

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03752

研究課題名(和文) 初期地球における核酸塩基の新たな起源の解明

研究課題名(英文) Investigation on a new nucleobase source on the early Earth

研究代表者

古川 善博 (Furukawa, Yoshihiro)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：00544107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では生命誕生前の地球で頻繁に起こっていたと考えられる隕石の海洋衝突を実験室で模擬して、その現象で生成する生命に必須の有機物、特に核酸塩基の生成を検証した。核酸塩基は生命の遺伝情報の文字となる分子で生命の誕生に不可欠であるが、その生成過程は非常に限定されていた。本研究では、一段式火薬銃を用いて隕石衝突によって引き起こされる化学反応を模擬し、生命誕生前の地球への隕石の衝突によって地球上に存在した大量の二酸化炭素を炭素源として、海洋中のアンモニアを窒素源として数種類の核酸塩基と多種のアミノ酸が生成することを示した。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the formation of biomolecules, particularly nucleobases, by impacts of meteorites/asteroids on prebiotic Earth. Nucleobases are essential molecules for life, composing DNA and RNA, but those origins were significantly limited. This study found that several nucleobases as well as several amino acids form in the reaction induced by impacts of meteorites/asteroids using CO₂ as the carbon source on the early Earth and using ammonia in ocean as a nitrogen source. This study also found that the yields of nucleobases and amino acids are depends on the concentration of ammonia but found that even with ammonia-free ocean an amino acid, glycine, form using N₂ as the nitrogen source.

研究分野：地球化学

キーワード：核酸塩基 隕石 アミノ酸 衝突

1. 研究開始当初の背景

核酸は遺伝情報を担う重要な生命構成物質であり、近年の研究により、核酸の一種である RNA はタンパク質のように生体反応を触媒することも明らかになった(例えば T. Cech, ノーベル化学賞 1986)。このような性質により、核酸は生命誕生に最も重要な有機物と考えられている。

弱酸化的な大気に覆われた初期地球への核酸構成有機物の供給は NASA の Goddard Space Flight Center を中心に研究が進められ、炭素質コンドライトからの核酸塩基供給が提案されている(例えば Callahan et al., 2011 PNAS)。しかし、炭素質コンドライト中の核酸塩基含有量は多いもので数百 ppb であり、検出されないこともある。さらに、核酸塩基などの易分解性有機物をもたらすことが可能な隕石の質量範囲は非常に限定されており、その質量範囲より低質量の星間塵やより高質量の高速衝突天体に比べて集積量は遥かに少ない(Anders, 1989 Nature)。このことが、遺伝情報の文字という重大な役目を果たす核酸塩基の起源に大きな問題をもたらしている。

本研究では核酸塩基の起源として、隕石の衝突による還元的化学反応を駆動力とした供給を明らかにすることを目標としている。隕石の衝突による化学反応では近年の研究によりタンパク質の構成物質であるアミノ酸の生成が明らかになっている(例えば Furukawa et al., 2009 Nature Geoscience)。しかし、隕石の衝突による核酸構成有機物の生成は報告されていない。

2. 研究の目的

本申請では申請者らが試験的に成功している核酸塩基の生成研究を進展させてどのような隕石組成、海洋組成、衝突条件の場合にプリン塩基やその他の核酸塩基類が生成するのかを明らかにする。また、同時に生成するアミノ酸の種類と量も明らかにする。最低でも、実験条件の違いによってピリミジン塩基とアミノ酸の生成量がどのように変化するのかを明らかにする。これを基に初期地球における核酸塩基類とアミノ酸の生成量の評価を行う。

本研究は隕石の衝突というこれまでに報告されていない新たな核酸塩基供給源を提案するもので、その独創性は極めて高い。また、生物構成有機物の生成を目的とした衝突回収実験は地球化学、惑星科学、衝突物理学、有機化学に関連する非常に学際的な実験でこのような実験を行うことができる研究体制をもつグループは世界的にも極めて少ない。申請者の研究グループはこの様な特色ある実験に先駆けて着手し、成果を上げて来た(Furukawa et al., 2009 Nature Geoscience; Furukawa et al., 2011 GCA)。近年ではアメリカやイギリスの研究グループ(Goldman et al., 2013 Nature Chemistry; Martins et al.,

2013 Nature Geoscience)もこのような研究に取り組むようになり、競争が起きているため日本のアドバンテージを活かす為に早急に研究を進める必要がある。

本実験では、隕石の衝突を模擬した実験で核酸塩基とアミノ酸が生成し(一部の条件では既に確認(未公表データ))、隕石模擬物質の組成および海洋模擬溶液の組成(具体的には炭酸水素アンモニウム濃度)に応じて核酸塩基とアミノ酸の生成量とその種類が変化することを予想している。初期地球に降下する隕石の組成および初期地球海洋の組成は定まっておらず、本実験で得られる結果を基に様々な初期条件においてどのような核酸塩基がどれだけ生成するかを推定することが可能となる。

3. 研究の方法

隕石模擬物質と海洋模擬水溶液および窒素を独自に改良した密閉性試料容器に封入し、物質材料研究機構設置の一段式火薬銃を用いて、衝撃波を与え衝突模擬反応を起こす。隕石模擬物質には種々の隕石を模擬した鉱物組合せを準備する、海洋模擬水溶液には炭酸濃度や炭酸水素アンモニウム濃度を変えた溶液を使用する。炭素源は¹³Cでラベルすることにより汚染の影響を排除する。生成物は超高速液体クロマトグラフィー質量分析計を用いて高感度・高特定性分析を行い、種々の核酸塩基類およびアミノ酸を同定、定量する。

衝突回収実験は物質材料研究機構(NIMS)に設置されている一段式火薬銃を用いて研究分担者の小林敬道博士と研究代表者で行う。この装置は研究分担者の関根利守博士が導入したもので、現在は研究分担者の小林敬道博士が管理をしている。これまでに小林博士、関根博士、研究代表者で多数の実験を行ってきた実績があるので(例えば、Furukawa et al., 2009 Nature Geoscience; Furukawa et al., 2012 GCA)、実験体制に万全である。関根博士は岩石や隕石の衝突回収実験で長年の豊富な経験を有しており(例えば、Tomeoka et al., 2003 Nature)、実験条件の変更や衝突条件の解析についてご協力頂く。実験試料の準備および生成物の分析は東北大学に設置されている超高速液体クロマトグラフィー・タンデム質量分析計を用いて行う。研究代表者はこの装置の管理をしており、アミノ酸や核酸塩基の分析に関して豊富な経験を有している。これらの衝突実験および生成物の分析には大学院生または研究支援者を雇用して効率化を図る。

実験結果を基にして初期地球における核酸塩基の生成量を推定する際には連携研究者の掛川博士(東北大学)に協力して頂く。掛川博士はArchean geologyに関して豊富な知識を有しており(例えば Ohtomo et al., 2014 Nature Geoscience)、実験で模擬する初期地球環境の条件や本実験結果から想定

される核酸塩基の集積量について議論を行う。

4. 研究成果

本研究では生命誕生前の地球で頻りに起こっていたと考えられる隕石の海洋衝突を実験室で模擬して、その現象で生成する生命に必須の有機物、特に核酸塩基の生成を検証した。核酸塩基は生命の遺伝情報の文字となる分子で生命の誕生に不可欠であるが、その生成過程は非常に限定されていた。本研究では、一段式火薬銃を用いて隕石衝突によって引き起こされる化学反応を模擬し、生命誕生前の地球への隕石の衝突によって地球上に存在した大量の二酸化炭素を炭素源として、海洋中のアンモニアを窒素源として数種類の核酸塩基と多種のアミノ酸が生成することを示した。

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 5 件)

1. Racemization of Valine by Impact-Induced Heating. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*,(2017). Furukawa Y., Takase A., Sekine T., Kakegawa T., Kobayashi T. 10.1007/s11084-017-9539-0 (査読あり)
2. Morphological changes of olivine grains reacted with amino acid solutions by impact process. *Physics and Chemistry of Minerals*, 203-212(2016). Umeda Y., Takase A., Fukunaga N., Sekine T., Kobayashi T., Furukawa Y., Kakegawa T., 10.1007/s00269-016-0849-y (査読あり)
3. Survivability and reactivity of glycine and alanine in early oceans: effects of meteorite impacts. *Journal of Biological Physics* 42, 177-198 (2016). Umeda Y., Fukunaga N., Sekine T., Furukawa Y., Kakegawa T., Kobayashi T., Nakazawa H. 10.1007/s10867-015-9400-5 (査読あり)
4. Nucleobase and amino acid formation through impacts of meteorites on the early ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 429, 216-222 (2015). Furukawa Y., Nakazawa H., Sekine T., Kobayashi T., Kakegawa T. 10.1016/j.epsl.2015.07.049 (査読あり)
5. Shock wave synthesis of amino acids from solutions of ammonium formate and ammonium bicarbonate. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16 (2015). Suzuki C., Furukawa Y., Kobayashi T., Sekine T., Nakazawa H., Kakegawa T., 10.1002/2015GC005783 (査読あり)

[学会発表](計 4 件)

1. Furukawa Y., Takeuchi Y. Kobayashi T.

Sekine T. Kakegawa T., Amino Acid Formation by Asteroid Impacts on Ammonia-Free Oceans. (2017) The International Society for the Study of the Origin of Life 2017

2. Furukawa Y. Nakazawa H., Sekine T. Kobayashi T. & Kakegawa T, Formation of Life's Building Blocks by meteorite Impacts, (2016) Goldschmidt 2016
3. 古川善博 2015年「LC-MS/MSを用いた生命誕生前の生物有機分子生成研究」質量分析討論会
4. Furukawa Y. Nakazawa H., Sekine T. Kobayashi T. & Kakegawa T, Meteorite impacts and abiotic formation of RNA components, (2015) Pacificchem 2015

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

報道情報
隕石衝突が生命の材料を生んだ？(Newton) (2015)
隕石衝突でDNA誕生か 太古の地球、模擬実験(産経新聞)(2015)
生命の起源 海洋へ隕石衝突の可能性(日刊工業新聞)(2015)
「DNAの起源 隕石衝突」実験成功 生命のもととなる物質生成(毎日新聞)(2015)
隕石衝突から「DNAの部品」原始の海再現し生成(読売新聞)(2015)
DNA起源は隕石衝突？再現実験で「部品生成」(朝日新聞)(2015)
DNA、隕石衝突が起源？東北大など、模擬実験で確認(日経新聞)(2015)

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・准教授
研究者番号：00544107

(2)研究分担者

小林 敬道 (Kobayashi, Takamichi)
物質材料研究機構・主席研究員
研究者番号：20260028

(3)連携研究者

関根 利守 (Sekine, Toshimori)
広島大学・理学研究科・教授
研究者番号：70343829

(4)研究協力者

()