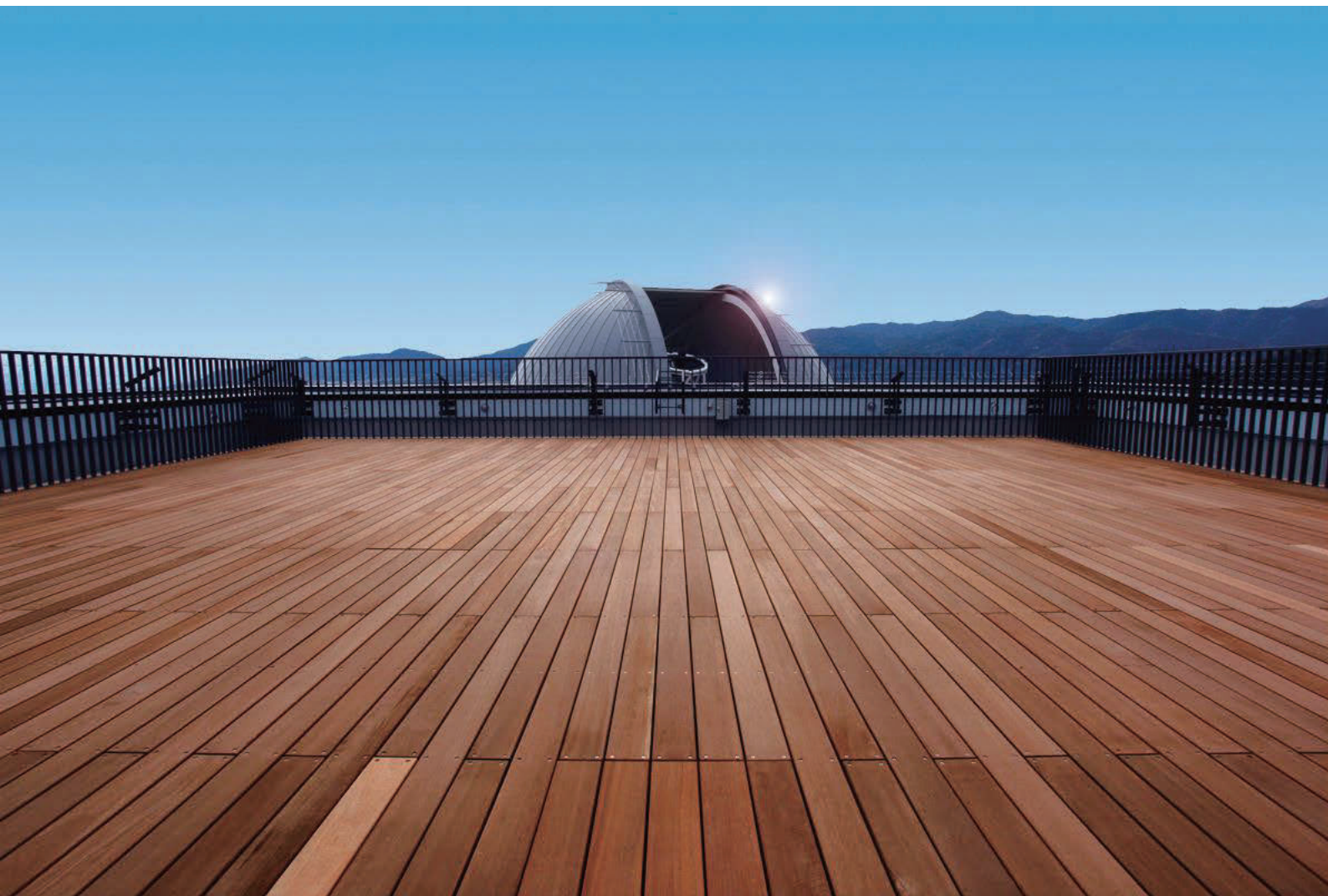


京都産業大学 神山天文台 2021年度 年報



**KYOTO SANGYO UNIVERSITY
KOYAMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY**

目次

巻頭言	1
研究成果報告	2
・ Detection of ${}^7\text{Be}$ II in the Classical Nova V5669 Sgr (Nova Sagittarii 2015 No.3)	
・ Absorption Lines in the 0.91–1.33 μm Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni	
・ A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood	
・ Mid-infrared observations of the nucleus of comet P/2016 BA ₁₄ (PANSTARRS)	
研究成果・関連論文リスト	91
神山天文台の普及教育活動	97
1. はじめに	
2. 大学としての教育活動	
3. 学内公開	
4. 近隣学校等への天文学習	
5. 他機関との連携事業	
6. 一般の方への普及教育活動	
① 施設見学と天体観望会	
② 天文学講座	
③ 神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」	
7. 公開事業を通じた学生の育成	
8. 神山天文台サポートチーム	
神山天文台の普及教育活動	106
資料1 各種イベント 来場者数一覧	
資料2 平成 22(2010)年度～令和 3 (2021)年度 一般公開来場者数一覧	
資料3 天文台講座・天文学入門講座・天文学講座 開催一覧	
資料4 平成 21(2009)年度～令和 3 (2021)年度 新聞等掲載記事一覧	
資料5 平成 25(2013)年度～令和 3 (2021)年度 Web サイト等掲載記事一覧	
資料6 神山天文台サポートチーム 学会等発表のあゆみ	

巻頭言

現在、神山天文台は平成 22（2010）年の設置から 10 年の節目を超え、次の 10 年間の途中にいます。10 年後までに「宇宙へ」進出することをスローガンとして掲げ、京都産業大学が、地上から望遠鏡を用いて宇宙を探るだけでなく、小型の観測装置を人工衛星に搭載して打上げることには挑戦します。国内外ではこうした超小型衛星の開発や、その打ち上げのためのロケット開発が民間企業によって精力的に進められており、新しい産業界のニーズに応えるべく政府も宇宙開発にリソースを投入しています。衛星軌道上からの地球観測による新しいビジネスの創出も、本学として重要なテーマになってゆくでしょう。そうしたときに、超小型衛星のようなキーになるインフラに搭載できる、特色ある機能・際立つ性能の機器開発技術を持っていることは、ビジネスや科学をリードする上で極めて重要です。学生のみなさんがこうした先駆的な取り組みに関わることで、本学ならではの経験を積み、さまざまな意味で広い視野から社会を背負ってゆける人材となって欲しいという願いを込めて、神山天文台は次の 10 年を歩んでゆきます。現在、神山天文台では、これまでに培った赤外線光の高分散分光技術、とくに超小型衛星にとって重要な小型・軽量化に適した技術要素を活用し、超小型衛星に搭載可能な赤外線高分散分光器の開発を進める計画です。その開発には、これまで神山天文台が東京大学と協働で開発してきた高感度・赤外線高分散分光器 WINERED（現在、南米チリにて光景 6.5m マゼラン望遠鏡に設置して稼働中）や、次世代・赤外線高分散分光器 VINROUGE（令和 3（2021）年度に科学研究費基盤(A)に採択）などの技術が活用される予定です。また、従来から行なってきた社会貢献活動をさらに拡充し、神山天文台における博物館としての機能を強化し、令和 5（2023）年度より改正された博物館法の下で指定博物館となることを目指して体制と整えています。科学の発展と生涯教育に寄与し、ひろく学生の学びの場となることを目指しています。学祖・荒木俊馬博士の建学の精神を具現化するシンボルとして、神山天文台の今後にご期待ください。

神山天文台長

河北 秀世

2023 年 2 月 13 日

主要な研究成果

タイトル	:	Detection of ${}^7\text{Be}$ II in the Classical Nova V5669 Sgr (Nova Sagittarii 2015 No.3)
著者	:	<u>Akira Arai</u> , <u>Akito Tajitsu</u> , <u>Hideyo Kawakita</u> , <u>Yoshiharu Shinnaka</u>
関連出版	:	The Astrophysical Journal, Volume 916, Issue 1, id. 44, 11pp., (2021)

DRAFT VERSION JUNE 28, 2021

Typeset using L^AT_EX preprint style in AASTeX62Detection of ${}^7\text{Be}$ II in the Classical Nova V5669 Sgr (Nova Sagittarii 2015 No.3)AKIRA ARAI,¹ AKITO TAJITSU,² HIDEYO KAWAKITA,¹ AND YOSHIHARU SHINNAKA¹¹*Koyama Astronomical Observatory, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto-city, Kyoto, Japan, 803-8555, Japan*²*Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, 650 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720, USA*

ABSTRACT

We report the new detection of ${}^7\text{Be}$ II in the ultraviolet spectra of V5669 Sgr during its early decline phase (+24 and +28 d). We identified three blue-shifted absorption systems in our spectra. The first two, referred to as low- and high-velocity components, were noticeably identified among H I Balmer, Na I D, and Fe II whose lower energies of transients are low (< 4 eV). The third absorption component was identified among N II, He I, and C II lines whose lower energy levels are relatively high (9–21 eV). The absorption lines of ${}^7\text{Be}$ II at 3130.583 Å, and 3132.228 Å were identified as the first and second components in our observations. No evidence suggested the existence of Li I at 6708 Å in any velocity components. The estimated number density ratio of lithium relative to hydrogen, which was finally produced by this object using the equivalent widths of ${}^7\text{Be}$ and Ca II K, $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$, is $4.0 \pm 0.7 \times 10^{-6}$. This value is an order of magnitude lower than the average observed values for classical novae wherein ${}^7\text{Be}$ has been detected, and is comparable to the most optimistic value of theoretical predictions.

Keywords: nuclear reactions, nucleosynthesis, abundances—stars: individual: Nova Sagittarii 2015 No.3: V5669 Sgr—novae, cataclysmic variables—Galaxy: evolution—techniques: spectroscopic.

1. INTRODUCTION

The ${}^7\text{Li}$ production in classical novae was first confirmed in V339 Del by Tajitsu et al. (2015). They reported the detection of blue-shifted absorption lines of the resonance lines of ${}^7\text{Be}$ II at 3130.583 Å and 3132.228 Å in near-ultraviolet (UV) high-resolution spectra. ${}^7\text{Be}$ is an unstable isotope that decays to form ${}^7\text{Li}$ through the electron capture within a half-life of 53.22 days. Therefore, the detection of ${}^7\text{Be}$ II lines in the nova spectra provides crucial evidence of ${}^7\text{Li}$ production by nova explosion. Since the first confirmation of ${}^7\text{Li}$ production, ${}^7\text{Be}$ II and/or Li I 6708 Å have been directly detected in several classical novae through high-resolution spectroscopic observations. The first detection of Li I at 6708 Å was reported in V1369 Cen (Izzo et al. 2015). The second and third detections of ${}^7\text{Be}$ II were reported in V5669 Sgr (Molaro et al. 2016; Tajitsu et al. 2016) and V2944

Corresponding author: Akira Arai
arai6a@cc.kyoto-su.ac.jp

Oph (Tajitsu et al. 2016), respectively. These three classical novae showed slow declines in their light curves, which suggests that they are CO novae. Furthermore, Izzo et al. (2018) reported ${}^7\text{Be}$ II detection in a very fast nova V407 Lup. For another very fast nova, V838 Her, Selvelli et al. (2018) reported the existence of absorption and emission features of ${}^7\text{Be}$ II in the historical UV spectra obtained by the *International Ultraviolet Explorer* (Boggess et al. 1978). The very rapid decline in their light curves (duration up to +2 mag after the maximum, $t_2 \sim 5$ and 2 d for V407 Lup and V838 Her, respectively) and characteristics of their spectra indicate that they are ONe novae. Recently Molaro et al. (2020) reported further detections of ${}^7\text{Be}$ II and/or Li I in Nova Mus 2018 and ASASSN-18fv. These two classical novae are probably CO novae because their light curves indicate that they are moderately fast or slow novae. Molaro et al. (2020) summarized that the abundance (number) ratio of ${}^7\text{Li}$ to hydrogen enhanced by the above-observed novae, $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})$, is in the range of $1.5\text{--}17 \times 10^{-5}$ (average of 5.4×10^{-5}). No major difference exists in the $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})$ ratio among CO and ONe novae. This observational fact implies that ${}^7\text{Li}$ production widely occurs in classical novae. Using recent observational results, Cescutti & Molaro (2019) demonstrated that Li production in classical novae could mostly explain the Galactic Li evolution curve without remarkable contributions from other source candidates (e.g., red giants and AGB stars).

In studies of ${}^7\text{Li}$ production in classical novae, theoretical predictions preceded observations. Cameron & Fowler (1971) first established ${}^7\text{Li}$ production in red giants via the ${}^3\text{He}(\alpha, \nu){}^7\text{Be}$ reaction, and since then, a number of efforts have been undertaken on thermonuclear runaway (TNR) in classical novae. Arnould & Norgaard (1975) calculated the ${}^7\text{Li}$ production rate for several combinations of fixed temperatures and densities to study the resulting nucleosynthesis. Starrfield et al. (1978) used their hydrodynamic code to investigate nucleosynthesis during a TNR in a solar-abundance envelope on a white dwarf (WD) and found that ${}^7\text{Li}$ can be overproduced. José & Hernanz (1998) conducted realistic hydrodynamic calculations that took into account the temperature development in the envelope during the accretion phase before the onset of the TNR and predicted the Li production during the TNR, obtaining values of $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})$ of $\lesssim 4.7 \times 10^{-6}$ and $\lesssim 4.8 \times 10^{-6}$ for ONe novae and CO novae, respectively. Several studies on Li evolution in the galaxy that draw on the results of such numerical simulations have concluded that classical novae may contribute up to 10% of the Li produced in the recent universe (Hernanz et al. 1996; Prantzos 2012). Recently, using the Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA) code (e.g., Paxton et al. 2011), Rukeya et al. (2017) reported the prediction of ${}^7\text{Li}$ production similar to those of José & Hernanz (1998). Starrfield et al. (2020) obtained the largest ${}^7\text{Li}$ production obtained to date for a $1.35 M_{\odot}$ CO WD [$N({}^7\text{Be})/N(\text{H}) = 7.0 \times 10^{-6}$], assuming that mixing between the core and solar-abundance material in the envelope gas transferred from the companion star switches on immediately after the onset of the TNR. However, such estimates of $N({}^7\text{Be})/N(\text{H})$ still amount to only several tenths of derived from the observations. José et al. (2020) developed a more realistic model, which incorporates mixing and convection extracted directly from their own 3D simulations back into a 1D model. Their results suggest that the ${}^7\text{Li}$ production is much less than that obtained in the previous works (e.g., Rukeya et al. 2017 and Starrfield et al. 2020); however, the abundances they obtained for the intermediate-mass elements agree with the observations. In addition to the large disagreement between the observations and the theoretical predictions, large variations exist among the theoretical predictions of the amounts of ${}^7\text{Li}$ produced. This suggests that the results may depend strongly on differences in the handling of mixing and convection and of the accretion phase before the TNR.

The recent observational facts strongly suggest that classical novae are the major sources of Li in the galaxy. However, some questions on this phenomenon still remain. The first question concerns the discrepancy between the observed abundances and theoretical predictions as described above. The appearance rate of Li production is another question. Recently, [Molaro et al. \(2020\)](#) reported the detection of neither ${}^7\text{Be}$ II nor Li I in the post-outburst spectra of ASASSN-17hx and Nova Cir 2018. This is the first nondetection report of ${}^7\text{Be}$ II or Li I in classical novae after [Tajitsu et al. \(2015\)](#), and it suggests that there could be a large scattering of ${}^7\text{Li}$ production among classical novae. Solving these questions is essential for more precise understandings of the contributions of classical novae to Galactic Li evolution. Therefore, further observations of ${}^7\text{Be}$ II (and Li I) in classical novae during their early decline phases are required. In this study, we report a new detection of ${}^7\text{Be}$ II in V5669 Sgr (Nova Sgr 2015 No.3).

2. V5669 SGR (NOVA SAGITARII 2015 NO.3)

V5669 Sgr (Nova Sgr 2015 No.3) was discovered as a possible transient object, PNV J18033275-2816054, by Koichi Itagaki on UT 27.429 September 2015 at 9.8 mag (unfiltered) using a 0.5 m Schmidt Cassegrain telescope with an unfiltered CCD camera at his private observatory ([Nakano et al. 2015](#)). The earliest spectroscopic observation by [Fujii \(2015\)](#) with a low-resolution spectrograph ($R \sim 500$) on a 40 cm telescope at the Fujii-Kurosaki Observatory (in Okayama, Japan) was performed around 1.4 h after the discovery, and his spectra show H I Balmer, Fe II and Na I emission lines with P-Cygni profiles, suggesting that the expanding velocity was approximately 1100 km s^{-1} . [Williams et al. \(2015\)](#) also reported spectra taken by the FRODOSpec ([Barnsley et al. 2012](#)) on the 2.0 m Liverpool Telescope (in Spain) around 10 h after the discovery, which showed remarkable lines of H I, Fe II, O I $\lambda 7773$, $\lambda 8446$, and He I $\lambda 6678$. The emission and absorption features of $\text{H}\alpha$ indicate that the expansion velocity was around 2000 km s^{-1} . They concluded that the spectral type ([Williams 1992](#)) of the nova was classified into Fe II class.

Table 1. Information of V5669 Sgr.

Item	Value
Discovery date	UT 2015 September 27.4293 MJD 57292.4293
Coordinate (J2000.0)	$\alpha = 18^{\text{h}}03^{\text{m}}32^{\text{s}}.75$, $\delta = -28^{\circ}16'05''.4$
t_{max}	2015 September 29.1 (MJD 57294.1)
V_{max}	8.572 ± 0.001 mag
$(B - V)_{\text{max}}$	0.793 ± 0.001 mag
t_2	24 days
E_{B-V}^*	0.44 ± 0.02 mag
M_V^*	-7.8 ± 0.4 mag
d^*	10.0 ± 1.9 kpc

NOTE—*: The estimation of the interstellar extinction (E_{B-V}), the absolute magnitudes (M_V), and the distance (d) are shown in Appendix A.

Table 2. Journal of Observations of V5669 Sgr by Subaru/HDS

Date	MJD	t (day)	Setup	Exp. time (sec)	Airmass
23 Oct 2015	57318.19	+24.09	Ub	3000	1.88
23 Oct 2015	57318.23	+24.13	Yb	1800	2.58
27 Oct 2015	57322.19	+28.09	Ub	2400	1.97
27 Oct 2015	57322.22	+28.12	Yb	1800	2.59

Figure 1 displays the optical light curves of V5669 Sgr¹. The object was discovered during the early rising phase about 1.6 d before the maximum. We set the first maximum date to MJD 57294.1 ($= t_0$) at $V = 8.57$ mag based on data in the Stony Brook/SMARTS Atlas. The basic parameters of the nova are listed in Table 1. The estimations of the extinction, E_{B-V} , the absolute magnitude, M_V , and the distance, d , are shown in Appendix A using the SMARTS data set and measurements of diffuse interstellar bands detected in our high-resolution spectra.

V5669 Sgr is potentially a CO nova as it shows a moderately fast decline in its brightness with $t_2 = 24$ d. Strong Fe II, Na I, or O I lines associated with the P-Cygni profile are dominant in the initial spectra described above and also in our spectra (see Section 4). Note that He/N-type emission features, which are often observed in early decline phases of ONe novae, are not prominent among them.

After its explosion, V5669 Sgr was detected in the GAIA DR2 catalog as a source of $G = 14.3$ (GAIA DR2 4062508582302805760) 0.16 arcsec apart from the position of the nova. Its parallax and distance are not available in the catalog. Moreover, no counterparts are present in the Pan-STARRS catalog (Chambers et al. 2016). The nearest red star in the Pan-STARRS catalog was found at 0.9 arcsec apart from the nova (PSO J180332.784-281604.706, $g = 19.02 \pm 0.04$, $r = 18.102 \pm 0.003$), whose counterpart can be found in the GAIA DR2 catalog (GAIA DR2 4062508582302826240, $G = 18.25$). Thus, we concluded that the progenitor is not detected in the Pan-STARRS and previous surveys.

3. OBSERVATIONS AND REDUCTIONS

We performed optical high dispersion spectroscopic observations for V5669 Sgr using the High Dispersion Spectrograph (HDS; Noguchi et al. 2002) mounted on the 8.2 m Subaru telescope and succeeded at two epochs (+24 and +28 d) during its rapid decline phase. Table 2 shows a summary of our HDS observations. Our spectra cover 3020–6865 Å with two different grating settings of the spectrograph: Setup-Ub, 3020–4631 Å with a gap at 3748–3790 Å, and Setup-Yb, 4108–6865 Å with a gap at 5434–5514 Å. The spectral resolving power was $\sim 45,000$ with a 0.80" (0.4 mm) slit width. Data reduction was conducted using the Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)² software with the standard manner for HDS data³. The non-linearity of the CCD pixels was corrected using the

¹ Photometric data are taken from Nakano et al. (2015) the AAVSO Archives (Kafka, S., 2019, Observations from the AAVSO International Database, <https://www.aavso.org>), and The Stony Brook/SMARTS Atlas of Southern Novae (<http://www.astro.sunysb.edu/fwalter/SMARTS/NovaAtlas/atlas.html> Walter et al. 2012).

² IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) under a cooperative agreement with the National Science Foundation.

³ <https://www.naoj.org/Observing/Instruments/HDS/hdsq-e.html>

DETECTION OF ${}^7\text{Be}$ II IN V5669 SGR

5

Table 3. List of Identified Emission Lines in Figure 2. λ_{obs} is the observed wavelength around the center of each emission line on +24 d. λ_{rest} is the laboratory wavelength. The multiplet numbers are taken from Moore (1972). The left curly brackets denote the observed blended lines in the column between λ_{rest} and λ_{lab} .

$\lambda_{\text{obs}}(\text{\AA})$	$\lambda_{\text{lab}}(\text{\AA})$	Line	$\lambda_{\text{obs}}(\text{\AA})$	$\lambda_{\text{lab}}(\text{\AA})$	Line
3794.2	3797.909	H θ	4864.6	4861.350	H β
3835.3	3835.397	H η	4926.0	4923.921	Fe II (42)
3888.1	3889.064	H ζ	5022.0	5018.436	Fe II (42)
3930.4	3933.68	Ca II K	5173.0	5169.028	Fe II (42)
3972.5	3968.66	Ca II H	5278.2	5275.997	Fe II (49)
	+3970.075	H ϵ	5320.7	5316.609	Fe II (49)
4102.5	4101.734	H δ	5749.1	5747.300	N II (9)
4125.1	4122.638	Fe II (28)	5894.3	5892.937	Na I D
4177.6	4173.450	Fe II (27)	6152.1	6149.246	Fe II (74)
4239.5	4233.160	Fe II (27)	6303.0	6300.304	[O I]
4350.6	4340.472	H γ	6361.3	6363.776	[O I]
	+4351.763	Fe II (27)	6567.9	6562.79	H α
4473.4	4471.48	He I			

method described by Tajitsu et al. (2010). The wavelength calibration was performed using the Th-Ar comparison spectra. The typical residual in the wavelength calibration was approximately 10^{-3} \AA (~ 0.1 km s^{-1}). The observed spectra were converted to the heliocentric wavelength scale. Spectrophotometric calibrations were performed with the spectra of σ Sgr ($V = 2.058$, B2V⁴) obtained nearly at the same airmass of the nova on the same nights. The telluric absorption correction was not performed.

In principle, we refer to Kramida et al. (2019) for wavelengths, $\log(gf)$ s, and lower and upper transition energies (E_{low} and E_{up}) of each ion herein. Multiplet numbers are taken from Moore (1972). We refer to such parameters of Cr II (5) lines from Nilsson et al. (2006).

4. RESULTS

4.1. Overview

Figure 2 shows the overall spectra of V5669 Sgr obtained on +24 and +28 d. The identifications of strong emission lines are listed in Table 3. The emission lines originating from the H I Balmer series, Fe II, and Ca II are easily identified in the spectra. These strong emission lines are accompanied by P-Cygni-like profiles, and the mean FWHMs of these emission lines are approximately 2000 km s^{-1} . Each H I emission line has a saddle-shaped profile, as seen in the H α emission line shown in the inset in the panel of Figure 2. These spectral features indicate that the nova is an ordinary Fe II-type classical nova with a CO WD as reported in previous studies (Fujii 2015; Williams et al. 2015).

⁴ These values are taken from Simbad (Wenger et al. 2000).

4.2. Blueshifted Absorption Line Systems (Low- and High-Velocity Components)

Figure 3 displays the enlarged views of the spectra taken on +24 d (left) and +28 d (right) in the vicinities of $H\gamma$, Ca II K, Fe II (42) $\lambda 5169.03$, Na I D₂, and ${}^7\text{Be}$ II $\lambda 3131.228$. Two blue-shifted absorption components accompany each of the first three lines in both epochs. Hereafter, we refer to them as the low-velocity component (LVC) and high-velocity component (HVC). On +24 d, the LVC ($v_{\text{rad}} = -840$ to -1260 km s⁻¹) and HVC ($v_{\text{rad}} = -1800$ to -2200 km s⁻¹) are very distinct. Until +28 d, the HVC definitely accelerated to $v_{\text{rad}} = -1850$ to -2500 km s⁻¹. The LVC had a somewhat mild acceleration to $v_{\text{rad}} = -840$ to -1300 km s⁻¹. Moreover, LVC and HVC of Na I D, and ${}^7\text{Be}$ II can be identified in both epochs, although some contaminations arising from other metal lines are expected. The strengths of most blue-shifted absorption lines became weaker from +24 to +28 d. The decrease in the equivalent width (W), $\Delta W = -0.88 \pm 0.07$ Å for the LVC, and -2.73 ± 0.06 Å for the HVC, is observed clearly for Fe II $\lambda 5169.028$ ($E_{\text{low}} = 2.89$ eV). The similar blueshifted absorption line systems are occasionally observed in previous novae, for example, V2659 Cyg (Arai et al. 2016). As in V2659 Cyg, numerous absorption lines can be identified with LVC originating from singly ionized Fe-peak elements (Ti II, Cr II, and Mn II). Most of them do not accompany their emission lines. They are essentially the same as the “transient heavy element absorption (THEA)”, proposed and discussed in Williams et al. (2008).

4.3. Another Blueshifted Absorption System (Third Velocity Component)

Figure 4 shows representative spectra in the vicinities of N II (3) $\lambda 5666.63$ and He I $\lambda 5875.621, \lambda 6678.151$ on +24 and +28 d. Absorption lines accompanied by these lines are identified as a single component. On +24 d, the velocity range of this component, $v_{\text{rad}} = -1450$ to -2070 km s⁻¹, is similar to that of HVC in this epoch. On +28 d, however, the component accelerated up to -2100 to -2650 km s⁻¹, which is different from the velocities of both LVC and HVC in this epoch. The absorption lines of this component have somewhat smooth, round-shaped profiles compared with those in LVC and HVC displayed in Figure 3. This absorption system is not accompanied by any emission lines except for N II (3) $\lambda 5666.63$ ($E_{\text{low}} = 18.47$ eV) and He I $\lambda 5875.621$ blending with Na I D. Several N II lines (e.g., $\lambda 5747.30$) have absorption lines corresponding to this system. The E_{low} of these lines is in the range of 9.3–21 eV, which is significantly higher than that in the LVC and HVC systems reported in Section 4.2. Considering these characteristics, we conclude that this blue-shifted absorption component is the third component that is neither LVC nor HVC. Hereafter we name it the third velocity component (TVC) for convenience. We note that the TVC in V5669 Sgr is similar to the absorption components of N II and He I identified in V407 Lup (Izzo et al. 2018). In V407 Lup, the radial velocity of this velocity component reached -3830 km s⁻¹ in contrast to the low velocities of Fe II and H I lines (~ -2300 km s⁻¹).

4.4. ${}^7\text{Be}$ II Abundance

As shown in Figure 3, we can identify absorption lines belonging to the LVC and HVC systems of ${}^7\text{Be}$ II for the spectra on both +24 and +28 d. Following the previous studies of ${}^7\text{Be}$ II (Tajitsu et al. 2015, 2016), the ${}^7\text{Be}$ abundance in the LVC and HVC can be estimated by the ratios of W s between ${}^7\text{Be}$ II $\lambda\lambda 3131$ and Ca II K lines.

Prior to our abundance estimations, we evaluated contaminations from other metal lines to the W s of ${}^7\text{Be}$ II $\lambda\lambda 3131$. No remarkable contamination was expected for Ca II K, because no strong lines originated from Fe-peak ions around it. The complicated profiles of the LVC and HVC of ${}^7\text{Be}$ II

Table 4. Candidates of Lines Contaminating ${}^7\text{Be}$ II.

Line	Rest wavelength(\AA)	$\log(gf)^*$	$W(\text{\AA})^\dagger$	Contamination
Cr II (5)	3118.649	-0.102	<i>0.24</i>	HVC
Cr II (5)	3120.369	+0.108	<i>0.38</i>	HVC
Cr II (5)	3124.978	+0.286	0.55 ± 0.02	
Cr II (5)	3128.700	-0.528	<i>0.09</i>	LVC
Cr II (5)	3132.056	+0.437	<i>0.82</i>	LVC

NOTE— *: All $\log(gf)$ values of Cr II (5) lines are quoted from Nilsson et al. (2006).

†: Measured equivalent widths is only for Cr II λ 3124.978. W s for other lines (italic letters) are calculated using their $\log(gf)$ values.

We regarded that Cr II (5) λ 3128.700 contaminates ${}^7\text{Be}$ II with half of its W [$= 0.5 \times W_\lambda(\text{Cr II } \lambda 3128.700)$].

indicated that ${}^7\text{Be}$ II is contaminated with some absorption lines originating from Cr II (5), Fe II (82), and Ti II (67), as mentioned in the previous studies (Tajitsu et al. 2016; Molaro et al. 2016, 2020). In our spectra of V5669 Sgr, the HVC of Fe-peak elements (Fe II, Ti II, Cr II and Mn II) are generally very faint or unidentified except for strong Fe II lines (e.g., Fe II λ 5018.436 and λ 5169.028). We consider that the LVCs of Fe-peak elements are the dominant source of contamination for ${}^7\text{Be}$ II lines. In the vicinity of ${}^7\text{Be}$ II on +24 d, distinguishing each contaminating line is difficult due to the heavy blending of ${}^7\text{Be}$ II λ 3131 and lines of Fe-peak elements. As we reported in Section 4.2, the LVC and HVC of Fe-peak elements (Fe II, Ti II, Cr II and Mn II) on +28 d are weaker than those on +24 d. Therefore, hereafter, we estimate the ${}^7\text{Be}$ abundance using the spectrum on +28 d. In the spectrum on +28 d, we can identify the unblended LVC of Cr II (5) λ 3124.978 [$E_{\text{low}} = 2.45$ eV, $E_{\text{per}} = 6.42$ eV, $\log(gf) = 0.286$], whose W is 0.55 ± 0.02 \AA , which is between the LVC and HVC of ${}^7\text{Be}$ II (Figure 3). Other candidates of the contaminating lines originating from Fe-peak elements in this region are Fe II (82) ($E_{\text{low}} = 3.9$ eV, $E_{\text{up}} = 7.8$ eV) at 3135.36 \AA [$\log(gf) = -1.13$], 3144.75 \AA (-1.74) as shown in Table 2 in Molaro et al. (2016), and Ti II (67) ($E_{\text{low}} = 1.2$ eV, $E_{\text{up}} = 5.2$ eV), 3106.25 \AA (-0.17), 3117.68 \AA (-0.50), 3119.83 \AA (-0.46) as shown in Table 2 in Tajitsu et al. (2016). Their $\log(gf)$ values are smaller than those of Cr II (5) [$\log(gf) = -0.102 - +0.437$]. Furthermore, we identify no significant lines originated from Fe II (82) and Ti II (67) on +28 d even in the wavelength region free from the LVC and HVC of ${}^7\text{Be}$ II. Therefore, we ignored contaminations from these multiplet lines. We estimated W s of nearby Cr II (5) lines using their $\log(gf)$ values and the measured W of Cr II (5) λ 3124.978. The estimated W s of other Cr II (5) lines are summarized in Table 4 with the absorption components of ${}^7\text{Be}$ II (LVC or HVC) that they may contaminate. The total W s of Cr II (5) contaminating ${}^7\text{Be}$ II is 0.87 ± 0.02 \AA for the LVC and 0.59 ± 0.03 \AA for the HVC.

The measured W s of ${}^7\text{Be}$ II in the spectrum on +28 d are 1.58 ± 0.02 \AA for the LVC and 1.22 ± 0.02 \AA for the HVC. After excluding the contamination from Cr II (5) lines, we obtained the intrinsic W s of ${}^7\text{Be}$ II as 0.76 ± 0.06 \AA for LVC and 0.63 ± 0.07 \AA for HVC. The measured W s of Ca II K, which have no contaminations, are 1.63 ± 0.03 \AA for the LVC and 0.73 ± 0.03 \AA for the HVC. Using these W s of ${}^7\text{Be}$ II and Ca II K in Equation (1) in Tajitsu et al. (2016), the number density ratios of

$N(^7\text{Be})/N(\text{Ca})$, was calculated. We relied on the same three assumptions as in Tajitsu et al. (2015) and other previous studies. Those are (1) the difference in the color of the background light at 3131 Å and 3930 Å can be ignored, (2) all ^7Be and Ca in the nova ejecta are in their singly ionized states, and (3) the $N(\text{Ca})/N(\text{H})$ in the absorbing gas cloud is the solar value. Consequently, we obtained the total number density ratio, $N(^7\text{Be})/N(\text{Ca}) = 1.01 \pm 0.09$, and 1.87 ± 0.21 for the LVC and HVC, respectively. If we assume that $N(\text{Ca})/N(\text{H})$ in the absorbing gas is the same as that of the solar photosphere (2.19×10^{-6} ; Asplund et al. 2009), we obtain $N(^7\text{Be})/N(\text{H}) = 2.2 \pm 0.2 \times 10^{-6}$ and $4.1 \pm 0.5 \times 10^{-6}$ for the LVC and HVC, respectively. This $N(^7\text{Be})/N(\text{H})$ can be converted into the mass ratio, $X(^7\text{Be})/X(\text{H}) = 1.5 \pm 0.1 \times 10^{-5}$ and $2.9 \pm 0.3 \times 10^{-5}$ for the LVC and HVC, respectively.

In addition to the effects from line contaminations, which we have discussed above, our three assumptions adopted in this $N(^7\text{Be})/N(\text{H})$ estimation may cause uncertainties in the results. We expect that the most significant uncertainty originates from the difference in the color of the background light in the range of ^7Be II or Ca II; this is mainly caused by the overlap of the broad emission lines with the background continuum. By polynomial function fitting, we found that the amplitudes of the undulated continuum level are $\sim 25\%$ in the nearby region of ^7Be II (3080Å–3140Å). This directly corresponds to a $\pm 25\%$ error in the measured W , i.e., the estimated $N(^7\text{Be})/N(\text{H})$. Regarding the second assumption, the ionization potential is a little different between ^7Be II (the first and second ionization potentials; $I_1 = 9.32$, $I_2 = 18.21$ eV) and Ca II ($I_1 = 6.11$ eV and $I_2 = 11.87$ eV; Kramida et al. 2019). Some singly ionized iron-peak elements (Ti to Fe) are found in the LVC absorption system in V5669 Sgr (see Section 4.2). Their ionization potentials are between those of Be and Ca ($I_1=6.8\text{--}7.9$ eV, $I_2 = 3.6\text{--}18.1$ eV). This situation is quite similar to that in V339 Del (Tajitsu et al. 2015). Therefore, we expected that the large fractions of Be and Ca are in the singly ionized states, as also in the case of V5669 Sgr on $t = 28$ d. Considering the third assumption, $N(\text{Ca})/N(\text{H})$ s in nova yields tend to be comparable to or even higher than the solar value up to $\sim 10\%$ – 20% in some theoretical simulations for CO novae (e.g., José et al. 2020) in which the gas with solar abundance is assumed to accumulate on the surface of the WD. It is mainly caused by the consumption of hydrogen during TNR. If we adopt this hydrogen reduction in TNR, the $N(^7\text{Be})/N(\text{H})$ of V5669 Sgr can be underestimated up to 10% – 20% . Finally, the total error caused by our assumptions is -25% – $+50\%$ for $N(^7\text{Be})/N(\text{H})$ in Table 5.

All ^7Be eventually decays to ^7Li through the reaction of $^7\text{Be}(e^-, \nu_e)^7\text{Li}$ with a half-life, $\tau_{1/2} \sim 53$ days. Therefore the total number of ^7Be isotopes produced in the TNR, $N(^7\text{Be})_{\text{TNR}}$, must be equal to the final ^7Li produced in the observed outburst, $N(^7\text{Li})_{\text{final}}$. $N(^7\text{Li})_{\text{final}}$ can be estimated using $N(^7\text{Be})_{\text{TNR}} = N(^7\text{Li})_{\text{final}} = 2^{t/\tau_{1/2}} \times N(^7\text{Be}, t_{\text{obs}})$, where $t_{\text{obs}} = +28$ d. The final ^7Li abundance produced by V5669 Sgr is expected to be $N(^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}} = 3.17 \pm 0.27 \times 10^{-6}$ for the LVC and $5.88 \pm 0.66 \times 10^{-6}$ for the HVC. Here, we use $W(\text{Ca II K})$ s for the LVC and HVC as the weight for mass ratios between them, then get a weighted $N(^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ for the nova as $4.0 \pm 0.7 \times 10^{-6}$. We will use this averaged $N(^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ in our discussion hereafter, which corresponds to the mass ratio of $X(^7\text{Li})/X(\text{H})_{\text{final}} = 2.8 \pm 0.5 \times 10^{-5}$.

Our results of ^7Be abundance estimation are summarized in Table 5. The $N(^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ observed in V5669 Sgr is smaller by a factor of 13.5 than the mean value in previous studies of other observed novae (5.4×10^{-5} ; Molaro et al. 2020). It is still 3–5 dex larger than the ^7Li meteoritic value ($N(^7\text{Li})/N(\text{H}) = 1.86 \times 10^{-9}$), and significantly larger than the solar photospheric value (1.12×10^{-11}) given in Asplund et al. (2009). It is rather comparable to the upper limit of numerical predictions

Table 5. Equivalent Widths and Observed Abundances of ${}^7\text{Be}$ in V5669 Sgr.

	$W({}^7\text{Be II})$	$W(\text{Ca II K})$	$\frac{N({}^7\text{Be})}{N(\text{Ca})}$	$\frac{N({}^7\text{Be})}{N(\text{H})}$	$\frac{N({}^7\text{Li})}{N(\text{H})_{\text{final}}}$	$\frac{X({}^7\text{Li})}{X(\text{H})_{\text{final}}}$
	(\AA)	(\AA)		(10^{-6})	(10^{-6})	(10^{-5})
LVC	0.76 ± 0.06	1.63 ± 0.03	1.01 ± 0.09	2.2 ± 0.2	3.17 ± 0.27	2.23 ± 0.19
HVC	0.63 ± 0.07	0.73 ± 0.03	1.87 ± 0.21	4.1 ± 0.5	5.88 ± 0.66	4.12 ± 0.46

for CO novae by José & Hernanz (1998) (4.8×10^{-6}) and Starrfield et al. (2020) (7.0×10^{-6}). We compare this result in V5669 Sgr with previous studies and discuss it in Section 5.

4.5. Absence of Li I

We also checked the resonance doublet of Li I at 6708\AA although it has not been detected in most novae. Figure 5 displays the spectra on +24 and +28 d around 6683\AA , where the LVC and HVC of Li I $\lambda\lambda 6708$ are possibly located. On +24 d, a dip at 6683\AA is observed. The position of this dip may correspond to that of LVC of Li I $\lambda\lambda 6708$ ($v_{\text{rad}} \sim 1000 \text{ km s}^{-1}$). It may also agree well with the TVC of C II $\lambda 6723.32$ [$\log(gf) = -1.156$, $E_{\text{low}} = 20.84 \text{ eV}$, $E_{\text{up}} = 22.68 \text{ eV}$]. The profile of the dip is round-shaped, which conforms to the characteristics of the TVC (Section 4.3). Furthermore, a deep and broad depression around 6750\AA is considered to be a blending TVC arising from C II (14) multiplet lines ($E_{\text{low}} = 20.70$, $E_{\text{up}} = 22.53$), at 6779.94\AA [$\log(gf) = +0.03$], 6780.59\AA (-0.38), 6783.91\AA ($+0.30$), 6787.21\AA (-0.38), and 6791.47\AA (-0.27). Since the E_{low} of C II (14) and C II $\lambda 6723.32$ are very close, the latter's absorption strength can be estimated using that of the former by referring to their $\log(gf)$ values. The measured W of the blending TVC of C II (14), 6.3\AA , raises the expectation that the W of C II $\lambda 6723.32$ should be $\sim 0.1 \text{\AA}$. The measured W of the dip at 6683\AA , $\sim 0.21 \pm 0.03 \text{\AA}$, is slightly larger than this value. The discrepancy between them can be explained by the saturation effect of C II (14) multiplet lines as the $\log(gf)$ values of most multiplets in C II (14) are much larger than that of C II $\lambda 6723.32$.

On +28 d, there are no noteworthy dips in the range of $6679\text{--}6689 \text{\AA}$, where the LVC ($v_{\text{rad}} = -840$ to -1300 km s^{-1}) of Li I $\lambda\lambda 6708$ should be located. The TVCs ($v_{\text{rad}} = -2100$ to -2650 km s^{-1}) of C II $\lambda 6723.32$ and C II (14) multiplet should locate at $\sim 6671 \text{\AA}$ and 6695\AA , respectively. However, both of them almost disappeared in this epoch.

In the case of two novae, V1369 Cen (Izzo et al. 2015) and ASASSN-18fv (Molaro et al. 2020), in which the Li I $\lambda\lambda 6708$ absorption line has been detected, the resonance absorption line of Ca I $\lambda 4226.73$ [$\log(gf) = 0.244$] has been identified with Li I $\lambda\lambda 6708$ being in the very early stages of their outbursts (at +7–+18 d and 1 d, respectively). Figure 6 shows the spectra of V5669 Sgr in the vicinity of Li I $\lambda\lambda 6708$ and Ca I $\lambda 4226.73$. We found no counterparts of the LVC and HVC of Ca I $\lambda 4226.73$ in both epochs. Based on these results, we conclude that the absorption of Li I $\lambda\lambda 6708$ is absent in our spectra of V5669 Sgr in both epochs. We consider that the dip at $\sim 6683 \text{\AA}$ in the spectrum on +24 d plausibly originates from C II $\lambda 6723.32$ instead of Li I $\lambda\lambda 6708$. The absence of Li I $\lambda\lambda 6708$ and Ca I $\lambda 4226.73$ suggests that the excitation degree of ejecta observed as blue-shifted absorption components in V5669 Sgr was high enough to ionize these atoms. This is consistent with our assumption used for our ${}^7\text{Be}$ abundance estimation in Section 4.4.

Table 6. List of ${}^7\text{Be}$ II and Li I Detected Novae.

Object	t_2	t_{obs}	V_{max}	M_{WD}	WD Type	$N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$
		(d)	(km s^{-1})	(M_{\odot})		($\times 10^{-5}$)
V5669 Sgr^(a)	24	28	2900	0.85–1.1	CO	0.40
V339 Del ^(b)	10	47	2700	$1.04 \pm 0.02^{(i)}$	CO	~ 2.6
V5668 Sgr ^(d,e)	60	58, 82	2300	$0.85^{(j)}$	CO	~ 15
V407 Lup ^(f)	5	8	3830	0.85–1.35	ONe	6.2
V2944 Oph ^(d)	–	80	2000	$0.85^{(k)}$	CO	1.6
V838 Her ^(g)	2	1, 3, 4	3500	$1.35^{(j)}$	ONe	2.5
Nova Mus 2018 ^(h)	~ 30	35	2240	0.6–1.1	CO?	1.5
ASASSN-18fv ^(h)	~ 45	80	880	0.6–1.1	CO?	2.2
<i>V1369 Cen</i> ^(c,l)	<i>40</i>	<i>7</i>	<i>2500</i>	<i>0.9^{(j)}</i>	<i>CO</i>	<i>0.015</i>

NOTE— Values of $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ for all previous reported nova are quoted from Molaro et al. (2020), and averaged values are displayed regarding those of V339 Del and V5668 Sgr.

References:

- (a) This study.
- (b) Tajitsu et al. (2015).
- (c) Izzo et al. (2015).
- (d) Tajitsu et al. (2016).
- (e) Molaro et al. (2016).
- (f) Izzo et al. (2018).
- (g) Selvelli et al. (2018).
- (h) Molaro et al. (2020).
- (i) Chochol et al. (2015).
- (j) Hachisu & Kato (2019).
- (k) Kato et al. (2009).

(l) We exclude the Li abundance of V1369 Cen in our discussion because it may not reflect the $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ synthesized in this nova event, as mentioned in Section 5.

5. DISCUSSION

V5669 Sgr is the eighth classical nova whose ${}^7\text{Be}$ abundance has been measured. In addition to V1369 Cen whose ${}^7\text{Li}$ abundance was directly measured, we summarized ${}^7\text{Li}$ abundances of nine novae with their physical parameters in Table 6. Considering the decline speed of light curves and WD masses in classical novae, we can roughly guess the WD mass of V5669 Sgr by comparing the t_2 of ${}^7\text{Be}$ detected novae and their WD masses reported in previous studies. We consider that the WD mass of V5669 Sgr ($t_2 = 24$ d) is larger than $0.85 M_{\odot}$ because the WD mass of V5668 Sgr ($t_2 = 40$ d) is estimated as $0.85 M_{\odot}$ (Hachisu & Kato 2019). We also consider that the upper limit WD of V5669 Sgr is $1.1 M_{\odot}$, which is the highest mass of ordinary CO WD (Althaus et al. 2010). WD masses, t_2 , and V_{max} of other novae are quoted from literature, as shown in the caption of Table 6. WD masses of 407 Lup, Nova Mus 2018 and ASASSN-18fv have not yet determined. However, we can roughly estimate ranges of WD mass based on their light-curve characteristics, regardless of whether they

are slow or fast novae. WD masses for three novae are also present in Table 6, $0.85\text{--}1.35 M_{\odot}$ for 407 Lup, and $0.6\text{--}1.1 M_{\odot}$ for Nova Mus 2018 and ASASSN-18fv. The measured $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ produced by each nova event, which should be equal to $N({}^7\text{Be})/N(\text{H})_{\text{TNR}}$ values, are in the range of $0.45\text{--}15 \times 10^{-5}$. The maximum $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ is observed for V5668 Sgr, and the lowest one is observed for V5669 Sgr. The $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ of V1369 Cen, which is also the lowest on the list, is measured by the comparison of Li I $\lambda\lambda 6708$ with Na I D and K I $\lambda 7699$ absorption lines, as in Izzo et al. (2015). The ionization state of ejecta in V1369 Cen when Li I is detected ($t = 7$ d) should be lower than that of ${}^7\text{Be}$ II detected novae as described in Section 4.4. However, Li (the first ionization potential, 5.39 eV) should be partially ionized in the nova ejecta because Fe (7.87 eV) and Cr (6.77 eV) have been observed in the same absorption component. Due to a lack of ${}^7\text{Be}$ II observations, the measured Li abundance may not reflect the $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ synthesized in this nova event. Therefore, we exclude the Li abundance of V1369 Cen in the following discussion.

Here, we compare the observed $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ with those of the theoretical simulations. Because WD masses are one of the key parameters in TNR simulations, resultant yields are often demonstrated as their functions. In Figure 7, the $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ observed in the nine novae are plotted with their estimated WD mass over the results from several theoretical simulations (José & Hernanz 1998; José et al. 2020; Starrfield et al. 2020). Though the errors of estimated WD masses for the observed novae in Table 6 may be quite huge, it is remarkable that all the observed $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ s are higher than the results of the theoretical simulations in Figure 7. As we discussed, the error in our $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ in V5669 Sgr is $\sim \pm 0.1 \times 10^{-5}$. The scattering of all the observed $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ s is considerably large ($\sim 15 \times 10^{-5}$) compared to such errors. This means that the ${}^7\text{Li}$ productivity must vary in each nova. The $N({}^7\text{Li})/N(\text{H})_{\text{final}}$ of V5669 Sgr is the lowest among the observed novae and comparable to the upper limit of the theoretical estimations with the WD mass in the range of $0.85\text{--}1.1 M_{\odot}$ (José & Hernanz 1998; Starrfield et al. 2020). The discrepancy in the ${}^7\text{Li}$ yields between the observations and theoretical simulations should still be discussed in future investigations. Furthermore, the ${}^7\text{Li}$ productivity varies greatly among each existing theoretical simulation. These imply that some additional physical mechanisms need to be considered in theoretical simulations. Moreover, further observational studies are required to understand the variance of Li production in classical novae. Molaro et al. (2020) reported about two novae without ${}^7\text{Li}$ production. Therefore, pursuing the appearance rate of ${}^7\text{Li}$ production is quite important as well.

In this paper, we estimated the ${}^7\text{Li}$ abundance of V5669 Sgr, which is the lowest value among other ${}^7\text{Be}$ detected novae. Moreover, the value agrees with theoretical predictions of the WD mass range of $0.85\text{--}1.1 M_{\odot}$, which is an order of magnitude less than those of previous observations. Our result indicates that there is a scattering in ${}^7\text{Li}$ production among classical novae as shown in Molaro et al. (2020) who reported a nondetection of ${}^7\text{Be}$ II lines and very low abundances of ${}^7\text{Li}$ in two novae. Further observational studies for the ${}^7\text{Li}$ abundances in classical novae are required to resolve the scattering of ${}^7\text{Li}$ production among them. This must be key to more precisely understanding the Galactic Li evolution.

This study is based on data collected at the Subaru Telescope, which is operated by the National Astronomical Observatory of Japan. We are honored and grateful for the opportunity of observing the Universe from Maunakea, which has the cultural, historical and natural significance in Hawaii.

We gratefully thank the collaborators of our proposal for observations by the Subaru telescope, Dr. Kozo Sadakane (Osaka Kyoiku University), Dr. Hiroyuki Naito (Nayoro Observatory), Dr. Wako Aoki (National Astronomical Observatory of Japan), Dr. Satoshi Honda (Nishi-Harima Astronomical Observatory, University of Hyogo), and Mr. Mitsugu Fujii (Fujii-Kurosaki Observatory). We are also grateful for the variable star observations from the AAVSO International Database contributed by observers worldwide and that were used in this study. This study is supported by KAKENHI (Grant-in-Aid for Challenging Exploratory Research, 15K13466 and for Scientific Research (C) 19K03933) from the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) and the Supported Programs for the Strategic Research Foundation at Private Universities (No. S1411028) from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan.

APPENDIX

A. ESTIMATIONS OF E_{B-V} AND DISTANCE OF V5669 SGR

We estimated E_{B-V} of V5669 Sgr using the following three methods: (1) the intrinsic color index at the maximum of classical novae given by [van den Bergh & Younger \(1987\)](#); (2) the relation between W s of the diffuse interstellar band (DIB) and the interstellar hydrogen column density as practiced for V407 Lup ([Izzo et al. 2018](#)); and (3) the relation between E_{B-V} and W s of the DIB $\lambda 6613.6$ among classical novae ([Munari 2014](#)).

The intrinsic color index at the maximum of classical novae is known to be $(B-V)_{\max} = 0.23 \pm 0.06$ ([van den Bergh & Younger 1987](#)). Then, we obtain the intrinsic extinction E_{B-V} from the observed color index at the maximum, $(B-V)_{\text{obs}} = 0.793 \pm 0.001$ (SMARTS Nova ATLAS), and hence, $E_{B-V} = 0.56 \pm 0.06$.

Furthermore, we estimate E_{B-V} of V5669 Sgr using DIBs, adopting the same procedure used for V407 Lup in [Izzo et al. \(2018\)](#). DIBs, and interstellar atomic absorption lines (IS) are also useful for estimating interstellar extinction. DIBs ($\lambda 5705.1$, $\lambda 5780.5$, $\lambda 5797.1$, $\lambda 6196.0$, and $\lambda 6613.6$) and IS (Na I D₁ D₂, Ca II H K, Ti II $\lambda 3242$, and Ti II $\lambda 3383$) are detected in our data on +24 and +28 d, because major components of IS of Na I D₁ D₂ and Ca II H K are heavily saturated, and DIB $\lambda 5797$ and $\lambda 6196$ are blended with other unidentified absorption lines in our spectra. We used two DIBs at $\lambda 6614$ and $\lambda 5780.5$ to estimate the extinction of V5669Sgr. Measurable DIBs and IS are listed in Table 7. The correlation coefficients between the hydrogen column density of interstellar gas (N_{H}) and these DIBs are given in Table 2 of [Friedman et al. \(2011\)](#). The averaged value of $N(\text{H}) = 2.06 \pm 0.26 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$, affording $E_{B-V} = 0.36 \pm 0.05$, where we adopt the general value for the interstellar hydrogen total column density of $N(\text{H})/E_{B-V} = 5.87 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} \text{ mag}^{-1}$ ([Bohlin et al. 1978](#)). Both W s of DIBs and IS Ti II of V5669 Sgr, which depend on the amount of IS should be larger than those of the V407 Lup ([Izzo et al. 2015](#)). Since we can only measure two DIBs, we use W s of Ti II $\lambda 3242$ and $\lambda 3383$ listed in Table 7 for our E_{B-V} estimation. Both W s of these Ti II lines and two DIBs in V5669 Sgr are larger than those in V407 Lup ($W = 101.0 \pm 5.8 \text{ \AA}$ and $W = 152.1 \pm 6.2 \text{ \AA}$ for Ti II $\lambda 3242$ and Ti II $\lambda 3383$, respectively; [Izzo et al. 2018](#)).

[Munari \(2014\)](#) reported the empirical relation between E_{B-V} and W s of DIB $\lambda 6614$ ($W_{\lambda 6614}$), $E_{B-V} = 4.40 \times W_{\lambda 6614}$. Adopting this relationship for measuring the measured W of DIB $\lambda 6614$ in V5669 Sgr, we obtain $E_{B-V} = 0.41 \pm 0.01$. The E_{B-V} estimated from DIBs $\lambda 6614$ agrees with their standard deviations.

DETECTION OF ${}^7\text{Be}$ II IN V5669 SGR

13

Table 7. List of Measured DIB and IS lines.

DIB/IS	W (+24d)	W (+28d)	$\log N(\text{H})$
	$\text{m}\text{\AA}$	$\text{m}\text{\AA}$	$\times 10^{21} \text{cm}^{-2}$
Ti II 3242	175.2 ± 1.4	134.8 ± 1.2	
Ti II 3383	234.0 ± 1.4	227.5 ± 1.4	
DIB 5780.5	338.3 ± 3.5	338.3 ± 3.5	2.62 ± 0.56
DIB 6613.6	91.7 ± 2.5	90.4 ± 2.6	1.62 ± 0.22

Finally, we obtained the average of extinction, $E_{B-V} = 0.44 \pm 0.03$, from the above three values. The absolute magnitudes of V5669 Sgr are estimated through the the maximum-magnitudes and rate-of-decline (MMRD) relation (e.g. della Valle & Livio 1995; Downes & Duerbeck 2000; Özdönmez et al. 2018). Then, we obtained the distance to the nova using the above E_{B-V} . We used the latest MMRD formulation for Fe II novae, suggested in Özdönmez et al. (2018) with t_2 , and obtained $M_V = -7.8 \pm 0.4$. Consequently, we identified the distance, $d = 10.0 \pm 1.9$ kpc using the averaged E_{B-V} with the assumption of $R_V = A_V/E_{B-V} = 3.1$. These results are shown in Table 1.

REFERENCES

- Althaus, L. G., Córscico, A. H., Isern, J., & García-Berro, E. 2010, *A&A Rv*, 18, 471
- Arai, A., Kawakita, H., Shinnaka, Y., & Tajitsu, A. 2016, *ApJ*, 830, 30
- Arnould, M., & Norgaard, H. 1975, *A&A*, 42, 55
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J., & Scott, P. 2009, *ARA&A*, 47, 481
- Barnsley, R. M., Smith, R. J., & Steele, I. A. 2012, *Astronomische Nachrichten*, 333, 101
- Bogges, A., Carr, F. A., Evans, D. C., et al. 1978, *Nature*, 275, 372
- Bohlin, R. C., Savage, B. D., & Drake, J. F. 1978, *ApJ*, 224, 132
- Cameron, A. G. W., & Fowler, W. A. 1971, *ApJ*, 164, 111
- Cescutti, G., & Molaro, P. 2019, *MNRAS*, 482, 4372
- Chambers, K. C., Magnier, E. A., Metcalfe, N., et al. 2016, arXiv e-prints, arXiv:1612.05560
- Chochol, D., Shugarov, S., Katysheva, N., & Volkov, I. 2015, in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects - III (Golden2015)*, 56
- della Valle, M., & Livio, M. 1995, *ApJ*, 452, 704
- Downes, R. A., & Duerbeck, H. W. 2000, *AJ*, 120, 2007
- Friedman, S. D., York, D. G., McCall, B. J., et al. 2011, *ApJ*, 727, 33
- Fujii, M. 2015, *IAUC*, 9277, 3
- Hachisu, I., & Kato, M. 2019, *ApJS*, 242, 18
- Hernanz, M., Jose, J., Coc, A., & Isern, J. 1996, *ApJL*, 465, L27
- Izzo, L., Della Valle, M., Mason, E., et al. 2015, *ApJL*, 808, L14
- Izzo, L., Molaro, P., Bonifacio, P., et al. 2018, *MNRAS*, 478, 1601
- José, J., & Hernanz, M. 1998, *ApJ*, 494, 680
- José, J., Shore, S. N., & Casanova, J. 2020, *A&A*, 634, A5
- Kato, M., Hachisu, I., & Cassatella, A. 2009, *ApJ*, 704, 1676
- Kramida, A., Yu. Ralchenko, Reader, J., & and NIST ASD Team. 2019, *NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.7.1)*, [Online]. Available: <https://physics.nist.gov/asd> [2016, January 31]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD., ,
- Molaro, P., Izzo, L., Bonifacio, P., et al. 2020, *MNRAS*, 492, 4975
- Molaro, P., Izzo, L., Mason, E., Bonifacio, P., & Della Valle, M. 2016, *MNRAS*, 463, L117
- Moore, C. E. 1972, *A multiplet table of astrophysical interest - Pt.1: Table of multiplets - Pt.2: Finding list of all lines in the table of multiplets*
- Munari, U. 2014, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 490, *On some Aspects of Optical Observations of Novae*, ed. P. A. Woudt & V. A. R. M. Ribeiro, 183
- Nakano, S., Itagaki, K., Kazarovets, E., & Samus, N. 2015, *IAUC*, 9277, 1
- Nilsson, H., Ljung, G., Lundberg, H., & Nielsen, K. E. 2006, *A&A*, 445, 1165
- Noguchi, K., Aoki, W., Kawanomoto, S., et al. 2002, *PASJ*, 54, 855
- Özdönmez, A., Ege, E., Güver, T., & Ak, T. 2018, *MNRAS*, 476, 4162
- Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., et al. 2011, *ApJS*, 192, 3
- Prantzos, N. 2012, *A&A*, 542, A67
- Rukeya, R., Lü, G., Wang, Z., & Zhu, C. 2017, *PASP*, 129, 074201
- Selvelli, P., Molaro, P., & Izzo, L. 2018, *MNRAS*, 481, 2261
- Starrfield, S., Bose, M., Iliadis, C., et al. 2020, *ApJ*, 895, 70
- Starrfield, S., Truran, J. W., Sparks, W. M., & Arnould, M. 1978, *ApJ*, 222, 600
- Tajitsu, A., Aoki, W., Kawanomoto, S., & Narita, N. 2010, *Publications of the National Astronomical Observatory of Japan*, 13, 1
- Tajitsu, A., Sadakane, K., Naito, H., Arai, A., & Aoki, W. 2015, *Nature*, 518, 381
- Tajitsu, A., Sadakane, K., Naito, H., et al. 2016, *ApJ*, 818, 191
- van den Bergh, S., & Younger, P. F. 1987, *A&AS*, 70, 125
- Walter, F. M., Battisti, A., Towers, S. E., Bond, H. E., & Stringfellow, G. S. 2012, *PASP*, 124, 1057
- Wenger, M., Ochsenbein, F., Egret, D., et al. 2000, *A&AS*, 143, 9
- Williams, R., Mason, E., Della Valle, M., & Ederoclite, A. 2008, *ApJ*, 685, 451
- Williams, R. E. 1992, *AJ*, 104, 725

DETECTION OF ${}^7\text{Be}$ II IN V5669 SGR

15

Williams, S. C., Darnley, M. J., Bode, M. F., &
Bode, M. F. 2015, *The Astronomer's Telegram*,
8101, 1

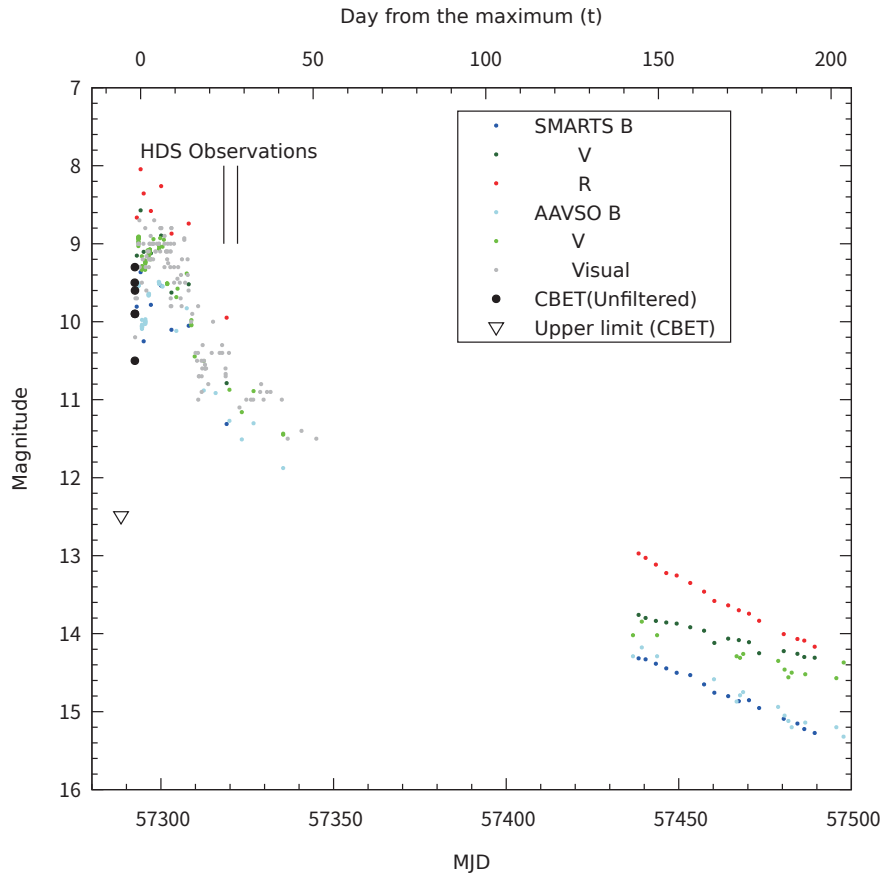


Figure 1. Light curves of V5669 Sgr. Photometric data were quoted from Nakano et al. (2015, CBET), the AAVSO Archives, and the Stony Brook/SMARTS Atlas. Vertical lines denote the time of our observations on +24 and +28 d.

DETECTION OF ${}^7\text{Be II}$ IN V5669 SGR

17

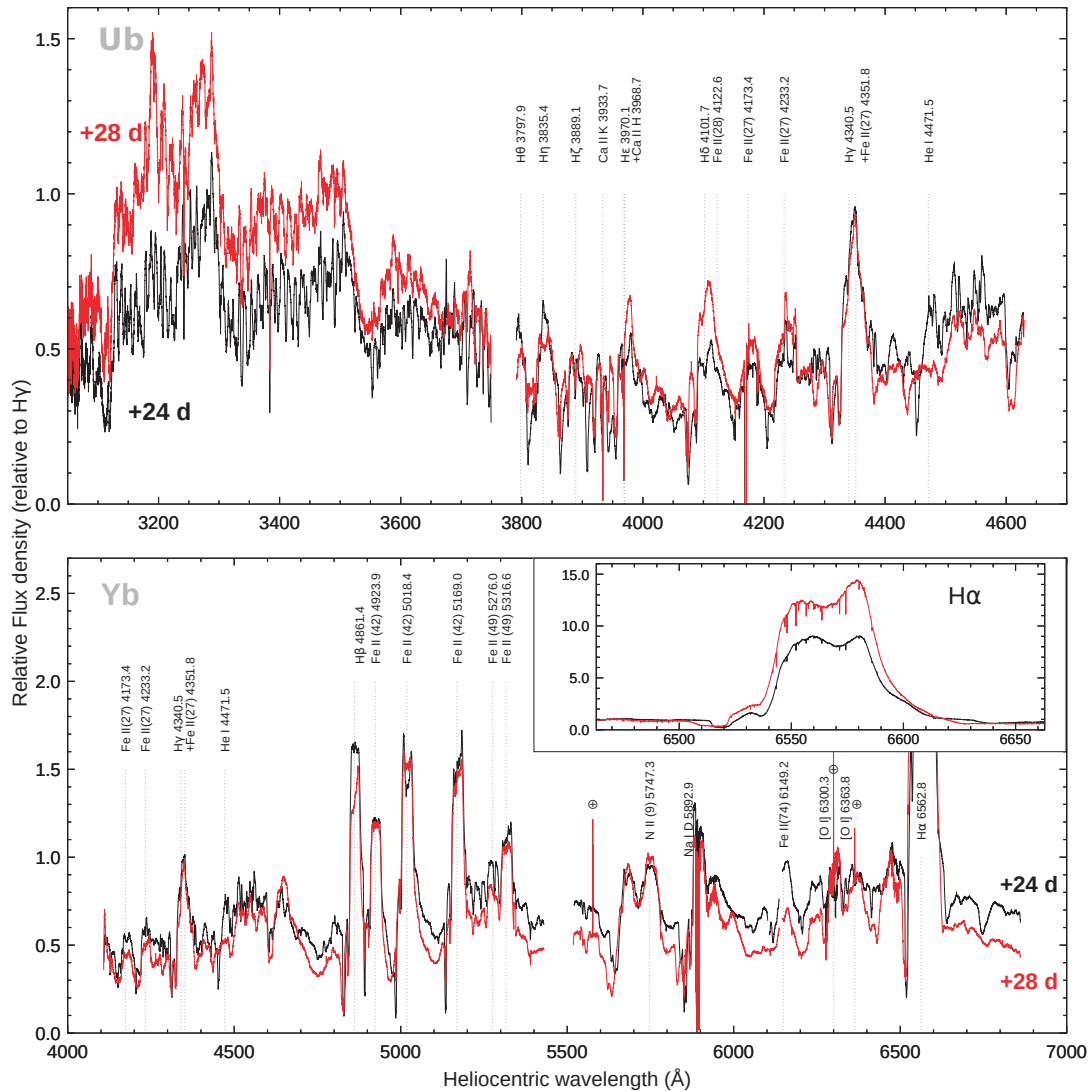


Figure 2. Overall spectra of V5669 Sgr on +24 d (black) and +28 d (red). The upper and lower panel show “Ub” region spectra (3050–4631 Å), and “Yb”-setting spectra (4108–6865 Å), respectively. The vertical axis denotes the relative flux density normalized with the peak of emission components of H γ included in both regions. Dotted lines show the line identifications of strong emission lines. Crossed circles indicate the telluric emission lines. The magnified view in H α is shown in the inset in the lower panel.

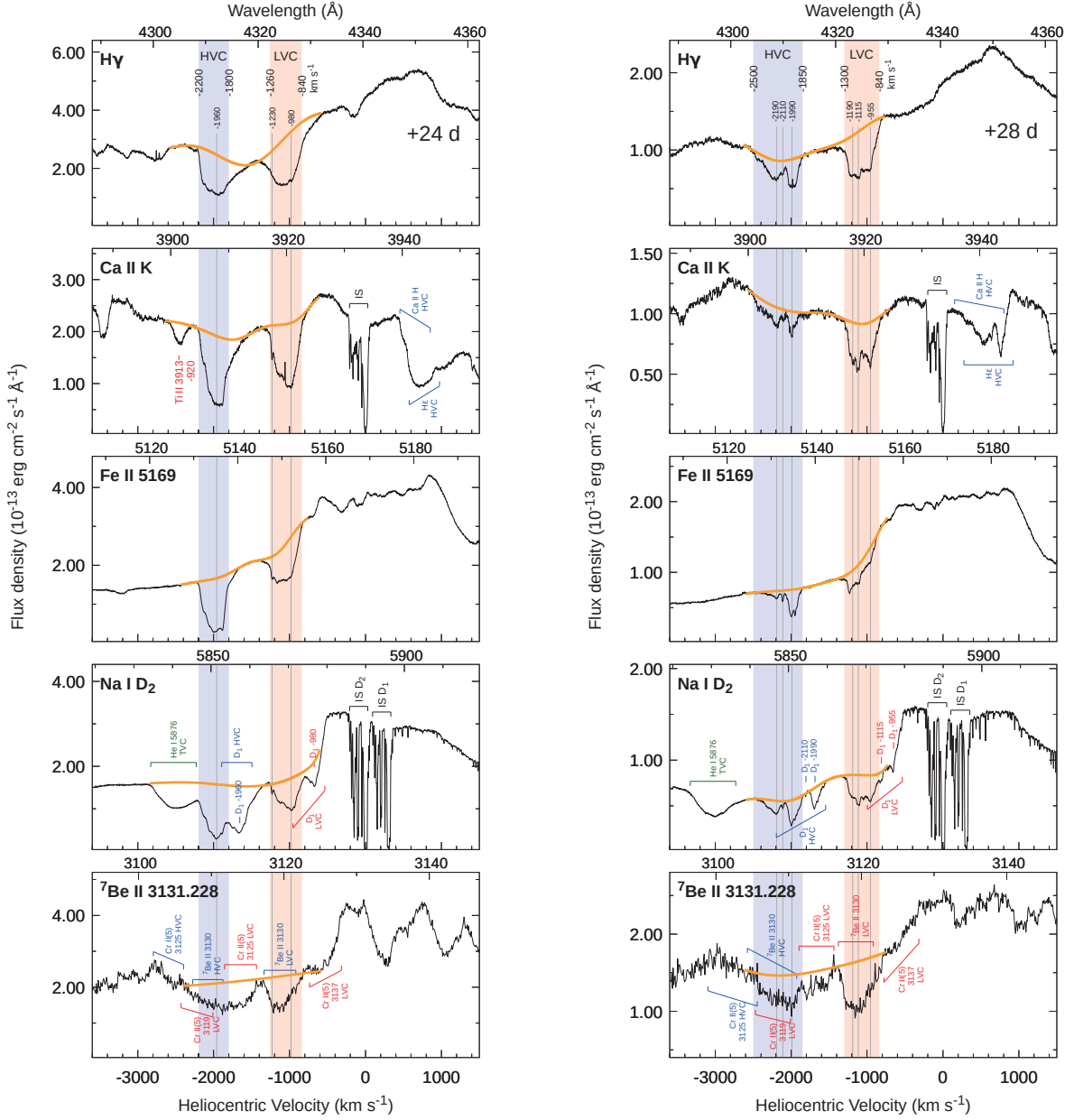


Figure 3. Velocity components in the major lines ($H\gamma$, Ca II K, ${}^7\text{Be II Na I D}_2$, and Fe II $\lambda 5169.028$) on +24d (left) and +28d (right). Orange curves indicate continuum fitting curves for these lines. Red and blue shaded regions indicate ranges of the LVC and HVC, respectively. Gray vertical lines are subcomponents in these absorption systems determined from $H\gamma$, Fe II $\lambda 5196.028$, and Ca II K.

DETECTION OF ${}^7\text{Be}$ II IN V5669 SGR

19

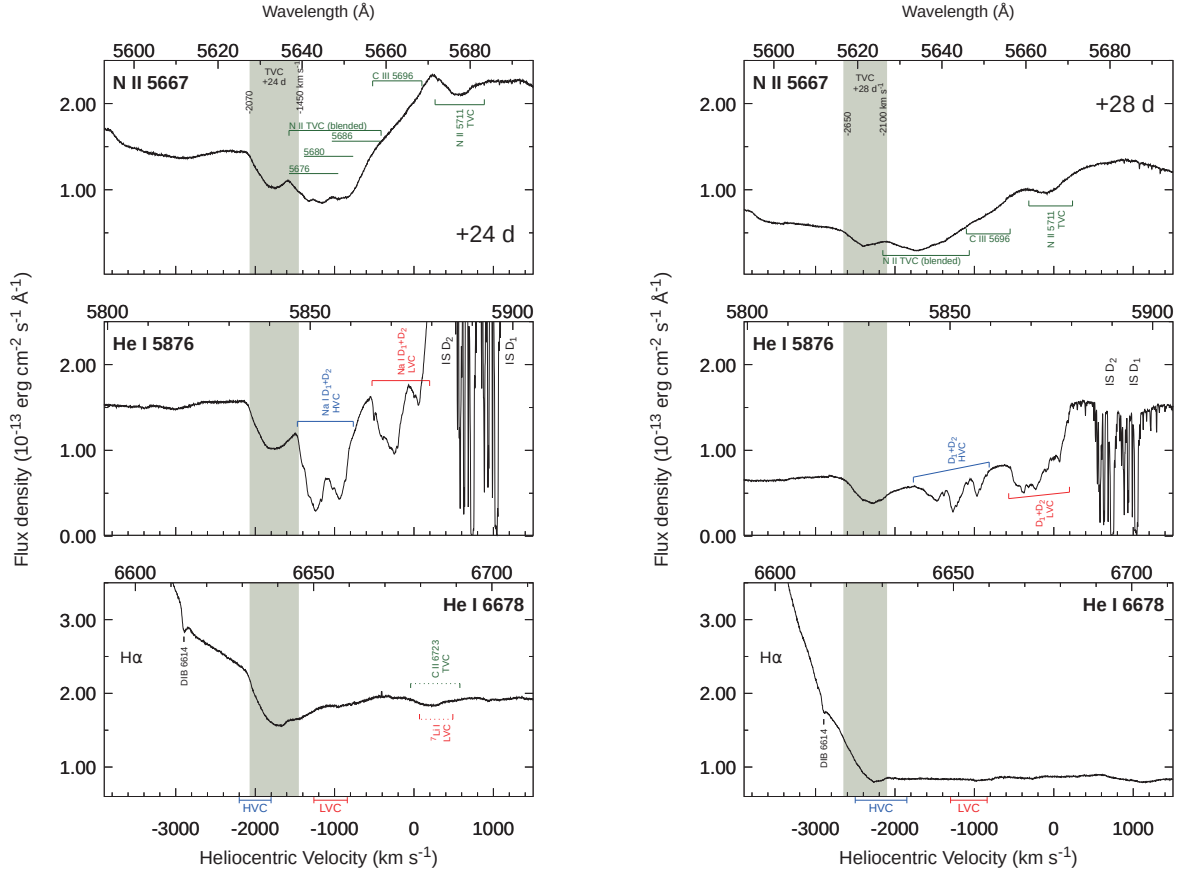


Figure 4. Temporal developments of the absorption component in the TVC (N II $\lambda 5666.63$, He I $\lambda 5875.621$, $\lambda 6678.151$). The left and right panels correspond to those on +24 and +28 d, respectively. The green shaded regions denote the velocity ranges of the TVC (Section 4.3) for these lines. Green horizontal lines with labels indicate expected positions of the TVC originating from other lines. Red and blue ones are LVC and HVC for other lines, respectively. The horizontal red and blue lines below the bottom axis show the velocity ranges of LVC and HVC on both epochs, respectively.

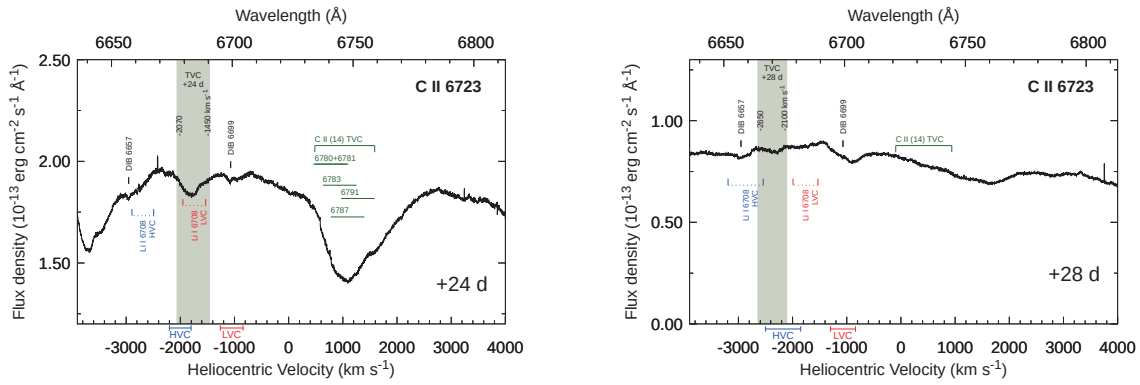


Figure 5. Same as Figure 4, but for the region of C II $\lambda 6723.32$ Å on +24 and +28 d.

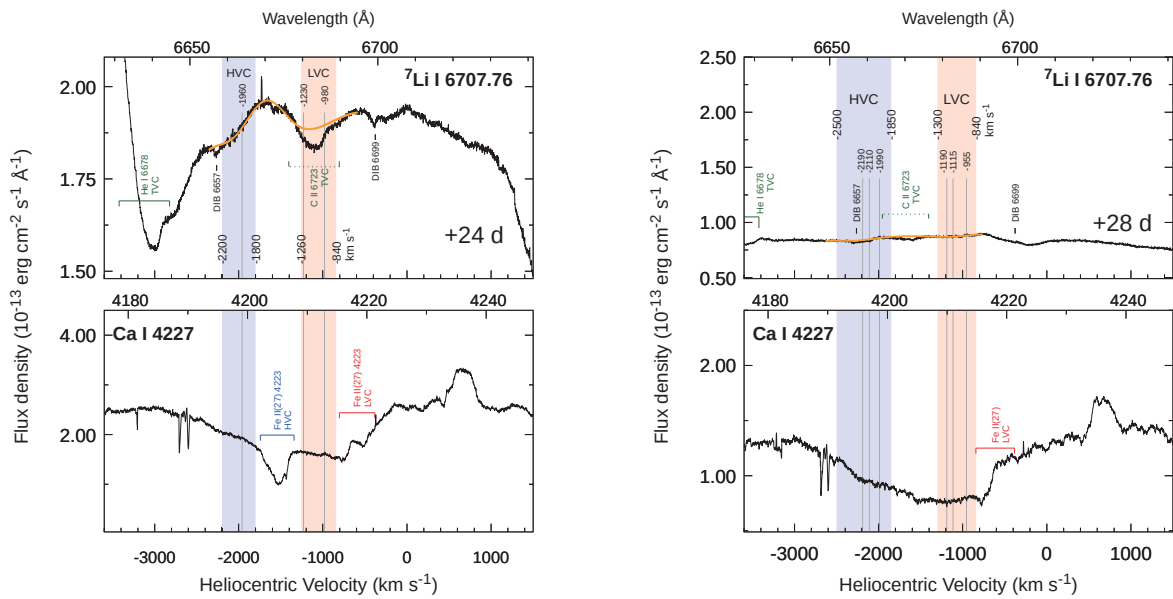


Figure 6. Same as Figure 3, but for regions of Ca I $\lambda 4226.73$ and Li I $\lambda 6707.76$. No significant absorption components of Ca I $\lambda 4226.73$ are present.

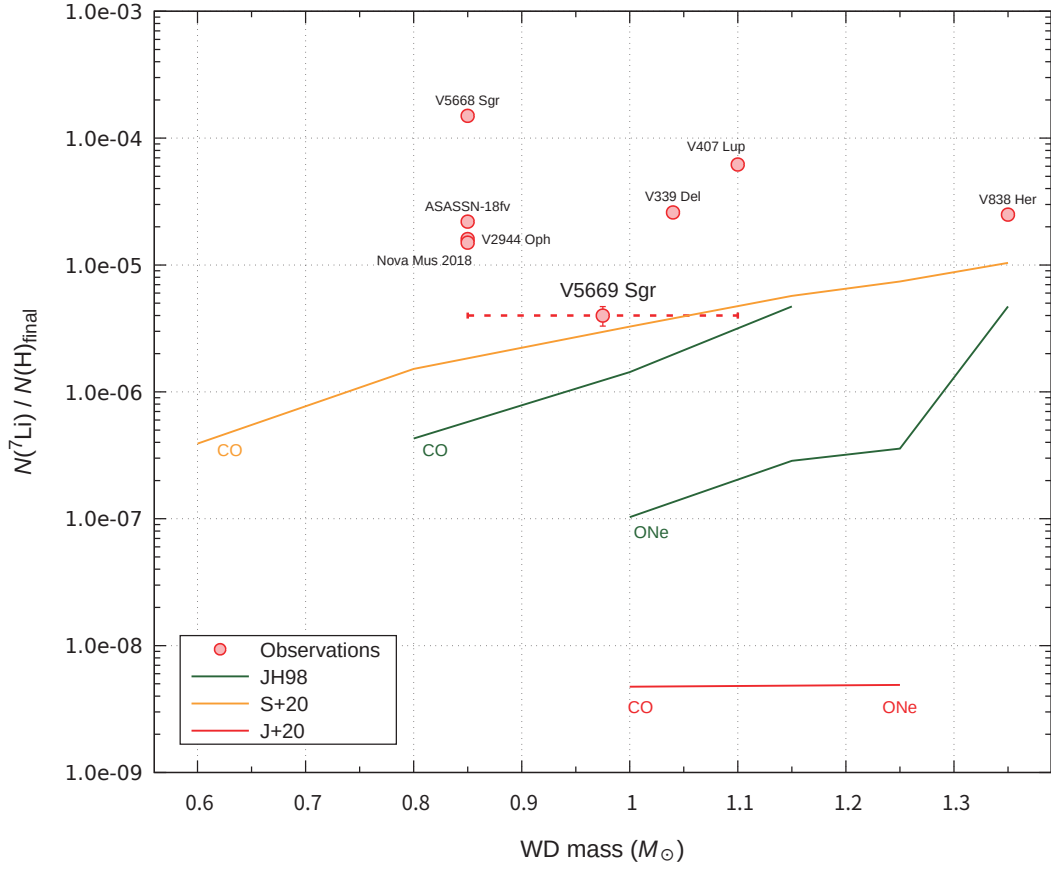







DETECTION OF ${}^7\text{Be}$ II IN V5669 SGR

Figure 7. Comparison with observed Li abundances and recent numerical simulations along with WD masses. Red bordered circles denote averages of observed abundances listed in Table 6. The dotted horizontal line with the value of V5669 Sgr shows the considerable WD mass range of V5669 Sgr. Note that WD masses for all observed novae, which have been estimated from the duration of their light curves, generally have similar large error bars. Since evaluating errors for each WD mass estimation is difficult, we simply plotted middle points of each estimated mass ranges for each observed nova. The green, orange, and red lines correspond to theoretical predictions; highest values for each WD mass in José & Hernanz (1998, JH98), the 25%–50% mixing model for only CO novae of Starrfield et al. (2020, S+20) and ‘123–321 models’ of José et al. (2020, J+20), respectively.

タイトル	:	Absorption Lines in the 0.91 – 1.33 μ m Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni
著者	:	<u>Kei Fukue</u> , <u>Noriyuki Matsunaga</u> , <u>Sohei Kondo</u> , Daisuke Taniguchi, <u>Yuji Ikeda</u> , <u>Naoto Kobayashi</u> , Hiroaki Sameshima, Satoshi Hamano, <u>Akira Arai</u> , <u>Hideyo Kawakita</u> , <u>Chikako Yasui</u> , Misaki Mizumoto, <u>Shogo Otsubo</u> , <u>Keiichi Takenaka</u> , Tomohiro Yoshikawa, Takuji Tsujimoto
関連出版	:	The Astrophysical Journal, Volume 913, Issue 1, id. 62, 15pp., (2021)

DRAFT VERSION MARCH 24, 2021
Typeset using L^AT_EX twocolumn style in AASTeX63

Absorption Lines in the 0.91–1.33 μm Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni

KEI FUKUE,¹ NORIYUKI MATSUNAGA,^{2,1} SOHEI KONDO,^{3,1} DAISUKE TANIGUCHI ,² YUJI IKEDA ,^{4,1}
NAOTO KOBAYASHI ,^{3,5,1} HIROAKI SAMESHIMA ,⁵ SATOSHI HAMANO ,⁶ AKIRA ARAI,¹ HIDEYO KAWAKITA,^{1,7}
CHIKAKO YASUI,^{6,1} MISAKI MIZUMOTO ,^{8,9} SHOGO OTSUBO,¹ KEIICHI TAKENAKA,⁷ TOMOHIRO YOSHIKAWA,¹⁰ AND
TAKUJI TSUJIMOTO 

¹Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy (LiH), Koyama Astronomical Observatory,
Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, Japan

²Department of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

³Kiso Observatory, Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 10762-30 Mitake, Kiso-machi, Kiso-gun, Nagano
397-0101, Japan

⁴Photocoding, 460-102 Iwakura-Nakamachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-0025, Japan

⁵Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-0015, Japan

⁶National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

⁷Department of Physics, Faculty of Science, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, Japan

⁸Department of Astronomy, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

⁹Hakubi Center, Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

¹⁰Edechs, 17203 Iwakura-Minami-Osagi-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-0003, Japan

(Received Month Day, 2020; Revised Month Day, Year; Accepted Month Day, Year)

Submitted to ApJS

ABSTRACT

Red giants show a large number of absorption lines in both optical and near-infrared wavelengths. Still, the characteristics of the lines in different wave passbands are not necessarily the same. We searched for lines of Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, and Ni I in the z' , Y , and J bands (0.91–1.33 μm), that are useful for precise abundance analyses, from two different compilations of lines, namely, the third release of Vienna Atomic Line Database (VALD3) and the catalog published by Meléndez & Barbuy in 1999 (MB99). We selected sufficiently strong lines that are not severely blended and ended up with 191 lines (165 and 141 lines from VALD3 and MB99, respectively), in total, for the six elements. Combining our line lists with high-resolution ($\lambda/\Delta\lambda = 28,000$) and high signal-to-noise (> 500) spectra taken with the WINERED spectrograph, we measured the abundances of the six elements in addition to Fe I of two prototype red giants, i.e., Arcturus and μ Leo. The resultant abundances show reasonable agreements with literature values within ~ 0.2 dex, indicating that the available oscillator strengths are acceptable, although the abundances based on the two line lists show systematic differences by 0.1–0.2 dex. Furthermore, to improve the precision, solid estimation of the microturbulence (or the microturbulences if they are different for different elements) is necessary as far as the classical hydrostatic atmosphere models are used for the analysis.

Keywords: Spectroscopy (1558); High resolution spectroscopy (2096); Spectral line identification (2073); Spectral line lists (2082); Stellar spectral lines (1630); Late-type giant stars (908); Near infrared astronomy (1093)

1. INTRODUCTION

A list of stellar absorption lines, containing their information such as wavelengths and oscillator strengths, is essential in the analysis of chemical abundances. Com-

Corresponding author: Kei Fukue, Noriyuki Matsunaga
k.fukue@cc.kyoto-su.ac.jp, matsunaga@astron.s.u-tokyo.ac.jp

pared to established lists of lines in the optical, however, the identification and characterization of absorption lines in the near-infrared range remains incomplete (see, e.g., [Andreasen et al. 2016](#); [Matsunaga et al. 2020](#)). The correct identification of lines is mandatory, and estimating the abundances cannot be done accurately without accurate calibration of the oscillator strengths, $\log gf$ ¹.

We focus on stellar absorption lines in the $z'YJ$ bands, 0.91–1.33 μm , in this paper. In [Kondo et al. \(2019, hereafter referred to as Paper I\)](#), we identified 107 Fe I lines that are useful for measuring the iron abundances in the spectra of two well-studied red giants (Arcturus and μ Leo). While the iron abundance is one of the most representative parameters that indicates how stars are chemically enriched, the abundances of other elements provide us with crucial information on the evolution of the Milky Way and nearby galaxies ([Freeman & Bland-Hawthorn 2002](#); [Feltzing & Chiba 2013](#)). Following [Paper I](#), the purpose of the current study is to extend the identification of lines in the $z'YJ$ bands to other elements, namely, Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, and Ni I. These elements show ~ 10 or more lines, as we see below, which would enable precise chemical measurements ([Adibekyan et al. 2015](#)).

In addition to the quality of the line list, the microturbulence, ξ , is a critical ingredient for performing abundance measurements. This parameter is not required as long as one deals with weak lines within the linear region of the curve of growth. However, in practice, stronger lines are often included in the analysis to secure a sufficient number of lines. The ξ is required to reproduce the saturated region of the curve of growth with classical 1D atmospheric models with the local thermodynamic equilibrium (LTE) assumed ([Gray 2005](#)), while 3D hydrodynamical models do not require ξ given as an external parameter ([Asplund 2000](#); [Amarsi et al. 2016](#)). The 3D models are also expected to include naturally the systematic effects caused by 3D/spherical structures in extended red giants ([Dobrovolskas et al. 2013](#)). Although the use of 3D hydrodynamical models has been gradually explored ([Jofré et al. 2019](#), and references therein), it is currently more common to use 1D models for the abundance analysis because it is easier to use and allows direct comparisons with previous results based on 1D models. In a classical approach with 1D models, a depth-independent ξ is estimated by demanding that the abundances estimated with individual lines show no dependency on line strengths, e.g., equivalent widths

(EWs, denoted as W) or reduced EWs (W/λ). This method requires many lines of the same element covering a wide range of strengths, and Fe I lines are most often used. In [Paper I](#), we performed a bootstrap analysis to determine ξ and its error by using more than 50 Fe I lines in the $z'YJ$ bands. Among the six elements we add in this paper, Si I and Ti I show many lines enough for doing the same analysis to determine ξ , and we compare the results obtained with these two elements with that obtained with Fe I.

2. SPECTRAL DATA AND LINE SELECTION

2.1. Observations and data

We investigate the same $z'YJ$ -band spectra used in [Paper I](#). The spectra of well-studied red giants (Arcturus and μ Leo) were collected with the WINERED cross-dispersed echelle spectrograph ([Ikeda et al. 2016](#)) with the WIDE mode, giving the resolution of $\lambda/\Delta\lambda = 28,000$. We carried out the observation on February 23, 2013, with the 1.3 m Araki Telescope at Koyama Astronomical Observatory, Kyoto Sangyo University, Japan (see more details in Table 1 of [Paper I](#)). The spectrum of a telluric standard, HIP 76267 (A1 IV), was used for the correction of telluric absorption lines with the method described in [Sameshima et al. \(2018\)](#). The wavelength ranges of the three bands in which the telluric lines can be well-corrected cover 0.91–0.93, 0.96–1.115, and 1.16–1.33 μm . The continuum of the spectra was normalized to the unity after the telluric correction. The signal-to-noise ratios (S/N) at around 12,500 \AA are $\sim 1,000$ before the telluric correction and are 850 and 720 in the final spectra of Arcturus and μ Leo, respectively. The stellar redshifts were corrected so that the absorption lines can be directly compared with those in synthetic spectra in the wavelength scale of standard air at rest.

2.2. Line selection

We followed the procedure described in [Paper I](#) to select the absorption lines that are relatively isolated and useful for precise abundance measurements. The details that support the following brief description are given in [Paper I](#).

We used two line lists, Vienna Atomic Line Database (VALD3; [Ryabchikova et al. 2015](#)) and the list published by [Meléndez & Barbuy \(1999, hereafter referred to as MB99\)](#), as the starting points of the line selection. VALD3 has an extensive collection of atomic lines, e.g., including more than 10,000 Fe I lines, and molecular lines covering the wavelength range of the $z'YJ$ bands. In our spectrum of Arcturus, [Ikeda et al. \(in preparation\)](#) identified atomic lines of various species, including more than 300 lines of Fe I together with other elements

¹ Here and elsewhere in this paper, we consider only the logarithm to base 10.

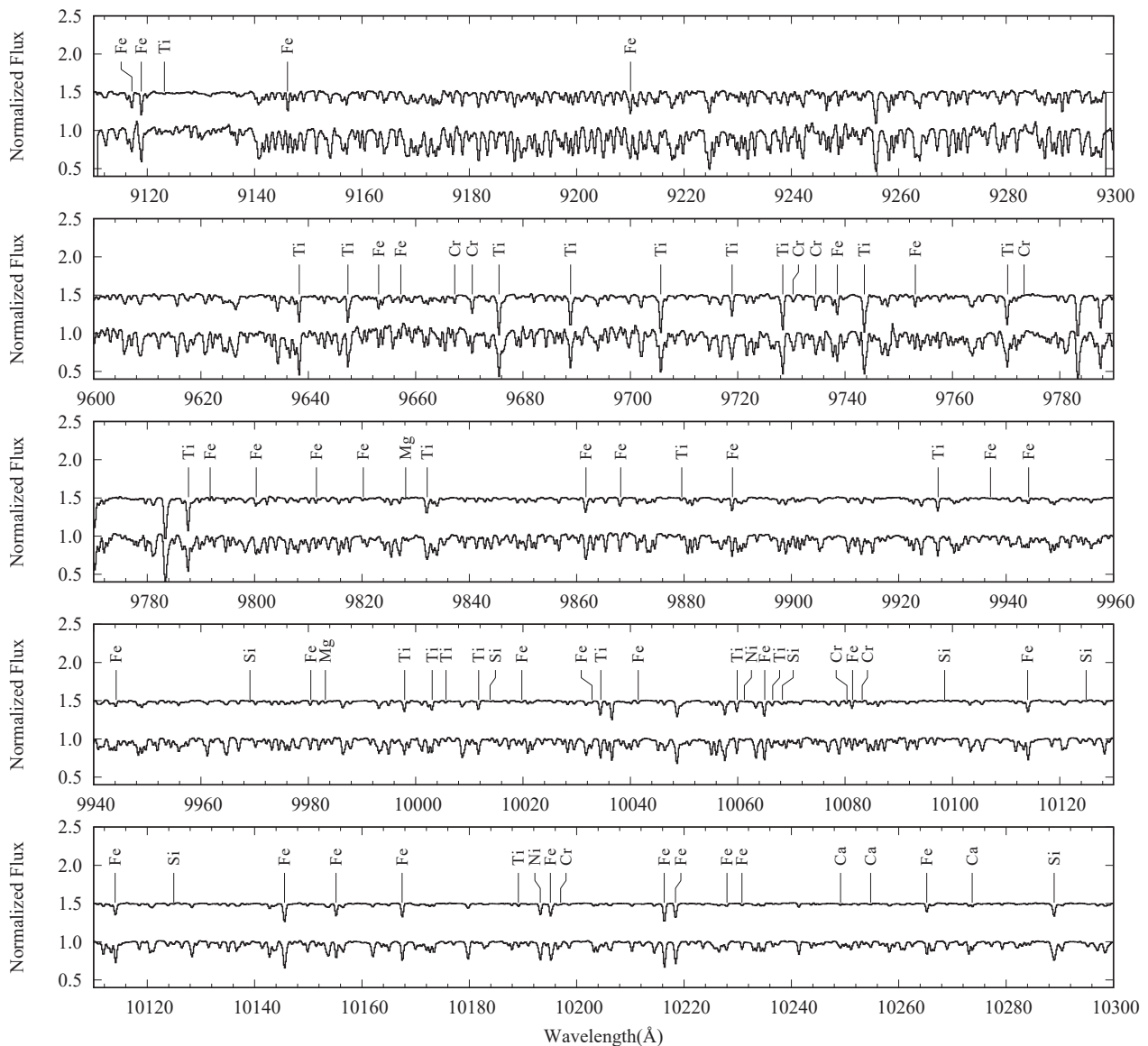


Figure 1. Selected absorption lines seen in Arcturus (upper) and/or μ Leo (lower). Their spectra are presented in the scale of wavelength in the standard air. Tables 1 and 2 give details of the lines selected from VALD3 and MB99, respectively.

(see a summary in Taniguchi et al. 2018, Section 3.2). MB99 used the solar spectrum for the line identification and the calibration of the $\log gf$ values, and compiled ~ 1000 atomic lines in $1.00\text{--}1.34\ \mu\text{m}$. The wavelength and the excitation potential (EP in eV) of each line are consistent between the two line lists, but the $\log gf$ values in the two lists tend to be significantly different. While we considered all the lines of the six elements in MB99 as candidates, the VALD3 lines detected by Ikeda et al. were included, rather than all the VALD3 lines, in the following analysis.

We performed the line selection for the six elements (Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, and Ni I) making use of synthetic spectra except for the final confirmation with the observed spectra. In the following analysis, we used the stellar parameters adopted from Heiter et al. (2015) as we did in Paper I; the effective temperature (T_{eff}), the surface gravity ($\log g$), and the global metallicity ($[M/H]$) are 4279 ± 40 K, 1.60 ± 0.18 dex, and -0.51 ± 0.06 dex for Arcturus, and 4520 ± 43 K, 2.36 ± 0.22 dex, and $+0.33 \pm 0.06$ dex for μ Leo. The spectral synthesis was done with SPTOOL developed by Y. Takeda (private communication), which utilizes

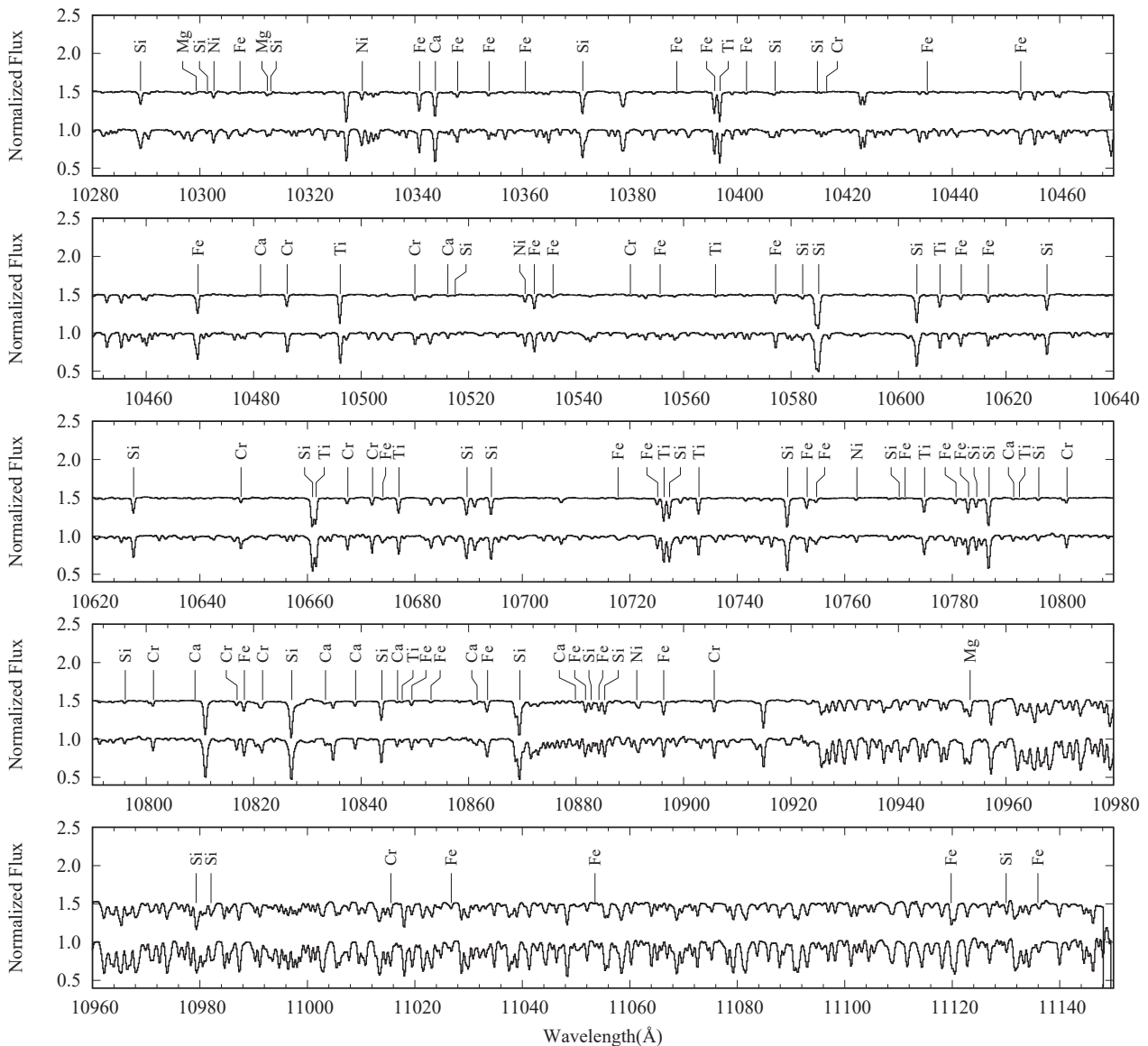


Figure 1. (Continued.)

the ATLAS9/WIDTH9 codes by R. L. Kurucz (Kurucz 1993). For each object, we considered two synthetic spectra for which the atomic lines of VALD3 or MB99 are considered (i.e., we avoided mixing atomic lines of the two lists in our spectral analysis). In both cases, we included lines of CN, CO, C₂, CH, and OH molecules using the list compiled by VALD3.

As the first step of the line selection, we excluded lines in the following three ranges, as they are severely affected by telluric lines: 9300–9600 Å, 11150–11600 Å, and longer than 13300 Å. Then, we measured the depths and central wavelengths of the lines in the synthetic

spectra for the two objects, Arcturus and μ Leo. If the depth of a line (the distance from the normalized continuum to the line minimum) was smaller than 0.03 in the synthetic spectra, the line was rejected. We also rejected lines with no minimum in the synthetic spectra for neither of the two objects within 5 km s⁻¹ around the expected wavelength. Besides, when two or more lines of the same element were detected within 30 km s⁻¹, we included only the strongest line if its X value was larger than those of the other neighboring line(s) by more than 0.5 dex; otherwise, we rejected all the lines in the narrow wavelength range. The X index is defined as

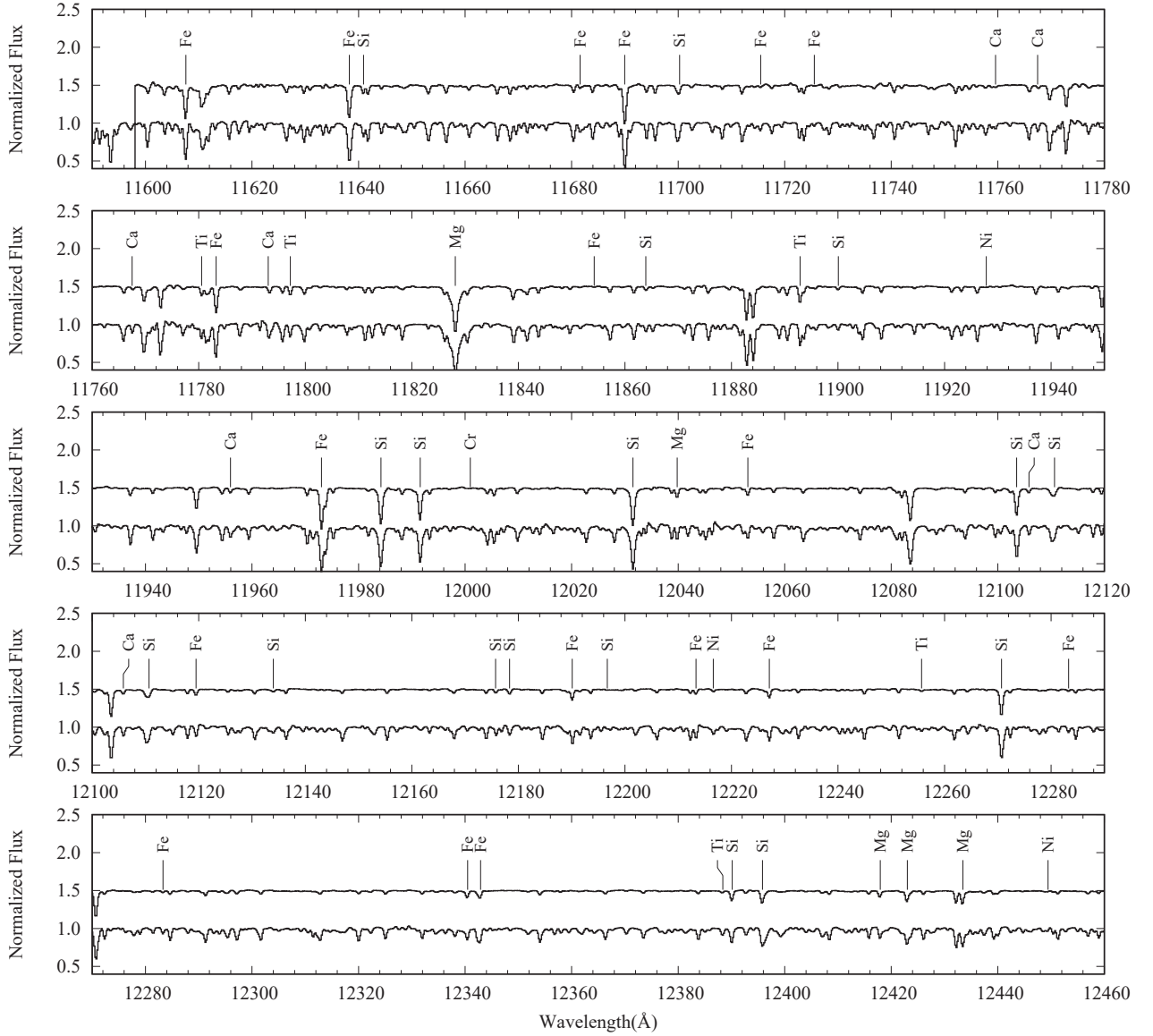


Figure 1. (Continued.)

$X \equiv \log gf - EP \times \theta_{\text{exc}}$, where $\theta_{\text{exc}} \equiv 5040/(0.86 T_{\text{eff}})$. It is a convenient indicator of line strength (Magain 1984; Gratton et al. 2006). These rejections, and also those in the following steps, were made independently for each combination of the line list (VALD3 or MB99) and the object (Arcturus or μ Leo).

The next step is to evaluate the blending of each target line with neighboring lines based on a few types of theoretical EWs. We used two kinds of synthetic spectra generated for each target line, i.e., the normal spectrum with all the lines included, f_{syn} , and the one with the target line removed, f_{syn}^{\dagger} . A normal EW around a target

line (λ_c) is given by

$$W_i = \int_{\lambda_c - \Delta_i/2}^{\lambda_c + \Delta_i/2} \{1 - f_{\text{syn}}(\lambda)\} d\lambda, \quad (1)$$

and we considered two different integration ranges, Δ_1 and Δ_2 , that correspond to velocities of 30 and 60 km s⁻¹, respectively. In addition, we calculated the EW of contaminating lines, W_i^{\dagger} , which was estimated by Equation (1) but using f_{syn}^{\dagger} . Combining these EWs, we consider two indices,

$$\beta_1 = W_1^{\dagger}/W_1, \quad (2)$$

$$\beta_2 = (W_2^{\dagger} - W_1^{\dagger})/W_1, \quad (3)$$

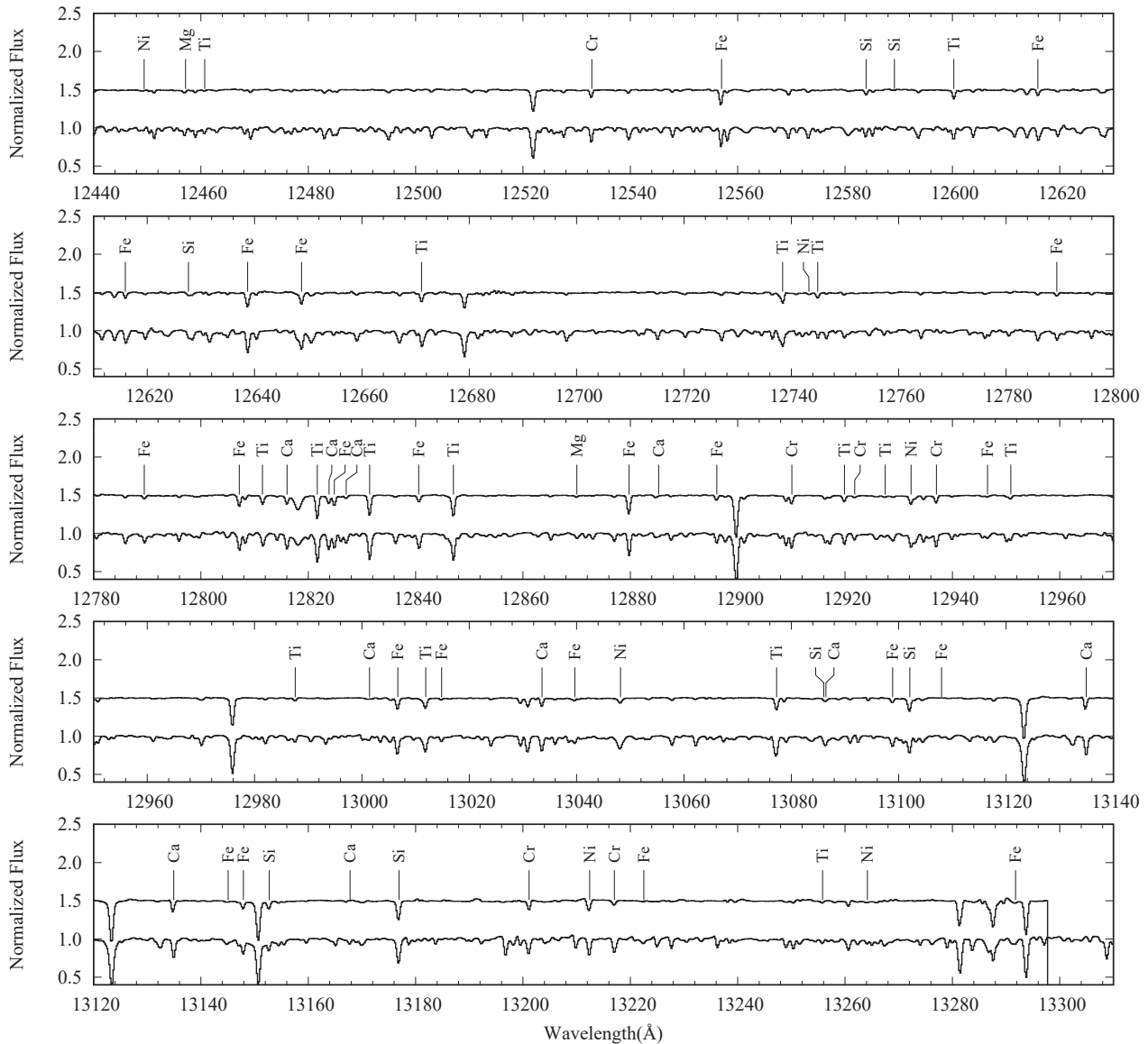


Figure 1. (Continued.)

as the indicators of blending. The former measures the contamination to the main part of each target line, and the latter measures the contamination mainly to the continuum part around the line. We rejected lines with $\beta_1 > 0.3$ or $\beta_2 > 1$ (see Figure 3 in Paper I for some examples with different β_1 and β_2 values). Finally, we examined whether the lines selected with the synthetic spectra exist in the observed spectra. We rejected Mg I 11820.982 (EP = 5.933, $\log gf = -1.520$) selected from VALD3, though not listed in MB99, because we could not confirm its absorption in the observed spectra.

From VALD3, we selected 12 lines for Mg I, 50 for Si I, 15 for Ca I, 50 for Ti I, 25 for Cr I, and 13 for Ni I (Table 1). From MB99, the numbers are slightly smaller except for Ca I: 8 for Mg I, 49 for Si I, 22 for Ca I, 34 for Ti I, 21 for Cr I, and 7 for Ni I (Table 2). For Fe I, 97 and 75 lines, respectively, from VALD3 and MB99 are adopted from Paper I and included in Tables 1 and 2. Some lines were selected only for one of the two objects owing to the large difference in metallicity; some lines were too weak in the metal-poor object, Arcturus, while some other lines were severely blended with neighboring lines in the metal-rich object, μ Leo. Figure 2 shows

Table 1. Lines Selected from VALD3 and Abundances

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
9117.1309	Fe I	2.8581	-3.454	-0.37	+0.36	0/2
9118.8806	Fe I	2.8316	-2.115	(s)	(s)	0/0
9123.2029	Ti I	3.1129	-0.619	-0.38	-1.84:	1/2
9146.1275	Fe I	2.5881	-2.804	-0.61	-0.35	0/2
9210.0240	Fe I	2.8450	-2.404	-0.65	(s)	0/1
9602.1301	Fe I	5.0117	-1.744	(w)	+0.11	0/1
9638.3043	Ti I	0.8484	-0.612	(s)	(s)	0/0
9647.3700	Ti I	0.8181	-1.434	(s)	(s)	0/0
9653.1147	Fe I	4.7331	-0.684	-0.61	+0.31	0/2
9657.2326	Fe I	5.0856	-0.780	-0.65	-0.20	0/2

NOTE— This is the first 10 lines, and the entire list is available as an online material. The wavelengths, λ_{air} , are given on the standard air scale. The abundances, $[X/H]$, for Arcturus and μ Leo are scaled with respect to the solar abundance in [Grevesse et al. \(2007\)](#), but the flags, (w), (s), (b), or (*) are given if we did not measure the abundances. The last column gives the flag of outlier(s), and the colon symbol (:) accompanies the abundances that were judged as outliers. See Section 3.1 about the flags.

EPs and $\log gf$ values of the selected lines. The lines of different elements tend to have different EPs; for example, Si I have high EPs ($\gtrsim 5$ eV), Ti I have low EPs ($\lesssim 3$ eV), while the EPs of Fe I lines range from ~ 2 to ~ 6 eV. The summary of the line selection for individual elements are given in Appendix A.

3. ABUNDANCE ANALYSIS

3.1. Measurements of individual lines

We measured the abundance by fitting a small spectral part, within $\pm 30 \text{ km s}^{-1}$, around each target line using the MPFIT tool ([Takeda 1995](#)) implemented in SP-TOOL as we did in [Paper I](#), but we made some changes. This tool can search for the best match between synthetic and observational spectra by iteratively varying the abundance and some other parameters, including the line broadening width. However, unlike in [Paper I](#), we fixed the line broadening width of each spectrum to 13.3 km s^{-1} for Arcturus and 12.0 km s^{-1} for μ Leo, which we determined by measuring the widths of hundreds of lines of various elements. These widths correspond to the full-width at the half-maximum of each absorption line and include the broadenings intrinsic to the stellar line profile and the instrumental broadening. As a matter of fact, the instrumental broadening of the WINERED with the WIDE mode is 12 km s^{-1} , significantly larger than the macroturbulence of Arc-

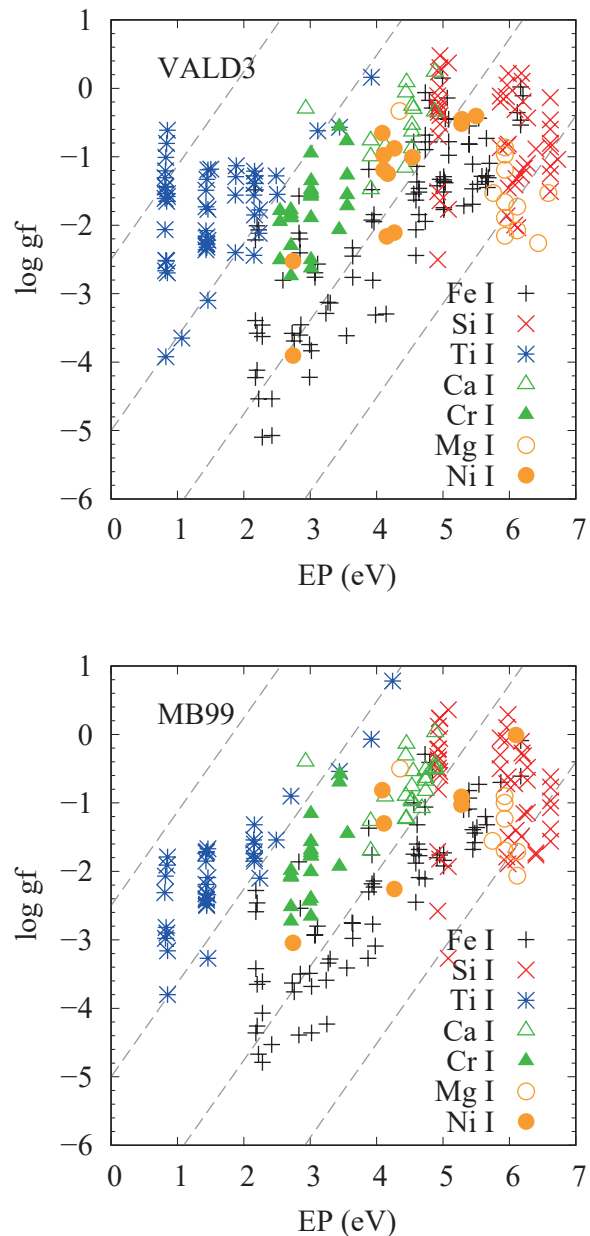


Figure 2. Excitation potential (EP) and the oscillator strength ($\log gf$) of the selected lines for six elements in addition to Fe. The lines selected from VALD3 (Table 1) and those from MB99 (Table 2) are presented in the upper and lower panels, respectively. The dashed lines show the contours of the X indicator, $\log gf - EP \times (5040 / (0.86 T_{\text{eff}}))$, for which T_{eff} of Arcturus (4286 K) is used. This indicator nicely predicts which lines are relatively strong (stronger towards the upper left corner) among each element, but the X scale differs from one element to another because it does not take the elemental abundances into account.

Table 2. Lines Selected from MB99 and Abundances

λ_{air}	Atom	EP	$\log gf$	Arcturus	μ Leo	flag
(Å)		(eV)	(dex)	(dex)	(dex)	
10003.09	Ti I	2.16	-1.32	-0.21	+0.19	0/2
10011.74	Ti I	2.15	-1.54	-0.03	(b)	0/1
10013.86	Si I	6.40	-1.73	(w)	-0.17	0/1
10019.79	Fe I	5.48	-1.44	(w)	+0.30	0/1
10032.86	Fe I	5.51	-1.36	(w)	+0.26	0/1
10034.49	Ti I	1.46	-2.09	+0.12	+0.65	0/2
10041.47	Fe I	5.01	-1.84	(w)	+0.51	0/1
10059.90	Ti I	1.43	-2.40	+0.02	+0.54	0/2
10065.05	Fe I	4.84	-0.57	-0.25	+0.52	0/2
10066.55	Ti I	2.16	-1.85	-0.10	+0.47	0/2

NOTE— This is the first 10 lines, and the entire list is available as an online material. The wavelengths, λ_{air} , are given on the standard air scale. The abundances, $[X/H]$, for Arcturus and μ Leo are scaled with respect to the solar abundance in Grevesse et al. (2007), but the flags, (w), (s), or (b) are given if we did not measure the abundances. The last column gives the flag of outlier(s), and the colon symbol (:) accompanies the abundances that were judged as outliers. See Section 3.1 about the flags.

turus (5.59 km s^{-1} ; Sheminova 2015) and that of μ Leo (2.9 km s^{-1} ; Smith et al. 2013). The microturbulence, ξ , was fixed at each run of the MPFIT fitting, and we combined the measurements with different ξ to estimate it (Section 3.2). Besides, for the spectral synthesis with the MPFIT, we used the abundance patterns of iron and the six elements adopted from Jofré et al. (2015) and of CNO adopted from Smith et al. (2013) for each of our targets (Table 3). When we change the global metallicity, $[M/H]$, of an atmospheric model, we increase or decrease $[X/H]$ by the same amount and keep these patterns. This is different from the analysis of Paper I in which we used the solar abundance pattern taken from Anders & Grevesse (1989) for both Arcturus and μ Leo. Using the abundance pattern of each object in Table 3, instead of the solar pattern, leads to better reproduction of contaminating lines in each target’s spectrum. When we measure the abundance of a particular element X, in contrast, we change its $[X/H]$ but keep the abundances of all the other elements.

MPFIT gives the abundances in the form of $\log \epsilon(X) = \log N_X / \log N_H + 12$, where N_X indicates the number density of the element X. We transformed this form to $[X/H] = \log \epsilon(X) - \log \epsilon(X)_\odot$ for which we adopted the solar compositions reported by Grevesse et al. (2007) that are given in Table 4. The compositions of Grevesse

Table 3. The reference abundances, $\log \epsilon(X)$, used in the MPFIT analysis and as the zero points of $[X/H]$

Z	X	Sun	Arcturus	μ Leo
		(AG89)	(G07)	
6	C	8.56	8.39	7.96 (S13) 8.52 (S13)
7	N	8.05	7.78	7.64 (S13) 8.71 (S13)
8	O	8.93	8.66	8.64 (S13) 9.05 (S13)
12	Mg	7.58	7.53	7.56 (J15) 8.18 (J15)
14	Si	7.55	7.51	7.24 (J15) 8.02 (J15)
20	Ca	6.36	6.31	6.00 (J15) 6.58 (J15)
22	Ti	4.99	4.90	4.56 (J15) 5.22 (J15)
24	Cr	5.67	5.64	5.00 (J15) 5.93 (J15)
26	Fe	7.67	7.45	6.93 (J15) 7.70 (J15)
28	Ni	6.25	6.23	5.68 (J15) 6.52 (J15)

References— AG89 = Anders & Grevesse (1989); G07 = Grevesse et al. (2007); S13 = Smith et al. (2013); J15 = Jofré et al. (2015)

et al. (2007) were also used in Smith et al. (2013) and Jofré et al. (2015), with the results of which we compared our measurements below.

We did not measure the abundances for the lines that were expected to be too weak, depth smaller than 0.03, and for those expected to be too much blended on the basis of β_1 and β_2 . The former and latter cases are indicated by the flags (w) and (b), respectively, in Tables 1 and 2. Besides, we decided not to measure the abundance for the lines whose depth is more than 0.35 in the synthetic spectra; the flag of (s) is given to these cases. In Paper I, we used the threshold of $X = -6$ for Fe I lines for avoiding very strong lines. Since the X indices of different elements cannot be directly compared, we consider the depth for this selection, and 0.35 in depth roughly corresponds to $X = -6$ in the case of Fe I (Figure 3). Based on synthesized absorption lines of Si I and Ti I, we also confirmed that the damping wing becomes important at the depth of 0.35 or more, which is consistent with Fe I lines. We note that this threshold in depth depends on the spectral resolution because the resolution of the WINERED is not high enough to resolve the intrinsic line profile. We include the strong lines in our list for completeness and also because they are expected to be weaker in metal-poor stars.

While MPFIT failed in Paper I to measure the abundance of μ Leo with nine Fe I lines mainly because of unexpected blends of strong lines, we measured the abundances with those Fe I lines successfully for Arcturus and/or μ Leo in the new analysis except Fe I 11119.795

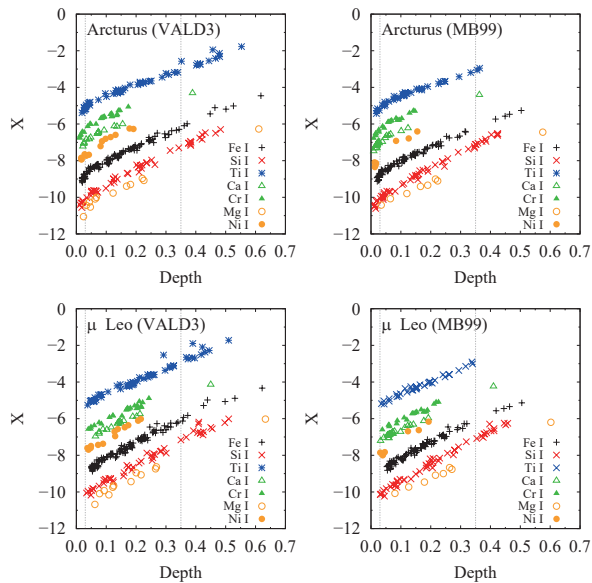


Figure 3. Relationship between the X indices and line depths in the synthetic spectra. This plot includes all the lines listed in Table 1 (for VALD3) and Table 2 (for MB99) regardless of whether they were selected or not for each object and whether their abundances were measured or not. The depths here include the absorption by contaminating lines if any. In our measurements, the ratio of equivalent width (EW) to depth is approximately 500 m\AA in the linear region ($\text{EW} \lesssim 50 \text{ m\AA}$), but the depth of 0.35 corresponds to $\text{EW} \simeq 190 \text{ m\AA}$.

which is too strong in both objects. Some of the lines are contaminated by a neighboring line (or lines) that is not well reproduced in the synthetic spectra, but fixing the broadening widths helps to find reasonable fits to the target lines without being disturbed by the contaminated profile too much. On the other hand, we could not measure $[\text{Si}/\text{H}]$ of μ Leo with Si I 10407.037 which looks severely disturbed with the absorption at $\sim 10406 \text{ \AA}$ that are present in the observed spectrum but not predicted by the synthetic spectrum. The flag of (*) is given to this case in Table 1.

3.2. Microturbulence and its effects

In Paper I, we applied a bootstrap approach to Fe I lines to determine the depth-independent microturbulence (ξ) and the iron abundance at the same time. In this method, we measure the Fe I abundances with individual lines for a grid of ξ values. Generally speaking, the estimate of $[\text{X}/\text{H}]$ tends to decrease with increasing ξ except for shallow lines whose EWs do not depend on ξ . The deeper, more saturated lines have the stronger dependency on ξ . Deep lines give higher (or

lower) $[\text{X}/\text{H}]$ than shallow lines at a lower (higher) ξ . It is naively expected that $[\text{X}/\text{H}]$ values with strong/weak lines agree at the true ξ . We consider the linear relation, $[\text{X}/\text{H}] = aX + b$, where X is the line strength indicator (Section 2.2), to represent the dependency of $[\text{X}/\text{H}]$ on line strength. The relation, in particular its slope, changes with varying ξ . A common approach for estimating ξ is to find ξ that gives $a = 0$ (see, e.g., Blackwell & Willis 1977; de Jager et al. 1984, for slightly different approaches). With the method in Paper I, we generate bootstrapping samples of the lines, each of which has a sequence of $(\xi, [\text{X}/\text{H}])$ values, and determine ξ together with $[\text{X}/\text{H}]$ for each bootstrapping sample repeatedly. Then, we evaluate the best estimates of the $(\xi, [\text{X}/\text{H}])$ of the star and their errors considering the distribution on the ξ - $[\text{X}/\text{H}]$ plane given by the bootstrapping samples.

Since we made some changes in measuring the abundances of individual lines (Section 3.1), we performed the bootstrap analysis on Fe I lines again. The resultant ξ and $[\text{Fe}/\text{H}]$, listed in Table 4, are consistent with the previous values in Paper I within uncertainties, but the errors get slightly smaller. In addition, we made the same analysis for Si I and Ti I. Among the elements we investigate, beside Fe I, the numbers of only Si I and Ti I lines are large enough for the bootstrap analysis for determining ξ together with the abundance. As shown in Table 4 and Figure 4, the ξ obtained for Si and Ti lines tend to be higher than those for Fe lines.

We performed the same bootstrap analysis for subsets of the Fe I, Si I, and Ti I lines to which we could apply the non-LTE correction. Bergemann et al. (2012, 2013) carried out non-LTE line formation calculations in the atmospheres of red supergiants for Fe, Ti, and Si, and discussed the consequences of non-LTE effects for the J -band analysis. It was found that non-LTE effects are small for J -band Fe I lines, but significant for Ti I and Si I lines. We calculated the non-LTE corrections on the lines of Fe I, Si I, and Ti I using their website². Their online tool gives the non-LTE corrections for the abundances obtained with individual lines for a given set of stellar parameters. We added the corrections to $[\text{X}/\text{H}]$ with individual VALD3 lines, and performed the same bootstrapping analysis, but with smaller numbers of lines, to calculate ξ and $[\text{X}/\text{H}]$. Not all the lines we selected are included in their tool, but dozens of the lines could be included in this analysis. Table 4 and Figure 4 present the resultant ξ and $[\text{X}/\text{H}]$. In the case of Arcturus, ξ gets slightly higher, but the non-LTE cor-

² http://nlte.mpia.de/gui-siuAC_secE.php

Table 4. Microturbulences and Abundances Obtained with Fe, Si, and Ti Lines

Atom	List	NLTE	N	ξ (km s^{-1})	[X/H] (dex)	r
<i>Arcturus</i>						
Fe I	MB99	—	53	$1.25^{+0.08}_{-0.08}$	$-0.45^{+0.03}_{-0.03}$	-0.872
Fe I	VALD	—	66	$1.28^{+0.14}_{-0.12}$	$-0.65^{+0.06}_{-0.06}$	-0.949
Fe I	VALD	NLTE	47	$1.42^{+0.21}_{-0.19}$	$-0.69^{+0.07}_{-0.07}$	-0.948
Si I	MB99	—	34	$1.83^{+0.10}_{-0.12}$	$-0.30^{+0.02}_{-0.03}$	-0.663
Si I	VALD	—	31	$1.68^{+0.29}_{-0.29}$	$-0.40^{+0.06}_{-0.05}$	-0.739
Si I	VALD	NLTE	21	$1.49^{+0.32}_{-0.37}$	$-0.41^{+0.09}_{-0.07}$	-0.835
Ti I	MB99	—	25	$1.58^{+0.24}_{-0.21}$	$-0.11^{+0.04}_{-0.04}$	-0.788
Ti I	VALD	—	34	$1.57^{+0.18}_{-0.15}$	$-0.34^{+0.04}_{-0.04}$	-0.937
Ti I	VALD	NLTE	32	$1.45^{+0.18}_{-0.15}$	$-0.22^{+0.04}_{-0.05}$	-0.907
<i>μ Leo</i>						
Fe I	MB99	—	67	$1.34^{+0.12}_{-0.12}$	$0.29^{+0.04}_{-0.04}$	-0.879
Fe I	VALD	—	85	$1.05^{+0.17}_{-0.17}$	$0.16^{+0.08}_{-0.07}$	-0.909
Fe I	VALD	NLTE	55	$1.04^{+0.22}_{-0.21}$	$0.14^{+0.10}_{-0.09}$	-0.903
Si I	MB99	—	38	$2.25^{+0.21}_{-0.20}$	$0.22^{+0.05}_{-0.05}$	-0.820
Si I	VALD	—	33	$1.67^{+0.46}_{-0.40}$	$0.21^{+0.07}_{-0.07}$	-0.834
Si I	VALD	NLTE	19	$1.52^{+0.54}_{-0.38}$	$0.21^{+0.07}_{-0.09}$	-0.871
Ti I	MB99	—	29	$2.11^{+0.40}_{-0.34}$	$0.26^{+0.06}_{-0.06}$	-0.834
Ti I	VALD	—	35	$1.81^{+0.35}_{-0.26}$	$0.10^{+0.07}_{-0.08}$	-0.921
Ti I	VALD	NLTE	30	$1.71^{+0.31}_{-0.24}$	$0.16^{+0.07}_{-0.08}$	-0.902

NOTE— The third column (NLTE) indicates whether the non-LTE correction was applied or not. The fourth column (N) indicates the number of lines used for estimating the microturbulence, ξ , and the abundance, [X/H]. The [X/H] are scaled with respect to the solar abundance in Grevesse et al. (2007). The last column (r) indicates the correlation coefficient (see the definition in Paper I) between ξ and [X/H].

rections for Fe I lines are mostly within 0.05 dex and have little impact on the ξ . In fact, the difference of 0.14 km s^{-1} with and without the non-LTE corrections can be explained by the difference in the lines used for the calculation; using the 47 lines to which we could apply the corrections leads to $\xi \sim 1.42 \text{ km s}^{-1}$ even if we do not apply the corrections. The non-LTE corrections are as large as 0.15 dex (or -0.15 dex) for some Si I and Ti I lines. In addition, there are weak correlations between the line strengths and the non-LTE correlations, leading to slightly lower ξ , though the impacts on (ξ , [X/H]) are not really significant (Figure 4). The same analysis can be done with the MB99 lines. However, the primary purpose of this part is to see the relative impact of the non-LTE corrections on the microturbulence, and

we examined the results with the non-LTE corrections only for the VALD3 line sets.

As the contours in Figure 4 suggest, the abundance we obtain depends on the microturbulence. If we fix ξ to the one obtained with Fe I lines, [Si/H] and [Ti/H] get higher than the ones obtained with the bootstrap analysis (Section 3.3). If we knew the true abundances, we would be able to determine the ξ that leads to accurate abundances. However, we cannot draw such a conclusion because previously reported values of [Si/H] and [Ti/H] have large scatters. Figure 5 compares our estimates with previous results for Arcturus (Thevenin 1998; Luck & Heiter 2005; Fulbright et al. 2007; Worley et al. 2009; Chou et al. 2010; Ramírez & Allende Prieto 2011; Britavskiy et al. 2012; Smith et al. 2013; Jofré et al. 2015) and μ Leo (McWilliam 1990; Thevenin 1998; Smith & Ruck 2000; Luck & Heiter 2007; Smith et al. 2013; Jofré et al. 2015). Here, we only refer to the reports in which the solar-abundance reference is apparent, and all the [X/H] are scaled with respect to the solar compositions in Grevesse et al. (2007). Regardless of which line lists are used and which of the ξ in Table 4 are used, our estimates are within the scatters of literature values.

Takeda (1992) investigated the microturbulence of Arcturus and found that different groups of lines tend to give different ξ showing the correlation with the depth of line forming layers (also see Gray 1981, for an earlier report on the depth-dependent ξ of Arcturus). They found that the derived ξ values depend on the properties of the line sets, e.g., the EPs and the ionization stage of the lines included; ξ tends to be smaller with the lines formed in the inner atmosphere used in the analysis. Roughly speaking, the depth of a line forming region is well correlated with the line strength as expected, while the EP and some other parameters have additional effects (Gurtovenko & Sheminova 2015). As seen in Figure 3, the distributions of depths of the Fe I, Si I, and Ti I lines used for the analysis are similarly broad and uniform between the shallowest (0.03) and the deepest (0.35). At least, not all the Si I and Ti I lines are formed in layers higher than Fe I lines. There appears to be no simple reason to expect that both Si I and Ti I give ξ higher than Fe I. Moreover, while determining ξ accurately requires large numbers of lines (Mucciarelli 2011), the numbers of lines available for each group tend to be limited. The problem with the limited numbers of lines is particularly severe with infrared spectra; in our case, we can use less than 100 lines even for Fe I, which results in the significant statistical errors in ξ . The limited line number prevents us from more detailed discussions such as using a subset of lines, e.g., those with high or

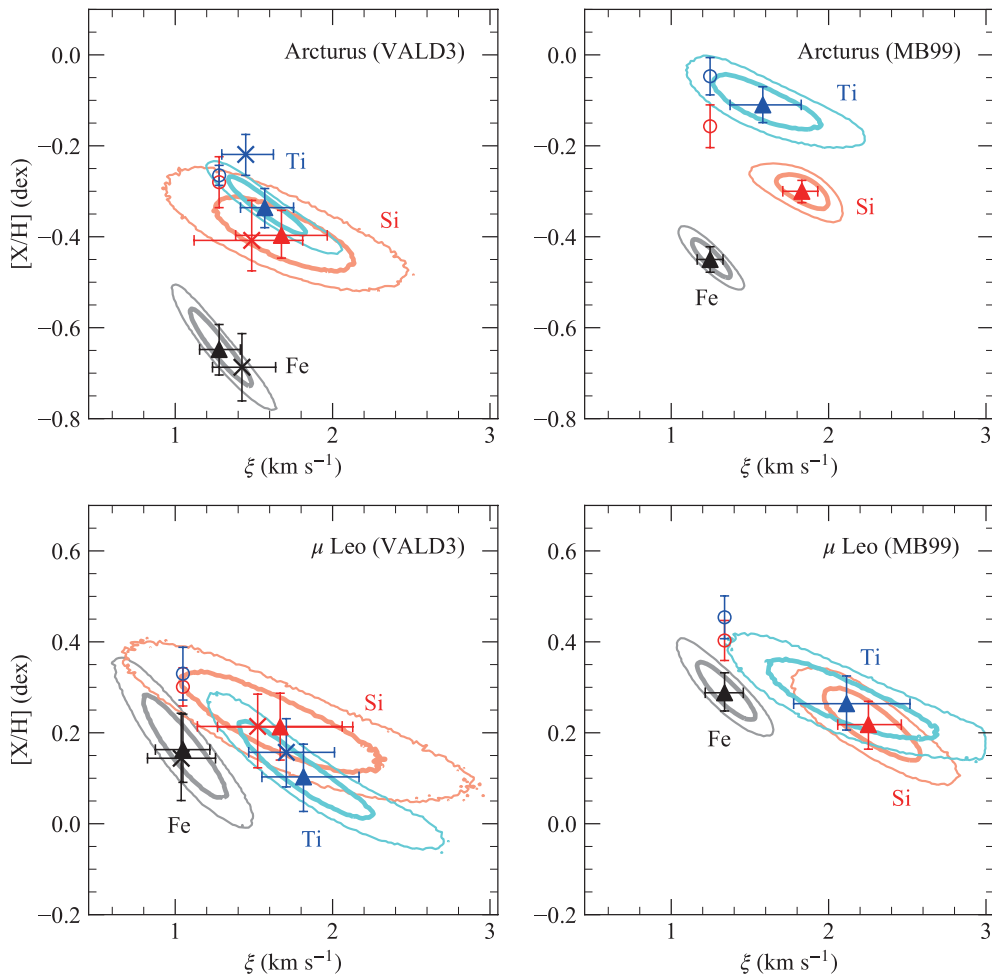


Figure 4. Solutions of the bootstrap method for measuring the abundance, $[X/H]$, and the microturbulence, ξ , for the three elements (Fe, Si, and Ti). Each of the four panels shows the results for a combination of the line list (VALD3 or MB99) and the object (Arcturus or μ Leo). The best estimates of $(\xi, [X/H])$ for individual atoms (listed in Table 4) are indicated by filled triangles, and the contours indicate the ranges around the best estimate encircling 68.26% (inner) or 95.44% (outer) of the bootstrap samples. The best estimates and contours are presented in different colors for different elements: Fe in black, Si in red, and Ti in blue. For the analysis with VALD, the results with the non-LTE corrections included (also listed in Table 4) are indicated by ‘x’ markers. Open circles for Si and Ti indicate the best estimates with ξ fixed to that obtained for Fe (listed in Table 5).

low EPs only, for the ξ estimation (see the simulation described in Appendix B concerning the number of lines required for the bootstrap analysis). Moreover, we did not apply the method for determining ξ with the line of the other elements (i.e., Mg I, Ca I, and Ni I) because each of these elements give less than ~ 10 lines.

Considering the above situation, we fix ξ to the one determined for Fe I and use it for other elements, which is a standard procedure of the classical analysis involved with the depth-independent ξ . Moreover, the abundances measured with the same approach should be used

together in discussions about the features on $[\text{Fe}/\text{H}]$ – $[\text{X}/\text{Fe}]$ diagrams, and it is more common to fix ξ to the one estimated with Fe I lines. The depth dependency of ξ is an important and interesting issue. Still, the primary purpose of this paper is the line identification, neither determining the depth-dependent ξ nor precise calibration of the oscillator strengths of individual lines.

3.3. Abundances of the six elements and iron

In the following analysis, we used the ξ that we obtained with Fe I lines without the non-LTE effect corrected to measure the abundances of the six elements

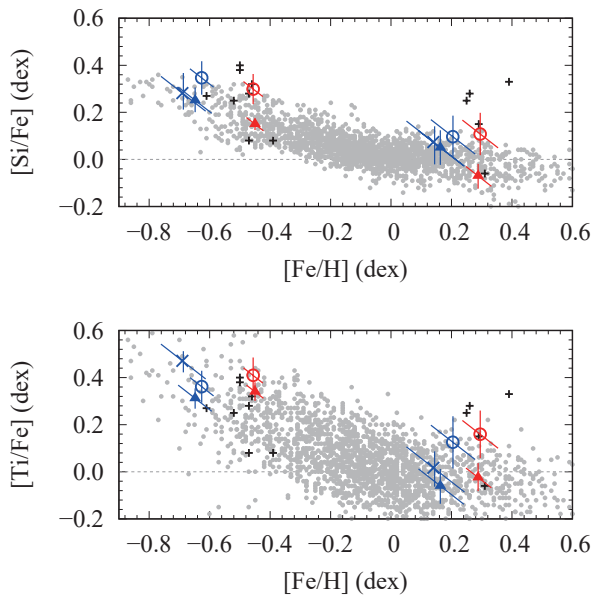


Figure 5. Comparison of the abundances of Arcturus and μ Leo derived by using different methods and line lists on the $[X/Fe]$ – $[Fe/H]$ diagrams. The results based on the VALD3 lines are illustrated in blue, and those based on the MB99 lines in red. The two objects have distinctly different metallicities (Arcturus being metal poor), and the same markers are used for both of them within each panel. Filled triangles indicate the results with the microturbulences estimated for individual elements with all the available lines used, while the VALD3 lines for which the non-LTE effects were taken into account were used for the results indicated by ‘x’ marker (Table 4). The microturbulences were fixed to those obtained with Fe I lines to give the results indicated by open circles (Table 5). Small ‘+’ markers indicate the literature results for the two objects (references given in text). The gray small dots indicate the abundances of red giants with the APOGEE and Kepler data obtained by [Hawkins et al. \(2016\)](#). Two error bars are given to each point for representing Δ_{tot} in $[Fe/H]$ (sloped) and Δ_{tot} in $[X/H]$ (vertical). The total error, Δ_{tot} (Equation 4), is explained in Section 3.3.

(Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, and Ni I) as well as Fe I. For each combination of the object (Arcturus and μ Leo) and the line list (VALD3 or MB99), we made the MPFIT measurements with the ξ obtained for Fe I (Table 4). Tables 1 and 2 list thus obtained abundances with individual lines selected for each combination. The flags of (w) or (b) are given to the lines that were not selected because they are weak or blended (according to β_1 and β_2). The abundances of the lines with the (s) flag were not measured because they are selected but deeper than 0.35 in depth, while the flag of (*) is given to Si I 10407.037 in the case of μ Leo (see Section 3.1).

Table 5 lists the number, N , of the lines with which we measured $[X/H]$ together with the standard deviation (SD) and the interquartile range (IQR) of the N values for each combination of line list and object. Figure 6 shows box plots of derived abundances. We took the median of the N values as the best estimate of the abundance. To estimate its error, we took a bootstrap approach; we generated 10000 bootstrapping samples of the N values and calculated the SD of the 10000 median values from individual bootstrapping samples. This SD, Δ_{med} , is considered as the statistical error of the final $[X/H]$. We obtained these estimates for seven elements, including Fe I (Table 5). It is worthwhile to note that both SDs and IQRs are large for many combinations of line list and object, IQR $\gtrsim 0.15$ dex for Arcturus and IQR $\gtrsim 0.25$ dex for μ Leo. Moreover, the ratio of IQR to SD is expected to be 1.35 for the Gaussian distribution, but the ratios in Table 5 are not normal for some combinations. These suggest that the $\log gf$ values in the current lists are not sufficiently precise, and the errors for some lines are particularly large, leading to outliers. We will come back to this point in Section 3.4.

We also estimated how much the uncertainties in the stellar parameters (T_{eff} , $\log g$, $[M/H]$, and ξ) affect the estimates of the abundances. We adopt the error in each parameter from [Heiter et al. \(2015\)](#) as the offset, σ_p , given in Table 6. To evaluate the effects of changing these parameters, we added positive and negative offsets to each parameter of the atmosphere models one by one. For each offset, we ran MPFIT and measured how much the abundance of each line is altered by the offset. We then took the median of the relative changes as the impact of each parameter on the abundance, Δ_p , where p is one of the stellar parameters. If the sizes of the positive and negative offsets are different from each other, we consider the root-mean-squares for σ_p and/or Δ_p ; e.g., σ_ξ tends to be asymmetric, and σ_ξ and Δ_ξ in Table 6 are the root-mean-squares. Figure 7 shows the Δ_p corresponding to the positive σ_p offsets of each parameter for Arcturus with VALD3 used for the measurements. The size of Δ_p varies with the element, and the sign of Δ_p also differs from one element to another in the case of $\Delta_{T_{\text{eff}}}$. The trends of Δ_p seen in Figure 7 are similar in the other combinations of line list and object. The trends for individual elements are described in Appendix A.

The trend of $\Delta_{\log g}$ is noteworthy. This dependency on $\log g$ is very small for Ca I, Ti I, and Cr I, in particular, while it is non-zero for other elements. For the three elements, the first ionization stage dominates in the entire range of line-formation layers relevant to this study, and the line absorption coefficient (l_ν) is expected

Table 5. Abundances Obtained Based on the Two Line Lists

Atom	List	N	SD	IQR	$[X/H]$
			(dex)	(dex)	(dex)
<i>Arcturus</i>					
Mg I	VALD3	10	0.235	0.264	-0.176 ± 0.074
Mg I	MB99	6	0.100	0.056	-0.173 ± 0.042
Si I	VALD3	31	0.220	0.298	-0.280 ± 0.056
Si I	MB99	34	0.179	0.295	-0.157 ± 0.047
Ca I	VALD3	11	0.177	0.149	-0.370 ± 0.040
Ca I	MB99	7	0.378	0.120	-0.218 ± 0.116
Ti I	VALD3	34	0.120	0.107	-0.265 ± 0.022
Ti I	MB99	28	0.309	0.206	-0.047 ± 0.041
Cr I	VALD3	18	0.262	0.161	-0.608 ± 0.032
Cr I	MB99	14	0.094	0.104	-0.443 ± 0.030
Fe I	VALD3	66	0.196	0.174	-0.626 ± 0.018
Fe I	MB99	53	0.100	0.120	-0.456 ± 0.018
Ni I	VALD3	9	0.151	0.232	-0.581 ± 0.070
Ni I	MB99	3	0.125	0.143	-0.363 ± 0.119
<i>μ Leo</i>					
Mg I	VALD3	9	0.426	0.256	0.307 ± 0.122
Mg I	MB99	7	0.384	0.105	0.166 ± 0.115
Si I	VALD3	34	0.293	0.384	0.301 ± 0.042
Si I	MB99	36	0.313	0.284	0.403 ± 0.044
Ca I	VALD3	13	0.278	0.216	0.277 ± 0.054
Ca I	MB99	20	0.239	0.213	0.341 ± 0.034
Ti I	VALD3	36	0.433	0.341	0.330 ± 0.058
Ti I	MB99	31	0.243	0.332	0.454 ± 0.047
Cr I	VALD3	25	0.234	0.316	0.248 ± 0.052
Cr I	MB99	21	0.203	0.236	0.361 ± 0.054
Fe I	VALD3	84	0.309	0.353	0.205 ± 0.033
Fe I	MB99	68	0.167	0.247	0.295 ± 0.027
Ni I	VALD3	11	0.405	0.602	0.383 ± 0.182
Ni I	MB99	7	0.391	0.774	0.067 ± 0.279

NOTE— For each combination of line list and object, N lines were used for the abundance measurements with the microturbulence, ξ , fixed. The abundances from N individual lines, showing the standard deviation (SD) and the interquartile range (IQR) in the table, were combined to obtain the final abundance, $[X/H]$, and its error.

to be proportional to the electron pressure. The continuum absorption coefficient (κ_ν) is also proportional to the electron pressure around T_{eff} of our targets because it is dominated by the negative hydrogen (H^-). Then, the line depths ($\approx l_\nu/\kappa_\nu$) are expected to be insensitive to the electron pressure and to the surface gravity as suggested by the small $\Delta_{\log g}$ (Gray 2005; see, also, Jian

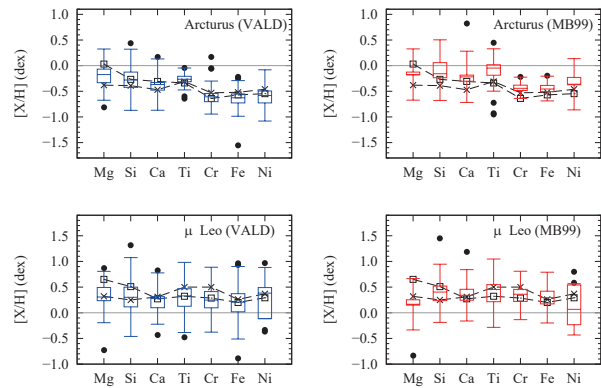


Figure 6. Box plots of abundances derived with individual lines for each combination of object and line list. The lower, middle, and upper lines of a box indicate the quartiles (the 25 percentile, the median, and the 75 percentile). The upper and lower extremes of the whiskers indicate the thresholds of the outlier detection, and black filled circles indicate the outliers (discussed in the text). Crosses and squares indicate the abundance ratios reported by Smith et al. (2013) and Jofré et al. (Jofré et al. 2014 for Fe and Jofré et al. 2015 for the other elements), respectively.

et al. 2020). In case of other elements, in contrast, weak lines are formed in more ionized layers (the ionization fraction ~ 60 to almost 100%), while the ionization fraction drops significantly, down to a few percent in some cases, in the forming layers of strong lines. This results in the non-zero dependency on $\log g$. This explains the $\Delta_{\log g}$ presented in Figure 7 well.

Combining the Δ_p values with the statistical error (Δ_{med}) estimated with the bootstrap analysis, we calculated the total error, Δ_{tot} , by

$$\Delta_{\text{tot}}^2 = \Delta_{T_{\text{eff}}}^2 + \Delta_{\log g}^2 + \Delta_{[M/H]}^2 + \Delta_{\xi}^2 + \Delta_{\text{med}}^2 \quad (4)$$

where we ignored the covariant terms as we did in Paper I. The stellar parameters used for Figure 2 of Paper I show no clear correlation between any two of them (T_{eff} , $\log g$, $[M/H]$, and ξ). The results are given in Table 6.

3.4. Comparison with previous results

Figure 8 compares our two estimates of $[X/H]$ based on the VALD3 and MB99 for each element with those reported by Smith et al. (2013) and Jofré et al. (2014; 2015). The former study used H -band spectra, whereas the latter used optical spectra. The total errors, Δ_{tot} in Table 6, are used for the error bars for our results. The errors we use for the results in Smith et al. (2013) and Jofré et al. also combine statistical errors and systematic errors. The definition of the statistical errors given in their works is, however, different from that of

Table 6. Effects of Stellar Parameters and Abundance Errors

Δ_p	σ_p	Mg I	Si I	Ca I	Ti I	Cr I	Fe I	Ni I
<i>Arcturus with VALD3</i>								
$\Delta_{T_{\text{eff}}}$	± 35 K	± 0.001	∓ 0.029	± 0.015	± 0.060	± 0.038	± 0.003	∓ 0.011
$\Delta_{\log g}$	± 0.06 dex	± 0.001	± 0.014	∓ 0.000	± 0.002	± 0.001	± 0.011	± 0.015
$\Delta_{[\text{M}/\text{H}]}$	± 0.08 dex	± 0.021	± 0.022	∓ 0.003	∓ 0.003	∓ 0.001	± 0.014	± 0.019
Δ_{ξ}	± 0.08 km s $^{-1}$	∓ 0.005	∓ 0.020	∓ 0.009	∓ 0.022	∓ 0.017	∓ 0.030	∓ 0.019
Δ_{med}	—	0.074	0.056	0.040	0.022	0.032	0.018	0.070
Δ_{tot}	—	0.077	0.071	0.044	0.068	0.052	0.039	0.077
<i>Arcturus with MB99</i>								
$\Delta_{T_{\text{eff}}}$	± 35 K	± 0.000	∓ 0.030	± 0.015	± 0.062	± 0.037	± 0.008	∓ 0.010
$\Delta_{\log g}$	± 0.06 dex	± 0.003	± 0.015	∓ 0.001	± 0.003	± 0.001	± 0.011	± 0.017
$\Delta_{[\text{M}/\text{H}]}$	± 0.08 dex	± 0.019	± 0.023	∓ 0.003	∓ 0.003	∓ 0.001	± 0.014	± 0.018
Δ_{ξ}	± 0.13 km s $^{-1}$	∓ 0.012	∓ 0.016	∓ 0.005	∓ 0.015	∓ 0.011	∓ 0.019	∓ 0.031
Δ_{med}	—	0.042	0.047	0.116	0.041	0.030	0.018	0.119
Δ_{tot}	—	0.048	0.064	0.117	0.076	0.049	0.032	0.126
<i>μ Leo with VALD3</i>								
$\Delta_{T_{\text{eff}}}$	± 60 K	∓ 0.008	∓ 0.059	± 0.025	± 0.082	± 0.051	∓ 0.009	∓ 0.026
$\Delta_{\log g}$	± 0.09 dex	± 0.001	± 0.021	∓ 0.005	± 0.003	± 0.004	± 0.016	± 0.022
$\Delta_{[\text{M}/\text{H}]}$	± 0.15 dex	± 0.033	± 0.043	∓ 0.006	± 0.001	± 0.008	± 0.032	± 0.043
Δ_{ξ}	± 0.12 km s $^{-1}$	∓ 0.008	∓ 0.026	∓ 0.023	∓ 0.048	∓ 0.061	∓ 0.053	∓ 0.050
Δ_{med}	—	0.122	0.042	0.054	0.058	0.052	0.033	0.182
Δ_{tot}	—	0.127	0.090	0.064	0.111	0.095	0.073	0.197
<i>μ Leo with MB99</i>								
$\Delta_{T_{\text{eff}}}$	± 60 K	∓ 0.007	∓ 0.060	± 0.025	± 0.085	± 0.051	∓ 0.008	∓ 0.022
$\Delta_{\log g}$	± 0.09 dex	± 0.002	± 0.025	∓ 0.003	± 0.004	± 0.004	± 0.020	± 0.026
$\Delta_{[\text{M}/\text{H}]}$	± 0.15 dex	± 0.041	± 0.039	± 0.001	± 0.000	± 0.008	± 0.031	± 0.041
Δ_{ξ}	± 0.18 km s $^{-1}$	∓ 0.020	∓ 0.021	∓ 0.006	∓ 0.029	∓ 0.031	∓ 0.036	∓ 0.004
Δ_{med}	—	0.115	0.044	0.034	0.047	0.054	0.027	0.279
Δ_{tot}	—	0.124	0.090	0.043	0.101	0.081	0.059	0.284

NOTE— In the first four lines for each combination of the object and the line list, σ_p indicates the error, in the parameter p , that was used for estimating Δ_p , i.e., the effect of p on the abundance [X/H]. In the last two lines, Δ_{med} indicates the error in Table 5, and Δ_{tot} is the total error estimated with Equation 4.

ours. Their statistical errors are the SDs of abundances from individual lines. Their SDs tend to be significantly smaller than the SDs in Table 5. This can be ascribed to the difference in the line selection and the quality of $\log gf$ values; we have not selected the lines on the basis of the accuracy of $\log gf$. The astrophysical calibration of the $\log gf$ values remains to be done, desirably, for red giants with each of the abundance-analysis tools. As for the systematic errors, all of these works estimated the effects of stellar parameters and, for all the points in Figure 8, we combined Δ_p , in our notation, of the four parameters (T_{eff} , $\log g$, [M/H], and ξ) by the square root of sum of squares without the covariant terms taken into account.

Quantitative analysis on the accuracy of $\log gf$, or their re-calibration, is outside the scope of this paper. Still, we can identify the lines that seem to have $\log gf$ with larger errors than other lines, and give caution flags to them. Si I, Ti I, Cr I, and Fe I have more than 20 lines selected, and we identified outliers among their lines by considering the IQR rule. Let q_{25} , q_{50} , and q_{75} denote the quartiles of the [X/H]; q_{50} corresponds to the median, and the IQR is given by $q_{75} - q_{25}$. We here use the $1.5 \times \text{IQR}$ rule for the outlier detection, i.e., the derived abundance of a line is judged as an outlier if it is smaller than $q_{25} - 1.5 \text{IQR}$ or larger than $q_{75} + 1.5 \text{IQR}$. In contrast, the numbers of lines are small for Mg I, Ca I, and Ni I, and we use $q_{50} \pm 0.5$ dex as the thresholds of out-

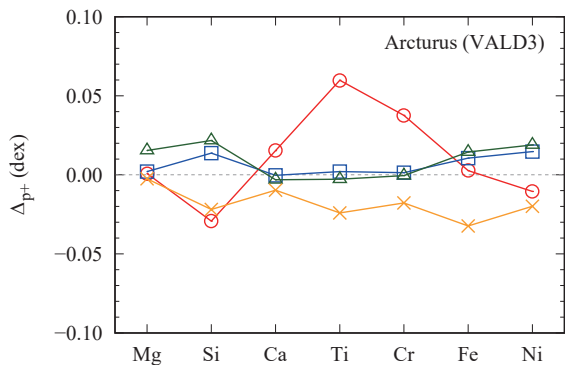


Figure 7. The effects of changing stellar parameters on the abundance of Arcturus measured with the VALD3 lines. The effects were measured by changing each parameter at a time, and Δ_{p+} shown in this plot (also see Table 6) indicates how much $[X/H]$ changes with the positive offset in the parameter p , +35 K in T_{eff} (red circles), +0.06 dex in $\log g$ (green triangles), +0.08 dex in $[M/H]$ (blue squares), and +0.14 km s $^{-1}$ in ξ (orange crosses).

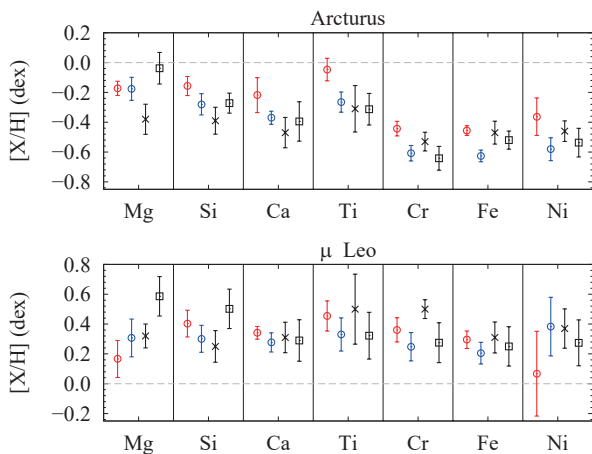


Figure 8. The final abundances of Arcturus and μ Leo based on VALD3 (blue) and MB99 (red). Their statistical errors in Table 5 and the total errors in Table 6 are drawn in the bright colors and pale colors. Black crosses and squares indicate the values reported by Smith et al. (2013) and Jofré et al. (Jofré et al. 2014 for Fe; Jofré et al. 2015 for the other elements), respectively. The definitions of the error bars are given in the text.

liers. For each line in a given line list, the flag is given as follows. We combine the number of objects for which the abundance was measured (N_{obj}) and the number of measurements found to be outliers (N_{out}) and give the flag, $N_{\text{out}}/N_{\text{obj}}$. If the line was not used for the abundance measurement, with the flags such as (w) and (s),

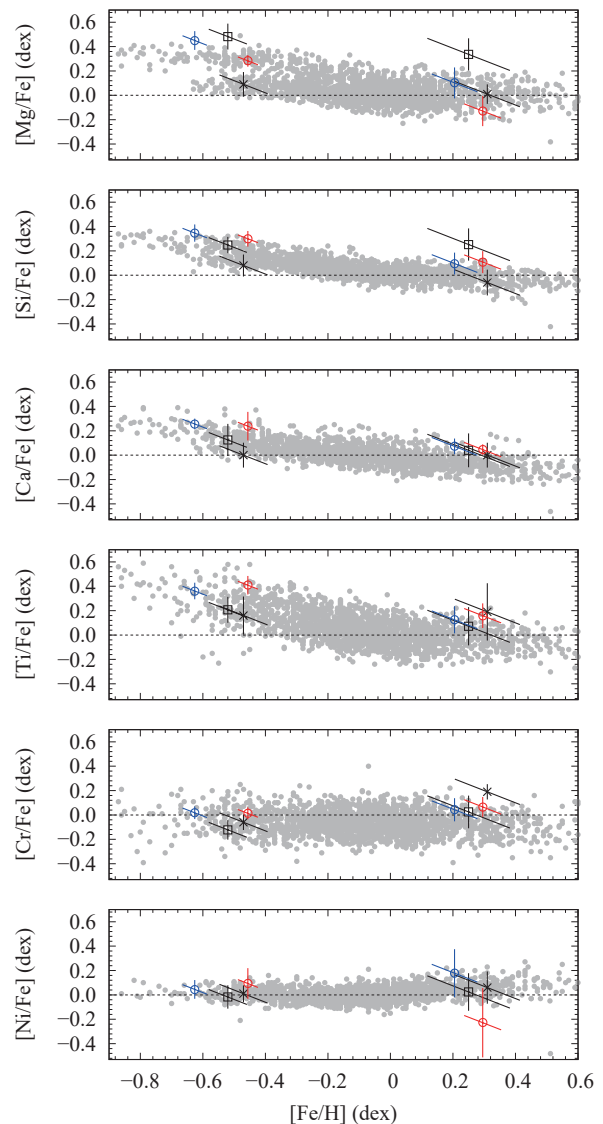


Figure 9. Abundances of Arcturus (metal-poor) and μ Leo (metal-rich) derived with different line lists (VALD3 presented in blue and MB99 in red). The microturbulences were fixed to those obtained with Fe I lines for deriving the abundances of all the elements, including Fe. Black crosses and squares indicate the values reported by Smith et al. (2013) and Jofré et al. (Jofré et al. 2014 for Fe; Jofré et al. 2015 for the other elements), respectively. For each point of $([Fe/H], [X/H])$, two error bars are given to represent the effect of $\Delta_{\text{tot}}([Fe/H])$ (sloped) and that of $\Delta_{\text{tot}}([X/H])$ (vertical). The gray small dots indicate the abundances of red giants with the APOGEE and Kepler data obtained by Hawkins et al. (2016).

for an object, it is not included in N_{obj} and the outlier detection was not performed. Thus-determined flags are given in Table 1 and 2. The flag of ‘2/2’ suggests that the abundances derived for both objects are judged as outliers, indicating that the $\log gf$ of such a line has a large error. For example, Ca I 12816.05 was judged as an outlier in all cases, the $\log gf$ of this line in both VALD3 and MB99 are considered to be rather inaccurate. We gave non-zero flags (i.e., $N_{\text{out}} \neq 0$) to 21 lines in VALD3 and 11 lines in MB99. We added the colon mark (:) to the abundances judged as outliers in Table 1 and 2.

Concerning the systematics of the abundance scales based on the two line lists, the $[X/H]$ based on MB99 are systematically higher than the counterparts with VALD3 by 0.1–0.2 dex for both objects except Mg I and Ni I for which the numbers of available lines are small. Roughly speaking, the best estimates in Figure 8 agree with each other allowing for scatters of ~ 0.2 dex. Figure 9 compares our estimates with the abundance trends on the $[X/Fe]$ – $[Fe/H]$ diagrams reported by Hawkins et al. (2016), who measured the abundances of disk stars. VALD3 and MB99 place Arcturus and μ Leo at slightly different positions, but the results are still consistent with the trends of disk stars as expected (e.g., Smith et al. 2013). While the difference of the metallicity scales is not negligible, $\gtrsim 0.1$ dex different in $[Fe/H]$, we cannot select one of them based on the comparison in Figure 9.

4. CONCLUDING REMARKS

We identified absorption lines of six elements (Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, and Ni I) that appear in the $z'YJ$ -band spectra of red giants and are relatively isolated. From the large compilations of VALD3 and MB99, ~ 10 (for Ni I and Mg I) to over 30 (for Si I and Ti I) lines were selected for each element. Some detailed discussions on the selected lines for each element are given in Appendix A. These lines combined with >50 Fe I lines reported in Paper I are useful for the abundance analysis of red giants with $z'YJ$ -band spectra, which will be particularly important for obtaining the precise metallicities of stars obscured by severe interstellar extinction that hampers optical spectroscopy.

With the abundance analysis making use of classical 1D LTE atmospheric models (ATLAS9 in our case), the microturbulence, ξ , is a crucial parameter required for

obtaining accurate results. We measured ξ that gives $[X/H]$ independent of line strength for each of Si I and Ti I. They are slightly higher than those determined for Fe I, and the differences in ξ are large enough to give significant impacts on the abundances, 0.1–0.2 dex. Therefore, unless it turns out that a common ξ can be used for every element, finding a good ξ for each element will be an essential step in order to improve the accuracy of the abundance measurements in the future. Another vital error source is the systematics of the oscillator strengths given in the two line lists. VALD3 and MB99 tend to give slightly different abundances, 0.1–0.2 dex higher if the MB99 is used. The scatters of the abundances in previous studies prevent us from judging which of VALD3 and MB99 gives more accurate results.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the staff of Koyama Astronomical Observatory for their support during our observation. This study is supported by KAKENHI (Grants-in-Aid, Nos. 26287028 and 18H01248) from the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS). The WINERED was developed by the University of Tokyo and the Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy (LiH), Kyoto Sangyo University under the financial supports of JSPS KAKENHI (Nos. 16684001, 20340042, 21840052) and the Supported Programs for the Strategic Research Foundation at Private Universities (Nos S0801061 and S1411028) from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) of Japan. This study has made use of the SIMBAD database, operated at CDS, Strasbourg, France and also the VALD database, operated at Uppsala University, the Institute of Astronomy RAS in Moscow, and the University of Vienna. K.F. is supported by a JSPS Grant-in-Aid for Research Activity Start-up (No. 16H07323). N.K. is supported by JSPS-DST under the Japan-India Science Cooperative Programs during 2013–2015 and 2016–2018.

Software: WINERED pipeline (S. Hamano et al. 2021, in preparation), IRAF (Tody 1986, 1993), PyRAF (Science Software Branch at STScI, 2012), SPTOOL (Y. Takeda, private communication).

APPENDIX

A. LINES SELECTED FOR INDIVIDUAL ELEMENTS

1. Mg I (Magnesium, $Z = 12$)— 12 and 8 Mg I lines from VALD3 and MB99, respectively, are included

in our line lists. Mg I 11820.982 in VALD3 was listed up with the synthetic spectra but not included because its absorption was not confirmed in the observed spectra. All the 8 lines from MB99

are also included in the VALD3 list. The EPs of 11 lines are high, > 5.9 eV, but Mg I 11828 has a low EP, ~ 4.35 eV though it is too strong to be used for our abundance measurements. The abundances estimated with individual lines tend to show a large scatter, but the median values are consistent with the literature values within the errors. Errors in the stellar parameters have relatively small impacts on the measurements of $[\text{Mg}/\text{H}]$.

2. Si I (Silicon, $Z = 14$)— 56 Si I lines are included in our lists in total, 50 lines from VALD3 and 49 lines from MB99 (43 lines being selected from both). All these lines have relatively high EPs, $\gtrsim 5$ eV. Their depths cover a wide range from shallow to deep, and several lines are too strong to be used for the abundance measurements. The abundances with individual lines show large scatters, but the resultant abundances and the errors are comparable with those in the literature. $[\text{Si}/\text{H}]$ obtained with VALD3 are slightly lower, by ~ 0.1 dex, than those obtained with MB99.
3. Ca I (Calcium, $Z = 20$)— 15 lines are selected from VALD3, while 17 lines are selected from MB99. There are 10 lines in common, of which Ca I 10343 in both lists is too strong to be used for the abundance measurements. More than half of the MB99 lines are too weak in Arcturus but are measurable in μ Leo. Ca I 12816 has highly inaccurate $\log gf$ values, by more than 0.5 dex, in the two lists, but other lines lead to reasonable estimates of $[\text{Ca}/\text{H}]$. The abundances estimated with VALD3 are lower than those with MB99 by 0.1–0.15 dex.
4. Ti I (Titanium, $Z = 22$)— In total, 54 Ti I lines (50 lines from VALD3 and 34 from MB99) are included in our lists in total. Most of them have EPs lower than 2 eV except a few with EP ~ 4 eV. The strengths range from weak to very strong over the limit, 0.35 in depth, beyond which we did not perform the abundance measurements. The dependency of derived $[\text{Ti}/\text{H}]$ on T_{eff} and also on ξ is strong. The abundances estimated with VALD3 are lower than those with MB99 by 0.1–0.2 dex.
5. Cr I (Chromium, $Z = 24$)— 25 and 21 Cr I lines are selected from VALD3 and MB99, respectively, with 19 lines in common and 27 lines in total. There are not very strong lines, i.e., no Cr I line is deeper than 0.35 in either Arcturus or μ Leo, while several lines are too weak in Arcturus. The dependency of derived $[\text{Cr}/\text{H}]$ on T_{eff} is relatively

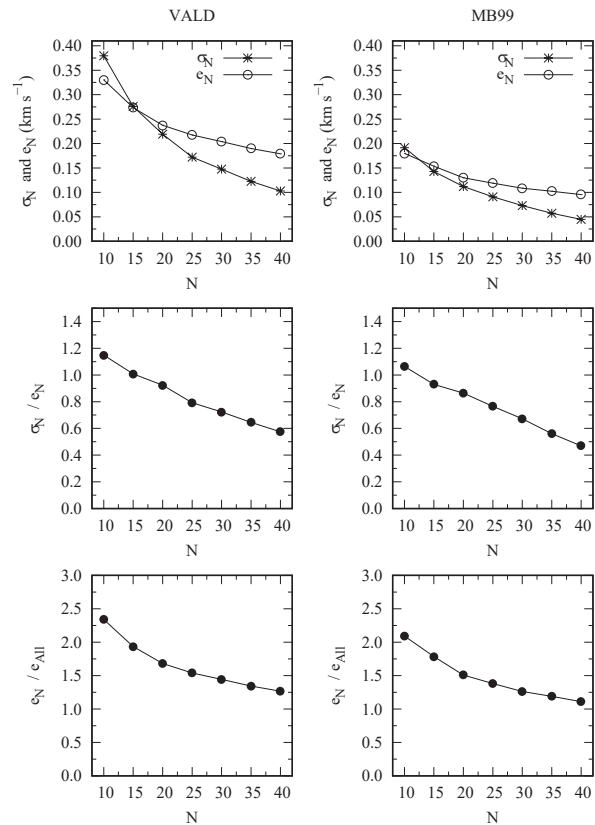


Figure 10. The simulation results on the bootstrap analysis with different numbers, N , of lines available. The parameters are described in the text. Here presented is the case of Arcturus ($e_{\text{All}} = 0.14 \text{ km s}^{-1}$ for VALD3, 0.09 km s^{-1} for MB99), and the left three panels plots the results with VALD3 and the right panels those with MB99.

strong. The abundances estimated with VALD3 are lower than those with MB99 by 0.1–0.15 dex.

6. Ni I (Nickel, $Z = 28$)— 15 Ni I lines (13 and 7 from VALD3 and MB99, respectively) are included in our line lists. No line is stronger than the limit of 0.35 in depth, but a few lines are too weak in Arcturus. The line sets used for the combinations of line list and object tend to be different. The abundances from individual lines show large scatters, especially for μ Leo, leading to the large errors in the final $[\text{Ni}/\text{H}]$, 0.1–0.3 dex, combined with the small line numbers.

B. SIMULATIONS OF BOOTSTRAP

We performed a simulation for investigating how many lines are required to derive the microturbulence, ξ , and abundance, $[\text{X}/\text{H}]$, simultaneously with the bootstrap

method. For this purpose, we used Fe I lines in Table 1 and 2, but excluded those with flags such as (s) and (w) in either of Arcturus or μ Leo. We found 60 VALD3 lines and 50 MB99 lines to use, and we repeat the following analysis for the four combinations of object (Arcturus or μ Leo) and line list (VALD3 or MB99). Let the set A indicate this starting line set (the number of lines being $N_{\text{All}} = 60$ for VALD3 and 50 for MB99). We first ran the bootstrap analysis for this set A , and compare this result, $\xi_{\text{All}} \pm e_{\text{All}}$, with the results with fewer lines as follows. As simulation sets of fewer lines, we repeated the random selection of N lines among those in the set A without duplication 1000 times for each N (N takes 10, 15, 20, \dots , 40). Each set of N lines gives an estimate of $\xi(j)$ together with the 1σ error range, $[\xi(j) - e_- : \xi(j) + e_+]$, where j varies from 1 to 1000. The error in $\xi(j)$ is given by $e(j) = \sqrt{(e_{\xi_-}^2 + e_{\xi_+}^2)}/2$. We thus obtained 1000 $e(j)$ values and calculated their

mean as the measure of the typical error (denoted as e_N) obtained with N lines. In addition, the standard deviation of the 1000 $\xi(j)$, denoted as σ_N , indicates how much the selection of N lines could affect the resultant microturbulence. Figure 10 shows these results for Arcturus. Both e_N and σ_N increase with decreasing N , as expected; the determination of ξ (and $[X/H]$) suffers from larger uncertainties if fewer lines are available. When the number of lines gets as small as 15–20, the statistical uncertainty (e_N) becomes 1.5–2 times as large as e_{All} . In addition, the effect of the line selection (σ_N) becomes as large as the statistical uncertainty, which means that the ξ we get is significantly affected by the systematic error caused by which lines are actually available and also by the precision of oscillator strengths of the particular line set. We therefore suggest that the bootstrap method of determining ξ and $[X/H]$ together requires ~ 20 lines at least, but this limit depends on the precision of $\log gf$.

REFERENCES

- Adibekyan, V., Figueira, P., Santos, N. C., et al. 2015, *A&A*, 583, A94
- Amarsi, A. M., Lind, K., Asplund, M., et al. 2016, *MNRAS*, 463, 1518
- Anders, E., & Grevesse, N. 1989, *GeoCoA*, 53, 197
- Andreasen, D. T., Sousa, S. G., Delgado Mena, E., et al. 2016, *A&A*, 585, A143
- Asplund, M. 2000, *A&A*, 359, 755
- Bergemann, M., Kudritzki, R.-P., Plez, B., et al. 2012, *ApJ*, 751, 156
- Bergemann, M., Kudritzki, R.-P., Würl, M., et al. 2013, *ApJ*, 764, 115
- Blackwell, D. E., & Willis, R. B. 1977, *MNRAS*, 180, 169
- Britavskiy, N. E., Andrievsky, S. M., Tsymbal, V. V., et al. 2012, *A&A*, 542, A104
- Chou, M.-Y., Cunha, K., Majewski, S. R., et al. 2010, *ApJ*, 708, 1290
- de Jager, C., Mulder, P. S., & Kondo, Y. 1984, *A&A*, 141, 304
- Dobrovolskas, V., Kučinskas, A., Steffen, M., et al. 2013, *A&A*, 559, A102
- Feltzing, S., & Chiba, M. 2013, *NewAR*, 57, 80
- Freeman, K., & Bland-Hawthorn, J. 2002, *ARA&A*, 40, 487
- Fulbright, J. P., McWilliam, A., & Rich, R. M. 2007, *ApJ*, 661, 1152
- Gratton, R., Bragaglia, A., Carretta, E., & Tosi, M. 2006, *ApJ*, 642, 462
- Gray, D. F. 1981, *ApJ*, 245, 992
- Gray, D. F. 2005, *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres*
- Grevesse, N., Asplund, M., & Sauval, A. J. 2007, *SSRv*, 130, 105
- Gurtovenko, E. A. & Sheminova, V. A. 2015, arXiv:1505.00975
- Hawkins, K., Masseron, T., Jofré, P., et al. 2016, *A&A*, 594, A43
- Heiter, U., Jofré, P., Gustafsson, B., et al. 2015, *A&A*, 582, A49
- Ikeda, Y., Kobayashi, N., Kondo, S., et al. 2016, *Proc. SPIE*, 9908, 99085Z
- Jian, M., Taniguchi, D., Matsunaga, N., et al. 2020, *MNRAS*, 494, 1724
- Jofré, P., Heiter, U., Soubiran, C., et al. 2014, *A&A*, 564, A133
- Jofré, P., Heiter, U., Soubiran, C., et al. 2015, *A&A*, 582, A81
- Jofré, P., Heiter, U., & Soubiran, C. 2019, *ARA&A*, 57, 571
- Kondo, S., Fukue, K., Matsunaga, N., et al. 2019, *ApJ*, 875, 129
- Kurucz, R. L. 1993, *Kurucz CD-ROM*, Cambridge, MA: Smithsonian Astrophysical Observatory, —c1993, December 4, 1993,
- Luck, R. E., & Heiter, U. 2005, *AJ*, 129, 1063
- Luck, R. E. & Heiter, U. 2007, *AJ*, 133, 2464
- Magain, P. 1984, *A&A*, 134, 189
- Matsunaga, N., Taniguchi, D., Jian, M., et al. 2020, *ApJS*, 246, 10

- McWilliam, A. 1990, *ApJS*, 74, 1075
- Meléndez, J., & Barbuy, B. 1999, *ApJS*, 124, 527
- Mucciarelli, A. 2011, *A&A*, 528, A44
- Niemczura, E., Smalley, B., & Pych, W. 2014,
Determination of Atmospheric Parameters of B-, A-, F-
and G-Type Stars Lectures from the School of
Spectroscopic Data Analyses, edited by E. Niemczura et
al. ISBN 978-3-319-06955-5. Berlin: Springer-Verlag, 2014
- Ramírez, I., & Allende Prieto, C. 2011, *ApJ*, 743, 135
- Ryabchikova, T., et al. 2015, *Phys. Scripta*, 90, 054005
- Sameshima, H., Matsunaga, N., Kobayashi, N., et al. 2018,
PASP, 130, 074502
- Sheminova, V. A. 2015, *Kinematics and Physics of Celestial
Bodies*, 31, 172
- Smith, G., & Ruck, M. J. 2000, *A&A*, 356, 570
- Smith, V. V., Cunha, K., Shetrone, M. D., et al. 2013, *ApJ*,
765, 16
- Takeda, Y. 1992, *A&A*, 253, 487
- Takeda, Y. 1995, *PASJ*, 47, 287
- Taniguchi, D., et al. 2018, *MNRAS*, 473, 4993
- Thevenin, F. 1998, *VizieR Online Data Catalog*, III/193
- Tody, D. 1986, *Proc. SPIE*, 627, 733
- Tody, D. 1993, *Astronomical Data Analysis Software and
Systems II*, 52, 173
- Worley, C. C., Cottrell, P. L., Freeman, K. C., & Wylie-de
Boer, E. C. 2009, *MNRAS*, 400, 1039

Table 1. Lines Selected from VALD3 and Abundances

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
9117.1309	Fe I	2.8581	-3.454	-0.37	0.36	0/2
9118.8806	Fe I	2.8316	-2.115	(s)	(s)	0/0
9123.2029	Ti I	3.1129	-0.619	-0.38	-1.84:	1/2
9146.1275	Fe I	2.5881	-2.804	-0.61	-0.35	0/2
9210.0240	Fe I	2.8450	-2.404	-0.65	(s)	0/1
9602.1301	Fe I	5.0117	-1.744	(w)	0.11	0/1
9638.3043	Ti I	0.8484	-0.612	(s)	(s)	0/0
9647.3700	Ti I	0.8181	-1.434	(s)	(s)	0/0
9653.1147	Fe I	4.7331	-0.684	-0.61	0.31	0/2
9657.2326	Fe I	5.0856	-0.780	-0.65	-0.20	0/2
9667.2850	Cr I	2.5438	-2.510	-0.05	0.81:	1/2
9670.5390	Cr I	2.5443	-1.790	0.17	0.53:	1/2
9675.5433	Ti I	0.8360	-0.804	(s)	(b)	0/0
9688.8729	Ti I	0.8129	-1.610	(s)	(b)	0/0
9705.6640	Ti I	0.8259	-1.009	(s)	(s)	0/0
9718.9596	Ti I	1.5025	-1.181	-0.21	0.42	0/2
9728.4069	Ti I	0.8181	-1.206	(s)	(s)	0/0
9730.3160	Cr I	3.5505	-0.770	-0.58	0.65	0/2
9734.5630	Cr I	2.5438	-1.950	-0.06	0.70:	1/2
9738.5725	Fe I	4.9913	0.150	-0.54	0.00	0/2
9743.6059	Ti I	0.8129	-1.306	(s)	(s)	0/0
9753.0906	Fe I	4.7955	-0.782	-0.60	-0.30	0/2
9770.3011	Ti I	0.8484	-1.581	(s)	(s)	0/0
9773.3530	Cr I	3.5561	-1.559	(w)	-0.04	0/1
9787.6874	Ti I	0.8259	-1.444	(s)	(b)	0/0
9791.6983	Fe I	2.9904	-4.223	(w)	-0.30	0/1
9800.3075	Fe I	5.0856	-0.453	-0.96	-0.16	0/2
9811.5041	Fe I	5.0117	-1.362	-0.37	0.34	0/2
9820.2408	Fe I	2.4242	-5.073	(w)	0.03	0/1
9828.1320	Mg I	5.9328	-1.890	-0.81	0.71:	1/2
9832.1397	Ti I	1.8871	-1.130	-0.21	(b)	0/1
9861.7337	Fe I	5.0638	-0.142	-0.79	(b)	0/1
9868.1857	Fe I	5.0856	-0.979	-0.40	0.67	0/2
9879.5830	Ti I	1.8732	-2.400	-0.22	0.12	0/2

Table 1 *continued***Table 1** (*continued*)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
9889.0351	Fe I	5.0331	-0.446	-0.45	0.30	0/2
9927.3506	Ti I	1.8792	-1.290	-0.30	0.41	0/2
9937.0898	Fe I	4.5931	-2.442	(w)	0.12	0/1
9944.2065	Fe I	5.0117	-1.338	-0.39	0.10	0/2
9969.1321	Si I	6.0787	-1.996	(w)	0.04	0/1
9980.4629	Fe I	5.0331	-1.379	-0.52	0.53	0/2
9983.1880	Mg I	5.9315	-2.153	-0.07	0.31	0/2
9997.9591	Ti I	1.8732	-1.560	-0.17	0.23	0/2
10003.088	Ti I	2.1603	-1.210	-0.26	0.37	0/2
10005.664	Ti I	1.0666	-3.650	(w)	0.32	0/1
10011.744	Ti I	2.1535	-1.390	-0.18	0.47	0/2
10034.491	Ti I	1.4601	-1.770	-0.22	0.47	0/2
10041.472	Fe I	5.0117	-1.772	(w)	0.48	0/1
10059.904	Ti I	1.4298	-2.080	-0.30	0.33	0/2
10061.245	Ni I	5.4943	-0.401	(w)	-0.11	0/1
10065.045	Fe I	4.8349	-0.289	-0.62	0.26	0/2
10066.512	Ti I	2.1603	-1.850	-0.09	0.50	0/2
10068.329	Si I	6.0986	-1.318	-0.34	0.04	0/2
10080.350	Cr I	3.5558	-1.272	(b)	0.21	0/1
10081.393	Fe I	2.4242	-4.537	-0.41	0.31	0/2
10083.180	Cr I	3.5561	-1.720	(w)	-0.14	0/1
10114.014	Fe I	2.7586	-3.692	-0.62	(b)	0/1
10124.930	Si I	6.1248	-2.035	(w)	0.50	0/1
10145.561	Fe I	4.7955	-0.177	-0.60	(b)	0/1
10155.162	Fe I	2.1759	-4.226	-0.63	0.18	0/2
10167.468	Fe I	2.1979	-4.117	-0.55	0.35	0/2
10189.146	Ti I	1.4601	-3.100	(w)	0.48	0/1
10193.224	Ni I	4.0893	-0.656	-0.58	0.43	0/2
10195.105	Fe I	2.7275	-3.580	-0.57	0.38	0/2
10216.313	Fe I	4.7331	-0.063	-0.55	0.40	0/2
10218.408	Fe I	3.0713	-2.760	-0.57	0.58	0/2
10227.994	Fe I	6.1189	-0.354	(w)	0.43	0/1
10265.217	Fe I	2.2227	-4.537	-0.61	0.07	0/2
10273.684	Ca I	4.5347	-0.636	-0.33	-0.44:	1/2
10288.944	Si I	4.9201	-1.511	-0.54	0.26	0/2
10299.290	Mg I	6.1182	-2.076	-0.13	-0.73:	1/2

Table 1 *continued*

NEAR-INFRARED LINES OF SIX ELEMENTS IN ADDITION TO IRON

21

Table 1 (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
10302.611	Ni I	4.2661	-0.881	-0.64	0.38	0/2
10307.454	Fe I	4.5931	-2.067	-0.94	-0.20	0/2
10312.531	Mg I	6.1182	-1.730	0.00	0.49	0/2
10313.197	Si I	6.3991	-0.886	-0.52	0.32	0/2
10330.228	Ni I	4.1054	-0.982	-0.53	0.69	0/2
10340.885	Fe I	2.1979	-3.577	-0.50	0.31	0/2
10343.819	Ca I	2.9325	-0.300	(s)	(s)	0/0
10347.965	Fe I	5.3933	-0.551	-0.74	0.39	0/2
10353.804	Fe I	5.3933	-0.819	-0.69	0.16	0/2
10360.578	Fe I	5.5188	-1.403	(w)	-0.51	0/1
10371.263	Si I	4.9296	-0.705	-0.33	0.24	0/2
10388.744	Fe I	5.4457	-1.468	(w)	0.38	0/1
10395.794	Fe I	2.1759	-3.393	-0.57	0.13	0/2
10396.802	Ti I	0.8484	-1.539	(s)	(s)	0/0
10407.037	Si I	6.6161	-0.597	-0.5:	(*)	1/1
10414.913	Si I	6.6192	-1.137	(w)	-0.26	0/1
10416.620	Cr I	3.0128	-2.508	(w)	0.16	0/1
10435.355	Fe I	4.7331	-1.945	(w)	0.39	0/1
10469.652	Fe I	3.8835	-1.184	-0.62	0.48	0/2
10486.250	Cr I	3.0106	-0.949	-0.62	0.42	0/2
10496.113	Ti I	0.8360	-1.651	(s)	(s)	0/0
10510.010	Cr I	3.0133	-1.535	-0.71	0.08	0/2
10517.511	Si I	6.7271	-1.038	(w)	0.04	0/1
10530.514	Ni I	4.1054	-1.189	-0.49	0.55	0/2
10532.234	Fe I	3.9286	-1.480	-0.64	0.19	0/2
10535.709	Fe I	6.2057	-0.108	(w)	0.33	0/1
10550.100	Cr I	3.0111	-2.629	(w)	0.41	0/1
10555.649	Fe I	5.4457	-1.108	(w)	-0.09	0/1
10565.952	Ti I	2.2363	-1.777	-0.6:	0.07	1/2
10577.139	Fe I	3.3014	-3.136	-0.57	0.53	0/2
10582.160	Si I	6.2227	-1.169	-0.24	0.30	0/2
10585.141	Si I	4.9538	0.012	(s)	(s)	0/0
10603.425	Si I	4.9296	-0.305	(s)	(s)	0/0
10607.718	Ti I	0.8484	-2.697	-0.41	0.20	0/2
10611.686	Fe I	6.1692	0.021	-0.56	0.56	0/2
10616.721	Fe I	3.2671	-3.127	-0.72	0.09	0/2
10627.648	Si I	5.8625	-0.866	0.44:	1.32:	2/2
10647.640	Cr I	3.0106	-1.582	-0.70	0.19	0/2
10660.973	Si I	4.9201	-0.266	(s)	(s)	0/0
10667.520	Cr I	3.0128	-1.481	-0.79	0.11	0/2

Table 1 continued

Table 1 (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
10672.140	Cr I	3.0133	-1.354	-0.67	0.35	0/2
10674.070	Fe I	6.1692	-0.466	(w)	0.42	0/1
10677.047	Ti I	0.8360	-2.522	-0.38	0.19	0/2
10689.716	Si I	5.9537	-0.120	-0.03	0.64	0/2
10694.251	Si I	5.9639	0.048	-0.10	0.71	0/2
10717.806	Fe I	5.5392	-0.436	-1.55:	-0.89:	2/2
10725.185	Fe I	3.6398	-2.763	-0.73	0.19	0/2
10726.391	Ti I	0.8129	-2.064	-0.20	0.51	0/2
10727.406	Si I	5.9840	0.217	-0.07	0.63	0/2
10732.864	Ti I	0.8259	-2.515	-0.27	0.47	0/2
10749.378	Si I	4.9296	-0.205	(s)	(s)	0/0
10753.004	Fe I	3.9597	-1.845	-0.77	0.18	0/2
10762.255	Ni I	4.1536	-2.165	(w)	0.97:	1/1
10770.134	Si I	6.6192	-1.253	(w)	0.46	0/1
10771.228	Fe I	5.5869	-1.285	(w)	-0.24	0/1
10774.866	Ti I	0.8181	-2.666	-0.30	0.34	0/2
10780.694	Fe I	3.2367	-3.289	-0.84	-0.08	0/2
10783.050	Fe I	3.1110	-2.567	-0.71	0.09	0/2
10784.562	Si I	5.9639	-0.839	-0.18	0.40	0/2
10786.849	Si I	4.9296	-0.303	(s)	(s)	0/0
10796.106	Si I	6.1807	-1.266	-0.41	0.30	0/2
10801.360	Cr I	3.0111	-1.562	-0.80	0.26	0/2
10816.910	Cr I	3.0128	-1.894	-0.54	0.38	0/2
10818.274	Fe I	3.9597	-1.948	-0.67	0.48	0/2
10821.660	Cr I	3.0133	-1.520	-0.71	0.06	0/2
10827.088	Si I	4.9538	0.302	(s)	(s)	0/0
10838.970	Ca I	4.8775	0.238	-0.41	0.28	0/2
10843.858	Si I	5.8625	-0.112	0.11	0.80	0/2
10847.633	Ti I	0.8259	-3.922	-0.65:	-0.48:	2/2
10861.582	Ca I	4.8767	-0.343	(w)	0.23	0/1
10863.518	Fe I	4.7331	-0.895	-0.67	0.24	0/2
10869.536	Si I	5.0823	0.371	(s)	(s)	0/0
10881.758	Fe I	2.8450	-3.604	-0.44	0.59	0/2
10882.809	Si I	5.9840	-0.815	(b)	0.31	0/1
10884.262	Fe I	3.9286	-1.925	-0.70	0.10	0/2
10885.333	Si I	6.1807	0.221	-0.37	0.40	0/2
10891.307	Ni I	4.1672	-1.246	-0.47	(b)	0/1
10896.299	Fe I	3.0713	-2.694	-0.83	0.01	0/2
10905.710	Cr I	3.4379	-0.561	-0.52	0.31	0/2
10953.320	Mg I	5.9315	-0.863	0.03	0.48	0/2

Table 1 continued

Table 1 (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
10979.308	Si I	4.9538	-0.524	-0.07	(s)	0/1
10982.058	Si I	6.1910	0.104	-0.42	0.17	0/2
11026.788	Fe I	3.9433	-2.805	-0.42	0.21	0/2
11053.512	Fe I	3.9841	-3.311	(w)	0.23	0/1
11119.795	Fe I	2.8450	-2.202	(s)	(s)	0/0
11130.028	Si I	6.2060	-0.194	-0.19	0.07	0/2
11135.958	Fe I	5.3139	-1.718	(w)	0.96:	1/1
11607.572	Fe I	2.1979	-2.009	(s)	(s)	0/0
11638.260	Fe I	2.1759	-2.214	(s)	(s)	0/0
11640.941	Si I	6.2739	-0.432	-0.20	0.26	0/2
11681.594	Fe I	3.5465	-3.615	(w)	0.26	0/1
11689.972	Fe I	2.2227	-2.068	(s)	(b)	0/0
11715.486	Fe I	5.6424	-1.362	(w)	0.57	0/1
11725.562	Fe I	5.6989	-1.096	(w)	-0.23	0/1
11759.570	Ca I	4.5313	-0.878	(w)	0.13	0/1
11767.481	Ca I	4.5322	-0.536	-0.48	0.28	0/2
11780.542	Ti I	1.4432	-2.170	-0.31	-0.02	0/2
11783.265	Fe I	2.8316	-1.574	(s)	(s)	0/0
11793.043	Ca I	4.5347	-0.258	-0.22	0.55	0/2
11797.186	Ti I	1.4298	-2.280	-0.31	0.17	0/2
11828.171	Mg I	4.3458	-0.333	(s)	(s)	0/0
11854.238	Fe I	5.6826	-1.306	(w)	-0.23	0/1
11863.920	Si I	5.9840	-1.457	-0.28	0.30	0/2
11892.877	Ti I	1.4298	-1.730	-0.13	(b)	0/1
11900.055	Si I	5.9639	-1.864	-0.03	0.57	0/2
11927.838	Ni I	4.2661	-2.105	(w)	-0.33	1/1
11955.955	Ca I	4.1308	-0.849	-0.37	0.29	0/2
11973.046	Fe I	2.1759	-1.483	(s)	(s)	0/0
11984.198	Si I	4.9296	0.239	(s)	(s)	0/0
11991.568	Si I	4.9201	-0.109	(s)	(s)	0/0
12000.970	Cr I	3.4348	-2.068	(w)	0.06	0/1
12031.504	Si I	4.9538	0.477	(s)	(s)	0/0
12039.822	Mg I	5.7532	-1.530	-0.14	0.21	0/2
12053.082	Fe I	4.5585	-1.543	-0.63	0.05	0/2
12103.534	Si I	4.9296	-0.350	(s)	(s)	0/0
12105.841	Ca I	4.5541	-0.305	-0.48	0.06	0/2
12110.659	Si I	6.6161	-0.136	-0.53	0.38	0/2
12119.494	Fe I	4.5931	-1.635	-0.69	0.18	0/2
12175.733	Si I	6.6192	-0.855	-0.28	0.41	0/2
12178.339	Si I	6.2694	-1.100	-0.15	0.56	0/2

Table 1 continued

Table 1 (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
12190.098	Fe I	3.6352	-2.330	-0.79	0.22	0/2
12213.336	Fe I	4.6382	-1.845	-0.55	0.34	0/2
12216.579	Ni I	5.2825	-0.513	-0.46	0.41	0/2
12227.112	Fe I	4.6070	-1.368	-0.80	-0.01	0/2
12255.699	Ti I	3.9215	0.161	(w)	-0.04	0/1
12270.692	Si I	4.9538	-0.396	(s)	(s)	0/0
12283.298	Fe I	6.1692	-0.537	(w)	0.27	0/1
12340.481	Fe I	2.2786	-5.098	-0.24	0.55	1/2
12342.916	Fe I	4.6382	-1.463	-0.71	0.36	0/2
12390.154	Si I	5.0823	-1.767	-0.42	0.37	0/2
12395.832	Si I	4.9538	-1.644	-0.44	0.28	0/2
12417.937	Mg I	5.9315	-1.664	-0.21	0.26	0/2
12423.029	Mg I	5.9320	-1.188	-0.25	(b)	0/1
12433.452	Mg I	5.9328	-0.967	-0.43	(b)	0/1
12457.132	Mg I	6.4314	-2.260	(w)	0.87	1/1
12532.840	Cr I	2.7088	-1.879	-0.62	0.28	0/2
12556.996	Fe I	2.2786	-3.626	-0.82	-0.19	0/2
12583.924	Si I	6.6161	-0.462	-0.40	0.12	0/2
12589.204	Si I	6.6161	-1.507	(w)	(b)	0/0
12600.277	Ti I	1.4432	-2.320	-0.32	0.10	0/2
12615.928	Fe I	4.6382	-1.517	-0.83	0.21	0/2
12627.674	Si I	6.6192	-0.805	-0.47	0.09	0/2
12638.703	Fe I	4.5585	-0.783	-0.72	0.22	0/2
12648.741	Fe I	4.6070	-1.140	-0.63	0.08	0/2
12671.096	Ti I	1.4298	-2.360	-0.26	0.49	0/2
12738.383	Ti I	2.1747	-1.280	-0.26	0.27	0/2
12743.264	Ni I	5.2843	-0.452	-0.80	-0.37	1/2
12744.905	Ti I	2.4875	-1.280	-0.32	0.01	0/2
12789.450	Fe I	5.0095	-1.514	-0.72	0.03	0/2
12807.152	Fe I	3.6398	-2.452	-0.61	0.26	0/2
12811.478	Ti I	2.1603	-1.390	-0.23	0.37	0/2
12816.045	Ca I	3.9104	-0.765	0.17	0.82	2/2
12821.672	Ti I	1.4601	-1.190	-0.05	0.82	1/2
12823.867	Ca I	3.9104	-0.997	-0.42	(b)	0/1
12824.859	Fe I	3.0176	-3.835	-0.22	(b)	1/1
12827.059	Ca I	3.9104	-1.478	-0.33	0.31	0/2
12831.445	Ti I	1.4298	-1.490	-0.09	0.84	0/2
12840.574	Fe I	4.9556	-1.329	-0.81	(b)	0/1
12847.034	Ti I	1.4432	-1.330	-0.19	0.47	0/2
12870.041	Mg I	6.5879	-1.530	-0.33	0.26	0/2

Table 1 continued

Table 1 (*continued*)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
12879.766	Fe I	2.2786	-3.458	-0.63	0.17	0/2
12885.290	Ca I	4.4300	-1.164	(w)	0.07	0/1
12896.118	Fe I	4.9130	-1.424	-0.74	-0.01	0/2
12910.090	Cr I	2.7079	-1.779	-0.58	0.23	0/2
12919.899	Ti I	2.1535	-1.560	-0.37	0.33	0/2
12921.810	Cr I	2.7088	-2.743	(w)	0.18	0/1
12927.477	Ti I	2.1535	-2.440	(w)	-0.27	0/1
12932.313	Ni I	2.7403	-2.523	-0.93	-0.02	0/2
12937.020	Cr I	2.7099	-1.896	-0.66	0.07	0/2
12950.896	Ti I	3.4406	-0.569	(w)	0.44	0/1
12987.567	Ti I	2.5057	-1.550	-0.30	0.20	0/2
13006.684	Fe I	2.9904	-3.744	-0.24	0.93	2/2
13011.897	Ti I	1.4432	-2.270	-0.30	0.42	0/2
13014.841	Fe I	5.4457	-1.693	(w)	0.46	0/1
13033.554	Ca I	4.4410	-0.064	-0.48	0.23	0/2
13039.647	Fe I	5.6547	-0.731	-0.96	-0.47	0/2
13048.181	Ni I	4.5379	-1.008	-0.65	0.34	0/2
13077.265	Ti I	1.4601	-2.220	-0.24	(b)	0/1
13086.027	Si I	6.0827	-1.412	-0.62	(b)	0/1
13098.876	Fe I	5.0095	-1.290	-0.83	-0.06	0/2
13102.057	Si I	6.0827	-0.309	-0.35	-0.07	0/2
13107.972	Fe I	5.6693	-1.449	(w)	-0.37	0/1
13134.942	Ca I	4.4506	0.085	-0.37	0.44	0/2
13145.071	Fe I	4.1426	-3.296	(w)	0.30	0/1
13147.920	Fe I	5.3933	-0.814	-0.49	0.25	0/2
13152.743	Si I	4.9201	-2.504	-0.26	0.08	0/2
13176.888	Si I	5.8625	-0.200	-0.07	0.75	0/2
13201.150	Cr I	2.7088	-1.834	-0.59	0.25	0/2
13212.418	Ni I	2.7403	-3.901	(w)	(b)	0/0
13217.020	Cr I	2.7099	-2.302	-0.59	0.65	0/2
13222.523	Fe I	5.6547	-1.278	(w)	0.03	0/1
13255.812	Ti I	2.2312	-2.119	-0.27	0.13	0/2

NOTE— Here presented is the entire table which is also available as an online material on the journal website.

Table 2. Lines Selected from MB99 and Abundances

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
10003.09	Ti I	2.16	-1.32	-0.22	0.19	0/2
10011.74	Ti I	2.15	-1.54	-0.03	(b)	0/1
10013.86	Si I	6.40	-1.73	(w)	-0.17	0/1
10019.79	Fe I	5.48	-1.44	(w)	0.30	0/1
10032.86	Fe I	5.51	-1.36	(w)	0.26	0/1
10034.49	Ti I	1.46	-2.09	0.12	0.65	0/2
10041.47	Fe I	5.01	-1.84	(w)	0.51	0/1
10059.90	Ti I	1.43	-2.40	0.02	0.54	0/2
10065.05	Fe I	4.84	-0.57	-0.25	0.52	0/2
10066.55	Ti I	2.16	-1.85	-0.10	0.47	0/2
10068.37	Si I	6.10	-1.40	-0.24	-0.12	0/2
10080.30	Cr I	3.56	-1.45	(w)	0.30	0/1
10081.39	Fe I	2.42	-4.53	-0.43	0.18	0/2
10098.55	Si I	6.40	-1.76	(w)	0.44	0/1
10114.02	Fe I	2.76	-3.76	-0.52	(b)	0/1
10145.57	Fe I	4.80	-0.41	-0.24	0.51	0/2
10155.16	Fe I	2.18	-4.36	-0.49	0.17	0/2
10167.47	Fe I	2.20	-4.26	-0.39	0.34	0/2
10189.13	Ti I	1.46	-3.27	(w)	0.61	0/1
10193.23	Ni I	4.09	-0.81	-0.37	0.50	0/2
10195.11	Fe I	2.73	-3.63	-0.51	0.27	0/2
10197.01	Cr I	2.99	-2.44	(w)	-0.04	0/1
10216.32	Fe I	4.73	-0.29	-0.2:	0.62	1/2
10218.41	Fe I	3.07	-2.93	-0.38	0.55	0/2
10230.78	Fe I	5.87	-0.70	(w)	0.40	0/1
10249.15	Ca I	4.53	-0.96	(w)	0.40	0/1
10254.77	Ca I	4.53	-0.98	(w)	0.46	0/1
10265.22	Fe I	2.22	-4.67	-0.47	0.13	0/2
10273.69	Ca I	4.53	-0.76	(w)	0.16	0/1
10288.94	Si I	4.92	-1.71	-0.31	0.41	0/2
10299.24	Mg I	6.12	-2.06	(b)	-0.83:	1/1
10301.41	Si I	6.10	-1.83	(w)	0.44	0/1
10307.45	Fe I	4.59	-2.45	(w)	0.17	0/1
10312.52	Mg I	6.12	-1.71	-0.17	0.25	0/2
10340.89	Fe I	2.20	-3.65	-0.40	0.16	0/2
10343.83	Ca I	2.93	-0.40	(s)	(s)	0/0
10347.96	Fe I	5.39	-0.82	-0.47	0.57	0/2
10353.81	Fe I	5.39	-1.09	(w)	0.33	0/1

Table 2 continued**Table 2** (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
10371.27	Si I	4.93	-0.80	-0.06	0.40	0/2
10395.80	Fe I	2.18	-3.42	-0.61	-0.03	0/2
10396.81	Ti I	0.85	-1.79	(s)	0.71	0/1
10401.72	Fe I	3.02	-4.36	(w)	0.25	0/1
10406.96	Si I	6.62	-0.77	-0.38	-0.14	0/2
10414.85	Si I	6.62	-1.38	(w)	0.25	0/1
10416.65	Cr I	3.01	-2.40	(w)	-0.10	0/1
10435.36	Fe I	4.73	-2.11	(w)	0.45	0/1
10452.75	Fe I	3.88	-2.30	-0.67	0.27	0/2
10469.66	Fe I	3.88	-1.37	-0.43	0.42	0/2
10481.27	Ca I	4.74	-0.83	(w)	0.35	0/1
10486.22	Cr I	3.01	-1.16	-0.40	0.46	0/2
10496.09	Ti I	0.84	-1.91	(s)	0.49	0/1
10509.99	Cr I	3.01	-1.78	-0.47	0.26	0/2
10516.14	Ca I	4.74	-0.52	(w)	0.25	0/1
10530.52	Ni I	4.11	-1.30	-0.36	0.58:	1/2
10532.24	Fe I	3.93	-1.76	-0.35	0.27	0/2
10550.06	Cr I	3.01	-2.66	(w)	0.47	0/1
10555.65	Fe I	5.45	-1.39	(w)	0.16	0/1
10565.97	Ti I	2.24	-2.10	(w)	0.37	0/1
10577.14	Fe I	3.30	-3.28	-0.42	0.55	0/2
10582.17	Si I	6.22	-1.16	-0.27	0.24	0/2
10585.14	Si I	4.95	-0.06	(b)	(s)	0/0
10603.44	Si I	4.93	-0.37	0.21	(s)	0/1
10607.73	Ti I	0.85	-3.16	0.07	0.56	0/2
10611.68	Fe I	6.17	-0.09	-0.44	0.63	0/2
10616.72	Fe I	3.27	-3.34	-0.52	0.19	0/2
10627.65	Si I	5.86	-0.50	0.09	0.86	0/2
10647.65	Cr I	3.01	-1.78	-0.54	0.24	0/2
10660.97	Si I	4.92	-0.32	(s)	(s)	0/0
10661.63	Ti I	0.82	-2.07	-0.12	(b)	0/1
10667.52	Cr I	3.01	-1.69	-0.51	0.39	0/2
10672.14	Cr I	3.01	-1.57	-0.46	0.41	0/2
10677.05	Ti I	0.84	-2.90	0.02	0.45	0/2
10689.72	Si I	5.95	-0.09	0.06	0.73	0/2
10694.26	Si I	5.96	0.10	-0.09	0.62	0/2
10725.19	Fe I	3.64	-2.98	-0.54	0.33	0/2
10726.39	Ti I	0.81	-2.31	0.02	0.49	0/2
10727.42	Si I	5.98	0.29	-0.19	0.42	0/2
10732.87	Ti I	0.83	-2.82	0.01	0.54	0/2

Table 2 continued

Table 2 (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
10749.39	Si I	4.93	-0.21	(s)	(s)	0/0
10753.01	Fe I	3.96	-2.14	-0.48	0.29	0/2
10754.76	Fe I	2.83	-4.39	-0.51	0.22	0/2
10774.87	Ti I	0.82	-2.98	0.01	0.45	0/2
10780.70	Fe I	3.24	-3.59	-0.55	0.20	0/2
10783.05	Fe I	3.11	-2.80	-0.51	-0.01	0/2
10784.56	Si I	5.96	-0.72	-0.33	0.18	0/2
10786.87	Si I	4.93	-0.38	(s)	(s)	0/0
10791.45	Ca I	4.74	-0.68	(w)	0.47	0/1
10792.51	Ti I	0.85	-3.80	-0.95:	-0.17	1/2
10796.11	Si I	6.18	-1.49	-0.20	0.47	0/2
10801.36	Cr I	3.01	-1.77	-0.59	0.38	0/2
10809.08	Ca I	4.68	-1.08	(w)	(b)	0/0
10816.90	Cr I	3.01	-2.01	-0.40	0.50	0/2
10818.28	Fe I	3.96	-2.23	-0.39	0.56	0/2
10821.68	Cr I	3.01	-1.73	(b)	0.26	0/1
10827.10	Si I	4.95	0.23	(s)	(s)	0/0
10833.38	Ca I	4.88	-0.43	(w)	0.30	0/1
10838.98	Ca I	4.88	0.03	-0.21	0.30	0/2
10843.86	Si I	5.86	-0.05	0.14	0.73	0/2
10846.79	Ca I	4.74	-0.64	(w)	0.48	0/1
10849.46	Fe I	5.54	-0.73	-0.46	0.37	0/2
10853.00	Fe I	3.87	-3.27	(w)	0.53	0/1
10861.59	Ca I	4.88	-0.49	(w)	0.34	0/1
10863.52	Fe I	4.73	-1.06	-0.44	0.35	0/2
10869.54	Si I	5.08	0.36	(s)	(s)	0/0
10879.88	Ca I	4.88	-0.51	(w)	0.08	0/1
10881.76	Fe I	2.85	-3.50	-0.48	0.36	0/2
10882.81	Si I	5.98	-0.62	-0.33	0.11	0/2
10884.26	Fe I	3.93	-2.18	-0.51	0.11	0/2
10885.35	Si I	6.18	-0.10	-0.14	0.58	0/2
10896.30	Fe I	3.07	-2.93	-0.51	0.27	0/2
10905.72	Cr I	3.44	-0.70	-0.30	0.48	0/2
10953.32	Mg I	5.93	-0.90	0.08	0.43	0/2
10979.31	Si I	4.95	-0.60	0.29	(s)	0/1
10982.08	Si I	6.19	-0.27	-0.08	0.55	0/2
11015.53	Cr I	3.45	-0.58	-0.22:	0.53	1/2
11026.78	Fe I	3.94	-2.77	-0.47	0.10	0/2
11053.52	Fe I	3.98	-3.09	(w)	-0.07	0/1
11119.80	Fe I	2.85	-2.54	-0.46	(b)	0/1

Table 2 continued

Table 2 (continued)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
11130.03	Si I	6.21	-0.31	-0.06	0.14	0/2
11135.96	Fe I	5.31	-1.10	-0.31	0.25	0/2
11607.57	Fe I	2.20	-2.46	(s)	(s)	0/0
11638.26	Fe I	2.18	-2.59	(s)	(s)	0/0
11640.96	Si I	6.27	-0.48	-0.17	0.24	0/2
11681.60	Fe I	3.55	-3.41	-0.64	0.13	0/2
11700.27	Si I	6.27	-0.67	0.04	1.45:	1/2
11715.49	Fe I	5.64	-1.20	(w)	0.35	0/1
11780.55	Ti I	1.44	-2.42	-0.06	0.19	0/2
11783.26	Fe I	2.83	-1.86	(s)	(s)	0/0
11797.18	Ti I	1.43	-2.33	-0.24	0.22	0/2
11828.19	Mg I	4.35	-0.50	(s)	(s)	0/0
11863.92	Si I	5.98	-1.50	-0.24	0.30	0/2
11892.89	Ti I	1.43	-1.73	-0.12	0.29	0/2
11900.03	Si I	5.96	-1.79	-0.11	0.48	0/2
11927.84	Ni I	4.27	-2.26	(w)	-0.23	0/1
11955.95	Ca I	4.13	-0.91	-0.31	0.30	0/2
11973.04	Fe I	2.18	-2.28	(s)	(s)	0/0
11984.23	Si I	4.93	0.12	(s)	(s)	0/0
11991.58	Si I	4.92	-0.22	(s)	(s)	0/0
12000.97	Cr I	3.44	-1.93	(w)	-0.09	0/1
12031.53	Si I	4.95	0.24	(s)	(s)	0/0
12039.84	Mg I	5.75	-1.55	-0.13	0.16	0/2
12053.08	Fe I	4.56	-1.75	-0.40	0.20	0/2
12103.54	Si I	4.93	-0.49	0.28	(s)	0/1
12105.84	Ca I	4.55	-0.54	-0.22	0.34	0/2
12119.50	Fe I	4.59	-1.88	-0.46	0.34	0/2
12133.99	Si I	5.98	-1.89	-0.24	0.36	0/2
12175.75	Si I	6.62	-0.97	-0.17	0.49	0/2
12178.40	Si I	6.27	-1.14	-0.10	0.61	0/2
12190.10	Fe I	3.63	-2.75	-0.39	0.45	0/2
12196.70	Si I	5.08	-3.27	(w)	-0.19	0/1
12213.34	Fe I	4.64	-2.09	-0.30	0.53	0/2
12227.12	Fe I	4.61	-1.60	-0.55	0.17	0/2
12255.70	Ti I	3.92	-0.07	(w)	0.20	0/1
12270.71	Si I	4.95	-0.54	0.16	(s)	0/1
12283.28	Fe I	6.17	-0.61	(w)	0.28	0/1
12340.49	Fe I	2.28	-4.79	-0.56	0.15	0/2
12342.92	Fe I	4.64	-1.68	-0.47	0.48	0/2
12388.37	Ti I	2.16	-1.81	-0.93:	0.11	1/2

Table 2 continued

Table 2 (*continued*)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
12390.17	Si I	5.08	-1.93	-0.24	0.46	0/2
12395.84	Si I	4.95	-1.82	-0.23	0.41	0/2
12417.92	Mg I	5.93	-1.69	-0.18	0.26	0/2
12423.02	Mg I	5.93	-1.23	-0.18	0.17	0/2
12433.45	Mg I	5.93	-1.00	-0.23	0.15	0/2
12449.42	Ni I	6.10	-0.01	(w)	-0.03	0/1
12460.70	Ti I	4.24	0.78	-0.72:	0.11	1/2
12532.85	Cr I	2.71	-2.07	-0.43	0.36	0/2
12557.01	Fe I	2.28	-4.07	-0.36	0.06	0/2
12583.95	Si I	6.62	-0.62	-0.23	0.30	0/2
12589.21	Si I	6.62	-1.56	(w)	0.35	0/1
12600.27	Ti I	1.44	-2.48	-0.19	0.16	0/2
12615.93	Fe I	4.64	-1.77	-0.56	0.40	0/2
12627.70	Si I	6.62	-1.07	-0.22	0.33	0/2
12638.72	Fe I	4.56	-1.00	-0.39	0.49	0/2
12648.74	Fe I	4.61	-1.32	-0.39	0.20	0/2
12671.10	Ti I	1.43	-2.19	-0.40	0.31	0/2
12738.39	Ti I	2.71	-0.90	0.10	0.51	0/2
12743.26	Ni I	5.28	-0.91	(w)	0.07	0/1
12744.91	Ti I	2.49	-1.54	-0.04	0.32	0/2
12789.47	Fe I	5.01	-1.92	(w)	0.39	0/1
12807.16	Fe I	3.64	-2.76	-0.29	0.45	0/2
12811.48	Ti I	2.16	-1.60	-0.01	0.50	0/2
12816.05	Ca I	3.91	-1.27	0.82:	1.19:	2/2
12821.67	Ti I	1.46	-1.67	0.44:	1.02	1/2
12824.87	Fe I	3.02	-3.68	-0.47	0.05	0/2
12827.02	Ca I	3.91	-1.70	(w)	0.52	0/1
12831.41	Ti I	1.43	-1.85	0.29	0.97	0/2
12840.58	Fe I	4.95	-1.76	-0.23	(b)	0/1
12847.05	Ti I	1.44	-1.71	0.21	0.65	0/2
12879.78	Fe I	2.28	-3.61	-0.44	0.13	0/2
12896.12	Fe I	4.91	-1.80	-0.37	0.30	0/2
12910.10	Cr I	2.71	-1.99	-0.46	0.27	0/2
12919.90	Ti I	2.15	-1.74	-0.19	0.45	0/2
12921.81	Cr I	2.71	-2.73	(w)	0.20	0/1
12937.03	Cr I	2.71	-2.09	-0.48	0.15	0/2
12946.54	Fe I	3.25	-4.23	(w)	-0.01	0/1
12950.90	Ti I	3.44	-0.54	(w)	0.40	0/1
13001.42	Ca I	4.44	-1.24	(w)	-0.08	0/1
13006.70	Fe I	2.99	-3.49	-0.53	0.42	0/2

Table 2 *continued***Table 2** (*continued*)

λ_{air} (Å)	Atom	EP (eV)	$\log gf$ (dex)	Arcturus (dex)	μ Leo (dex)	flag
13011.90	Ti I	1.44	-2.50	-0.10	0.55	0/2
13014.85	Fe I	5.45	-1.68	(w)	0.30	0/1
13033.56	Ca I	4.44	-0.31	-0.23	0.36	0/2
13039.66	Fe I	5.66	-1.32	(w)	0.09	0/1
13077.27	Ti I	1.46	-2.34	-0.10	(b)	0/1
13086.44	Ca I	4.44	-0.90	-0.36	0.25	0/2
13098.92	Fe I	5.01	-1.73	-0.38	0.37	0/2
13102.07	Si I	6.08	-0.72	0.06	0.30	0/2
13134.94	Ca I	4.45	-0.14	-0.16	0.46	0/2
13147.93	Fe I	5.39	-0.93	-0.34	0.34	0/2
13152.74	Si I	4.92	-2.58	-0.22	0.04	0/2
13167.78	Ca I	4.45	-1.23	(w)	0.19	0/1
13176.91	Si I	5.86	-0.30	0.09	0.80	0/2
13201.16	Cr I	2.71	-2.08	-0.34	0.37	0/2
13212.45	Ni I	2.74	-3.04	-0.10	0.8:	1/2
13217.02	Cr I	2.71	-2.52	-0.38	0.73	0/2
13264.17	Ni I	5.28	-1.03	(w)	-0.27	0/1
13291.78	Fe I	5.48	-1.58	(w)	0.25	0/1

NOTE— Here presented is the entire table which is also available as an online material on the journal website.

タイトル	:	A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood
著者	:	<u>Noriyuki Matsunaga</u> , Akinori Itane, Kohei Hattori, Juliana Crestani, Vittorio Braga, Giuseppe Bono, Daisuke Taniguchi, Junichi Baba, Hiroyuki Maehara, Nobuharu Ukita, Tsuyoshi Sakamoto, <u>Naoto Kobayashi</u> , Tsutomu Aoki, Takao Soyano, Ken'ichi Tarusawa, Yuki Sarugaku, Hiroyuki Mito, Shigeyuki Sako, Mamoru Doi, Yoshikazu Nakada, Natsuko Izumi, Yoshifusa Ita, Hiroki Onozato, Mingjie Jian, Sohei Kondo, Satoshi Hamano, Chikako Yasui, Takuji Tsujimoto, <u>Shogo Otsubo</u> , <u>Yuji Ikeda</u> , <u>Hideyo Kawakita</u>
関連出版	:	The Astrophysical Journal, Volume 925, Issue 1, id. 10, 11pp., (2022)

A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood

NORIYUKI MATSUNAGA,^{1,2} AKINORI ITANE,¹ KOHEI HATTORI,^{3,4} JULIANA CRESTANI,^{5,6} VITTORIO BRAGA,^{6,7}
GIUSEPPE BONO,^{5,6} DAISUKE TANIGUCHI,¹ JUNICHI BABA,³ HIROYUKI MAEHARA,³ NOBUHARU UKITA,³
TSUYOSHI SAKAMOTO,⁸ NAOTO KOBAYASHI,^{9,10,2} TSUTOMU AOKI,¹⁰ TAKAO SOYANO,¹⁰ KEN'ICHI TARUSAWA,¹⁰
YUKI SARUGAKU,² HIROYUKI MITO,¹¹ SHIGEYUKI SAKO,⁹ MAMORU DOI,⁹ YOSHIKAZU NAKADA,⁹ NATSUKO IZUMI,¹²
YOSHIFUSA ITO,¹³ HIROKI ONOZATO,³ MINGJIE JIAN,¹ SOHEI KONDO,¹⁰ SATOSHI HAMANO,³ CHIKAKO YASUI,¹⁴
TAKUJI TSUJIMOTO,³ SHOGO OTSUBO,² YUJI IKEDA,^{15,2} AND HIDEYO KAWAKITA^{2,16}

¹*Department of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan*

²*Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy (LiH), Koyama Astronomical Observatory, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto, 603-8555, Japan*

³*National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

⁴*Institute of Statistical Mathematics, 10-3 Midoricho, Tachikawa, Tokyo 190-0014, Japan*

⁵*Dipartimento di Fisica, Universita di Roma Tor Vergata, via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy*

⁶*INAF, Osservatorio Astronomico di Roma, via Frascati 33, I-00078 Monte Porzio Catone, Italy*

⁷*Space Science Data Center, ASI, via del Politecnico snc, I-00133 Roma, Italy*

⁸*Smile Collection Inc., 4-13-10 Kotobuki, Taito-ku, Tokyo 111-0042, Japan*

⁹*Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-0015, Japan*

¹⁰*Kiso Observatory, Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 10762-30 Mitake, Kiso-machi, Kiso-gun, Nagano 397-0101, Japan*

¹¹*UTokyo Organization for Planetary and Space Science, the University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Tokyo 113-0033, Japan*

¹²*Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica, No. 1, Section 4, Roosevelt Road, Taipei 10617, Taiwan*

¹³*Astronomical Institute, Graduate School of Science, Tohoku University, 6-3 Aramaki Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan*

¹⁴*National Astronomical Observatory of Japan, California Office, 100 W. Walnut St., Suite 300, Pasadena, CA 91124, USA*

¹⁵*Photocoding, 460-102 Iwakura-Nakamachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-0025, Japan*

¹⁶*Department of Astrophysics and Atmospheric Sciences, Faculty of Science, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, Japan*

(Received October 11, 2021; Revised October 27, 2021; Accepted October 27, 2021)

Submitted to ApJ

ABSTRACT

Metal-deficient stars are important tracers for understanding the early formation of the Galaxy. Recent large-scale surveys with both photometric and spectroscopic data have reported an increasing number of metal-deficient stars whose kinematic features are consistent with those of the disk stellar populations. We report the discovery of an RR Lyrae variable (hereafter RRL) that is located within the thick disk and has an orbit consistent with the thick-disk kinematics. Our target RRL (HD 331986) is located at around 1 kpc from the Sun and, with $V \simeq 11.3$, is among the ~ 130 brightest RRLs known so far. However, this object was scarcely studied because it is in the midplane of the Galaxy, the Galactic latitude around -1 deg. Its near-infrared spectrum ($0.91\text{--}1.32\ \mu\text{m}$) shows no absorption line except hydrogen lines of the Paschen series, suggesting $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2.5$. It is the most metal-deficient RRL, at least, among the RRLs whose orbits are consistent with the disk kinematics, although we cannot determine to which of the disk and the halo it belongs. This unique RRL would provide us with essential clues for studying the early formation of stars in the inner Galaxy with further investigations, including high-resolution optical spectroscopy.

Corresponding author: Noriyuki Matsunaga
matsunaga@astron.s.u-tokyo.ac.jp

Keywords: RR Lyrae variable stars (1410), Spectroscopy (1558), Milky Way disk (1050), Surveys (1671), Milky Way formation (1053), Metallicity (1031)

1. INTRODUCTION

It is possible to investigate stellar populations in the Galaxy with various detailed observations thanks to relatively low distances to individual stars. For example, the positions and motions of billions of stars provided by the *Gaia* satellite (see [Gaia Collaboration et al. 2021](#), for the latest data release, EDR3) have revolutionized our understanding of the Galactic structure and evolution. In particular, streams and substructures that are clearly detected with the *Gaia* data allow us to build up a scenario of accretions and mergers in the early history of the Galaxy ([Helmi 2020](#)). Another vital material for characterizing the Galactic stellar populations is being brought by detailed elemental abundances based on high-resolution spectroscopy ([Jofré et al. 2019](#); [Matteucci 2021](#), and references therein). Metal-deficient stars are especially important for studying the early Galactic evolution ([Frebel & Norris 2015](#)), and tremendous efforts have been devoted to identifying metal-deficient stars (see, e.g., [Starkenburg et al. 2017](#); [Da Costa et al. 2019](#), for recent large-scale surveys). An exciting discovery through these surveys is the presence of metal-deficient stars in the Galactic disk ([Sestito et al. 2020](#)).

The presence and the characteristics of metal-deficient stars in the disk provide us with crucial clues to the formation of the Galactic disk and its history. A strong merger at an early stage, for example, would have disrupted the disk, and metal-deficient stars that were present at the time of the merger could lose their disk-like kinematics except those in the inner Galaxy where the gravitational potential was deep enough to trap the stars. Recent studies equipped with the *Gaia* data suggest that such a merger occurred ~ 10 Gyr ago, triggered the growth of the thick disk ([Gallart et al. 2019](#); [Helmi et al. 2018](#); [Helmi 2020](#)), and is imprinted in the kinematics of halo stars as a feature called *Gaia Enceladus* or *Gaia Sausage*. The metal-deficient stars with disk-like orbits such as the stars with $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.5$ discussed in [Sestito et al. \(2020\)](#) can be considered relics of the proto-disk that was present before the merger. Further identification of such stars over a wide range of metallicity, together with the characterization of halo stars in the same spatial volume, is crucial to establish (or reject) such a formation scenario of the thick disk.

This study focuses on RR Lyrae stars (RRLs) to investigate the old and metal-deficient populations located in the Galactic disk. RRLs are pulsating stars in the

Cepheid instability strip and at the horizontal branch phase evolved from low-mass stars ($\lesssim 1 M_{\odot}$). They are exclusively old (> 10 Gyr) and thus trace old stellar populations in galaxies. General views on the characteristics of RRLs are found in a review by [Beaton et al. \(2018\)](#) and references therein. The majority of RRLs belong to old stellar spheroids, i.e., the halo and the bulge, while the disk population of RRLs has been also found ([Layden 1995](#); [Prudil et al. 2020](#); [Zinn et al. 2020](#)). Other than the differences in spatial distribution and kinematics, an essential difference between the halo and disk groups of RRLs is the metallicity distribution. Disk RRLs are predominantly metal-rich, $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1$, while halo RRLs are less metal enriched. In this study, we report the discovery of an RRL with $[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2.5$ that has a disk-like orbit.

The rest of this paper is organized as follows. First, we discuss the photometric properties of our target in Section 2. We first identified this object as a bright but unexplored RRL through our variability survey, KWFC Intensive Survey of the Galactic Plane (KISOGP), described in Section 2.1. Combined with other photometric data (Section 2.2) and the *Gaia*-based distance, we give an estimate of its metallicity by making use of the period–luminosity–metallicity relation of RRLs (Section 2.3). Then, in Section 3, we present the analysis of the near-infrared spectrum obtained with the WINERED spectrograph. We detected hydrogen lines of the Paschen series, which enable us to measure the radial velocity (Section 3.2), but detected no metallicity lines, which gives only upper limits of abundance (Section 3.3). In Section 4, we discuss the kinematics and the low metallicity of the target RRL in the context of the Galactic structure and evolution. Finally, Section 5 concludes the paper.

2. PHOTOMETRIC DATA

2.1. KISOGP

KISOGP is the large-scale survey of variable stars in the northern Galactic plane using Kiso Wide Field Camera (KWFC) attached to the 105-cm Schmidt telescope at Kiso Observatory, Japan. KWFC is a mosaic CCD camera with eight CCD chips having a total of $8\text{k} \times 8\text{k}$ pixels covering a field-of-view of 2.2 degrees square ($0.946'' \text{ pix}^{-1}$) on the sky. See more details of the KWFC in [Sako et al. \(2012\)](#).

To discover and characterize variable stars in the Galactic plane, we started the KISOGP in 2012

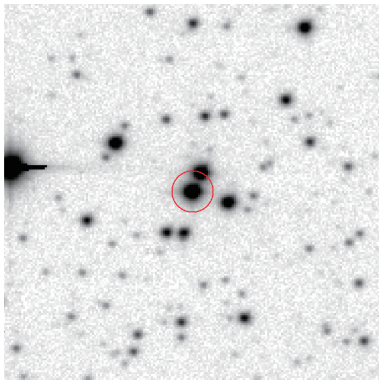


Figure 1. Finding chart of our target RRL (HD 331986), indicated by the red circle with the radius of $10''$, on a KISOGP I -band image (3 arc-minute square, north up and east left).

and made I_c -band time-series observations for the 80 KWFC fields-of-view covering $\sim 330 \text{ deg}^2$ between 60 and 210 deg in Galactic longitude (Matsunaga 2017). The analysis for publishing the catalog of variables detected in the KISOGP is in progress, but a study on eclipsing binary systems has been published by Ren et al. (2021).

During our early attempt to identify periodic variables, we discovered a bright but scarcely-investigated RRL and made a spectroscopic observation in 2015 (Section 3.1). The properties of this RRL variable, HD 331986 (finding chart presented in Figure 1), are summarized in Table 1. The KISOGP I -band light curve of this object is presented in Figure 2 together with light curves in other wavelengths (see Section 2.2).

We fitted the discrete Fourier series to the photometric points,

$$m(t) = A_0 + \sum_{j=1}^3 A_j \sin \left[\frac{2\pi j}{P} (t - t_0) + \phi_j \right] \quad (1)$$

where t indicates the heliocentric Julian date (HJD) of each photometric measurement and t_0 is the reference epoch, 2456000.519, which we determined to put the maximum of the I_c -band light curve at phase zero. We obtained the period, $P = 0.371197$ days, that gives the maximum power in the periodogram constructed with the three-term Fourier model as given in Equation 1 for the KISOGP light curve (see the methodology, e.g., in VanderPlas 2018). Using the fitted light curve, we calculated the intensity mean and the peak-to-valley amplitude (Table 2). We confirm that this star is a first-overtone mode RRL (RRc type) based on its period, amplitude, and light curve shape.

Table 1. Properties of the target RR Lyr star

Item(s)	Value(s)	Ref.
KISOGP ID	KISOJ 201241.60+321242.4	1
Aliases	HD 331986, NSVS 8487853	2
<i>Gaia</i> EDR3 Source ID	2054159819759156992	3
Eq. coordinate (deg)	$\alpha = 303.17334$, $\delta = 32.21177$	2
Gal. coordinate (deg)	$l = 70.40915$, $b = -1.05159$	2
Valiability type	RRc	1, 2
Period (days)	0.371197	1
2MASS magnitudes	$J = 9.954$, $H = 9.663$ $K_s = 9.577$	4
Astrometric distance (kpc)	1.042 ± 0.015	5
Proper mosion (mas yr^{-1})	$\mu_\alpha \cos \delta = 11.76$, $\mu_\delta = -5.09$	3
	$\mu_l \cos b = 2.23$, $\mu_b = -12.62$	3

References—(1) This work, (2) Simbad, (3) *Gaia* EDR3, (4) Skrutskie et al. (2006), (5) Bailer-Jones et al. (2021)

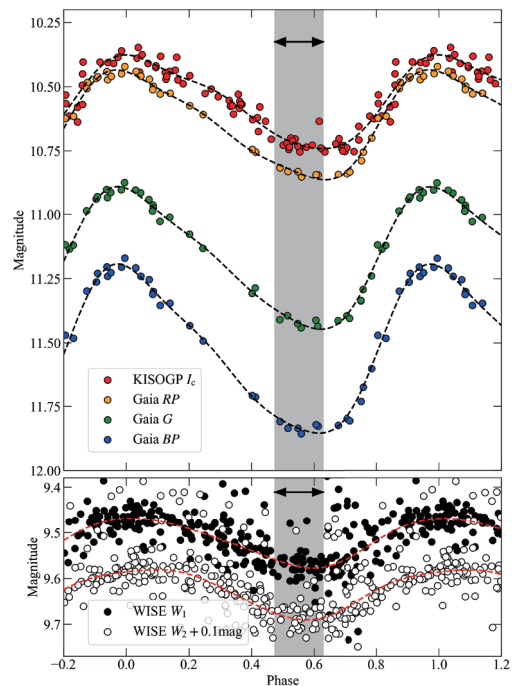


Figure 2. Light curves of our target RRL (HD 331986). The upper panel presents optical data, i.e., KISOGP (I_c) and *Gaia* DR2 (RP , G , and BP), while the lower panel presents the infrared data from *NEOWISE* (W_1 and W_2). The dashed curves indicate the fitted discrete Fourier series (Equation 1). The gray strip indicates the duration of the WINERED spectroscopic observation (Section 3.1).

Table 2. Mean magnitudes and peak-to-valley amplitudes

Band	I_c	RP	G	BP	W_1	W_2
Mean	10.556	10.648	11.165	11.525	9.519	9.529
Amp	0.365	0.430	0.556	0.661	0.109	0.109

2.2. Other photometric data sets

Our target star was first identified as a candidate of RRL by Kinemuchi et al. (2006) based on the Northern Sky Variability Survey (NSVS). Hoffman et al. (2009) also reported this star as an RRL based on the automated classification with the NSVS data. It has also been included as an RRL in the *Gaia* Data Release 2 (Clementini et al. 2019) and the variability catalog based on the *Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE)* (Chen et al. 2018). However, no detailed follow-up study has been done, and its kinematic and chemical features remained to be revealed.

As seen in Figure 1, there is a similarly bright star at $\sim 10''$, *Gaia* EDR3 ID 2054159819759157504 with $G = 11.56$. This star is at 0.35 kpc (Bailer-Jones et al. 2021) and has a higher proper motion $\sim 20 \text{ mas yr}^{-1}$. It does not affect the KISOGP photometry of the target RRL, but severe contamination occurs in the NSVS images with the pixel size of $14.''4$ (Kinemuchi et al. 2006). The same applies to the data from the All-Sky Automated Survey for Supernovae (ASAS-SN) with $8.''0$ pixels (Jayasinghe et al. 2018). There is no optical data set, other than the *Gaia* DR2, that was published before and gives a high-quality light curve of this object in V or other bands.

We consider the data of 2MASS (Skrutskie et al. 2006) and *NEOWISE* (Mainzer et al. 2011, 2014) for the infrared range. While the 2MASS gives the JHK_s magnitudes at a single epoch (1999 June 22), *NEOWISE* gives time-series data collected between 2014 May and 2020 October in the two mid-IR bands, W_1 ($3.4 \mu\text{m}$) and W_2 ($4.6 \mu\text{m}$). The available time-series data are presented in Figure 2, but the 2MASS magnitudes are not included because we cannot determine the precise pulsation phase for this data set ~ 30 years ago. We fitted the three-term Fourier series (Equation 1) to the photometric points in each band and estimated the intensity mean and amplitude (Table 2). The *NEOWISE* data include many outliers, and we made $2\text{-}\sigma$ clipping for fitting the Fourier series. Although we did not find good V -band photometry free from the blending effect as mentioned above, the mean magnitudes in the *Gaia* bands give the mean V -band mean magnitude of 11.32

and the maximum magnitude of 11.01 according to the formula in Evans et al. (2018). Maintz (2005) compiled a catalog of well-identified RRLs brighter than $V = 12.5$ at the maximum phase, and there are 132 RRLs brighter than our target RRL.

2.3. Period–luminosity–metallicity relation

RRLs are established distance indicators although their correlation between period and absolute magnitudes are significantly affected by metallicity (Beaton et al. 2018). We consider the period–luminosity–metallicity (PLZ) relations obtained by Neeley et al. (2019) to see if the photometric data are consistent with the geometric distance and to give a constraint on the metallicity of our target. Following a theoretical study on the PLZ relation in Neeley et al. (2017), Neeley et al. (2019) used the *Gaia* DR2 trigonometric distances of 55 RRLs with $[\text{Fe}/\text{H}]$ between -2.56 and -0.07 to obtain the empirical PLZ relations from optical to mid-IR photometric bands. The PLZ relation in each band is in the form of

$$M_\lambda = a + b(\log P_F + 0.30) + c([\text{Fe}/\text{H}] + 1.36), \quad (2)$$

where P_F is the “fundamentalized” period given by $\log P_F = \log P + 0.127$ for an RRc star ($\log P_F = -0.303$ for our target). The mid-IR bands used in Neeley et al. (2019) are those of the *Spitzer* Space Telescope, but we use their PLR relations for the *WISE* data. The *Spitzer* [3.6] and [4.5] bands correspond to the *WISE* W_1 and W_2 bands, respectively. The theoretical result by Neeley et al. (2017) suggests that the relations in the *Spitzer* bands and those in the *WISE* bands identical, within 0.003 mag, with each other at each wavelength. In addition to W_1 , W_2 , and I_c in Table 2, we consider the single-epoch 2MASS magnitudes in JHK_s in the following analysis.

Combining an observed magnitude (m_λ) and the PLZ relation (Equation 2), we can calculate the distance modulus as a function of $[\text{Fe}/\text{H}]$,

$$\mu_\lambda = \mu_0 + A_\lambda = m_\lambda - M_\lambda, \quad (3)$$

where μ_λ and μ_0 are called *apparent* and *true* distance moduli, respectively, and A_λ indicates the interstellar extinction at each wavelength. In the upper panel of Figure 3, the *apparent* distance moduli with different $[\text{Fe}/\text{H}]$ are compared with each other and also with the distance modulus corresponding to the astrometry-based distance in Bailer-Jones et al. (2021). We adopt the extinction law obtained by Wang & Chen (2019), i.e., $A_{I_c}/A_V = 0.559$, $A_J/A_V = 0.243$, $A_H/A_V = 0.131$, $A_{K_s}/A_V = 0.078$, $A_{W_1}/A_V = 0.039$, and $A_{W_2}/A_V = 0.026$.

We can predict a model of μ_λ for a given set of A_V and $[\text{Fe}/\text{H}]$, like the one indicated by the orange curve in Figure 3, and we searched for the best set with the least-square method. We used the error of 0.10 mag for the 2MASS JHK_s and 0.03 mag for the other bands considering that the 2MASS data are single-epoch magnitudes. We then obtained $A_V = 1.01$ and $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.55$ by searching for the best set of these parameters that makes the six-band photometry in Figure 3 consistent with the *true* distance modulus based on the astrometry-based distance. This result indicates that our target RRL is very metal poor ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2$, according to the terminology in Beers & Christlieb 2005), which is consistent with the spectroscopic analysis we present in Section 3. The higher $[\text{Fe}/\text{H}]$ would require the lower distance as illustrated in Figure 3. This estimate is subject to the systematic uncertainty and the intrinsic scatter of the PLZ relations given by Neeley et al. (2019) in addition to the uncertainty in the *Gaia*-based distance by Bailer-Jones et al. (2021). It is not straightforward to estimate the error in our estimate considering various uncertainties discussed in Neeley et al. (2019). We roughly estimate that the distance modulus based on the PLZ has the error of 0.1 mag, which dominates the error ~ 0.03 mag from the *Gaia*-based distance, and the error of 0.1 mag corresponds to the error of ~ 0.5 in $[\text{Fe}/\text{H}]$.

The light curve shape can be used to infer the metallicity of RRab-type variables (see Mullen et al. 2021, and references therein) but not for RRc-type ones. Nevertheless, the period and amplitudes indicate that this RRc star is metal-deficient compared to typical RRLs. Although there is a star-to-star scatter, Fig. 7 of Sneden et al. (2018) clearly suggests that RRc stars with longer period tend to have lower metallicity. Among the sample they considered, the relatively long period, 0.371197 days, of the target RRL was not found among metal-rich RRc stars ($[\text{Fe}/\text{H}] > -1$). Furthermore, Fabrizio et al. (2021) illustrated that metal-deficient RRLs tend to have larger amplitudes at a given period (see their Figure 7). Although we have no good V -band light curve, the amplitudes in the *Gaia* bands suggest a large V -band amplitude, 0.55–0.65 mag, which is found among metal-deficient RRLs ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -1.5$).

3. SPECTROSCOPIC DATA

3.1. The WINERED spectrum

We observed the target RRL on 2015 August 15, 14:55 to 16:20 (UT) with WINERED attached to the 1.3 m Araki telescope at Koyama Observatory, Kyoto Sangyo University in Japan. WINERED is a near-infrared high-resolution spectrograph covering 0.90 to 1.35 μm (z' , Y , and J bands) with the resolution of $R = \lambda/\Delta\lambda = 28000$

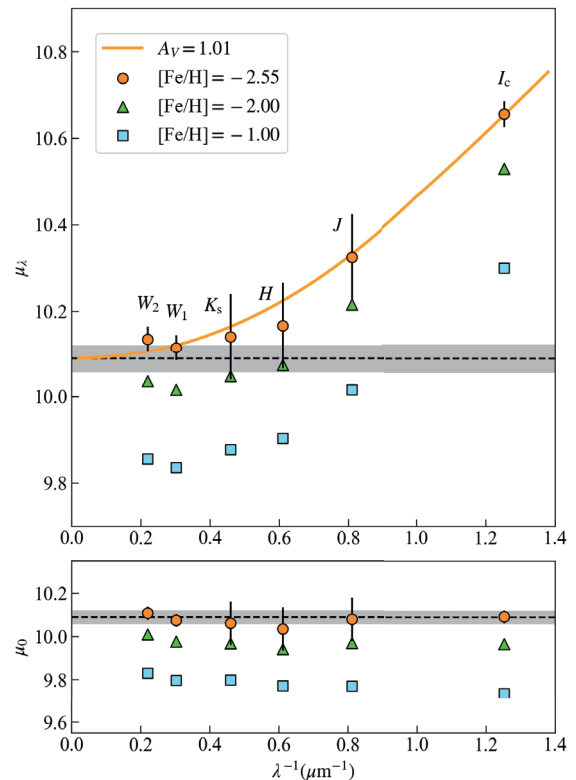


Figure 3. The *apparent* distance moduli μ_λ (upper panel) and the *true* distance moduli μ_0 (lower panel) obtained with different photometric bands. The horizontal gray line and strip indicate the astrometry-based distance modulus and its error obtained by Bailer-Jones et al. (2021). The interstellar extinction corresponding to $A_V = 1.01$ is used to draw the orange curve in the upper panel and to convert μ_λ to μ_0 at each band.

with the WIDE mode (Ikeda et al. 2016, 2021). We carried out eight 600 s exposures, giving the total integration time of 4800 s, with the ABBA nodding pattern having the target within the slit in all the exposures. The eight exposures within ~ 1.4 hours cover the phases between 0.47 and 0.63 along the pulsation cycle (Figure 2).

The raw spectral data were first reduced by the pipeline developed by the WINERED team (Hamano et al. in preparation). The pipeline outputs one-dimensional spectra for individual exposures and combined spectra along with supplementary information. Avoiding the spectral parts with too much telluric absorption, we consider the following echelle orders in the subsequent analysis: 43th to 48th (11560–13190 \AA in the J band), 51st to 57th (9760–11150 \AA in the Y band), and 61st (9120–9280 \AA in the z' band).

Having the spectra from eight exposures allows us to reject spurious noises before making the combined spec-

tra and to estimate the signal-to-noise ratio (S/N) as follows. We compared the eight one-dimensional spectra after the continuum normalization produced by the pipeline and calculated the mean (μ) and the standard deviation (σ) of the fluxes at each wavelength. We then rejected the signals from individual exposures (f_i) if $|f_i - \mu| > 2\sigma$ and calculated the mean and its standard error using the accepted signals. Thus, we obtained the combined spectrum, which is less affected by outliers, and the realistic estimates of errors in individual pixels. We estimated the S/N of each echelle order by considering the median of the pixel-by-pixel errors in the normalized flux. The S/N in the final spectrum per pixel ranges from 45 to 70 except the 61st order with $S/N \sim 30$ in which the telluric absorption is rather severe.

We then performed the telluric correction using the synthetic telluric absorption calculated with *Telfit* tool (Gullikson et al. 2014). We actually observed an A0V star, 29 Vul, as a telluric standard star with the total integration time of 600 s (two 300 s exposures). However, hydrogen lines are the main features we study, and using the spectrum of a telluric standard star which shows its own hydrogen lines would disturb the profiles of the hydrogen lines of our target. After the telluric correction, we made the continuum normalization again.

The reduced spectrum is featureless except strong hydrogen lines and spurious noises that are mainly caused by residuals of telluric lines and OH airglow lines (Oliva et al. 2015). We use the hydrogen lines to measure the radial velocity (Section 3.2), and we estimate the upper limits of chemical abundance with the help of theoretical synthetic spectra (Section 3.3).

3.2. Hydrogen lines

There are four hydrogen lines situated within the wavelength range of our interest, and we detected all of them (Figure 4). Pa ϵ at 9545.973 is located in the 59th order of our spectrum, but it is too much contaminated by the telluric absorption in between the z' and J bands. We measured the central wavelength (λ_{obs}) and FWHM by fitting a Gaussian function to 20 pixels, corresponding to $\pm 50 \text{ km s}^{-1}$, around each of the four hydrogen line. Table 3 lists λ_{obs} and the air wavelength at rest, λ_{air} , together with the radial velocity and the FWHM. The velocity error in the fitting of a Gaussian is smaller than 1 km s^{-1} .

In order to calculate the barycentric motion of the object, however, we need to consider the pulsational effect in addition to the heliocentric correction (i.e., the correction taking into account the motion of the observing facility around the Sun). The amplitude of radial velocity (Δ_{RV}) is, at least approximately, proportional to the

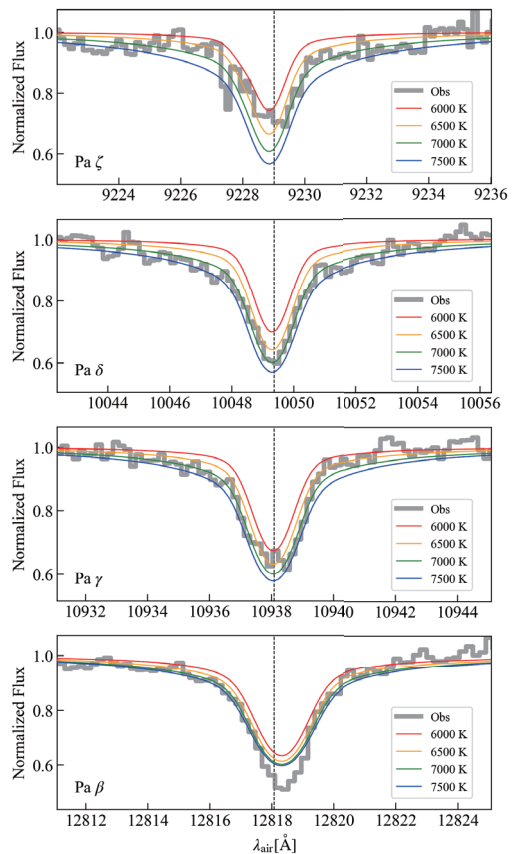


Figure 4. Four hydrogen lines, from Pa ζ (top) to Pa β (bottom), located within the WINERED spectrum. Vertical line corresponds to the air wavelength, λ_{obs} , of each line at rest. The wavelength scale of the observed spectrum (Obs) is after the mean radial velocity, -85.5 km s^{-1} , subtracted. Four synthetic spectra with $\log g = 2.6$ and $[\text{Fe}/\text{H}] = -2$ but with different T_{eff} are adjusted to the observed spectrum considering the differences between the mean velocity and v_i in Table 3.

Table 3. Four hydrogen lines detected (Paschen series)

Line	λ_{air} (\AA)	λ_{obs} (\AA)	v_i (km s^{-1})	FWHM (km s^{-1})
Pa ζ	9229.017	9226.247	-90.0	78.6
Pa δ	10049.373	10046.462	-86.9	60.8
Pa γ	10938.093	10934.966	-85.8	62.1
Pa β	12818.077	12814.689	-79.3	51.2
<i>Mean</i>			-85.5	

V -band amplitude (Δ_V) (Sneden et al. 2017; Magurno et al. 2019). Recently, Braga et al. (2021) thoroughly investigated the amplitudes and shapes of velocity curves obtained with different absorption lines in the optical range and provided templates of velocity curve. The ratio Δ_{RV}/Δ_V depends on the line being measured. In particular, H_α gives a large ratio, $\Delta_{RV}/\Delta_V \simeq 107$, compared to other Balmer lines and metallic lines, which give the ratios ~ 55 with some scatter for RRc stars. Unfortunately, the ratios for the Paschen lines have not been studied well. Therefore, we make a simple correction by ignoring the difference between the velocity curves of the four Paschen lines and assuming $\Delta_{RV}/\Delta_V = 55$. This ratio is also consistent with the ratios reported by Sneden et al. (2017) and Magurno et al. (2019). The amplitudes in the *Gaia* bands indicate that the V -band semi-amplitude ~ 0.3 mag, leading to the semi-amplitude of velocity ~ 16.5 km s $^{-1}$. The radial velocity of an RRc star gets most redshifted at around the minimum phase with respect to the mean velocity (e.g., Benkó et al. 2021). Thus, we apply the correction of -16.5 km s $^{-1}$ in addition to the heliocentric correction (-2.4 km s $^{-1}$), resulting in the heliocentric velocity $V_{\text{helio}} = -104.4$ km s $^{-1}$ and the velocity with respect to the local standard of rest (LSR) $V_{\text{LSR}} = -86.7$ km s $^{-1}$. Because of the lack of the velocity template and because only a single-epoch velocity measurement is available, the correction of the pulsational effect introduces the dominant error in our estimate of the barycentric radial velocity (or so-called gamma velocity, V_γ). Considering the scatter of Δ_{RV}/Δ_V observed in different RRc stars and the line-to-line difference presented in Braga et al. (2021, see their Fig 15), we conservatively estimate its error to be 10 km s $^{-1}$.

3.3. Metallic lines

We detected no metallic lines, and we cannot make any solid estimate of the chemical abundance of the target RRL. Instead, we estimate the upper limits of the equivalent widths (EWs) and the corresponding limits of abundance for the strongest absorption lines expected in the WINERED range.

3.3.1. Spectral synthesis and stellar parameters

In the subsequent analysis, we used the MOOG tool for spectral synthesis (Sneden et al. 2012) together with the ATLAS9 atmosphere models extended by Mészáros et al. (2012). They provided the models with different $[\alpha/\text{Fe}]$ and $[\text{C}/\text{Fe}]$ for a wide range of metallicity, and we assumed $[\alpha/\text{Fe}]$ and $[\text{C}/\text{Fe}]$ are both enhanced by +0.3 dex. Together with an atmospheric model, the spectral synthesis requires a list of absorption lines. We considered Vienna Atomic Line Database (VALD;

Ryabchikova et al. 2015) and the list of Meléndez & Barbuy (1999; hereinafter referred to as MB99), and synthesized two spectra for a given atmospheric model by using the two line lists separately.

We need stellar parameters such as the effective temperature to decide which atmosphere models we use. The WINERED observation was carried out over ~ 1.4 hours, within which 10-min exposures were repeated eight times). This corresponds to a significant fraction of the pulsation cycle, $0.473 < \phi < 0.630$ (Figure 2). Nevertheless, the variation of stellar parameters is expected to be small because the exposures were made at around the minimum phase (e.g., Govea et al. 2014). Therefore, we decided to ignore the variation of stellar parameters during the eight exposures.

It is, however, not easy to obtain a precise estimate of the stellar parameters of our target. In Section 2.3, we used the PLZ relations to estimate the interstellar reddening. This means that we assumed that the intrinsic color of our target is consistent with the prediction of the PLZ relations for which only mean magnitudes are used. On the other hand, the lack of metallic lines prevents us from estimating the stellar parameters with various methods used in common spectral analyses. Therefore, we consider the T_{eff} and $\log g$ expected for RRc-type variables allowing relatively large errors.

Govea et al. (2014) found that T_{eff} of RRc are concentrated in between 7000–7500 K. This is consistent with T_{eff} of a larger sample of RRc stars in Crestani et al. (2021b) considering the uncertainties. At around the minimum phase, the effective temperature is expected to be at the low extreme. We consider three temperatures, i.e., 6750, 7000, and 7250 K, where we need to evaluate the effect of T_{eff} on the upper limits of abundance. Concerning other stellar parameters necessary for the spectral synthesis, we use the surface gravity $\log g = 2.6$, the microturbulence $v_{\text{mic}} = 2.5$ km s $^{-1}$, and the additional Gaussian broadening $v_{\text{broad}} = 25.0$ km s $^{-1}$ including the macroturbulence and instrumental factors. Figure 4 compares the observed spectrum with synthetic spectra with $\log g = 2.6$ and $[\text{Fe}/\text{H}] = -2$ but with four different T_{eff} between 6000 and 7500 K. The relative strengths of the four Paschen lines support the adopted temperature range. The constraint is, however, not very strong because it is hard to reproduce the broad profile of hydrogen lines accurately with high-resolution echelle spectra like the WINERED one.

3.3.2. Upper limits of equivalent width

We first listed up the supposedly strongest absorption features in the synthetic spectrum with $T_{\text{eff}} = 7000$ K, $\log g = 2.6$, and $[\text{Fe}/\text{H}] = -1$ created with the line list of VALD or MB99. Then, we identified the absorption

Table 4. Upper limits of equivalent width (W) and $[X/H]$ for the metallic lines selected from VALD

ID	Species	λ_{air} (Å)	EP (eV)	$\log gf$	W_{up} (mÅ)	$[X/H]_{\text{up}}$
V01	S I	9212.8630	6.524	0.470	52	-1.72
V02	Mg II	9218.2500	8.655	0.270	85	-1.08
V03	Si I	10585.141	4.954	0.012	28	-1.99
V04	C I	10683.080	7.483	0.079	86	-2.10
V05	C I	10685.340	7.480	-0.272	103	-1.57
V06	C I	10691.245	7.488	0.344	72	-2.51
V07	C I	10707.320	7.483	-0.411	48	-2.05
V08	C I	10729.529	7.488	-0.420	38	-2.18
V09	Si I	10827.088	4.954	0.302	44	-2.03
V10	Si I	10868.789	6.191	0.206	39	-2.11
	Si I	10869.536	5.082	0.371		
V11	Mg II	10914.244	8.864	0.020	39	— ^a
	Sr II	10914.887	1.805	-0.638		
V12	C I	11658.820	8.771	-0.278	144	-1.03
	C I	11659.680	8.647	0.028		
V13	C I	11748.220	8.640	0.375	61	-1.78
V14	C I	11753.320	8.647	0.691	46	-2.35
V15	C I	11754.760	8.643	0.542	42	-2.32
V16	Mg I	11828.171	4.346	-0.333	57	-1.89
V17	Ca II	11838.997	6.468	0.312	90	-1.66
V18	Si I	11984.198	4.930	0.239	70	-1.69
V19	Si I	12031.504	4.954	0.477	351	— ^b
V20	Mg I	12083.278	5.753	0.450	52	-2.03
	Mg I	12083.649	5.753	0.410		

^aNo constraint was obtained for this feature with multiple elements' contribution.

^bNo constraint stronger than $[X/H] \leq -1$ was given.

lines that form the selected features (Tables 4 and 5). Multiple lines can contribute to each feature. Among the selected features, the one at 11659.5 Å is formed by two C I lines, and the one at 12083.5 Å by two Mg I lines according to VALD. In addition, Mg II 10914.244 and Sr II 10914.887 could have formed the feature at ~ 10914.5 Å together. We excluded this mixed feature from the subsequent analysis to avoid the blending effect on the upper limits of abundance.

For each selected feature, we evaluated the upper limits of the EW as follows. First, we calculated the weighted mean and its error of the pixel counts within ± 150 km s⁻¹ around each line but with the pixels within ± 25 km s⁻¹ of the features in Tables 4 and 5 excluded from the calculation. The weighted mean is considered as the local continuum level, f_c (with the error, e_c), in the wavelength range around the feature. If the continuum normalization for each order were

Table 5. Same as Table 4 but for MB99

ID	Species	λ_{air} (Å)	EP (eV)	$\log gf$	W_{up} (mÅ)	$[X/H]_{\text{up}}$
M01	C I	10123.87	8.54	-0.09	51	-1.44
M02	Si I	10585.14	4.95	-0.06	28	-1.92
M03	C I	10683.09	7.48	0.03	86	-2.05
M04	C I	10685.36	7.48	-0.30	103	-1.54
M05	C I	10691.26	7.49	0.28	72	-2.45
M06	C I	10707.34	7.48	-0.41	48	-2.05
M07	C I	10729.54	7.49	-0.46	38	-2.14
M08	Si I	10749.39	4.93	-0.21	46	-1.49
M09	Si I	10827.10	4.95	0.23	44	-1.95
M10	Si I	10869.54	5.08	0.36	39	-2.09
M11	Mg II	10914.24	8.86	0.00	39	— ^a
	Sr II	10914.88	1.80	-0.59		
M12	C I	11658.85	8.77	-0.36	144	— ^b
	C I	11659.70	8.65	-0.07		
M13	C I	11748.24	8.64	0.40	61	-1.81
M14	C I	11753.32	8.65	0.69	46	-2.33
M15	C I	11754.79	8.64	0.51	42	-2.29
M16	Mg I	11828.19	4.35	-0.50	57	-1.72
M17	Ca II	11838.99	6.47	0.24	90	-1.59
M18	Ca II	11949.76	6.47	-0.04	43	-1.92
M19	Si I	11984.23	4.93	0.12	70	-1.57
M20	Si I	12031.53	4.95	0.24	351	— ^b

^aNo constraint was obtained for this feature with multiple elements' contribution.

^bNo constraint stronger than $[X/H] \leq -1$ was given.

perfect in the spectral reduction (Section 3.1), f_c should be 1, and it is actually consistent with 1 within the error in most cases. Then, we obtained the EW (W) and its error (E_W) by

$$W = \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{f_i}{f_c}\right) \Delta\lambda_i \quad (4)$$

$$E_W = \frac{1}{f_c} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2 (\Delta\lambda_i)^2 + \frac{e_c}{f_c^2} \sum_{i=1}^n f_i \Delta\lambda_i} \quad (5)$$

where the sum was taken over the n pixels ($1 \leq i \leq n$, with the flux f_i and the noise σ_i at each pixel) within ± 25 km s⁻¹ around the line center and $\Delta\lambda_i$ indicates the width of each pixel in the unit of mÅ. We estimated the upper limit of EW by

$$W_{\text{up}} = \begin{cases} W + 3E_W & (\text{if } W \geq 0) \\ 3E_W & (\text{if } W < 0) \end{cases} \quad (6)$$

for each feature (Tables 4 and 5).

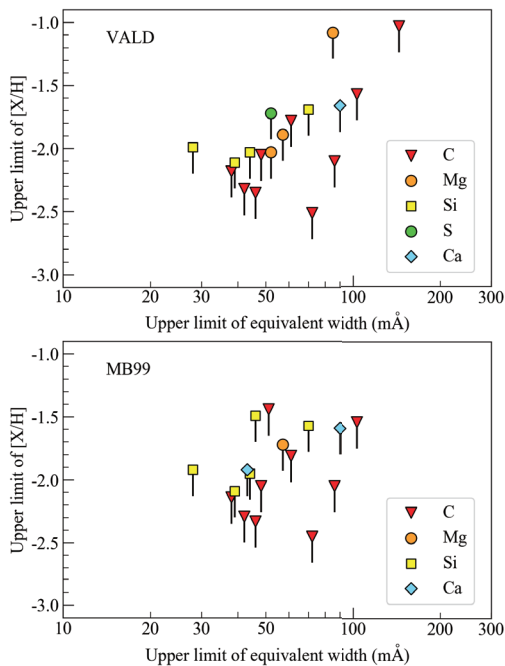


Figure 5. Upper limits of $[X/H]$ given by individual lines in Table 4 (VALD) and those in Table 5 (MB99).

3.3.3. Upper limits of elemental abundance

We estimated the upper limits of chemical abundance based on the upper limits of EW. This was done with the help of synthetic spectra. For each feature in Tables 4 and 5, except the mixed feature of Mg II and Sr II at 10914.6 Å, we calculated the EWs in the synthetic spectra with different abundances of each species over $-3 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -1$. This enables us to draw the curve of growth and estimate the upper limit which corresponds to W_{up} . We estimated the abundance upper limits with the models at three different temperatures (6750, 7000, and 7250 K), and took the highest upper limit of the three as the final estimate, $[X/H]_{\text{up}}$ in Tables 4 and 5, based on the given feature. The maximum metallicity of the synthetic spectra we considered is -1 dex. If W_{up} is larger than the maximum EW that we found with the synthetic spectra, we give no constraint on the abundance for a given line.

Figure 5 plots the upper limits of abundance. For most of the lines included in both VALD (Table 4) and MB99 (Table 5), the $\log gf$ in the two lists agree with each other within 0.1 dex, and the difference in the line list is not important for the upper limits in Figure 5. Neutral carbon lines give the strongest constraints in terms of $[X/H]$, i.e., $[\text{C}/\text{H}] \lesssim -2.5$. A couple of lines of other elements (Mg, Si, and Ca) indicate $[X/H] \lesssim -2$. We have no direct constraint on $[\text{Fe}/\text{H}]$ because no iron line in the WINERED wavelength range is expected to be so strong as the lines in Tables 4 and 5. There have been several reports of carbon-enhanced stars among metal-deficient RRLs (e.g., Preston et al. 2006; Kinman et al. 2012; Kennedy et al. 2014). In contrast, Andrievsky et al. (2020) found $[\text{C}/\text{Fe}] < 0$ for a few RRLs with $-1.7 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq -1.2$

based on the non-local-thermodynamic-equilibrium (NLTE) analysis. We simply give the upper limit of -2.5 dex, and use it in the subsequent discussion. According to the terminology defined by Beers & Christlieb (2005), the target RRL is a very metal-poor star ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2$) if it is not an extremely metal-poor star ($[\text{Fe}/\text{H}] < -3$).

4. DISCUSSION

Combining the radial velocity estimated with the four Paschen lines (Section 3.2) with the *Gaia*'s distance and proper motions, the six-dimensional information (i.e., the position and space velocity) is available for our target. We computed the target's orbital and kinematic properties by taking into account the observational uncertainties. We used the AGAMA package (Vasiliev 2019) with the Galactic constants adopted from Zinn et al. (2020): the distance to the Galactic center $R_0 = 8.2$ kpc, the velocity of the local standard of rest (LSR) $v_{\text{LSR}} = 232$ km s $^{-1}$, and the solar velocity with respect to the LSR being $(U_{\odot}, V_{\odot}, W_{\odot}) = (-11.1, 12.24, 7.25)$ km s $^{-1}$ (Schönrich et al. 2010). We used the Galactic potential called MWPotential2014 available in the galpy library (Bovy 2015), which is composed of three axisymmetric potentials for the spherical power-law bulge with an exponential cut-off, a Navarro-Frenk-White halo potential, and a Miyamoto-Nagai disk.

We randomly drew 10000 samples from the error distribution of the position and velocity and integrated the orbit forward in time for a long enough period of time (100 Gyr). The average and standard deviation of the orbital parameters from individual Monte-Carlo samples are given in Table 6. The eccentricity is defined by $e = (r_{\text{max}} - r_{\text{min}}) / (r_{\text{max}} + r_{\text{min}})$. The positive azimuthal velocity (v_{θ}) and angular momentum (L_Z) correspond to the prograde rotation. With the maximum height $z_{\text{max}} = 1.18$ kpc from the Galactic plane, the orbit of the target RRL is accommodated within the stretch of the thick disk whose vertical scale length is about 0.9 kpc (Bland-Hawthorn & Gerhard 2016).

In Figures 6 and 7, we compare the properties of our target RRL with 463 RRLs compiled by Zinn et al. (2020), but we re-calculated their parameters except $[\text{Fe}/\text{H}]$ and V -band magnitudes. We combined the radial velocities adopted from Zinn et al. (2020) with the astrometric data from the *Gaia* EDR3 and the EDR3-based distances from Bailer-Jones et al. (2021) to calculate the current positions (X , Y , and Z), the velocities (v_R , v_{θ} , and v_Z), the apocenter distance (r_{max}), the maximum height (z_{max}), the angular momenta (L_Z), and the total orbital energies (E_{tot} , the sum of kinetic and potential energies). The total orbital energies show a systematic offset, $\sim 7 \times 10^4$ km 2 s $^{-2}$, between our calculation and that of Zinn et al. (2020) because of the difference in the Galactic potential. The distributions in the other parameters do not show such systematic offsets but the parameters of individual objects are expected to be improved by using the *Gaia* EDR3.

Figure 6 includes 360 RRLs with $V < 13$, while our RRL is located at $V = 11.32$, obtained in Section 2.2 using the *Gaia* photometry. We highlight eight bright and metal-deficient ($[\text{Fe}/\text{H}] \lesssim -2.3$) objects selected within Figure 6 and list their names in the caption. Three of them (V338 Pup, X Ari,

Table 6. Kinematic properties of the target RR Lyr star

Parameter	Value
<i>Input parameters</i>	
D_0 —geometric distance	1.042 ± 0.015 (kpc)
v_{helio} —radial velocity	-104 ± 10 (km s^{-1})
$\mu_\alpha \cos \delta$ —proper motion along α	11.76 ± 0.01 (mas yr^{-1})
μ_δ —proper motion along δ	-5.09 ± 0.02 (mas yr^{-1})
<i>Output parameters</i>	
r_{min} —pericenter distance	3.71 ± 0.38 (kpc)
r_{max} —apocenter distance	8.36 ± 0.01 (kpc)
z_{max} —maximum height	1.18 ± 0.01 (kpc)
e —eccentricity	0.39 ± 0.04
v_R —radial velocity	52.9 ± 2.2 (km s^{-1})
v_θ —azimuthal velocity	143.5 ± 9.8 (km s^{-1})
v_Z —vertical velocity	-53.6 ± 0.3 (km s^{-1})
v_{pec} —peculiar velocity	118.7 ± 8.4 (km s^{-1})
E_{tot} —total orbital energy	-118.9 ± 1.3 ($10^3 \text{ km}^2 \text{ s}^{-2}$)
L_Z —azimuthal angular momentum	1135 ± 77 (kpc km s^{-1})

NOTE—The given errors are the standard deviation observed in our Monte-Carlo calculation and do not include the systematic errors. The velocity and proper motion of the *input parameters* are given with respect to the Sun, while the velocities of the *output parameters* are given with respect to the Galactic center.

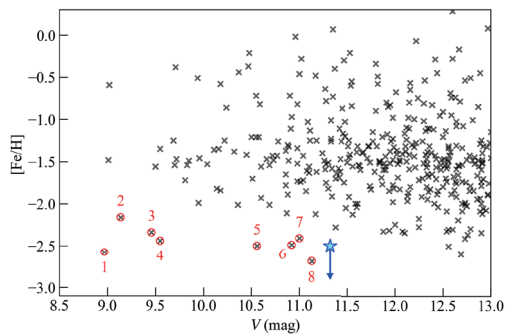


Figure 6. The metallicities and V -band magnitudes of the target RRL (blue) and the known RRLs compiled by Zinn et al. (2020). The metallicity upper limit of the target RRL is indicated by the star symbol accompanied by arrow. Red circles highlight the bright and metal-deficient objects we selected for comparisons (see text): 1=MT Tel, 2=V338 Pup, 3=RZ Cep, 4=X Ari, 5=V701 Pup, 6=UY Boo, 7=TV Boo, and 8=ASAS 200431–5352.3.

and UY Boo) are fundamental-mode pulsators (i.e., RRab type), while the other five are first-overtone pulsators (RRc, same as the target RRL). The metallicities of the eight RRLs have been measured and reported recently in Beers et al. (2014), Sneden et al. (2017), Andrievsky et al. (2018), Cha-

did et al. (2017), and Zinn et al. (2020). The brighter four RRLs (No. 1–4) are located at 0.4–0.6 kpc from the Sun, while the fainter four are further, at 0.95–1.3 kpc, according to Bailer-Jones et al. (2021). The distance to our target RRL is among the more distant ones, and its metallicity is as low as the eight RRLs.

The panel (a) of Figure 7 presents the Toomre diagram, in which the semi-circle contours indicate constant peculiar velocities,

$$v_{\text{pec}} = \sqrt{v_R^2 + (v_\theta - v_{\text{LSR}})^2 + v_Z^2}, \quad (7)$$

with respect to the LSR corresponding to 75 and 150 km s^{-1} . The panel (b) presents that the RRLs with relatively small v_{pec} tend to be metal-rich (Layden 1995). In Figure 7, except the panel (c), halo stars show more-or-less symmetric distributions of v_θ and L_Z , and they overlap with the disk component at around the position of our target. Bright and metal-deficient RRL highlighted in Figures 6 and 7 can be classified as halo objects according to their v_{pec} . The motion of our RRL star deviates significantly from the Galactic rotation with $v_{\text{LSR}} = 232 \text{ km s}^{-1}$, but the star is, with the peculiar velocity of 116.6 km s^{-1} , indistinguishable from thick-disk stars in regards to the kinematics (Figure 7a). Our RRL may still belong to the halo and its motion is at the prograde-side tail of halo orbits. Two metal-deficient bright RRLs highlighted, V338 Pup and V701 Pup (Nos. 2 and 5), are located at around the opposite point on the retrograde side.

The panel (c) plots z_{max} against r_{max} estimated with the orbit calculation. Like our RRL, the orbits of the four bright, metal-deficient RRLs highlighted are within the stretch of the thick disk, although three of them show retrograde motion. In addition, the four RRLs have larger eccentricity than our RRL: 0.53 (V338 Pup), 0.60 (V701 Pup), 0.79 (TV Boo), and 0.83 (X Ari) in contrast to 0.39 of our RRL. Nevertheless, the kinematics of all these very metal-poor RRLs, including our target RRL, is consistent with that of similarly metal-deficient stars investigated by Chiba & Beers (2000), who concluded that the disk population is negligible at $[\text{Fe}/\text{H}] \leq -2.2$. In a recent study on a large sample of stars towards the Galactic anticenter, Fernández-Alvar et al. (2021) detected metal-poor stars belonging to the thin disk well down to $[\text{Fe}/\text{H}] \simeq -2$ but the situation of more metal-deficient stars was not conclusive.

The panel (d) of Figure 7 plots E_{tot} against L_Z . Zinn et al. (2020) found that, in addition to the RRLs that may be related to moving groups like the Helmi stream (Helmi et al. 1999), there are two major groups, i.e., the ‘disk’ RRLs with prograde rotation and the ‘Plume’ RRLs with $L_Z \sim 0$. These two groups of RRLs were also found by Prudil et al. (2020) and Iorio & Belokurov (2021). The Plume structure of halo stars was discovered by Dinescu (2002), and recent studies based on *Gaia* data identified the very prominent feature called *Gaia Enceladus* or *Gaia Sausage* (Belokurov et al. 2018; Helmi et al. 2018). This prominent feature is considered to originate from an accreted galaxy that contributed many halo objects, including globular clusters such as ω Cen after the major merger with the Milky Way (Belokurov et al. 2018; Helmi et al. 2018). Zinn et al. (2020) found that

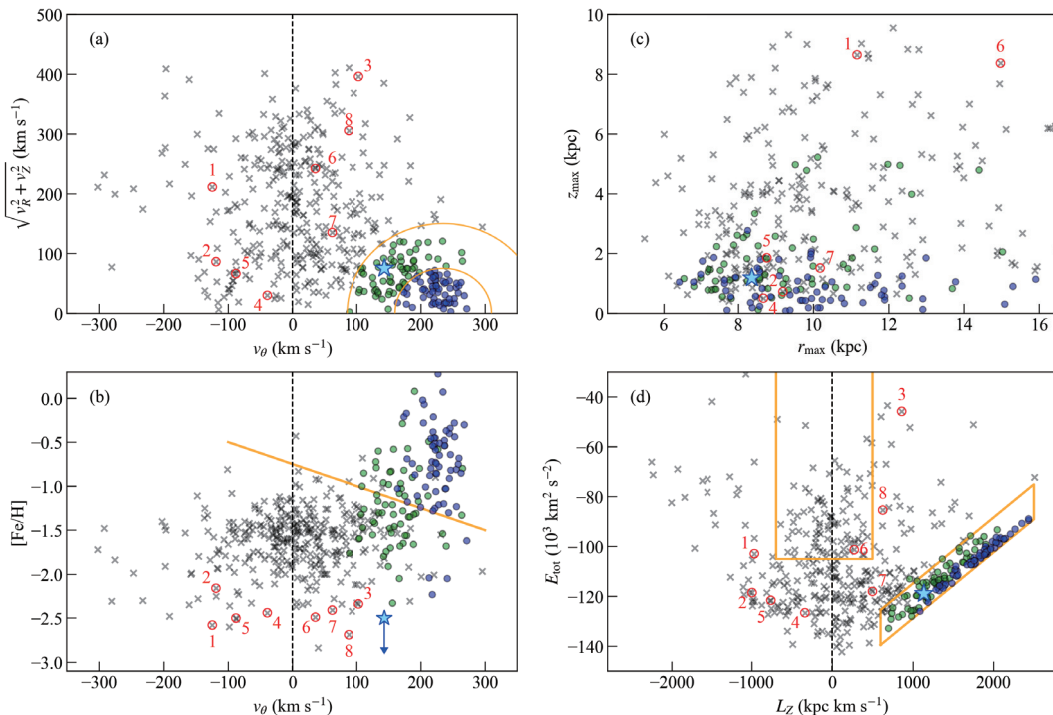


Figure 7. Properties of the target RRL in comparison with the known RRLs compiled by Zinn et al. (2020). The target RRL is indicated by the star symbol, and the arrow in panel (b) means that its metallicity is given as the upper limit. The orange semi-circles in panel (a) indicate the peculiar velocities v_{pec} of 75 and 150 km s^{-1} . The RRLs with v_{pec} smaller than 75 km s^{-1} , are indicated by blue circles, and those with v_{pec} between 75 and 150 km s^{-1} by green circles, and the other RRLs from Zinn et al. (2020) are indicated by gray crosses. The same bright and metal-deficient RRLs as in Figure 6 are indicated by red circles with the number IDs labelled. The orange line in panel (b) indicates the threshold, $v_{\theta} = -400 [\text{Fe}/\text{H}] - 300$, used for selecting disk RRLs by Layden et al. (1996), while the regions enclosed by orange lines in panel (d) indicate the “Plume” (center) and the “disk” (right).

Plume RRLs include fewer objects with $[\text{Fe}/\text{H}] < -2$, and, among the eight highlighted objects, UY Boo (No. 6) is the only one located within the Plume region in Figure 7(d).

Our RRL does not belong to the Plume but is associated with, or at least closer to, the disk populations as discussed above. There are accumulating reports and discussions on the presence of metal-deficient stars in the thick disk (Di Matteo et al. 2020; Sestito et al. 2020; Limberg et al. 2021). The latter two authors used large samples of more than 1000 candidates of metal-deficient stars and found a limited but significant fraction of stars with disk orbits ($z_{\text{max}} < 3 \text{ kpc}$ and $6 \lesssim r_{\text{max}} \lesssim 13 \text{ kpc}$) and low metallicity ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.5$). Our target RRL may belong to the same population. There are a few scenarios to explain the metal-deficient disk population (see, e.g., Sestito et al. 2020). Such a population could compose the ancient disk of the Galaxy present before the severe merger that created the Plume (or the *Gaia-Sausage-Enceladus*) structure around 10 Gyr ago. The formation of the stars contributing to the ancient disk may be *in situ* (within the pre-existent disk) or external. Alternatively, metal-deficient stars with external origins could be quietly merged into the Galactic thick disk even after the severe merger (Gómez et al. 2017; Karademir et al. 2019). If the membership to the thick disk is confirmed, the target

RRL would be a unique object representing the population of the metal-deficient thick disk. Otherwise, the target may be giving a caution for contamination of halo stars to the disk population.

5. CONCLUDING REMARKS

We presented photometric and spectroscopic analysis on an RRL, KISOJ 201241.60+321242.4 or HD 331986, located in the Galactic plane at 1 kpc from the Sun. Although this star was found to be an RRL by some previous surveys and is bright ($V \sim 11.3$), no study investigated its detailed characteristics. We confirmed its classification as an RRc-type variable and discovered that it is a very metal-poor star. The near-infrared spectrum taken with the WINERED spectrograph covering 0.9–1.35 μm shows only hydrogen lines but no metallic lines. We estimated the upper limit of metallicity to be $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.5$. This upper limit is consistent with the metallicity inferred from the period–luminosity–metallicity relation, although there remains a large uncertainty, $\sim 0.5 \text{ dex}$, in the latter estimate. We conclude that the object is among the known RRLs with the lowest metallicity, around -3.0 to -2.5 dex (Hansen et al. 2011; Crestani et al. 2021a).

This RRL is located within the thick disk and its kinematics is consistent with that of thick-disk objects, which makes it an even more interesting object. While RRLs with $[\text{Fe}/\text{H}] \gtrsim -1$ tend to have disk-like orbits (Layden 1995; Layden et al. 1996; Prudil et al. 2020; Zinn et al. 2020), metal-deficient RRLs have been regarded as halo objects. Recent studies (e.g., Sestito et al. 2020; Limberg et al. 2021) found the presence of metal-deficient stars (but not RRLs) in the thick disk, which has a large impact on our understanding of the Galactic formation. Finding the origin of the target RRL would give an essential insight into the early history of the Galaxy.

Detailed elemental abundances are crucial for disclosing the origins of stars. However, without any metallic lines detected, we have no clues to the abundance pattern of the target. It is of vital importance to make follow-up spectroscopic observations in the optical range, in which much stronger lines of various elements are present (e.g., Hansen et al. 2011; Crestani et al. 2021b). The origin of our target may be revealed by comparing its abundance pattern with those of RRLs and other stars with similarly low metallicity in different groups including the halo and the thick disk. Furthermore, the census of RRLs in the Galactic plane region has been limited, and future surveys including the *Gaia* observations would reveal more metal-deficient RRLs that are constrained in the disk. A larger sample of such objects and follow-up observations would enable us to understand the initial environment and formation of the ancient Galactic disk.

We acknowledge useful comments from the anonymous referee. We are grateful to the staff of Kiso Observatory, the University of Tokyo, and Koyama Astronomical Observatory, Kyoto Sangyo University, for their support during our observations. This study is supported by JSPS KAKENHI (grant Nos. 23684005, 26287028, and 18H01248). The WINERED was developed by the University of Tokyo and the Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy (LiH), Kyoto Sangyo University under the financial supports of KAKENHI (Nos. 16684001, 20340042, and 21840052) and the MEXT Supported Program for the Strategic Research Foundation at Private Universities (Nos. S0801061 and S1411028). Two of us are financially supported by JSPS Research Fellowship for Young Scientists and accompanying Grant-in-Aid for JSPS Fellows, MJ (No. 21J11301) and DT (No. 21J11555). DT also acknowledges financial support from Masason Foundation. KH is supported by JSPS KAKENHI Grants (Nos. 21K13965 and 21H00053). VB acknowledges the financial support of the Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), Osservatorio Astronomico di Roma, and Agenzia Spaziale Italiana (ASI) under contract to INAF: ASI 2014-049-R.0 dedicated to SSC. This research has made use of the SIMBAD database and the VizieR catalog access tool, provided by CDS, Strasbourg, France (DOI: 10.26093/cds/vizieR). The original description of the VizieR service was published in 2000 (A&AS 143, 23).

Software: AGAMA (Vasiliev 2019), IRAF (Tody 1986, 1993), MOOG (2019 November version; Sneden et al. 2012), WINERED pipeline (S. Hamano et al. 2021, in preparation).

REFERENCES

- Andrievsky, S., Wallerstein, G., Korotin, S., et al. 2018, *PASP*, 130, 024201
- Andrievsky, S. M., Wallerstein, G., Korotin, S. A., et al. 2020, *Astronomische Nachrichten*, 341, 899
- Bailer-Jones, C. A. L., Rybizki, J., Fouesneau, M., et al. 2021, *AJ*, 161, 147
- Beaton, R. L., Bono, G., Braga, V. F., et al. 2018, *SSRv*, 214, 113
- Beers, T. C. & Christlieb, N. 2005, *ARA&A*, 43, 531
- Beers, T. C., Norris, J. E., Placco, V. M., et al. 2014, *ApJ*, 794, 58
- Belokurov, V., Erkal, D., Evans, N. W., et al. 2018, *MNRAS*, 478, 611
- Benkő, J. M., Sódor, Á., & Pál, A. 2021, *MNRAS*, 500, 2554
- Bland-Hawthorn, J. & Gerhard, O. 2016, *ARA&A*, 54, 529
- Bovy, J. 2015, *ApJS*, 216, 29
- Braga, V. F., Crestani, J., Fabrizio, M., et al. 2021, *ApJ*, 919, 85
- Chadid, M., Sneden, C., & Preston, G. W. 2017, *ApJ*, 835, 187
- Chen, X., Wang, S., Deng, L., et al. 2018, *ApJS*, 237, 28
- Chiba, M. & Beers, T. C. 2000, *AJ*, 119, 2843
- Clementini, G., Ripepi, V., Molinaro, R., et al. 2019, *A&A*, 622, A60
- Crestani, J., Braga, V. F., Fabrizio, M., et al. 2021a, *ApJ*, 914, 10
- Crestani, J., Fabrizio, M., Braga, V. F., et al. 2021b, *ApJ*, 908, 20
- Da Costa, G. S., Bessell, M. S., Mackey, A. D., et al. 2019, *MNRAS*, 489, 5900
- Di Matteo, P., Spite, M., Haywood, M., et al. 2020, *A&A*, 636, A115
- Dinescu, D. I. 2002, *ASPC*, 265, 365
- Evans, D. W., Riello, M., De Angeli, F., et al. 2018, *A&A*, 616, A4
- Fabrizio, M., Braga, V. F., Crestani, J., et al. 2021, *ApJ*, 919, 118
- Fernández-Alvar, E., Kordopatis, G., Hill, V., et al. 2021, *MNRAS*, 508, 1509
- Frebel, A. & Norris, J. E. 2015, *ARA&A*, 53, 631
- Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., et al. 2021, *A&A*, 649, A1
- Gallart, C., Bernard, E. J., Brook, C. B., et al. 2019, *Nature Astronomy*, 3, 932

- Gómez, F. A., Grand, R. J. J., Monachesi, A., et al. 2017, *MNRAS*, 472, 3722
- Govea, J., Gomez, T., Preston, G. W., et al. 2014, *ApJ*, 782, 59
- Gullikson, K., Dodson-Robinson, S., & Kraus, A. 2014, *AJ*, 148, 53
- Hansen, C. J., Nordström, B., Bonifacio, P., et al. 2011, *A&A*, 527, A65
- Helmi, A. 2020, *ARA&A*, 58, 205
- Helmi, A., Babusiaux, C., Koppelman, H. H., et al. 2018, *Nature*, 563, 85
- Helmi, A., White, S. D. M., de Zeeuw, P. T., et al. 1999, *Nature*, 402, 53
- Hoffman, D. I., Harrison, T. E., & McNamara, B. J. 2009, *AJ*, 138, 466
- Ikeda, Y., Kobayashi, N., Kondo, S., et al. 2016, *Proc. SPIE*, 9908, 99085Z
- Ikeda, Y., Kobayashi, N., Kondo, S., et al. 2021, *PASP*, in press
- Iorio, G. & Belokurov, V. 2021, *MNRAS*, 502, 5686
- Jayasinghe, T., Kochanek, C. S., Stanek, K. Z., et al. 2018, *MNRAS*, 477, 3145
- Jofré, P., Heiter, U., & Soubiran, C. 2019, *ARA&A*, 57, 571
- Karademir, G. S., Remus, R.-S., Burkert, A., et al. 2019, *MNRAS*, 487, 318
- Kennedy, C. R., Stancliffe, R. J., Kuehn, C., et al. 2014, *ApJ*, 787, 6
- Kinemuchi, K., Smith, H. A., Woźniak, P. R., et al. 2006, *AJ*, 132, 1202
- Kinman, T. D., Aoki, W., Beers, T. C., et al. 2012, *ApJL*, 755, L18
- Layden, A. C. 1995, *AJ*, 110, 2288
- Layden, A. C., Hanson, R. B., Hawley, S. L., et al. 1996, *AJ*, 112, 2110
- Limberg, G., Santucci, R. M., Rossi, S., et al. 2021, *ApJ*, 913, 11
- Magurno, D., Sneden, C., Bono, G., et al. 2019, *ApJ*, 881, 104
- Maintz, G. 2005, *A&A*, 442, 381
- Mainzer, A., Bauer, J., Cutri, R. M., et al. 2014, *ApJ*, 792, 30
- Mainzer, A., Bauer, J., Grav, T., et al. 2011, *ApJ*, 731, 53
- Matsunaga, N. 2017, *European Physical Journal Web of Conferences*, 152, 01027
- Matteucci, F. 2021, arXiv:2106.13145
- Meléndez, J. & Barbuy, B. 1999, *ApJS*, 124, 527
- Mészáros, S., Allende Prieto, C., Edvardsson, B., et al. 2012, *AJ*, 144, 120
- Mullen, J. P., Marengo, M., Martínez-Vázquez, C. E., et al. 2021, *ApJ*, 912, 144
- Neeley, J. R., Marengo, M., Bono, G., et al. 2017, *ApJ*, 841, 84
- Neeley, J. R., Marengo, M., Freedman, W. L., et al. 2019, *MNRAS*, 490, 4254
- Oliva, E., Origlia, L., Scuderi, S., et al. 2015, *A&A*, 581, A47
- Preston, G. W., Thompson, I. B., Sneden, C., et al. 2006, *AJ*, 132, 1714
- Prudil, Z., Dékány, I., Grebel, E. K., et al. 2020, *MNRAS*, 492, 3408
- Ren, F., de Grijs, R., Zhang, H., et al. 2021, *AJ*, 161, 176
- Ryabchikova T., Piskunov N., Kurucz R. L., et al. 2015, *Phys. Scr.*, 90, 054005
- Sako, S. et al. 2012, *Proc. SPIE*, 8446, 6L
- Schönrich, R., Binney, J., & Dehnen, W. 2010, *MNRAS*, 403, 1829
- Sestito, F., Martin, N. F., Starkenburg, E., et al. 2020, *MNRAS*, 497, L7
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., et al. 2006, *AJ*, 131, 1163
- Sneden, C., Bean, J., Ivans, I., et al. 2012, MOOG: LTE line analysis and spectrum synthesis, *Astrophysics Source Code Library* (ascl:1202.009)
- Sneden, C., Preston, G. W., Chadid, M., et al. 2017, *ApJ*, 848, 68
- Sneden, C., Preston, G. W., Kollmeier, J. A., et al. 2018, *AJ*, 155, 45
- Starkenburg, E., Martin, N., Youakim, K., et al. 2017, *MNRAS*, 471, 2587
- Tody, D. 1986, *Proc. SPIE*, 733
- Tody, D. 1993, *Astronomical Data Analysis Software and Systems II*, 173
- VanderPlas, J. T. 2018, *ApJS*, 236, 16
- Vasiliev, E. 2019, *MNRAS*, 482, 1525
- Wang, S. & Chen, X. 2019, *ApJ*, 877, 116
- Wallerstein, G., Gomez, T., & Huang, W. 2012, *Ap&SS*, 341, 89
- Zinn, R., Chen, X., Layden, A. C., et al. 2020, *MNRAS*, 492, 2161

タイトル	:	Mid-infrared observations of the nucleus of comet P/2016 BA ₁₄ (PANSTARRS)
著者	:	Takafumi Ootsubo, <u>Hideyo Kawakita</u> , <u>Yoshiharu Shinnaka</u>
関連出版	:	Icarus, Volume 363, article id. 114425, (2021)

Title: Mid-infrared Observations of the Nucleus of Comet P/2016 BA₁₄ (PANSTARRS)Authors: Takafumi Ootsubo¹, Hideyo Kawakita^{2,3}, Yoshiharu Shinnaka²¹ Astronomy Data Center, National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan² Koyama Astronomical Observatory, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, Japan³ Department of Astrophysics and Atmospheric Sciences, Faculty of Science, Kyoto Sangyo University, Motoyama, Kamigamo, Kita-ku, Kyoto 603-8555, JapanAccepted for publication in *Icarus*

Abstract:

We present mid-infrared observations of comet P/2016 BA₁₄ (PANSTARRS), which were obtained on UT 2016 March 21.3 at heliocentric and geocentric distances of 1.012 au and 0.026 au, respectively, approximately 30 hours before its closest approach to Earth (0.024 au) on UT 2016 March 22.6. Low-resolution ($\lambda/\Delta\lambda\sim 250$) spectroscopic observations in the N-band and imaging observations with four narrow-band filters (centered at 8.8, 12.4, 17.7 and 18.8 μm) in the N- and Q-bands were obtained using the Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer (COMICS) mounted on the 8.2-m Subaru telescope atop Maunakea, Hawaii. The observed spatial profiles of P/2016 BA₁₄ at different wavelengths are consistent with a point-spread function. Owing to the close approach of the comet to the Earth, the observed thermal emission from the comet is dominated by the thermal emission from its nucleus rather than its dust coma. The observed spectral energy distribution of the nucleus at mid-infrared wavelengths is consistent with a Planck function at temperature $T\sim 350$ K, with the effective diameter of P/2016 BA₁₄ estimated as ~ 0.8 km (by assuming an emissivity of 0.97). The normalized emissivity spectrum of the comet exhibits absorption-like features that are not reproduced by the anhydrous minerals typically found in cometary dust coma, such as olivine and pyroxene. Instead, the spectral features suggest the presence of large grains of phyllosilicate minerals and organic materials. Thus, our observations indicate that an inactive small body covered with these processed materials is a possible end state of comets.

1. INTRODUCTION

Comets are icy small bodies passing through the solar system that contain potentially invaluable information concerning the origins of the materials forming the solar system. In periodic comets that have orbited the Sun for many times with progressively smaller perihelion distances, the nucleus exhibits signs of significant physical and chemical evolution (Mumma & Charnley 2011). Such evolutionary effects are most prominent at the nucleus surface. To distinguish the pristine properties of cometary nuclei from these evolutionary effects, clarifying the influence of solar heating on cometary nuclei is imperative. Thus, conducting observational and theoretical studies on evolved comets is essential.

The evolutionary track of extremely weakly active comets is considered to culminate in their dormancy or extinction. There are several plausible end states for comets including dormancy, extinction (plausibly connected to primitive asteroids such as P- or D-type asteroids), fragmentation (e.g., C/1999 S4 (LINEAR) and C/2012 S1 (ISON); Farnham et al. 2001; Sekanina & Kracht 2014), collision with a planet or the Sun (e.g., D/1993 F2 (Shoemaker–Levy 9; Levy 1998)), and removal from the inner solar system due to gravitational perturbation by giant planets (Fernandez 2005). Because cometary dormancy and extinction are considered gradual processes (Li et al. 2017), comparing the physical properties of cometary nuclei with possible dormant/exhausted comet candidates, such as D-type asteroids, is important for verifying the proposed links between comets and primitive asteroids (Campins et al. 2018).

Herein, we report on the mid-infrared photometric and spectroscopic observations of comet P/2016 BA₁₄ (PANSTARRS), whose gas and dust production rates, according to imaging and spectroscopic observations at optical wavelengths (Li et al. 2017; Hyland et al. 2019), were revealed to be extremely low even near its perihelion passage at 1.012 au from the Sun. As discussed by Li et al. (2017), comet P/2016 BA₁₄ is likely approaching its end state. Note that an active comet (252P/LINEAR) has similar orbit to comet P/2016 BA₁₄ (see Table 1). These comets have almost identical Tisserand invariant parameters with respect to Jupiter, which indicates that these comets have undergone a strong gravitational interaction with Jupiter. These characteristics make plausible the hypothesis that the two comets are fragments of the same initial body. In contrast to comet P/2016 BA₁₄, comet 252P/LINEAR was active during its perihelion passage in the 2016 apparition and its chemical composition suggest a rather typical composition in short-period comets surveyed at infrared wavelengths (Paganini et al. 2019) and in comets surveyed at optical wavelengths (Li et al. 2017; Schleicher 2008). Thus, in contrast to its current depleted state, comet P/2016 BA₁₄ might originally have been similarly rich in volatile materials as comet 252P/LINEAR if one assumes that the two objects have a common origin.

The close approach of comet P/2016 BA₁₄ to the Earth, 0.024 au on UT 2016 March 22.6, enabled observations of the inner coma and nucleus of the comet (Li et al. 2017; Naidu et al. 2016). Radar observations revealed that P/2016 BA₁₄ has a nucleus greater than 1 km in diameter. Its absolute magnitude of 19.5 and a diameter of at least 1 km correspond to an optical albedo of < 3% (Naidu et al. 2016). Furthermore, Li et al. (2017) also estimated the nucleus size of P/2016 BA₁₄ as ~1 km by

assuming that its total visible brightness was dominated by the nucleus signal throughout its perihelion passage and that the geometric albedo of the nucleus surface was 4%. These estimates are consistent with the estimate based on NEOWISE data (~ 700 m, according to a private communication from J. Bauer 2017 in Li et al. 2017). Our mid-infrared photometric and spectroscopic observations were performed at night approximately 30 hours before the closest approach of the comet to the Earth in 2016, with the mid-infrared properties of the nucleus of P/2016 BA₁₄ discussed herein.

Table 1: Orbital elements of P/2016 BA₁₄ and 252P/LINEAR.

	P/2016 BA ₁₄ ^(a)	252P/LINEAR ^(b)
<i>T</i> [UT]	2016 March 15.51740	2016 March 15.27847
<i>q</i> [au]	1.0085744	0.9960732
<i>e</i>	0.6663164	0.6736753
<i>a</i> [au]	3.0225476	3.0523992
<i>Peri.</i> [deg.]	351.89525	343.29119
<i>Node.</i> [deg.]	180.53526	190.98106
<i>Incl.</i> [deg.]	18.92006	10.40467
<i>T_J</i> ^(c)	2.82	2.82

^{a)} Epoch 2016 April 2.0 TT = JDT 2457480.5 (from JPL/HORIZONS)

^{b)} Epoch 2016 January 13.0 TT = JDT 2457400.5 (from JPL/HORIZONS)

^{c)} Tisserand invariant parameter with respect to Jupiter.

2. OBSERVATIONS

Mid-infrared imaging and spectroscopic observations of comet P/2016 BA₁₄ (PANSTARRS) were conducted by using the 8.2-m Subaru Telescope with the Cooled Mid-infrared Camera and Spectrometer (COMICS) (Kataza et al. 2000; Okamoto et al. 2003) on UT 2016 March 21.3, when the comet was at heliocentric and geocentric distances of 1.012 au and 0.026 au, respectively. The closest approach of P/2016 BA₁₄ to the Earth (0.024 au) occurred on UT 2016 March 22.6, ~30 hours after our observations. Imaging observations were performed using narrow-band filters (centered at $\lambda = 8.8, 12.4, 17.7$ and $18.8 \mu\text{m}$, with $\Delta\lambda = 0.8, 1.2, 0.9,$ and $0.9 \mu\text{m}$, respectively) in the N- and Q-bands, while spectroscopic observations were obtained in the N-band with a spectral resolving power ($R = \lambda/\Delta\lambda$) of ~250, corresponding to a slit width of 0.33 arcsec (the used slit length was 40 arcsec). For the cancellation of the sky background radiation in the mid-infrared observations, secondary-mirror-chopping was used at a frequency of 0.43–0.45 Hz with an amplitude of 15 arcsec, which are common values for both spectroscopic and imaging observations. Table 2 lists the observational conditions of the comet and a standard star.

Flux calibration was performed by observing the spectro-photometric standard star HD72094 (tet Cnc) characterized by Cohen et al. (1999), while wavelength calibration was performed via comparison with the sky emission lines. We used IRAF¹ software and the special tools provided by the COMICS instrument team² for the data reduction. Photometry was performed with an aperture radius of 2.60 arcsec. To achieve an adequate signal-to-noise ratio (SNR) for the extracted spectra, they were extracted with a slit region of 0.33 arcsec (slit width) by 3.14 arcsec (along the slit direction).

¹ IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) under cooperative agreement with the National Science Foundation.

² <https://subarutelescope.org/Observing/DataReduction/index.html>

Table 2: Observing conditions.

UT Date	UT Time	Object	Integration time (s)	Observing mode	Airmass
2016 March 21	08:38	P/2016 BA14	10.8	Imging/N8.8	1.12
	08:35		10.6	Imging/N12.4	1.11
	08:51		30.5	Imging/Q17.7	1.15
	08:46		30.5	Imging/Q18.8	1.14
	08:42		30.7	Spectrosc./NLspc ^(a)	1.13
2016 March 21	09:07	HD72094	15.4	Imaging/N8.8	1.16
	09:04		15.4	Imaging/N12.4	1.15
	08:54		60.1	Imaging/Q17.7	1.13
	08:59		60.1	Imaging/Q18.8	1.14
	09:11		30.7	Spectrosc./NLspc ^(a)	1.17

(a) Low-resolution spectroscopic mode ($R \sim 250$) in the N-band.

3. RESULTS

Figure 1 shows the spectral energy distribution of P/2016 BA₁₄ based on our photometric measurements. The observations are consistent with the characteristic blackbody radiation observed for many other comets (Ootsubo et al. (2020); Shinnaka et al. (2018); and references therein). The observations are matching a Planck function at temperature $T \sim 350$ K (the best-fit temperature is 343 ± 10 K in consideration of flux errors), as shown in Figure 1. The equilibrium temperature of a blackbody at r [au] from the Sun is expressed as $\sim 280 r^{-0.5}$ [K] while the observed equilibrium temperature of comet is slightly higher than this. This excess relative to the equilibrium temperature of a blackbody (the so-called superheat) is observed frequently for cometary coma grains because the dominant grains in the coma have sub- μm dimensions and are smaller than the mid-infrared wavelengths of the emitted radiation (i.e., the mid-infrared radiation cooling of these small grains is inefficient). However, the spatial profiles of P/2016 BA₁₄ and a standard star (as a point source) are almost identical, with no extensions observed for P/2016 BA₁₄ when it was compared to a point source, as shown in Figure 2. Thus, the thermal radiation from cometary coma grains was not collected effectively by the slit. In such case, a scaling factor for the Planck function plotted in Figure 1 is proportional to a product of surface area of the cometary nucleus and its emissivity in mid-infrared wavelengths (i.e., by assuming the nucleus as a gray-body). The contribution of the nucleus signal and the estimated effective radius of the nucleus are discussed in the next section.

Figure 3 shows the N-band low-resolution ($R \sim 250$) spectrum of P/2016 BA₁₄, to which we applied a running average technique using a 7-pixels window to remove noise spikes. Additionally, we applied the slit loss correction by adjusting the spectrum to fit the photometric data points at 8.8 and 12.4 μm . The mid-infrared spectrum of the comet is relatively smooth, with shallow absorption-like features in this wavelength region. In contrast to typical active comets, the spectrum recorded for P/2016 BA₁₄ exhibited no prominent 10- μm excess emission feature.

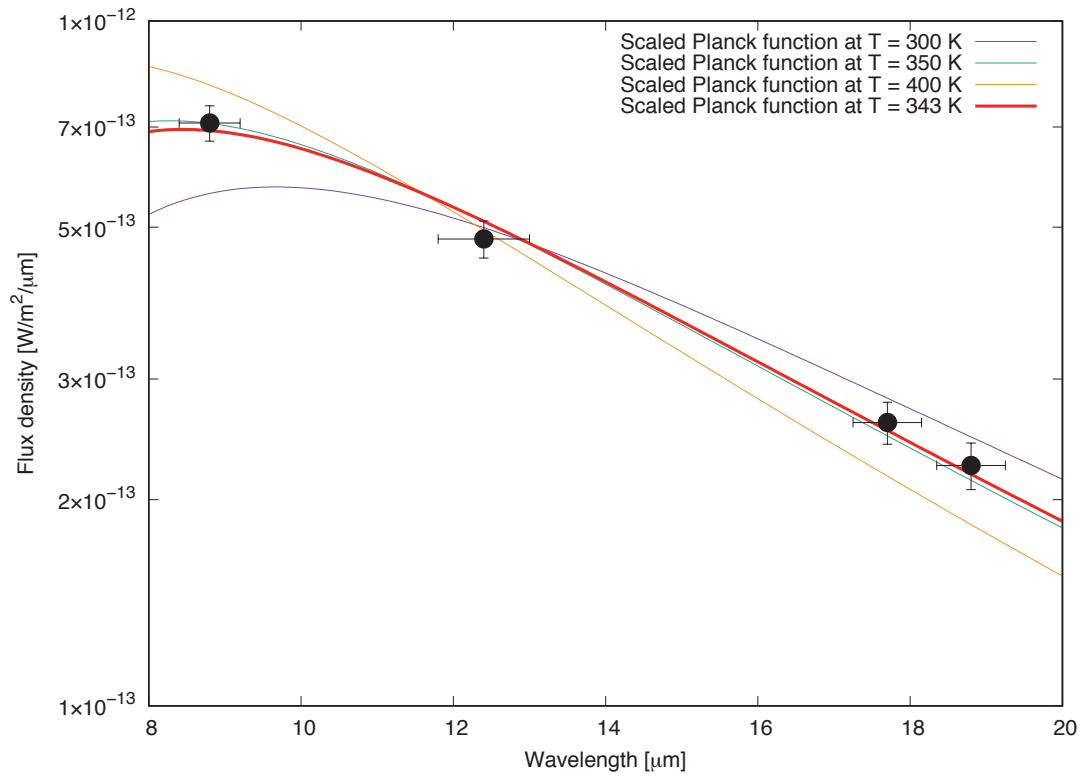


Figure 1: Photometric results (Mid-IR spectral energy distribution) of P/2016 BA₁₄. Vertical bars on the data points (filled black circles) are photometric errors and horizontal bars denote band widths of the used filters. The photometric observations are consistent with a blackbody radiation at temperature $T \sim 350$ K.

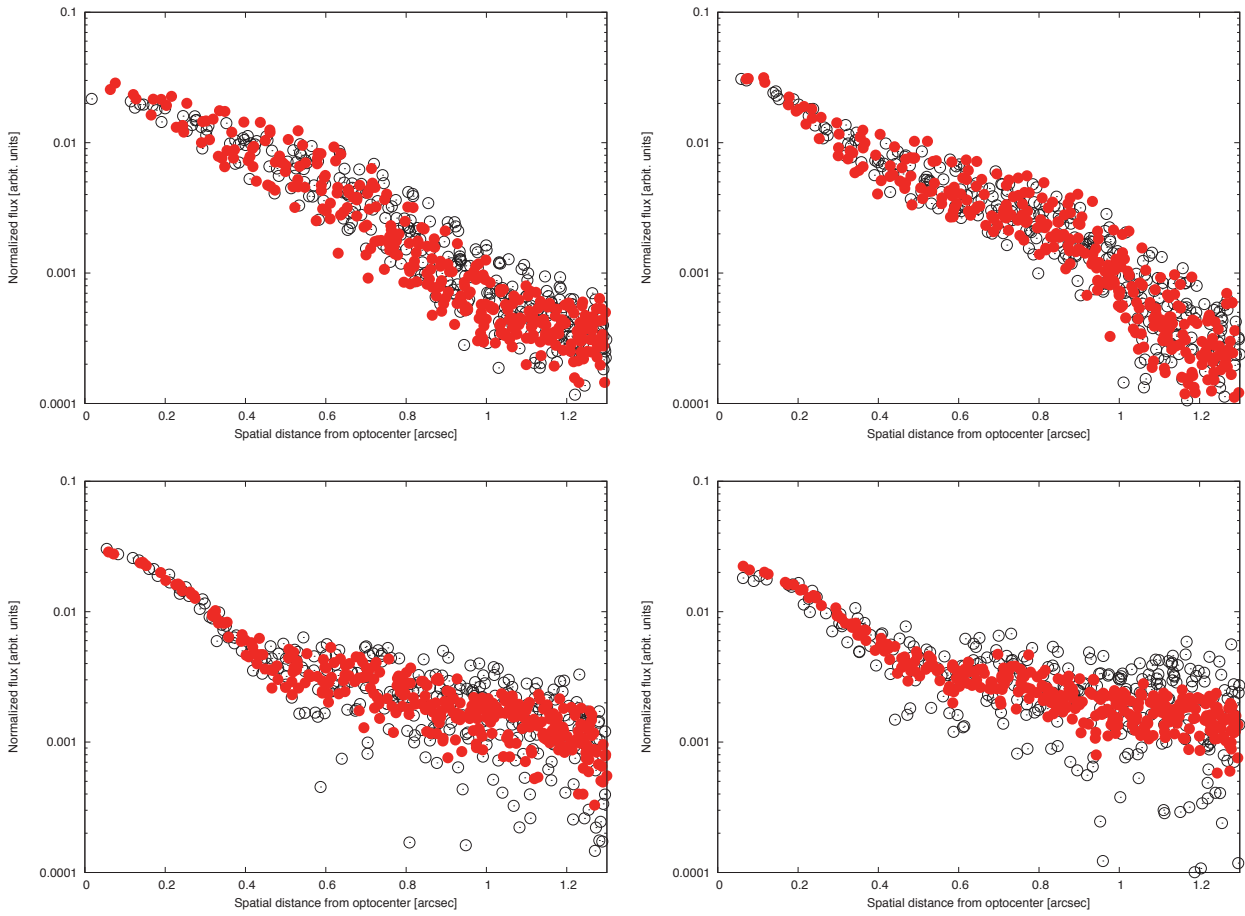


Figure 2: Spatial profiles of P/2016 BA₁₄ (filled circles) compared with a standard star HD72094 (open circles) at different wavelengths: (clockwise from top-left) 8.8, 12.4, 18.8, and 17.7 μm . Vertical axes are in relative flux normalized by total flux within aperture (a radius of $1''.3$). The spatial profiles of P/2016 BA₁₄ are consistent with a point-spread-function (i.e., the characteristic spatial profile of a point source, HD72094).

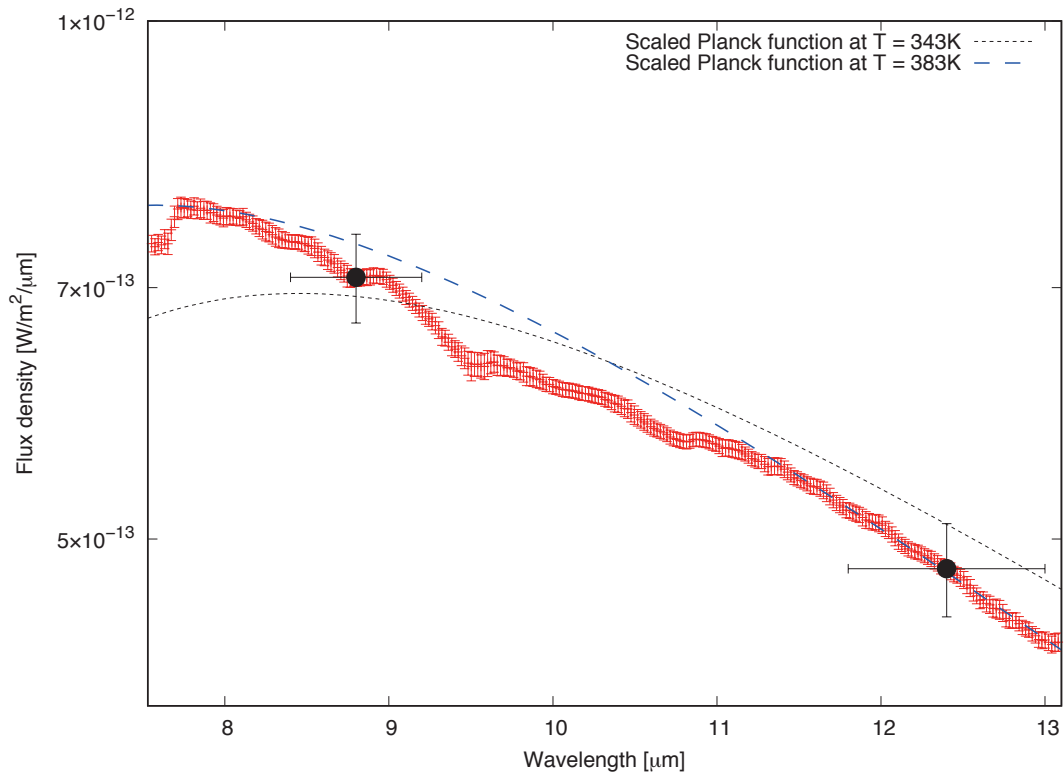


Figure 3: N-band low resolution spectrum of P/2016 BA₁₄ (red data; SNR improved by taking the running average using a 7-pixels window) together with the photometric data points at 8.8 and 12.4 μm (black circles). Error-bars of the N-band spectrum correspond to relative error levels. Scaled Planck functions at temperature $T = 343$ and 383 K are also plotted (dotted and dashed lines, respectively).

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

As shown in Figure 2, the spatial profiles observed for comet P/2016 BA₁₄ are consistent with those of a photometric standard star (a point source). The thermal emission from the nucleus of P/2016 BA₁₄ appears dominated by contribution from mid-infrared photons, and the coma signal was negligible. In the thermal wavelength region, the dominant grains in the coma (in the sub- μm diameter range) are smaller than the wavelength of the emitted radiation (i.e., the smaller grains are not efficient infrared emitters). In contrast, the cometary nucleus (which size is much larger than the wavelength) can emit thermal infrared photons effectively. Therefore, for an extremely weakly active comet, the signal from the nucleus dominates the observed infrared signal, and the contribution of dust grains in coma is negligible (e.g., Kelly et al. 2017). The dominance of the signal from the nucleus for spectral energy distribution and the N-band low-resolution spectrum of P/2016 BA₁₄ (Figures 1 and 3) is attributed to the very low gas and dust production rates of P/2016 BA₁₄ around its perihelion passage (Li et al. 2017; Hyland et al. 2019).

Figure 1 shows that the spectral energy distribution of P/2016 BA₁₄ is consistent with radiation from a blackbody (or gray-body) object at 343 ± 10 K. As discussed earlier, the thermal radiation observed in P/2016 BA₁₄ was dominated by the nucleus signal, and we should compare the observed equilibrium temperature with the surface temperatures of cometary nuclei. Suttle et al. (2020) compiled a list of the measured comet surface temperatures for five comets: 1P/Halley, 9P/Tempel 1, 19P/Borrelly, 67P/Churyumov-Gerasimenko, and 103P/Hartley 2 (Emerich et al. 1986; Soderblom et al. 2004; Groussin et al. 2007, 2013; Tosi et al. 2019) and derived a formula for the surface diurnal temperature; $T = 339.95 r^{-0.438}$ [K] for a heliocentric distance of r [au] from 0.8 to 3.4 au. Our measurement for P/2016 BA₁₄ at 1.012 au is consistent with the measurements reported for these comets. Furthermore, based on our photometric measurements and assuming an emissivity of 0.97 (corresponding to an assumed optical albedo of the nucleus surface of 0.03), the effective diameter of P/2016 BA₁₄ is estimated to be 0.8 ± 0.2 km for a surface temperature $T = 343$ K, that is derived with $8.8\text{--}18.8 \mu\text{m}$. This is consistent with previous estimates, which predict the nucleus size to be ~ 1 km or larger (Naidu et al. 2016; Li et al. 2017). Note that a scaled Planck function at temperature $T = 343$ K cannot reproduce the observed N-band spectrum well as shown in Figure 3. This is probably caused by a lack of photometric data points to be fitted in wavelength region shorter than $\sim 8 \mu\text{m}$ (a peak of the Planck function might be at a shorter wavelength than the wavelengths we observed). The observed N-band spectrum can be fitted by a scaled Planck function at temperature $T = 383$ K (Figure 3). Although we simply assume a uniform surface temperature to derive an effective diameter, the surface temperature might not be uniform. If we consider the uncertainty of surface temperature, the effective diameter of the nucleus of P/2016 BA₁₄ is estimated to be in the range of 0.5–1.2 km.

Figure 4 shows the emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ (we used a scaled Planck function at temperature $T = 383$ K to normalize the observed mid-infrared spectrum). The emissivity spectrum could be represented by a linear combination of six Gaussian components (whose parameters are listed in Table 3), as shown in Figure 4. The most prominent features are centered at 7.59, 9.50, and 10.6

μm . In general, larger mineral grains on the surface of cometary nuclei are considered responsible for absorption-like features in thermal emissivity spectra, while excess emission features are representative of μm -sized small grains (Emery et al. 2006). As shown in Figure 4, the spectrum of P/2016 BA₁₄ differs from the thermal emissivity spectrum corresponding to the cometary nucleus of comet 10P/Tempel 2, which was inactive at a further distance from the Sun (Kelley et al. 2017). Conversely, the thermal emissivity spectrum of the nucleus of 10P/Tempel 2 showed a emission-like excess feature at $\sim 10 \mu\text{m}$, in contrast to the absorption-like features observed in P/2016 BA₁₄. The thermal emissivity spectrum of 10P/Tempel 2 more closely resembles those of D-type asteroids, which some consider to be exhausted or dormant comets (Figure 4 also shows the thermal emissivity spectrum of the D-type asteroid 624 Hektor; Emery et al. 2006). Note that the emissivity spectra exhibiting an excess feature at $\sim 10 \mu\text{m}$ are similar to those of cometary coma, for which thermal emission is produced by fine grains in the coma. This suggests that the nuclei surfaces of 10P/Tempel 2 and asteroids such as 624 Hektor are covered by highly porous grains (Kelley et al. 2017; Vernazza et al. 2012), which are probably composed of the anhydrous Mg-rich silicate minerals reported for the grains in cometary coma (Shinnaka et al. 2018; Bardyn et al. 2017). Because the effective diameter of 10P/Tempel 2 was estimated to be $\sim 9 \text{ km}$ (Kelley et al. 2017) and thus considerably larger than P/2016 BA₁₄ ($\sim 1 \text{ km}$), the larger surface gravity of the nucleus of 10P/Tempel 2 might retain a greater number of smaller grains on its surface, thereby producing the $10\text{-}\mu\text{m}$ excess emission feature.

It could be argued that the absorption-like features in the normalized thermal emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ are caused by larger silicate grains because surfaces covered by these grains ($> 100 \mu\text{m}$) give rise to thermal emissivity spectra exhibiting absorption-like features (Emery et al. 2006; Hamilton 2010). In the case of crystalline silicates, some sub-peaks are usually found in their thermal emissivity spectra (see Figure 10 in Hamilton 2010). Figure 5 shows a comparison with a thermal emissivity spectrum estimated using a reference reflectance spectrum for Mg-rich natural olivine (Fo₉₂) grains ranging from 75 to $250 \mu\text{m}$ (from the ECOSTRESS spectral library; <https://speclib.jpl.nasa.gov/>; Baldrige et al. 2009), together with the thermal emissivity spectra representing a surface covered with large porous grains comprising Mg-rich olivine and pyroxene in both crystalline and amorphous forms (Fabian et al. 2001; Jaeger et al. 1998; Dorschner et al. 1995). The latter were based on a combination of Hapke theory (Hapke 2012) and Mie theory (Bohren & Huffman 1983) and assumed a grain diameter of 1 mm and a volume porosity of 30% . Both peak positions and the relative strengths of the sub-peaks don't match between the observed spectrum and the spectrum for Mg-rich natural olivine in laboratory. Although the peak wavelengths of the features depend on the Mg:Fe ratio in olivine (longer wavelengths correspond to a larger Fe content), the change in peak strength ratios are not drastic (Hamilton 2010). The calculated emissivity spectra for crystalline olivine and pyroxene cannot explain the features in the emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄, while the absorption features calculated for amorphous olivine and pyroxene are significantly broader than those observed for P/2016 BA₁₄. Finally, we note that laboratory spectra and optical constants used for calculating modeled spectra shown in Figure 5 were considered to be measured at

temperatures (i.e., room temperatures; ~ 300 K), different from the temperature of cometary surface (~ 350 K). We assumed that emissivity peaks don't change significantly in the range of 300–400 K although the emissivity peaks (or absorption peaks) in thermal infrared wavelength region are known to have temperature dependence (e.g., Chihara et al. 2001).

By comparing the normalized thermal emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ with the thermal emissivity spectra measured for various minerals in the laboratory (Lane & Bishop 2019), the shape and position of the observed ~ 10 μm feature observed for P/2016 BA₁₄ are more similar to those of phyllosilicates (such as chlorite, clinocllore, and serpentine) rather than anhydrous silicates. Although the thermal emissivity spectrum of cometary dust coma is usually modeled with anhydrous silicates (see Shinnaka et al. 2018 and references therein), Lisse et al. (2006, 2007) considered phyllosilicates when modeling the dust grains of comets 9P/Tempel 1 and C/1995 O1 (Hale-Bopp), although phyllosilicates were minor components of the overall cometary grain composition.

We also compared the spectrum of P/2016 BA₁₄ to that of the (entirely rock-based) chondrite meteorite Orgueil (CI), as shown in Figure 4. The mineralogy of Orgueil is dominated by fine-grained phyllosilicates (various forms of the serpentine and the clay mineral saponite), which were probably formed during hydrothermal alteration of the parent body that might be a comet (Gounelle & Zolensky 2014). The shape of the absorption-like feature at ~ 10 μm is similar for the thermal emissivity spectra of P/2016 BA₁₄ and the meteorite Orgueil. However, their minima occur at different wavelengths; the minimum of the absorption-like feature for P/2016 BA₁₄ is at 9.50 μm , whereas the minimum for Orgueil occurs at ~ 10.0 μm . This difference could be the result of structural and phasal differences between the silicate minerals (Suttle et al. 2017; Che & Glotch 2012).

Suttle et al. (2017) reported on the thermal infrared reflectance spectra of fine-grained micrometeorites and classified them into different groups (groups 1–5) corresponding to varying degrees of thermal processing, which were most likely caused during their entry into the telluric atmosphere. Group 1 corresponds to dehydrated and unheated chondritic materials (phyllosilicates dominate the mineralogy of a hydrated chondritic matrix), and members of this group show thermal reflectance spectra similar to those of carbonaceous chondrites (CI, CM, and C2 ungrouped), with a single peak whose maxima (i.e., minima in thermal emissivity spectra) lies at approximately 10 μm . Alternatively, Groups 2 and 3 correspond to dehydroxylate mineraloids (heated to ~ 600 – 1000 K), which are characterized by a relatively sharp and dominant peak at 9.0–9.5 μm . Group 4 comprises partially annealed, mixed dehydroxylates and olivine (heated to ~ 700 – 1100 K) while Group 5 contains completely crystallized olivine (heated to ~ 1000 – 1500 K). As shown in Figure 6, the prominent absorption-like feature observed in P/2016 BA₁₄ (whose minimum is at 9.50 μm) most closely resembles a sample in the Group 3 (although the position of ~ 9.5 μm feature in the observed spectrum matches the Groups 3 and 4, the Group 4 displays ~ 11.5 μm feature which is not seen in the observed spectrum). This feature is associated with the stretching of Si-O bonds in the residual, isolated silica tetrahedra in dehydroxylated phyllosilicates (Suttle et al. 2017).

This suggests that the nucleus surface of P/2016 BA₁₄ was likely heated to ~600 K at least (Suttle et al. 2020). However, because the perihelion distance of P/2016 BA₁₄ in its current orbit is 1.012 au from the Sun, the expected surface temperature of the cometary nucleus at its perihelion passage is much lower, ~350 K (Figure 3 in Suttle et al. 2020), and cannot reach ~600 K. Therefore, this comet might have had smaller perihelion distances in the past, with a perihelion distance of ~0.27 au corresponding to a temperature of ~600 K. The current orbit of the comet has an aphelion distance of 5.25 au close to the Jovian orbit. Thus, a gravitational perturbation by Jupiter might be responsible for any past alteration in the perihelion distance of the comet. Alternatively, the original body of comet P/2016 BA₁₄ might have contained abundant dehydroxylated phyllosilicates grains in the interior of the nucleus. If so, the mineralogy of dust grains in the coma of comet 252P/LINEAR (which is considered as a comet pair of P/2016 BA₁₄, and in contrast to P/2016 BA₁₄, it was active; Li et al. 2017) should also be dominated by dehydroxylated phyllosilicates. This remains to be investigated in a future study.

Thus, we conclude that the prominent absorption-like feature peaked at 9.50 μm recorded in the normalized thermal emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ is associated with dehydroxylated phyllosilicates on the nucleus surface. Unfortunately, we could not identify materials as carriers of other features at 7.59, 8.35, and 8.75 μm . The carriers of these features might not be minerals and most plausible carriers are organic materials on the nucleus surface (Poch et al. 2020; Raponi et al. 2020). Table 4 lists the candidates of hydrocarbons for those features (Coates 2000; Evans et al. 2005; Draine & Li 2007). Our observations indicate that one possible end state of comet may be an inactive small body covered with coarse grains of phyllosilicate minerals combined with organic materials.

Table 3: Gaussian components fitted with observed emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄.

I.D. #	λ [μm]	FWHM [μm]	Peak depth
1	7.59 \pm 0.01	0.16 \pm 0.01	0.055 \pm 0.002
2	8.35 \pm 0.01	0.43 \pm 0.02	0.021 \pm 0.001
3	8.75 \pm 0.01	0.32 \pm 0.02	0.036 \pm 0.001
4	9.50 \pm 0.01	0.77 \pm 0.03	0.086 \pm 0.001
5	10.0 \pm 0.01	0.38 \pm 0.04	0.029 \pm 0.004
6	10.6 \pm 0.02	0.90 \pm 0.03	0.052 \pm 0.001

Table 4: Candidates of carrier for unidentified features. ^[a,b,c]

I.D. #	λ [μm]	Candidate	Organic species
1	7.59 \pm 0.01	Aromatic C-C stretch	Aromatic ring (aryl) group
		Aromatic (primary, secondary, or tertiary) amine, C-N stretch	Amine and amino compound group
		Primary or secondary, O-H in-plane bend	Alcohol and hydroxy compound group
		Phenol or tertiary alcohol, O-H bend	Alcohol and hydroxy compound group
2	8.35 \pm 0.01	Tertiary amine, C-N stretch	Amine and amino compound group
		Aromatic C-H in-plane bend	Aromatic ring (aryl) group
3	8.75 \pm 0.01	Secondary amine, C-N stretch	Amine and amino compound group
		Aromatic C-H in-plane bend	Aromatic ring (aryl) group

^[a] Coates (2000).

^[b] Draine & Li (2007).

^[c] Evans et al. (2005).

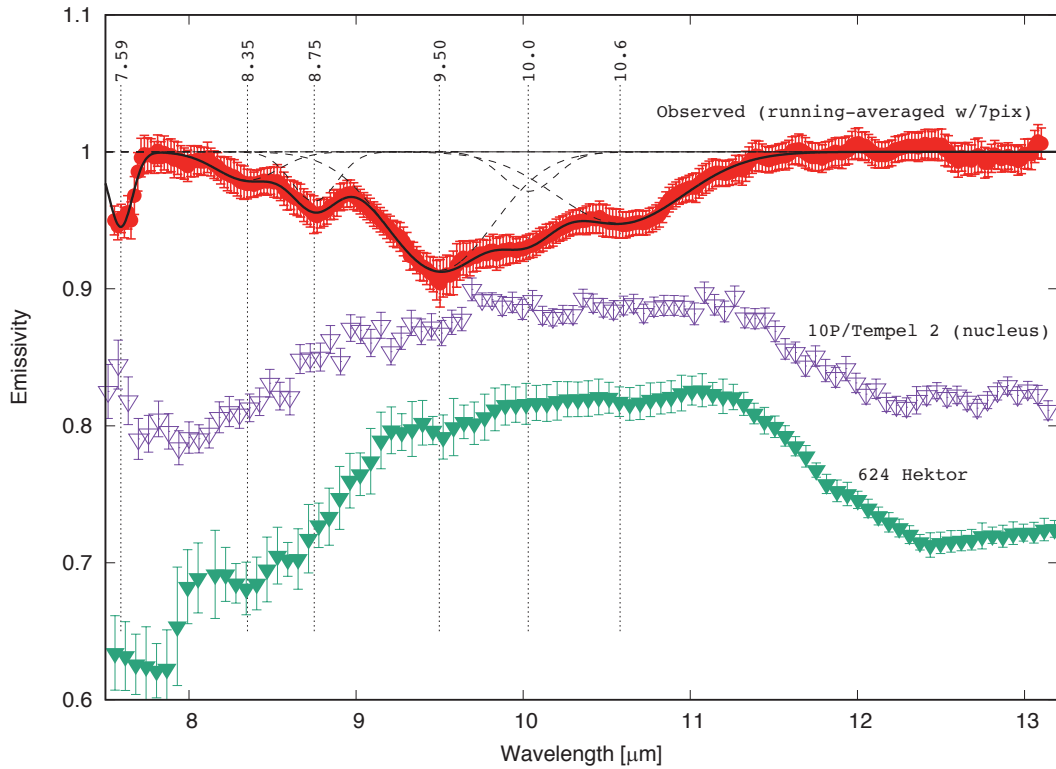


Figure 4: Normalized thermal emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ compared with the thermal emissivity spectra of comet 10P/Tempel 2 (nucleus) and the D-type asteroid 624 Hektor (Kelley et al. 2017; Emery et al. 2006). The spectra of 10P/Tempel 2 and 624 Hektor are shown with offsets for sake of readability. Solid line is a linear combination of six Gaussian components fitted to the observed spectrum (each component is plotted by dashed line). The vertical dotted lines indicate peak wavelengths of the components.

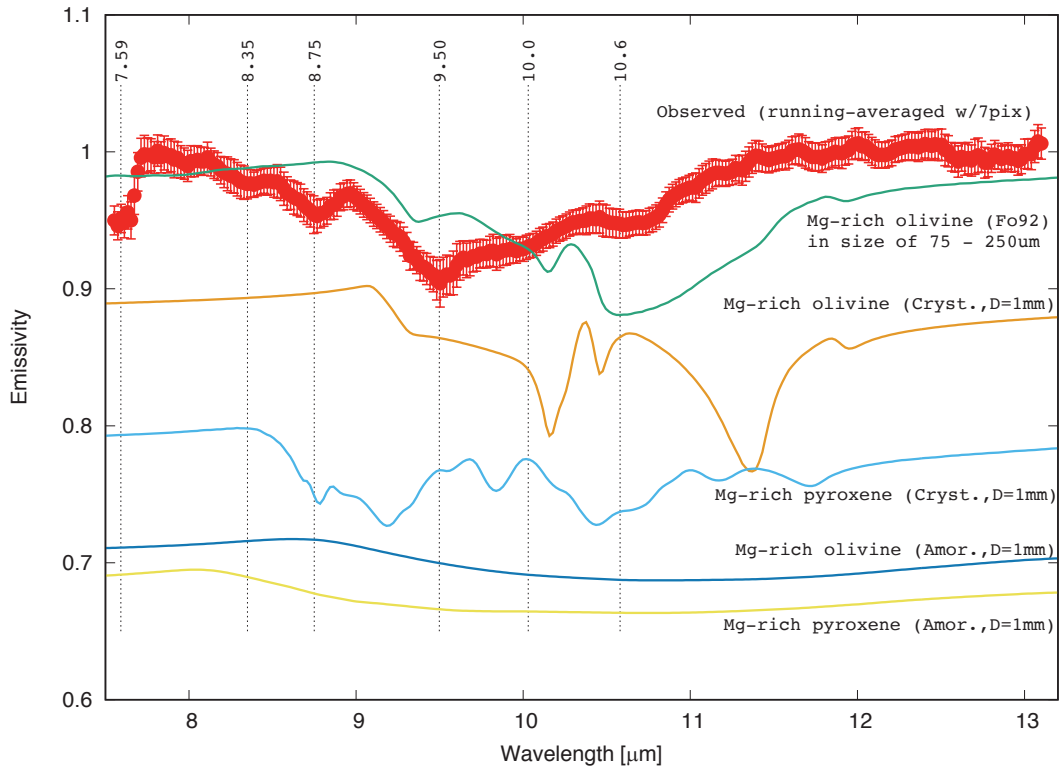


Figure 5: Normalized mid-infrared emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ compared with the estimated emissivity spectrum for a laboratory reflectance spectrum of coarse (75–250 μm -sized) grains of Mg-rich natural olivine (Fo92) and the modeled surface emissivity spectra of crystalline/amorphous Mg-rich silicate (olivine and pyroxene) grains. The modeling was based on the Hapke theory in combination with the Mie theory for 1 mm-sized porous grains.

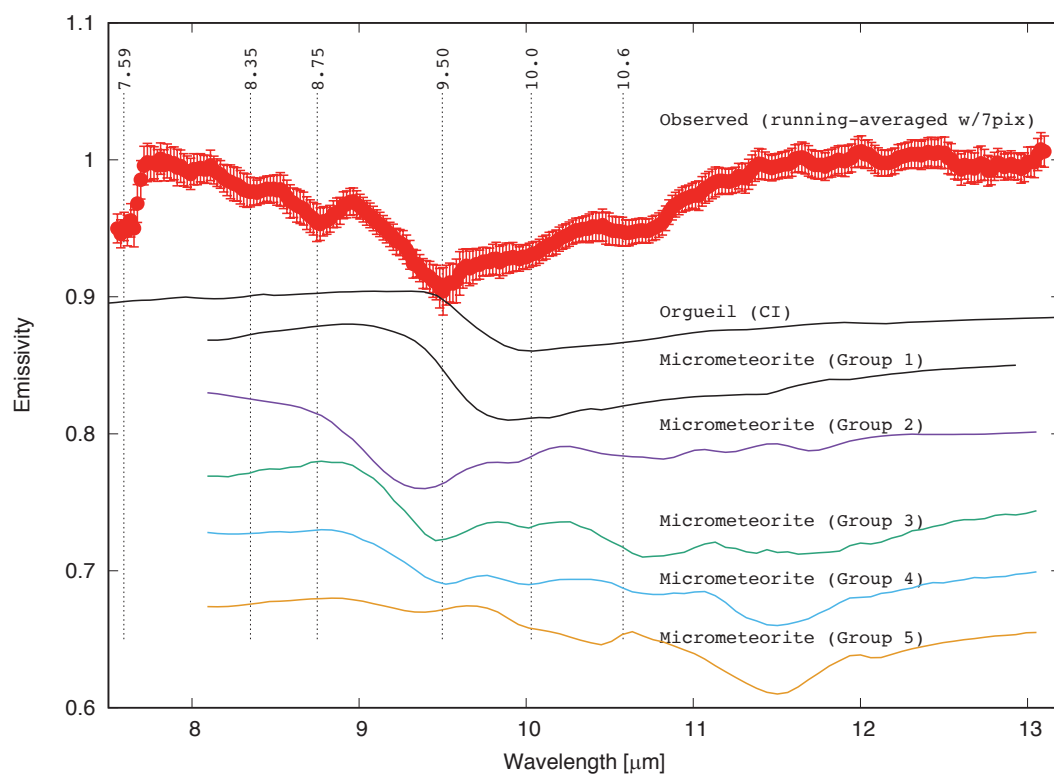


Figure 6: Normalized mid-infrared emissivity spectrum of P/2016 BA₁₄ compared with that of the chondritic meteorite Orgueil (CI) and the scaled $(1 - R)$ spectra of micrometeorites from Suttle et al. (2017), where R denotes reflectance. All spectra other than that of P/2016 BA₁₄ are shifted for readability.

Acknowledgements

This paper is based on data collected by the Subaru Telescope, which is operated by the National Astronomical Observatory of Japan. We thank Fumihiko Usui for useful comments and discussion. This study is supported by Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) KAKENHI Grant-in-Aid for Scientific Research (C) 17K05381, (B) 20H01943, (A) 19H00725 (T.O.), and (C) 20K14541 (Y.S.).

REFERENCES

Baldrige, A. M., Hook, S. J., Grove, C. I., & Rivera, G., 2009. The ASTER spectral library version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, 113, 711–715.

Bardyn, A., Baklouti, D., Cottin, H., et al., 2017. Carbon-rich dust in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko measured by COSIMA/Rosetta. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 469, S712–S722.

Bohren, C.F. & Huffman, D.R., 1983. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. John Wiley & Sons, Inc.

Campins, H., de León, J., Licandro, J., et al., 2018. Compositional Diversity Among Primitive Asteroids. *Primitive Meteorites and Asteroids, Physical, Chemical, and Spectroscopic Observations Paving the Way to Exploration* (ed. Abreu, N.M.). Elsevier.

Che, C. & Glotch, T. D., 2012. The effect of high temperatures on the mid-to-far-infrared emission and near-infrared reflectance spectra of phyllosilicates and natural zeolites: Implications for martian exploration. *Icarus*, 218, 585–601.

Chihara, H., Koike, C., & Tsuchiyama, A., 2001. Low-Temperature Optical Properties of Silicate Particles in the Far-Infrared Region. *Publ. Astron. Soc. Japan*, 53, 243–250.

Cohen, M., Walker, R.G., Carter, B., et al., 1999. Spectral irradiance calibration in the infrared. X. a self-consistent radiometric all-sky network of absolutely calibrated stellar spectra. *Astron. J.* 117, 1864–1889.

Coates, J., 2000. Interpretation of Infrared Spectra: A Practical Approach. *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (Meyers, R.A., Ed., John Wiley & Sons Ltd., Chichester), 10881–10882.

Dorschner, J., Begemann, B., Henning, T., Jäger, C., Mutschke, H., 1995. Steps toward interstellar silicate mineralogy. II. Study of Mg–Fe–silicate glasses of variable composition. *Astron. Astrophys.* 300, 503–520.

Draine, B.T., Li, A., 2007. Infrared emission from interstellar dust. IV. The silicategraphite-PAH model in the post-SPITZER era. *Astrophys. J.* 657, 810–837.

Emerich, C., Lamarre, J.M., Moroz, V.I., Combes, M., Sanko, N.F., Nikolsky, Y.V., Rocard, F., Gispert, R., Coron, N., Bibring, J.P., 1986. Temperature and size of the nucleus of Halley's comet

deduced from IKS infrared VEGA 1 measurements. In ESLAB Symposium on the Exploration of Halley's Comet 250., December.

Emery, J.P., Cruikshank, D.P., Van Cleve, J., 2006. Thermal emission spectroscopy (5.2–38 μm) of three Trojan asteroids with the Spitzer Space Telescope: Detection of fine-grained silicates. *Icarus* 182, 496–512.

Evans, A., et al., 2005. Infrared spectroscopy of Nova Cassiopeiae 1993 –VI. A closer look at the dust. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 360, 1483–1492.

Fabian, D., Henning, T., Jäger, C., et al., 2001. Steps toward interstellar silicate mineralogy. VI. Dependence of crystalline olivine IR spectra on iron content and particle shape. *Astron. Astrophys.* 378, 228–238.

Farnham, T.L., Schleicher, D.G., Woodney, L.M., Birch, P. V., Eberhardy, C. A., Levy, L., 2001. Imaging and Photometry of Comet C/1999 S4 (LINEAR) Before Perihelion and After Breakup. *Science* 292, 1348–1353.

Fernandez, J.A. 2005. *Comets. Astrophysics and Space Science Library.* Springer Nature.

Gounelle, M. & Zolensky, M.E., 2014. The Orgueil meteorite: 150 years of history. *Meteoritics & Planetary Science* 49, 1769–1794.

Groussin, O., A'Hearn, M.F., Li, J.Y., Thomas, P.C., Sunshine, J.M., Lisse, C.M., Meech, K. J., Farnham, T.L., Feaga, L.M., Delamere, W.A., 2007. Surface temperature of the nucleus of Comet 9P/Tempel 1. *Icarus* 187, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2006.08.030>.

Groussin, O., Sunshine, J.M., Feaga, L.M., Jorda, L., Thomas, P.C., Li, J.Y., A'Hearn, M.F., Belton, M.J.S., Besse, S., Carcich, B., Farnham, T.L., 2013. The temperature, thermal inertia, roughness and color of the nuclei of Comets 103P/Hartley 2 and 9P/Tempel 1. *Icarus* 222, 580–594. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.10.003>.

Hamilton, V.E., 2010. Thermal infrared (vibrational) spectroscopy of Mg–Fe olivines: A review and applications to determining the composition of planetary surfaces. *Chemie der Erde* 70, 7–33.

Hapke, B., 2012. *Theory of Reflectance and Emittance Spectroscopy* (2nd ed.), Cambridge Univ. Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025683>.

Hyland, M.G., Fitzsimmons, A., Snodgrass, C., 2019. Near-UV and optical spectroscopy of comets using the ISIS spectrograph on the WHT. *MNRAS* 484, 1347–1358.

Jäger, C., Molster, F. J., Dorschner, J., et al., 1998. Steps toward interstellar silicate mineralogy. IV. The crystalline revolution. *Astron. Astrophys.* 339, 904–916.

Kataza, H., Okamoto, Y., Takubo, S., et al., 2000. COMICS: the cooled mid-infrared camera and spectrometer for the Subaru telescope. *Proc. SPIE* 4008, 1144–1152.

Kelley, M.S.P., Woodward, C. E., Gehrz, R.D., Reach, W.T., Harker, D.E., 2017. Mid-infrared spectra of comet nuclei. *Icarus* 284, 344–358.

Lane, M.D. & Bishop, J.L., 2019. Mid-infrared (Thermal) Emission and Reflectance Spectroscopy. Remote Compositional Analysis (eds. Bishop, J.L., Bell III, J.F., Moersch, J.E.), Cambridge Univ. Press.

Levy, D. 1998. THE COLLISION OF COMET SHOEMAKER–LEVY 9 WITH JUPITER. *Space Science Reviews* 85, 523–545.

Li, J.-Y., et al., 2017. The Unusual Apparition of Comet 252P/2000 G1 (LINEAR) and Comparison with Comet P/2016 BA14 (PanSTARRS). *Astrophys. J.* 154, 136.

Lisse, C.M., et al., 2006. Spitzer spectral observations of the deep impact Ejecta. *Science* 313, 635–640.

Lisse, C.M., et al., 2007. Comparison of the composition of the Tempel 1 ejecta to the dust in Comet C/Hale–Bopp 1995 O1 and YSO HD 100546. *Icarus* 191, 223–240.

Mumma, M. J. & Charnley, S., 2011. The Chemical Composition of Comets – Emerging Taxonomies and Natal heritage. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 49, 471–524.

Naidu, S.P., Benner, L.A.M., Brozovic, M., et al., 2016. High-resolution Goldstone radar imaging of comet P/2016 BA14 (Pan-STARRS). *Americal Astron. Soc. DPS meeting #48*, id.219.05.

Okamoto, Y.K., Kataza, H., Yamashita, T., et al., 2003. Improved performances and capabilities of the cooled mid-infrared camera and spectrometer (COMICS) for the Subaru telescope. *Proc. SPIE* 4841, 169–180.

Ootsubo, T., Kawakita, H., Shinnaka, Y., Watanabe, J., Honda, M., 2020, Unidentified infrared emission features in mid-infrared spectrum of comet 21P/Giacobini-Zinner. *Icarus* 338, 113450.

Paganini, L., Camarca, M.N., Mumma, M. J., Faggi, S., Lippi, M., Villanueva, G. L., 2019. Observations of Jupiter Family Comet 252P/LINEAR During a Close Approach to Earth Reveal Large Abundances of Methanol and Ethane. *Astrophys. J.* 158, 98.

Poch, O., Istiqomah, I., Quirico, E., et al. 2020. Ammonium salts are a reservoir of nitrogen on a cometary nucleus and possibly on some asteroids. *Science*, 367, eaaw7462.

Raponi, A., Ciarniello, M., Capaccioni, F., et al. 2020. Infrared detection of aliphatic organics on a cometary nucleus. *Nat. Astron.*, 4, 500–505.

Schleicher, D.G., 2008. THE EXTREMELY ANOMALOUS MOLECULAR ABUNDANCES OF COMET 96P/MACHHOLZ 1 FROM NARROWBAND PHOTOMETRY. *Astronomical J.* 136, 2204–2213.

Sekanina, Z. & Krachat, R., 2014. DISINTEGRATION OF COMET C/2012 S1 (ISON) SHORTLY BEFORE PERIHELION: EVIDENCE FROM INDEPENDENT DATA SETS. *Astro-ph* (arXiv:1404.5968v6).

Suttle, M.D., Folco, L., Genge, M.J., Russell, S.S., 2020. Flying too close to the Sun – The viability of perihelion-induced aqueous alteration on periodic comets. *Icarus* 351, 113956.

Suttle, M.D., Genge, M.J., Folco, L., Russell, S.S., 2017. The thermal decomposition of fine-grained micrometeorites, observations from mid-IR spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 206, 112–136.

Shinnaka, Y., Ootsubo, T., Kawakita, H., et al., 2018. Mid-infrared Spectroscopic Observations of Comet 17P/Holmes Immediately After Its Great Outburst in 2007 October. *Astrophys. J.* 156, 242.

Soderblom, L.A., Britt, D.T., Brown, R.H., Buratti, B.J., Kirk, R.L., Owen, T.C., Yelle, R.V., 2004. Short-wavelength infrared (1.3–2.6 μm) observations of the nucleus of Comet 19P/Borrelly. *Icarus* 167, 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2003.08.019>.

Tosi, F., Capaccioni, F., Capria, M.T., Mottola, S., Zinzi, A., Ciarniello, M., Filacchione, G., Hofstadter, M., Fonti, S., Formisano, M., Kappel, D., 2019. The changing temperature of the nucleus

of comet 67P induced by morphological and seasonal effects. *Nature Astronomy* 453, 649–658.
<https://doi.org/10.1038/s41550-019-0740-0>.

Vernazza, P., Delbo, M., King, P.L., et al., 2012. High surface porosity as the origin of emissivity features in asteroid spectra. *Icarus* 221, 1162–1172.

研究成果・関連論文リスト

令和3（2021）年度、神山天文台における研究活動にもとづく博士号学位取得者、学術論文雑誌掲載論文（査読有り／無し）および学会・研究会等での発表については、以下のとおりである。前年度にひきつづき、令和3（2021）年度の研究成果は①「赤外線高分散ラボ: Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy」に関連する成果と②「特徴ある独自装置による天体分光学の新展開」に大別される。

赤外線高分散ラボの活動は、波長1ミクロン帯の高感度・高分散分光器WINEREDの開発とそれを用いた観測研究を中心としている。平成29（2017）年度からWINEREDをチリ共和国・欧州南天天文台ラシヤ観測所の口径3.6m New Technology 望遠鏡に取り付け、低湿度・高晴天率の観測条件の下で非常に良質の観測データを多く取得できた。これは、高湿度・低晴天率の京都において口径1.3m 荒木望遠鏡を用いて数年がかりで得られる情報に匹敵すると考えている。それを受け、近年では荒木望遠鏡によって得られたデータをもとにした研究成果だけでなく、New Technology 望遠鏡での観測データをもとにした研究が進んでいることが出版された論文からうかがえる。また、それにともなって、より大きな口径の望遠鏡によって、より暗い／より遠方の天体の観測的研究が進んでいる。現在、WINEREDは口径6.5m マゼラン望遠鏡への移設が進みつつあり、今後、こうした方向性が更に加速されるものと期待できる。また、波長3-5ミクロン帯の高感度・高分散分光器VINROUGEの開発も進めており、イメージジョン回折格子の開発や低膨張セラミックを用いたアサーマル光学系の実現に向けた基礎開発実験が進行中である。一方、令和3（2021）年度は②に相当するものに顕著な進展がみられていないが、学外研究機関やアマチュア天文家との協働が進んでおり、口径1.3m 荒木望遠鏡だけでなく国内外の中小望遠鏡や大望遠鏡を用いた観測研究が増えている。

以上、近年では神山天文台の研究活動は一定水準を保ちつつ定常的な状態で推移している。WINEREDをチリ共和国ラス・カンパナス天文台の口径6.5m マゼラン望遠鏡への移設が完了する令和4（2022）年度以降は、大望遠鏡の口径を活かして更に多様な研究テーマが開拓できる状況が整う計画である。神山天文台は、学祖荒木俊馬博士の研究されたセファイド型変光星や「はくちょう座P星」、新星など時間変動天体の観測をテーマとして引継ぎ、今後も世界トップレベルの研究成果を生み出すことが期待できる。

博士号学位取得者

（該当者無し）

学術論文雑誌掲載論文（2021年4月～2022年3月）

1. 論文名：Volatile Abundances, Extended Coma Sources, and Nucleus Ice Associations in Comet C/2014 Q2 (Lovejoy)、著者名：Dello Russo, Neil ; Vervack, Ronald J. ; Kawakita, Hideyo ; Bonev, Boncho P. ; DiSanti, Michael A. ; Gibb, Erika L. ; McKay, Adam J. ; Cochran, Anita L. ; Weaver, Harold A. ; Biver, Nicolas ; Crovisier, Jacques ;

- Bockelée-Morvan, Dominique ; Kobayashi, Hitomi ; Harris, Walter M. ; Roth, Nathan X. ; Saki, Mohammad ; Khan, Younas、掲載誌名 : The Planetary Science Journal、査読の有無 : 有、巻 : 3、最初と最後の頁 : 6 (46 pp.)、発表年 : 2022 年
2. 論文名 : Highly Sensitive, Non-cryogenic NIR High-resolution Spectrograph, WINERED 、著者名 : Ikeda, Yuji ; Kondo, Sohei ; Otsubo, Shogo ; Hamano, Satoshi ; Yasui, Chikako ; Matsunaga, Noriyuki ; Sameshima, Hiroaki ; Yoshikawa, Tomohiro ; Fukue, Kei ; Nakanishi, Kenshi ; Kawanishi, Takafumi ; Watase, Ayaka ; Nakaoka, Tetsuya ; Arai, Akira ; Kinoshita, Masaomi ; Kitano, Ayaka ; Nakamura, Kazuki ; Asano, Akira ; Takenaka, Keiichi ; Murai, Taichi ; Kawakita, Hideyo ; Minami, Atsushi ; Izumi, Natsuko ; Yamamoto, Ryo ; Mizumoto, Misaki ; Taniguchi, Daisuke ; Tsujimoto, Takuji 、掲載誌名 : Publications of the Astronomical Society of the Pacific、査読の有無 : 有、巻 : 134、最初と最後の頁 : id. 015005 (39 pp.)、発表年 : 2022 年
 3. 論文名 : A Very Metal-poor RR Lyrae Star with a Disk Orbit Found in the Solar Neighborhood 、著者名 : Matsunaga, Noriyuki ; Itane, Akinori ; Hattori, Kohei ; Crestani, Juliana ; Braga, Vittorio ; Bono, Giuseppe ; Taniguchi, Daisuke ; Baba, Junichi ; Maehara, Hiroyuki ; Ukita, Nobuharu ; Sakamoto, Tsuyoshi ; Kobayashi, Naoto ; Aoki, Tsutomu ; Soyano, Takao ; Tarusawa, Ken'ichi ; Sarugaku, Yuki ; Mito, Hiroyuki ; Sako, Shigeyuki ; Doi, Mamoru ; Nakada, Yoshikazu ; Izumi, Natsuko search by orcid ; Ita, Yoshifusa ; Onozato, Hiroki ; Jian, Mingjie ; Kondo, Sohei ; Hamano, Satoshi ; Yasui, Chikako search by orcid ; Tsujimoto, Takuji ; Otsubo, Shogo ; Ikeda, Yuji ; Kawakita, Hideyo、掲載誌名 : The Astronomical Journal、査読の有無 : 有、巻 : 925、最初と最後の頁 : id.10 (11pp.)、発表年 : 2022 年
 4. 論文名 : Chemical Composition of Outbursting Comet C/2015 ER61 (PanSTARRS) 、著者名 : Saki, Mohammad; Gibb, Erika L.; Bonev, Boncho P.; Roth, Nathan X.; DiSanti, Michael A.; Khan, Younas; Dello Russo, Neil; Vervack, Ronald J., Jr.; McKay, Adam J.; Kawakita, Hideyo、掲載誌名 : The Astronomical Journal、査読の有無 : 有、巻 : 162、最初と最後の頁 : 145(13pp)、発表年 : 2021 年
 5. 論文名 : Molecular composition of short-period comets from millimetre-wave spectroscopy: 21P/Giacobini-Zinner, 38P/Stephan-Oterma, 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák, and 64P/Swift-Gehrels、著者名 : Biver, N.; Bockelée-Morvan, D.; Lis, D. C.; Despois, D.; Moreno, R.; Crovisier, J.; Colom, P.; Boissier, J.; Dello Russo, N.; Vervack, R. J.; Cordiner, M. ; Milam, S.; Roth, N. X.; Bonev, B. P.; DiSanti, M. A.; Davies, J. K.; Kawakita, H. 、掲載誌名 : Astronomy & Astrophysics、査読の有無 : 有、巻 : 651、最初と最後の頁 : A25(15pp)、発表年 : 2021 年
 6. 論文名 : Detection of 7Be II in the Classical Nova V5669 Sgr (Nova Sagittarii 2015 No.3) 、著者名 : Arai, Akira; Tajitsu, Akito, Kawakita, Hideyo; Shinnaka, Yoshiharu、

- 掲載誌名：The Astrophysical Journal、査読の有無：有、巻：916、最初と最後の頁：44(21p)、発表年：2021年
7. 論文名：Mid-infrared observations of the nucleus of comet P/2016 BA14 (PANSTARRS)、著者名：Ootsubo, Takafumi; Kawakita, Hideyo; Shinnaka, Yoshiharu、掲載誌名：Icarus、査読の有無：有、巻：363、最初と最後の頁：114425、発表年：2021年
 8. 論文名：The similarity of the interstellar comet 2I/Borisov to Solar System comets from high-resolution optical spectroscopy、著者名：Opitom, C.; Jehin, E.; Hutsemékers, D.; Shinnaka, Y.; Manfroid, J.; Rousselot, P.; Raghuram, S.; Kawakita, H.; Fitzsimmons, A.; Meech, K.; Micheli, M.; Snodgrass, C.; Yang, B.; Hainaut, O.、掲載誌名：Astronomy & Astrophysics、査読の有無：有、巻：650、最初と最後の頁：19(8pp)、発表年：2021年
 9. 論文名：Absorption Lines in the 0.91-1.33 μ m Spectra of Red Giants for Measuring Abundances of Mg, Si, Ca, Ti, Cr, and Ni、著者名：Fukue, Kei; Matsunaga, Noriyuki; Kondo, Sohei; Taniguchi, Daisuke; Ikeda, Yuji; Kobayashi, Naoto; Sameshima, Hiroaki; Hamano, Satoshi; Arai, Akira; Kawakita, Hideyo; Yasui, Chikako; Mizumoto, Misaki; Ootsubo, Shogo; Takenaka, Keiichi; Yoshikawa, Tomohiro; Tsujimoto, Takuji、掲載誌名：The Astrophysical Journal、査読の有無：有、巻：913、最初と最後の頁：62(15pp)、発表年：2021年
 10. 論文名：First Comet Observations with NIRSPEC-2 at Keck: Outgassing Sources of Parent Volatiles and Abundances Based on Alternative Taxonomic Compositional Baselines in 46P/Wirtanen、著者名：Bonev, Boncho P.; Dello Russo, Neil; DiSanti, Michael A.; Martin, Emily C.; Doppmann, Gregory; Vervack, Ronald J., Jr.; Villanueva, Geronimo L.; Kawakita, Hideyo; Gibb, Erika L.; Combi, Michael R.; Roth, Nathan X.; Saki, Mohammad; McKay, Adam J.; Cordiner, Martin A.; Bodewits, Dennis; Crovisier, Jacques; Biver, Nicolas; Cochran, Anita L.; Shou, Yinsi; Khan, Younas Venkataramani, Kumar、掲載誌名：The Planetary Science Journal、査読の有無：有、巻：2、最初と最後の頁：45(17pp)、発表年：2021年
 11. 論文名：The Volatile Composition of the Inner Coma of Comet 46P/Wirtanen: Coordinated Observations Using iSHELL at the NASA-IRTF and Keck/NIRSPEC-2、著者名：Roth, Nathan X.; Bonev, Boncho P.; DiSanti, Michael A.; Dello Russo, Neil; McKay, Adam J.; Gibb, Erika L.; Saki, Mohammad; Khan, Younas; Vervack, Ronald J., Jr.; Kawakita, Hideyo; Cochran, Anita L.; Biver, Nicolas; Cordiner, Martin A.; Crovisier, Jacques; Jehin, Emmanuël; Weaver, Harold、掲載誌名：The Planetary Science Journal、査読の有無：有、巻：2、最初と最後の頁：54(12pp)、発表年：2021年
 12. 論文名：Relevant Coma Composition Investigations for the Comet Interceptor Mission、

著者名：Boice, Daniel C.; Kobayashi, Hitomi; Kawakita, Hideyo; Shinnaka, Yoshiharu、
掲載誌名：Research Notes of the AAS、査読の有無：有、巻：5、最初と最後の頁：88、
発表年：2021年

学会・研究会等発表（2021年4月～2022年3月）

1. 学会名：始原天体ワークショップ、発表者：新中善晴、発表標題名：現存する太陽系小天体、開催地：オンライン、発表年月：2022.3.14-15
2. 学会名：低金属環境下における星・惑星形成研究会、発表者：加藤晴貴、発表標題名：若い中質量星の近赤外スペクトルに見られた新たな光蒸発輝線、開催地：オンライン、発表年月：2021.12.8-10
3. 学会名：AAS Division of Planetary Science meeting #53、発表者：Khan, Younas ; Gibb, Erika ; Ejeta, Chemed ; Roth, Nathan ; Dello Russo, Neil ; Bonev, Boncho ; Di Santi, Michael ; Saki, Mohammad ; McKay, Adam ; Vervack, Ronald ; Combi, Michael ; Kawakita, Hideyo、発表標題名：Primary Volatile Composition of Comet 46P/Wirtanen During its Exceptional 2018 Apparition、開催地：オンライン、発表年月：2021.10.3-8
4. 学会名：AAS Division of Planetary Science meeting #53、発表者：Dello Russo, Neil ; Vervack, Ronald ; Kawakita, Hideyo ; Bonev, Boncho ; Di Santi, Michael ; Gibb, Erika ; McKay, Adam ; Cochran, Anita ; Weaver, Harold ; Biver, Nicolas ; Crovisier, Jacques ; Bockelee-Morvan, Dominique ; Kobayashi, Hitomi ; Harris, Walter ; Roth, Nathan ; Saki, Mohammad ; Khan, Younas、発表標題名：Volatile abundances, coma sources, and ice associations in the nucleus of comet C/2014 Q2 (Lovejoy)、開催地：オンライン、発表年月：2021.10.3-8
5. 学会名：AAS Division of Planetary Science meeting #53、発表者：McKay, Adam ; Cochran, Anita ; Di Santi, Michael ; Kelley, Michael ; Womack, Maria ; Wierzos, Kacper ; Harrington Pinto, Olga ; Bonev, Boncho ; Villanueva, Geronimo ; Dello Russo, Neil ; Biver, Nicolas ; Bauer, James ; Vervack, Ronald ; Gibb, Erika ; Roth, Nathan ; Kawakita, Hideyo、発表標題名：OI Photochemistry in CO-Dominated Comet C/2016 R2 (PanSTARRS)、開催地：オンライン、発表年月：2021.10.3-8
6. 学会名：AAS Division of Planetary Science meeting #53、発表者：Hiyori Noji, Yui Kashiwagi, Yoshiharu Shinnaka, Hideyo Kawakita, Hitomi Kobayashi, Daniel C. Boice、発表標題名：Direct Simulation Monte-Carlo Model of Forbidden Oxygen Emission Lines in Comets、開催地：オンライン、発表年月：2021.10.3-8
7. "学会名：AAS Division of Planetary Science meeting #53、発表者：Yoshiharu Shinnaka, Hideyo Kawakita, Reiko Furusho、発表標題名：Optical Imaging Polarimetry of Comet 21P/Giacobini-Zinner with PICO in the 2018 Apparition、開催地：オンライン、発表年月：2021.10.3-8"

8. 学会名 : AAS Division of Planetary Science meeting #53、発表者 : H. Kawakita, N. Dello Russo, R. Vervack, M. DiSanti, B. Bonev, E. Gibb, A. McKay, A. Cochran, N. Roth, M. Saki, Y. Khan, H. Weaver, W. Harris, N. Biver, D. Bockelée-Morvan, J. Crovisier, H. Kobayashi, Y. Shinnaka, D. Boice、発表標題名 : Spatial profiles of ammonia and NH₂ in comet C/2014 Q2 (Lovejoy): Ammonium salts as possible parents of ammonia in cometary comae、開催地 : オンライン、発表年月 : 2021.10.3-8
9. 学会名 : ISAS 惑星探査ワークショップ、発表者 : Yoshiharu Shinnaka、発表標題名 : Comets、開催地 : オンライン、発表年月 : 2021.9.21-22,24
10. 学会名 : 15th Europlanet Science Congress 2021、発表者 : Opitom, Cyrielle ; Jehin, Emmanuel ; Hutsemékers, Damien ; Shinnaka, Yoshiharu ; Manfroid, Jean ; Rousselot, Philippe ; Raghuram, Susarla ; Kawakita, Hideyo ; Fitzsimmons, Alan ; Meech, Karen ; Micheli, Marco ; Snodgrass, Colin ; Yang, Bin ; Hainaut, Olivier、発表標題名 : High resolution optical spectroscopy of 2I/Borisov: a surprising similarity to solar system comets、開催地 : オンライン、発表年月 : 2021.9.13-24
11. 学会名 : 惑星科学会 2021 年秋季講演会、発表者 : TMT を使った新時代の太陽系研究、発表標題名 : 吉田二美, 阿部新助, 荒井朋子, 有松亘, 飯野孝浩, 伊藤孝士, 白井文彦, 浦川聖太郎, 大澤亮, 大槻圭史, 大坪貴文, 岡田達明, 笠羽康正, 河北秀世, 北元, 木村宏, 小林仁美, 小林浩, 坂野井健, 佐川英夫, 寫生有理, 新中善晴, 関口朋彦, 関根康人, 高遠徳尚, 寺居剛, 中川朋子, 中村昭子, 中本泰史, 長谷川直, パトリック・S・リカフイカ, 樋口有理可, 前澤裕之, 藪田ひかる, 和田浩二、開催地 : オンライン、発表年月 : 2021.9.16-19

神山天文台の普及教育活動

1. はじめに

神山天文台は、京都産業大学の創設者である荒木俊馬博士が宇宙物理学者であったことから創立 50 周年を目指した大学のグランドデザインの一環として、平成 22 (2010) 年度に設立した研究教育組織である。

本天文台では、これまでに望遠鏡をはじめ各種観測装置を整備し、研究教育施設として、その役割を明確化するとともに、公開事業や産学協働など社会貢献も視野に入れて組織運営を行ってきた。その特色の一つとして、社会に開かれた天文台として独自の公開事業を展開し、装置開発のための設備を開放するなど、一般市民の方々や教育現場・産業界の方々と様々な交流を通じて、本学と一般社会・産業界を繋ぐ新たな天文学コミュニティー（人材育成、社会教育、産学協働の推進）を生み出すことを目的として、神山天文台を活用した普及教育活動を行ってきた。（図 1）

また、平成 20 (2008) 年度から平成 24 (2012) 年度まで文科省・私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に採択された「研究教育用天文台の設置および天文学教育研究拠点の形成」の観点からも、神山天文台が行う普及教育活動が社会に向けた「知の情報発信」に繋がるように、その基盤を整備してきた。こうした活動は、同事業の最終評価においても高く評価されており、平成 25 (2013) 年度以降についても、引き続き本学における「知の情報発信」の一翼を担い、大学と社会との窓口としての役割を果たすべく、上記のような、社会と関連できる活動を継続した。

令和 3 (2021) 年度は、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の感染拡大の影響により、すべての来場型のイベントは、参加人数を制限し事前予約制で実施した。緊急事態宣言やまん延防止等重点措置の発令により予定日の直前で延期や中止するイベントもあったが、学内者向けの観望会や 11 月、12 月には天体観望会や皆既月食の観望会を実施した。他方、前年度から実施している天体観望会や天文学講座のオンライン配信を本年度も実施し、のべ 21,000 回以上視聴されるなど、本学や神山天文台の活動を知っていただく重要な活動となっている。

ここでは、平成 22 (2010) 年度から本天文台で行ってきた普及教育活動を交えながら、令和 3 (2021) 年度の活動について、以下のとおり記す。

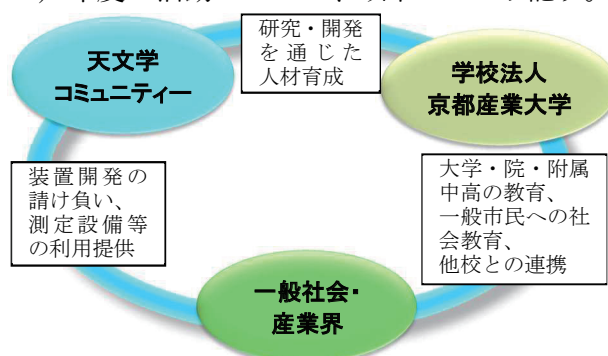


図 1 神山天文台の役割

2. 大学としての教育活動

神山天文台は、天文学における研究教育を行う組織として、特色ある教育を実践するために、理学部・理学研究科との連携を図ってきた。これまで、神山天文台の施設・設備（望遠鏡・観測装置、各種実験・計測機器）を活用し、神山天文台を利用する学生への教育支援を行ってきた。例えば、神山天文台研究員などが実施する研究会・勉強会・講習会等への学生の参加、さらに、天文台で実施する研究・観測装置の開発プロジェクトを通じた実践的な教育・研究指導を行い、神山天文台としての教育支援の活性化を図っている。

また、平成 20（2008）年度から平成 24（2012）年度にかけては、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の研究プロジェクト「研究教育用天文台の設置および天文学教育研究拠点の形成」の達成のために、様々な教育支援を行ってきた。荒木望遠鏡（大型望遠鏡）を用いた「新星の早期分光確認観測」や「新星における炭素分子の世界初検出」などの学術成果は、学生が主体となって成功している。平成 26（2014）年度には、本学理学研究科・博士後期課程在籍者 2 名が、神山天文台における研究・開発活動を元にして博士（理学）の学位を取得した。このことから、神山天文台における教育支援活動が、学位取得に繋がるだけのクオリティを有していることが分かる。

平成 26（2014）年度から平成 30（2018）年度にかけては、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に研究プロジェクト「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」が採択された（神山天文台としては 2 回目）。本研究プロジェクトにおいて取り組んでいる研究は、当該分野では常に最先端である。当該補助金により複数の神山天文台研究員を雇用し、研究所の活性化を目指してきた。

また、上記研究プロジェクトとは別に「特徴ある独自開発装置による天体分光学の新展開」と題する研究計画の下、学生とともに神山天文台研究員が各種の研究を推し進めている。このように神山天文台における研究の多くは、学生及び神山天文台研究員が主体であり、教育と研究の相乗効果を狙うことも目的の一つである。研究成果の多くはマスメディア等に取り上げられるなど、学生たちの活躍が神山天文台のアクティビティを支える要因となっている。

3. 学内公開

本学においては、学生・教職員などの学内者を対象とした天体観望会や宇宙の 3D 映像の上映会を行っている。望遠鏡で宇宙の姿を実際に見ることは、宇宙における地球、そして人類が存在する意味を考えるよい機会となり、本学の創設者である荒木俊馬博士の「建学の精神」の理念を、より多くの学生たちに認識してもらいたいという願いも含んでいる。

4. 近隣学校等への天文学習

神山天文台では、小・中・高校生等（附属幼稚園・中高等学校を含む。）が宇宙に対して興味・関心を育み、様々な天文に関する事象を科学的に探求する機会を提供することを目的に講座を実施している。特に高校においては、地学を開講していない学校もあり、天文や宇宙のことを体系的に学習する機会が少なくなっているものの、昨今の宇宙・天文ブームを反映し、これまでも平成 24（2012）年に金環日食、金星の太陽面通過等についてイベントを実施している。その中で、このような天文現象に関心を示す生徒たちの数が、以前にも増して多くなっていることを実感している。そのような生徒たちも、天文や宇宙について自ら探究的に学ぶことができるのが天文学習である。昼間は 3D 映像を取り入れた講義と施設見学、夜間は 3D 映像にて 30 分の星空解説、その後 30～60 分の天体観望と合わせて 60～90 分間のプログラムを提供している。

天文学習では、年間で 10～20 校ほどの参加があり、近隣の学校への出前授業等も実施するなど、地域の教育機関との連携強化も視野に入れ、また、京都という土地柄を活かして修学旅行生の受入れも積極的に行うなど、開かれた天文台を目指している。

5. 他機関との連携事業

平成 22（2010）年度、平成 23（2011）年度と 2 年連続で、日本学術振興会のひらめき☆ときめきサイエンス、サイエンス・パートナーシップ・プロジェクトに採択され、補助金を受けてスペクトル観測体験学習講座を実施した。受講生の中には、近畿地区のみならず、遠方からの参加もあった。受講生にとっては、小・中学生を中心に普段の学校の授業では体験できないようなことを学ぶことができ、特に、子どもたちにとっては大学の先生に教わるという機会も持つことができる非常に興味深い内容となった。

また、平成 23（2011）年度には、京都市青少年科学センターと連携し、「未来のサイエンティスト養成講座」（平成 23(2011)年 8 月実施）、プラネタリウム共同番組「星の虹から宇宙を探る」の共同制作（投影期間：平成 24(2012)年 1 月～3 月実施）などを行った結果、約 4,500 名の参加があり、神山天文台の研究活動をアピールすることができた。

平成 24（2012）年度からは、東京大学大学院理学系研究科と研究協力に関する協定を締結し、近赤外線高分散分光器の世界最高性能を実現するための研究開発に取り組んでいる。

また、平成 27（2015）年度からは、インドネシアのバンドン工科大学と協定を結び、新星爆発の観測研究に取り組んでおり、平成 28（2016）年 7 月や平成 29（2017）年 1 月には、共同研究の成果が学術論文雑誌に掲載された。

6. 一般の方への普及教育活動

(1) 施設見学と天体観望会

毎週土曜日には、神山天文台専門スタッフと学生補助員（以下、補助員という）が協力して天体観望会（参加費無料）を行っている。国内の私立大学では最大となる、口径 1.3 メートルの荒木望遠鏡（写真 1・写真 2）を用いた天体観望のほか、小型望遠鏡を用いた天体観望や宇宙の 4 次元デジタルシミュレーションソフト「Mitaka」を用いた宇宙の 3D 映像上映会も行っている。来場者は、ファミリー層が多く、好天候時には 100 名を超える方々が訪れている。悪天候時には、光の性質に関する実験を行うなど、天体を見ることができない場合にも楽しめるコンテンツを用意している。

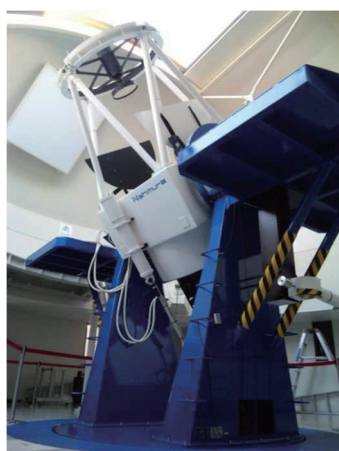


写真 1 荒木望遠鏡



写真 2 接眼部

天体観望会では、その日に見た天体のスタンプが押す「神山天文台スタンプラリー」を実施し、地域に親しまれる天文台として好評を得ている。平成 22（2010）年度から一般公開を実施し、令和 3（2021）年度までの 12 年間で、49,000 名を超える方々に来場いただき、地域に根ざした天文台として、認知されるようになってきた（資料 1・2）。来場者アンケートの結果では、大学という場所柄を反映してか、天文学の基礎知識や神山天文台で行われている研究について聞きたいという声が多い。スタッフの専門分野の話題やサイエンスの紹介、観測装置を開発した学生の話なども取り入れ、神山天文台の研究活動も紹介するなどして、参加者が興味を持つ話題やニーズなども取り上げながら、満足度の高い公開事業を行っている。

また、平日又は天体観望会を実施する土曜日の昼間に神山天文台を開放し、荒木望遠鏡や荒木俊馬博士のゆかりの品等を自由に見学していただいている。平成 26（2014）年度と平成 27（2015）年度には、著名な星景写真家の協力により、館内にて星景写真展（写真 3）を開催し、来場者から多数の好評を得ている。加えて、令和 4（2022）年度には、神山天文台の研究成果などを展示するため、ロビーの改修を予定している。その先がけとして、先にあげた荒木俊馬博士ゆかりの品以外

に、ロビーで小惑星や彗星の 3D 模型を使用したハンズオン展示（写真4）を行った。また3階ドームにおいても実際に神山天文台で活躍している天文観測装置の動態展示を行った。



写真3 星景写真展の様子（2016年）



写真4 ハンズオン展示の様子

（2）天文学講座

天文学講座は、学内外の研究者を講師とした、普段の天体観望会よりも天文学の深い話題に触れていただける内容を、土曜日の午後の時間帯で年間4回程度実施している（写真5・資料3）。

受講生の中には、京都府のみならず、府外の近畿圏からも、常連の方々を含む約20～60名の参加がある。同講座の終了後には、毎回、多くの質問が飛び交い、受講生の熱心さが伺える。中には、生物や化学、物理を専門とする高校教員の方が、「学校で天文分野を教える必要に迫られたので勉強したい。」という目的で受講されることもある。このことから、同講座に対し、地学を専門としない高校教員からの一定の需要が見込まれる。このように、地域の理科教育の一端を担うという意味においても、神山天文台の役割は大きい。

また、同講座の終了後には、地域の方々と研究者との交流を目的とした「アストロノミー・カフェ」を開設（写真6）し、お茶を飲みながら気軽に講師に質問できる場を提供している。これらの取組により、地域の方々に親しまれる天文台として、本学のイメージアップにも繋げている。



写真5 天文学講座の様子



写真6 アストロノミー・カフェの様子

(3) 神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」

より多くの方々に神山天文台に親しんでいただくために、マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」を平成 25 (2013) 年に採用した (図 2)。これは、観望会における解説補助等を務める学生が考案した原案をもとに、本学理学部卒業の職員が学生時代に神山天文台での観測・測定装置開発で培った技術を駆使して 3D 化したもので、学生及び教職員から名前を公募のうえ決定、商標登録したものである。

「ほしみ〜るちゃん®」は、神山天文台における各種ポスターや案内チラシへの掲載、天体観望会で実施しているスタンプラリーの景品等のほか、社会貢献活動において広く活用されている。また、平成 29 (2017) 年度には、LINE スタンプを作成し、身近な広報ツールとしての役割を担っている。



図 2 ほしみ〜るちゃん®

7. 公開事業を通じた学生の育成

土曜日の一般公開や天文学習等の実施にあたっては、神山天文台スタッフに加えて、補助員として学生の協力を得ている。補助員は、天体観望会における天体解説、天文学習における説明補助等を主に担っており、神山天文台が公開活動を行うにあたり欠かせない存在である。

補助員として勤務を始めてすぐは、相手の目を見て話せない学生や自分の持っている精一杯の知識で説明し終わると沈黙してしまう学生、早口で威圧的に話してしまう学生もいる。しかし、経験を重ねていくうちに、話し方や対応マナーが驚くほど向上し、一緒に観望会を運営していくという責任感が育ち、自分で考えて行動・提案できるように成長していく学生も少なくない。こうした学生の中から、公開天文台などの天文に関わる業種に就職した卒業生も輩出している。

このように、神山天文台の観望会等の場で活躍できることは、学生のキャリア形成にも貴重な経験となると考えられる。こうした学生を対象に、平成 23 (2011) 年度から神山天文台で活動を行う基盤として、学生プロジェクトチーム (平成 27 (2015) 年度に神山天文台ボランティアチームから「神山天文台サポートチーム」に改称) を

立ち上げている。

8. 神山天文台サポートチーム

神山天文台サポートチームは、平成 23（2011）年度に神山天文台ボランティアチームとして、神山天文台をより活性化することを目指し、有志の学生によって結成された学生プロジェクトチームである。文系理系を問わず、神山天文台や天文学に興味があれば参加をすることができ、令和 4（2022）年 3 月現在で、約 40 名の学生が在籍し、活動をしている。

同チームの学生たちは、神山天文台研究員や教員の指導のもと、自分たちで下記のようなイベントを企画し、広く地域の方々に神山天文台の魅力発信に努めている。

（1）天体観望会

宇宙の 4 次元デジタルシミュレーションソフト「Mitaka」を用いた宇宙の 3D 映像の上映会を行い、神山天文台前に小型望遠鏡を設置し、時節に応じた様々な天体を解説付きで来場者の方に楽しんでいただく取組をしている。なお、悪天候時には、光の性質についての実験を体験していただいている。

（2）学内天体観望会

大学関係者（教職員・学生）を対象として、年に数回実施している。荒木望遠鏡・小型望遠鏡による天体観望（写真 6）や、シミュレーションソフト「Mitaka」を用いた 3D 映像上映会などを体験していただいている。



写真 7 学内天体観望会の様子

（3）サタデージャンボリー

サタデージャンボリーは、大学が実施している地域の子供たち向けの大規模イベントである（写真 8）。令和 3（2021）年度は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響により、イベントが中止となった。



写真7 サタデージャンボリーの様子

(4) 神山祭 (学園祭)

例年は来場する地域・一般の方を対象に、神山天文台を会場とし、荒木望遠鏡の紹介や宇宙の3D映像上映会、天体写真やサポートチームの活動写真をまとめたスライドショーなどを実施するが、令和3(2021)年度は新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響により、神山祭が中止となった。

(5) その他

上記以外にも、地域の図書館での子ども向けの天体天文教室や天文同好会などの学内団体との合同イベント、出張観望会の実施、青少年のための科学の祭典や科博連サイエンスフェスティバルへの出展など、日々自主的に神山天文台での活動が続いている。令和3(2021)年度は、叡山電鉄主催の秋の市原フェスタ(2021年11月6日、川島織物セルコン本社)において実施された星空観望会に協力した。

このように、補助員やサポートチームの一員としての活動による経験を通し、学生たちのコミュニケーション能力や科学に関する知識をより高めることで、本学における人材育成の一端を担っている(資料6)。

資料1 各種イベント 来場者数／視聴回数一覧

来場型イベント（来場者数）

公開区分	平成22年度 (2010)	平成23年度 (2011)	平成24年度 (2012)	平成25年度 (2013)	平成26年度 (2014)	平成27年度 (2015)	平成28年度 (2016)	平成29年度 (2017)	平成30年度 (2018)
(1) 天体観望会	2,060	1,762	1,380	973	1,185	1,166	1,584	1,430	1,821
(2) 施設見学（常設展示、荒木望遠鏡）								400	400
(3) 天文台講座	120	188							
(4) 天文学講座（旧天文学入門講座）		260	303	347	148	114	56	147	145
(5) 特別講演会	77	33	36	64	92	79	64	66	43
(6) ひらめき☆ときめきサイエンス（日本学術振興会との共催）	77	30							
(7) 学校・教育機関等利用（小・中・高校等）	484	393	407	204	204	406	499	667	706
(8) オープンキャンパス	960	787	592	510	963	1,614	1,362	1,239	1,105
(9) サタデージャンボリー	547	466	213	316	273	389	500	466	250
(10) 京都産業大学DAY（H28から教育懇談会）	116	156	224	179	217	292	244	295	185
(11) 学内観望会（本学学生・教職員向け）	190	417	115	188	122	119	131	74	42
(12) 神山祭	232	557	284	534	509	613	495	870	827
(13) その他（入学式、卒業式等特別公開他）	185	65	162	137	89	150	95	166	105
合計	5,048	5,114	3,716	3,452	3,802	4,942	5,030	5,820	5,629

公開区分	平成31/令 和元年度 (2019)	令和2年度 (2020)	令和3年度 (2021)	イベント別 合計
(1) 天体観望会	1,214	0※	233	14,808
(2) 施設見学（常設展示、荒木望遠鏡）	473	46	626	1,945
(3) 天文台講座				308
(4) 天文学講座（旧天文学入門講座）	131	0※	0※	1,651
(5) 特別講演会				554
(6) ひらめき☆ときめきサイエンス（日本学術振興会との共催）				107
(7) 学校・教育機関等利用（小・中・高校等）	703	0	79	4,752
(8) オープンキャンパス	961	0	596	10,689
(9) サタデージャンボリー	534	中止	中止	3,954
(10) 京都産業大学DAY（H28から教育懇談会）	201	中止	中止	2,109
(11) 学内観望会（本学学生・教職員向け）	112	34	129	1,673
(12) 神山祭	817	中止	中止	5,738
(13) その他（入学式、卒業式等特別公開他）	66	0	15	1,235
合計	5,212	80	1,678	49,523

※令和2（2020）年度は全ての天体観望会及び天文学講座をオンラインにて実施。令和3（2021）年度は一部の天体観望会と全ての天文学講座をオンラインにて実施

オンライン配信（視聴回数）

公開区分	令和2年度 (2020)	令和3年度 (2021)	イベント別 合計
(A) WEB天体観望会	26,661	19,540	46,201
(B) WEB天文学講座	11,794	2,342	14,136
合計	38,455	21,882	60,337

資料2 平成22(2010)年度～令和3(2021)年度 一般公開来場者数一覧

(注)表記されていない月日は、一般公開やイベントを実施していない。

平成22(2010)年度

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	計	
4月3日	晴れ	○	66	6	26	5	10	1	42	47	3	103	
4月10日	曇り	×	32	4	3	0	1	0	1	17	20	39	
4月17日	晴れ	○	91	16	10	0	21	6	11	61	18	117	
4月24日	晴れ	○	69	3	21	3	11	0	32	39	14	96	
4月計		3	258	29	60	8	43	7	86	164	55	355	
5月1日	晴れ時々曇り	○	52	4	22	5	19	1	16	44	3	83	
5月8日	晴れ後曇り	○	50	1	7	0	3	2	28	23	2	58	
5月15日	晴れ後曇り	○	15	2	22	1	5	1	13	20	1	40	
5月22日	曇り	×	5	1	4	5	0	0	1	13	1	15	
5月29日	晴れ	○	65	2	13	1	15	1	16	38	11	81	
5月計		4	187	10	68	12	42	5	74	138	18	277	
6月5日	晴れ	○	70	2	24	6	12	2	21	51	16	102	
6月12日	晴れ後曇り	○	50	6	13	2	21	2	4	37	7	71	
6月19日	曇り	×	6	2	11	1	0	0	3	15	2	20	
6月26日 天文台講座	雨	×	9	0	3	0	0	0	1	9	2	12	
6月計		2	135	10	51	9	33	4	29	112	27	205	
7月3日	雨	×	1	4	4	0	0	0	0	8	1	9	
7月10日	晴のち曇り	○	28	13	7	4	11	0	6	25	10	52	
7月17日	曇り時々晴れ	×	13	1	13	6	5	0	6	20	2	33	
7月24日	晴れ時々曇り	×	27	4	3	2	11	3	2	14	6	36	
7月31日	晴れ時々曇り	△	33	5	15	10	6	20	3	31	3	63	
7月計		1	102	27	42	22	33	23	17	98	22	193	
8月7日	晴れのち曇り	○	126	1	19	8	24	5	1	87	37	154	
8月21日	曇り	○	48	1	4	12	14	6	2	38	5	65	
8月計		2	174	2	23	20	38	11	3	125	42	219	
9月4日	曇り後晴れ	○	22	9	10	1	11	0	2	28	1	42	
9月11日 天文台講座	晴れ時々曇り	○	21	7	13	1	7	1	16	16	2	42	
9月18日	晴れ時々曇り	○	15	7	6	11	4	2	3	26	4	39	
9月25日	曇り	○	36	0	30	3	10	1	28	24	6	69	
9月計		4	94	23	59	16	32	4	49	94	13	192	
10月2日 サタデージャンボリー	曇り	○	48	1	5	1	7	1	30	17	0	55	
10月9日	雨後曇り	×	3	0	1	0	0	0	0	4	0	4	
10月16日	曇り時々晴れ	×	13	5	5	4	6	3	0	15	3	27	
10月23日	曇り後晴れ	○	42	0	13	1	12	6	5	25	8	56	
10月30日	曇り時々小雨	×	3	0	2	2	1	0	0	3	3	7	
10月計		2	109	6	26	8	26	10	35	64	14	149	
11月6日	晴れ時々曇り	○	19	3	2	0	2	0	2	16	4	24	
11月13日	晴れ時々曇り	○	25	14	15	5	2	6	4	40	7	59	
11月27日	晴れ時々曇り	○	21	0	2	0	1	0	12	6	4	23	
11月計		3	65	17	19	5	5	6	18	62	15	106	
12月4日	晴れ時々曇り	○	23	0	11	0	8	0	2	21	3	34	
12月11日 天文台講座	曇り	△	0	0	2	0	0	0	0	2	0	2	
12月18日	曇り	×	3	0	5	3	0	0	2	8	1	11	
12月25日 Xmasスペシャル講演会	曇り後晴れ	○	2	1	6	5	3	0	2	9	0	14	
12月計		2	28	1	24	8	11	0	6	40	4	61	
1月8日	晴れ時々曇り	○	22	0	6	4	5	1	4	20	2	32	
1月22日	晴れ後曇り、小雨	×	12	0	1	0	3	1	3	6	0	13	
1月計		1	34	0	7	4	8	2	7	26	2	45	
2月5日	曇りのち晴れ	○	52	5	14	1	23	2	11	35	1	72	
2月12日	曇り一時雪	×	7	2	3	5	1	0	2	13	1	17	
2月19日	晴れのち曇り	○	15	0	5	7	4	0	6	13	4	27	
2月26日	晴れ	○	29	0	13	15	8	0	12	29	8	57	
2月計		3	103	7	35	28	36	2	31	90	14	173	
3月5日 天文台講座	曇り	○	12	3	4	1	6	0	3	10	1	20	
3月12日	曇り	○	8	1	5	3	0	0	8	8	1	17	
3月19日	曇り	○	7	2	8	13	1	0	6	22	1	30	
3月26日	雪後曇り時々晴れ	○	10	1	2	5	3	0	6	9	0	18	
3月計		4	37	7	19	22	10	0	23	49	3	85	
合計			31	1,326	139	433	162	317	74	378	1,062	229	2,060

平成23（2011）年度

イベント	天候状況	※観望会 開催	京都市	京都府	近畿 地区	その他 府県	小学生 以下	中学生	大学生	一般 60未満	一般 60以上	計	
4月2日	曇り	○	12	0	11	2	3	0	3	16	3	25	
4月9日	曇り	○	9	4	15	4	5	1	1	24	1	32	
4月16日	曇り時々晴れ	○	13	2	1	2	0	1	1	12	4	18	
4月23日	曇り	○	3	0	0	0	0	0	1	0	2	3	
4月24日	曇り	○	6	0	3	2	1	0	0	9	1	11	
4月計			5	43	6	30	10	9	2	61	11	89	
5月7日	曇り時々晴れ	○	15	5	5	0	7	1	5	12	0	25	
5月14日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	49	9	2	1	8	0	8	23	2	61
5月21日	天文学入門講座	曇り	○	26	2	2	3	5	0	3	25	0	33
5月28日		雨天	○	5	0	8	1	0	0	5	7	2	14
5月計			4	95	16	17	5	20	1	21	67	4	133
6月4日	サタデージャンボリー	晴れ時々曇り	○	20	3	1	0	6	0	6	9	3	24
6月11日	天文学入門講座	曇り	○	59	2	0	0	18	0	0	43	0	61
6月18日	天文台講座	雨天	×	57	34	4	1	1	4	1	85	5	96
6月25日	天文学入門講座	曇り	○	42	5	16	0	8	1	17	32	5	63
6月計			3	178	44	21	1	33	5	24	169	13	244
7月2日	天文学入門講座	曇り	×	22	1	27	2	1	3	1	46	1	52
7月9日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	53	4	13	3	7	0	3	60	3	73
7月16日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	58	10	11	5	21	0	3	54	6	84
7月23日		曇り時々晴れ	○	25	0	8	0	7	1	3	22	0	33
7月30日		曇り	○	9	1	4	6	5	1	0	11	3	20
7月計			4	167	16	63	16	41	5	10	193	13	262
8月6日	オープンキャンパス	曇り時々晴れ	○	40	6	12	6	15	6	2	38	3	64
8月20日	オープンキャンパス	曇り後雨	×	12	4	1	2	5	0	0	12	2	19
8月計			1	52	10	13	8	20	6	2	50	5	83
9月3日		台風12号中止	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9月10日	天文台講座	曇り	○	51	9	8	2	16	0	5	45	4	70
9月17日		雨天	×	1	3	5	2	1	0	1	9	0	11
9月24日		晴れ時々曇り	○	55	9	28	1	16	2	14	52	9	93
9月計			2	107	21	41	5	33	2	20	106	13	174
10月1日	サタデージャンボリー	曇り時々晴れ	○	14	0	13	0	3	0	4	16	4	27
10月8日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	54	3	17	6	6	1	23	36	14	80
10月15日		雨天	×	24	3	3	0	0	2	1	24	3	30
10月22日	天文学入門講座	雨天	×	12	1	6	0	0	0	1	12	6	19
10月29日	天文学入門講座	晴れ後曇り	○	33	4	13	0	5	1	9	25	10	50
10月計			3	137	11	52	6	14	4	38	113	37	206
11月12日	天文学入門講座	晴れ後曇り	○	68	12	7	2	30	0	7	46	6	89
11月26日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	57	8	19	6	12	2	3	57	16	90
11月計			2	125	20	26	8	42	2	10	103	22	179
12月3日	天文学入門講座	曇り	○	8	1	8	0	0	2	0	12	3	17
12月10日	天文台講座	曇り	○	43	3	12	2	5	5	2	38	10	60
12月17日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	22	1	11	3	1	0	3	25	8	37
12月24日	Xmasスペシャル講演会	曇り	○	32	2	10	6	8	2	8	18	14	50
12月計			4	105	7	41	11	14	9	13	93	35	164
1月7日		曇り時々曇	×	2	5	6	6	2	3	0	10	4	19
1月21日		雨天	×	2	0	0	0	0	0	2	0	2	2
1月計			0	4	5	6	6	2	3	0	12	4	21
2月4日		晴れ後曇り	○	15	1	11	1	8	0	1	17	2	28
2月18日		雪	○	20	0	3	0	8	1	0	12	2	23
2月25日	科博連フェス	雨天	×	16	1	6	0	8	0	4	10	1	23
2月計			2	51	2	20	1	24	1	5	39	5	74
3月3日	天文台講座	晴れ時々曇り	○	23	5	37	1	2	2	3	24	35	66
3月10日		曇り	×	1	0	7	0	2	0	0	5	1	8
3月17日		小雨後曇り	×	6	1	4	9	0	0	8	11	1	20
3月24日		雨後曇り	×	18	0	1	0	0	0	1	18	0	19
3月31日		雨後晴れ時々曇り	○	16	0	3	1	6	3	2	8	1	20
3月計			2	64	6	52	11	10	5	14	66	38	133
合計			32	1,128	164	382	88	262	45	163	1,072	200	1,762

平成24（2012）年度

イベント	天候状況	参加者数 観客	京都市	京都府	近畿 地区	その他 府県	小学生 以下	中学生	大学生	一般 60未満	一般 60以上	計	
4月7日	曇り時々晴れ	○	10	0	2	2	2	0	5	6	1	14	
4月14日	曇り時々晴れ	○	5	1	10	0	5	0	1	8	2	16	
4月21日	曇り	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4月28日	晴れ	○	33	5	43	1	20	0	3	49	10	82	
4月 計			3	48	5	55	3	27	0	9	63	112	
5月12日	晴れ	○	12	5	3	4	4	1	1	17	1	24	
5月19日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	31	1	5	4	6	2	3	14	16	41
5月26日	曇り	○	17	5	5	1	5	2	3	12	6	28	
5月 計			3	60	11	13	9	15	5	7	43	23	93
6月2日	曇り	×	12	3	3	2	4	0	3	10	3	20	
6月9日	天文学入門講座特別編第1回	曇り時々雨のち晴れ	○	28	2	8	0	4	6	13	15	38	
6月16日	オープンキャンパス	雨	×	1	0	0	1	0	0	1	0	2	
6月23日	天文学入門講座	曇り	×	29	1	6	0	2	11	15	8	36	
6月30日	雨	×	3	2	5	0	1	0	3	5	1	10	
6月 計			1	73	8	22	3	12	0	23	44	27	106
7月7日	七夕講演会	曇りのち晴れ	○	27	4	9	6	11	2	3	24	6	46
7月14日	曇りのち雨	×	4	0	5	0	0	0	4	5	0	9	
7月21日	曇り時々雨	×	6	0	12	0	8	1	0	9	0	18	
7月28日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	33	2	17	3	16	2	30	5	55	
7月 計			2	70	6	43	9	35	5	9	68	11	128
8月4日	オープンキャンパス	晴れ時々曇り	○	24	4	10	1	4	1	9	19	6	39
8月25日	天文学入門講座	晴れ	○	59	0	32	2	20	0	4	62	7	93
8月 計			2	83	4	42	3	24	1	13	81	13	132
9月8日	天文学入門講座（池田先生）※中止	曇り時々雨	○	7	0	8	0	0	0	12	3	15	
9月15日	曇り時々晴れ	○	44	7	31	6	14	1	7	52	14	88	
9月29日	天文学入門講座特別編第2回	曇り	×	11	4	9	0	1	2	9	12	24	
9月 計			2	62	11	48	6	14	2	9	73	29	127
10月6日	曇りのち雨	×	33	3	14	14	2	8	16	38	0	64	
10月13日	サタデージャンボリー	曇り時々晴れ	○	15	0	3	0	3	1	3	8	3	18
10月20日	天文学入門講座	晴れ	○	42	3	10	8	11	2	37	11	63	
10月27日	曇り	○	21	0	13	2	6	3	3	9	15	36	
10月 計			3	111	6	40	24	22	14	24	92	29	181
11月10日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	31	4	12	1	4	1	26	15	48	
11月24日	曇りのち晴れ	○	17	2	2	0	5	0	4	11	1	21	
11月 計			2	48	6	14	1	9	1	6	37	16	69
12月1日	雨	×	1	0	1	1	0	0	1	2	0	3	
12月8日	天文学入門講座特別編第3回	曇りのち晴れ	○	14	7	19	0	4	5	9	22	40	
12月15日	曇りのち雨	×	11	0	5	2	6	2	0	8	2	18	
12月22日	天文学入門講座（X'mas特別企画）	曇り時々雨	×	18	2	7	0	5	4	8	8	27	
12月 計			1	44	9	32	3	15	6	8	27	32	88
1月12日	天文学入門講座	晴れ	○	15	9	19	2	9	3	3	22	8	45
1月 計			1	15	9	19	2	9	3	3	22	8	45
2月2日	曇りのち晴れ	○	10	2	2	2	2	1	4	9	0	16	
2月9日	曇りのち晴れ	○	9	1	15	3	8	1	1	18	0	28	
2月16日	天文学入門講座	晴れ時々雪	○	11	5	20	1	2	7	18	7	37	
2月23日	晴れ時々曇り	○	9	41	8	0	9	4	5	40	0	58	
2月 計			4	39	49	45	6	21	13	13	85	7	139
3月2日	天文学入門講座特別編第4回・研究成果報告会	雪	×	18	1	21	2	4	3	7	20	8	42
3月9日	天文学入門講座	晴れ	○	17	2	12	7	5	1	3	21	8	38
3月16日	晴れ	○	14	1	2	1	4	0	5	10	0	19	
3月23日	卒業式特別開館	曇り時々晴れ	○	21	5	11	8	8	2	10	21	4	45
3月30日	曇り時々晴れ	○	7	0	9	0	1	1	9	4	1	16	
3月 計			4	77	9	55	18	22	7	34	76	21	160
合計			27	730	134	428	87	225	57	158	711	229	1,380

平成25（2013）年度

	イベント	天候状況	参加希望 有無	京都市	京都府	近 畿 地 区	その 他 府 県	小学生 以下	中学生	大学生	一 般 60未満	一 般 60以上	計
4月6日		雨・嵐	×	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
4月13日		晴れ	○	9	0	2	1	3	0	1	8	0	12
4月20日	天文学入門講座	曇りのち雨	×	29	5	8	0	0	0	11	19	12	42
4月27日		晴れ時々曇り	○	30	3	10	4	11	2	7	26	1	47
4月 計			2	68	8	21	5	14	2	19	54	13	102
5月11日		雨のち曇り	×	3	0	1	0	1	0	0	3	0	4
5月18日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	23	2	9	2	1	0	13	15	7	36
5月25日		曇り時々晴れ	○	13	0	3	0	5	1	0	10	0	16
5月 計			2	39	2	13	2	7	1	13	28	7	56
6月1日		曇り	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月8日	天文学入門講座特別編	曇り時々晴れ	○	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61
6月 計			1	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61
7月20日		晴れ	○	32	1	14	1	16	0	0	31	1	48
7月27日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	49	5	7	7	14	4	7	34	9	68
7月 計			2	81	6	21	8	30	4	7	65	10	116
8月3日		晴れ時々曇り	○	52	0	15	5	23	2	5	36	6	72
8月24日		曇り時々雨	×	14	0	0	0	7	0	0	7	0	14
8月 計			1	66	0	15	5	30	2	5	43	6	86
9月7日		雨	×	7	0	0	0	3	4	0	6	0	10
9月14日		曇り	×	4	0	2	0	0	1	2	3	0	6
9月21日		晴れ	○	32	0	11	2	12	1	3	27	2	45
9月28日	天文学入門講座特別編	晴れ	○	41	7	20	2	3	0	9	47	11	70
9月 計			2	84	7	33	7	19	2	14	83	13	131
10月5日		曇り	×	6	0	5	2	0	0	4	7	2	13
10月12日		晴れのち曇り	○	40	2	7	3	10	0	10	28	4	52
10月19日	天文学入門講座	曇り時々雨	×	16	1	14	1	1	2	1	18	10	32
10月26日		雨のち晴れ	○	4	0	3	0	1	2	0	4	0	7
10月 計			2	66	3	29	6	12	4	15	57	16	104
11月9日	天文学入門講座	曇りのち晴れ	○	35	3	16	2	8	2	5	34	8	57
11月30日	アイツン彗星講演会	晴れ	○	64	4	13	3	19	2	7	48	8	84
11月 計			2	99	7	29	5	27	4	12	82	16	141
12月7日	天文学入門講座特別編	雨	×	17	0	16	0	1	2	4	19	7	33
12月14日		曇り時々晴れ	○	7	3	2	11	1	0	0	20	2	23
12月21日	天文学入門講座（X'mas特別企画）	曇りのち雨	×	20	0	12	7	4	0	6	22	8	40
12月 計			1	44	3	30	18	6	2	10	61	17	96
3月22日		腫れ	○	10	20	6	2	8	4	2	16	8	38
3月29日	天文学入門講座特別編	曇り	×	22	3	11	6	2	2	12	19	7	42
3月 計			1	32	23	17	8	10	6	14	35	15	80
合計			16	623	61	220	66	159	27	125	541	121	973

平成26 (2014) 年度

	イベント	天候状況	天体望遠鏡 台数	京都市	京都府	近畿 地区	その他 府 県	小学生 以下	中学生	大学生	一 般 60未満	一 般 60以上	その他 (未記)	計
4月7日	天体観望会・3D上映会	雨	×	4	0	1	0	0	0	2	3	0	0	5
4月12日	天体観望会	晴れ	○	7	0	2	3	1	0	2	2	0	7	12
4月19日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	5	0	0	0	2	0	0	3	0	0	5
4月26日	天体観望会	晴れ	○	26	0	8	7	10	0	6	20	2	3	41
4月 計			3	42	0	11	10	13	0	10	28	2	10	63
5月10日	天体観望会	晴れ	○	23	4	0	0	9	0	3	14	0	1	27
5月17日	施設見学・天文学講座・天体観望会	晴れ	○	30	4	22	3	2	2	17	27	8	3	59
5月24日	天体観望会	晴れ	○	16	1	5	0	4	0	1	14	3	0	22
5月31日	京都産業大学DAY・天体観望会	晴れ	○	27	0	6	7	7	5	3	17	2	6	40
5月 計			4	96	9	33	10	22	7	24	72	13	10	148
6月7日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	10	0	0	0	1	0	1	3	4	1	10
6月 計			0	10	0	0	0	1	0	1	3	4	1	10
7月5日	七夕講演会・3D上映会	曇り	×	21	3	15	1	5	1	10	17	5	2	40
7月19日	天体観望会・3D上映会	曇り	×	8	0	0	1	0	0	4	5	0	0	9
7月26日	天体観望会	晴れ	○	26	7	18	0	12	1	3	37	2	0	51
7月 計			1	55	10	33	2	17	2	17	59	7	2	100
8月2日	天文学講座・3D上映会	曇り	×	34	7	25	2	2	5	13	35	7	6	68
8月7日	天体観望会	腫れ	○	14	4	4	19	6	1	5	8	1	4	41
8月23日	3D上映会	曇りのち雨	×	21	4	10	1	6	4	2	17	3	0	36
8月 計			1	69	15	39	22	14	10	20	60	11	10	125
9月6日	3D上映会	雨	×	3	0	1	0	0	0	0	4	0	0	4
9月13日	天体観望会	腫れ	○	48	4	19	15	12	5	12	33	5	19	86
9月20日	天体観望会・3D上映会	曇りのち腫れ	○	17	0	1	1	1	1	5	12	0	0	19
9月27日	天体観望会	晴れ	○	38	4	7	1	11	1	5	24	3	6	50
9月 計			3	106	8	28	17	24	7	22	73	8	25	159
10月4日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	13	1	4	0	1	0	4	12	1	0	18
10月8日	皆既月食観望会	晴れ	○	225	12	41	8	41	3	119	99	12	15	286
10月11日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	11	0	12	9	1	0	11	12	1	7	32
10月18日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	22	0	9	3	7	1	4	19	4	0	34
10月25日	サタデージャンボリー・天体観望会	晴れ時々曇り	○	13	7	1	4	3	1	5	15	1	0	25
10月 計			5	284	20	67	24	53	5	143	157	19	22	399
11月8日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	3	3	3	4	1	1	4	6	1	0	13
11月29日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	17	5	5	2	7	2	0	12	0	8	29
11月 計			1	20	8	8	6	8	3	4	18	1	8	42
12月6日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	12	0	5	0	4	1	1	9	0	2	17
12月13日	天体観望会	晴れ	○	21	2	9	2	10	2	2	19	0	1	34
12月20日	クリスマス特別講演会・3D上映会	雨のち曇り	×	24	2	13	18	3	0	33	19	1	1	57
12月 計			2	57	4	27	20	17	3	36	47	1	4	108
3月21日	卒業式特別開館・天体観望会	晴れ時々曇り	○	3	0	1	0	0	1	1	1	0	1	4
3月28日	天体観望会・天文学講座	晴れ	○	9	10	7	1	0	5	4	14	3	1	27
3月 計			2	12	10	8	1	0	6	5	15	3	2	31
合計			22	751	84	254	112	169	43	282	532	69	94	1,185

平成27 (2015) 年度

	イベント	天候状況	天体観望会 開催	京都市	京都府	近畿 地区	その他 府 県	小学生 以下	中学生	大学生	一 般 60未満	一 般 60以上	その他 (未記)	計
4月4日	皆既月食解説講座・皆既月食観望会	曇り	△	4	0	4	3	2	1	2	5	1	1	12
4月11日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
4月18日	天体観望会	晴れのち曇り	○	7	2	7	0	5	0	5	5	1	0	16
4月25日	天体観望会	晴れ	○	13	0	0	0	3	1	4	4	1	0	13
4月 計			3	26	2	11	3	10	2	11	16	3	1	43
5月2日	天体観望会	晴れ	○	16	4	20	8	9	2	2	30	2	3	48
5月9日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	16	2	4	7	4	1	5	12	2	5	29
5月16日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	32	1	11	12	2	1	11	21	13	8	56
5月23日	3D上映会	曇り	×	2	0	3	0	0	1	2	2	0	0	5
5月30日	3D上映会	曇り	×	12	0	0	2	2	1	7	4	0	0	14
5月 計			3	78	7	38	29	17	6	27	69	17	16	152
6月6日	天体観望会	晴れ	○	31	0	13	1	7	5	8	22	1	2	45
6月13日	3D上映会	曇り	×	10	0	9	4	3	2	4	12	2	0	23
6月 計			1	10	0	9	4	3	2	4	12	2	0	23
7月4日	七夕講演会・3D上映会	雨	×	34	2	17	1	1	0	9	26	18	0	54
7月18日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	21	3	4	0	12	2	1	10	1	2	28
7月25日	天体観望会	晴れ	○	53	0	19	3	21	6	2	34	9	3	75
7月 計			2	108	5	40	4	34	8	12	70	28	5	157
8月1日	天体観望会	晴れ	○	39	2	6	3	11	2	2	19	5	11	50
8月22日	天体観望会	晴れ	○	37	3	13	7	17	2	5	30	4	2	60
8月 計			2	76	5	19	10	28	4	7	49	9	13	110
9月5日	3D上映会	曇り	×	21	0	13	1	14	0	3	13	1	4	35
9月12日	天体観望会・3D上映会	曇りときどき晴れ	△	29	7	7	0	11	3	5	22	1	1	43
9月19日	天体観望会	曇り時々晴れ	○	29	0	11	2	17	0	4	17	1	3	42
9月26日	3D上映会	曇り	×	6	2	9	2	0	2	3	8	3	3	19
9月 計			1	85	9	40	5	42	5	15	60	6	11	139
10月3日	天体観望会	晴れ	○	33	7	6	1	5	1	11	26	1	3	47
10月10日	3D上映会	曇り	×	12	0	0	9	3	0	5	7	4	2	21
10月17日	天体観望会	晴れ	○	35	3	2	0	9	3	8	15	3	2	40
10月24日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ	○	51	0	7	3	9	0	22	14	10	6	61
10月 計			3	131	10	15	13	26	4	46	62	18	13	169
11月7日	3D上映会	雨	×	18	0	9	2	8	0	7	11	2	1	29
11月28日	天体観望会	晴れ	○	31	4	16	1	10	1	4	30	7	0	52
11月 計			1	49	4	25	3	18	1	11	41	9	1	81
12月5日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	43	2	10	2	10	0	6	22	4	15	57
12月12日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	30	0	17	3	9	8	3	25	1	4	50
12月19日	クリスマス特別講演会・天体観望会	曇りのち晴れ	○	24	5	11	5	7	6	10	18	2	2	45
12月26日	天体観望会	晴れ	○	34	0	7	1	10	2	5	19	4	2	42
12月 計			4	131	7	45	11	36	16	24	84	11	23	194
3月19日	3D上映会	曇り時々晴れ	×	5	0	2	0	1	2	0	4	0	0	7
3月26日	天文学講座・天体観望会	曇りのち晴れ	○	43	19	23	6	22	3	7	43	16	0	91
3月 計			1	48	19	25	6	23	5	7	47	16	0	98
合計			21	742	68	267	88	237	53	164	510	119	83	1,166

平成28 (2016) 年度

	イベント	天候状況	天体観望会 開催	京都市	京都府	近畿 地区	その他 府県	小学生 以下	中学生	大学生	一般 60未満	一般 60以上	その他 (未記)	計
4月2日	入学式特別開館・3D上映会	曇り	×	6	1	24	8	3	2	4	25	2	3	39
4月9日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	16	5	7	2	3	3	12	11	1	0	30
4月16日	3D上映会	曇り	×	6	0	0	4	0	0	8	2	0	0	10
4月23日	3D上映会	曇りのち雨	×	6	0	2	0	3	0	0	5	0	0	8
4月30日	天体観望会	晴れ	○	67	5	3	4	22	5	7	11	29	5	79
4月計			1	101	11	36	18	31	10	31	54	32	8	166
5月7日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	18	2	13	1	7	1	0	3	16	7	34
5月14日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	38	4	2	6	14	0	1	10	20	5	50
5月21日	天体観望会	晴れ	○	37	1	2	1	9	0	0	12	16	4	41
5月28日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	2	2	8	5	2	1	1	11	2	0	17
5月計			4	95	9	25	13	32	2	2	36	54	16	142
6月4日	3D上映会	曇りのち雨	×	10	1	0	0	3	0	5	2	1	0	11
6月11日	3D上映会	曇り	×	39	3	7	1	9	0	22	12	7	0	50
6月計			0	49	4	7	1	12	0	27	14	8	0	61
7月9日	七夕講演会・3D上映会	雨のち曇り	×	20	0	7	1	6	0	5	16	1	0	28
7月16日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	11	3	4	0	4	2	3	9	0	0	18
7月23日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	60	10	31	4	34	3	6	56	2	4	105
7月30日	天体観望会	晴れ	○	52	8	9	23	26	11	8	31	4	12	92
7月計			2	143	21	51	28	70	16	22	112	7	16	243
8月6日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	44	6	8	36	26	3	33	24	2	6	94
8月20日	天体観望会	曇りとまどき晴れ	○	48	6	17	16	29	3	7	41	2	5	87
8月計			2	92	12	25	52	55	6	40	65	4	11	181
9月3日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	5	5	5	2	3	0	3	9	2	0	17
9月10日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	91	7	12	6	36	2	8	56	9	5	116
9月17日	3D上映会	曇り	×	6	4	1	1	2	3	2	5	0	0	12
9月24日	天体観望会・3D上映会	曇りとまどき晴れ	△	12	5	8	7	6	1	1	16	8	0	32
9月計			1	114	21	26	16	47	6	14	86	19	5	177
10月1日	3D上映会	曇り	×	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
10月8日	3D上映会	曇り	×	33	0	17	8	8	1	15	22	8	4	58
10月15日	天体観望会	晴れ	○	61	6	16	7	32	1	7	42	5	3	90
10月22日	3D上映会	曇り	×	9	0	1	1	0	1	4	6	0	0	11
10月29日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	23	5	13	1	11	2	4	18	7	0	42
10月計			2	126	11	48	17	51	5	31	88	20	7	202
11月12日	天体観望会	晴れ	○	67	11	20	0	28	1	11	42	11	5	98
11月計			1	67	11	20	0	28	1	11	42	11	5	98
12月3日	天体観望会	晴れ	○	51	7	8	8	25	1	2	42	4	0	74
12月10日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	30	0	5	4	11	0	6	20	2	0	39
12月17日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	27	0	12	0	8	1	6	19	4	1	39
12月24日	クリスマス特別講演会・天体観望会	曇りのち晴れ	○	51	4	23	4	12	7	19	31	10	3	82
12月計			4	159	11	48	16	56	9	33	112	20	4	234
3月25日	天文学講座・天体観望会	晴れ時々曇り	○	28	28	21	3	20	3	5	32	9	11	80
3月計			1	28	28	21	3	20	3	5	32	9	11	80
合計			18	974	139	307	164	402	58	216	641	184	83	1,584

平成29 (2017) 年度 ※平成29 (2017) 年度より中学生を〔中学生〕〔高校生〕に分類

イベント	天候状況	天体観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生※	高校生※	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記)	計	
4月1日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	26	0	11	2	9	0	1	16	12	1	0	39
4月8日	天体観望会・3D上映会	雨	×	2	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	3
4月15日	天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	△	1	3	0	0	2	0	0	1	1	0	0	4
4月22日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	50	2	6	2	15	4	2	16	23	0	0	60
4月計			2	79	5	18	4	26	4	3	36	36	1	0	106
5月6日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	24	0	0	0	13	0	0	11	0	0	0	24
5月13日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	2	3	0	0	2	0	0	0	3	0	0	5
5月20日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	75	4	12	3	30	1	0	5	45	13	0	94
5月27日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ	○	45	3	20	1	14	4	0	13	31	7	0	69
5月計			3	146	10	32	4	59	5	0	18	90	20	0	192
6月3日	天体観望会・3D上映会	晴れのち曇り	○	39	2	4	0	15	0	0	4	24	2	0	45
6月計			1	39	2	4	0	15	0	0	4	24	2	0	45
7月8日	七夕講演会・天体観望会・3D上映会	曇り	△	61	10	20	5	25	0	3	12	35	7	14	96
7月15日	天体観望会・3D上映会	曇り	○	42	21	18	0	33	0	2	1	40	2	3	81
7月22日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	27	6	15	0	17	0	2	6	21	2	0	48
7月29日	天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	42	6	10	3	24	2	3	4	28	0	0	61
7月計			2	172	43	63	8	99	2	10	23	124	11	17	286
8月5日	天体観望会・2D上映会	曇り	○	17	4	1	5	13	0	2	0	11	1	0	27
8月19日	天体観望会・2D上映会	曇り時々晴れ	○	86	14	33	3	44	6	3	3	58	8	14	136
8月計			2	103	18	34	8	57	6	5	3	69	9	14	163
9月2日	天体観望会・2D上映会	晴れ時々曇り	○	70	9	27	0	50	1	1	4	50	0	0	106
9月9日	天体観望会・2D上映会	曇り時々雨	×	51	3	6	0	22	1	0	2	32	3	0	60
9月16日	天体観望会・2D上映会	雨	×	3	0	1	0	0	0	0	3	1	0	0	4
9月30日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	57	12	27	4	25	1	0	2	58	4	10	100
9月計			2	181	24	61	4	97	3	1	11	141	7	10	270
10月7日	天体観望会・3D上映会	雨のち晴れ	○	21	0	2	2	10	0	0	1	12	2	0	25
10月14日	天体観望会(小型望遠鏡のみ)・3D上映会	曇り	○	4	0	2	0	2	0	0	0	2	2	0	6
10月21日	天体観望会・3D上映会	雨	×	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10月28日	天体観望会・3D上映会	雨	×	3	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	3
10月計			2	29	0	4	2	13	0	0	1	16	5	0	35
11月11日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	8	1	8	4	10	0	0	1	9	0	1	21
11月18日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	1	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	3
11月25日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	65	4	10	6	23	8	0	11	35	8	0	85
11月計			1	74	5	20	10	10	0	0	1	9	0	1	109
12月2日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	64	8	13	7	20	2	0	15	44	8	3	92
12月9日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	39	0	5	1	14	3	0	6	19	3	0	45
12月16日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	18	0	1	0	5	1	0	4	9	0	0	19
12月計			3	121	8	19	8	39	6	0	25	72	11	3	156
3月24日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れのち曇り	○	40	25	19	1	15	3	0	11	42	14	0	85
3月31日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	6	3	11	3	10	0	0	2	9	2	0	23
3月計			2	46	28	30	4	25	3	0	13	51	16	0	108
合計			20	990	143	285	52	440	29	19	135	632	82	45	1,470

平成30（2018）年度

	イベント	天候状況	天体観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	高校生	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記)	計
4月7日	天体観望会・3D上映会	雨のち曇り	×	0	3	2	0	1	1	0	0	3	0	0	5
4月14日	天体観望会・3D上映会	雨のち曇り	×	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	3
4月21日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	58	1	15	1	23	0	0	17	29	6	0	75
4月28日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	37	1	6	1	10	0	0	14	16	3	2	45
4月計			2	97	5	24	2	35	1	0	32	49	9	2	128
5月12日	天体観望会・3D上映会	曇り	○	52	1	12	2	22	5	1	2	29	8	0	67
5月19日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	36	1	9	1	2	0	0	7	17	21	0	47
5月26日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	48	3	15	0	24	1	1	3	32	1	4	66
5月計			2	136	5	36	3	48	6	2	12	78	30	4	180
6月2日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	95	4	4	0	39	1	0	3	50	10	0	103
6月計			1	95	4	4	0	39	1	0	3	50	10	0	103
7月14日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	86	17	19	4	44	2	9	12	55	4	0	126
7月21日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ	○	100	0	21	0	28	4	4	19	52	14	0	121
7月計			2	186	17	40	4	72	6	13	31	107	18	0	247
8月4日	天体観望会・3D上映会・講演会	晴れ	○	192	21	34	6	93	8	3	11	108	16	14	253
8月18日	天体観望会・3D上映会・講演会	晴れ	○	184	16	30	9	79	10	3	6	123	15	3	239
8月計			2	376	37	64	15	172	18	6	17	231	31	17	492
9月9日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
9月15日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	5	0	3	2	1	0	0	2	3	4	0	10
9月22日	天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	49	8	12	4	24	0	0	9	36	4	0	73
9月29日	天体観望会・3D上映会	雨	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9月計			1	56	8	15	6	26	0	0	11	40	8	0	85
10月13日	天体観望会・3D上映会	曇り	○	28	0	4	0	11	1	0	3	17	0	0	32
10月20日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	42	6	19	3	19	1	9	4	29	8	0	70
10月27日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	21	0	31	2	17	7	1	4	18	5	2	54
10月計			3	91	6	54	5	47	9	10	11	64	13	2	156
11月10日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	130	12	4	3	83	0	0	6	49	11	0	149
11月17日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	21	7	19	2	25	0	0	0	31	3	0	59
11月24日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	38	10	13	1	22	1	0	4	31	4	0	62
11月計			3	130	12	4	3	83	0	0	6	49	11	0	270
12月1日	天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	16	7	7	2	10	1	0	3	17	1	0	32
12月8日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	20	12	8	2	7	0	3	4	20	8	0	42
12月15日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	34	4	8	1	13	1	0	13	18	1	0	46
12月22日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	43	6	21	9	5	1	7	13	37	16	0	79
12月計			4	113	29	44	14	35	3	10	33	92	26	0	199
3月23日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	30	37	19	2	17	0	6	9	43	13	0	88
3月30日	天体観望会・3D上映会	雨	×	3	0	0	3	0	1	0	1	4	0	0	6
3月計			1	33	37	19	5	17	1	6	10	47	13	0	94
合計			21	1,313	160	304	57	574	45	47	166	807	169	25	1,954

平成31/令和元（2019）年度

イベント	天候状況	天体観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	高校生	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記)	計
4月6日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	38	2	8	0	15	0	0	13	17	2	1	48
4月13日 天体観望会・3D上映会	曇り	○	18	3	6	0	7	0	1	5	14	0	0	27
4月20日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	29	0	9	3	12	1	0	3	23	2	0	41
4月27日 天体観望会・3D上映会	小雨のち曇り	×	23	8	12	4	4	0	19	5	17	2	0	47
4月計		3	85	5	23	3	34	1	1	21	54	4	1	163
5月11日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	47	9	7	0	13	1	1	16	26	6	0	63
5月18日 天体観望会・3D上映会	曇り	×	14	3	0	0	4	0	0	3	9	1	0	17
5月25日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇り	○	59	9	17	7	13	0	11	8	50	10	0	109
5月計		2	120	21	24	7	30	1	12	27	85	17	0	189
6月1日 天体観望会・3D上映会	曇り	○	34	6	2	0	13	0	0	10	12	1	6	42
6月計		1	34	6	2	0	13	0	0	10	12	1	6	42
7月6日 天体観望会・3D上映会	曇り	○	31	3	4	1	14	0	0	9	16	0	0	39
7月13日 天体観望会・3D上映会	雨	×	5	0	0	0	1	1	0	1	2	0	0	5
7月20日 天体観望会・3D上映会	曇り	×	20	0	6	26	5	1	0	31	11	0	4	52
7月27日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇り	×	40	4	19	3	4	7	2	19	27	7	0	66
7月計		1	96	7	29	30	24	9	2	60	56	7	4	162
8月3日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	62	7	26	2	24	5	2	13	41	5	7	97
8月24日 天体観望会・3D上映会	曇り	×	31	5	3	2	18	0	0	0	19	4	0	41
8月計		1	93	12	29	4	42	5	2	13	60	9	7	138
9月7日 天体観望会・3D上映会	晴れのち曇り	○	68	0	11	2	26	0	2	6	33	4	10	81
9月14日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	76	4	26	4	28	4	7	7	49	4	11	110
9月21日 天体観望会・3D上映会	曇り	×	6	0	3	1	0	1	5	3	1	0	0	10
9月28日 天体観望会・3D上映会	曇り	×	7	0	1	0	3	0	0	1	4	0	0	8
9月計		2	157	4	41	7	57	4	10	19	89	9	21	209
10月5日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	64	2	4	2	26	0	1	6	33	6	0	72
10月12日 天体観望会・3D上映会【中止】	—	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
10月19日 天体観望会・3D上映会	曇り	×	0	1	1	2	0	0	0	0	4	0	0	4
10月26日 天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	28	0	8	2	8	0	0	8	19	3	0	38
10月計		2	92	3	13	6	34	0	1	14	56	9	0	114
11月9日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	49	6	17	4	27	1	1	9	31	3	4	76
11月16日 天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	×	70	5	15	4	30	1	9	8	38	7	1	94
11月30日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	40	0	4	1	11	0	0	12	22	0	0	45
11月計		2	49	6	17	4	27	1	1	9	31	3	4	215
12月7日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	12	0	13	0	6	1	0	2	16	0	0	25
12月14日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	12	2	6	2	6	0	1	3	11	1	0	22
12月21日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇り	×	43	2	18	3	8	0	3	18	34	3	0	66
12月計		2	67	4	37	5	20	1	4	23	61	4	0	113
3月21日 天文学講座・天体観望会・3D上映会【中止】※2	—	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
3月28日 天体観望会・3D上映会【中止】	—	—	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
3月計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計		16	793	68	215	66	281	22	33	196	504	63	43	1,345

※1：台風接近のため

※2：新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響のため

令和2(2020)年度

	イベント	天候状況	※観望会開催	京都市内	京都府内	その他	計	小学生以下	中学生	高校生	大学生	一般	※その他(未記入)	計
4月4日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
4月11日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
4月18日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
4月25日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
4月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5月2日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
5月9日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
5月16日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
5月23日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
5月30日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
5月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月6日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
6月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7月4日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
7月11日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
7月18日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
7月25日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
7月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8月1日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
8月8日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
8月22日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
8月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9月5日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
9月12日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
9月19日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
9月26日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
9月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10月3日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
10月10日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
10月17日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
10月24日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
10月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11月7日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
11月14日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
11月21日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
11月28日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
11月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12月5日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
12月12日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
12月19日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
12月26日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
12月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3月27日	天体観望会・3D上映会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
3月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※1:新型コロナウイルス感染症 感染拡大防止のため

令和3(2021)年度

	イベント	天候状況	※観望会開催	京都市内	京都府内	その他	計	小学生以下	中学生	高校生	大学生	一般	※その他(未記入)	計
4月計	4月該当イベントなし※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
	5月該当イベントなし※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
5月計	6月該当イベントなし※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
	7月該当イベントなし※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
6月計	5月該当イベントなし※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
	8月21日 天体観望会【中止】※1	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
7月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10月計				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11月13日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	50
11月27日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	○	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	40
11月計				0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	90
12月11日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	-	-	-	59	-	-	-	-	-	-	59
12月25日	天体観望会・3D上映会	雨時々曇り	○	-	-	-	57	-	-	-	-	-	-	57
12月計				0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	116
1月22日	天体観望会・3D上映会	晴	○	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-	27
1月計				0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	27
2月計	2月該当イベントなし	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
3月計	3月該当イベントなし	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				0	0	0	233	0	0	0	0	0	0	233

※1:新型コロナウイルス感染症 感染拡大防止のため

資料3 天文台講座・天文学入門講座・天文学講座 開催一覧

平成22（2010）年度 天文台講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	6月26日	15:00～16:00	宇宙の秩序と階層構造	中道 晶香 神山天文台専門員
2	9月11日	15:00～16:30	彗星（ほうき星）と私たちの地球	河北 秀世 神山天文台長
3	12月11日	16:00～17:30	銀河の中は、爆発だらけ	新井 彰 神山天文台特定研究員
4	3月5日	16:00～17:30	近赤外線“目”で宇宙を見る	吉川 智裕 神山天文台専門員

平成23（2011）年度 天文台講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	6月18日	15:00～16:30	神山天文台開設1周年記念講演会 第1部 宇宙生命に挑む～天文学からのアプローチ～ 第2部 彗星（ほうき星）とは？研究の最前線	渡部 潤一 国立天文台教授 河北 秀世 神山天文台長
2	9月10日	15:00～16:30	ここまで見えてきた宇宙と地球の歴史	三好 蕃 理学部教授（神山天文台研究員）
3	12月10日	15:00～16:30	宇宙の塵気楼	米原 厚憲 理学部准教授（神山天文台研究員）
4	3月3日	15:00～16:30	私たちが住む銀河	長尾 透 京大大学白眉プロジェクト 特定准教授

平成23（2011）年度 天文学入門講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月14日	15:00～16:30	太陽、太陽望遠鏡を用いたプロミネンスと黒点観察	中道 晶香 神山天文台専門員
2	5月21日	15:00～16:30	太陽における核融合反応	中道 晶香 神山天文台専門員
3	6月11日	15:00～16:30	スペクトルの観察	中道 晶香 神山天文台専門員
4	6月25日	15:00～16:30	スペクトル続編	中道 晶香 神山天文台専門員
5	7月2日	15:00～16:30	ドップラー効果	中道 晶香 神山天文台専門員
6	7月9日	15:00～16:30	天体観測技術の発展と銀河の観測	中道 晶香 神山天文台専門員
7	7月16日	15:00～16:30	望遠鏡の仕組み	中道 晶香 神山天文台専門員
8	10月8日	15:00～16:30	天体の運行と月の話	中道 晶香 神山天文台専門員
9	10月15日	15:00～16:30	天王星と海王星	中道 晶香 神山天文台専門員
10	10月22日	15:00～16:30	木星と太陽系概観	中道 晶香 神山天文台専門員
11	10月29日	15:00～16:30	恒星の誕生、太陽系の形成	中道 晶香 神山天文台専門員
12	11月12日	15:00～16:30	恒星の構造と進化	中道 晶香 神山天文台専門員
13	11月26日	15:00～16:30	赤色巨星以降の進化	中道 晶香 神山天文台専門員
14	12月3日	15:00～16:30	中性子星とブラックホール、銀河	中道 晶香 神山天文台専門員
15	12月17日	15:00～16:30	宇宙論	中道 晶香 神山天文台専門員

平成24（2012）年度 天文学入門講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月19日	15:00～16:30	太陽と金環日食	中道 晶香 神山天文台専門員
2	6月9日 (特別編)	15:00～16:30	天文学の世界史 ～四大文明からメソポタミアまで～	廣瀬 匠 京大大学院文学研究科 博士後期課程大学院生
3	6月23日	15:00～16:30	空の周期	中道 晶香 神山天文台専門員
4	7月7日	18:00～18:45	織姫星と彦星	河北 秀世 理学部教授／神山天文台長
5	7月28日	15:00～16:30	虹のひみつ	中道 晶香 神山天文台専門員
6	8月25日	15:00～16:30	光と望遠鏡	中道 晶香 神山天文台専門員
*7	9月10日	15:00～16:30	宇宙の観測	池田 優二 理学部准教授／神山天文台研究員
8	9月29日 (特別編)	15:00～16:30	天文観測装置の最先端 ～近赤外線高分散分光器の開発～	近藤 莊平 神山天文台特定研究員
9	10月20日	15:00～16:30	星間物質と星形成	中道 晶香 神山天文台専門員
10	11月10日	15:00～16:30	恒星	中道 晶香 神山天文台専門員
11	12月8日 (特別編)	15:00～16:30	神山天文台の観測研究 ～系外惑星と近接連星系の研究～	磯貝 瑞希 神山天文台特定研究員
12	12月22日	15:00～16:30	クリスマスの星	河北 秀世 理学部教授／神山天文台長

13	1月12日	15:00~16:30	太陽系と惑星	中道 晶香 神山天文台専門員
14	2月16日	15:00~16:30	銀河と銀河団	中道 晶香 神山天文台専門員
15	3月2日 (特別編)	15:00~16:30	太陽系外惑星とコロナグラフ	塩谷 圭吾 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 助教
16	3月9日	15:00~16:30	宇宙の始まりと進化	中道 晶香 神山天文台専門員

*第7回は、講師の都合により中止

平成25 (2013) 年度 天文学入門講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	4月20日	15:00~16:30	太陽	中道 晶香 神山天文台主任研究員
2	5月18日	15:00~16:30	空の周期、望遠鏡	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	6月8日 (特別編)	15:00~16:30	見えない光で銀河をさぐる	高妻 真次郎 中京大学国際教養学部准教授
4	7月6日 (特別編)	18:00~18:45	七夕の星と銀河たち	吉川 智裕 神山天文台博士研究員
5	7月27日	15:00~16:30	虹のひみつ	中道 晶香 神山天文台主任研究員
6	9月28日 (特別編)	15:00~16:30	金星探査機「あかつき」が解き明かす 大気スーパーローテーションの謎	高木 征弘 理学部准教授
7	10月19日	14:30~16:00	恒星の一生	中道 晶香 神山天文台主任研究員
8	11月9日	14:30~16:00	太陽系と惑星	中道 晶香 神山天文台主任研究員
9	12月7日 (特別編)	14:30~16:00	天体を細かく見るための観測技術	藤代 尚文 神山天文台専門員
10	12月21日	14:30~16:00	宇宙の過去・現在・未来	中道 晶香 神山天文台主任研究員
11	3月29日 (特別編)	15:00~16:30	荒木望遠鏡で探る新星の世界	新井 彰 兵庫県立西はりま天文台 天文科学研究所

平成26 (2014) 年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月17日	15:00~16:30	素粒子の質量、宇宙の質量	杉山 弘晃 益川塾博士研究員
2	7月5日 (特別講座)	17:00~18:00	七夕伝説の星座と天の川	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	8月2日	16:00~18:00	星空の彼方の大宇宙	大西 浩次 長野工業高等専門学校教授/天文学者/星景写真家
4	10月18日	14:30~16:00	目に見えない光で観る惑星のすがた	佐川 英夫 理学部准教授
5	12月20日 (特別講座)	15:00~16:30	はやぶさ2が目指すもの はやぶさ2の開発の裏側―衝突の瞬間を捉えろ	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長 池田 優二 フォトコーディング代表/神山天文台客員研究員
6	3月28日	15:00~16:30	神山天文台 バックヤードツアー	中道 晶香 神山天文台主任研究員 中西 賢之 神山天文台囃託職員

平成27 (2015) 年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	4月4日	17:30~18:00	皆既月食解説講座	中道 晶香 神山天文台主任研究員
2	5月16日	15:00~16:30	地球惑星科学振興西田賞 受賞記念講演 「太陽系の起源を求めて」	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長
3	7月5日 (特別講座)	17:00~18:00	世界の星座と七夕の星座	中道 晶香 神山天文台主任研究員
4	10月24日	14:30~16:00	小型屈折補償光学装置 (CRAO) の開発	藤代 尚文 神山天文台専門員
5	12月19日 (特別講座)	14:30~16:00	星空の多くの地球たちへ	大西 浩次 長野工業高等専門学校教授/天文学者/星景写真家
6	3月26日	15:00~16:30	星が光るのはなぜ?	加藤 賢一 岡山理科大学教授/元大阪市立科学館館長

平成28 (2016) 年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	6月11日	15:00~16:30	重力波の直接検出とは?	中道 晶香 神山天文台主任研究員
2	7月9日 (特別講座)	17:00~18:00	七夕の星々と天の川	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長
3	10月8日	14:30~16:00	太陽フレアと恒星スーパーフレア	野上 大作 京都大学大学院理学研究科准教授
4	12月24日 (特別講座)	14:30~16:00	古墳天井に星が輝く―キトラ天文図	宮島 一彦 前・同志社大学教授/中之島科学研究所研究員
5	3月25日	15:00~16:30	南天の星空を目指して	福江 慧 神山天文台研究員 大坪 翔悟 理学研究科 修士課程

平成29（2017）年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月27日	15:00~16:30	探査機が見た太陽系天体たち	小林 仁美 Estrista 代表
2	7月8日	17:00~17:45	天の川と超巨大質量ブラックホール	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	12月2日	14:30~16:00	宇宙の果ての銀河地図	市川 隆 東北大学名誉教授
4	3月24日	15:00~16:30	惑星間ダスト～塵もつもれば○○となる!?～	猿楽 祐樹 神山天文台主任研究員

平成30（2018）年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月19日	15:00~16:30	彗星と海、そして生命	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長
2	7月21日	15:00~16:30	火星移住とその先にあるもの	中串 孝志 和歌山大学観光学部准教授/国際観光学研究センター研究員
3	12月22日	14:30~16:00	宇宙の謎 なぜ私たちはここにいるのか？	谷口 表明 放送大学教授
4	3月23日	15:00~16:30	望遠鏡で拡大しても見えない星の姿を見るには？	新中 善晴 神山天文台研究員

平成31/令和元（2019）年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月25日	15:00~16:30	京都産業大学が明らかにしたいのか座新星	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長
2	7月27日	15:00~16:30	ブラックホール初撮影の衝撃と今後の展望	嶺重 慎 京大物理学研究科教授
3	12月21日	14:30~16:00	ガリレオの冒険 宇宙をめぐる科学と人をめぐる学問	小林 満 本学外国語学部教授・外国語学部長
*4	3月21日	15:00~16:30	はやぶさ2の旅 地球のような星は他にある？	亀田 真吾 立教大学理学部教授

*第4回は、新型コロナウイルスの状況を踏まえ中止

令和（2020）年度 天文学講座

*新型コロナウイルスの状況を踏まえ、対面では実施せず、オンライン配信にて実施した。

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月22日	13:30~14:30	星はなぜ光るのか？	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長
2	5月30日	14:00~15:00	金星のお話	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長
3	6月13日	14:00~15:00	部分日食を楽しもう！	本岡 慧子 神山天文台職員
4	6月26日	14:00~15:00	【番外編】神山天文台のヒミツ その1	中道 晶香 本学共通教育推進機構教授
5	7月4日	14:00~15:00	七夕の星座と天の川	中道 晶香 本学共通教育推進機構教授
6	7月18日	14:00~15:00	流星と彗星、何がちがう？	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長
7	8月1日	14:00~15:00	夏休みスペシャル 天文台と距離の歴史	廣瀬 匠 アストロアーツ
8	8月8日	14:00~15:00	流星群を楽しもう！	本岡 慧子 神山天文台職員
9	8月22日	14:00~15:00	天の川銀河にひそむ超巨大質量ブラックホール	中道 晶香 本学共通教育推進機構教授
10	10月17日	14:00~18:00	京都産業大学 神山天文台 開設10周年記念シンポジウム 「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」	渡部 潤一 国立天文台 教授・副台長 杉田 精司 東京大学大学院 理学系研究科 教授 池田 優二 フォトコーディング 代表/本学客員研究員 河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長 脇浜 紀子 本学現代社会学部 教授
11	3月13日	14:00~15:30	はやぶさ2の旅 地球のような星は他にある？	亀田 真吾 立教大学 理学部 物理学科 教授

令和3（2021）年度 天文学講座

*新型コロナウイルスの状況を踏まえ、対面では実施せず、オンライン配信にて実施した。

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月15日	15:00~16:30	皆既月食ってなに？	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長 中道 晶香 本学共通教育推進機構教授
2	3月5日	15:00~16:00	彗星を待ちぶせろ！	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(〇〇新聞等)	記事名
平成21年度 (2009)	1	12月22日	新聞	MSN産経ニュース	京産大の天文台が完成 口径1.3メートル、国内私立最大
	2	12月23日	新聞	中日新聞	口径1.3メートル光学望遠鏡を設置 京産大に天文台完成 来春運用へ
	3	12月23日	新聞	京都新聞	私大最大 星空への扉
	4	12月23日	新聞	毎日新聞	雑記帳
	5	12月23日	新聞	読売新聞	京産大の天文台 完成
	6	12月24日	新聞	朝日新聞	京産大に天文台完成 望遠鏡口径国内6番目
	7	12月27日	新聞	産経新聞	宇宙を望むような大きな挑戦を
	8	3月10日	新聞	産経新聞	京都から銀河を観測
	9	3月14日	新聞	京都新聞	巨大望遠鏡に興味津々
	10	3月27日	新聞	読売新聞	星をたずねて
平成22年度 (2010)	1	4月4日	新聞	読売新聞	京都産業大学神山天文台の一般公開
	2	4月4日	新聞	京都新聞	京の星空「宝石みたい」 京産大「神山天文台」を公開
	3	4月26日	新聞	読売新聞	京産大に大型望遠鏡
	4	5月7日	新聞	京都新聞	神山天文台の開設 モノづくり教育と知の還元
	5	5月16日	新聞	京都新聞	「先生何してるの？」 星の集まりの謎を解き明かす 京都産業大学神山天文台専門員 中道晶香さん
	6	5月25日	新聞	毎日新聞	京都産業大学の真価
	7	6月1日	情報誌	ガクシン	京都産業大学に大型天体望遠鏡を設置した天文台が完成!
	8	6月1日	新聞	THE JUNIOR TIMES	星の集まりの謎を解き明かす 京都産業大学神山天文台専門員
	9	6月2日	新聞	毎日新聞	支局長さんからの手紙 はやぶさ君
	10	6月12日	雑誌	週刊ダイヤモンド	宇宙規模の視点で人間を見つめる天文台
	11	6月15日	新聞	京都新聞	七夕に最新宇宙知ろう
	12	6月19日	情報誌	リビング京都(中央・東南・西南)	天文台＆プラネタリウムで「星空の旅」へ出かけよう
	13	7月2日	新聞	産経新聞	全国同時七夕講演会
	14	7月28日	新聞	京都新聞	京産大神山天文台高校生向けに講座(No.27の下に貼付分)
	15	8月2日	新聞	産経新聞	3Dで望遠鏡で・・・宇宙の旅
	16	8月25日	新聞	毎日新聞	京都産業大学第2回天文台講座「彗星(ほうきぼし)と私たちの地球」
	17	9月1日	新聞	大学新聞71号	中学生、高校生と宇宙を探る
	18	9月13日	Webサイト	Astro Arts 天文ニュース	西山さんと桜島さん、わし座に新星を発見
	19	10月	情報誌	京のみどり 56号	歴史と文化を未来につなぐ 賀茂川周辺のみどりを歩く
	20	10月	情報誌	京版ニュース Kプレス 10月号 vol.139	京都産業大学 神山天文台
	21	12月	雑誌	なび①修学旅行フリータイムガイドブック京都奈良	一足お先にキャンパスライフ
	22	12月9日	新聞	京都新聞	京産大天文講座 小学生以上募る
	23	12月22日	新聞	産経新聞	小学生ら対象に天文のイベント
	24	1月1日	その他	進研ゼミ高1講座 高1MyVision 2011.1月号	いざキャンパスジャーニーへ!
	25	2月26日	情報誌	リビング京都中央	子どもも大人も星空の世界へ
平成23年度 (2011)	1	4月24日	新聞	読売新聞	やわらか頭で広がる答え
	2	5月1日	雑誌	週刊ダイヤモンド 2011.5.14号	ダイヤモンド21c 京都産業大学
	3	5月22日	新聞	京都新聞	京都 まなびの承諾 宇宙を見つめて 新設の天文台 膨らむ夢
	4	6月2日	新聞	京都新聞	最新の天体研究語る
	5	6月6日	新聞	毎日新聞	京都産業大学神山天文台講座
	6	6月7日	新聞	朝日新聞	京都産業大学神山天文台 開設1周年記念講演会
	7	6月10日	新聞	京都新聞	京産大生ら学内天文台超新星確認
	8	7月2日	新聞	京都新聞	天文や七夕テーマ全国同時講演会
	9	7月2日	Webサイト	大学プレスセンター	2011年全国同時七夕講演会「七夕の星と天の川〜中国から伝わった星図屏風〜」を開催―京都産業大学
	10	7月31日	新聞	読売新聞	星の便り〜時空を超えて〜
平成23年度 (2011)	11	8月9日	新聞	京都新聞	未来の科学者 育ってます
	12	8月30日	新聞	読売新聞	京都産業大学 神山天文台 一般公開のご案内
	13	9月1日	新聞	朝日新聞	星の美しさにウっとり
	14	10月5日	新聞	京都新聞	神山天文台の研究活動紹介
	15	10月8日	新聞	産経新聞	産学連携で観測機器の開発
	16	12月1日	情報誌	日経グローバル No.185 2011.12.5号	地域内の連携・競争がバネに
	17	12月1日	情報誌	日経グローバル No.185 2011.12.5号	一押しプロジェクト
	18	12月3日	新聞	産経新聞、朝日新聞、京都新聞	自分たちがつくった観測装置が宇宙の進化を解き明かす
	19	12月9日	新聞	京都新聞	重力レンズ現象解説あす天文学講演会
	20	12月10日	新聞	京都新聞	京都産業大学神山天文台講座「宇宙の蟹気楼」
	21	12月11日	新聞	京都新聞	宇宙の蟹気楼が語る夢
	22	12月17日	新聞	産経新聞	高性能の天体観測装置開発
	23	12月21日	新聞	京都新聞	世界一の観測 星の謎解く
	24	12月23日	新聞	京都新聞	ベツレヘムの星 天文台長が講演
	25	1月11日	新聞	京都新聞	宇宙の魅力発信へ連携
	26	2月1日	新聞	京都新聞	星空を仰いでごらん
	27	3月21日	新聞	毎日新聞	先進望遠鏡で宇宙を解析
平成24年度 (2012)	1	7月23日	Web版新聞	swissinfo.ch web版	最遠の超新星の跡発見
	2	7月23日	Web版新聞	中日新聞web版	119億光年先の超新星の跡発見
	3	7月24日	新聞	京都新聞	119億光年先に最遠超新星跡
	4	8月29日	新聞	京都新聞	ハートレイ彗星ガス分析に成功
	5	8月30日	Webサイト	マイナビニュース	京産大・神山天文台、NASAの「EPPOXI彗星探査計画」の地上支援の成果を発表
	6	9月21日	新聞	京都新聞	天文学入門 京産大で講座
	7	9月23日	新聞	読売新聞	嵐山中の中秋の名月法輪寺などで催し
	8	9月30日	新聞	京都新聞	京の文化施設学生無料
	9	10月2日	新聞	毎日新聞	最新の超新星跡を発見
	10	11月5日	新聞	京都新聞	私立最大の反射式望遠鏡
	11	2月28日	新聞	日本経済新聞	市民も楽しめる大学のミュージアム「巨大望遠鏡で宇宙を実感」京都産業大学神山天文台
平成25年度 (2013)	1	H25(2013)年度	その他	京都修学旅行バスポート	京都産業大学 神山天文台
	2	H25(2013)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	夏休み工作教室/天文学入門講座
	3	H25(2013)年度	雑誌	なるほど地図帳 日本2014	京都産業大学 神山天文台
	4	H25(2013)年度	情報誌	マナビズム Go to 大学 キャンパス調査隊	神山天文台
	5	H25(2013)年度	その他	student days	京都産業大学 神山天文台
	6	4月11日	新聞	日本経済新聞	近畿特集 天文学入門講座の紹介
	7	4月18日	新聞	京都新聞	天文学入門講座の紹介
	8	5月29日	新聞	京都新聞	「見えない光」で探る銀河研究を学ぼう 8日京産大で
	9	7月26日	新聞	京都新聞	京産大神山天文台 入門講座と観望会
	10	7月26日	新聞	読売新聞	虹の秘密 解き明かせ 京都産業大、あす講座
	11	7月28日	新聞	京都新聞	特殊フィルムで虹の見え方観察
	12	10月15日	情報誌	TOKK 10月15日号	天文台からはるか宇宙の旅へ 京都産業大学 神山天文台

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(〇〇新聞等)	記事名
平成25年度 (2013)	13	10月23日	新聞	日刊工業新聞	京都産業大学 神山天文台 マスコットキャラクター作製
	14	11月2日	新聞	京都新聞	「大学ツアー」人気上昇
	15	11月8日	雑誌	修学旅行アワード「ドアップ」旅なび京都・奈良	京都産業大学 神山天文台
	16	11月23日	新聞	京都新聞	アイソン彗星の成分分析
	17	11月24日	新聞	日本経済新聞	初期の太陽系、彗星に痕跡
	18	11月27日	新聞	京都新聞	アイソン彗星 催し多数
	19	12月1日	新聞	産経新聞	アイソン彗星 まだ見られる？
	20	12月5日	新聞	京都新聞	天文学入門講座特別編 「天体を細かく見るための観測技術」
	21	12月8日	新聞	読売新聞	彗星の動向 見通す難しさ
	22	12月15日	雑誌	大学ジャーナル vo.108	京都の街中から世界に挑む 神山天文台
	23	2月20日	Webサイト	Astro Arts 天文ニュース	アイソン彗星のアンモニアから太陽系誕生の記憶をたどる
	24	2月21日	新聞	京都新聞	アイソン彗星にアンモニア 京産大など分析
	25	2月21日	新聞	赤旗新聞	アイソン彗星崩壊前の観測 太陽系の謎解くヒントに
	26	2月24日	新聞	京都新聞	子ども「科学者」研究発表
	27	2月24日	Webサイト	マイナビニュース	ずばる望遠鏡、アイソン彗星から単独彗星では初となる「15NH2」を検出
28	2月28日	新聞	読売新聞	工作や実験 子供と交流 学生らアドバイス	
29	3月9日	新聞	京都新聞	ソフィアがやってきた 天の川に探る 宇宙の神秘	
30	3月27日	新聞	読売新聞	新星現象 専門家が解説	
平成26年度 (2014)	1	H26(2014)年度	その他	student days	京都産業大学 神山天文台
	2	H26(2014)年度	雑誌	なるほど地図帳 日本2015	京都産業大学 神山天文台
	3	H26(2014)年度	雑誌	きょうと修学旅行ナビ	京都産業大学 神山天文台
	4	H26(2014)年度	雑誌	旅なび修学旅行 京都&奈良	京都産業大学 神山天文台
	5	H26(2014)年度	その他	京都修学旅行バスポート	京都産業大学 神山天文台
	6	5月2日	新聞	京都新聞	言葉の力
	7	5月14日	新聞	毎日新聞	京都産業大学神山天文台 天文学講座
	8	6月27日	Webサイト	学研教育出版 進学情報サイト「ガクセイト」	京都産業大「天文学講座 星空の彼方の大宇宙」を開催
	9	7月	情報誌	京都・洛北フリーペーパー あべきた	天体観望会・第2回天文学講座案内
	10	7月4日	新聞	産経新聞	3000光年の彼方 地球に似た惑星
	11	7月4日	Web版新聞	京都新聞	地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	12	7月4日	Web版新聞	北海道新聞	地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	13	7月4日	Web版新聞	佐賀新聞	地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	14	7月9日	雑誌	天文ガイド	天体観望会・第2回天文学講座案内
	15	7月10日	雑誌	文藝春秋	星に願いを
	16	7月22日	新聞	読売新聞	宇宙兄弟展 30日、いよいよ開幕
	17	8月7日	新聞	読売新聞	天文台で星空眺めよう
	18	8月7日	情報誌	日経REVIEWE	京阪神の天体観測イベント
	19	8月14日	新聞	読売新聞	「宇宙兄弟」小山さん 高校生と天文台訪問
	20	8月16日	新聞	読売新聞	宇宙兄弟展 体験教室・講座も
21	8月24日	新聞	京都新聞	夏の大三角形に思いほせ	
22	8月24日	新聞	読売新聞	京産大が星の世界案内	
23	8月25日	新聞	読売新聞	太陽系外の微粒子7個	
24	9月27日	新聞	読売新聞	京都産業大学×宇宙兄弟展 失敗恐れず、チャレンジしよう!	
25	10月9日	新聞	京都新聞	赤い月 京にも	
26	10月19日	新聞	日本経済新聞	彗星へ着陸機を放て	
27	10月23日	新聞	毎日新聞	彗星に着陸 新発見期待	
28	11月13日	新聞	毎日新聞	探査機 彗星に初上陸	
29	11月19日	新聞	読売新聞	彗星の気体から有機物	
30	1月10日	Web版新聞	京都新聞	冬の星空の魅力、児童学ぶ	
31	2月14日	情報誌	リビング京都	夜空からのメッセージはふたご星から	
32	2月17日	新聞	京都新聞	銀河に炭素分子多数 京産大などグループ 恒星の光から観測	
33	2月19日	新聞	京都新聞	新星爆発でリチウム 京産大などが初観測 元素増えた過程解明へ	
34	2月28日	新聞	京都新聞	太陽系微量物質の一部、新星爆発に由来 京産大グループ、天体観測で実証	
平成27年度 (2015)	1	H27(2015)年度	雑誌	なるほど地図帳 日本2016	京都産業大学 神山天文台
	2	H27(2015)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	天体観望会、七夕講演会
	3	4月1日	新聞	産経新聞	京産大・河北教授に西田貴
	4	4月23日	新聞	岐阜新聞	宇宙に巨大有機分子か 東大・京産大チーム 新装置で赤外線分析
	5	4月23日	新聞	山陽新聞	宇宙に巨大有機分子
	6	4月23日	新聞	山形新聞	宇宙に巨大有機分子か 東大・京産大 新装置で「吸収線」15本発見
	7	4月23日	新聞	四国新聞	宇宙に巨大有機分子?赤外線分析で新装置
	8	4月23日	新聞	大分合同新聞	宇宙に巨大有機分子か 新装置で赤外線領域分析
	9	4月23日	新聞	中国新聞	宇宙に巨大有機分子か
	10	6月4日	新聞	中日新聞	天文学のきら星 京産大 科学誌掲載載立1位
	11	6月23日	新聞	熊本日日新聞	京都産業大学50周年 宇宙テーマに講演
	12	7月9日	新聞	京都新聞	赤外線の見極め 段違い 京産大 キヤノンなど光学部品開発
	13	7月9日	新聞	日刊工業新聞	赤外線光学素子を開発 京産大など
	14	7月14日	新聞	日刊工業新聞	「光の束」期待
	15	7月14日	新聞	日経新聞	西田貴受賞記念講演「太陽系の起源を求めて」
	16	8月	広報誌	KRP-Week	藤代専門員講演「京都産業大学神山天文台における装置開発と人材育成:補償光学装置の開発事例
	17	8月24日	新聞	読売新聞	飛び出す宇宙 睡キラリ(神山天文台が「トール岩倉図書館コラボ」)
	18	9月10日	雑誌	エルマガジン社 エコトリップ京都	京都産業大学 神山天文台
平成28年度 (2016)	1	H28(2016)年度	Webサイト	きょうと修学旅行ナビ	天文学習の紹介
	2	H28(2016)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	天体観望会、七夕観望会
	3	5月26日	雑誌	関西の大学を楽しむ本	京都産業大学 神山天文台
	4	6月8日	新聞	京都新聞	「科学スコープ@キャンパス」暗黒星雲「物作り」で迫る京産大神山天文台 高精度分光器で内部観測成功
	5	6月17日	Web版新聞	朝日新聞デジタル	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	6	6月17日	Web版新聞	京都産業大学神山天文台	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	7	6月17日	Web版新聞	ZDNet Japan	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	8	6月17日	Web版新聞	共同通信 PR Wire	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	9	6月17日	Web版新聞	CNET Japan	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	10	6月17日	Web版新聞	奈良新聞	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	11	6月17日	Web版新聞	沖繩タイムス	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	12	6月17日	Web版新聞	OPTRONICS ONLINE	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	13	6月17日	Web版新聞	zakzak by 夕刊フジ	京都産業大学神山天文台 世界初!「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	14	6月30日	情報誌	北区じかん vo.3 2016夏号	神山天文台 天体観望会紹介
	15	7月1日	情報誌	関塾タイムス 8月号	星を眺に行こう! -わくわく天体観望のすすめ-

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(○新聞等)	記事名	
平成28年度 (2016)	16	7月3日	新聞	京都新聞	「最前線 京滋ビジネス 西村製作所」(京都産業大学神山天文台 荒木望遠鏡 掲載)	
	17	7月12日	TV	NHK あさイチ	神山天文台 天体観望会紹介(テレビ放送)	
	18	8月5日	Twitter	twitter(ニッセン)	ニッセンのtwitter(@nissen)にて神山天文台の紹介	
	19	9月24日	新聞	京都新聞	京産大グループ 新星での分子生成メカニズムを解明	
	20	10月4日	TV	関西テレビ ワンダー	神山天文台の紹介(テレビ放送)	
	21	11月19日	情報誌	リビング京都中央	澄んだ空気の中で楽しむ冬の星座(天体観望会の紹介)	
	22	1月24日	Web版新聞	福井新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	23	1月24日	Web版新聞	山形新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	24	1月24日	Web版新聞	岩手日報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	25	1月24日	Web版新聞	徳島新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	26	1月24日	Web版新聞	中日新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	27	1月24日	Web版新聞	大阪日日新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	28	1月24日	Web版新聞	沖縄タイムズ	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	29	1月24日	Web版新聞	琉球新報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	30	1月24日	Web版新聞	山陰中央新報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	31	1月24日	Web版新聞	長崎新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	32	1月24日	Web版新聞	宮崎日日新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	33	1月24日	Web版新聞	神戸新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	34	1月24日	Web版新聞	福島民報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	35	1月24日	Web版新聞	佐賀新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	36	1月24日	Web版新聞	静岡新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	37	1月24日	Web版新聞	岐阜新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	38	1月24日	Web版新聞	デーリー東北	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	39	1月24日	Web版新聞	高知新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	40	1月24日	Web版新聞	河北新報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	41	1月24日	Web版新聞	千葉日報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	42	1月24日	Web版新聞	東京新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	43	1月24日	Web版新聞	北海道新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	44	1月24日	Web版新聞	南日本新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	45	1月24日	Web版新聞	日本海新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	46	1月24日	Web版新聞	福島民友新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	47	1月24日	Web版新聞	上毛新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	48	1月24日	Web版新聞	山陽新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	49	1月24日	Web版新聞	愛媛新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	50	1月24日	Web版新聞	京都新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	51	1月24日	Web版新聞	共同通信	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	52	1月24日	Web版新聞	産経フォト	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	53	2月2日	新聞	毎日新聞	赤外線で見つかる銀河の謎 京産大が世界最高精度分析装置を開発、南米チリで観測	
	平成29年度 (2017)	1	H29(2017)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	天体観望会
		2	H29(2017)年度	雑誌	なるほど地図帳 日本2017	京都産業大学 神山天文台
		3	5月5日	新聞	読売新聞	『サイエンスBOX』研究を続ける情熱が、新たな発見を生む 河北 秀世 京都産業大学神山天文台長
		4	5月25日	新聞	京都新聞	天文学講座「探査機が見た太陽系天体たち」
		5	6月6日	新聞	朝日新聞	『まなびバ！大学編』 京都産業大学 新シンボルは天文台
		6	6月20日	新聞	京都新聞	『いのちの伴走 iPS細胞誕生10年 第5部 膨らむ夢の陰で③』 京都産業大学神山天文台 研究員 新井彰
		7	9月16日	新聞	日本経済新聞	『キャンパス新景』 京都産業大 巨大な望遠鏡 ロマン追う
		8	10月12日	新聞	京都新聞	神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん」 無料通信アプリLINEスタンプ
		9	3月20日	雑誌	大学時報 2018年3月号	だいがくのたから 京都産業大学 神山天文台
	平成30年度 (2018)	1	H30(2018)年度	その他	京都修学旅行バスポート	京都産業大学神山天文台
		2	H30(2018)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	体験イベントin大学『天体観望会』
		3	H30(2018)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	体験イベントin大学『夏の夜空のビッグフェス〜七夕の宙に思いを馳せて〜』
		4	4月4日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会
		5	4月11日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会
		6	5月2日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会
7		5月9日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会	
8		5月16日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天文学講座「彗星と海、そして生命」	
9		5月30日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会	
10		7月4日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会	
11		7月13日	情報誌	サギタリス7月号(学内冊子)	キャッチアップ・ワールド 「火星大接近」 理学部 河北秀世 教授	
12		7月13日	情報誌	サギタリス7月号(学内冊子)	おすすめイベントPICK UP『天体観望会』	
13		7月18日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天文学講座「火星移住とその先にあるもの」	
14		7月23日	雑誌	京阪神エルマガジン社 月刊『SAVY』9月号	『朝・夜イベントカレンダー』天体観望会 京都産業大学内 神山天文台	
15		8月1日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』 京都産業大学 天体観望会	
16		9月5日	雑誌	京阪神エルマガジン社『ひとりで歩く京都本』	京都産業大学 神山天文台『夜が待ち遠しくなる天文台で天体観測』	
17		9月13日	新聞	日刊工業新聞	ガス放出に伴う衝撃波観測 東大・京産大	
18		9月14日	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
19		9月14日	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
20		9月14日	Web版新聞	AFP通信(AFPBB News)	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
21		9月14日	Web版新聞	北海道新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
22		9月14日	Web版新聞	中日新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
23		9月14日	Web版新聞	河北新報	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
24		9月14日	Web版新聞	新潟日報モア	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
25		9月14日	Web版新聞	紀伊民報	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
26		9月14日	Web版新聞	OLICON NEWS	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
27		9月14日	Web版新聞	Infoseek News	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
28		9月14日	Web版新聞	Biglobe ニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
29		9月14日	Web版新聞	excite ニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
30		9月14日	Web版新聞	@nifty	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
31		9月14日	Web版新聞	eltha(OLICON NEWS)	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
32		9月14日	Web版新聞	Cnet japan	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
33		9月14日	Web版新聞	ZDnet japan	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
34		9月14日	Web版新聞	INTERNET COM	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
35		9月14日	Web版新聞	とれまがニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
36		9月14日	Web版新聞	財經新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
37		9月14日	Web版新聞	mapion ニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明	
38		9月21日	雑誌	スタディサプリ『大学の約束』	天文台と観測分析技術で、太陽系や生命誕生の謎に挑戦する 京都産業大学	

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(○新聞等)	記事名
	39	10月23日	新聞	日本経済新聞	『キャンパス新景』京都産業大学 国内私立最大規模の望遠鏡
	40	10月31日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	41	11月5日	新聞	日刊工業新聞	ホームズ彗星の起源説明 京都産業大学
	42	11月22日	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	43	11月22日	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	44	11月22日	Web版新聞	Sankei Biz	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	45	11月22日	Web版新聞	AFP通信 (AFPBB News)	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	46	11月22日	Web版新聞	北海道新聞	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	47	11月22日	Web版新聞	中日新聞	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	48	11月22日	Web版新聞	河北新報	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	49	11月22日	Web版新聞	新潟日報	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	50	11月22日	Web版新聞	紀伊民報	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	51	11月22日	Web版新聞	OLICON NEWS	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	52	11月22日	Web版新聞	Infoseek News	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	53	11月22日	Web版新聞	Biglobe ニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	54	11月22日	Web版新聞	excite ニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	55	11月22日	Web版新聞	@nifty	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	56	11月22日	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	57	11月22日	Web版新聞	Cnet japan	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	58	11月22日	Web版新聞	Znet japan	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	59	11月22日	Web版新聞	INTERNET COM	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	60	11月22日	Web版新聞	とれまがニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	61	11月22日	Web版新聞	財經新聞	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	62	11月22日	web版新聞	mapion ニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	63	12月5日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天文講座
	64	12月6日	新聞	朝日新聞	京都産業大学 天体観望会
	65	12月11日	web版新聞	YOMIURI ONLINE	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	66	12月11日	web版新聞	朝日新聞DIGITAL	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	67	12月11日	web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	68	12月11日	web版新聞	Sankei Biz	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	69	12月11日	web版新聞	AFP通信 (AFPBB News)	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	70	12月11日	web版新聞	北海道新聞	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	71	12月11日	web版新聞	中日新聞	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	72	12月11日	web版新聞	河北新報	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	73	12月11日	web版新聞	新潟日報モア	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	74	12月11日	web版新聞	紀伊民報	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	75	12月11日	web版新聞	OLICON NEWS	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	76	12月11日	web版新聞	Infoseek News	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	77	12月11日	web版新聞	Biglobe ニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	78	12月11日	web版新聞	excite ニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	79	12月11日	web版新聞	@nifty	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	80	12月11日	web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	81	12月11日	web版新聞	Cnet japan	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	82	12月11日	web版新聞	Znet japan	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	83	12月11日	web版新聞	INTERNET COM	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	84	12月11日	web版新聞	とれまがニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	85	12月11日	web版新聞	財經新聞	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	86	12月11日	web版新聞	mapion ニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	87	12月14日	情報誌	サギタリクス12月号(学内冊子)	神山天文台サポートチーム 天文台から観る星の美しさを多くの人に伝えたい
	88	1月29日	Web版新聞	NHK NEWS WEB	低予算で大発見！太陽系の“果て”に小天体 日本の研究者
	89	1月30日	Web版新聞	YOMIURI ONLINE	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	90	1月30日	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	91	1月30日	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	92	1月30日	Web版新聞	AFP通信 (AFPBB News)	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	93	1月30日	Web版新聞	北海道新聞	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	94	1月30日	Web版新聞	中日新聞	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	95	1月30日	Web版新聞	河北新報	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	96	1月30日	Web版新聞	新潟日報モア	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	97	1月30日	Web版新聞	紀伊民報	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	98	1月30日	Web版新聞	OLICON NEWS	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	99	1月30日	Web版新聞	Infoseek News	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	100	1月30日	Web版新聞	Biglobe ニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	101	1月30日	Web版新聞	excite ニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	102	1月30日	Web版新聞	@nifty	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	103	1月30日	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	104	1月30日	Web版新聞	Cnet japan	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	105	1月30日	Web版新聞	Znet japan	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	106	1月30日	Web版新聞	INTERNET COM	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	107	1月30日	Web版新聞	とれまがニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	108	1月30日	Web版新聞	財經新聞	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	109	1月30日	Web版新聞	mapion ニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 -- 京都産業大学
	110	2月26日	Web版新聞	YOMIURI ONLINE	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	111	2月26日	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	112	2月26日	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	113	2月26日	Web版新聞	Sankei Biz	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	114	2月26日	Web版新聞	AFP通信 (AFPBB News)	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	115	2月26日	Web版新聞	北海道新聞	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	116	2月26日	Web版新聞	中日新聞	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	117	2月26日	Web版新聞	河北新報	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	118	2月26日	Web版新聞	新潟日報モア	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	119	2月26日	Web版新聞	紀伊民報	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	120	2月26日	Web版新聞	沖縄タイムス	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	121	2月26日	Web版新聞	OLICON NEWS	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	122	2月26日	Web版新聞	Infoseek News	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	123	2月26日	Web版新聞	Biglobe ニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学

平成30年度
(2018)

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(○:新聞等)	記事名
平成30年度 (2018)	124	2月26日	Web版新聞	exciteニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	125	2月26日	Web版新聞	@nifty	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	126	2月26日	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	127	2月26日	Web版新聞	Cnet japan	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	128	2月26日	Web版新聞	ZDnet japan	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	129	2月26日	Web版新聞	INTERNET COM	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	130	2月26日	Web版新聞	とれまがニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	131	2月26日	Web版新聞	財經新聞	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	132	2月26日	Web版新聞	mapion ニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	133	2月27日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	134	3月14日	新聞	朝日新聞	京都産業大学神山天文台の天文学講座
	135	3月20日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天文学講座「望遠鏡で拡大しても見えない星の姿を見るには？」
	136	3月27日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
平成31/令和元 年度 (2019)	1	R1(2019)年度	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	体験イベントin大学『天体観望会』
	2	4月24日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	3	5月22日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天文学講座「京都産業大学が明らかにしたのか座新星」
	4	5月28日	新聞	朝日新聞	新星爆発の様子詳しくわかった 京産大で天文学講座
	5	6月22日	テレビ	KBS京都	「谷口流々」に神山天文台 河北 秀世 台長が出演
	6	7月17日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天文学講座「ブラックホール初撮影の衝撃と今後の展望」
	7	7月19日	情報誌	サキタリウス7月号(学内冊子)	神山天文台の魅力に潜入！教えて！天体の魅力
	8	8月5日	新聞	朝日新聞	彗星 宇宙で「待ち伏せ」 出現に備え28年にも探査機 京都産業大学、他
	9	8月21日	新聞	読売新聞	京産大参加探査機宇宙へ
	10	8月23日	新聞	日刊工業新聞	星間物質中温度・密度、高精度推定 京産大が成功
	11	8月23日	Webサイト	日刊工業新聞	星間物質中温度・密度、高精度推定 京産大が成功
	12	8月28日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	13	9月25日	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	14	10月27日	新聞	熊本日日新聞	「ポリソフ彗星」発見 太陽系外から来た天体
	15	11月19日	新聞	しんぶん赤旗	複雑な有機分子検出 ジャコビニ・ツィナー彗星から
	16	11月22日	新聞	読売新聞	複雑な有機物由来の光検出 ジャコビニ・ツィナー彗星
	17	1月4日	雑誌	月刊星ナビ2月号	ブラック星博士のB級天文学研究室
	18	1月5日	雑誌	サンデー毎日	宇宙プレスセンター ニュースアクセスランキング3位 「新中核研究員らが太陽系外縁部に、星雲形成材料となった原始天体「微惑星」の生き残りと推定される微小天体を史上初めて発見。」
	19	1月9日	新聞	しんぶん赤旗	重元素の吸収線測定
	20	1月10日	新聞	日本経済新聞	太陽系外からの天体、何を語る？ポリソフ彗星最接近
	21	1月10日	Webサイト	日本経済新聞	太陽系外からの天体、何を語る？ポリソフ彗星最接近
	22	1月12日	新聞	日本経済新聞	彗星に複雑な有機分子
	23	2月5日	雑誌	月刊星ナビ3月号	Observer's NAVI (取材協力/新井彰 京都産業大学 神山天文台)
令和2年度 (2020)	1	2020/4/24	新聞	科学新聞	異例の存在？ ジャコビニ・ツィナー彗星 オーロラの光から起源探る京都産業大など成果
	2	2020/4/28	新聞	読売新聞	誕生 他より暖かい領域？ ジャコビニ・ツィナー彗星 京産大・河北教授ら発表
	3	2020/5/14	新聞	産経新聞	自宅で天体鑑賞しよう 京産大神山天文台 きょうライブ配信
	4	2020/5/14	新聞	京都新聞	金星観測 動画のぞいて 京産大神山天文台 きょうから配信
	5	2020/5/17	新聞	読売新聞	天体の美しさ自宅で堪能 京産大・神山天文台
	6	2020/5/20	新聞	毎日新聞	自宅で宇宙身近に 京産大天文台ウェブで観望会
	7	2020/5/21	新聞	読売新聞(奈良)	天体観望会 ウェブ配信 京都・神山天文台 「星はなぜ光る？」あす講座
	8	2020/5/22	Webサイト	読売新聞オンライン	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	9	2020/5/22	Webサイト	朝日新聞デジタル	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	10	2020/5/22	Webサイト	毎日新聞	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	11	2020/5/22	Webサイト	SankeiBiz	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	12	2020/5/22	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	13	2020/5/22	Webサイト	北海道新聞	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	14	2020/5/22	Webサイト	河北新報	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	15	2020/5/22	Webサイト	新潟日報	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	16	2020/5/22	Webサイト	紀伊民報	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	17	2020/5/22	Webサイト	沖縄タイムス	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	18	2020/5/22	Webサイト	ORICON NEWS	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	19	2020/5/22	Webサイト	Infoseek	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	20	2020/5/22	Webサイト	BIGLOBE	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	21	2020/5/22	Webサイト	excite	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	22	2020/5/22	Webサイト	@nifty	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	23	2020/5/22	Webサイト	eltha	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	24	2020/5/22	Webサイト	Cnet	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	25	2020/5/22	Webサイト	Zdnet	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	26	2020/5/22	Webサイト	japan.internet.com	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	27	2020/5/22	Webサイト	とれまが	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	28	2020/5/22	Webサイト	財經新聞	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	29	2020/5/22	Webサイト	Mapion	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催！
	30	2020/6/10	新聞	大学新聞	オンライン活用 自宅で楽しく天体観望 京都産業大学
	31	2020/6/16	新聞	読売新聞	部分日食 自宅で見比べて 21日、京大や京産大「ウェブ観望会」配信
	32	2020/6/18	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	おうちで天文を楽しもう！神山天文台による天文イベントのライブ配信
	33	2020/6/18	Webサイト	読売新聞オンライン	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！
	34	2020/6/18	Webサイト	朝日新聞デジタル	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！
	35	2020/6/18	Webサイト	毎日新聞	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！
36	2020/6/18	Webサイト	SankeiBiz	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
37	2020/6/18	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
38	2020/6/18	Webサイト	北海道新聞	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
39	2020/6/18	Webサイト	河北新報	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
40	2020/6/18	Webサイト	新潟日報	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
41	2020/6/18	Webサイト	紀伊民報	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
42	2020/6/18	Webサイト	沖縄タイムス	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
43	2020/6/18	Webサイト	ORICON NEWS	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
44	2020/6/18	Webサイト	Infoseek	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
45	2020/6/18	Webサイト	BIGLOBE	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
46	2020/6/18	Webサイト	excite	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
47	2020/6/18	Webサイト	@nifty	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
48	2020/6/18	Webサイト	eltha	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
49	2020/6/18	Webサイト	Cnet	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(〇〇新聞等)	記事名
	50	2020/6/18	Webサイト	Zdnet	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信!
	51	2020/6/18	Webサイト	japan.internet.com	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信!
	52	2020/6/18	Webサイト	とれまが	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信!
	53	2020/6/18	Webサイト	財經新聞	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信!
	54	2020/7/9	新聞	京都新聞	科学で感じる四季 ⑦七 河北秀世さん 京都産業大学教授
	55	2020/7/31	Webサイト	読売新聞オンライン	天文学 親しみきっかけに 京産大・神山天文台 講座ネット配信
	56	2020/7/31	Webサイト	朝日新聞デジタル	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	57	2020/7/31	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	58	2020/7/31	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	59	2020/7/31	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	60	2020/7/31	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	61	2020/7/31	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	62	2020/7/31	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	63	2020/7/31	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	64	2020/7/31	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	65	2020/7/31	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	66	2020/7/31	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	67	2020/7/31	Webサイト	excite	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	68	2020/7/31	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	69	2020/7/31	Webサイト	eltha	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	70	2020/7/31	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	71	2020/7/31	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	72	2020/7/31	Webサイト	japan.internet.com	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	73	2020/7/31	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	74	2020/7/31	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	75	2020/7/31	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	76	2020/7/31	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは!? 神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信!
	77	2020/8/3	新聞	産経新聞	天文学 親しみきっかけに 京産大・神山天文台 講座ネット配信
	78	2020/9/1	情報誌	GoGo土曜塾 9・10月号	彗星×小惑星 ～太陽系の起源を探る～
	79	2020/9/5	雑誌	月刊 天文ガイド 10月号	京都産業大学 神山天文台10周年記念シンポジウム開催
	80	2020/10/5	雑誌	月刊 天文ガイド 11月号	京都産業大学神山天文台開設10周年記念シンポジウム 彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～
	81	2020/10/5	雑誌	月刊 星ナビ 11月号	京都産業大学神山天文台開設10周年記念シンポジウム 彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～
	82	2020/10/16	新聞	京都新聞	京都産業大学神山天文台開設10周年記念シンポジウム 彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～
	83	2020/12/2	新聞	日刊工業新聞	100億年前の宇宙鉄・マグネシウム推定 東大・京産大が分光器
	84	2020/12/9	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設10周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	85	2020/12/9	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設10周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	86	2020/12/9	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設12周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	87	2020/12/9	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設13周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	88	2020/12/9	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設14周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	89	2020/12/9	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設15周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	90	2020/12/9	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設16周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	91	2020/12/9	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設17周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	92	2020/12/9	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設18周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	93	2020/12/9	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設19周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	94	2020/12/9	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設20周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	95	2020/12/9	Webサイト	excite	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設21周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	96	2020/12/9	Webサイト	eltha	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設22周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	97	2020/12/9	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設23周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	98	2020/12/9	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設24周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	99	2020/12/9	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設25周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	100	2020/12/9	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設26周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	101	2020/12/18	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説! 神山天文台開設27周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信
	102	2020/12/18	新聞	科学新聞	100億年前の宇宙の鉄の存在量の推定
	103	2020/12/18	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 100億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	104	2020/12/18	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 101億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	105	2020/12/18	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 102億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	106	2020/12/18	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 103億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	107	2020/12/18	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 104億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	108	2020/12/18	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 105億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	109	2020/12/18	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 106億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	110	2020/12/18	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 107億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	111	2020/12/18	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 108億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	112	2020/12/18	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 109億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	113	2020/12/18	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 110億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	114	2020/12/18	Webサイト	excite	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 111億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	115	2020/12/18	Webサイト	eltha	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 112億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	116	2020/12/18	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 113億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	117	2020/12/18	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 114億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	118	2020/12/18	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 115億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	119	2020/12/18	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 116億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	120	2020/12/18	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 117億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	121	2021/1/12	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源 -- 118億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功 -- 米天文学雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載
	122	2021/1/12	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	123	2021/1/12	Webサイト	朝日新聞デジタル	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	124	2021/1/12	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	125	2021/1/12	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	126	2021/1/12	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	127	2021/1/12	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	128	2021/1/12	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	129	2021/1/12	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	130	2021/1/12	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	131	2021/1/12	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	132	2021/1/12	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	133	2021/1/12	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催
	134	2021/1/12	Webサイト	excite	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説! 神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合!」開催

令和2年度
(2020)

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(〇〇新聞等)	記事名
令和2年度 (2020)	134	2021/1/12	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	135	2021/1/12	Webサイト	eltha	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	136	2021/1/12	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	137	2021/1/12	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	138	2021/1/12	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	139	2021/1/12	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	140	2021/1/12	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	141	2021/1/12	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催
	142	2021/2/2	新聞	日刊工業新聞	低温新星2分子検出
	143	2021/2/12	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	144	2021/2/12	Webサイト	朝日新聞デジタル	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	145	2021/2/12	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	146	2021/2/12	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	147	2021/2/12	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	148	2021/2/12	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	149	2021/2/12	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	150	2021/2/12	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	151	2021/2/12	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
	152	2021/2/12	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見
153	2021/2/12	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
154	2021/2/12	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
155	2021/2/12	Webサイト	excite	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
156	2021/2/12	Webサイト	nifty	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
157	2021/2/12	Webサイト	eltha	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
158	2021/2/12	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
159	2021/2/12	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
160	2021/2/12	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
161	2021/2/12	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
162	2021/2/12	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
163	2021/2/12	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温新星爆発を発見	
164	2021年3月	その他	京都修学旅行バスポート	京都産業大学神山天文台	
165	2021/3/1	新聞	日刊工業新聞	「赤色超巨星」温度測定 爆発前の予測精度高める	
166	2021/3/1	Webサイト	日刊工業新聞オンライン	東大と京都産大、「赤色超巨星」温度測定 爆発前の予測精度高める	
167	2021/3/2	Webサイト	マイナビニュース	測定が難しかった赤色超巨星の表面温度を正確に計測する手法を東大らが確立	
168	2021/3/4	Webサイト	Astroarts	赤色超巨星の表面温度を正確かつ手軽に測定する新手法	
169	2021/3/5	雑誌	月刊 星ナビ4月号	WEB天文学講座 「はやぶさ2の旅 地球のような星は他にある？」	
170	2021/3/5	新聞	科学新聞	爆発前の赤色超巨星の表面温度 東大新たな手法で正確な測定に成功	
171	2021/3/15	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
172	2021/3/15	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
173	2021/3/15	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
174	2021/3/15	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
175	2021/3/15	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
176	2021/3/15	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
177	2021/3/15	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
178	2021/3/15	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
179	2021/3/15	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
180	2021/3/15	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
181	2021/3/15	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
182	2021/3/15	Webサイト	excite	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
183	2021/3/15	Webサイト	eltha	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
184	2021/3/15	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
185	2021/3/15	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
186	2021/3/15	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
187	2021/3/15	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
188	2021/3/15	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
189	2021/3/15	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
190	2021/3/15	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】赤っ星の体温度測定 - 爆発前の超巨星の表面温度を正確に測定することに成功 - 英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
令和3年度 (2021)	1	2021/4/8	新聞	日刊工業新聞	掃星の核 表面成分 すばる望遠鏡観測
	2	2021/4/26	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	4	2021/4/26	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	5	2021/4/26	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	6	2021/4/26	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	7	2021/4/26	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	8	2021/4/26	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	9	2021/4/26	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	10	2021/4/26	Webサイト	沖繩タイムス	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	11	2021/4/26	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	12	2021/4/26	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	13	2021/4/26	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	14	2021/4/26	Webサイト	excite	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	15	2021/4/26	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	16	2021/4/26	Webサイト	eltha	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	17	2021/4/26	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	18	2021/4/26	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	19	2021/4/26	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
	20	2021/4/26	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載
21	2021/4/26	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載	
22	2021/4/26	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】ガスやダストで覆われている掃星核の観測に成功 バンスタース掃星の熱履歴を解明 - 米国国際惑星科学誌 Icarus (イカルス) (オンライン版)に掲載	
23	2021/5/20	雑誌	天文月報 vol.114 No.6 (日本天文学会誌)	日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書 新中善晴	
24	2021/5/22	新聞	毎日新聞	スーパームーン皆既月食26日ライブ配信 京産神山天文台	
25	2021/5/25	新聞	産経新聞	皆既月食 美しすぎるスーパー 肉眼でも観測可能 ライブ中継も	
26	2021/5/27	テレビ	日本テレビ「Z!PI」ニュースコーナー	オンライン配信「皆既月食観望会」	
27	2021/6/11	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定	
28	2021/6/11	Webサイト	朝日新聞デジタル	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定	
29	2021/6/11	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定	

資料4 平成21(2009)年度～令和3(2021)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ)	広報媒体名(〇〇新聞等)	記事名
	30	2021/6/11	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	31	2021/6/11	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	32	2021/6/11	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	33	2021/6/11	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	34	2021/6/11	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	35	2021/6/11	Webサイト	沖縄タイムス	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	36	2021/6/11	Webサイト	ORICON NEWS	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	37	2021/6/11	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	38	2021/6/11	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	39	2021/6/11	Webサイト	excite	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	40	2021/6/11	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	41	2021/6/11	Webサイト	eltha	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	42	2021/6/11	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	43	2021/6/11	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	44	2021/6/11	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	45	2021/6/11	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	46	2021/6/11	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	47	2021/6/11	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
	48	2021/6/16	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	体験イベントin大学「天体観望会」
	49	2021/6/18	新聞	科学新聞	近赤外線波長の原子吸収線カタログが威力 恒星の元素組成を高精度測定 過去の可視光文脈値と合致 京産大など
	50	2021/6/18	書籍	谷口流々	京都産業大学 神山天文台 台長 河北秀世さん
	51	2021/7/2	Webサイト	日本の研究.com	史上初めて慧星活動を示した恒星間天体ポロソフ慧星の起源は太陽系と似ていた
	52	2021/7/3	Webサイト	Mapion	恒星間慧星「ポロソフ慧星」からの噴出物の分析に成功、京都産業大学など
	53	2021/7/3	Webサイト	BIGLOBE	恒星間慧星「ポロソフ慧星」からの噴出物の分析に成功、京都産業大学など
	54	2021/7/3	Webサイト	マイナビ	恒星間慧星「ポロソフ慧星」からの噴出物の分析に成功、京都産業大学など
	55	2021/7/5	Webサイト	OPTRONICS ONLINE	京産大ら、恒星間天体の僅かなガスの分光に成功
	56	2021/7/5	Webサイト	sorae	恒星間天体「ポロソフ慧星」に関する新たな研究成果、太陽系に似た環境で誕生した可能性
	57	2021/7/6	Webサイト	キャンパスマガジン サギタリウス(本学HP)	【七夕特集第1弾】意外と知らない!?七夕伝説について神山天文台に聞いてみた!
	58	2021/7/7	新聞	日刊工業新聞	新星爆発 リチウム量にバラつき 京産大・国立天文台
	59	2021/7/7	Webサイト	日本の研究.com	神山天文台の研究者らが明らかにした新星爆発によるリチウム生成量の多様性
	60	2021/7/7	Webサイト	テック・アイ技術情報研究所	すばる望遠鏡が明らかにした新星爆発によるリチウム生成量の多様性
	61	2021/7/7	Webサイト	Yahoo!	新星爆発のリチウムに多様性 微量観測、他天体も生成か 京産大など
	62	2021/7/7	Webサイト	時事通信	新星爆発のリチウムに多様性—微量観測、他天体も生成か—京産大など
	63	2021/7/7	Webサイト	@nifty	新星爆発のリチウムに多様性—微量観測、他天体も生成か—京産大など
	64	2021/7/8	Webサイト	Infoseek	京産大など、新星爆発によるリチウム生成量に100倍の幅があることを確認
	65	2021/7/8	Webサイト	goo	京産大など、新星爆発によるリチウム生成量に100倍の幅があることを確認
	66	2021/7/8	Webサイト	OPTRONICS ONLINE	京産大ら、新星爆発のリチウム生成量に多様性発見
	67	2021/7/8	Webサイト	財經新聞	新星爆発によるリチウム生成量に多様性 京産大と国立天文台の研究
	68	2021/7/8	Webサイト	BIGLOBE	新星爆発によるリチウム生成量に多様性 京産大と国立天文台の研究
	69	2021/7/9	Webサイト	sorae	新星のリチウム生成量には多様性がある? すばる望遠鏡による観測成果
	70	2021/7/15	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	71	2021/7/15	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	72	2021/7/15	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	73	2021/7/15	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	74	2021/7/15	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	75	2021/7/15	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	76	2021/7/15	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	77	2021/7/15	Webサイト	沖縄タイムス	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	78	2021/7/15	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	79	2021/7/15	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	80	2021/7/15	Webサイト	excite	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	81	2021/7/15	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	82	2021/7/15	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	83	2021/7/15	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	84	2021/7/15	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	85	2021/7/15	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	86	2021/7/15	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	87	2021/7/15	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功 → 米国天体物理学誌『The Astrophysical Journal』に掲載
	88	2021/7/21	新聞	日経産業新聞	新星爆発のリチウム生成量に多様性
	89	2021/9/22	新聞	京都新聞	リチウム生成の謎 新展開 「新星」で電はばらつき
	90	2021/9/25	雑誌	日本惑星科学会誌 遊・星・人 第30巻 第3	惑星ラガからこんにちは! その4 ~京都産業大学 理学部 宇宙物理・気象学科~
	91	2021/12/7	新聞	読売新聞	キャンパス探訪 京都産業大学 創設者の思い伝える天文台
	92	2022/2/18	新聞	読売新聞	【Event&Stage】京都産業大学神山天文台 天文学講座 「慧星(ほうきぼし)を待ちぶせる!!」
	93	2022/3/29	Webサイト	読売新聞オンライン	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	94	2022/3/29	Webサイト	朝日新聞デジタル	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	95	2022/3/29	Webサイト	SankeiBiz	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	96	2022/3/29	Webサイト	AFP通信 (AFPBB News)	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	97	2022/3/29	Webサイト	北海道新聞	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	98	2022/3/29	Webサイト	河北新報	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	99	2022/3/29	Webサイト	新潟日報	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	100	2022/3/29	Webサイト	紀伊民報	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	101	2022/3/29	Webサイト	沖縄タイムス	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	102	2022/3/29	Webサイト	Infoseek	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	103	2022/3/29	Webサイト	BIGLOBE	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	104	2022/3/29	Webサイト	excite	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	105	2022/3/29	Webサイト	@nifty	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	106	2022/3/29	Webサイト	Cnet	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	107	2022/3/29	Webサイト	Zdnet	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	108	2022/3/29	Webサイト	インターネットコム	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	109	2022/3/29	Webサイト	とれまが	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	110	2022/3/29	Webサイト	財經新聞	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定
	111	2022/3/29	Webサイト	Mapion	【京都産業大学】全国の大学で唯一! 神山天文台で小惑星探査機「はやぶさ2」帰還カプセルなどの展示が決定

令和3年度
(2021)

資料5 平成25(2013)年度～令和3(2021)年度 Webサイト等掲載記事一覧

(注) 同一年月日・同一タイトルの掲載記事は、ニュース・プレスリリースを行ったため複数載せている

年度 (西暦)	No (年度毎)	日付	Webページ名	タイトル
平成25年度 (2013)	1	9月20日	本学Webサイト	本学学生が荒木望遠鏡により、世界初、新星における炭素分子を発見
	2	11月22日	本学Webサイト	京都産業大学大学院 理学研究科 新中善晴さん (博士後期課程3年次) らが太陽に近づくアイソン彗星の観測に成功
	3	2月5日	本学Webサイト	神山天文台 大型赤外線分光器WINEREDによる高精度な天体分析を開始
	4	2月20日	本学Webサイト	理学研究科 新中 善晴さん (博士課程3年次) らが単独彗星としては世界初の15NH ₂ の検出に成功
平成26年度 (2014)	1	2月16日	本学Webサイト	星間空間に存在する大きな有機分子の吸収線を多数発見
	2	2月19日	本学Webサイト	「神聖爆発は宇宙のリチウム合成工場だった」神山天文台の研究者らのチームが宇宙における爆発的リチウム生成の初観測に成功
	3	2月23日	本学Webサイト	「太陽系の材料は新星爆発で作られた」研究成果が日本天文学会欧文報告誌に掲載
	4	3月31日	本学Webサイト	河北秀世 台長 日本地球惑星科学連合より西田賞を受賞
平成27年度 (2015)	1	7月9日	本学Webサイト	次世代赤外線天文学のための超高感度イメージング回折格子の開発に成功
	2	10月13日	本学Webサイト	宇宙から彗星の撮影に成功！(神山天文台、JAXA/立教大/東大等と連携)
	3	10月19日	本学Webサイト	理学研究科 大学院生の西岡翼さんと東京大学の共同研究グループが、系外惑星候補を持つTタウリ星系の新たな力学モデルを構築
平成28年度 (2016)	1	5月23日	本学Webサイト	天文学講座第1回「重力波の直接検出とは？」
	2	5月25日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の観測に成功
	3	5月25日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の観測に成功
	4	6月3日	本学Webサイト	「関西の大学を楽しくむす」掲載 神山天文台のイベントや公開講座の様子が掲載
	5	6月6日	本学Webサイト	綾部市天文館で公開天文講座「神山天文台が迫る宇宙の不思議」開催
	6	6月9日	本学Webサイト	京都新聞掲載 @キャンパスコーナーで神山天文台 河北 秀世台長が研究を紹介
	7	6月14日	本学Webサイト	全国同時七夕講演会2016「七夕の星々と天の川」
	8	6月20日	本学Webサイト	夏の夜空のビッグフェス!!～遊ぼう、星空のキャンパス～ 開催 (7/8)
	9	6月27日	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台サポートチーム・天文同好会 共同主催 星空観望会「夏の夜空のビッグフェス!!～遊ぼう、星空のキャンパス～」開催
	10	6月30日	本学Webサイト	フリーペーパー『北区じかん』掲載 「北区自慢」コーナーに神山天文台 天体観望会紹介
	11	7月6日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 「新星爆発の内部構造」の謎を明らかに！
	12	7月7日	本学Webサイト	新星爆発によって生じる「火の玉」の内部構造の謎を明らかに 一ペールに覆われた新星爆発の内側を探る
	13	7月8日	本学Webサイト	「夏の夜空のビッグフェス!!～遊ぼう、星空のキャンパス～」を開催
	14	7月23日	本学Webサイト	京都府綾部市天文館で「天文講座」を開催
	15	9月2日	本学Webサイト	古典新星の「火の玉」における分子生成の謎を解明：一酸化炭素による急激な冷却
	16	9月2日	本学Webサイト	天文台 世界初！古典新星の「火の玉」における分子生成の謎を解明
	17	9月7日	本学Webサイト	天文学講座第2回「太陽フレアと恒星スーパーフレア」
	18	9月18日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台・東京大学大学院 赤外線光学材料の高精度な透過率測定に成功 次世代宇宙望遠鏡による赤外線天文学の実現にむけて前進
	19	9月21日	本学Webサイト	大学院理学系研究科生を含む研究チームが赤外線光学材料の高精度な透過率測定に成功
	20	9月26日	本学Webサイト	京都新聞掲載 新星で分子が生成されるメカニズムを神山天文台 河北 秀世 台長のグループが解明
	21	10月3日	本学Webサイト	関西テレビ「ワンダー」で神山天文台が紹介されます
	22	10月8日	本学Webサイト	天文学講座第2回「太陽フレアと恒星スーパーフレア」開催
	23	11月21日	本学Webサイト	『リビング京都』掲載 冬の星座特集で神山天文台が紹介
	24	12月2日	本学Webサイト	クリスマス特別講演会「古墳天井に星が輝く—キトラ天文図」
	25	12月14日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 クリスマス特別講演会「古墳天井に星が輝く—キトラ天文図」のご案内
	26	12月24日	本学Webサイト	神山天文台 クリスマス特別講演会を開催
	27	1月16日	本学Webサイト	新星爆発は煤(すす)だらけ？
	28	1月18日	本学Webサイト	WINEREDが南天へ！—ヨーロッパ南天天文台と神山天文台の間で研究協力に関する覚書—
	29	1月24日	本学Webサイト	超小型探査機が彗星の水のなぞを解明
	30	2月6日	本学Webサイト	神山天文台サポートチームに京都はぐくみ憲章「実践継続推進者部門 (10周年特別部門)」で感謝状が贈呈
	31	2月11日	大学プレスセンター	京都産業大学神山天文台「ワインレッド」が南天へ！ヨーロッパ南天天文台ESOのLa Silla天文台と研究協力に関する覚書
	32	2月21日	本学Webサイト	理学部×神山天文台 特別企画 天文を学んで働くには？
	33	3月17日	本学Webサイト	天文学講座第3回「南天の星空を目指して～WINERED in Chile～」開催
	34	3月21日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 天文学講座 第3回「南天の星空を目指して～WINERED in Chile～」開催
	35	3月25日	本学Webサイト	神山天文台 天文学講座第3回を開催
平成29年度 (2017)	1	4月6日	本学Webサイト	インドネシア・国立バンドン工科大学と神山天文台の国際協力で新星爆発に関する研究成果
	2	4月6日	本学Webサイト	インドネシア・国立バンドン工科大学と神山天文台の国際協力で新星爆発に関する研究成果
	3	4月17日	本学Webサイト	京都産業大学卒業生の名前が星の名に！(11457) Hitomikobayashi/(11809) Shinnaka 国際天文学連合より発表
	4	4月17日	本学Webサイト	本学卒業生の名前が小惑星に！
	5	5月10日	本学Webサイト	天文学講座第1回「探査機が見た太陽系天体たち」開催
	6	5月22日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 天文学講座 平成29年度第1回「探査機が見た太陽系天体たち」開催
	7	6月13日	本学Webサイト	全国同時七夕講演会2017「天の川と超巨大質量ブラックホール」
	8	7月3日	本学Webサイト	学外・国外からもさまざまな人材が集う神山天文台—京都産業大学生が中心となって、新たな価値を生み出していく
	9	7月3日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 全国同時七夕講演会2017「天の川と超巨大質量ブラックホール」を開催
	10	7月5日	本学Webサイト	GSC×神サポ～Miracle of Milky way～開催 (7月5日)
	11	7月8日	本学Webサイト	神山天文台 全国同時七夕講演会2017「天の川と超巨大質量ブラックホール」を開催
	12	9月1日	本学Webサイト	神山天文台マスコットキャラクター ほしみ～ちゃん®のLINEスタンプができました！
	13	11月7日	本学Webサイト	天文学講座第2回「宇宙の果ての銀河地図」開催
	14	11月24日	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台 天文学講座平成29年度第2回「宇宙の果ての銀河地図」開催
	15	12月2日	本学Webサイト	神山天文台 天文学講座第2回を開催
	16	2月22日	本学Webサイト	第8回天体天文学宇宙教室の開催 (岩倉冬イベント)
	17	2月22日	本学Webサイト	天文学講座第3回「惑星間ダスト～塵もつもれば○○となる!?～」開催
	18	3月11日	本学Webサイト	「さじアストロパークキャリア実習」実施報告 (理学部生および神山天文台サポートチームの学生研修に参加)
	19	3月19日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台主催 天文学講座 第3回「惑星間ダスト～塵もつもれば○○となる!?～」開催

資料5 平成25(2013)年度～令和3(2021)年度 Webサイト等掲載記事一覧

年度(西暦)	No (年度毎)	日付	Webページ名	タイトル
平成30年度 (2018)	1	4月23日	本学Webサイト	爆発を繰り返す天体「回帰新星」に迫る!
	2	4月24日	本学Webサイト	天文学講座 第1回「彗星と海、そして生命」開催
	3	5月4日	本学Webサイト	堺市教育文化センター「ソフィア・堺」で星空解説を行いました
	4	5月8日	本学Webサイト	バンドン工科大学 × 神山天文台 小型分光器論文を出版
	5	5月10日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台主催 天文学講座 第1回「彗星と海、そして生命」開催
	6	5月19日	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第1回天文学講座を開催
	7	5月25日	本学Webサイト	神山天文台研究員らのチームが「近赤外線波長域における地球大気吸収線の精密補正」を可能に
	8	6月6日	大学プレスセンター	近赤外線波長域における地球大気吸収線の精密補正を可能に 京都産業大学
	9	6月26日	本学Webサイト	第2回 天文学講座 /全国同時七夕講演会「火星移住とその先にあるもの」開催
	10	7月3日	大学プレスセンター	学外・国外からもさまざまな人材が集う神山天文台—京都産業大学生が中心となって、新たな価値を生み出していく
	11	7月5日	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台サポートチーム・天文同好会 共同主催 「夏の夜空のビッグフェス!〜七夕の宙に思いを馳せて〜」開催
	12	7月13日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 天文学講座 全国同時七夕講演会 第2回「火星移住とその先にあるもの」開催
	13	7月21日	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第2回天文学講座を開催
	14	9月3日	本学Webサイト	神山天文台の新中 善晴研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明
	15	9月3日	本学Webサイト	ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの素顔に迫る!
	16	9月12日	本学Webサイト	死にゆく大質量星が星のごく近くに作る衝撃波を発見
	17	9月14日	大学プレスセンター	京都産業大学 神山天文台の新中 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェートの惑星表面を解明
	18	9月27日	大学プレスセンター	死にゆく大質量星が星のごく近くに作る衝撃波を発見 -- 京都産業大学
	19	10月9日	本学Webサイト	神山天文台が明らかにする新星爆発の姿
	20	11月1日	本学Webサイト	爆発的な増光をしたホームズ彗星は太陽から遠く冷たい場所で誕生した
	21	11月8日	本学Webサイト	第3回天文学講座「宇宙の謎 なぜ私たちはここにいるのか?」開催
	22	11月9日	京都産業大学×ナショナルジオグラフィック【Re:世の	Re: 宇宙 5500光年も離れた「死にゆく星」からのサイン そのカギは「赤外線高分散分光」。世界最先端の天文観測装置が、星の終焉を受け止める。
	23	11月22日	大学プレスセンター	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす! ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 -- 京都産業大学
	24	11月27日	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラボ (LIH) が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	25	12月10日	京都産業大学×ナショナルジオグラフィック【Re:世の	Re: スペクトル 星の「七色」から組成物質を突き止める途程を担う「吸収線」が解き明かされた 近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログが、世界で初めて公開された
	26	12月11日	大学プレスセンター	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラボ (LIH) が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	27	12月22日	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第3回天文学講座を開催
	28	1月10日	京都産業大学×ナショナルジオグラフィック【Re:世の	Re: 彗星 彗星は、太陽系の過去の情報を内に秘めた化石!? 爆発的な増光をしたホームズ彗星は太陽から遠く冷たい場所で誕生した
	29	1月29日	本学Webサイト	小型望遠鏡で捉えた太陽系最果てにある小天体の影
	30	1月29日	本学Webサイト	史上初、太陽系の果てに極めて小さな原始天体を発見—宮古島の小さな望遠鏡が太陽系誕生の歴史と彗星の起源を明らかに—
	31	2月15日	本学Webサイト	神山天文台、古典新星V339 Del爆発の見えない姿を世界で初めて暴く!
	32	2月26日	大学プレスセンター	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	33	2月27日	本学Webサイト	第4回天文学講座「望遠鏡で拡大しても見えない星の姿を見るには?」開催
	34	3月23日	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第4回天文学講座を開催
平成31/令和 元年度 (2019)	1	4月26日	本学Webサイト	第1回天文学講座「京都産業大学が明らかにしたいるか座新星」開催
	2	5月25日	本学Webサイト	神山天文台 令和元年度第1回天文学講座を開催しました
	3	6月17日	本学Webサイト	KBS京都「谷口流々」に神山天文台 河北 秀世 台長が出演予定
	4	6月21日	本学Webサイト	神山天文台の研究チームが参加するコメット・インターセプター彗星探査計画が欧州宇宙機関の新しい探査計画に選ばれました
	5	6月21日	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台の研究チームが参加する宇宙探査計画が、欧州宇宙機関 (ESA) に唯一採択! 世界初の探査機搭載観測により、太陽系の起源の究明を目指す
	6	6月26日	本学Webサイト	第2回天文学講座 /全国同時七夕講演会「ブラックホール初撮影の衝撃と今後の展望」開催
	7	7月1日	本学Webサイト	神山天文台とインドネシア・バンドン工科大学による国際共同研究の成果: 特異な爆発を示した古典新星ASASSN-17hx
	8	7月19日	本学Webサイト	史上初めて撮影されたブラックホールの魅力に迫る 神山天文台 天文学講座開催
	9	7月20日	本学Webサイト	オランダの大学の学生達が海外研修で本学理学部、神山天文台を訪れました
	10	7月27日	本学Webサイト	神山天文台 令和元年度第2回天文学講座「ブラックホール初撮影の衝撃と今後の展望」を開催しました
	11	8月9日	京都産業大学×ナショナルジオグラフィック【Re:世の	Re:宇宙探査 彗星の飛来を待ち構えろ! 彗星、観測大作戦。神山天文台の研究チームが参加するコメット・インターセプター彗星探査計画
	12	8月23日	本学Webサイト	星間分子の近赤外吸収バンドを用いた星間物質の温度・密度の精密測定手法の確立
	13	9月6日	本学Webサイト	神山天文台の新井 彰 研究員と新中 善晴 嘱託職員がイタリアで開催された研究会“The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects V”にて招待講演を行いました
	14	11月11日	本学Webサイト	荒木望遠鏡がとらえたポリソフ彗星
	15	11月19日	本学Webサイト	ジャコビニ・ツィナー彗星から複雑な有機物由来の赤外線輝線バンドを検出
	16	11月19日	本学Webサイト	第3回天文学講座「ガリレオの冒険 - 宇宙をめぐる科学と人をめぐる学問 -」開催
	17	11月28日	本学Webサイト	星形成過程における質量流出プロセスと原始惑星系円盤進化との関係性を発見
	18	12月13日	本学Webサイト	ガリレオが愛したイタリア文学から宇宙を紐解く! 神山天文台 天文学講座開催
	19	12月25日	本学Webサイト	神山天文台 令和元年度第3回天文学講座「ガリレオの冒険 - 宇宙をめぐる科学と人をめぐる学問 -」を開催しました
	20	1月9日	本学Webサイト	宇宙の錬金術を観察するためのカギを赤外線域で発見~中性子捕獲元素によって近赤外線に現れる吸収線の多くを観測的に同定~
	21	1月9日	本学Webサイト	宇宙の錬金術を観察するためのカギを赤外線域で発見~中性子捕獲元素によって近赤外線に現れる吸収線の多くを観測的に同定~
	22	3月18日	本学Webサイト	神山天文台 天文台カードを配布開始
	23	3月26日	本学Webサイト	アトラス彗星は大彗星になるか?
令和2年度 (2020)	1	2020/4/14	本学Webサイト	オーロラの光から彗星の起源を探る! ジャコビニ・ツィナー彗星が誕生した環境を解明
	2	2020/4/14	本学Webサイト	オーロラの光で探るジャコビニ・ツィナー彗星誕生の現場
	3	2020/4/20	本学Webサイト	続報: アトラス彗星は大彗星になるか?
	4	2020/5/12	本学Webサイト	おうちで天文を楽しもう! 神山天文台がライブ配信による天文イベントを開催
	5	2020/5/12	本学Webサイト	おうち時間を天体観望で楽しもう! 神山天文台がライブ配信による天文イベントを初開催
	6	2020/5/14	本学Webサイト	神山天文台 天体観望会をWEB配信し金星を観望しました
	7	2020/5/22	大学プレスセンター	京都産業大学神山天文台がYouTubeライブによる天文イベントを初開催!
	8	2020/6/12	本学Webサイト	部分日食をみんなで観測しよう! 神山天文台がライブ配信による天文イベントを開催

資料5 平成25(2013)年度～令和3(2021)年度 Webサイト等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	Webページ名	タイトル	
令和2年度 (2020)	9	2020/6/13	本学Webサイト	神山天文台 部分日食を楽しもう！WEB講座を配信しました	
	10	2020/6/21	大学プレスセンター	京都産業大学神山天文台が部分日食をテーマに天文学講座をライブ配信！	
	11	2020/6/29	本学Webサイト	七夕伝説に登場する天の川の正体とは？神山天文台が天文イベントを開催	
	12	2020/7/13	本学Webサイト	七夕をテーマにWEB天体観望会と天文学講座をライブ配信！	
	13	2020/7/27	本学Webサイト	ペルセウス座流星群の活動のピークに合わせて流星群の観察のコツなどを徹底解説！神山天文台8月WEB天文学講座を開催	
	14	2020/7/31	大学プレスセンター	【京都産業大学】七夕伝説に登場する天の川の正体とは？神山天文台が七夕をテーマに、天文イベントをライブ配信！	
	15	2020/8/3	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台×ニコニコ生放送 次に観測できるのは6700年後！？話題のネオワイス彗星の観望イベントを開催	
	16	2020/9/1	本学Webサイト	神山天文台 開設10周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」	
	17	2021/10/9	本学Webサイト	京都産業大学理学部×ニコニコ生放送 火星が地球に大接近！赤い惑星の秘密に迫るWEBセミナーを開催	
	18	2020/10/12	本学Webサイト	神山天文台 開設10周年記念シンポジウム 彗星と小惑星の最前線を解説！「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」開催	
	19	2020/10/21	本学Webサイト	神山天文台 開設10周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をオンラインでライブ配信しました	
	20	2020/11/6	本学Webサイト	小惑星リュウグウの欠片がいよいよ地球に帰ってきます	
	21	2020/12/2	本学Webサイト	天文学で探る鉄の起源—100億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功	
	22	2021/12/2	本学Webサイト	天文学で探る鉄の起源—100億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功	
	23	2020/12/7	本学Webサイト	おかえり！はやぶさ2 帰還直前にははやぶさ2とカプセルを撮影しました	
	24	2020/12/9	大学プレスセンター	【京都産業大学】彗星と小惑星の最前線を解説！神山天文台開設10周年記念シンポジウム「彗星×小惑星～太陽系の起源を探る～」をライブ配信	
	25	2020/12/18	大学プレスセンター	【京都産業大学】天文学で探る鉄の起源-100億年前の宇宙における鉄の存在量の推定に成功-米国学術雑誌The Astrophysical Journal (オンライン版)に掲載	
	26	2021/1/9	本学Webサイト	宇宙の錬金術を観察するためのカギを赤外線域で発見～中性子捕獲元素によって近赤外線に現れる吸収線の多くを観測的に同定～	
	27	2021/1/12	大学プレスセンター	【京都産業大学】天体を見ながら太陽系惑星を解説！神山天文台WEB天体観望会「惑星大集合！」開催	
	28	2021/2/2	本学Webサイト	特殊な低温度新星爆発を発見：カシオペア座新星2020 (V1391 Cas) において炭素分子とシアンラジカル分子の検出	
	29	2021/2/2	本学Webサイト	カシオペア座の新星では世界初！太陽系起源の解明につながる特殊な低温度新星爆発を発見	
	30	2021/2/12	大学プレスセンター	【京都産業大学】太陽系起源の解明につながる特殊な低温度新星爆発を発見	
	31	2021/2/19	本学Webサイト	WEB天文学講座「はやぶさ2の旅 地球のような星は他に？」開催	
	32	2021/3/1	本学Webサイト	太った星の体温測定—爆発前の超巨大星の表面温度を正確に測定することに成功	
	33	2021/3/1	本学Webサイト	太った星の体温測定 爆発前の超巨大星の表面温度を正確に測定することに成功	
	34	2021/3/9	本学Webサイト	はやぶさ2プロジェクトの最新研究に迫る！京都産業大学神山天文台WEB天文学講座開催	
	35	2021/3/15	大学プレスセンター	【京都産業大学】太った星の体温測定→爆発前の超巨大星の表面温度を正確に測定することに成功→英国学術雑誌Monthly Notices of the Royal Astronomical Societyに掲載	
	36	2021/3/18	本学Webサイト	神山天文台 WEB天文学講座「はやぶさ2の旅 地球のような星は他に？」をライブ配信しました	
	37	2021/3/25	本学Webサイト	「日経サイエンス」に神山天文台長のインタビュー記事が掲載されました	
	令和3年度 (2021)	1	2021/4/6	本学Webサイト	ベールに隠された彗星核の観測に成功：パンスタース彗星 (P/2016 BA14 (PANSTARRS)) の熱履歴を解明
		2	2021/4/23	本学Webサイト	神山天文台 学内観望会を開催しました
		3	2021/4/26	大学プレスセンター	【京都産業大学】ガスダストで覆われている彗星核の観測に成功 パンスタース彗星の熱履歴を解明→米国際惑星科学誌「Icarus (イカルス)」(オンライン版)に掲載
		4	2021/5/6	本学Webサイト	おうちで天文を楽しもう！神山天文台による天文イベントのライブ配信
		5	2021/5/7	本学Webサイト	皆既月食のオンライン配信のお知らせ
		6	2021/5/19	本学Webサイト	WEB天体観望会『皆既月食ライブ』
		7	2021/5/26	本学Webサイト	近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
		8	2021/6/11	大学プレスセンター	【京都産業大学】近赤外線波長における原子吸収線カタログを作成し、恒星の元素組成を高精度に測定
9		2021/6/30	本学Webサイト	神山天文台長が出演したKBSテレビ『谷口流々』が書籍になりました	
10		2021/7/2	本学Webサイト	史上初めて彗星活動を示した恒星間天体ボリソフ彗星の起源は太陽系と似ていた	
11		2021/7/7	本学Webサイト	神山天文台の研究者らが明らかにした新星爆発によるリチウム生成量の多様性	
12		2021/7/8	本学Webサイト	神山天文台 学生と協力したオリジナルマスクが完成！	
13		2021/7/15	大学プレスセンター	【京都産業大学】神山天文台は国立天文台との共同研究により、新星爆発によるリチウム生成量の多様性の解明に成功→米天体物理学誌「The Astrophysical Journal」に掲載決定	
14		2021/8/20	本学Webサイト	【来場型】天体観望会を開催します (2021年8月21日)	
15		2021/11/25	本学Webサイト	神山天文台 部分月食観望会を開催しました	
16		2021/11/29	本学Webサイト	【来場型】天体観望会を開催します (2021年11月13日・11月27日・12月11日・12月25日)	
17	2021/12/1	本学Webサイト	【来場型イベント】「星を探しに in 神山天文台」を開催します (2022年1月29日)		
18	2022/1/27	本学Webサイト	開催中止 (1月29日) 【来場型】天体観望会を開催します (1月22日・29日)		
19	2022/2/22	本学Webサイト	天文学講座「彗星 (ほうきぼし) を待ちぶせろ！」		
20	2022/2/22	本学Webサイト	【オンライン開催】天体観望会を開催します (2022年3月5日)		
21	2022/2/24	本学Webサイト	彗星 (ほうきぼし) を待ち伏せて太陽系誕生の謎を明らかに。欧州宇宙機関「コメットインターセプター計画」の主要メンバーである 河北秀世 神山天文台長が天文学講座で解説		
22	2022/3/8	本学Webサイト	【来場型イベント】「星を探しに in 神山天文台」を開催します (2022年4月9日)		
23	2022/3/9	本学Webサイト	神山天文台 卒業式特別開館のご案内		

資料6 神山天文台サポートチーム* 学会等発表のあゆみ

* 平成23年度に「神山天文台ボランティアチーム」として立ち上げ、平成27年度から「神山天文台サポートチーム」に改称

平成23(2011)年度

1. 平成23年11月27日(日) 天文教育普及研究会 近畿支部会

(1) 会場：京都産業大学 神山天文台 サギタリウスホール

(2) メインテーマ：大学での天文教育のニューウエーブ

(3) 発表等：

① 台長挨拶

河北 秀世 (京都産業大学 神山天文台)

② 「神山天文台における普及教育活動」

中道 晶香 (京都産業大学 神山天文台)

③ 「神山天文台ボランティアチーム半年間の歩み」

鈴木 杏那、松崎 玖美 (京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム)

④ 「神山天文台学生補助員の紹介 ～補助員としての自分～」

小山 直輝 (京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム)

平成24(2012)年度

1. 平成24年8月5日(日) — 7日(火) 第26回天文教育研究会・年会

(1) 会場：和歌山大学

(2) メインテーマ：天文教育の温故知新

(3) 発表等：

① 「誤解だらけの天文学史～古代インドの宇宙観を例に」

廣瀬 匠 (京都大学)

※ 廣瀬氏は本学の大学院修士課程修了、それまで2年間を補助員として観望会等で活躍していたため、参考として記載

② 「京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム 試行錯誤の1年目を終えて2年目へ」

近本 衛 (京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム)

2. 平成24年11月18日 天文教育普及研究会 近畿支部会

(1) 会場：琵琶湖博物館 セミナー室

(2) メインテーマ：科学館や博物館等と学校教育の連携

(3) 発表等：

① 「京都産業大学神山天文台の『天文を伝える』実践教育」

中道 晶香 (京都産業大学 神山天文台)

② 「神山天文台ボランティアチームのあゆみ」

近本 衛、鈴木 杏奈 (京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム)

平成25(2013)年度

1. 平成25年8月18日(日) — 20日(火) 第27回天文教育研究会

- (1) 会場：山口県教育会館 5 階
- (2) メインテーマ：学校での天文教育を考える ～連携の時代を迎えて～
- (3) 発表等：
 - ① 「大学の天文台で「天文学を伝える」学生を育成する」
吉川 智裕（京都産業大学 神山天文台）

2. 平成 25 年 12 月 1 日(日) 天文教育普及研究会 近畿支部会

- (1) 会場：京都大学 理学研究科セミナーハウス
- (2) メインテーマ：SNS とモバイルツールを天文普及に使いこなそう
- (3) 発表等：
 - ① 「冒頭のご挨拶」
近畿支部長 中道 晶香（京都産業大学 神山天文台）
 - ② 「140 文字の天文コミュニケーション（基調講演（招待講演）」
廣瀬 匠（京都大学・星のソムリエ京都）
 - ③ 「学生ボランティアによる神山祭向け天文台公開イベント」
竹中 慶一（京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム）
 - ④ 「インターネットを使った天文教育～アストロ・アカデミアの事例～」
小林 仁美（LLP 京都虹光房）
※ 小林氏は、本学補助員 OG のため参考として記載

平成 26（2014）年度

1. 平成 26 年 8 月 10 日(日) — 12 日(火) 第 28 回天文教育研究会

- (1) 会場：東京学芸大学
- (2) メインテーマ：天文教育普及活動の次の一步を探る
- (3) 発表等：
 - ① 「学生ボランティアによる学内観望会」
塩谷 葵（京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム）
 - ② パネルディスカッション パネラー学生代表に選出
竹中 慶一（京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム）

平成 27（2015）年度

1. 平成 27 年 8 月 19 日(水) — 21 日(金) 第 29 回天文教育研究会

- (1) 会場：北海道大学 百年記念会館
- (2) メインテーマ：地域とはぐくむ新しい天文コミュニティーの形
～学び・文化・人～
- (3) 発表等：
 - ① 「市民・大学生・大学の 3 者にメリットをもたらす社会貢献とは」
中道 晶香（京都産業大学 神山天文台）

平成 28（2016）年度

1. 平成 28 年 8 月 21 日(日) — 23 日(火) 第 30 回天文教育研究会

- (1) 会場：東北大学 理学部 青葉サイエンスホール
- (2) メインテーマ：天文教育で日本を元気にする～宇宙と親しみ、人とつながる～
- (3) 発表等：
 - ① 「神山天文台サポートチーム ～5年間の活動とこれからの展望～」
坂部 健太（京都産業大学 神山天文台サポートチーム）

2. 平成 28 年 11 月 20 日(日) 天文教育普及研究会 近畿支部会

- (1) 会場：京都教育大学 藤森キャンパス
- (2) メインテーマ：ものづくりと天文教育
- (3) 発表等：
 - ① 「遊んで学べる天文グッズ ～製作と使用例～」
小坂 美紀、塩谷 葵（京都産業大学 神山天文台サポートチーム）

平成 29 (2017) 年度

1. 平成 29 年 8 月 6 日(日) — 8 日(火) 第 31 回天文教育研究会

- (1) 会場：西本願寺 聞法会館
- (2) メインテーマ：アクティブ・ラーニングで天文教育・普及
～主体的・対話的で深い学びを目指して～
- (3) 発表等：
 - ① 「京都産業大学 神山天文台の学校利用」
中道 晶香（京都産業大学 神山天文台）
 - ② 「神山天文台サポートチームの活動事例紹介」
阪本 麻裕（京都産業大学 神山天文台サポートチーム）

平成 30 (2018) 年度

1. 平成 30 年 8 月 5 日(日) — 7 日(火) 2018 年日本天文教育普及研究会年会

- (1) 会場：慶応大学 日吉キャンパス
- (2) メインテーマ：みんなで楽しむ天文・宇宙
- (3) 発表等：
 - ① 「神山天文台天体観望会の観望天体のライブ上映について」
村井 太一（京都産業大学 神山天文台サポートチーム OB）

2. 平成 30 年 12 月 15 日(土) 日本天文教育普及研究会 近畿支部会

- (1) 会場：東播磨生活創造センター かこむ
- (2) メインテーマ：教養と天文
- (3) 発表等：
 - ① 「神山天文台サポートチームの活動事例紹介」
阪本 麻裕（京都産業大学 神山天文台サポートチーム）

平成 31/令和元 (2019) 年度

1. 令和元年8月18日(日)ー20日(火) 第33回日本天文教育研究会
 - (1) 会場：長野県志賀レークホテル
 - (2) メインテーマ：「若い世代が考える天文教育」
 - (3) 発表等：
 - ① 「天文台で活動する大学生の意識調査」
阪本 麻裕 (京都産業大学 神山天文台サポートチーム)

2. 令和元年11月24日(日) 日本天文教育普及研究会 近畿支部会
 - (1) 会場：大阪市立科学館
 - (2) メインテーマ：「若いからできる 社会とつながる天文活動」
 - (3) 発表等：
 - ① 若手企画グループのメンバーとして企画運営に携わり、第一部の司会進行を担当。
阪本 麻裕 (京都産業大学 神山天文台サポートチーム)

令和2 (2020) 年度

1. 令和2年11月29日(日) 日本天文教育普及研究会近畿支部会
 - (1) 会場：オンライン
 - (2) メインテーマ：「オンラインでの天文教育普及、その課題と未来」
 - (3) 発表等：
 - ① 「コロナ禍における神山天文台サポートチームの活動について」。
小田 純之介 (京都産業大学 神山天文台サポートチーム)

令和3 (2021) 年度

なし

以 上

京都産業大学 神山天文台
2021年度 年報

発行者 京都産業大学 神山天文台

住 所 〒603-8555 京都市北区上賀茂本山

TEL.075-705-3001

発行日 2023年3月20日

印 刷 株式会社 北斗プリント社



むすんで、うみだす。

京都産業大学