

初期太陽系における鉱物-水-有機物相互作用 :

惑星と生命起源物質初期進化

Interaction among minerals-water-organics in the early solar system: early stage evolution of precursor materials of planets and organics

永原 裕子 (NAGAHARA HIROKO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要

現代科学の最前線は、宇宙の進化、特に惑星の進化と生命の進化の関係である。

生命の前駆物となる有機物が原始太陽系においてどこまで進化していたのかを、実証的かつ理論的に解明することを本研究では目指している。これまでの研究により、もっとも初生的な有機物を発見した。それらは初生的有機物と鉄硫化物と少量の水の反応により形成された。

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：太陽系、有機物、鉱物、水、相互作用

1. 研究開始当初の背景

原始惑星系円盤における有機物の進化は、生命進化には直接は関わらないものの、天文学から生物学までをつなぐ最先端課題の重要なリンクであるが、従来無機-有機-水の相互作用が研究されていなかった。そのため初期太陽系における無機-有機-水の相互作用を実証的、理論的に明らかにしておくことが、原始太陽系における生命材料物質進化の観点から望まれている。

2. 研究の目的

初期太陽系における有機物進化を、実証的アプローチとフォワードなアプローチにより明かにする。実証的には、南極の雪から採取される微隕石を最新の分析方法を駆使して、鉱物-水-有機物の反応と形成プロセスを理解する。フォワードなアプローチは、原始惑星系円盤における粒子移動と熱的条件の関係をモデル化し、実験により得られる反応速度と組み合わせ、進化を予測する。

3. 研究の方法

微隕石については SEM、FIB、SIMS、XANES、TEM などの方法を組み合わせ、統合的に、有機物の成因における鉱物と水の役割を明らかにする。実験は原始惑星系円盤を模擬した条件における気相-固相反応により有機物形成がどのように支配されるか、その速度決定および流体の水の或条件の 2 種をおこなう。

4. これまでの成果

本研究によるこれまでの新たな知見は、第一に母天体水質編成以前の、原始惑星系円盤における有機物進化を世界で初めて実証的に示した、ということである。その内容は技術的な問題もふくめ、以下の 3 つから構成される。第 2 に、原始惑星系円盤における物質の大規模移動・反応過程のモデル化を確立したことである。

(1) 有機物進化

a. 超始原的有機物の発見

南極ドームふじから採集されたクリーンな雪を濾過し、そこから回収された微隕石の中に、きわめて炭素に富む有機物を発見した。これまでに発見されているいかなるものより、炭素に富み、大きく、母天体における水質変成を被っていない、始原的な有機物であることを明かとした。この物質は彗星に由来すると考えられるが、宇宙塵と異なり、試料採取の際の変質などを被っていない始原的なものである。このようなものを見いだすことができたのは、小さく、もろく、かつ反応性に著しく富む物質の試料処理方法を新たに開発したこと、鉱物、同位体、有機化学などの最先端分析機器を駆使するチームワーク研究体制を敷いたためである。この過程で、従来世界で行われてきた試料準備方法は、有機物にコンタミネーションを引きおこす可能性があることを示し、当該分野の研究に衝撃的な事実を示すことができた。

b. 有機物進化の初期過程の解明

CPMMを二次イオン走査電子顕微鏡 SEM、二次イオン質量分析装置 SIMS、収束イオンビーム加工 FIB、X線吸収端近傍構造解析 XANES、電子顕微鏡 TEM (走査透過 X線顕微鏡 (STXM) および透過電子顕微鏡 (TEM) を含む) の手順により、観察・分析をおこない、炭素を主体とし窒素を含む始原的物質が、ごく少量の水と硫化物と反応することで、有機物が形成されたことを明かにした。有機物は鉄硫化物、非晶質珪酸塩などと共存し、特徴的にイミン、アミド、ニトライドの結合を持っており、始原的有機物であることが判明した。原始惑星系円盤に超始原的有機物が存在し、上記化学反応が生じたものと考えられる。

c. 始原的有機物研究手法の開発

微少かつ反応性に富む有機物は、試料準備に用いるエポキシ樹脂や高加速電圧機器による観察で試料が変化したり化学反応を起こすことが本研究で明らかとなった。これを克服するため、新たな手法開発をおこない、それに成功した。従来世界でなされてきた始原的有機物研究は、多様なコンタミネーションや化学変化の産物であり得ることが示されたため、当該分野の研究に与える影響はきわめて大きい。

(2) 原始惑星系円盤における物質移動と化学反応のモデル化

a. モデル開発

原始惑星系円盤は分子雲が収縮を開始してから、約 1000 万年近く進化を続けるため、温度と圧力の時間発展と物質移動を同時に取り扱い、物質がどのように進化しうるかをモデル化した。このモデルでは円盤中の粒子の移動を一粒ずつ追跡することが可能であり、場の関数として温度・圧力が決まっているため、粒子が時間とともに経験する温度・圧力を知ることができる。特に重要な化学反応として同位体交換の問題がある。分子雲に由来する重同位体に濃縮した分子が原始惑星系円盤を移動中に、円盤ガスと同位体交換をしうるかどうかは、微隕石の分析結果の解釈に大きな影響をあたえるため、きわめて重要な問題である。現状では酸素同位体交換の可能性までが検討され、原始惑星系円盤内の移動においては基本的に酸素同位体交換はおきないことを確認した。水素、窒素に関して評価を行うことを計画しているが、概略の推定では酸素より圧倒的に容易に交換すると推定される。

b. 実験

有機物形成反応速度決定のための実験を進めている。非晶質珪酸塩と鉄硫化物を基板とする CO、H₂O の反応を遂行中である。

5. 今後の計画

南極で新規に採取された雪の濾過、微隕石の抽出、基礎分析 (SEM-EDS, Raman) を行い、発見した有機物の各種最先端詳細分析をおこなう。これまでの結論がより強固なものとなるか、新たな化学結合をもつものが見いだされるか、さらに、鉱物-水と有機物の関係の新たなものが存在しうるかを決定する。

実験により鉱物を基板とする有機物形成反応速度を決定し、すでに開発したモデルに結合し、条件に応じた原始惑星系円盤内の粒子の移動により、どれだけの有機物が形成されうるか、それらはどこに位置するかを求める。特に注目すべきこととして、円盤移動中に分子雲に由来する重い同位体が交換するかどうかを評価する予定である

実証的に得られた結果とモデル研究結果をつきあわせ、原始惑星系円盤における有機物進化の描像を描く。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

H. Nagahara, H. Yabuta, T. Noguchi, S.

Itoh, et al. (2013) EGU #8334.

H. Nagahara and K. Ozawa (2013) *ibid.*

#8422

H. Yabuta, T. Noguchi, S. Itoh, S. et al.

(2013) 44th Lunar Planet. Sci. Conf.

#2335.

H. Nagahara and K. Ozawa (2013) *ibid.*

#1383.

T. Noguchi et al. (2013) *ibid.* #1380.

M. Ebihara, et al. (2013) *ibid.* #2086.

Tenner, T. J. et al. (2013) *Geochim. Cosmochim. Acta* 102, 226-245.

Nagahara, H. and Ozawa, K. (2012) *Meteoritics and Planetary Science* 47, 1209-1228.

Ozawa, K., Nagahara, H., Noguchi, T. et al. (2012) *Amer. Mineral.* 97, 80-99.

K. Terada and Y. Sano (2012) *Mass Spectrometry*

10.5702/massspectrometry.A0011

藪田ひかる (2012) ぶんせき 10, 570-575

T. Noguchi et al. (2011) *Science* 333, 1121-1125

T. Nakamura et al. (2011) *Science* 333, 1113-1116

T. Noguchi et al. (2011) *EPSL* 309, 198-206

Tachibana, S., Nagahara, H., et al. (2011) *ApJ* 736 16. doi:10. 1088/ 0004 - 637X/736/1/16.

ホームページ等

<http://www-sys.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~nagahara-kaken/index.html>