

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03728

研究課題名(和文) 初期太陽系で生成した糖とそのキラリティー：生命構成分子の新たな起源の解明

研究課題名(英文) Presence and chirality of sugars formed in the early solar system: a new origin of biomolecule

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) 35,700,000円

研究成果の概要(和文)：生命を構成する糖は、これまでに地球外や地球外物質からは見つかっていなかった。本研究では、生命を構成する糖を隕石から検出し、その糖が地球外由来であることを炭素安定同位体組成を用いて明らかにした。この成果は米国科学アカデミー紀要に発表し、国内外から多くの反響を得た。この糖が地球生命の糖と同じ鏡像異性体であるかが注目されるが、本研究ではその分析手法の開発に成功し、隕石糖の分析を進めた。また、隕石に含まれる糖の生成反応であるホルモース型反応が隕石有機物の主要生成反応であったことを、模擬実験で生成したアミノ酸と不溶性有機物の炭素同位体比分析から明らかにし、Science Advances誌に発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命を構成する糖は、これまでに地球外や地球外物質からは見つかっていなかった。本研究で隕石から地球外のリボースを発見したことは、生命の材料となる糖が、生命誕生前の地球に、地球外からもたらされていたことを示す証拠となった。また、隕石に含まれる糖の生成反応であるホルモース型反応が隕石有機物の主要生成反応であったことを、模擬実験で生成したアミノ酸と不溶性有機物の炭素同位体比分析から明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Sugars are important constituents of life, but have never found in extraterrestrial samples and space. In this research we found extraterrestrial ribose and related sugars from meteorites and published the paper in PNAS. With laboratory experiments, the synthetic reaction of sugars was found to be formose-type reaction and this reaction was found to be a major synthetic reaction of meteorite organic compounds that provided large carbon isotope differences between amino acids and insoluble organic matter.

We also succeeded in developing the protocol of chiral analysis of the sugars and investigated the chirality of meteorite sugars.

研究分野：地球宇宙化学

キーワード：糖 リボース 隕石

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

隕石からはタンパク質を構成するアミノ酸や核酸 (DNA/RNA) を構成する核酸塩基が見つかった。このことが、生命構成分子の起源が地球外にあるという説を強く支持している。タンパク質は DNA に保存された塩基配列を元に RNA を介して合成される。これらのバイオポリマーの構成分子はアミノ酸、核酸塩基、糖 (リボースとデオキシリボース) であるが、天文観測や地球外物質分析からは地球外由来の糖は見つかっていなかった。

2. 研究の目的

- (1) 研究代表者がホルモース反応で生成する糖の分析用にメソッドを確立してきた分析手法を隕石分析に応用し、隕石に地球外の糖が含まれるかどうかを明らかにする。
- (2) 隕石から糖が見つかった場合、その糖の鏡像異性体分析手法を開発し、隕石に含まれる糖の鏡像異性体の偏りがあるかどうか、それは生命が作る糖の鏡像異性体の偏りと関係があるかどうかを明らかにする。
- (3) 隕石糖の生成模擬実験を行い、その生成過程を明らかにする。

3. 研究の方法

複数の隕石について、糖の抽出と誘導体化を行い、隕石ごとの糖の含有量を測定する。また、糖生成環境推定のために、模擬実験を行い、生成する有機物の分析を行う。さらに、隕石糖の鏡像異性体分析手法を開発して、隕石糖の鏡像異性体測定を行う。

4. 研究成果

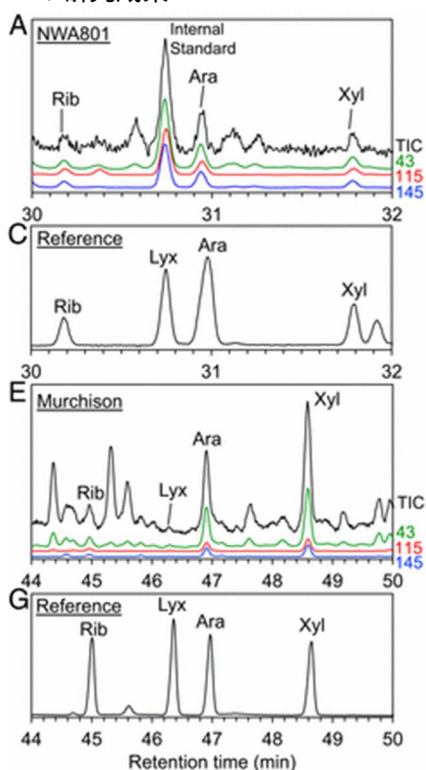


図 1. 隕石から検出された糖 (Furukawa et al., 2019 PNAS)

(1) 2種類の隕石からリボースと他3種類の五炭糖を検出した。それらの糖の分子レベルでの同位体組成分析を行った結果、地球生物が作り出す糖とは炭素同位体組成が大きく異なり、地球外由来であることを確認した。この結果は、地球外に生命を構成する糖が存在し、それが地球に降り注いでいたことを示す初めての証拠となった。この成果は米国科学アカデミー紀要に発表し、国内外のテレビ、新聞をはじめ、120以上のニュースサイトで報道された。出版から17ヶ月で既にISI登録誌に30回引用されている。

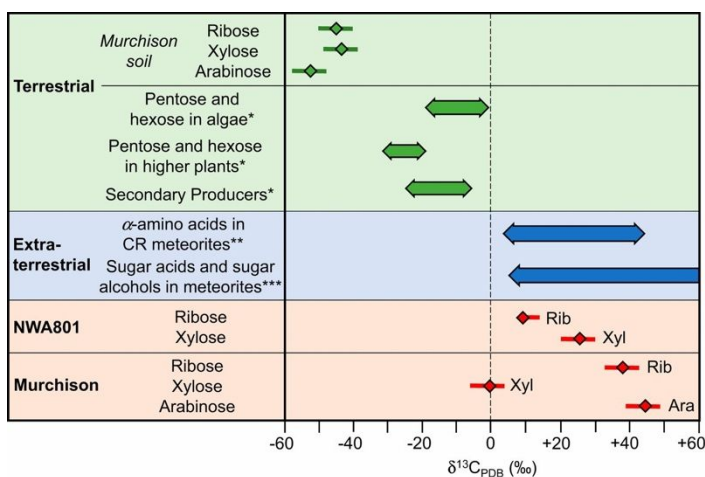


図 2. 隕石に含まれる糖と地球生物の糖の炭素同位体組成 (Furukawa et al., 2019 PNAS)

(2) 隕石に含まれる糖のうち、リボース、アラビノース、キシロースの鏡像異性体を分離して分析する独自の手法を開発した。この手法を用いて、隕石中に含まれる糖の鏡像異性体分析を行っている。

(3) 隕石に含まれる五炭糖の組成とホルモース型反応で生成する五炭糖の組成が類似することが明らかになり、隕石に含まれる糖の生成反応がホルモース型反応であることが判明した。さらに、ホルモース型反応の模擬実験によって、この反応で生成するアミノ酸の炭素同位体組成は、同じ反応で生成する不溶性有機物の炭素同位体組成に比べて大きく ^{13}C に富んでいることが明らかになった。この特徴は隕石に含まれるアミノ酸と不溶性有機物の特徴に良く合致する。これ

まで、隕石アミノ酸が ^{13}C に富んでいるのは、その原料が極低温環境で生成したからであると考えられてきたが、この研究結果は、より普遍的に存在する材料からアミノ酸と不溶性有機物がホルモース型反応に関連する一連の反応で生成していたことを示す結果となった。これらの研究成果によって、隕石によって地球に飛来した生命分子である糖とアミノ酸の主要な生成反応がホルモース型反応であったことが明らかになった。この研究成果は *Science Advances* 誌に出版した。

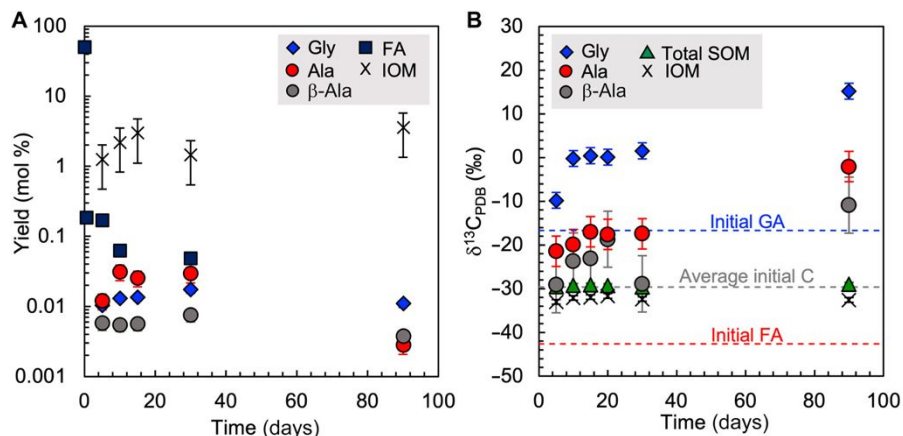


図3 .ホルモース型反応実験で生成するアミノ酸と不溶性有機物の炭素同位体組成 (Furukawa et al., *Science Advances* 2021)

飛来した生命分子である糖とアミノ酸の主要な生成反応がホルモース型反応であったことが明らかになった。この研究成果は *Science Advances* 誌に出版した。

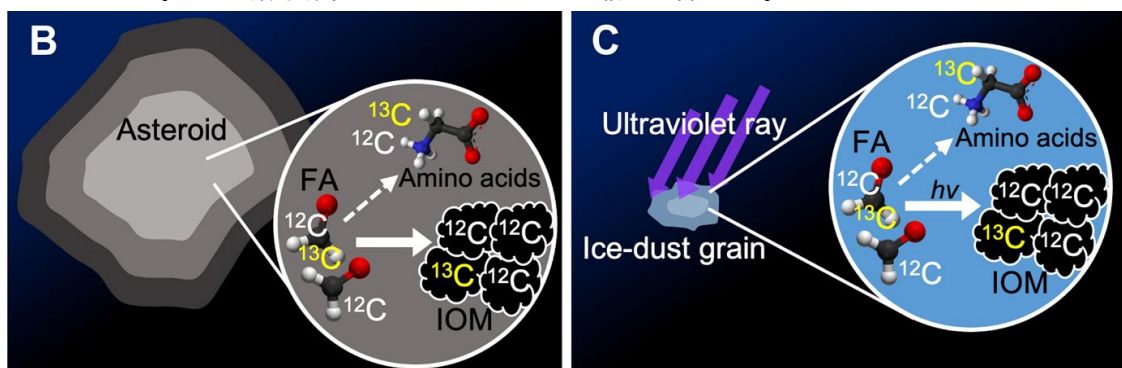


図4 .初期太陽系でのホルモース型反応の模式図 (Furukawa et al., *Science Advances* 2021)

< 引用文献 >

- Furukawa Y., Chikaraishi Y., Ohkouchi N., Ogawa N.O., Glavin D.P., Dworkin J.P., Abe C., and Nakamura T., Extraterrestrial ribose and other sugars in primitive meteorites. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **116**, 24440-24445 (2019).
- Furukawa Y., Iwasa Y., and Chikaraishi Y., Synthesis of ^{13}C -enriched amino acids with ^{13}C -depleted insoluble organic matter in a formose-type reaction in the early solar system. *Science Advances* **7**, eabd3575 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yoshihiro Furukawa, Yoshito Chikaraishi, Naohiko Ohkouchi, Nanako O. Ogawa, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin, Chiaki Abe, and Tomoki Nakamura	4. 巻 116
2. 論文標題 Extraterrestrial ribose and other sugars in primitive meteorites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	6. 最初と最後の頁 24440-24445
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.1907169116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshihiro Furukawa, Yoshinari Iwasa, and Yoshito Chikaraishi	4. 巻 7
2. 論文標題 Synthesis of ¹³ C-enriched amino acids with ¹³ C-depleted insoluble organic matter in a formose-type reaction in the early solar system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabd3575
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.abd3575	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 古川善博	4. 巻 79
2. 論文標題 炭素安定同位体組成で探る隕石有機物の生成反応と地球への運搬	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 低温科学	6. 最初と最後の頁 59-67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14943/lowtemsci.79.59	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 5件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yoshihiro Furukawa
2. 発表標題 Investigation of sugars in meteorites
3. 学会等名 JPGU 2019（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 地球化学会
3. 学会等名 始原的隕石中の糖の探索
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 初期地球における糖の起源
3. 学会等名 生命の起源および進化学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 惑星科学会
3. 学会等名 始原的隕石中の糖の探索
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 隕石から生命分子の起源を解き明かす
3. 学会等名 質量分析学会 東北談話会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 宇宙有機物と生命分子の起源
3. 学会等名 日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 生命の材料になる糖はどこでできたのか？
3. 学会等名 比較グライコム研究会 online シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川善博
2. 発表標題 宇宙での糖の生成と地球への運搬
3. 学会等名 日本分子生物学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Furukawa Y, Chikaraishi Y, Ohkouchi N, Ogawa N, Glavin D, Dworkin J, Abe C & Nakamura T
2. 発表標題 Sugars in Carbonaceous Chondrites
3. 学会等名 Goldshimidt 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩佐義也, 古川善博, 力石嘉人
2. 発表標題 地球化学会
3. 学会等名 ホルモース型反応生成物の同位体比から制約する隕石有機物の起源
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古川善博、岩佐義也、力石嘉人
2. 発表標題 炭素同位体比に制約された隕石有機物生成反応の再現
3. 学会等名 地球化学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川善博, 岩佐義也, 力石嘉人
2. 発表標題 隕石有機物の主要生成反応: 炭素同位体組成からの制約
3. 学会等名 惑星科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古川善博, 岩佐義也, 力石嘉人
2. 発表標題 同位体組成から制約する隕石有機物の起源
3. 学会等名 JPGU 2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	大河内 直彦 (Ohkouchi Naohiko) (00281832)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門・部門長 (82706)	
研究 分担者	力石 嘉人 (Chikaraishi Yoshito) (50455490)	北海道大学・低温科学研究所・教授 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	NASA		