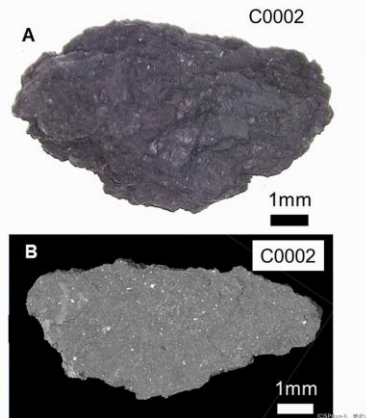


リュウグウ母天体の内部に海があった？ 小惑星サンプルから液体の水を発見

2022/09/23 18:46 2022/09/23 20:15 著者：大塚実

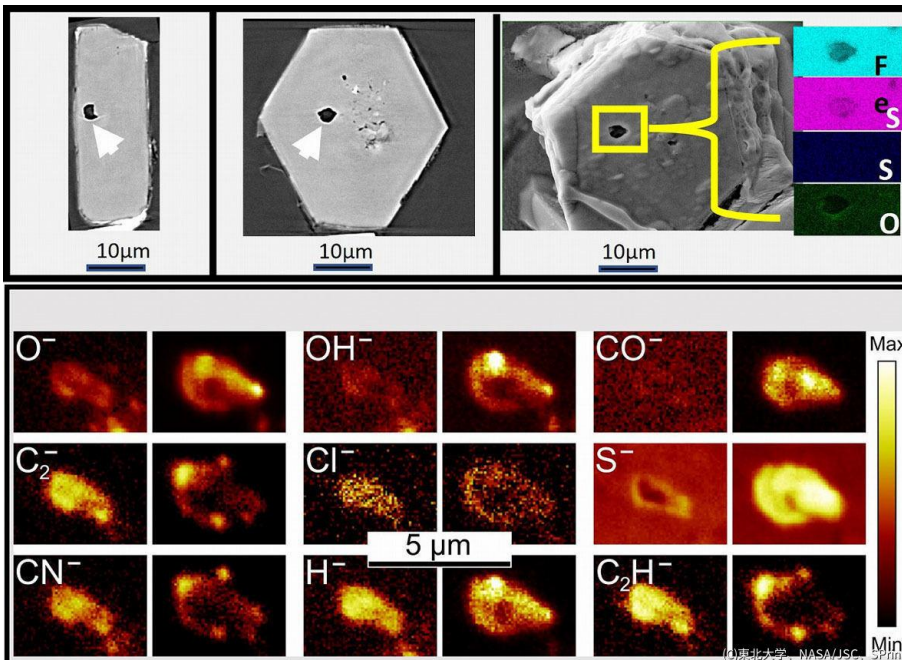
目次 [ここまで分かった母天体の進化の歴史](#) [“ハードディスク”に残っていた誕生時の痕跡](#)

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は9月23日、小惑星探査機「はやぶさ2」の新たな研究成果を発表した。同探査機が地球に持ち帰ったサンプルの17粒子を、化学的・物理的手法により分析。リュウグウ母天体の形成から破壊までの歴史を明らかにし、サンプルの物性値まで組み込んだシミュレーション上で、再現することに成功した。また、サンプル中の結晶内部にあった微小な隙間から、液体の水を発見。これは、リュウグウ母天体内部に大量に存在した水が閉じ込められたものと見られるという。これまで、水は水酸基(OH)を持つ含水鉱物の形で存在することが分かっていたが、ほんの微量とはいえ、現在のリュウグウにも液体の水があったというのは驚きだ。



研究成果について報告した東北大学 大学院 jji 理学研究科 地学専攻の中村智樹教授

サンプル「C0002」の光学顕微鏡写真(上)と内部のCT図(下)。灰色の部分は含水鉱物で、白っぽいのが硫化鉄や酸化鉄だ (C)SPring-8、東北大学



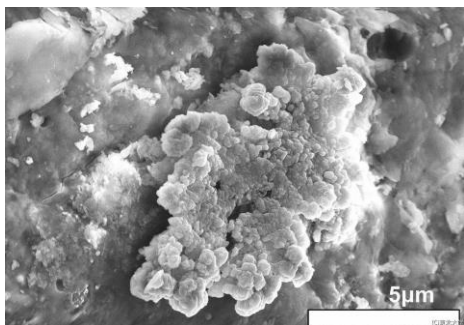
左上の2つが硫化鉄の結晶。数µm程度の穴があり、ここで液体の水が見つかった (C)東北大学、NASA/JSC、SPring-8

ここまで分かった母天体の進化の歴史

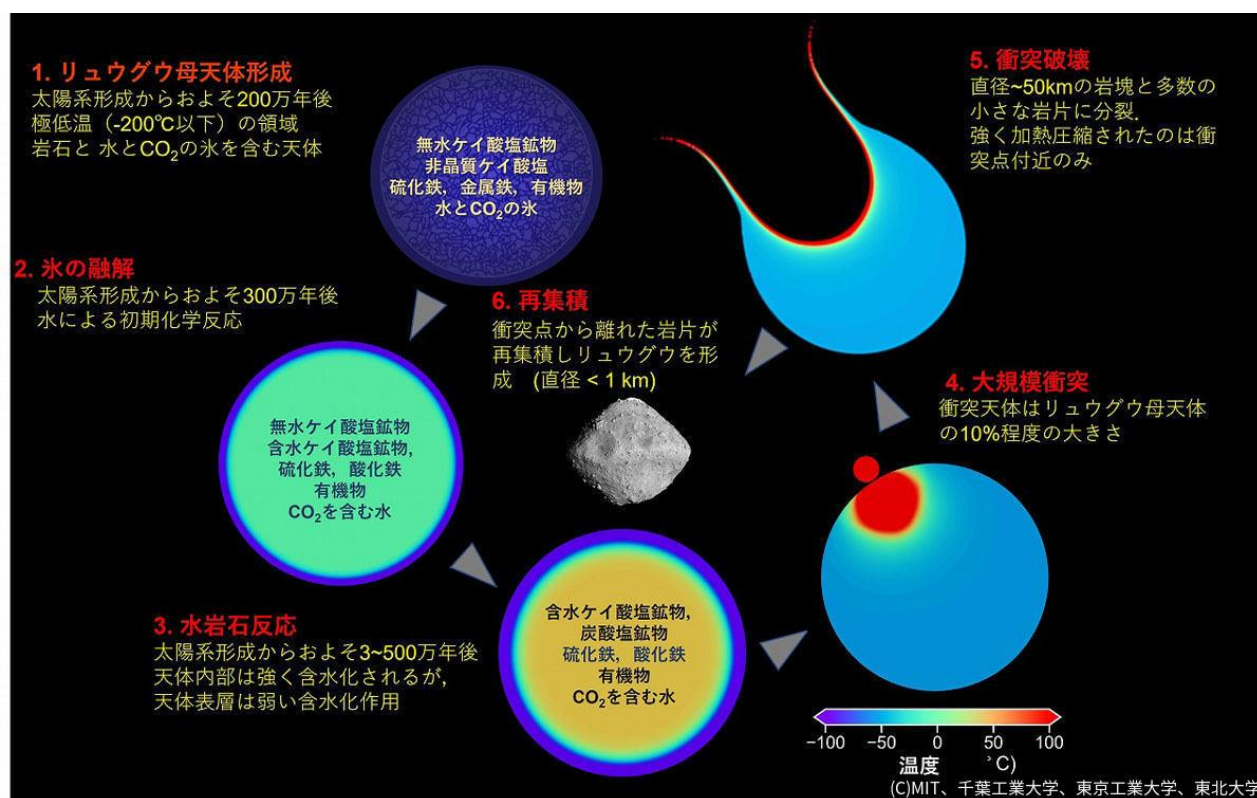
この研究成果は、初期分析チームの1つである「石の物質」分析チームが行い、科学誌「Science」に論文として投稿したもの(タイトルは「炭素質小惑星リュウグウの形成と進化:リターンサンプルから得た証拠」)。チームは、回収サンプルの中で3番目に大きい直径8mmの粒子などを使用。日米欧の放射光施設やミュオン施設などを活用し、分析を行った。

液体の水は、サンプル中の硫化鉄の結晶内部で発見された。ここに数µm程度の穴が見つかり、米国に輸送して

特殊な質量分析計で測定したところ、水と二酸化炭素を主成分とする液体であることが分かった。この炭酸水は、塩や有機物も含んでいた。炭素が5つのクラスターイオンを検出しており、ある程度進化した有機物が存在していたとみられる。今回発見された水は、リュウグウ母天体に存在していたものだと考えられている。チームが実施した数値シミュレーションによれば、リュウグウ母天体は太陽系の誕生から約200万年後、 -200°C 以下の極低温環境で集積。アルミニウム26の崩壊熱により、内部で水と二酸化炭素の氷が溶け始め、300万年かけて最高 50°C 程度まで温められたという。pHは9程度で、「アルカリ性の温泉」のような状態だった。この間、水と岩石の化学反応(水質変成)が進行。サンプルの大部分を占める含水鉱物や炭酸塩鉱物は、このときに形成したとみられる。水の量については、化学平衡計算により、岩石との体積比で1:1くらい存在していたことが分かった。大量の液体の水の存在を裏付ける痕跡として、今回、サンプル表面から、サンゴ礁のような形をした結晶が見つかった。材質は銅と硫黄。地球のサンゴは生命活動であり、成分や形成プロセスは全く違うものの、平たい形状は良く似ており、切断して内部を観察したところ、茎のような構造まで見られたという。



テーブルサンゴのような形をした結晶の電子顕微鏡写真。サンプル表面で発見された (C)東北大学



サンプルの分析結果から推定されたリュウグウの形成進化プロセス (C)MIT、千葉工業大学、東京工業大学、東北大学

チームリーダーである中村智樹氏(東北大学 大学院理学研究科 地学専攻 教授)は、この結晶について、「地球の海と同じような水のある環境で成長したものだろう」と推測する。海で泳ぐのが趣味という中村氏にとって、サンプルの観察は「シュノーケリングをしているときの自分に近かった」そうで、この思わぬ発見を喜んだ。なお、水が大量にあることは明らかになったものの、それがどのような状態で存在していたのかまでは、今回の分析では分からない。スポンジのような多孔質な物質の中にあっただのか、それとも内部海のような領域もあったのかは不明だ。リュウグウ母天体はその後、アルミニウム26の減少によって、温度が低下。今から約8億年前に、直径が10分の1程度の天体(リュウグウ母天体は100km程度)が衝突して破壊され、大部分の水はこのとき

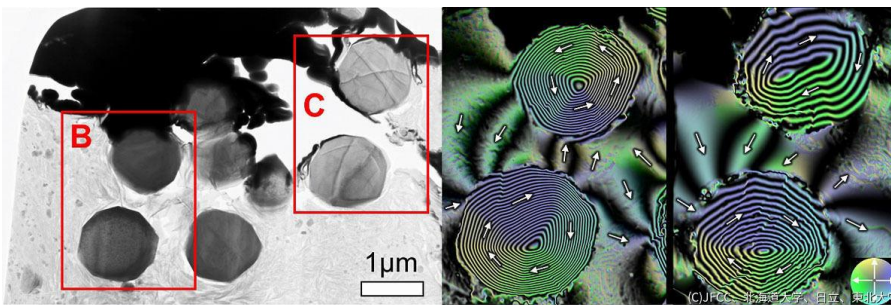
に失われたと考えられる。この衝突で飛び散った小さな破片が再び集まり、形成されたのが現在のリュウグウである。今回のシミュレーションの大きな特徴は、実際のサンプルの物性を調べ、その実測値を使っていることだ。硬さや比熱など、正確な物性値が分かったことで、より精度の高いシミュレーションが可能になる。中村氏は「どこにも“想像”は入っていない。全て物的証拠に基づいている」と、この成果に自信を見せる。

中村氏はさらに、「はやぶさ初号機的时候は、サンプルの量が少なすぎて、こういった物性の測定まではできなかった。今回はたくさんサンプルを持ち帰ってくれたので、このシミュレーションを実現できた」と述べ、はやぶさ2ミッションの完璧な成功に感謝した。

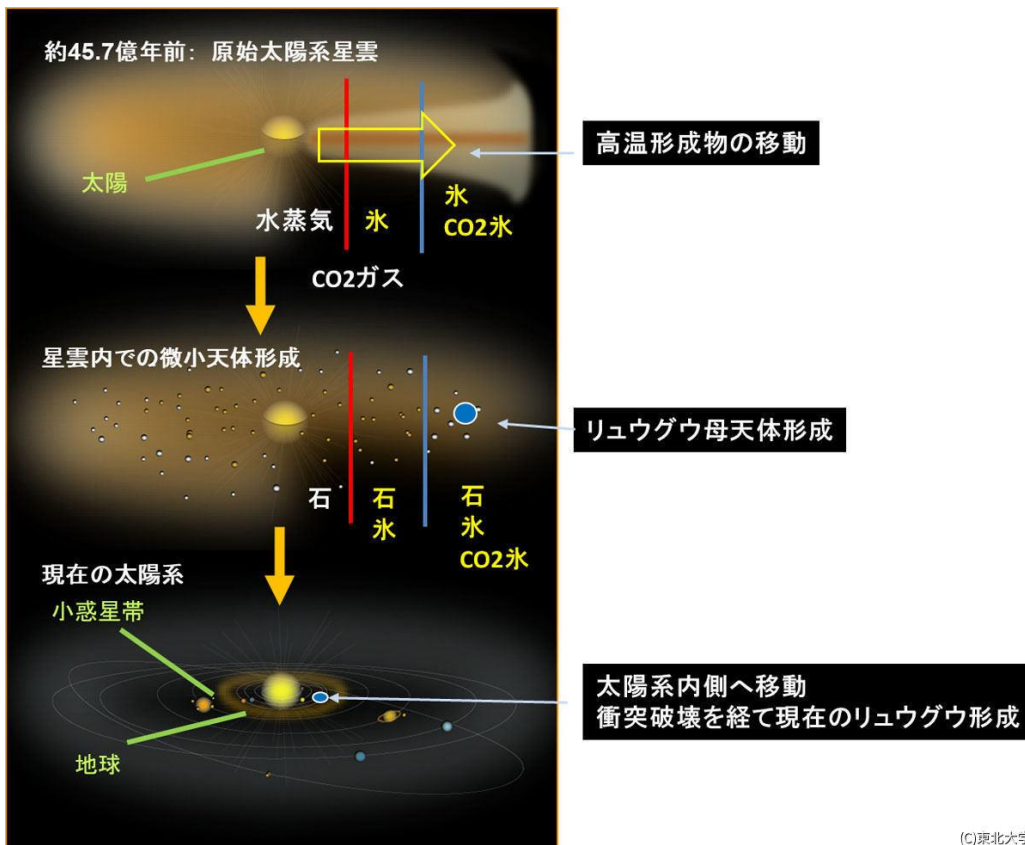
“ハードディスク”に残っていた誕生時の痕跡

また、今まで良く分かっていなかったのは、リュウグウ母天体がどこでどのように形成されたのか、ということだった。太陽の誕生時、その周りには円盤状の星雲ガスがあったと考えられている。ガス中のチリが集まり、微小天体を形成。衝突を繰り返し、それがさらに集まって大きくなったものが惑星で、大きくなりきらなかったものが現在の小惑星だ。リュウグウ母天体が形成されたとき、まだガスはあったのか、それともすでに無くなっていたのか。それも分かっていなかったが、今回、サンプル中に残っていた磁場の情報から、太陽から遠く離れたガスの暗闇の中で生まれた可能性が高いことが分かった。

これは、サンプルに多く含まれていた磁鉄鉱を調べ、結晶内部に特徴的な渦巻き状の磁力線分布が見つかったことで明らかになった。この構造は、46億年以上にわたって磁場を記録できる、いわば天然のハードディスク。結晶が形成された当時の磁場を反映しており、磁場を持つ星雲ガスに覆われていたことの証拠となった。



球状の磁鉄鉱結晶に刻まれた古地磁気の記録。磁力線が矢印の方向に巻いている (C)JFCC、北海道大学、日立、東北大学



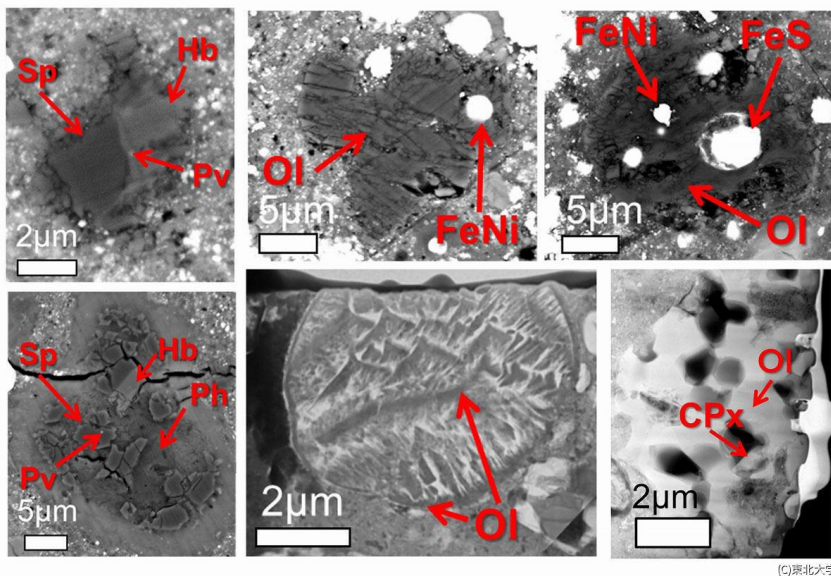
(C)東北大学

水と二酸化炭素の雪線(固体/気体の境界線)に注目すると、このときの太陽系は3つの領域に分けられる。最も内

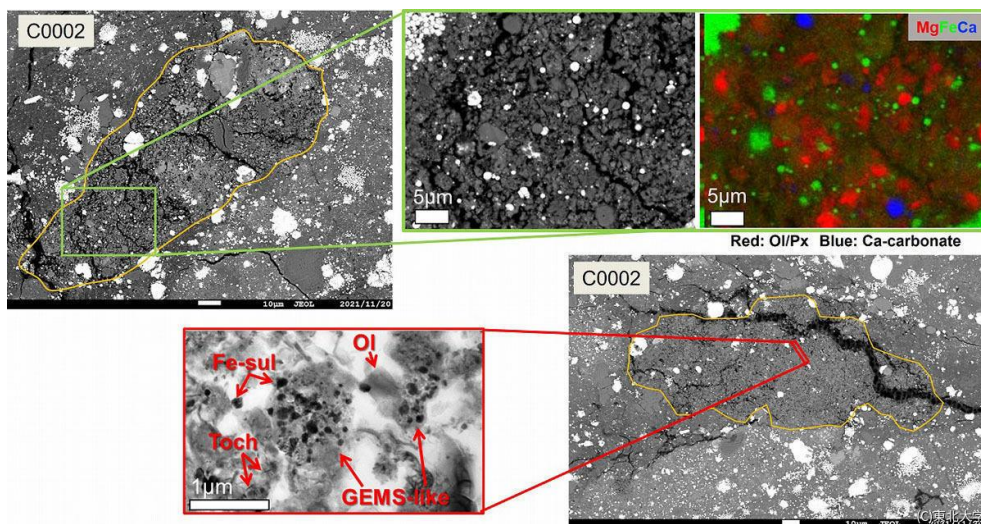
側は、水も二酸化炭素もガスになるので、微小天体は岩石のみ。最も外側は、岩石に加え、氷とドライアイスも存在するので、その混合物となる。中間は、二酸化炭素がガスで逃げてしまうので、岩石と氷が残る。今回見つかった液体の水は、二酸化炭素の成分量が多かった。そのため、リュウグウ母天体には一定以上の二酸化炭素が存在していたはずで、これらのことから、リュウグウ母天体が誕生したのは、ドライアイスが存在できる最も外側の極低温の領域だと推定された。

太陽系とリュウグウの形成。図中の赤線が水の雪線、青線が二酸化炭素の雪線となる (C)東北大学

そして興味深いのは、サンプル中に、1,000°C以上という高温環境でできる粒子(高温形成粒子)が見つかったことだ。太陽から遠く離れた極低温環境で生まれたリュウグウ母天体に、なぜ太陽近くで作られる高温形成粒子があるのか。これは、誕生したばかりの太陽系において、内側と外側の大規模な物質の混合が起こっていたことを示す。なぜそんなダイナミックな物質の移動が発生したのか、メカニズムはまだ分かっていない。ただ今回、その確たる証拠が見つかったことで、今後、その解明も期待されるだろう。



サンプル中で見つかった高温形成粒子の電子顕微鏡写真 (C)東北大学



C0002 サンプル中で見つかった始原的な特徴を残した岩片。隙間が多いことが分かる (C)東北大学

そのほか、サンプル中からは、より始原的な特徴を残した岩片が見つかった。

小惑星は太陽系のタイムカプセルとも呼ばれる。地球などの惑星では、太陽系誕生時の痕跡が失われているのに対し、小惑星には始原物質がまだ多く残っている、というのがその由来だ。ただ前述のように、リュウグウ母天体の大部分は誕生時そのままの姿ではなく、水質変成の影響を受けている。

しかし今回見つかった岩片は無水鉱物で、周囲の含水鉱物の領域とは全く異なっていた。リュウグウ母天体の内部と違い、表面付近はずっと冷えていたため、氷が溶けにくく、水質変成があまり進まなかった。今回見つかった岩片はこの表面近くのもので、母天体の破壊後に内部の物質と混ざったと考えられる。

中村氏は、「これを見つけたときが一番嬉しかった」と振り返る。「3カ月くらい分析しても見つからなかった

ので諦めかけていたが、ある日ついに見つけたら、それからいくつも出てきた」と笑い、「始原的な物質が段々変化したプロセスまで見えるようになった」と、発見の意義を述べた。

<https://news.mynavi.jp/techplus/article/20220916-2456604/>

名大など、西暦 4~7 世紀頃の日食記録から当時の地球自転速度の精度を向上

2022/09/16 16:54 著者：波留久泉

名古屋大学(名大)と筑波大学は 9 月 15 日、西暦 4~7 世紀を対象に、東ローマ帝国(ビザンツ帝国)の皆既日食記録を探索・検討し、それらを用いて当時の地球の自転速度を計算し、4~7 世紀の自転速度変化の拘束条件を増加させることに成功したと発表した。

同成果は、名大 高等研究院の早川尚志特任助教(名大 宇宙地球環境研究所兼任)、筑波大 図書館情報メディア系の村田光司助教らの研究チームによるもの。詳細は、太平洋天文学会が刊行する天文学と天体物理学を扱う学術誌「Publications of the Astronomical Society of the Pacific」に掲載された。

人類が数多くの記録を残してきた天文現象の 1 つに、皆既日食がある。皆既日食や、月が惑星や恒星を隠す掩蔽(えんぺい)などの天文現象は、地球の自転速度に応じて、見える場所が変化することから、歴史的な天文記録をもとにすることで、太陽と地球の連関、太陽活動の変動、過去の編年などに加え、地球の自転速度も復元することが可能となるという。

地球の自転速度は、およそ 46 億年前に誕生した頃は 5~6 時間だったとされ、その後、海洋ができて以降は月と太陽による潮汐摩擦のせいで、徐々に遅くなっていることが知られている。

現在では、1 日の長さが 100 年あたりで約 0.002 秒のペースで遅くなっていることがわかっているが、この変化の割合はどの時代もずっと一定だったわけではない。そのため、世界各地に残されている、さまざまな天文現象記録などを用いて、研究者たちは自転速度の変化についての研究を行ってきたという。

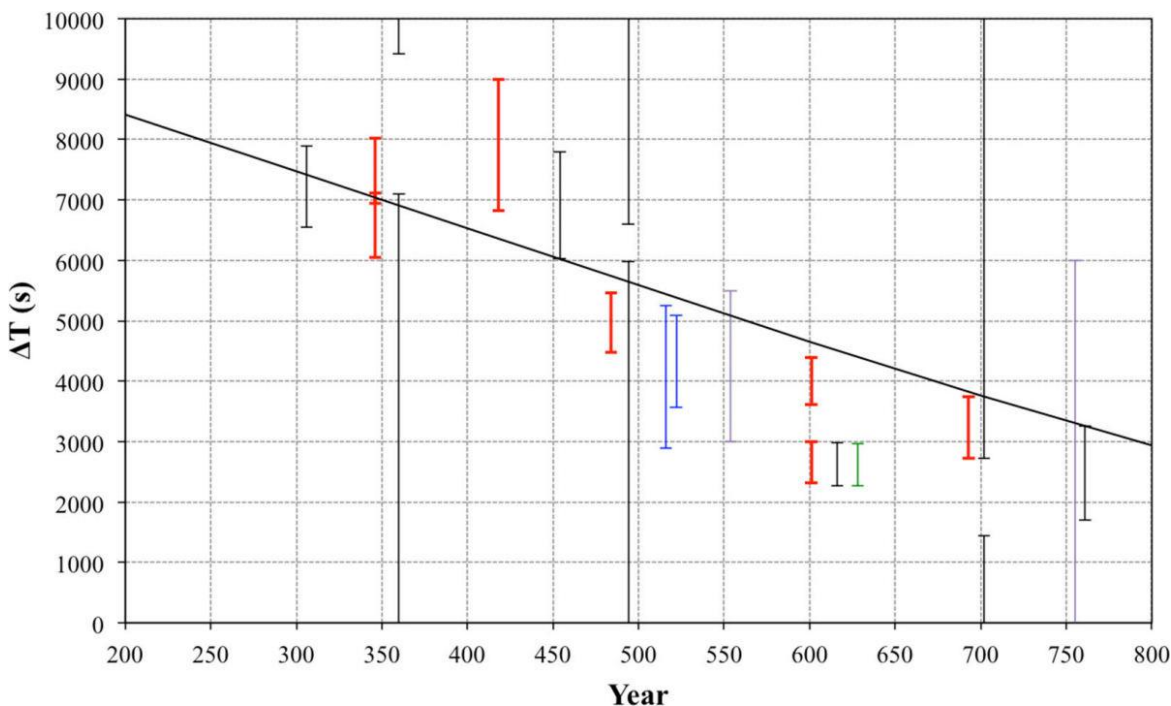
しかし当然ながら、歴史的記録は時代が古くなるほど、観測地の偏り、分量の減少、信憑性の低下などが生じてしまう。つまり、過去の地球の自転速度を導き出すには、時代を遡れば遡るほど不定性が増大するという課題を抱えていたという。また、地球の自転速度の変化は、 ΔT (地球時から世界時を引いた差)という数値を用いて表現されるが、その精度を上げるために欠かせないのが、過去の皆既日食などの記録だという。

そうした中で西暦 4~7 世紀に関しては、当時、高度な文明を有していた東地中海沿岸の東ローマ帝国において、皆既日食の記録が取られていたことがわかっている。しかしそれらの記録は、幾重もの引用や翻訳などを経て伝わっており、信頼性の評価が難しく、これまで地球の自転速度変化の研究にはあまり用いられてこなかったという。それでも研究チームは今回、西暦 4~7 世紀を対象に、東ローマ帝国の皆既日食記録を探索・検討し、それらを用いて地球自転速度を計算することにしたという。そして新たな情報が得られ、4~7 世紀の自転速度変化の拘束条件を増加させることに成功したとする。

具体的には、当時のすべての天文記録を網羅的に調査。その内容について歴史学および文献学的な検証を行ったという。その結果、ギリシア語や古代エチオピア語(ゲエズ語)などの史料から、一定の信頼性を有する皆既日食記録 5 件(西暦 346 年、418 年、484 年、601 年、693 年)が選定され、そこに記載されている皆既日食観測の詳細が検討されることとなった。そして、これらの観測記録を満たし得る地球の自転速度の変化幅(ΔT)が計算され、周辺の時代における皆既日食や掩蔽の観測記録との比較が行われたところ、従来ほとんどわかっていなかった 4~7 世紀の地球自転速度の精度を向上させることに成功。従来の断片的な日食・掩蔽記録を概ね支持する形となったという。これにより、地球の自転速度の減少は、4 世紀から 5 世紀初めにかけてはごく緩やかになり、5 世紀中頃から 7 世紀にかけて比較的急ペースになっていた可能性が示唆されたとする。

西暦 4~7 世紀頃にかけての地球自転速度の変化(Hayakawa, Murata, and Sôma 2022)。縦軸は ΔT (上に凸のとき地球自転速度が速まり、下に凸のとき遅くなることを示す)、横軸は西暦年を示す。斜めに引かれた黒線は従来研究での地球自転速度変化の近似曲線。縦線は、皆既日食などの天文記録から算出された ΔT の拘束幅を示し、黒、青、紫、緑が従来研究、赤が今回の検討で追加された地球自転速度変化拘束条件を表す。同じ年に 2 つの縦線が引かれているところは、 ΔT がそのいずれかの範囲に入ると考えられるという(出所:名大プレスリリース PDF)このような自転速度の変動は、ほかの地域で同時期に観測された日食などの評価にも用いることが可能であり、たとえば「日本書紀」や「隋書」に記されている 628 年の皆既日食や 616 年の金環日食の記録は、従来、その信憑性が疑問視されていたものの、今回の検討対象とされた 601 年に起きたアンティオキアの皆既日食に関する記録と符合することが確認されたという。なお、今回の研究成果について研究チームでは、西暦 4~7 世紀頃の地

球の自転速度は一定ペースで単調減少してきたとする従来の研究に、再考の余地を与えるものだとしており、今後も継続して、東ローマ帝国や周辺地域の天文記録を探索・検討し、ほかの時代についても同様の研究を進めていくとしている。また、過去の地球自転速度の長期変動をより正確に知ることができれば、海面変動や、地球内部のマントルと外殻の相互作用など、長期的な地球環境の変動を理解することにもつながるとしているほか、天文現象と結び付けられた歴史的な事件や、そうした天文現象を記録として残した社会の特徴などについての知見が得られることも期待されるとしている。

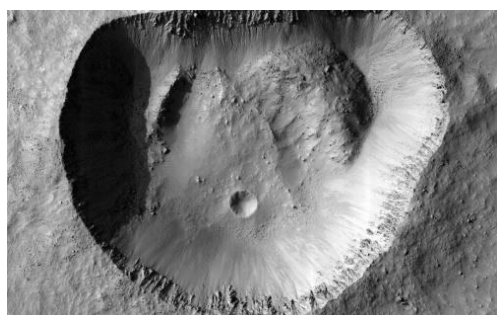


<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/22/092100436/>

火星の隕石衝突を初めて観測、クレーターも確認、NASA 探査機

月ではなし得なかった成果、火星の内部構造の解明に大きく前進

2022.09.21



クレーターの縁の細部や、内壁の上や外側にある個々の岩が鮮明に写った画像。これは、このクレーターがさほど古いものではなく、大きく変化していないことを示している。奇妙な形をしているが、これはおそらく最初からこのように形成されたものと思われる。(IMAGE BY NASA/JPL-CALTECH/UNIVERSITY OF ARIZONA)

[画像のクリックで拡大表示]

2018年に火星に到着したNASAの探査機「インサイト」は、空を見上げるようには造られていない。同探査機の目的は、地震を観測して、火星の内部構造の解明に役立てることだ。

しかし実際のところ、インサイトは空から落ちてくる隕石による衝撃も拾っている。科学者らはこのたび、4つの隕石の衝突による音と震動（地震波）を特定して解析し、さらに軌道上から撮影された画像上でも、衝突によって形成されたクレーターを確認した。論文は9月19日付けで学術誌「Nature Geoscience」に掲載された。「人間の技術が、ほかの惑星における地震波を観測し、隕石の衝突で起こったことと関連付けられるほど進歩したというのはすばらしいことです」と、カナダ、ウエスタン大学で同じ現象を研究しているエリザベス・シルバー氏は言う。なお氏は今回の研究に関わっていない。月では、アポロ時代の地震計が100回以上の隕石衝突を観測したものの、そのデータと、結果としてできたクレーターとの関連が確かめられたことは一度もなかった。

今や、火星の観測にかかわる科学者たちは、隕石の衝突を利用して惑星内部の地図の精度をさらに上げられるようになった。「こうした衝突の大きな利点は、発生源の場所がわかっていることです」。論文の筆頭著者で、フランス、トゥールーズ大学航空宇宙大学院に所属するラファエル・ガルシア氏はそう述べている。「あとは内部構造を解明するだけです」しかし、すでにソーラーパネルが塵に覆われてしまったインサイトにとって、活動可能な時間は残り少なく、今年の末まではもたないかもしれないとされている。

「楽観的に見れば1月までもつとも考えられますが、おそらくはその途中のどこかで、大気中の塵が急増して、そのまま活動ができなくなるのではないかと考えられます」と、NASAのインサイト・ミッションの主任研究者ブルース・バナート氏は述べている。

1300以上の揺れを観測、地震の解析による進展も

インサイトの着陸地点「エリシウム平原」は、チームが確認できた中で最も何も無い平らな砂地で、火星の赤道付近に位置する。巨大な火山、地溝帯、極地の氷冠など、火星のドラマチックな地形を観測する探査機とは異なり、インサイトの仕事は地面の下を見ることだ。そのためには、邪魔なものが存在せず、観測機器に電力を供給してくれる太陽光が十分に得られる場所が望ましい。

次ページ：4つの隕石の「揺るぎない証拠」

着陸後まもなく、インサイトはソーラーパネルを広げ、惑星の震動を監視する極めて感度の高い地震計を設置した。火星で震動が起これば、惑星の内部を跳ね返りながら伝わっていくため、地震波には周囲の物質や境界についての情報が含まれている。おかげで科学者らは地震波を使って、火星の地殻やマントル、奇妙なほどに大きなその核の地図を作成できる。過去4年近くにわたり、インサイトは1300回以上の揺れを観測してきた。大半の揺れは小さなものばかりだった。しかしここ1年の間に、強い地震が幾度か発生し、5月には科学者らが以前より期待していたマグニチュード5に近い強い地震があった。（参考記事：[「研究者も困惑」火星の大地に響きわたる謎の「脈動」](#)）今では電力が低下しつつあるものの、インサイトはその役目を十分に果たしたと、ミッションリーダーらは述べている。熱探査機が火星の土に潜ることができなかったという一件の失敗を除いて、インサイト・ミッションはその目的をすべて達成した。「われわれは、地球や月からの類推による曖昧なイメージではなく、火星の内部構造を初めて明確につかむことができました」と、バナート氏は言う。「火星は今では、きちんと理解された惑星となりました。内部で起こっていることがすべてわかったわけではありませんが、火星の基本的な構成要素が何であるかは判明したのです」

音と震動から位置を推定してクレーターを確認

火星の内部を解明することに加えて、科学者らは、火星にどのくらいの頻度で隕石が衝突しているのかを測定したいと考えていた。最初のうち、これは叶わぬ望みに思われた。ミッション開始から2年間、隕石の衝突は一度も感知されなかったからだ。しかしその後、インサイトが感知した1300回以上の震動の中に、クレーターを形成する隕石によるものはいくらか混ざっていることが判明した。そのうちの3回は、2021年の半年間のうちに発生している（2月18日、8月31日、9月5日）。これよりも早い2020年5月27日に発生したものもあり、その際には、直径約12メートルの範囲にクレーターが複数形成された。このクレーターの存在は、2006年から火星を監視している探査機マーズ・リコネッサンス・オービターによって上空から確認されている。科学者はしかし、最近になるまで、データに含まれたその痕跡を特定できずにいた。



参考ギャラリー：水がつくった火星の美しい風景 写真8点（[写真クリックでギャラリーページへ](#)）

火星にはかつて、多くの衝突クレーターが氷に覆われていた時代があり、周期的な気温の上昇と下降に伴ってしわやひび割れが形成された。（PHOTOGRAPH BY NASA/ JPL-CALTECH/ UNIV. OF ARIZONA）

[[画像のクリックで別ページへ](#)]

ガルシア氏は、隕石が惑星の表面に落ちる途中、大気中で爆発する際に発生する特徴的な音波をもとに、その衝撃を特定した。火星では、夜間、この音声信号が冷たい大気の下層を通過して数百キロ離れたところまで伝わ

る。音波と地震波の情報を組み合わせると、隕石の軌道と最終的な衝突地点を特定できる。

2021年に起こった3回の衝突の場合、発生した音波があまりに強力だったため、にわかには信じがたかったと、ガルシア氏は言う。しかし、マーズ・リコネッサンス・オービターが衝突の可能性がある場所を撮影すると、できたばかりのクレーターが発見された。その後、科学者らがデータをさかのぼって調べたところ、2020年の衝突の音声信号も見つかった。「それは、これらの震動の記録が衝突クレーターによって引き起こされたものであることを示す揺るぎない証拠でした」とバナート氏は言う。

次ページ：ミッションの今後は火星の風次第

2021年のクレーターは、どれも直径約4~7メートル程度であり、地球の分厚い大気であれば、おそらくは燃え尽きてしまったであろう小さな隕石によって作られたものだ。火星での地震の信号とその結果生じたクレーターを確実に結びつけることによって、科学者らは、衝突のエネルギー特性を研究できる。また、算出された隕石衝突の頻度は予想に即したものだったが、なぜ2021年に起こった3回の衝突が時期的に集中しているのか、そして、最初の2年間にはっきりとわかる衝突がなかったのはなぜなのか、その理由はよくわかっていない。

ミッションの今後は火星の風次第

火星表面で4年近く継続されてきたインサイト・ミッションは今、終わりを迎えつつある。インサイトが今後どんな運命をたどるかは、火星の風にかかっている。

火星の風は、この星の赤い砂を高く舞い上げ、ときにダストデビル（塵旋風、じんせんぷう）や惑星規模の嵐を引き起こす。インサイトのソーラーパネルにはすでに塵が分厚く積もっており、探査機本体や観測機器に電源を供給する太陽光を遮っている。インサイトの電力が低下する中、今年5月、ミッションリーダーらは、インサイトの地震計はおそらく夏の終わりまではデータを取得できるだろうと述べたが、その見込みも火星の気候によっては変わる可能性があった。「火星は今、砂塵嵐が活発なシーズンを迎えています」。当時、バナート氏はナショナル ジオグラフィックにそう語っていた。「インサイト自体が砂塵嵐に見舞われなかったとしても、火星のいたるところで砂嵐が発生し、大気中に物質が舞い上げられ、それがインサイトが得られる太陽エネルギーの量に影響を与える可能性があります」しかし、5月以降、火星では予想以上に、インサイトにとって好ましい状況が続いてきた。「塵が非常に安定しているうえ、多少は下に落ちている可能性もあり、ここ1カ月ほどは、インサイトの電力が少しだけ上昇しています」とバナート氏は言う。「しかし、過去のデータはすべて、来月あたりから大気中の塵がかなり増えることを示しています」運がよければ、インサイトは年末まで、もしかするともう少し長く、火星の脈動をとらえ続けるだろう。そして、もし非常に運がよかった場合には、ダストデビルがソーラーパネルの塵を取り除き、探査機が再び太陽光を吸収できるようになるかもしれない。

しかし、それはその時が来なければわからない。火星は気まぐれで、可能性と同時に危険に満ちた世界であり、あの魅惑的な青い夕暮れの下では、ロボットでさえ永遠に生きることはできないのだから。



参考ギャラリー：火星探査車パーシビアランス、着陸から1年でわかったこと 写真10点（写真クリックでギャラリーページへ）

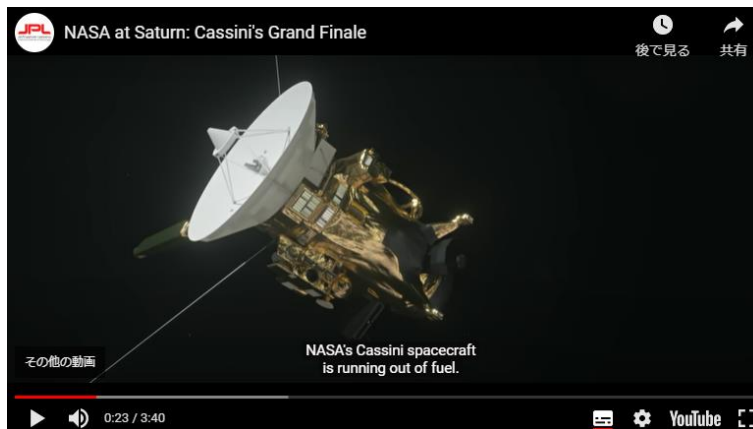
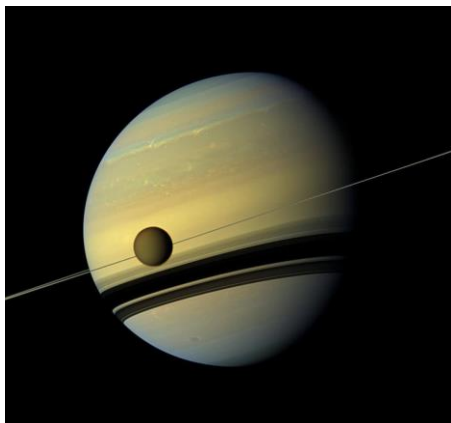
2021年9月10日、NASAの火星探査車「パーシビアランス」が「ロケット」という岩の前で撮影した自撮り写真。岩に指の大きさと同じくらいの大きさの穴を2つ開け、初めてサンプル採取に成功した。（PHOTOGRAPH COMPOSED OF 57 IMAGES BY NASA/JPL-CALTECH/MSSS） [画像のクリックで別ページへ]

文=NADIA DRAKE／訳=北村京子

<https://sorae.info/astromy/20220919-saturn.html>

土星の自転軸の傾きと環の形成は、失われた衛星で説明できる？

2022-09-19 松村武宏



【▲ 土星探査機カッシーニが撮影した土星とその衛星タイタン。2012年5月6日撮影（Credit: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute）】

【▲ 動画「NASA at Saturn: Cassini's Grand Finale」（英語）】（Credit: NASA/JPL-Caltech）

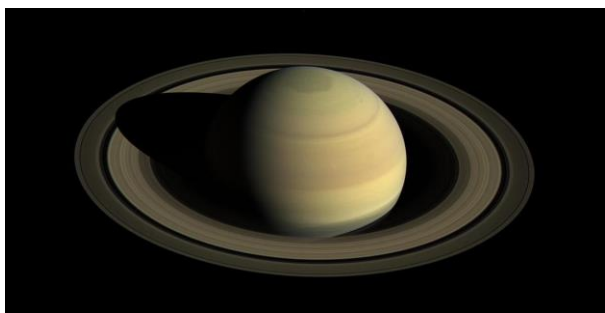
マサチューセッツ工科大学（MIT）の Jack Wisdom 教授を筆頭とする研究チームは、土星の自転軸の傾きと環の存在をどちらも説明できる新たな仮説を発表しました。鍵を握るのは、かつて土星を公転していたものの、現在はすでに失われている1つの衛星です。

研究チームによると、その衛星が存在していた頃の土星は海王星と重力を及ぼし合うことで共鳴し、自転軸が傾くようになりました。しかし、衛星どうしの相互作用によって軌道が乱れ、土星に近付きすぎたためにその衛星は崩壊。残骸の一部から環が形成されたらっぽうで、土星と海王星は共鳴状態から外れたというのです。

■直径 1500km ほどの衛星が1つ土星系から失われていた可能性

今から5年前の2017年9月15日。アメリカ航空宇宙局（NASA）と欧州宇宙機関（ESA）の土星探査機「カッシーニ」は、2004年6月の土星到着から13年、1997年10月の打ち上げから20年に渡るミッションの最後の日を迎えました。土星の環よりも低い高度を合計22回通過する最後の観測「グランドフィナーレ」を2017年4月から行っていたカッシーニは、この日、機体に付着していたかもしれない地球の微生物で土星の衛星を汚染しないために土星の大気圏へ突入し、消滅してミッションを終えています。

土星最大の特徴である巨大な環は、形成されてから40億年かそれ以上経っているとも考えられてきましたが、2019年にはカッシーニの観測によって得られたデータをもとに、土星の環が形成されてから約1億年しか経っていない可能性を示す研究成果が発表されました。これが正しければ、地球に最初の恐竜が出現した頃、土星にはまだ環が存在していなかったこととなります。ただ、どのようにして環が形成されたのかは、依然として謎のままです。Wisdomさんたちは、かつて存在していた衛星が土星へ近付きすぎたために崩壊し、その残骸の一部が現在の環になったと考えています。蛹（さなぎ）から羽化する蝶のように土星の環という大輪の花を咲かせたとして、研究チームはその衛星を「Crysalis」（クリサリス、さなぎを意味する英単語）と呼んでいます。



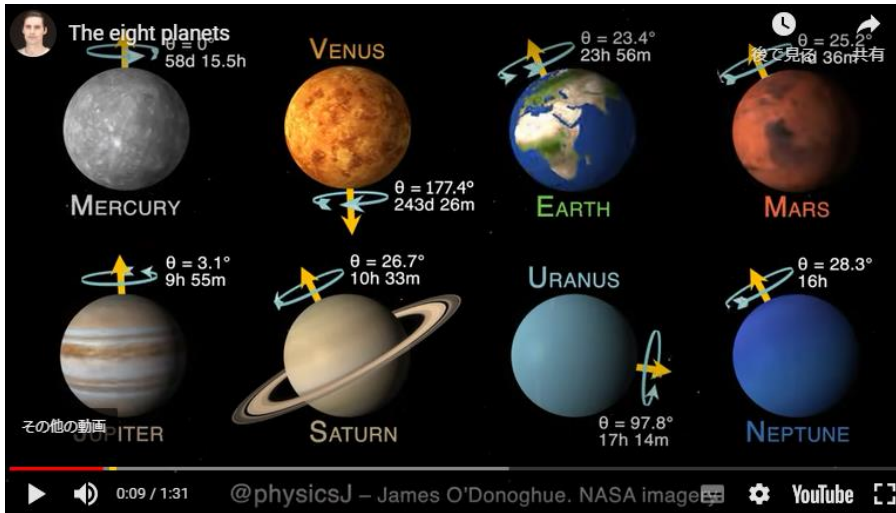
【▲ 土星探査機カッシーニが撮影した土星。2016年4月撮影（Credit: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute）】

研究チームはクリサリスの大きさが現在の土星で3番目に大きな衛星イアペトゥス（直径約1470km）に匹敵したと推定しています。崩壊後にクリサリスの残骸のうち約99パーセントは土星へ落下し、残された残骸から環が形成されたとみられています。

■クリサリスが存在していた頃の土星は海王星と共鳴状態にあった

土星の失われた衛星にたどり着いた Wisdomさんたちは、最初から環の起源を求めていたのではなく、もともとは土星の自転軸が傾いている理由を探っていました。

太陽系の巨大ガス惑星や巨大氷惑星の軌道面（公転軌道が描き出す平面）に対する自転軸の傾きはさまざまです。太陽系最大の惑星である木星の自転軸は約 3 度しか傾いていませんが、土星の自転軸は約 27 度傾いています。天王星の自転軸はほぼ横倒しの約 98 度も傾いていますが、これは過去に起きた巨大衝突が関係しているのではないかと考えられています。



【▲ 太陽系 8 惑星の自転を比較した動画】（Credit: James O'Donoghue; Imagery from: NASA/Hubble/Cassini/JHUAPL/SSI/SwRI/Solar System Scope processing）

【▲ 土星探査機カッシーニが撮影したイアペトゥス。2007 年 9 月撮影（Credit: NASA/JPL/Space Science Institute）】

研究チームによると、土星の場合は自転軸の歳差が海王星の公転軸（軌道面から垂直に伸びた軸）の歳差と同期しているようにみえることから、土星は海王星と重力を及ぼし合うことで共鳴し、結果として自転軸が傾いたのではないかと考えられてきました。当初の傾きはわずかだった土星の自転軸が、海王星との共鳴によって大きく傾いたというのです。しかし、このアイデアには土星の角運動量が正確に知られていないという問題点があったといいます。土星の角運動量は海王星との共鳴の影響を左右する要素のひとつであるため、土星と海王星の関係を正しく理解するためには、土星の角運動量を決定しなければなりません。そこで研究チームは土星の内部をモデル化し、カッシーニのグランドフィナーレで取得された重力場の観測データをもとに、土星の慣性モーメント（※）を突き止めることを試みました。

※...角運動量は角速度と慣性モーメントの積。

分析の結果、土星の角運動量は海王星と共鳴するにはギリギリ小さいことが判明しました。少なくとも現在の土星と海王星は、共鳴状態にないことがわかったというのです。ただし、土星にもう 1 つの衛星があったと仮定すれば、計算上は過去の土星と海王星が共鳴していた可能性も示されました。

続いて研究チームは、土星が海王星との共鳴状態から外れた理由を検討しました。何通りものシミュレーションを繰り返した結果、過去の土星にはイアペトゥスとほぼ同じ大きさの衛星がもう 1 つ存在していたものの、その衛星を失ったために海王星との共鳴状態から外れた可能性が最も高いことがわかりました。同時に、土星の自転軸の傾きが海王星との共鳴の結果であることも結論付けられています。

この衛星が失われたのは、土星から遠ざかり続けている衛星タイタン（※）と共鳴して軌道が変化し、土星へ接近するようになったからだと考えられています。タイタンが土星から遠ざかるペースをもとに、研究チームはその時期を今から 2 億～1 億年前と推定しましたが、これは近年推定されている環の形成時期に一致します。

※...土星最大の衛星、直径約 5150km。カッシーニの観測によって毎年約 11cm のペースで土星から遠ざかっていることが判明している。

つまり、海王星との数十億年に渡る共鳴の結果である土星の自転軸の傾きと、土星本体に比べてとても若かった土星の環の形成が、1 つの衛星とその崩壊によってどちらも説明できることとなります。この衛星が、先に述べたクリサリスというわけです。研究チームは土星とその衛星や海王星の動きをより正確に測定することで、仮説が裏付けられることを期待しています。関連：[土星の約 27 度傾いた自転軸、今も傾きを増し続けている可能性](#)

■この記事は、【[Spotify で独占配信中（無料）の「佐々木亮の宇宙ばなし」](#)】で音声解説を視聴することができます。

Source Image Credit: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

[MIT](#) - Saturn's rings and tilt could be the product of an ancient, missing moon

<https://www.newsweekjapan.jp/akane/2022/09/post-37.php>

中国が月の新鉱物「嫦娥石」を発見 新種認定のプロセスと「月の石」の歴史

2022年09月20日（火）11時25分



月面試料の分析により太陽系初期の状態を知ることができる（写真はイメージです） hakule-iStock

<中国はアポロ計画の米国、ルナ計画の旧ソ連に続く月から新鉱物を発見した3つ目の国に。鉱物が新種と認定されるまでの手順、ユニークな命名方法を紹介します>

中国国家航天局と国家原子力機構は9日、月無人探査機「嫦娥（じょうが）5号」が2020年12月に月面から持ち帰った土壌から見つかった鉱物が、新種と認定されたと発表しました。

中国が月から新鉱物を発見するのは初めてで、米国のアポロ計画、旧ソ連のルナ計画で見つかったものについて3カ国目となりました。新鉱物は「嫦娥石（Changesite）」と名付けられました。03年より開始された中国の月探査プロジェクト「嫦娥計画」の由来ともなった、中国神話で月に住むとされる仙女に因んでいます。

鉱物が新種と認定される手順と、「月の石」の歴史を概観しましょう。

新鉱物と認定されるまでのプロセスと、名前の付け方

鉱物は、大雑把に言えば「一種類だけでできている石」のことです。自然界に存在する物質のうち地質作用で作られたもので、ほぼ一定の化学組成と結晶構造を持つ無生命の均一物質を指します。

現在5000種以上が知られており、今でも毎年数種の新鉱物が発見されています。ちなみに一般に見られる「石ころ」は、通常は複数の種類の鉱物でできていて「岩石」と呼ばれます。新鉱物として認められるには、国際鉱物学連合（IMA）の新鉱物・鉱物・命名分類委員会（CNMNC）に申請を行い、審査を通過する必要があります。申請のためには、その鉱物の産状、化学組成、結晶構造などを詳細に分析し、名称案と共に書面にして提出しなければなりません。申請書の内容は、世界各地から選ばれた約40名の鉱物学者が2カ月程かけて厳しい審査をします。最終的に、過半数の委員が参加した投票で3分の2以上の賛成を得られると、新鉱物として認定されます。新鉱物の名前は、多くの場合は申請者（分析して新鉱物と確信した人）の名前に因んで付けられるのではなく、過去の著名な鉱物学者や申請者の恩師、最初に見つかった場所の地名に由来します。

たとえば、日本で1974年に発見された新鉱物「杉石（Sugilite）」は、山口大名誉教授の村上允英博士らが分析に成功してIMAに申請しましたが、名前は恩師の杉健一博士の名前に因んで鉱物名を付けました。「鉱物学者の夢の一つは、優秀な弟子を育てて新鉱物に自分の名前を付けてもらうこと」などと語られることもあります。

嫦娥石の発表とほぼ同時に、日本でも新鉱物認定のニュースがありました。東京大学物性研究所はアマチュア鉱物研究者と共同して、北海道で産出する「砂白金」から白金と銅を主成分とする新種を発見しました。名前は発見地にちなんで「苫前鉱（とままえこう、Tomamaeite）」と付けられました。

次のページ月面試料の科学的意義

嫦娥5号は、月の土壌試料を1731グラム持ち帰りました。中核集団核工業北京地質研究院のイノベーションチームが、約14万個の粒子の中から約10マイクロメートルの嫦娥石の分離と結晶構造の解析に成功しました。柱状結晶で、化学組成から見るとリン酸塩鉱物の一種で、カルシウムやイットリウム、鉄を含んでいます。月の玄武岩の粒子の中から見つかりました。月面で見つかった石、月から飛来したと考えられる石は「月の石（lunar rock）」と総称されています。これまでに人類が手にした月の石には、①アポロ計画で持ち帰ったもの、②ルナ計画で持ち帰ったもの、③嫦娥5号が持ち帰ったもの、④隕石として地球に落下したのがあります。

①から③の月面試料は、ロマンや達成感のために採取したわけではありません。地球では大気や水、地殻活動によって見えにくくなっている数十億年前の状態がよく保存されており、月試料を分析すると太陽系初期の状態を

知ることができるという科学的な意義があります。

46年ぶりの持ち帰り成功

月の石を初めて持ち帰ったのは人類初の月着陸に成功したアポロ 11号で、69年7月のことです。月を歩行した2人の宇宙飛行士、アームストロングとオールドリンによって、20キロ以上が採取されました。アポロ計画では17号までの計6回（アポロ13号は月着陸を断念）で月の石を採取し、総重量で382キロにもなりました。

月で見つかった新鉱物のうち、3種はアポロ11号が持ち帰った試料から分離されています。アーマルコライト（armalcolite）は、チタンが豊富な酸化鉱物です。月面の「静かの基地（アポロ11号の着陸地点）」で採取された試料から見つかった鉱物で、乗船していたアームストロング（Armstrong）、オールドリン（Aldrin）、コリンズ（Collins、月着陸せずに司令船の操縦をしていた）の3名の宇宙飛行士にちなんで命名されました。

その他、ジルコニウムやチタンを含むケイ酸塩鉱物のトランキリティイト（Tranquillityite）、鉄とカルシウムを含むケイ酸塩鉱物のパイロクスフェロイト（Pyroxferroite）も同時に見つかりました。

次に月の石を持ち帰ったのは、ルナ計画の無人探査機ルナ16号（70年9月）です。同20号、24号でも月の土壌を載せたカプセルが地球に無事帰還し、3機で301グラムのサンプル・リターンに成功しました。

月で見つかった新鉱物として、アポロ14号の着陸地点から採取された酸化灰ベタフォ石（oxycalcibetafite）や、ルナ24号の着陸地点から採取された酸化ウラノベタフォ石（oxyuranobetafite）の名前が挙がることもあります。けれど、化学組成のみで結晶構造が不確定なため、新種とは認められないという考えが主流です。

次のページ日本と月の石の関わり

今回の嫦娥5号の月の石は、ルナ24号（76年）以来46年ぶりの持ち帰り成功でした。その間、地球外で着陸しての試料持ち帰りは、日本の探査機「はやぶさ」が10年6月に小惑星イトカワで成功しています。さらに20年12月にも、「はやぶさ2」が小惑星リュウグウで成功しました。残念ながら、日本は月の石の持ち帰り成功国には名を連ねていません。日本の月探査は、07年に「かぐや」が周回調査に成功しています。数度の延期を経て今月中にも1号機が打ち上げられる見込みの有人月探査プロジェクト「アルテミス計画」には、日本も参画しています。早ければ24年には月着陸と試料持ち帰りが行われる予定です。

日本と月の石の関わりと言えば、70年の大阪万博で展示されたことが有名です。約6400万人が来場した同イベントでは、アポロ12号が1969年11月に持ち帰った約1キロの月の石の実物を一目見ようと、アメリカ館には毎日数時間待ちの列が形成されました。

現在は、東京の国立科学博物館にアポロ11号と17号が採取した月の石、スペースLABO（北九州市科学館）にはアポロ12号が採取した月の石が常設展示されています。月関係のニュースが増えている昨今、月の一部の実物を見れば、もっと身近に感じられるかもしれません。

https://news.biglobe.ne.jp/it/0923/giz_220923_3953251726.html

ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の最新画像は、これまで最も鮮明な海王星

9月23日（金）12時0分 [GIZMODO](#)

環までくっきりと。

ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡が、またもや太陽系の天体の美しく精細な姿を捉えました。今回撮影された海王星の最新画像には薄いものの印象的な環が写っており、1989年以来最も鮮明な画像であると欧州宇宙機関（ESA）は述べています。海王星はあまりに遠く離れているため1846年になってようやく発見され、冥王星が準惑星に格下げされた2006年に太陽系で最も外側にある惑星となりました。今回の画像は近赤外線カメラ（NIRCam）で撮影され、しっかりと海王星の環の構造も写っています。ESAによると、この環が観測されたのが1989年のボイジャー2号によるフライバイ以来のこと。ウェッブ宇宙望遠鏡チームの惑星科学者であるHeidi Hammel氏は、NASAのプレスリリースの中で、「これらのかすかで塵に富む環を最後に観測してから30年が経ちましたが、今回初めて赤外線でも観測しました」とコメントしています。

巨大氷惑星と分類される海王星は、豊富な水素とヘリウムにメタンがあるため可視光線で観測すると淡い青色に見えます。しかし近赤外線で見えた新画像では、メタンが赤い光の大部分を吸収するので海王星は暗く見えるのです。表面に見える明るい筋や斑点は高高度にある雲で、太陽光を惑星のメタンに吸収される前に反射するそう。さらにウェッブは14個ある衛星のうち7個（トリトン、ガラテア、ナイアド、タラッサ、ラリッサ、デスピナ、プロテウス）の観測にも成功しています。遥か彼方に存在する海王星への興味が募る、そんな最新画像です。

Source: NASA, HubbleWebbESA

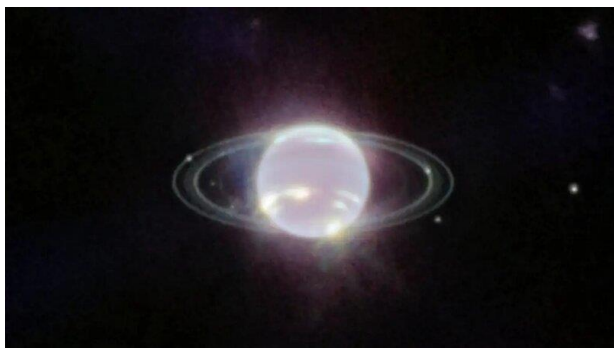


Image: NASA, ESA, CSA, and STScI

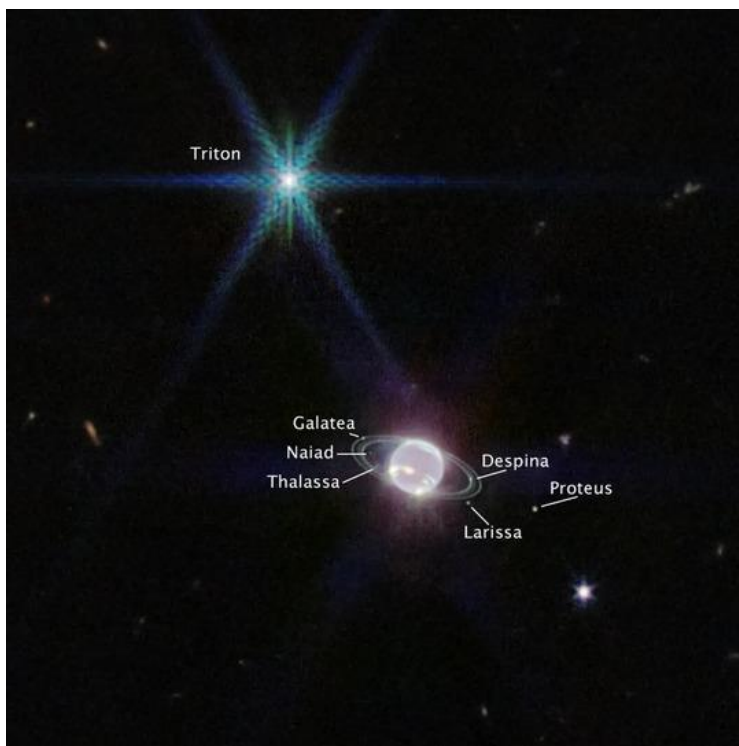


Image: NASA, ESA, CSA, and STScI

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡の NIRC2 で撮影された画像。赤外線による海王星の観測は今回が初めてになります

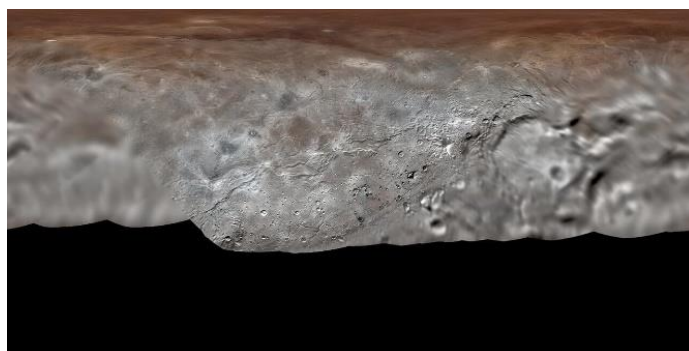
<https://sorae.info/astronomy/20220921-charon.html>

マグマからのメタンが原因？冥王星の衛星「カロン」の北極が赤い理由

2022-09-21 [彩恵りり](#)

1978 年に発見された冥王星の衛星「カロン」は、冥王星と比べて直径は半分、質量は 7 分の 1 という極端な割合を持つことで知られています。惑星と衛星の比率が最大である地球と月でも、直径は 6 分の 1、質量は 81 分の 1 であることを考えると、冥王星とカロンの極端さが実感いただけるかと思えます。

しかし、カロンは地球から極めて遠くにあるために、発見以来しばらくはその性質についてほとんど何も分かっていませんでした。



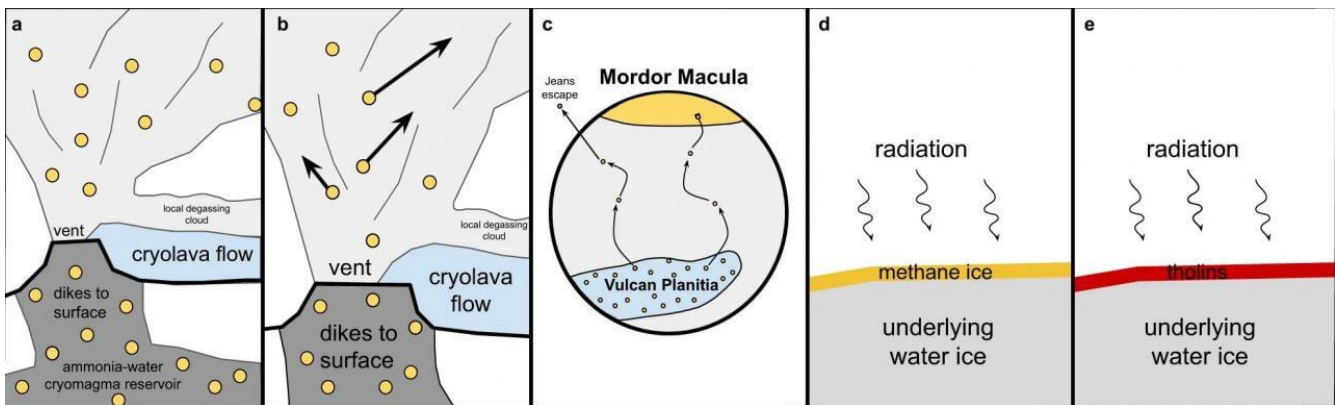
【▲ 図 1: 2015 年にフライバイ探査を行った NASA の探査機ニュー・ホライズンズが撮影したカロンの画像。色は強調されています。(Image Credit: NASA/JHUAPL/SwRI)】

【▲ 図 2: ニュー・ホライズンズで撮影された画像に基づくカロンの地図。メルカトル図法なので引き伸ばされていますが、北極地域が全体的に赤く、他の地域と顕著に色が異なります。(Image Credit: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute)】

この状況を打開したのが、2015 年にフライバイ探査を行った NASA (アメリカ航空宇宙局) の冥王星探査機「ニュー・ホライズンズ」です。ニュー・ホライズンズはカロンの表面から約 3 万 km まで接近して、詳細な撮影を行いました。この時に撮影された画像から、カロンは大雑把に北半球と南半球で異なる経歴を持つことが判明しました。北半球にある「オズ・テラ (Oz Terra)」と呼ばれる高地では、クレーターがよく保存されていることが

ら、形成初期の頃から地質的な変化があまり起きていないと推定されています。一方で、南半球にある「バルカン高原 (Vulcan Planum)」は、オズ・テラと比べてクレーターに乏しい地域です。南北でクレーターの数が異なるのは、過去に南半球でアンモニアと水を主成分とする“マグマ”が大量に噴出し、表面を覆ったためだと推定されています。カロンは分類上こそ冥王星の衛星ですが、直径は 1212km と、典型的な太陽系外縁天体の大きさを示します。そして、表面が詳細に観測された太陽系外縁天体は限られていることに加えて、上述の通り北半球のオズ・テラにはかなり古い時代の地質情報が保存されている可能性があります。このためカロンは、太陽系外縁天体の観測や研究の指標となる可能性があるのです。ところでオズ・テラがあるカロンの北半球を見ると、赤茶色っぽく見える地域があることに気づくと思われます。これは「モルドールマキュラ (Mordor Macula)」(Macula は斑点の意味) と呼ばれており、ちょうどカロンの北極域を覆っています。他の地域は白っぽいのに、なぜこだけ色が違うのでしょうか？モルドールマキュラは「ソリン (tholin)」と呼ばれる物質に覆われていると推定されています。ソリンは特定の組成を指す名称ではなく、窒素と炭素を含む高分子化合物の総称です。分子の大きさによって色が異なるため、ソリンの色は黄色から黒色まで幅広く変化します。ソリンは低温の天体表面では珍しくない存在で、例えば土星の衛星タイタンの大気が黄色っぽく、見通しのきかないモヤで覆われているのはソリンが原因です。ソリンはメタンとアンモニアを原料に、太陽からの紫外線を受けて分解と化合を繰り返すことで生成されると考えられています。地球から観測した多数の太陽系外縁天体は、表面にメタンを持つことが観測されています。しかし、メタンは揮発して宇宙空間へと逃げやすい物質です。このため、太陽系外縁天体に見られるメタンは継続的に供給されているのか、それとも原始的 (形成初期に表面に存在したメタン) なものなのか、という問題がありました。カロンの場合、もしモルドールマキュラが南極にあるならば、その近くにある火山がメタンの供給源であるとすぐに説明がつかます (※)。しかし、モルドールマキュラは火山活動がない北極にあります。また、カロンと冥王星の距離は極めて近いため、冥王星の大気に含まれるメタンの一部がカロンに供給されます。したがって、モルドールマキュラの色の素となるメタンがどのような起源を持つのかは、謎に包まれています。

※...ニュー・ホライズンズの接近時、カロンの南極域はずっと日光に照らされていない極夜の状況でした。このため、南極がどのような状況になっているのかは 2015 年の探査では判明しておりません。



【▲ 図 3: 今回の研究で推定された、モルドールマキュラの成因。地下からマグマとともに供給されたメタンは昇華によって極域まで移動し、そこでソリンへと変化します。(Menten, et.al.)】

パデュー大学の Stephanie M. Menten 氏らの研究チームは、カロンのモルドールマキュラを作ったメタンは、カロンの内部から供給されたものであるという推定結果をまとめました。そのプロセスは「カロンの地下から南半球表面への供給」と「南半球から北極への移動」の 2 段階に分かれています。

まず、研究チームはカロンの南半球を覆ったマグマの成分について検討しました。このマグマ噴出イベントは、爆発性噴火を伴わず、複数の火口からマグマだけを大量に噴出させるものであったと推定されています。これはちょうど、2 億 5000 万年前の地球で起きた洪水玄武岩のようなイベントに似ていると推定されています。アンモニアと水のマグマはカロンの地下 85km から供給されたと推定されており、表面に噴出したことで生じた圧力低下と、水が先に凍ったことによる溶解度の低下から、マグマに溶けきれなくなったメタンが脱ガスしたと推定されています。アンモニアと水のマグマには、総量で 1 兆 2900 億~3 兆 4700 億トンのメタンが含まれていたと推定されています。次に、研究チームはカロンの表面へ出てきたメタンが北極まで移動するのかを推定するために、メタンを昇華 (固体から液体にならず直接気体になること) する粒子であると仮定し、様々な緯度や季節を仮定してメタン粒子の移動をシミュレーションしました。これは、他の低温の天体で二酸化炭素がどのように移動するのかを分析する手法を応用したものです。カロンの大気は極めて薄く、事実上真空であると仮定できます。

このような環境では、メタン粒子の移動は弾道軌道となり、初速度は昇華した際の温度に依存します。つまり、メタン粒子は温度が高ければ高いほど弾道軌道で遠くまで移動できますが、温度が高すぎるとカロンの脱出速度を超えてしまい、宇宙空間へと逃げてしまいます。シミュレーションの結果、かなりの割合のメタンが両極に移動することがわかりました。両極はカロンで最も寒い地域であるため、冬にはそれ以上メタンが移動できないコールドトラップとして機能します。例えば北半球が冬の時期、メタンの97%は北極に移動し、宇宙空間へ逃げ出してしまうのは3%に限られます。北半球が夏になればこの移動は逆向きになりますが、いずれにしてもメタンの大半はカロンの表面に留まることがわかります。南半球を覆ったマグマがどの程度の速度で供給されたのかについては判明していませんが、今回の研究では速度がほとんど影響しないこともわかりました。例えば、マグマの供給が100万年程度の時間スケールで起こった場合、両極に移動するメタンの氷の厚さは1.5~2.5mm/年です。これが仮に1000倍長い10億年程度の時間スケールだった場合、供給量は1000分の1の1.5~2.5 μ m/年になりますが、そのどちらをとるにしても、冥王星の大気に由来するメタンの供給量である0.3 μ m/年よりずっと多いためです。このため、モルドールマキュラを形成する素となったメタンは、カロンの地下から供給されたものが大半を占めることが明らかとなりました。今回の研究では、総計で厚さ9m分の氷を形成するメタンが両極に移動したと推定されています。一方で、カロンの夏の両極はメタンの氷を昇華させるのに十分な温度まで暖まります。せっかく供給されたメタンも、夏場に昇華して逃げてしまえば意味がありません。一方で、日光に含まれる紫外線はメタンを分解し、より重い分子へと変化させます。重い分子は昇華しにくくなるため、夏場でもカロンから逃げ出さなくなります。いくつかのデータから、カロンの両極では1回の季節（地球の100年程度の期間）で厚さ1.5 μ mのメタンの氷が分解され、重い分子に変化することがわかりました。これはメタンが宇宙空間に逃げ出すのを防ぐのに十分な変化率です。数千年から数百万年の時間が経つと、これらの重い分子は色のあるソリンへと変化していきます。ところで、今回の研究では謎も残されています。モルドールマキュラの見た目は赤茶色をしていますが、本来はほとんど黒色になっているべきだと推定されます。これは、カロンにおけるソリンの生成プロセスが数十億年スケールと極めて長いためです。なぜモルドールマキュラが黒くないのかについては、2つの理由が推定されています。1つは冥王星からのメタンの供給です。今回の研究の通り、モルドールマキュラのソリンの由来となったメタンは、過去の一時期にカロンの内部から供給されたものが大半を占めていると推定されていますが、それでもわずかながら冥王星の大気由来のメタンも混ざっていることとなります。冥王星からは継続的にメタンが供給されるため、比較的生成年齢が若く、色の薄いソリンが混ざることによって、モルドールマキュラの色は薄いままなのかもしれません。もう1つは微小隕石の衝突による“ガーデニング”です。カロンの表面に微小隕石が衝突すると、水の氷が融けて耕されます。この作用によって表面がリフレッシュされることで、色が薄くなる可能性があるのです。ガーデニングプロセスは、単独で存在する太陽系外縁天体が赤っぽい色をしている理由として推定されています。冥王星という主星を持つ衛星のカロンでも同じプロセスが起きているのかは不明であるため、冥王星由来のメタンが混ざることとガーデニングプロセスのどちらが主因なのかは、今後の研究で明らかになることが期待されます。なお、マケマケ、エリス、クワオアア、ゴングゴング、セドナといった太陽系外縁天体は、表面が赤っぽいことと、メタンの氷が存在することが判明しています。もしもこれらの天体がカロンと同じようにメタンを含んだマグマを内部に持っている場合、表面に噴出したメタンからソリンが生成され、赤っぽい表面を作る原因となっている可能性があります。また、これらの天体はカロンよりも遠くを公転しており、表面温度もカロンより低い状態が保たれています。このため、極域だけがメタンのコールドトラップになっているカロンとは異なり、天体の表面全体がコールドトラップとして機能している可能性があります。一方で、オルクスや2003 AZ84のように、ほとんど無色で密度が低いと推定される太陽系外縁天体もあります。これらの天体は内部に固体または液体のアンモニアや水を多く含んだままであると推定されており、メタンもまた内部に保持されたままなのかもしれません。今回の推定に従えば、これらの天体はほとんどのメタンを表面に放出しておらず、したがって色の原因となるソリンもほとんど存在していないと推定することもできます。

Source

[Stephanie M. Menten, Michael M. Sori & Ali M. Bramson](#). “Endogenically sourced volatiles on Charon and other Kuiper belt objects”. (Nature Communications)

[Tricia Talbert](#). “Pluto’s Big Moon Charon Reveals a Colorful and Violent History”. (NASA)

[NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute](#). “Map projection of Charon”. International Astronomical Union.

文／彩恵りり

地球に落ちた隕石に含まれる硬いダイヤモンド。宇宙で準惑星と小惑星が衝突したことで形成されたことが判明

9月21日（水）20時0分 [カラパイア](#)



地球に落下した準惑星のマンテルが起源と考えられる「ユレイライト隕石」に、ダイヤモンドよりも硬いダイヤモンドが発見されている。これは、珍しい六方晶ダイヤモンド「[ロンズデーライト](#)」だ。

その隕石の内部にはロンズデーライトと普通のダイヤモンドが両方ある。オーストラリアの研究グループはそれらのダイヤモンドの起源を突き止めた。

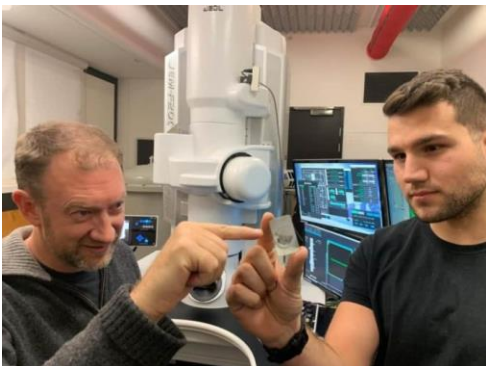
『PNAS』（2022年8月5日付）に掲載された研究によれば、準惑星が45億年前に宇宙で大きな小惑星と衝突し、そのときに発生した激しい化学プロセスによって形成されたのだそうだ。

・隕石に含まれる硬いダイヤモンド「[ロンズデーライト](#)」

結晶学者として有名なキャスリーン・ロンズデーにちなんで名付けられた「[ロンズデーライト](#)」は、六方晶の結晶構造であることから、立方晶である普通のダイヤモンドよりも約58%硬いと考えられている。

ロンズデーライトは1967年にキャニオン・ディアブロ隕石から発見された初めて発見され、ケナ隕石、アラン・ヒルズ77283などの希少なユレイライト隕石の中で最もよく発見される。

オーストラリアのモナシュ大学やRMIT大学をはじめとする研究グループは、最新の電子顕微鏡で準惑星のマンテルが起源のユレイライト隕石を撮影した。その結果、内部に普通のダイヤモンドと共にロンズデーライトがあることを確認した。それは髪の毛よりもずっと細く、それでいて長さは最大1ミクロンもある、これまで発見された最長のロンズデーライト結晶であるという。



研究者の1人が持っているのが「ユレイライト隕石」のサンプル。45億年前に破壊された準惑星が起源とされる / Credit: RMIT University・準惑星と小惑星の激しい衝突によって形成 photo by iStock

今回の研究では、ロンズデーライトが形成されたプロセスについても分析されている。

それによると、宇宙で準惑星と小惑星が衝突した直後、内部で「超臨界化学蒸着」と同じようなことが起きて形成されたのだろうという。化学蒸着は人工的にダイヤモンドを作るときにも使われる方法だ。

隕石のロンズデーライトは、高温と中程度の圧力にさらされたことで、「超臨界流体」からその前にあった「[グラファイト](#)」の形状と構造をほぼ完璧に保存したまま形成された。

だが周囲が冷えて圧力が下がると、ロンズデーライトの一部が普通のダイヤモンドに置き換わったという。

・産業利用にも期待

こうした自然のプロセスを応用すれば、産業用の超硬質素材を作ることもできるかもしれない。

モナシ大学の地質学者アンディ・トムキンス教授は、「自然は産業で再現できるプロセスを教えてください」と話す。45億年前に起きたプロセスを再現して、あらかじめ形を整えたグラファイトをロンズデーライトに置き換えることができれば、小さな超硬質機械パーツを作れると期待できるそうだ。

References: [Mysterious diamonds came from outer space, scientists say - RMIT University/](#) written by hiroching / edited by / [parumo](#)

<https://sorae.info/ssn/20220922-soyuz-ms22.html>

ロシアの有人宇宙船「ソユーズ MS-22」打ち上げ 約3時間でISSへ到着

2022-09-22 [sorae 編集部](#) [速報班](#)



【▲ 有人宇宙船「ソユーズ MS-22」を搭載して打ち上げられた「ソユーズ 2.1a」ロケット (Credit: NASA/Bill Ingalls)】

【▲ ソユーズ MS-22 のクルー。上から：ドミトリー・ペテリン宇宙飛行士、フランク・ルビオ宇宙飛行士、セルゲイ・プロコピエフ宇宙飛行士 (Credit: NASA/Bill Ingalls)】

ロシアの国営宇宙企業ロスコスモスは日本時間9月21日夜、「ソユーズ 2.1a」ロケットの打ち上げを実施しました。搭載されていた有人宇宙船「ソユーズ MS-22 “K・E・ツィオルコフスキー”」は無事軌道へ投入され、国際宇宙ステーション (ISS) に到着したことが、ロスコスモスやアメリカ航空宇宙局 (NASA) から発表されています。打ち上げに関する情報は以下の通りです。

■ソユーズ 2.1a (ソユーズ MS-22、68S)

打ち上げ日時：日本時間 2022 年 9 月 21 日 22 時 54 分【成功】

発射場：バイコヌール宇宙基地 (カザフスタン)

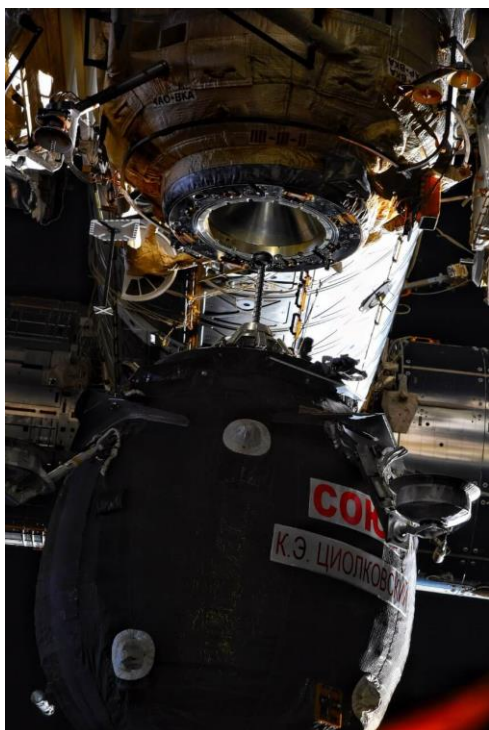
ペイロード：有人宇宙船「ソユーズ MS-22 “K・E・ツィオルコフスキー”」

ソユーズ MS-22 にはロスコスモスのセルゲイ・プロコピエフ (Sergey Prokopiev) 宇宙飛行士とドミトリー・ペテリン (Dmitry Petelin) 宇宙飛行士、NASA のフランク・ルビオ (Frank Rubio) 宇宙飛行士が搭乗しました。3名はISSに約6か月間滞在する予定です。

2022年2月に始まったロシアによるウクライナ侵攻以降、宇宙分野でも欧米とロシアの協力関係に影響が及んでいますが、ルビオ飛行士は米ロの間で結ばれた新たなクルー交換協定のもとでソユーズ MS-22 のクルーの一員となり、今回の打ち上げを迎えました。

関連：[ロシア宇宙機関が米ロ飛行士の新たなクルー交換とトップの交代を発表](#)

日本時間9月21日22時54分にカザフスタンのバイコヌール宇宙基地から打ち上げられたソユーズ MS-22 は、高度を上げつつ約3時間かけて地球を2周した後、日本時間9月22日2時6分にISSロシア区画の小型研究モジュール1「ラスヴェット」へドッキング。同日4時45分にはハッチが開放され、ソユーズ MS-22 のクルー3名は第67次長期滞在クルーの7名と合流しました。



【▲ ISS ロシア区画「ラスヴェット」モジュールのドッキングポートに接近するソユーズ MS-22 (Credit: Roscosmos/Sergey Korsakov)】

なお、1週間後の9月29日には、2022年3月に到着した有人宇宙船「ソユーズ MS-21 “セルゲイ・コロリョフ”」が3名のクルーを乗せてISSを発ち、第68次長期滞在がスタートする予定です。また、10月4日には宇宙航空研究開発機構（JAXA）の若田光一宇宙飛行士ら4名が搭乗するスペースXの有人宇宙船「クルードラゴン」エンデュランス号による有人宇宙飛行ミッション「Crew-5」の打ち上げが実施され、若田飛行士らが第68次長期滞在クルーに加わる予定です。

関連：[若田光一宇宙飛行士が搭乗の「クルードラゴン」10月4日以降打ち上げ](#)

Source Image Credit: NASA/Bill Ingalls, Roscosmos/Sergey Korsakov

[NASA](#) - NASA Astronaut Frank Rubio, Crewmates Arrive Safely at Space Station

[NASA](#) - Space Station (NASA Blogs)

文/sorae編集部 速報班

<https://www.newsweekjapan.jp/stories/world/2022/09/1-245.php>

1万光年先の超新星残骸の姿、データからスパコンが可視化

2022年9月20日（火）19時50分 [青葉やまと（Pen Online より転載）](#)



スーパーコンピュータ「セトニクス」が捉えた超新星残骸の画像。新石器時代に爆発した可能性がある
CREDIT:DR WASIM RAJA, DR PASCAL ELAHI

<オーストラリアで新たに稼働した最新のスパコン「セトニクス」が1万光年先の超新星残骸の姿を画像化した……> 1~1.5万光年先にある超新星残骸の姿を、オーストラリアで新たに稼働した最新のスパコン「セトニクス（Setonix）」が画像化した。複雑な密度の差があるガスが球状に集積し、高エネルギーを放出している様子

を確認できる。今回画像化されたのは「G261.9+5.5」と呼ばれる超新星残骸で、100万歳以上の天体だと考えられている。47億歳と推定される太陽の倍以上の歴史をもつ天体だ。オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）の天文学者により、1967年に超新星残骸と確定された。今回の画像はCSIROが運用する36基の電波望遠鏡で得られた膨大なデータをセトニクスに取り込み、多数の周波数の観測結果を統合し可視化したものだ。CSIROの科学者たちは豪ニュース分析サイトの「カンバセーション」への寄稿を通じ、光って見える部分は圧縮された星間磁場に閉じ込められた高エネルギーの電子だと説明している。この電子を解析することで、星の成り立ちや周囲の星間物質に関する情報が得られる可能性があるという。

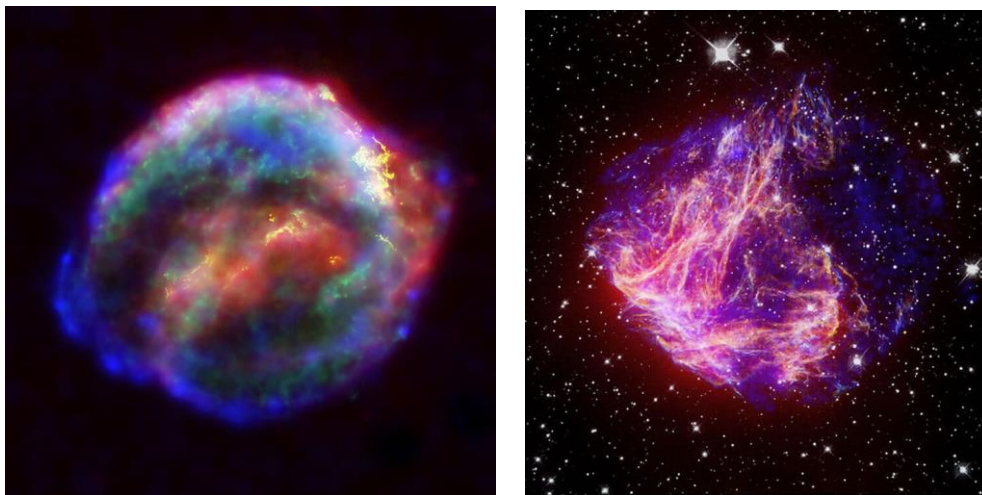
エネルギーを失った恒星の最期の姿

超新星残骸とは、死にゆく恒星が超新星爆発を遂げたあとに残る残骸を意味する。恒星は核融合反応によってその自重に耐えており、寿命を迎えて燃料がなくなり核融合反応が弱まると、超新星爆発と呼ばれる大爆発に至る。高速で飛び散った恒星の外殻は強い衝撃波を生じ、周囲の星間空間に漂うガスやその他の物質を圧縮・加熱するほか、一帯の宇宙線を加速するなど各種の天文現象を引き起こす。こうして形成された超新星残骸の姿を可視化したのが今回の画像データだ。電波望遠鏡による観測データは容量が膨大であり、処理に非常に高度な能力を必要とする。そのため本画像の描画処理は、新たなスパコンのストレステスト（負荷テスト）の題材としてうってつけだったようだ。

南半球最速のスパコン

解析を行ったスパコンのセトニクスはオーストラリア西部の要衝・パースに設置されており、現在テスト運用が行われている。本画像の計算は、セトニクスの大規模テストの第1弾として実施された。

豪エイジ紙によると、セトニクスは2段階で拡張される予定だ。第1段階として運用されている現在、計算を担う「コア」の数はおよそ6万5000個となっている。通常家庭で用いるパソコンが4コアから8コア程度であることと比較すると、まさに天文学的な数字だ。今回の超新星残骸の画像はこれらのコアを稼働させ、約5時間を費やして作成された。テストは第1弾のシステムが完成してから24時間以内に完了するという迅速なものだったという。第2段階までの拡張が完了するとシステム全体で20万コアとなり、計算能力は50ペタフロップスに達する。日本のスパコン「富岳」と比較すると9分の1程度だが、「京」の2倍程度となり、南半球では最速のスパコンとなる見込みだ。計算技術の発達により、従来では不可能だったレベルの鮮明な画像で、遠い宇宙の天体の姿を捉えることができるようになってきているようだ。



ケプラーの超新星 SN 1604 の超新星残骸の多波長合成画像 : wikimedia

大マゼラン雲の超新星残骸 N49 の多波長合成画像 ; wikimedia

<https://sorae.info/astromy/20220923-snr0519690.html>

星の最期を伝える 16 万光年先の超新星残骸、ハッブルとチャンドラが観測

2022-09-23 [松村武宏](#)



【▲ 超新星残骸「SNR 0519-69.0」 (Credit: X-ray: NASA/CXC/GSFC/B. J. Williams et al.; Optical: NASA/ESA/STScI)】

こちらは「かじき座」にある超新星残骸「SNR 0519-69.0」(以下「SNR 0519」)です。SNR 0519は、約16万光年先にある天の川銀河の伴銀河(衛星銀河)のひとつ「大マゼラン雲」(LMC: Large Magellanic Cloud、大マゼラン銀河とも)にあります。

超新星残骸とは、重い恒星などによる超新星爆発が起きた後に観測される天体のこと。超新星爆発にともなって発生した衝撃波が周囲へ広がってガスを加熱することで、可視光線やX線といった電磁波が放射されています。SNR 0519を形成した超新星爆発の光は、今から約670年前の14世紀頃に地球へ到達したと推定されています。この画像は「ハッブル」宇宙望遠鏡とX線観測衛星「チャンドラ」を使って取得された画像をもとに作成されました。画像の幅は約88光年に相当します。人の目では捉えることができないX線のデータも含まれているため、ハッブルのデータは赤と白、チャンドラのデータはX線のエネルギーが低いほうから順に緑・青・紫で着色されています。スミソニアン天体物理観測所のチャンドラX線センターによると、この超新星残骸は白色矮星で起こる「Ia型超新星」によって形成されたと考えられています。白色矮星は、単独では超新星爆発を起こさない太陽のような軽い星が、恒星としての死を迎えた後に進化した天体です。Ia型超新星は、白色矮星の質量が増えて太陽の約1.4倍(チャンドラセカール限界)に達した時に起きるとされています。どうして白色矮星の質量が増えるのかについては、白色矮星とともに連星をなす恒星から流れ出たガスが降り積もるか、あるいは白色矮星どうしの合体が理由だと考えられています。冒頭の画像はアメリカ航空宇宙局(NASA)やチャンドラX線センターから2022年9月12日付で公開されています。

関連: [淡く儂い輝き。テーブルさん座の超新星残骸をハッブルが撮影](#)

Source Image Credit: X-ray: NASA/CXC/GSFC/B. J. Williams et al.; Optical: NASA/ESA/STScI

[NASA](#) - Setting the Clock on a Stellar Explosion

[チャンドラX線センター](#) - SNR 0519-69.0: Setting the Clock on a Stellar Explosion

文/松村武宏