



PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 5 年 3 月 31 日

岡 山 大 学

小惑星リュウグウに記録されたアミノ酸生成の痕跡 ～ 初期太陽系における水-有機物反応のスナップショット～

◆発表のポイント

- ・地球上のすべての生命は、アミノ酸が長い鎖状に結合したタンパク質により構成されています。
- ・これまでに、地球生命の起源となり得るアミノ酸が地球外環境から供給された可能性が言及されています。
- ・リュウグウから回収された二粒子に含まれるアミノ酸の濃度を求めたところ、いくつかのアミノ酸の濃度が粒子間で異なることがわかりました。これらのアミノ酸はリュウグウ前駆天体（小惑星）の中、前駆物質が流体と反応した結果形成したと考えられます。小惑星や隕石に含まれるアミノ酸の一部が氷天体で形成されたことが示されました。
- ・アミノ酸の一部は、小惑星などの氷を含む小天体で形成され、このアミノ酸が衝突イベントなどを通じ地球に運ばれた結果、地球生命をもたらしたのかもしれない。

岡山大学惑星物質研究所のクリスチャン・ポティシエル助教らの研究グループは、二つの異なる地点より採取したリュウグウ粒子に含まれるアミノ酸の濃度をそれぞれについて求めました。炭酸塩を多く粒子には、アミノ酸ジメチルグリシンが多く含まれ、他方の粒子にはアミノ酸ジメチルグリシンが検出されませんでした。この結果は、太陽系初期の小惑星でアミノ酸が形成され、この時に水が重要な役割を果たしたことが明らかにしました。

これらの研究成果は 3 月 17 日、*Nature Communications* 誌にオンライン掲載されました。

◆研究者からのひとこと

遥か昔、小惑星リュウグウでアミノ酸が生成されたことをわかった時は、研究室のみんなと狂喜乱舞しました。お祝いの席ではしゃぎ過ぎて日本酒を飲み過ぎてしまいました。この成果は、小惑星や彗星が生命の源を形成する環境であることをサポートする、重要な発見です。引き続き、太陽系小天体の進化を実験的に理解していこうと思います。



ポティシエル助教



■発表内容

<現状>

地球のすべての生命は、アミノ酸が長い鎖状に結合したタンパク質により構成されます。これらのタンパク質は、反応の触媒（酵素）、遺伝物質の複製（リボソーム）、分子の輸送（輸送タンパク質）、細胞や生物の構造（コラーゲンなど）など、さまざまな機能をもたらします。そのため、タンパク質、ひいては地球生命の起源であるアミノ酸の潜在的な供給源を理解することは重要といえます。これまでの研究で、初期地球および地球外環境の両方において、アミノ酸が形成される可能性のある環境が数多く言及されています。ほとんどのアミノ酸に光学異性体が存在し、この量比から、生命が利用するアミノ酸は隕石を起源とするなどと論じられています。隕石は小惑星のかけらであると考えられるところ、隕石に含まれるアミノ酸は、小惑星が集積する前に形成されたとする説と小惑星が集積した後に形成されたとする説が唱えられています。今回私たちが小惑星リュウグウから回収された試料を解析した結果、水質変質で生じた鉱物の存在量と一部のアミノ酸の濃度に相関があることがわかりました。この結果は、小惑星や隕石に含まれるアミノ酸の総量のうち、少なくとも一部は、液体の水が関与する反応により生成されたことを示唆します。地球や火星の表層が十分に冷却し水が液体として地表に存在するに至る前、液体の水は大きな小惑星前駆体（プラネテシマル）や衝突現象で氷が溶けたところに局所的に存在したと考えられます。したがって、これら小惑星は、アミノ酸を生成するのに非常に重要な環境であり、その環境で生成されたアミノ酸は衝突イベントを経て地球に運ばれたとも考えられます。

<研究成果の内容>

太陽系の材料物質は、星と星の間にある星間物質（ISM）に放出されたガスや塵から構成される分子雲です。分子雲が収縮を開始すると、ガスと塵でできた大きな円盤が原始太陽を中心として回転を始め、初期太陽系が形作られました。塵が衝突を繰り返し岩石質の物質が形成し、やがてこれらの物質が集積し、より大きな小惑星が誕生します。

太陽から十分に離れた太陽系外縁にて形成した小惑星には、大量の氷が含まれていました。氷は水のほか、一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（CO₂）、メタノール（CH₃OH）、アンモニア（NH₃）などの揮発性化合物と、アミノ酸を含む多くの有機化合物を含んでいたと考えられます。やがて、放射性短寿命核種が崩壊することで放出される熱エネルギーが小惑星を温め、氷は溶けて液体の水へと変化しました。現在のリュウグウ試料が主に含水鉱物から構成されることから、非晶質ケイ酸塩と水を主とする流体との反応（水質変質）が物質進化に重要な役割を果たしたと考えられます。この液体の水が存在した頃、ストレッカー合成やフォルモース反応などにより、アミノ酸を含む新しい有機物が作られたことが示唆されていました（図1）。また、同じプロセスを経て、岩石に含まれる初生鉱物は、含水ケイ酸塩（粘土）、炭酸塩、鉄酸化物（マグネタイトなど）、硫化物などの含水鉱物を含む二次鉱物に変化しました。

数百万年ののちに、放射性短寿命核種が崩壊しきると、熱エネルギーが供給されなくなり、氷天体は冷却され、流体は凍結し再び氷へと変化します。その後、惑星などの天体との相互作用により、



PRESS RELEASE

氷天体は破碎され、この破片が地球の軌道に到達します。これら小惑星や彗星の破片が地球表面に衝突し、アミノ酸を含む有機物が地球に供給されたというシナリオを描くことができます。

アミノ酸は、地球上のすべての生物の中に存在する、タンパク質の構成単位です。タンパク質は、反応の触媒（酵素）、遺伝物質の複製（リボソーム）、分子の輸送（輸送タンパク質）、細胞や生物の構造保持（コラーゲンなど）など、生物に欠かせない存在です。したがって、地球上で生命が誕生するにあたり、相当量のアミノ酸が必要だったと考えられます。これまでの研究で、アミノ酸を形成する可能性のある環境について、初期地球環境と地球外環境が検討されてきました。興味深いことに、ほとんどのアミノ酸には、少なくとも2つの形態があり、その構造は人間の左右の手のような鏡像の関係にあります。これらはしばしば右手型または左手型の光学異性体と呼ばれます。地球上の生命のタンパク質派左手型光学異性体のみにより構成されるという特徴があります。左手型光学異性体を過剰に含む隕石は、炭素質コンドライトが知られるのみであり、生命はこの隕石からアミノ酸を採取したのではないかと考えられています。隕石が含む中のアミノ酸は、隕石に取り込まれる前に形成されたとも隕石が形成された後に形成されたとも考えられるところ、まだ決着がついていません。

今回、私たちは、小惑星リュウグウから回収された二つの粒子を分析し、その中に含まれるアミノ酸の同定とその濃度を決定しました。粒子内の鉱物の存在量は別の論文 (Nakamura et al., 2022; <https://doi.org/10.2183/pjab.98.015>) で報告済みです。アミノ酸と鉱物の存在量を比較した結果、粒子 A0022 にはジメチルグリシン (DMG) と呼ばれる地球外物質に珍しいアミノ酸が多く含まれていたのに対し、粒子 C0008 にはこのアミノ酸がほとんど含まれていませんでした。一方、アミノ酸であるグリシンの存在量は、C0008 に比べて A0022 は低く、A0022 のグリシンに対する β -アラニンの比率は、C0008 のそれよりも高かった。この比率は、小惑星環境における水を主とする流体との反応の程度の大きさを反映すると考えられ、A0022 に C0008 に比べて DMG が多いことは流体との反応の程度が高いことに関連した何らかの反応によるものではないかと考えられます。

そこで、リュウグウ粒子間でアミノ酸の濃度が異なるのが、どのような反応によるのか、追加の証拠がないか、鉱物相を調べました。その結果、炭酸塩、マグネタイト、鉄硫化物などの二次鉱物（水性変質後に形成される）の存在量が、C0008 よりも A0022 の方が高いことがわかりました（図2）。特に、炭酸塩の量が多いことから、A0022 は C0008 に比べて、CO または CO₂ がより多い領域に存在したことが示唆されました。また、 β -アラニンとグリシンの比率は、より強い流体との反応の結果を示す証拠と考えられるから、A0022 には C0008 よりも多くの氷が存在していたと示唆されます（図2）。

人間にとって重要な栄養素である DMG を商業的に生産する方法のひとつに、Eschweiler-Clarke 反応があげられます。この反応において、グリシン、ギ酸、ホルムアルデヒドは水中で相互作用し CO₂ が発生します。グリシン、ホルムアルデヒド、ギ酸はいずれも彗星に含まれており、小惑星にも含まれていることが予想されます。したがって、A0022 の置かれた環境で Eschweiler-Clarke 反応が起きたと考えれば、この粒子の DMG が C0008 と比較して高く、グリシンの存在も低いことも説明できます（図2）。また、この反応で発生した CO₂ が A0022 の含む炭酸塩の形成に寄与したとも考えられます。

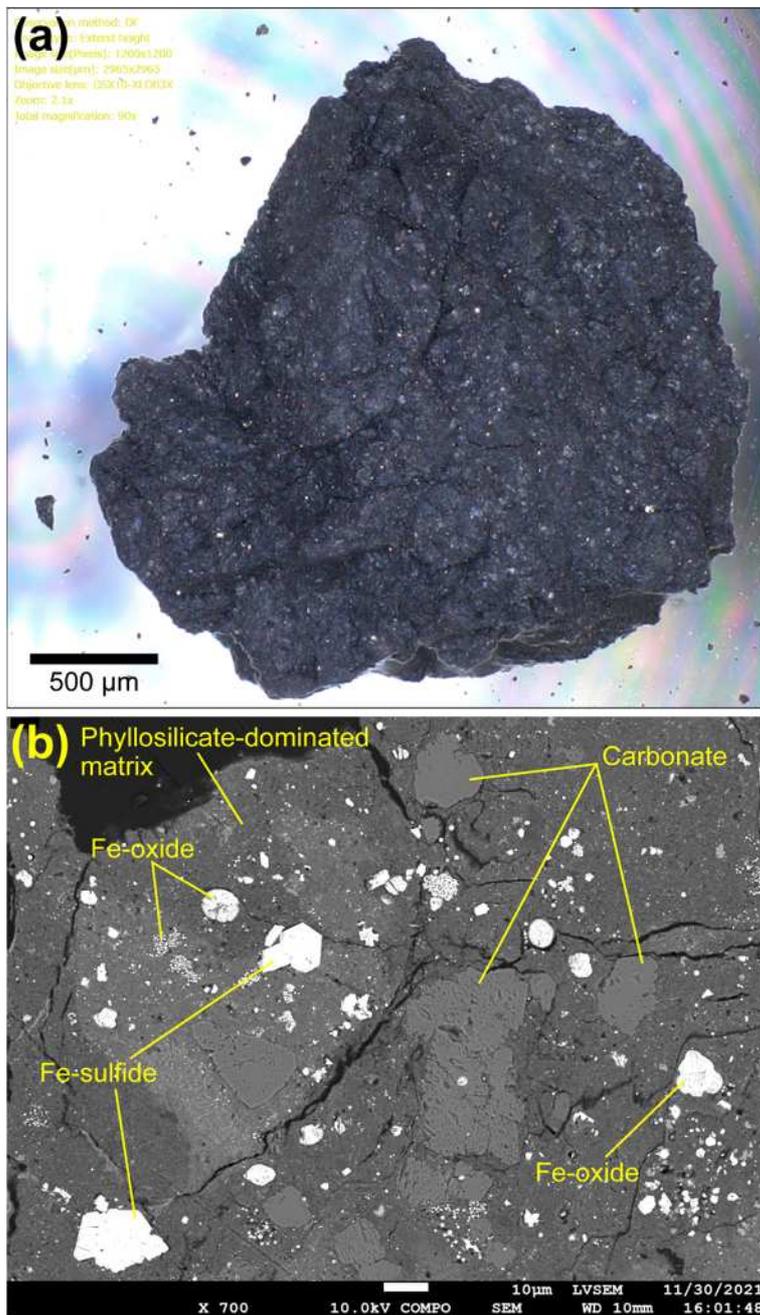


図 1：小惑星リュウグウより回収された粒子 A002 試料の (a) 光学顕微鏡による外観写真と (b) 電子顕微鏡による内部組織写真。前駆物質が流体と反応して形成した炭酸塩 (carbonate) や磁鉄鉱 (Fe-oxide と表記) が観察される。

PRESS RELEASE

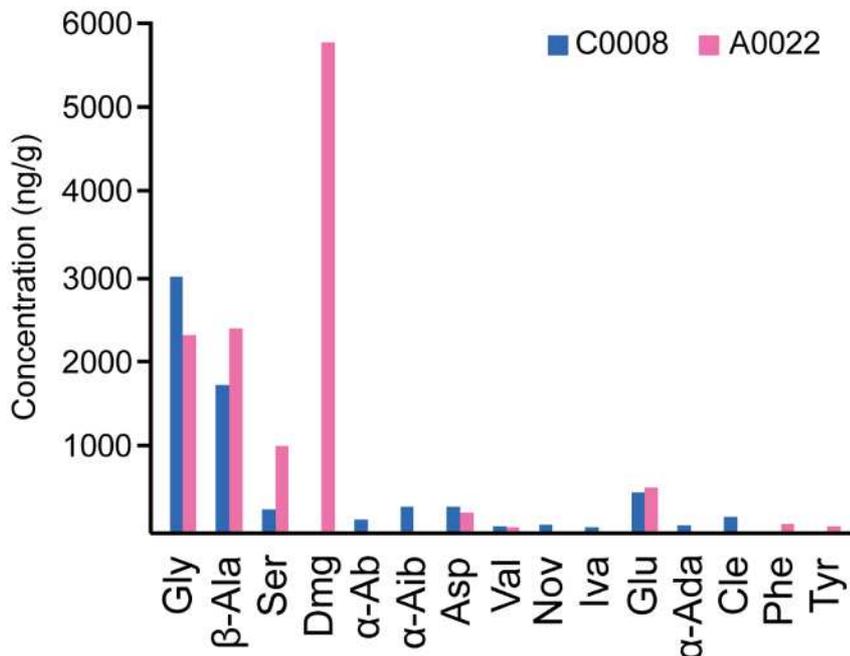


図2: リュウグウより回収された粒子 C0008 及び粒子 A0022 に含まれるアミノ酸の濃度。粒子ごとに異なるジメチルグリシン (Dmg) の濃度が宇宙環境におけるアミノ酸の生成を示す。

<社会的な意義>

この研究結果は、小惑星環境における流体反応におけるわずかな条件の違いが、アミノ酸の最終的な存在量に大きな影響を与えたことを示します。あるアミノ酸は破壊され、またあるアミノ酸は生成されました。このようなプロセスが蓄積された結果、地球生命の起源として、アミノ酸が供されたのかもしれませんが。

■論文情報等

論文名: Insights into the formation and evolution of extraterrestrial amino acids from the asteroid Ryugu
邦題名「小惑星リュウグウ回収試料の総合解析から理解する地球外環境におけるアミノ酸の形成及び進化」

掲載誌: Nature Communications

著者: Christian Potyszil, Tsutomu Ota, Masahiro Yamanaka, Chie Sakaguchi, Katsura Kobayashi, Ryoji Tanaka, Tak Kunihiro, Hiroshi Kitagawa, Masanao Abe, Akiko Miyazaki, Aiko Nakato, Satoru Nakazawa, Masahiro Nishimura, Tatsuaki Okada, Takanao Saiki, Satoshi Tanaka, Fuyuto Terui, Yuichi Tsuda, Tomohiro Usui, Sei-ichiro Watanabe, Toru Yada, Kasumi Yogata, Makoto Yoshikawa and Eizo Nakamura

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37107-6>

URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-37107-6>



<お問い合わせ>

岡山大学惑星物質研究所

助教 クリスチャン・ポティシエル (English)

岡山大学自然生命科学研究支援センター

特任教授 中村栄三 (日本語)

(電話番号) 0858-43-3745 (FAX番号) 0858-43-3745



岡山大学は持続可能な開発目標 (SDGs) を支援しています。