【本件リリース先】
文部科学記者会、科学記者会、広島大学関係報道機関、京都大学記者クラブ、高知県政記者クラブ、岡崎市政記者会、大阪科学・大学記者クラブ、立川市政記者会

NEWS RELEASE

令和８年６月１２日

リュウグウ粒子は地球帰還後わずか数週間で顕著な変質が生じる
―宇宙から持ち帰った試料が地球環境で急速に変化することを解明―

論文掲載

【本研究成果のポイント】
・小惑星リュウグウ※1から地球に持ち帰られた粒子（リュウグウ粒子）は、地球上で数週間のうちに変質が始まり、数か月のうちに周囲へ広がることを明らかにしました。
・リュウグウ粒子に広く含まれる磁硫鉄鉱※2（pyrrhotite）という鉱物が最初に酸化し、その反応が周囲の鉱物や有機物の変質を連鎖的に引き起こすことを示しました。
・宇宙から持ち帰った貴重な試料の保存には、低温・低酸素・低湿度を組み合わせた厳密な環境が重要であることを、実験データから示しました。

【概要】
広島大学大学院先進理工系科学研究科の宮原正明准教授を中心とする、京都大学、海洋研究開発機構高知コア研究所、分子科学研究所、大阪公立大学、国立極地研究所の共同研究グループは、探査機「はやぶさ 2」が小惑星リュウグウから持ち帰った粒子について、大気曝露実験と電子顕微鏡・放射光 X 線分光分析を行い、地球帰還後、数週間のうちに変質が始まり、数か月のうちに周囲の鉱物や有機物へ影響が広がることを明らかにしました。

本研究では、リュウグウ粒子中の磁硫鉄鉱が最初に酸化し、鉄・酸素に富むアモルファス※3変質層を形成するとともに、その反応が周囲のフィロケイ酸塩※4や有機物の変質を引き起こすことを示しました。さらに、磁硫鉄鉱の初期変質速度を約 0.1 nm/日と見積もり、室温付近・低湿度条件でも変質が進み得ることを示す定量的な指標を提示しました。

本成果は、リュウグウやベンヌ※5などの小惑星試料だけでなく、将来の火星の衛星フォボス※6や火星からの帰還試料の保存戦略にも重要な示唆を与えるものです。本研究成果は、国際学術誌「Nature Communications」に５月 29 日に掲載されました。

＜論文情報＞
雑誌名：Nature Communications
論文タイトル：Pyrrhotite-driven early-stage terrestrial alteration in Ryugu grains

著者：Masaaki Miyahara, Takaaki Noguchi, Toru Matsumoto, Naotaka Tomioka, Tohru Araki, Akira Miyake, Yohei Igami, Yusuke Seto, Akira Yamaguchi
DOI：https://doi.org/10.1038/s41467-026-73875-7

【背景】

小惑星や月、火星などから持ち帰られる試料は、太陽系初期の物質の進化や、水・揮発性成分・有機物の起源を直接調べることができる極めて貴重な物質です。とくに炭素質小惑星リュウグウの試料には、含水鉱物や有機物が含まれており、初期太陽系における水質変成や有機化学進化を知る鍵になると考えられています。

一方で、このような試料は水や酸素が豊富に存在する地球環境に対して非常に敏感であり、帰還後の保管・輸送・分析の過程で変質する可能性があります。しかし、どの鉱物が最初に変質し、その影響が周囲へどのように広がるのか、またその速度がどの程度なのかについては、これまで明らかではありませんでした。

【研究成果の内容】

研究グループは、リュウグウ粒子を載せた試料プレートを用い、温度 20～23℃、相対湿度 30～40%の条件で大気曝露実験を行いました。試料を数週間から数か月にわたり追跡し、走査電子顕微鏡※7、透過電子顕微鏡※8、放射光 X 線吸収分光法※9 を用いて、表面および内部の変化を詳細に調べました。その結果、次のことが分かりました。

1．数週間で磁硫鉄鉱の表面変質が始まる

リュウグウ粒子中の磁硫鉄鉱は、地球大気にさらされると表面から酸化し、鉄・酸素に富むアモルファスな変質層を形成しました（図 1）。

2．数か月のうちに周囲の鉱物や有機物にも変質が広がる

今回の時間スケールでは、まず磁硫鉄鉱が先に酸化し、それに伴って酸性・酸化的な環境が局所的に生じました。その結果、周囲のフィロケイ酸塩が部分的にアモルファス化し、有機物にもナノスケールのバブルや炭素・酸素に富む沈殿層が形成されました。つまり、磁硫鉄鉱の酸化が起点となって、周囲の物質の連鎖的な変質が進んでいました。

3．初期変質速度を定量化した

磁硫鉄鉱の変質層の厚さから、初期段階の変質速度を約 0.1 nm/日と見積もりました。これは、地球帰還後の比較的短い時間スケールでも、重要な鉱物学的・化学的情報が失われ得ることを示しています。

4．現在の標準的な保管条件でも変質し得る

乾燥空気中や窒素雰囲気下、室温付近での保管といった、一般的なキュレーション※10 条件下でも、変質が進行し得ることが示されました。これらの結果は、帰還試料の保管において、単に不活性ガスを使うだけでなく、低温・低酸素・低湿度を一体として管理する必要があることを示しています。とくに、室温付近ではナノメートルスケールの変質が日単位で進み得るため、試料の保管や分析はできる限り低温・低酸素・低湿度で行う必要があります。

【今後の展開】

今後は、より多くのリュウグウ粒子を対象に同様の解析を進め、鉱物の種類や粒子の細かなつくりの違いによって、変質の進み方がどのように変わるのかを明らかにしていきます。さらに、本研究で得られた知見を生かし、今後予定されているベンヌ、

フォボス、火星などからの帰還試料について、より適切な保管・輸送・分析方法の確立に役立てたいと考えています。

また、地球外物質が地球環境の中で変質してしまうことは、隕石研究においても長年の大きな課題でした。たとえば、リュウグウ試料と比較される炭素質コンドライト隕石は、南極探査によって回収され、キュレーション施設で保管されています。しかし、これらの隕石にも磁硫鉄鉱が含まれており、その酸化によって変質が進み、岩石表面に白色の風化生成物が生じることがあります（図 2）。本研究は、施設で保管されている試料であっても、条件によっては変質を完全には防げない可能性があることを示しています。地球外試料が本来もっていた重要な科学情報を守るためには、今後さらに厳密な保管条件を検討していく必要があります。

【参考資料】

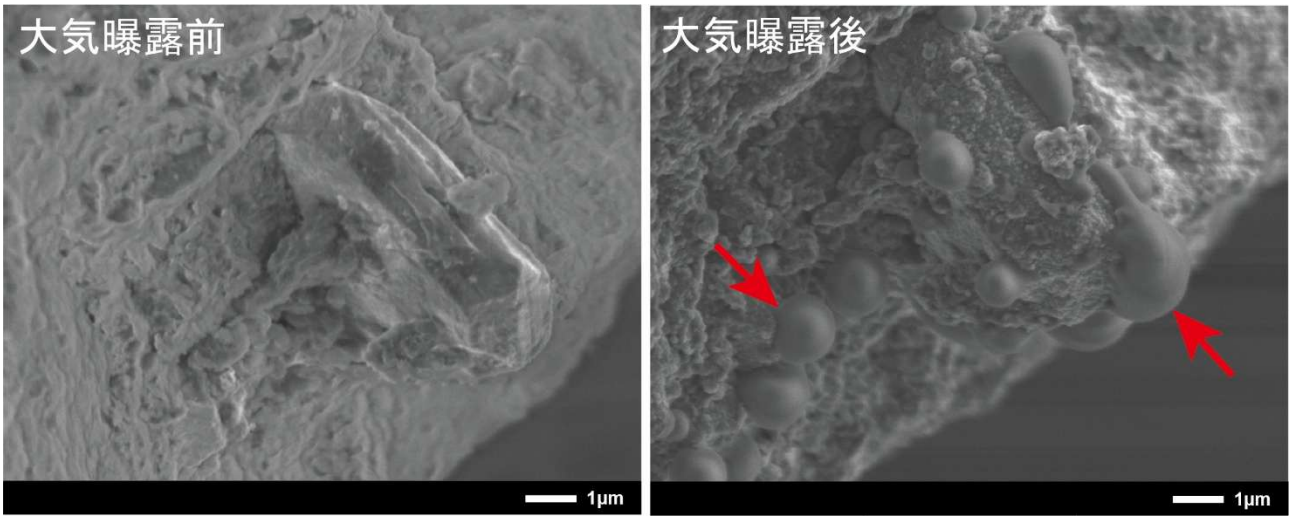

図１．大気曝露前後の磁硫鉄鉱の電子顕微鏡写真．赤い矢印は、磁硫鉄鉱の酸化によってできた鉄と酸素に富む変質物を示す。

図 2．磁硫鉄鉱を含む炭素質コンドライト隕石の表面に、地球風化によって白色の生成物が生じている様子（国立極地研究所提供）

＜用語説明＞

※1 リュウグウ：JAXA の探査機「はやぶさ 2」が探査し、2020 年に試料を地球へ持ち帰った炭素質小惑星。直径約 900 m の「がれきの山（ラブルパイル）」型天体と考えられている。

※2 磁硫鉄鉱（pyrrhotite）：鉄と硫黄からなる硫化鉱物。水との反応性が高く、地球大気中で酸化しやすい。

※3 アモルファス物質：原子の配列に規則性がない物質。

※4 フィロケイ酸塩：層状の結晶構造をもつケイ酸塩鉱物。小惑星や隕石での水の働きを調べる手がかりになる。
※5 ベンヌ：NASA の探査機 OSIRIS-REx が試料を持ち帰った炭素質小惑星。水を含む鉱物や有機物を含み、初期太陽系の物質進化を調べるうえで重要な天体。
※6 フォボス：火星のまわりを回っている小さな衛星のひとつ。火星には「フォボス」と「ダイモス」という 2 つの衛星が存在する。
※7 走査電子顕微鏡（SEM）：試料表面に電子線を当てて、表面の形や凹凸、組成の違いを観察する装置。試料の表面構造を比較的広い範囲で調べるのに適している。
※8 透過電子顕微鏡（TEM）：ごく薄くした試料に電子線を通して、内部の微細構造や結晶の状態を観察する装置。SEM よりも高い分解能で、ナノメートルスケールの内部構造を調べることができる。
※9 放射光 X 線吸収分光法：元素の酸化状態や化学結合状態を調べることができる手法。
※10 キュレーション：試料を汚染や変質から守りながら保管・管理し、研究者に提供するための作業全般。

【その他】

本研究は、「リュウグウ粒子における初期段階の地上風化過程」（第 2 回リュウグウ試料 AO 公募課題、代表：宮原正明）の承認のもとで実施されました。本研究の一部は、分子科学研究所 UVSOR 放射光施設の BL4U における課題 IMS program 24IMS6819 として実施されました。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（課題番号：18H01269）による支援を受けています。

【お問い合わせ先】

＜研究に関すること＞
広島大学大学院先進理工系科学研究科　准教授　宮原正明
Tel：082-424-7461
E-mail：miyahara@hiroshima-u.ac.jp

＜広報に関すること＞
広島大学　広報グループ
Tel：082-424-4518
E-mail：koho@office.hiroshima-u.ac.jp

京都大学 広報室 国際広報班
Tel：075-753-5729　Fax：075-753-2094
E-mail：comms@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

海洋研究開発機構（JAMSTEC）
事業推進部　報道室
Tel：045-778-5690
E-mail：press@jamstec.go.jp

自然科学研究機構　分子科学研究所　研究力強化戦略室　広報担当
Tel：0564-55-7209　Fax：0564-55-7340
E-mail：press@ims.ac.jp

大阪公立大学 広報課
Tel：06-6967-1834
E-mail：koho-list@ml.omu.ac.jp

国立極地研究所 広報室
Tel：042-512-0655
E-mail：koho@nipr.ac.jp

発信枚数：Ａ４版　５枚