

ごあいさつ

太陽系の誕生が今から約46億年前であることは、隕石の研究から明らかになりました。また、隕石中に様々な有機化合物が検出されており、地球外から生命起源物質が地球へもたらされた可能性は非常に高いと考えられています。本企画展では、隕石が持つ始原性に光を当て、とくに炭素質コンドライトを中心に紹介をしています。また、最も始原的なCIコンドライトは、小惑星探査機はやぶさ2が持ち帰った小惑星リュウグウのサンプルと驚くべき一致を示しています。これが何を意味するのか、将来の小惑星や彗星などのサンプルリターンミッションにかかる期待は大きいものとなっています。新たな時代を迎えている太陽系研究の一端を垣間見ていただければ幸いです。

京都産業大学

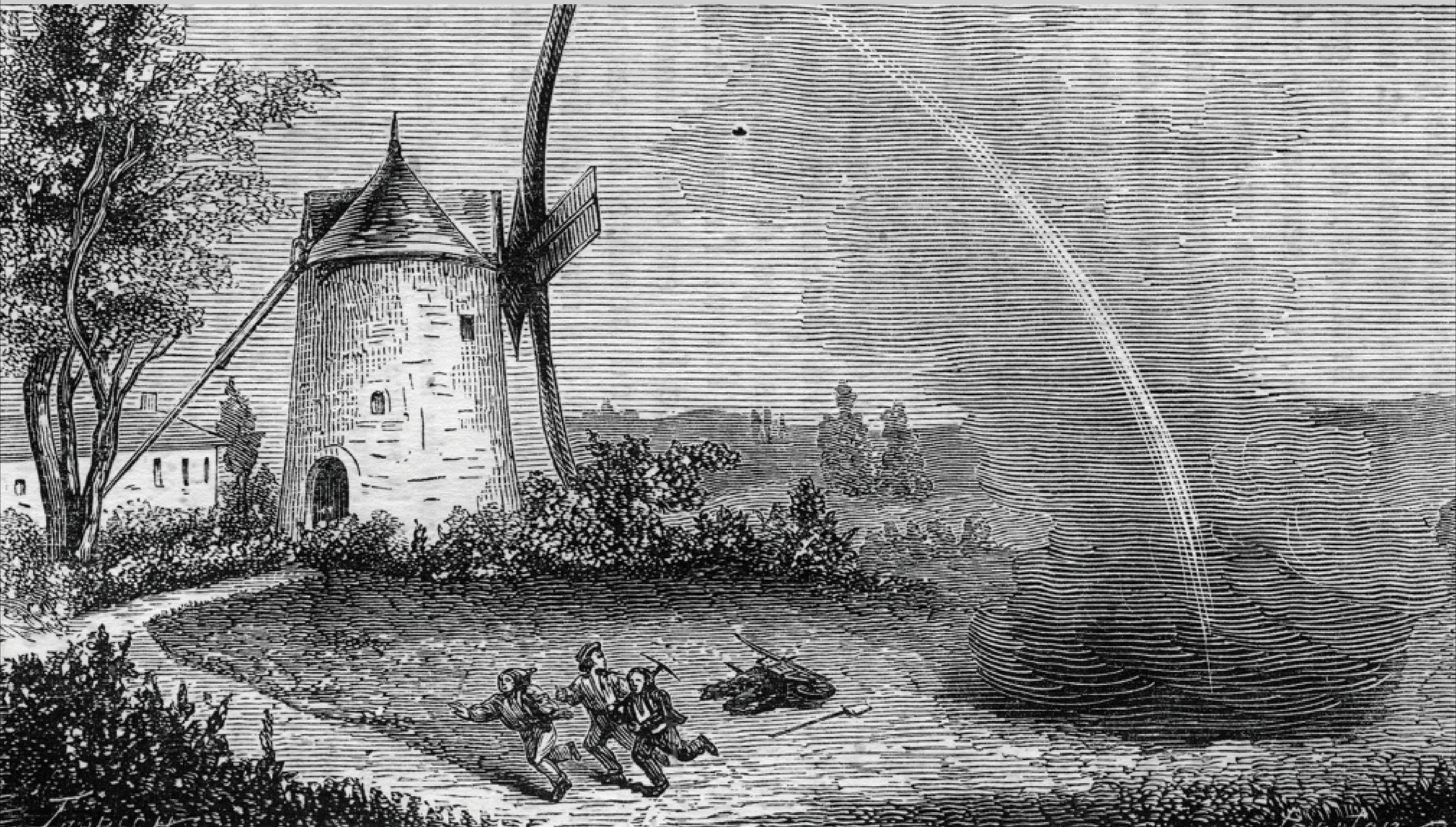
1章

さまざまな隕石

——空から石が降る。

古代からそうした不思議な現象が、多く語り継がれてきました。しかし、それが迷信ではなく事実と認識され、科学的な研究の対象となったのは、18世紀末以降のことです。

第1章では、空から地上に降る石「隕石」のさまざまな分類について見てみましょう。



さまざまな隕石

分化と未分化

隕石の多くは石質隕石に分類され、主にケイ酸塩鉱物などから構成される岩石質な隕石です。鉄隕石は鉄・ニッケル合金が主成分であり、石鉄隕石は鉄・ニッケル合金と岩石鉱物が混在した中間的な存在です。隕石に見られる様々な特徴は、隕石のもとになった物質の形成過程と関連があると考えられています。この観点から、元素組成が太陽に近い「未分化な隕石」と、比較的大きな母天体の破片に起源を持ち、化学組成に片寄りを示す「分化した隕石」に大きく分けることができます。



タルダ

資料との比較用の立方体:1×1×1cm



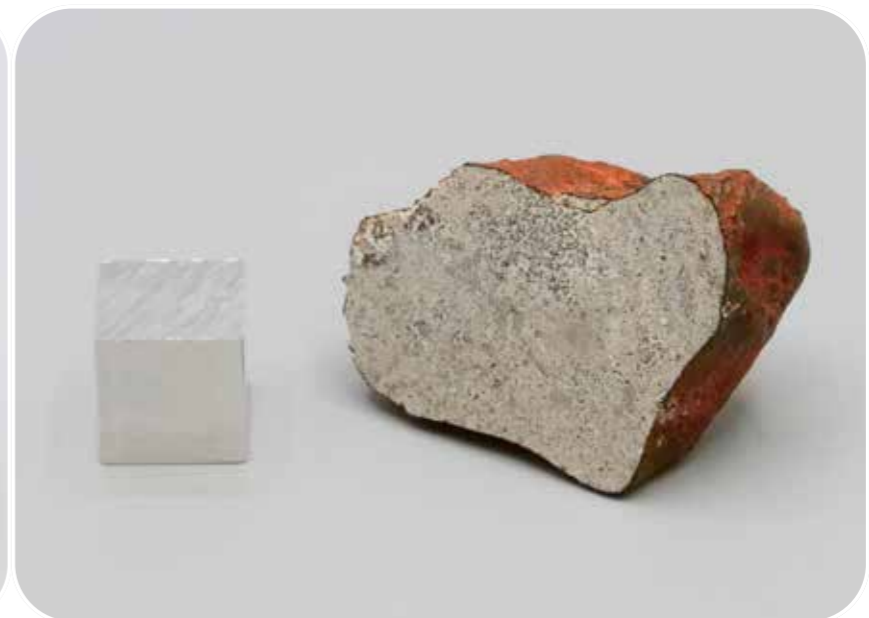
ジビルウィンズワン



キャニオンディアブロ



セリコ



ミルビリリ



アエンデ



マーチソン

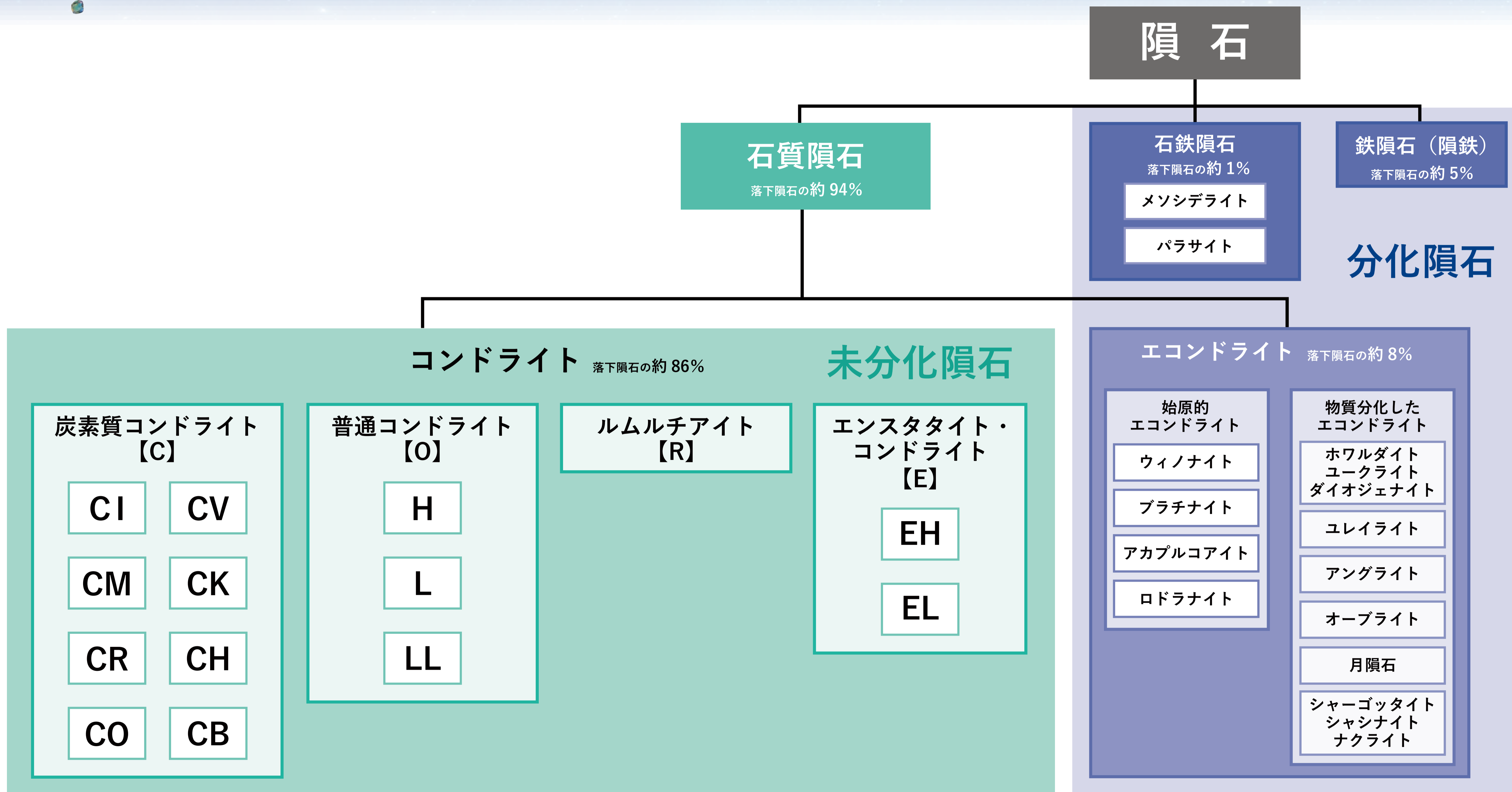
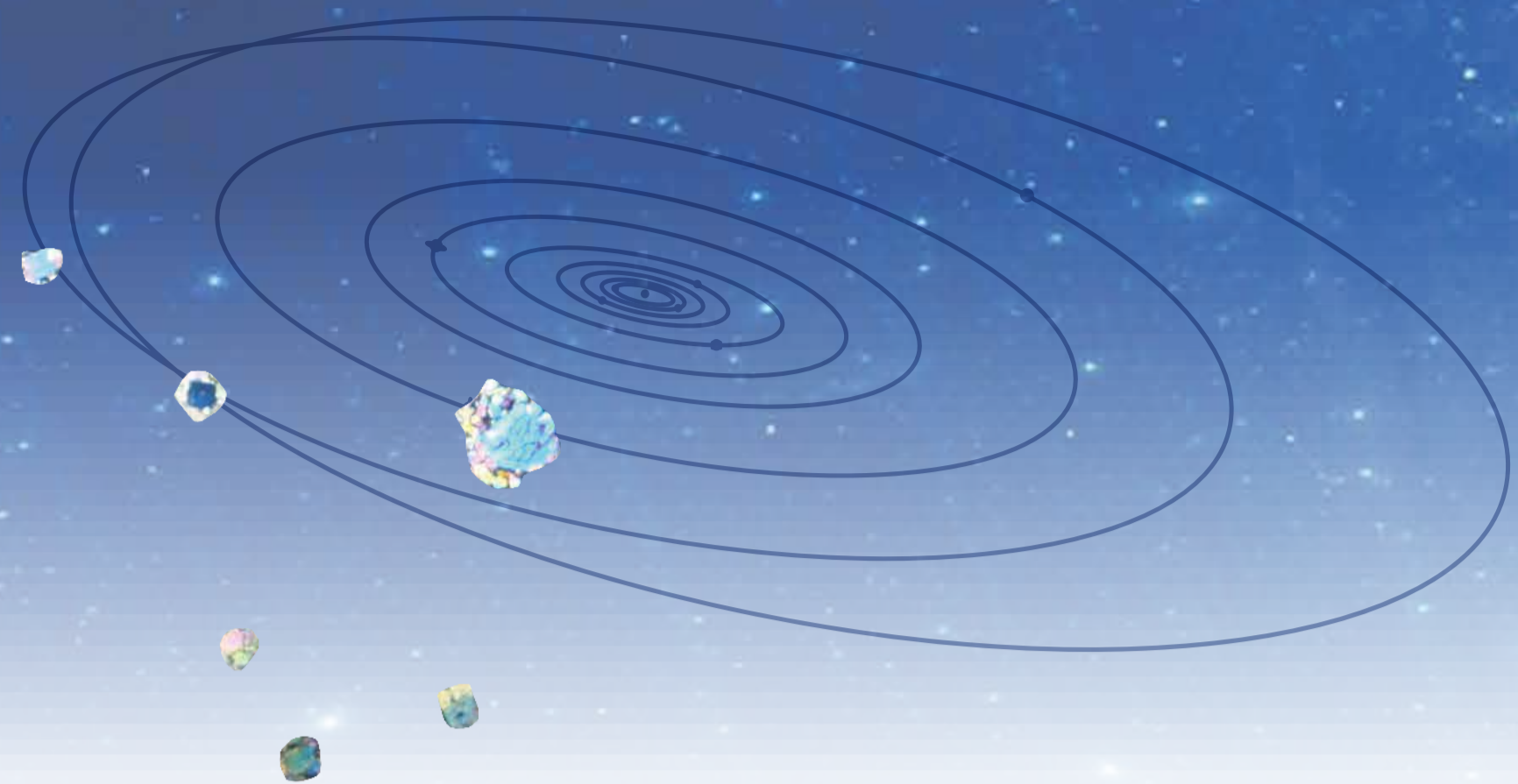


チェリャビンスク



ギベオン

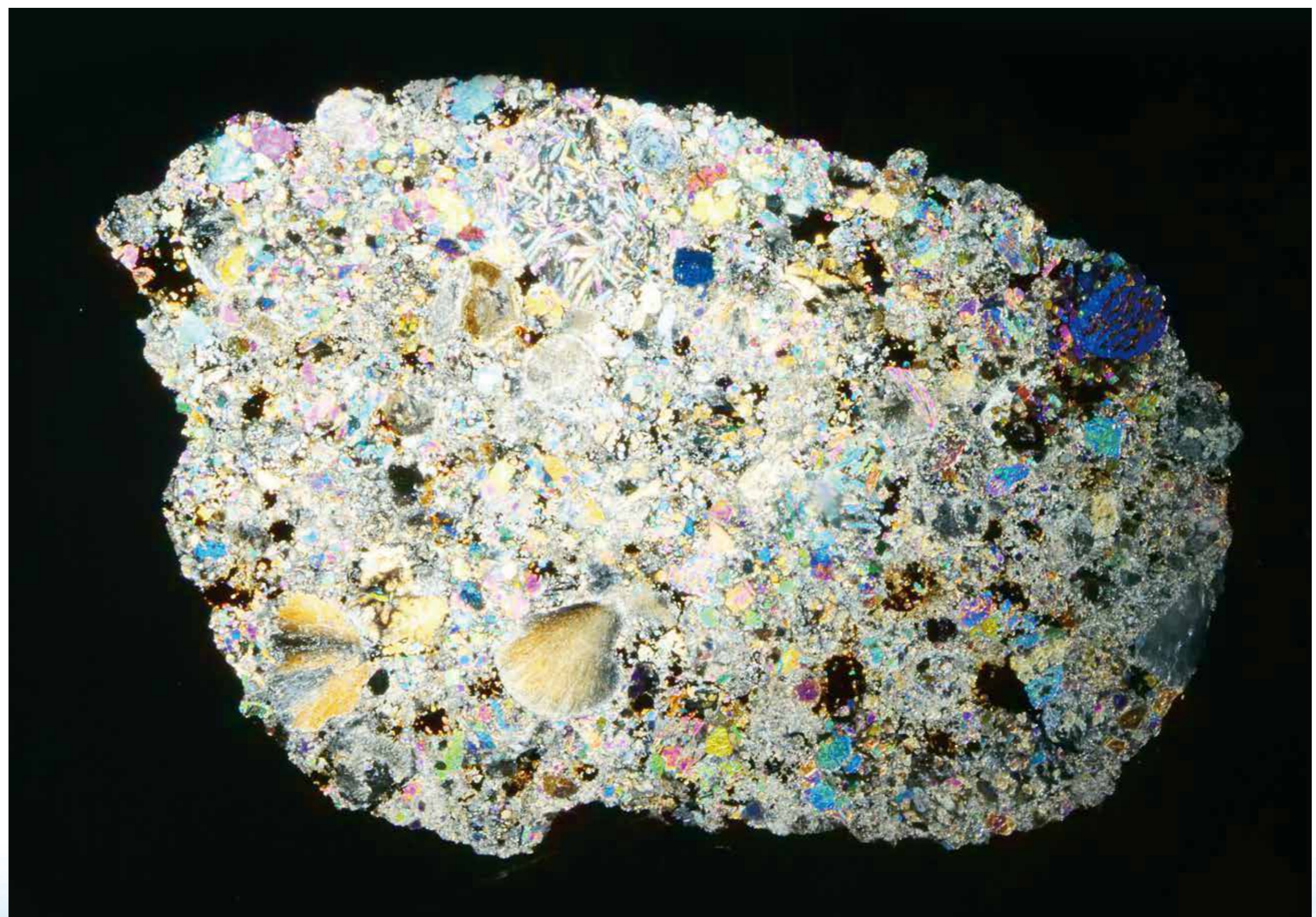
隕石の分類



未分化の隕石

コンドライト

石質隕石の多くは、内部にコンドリュール(球粒物質)、CAI(高アルミニウムカルシウム含有物)、金属や硫化鉄などの鉱物片が見られ、「コンドリュールを含む隕石」という意味から「コンドライト」と呼ばれます。コンドリュールやCAIは、岩石が溶融した経験を持たない「未分化な隕石」の証拠になります。コンドライトは、化学組成に基づいて、普通コンドライト、炭素質コンドライト、エンスタタイト・コンドライトの3つのグループに大別され、もっとも多く見られるのが普通コンドライトです。

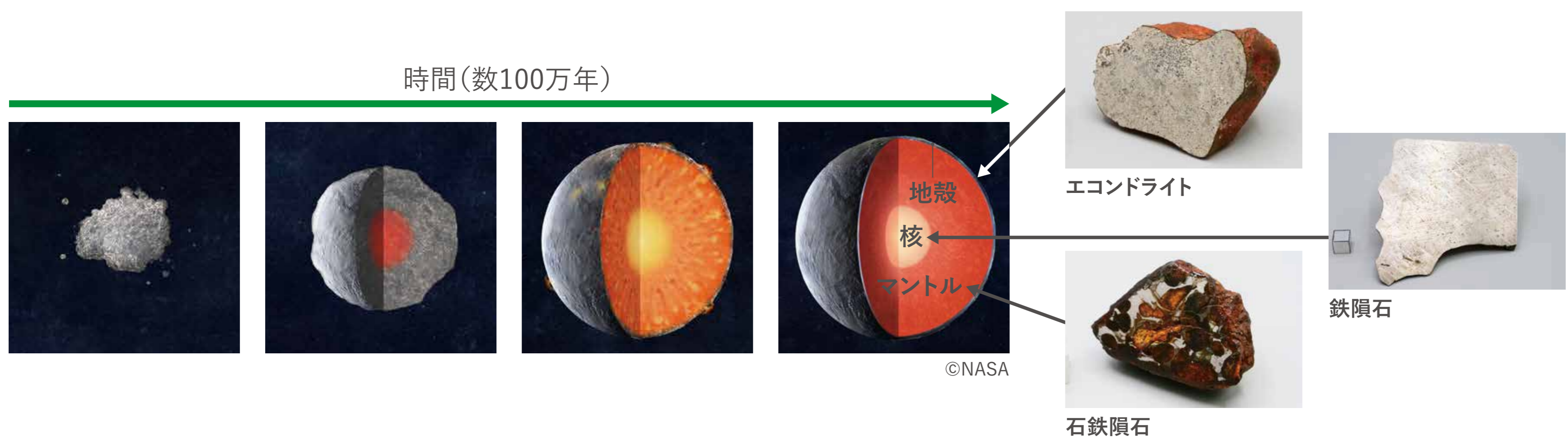


隕石薄片に見られるコンドリュール

分化した隕石

エコンドライト・石鉄隕石・鉄隕石

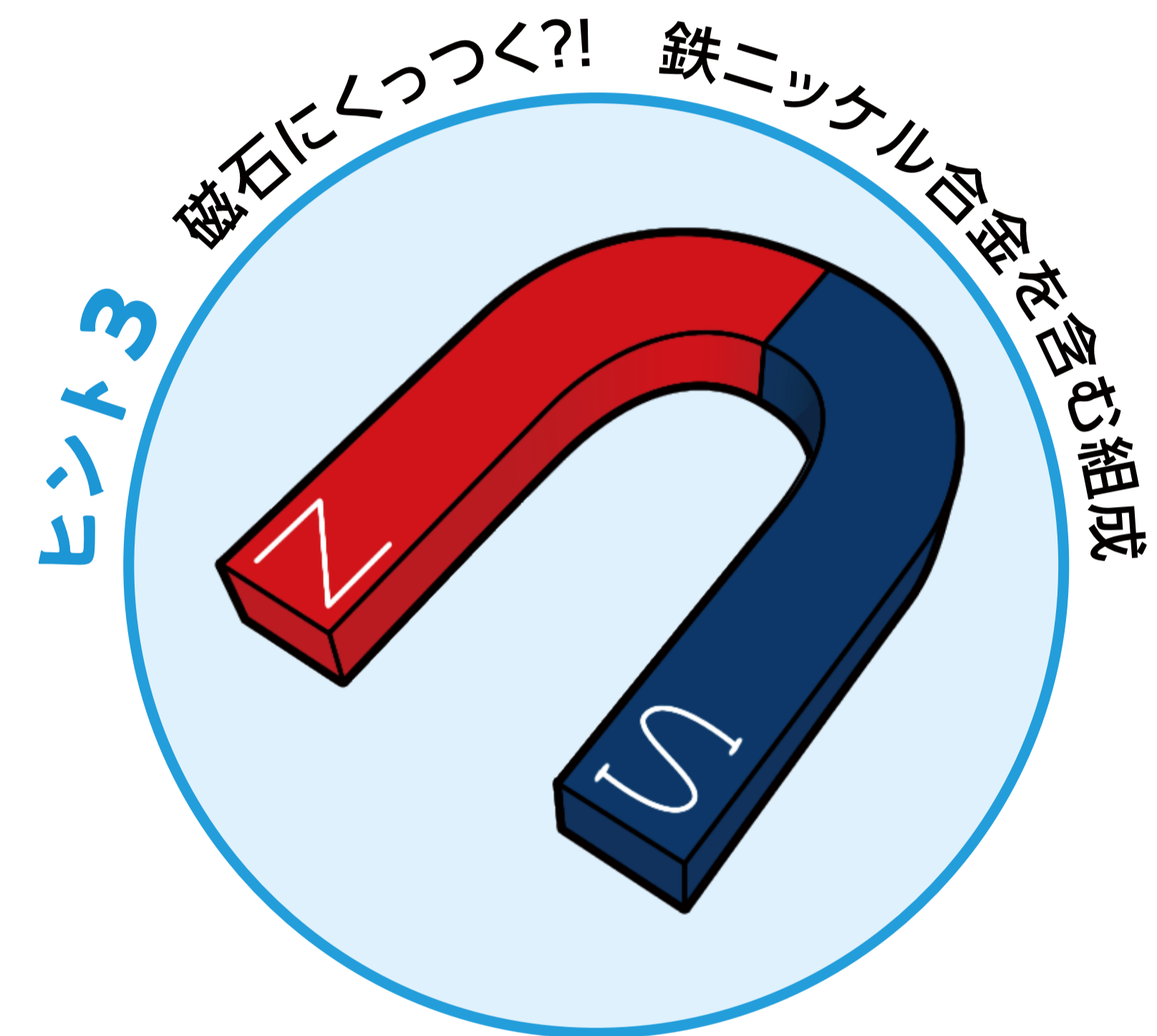
太陽系形成時に誕生した比較的大きな母天体では、内部が高温になり溶融すると考えられています。そのため、中心部付近では密度の高い鉄やニッケルを含む合金が集中し、表層部付近には鉄やニッケルの少ない、岩石質の軽い物質が存在する非均質な構造になります。こうした母天体と他の小天体との衝突によってできた破片が、分化した隕石の起源になったと考えられています。



分化した隕石の起源 (Smithsonian Institutionを元に作成)

地球の石・宇宙の石

どれが隕石でしょう？



展示している隕石と見比べてみましょう
さわったり、重さを比べたり、磁石を近づけてみましょう

- 隕石や岩石は持ち帰らないでください
- ていねいに取り扱ってください（落下させる・投げるなどは、隕石や岩石の破損・ケガの原因になります）

● 正解は小惑星3D模型の近くに掲示しています

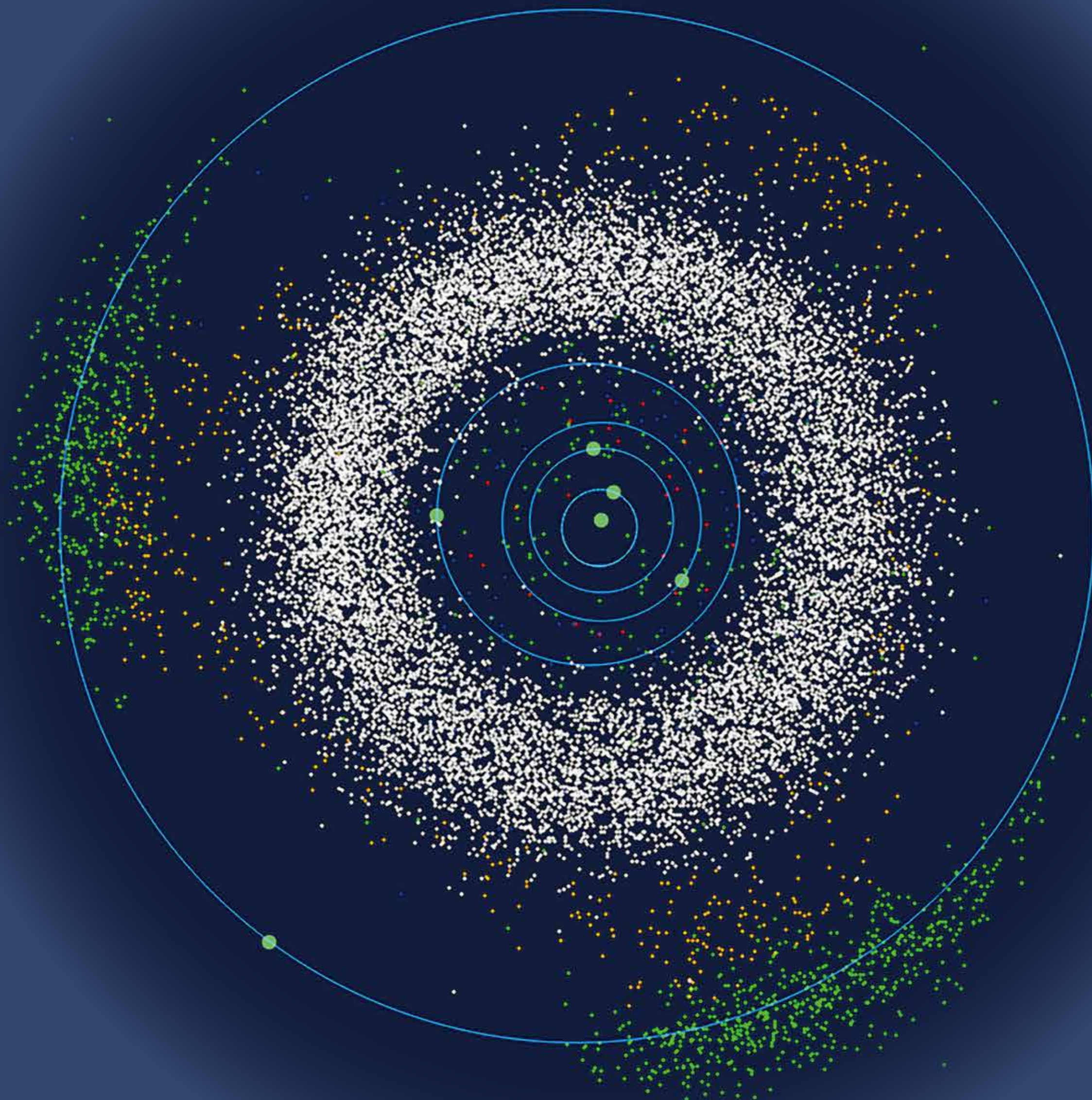
2章

隕石のふるさと 小惑星

——隕石は、いったいどこからやってくるのか？

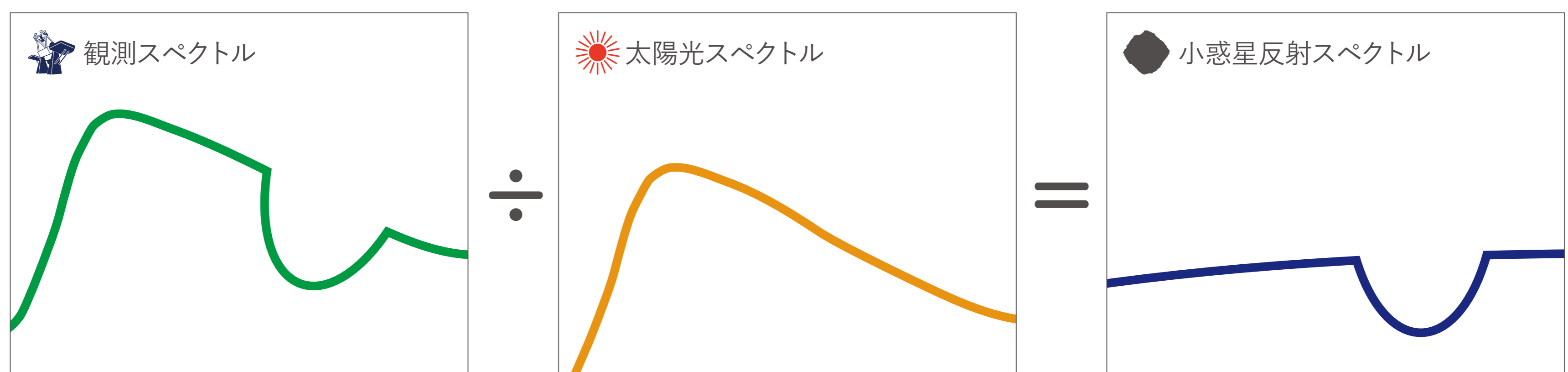
この疑問に対する答えは、隕石が地球大気に突入する前の軌道や、回収された隕石の反射分光特性、化学組成などから総合的に推定された結果、現在ではほとんどの隕石は小惑星が起源であると考えられています。

第2章では、隕石と小惑星の関係について紹介します。



小惑星の反射分光特性

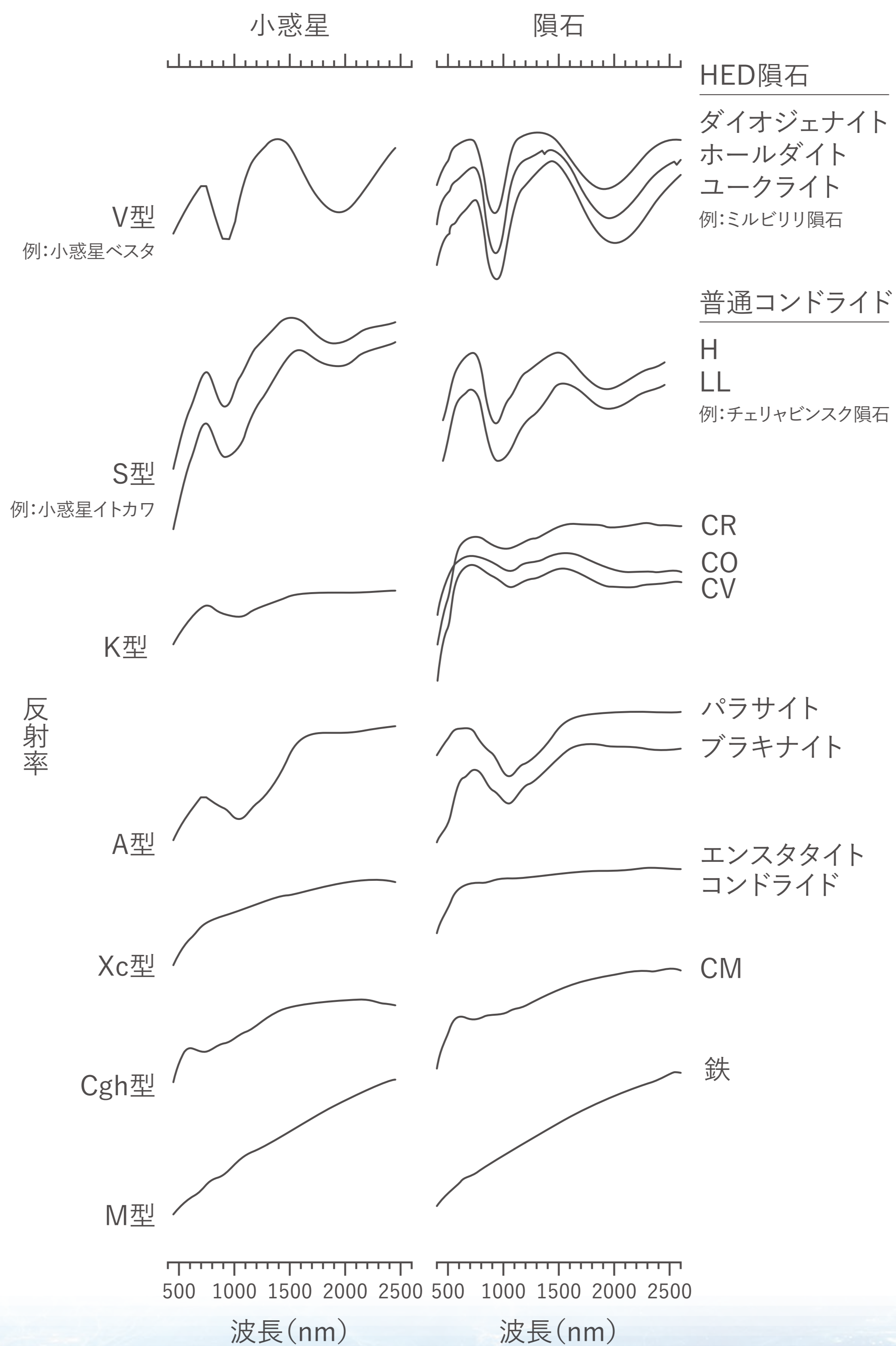
観測された小惑星の反射スペクトルと太陽光スペクトルとの比から、小惑星の反射分光特性が得られます。反射分光特性は小惑星表面の物質を判別するうえで重要で、例えばケイ酸塩鉱物のカンラン石や輝石、斜長石を区別することができます。こうして得られた反射分光特性は、吸収帯の波長や深さ、反射率の大きさなどで分類され、これを小惑星のスペクトル分類と呼びます。



小惑星の反射分光特性の算出方法

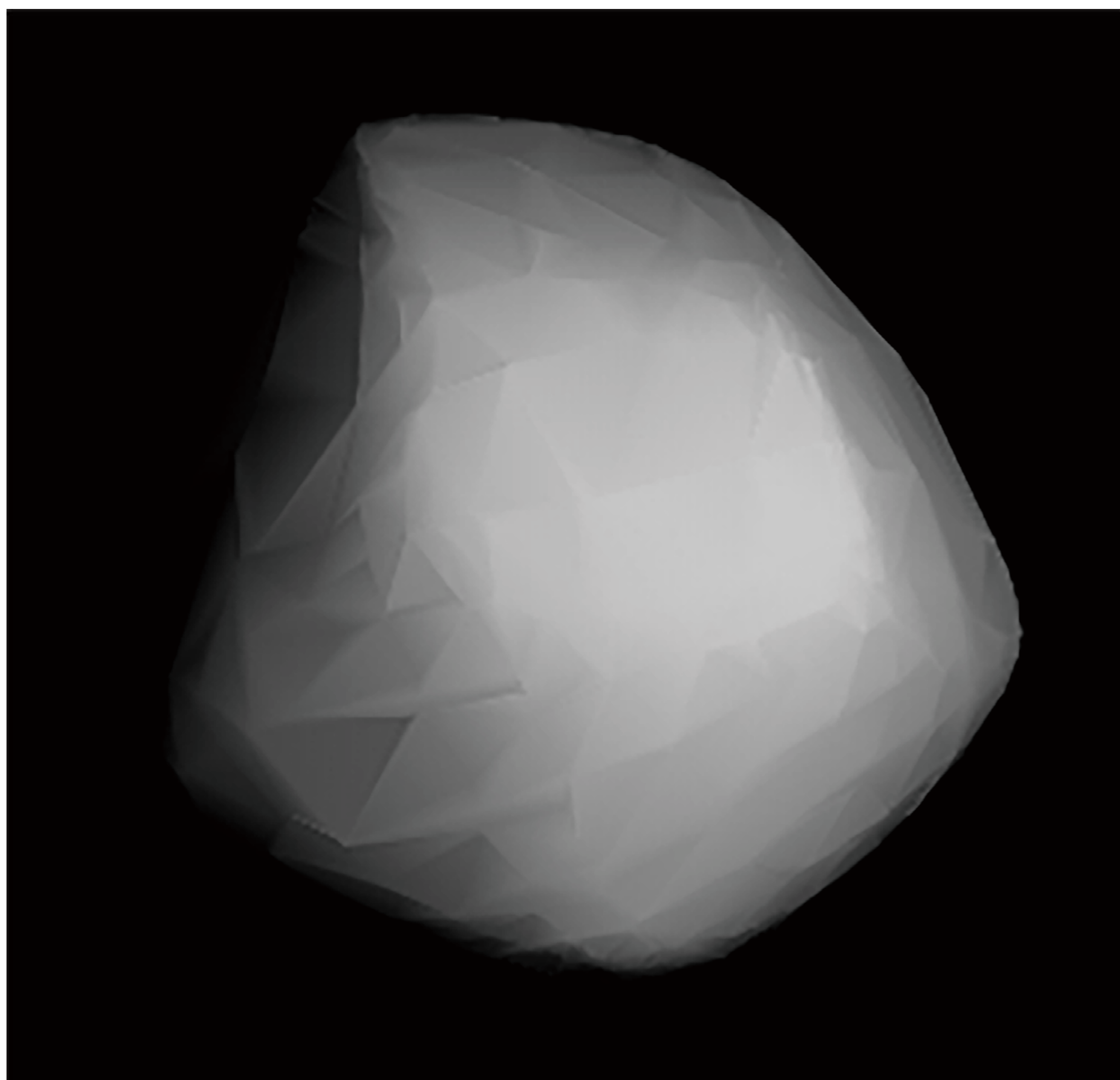
隕石と小惑星

実験室で測定された隕石の反射分光特性と、小惑星の反射分光特性を比較することで、隕石と小惑星の関係を調べることができます。



P型小惑星ヘステア

小惑星ヘステアは反射分光特性から、P型に分類されます。ヘステアを含むP型小惑星の表面には、有機化合物が豊富に存在すると推測されていますが、対応する隕石が長らく見つかりませんでした。



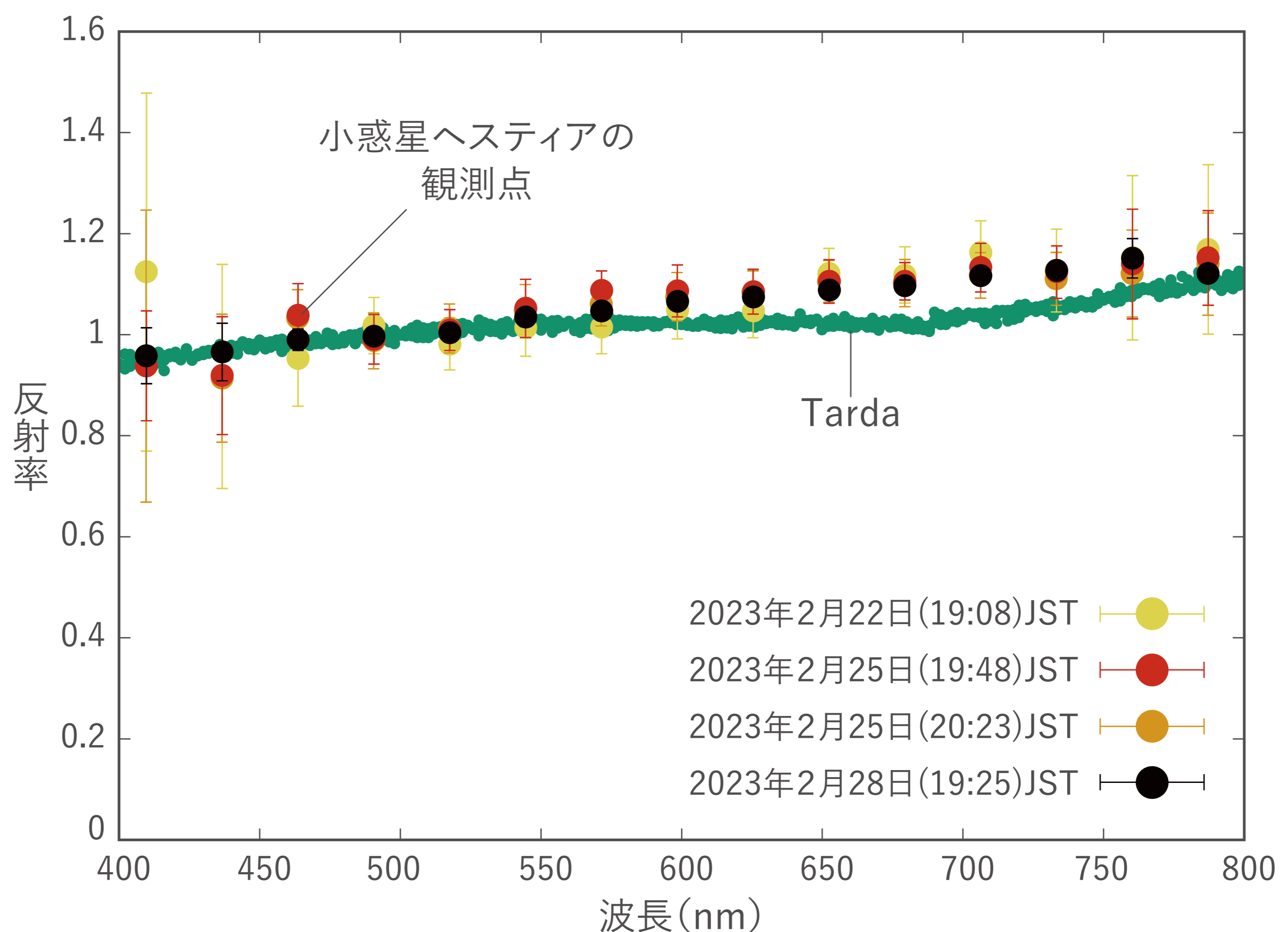
(46) Hestia (ヘステア)

軌道長半径 約2.5天文単位
公転周期 約4年
自転周期 約21時間
直径 約130km
密度 約5.8g/cm³
表面の可視光反射率 約5%

小惑星ヘステアの3D形状モデル(©J Ďurech)

タルダ隕石とP型小惑星

2020年に落下したタルダ隕石は、現在、P型小惑星に対応する隕石の候補として注目を集めています。例として、P型小惑星の1つであるヘスティアの反射分光特性と比較すると、可視光線波長域ではおおむね一致しています。反射分光特性は、赤みがかっており目立った吸収帯（へこみ）は見られません。



タルダ隕石とP型小惑星ヘスティアの反射分光スペクトル
(注: 縦軸は500nmで規格化した反射率)

小惑星ヘスティア: 神山天文台にて口径1.3m荒木望遠鏡と可視光低分散分光器LOSA/F2を用いて観測(2023年2月22日、25日、28日)。
タルダ隕石: 神山天文台にて紫外可視赤外分光光度計V-670を用いて測定。

3章

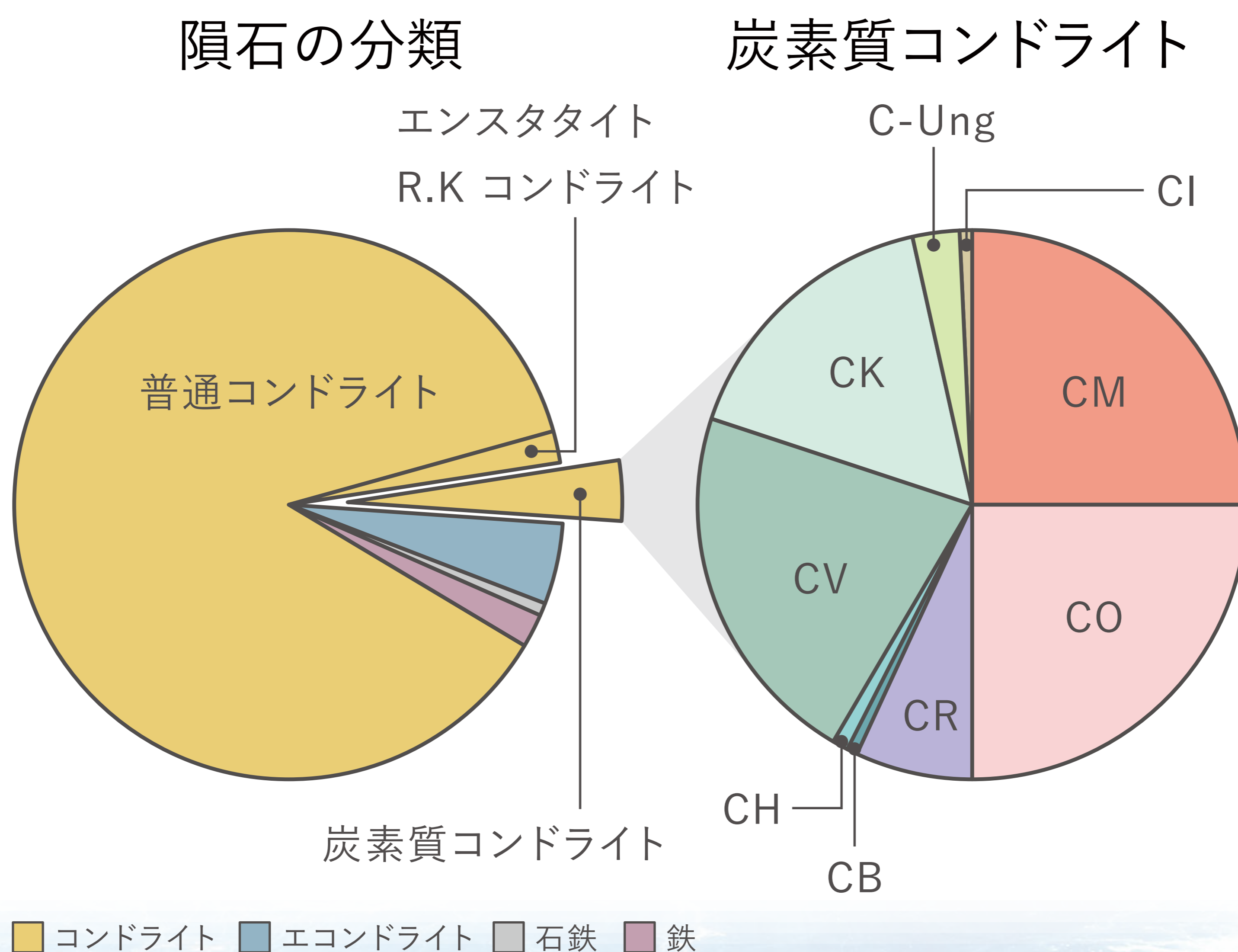
隕石から見える 太陽系の起源

隕石として入手できる小惑星の破片は、地上の実験室において極めて詳細な分析が可能であり、地上にいながらにして宇宙を探る窓の役目をはたしてくれます。

第3章では、とくに始原的な隕石である炭素質コンドライトについて、そして、近年のサンプルリターンミッションの成果として日本のJAXAが実施した小惑星探査機はやぶさ2のミッションと小惑星リュウグウサンプルの初期分析の成果について紹介します。

炭素質コンドライトと 太陽系の起源

コンドライトの中でも、有機化合物などの炭素質物質や、水などの揮発性物質を豊富に含んでいるものを、炭素質コンドライトと言います。化学組成や酸素同位体組成に基づいて8つの化学グループに細分類されます。おもにCI、CM、CRにおいて様々な有機化合物が検出されており、こうした隕石が地球に生命のもととなる複雑な有機化合物を多くもたらした可能性が指摘されています。





コンドライトの水質変成

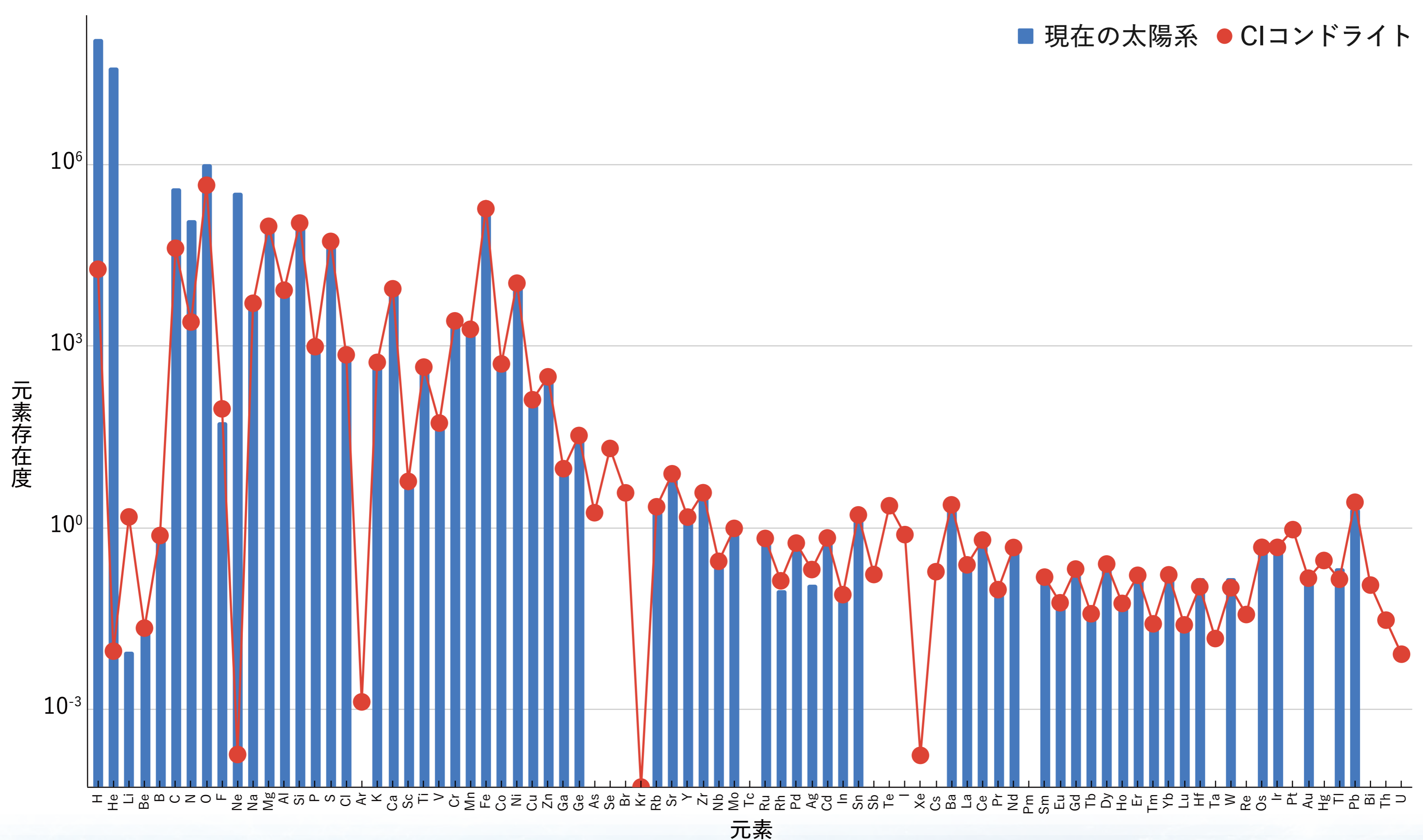
コンドライトは高温で溶融に至っていませんが、水や熱、衝撃による変成作用を受けている場合があります。

アエンデ隕石は、水質変成や熱変成をほとんど受けておらず、球形をしたコンドリュールの直径が他の炭素質コンドライトより大きめです。

一方のマーチソン隕石は、内部に含まれるコンドリュールが水質変成を受けており、球形を保っていないものが多いのが特徴です。黒色の部分には多種多様な有機化合物が数十万種類も含まれており、さまざまなアミノ酸や核酸塩基も検出されています。

きわめて始原的 CIコンドライト

オルゲイユ隕石は、これまでに9例しか見つからないCIコンドライトに分類されます。CIコンドライトは、他の隕石に比べて太陽に最も近い元素組成で、一部の揮発性の高い軽元素を除けば、ほぼ太陽組成と同一です。これは、46億年前の太陽系形成時の状態をよく保持していると考えられます。



小惑星

サンプルリターンミッション

日本の小惑星探査機はやぶさが史上初めて持ち帰ったS型小惑星イトカワ表面の微粒子は、実験室での分析から普通コンドライト(LL5)に酷似していることが確認されました。さらに、太陽系形成時の情報を保持すると考えられる炭素質コンドライトと、反射分光特性が似ているC型小惑星の表面からサンプルを持ち帰ることができれば、太陽系の起源について大変重要な資料となるはずです。このような期待のもと、オサイリス レックス日本のはやぶさ2と米国NASAのOSIRIS-RExの小惑星サンプルリターンミッションが計画されました。

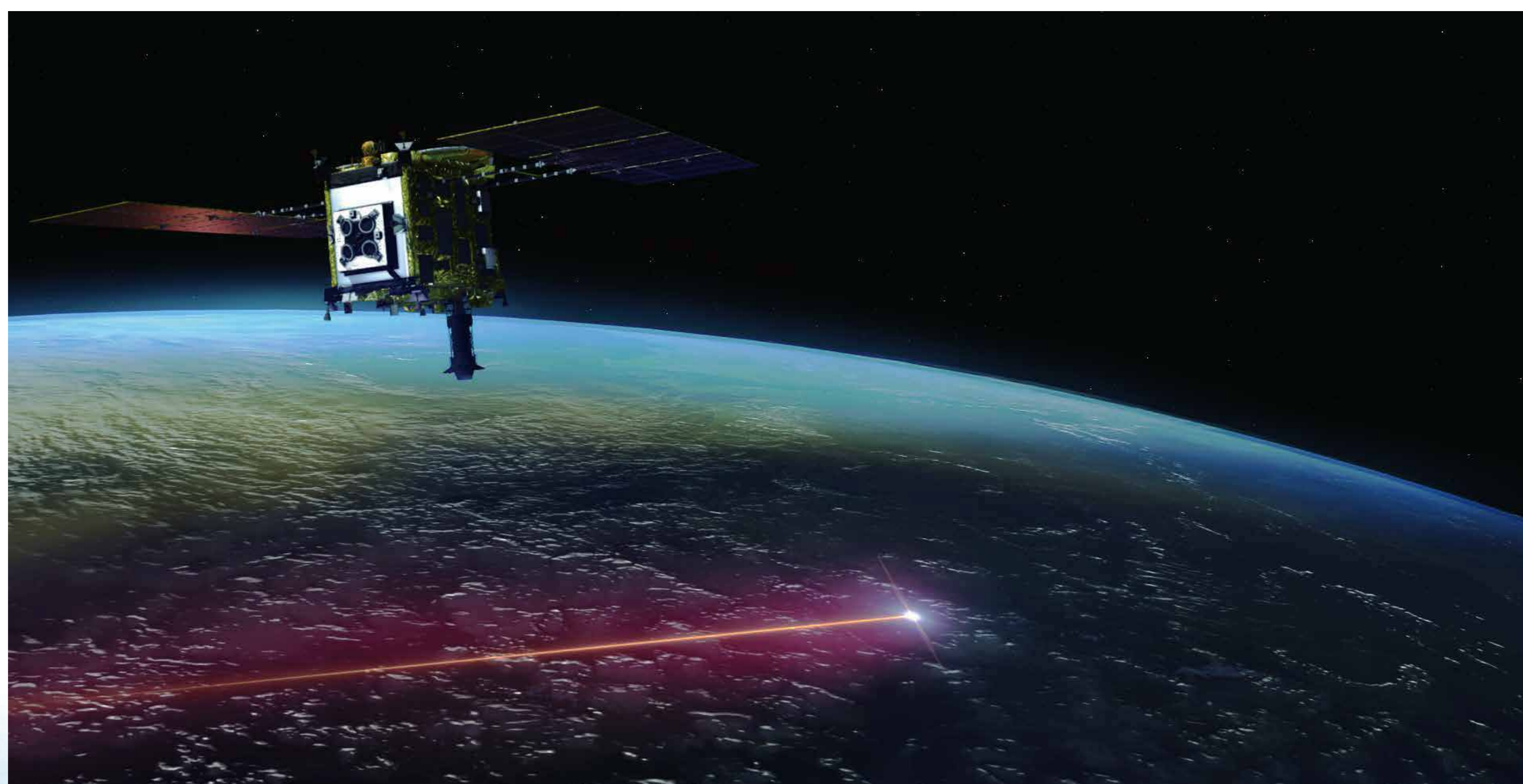


OSIRIS-REx (©NASA/GSFC)

小惑星探査機 はやぶさ2

小惑星探査機はやぶさ2は2014年12月3日に打ち上げられ、約3年半をかけて2018年6月27日に小惑星リュウグウに到達しました。リュウグウを周回して表面の様子などを詳しく観測し、2019年2月22日と同年7月11日にリュウグウ表面への着地・サンプル採取に成功しました。

はやぶさ2は2020年12月5日にサンプルが収められた帰還カプセルを地球近傍で分離し、この帰還カプセルは翌12月6日にオーストラリアの砂漠で回収されました。総重量約5gの岩石破片が確認されています。



小惑星探査機はやぶさ2の帰還イメージ(©JAXA)

小惑星リュウグウ サンプル分析の初期成果

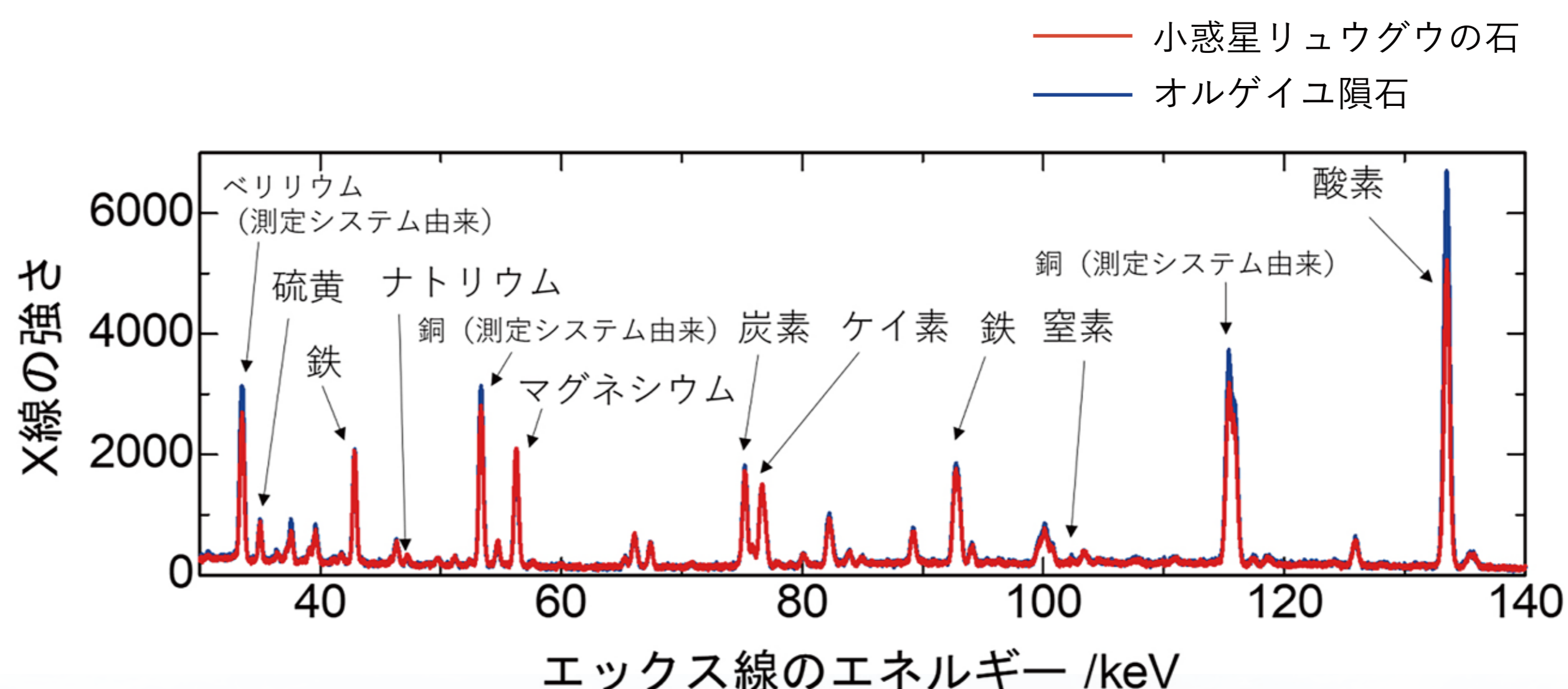
2020年12月6日に地上に持ち帰られたリュウグウのサンプルは、多くの研究グループが様々な分析手法を駆使した初期分析を行い、以下の点が判明しています。

- ・水素やヘリウムなど一部の元素を除いて太陽組成と極めてよく一致する
- ・強い水質変成作用を受けており、豊富な水を含む
- ・アミノ酸など、さまざまな有機化合物を含む
- ・平均密度は約 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ と小さく非常に脆い
(内部空隙率は約46%)

リュウグウのサンプルとCIコンドライトは酷似しており、CIコンドライトの起源が、リュウグウのようなC型小惑星にあることは、ほぼ確実であると考えられます。



サンプルコンテナの中に詰まったリュウグウのサンプル(©JAXA)



リュウグウの試料とオルゲイユ隕石から得られたミュオン特性X線のスペクトル
(©Nakamura et al., 2022)



太陽系誕生の謎を追って

隕石の研究から、わたしたちの太陽系が約46億年前に誕生したことが明らかになりました。また、隕石が太陽系誕生の名残を現代の私たちに届けてくれるだけでなく、太古の昔に生命の源を地球にもたらした可能性も明らかになりつつあります。さらに近年、小惑星のサンプルリターンミッションの成果と隕石の分析を組み合わせて、隕石母天体の環境や隕石が経た環境の履歴も知ることができるようになりました。

今後、小惑星ベンヌのサンプルを携えたNASAの小惑星探査機オサイリス レックス OSIRIS-RExの帰還が2023年9月に予定されています。太陽系誕生の謎を明らかにするための長い道のりは、まだこれからも続いてゆくのです。