



東北大学

Nature GeoScience (1月号) に関するプレスリリース

解禁時間：平成 20 年 12 月 8 日 (月) AM3:00

平成 20 年 12 月 5 日

報道機関各位

独立行政法人 物質・材料研究機構
東北大学大学院理学研究科

‘生命の起源’ 有機分子は隕石の海洋爆撃によって生成した！

—固体炭素・鉄・水・窒素ガスからの生物有機分子の生成を衝撃実験で証明—

独立行政法人物質・材料研究機構の中沢弘基名誉フェローらは東北大学大学院理学研究科と共同で、炭素（固体）・鉄・ニッケル・水・窒素ガスをステンレスカプセルに詰め、高速の飛翔体を衝突させた後カプセルを回収し、生成物を分析して、グリシン^{*1}（アミノ酸^{*2}）、各種アミン^{*3}、同カルボン酸^{*4}（脂肪酸^{*5}）など生物有機分子^{*6}およびその前駆体の生成を確認した。

この実験は、初期地球に海が出現した後、40～38 億年前頃に頻繁にあった隕石の海洋爆撃の際の化学反応を模擬したもので、生命の起源の端緒となる生物有機分子の起源を強く示唆している。

【研究の背景】

1953 年、S.L.ミラーが当時の原始大気モデルに基づいて、CH₄（メタン）、NH₃（アンモニア）、H₂O（水）を含む気体中に放電することで、いくつかのアミノ酸および生物有機分子の生成を証明し、科学的な生命の起源の研究の端緒となった。

その後、放電の代わりに、電子線、紫外線、X 線あるいは衝撃波など多様なエネルギー源を用いた実験が追随され、メタンかアンモニアのどちらかを含む還元的大気組成であれば、ほぼ同様の結果が得られることが判り、有機分子は原始地球上で容易に生成されるものと考えられてきた。しかし同時に、N₂（窒素）や CO₂（炭酸ガス）を主成分とする非還元的大気組成では有機分子が生成しないことも証明されていた。

S.L.ミラーの簡単な実験と天然にあり得そうな雷のモデルは、有機分子の起源として広く一般に信じられて、中学・高校の教科書や副読本に紹介されているほどである。

しかし、1970 年代から 21 世紀初頭にかけて急速に進歩した地球科学は、原始地球が低温ではなく、全地球が一旦熔融するほど高温になったことを明らかにした。原始地球におけるマグマの海（マグマオーシャン）の出現である。大気中に仮に、有機分子やメタンやアンモニアなど還元的な分子があったとしても、高温のマグマ（>1200℃）に接して分解し、軽い水素は宇宙空間に逃散するので、結局、原始大気は主として窒素と酸化炭素の酸化的大気になったと推定されている。従って、これまで広く信じられてきたミラーの実験のような有機分子の生成仮説はその前提が崩れ、有機分子の起源は再び謎となっていた。

生命の発生に必要な多種多量の有機分子が地球上で如何に準備されたか、地球史的に合理的な起源の解明は、生命の起源に迫る最初の問題である。2006 年、20 世紀末の地球観に基づく考察と予備的な実験結果を基に、「有機分子は初期地球に激しかった微惑星・隕石の海洋爆撃により多種多量に生成した」とする「有機分子ビッグバン説」を、本研究グループの 1 人（中沢）が著書により

Nature GeoScience (1月号)に関するプレスリリース
提案した⁽¹⁾。日本発の、新しい有機分子起源のシナリオである。その前年、2005年に、原始大気、海洋、隕石の成分を代表する窒素、水、Feに衝撃波を与えて、アミノ酸の前駆体であるアンモニアが多量に生成することを実証したことが、その根拠の一つとなっている⁽²⁾。

(1)「生命の起源・地球が書いたシナリオ」中沢弘基著、新日本出版社(2006)。

(2) High yield shock synthesis of ammonia from iron, water and nitrogen available on the early Earth.
Nakazawa, H., Sekine, T., Kakegawa, T. and Nakazawa, S. Earth Planet. Sci. Lett. 235, 356-360 (2005).

【今回の研究成果】

本研究は、40億～38億年前頃に頻繁であった隕石の海洋衝突を模擬し、窒素大気と海水に隕石が衝突する衝撃で生物有機分子が生成するか否かを確かめたものである。

当時の隕石衝突の痕跡は月にクレーターとして残り、その年代や規模などは米国のアポロ計画で得られた月の石の試料やその後の画像解析によって詳細が明らかにされている。一方、地球上で回収された隕石のほとんどは普通コンドライト^{*7}で、20%程度の遷移金属（鉄属金属およびその硫化物）と1～0.1%の炭素（固体）を有している。初期地球の大陸は未発達で、海洋が広く覆っていたと推定されているので、多くの隕石は海洋に衝突し、衝突エネルギーで水と隕石の化学反応が生ずる。鉄は水を還元して水素を放出し、炭素は水素と反応して有機分子を生ずるであろう。地球の水は生命にとって、その最初の化学反応から不可欠であったと推定される。

本実験は、その化学反応を実験によって確かめたものである。実際の隕石衝突を実験室で再現することはもとより不可能であるが、実験室規模の衝撃実験で有機分子の生成が証明されれば、実際にはより多量で多種類の有機分子が生成したはずである。

隕石成分の鉄(200 mg)および固体炭素(30 mg)、地球側の水(130 mg)および窒素ガス(15 μ mol)をステンレスカプセル(3 cm×3 cmの円筒)の空隙中に封入し、2 mm厚のステンレス板飛翔体を約1 km/秒の高速で衝突させ、カプセルを回収した。空隙内部は圧力6 GPa、温度5,000～3,000 Kに達したと推定される。

カプセルに孔を開け、水溶性有機物を抽出して三分割し、アミノ酸、アミン、カルボン酸の分析を行った。試料が微量であるので、他の有機分子の分析は行っていない。その結果、グリシン（最も簡単なアミノ酸）、アルキル鎖の異なるカルボン酸（酢酸～ペンタン酸）および同アミン（メチルアミン～ブチルアミン）の生成を確認した。

衝撃実験で回収される試料は微量であるので、実験の炭素源に普通の固体炭素を用いたのでは、衝撃によって生成された有機分子と、分析の過程で汚染された有機分子との区別は極めて難しい。そのため本研究では、固体炭素の原料に炭素同位体¹³Cの固体を用いた。¹³Cであれば、自然界の¹³Cは¹²Cの1/100程度しかないので、質量分析により汚染有機物との区別が明瞭にできるからである。回収試料をガス(GC-MS)および液体クロマトグラフ・質量分析計(LC-MS)^{*8}で分析して、¹³C有機分子を検出することで、衝撃実験による生成物であることを確認した。

【波及効果と今後の展開】

この研究の成果は、40億～38億年前頃、原始地球に海が形成された後も続いた隕石の海洋爆撃によって、生物有機分子が出現し、生命発生の準備をした可能性を強く示唆している。さらに詳細

Nature GeoScience (1月号) に関するプレスリリース
な衝撃実験とその生成物の分析によって、生物有機分子の起源が明らかされるとともに、それら有機分子のサバイバルと高分子化への示唆がえられるであろう。生命の起源の研究が地球史に根拠を置いて、大きく進展する契機となったと言える。

掲載論文: Biomolecule formation by oceanic impacts on early Earth,

著 者: Furukawa, Y.¹⁾, Sekine, T.²⁾, Oba, M.¹⁾, Kakegawa, T.¹⁾ and Nakazawa, H.²⁾,

1) 東北大学大学院理学研究科地球物質科学専攻

2) 独立行政法人物質・材料研究機構

投 稿 誌: Nature Geoscience, 1月号、ページ未定、電子版 2008 年 12 月 8 日 AM3:00 (日本時間)

掲載予定、報道解禁 12 月 8 日 AM3:00 以降。

<用語解説>

1) グリシン: 蛋白質を構成するアミノ酸 (20 種) のうち最も簡単な分子。NH₂CH₂COOH。

2) アミノ酸:

分子内にアミノ基 (-NH₂) とカルボキシル基 (-COOH) の両者をもつ化合物の総称。

3) アミン:

分子内にアミノ基 (-NH₂) をもつ有機分子。本実験で検出されたアミンはメチルアミン CH₃NH₂, エチルアミン C₂H₅NH₂, ブチルアミン C₃H₇NH₂。

4) カルボン酸: 分子内にカルボキシル基 (-COOH) をもつ分子。

5) 脂肪酸:

カルボン酸のうち、特にカルボキシル基を一個もつ鎖式モノカルボン酸の総称。本実験ではエタン酸 (酢酸) CH₃COOH, プロパン酸 (プロピオン酸) C₂H₅COOH, ブタン酸 (酪酸) C₃H₇COOH, ペンタン酸 C₄H₉COOH、および 2-メチル-プロパン酸 CH₃C₂H₄COOH。

6) 生物有機分子: アミノ酸、脂肪酸、核酸塩基など生体を構成する有機分子。

7) 普通コンドライト:

地上で回収された隕石の 85%以上を占める隕石。主として珪酸塩鉱物からなる石質隕石の一種。20%程度の鉄属金属、硫化鉱物および 1~0.1%程度の固体炭素を含む。

8) ガスおよび液体クロマトグラフ・質量分析計:

流体 (ガスまたは液体) に溶解した複数の分子を分離する機能を有するクロマトグラフと分子量を測定する質量分析器が連結された装置。クロマトグラフで分子を分離し、質量分析計で炭素同位体の異なる ¹²C-および ¹³C-有機分子を区別することができる。

<本件に関するお問い合わせ先>

独立行政法人物質・材料研究機構

名誉フェロー 中沢 弘基 E-mail: NAKAZAWA.Hiromoto@nims.go.jp TEL: 029-860-4302

主席研究員 関根 利守 E-mail: SEKINE.Toshimori@nims.go.jp TEL: 029-860-4408

企画部 広報室 TEL: 029-859-2026

東北大学大学院理学研究科

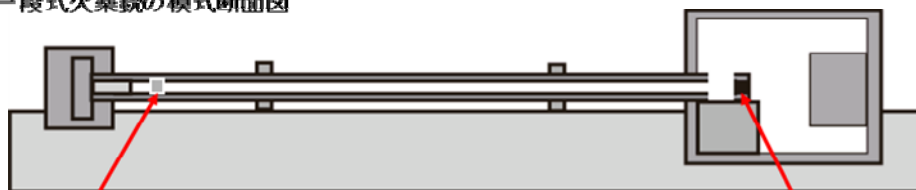
地学専攻博士課程 3 年 古川 善博 E-mail: furukawa@ganko.tohoku.ac.jp TEL: 022-795-6660

地学専攻 准教授 掛川 武 E-mail: kakegawa@m.tains.tohoku.ac.jp TEL: 022-795-6660

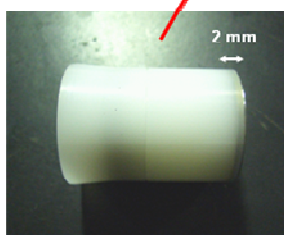
実験装置と条件および試料

実験装置名: 一段式火薬銃

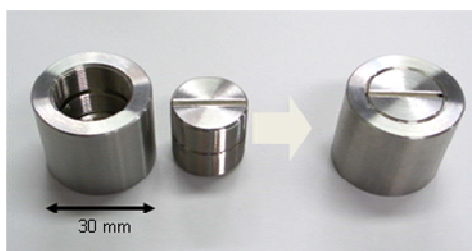
一段式火薬銃の模式断面図



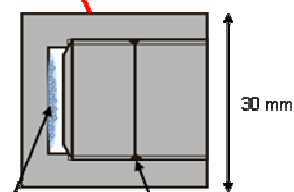
飛翔体の写真



試料容器の写真



試料容器の模式断面図



出発試料

鉛製ガスケット

出発物質: **Fe, Ni, H_2O , N_2 (NH_3), ^{13}C (固体)**

実験条件: 衝撃圧: 6 GPa, 衝撃加圧継続時間: 約 0.7 μ 秒

一段式衝撃銃の写真



衝撃生成物(純水抽出)のGC-MS分析結果(カルボン酸)

図1: 生成物の全イオンクロマトグラム

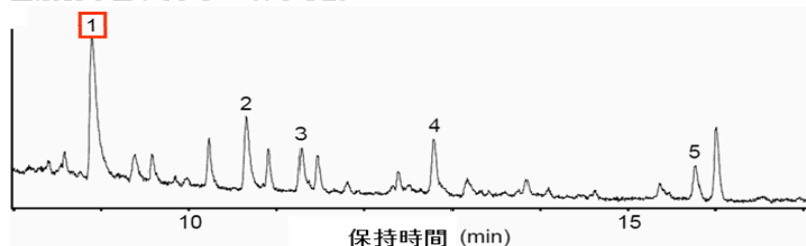
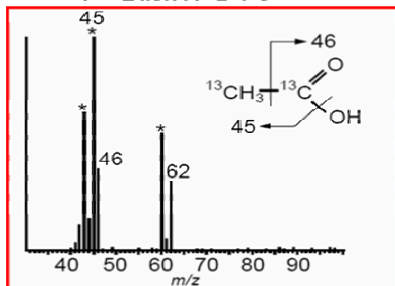


図2: ピーク1を構成するイオン



1. エタノ酸(酢酸), 2. プロパノ酸(プロピオン酸), 3. 2-メチル-プロパノ酸, 4. 酪酸(ブタン酸), 5. 吉草酸(ペンタン酸)

解説: 生成物からカルボン酸を抽出しガスクロマトグラフィー質量分析計(GC-MS)で分析を行い多数のカルボン酸の存在が判明する(図1)。図1の番号を付けたピークは全てカルボン酸。1のピークは酢酸のピークでこれを構成するイオンは図2に示すもの、これらのイオンの組み合わせが¹³Cでできた酢酸の存在を示す。

本研究により実証した有機物生成仮説



隕石の海洋衝突



衝突蒸気雲中に有機物生成

初期地球隕石衝突モデル図

