

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740402

研究課題名(和文)衝突反応による隕石有機物の化学進化

研究課題名(英文)Chemical evolution of meteoritic organic molecules by impacts

研究代表者

古川 善博(Furukawa, Yoshihiro)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00544107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：隕石の衝突現象は隕石や衝突地点付近の有機物に化学反応を起こす駆動力となりうる。本研究では、ギ酸やメチルアミンなどの単純な有機物が衝突により発生する衝撃波によって反応し、生命誕生に必要な有機物が生成するのかどうかを実験的に検証した。その結果、タンパク質構成アミノ酸であるグリシンおよびアラニンと数種の非タンパク質構成アミノ酸およびアミンの生成を確認した。この結果は、隕石に含まれるアミノ酸の一部は衝突により合成されたものであることを示すものである。また、隕石の衝突は生命誕生前の地球で頻繁に起こっていた現象と考えられており、このような有機合成が生命の前駆物質を生み出した可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Impacts of meteors have potentials to initiate chemical reactions between organics in meteors and its targets. In this study, we provided shock wave to the solution contains simple organics; formic acid and methylamine, in order to investigate whether meteor impacts generate any life's building blocks on the prebiotic Earth. We confirmed the formation of protein constituent amino acids, glycine and alanine. Formation of non protein constituent amino acids and amines were also confirmed. These results suggest that impact reactions might have generated part of organics in meteorites and supplied building blocks of life on the prebiotic Earth.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：隕石 衝突 有機物 アミノ酸

1. 研究開始当初の背景

生命の起源の解明は人類が解決すべき最大の科学的課題の一つである。生命の起源解明は、有機分子の生成、高分子化や代謝機能、遺伝機構の獲得など、解決すべき大きな課題から構成される。物質が生命であると特徴付ける代謝機構と遺伝機構が、タンパク質とDNAによって担われているため、それらを構成するアミノ酸、糖および核酸塩基の生成が生命誕生への第一段階と考えられる。したがって、上記の課題のうち、最も基本となるものは、生体構成有機分子の生成を明らかにすることである。

この生体構成有機分子の起源には主に3つの説が提案され、欧米を中心に盛んに研究が行われてきた。

(1) 隕石衝突説: 隕石が海洋に衝突する際の化学反応で有機物ができるとい説である。近年、無機物からでも衝突反応によりアミノ酸が生成することを申請者らが発見した(Furukawa et al., Nature Geoscience, 2009)。これにより、初期地球での生体構成有機物の起源として注目されている。しかし、研究拠点は世界的に非常に少なく、明らかになっていない部分が多い。

(2) 隕石飛來說: 炭素質隕石に含まれる有機物が初期地球への有機物供給源になったという説である。主にNASAが中心となり、隕石や地球外探査で得た試料を精力的に分析している(Clonine and Moore, Science, 1971; Pizzarello et al., 2006)。しかし、探査で得られる試料や有機物を多量に含む隕石は極めて少ないことから、初期地球における生体構成有機物の量と種類の推定には大きな制約がある。

(3) 海底熱水孔生成説: 海底熱水孔付近の岩石風化に伴う二酸化炭素の還元により有機物が生成するという説である。生成物はほとんどが炭化水素で、生体構成有機物生成は熱水孔噴出物が反応性の高い還元的な物質である場合に限られる(Huber and Wachtershauser, Science, 2006; McCollem and Seewald, Chem. Rev., 2007)。

このように生体有機分子の種類と量が推定できない現状が、次に続く生命誕生過程である有機物の高分子化研究に大きな影響を与えており、解決すべき課題となっている。

2. 研究の目的

本申請で提案する研究は、炭素質隕石の衝突反応による生体構成有機物の合成である。炭素質隕石には炭化水素、カルボン酸、アミノ酸、核酸塩基など多種の有機物が含まれる。しかし、これまでに炭素質隕石から検出されている生体構成有機物の種類(アミノ酸は7種類)では20種類のタンパク質構成アミノ酸や核酸構成有機物を種類の点でまかなうことはできていない。炭素質隕石に含まれる有機物の研究は、これまで主に、有機物とその熱分解(および衝撃分解)生成物の分析で

あった(例えば Mimura and Toyama, GCA, 2005; Pizzarello et al., 2006 など)。一方、申請者は無機物の衝突反応による生体構成有機物の生成研究を行ってきた。

申請者のこれまでの研究に、隕石に含まれる有機物を踏まえて着想に至ったのは、「既に多種の有機物が含まれる炭素質隕石から別の生体構成有機分子を生成する反応は、無機物からの生成よりも容易に起こるはずである」ということである。この反応ならば、隕石中から見つからないアミノ酸や核酸塩基などの生成も可能性があると考えられる。したがって、本申請では申請者の先行研究を有機物反応実験へと発展させることにより、隕石に含まれる有機物同士の反応により隕石に含まれない生体構成有機物が生成する化学進化を検証する。この観点は、既存の研究では見られない独自の視点で、直接的な研究はこれまでに全く行われていない。

3. 研究の方法

炭素質隕石の海洋衝突を模擬するため、一段式火薬銃を用いて約1 km/sの衝突回収実験を行う。装置は物質・材料研究機構に設置されている一段式火薬銃を使用した。出発試料はアンモニア、ギ酸およびメチルアミンの混合物を用いた。これらの物質は隕石から検出されており、また、隕石衝突現象で生成が確認されている単純な有機物である。この際に使用する有機物は¹³Cで同位体ラベルされたものを使うことにより、質量分析の段階で生成物とコンタミネーションを区別する。出発試料は本研究で改良した密閉性の容器に封入し実験を行った。実験後は、回収した試料容器から対象とする有機物を抽出して、LC/MS(東北大学設置)を用いてアミノ酸、アミン、核酸塩基の分析を行った。

4. 研究成果

本研究では、初めに衝突実験用の密閉性容器の開発を行った。材質や設計の改良の結果、リークの少ない容器の作成に成功した。この容器を用いて衝突回収実験を行った結果、アンモニアとギ酸の混合水溶液からタンパク質構成アミノ酸であるグリシンおよびアラニンと非タンパク質構成アミノ酸であるβ-アラニンおよびサルコシンの生成が確認された。また、メチルからブチルまでのアルキル炭素鎖を持つアミンの生成も確認した。これらの生成物の生成量は0.7 km/s-0.9 km/sの衝突速度範囲において、衝突速度の上昇とともに生成量が増加することが明らかになった。メチルアミンとギ酸の水溶液からのこれらのアミノ酸生成量は、アンモニアとギ酸の混合水溶液からの生成量よりも低いという結果になった。このことは隕石中の有機物からアミノ酸が生成する際の反応は、有機分子が分解し再構築されることによって起こることを示唆している。

これらの結果は隕石に含まれるアミノ酸

の少なくとも一部は衝突により合成されたものであることを示唆するものである。また、隕石の衝突は生命誕生前の地球で頻繁に起こっていた現象と考えられており、このような有機合成が生命の前駆物質を生み出した可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 8 件)

Furukawa Y., Horiuchi M., Kakegawa T., Selective Stabilization of Ribose by Borate. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* **43**, 353-361 (2013). DOI: [10.1007/s11084-013-9350-5](https://doi.org/10.1007/s11084-013-9350-5), (査読有)

Furukawa Y., Samejima T., Nakazawa H., Kakegawa T. Experimental investigation of formation of volatiles by heating of meteorite constituent materials in humid nitrogen. *Icarus* **231**, 77-82 (2013). DOI: [10.1016/j.icarus.2013.11.033](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.11.033), (査読有)

Furukawa Y., Otake T., Ishiguro T., Nakazawa H., Kakegawa T. Abiotic formation of valine peptides under conditions of high temperature and high pressure. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* **42**, 519-531 (2012). DOI: [10.1007/s11084-012-9295-0](https://doi.org/10.1007/s11084-012-9295-0), (査読有)

関根康人, 高野淑識, 矢野創, 船瀬龍, 高井研, 石原盛男, 渋谷岳造, 橘省吾, 倉本圭, 藪田ひかる, 木村淳, 古川善博, 土星衛星エンセラダスのプリューム物質の化学・生命探査, 日本惑星科学会遊星人 21, 229-238 (2012). (査読有)

Furukawa Y., Sekine T., Kakegawa T., Nakazawa H. Impact-induced phyllosilicate formation from olivine and water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **75**, 6461-6472 (2011). DOI: [10.1016/j.gca.2011.08.029](https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.08.029), (査読有)

Otake T., Taniguchi T., Furukawa Y., Kawamura F., Nakazawa H., Kakegawa T. Stability of amino acids and their oligomerization under high-pressure conditions: Implications for prebiotic chemistry. *Astrobiology* **11**, 799-813 (2011). DOI: [10.1089/ast.2011.0637](https://doi.org/10.1089/ast.2011.0637), (査読有)

Momma K., Ikeda T., Nishikubo K., Takahashi N., Honma C., Takada M., Furukawa Y., Nagase T., Kudoh Y. New silica clathrate minerals that are isostructural with natural gas hydrates. *Nature Communications* **2**, 196 (2011). DOI: [10.1038/ncomms1196](https://doi.org/10.1038/ncomms1196), (査読有)

[学会発表](計 14 件)

Furukawa, Y., Borate. Gordon Research

Conference, USA, January 16, 2014.

(Invited speaker)

Furukawa Y., Samejima T., Nakazawa H., and Kakegawa T., Effects of water content on the formation of reduced gases in impact 日本地球化学会年会, 2012 年 9 月 13 日, 福岡.

Furukawa Y., Horiuchi M., and Kakegawa T., Effects of borate on the stability of ribose. 有機地球化学シンポジウム, 2012 年 8 月 23 日, 仙台.

Horiuchi M., Furukawa Y., and Kakegawa T., Effects of borate on the reaction between glyceraldehyde and glyceraldehyde. 地球惑星科学連合大会, 2012 年 5 月 24 日, 幕張.

Suzuki C., Furukawa Y., Kobayashi T., and Kakegawa T., Effects of salt on organic molecule formations by oceanic impacts on early Earth. 地球惑星科学連合大会, 2012 年 5 月 24 日, 幕張.

Huang R., Furukawa Y., and Kakegawa T., Effects of glycine and its decomposition products on polymerization of methionine under high temperature and pressure. 地球惑星科学連合大会 2012 年 5 月 24 日, 幕張.

Furukawa Y., Horiuchi M., and Kakegawa T., Effects of borate on the stability of individual pentoses. Astrobiology Science Conference 2012, April 16, 2012, Atlanta, USA.

古川善博, 大竹翼, 石黒崇人, 中沢弘基, 掛川武, パリン重合反応に対する圧力の影響, 日本地球化学会第 58 回年会, 札幌, 2011 年 9 月 14 日.

堀内真愛, 古川善博, 掛川武, 初期地球環境下リボース生成反応におけるホウ酸の影響, 日本地球化学会第 58 回年会, 札幌, 2011 年 9 月 14 日.

大竹翼, 谷口尚, 古川善博, 中沢弘基,
掛川武, 高温高压条件下における固体
アミノ酸の安定性と重合反応, 日本地球
化学会第 58 回年会, 札幌, 2011 年 9
月 14 日 .

Yoshihiro Furukawa, Tsubasa Otake,
Takato Ishiguro, Hiromoto Nakazawa and
Takeshi Kakegawa, Oligomerization of
valine under high temperature and high
pressure conditions, Origins 2011,
Montpellier, France, July 5, 2011.

Otake, T., Taniguchi, T., Furukawa, Y.,
Nakazawa, H., and Kakegawa, T.,
Stability of amino acids and their
oligomerization under high pressure
conditions. Origins 2011, Montpellier,
France, July 5, 2011.

Yoshihiro Furukawa, Tsubasa Otake,
Takato Ishiguro, Hiromoto Nakazawa and
Takeshi Kakegawa, Valine peptide
formation under high temperature and high
pressure conditions, 地球惑星科学連合大
会, 幕張, 2011 年 5 月 23 日 .

Mana Horiuchi, Yoshihiro Furukawa,
Takeshi Kakegawa, Development of
LC/MS method to analyze simple sugars:
an approach to investigate ribose
formations on the early earth, 地球惑星科
学連合大会, 幕張, 2011 年 5 月 23 日 .

6 . 研究組織

(1)研究代表者

古川 善博 (Furukawa, Yoshihiro)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号 : 00544107