



研究室紹介

局所同位体分析で拓く 宇宙地球化学のニューフロンティア

寺田 健太郎*

New frontier of Cosmo- and Geo-chemistry explored by
the in-situ isotope analyses

Key Words : in-situ analyses, isotope measurement, meteorite,
Apollo sample, Solar System

1. はじめに

宇宙の事を知れば知るほど、太陽系が不思議で魅力的なシステムだと思えてきます。例えば、8個の惑星、数十万個の小惑星がほぼ同じ向きに回転している美しさ。水素とヘリウムが主成分（98%以上）の広く希薄な宇宙空間で、2%以下しかない鉄やケイ素やマグネシウムや酸素が濃縮して「石」からなる地球ができた不可思議さ。「ほぼ同じ材料物質」から「ほぼ同じ時期」に惑星ができたにも関わらず、地球にだけ海があり生命が栄えてきた特殊性。。最近では太陽系以外にも惑星が1000個以上発見され、ますます生命を育む「地球」型惑星形成の必然性・偶然性に注目が集まっています。

我々の惑星科学グループでは、太陽系の固体物質（地球の岩石、アポロ月試料、火星や小惑星起源の隕石、探査機はやぶさが回収した小惑星イトカワの微粒子）中に含まれる元素の同位体比の精密測定、有機化合物（C、H、O、N）の化学分析、室内型の微小重力発生装置を用いた磁気実験、宇宙環境における有機物の挙動の室内模擬実験、磁性/ESR測定等を通して、太陽系の起源と進化、ならびに現在の惑星環境の素過程についての研究を行っています。

2. 同位体分析と質量分析

太陽系の物質は、驚く程に同位体比が均質です。

逆に、この地球化学的な特徴（大前提）を利用して、0.01-0.1%程度の同位体比の違い（同位体異常）を検出することで、

〔1〕物質起源の同定

隕石母天体の推定、地球規模の物質循環の指標（トレーサー）、生物・非生物起源の判定、食生解析など

〔2〕核反応や放射壊変の情報

元素合成の情報、放射元素を用いた年代情報、宇宙線による核破砕反応、太陽風照射履歴の情報など

〔3〕物理的・化学的・生物学的分別過程に関する情報

蒸発・凝縮、光合成などの情報、古環境の海水温情報など

を紐解く事ができます。このような同位体は、概して化学的特性が似ているため化学分離による分析は難しく、質量の違いを利用して分離し分析する手法【質量分析】が広く用いられます。現在、我々の研究室ではCQH型【注1】の2次イオン質量分析計を用いて、地球最古の生命の化石の年代学的検証（Sano et al. Nature 1999）、43.5億年前の「月」の最古の火成活動の発見（Terada et al. Nature 2007）45.3億年前の花崗岩質片を隕石中に発見（Terada and Bischoff, ApJL 2009）、太陽系の主要元素である酸素や窒素同位体比の決定（Hashizume et al. Science 2000; Hashizume et al. Nature 2005）、隕石中有機物の酸素同位体異常の発見（Hashizume et al. Nature Geoscience 2011）など、世界的にも評価の高い研究成果を挙げてきました。

またこの他にも、有機物を分子化石とした地球の歴史と生命進化の研究（Kurihara et al. Chemistry Letters 2012）、自然界における固体粒子の磁気活性との地球惑星科学への応用（Hisayoshi and Uyeda



* Kento TERADA

1966年5月生

大阪大学 大学院理学研究科 物理学専攻博士課程修了（1994年）

現在、大阪大学 大学院理学研究科 宇宙地球科学専攻 惑星科学研究グループ教授 博士(理学) 宇宙地球化学、惑星科学

TEL : 06-6850-5495

FAX : 06-6850-5480

E-mail : terada@ess.sci.osaka-u.ac.jp

et al. EPS 2013)、高水圧下におけるレーザー分光法の開発 (Yamanaka et al. ILE Annual Report 2011) など、幅広いテーマに取り組んでいます。

3. 次の10年に向けて

現在、全国の地球惑星科学系の大学・研究所において、2次イオン質量分析計 (SIMS)、ガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC-MS)、飛行時間型質量分析計 (TOF-MS)、表面電離型質量分析計 (TIMS)、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) など、様々な市販の質量分析計が利用されています。この事は同位体分析が地球惑星の諸現象を解き明かす非常に強力なツールであることを意味します。一方で、火山や深海底などでのオンサイト同位体分析や、はやぶさ微粒子やプレソーラー粒子の重元素同位体分析など、汎用の市販の装置では困難なサイエンスに直面しているのも事実です。研究対象に特化した独自の装置開発が急務となってきています。

「物作り」の風土のある大阪大学では、1930年代後半に国内で最初に質量分析装置を開発して以来、長い装置開発の歴史があり、二重収束質量分析装置『CQH^{【注1】}』や、「8の字」型のマルチターン飛行時間型質量分析計『MUTLUM^{【注2】}』のような独創的なイオン光学系の装置開発を行ってきました (例

えば、Toyoda et al. Eur. J. Mass Spectrom., 2010)。現在、質量分析グループの豊田等と『見えなかった物を観よう』を合い言葉に、空間分解能の高い収束イオンビーム (FIB) にフェムト秒レーザーとMULTUMを組み合わせ、サブミクロンスケールのポストイオン化・局所同位体分析装置の開発に取り組んでいます (図1)。完成すれば、従来の10～100倍の空間分解能となる0.1～0.01 μm スケールでの同位体分析、もしくは従来の空間分解能で感度が10～100倍の同位体分析が可能となり、太陽系46億年の年表を高精度に再編できるだけでなく、これまで未踏だった宇宙開闢～太陽系形成までの約90億年間の知見獲得が期待されます (図2)。今後の展開が楽しみです。

4. おわりに

現在、我々惑星科学グループはスタッフ6名 (教授：寺田、准教授：植田・山中、助教：橋爪・薮田と秘書1名)、修士7名、学部4年4名の総勢17名 (うち5名が女性) で明るく楽しく教育研究活動を行っています。我々のより詳細な研究内容にご興味のある方は理学部F棟4階、もしくは研究室のホームページ (<http://psmac0.ess.sci.osaka-u.ac.jp/terada-Lab/welcome>) を御尋ねください。

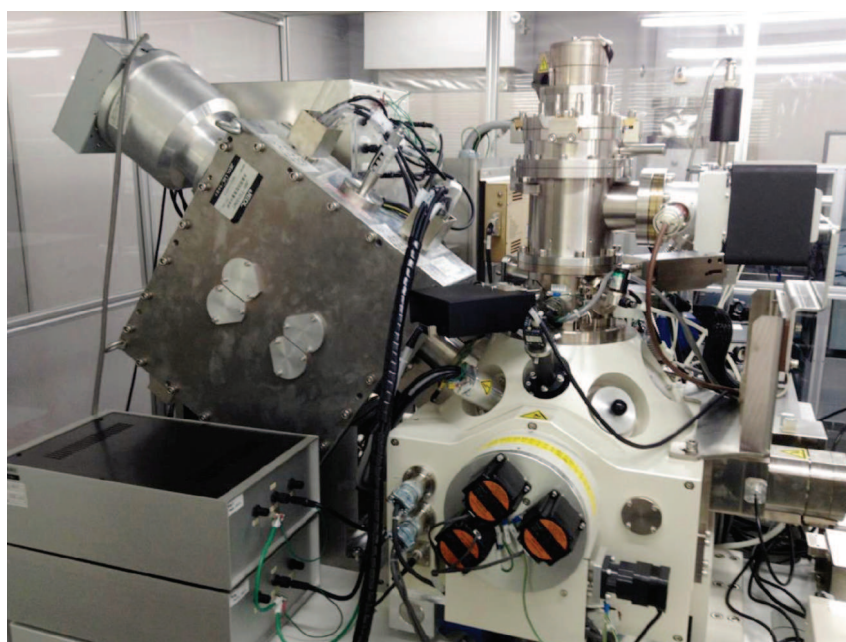


図1：開発中のフェムト秒レーザーによるポストイオン化局所同位体分析装置

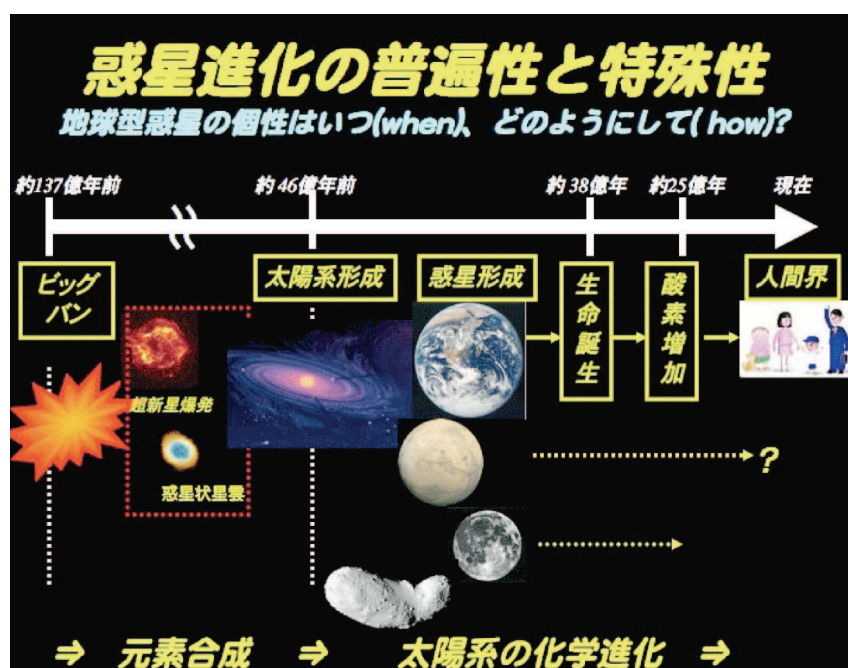


図2：宇宙の化学的進化の概念図と研究対象

参考文献

- Hashizume K. et al. (2000) Solar Wind Record on the Moon: Deciphering Presolar from Planetary Nitrogen, *Science* 290, 1142-1145.
- Hashizume K. & Chaussidon M. (2005) A non-terrestrial ^{16}O -rich isotopic composition for the protosolar nebula, *Nature* 434, 619-622.
- Hashizume K. et al. (2011) Extreme oxygen isotope anomaly with a solar origin detected in meteoritic organics, *Nature Geoscience* 4, 165-168.
- Hisayoshi K. and Uyeda C. (2013) Magnetic ejection of diamagnetic sub-millimeter grains observed by a chamber-type μG generator orientated to identify material of a single particle. *Earth Planets Space* 65, 199-202.
- Kurihara H., Yabuta H., Kaneko T., Obayashi Y., Takano Y. and Kobayashi K. (2012) Characterization of organic aggregates formed by heating products of simulated primitive Earth atmosphere experiments, *Chemistry Letters* 41, 441-443.
- Sano Y., Terada K., Takahashi Y. and Nutman A. P. (1999) Origin of life from apatite dating? *Nature* 400, 127-128.
- Terada K. and Bischoff A. (2009) Asteroidal Granite-like Magmatism 4.53 Gyr Ago. *ApJ* 699, L68-L71.
- Terada K. et al. (2007) Cryptomare magmatism at 4.35 Ga recorded in Kalahari 009, *Nature* 450, 849-852.
- Toyoda M. (2010) Development of Multi-turn Time-of-Flight Mass Spectrometers and Their Applications, *Eur. J. Mass Spectrom.*, 16, 397-406.
- Yamanaka C., Takeuchi T. Somekawa T. and Fujita M. (2011) Breakdown spectroscopy using femtosecond laser pulses for gas-liquid interface, *ILE Annual Report of collaborative Research* 195-196.

【注1】CQHとは、阪大・松田久らによって開発された二次二重収束質量分析計である。円筒電場 (cylindrical electric sector) と四重極レンズ (quadrupole-lens) と一様磁場 (homogeneous magnetic sector) からなるシステムで、電場と磁場の間に四重極レンズを入れることで6個の2次収差係数を小さくしている。

【注2】MULTUMとは、イオンを同一飛行空間で複数回周回 (マルチターン) させることで飛行距離をかせぎ、小型でありながら高分解能が得られるマルチターン飛行時間型質量分析計である。飛行時間型としては世界最高の質量分解能35万を達成し、世界的に非常に高く評価されている。