

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009 ～ 2012

課題番号：21340164

研究課題名（和文）

隕石衝突によって初期地球へ供給された有機物の化学進化についての実験的研究

研究課題名（英文）

Chemical evolution of organic materials derived by meteorite impacts on the early Earth

研究代表者

三村 耕一 (MIMURA KOICHI)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：80262848

研究成果の概要(和文): 隕石や彗星によって初期地球に供給された有機物組成を検討するため、模擬隕石(有機物+蛇紋岩粉末)、模擬彗星(有機物+水+カンラン石粉末)、マーチソン隕石に衝撃波を作用させアミノ酸とカルボン酸の挙動を検討した。アミノ酸については、15GPaから20GPaの圧力範囲で、アミノ酸が重合したペプチド(3量体まで)が生成すること、カルボン酸については、マーチソン隕石中に存在するカルボン酸以外の有機物から衝撃によって新たにカルボン酸が生成することが明らかになった。

研究成果の概要(英文): In order to examine the chemical composition of organic materials derived by meteorite- and comet-impacts on the early Earth, shock experiments of artificial meteorite (organic materials + serpentinite powder), artificial comet (organic materials + water + olivine powder), and the Murchison meteorite were performed. Results of shock experiments for amino acids are oligomerization of amino acids up to trimers occurred in the pressure range of 15 GPa to 20 GPa. Results of shock experiments for amino acids are carboxylic acids were produced from other organic materials in the Murchison meteorite by impact shock.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2012年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：地球惑星科学

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：衝撃波・隕石・彗星・アミノ酸・カルボン酸・化学進化・生命の起源・初期地球

1. 研究開始当初の背景

地球上で生命はどのように誕生したのか？生命の起源は、多くの科学者によって研究され、様々な説が提案されてきた。現在では、最初に隕石や彗星によって単純な有機物が初期地球へ供給され[例えば Chyba et al., 1990]、次にそれらの有機物が海で複雑な有

機物となり [例えば Egami 1974]、最終的に生命体となったという考え方が主流である。しかし、この考え方は理論によるところが大きいとともに、裏付けるための実験では、初期地球に供給された有機物組成についてはほとんど情報がなかった。隕石や彗星が地球に衝突する際、衝撃波によ

り高温高压状態が生じるが、その温度と圧力は隕石や彗星の衝突速度によって様々に変化する。そして、隕石や彗星中の有機物は、この様々な温度圧力環境を経験して多様な組成変化をするはずである。つまり、隕石や彗星が初め宇宙空間において持っていた有機物は、地球への落下速度によって異なった組成となり、地球に供給されるのである。このことは、生命の起源を研究する上で、隕石や彗星に含まれる有機物に様々な度合いの衝撃波を作用させてその組成変化を調べるのが非常に重要であることを示している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「様々な速度で衝突した隕石や彗星はどのような有機物を初期地球に供給し、それらの有機物はどのように化学進化したのか？」を探ることである。特に、本研究の重要な目的は、宇宙空間を漂っていた隕石や彗星中に存在した有機物が地球への衝突によって、どのように変化するかを調べることである。

3. 研究の方法

実際の隕石と彗星に様々な衝撃圧力を与えて、有機物組成の変化を調べるのが最善の方法である。しかし、実物の彗星は入手不可能のため、模擬彗星物質を試料として使用する。具体的には、1. 化学進化で重要な役割をしたと考えられる有機物の分析法の開発、2. アミノ酸およびカルボン酸の衝撃反応実験（基礎的な有機物衝撃反応のデータを取得）、3. 模擬隕石と模擬彗星物質の衝撃実験、4. マーチソン隕石の衝撃実験という手法を試みた。

4. 研究成果

(1) 分析法の開発

本研究で注目した有機物は、隕石中に比較的高い存在度を示し、生命にとって重要な有機物であるアミノ酸とカルボン酸である。アミノ酸については、エステル化とアシル化を行うことで沸点を下げ、GC-FID と GC-MS によって定性、定量分析を行った。

カルボン酸については、エステル化のみの操作であるが、エステル化剤として HCl-ブタノールと HCl-イソプロピルアルコールを比較検討し、副生成物が極端に少ない HCl-イソプロピルアルコールを使用することとした。以上の操作はすべてクリーンルームで行なわれ、周囲からの汚染を可能な限り除去することに成功した。

(2) アミノ酸およびカルボン酸の衝撃反応実験

アミノ酸の衝撃実験においては、15~20 GPa 付近で急激に分解、35 GPa 程度で 95% が分解、20 GPa 付近では出発物質の 2 分子が重合して

ペプチドが生成、などが明らかになった。また、分解したアミノ酸の一部は酸加水分解を経ることで再びアミノ酸に戻ることも明らかになった。

さらに、衝撃によるアミノ酸の化学反応の反応メカニズムについての基礎的な理解するため、出発物質の温度を 77 K、300 K、450 K と変化させて衝撃実験を行った。77 K での実験は、試料を封入した衝撃実験用容器を液体窒素で満たした発泡スチロール容器の中に入れ、その状態のまま衝撃を与えることで実験を行った。450 K での実験は、ヒーターを用いて衝撃実験用容器を加熱することで実現した。その結果、アミノ酸の衝撃分解とペプチドの生成は圧力よりもむしろ温度に依存した反応であることがわかった。

カルボン酸については、20~25 GPa 付近で急激に分解、35 GPa 程度で 80~90% が分解、などが明らかになり、一般に、アミノ酸よりもカルボン酸の方が衝撃に対して安定であることがわかった。

(3) 模擬隕石の衝撃実験

アミノ酸を含む模擬隕石の衝撃実験では、出発物質として蛇紋岩粉末とアミノ酸 4 種（グリシン、アラニン、アミノ酪酸、アミノイソ酪酸）を混合したものを用意した。ここで選んだ 4 種のアミノ酸は炭素質コンドライト中に多く含まれているものである。実験の結果、「アミノ酸は約 20 GPa を超えると急激に減少すること」、「アミノ酸の一部は遊離アミノ酸から酸生成アミノ酸（酸加水分解を行うとアミノ酸に変化する物質）へと存在形態が変化すること」が明らかになった。さらに、「アミノ酸 2 分子が重合してペプチドを生成すること」も確認された。また、このペプチドには 2 つのアミノ酸が 1 つのペプチド結合で鎖状につながったものと、さらにもう 1 回ペプチド結合することで環状につながったジケトピペラジンが存在することが確認された。カルボン酸を含む模擬隕石の衝撃実験では、出発物質として蛇紋岩粉末と 3 種類のカルボン酸（酢酸、酪酸、ヘキサ酸）ナトリウム塩を混合したものを用意した。実験の結果、「20 GPa を超えるとカルボン酸は急激に分解すること」、「35 GPa ではカルボン酸の 5% から 20% 生き残ること」、「同程度の衝撃圧力においては炭素数の多いカルボン酸が安定であること」などを明らかにした。

衝撃持続時間と衝撃圧力に関するカルボン酸の挙動を知るため、衝突させる弾丸の厚さを 1 mm、2 mm、4 mm と変化させた衝撃実験を行った。この実験により、カルボン酸が出発物質の 5% 程度になる衝撃圧力は、1 mm、2 mm、4 mm の弾丸について、それぞれ 30 GPa、25 GPa、20 GPa 程度であることが明らかになった。これは、衝撃反応によってカルボン酸が分解するのが、衝撃波によって高温高压にな

っている時であることを示している。さらに、弾丸厚さの違いに起因する衝撃持続時間の違い、衝撃温度、カルボン酸の分解率から反応速度論の知見からの議論も試みた。なお、衝撃持続時間は、反応容器と弾丸の材質 (SUS 304) と弾丸速度のデータから、 $0.3 \mu\text{s}$ から $1.6 \mu\text{s}$ と見積もられた。さらに、衝撃温度については、試料内を衝撃波が繰り返し反射することによって圧力と温度が上昇するというリングアップを考慮して、330 K から 570 K と算出した。

(4) 模擬彗星の衝撃実験

彗星を模した出発物質の衝撃実験を行えるよう、液体用衝撃反応容器の開発を行った。固体用に使用していた反応容器のプラグ部分を2つに分割し、試料を封入するプラグ部分をガasket (アルミニウム) でシールすることにより、液体試料の衝撃実験を可能とした。

開発した反応容器を用いて、アミノ酸+水+カンラン石粉末を出発物質として極低温環境 (77 K) において、彗星衝突を模擬した衝撃実験を行った。実験の結果、アミノ酸が衝撃により重合し、ペプチドを生成することが明らかになった。この実験では3量体までのペプチドの生成が確認された。また、2量体のアミノ酸については、アミノ酸が鎖状につながったジペプチドの方が、さらなる分子内縮合によって環状につながったジペプチドよりも多く生成することも分かった。これらの結果は、彗星衝突という極低温環境での衝撃化学反応が鎖状のペプチドの生成に有利に働いていること、初期地球に降り注いだ彗星の量や衝突条件を考慮すると、彗星衝突により供給されたペプチドの量は海底熱水噴出口におけるペプチドの生成量に匹敵する可能性があることを示唆している。

(5) マーチソン隕石の衝撃実験

マーチソン隕石については、弾丸厚さを2 mm に固定して衝撃実験を試みた。その結果、隕石中のカルボン酸はほぼ35 GPaで5%程度に減少し、模擬隕石の実験と同様になった。しかし、低分子カルボン酸のみに注目すると、衝撃圧力に対する挙動が模擬隕石とマーチソン隕石とは異なることがわかった。模擬隕石では、衝撃圧力に対して、高分子と同様に低分子カルボン酸の存在度は一方的に減少するのに対し、マーチソン隕石では低分子カルボン酸は存在度が出発物質の存在度よりも高くなり、その後減少する。これは、衝撃によって隕石中に存在するカルボン酸以外の有機物が分解して低分子カルボン酸が新たに生成したとすると説明がつく。この有機物の候補としては、隕石中の有機物の大部分を占める不溶性有機物が有力と考えられる。

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2件)

- ① Okumura F. and Mimura K. (2011) Gradual and stepwise pyrolyses of insoluble organic matter from the Murchison meteorite revealing chemical structure and isotopic distribution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 75, 7063-7080. 査読有
- ② 三村耕一 (2011) 衝撃によるマーチソン隕石中の水素・炭素同位体の挙動、遊星人、20、169-176. 査読有

[学会発表] (計9件)

- ① Sugahara H. and Mimura K. (2012) Shock chemistry of amino acids: its kinetics and implication for delivery of amino acids by comets and asteroids. 50th European High Pressure Research Group Meeting, Porto Palace Hotel, Thessaloniki, Greece. 2012年9月16日-21日
- ② 三村耕一、奥村文章 (2012) 熱分解分析を用いたマーチソン隕石に含まれる不溶性有機物の化学構造と同位体分布の検討、日本地球化学会第59回年会、九州大学、2012年9月11日-13日
- ③ 菅原春菜、三村耕一 (2012) ペプチドの生成場としての彗星衝突、日本地球化学会第59回年会、九州大学、2012年9月11日-13日
- ④ 三村耕一 (2011) 出発温度を変えた衝撃回収実験、超高速衝突研究会、神戸大学惑星科学研究センター、2011年12月13日菅原春菜、
- ⑤ 菅原春菜、三村耕一 (2011) アミノ酸の衝撃実験：地球外物質によるアミノ酸供給の可能性、日本地球化学会第58回年会、北海道大学、2011年9月14日-16日
- ⑥ 三村耕一 (2010) アミノ酸の衝撃化学、衝突研究会、北海道大学低温科学研究所、2010年11月5日
- ⑦ 三村耕一 (2010) 衝撃によるマーチソン隕石中の水素・炭素同位体比の変化、衝突研究会、北海道大学低温科学研究所、2010年11月5日
- ⑧ 中村明博、三村耕一 (2010) 液体窒素温度での衝撃波によるベンゼンの反応、日本地球化学会第57回年会、立正大学、2010年9月9日
- ⑨ 三村耕一、奥村文章 (2009) マーチソン隕石から得られた不溶性有機物の化学構造、日本地球化学会、広島大学、2009年9月17日

[その他]

ホームページ等

[http://www.eps.nagoya-u.ac.jp/~geochem/
member/kimura/index.html](http://www.eps.nagoya-u.ac.jp/~geochem/member/kimura/index.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三村耕一 (MIMURA KOICHI)

名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授

研究者番号：80262848

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：