

3A01  
(Invited)

星・惑星系形成領域の星間化学：  
モデルと ALMA 観測

○相川祐理<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>筑波大学計算科学研究センター)

分子雲中のガス、氷、ダストは星形成過程において円盤に取り込まれ、惑星系の材料物質となる。我々は星・惑星系形成過程における分子組成進化の数値計算を行い、その結果を天文観測と比較することで、星間物質から惑星系物質への進化の解明を目指している。講演では、この研究分野における近年の進展

- ・流体計算による原始星、円盤形成過程の解明
  - ・ダスト表面での水、有機物生成および同位体交換反応についての実験とモデル計算
  - ・ALMA による円盤形成過程および円盤内の組成分布観測
- について解説し、物質進化について議論する。

Astrochemistry in Star-Forming Regions and Protoplanetary Disks:  
Models and ALMA Observations

\*Yuri Aikawa<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Center for Computer Sciences, University of Tsukuba)

Interstellar matter --- gas, ice and dust grains in molecular clouds --- is converted to planetary matter in the star-formation processes and in protoplanetary disks. We investigate such molecular evolution of ISM via numerical simulations and the comparison of the results with astronomical observations. In this presentation, I will review recent progresses in this research field

- Hydrodynamic simulations of formation of protostar and circumstellar disks
- Laboratory experiments and models of chemistry of water and complex organic species
- Spectroscopic observations of disk formation and protoplanetary disks by ALMA.

Considering these updates, I will discuss the early evolution of ISM to planetary matter.

## 3A02

### アンモニアの粒子表面への吸着に伴う窒素同位体分別

○ 菅原春菜、高野淑識、小川奈々子、力石嘉人、大河内直彦

(海洋研究開発機構)

窒素は宇宙で5番目に存在量の多い元素であり、コンドライトや彗星塵、惑星間塵等の地球外物質、そして星間分子雲の中には様々な窒素含有化合物が存在することがわかっている。これらの窒素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$  値) は星間分子雲から原始太陽系円盤、そして現在の太陽系に至るまでの窒素含有化合物の進化過程を反映していると考えられる。実際、太陽系の天体は多様な  $\delta^{15}\text{N}$  値を持つことが知られている。太陽や木星はそれぞれ  $-350\pm 190\text{‰}$  (Marty *et al.*, 2011, *GCA*)、 $-390\pm 80\text{‰}$  (Abbas *et al.*, 2004, *APJ*) という  $\delta^{15}\text{N}$  値を持つのに対し、地球も含めた金星や火星などの岩石惑星は約  $0\text{‰}$  付近の太陽や木星よりも重い  $\delta^{15}\text{N}$  値をもつ (Hoffman *et al.*, 1979, *Science*; Mathew and Marti, 2001, *JGR*)。さらに、彗星やコンドライト、惑星間塵 (IDPs) のような始原始的な太陽系物質はより  $^{15}\text{N}$  に富む値を示し、バルクで  $+1500\text{‰}$  (Rousselot *et al.*, 2014, *APJ*)、局所的には  $+5000\text{‰}$  (Briani *et al.*, 2009, *PNAS*) という非常に高い  $\delta^{15}\text{N}$  値を示すものもある。これらの  $^{15}\text{N}$  の濃集は冷たい星間分子雲に起源をもつと考えられているが、その濃集プロセスはあまり理解されていない。

そこで、本研究が星間分子雲における  $^{15}\text{N}$  濃集プロセスの新たな可能性の1つとして着目するのが、アンモニア分子の星間塵表面への吸着プロセスである。アンモニアは始原始的な窒素化合物であり、星間分子雲に多く存在する。また、反応性も高いことから、アンモニアの星間塵表面への吸着は後に続く表面化学反応の重要なステップと考えられる。本研究では、アンモニアの粒子表面への吸着に伴う窒素同位体分別の可能性を検証すべく、アンモニアガスと吸着剤を用いた実験を行った。吸着剤として選んだのは数種類の粘土鉱物である。さらに水の影響を評価するため、粘土鉱物の水分含有量を  $0\text{-}20\%$  まで変化させた。これらの吸着剤を入れて真空中に引いたガラスバイアルにアンモニアガス ( $\delta^{15}\text{N}=27\text{‰}$ ) を約1気圧封入し、数日後、nanoEA/IRMS (Ogawa *et al.*, 2010, *Earth, Life, and Isotopes*) により吸着したアンモニアの  $\delta^{15}\text{N}$  値の測定を行った。その後、さらに吸着剤をもう一度真空中に引き、分子として残存するアンモニアを除去した後に、強く吸着し続けているアンモニアの  $\delta^{15}\text{N}$  値の測定を行った。本実験の結果は、アンモニアの吸着により窒素同位体に  $+50\text{‰}$  以上の大きな分別を生じることを示しており、これはアンモニアの吸着が  $^{15}\text{N}$  濃集プロセスの1つとなりうることを示唆する。

Nitrogen isotopic fractionation of ammonia by the grain surface adsorption

\*H. Sugahara, Y. Takano, N. O. Ogawa, Y. Chikaraishi, N. Ohkouchi (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

# 3A03

## Murchison 隕石中のアルキルピリジン異性体分布と炭素安定同位体比

○大澤祐太郎、奈良岡浩  
(九州大院・理)

Murchison 隕石(CM2) は多種の有機物を含み、その形成には星間雲から隕石母天体までの過程の寄与が考えられている。ピリジンとそのアルキル同族体(C<sub>n</sub>H<sub>2n-5</sub>N)は、Stoks and Schwartz(1982)で初めて発見され[1]、さらに近年の研究で ~C<sub>23</sub> までの同族体が存在することが明らかとなった[2]。様々な構造異性体が存在すると考えられるが、その同定や定量、安定同位体比分析は行われていない。

本研究では、Murchison 隕石中のアルキルピリジンの異性体分布と炭素同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )を測定し、その生成経路や起源を明らかにする。ガスクロマトグラフィー/質量分析(GC/MS)により、C<sub>3</sub>-ピリジンまでの多くの異性体が同定された(Fig. 1)。濃度は異性体によって異なり、0.1 ~ 0.5ppm であった。C<sub>1</sub>-ピリジンでは 2-メチルピリジンが最も多く存在し、前駆体としてアセトン(CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>)が重要である可能性が示唆された。

また、GC/燃焼/同位体比質量分析によって得られたアルキルピリジンの  $\delta^{13}\text{C}$  は、炭素数が増加すると高くなり、隕石アミノ酸などの低分子有機化合物とは反対の傾向を示した[3]。したがって、アルキルピリジンの生成メカニズムは他の隕石有機物と異なっていた可能性がある。

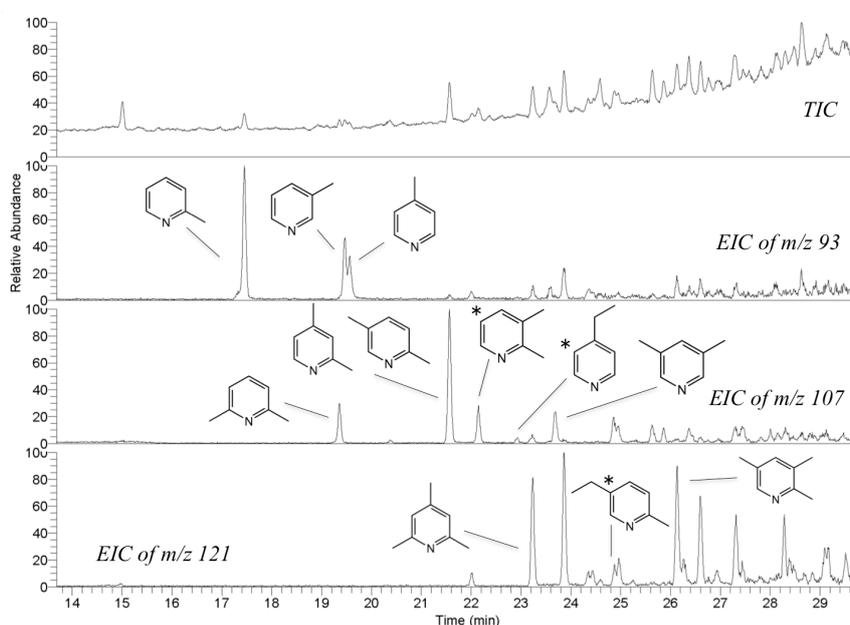


Fig. 1 GC/MS chromatograms of alkylpyridines in the methanol extract of the Murchison meteorite. \* Tentative identification.

**Refs.** [1]Stoks and Schwartz (1982) *Geochim. Cosmochim. Acta* **46**:309-315. [2] Yamashita and Naraoka (2014) *Geochem. J.* **48**:519-525. [3] Pizzarello et al. (2004) *Geochim. Cosmochim. Acta* **68**:4963-4969.

Distribution and  $\delta^{13}\text{C}$  of alkylpyridine isomers in the Murchison meteorite

\*Y. Osawa and H. Naraoka (Dept. of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University)

# 3A04

## 隕石有機物におけるアルキル化環状同族体化合物

○奈良岡 浩 (九州大・理・地惑)

炭素質隕石にはアミノ酸、カルボン酸、炭化水素など数千種の有機化合物の存在が報告されているが、それらの起源・生成プロセスはよく理解されていない。最近の超高分解能質量分析によると、Murchison 炭素質隕石の溶媒抽出物には約 16 万の CHO, CHNO, CHOS, CHNOS からなるイオン質量ピークが検出され、約 5 万の組成式が決定された[1]。1つの組成式には多くの構造異性体が存在し、CH, CHN からなる組成式は含まれていないことを考慮すると、隕石中には何十万種の有機化合物が存在していることが示唆される。現在までに同定された有機化合物は 1%程度にすぎない。

Murchison 隕石のメタノール抽出物に多くの飽和アルキルピリジン(C<sub>n</sub>H<sub>2n-5</sub>N)と一不飽和アルキルピリジン(C<sub>n</sub>H<sub>2n-7</sub>N)が含まれることを我々は報告したが[2]、さらなる解析により、600 以上の CHN からなる化合物を見出した(表 1)。これらはイミダゾールやピペリジンなどの含窒素環状化合物のアルキル同族体であり、アルデヒドとアンモニアを水溶液中で数十℃に加熱することにより生成する。さらに、ピリジンカルボン酸やピログルタミン酸のような環状構造の持ったカルボン酸も隕石とシミュレーション実験生成物に見出された。炭素質隕石の脂肪族炭化水素についても、当初は Fischer-Tropsch Type (FTT) 反応による直鎖飽和炭化水素の優位性が主張されたが[3]、隕石内部試料を用いた詳細な分析により、環状構造を持つ炭化水素が優位に存在することが明らかとなった[4]。これらの結果は隕石中の溶存有機物の多くが環状化合物のアルキル同族体として存在していることを示している。

HCHO や CH<sub>3</sub>CHO などの低分子アセトアルデヒドがアルカリ性下で、ホルモース反応 やアルドール縮合などで分岐に富んだ炭素骨格を形成し、環化することが主要な生成メカニズムと考えられる。同じようなモデルが不溶性有機物の生成にも提案されており[5]、隕石有機物の生成過程に関して共通するメカニズムである。

表 1 Murchison 隕石中の CHN 化合物の同族体数

CHN	n	No.	CHN <sub>2</sub>	n	No.
C <sub>n</sub> H <sub>2n+4</sub> N <sup>+</sup>	5-25	21	C <sub>n</sub> H <sub>2n+3</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	9-19	11
C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub> N <sup>+</sup>	6-31	26	C <sub>n</sub> H <sub>2n+1</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	6-21	16
C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> N <sup>+</sup>	5-35	31	C <sub>n</sub> H <sub>2n-1</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	5-35	31
C <sub>n</sub> H <sub>2n-2</sub> N <sup>+</sup>	8-36	29	C <sub>n</sub> H <sub>2n-3</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	10-35	26
C <sub>n</sub> H <sub>2n-4</sub> N <sup>+</sup>	5-41	37	C <sub>n</sub> H <sub>2n-5</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	6-40	35
C <sub>n</sub> H <sub>2n-6</sub> N <sup>+</sup>	8-42	35	C <sub>n</sub> H <sub>2n-7</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	7-40	34
C <sub>n</sub> H <sub>2n-8</sub> N <sup>+</sup>	11-40	30	C <sub>n</sub> H <sub>2n-9</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	8-40	33
C <sub>n</sub> H <sub>2n-10</sub> N <sup>+</sup>	8-40	33	C <sub>n</sub> H <sub>2n-11</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	10-40	31
C <sub>n</sub> H <sub>2n-12</sub> N <sup>+</sup>	11-45	35	C <sub>n</sub> H <sub>2n-13</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	10-41	32
C <sub>n</sub> H <sub>2n-14</sub> N <sup>+</sup>	13-45	33	C <sub>n</sub> H <sub>2n-15</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	12-30	18
C <sub>n</sub> H <sub>2n-16</sub> N <sup>+</sup>	13-37	25	C <sub>n</sub> H <sub>2n-17</sub> N <sub>2</sub> <sup>+</sup>	13-20	12
	Total	335		Total	279

<引用文献> [1] Schmitt-Kopplin *et al.* (2010) *PNAS* **107**, 2763. [2] Yamashita & Naraoka (2014) *GJ.* **48**, 519. [3] Studier *et al.* (1972) *GCA* **36**, 189. [4] Cronin & Pizzarello (1990) *GCA* **54**, 2859. [5] Cody *et al.* (2011) *PNAS* **108**, 19171.

Abundant alkylated homologues of cyclic compounds in meteoritic organic matter

H. Naraoka (Dept. Earth & Planet. Sci., Kyushu Univ.)

## 3A05

### 無水雪微隕石と含水雪微隕石に含まれる有機物の特徴比較

○藪田ひかる<sup>1</sup>、野口高明<sup>2</sup>、伊藤正一<sup>3</sup>、中村智樹<sup>4</sup>、光成拓也<sup>5</sup>、大久保彩<sup>6</sup>、岡崎隆司<sup>7</sup>、橘省吾<sup>8</sup>、寺田健太郎<sup>1</sup>、海老原充<sup>9</sup>、永原裕子<sup>6</sup>

(<sup>1</sup>阪大理、<sup>2</sup>九大基幹、<sup>3</sup>京大理、<sup>4</sup>東北大理、<sup>5</sup>茨大理、<sup>6</sup>東大理、<sup>7</sup>九大理、<sup>8</sup>北大理、<sup>9</sup>首都大理)

【序論】炭素質コンドライト隕石に含まれる有機物の化学組成の一部は、母天体上で起こった水質変成作用の度合いを反映することが知られる (e.g., Alexander et al. 2007)。しかし、隕石有機物の組成は水質変成が著しく進行した結果を反映し、水質変成の初期における化学進化の記録をほとんど残していない。そこで本研究では隕石よりも始原的な南極雪微隕石 (MM) の鉱物・有機物・同位体分析を行い、無水雪微隕石と含水雪微隕石の有機物の特徴を比較した。

【実験】南極ドームふじ周辺から 2010 年に採取した表層雪を茨城大学で融解ろ過し、走査型電子顕微鏡 (SEM-EDS) 分析で微隕石と同定したうちの 5 試料(D10IB004, 009, 017, 163, 356)を用いた。各試料を金板に圧入後、北海道大学の同位体顕微鏡(Cameca ims-1270 SIMS/SCAPS)で同位体イメージングを行った。その後、集束イオンビーム(FIB-SEM)で厚さ 100 nm の超薄片に加工し、Advanced Light Source の BL5.3.2.2 で走査型透過 X 線顕微鏡(STXM)分析を行った。

【結果と考察】D10IB004, 009, 356 中に非晶質ケイ酸塩 GEMS が検出されたことから、これらは無水 MM に分類できた(Noguchi et al. 2015)。鉄に富む含水ケイ酸塩の割合から D10IB163 は軽度、D10IB017 は強度に水質変成を受けた含水 MM に分類した。D10IB004, 009, 017, 356 には有機物が薄く広域に分布するのに対し、D10IB163 では有機物に乏しいことが判明した。全ての MM の C-XANES スペクトルで芳香族 C=C、芳香族ケトン、カルボニル C=O に由来するピークを検出したが、C=O の C=C に対する割合は含水 MM よりも無水 MM である D10IB009, 356 で高かった。他方、含水 MM の D10IB017 中有機物の C-XANES スペクトルは CM コンドライト隕石中の不溶性有機物 IOM に類似した。軽度に水質変成を受けた D10IB163 では C=O、C=C にそれぞれ富む領域が共存した。例外的に、IOM 組成に類似した有機物を含む無水 MM(D10IB004)もあった。全ての MM で窒素含有量に乏しかったが、D10IB009 では極度にニトリル基または芳香族窒素に富んだ微粒子が局所的に発見され、水素 ( $\delta D = 2000-5000\text{‰}$ )、窒素 ( $\delta^{15}N = 300\text{‰}$ ) の同位体組成を示した。

Comparison of organic chemistry between hydrous and anhydrous Antarctic micrometeorites.

\*H. Yabuta<sup>1</sup>, T. Noguchi<sup>2</sup>, S. Itoh<sup>3</sup>, T. Nakamura<sup>4</sup>, T. Mitsunari<sup>5</sup>, A. Okubo<sup>6</sup>, R. Okazaki<sup>2</sup>, S. Tachibana<sup>7</sup>, K. Terada<sup>1</sup>, M. Ebihara<sup>8</sup>, H. Nagahara<sup>6</sup> (<sup>1</sup>Osaka Univ., <sup>2</sup>Kyushu Univ., <sup>3</sup>Kyoto Univ., <sup>4</sup>Tohoku Univ., <sup>5</sup>Ibaraki Univ., <sup>6</sup>The Univ. Tokyo, <sup>7</sup>Hokkaido Univ., <sup>8</sup>Tokyo Metropolitan Univ.)

## 3A06

### 木星トロヤ群小惑星探査:太陽系最後のフロンティアを目指して

○癸生川陽子<sup>1</sup>、中村良介<sup>2</sup>、青木順<sup>3</sup>、矢野創<sup>4</sup>、岡田達明<sup>4</sup>、森治<sup>4</sup>、岩田隆浩<sup>4</sup>、松浦周二<sup>5</sup>、津村耕司<sup>6</sup>、臼井文彦<sup>7</sup>、木下大輔<sup>8</sup>、パトリック・リカフィカ<sup>9</sup>、吉田二美<sup>10</sup>

(<sup>1</sup>産業技術総合研究所、<sup>2</sup>横浜国立大学、<sup>3</sup>大阪大学、<sup>4</sup>宇宙航空研究開発機構、<sup>5</sup>関西学院大学、<sup>6</sup>東北大学、<sup>7</sup>東京大学、<sup>8</sup>台湾中央大学、<sup>9</sup>近畿大学、<sup>10</sup>国立天文台)

準惑星である冥王星(直径 2370km)は、海王星以遠に存在するエッジワース=カイパーベルト天体のなかでも最大の天体の一つである。2015年7月の New Horizons 探査機によるフライバイ観測によって、その表面地形や詳細な組成が明らかになりつつある。一方、数 km の小さいエッジワース=カイパーベルト天体である Churyumov-Gerasimenko 彗星についても、ロゼッタ探査機および着陸機であるフィラエによる探査が進行中である。こうした探査は、原始太陽系円盤の外縁部で形成された天体の組成や進化を明らかにするだろう。木星よりも内側の小惑星帯においては、Dawn 探査機が準惑星 Ceres の探査を行っている。Ceres (直径 950km) は液体の水による変性作用を受けた C 型小惑星に類似した赤外線スペクトルを示しており、表面に氷あるいは塩と思われる反射率の高い地点が複数存在することが明らかになっている。今後はやぶさ2や Osiris-ReX といったミッションによって C 型小惑星からのサンプルが持ち帰られれば、Snow Line と木星の間の物質分布や微惑星の進化についての情報は飛躍的に増大すると期待される。

このように、太陽系初期の揮発性物質を保持する天体へ向かう探査が大きく進展する中、最後に残されたフロンティアが木星のラグランジュ点付近に存在するトロヤ群小惑星である。そこで我々は、(1) 種々の氷・含水鉱物・有機物が特徴的な吸収を持つ赤外域(とくに 2500~5000 nm の波長域)で数十 km サイズのトロヤ群小惑星のイメージング分光を行う母機(2) 小惑星表面に降り立ち揮発性の高い炭素・水素・窒素・酸素などの同位体比をその場測定する子機、から成るソーラー電力セイル探査機の検討をすすめている。2020年代に打ち上げるために進行中の、ミッション設計・探査候補天体のサーベイ・搭載機器開発について報告する。

Jupiter Trojan Exploration mission: Toward the final frontier of the Solar System

\* Y. Kebukawa<sup>1</sup>, R. Nakamura<sup>2</sup>, J. Aoki<sup>3</sup>, Y. Yano<sup>4</sup>, T. Okada<sup>4</sup>, O. Mori<sup>4</sup>, T. Iwata<sup>4</sup>, S. Matsuura<sup>5</sup>, K. Tsumura<sup>6</sup>, F. Usui<sup>7</sup>, D. Kinoshita<sup>8</sup>, P. Lykawka<sup>9</sup> and F. Yoshida<sup>10</sup> (<sup>1</sup>AIST, <sup>2</sup>Japan Yokohama National Univ., <sup>3</sup>Osaka Univ., <sup>4</sup>JAXA, <sup>5</sup>Kuwansei Gakuin Univ., <sup>6</sup>Tohoku Univ., <sup>7</sup>Univ. of Tokyo, <sup>8</sup>National Central Univ., <sup>9</sup>Kinki Univ., <sup>10</sup>NAOJ)

# 3A07

## AGB 星 He 層内で生成される s プロセス核種同位体の温度・中性子密度依存性とプレソーラーSiC との比較 2

○寺田健太郎<sup>1</sup>、河井洋輔<sup>1</sup>、岩本信之<sup>2</sup>、青木和光<sup>3</sup>、吉田敬<sup>4</sup>  
(<sup>1</sup>大阪大学、<sup>2</sup>原子力開発機構、<sup>3</sup>国立天文台、<sup>4</sup>京都大学)

一般に、天然に存在する鉄よりも重い核種の約半数は、遅い中性子捕獲反応（以下、s プロセス）で生成されたと考えられている。最近の元素合成理論によると、この s プロセス核種が生成される物理環境として、

(i) 中小質量星の AGB 星段階の熱パルス休憩時、He 層上層部の比較的低温・低中性子密度でおこる  $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  起源。[ $T < 10\text{keV}$ ,  $N_n \sim 10^7/\text{cm}^3$ ]

(ii) 中小質量星の AGB 星段階の熱パルス時、He 層底部の高温・高中性子密度でおこる  $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$  起源。[ $T = 25\text{-}35\text{keV}$ ,  $N_n = 10^8 \sim 10^{10}/\text{cm}^3$ ]

(iii) 大質量星の He コア燃焼時の高温環境における  $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$  起源。[ $T = 25\text{-}35\text{keV}$ ,  $N_n = 2 \times 10^7/\text{cm}^3$ ]

などが提唱されている。我々は、 $^{153}\text{Eu}/^{151}\text{Eu}$  同位体比が温度や中性子密度に敏感であることに着目して以来(Terada et al. 2006)、プレソーラー粒子の Eu や Ba 同位体比測定と、AGB 星 He 層内における Eu, Ba 同位体比の温度-中性子密度依存性について報告してきた(2006, 2007, 2011, 2014 年の地球化学会で報告)。本講演では、実測の同位体比から恒星内部の温度・中性子密度の直接制約を試みる我々のこれまでの取り組みを紹介するとともに、あらたに Nd と Hf 同位体比の温度-中性子密度依存性と酸残渣の分析データとを比較した結果について報告する。

Dependency of isotopic composition of s-process nuclides on Temperature and Neutron density in AGB stars and comparison with observed isotopic ratios of presolar SiCs 2

\*K. Terada<sup>1</sup>, Y. Kawai<sup>1</sup>, N. Iwamoto<sup>2</sup>, W. Aoki<sup>3</sup>, T. Yoshida<sup>4</sup> (<sup>1</sup>Osaka Univ., <sup>2</sup>JAERI, <sup>3</sup>NAOJ, <sup>4</sup>Kyoto Univ.)

# 3A08

## 完全分解法を用いた炭素質コンドライト全岩の高精度 Nd 同位体比測定

○深井稜汰<sup>1</sup>、横山哲也<sup>1</sup>、鏡味沙耶<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>東京工業大学地球惑星科学専攻)

コンドライト隕石の全岩試料に観察される重元素同位体異常(地球試料に対する同位体比のずれ)は、様々な元素(Sr, Mo など)に対して報告されている[e.g., 1]。これらの結果は、初期太陽系星雲での同位体不均質性を示唆している。その原因として SiC やナノダイヤモンドといったプレソーラー粒子が太陽系内で不均質分布していた可能性が指摘されているが、具体的にどのようなプロセスによって不均質分布が形成されたのか、その詳細については未だ不明な点が多い。Nd は、近年飛躍的に分析精度が向上した次世代 TIMS によって、同位体異常の研究が盛んな元素のひとつである。特に著名なのは、コンドライト隕石の  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比が地球試料より 20 ppm 低い値を持つという報告である[2]。この原因は地球の初期分化に伴う Sm/Nd の分別であるとされているが、その真偽は明らかではない。特に、隕石試料間に存在する  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比のバリエーションを作った原因については、詳しく議論されていない。中でも、熱変成の影響が小さくプレソーラー粒子を豊富に保持する炭素質コンドライトは、地球と最も離れた  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比をもつという報告がされている[2,3]。しかし、従来の測定では耐酸性のプレソーラー粒子が完全分解されず、見かけ上の誤った同位体比を見ている可能性がある。

本研究では高圧分解システムによる隕石全岩の完全分解法[4]を用いて、異なる特徴をもつ炭素質コンドライトを測定した。試料として、Tagish Lake (C2 Ungrouped), Dhofar 1432 (CR2), Allende (CV3), NWA 2090 (CO3)を用いた。4 試料を複数回測定したところ、試料間に Nd 同位体比のバリエーションが存在するという結果を得た。各試料は Nd 同位体比の特徴から 2 つのグループ(A, B)に分類することができる。Tagish Lake ( $\mu^{142}\text{Nd} = -14 \pm 3$ ,  $\mu^{148}\text{Nd} = -1 \pm 4$ ,  $\mu^{150}\text{Nd} = 4 \pm 4$ )・Dhofar 1432 ( $\mu^{142}\text{Nd} = -3 \pm 1$ ,  $\mu^{148}\text{Nd} = -1 \pm 2$ ,  $\mu^{150}\text{Nd} = -1 \pm 2$ )の 2 試料は同位体異常が小さいのに対し(Group A)、Allende ( $\mu^{142}\text{Nd} = -27 \pm 4$ ,  $\mu^{148}\text{Nd} = 12 \pm 5$ ,  $\mu^{150}\text{Nd} = 29 \pm 6$ )・Dhofar 1432 ( $\mu^{142}\text{Nd} = -30 \pm 3$ ,  $\mu^{148}\text{Nd} = 21 \pm 6$ ,  $\mu^{150}\text{Nd} = 25 \pm 6$ )は大きい同位体異常を持っている(Group B)。Group A は安定同位体である  $\mu^{148,150}\text{Nd}$  に異常を持たない一方、Group B は s-process 核種の欠乏を示している。この結果から、炭素質コンドライト内に存在する  $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  のバリエーションは、s-process 核種の不均質分布に依存している可能性が示唆される。

References: [1] Moynier et al. (2012) *ApJ* **758**, 45. [2] Boyet and Carlson (2005) *Science* **309**, 576. [3] Carlson et al. (2007) *Science*, **316**, 1175. [4] 深井 ほか (2014) 地球化学会

High precision Nd isotope measurements for bulk carbonaceous chondrites with complete sample digestion

\*R. Fukai<sup>1</sup>, T. Yokoyama<sup>1</sup>, S. Kagami<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Dept. of Earth & Planet. Sci., Tokyo Tech)

## 3A09

### 局所サンプリングによる CB コンドライト中のメタル相におけるオスミウム同位体分析

○中西奈央<sup>1</sup>、横山哲也<sup>1</sup> 臼井寛裕<sup>1</sup> 岩森光<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>東京工業大学地球惑星科学専攻 <sup>2</sup>海洋研究開発機構)

コンドライト隕石のメタル相は Fe の重要なリザーバーであり、隕石を構成する主要成分の一つである。Fe は初期太陽系においてメタル—シリケイト—硫化物という 3 つの異なる相に分配されるが、各相への Fe の分配はそれぞれの相が形成される環境の温度、圧力、酸素フガシティーなどに強く影響される。隕石中のメタル相の形成過程を解明することは、初期太陽系の物理化学的な進化過程をひもとく上で極めて重要である。強親鉄性元素 (HSE : Re、Os、Ir、Ru、Pt、Pd) は鉄との親和性が高く、シリケイト相に比べメタル相に濃集しやすいという特徴を持つ。また HSE は一般的に難揮発性であり、初期太陽系の極めて初期の段階で凝縮する元素群である。このため、初期太陽系における高温凝縮過程を知る上でコンドライトメタル中の HSE 分析は有効である。HSE の中でも特に Os は放射性起源の同位体を持つため (<sup>187</sup>Re-<sup>187</sup>Os システム)、同位体分析を行うことで年代学的情報も得られるという特徴を持つ。

CB コンドライトはメタルに富む(60-70%)炭素質コンドライトである。これまで CB コンドライトのメタル相の成因として、初期太陽系での凝縮、または小惑星の衝突という二つプロセスが提唱されてきたが[1-3]、不明な点も多い。本研究ではメタル粒子の形成過程を明らかにするため、EPMA による主要元素測定、LA-ICP-MS を用いた HSE 分析に加え、マイクロドリルサンプリングと N-TIMS を組み合わせた局所 Os 同位体分析を行った。CB<sub>a</sub>である Bencubbin、Gujba および CB<sub>b</sub>である Isheyevu から合計でメタル粒子 24 個、32 スポットについて測定を実施した。

分析の結果、全ての隕石について同一メタル粒子内、メタル間とも Os 同位体比の変動は小さく、いずれも CI コンドライト的な値を示し (<sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os = 0.12627 ± 0.00020)、46 億年のアイソクロン上にプロットされた。また、凝縮による分別程度の異なる Pd/Fe 比と Ni/Fe 比の比較から、メタル凝縮時のガス分圧は 10<sup>7</sup>×nebular であることが判明した。以上の結果から、CB コンドライトのメタル相の成因として、小惑星での衝突に伴って発生したプルームからの凝縮が有力であると結論づけた。

References: [1] Campbell, Humayun & Weisberg (2002) GCA, 66, 647. [2] Rubin et al. (2003) GCA, 67, 3283. [3] Campbell et al. (2005) Geochim 69, 19.

Determination of osmium isotope compositions in metal phases from CB chondrites using micro sampling technique

\*N. Nakanishi<sup>1</sup>, T. Yokoyama<sup>1</sup>, T. Usui<sup>1</sup>, H. Iwamori<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>Dept. of Earth & Planet. Sci., Tokyo Tech, <sup>2</sup>JAMSTEC)

# 3A10

## 普通コンドライト隕石のバリウム同位体組成

○三澤啓司<sup>1,2</sup>、横山立憲<sup>3</sup>、米田成一<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 国立極地研究所、<sup>2</sup> 総研大、<sup>3</sup> 国立科学博物館)

太陽系初期に存在していた半減期  $2.3 \times 10^6$  年の  $^{135}\text{Cs}$  は、 $\beta$ 壊変生成物  $^{135}\text{Ba}$  の過剰として認められ、その過剰の大小は、原始太陽系星雲ガスあるいは隕石母天体の流体からセシウムが分離されたタイミングに制約を与える [1-3]。始原始的な隕石の同位体組成は、材料となった物質 (先太陽系 + 太陽系) の生成環境と混合比を反映し、複雑に入り組んでいる。特に s-, r-過程のバリウム成分は、相対的に濃集あるいは欠乏している [3,4]。  $^{135}\text{Ba}$  は s-過程、r-過程いずれからも生成されるので、  $^{135}\text{Ba}$  の過剰について議論する場合は、  $^{137}\text{Ba}$  の存在度から s-, r-過程の寄与を考慮する必要がある。

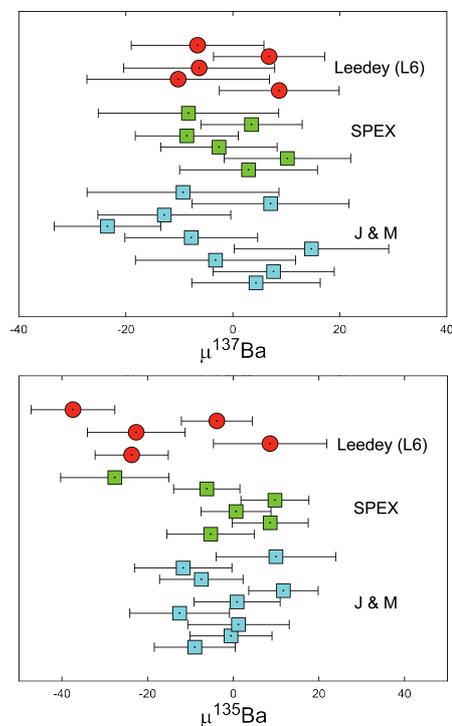
角礫岩コンドライトから重いアルカリ (ルビジウム、セシウム) がより濃集した岩片がみつかり、それらのセシウム存在度は、普通コンドライトの 20–50 倍におよぶ [1,2]。岩片のアルカリ濃集は、太陽系形成のごく初期におこった気相-固相分別によるものと考えられ [7]、流体が関与した H コンドライトの Cs/Ba 比の大きな相 (弱い酸によるリーチングによって得られる) [1] とは起源が異なる。本研究では、Yamato-74442 および Bhola 角礫岩 LL コンドライト中のアルカリ岩片のバリウム同位体組成に基づいて、原始太陽系星雲の気相-固相分別に迫る。

SPEX ICP-MS Ba std および J & M Alfa Aesar BaCl<sub>2</sub> のバリウム同位体分析結果を、Leedey (L6) 全岩試料とあわせて図に示した。  $^{134}\text{Ba}/^{136}\text{Ba} = 0.3078$  (s-過程のみの核種) によって規格化し、質量分別を補正している。ここで、  $\mu^{13x}\text{Ba} = [(^{13x}\text{Ba}/^{136}\text{Ba})_{\text{sample}} / (^{13x}\text{Ba}/^{136}\text{Ba})_{\text{std}} - 1] \times 10^6$  とする。Leedey 全岩試料の Ba 同位体組成は、標準試料の同位体組成と誤差の範囲内で一致し、母天体の熱変成作用によりバリウム同位体組成が均質化していることを示唆している。これは、Murchison (CM2) と比較して普通コンドライトのバリウム同位体異常は大きくない結果 [8] と調和的である。

Refs.: [1] Hidaka H. *et al.* (2001) *EPSL* **103**, 459–466. [2] Hidaka H. & Yoneda S. (2013) *Sci. Rep.* **3**, 1330. [3] Bermingham K.R. *et al.* (2014) *GCA* **133**, 463–478. [4] Hidaka H. *et al.* (2003) *EPSL* **214**, 455–466. [5] Wlotzka F. *et al.* (1983) *GCA* **47**, 743–757. [6] Wlotzka F. *et al.* (1992) *Meteorit.* **27**, 308. [7] Yokoyama Tatsunori *et al.* (2013) *EPSL* **366**, 38–48. [8] Qin L. *et al.* (2011) *GCA* **75**, 7806–7828.

### Ba isotopic compositions of ordinary chondrites

\*K. Misawa<sup>1,2</sup>, Tatsunori Yokoyama<sup>3</sup> and S. Yoneda<sup>3</sup> (<sup>1</sup>NIPR, <sup>2</sup>SOKENDAI, <sup>3</sup>Natl. Museum Nature Sci.)



# 3A11

## 激しい水質変成を伴う狭山隕石（CM2）のコンドリュールにおけるアルカリ元素の再分配

○日高 洋<sup>1</sup>、樋口卓哉<sup>1</sup>、米田成一<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>広島大院理、<sup>2</sup>国立科博)

<sup>26</sup>Al, <sup>53</sup>Mn, <sup>129</sup>I, <sup>146</sup>Sm 等の 10<sup>8</sup> 年以下の半減期を持つ放射性核種、いわゆる消滅核種を利用した年代学は太陽系内惑星物質の初期進化過程を考察するうえで応用されてきた。消滅核種の一つである <sup>135</sup>Cs は 2×10<sup>6</sup> 年の半減期を経て <sup>135</sup>Ba に β<sup>-</sup>壊変する。Cs は Ba に比べて揮発性が高く化学反応性に富むため、高温凝縮鉱物などの Cs/Ba 元素濃度比は非常に低いこと、多くの太陽系始原物質ではプレソーラー粒子に代表される太陽系外からの原子核合成の付加成分の混入により <sup>135</sup>Ba 同位体存在度が変動すること、等の理由により放射壊変起源 <sup>135</sup>Ba の過剰成分を見出すことは非常に困難であり、<sup>135</sup>Cs-<sup>135</sup>Ba 壊変系の年代学への応用は実用に至っていない。これまで筆者らは、炭素質コンドライト隕石やアルカリ元素に富むコンドライト隕石について、酸による段階溶出を施して得られた高い Cs/Ba 元素濃度比を有するフラクションに <sup>135</sup>Cs の存在の痕跡を示唆する <sup>135</sup>Ba 同位体過剰成分を見出すことを可能としたが、溶出実験によって同一試料から得られる一連のフラクションの Ba 同位体データから明確な年代学的情報を導き出すには至っていない。これらの結果は惑星形成後のかなり早い時期に Cs-Ba 壊変系が乱されている可能性を示唆している。

本研究では CM2 に分類される狭山隕石のコンドリュールに着目している。狭山隕石は、激しい水質変成を受けた形跡があり、例えばコンドリュール中のオリビンは部分的に蛇紋石化していることが報告されている。ある種の粘土鉱物にはアルカリ土類元素を選択的に吸着する特性があることから、蛇紋石化した部分を含む狭山隕石のコンドリュールに着目し、アルカリ元素の挙動を把握するために高感度高分解能イオンマイクロプローブ (SHRIMP) を用いて Rb, Sr, Cs, Ba の局所定量分析ならびに Ba 局所同位体測定を試みた。

狭山隕石のコンドリュール中における Rb, Sr, Cs, Ba の局所定量分析の結果、同一コンドリュール内において各元素の濃度には大きな変動幅 (Rb: 0.19~7.9 ppm, Sr: 2.4~33 ppm, Cs: 0.03~3.0 ppm, Ba: 0.25~4.7 ppm) が見られ、水質変成によって不均一にアルカリ元素が再分配されたことが示唆される。特にコンドリュール中の蛇紋石化した部分の分析点において Rb および Cs の選択的な濃集 (Rb: CI×1.7~3.4, Cs: CI×7.8~27) が認められた。一方、同一分析点における Ba 同位体測定の結果は現在解析中である。

Redistribution of alkaline elements in chondrules of the Sayama CM2 meteorite associated with intensive aqueous alteration

\*H. Hidaka<sup>1</sup>, T. Higuchi<sup>1</sup> and S. Yoneda<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Hiroshima Univ., <sup>2</sup>National Museum of Nature and Science)

# 3A12

## 全岩化学組成に基づいたタイプ7普通コンドライトの形成過程

○吉岡拓真<sup>1</sup>, 白井直樹<sup>1</sup>, 海老原充<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 首都大学東京大学院 理工学研究科)

【はじめに】タイプ7コンドライトはタイプ6よりも高い温度での熱変成を経験したとされる隕石である。これまで、タイプ7コンドライトは主に鉱物組成によって特徴付けられてきた。本研究では4つのタイプ7普通コンドライト(Y-790960, A-880844, Y-74160, A-880933)の全岩化学組成を求め、強い熱変成の影響と各隕石の形成過程を考察した。

【実験】隕石試料の断片(約170~320 mg)を粉末状にし、その一部を分取して用いた。機器中性子放射化分析法, ICP発光分光法, ICP質量分析法により元素分析を行った。

【結果・考察】本研究のタイプ7コンドライトは概ねタイプ3~6の普通コンドライトと同様の元素組成を示した。また、すべての試料にてEuの負の異常が確認され、斜長石の減少によって説明できた(図1)。しかしY-74160は他のLLコンドライトに比べて、希土類元素や斜長石の主要元素であるK, Al, Naを含む不適合性の親石元素が1.2~1.5倍程度濃縮されていたため、この相関には当てはまらなかった。さらに各試料のP存在量は典型的な普通コンドライトと同等であったため、強い熱変成作用によるリン酸塩量の変化がなかったと仮定すると、図2によって輝石/斜長石比の増減を表すことができる。本研究の試料は典型的な普通コンドライトよりも相対的に斜長石が少ないと考えられ、Y-74160は相対的に輝石を多く含むメルト等が混入したのではないかと推測される。講演では、強親鉄元素も含めた包括的な考察を報告する。

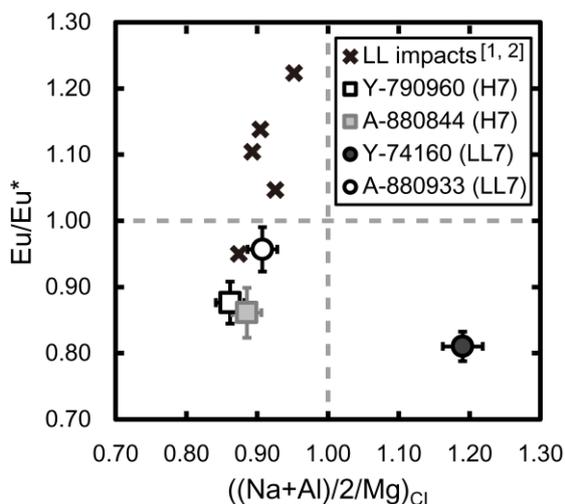


図1. 強い熱変成を受けたコンドライトのEu異常と長石の関係性。

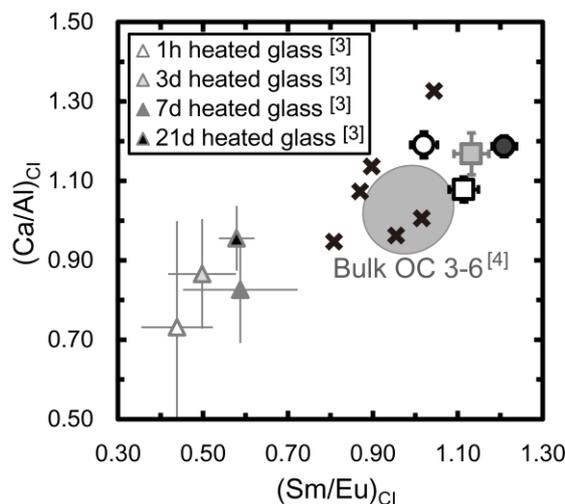


図2. 輝石/長石比。Heated glassは加熱されたLeedey中に形成したガラス組成<sup>[3]</sup>。

[1] Fukuoka and Ikeda (1983) [2] Okano et al. (1990) [3] Feldstein et al. (2001) [4] Kallemeyn et al. (1989)

Formation processes of type 7 ordinary chondrites inferred from bulk chemical composition

\*T. Yoshioka<sup>1</sup>, N. Shirai<sup>1</sup>, M. Ebihara<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University)

# 3A13

## 未分化天体への衝突による始原的エコンドライトの形成 - NWA 6704 隕石からの証拠 -

○日比谷由紀<sup>1</sup>、飯塚毅<sup>1</sup>、小澤一仁<sup>1</sup>、山口亮<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科、<sup>2</sup> 国立極地研究所)

始原的エコンドライトは、エコンドライトと同様に火成岩組織をもつ一方で、全岩化学組成はコンドライトの特徴を残す始原的な隕石である。その形成過程の理解は、初期太陽系における微惑星の成長・分化過程を物質科学的に解明する上で不可欠な課題である。始原的エコンドライト NWA 6704 は、酸素同位体組成が CR コンドライトに類似しており (Irving et al., 2011)、大部分が非常に粗粒 (~1.56 cm) な斜方輝石 ( $\text{Fs}_{40-42}\text{En}_{53-57}\text{Wo}_{3-7}:\text{Opx}$ ) から構成され、半自形-他形の橄欖石 ( $\text{Fa}_{50-53}:\text{Olv}$ )、斜長石 ( $\text{Ab}_{91-93}\text{An}_{5-6}\text{Or}_2:\text{Fd}$ )、クロマイト、NiFe-メタル、リン酸塩鉱物が Opx 巨晶の粒内および粒間を占める。非常に古い U-Pb 年代を示し ( $4563.75 \pm 0.41 \text{ Ma}$ ; Iizuka et al., 2013)、形成後の衝突変成および風化作用の影響を殆ど被っていないため、火成岩形成時の初生的な熱史を記録していることを期待できる極めて希少な隕石である。

本研究では、まず、NWA 6704 薄片試料の SEM-EDS-EBSD による組織観察と結晶方位解析、EPMA および LA-ICP-MS による主要・微量元素定量分析を行い、この隕石の熔融・結晶化過程およびその熱源を鉱物組織学的・鉱物化学的に明らかにした。

光学顕微鏡観察と EBSD 分析の結果、Opx 巨大単結晶の内外に存在する Fd は全て光学的連続性を持ち、その形状が Opx 結晶面に依存していることから、NWA 6704 が Opx 結晶内外で Fd が 3 次的に連結する非常に粗粒な Opx 穴あき (中空) 結晶の集合体であることが示された。また、数個の輝石中に局在する 10  $\mu\text{m}$  程度の Fe に富んだ蠕虫状 Oliv は、Fe に富んだ Oliv-珪酸塩メルトの急加熱によって形成された組織に極めて類似し (Tsuchiyama et al., 1986)、同様の成因が示唆される。観察の結果、この蠕虫状 Oliv の数と Opx 結晶サイズとの間には負の相関があることから、蠕虫状 Oliv とそれを含む輝石が、元々は巨大な Opx 樹枝状結晶の急速成長核として働いたことが示唆された。一方で、数個の Opx のリムに存在するピジョン輝石の離溶組織は、結晶化後期過程における顕著な冷却率の減少を示す ( $0.02^\circ\text{C/hr}$ ; Takagi et al., 2013)。この離溶組織への輝石地質温度計 (Lindsley et al., 1983) の適用により、 $1050^\circ\text{C}$  という平衡温度を得た。以上の結果から、NWA 6704 は、CR コンドライト的な未分化母天体中で (衝突による) 急加熱を受け、 $1050^\circ\text{C}$  以上の部分熔融状態から蠕虫状 Oliv を核として急速に結晶化し、急冷過程 (樹枝状結晶となる条件から  $\sim 10^1\text{-}10^3^\circ\text{C/hr}$  と推定 : e.g., Lofgren, 1996) を経た後に、結晶化後期で遅い冷却 ( $0.02^\circ\text{C/hr}$ ) を受けたことが明らかとなった。

さらに、近年  $^{54}\text{Cr}$  安定同位体組成が隕石種ごとに異なることが報告されている (e.g., Trinquier et al., 2007)。そこで現在、NWA 6704 母天体形成場所に制約を与えることを目的として、MC-ICP-MS を用いた高精度  $^{54}\text{Cr}$  安定同位体比測定を行っている。

本研究で得られた結果は、天体分化の主要な熱源である消滅核種  $^{26}\text{Al}$  が残存していた年代において (太陽系形成  $\sim 5 \text{ Ma}$  以内 : e.g., Srinivasan et al., 1999)、始原的な未分化天体 (CR-like) が確かに存在していたことの証拠となるものであり、未分化天体への衝突加熱による部分熔融状態からの結晶化という一連の形成過程は、始原的エコンドライト隕石の起源に新たな制約を与えるものである。

### Formation of primitive achondrite by impact-induced heating in the undifferentiated parent asteroid: Evidence from NWA 6704

\*Y. Hibiya<sup>1</sup>, T. Iizuka<sup>1</sup>, K. Ozawa<sup>1</sup>, A. Yamaguchi<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Dept. Earth & Planet. Sci., Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>NIPR.)

## 3A14

### 地球型惑星における水の起源の解明: ユークライト隕石リン酸塩鉱物の U-Pb 年代・水素同位体分析

○小池みずほ<sup>1</sup>、飯塚毅<sup>2</sup>、高畑直人<sup>1</sup>、佐野有司<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>東大・大気海洋研究所、<sup>2</sup>東大院理・地惑)

地球型惑星における水の存在は、惑星の火成活動や表層環境、生命進化等の特徴づける非常に重要な要素である。しかし、水の起源(=いつ・どこから・どの程度の水が供給されたのか)は未だに良く分かっていない。一方、ユークライト隕石の起源天体とされる小惑星ベスタは、約 45.6 億年前の初期地殻を保持し、地球型惑星の形成段階～形成直後の水の供給について知見を与えると期待される。近年、ユークライト中に水が比較的豊富(最大~2,600ppm)なリン酸塩鉱物が発見され、その水素同位体比が地球と同程度であることが報告された[1]。しかし、複雑な熱・衝撃・水質変成を経験しているユークライトからベスタ初期地殻の情報を抽出することは難しく、隕石から母天体地殻の水を議論する際には「いつ・どのようにして記録された水か」という年代の情報が不可欠である。そこで本研究では、玄武岩質ユークライト Agoult のリン酸塩鉱物に着目し、同一鉱物の U-Pb 年代と含水量・水素同位体比を NanoSIMS 局所同位体分析にて調べた。

Agoult は強い高温変成を経験したグラニュライトで[2]、先行する U-Pb 年代・微量元素分析から、4554Ma に還元的な環境下でのジルコン晶出、4532Ma に斜長石の U-Pb 系リセットを伴う再加熱を経験したと考えられている[3][4]。本研究では 10 粒のリン酸塩鉱物の U-Pb 年代を調べ、全 Pb/U 年代  $4523 \pm 13$  Ma を得た。これは斜長石の年代と一致し、同一の再加熱イベントでリン酸塩鉱物の U-Pb 系もリセットされたと考えられる。また、同じ粒の含水量は~100ppm 未満と得られ、[1] の報告値より著しく水に乏しいことが分かった。これは、Agoult が還元的な環境で再加熱を経験したことと整合的であり、マグマ起源の水は、再加熱時に拡散により失われたと解釈できる。本研究結果は、少なくとも Agoult 再加熱の際の周辺環境が水に乏しかったことを示しており、ベスタ地殻の含水量には時間的・空間的な不均一があった可能性を示唆する。同一粒の水素同位体比は、誤差が非常に大きいものの平均  $\delta D \sim 0\%$  であり、ベスタの水が地球の水と同一起源である可能性を支持すると考えられる。

Refs: [1] Sarafian et al., (2014) Science 346, 623-626. [2] Yamaguchi et al. (2009) GCA 73, 7162-7182. [3] Iizuka et al. (2013) 44th LPSC abst. #1907. [4] Iizuka et al. (2015) EPSL 409, 182-192.

Investigation of origin of water on terrestrial planets: U-Pb dating & hydrogen isotopic analyses of eucrite phosphates.

\*M. Koike<sup>1</sup>, T. Iizuka<sup>2</sup>, N. Takahata<sup>1</sup> and Y. Sano<sup>1</sup> (<sup>1</sup>AORI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Dept. Earth and Planetary Science, Univ. Tokyo)

# 3A15

## 火星隕石 Tissint の Pb 同位体分析に基づいた火星マントル化学進化の解明

○森脇涼太<sup>1</sup>、臼井寛裕<sup>1</sup>、横山哲也<sup>1</sup>、J. I. Simon<sup>2</sup>、J. H. Jones<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>東京工業大学地球惑星科学専攻、<sup>2</sup>NASA-JSC)

地球型惑星の化学進化・分化過程の理解には、地球と異なる初期条件を持つ惑星に着目した比較惑星学的アプローチが有効である。火星は隕石試料が存在するため、岩石試料の化学分析によって地球との物質的な比較が可能な唯一の惑星である。これまで、火星マントルを起源とする玄武岩であるシャーゴッタイト隕石の地球化学的研究により、火星内部の化学進化について多くの知見が得られてきた。特にシャーゴッタイト隕石の Nd・Hf 同位体システムティクスを用いた研究から、火星マントルの地球化学的特徴・同位体進化についての制約が与えられている。一方、マントル分化における固相-液相間の元素分別を強く反映する Pb 同位体システムティクスについての研究は、現在までほとんど行われていない。これは、Pb 同位体組成が地球上での汚染・火星表層での変質作用の影響を非常に受け易く、シャーゴッタイトソースマントルの Pb 同位体組成を求めることが困難であることが原因である。

2011年にモロッコに落下した Tissint 隕石は、カンラン石玄武岩シャーゴッタイトに分類され、落下隕石であることから地球上での汚染の影響が極めて小さいと考えられている。本研究では、地球汚染成分・火星表層成分を取り込んだ変質鉱物等を取り除くため、Tissint 隕石の全岩粉末試料に対して5段階の酸処理を行った。最終的な残留物は耐酸性鉱物（輝石・斜長石など）のみで構成され、Tissint 隕石の親マグマを生成したソースマントルの地球化学的特徴を反映していると考えられる。この残留物について表面電離型質量分析計（TIMS, TRITON-plus, Thermo Fisher Scientific）を用いて Pb 同位体組成の測定を行った。

残留物から得られた放射性起源の Pb に非常に乏しい初生同位体組成（e.g.,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 10.843$ ）は、Tissint 隕石が液相濃集元素に枯渇したマントルを由来としていることを表している。Tissint 隕石のソースマントルがこのような Pb 同位体組成を保持するためには、マグマオーシャンの固化の際（4.53 Ga）に生じた液相濃集元素に枯渇したマントルリザーバーが、岩石形成時（0.57 Ga）まで保存されていなければならない。すなわち、マグマオーシャンの固化以降、火星マントルは化学的に閉鎖系が保たれ、約45億年前に形成されたマントルリザーバーが現在でも保存されていることを意味する。

Lead isotope systematics of olivine-phyric shergottite Tissint: Implications for the geochemical signatures of the shergottite source mantle

\*R. Moriwaki<sup>1</sup>, T. Usui<sup>1</sup>, T. Yokoyama<sup>2</sup>, J. I. Simon<sup>2</sup>, J. H. Jones<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Dept. of Earth and Planet. Sci., Tokyo Institute of Technology <sup>2</sup>NASA-JSC)

## 3A16

### Mn-Cr 年代測定における anchor の見直し : D'Orbigny の結果について

○山下勝行<sup>1</sup>、谷水雅治<sup>2,4</sup>、米田成一<sup>3</sup>、富岡尚敬<sup>4</sup> (<sup>1</sup>岡山大学大学院自然科学研究科、<sup>2</sup>関西学院大学理工学部、<sup>3</sup>国立科学博物館、<sup>4</sup>海洋研究開発機構)

Angrite D'Orbignyは、Mn-Cr年代測定法で得られた相対年代を絶対年代に置き換えるための重要なanchor (基準試料)として多くの研究で利用されている。D'OrbignyのU-Pb年代はウランの同位体比を考慮した正確な値が求められている[1]。その一方で<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn比および $\epsilon^{53}\text{Cr}_0$ 値 (初生比)については、分析技術のめざましい進歩にもかかわらずGlavin et al. [2]以降、TIMSやMC-ICP-MSを使った新しいデータはほとんど報告されていない。Glavin et al. [2]は、D'Orbignyの<sup>54</sup>Cr/<sup>52</sup>Crが地球の標準物質と同じであると仮定した2次補正を行うことで $\epsilon^{53}\text{Cr}$ の分析精度を高め、高精度の<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn比を求めることに成功した [(3.24 ± 0.04) × 10<sup>-6</sup>]。しかしその後の研究で、Angriteから負の $\epsilon^{54}\text{Cr}$ 同位体異常が報告されており[3]、その誤差を考慮していないGlavin et al. [2]の<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn比は誤差を過小評価している可能性がある。また、 $\epsilon^{53}\text{Cr}$ 値が2次補正の影響で系統的に変化するため、 $\epsilon^{53}\text{Cr}_0$ 値も本来の値からずれていることが予想される。これに対して、McKibbin et al. [4]では複数のangriteのCr同位体分析を、SIMSを用いて行っており、D'Orbignyについても<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn = (3.54 ± 0.18) × 10<sup>-6</sup>という結果を報告している。しかし、<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn比と $\epsilon^{53}\text{Cr}_0$ 値のいずれも誤差が大きく、anchorの値としては不十分である。

本研究では、鉱物学的記載を行ったD'Orbignyの全岩および鉱物相の精密Cr同位体分析を行い、anchorとしての見直しを行った。Cr同位体分析は[5]に従い、国立科学博物館のTRITON Plusを使って行った。今回新たに得られたデータからD'Orbignyは -0.46 ± 0.09の $\epsilon^{54}\text{Cr}$ 同位体異常を示すことが明らかになった。一方、Mn-Crアイソクロンに関しては、予備的なMn/Cr比をもとに計算した結果、<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn = (3.29 ± 0.06) × 10<sup>-6</sup>となり、[2]と[4]の中間的な値が得られた。現在、さらに精密なMn/Cr比の分析を進めており、発表ではその結果を踏まえた考察を行う予定である。

[References] [1] Brennecka et al. 2012, PNAS, 109, 9299, [2] Glavin et al. 2004, MAPS, 39, 693, [3] Trinquier et al. 2007, ApJ, 655, 1179, [4] McKibbin et al. 2015, GCA, 157, 13, [5] Yamakawa et al. 2009, Anal. Chem., 81, 9787.

#### Mn-Cr systematics of D'Orbigny revisited

\*K. Yamashita<sup>1</sup>, M. Tanimizu<sup>2,4</sup>, S. Yoneda<sup>3</sup> and N. Tomioka<sup>4</sup> (<sup>1</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama Univ., <sup>2</sup>School of Science and Technology, Kwansai Gakuin Univ., <sup>3</sup>National Museum of Nature and Science, <sup>4</sup>JAMSTEC)

## 3A17

### アパタイト結晶の水素拡散実験

○伊藤正一<sup>1</sup>、橋口未奈子<sup>2</sup>、東佳徳<sup>1</sup>、坂田周平<sup>1</sup>、平田岳史<sup>1</sup>、坂口勲<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>京都大学、<sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構、<sup>3</sup>物質・材料研究機構)

近年、コンドライト隕石、分化隕石、月、火星などの地球外物質試料を用いた太陽系や地球の水の起源についての研究が盛んに行われている (e.g., Greenwood et al., 2008; Greenwood et al., 2011; Alexander et al., 2012; Usui et al., 2015). なかでも月や普通コンドライト隕石に含まれる含水鉱物の一種であるアパタイト結晶の水の定量及び水素同位体組成を用いた月のマグマ中や地球軌道付近の水の起源についての研究に注目が集まっている (e.g., Greenwood et al., 2011; Yanai et al., 2014 JPGU). しかしながら、マグマ中や母天体中での熱変成に伴うアパタイト結晶の水素拡散挙動が不明瞭であるため、アパタイト結晶に含まれる結晶水の水素同位体組成の起源は明らかになっていない.

本研究では、アパタイト結晶の水素拡散挙動を理解するため、フッ素アパタイトを用いて水蒸気からの水素拡散実験を行った. 水素拡散実験に用いたフッ素アパタイト結晶は、一つの自形の Durango 産フッ素アパタイト結晶から複数切片を C 軸に対して鉛直方向に切り出し、ダイヤモンドで研磨して鏡面に仕上げたものを使用した. 大気圧 D<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub> ガス雰囲気下で 400°C–700°C の温度下で数時間アニールし、試料中に D を拡散させた. D<sub>2</sub>O ガスの圧力は、60°C の飽和蒸気圧下で行った. D の濃度プロファイルを取得するために、京都大学設置の二次イオン質量分析装置 (Cameca ims-4f-E7) と NIMS 設置の二次イオン質量分析装置 (Cameca ims-4f) を用い、水素拡散係数を求めた. H と D の濃度を求めるための標準試料として、Durango 産フッ素アパタイトに 37 keV の加速電圧で dose 量  $5 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup> の D イオン打ち込みした試料を用いた. また、LA-ICPMS による全マス分析により、他の不純物を同定・定性分析した.

深さ方向 D 濃度プロファイルと水素濃度プロファイルを比較すると、試料表面付近から内部にかけて D の自己拡散が認められる領域では、元々含まれる水素との交換で重水素の拡散が起こっている事が確認された. 本発表では、水素拡散実験により取得したアパタイト結晶の水素拡散係数を報告する. また、Durango アパタイト結晶とは、水素濃度の異なるアパタイト結晶の水素拡散実験も行い、水素拡散挙動の濃度依存性についても議論する予定である.

Hydrogen diffusion experiment of apatite crystal

\*S. Itoh<sup>1</sup>, M. Hashiguchi<sup>2</sup>, Y. Higashi<sup>1</sup>, S. Sakata<sup>1</sup>, T. Hirata<sup>1</sup> and I. Sakaguchi<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Kyoto Univ., <sup>2</sup>JAXA, <sup>3</sup>NIMS)

# 3A18

## 火星隕石シャーゴッタイトに含まれるバデレアイトの 衝撃による U-Pb 同位体系リセットの再検討

○海田博司<sup>1,2</sup>, 三澤啓司<sup>1,2</sup>, 新原隆史<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>極地研・地圏, <sup>2</sup>総研大・複合科学, <sup>3</sup>東大・博物館)

火星隕石であるシャーゴッタイトについて、これまでに様々な同位体系を用いて年代測定が行われており、その結晶化年代は約 200 Ma とされてきた (Nyquist et al., 2001; Borg and Drake, 2005)。一方, Bouvier et al. (2005, 2008, 2009) は, シャーゴッタイトの全岩および鉱物アイソクロンから約 4.1 Ga の Pb-Pb 年代を報告し, それまで報告されていた約 200 Ma の同位体年代は, 水質変成もしくは衝撃変成により同位体系が乱され, 年代はリセットされているため結晶化年代を示していないと主張した。

火星隕石からはジルコン (ZrSiO<sub>4</sub>) が見つかっていないため, バデレアイト (ZrO<sub>2</sub>) について, U-Pb 年代測定が試みられているが (Herd et al., 2007; Misawa and Yamaguchi, 2007), 衝撃変成による高圧・高温環境下におけるバデレアイト中での U-Pb 同位体の挙動については不明な点が多かった。そこで, Niihara et al. (2012) は, バデレアイトから求められる U-Pb 年代が持つ地質学的意味を理解するために, 年代が既知のバデレアイトを用いた衝撃圧縮実験および加熱実験により U-Pb 同位体系への影響を評価した。この実験による衝撃圧約 57 GPa および高温 (1300 °C) 環境下では, バデレアイトの高圧・高温相への相転移は認められなかった。また, 周囲を取り囲む玄武岩が全溶解した条件下においてもバデレアイトは全溶解せず, U-Pb 同位体系がリセットするような変化は認められなかった。このことから, バデレアイトの U-Pb 同位体系は, 周囲が全溶解する環境においても結晶化年代を保持していると結論づけた。

Niihara et al. (2012) はまた, 拡散速度が求められているジルコン中の Pb の閉鎖温度を見積もり, バデレアイト中のそれも同程度であると仮定すると, 直径 10 μm 程度のバデレアイトでは Pb の閉鎖温度はシャーゴッタイトの固相線温度 (約 1060 °C) よりも高く, U-Pb 同位体系はリセットされないことを示した。これに対し, Bloch and Ganguly (2014) は, 直径 10 μm のバデレアイトの中心部分が約 90% リセットされる時間スケールにおいても, Niihara et al. (2012) が実験で用いたより大きな (直径 200–250 μm) バデレアイトの外側 10 μm では約 17% しかリセットされないと主張した。

本研究では, バデレアイトの結晶サイズも考慮に入れて, U-Pb 同位体系がリセットされる条件を再検討する。

Re-evaluation of the shock-resetting of U-Pb systematics of baddeleyite in the Martian shergottites

\*H. Kaiden<sup>1,2</sup>, K. Misawa<sup>1,2</sup> and T. Niihara<sup>3</sup> (<sup>1</sup>NIPR, <sup>2</sup>SOKENDAI, <sup>3</sup>Univ. of Tokyo)