

タイトル

ジャコビニ・ツィナー彗星でダストは崩壊していなかった～特異な彗星の新たな素顔が偏光撮像観測で明らかに～

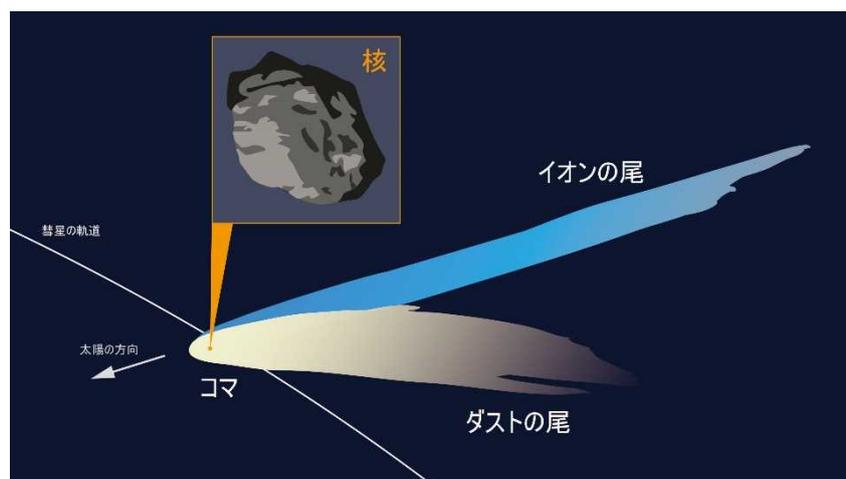
概要

ジャコビニ・ツィナー彗星が 2018 年に地球に接近した際、新中善晴氏(京都産業大学研究機構)・河北秀世教授(同理学部・神山天文台長)らの研究グループは、独自に開発した偏光撮像装置を用いて観測を行いました。このたびそのデータを詳細に解析したところ、この彗星に含まれているダスト(塵)について、その粒子サイズの分布が彗星コマの中の位置によらず均一であることが明らかになりました。これはコマの中でダストが大規模に崩壊していないことを示しています。この彗星のダストには有機分子が豊富に含まれると推定され、この場合、彗星コマ環境では崩壊しにくい一方で、この彗星から放出されたダストが起源とされる 10 月りゅう座流星群の流星体が、大気飛翔中の発光の途中でバラバラになりやすい特徴も説明できる成果です。

本研究の成果は 2023 年 7 月 17 日、米国天文学会誌 The Planetary Science Journal (オンライン版)を通じて出版される予定です。

研究背景

彗星や小惑星をはじめとする太陽系小天体は「太陽系の化石」と呼ばれています。小天体は太陽系誕生時の情報をそのまま真空パックの状態で保持しているタイムカプセルで、当時の環境を解明する手がかりを得られる資料です。太陽系誕生の初期に、太陽の周囲をガスや氷、ダストから成る円盤(原始太陽系円盤)が取り巻いていました。小惑星、彗星、そして惑星がこの円盤の中で誕生しました。彗星の核は氷とダストから成りますが、氷の組成比は彗星によって異なり、彗星が多様な環境で誕生したことを裏付けています[図 1]。原始太陽系円盤にあったダストも彗星に含まれていますので、彗星のダストを観測・分析することで、彗星の誕生プロセスはもちろん原始惑星系円盤における微惑星の成長メカニズムも明らかにできると期待されています。



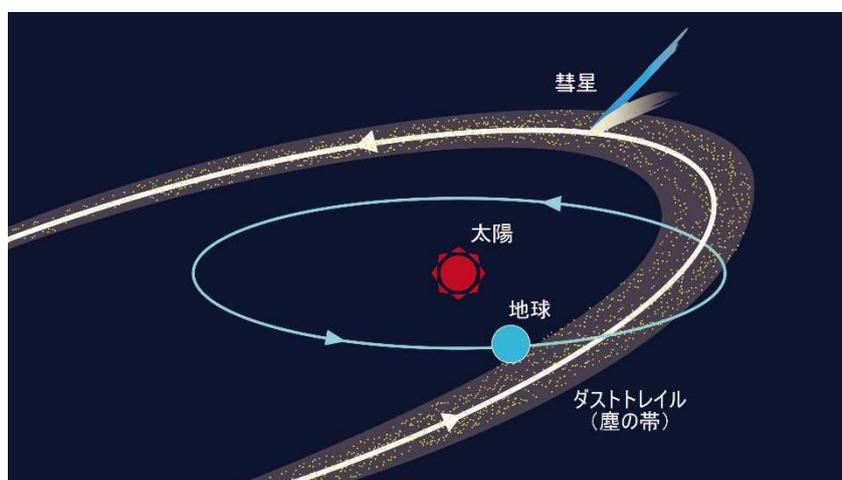
[図 1] 彗星の模式図

(別紙)

新中善晴氏(京都産業大学研究機構)らを中心とする研究グループは2018年、ジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)が地球に接近した観測機会をとらえて、今回報告する偏光観測をはじめ中間赤外線観測、可視光高分散分光観測など多岐にわたる観測を行いました。観測対象となったこの彗星は天文学者の中で変わり種として知られており、ほかの彗星と異なる特殊な環境で形成された可能性が指摘されていました。その分光学的特性は「ジャコビニ・ツィナー型」と分類され、現在までに観測された全彗星の6%にすぎません。この「ジャコビニ・ツィナー型」は多くの彗星が共通して含む分子(C₂をはじめとする炭素を含む分子・NH₂・揮発性の高い分子)がいずれも欠乏しています。さらにジャコビニ・ツィナー彗星は、可視光連続光成分の偏光度*についても負の傾き(一般的な彗星は正の傾き)を示しています。

新中氏らが中間赤外線観測による成分分析を進めた結果、この彗星が高温環境下で生成しやすい複雑な有機分子を豊富に含んでいることが明らかになりました。さらに新中氏は可視光高分散分光観測の結果、昇華温度が低いCO₂の水分子に対する存在量比が小さいことを明らかにしました。これらはいずれも、この彗星が他の彗星よりも高温度の環境下で形成されたとする仮説を裏付けています。有機分子を豊富に含んでいることは2019年11月19日付で、CO₂の水分子に対する存在量比が小さいということは2020年4月14日付で、それぞれ神山天文台ニュースにて発信しました。

このジャコビニ・ツィナー彗星はまた、例年10月初旬に観測される「10月りゅう座流星群」の母天体と考えられています。過去にこの彗星が宇宙空間に放出した小石サイズのダストがダストトレイル(塵の帯)を形成し、地球の軌道とダストトレイルが交わったさいダストが地球大気に突入します[図2]。その際、大気との摩擦により発光し、流れ星(流星)として明るく輝くと考えられています。「10月りゅう座流星群」は流星発光中にバラバラになりやすいことが知られており、その流星体は多孔質でもろい物質であろうと考えられていました。このことからジャコビニ・ツィナー彗星から放出されるダストも壊れやすいのではないかと予想されていました。その一方、この彗星のダストの成分として有機分子が豊富に含まれていることが新中氏らの観測で明らかとなり、彗星コマ環境では壊れない可能性も浮上しました。ダストが壊れやすいのか壊れていないのか、この彗星については明らかになっていませんでした。

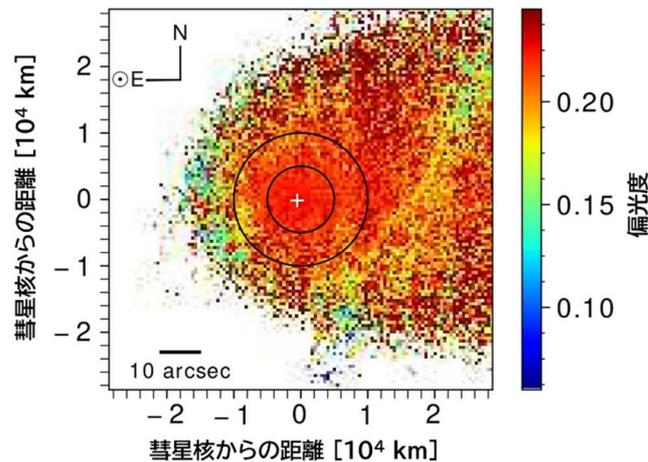


[図2]流星群と彗星の関係

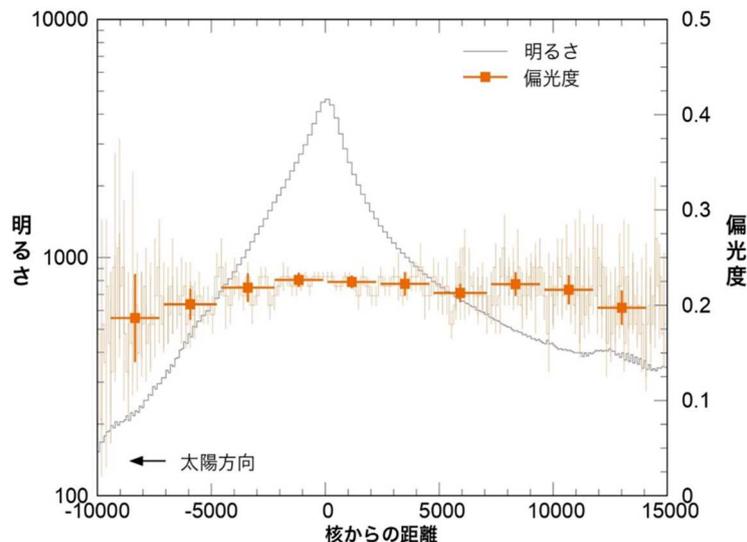
本研究内容と研究結果

新中氏は国立天文台の 50 センチ公開望遠鏡*に、新中氏らの研究グループが開発した偏光撮像装置(PICO)*を搭載し、ジャコビニ・ツィナー彗星を観測しました(観測日 2018 年 9 月 16 日)。この彗星に含まれるダストの性質を探るため偏光度の空間分布を取得することが目的です。

取得したデータの基礎的な解析において、均一な偏光度を示す可能性があることがわかりました。そこで、今回、ノイズ源となる彗星の背景を通過する星の影響を可能な限り取り除いたほか、核から離れて暗くなる(カウントが少ない)場所について特に丁寧に解析していきました。その結果、彗星核の中心から $>10,000$ km にわたって偏光度が変化していないことが明らかになりました[図 3][図 4]。これは彗星から放出されたダストの粒子サイズ分布がコマの場所によらず均一であり、ダストが大規模には崩壊していないことを示しています。この結果は、有機分子が豊富に含まれるダストは彗星コマ環境では崩壊しにくいという、これまでの研究で得られた知見を支持するものです。物質同士をくっつける”のり”として作用する有機分子は、彗星コマの環境下では昇華しにくいからです。



【図 3】ジャコビニ・ツィナー彗星の偏光度(神山天文台グループ : 2018/8/16 UTC)



【図 4】ジャコビニ・ツィナー彗星の偏光度の空間分布(同)

ジャコビニ・ツィナー彗星と「10 月りゅう座流星群」について

ジャコビニ・ツィナー彗星から放出されたダストが起源とされる「10 月りゅう座流星群」の流星体が大気飛翔中の発光途中でバラバラになりやすい特徴は、彗星コマで大規模なダスト崩壊は見られないという新中氏らの解析結果と一見矛盾するように思えます[図 5]。

しかしながらこの現象については、次のように解釈することで説明が可能です。すなわちダストの主成分が有機分子であった場合、コマ内の環境(最大で数百℃)では昇華しないのに対し、流星体であるダストが大気に突入するさいに最大で 10,000℃まで加熱されることから有機分子の昇華が起こって“のり”の作用が失われ、崩壊したという解釈です。



[図 5]10 月りゅう座流星群 (© Robin Lee via Getty Images)

今後の展望

2010 年代に入るとアルマ望遠鏡*やジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡*などが登場し、異なる惑星系の様々な進化段階についても詳細に観測できるようになってきています。太陽系の歴史を明らかにできる彗星は、太陽系の比較対象という観点からも研究対象としての存在感を高めています。彗星について偏光観測を行えば、本研究のように彗星ごとのダストの性質を明らかにできます。ジャコビニ・ツィナー彗星から検出された有機分子が他の彗星にも普遍的に存在するかについても、分析を深めることができます。こうした研究を足がかりとして、彗星ごとのダストの性質の違いや約 46 億年前の原始惑星系円盤中での微惑星形成プロセスの解明、他の惑星系との比較など、応用研究への幅広い展開が期待されます。

新中氏と河北秀世 教授(京都産業大学理学部・神山天文台長)は国内外の研究者と積極的に連携し、彗星を含む太陽系小天体の観測的研究を行っています。宇宙航空研究開発機構(JAXA)が欧州宇宙機関(ESA)と共同で進める彗星探査計画「コメット・インターセプター(2029 年打ち上げ予定)」(2019 年 6 月 21 日付・神山天文台ニュース)に参加するなどその研究は世界レベルです。

京都産業大学神山天文台は今後も太陽系小天体に関する研究を精力的に進め、太陽系を含む惑星系の多様性や物質の起源に迫っていきます。

論文情報

本研究成果は2023年7月17日にY. Shinnaka, H. Kawakita, H. Kobayashi, R. Furusho, J. Watanabe “Optical imaging polarimetry of comet 21P/Giacobini-Zinner during its 2018 apparition”として米国天文学会誌「The Planetary Science Journal」に掲載される予定です。

雑誌名	米国天文学会誌「The Planetary Science Journal」(オンライン版)
論文タイトル	Optical imaging polarimetry of comet 21P/Giacobini-Zinner during its 2018 apparition (21P/ジャコビニ・ツィナー彗星の2018年回帰の可視光偏光撮像)
著者	新中 善晴 (京都産業大学 研究機構) ※筆頭・責任著者 河北 秀世 (京都産業大学 理学部/神山天文台) 小林 仁美*(株式会社フォトクロス)*京都産業大学客員研究員 古荘 玲子 (都留文科大学/国立天文台) 渡部 潤一 (国立天文台)
雑誌名	米国天文学会誌「The Planetary Science Journal」(オンライン版)
掲載日	2023年7月17日
DOI	10.3847/PSJ/acdf49

謝辞

本研究は科研費「若手研究(課題番号:JP20K14541、研究代表者:新中善晴)」の支援により実施されました。

本研究で用いたデータの取得にあたって、本研究グループで開発した偏光撮像装置 PICO を国立天文台の50センチ公開望遠鏡に搭載しました。

用語説明**・偏光度**

太陽光をはじめとする自然光はあらゆる方向に振動しながら進みます(無偏光)。その一方、ガラスや水面などで反射した光、空気中の微粒子などに当たって錯乱した光は特定の方向へ振動しながら進みます。この現象を偏光と言います。偏光の偏りの割合を偏光度と呼びます。同一の性質を持つダストに入射した光が同一の角度で反射する場面では、光の波長域と、反射するダストの粒子サイズで偏光度が決まります。さらに波長が一定であれば、偏光度は粒子サイズによって変動します。従って、彗星のコマ中でダストが崩壊しより微小サイズの粒子が生成されることで、偏光度もコマの場所によって変化することが予想されます。

・[国立天文台 50 センチ公開望遠鏡](#)

国立天文台三鷹キャンパス内に設置された口径 50 センチの反射式望遠鏡。科学観測や天体画像の撮影に活躍するほか、定例観望会などでひろく親しまれています。

・偏光撮像装置(PICO)

河北秀世教授(本学理学部・神山天文台長)が池田優二氏(株式会社フォトクロス代表取締役、神山天文台客員研究員)らとともに、主に彗星の偏光度を高精度に測定する目的で開発しました。米国航空宇宙局(NASA)のディープ・インパクト計画で行われたテンペル第1彗星の核への衝突実験で放出されたダストの性質を明らかにしたり、JAXA の DESTINY+計画(2024 年打ち上げ予定)の探査対象である小惑星フェートンの表面のダストの性質を明らかにしたりするなど、様々な成果を出しています。

・アルマ望遠鏡

チリ共和国アタカマ砂漠の標高およそ 5,000m に建設された電波干渉計。2011 年に科学観測を開始し、日本を含む東アジア・北米・欧州・チリなど 22 の国・地域が協力して運用しています。従来のミリ波干渉計と比較して集光力や角度分解能に優れ、その角度分解能は人間の視力に例えれば 6,000 に相当します。太陽系外の惑星が誕生する現場や有機分子の探査、遠方の銀河系における恒星の誕生や進化などの観測成果を挙げています。

・ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡

NASA が中心となって開発した赤外線観測用宇宙望遠鏡。名称は NASA の第 2 代長官にちなんでいます。ハッブル宇宙望遠鏡の後継機として 2021 年に打ち上げられました。高解像度の赤外線画像センサーと分光器を搭載し、太陽系外の惑星について新たな知見が得られると期待されています。

関連リンク

- ・ [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\(神山天文台 2019 年 6 月 21 日ニュース\)](#)
- ・ [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\(神山天文台 2019 年 11 月 19 日ニュース\)](#)
- ・ [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\(神山天文台 2020 年 4 月 14 日ニュース\)](#)

【執筆: 榎澤徹郎 京都産業大学 URA(リサーチ・アドミニストレーター)】