

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21840013

研究課題名（和文） 隕石の海洋衝突により生成する生物有機分子の総合的解明

研究課題名（英文） Investigation of biomolecules produced by oceanic impacts of meteorites

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

研究成果の概要（和文）：

生命誕生前の地球において有機分子がいつどのようにして誕生したのかは未だ明らかになっていない。隕石衝突生成説は、Furukawa et al. 2009の模擬実験によりアミノ酸やカルボン酸の生成が示され、その重要性が明らかにされた。

本研究では、揮発性有機分子回収装置を開発し、衝突実験生成物の分析を行った。この結果、炭化水素、アルコールなど、多種類のVOC生成が確認された。この結果は、隕石衝突が生命誕生前の地球に実に多様な有機物を供給したことを示唆している。

研究成果の概要（英文）：

Formation of biomolecules on the prebiotic Earth has not been clear. There are three kinds of proposed origins of the biomolecules: extraterrestrial delivery, formation in hydrothermal vent, and formation by impact reactions. The extraterrestrial delivery and the formation in hydrothermal vent have been investigated intensively. Recently, we found the formation of an amino acid, amines, and carboxylic acids by impact reactions. However, little investigations have been conducted about the formation by impact reaction so far.

In this study, we focused on volatile organic compounds (VOC) that may be formed by impact reactions. We made a VOC collector to recover produced VOCs from container of impact experiments. The VOCs were analyzed by GC/MS. We found the formation of hydrocarbons, alcohols, an aldehyde, and a nitrile. Those yields were different according to the difference in the compositions of starting materials that simulating some types of chondrites. The formation of sulfur containing organic compound was occurred when the starting material contained pyrite, but was not occurred when they contained troilite instead of pyrite. These results suggest that various VOCs including sulfur containing VOCs were produced by prebiotic impacts.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,090,000	327,000	1,417,000
2010年度	990,000	297,000	1,287,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,080,000	624,000	2,704,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：生命起源、隕石衝突、アミノ酸、揮発性有機化合物、初期地球、衝突実験

1. 研究開始当初の背景

地球の歴史なので、最初の生命は有機物の生成、その高分子化、合体を経て形成したと考えられている。生命誕生前の地球（初期地球）において、どのようにして、どれだけの有機物が誕生したのかを明らかにすることは、生命の起源を解き明かすための根幹を成す重要課題である。有機物の生成および供給には、主に 1) 地球外飛来、2) 海底熱水孔生成、3) 隕石衝突生成が提案され、実験、分析により検証されてきた。

隕石衝突生成説は隕石の海洋への衝突により、隕石鉱物—海洋—大気間で衝突に関連した熱反応が起こり、有機物が生成するという説である (Nakazawa, 2006)。申請者はこれまで、この説について実験的検証を行い、いくつかの条件においてはアミノ酸や脂肪酸などの生物に重要な有機物が生成することを明らかにした (Furukawa *et al.*, *Nature Geoscience*, 2009)。隕石衝突生成有機物は、ある衝突条件においてアミノ酸などの有機物生成が確認されている段階である。しかし、隕石にはいくつかの種類があり、衝突の速度、飛翔体のサイズによっても衝突の規模は大きく異なる。多様な衝突条件において、どのような有機物種、量が生成するかを明らかにすることは、生命誕生の第一段階を理解し、続く高分子化の初期条件を確立することとなる。

2. 研究の目的

隕石衝突実験の先行研究ではアミノ酸、アミン、カルボン酸の分析を行ったが、アルコール、シアン化水素、含硫有機ガスなどの低分子有機物の定量が行われていない。本研究では抽出手法の開発により低分子有機ガスの生成種および量を明らかにする。また、タンパク質を構成するアミノ酸には硫黄を含

むアミノ酸が2種類（システイン、メチオニン）存在し、リンはリン酸として DNA や RNA の構成物となる。有機リン化合物や含硫有機化合物は生命の誕生に不可欠なものであるが、それらの初期地球での生成を示唆する研究は未だに達成されていない。隕石衝突実験の先行研究では硫黄、リンなどの元素を出発試料に含まないシンプルなモデルで実験を行った。課題2では出発試料に隕石に含まれる硫化鉄、リン酸カルシウムを加え有機リン化合物や含硫有機化合物が生成するのかどうかを明らかにする。初期地球に起こりうる現象での無機物からの含硫有機物の生成は前例がなく、成功すれば極めてインパクトが大きい。さらに、隕石衝突実験の先行研究では、試料容器耐圧の制限から 1 km/s 程度の衝突速度で実験を行った。しかし、実際の隕石衝突ではそれより大きな速度での衝突が頻繁にある。課題3では、試料容器の設計を改良して実験を行い、幅広い速度域での生成物の量と種類の速度依存性を明らかにする。

3. 研究の方法

21 年度は有機ガス抽出装置 (VOC Collector) の開発とそのテストを行う。さらに、多種の組成の隕石模擬物質を用いて衝突回収実験を行い、有機ガス抽出装置と既存の水による抽出を行い、LC/MS および GC/MS を用いて有機物の分析を行う。22 年度は先行研究より高い衝突速度での衝突実験を行い、生成有機物に対する衝突速度の依存性を明らかにする。

4. 研究成果

本研究では、揮発性有機分子 (VOC) 回収用の VOC Collector を開発し、これにより回収した衝突実験生成物を GC/MS を用いて分析を行った。この結果、普通隕石模擬組成

の出発試料から炭化水素、アルコール、アルデヒド、ニトリルなど、多種類の VOC の生成が確認された。また、これらの有機物の組成が炭素質コンドライト模擬組成や、エンスタタイトコンドライト隕石模擬組成の出発物質により変化することが明らかになった。

また、1km/s の衝突では、黄鉄鉱を出発試料に含む場合には、硫黄を含む有機物が生成するがトロイライトを硫黄源に用いた際には硫黄を含む有機物は生成しないことが明らかになった。これらの結果は、隕石衝突が生命誕生前の地球に実に多様な有機物を供給したことを示唆しており、隕石組成によりどのような有機物が供給されるかを推定することに利用できる。

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 5 件)

1. Furukawa Y., Sekine T., Nakazawa H., and Kakegawa T., Impact-induced phyllosilicate formation from olivine and water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75, 6461–6472 (2011) 査読有り
2. Otake T., Taniguchi T., Furukawa Y., Kawamura F., Nakazawa H., and Kakegawa T., Stability of amino acids and their oligomerization under high-pressure conditions: Implications for prebiotic chemistry. *Astrobiology* 11, 799–813 (2011) 査読有り
3. Momma K., Ikeda T., Nishikubo K., Takahashi N., Honma C., Takada M., Furukawa Y., Nagase T., and Kudoh Y., New silica clathrate minerals that are isostructural with natural gas hydrates. *Nature Communications* 2, 196 (2011) 査読有り

4. 古川善博, 関根利守, 大庭雅寛, 掛川武, 中沢弘基, 隕石の海洋衝突による初期地球の有機物生成. *遊星人* 18, 226–237 (2009) 査読有り
5. 古川善博, 隕石の海洋衝突で生成するアンモニアと有機物. *高圧力の科学と技術* 19, 195–200 (2009) 査読有り

[学会発表] (計 24 件)

1. 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ハウ酸の影響, 日本地球化学会第 58 回年会, 札幌, 2011 年 9 月 7–9 日.
2. 大竹翼, 谷口尚, 古川善博, 中沢弘基, 掛川武, 高温高圧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 7–9 日.
3. 古川善博, 大竹翼, 石黒崇人, 中沢弘基, 掛川武, バ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 7–9 日.
4. Furukawa, Y., Otake, T., Ishiguro T., Nakazawa H., and Kakegawa, T., Oligomerization of valine under high temperature and high pressure conditions. *Origins 2011*, Montpellier, July 3–8, 2011 (Poster).
5. 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 7–9 日.
6. 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7-9日.
7. 古川善博, 関根利守, 大庭雅寛, 掛川武, 中沢弘基, 衝突反応による炭素からの有機物生成, 第51回高圧討論会, 仙台, 2010年10月10日.
 8. 大竹翼, 谷口尚, 古川善博, 中沢弘基, 掛川武, 初期地球における海洋堆積物中でのアミノ酸の安定性と重合反応, 第51回高圧討論会, 仙台, 2010年10月10日.
 9. 古川善博, 関根利守, 大庭雅寛, 掛川武, 中沢弘基, 隕石衝突による有機物生成の初期地球への影響, 日本地球化学会第57回年会, 熊谷, 2010年9月7-9日.
 10. 高橋拓人, 大竹翼, 古川善博, 掛川武, 海洋堆積物の続成環境模擬実験における混合アミノ酸の重合と安定性, 地球化学会第57回大会, 熊谷, 2010年9月7-9日.
 11. Otake, T., Taniguchi, T., Furukawa, Y., Nakazawa, H., and Kakegawa, T., Stability of amino acids and peptides during diagenesis on the early Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 74, p. A782, Goldschmidt Conference 2010, Knoxville, USA, 2010, June 13-18.
 12. Otake, T., Taniguchi, T., Furukawa, Y., Nakazawa, H., and Kakegawa, T., The stability of amino acids and peptides during diagenesis on the early Earth. 地球惑星科学連合2010年大会(国際セッション), 幕張, 2010年5月23-28日.
 13. Furukawa, Y., Sekine, T., Oba M., Kakegawa, T. and Nakazawa, Variety of organic compounds synthesized by ocean impacts on the early Earth. *Astrobiology Science Conference 2010*, League City, April 26-29, 2010 (Speaker).
 14. Furukawa, Y., Sekine, T., Oba M., Kakegawa, T. and Nakazawa, H., Formation of organic molecules by ocean impacts on the early Earth. Global-Network Symposium on Earth's Dynamics, March 2-4, 2010.
 15. Otake, T., Taniguchi, T., Furukawa, Y., Nakazawa, H., Kakegawa, T., The stability of amino acids and peptides during diagenesis on the early Earth. Global-Network Symposium on Earth's Dynamics, March 2-4, 2010.
 16. 古川善博, 関根利守, 大庭雅寛, 掛川武, 中沢弘基, 隕石の後期重爆撃による有機物の生成, 第2回アストロバイオロジー・ワークショップ, 2009年11月22-23日.
 17. 鮫島太郎, 古川善博, 掛川武, 初期地球における隕石衝突蒸発蒸気雲内部を想定した電気炉内反応実験, 第2回アストロバイオロジー・ワークショップ, 2009年11月22-23日.
 18. 古川善博, 関根利守, 大庭雅寛, 掛川武, 中沢弘基, Late Heavy Bombardmentの初期地球大気組成への影響衝突研究会, 天体の衝突物理の解明(V), 2009年11月11-13日.
 19. 古川善博, 関根利守, 大庭雅寛, 掛川武, 中沢弘基, 冥王代後期の地球大気組成への後期重爆撃の影響, 日本地球化学会第56回年会, 広島, 2009年9月15-17日.
 20. 大庭雅寛, 佐藤誠悟, 石田章純, 掛川武, 海保邦夫, 古川善博, 坂田将, 水曜海山人口熱水噴出孔における古細菌ならびにバクテリア由来の脂質バイオマーカーの炭素同位体分析, 日本地球化学会第56回年会, 広島, 2009年9月15-17日.
 21. Furukawa, Y., Sekine, T., Oba M., Kakegawa, T. and Nakazawa, H.,

Synthesis of Organic Molecules by Ocean Impacts on the Early Earth. *19th Goldschmidt Conference*, Davos, June 21-26, 2009 (Speaker).

22. Furukawa, Y., Sekine, T., M. Oba, Kakegawa, T. and Nakazawa, H., Organic molecules synthesis by impact reactions among meteoritic minerals, water, and nitrogen, 地球惑星科学連合大会, 幕張, 2009年5月16-21日.

23. 石黒崇人, 古川善博, 大原祥平, 掛川武, 中沢弘基, 初期地球地殻内条件でのバリン重合に関する高温高压実験, 地球惑星科学連合大会, 幕張, 2009年5月16-21日.

24. 鮫島太郎, 古川善博, 掛川武, 初期地球における隕石衝突蒸発蒸気雲内部を想定した電気炉内反応実験, 地球惑星科学連合大会, 幕張, 2009年5月16-21日.

[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]

ホームページ等

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

(2) 研究分担者
()

研究者番号 :

(3) 連携研究者
()

研究者番号 :