

## 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 5月 20日現在

機関番号：10101  
 研究種目：特別推進研究  
 研究期間：2008～2012  
 課題番号：20002002  
 研究課題名（和文）原始太陽系の解剖学

研究課題名（英文）Anatomy of protosolar system

### 研究代表者

冨本 尚義 (YURIMOTO HISAYOSHI)  
 北海道大学・大学院理学研究院・教授  
 研究者番号：80191485

研究成果の概要（和文）：同位体顕微鏡による隕石の解剖学を実施し、隕石のいわゆる『解体新書』を作成した。その成果に基づき、太陽系創世時代とそれに直接つながる先太陽系時代の物質進化を解明し、物質に刻まれた証拠に立脚する宇宙における太陽系の特殊性と一般性を区分した新しい太陽系起源論を構築した。

研究成果の概要（英文）：All types of primitive chondrites were analyzed isotopically in sub-micrometer scale by isotope microscopy. Materials formed in pre-solar and early solar system ages are distinguished isotopically. The spatial distribution between the materials corresponds to formation sequences suggesting material evolution from presolar to early solar ages. Based on these results, we discussed global and local characteristics of our solar system among planetary systems in the galaxy.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	105,500,000	31,650,000	137,150,000
2009年度	109,400,000	32,820,000	142,220,000
2010年度	108,100,000	32,430,000	140,530,000
2011年度	71,400,000	21,420,000	92,820,000
2012年度	72,700,000	21,810,000	94,510,000
総計	467,100,000	140,130,000	607,230,000

研究分野：数物系科学

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：地球化学，宇宙化学，惑星起源・進化，同位体，隕石

### 1. 研究開始当初の背景

私たちは、太陽系の始原水，プレソーラー粒子を発見し、酸素同位体異常の分子雲起源説，始原隕石構成要素同時代形成説を提唱し、世界的に注目を集める太陽系の新しい起源論を展開し始めた。

### 2. 研究の目的

先太陽系時代の物質が太陽系形成とともに太陽系時代の新しい物質へと変遷していく過程を物質科学的に追跡できることを示す隕石のいわゆる『解体新書』を作成する。その成果を用い、太陽系創世時代とそれに直

接つながる先太陽系時代の物質進化を解明し、宇宙における太陽系の特殊性と一般性を区分した新しい太陽系起源論を構築する。

### 3. 研究の方法

- (1) 隕石中の先太陽系時代の物質を系統的に探索し、その物質の同位体組成と形成年代を分析し、銀河内の物質循環を解析する。
- (2) 太陽系における酸素同位体異常とその他元素の同位体的均質性の起源と進化の解明を行い、分子雲時代から太陽系創成時代に至る物質進化のダイナミクスを解析する。
- (3) 太陽系創世時代における物質大循環に

伴う物質進化とそのメカニズムを解析する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 同位体ナノスコープの開発

図1は完成した同位体ナノスコープ LIMAS の外観写真である。LIMAS は一次イオンカラムに収差補正機能を世界で初めて装備することにより、10nm サイズの一次イオンビームを分析可能な強度で得ることに成功した。また、高強度のフェムト秒レーザーによりイオン化が難しい He 原子のレーザーイオン化に成功し、全原子においてレーザーイオン化が可能である事を証明した。



図1 同位体ナノスコープの外観写真

##### (2) 月の水の水素同位体比の測定

我々は同位体顕微鏡を用いて新しく開発した分析法を用い、アポロ計画により採集された月岩石中のアパタイト結晶の水成分濃度とその水素同位体比を測定した。ほとんどの月の石のアパタイト中に 0.01~0.6wt% の水が含まれている事が明らかになった。また、含まれている水は地球の水に比べて重水素を多く含んでいる(最大2倍)事がわかった(図2)。これほど重水素に富む水は地球上に存在しないので、この水は月岩石固有の水である事は明らかである。つまり、月内部に水が存在している事が明らかになった。分析された月の水は重水素に富んでいる彗星の値と重なっている。この結果は、月の水が月形成時の地球の水の遺産ではなく、彗星を起源とすることを意味する。この月の水の同位体比は、地球の水の少なくとも一部は彗星起源である事を示唆している。このことは、太陽系創世時代において内惑星領域と外惑星領域間で物質循環が活発であった事を示す。

##### (3) 原始太陽の星風の酸素同位体比の測定

希ガスに富むコンドライトの一つである NWA 801 CR2 隕石のメタル粒子中に含まれる微量酸素の同位体組成を同位体顕微鏡により測定した。酸素同位体組成は  $^{16}\text{O}$  成分に富む組成と地球の酸素同位体組成に近いものにより特徴づけられるバイモーダルな分布を示した(図3)。地球の酸素同位体組成に近いものは主に地球上の汚染によると考え

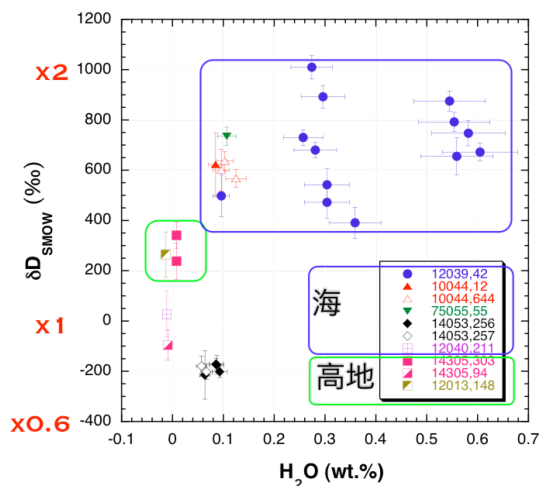


図2 月アパタイト中の水濃度とその水素同位体比

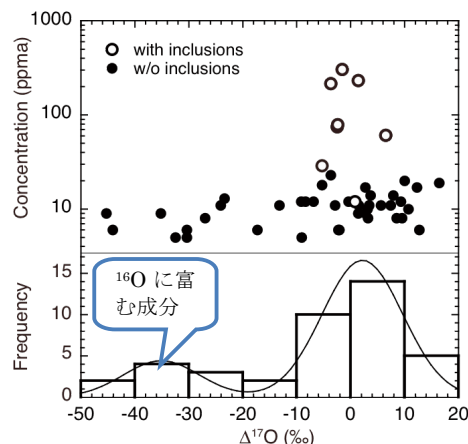


図3 メタル粒子の酸素濃度と同位体比

られる。しかし、 $^{16}\text{O}$  成分に富む組成はコンドライトにおいて見つかっている最も  $^{16}\text{O}$  成分に富む値と同等であった。本隕石のメタル粒子中には原始太陽風起源の希ガスが豊富に含まれている報告があるため、原始太陽風はこの  $^{16}\text{O}$  成分に富む組成であったと結論づけられる。このことは、太陽系全体の平均酸素同位体比は  $^{16}\text{O}$  成分に富む組成であり地球の酸素同位体比とは異なる事を示している。

##### (4) 太陽系創世時代の物質進化

初年度に導入した同位体顕微鏡システム用マルチコレクションセンターマグネット超安定化微細コントロール装置を調整し、太陽系最古の物質である CAI の形成史を 10 万年の分解能で決定できるよう  $^{26}\text{Al}$ - $^{26}\text{Mg}$  年代測定法を向上させた(図4)。開発した年代測定法を用いて、3種類の CAI の形成史を酸素同位体異常の変動に対応させ 10 万年分解能で議論し、酸素同位体変動が  $^{16}\text{O}$ -rich から  $^{16}\text{O}$ -poor へ方向だけではなくその逆方向もあることを初めて示し、原始太陽系星雲ガス

中の酸素同位体比が  $^{16}\text{O}$ -rich と  $^{16}\text{O}$ -poor の間で振動していたことを示した。このような環境は、 $^{16}\text{O}$ -rich な原始太陽と  $^{16}\text{O}$ -poor な内惑星領域の原始太陽系円盤の境界付近の星雲ガス環境に対応していると考えられる。もしこのモデルが正しいとすると原始太陽系ガス円盤は少なくとも数百万年間持続していたことを示す。

また、はやぶさが回収したイトカワサンプルの酸素同位体測定により普通いん石に関連づけられる天体であることを示し、その年代測定を行った。イトカワ鉱物形成時の ( $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ ) 比が  $1 \times 10^{-7}$  以下であることから、太陽系形成以後 600 万年以降に形成したことを示した。

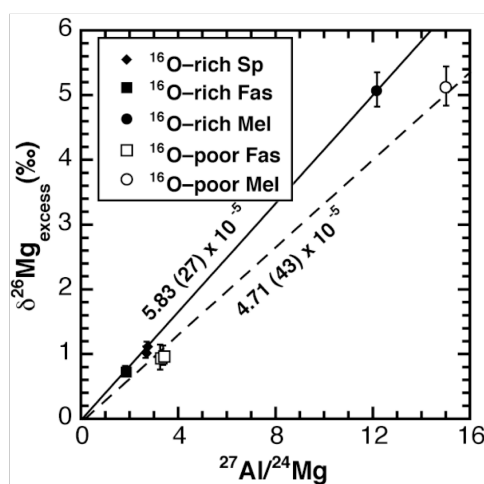


図4 一つのCAI中にみられる酸素同位体比で特徴付けられる二つのアイソクロン。

#### (5) 隕石中の流体包有物の同位体組成

隕石は地球型惑星の材料物質であると考えられている。最近隕石中にミクロンサイズの水溶液からなる流体包有物が存在していることが見つかった。この流体包有物は、太陽系形成当時の  $\text{H}_2\text{O}$  が保存されたものである。本流体包有物の水素と酸素の同位体組成を決定した。両方の元素において重い同位体に濃縮する傾向があり、特に酸素においては非質量依存の性質を持っていることが判明した。これらの同位体組成は、彗星の水素同位体組成と宇宙シンプレクタイトの酸素同位体組成から予想される太陽系始原水の寄与が大きいことを示している。つまり、地球型惑星の水は、惑星自身が元々持っていた水と後から加わった彗星起源の水の両成分を起源としていることが直接観察された。

#### (6) 太陽系の特殊性と一般性

今回の研究「原始太陽系の解剖学」を通じ、同位体顕微鏡による隕石の解剖学を実施し、隕石のいわゆる『解体新書』を作成した結果、太陽系物質が持っている元素のすべての同

位体的特徴は、星間物質がもつ一般的な特徴に起源が発し、惑星系形成過程において必然的な変化を受けたものであることが判明した。つまり、太陽系が持つ同位体特徴は、宇宙のすべての惑星系において見つかる一般的なものであることが期待される。しかしながら、その定量的な大きさについてはそれぞれの惑星系において異なることが期待されるため、今後は、惑星系間における動態特徴を比較する同位体比較惑星系学になる。本研究はその扉を開いたものであると位置づけられる。

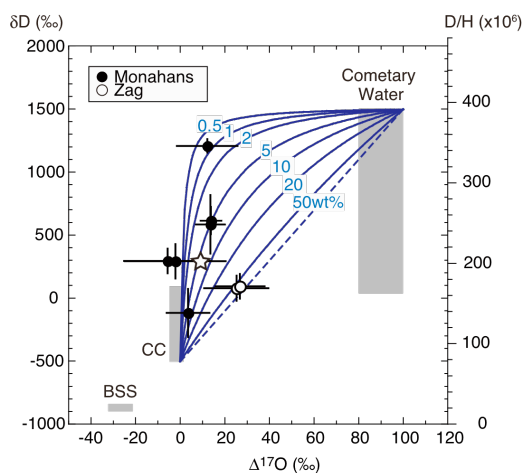


図5 隕石流体包有物中の水溶液の水素と酸素の同位体組成相関図。

#### 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52件)

- ① Wakaki, S., Itoh, S., Tanaka, T. and Yurimoto, H. (2013) Petrology, trace element abundances and oxygen isotopic compositions of a compound CAI-chondrule object from Allende. *Geochim. Cosmochim. Acta* **102**, 261-279. 査読有
- ② Ebata, S., Ishihara, M., Kumondai, K., Mibuka, R., Uchino, K. and Yurimoto, H. (2013) Development of an ultra-high performance multi-turn TOF-SIMS/SNMS System "MULTUM-SIMS/SNMS". *J. Am. Soc. Mass Spectrom.* **24**, 222-229. 査読有
- ③ Negishi, H., Arai, S., Yurimoto, H., Itoh, S., Ishimaru, S., Tamura, A. and Akizawa, N. (2013) Sulfide-rich dunite within a thick Moho transition zone of the northern Oman ophiolite: implications for the origin of Cyprus-type sulfide deposits. *Lithos* **164-167**, 22-35. 査読有
- ④ Ebata S., Ishihara M., Uchino K., Itose S., Matsuya M., Kudo M., Bajo K. and Yurimoto H. (2012) Development of laser ionization

- mass nanoscope (LIMAS). *Surface and Interface Analysis* **44**, 635-640. DOI: 10.1002/sia.4857. 査読有
- ⑤ Park C., Wakaki S. and Yurimoto H. (2012) Oxygen isotopic variations in a type A Ca-Al-rich inclusion revealed by high-precision secondary ion mass spectrometry analysis with micrometer resolution. *Surf. Interface Anal.* **44**, 678-681. 査読有
- ⑥ Sakamoto N., Aoyama S., Kawahito S. and Yurimoto H. (2012) Development of highly sensitive ion imager corresponding to real-time readout having single-ion detectability. *Jpn. J. Appl. Phys.* **51**, 076701. 査読有
- ⑦ 坂本尚義, 坂本直哉 (2012) 隕石中に閉じ込められた太陽系形成当時の化石を同位体顕微鏡で探す. *顕微鏡*, **47**, 92-97. 査読有
- ⑧ Fei H., Hegoda C., Yamazaki D., Wiedenbeck M., Yurimoto H., Shcheka S. and Katsura T. (2012) High silicon self-diffusion coefficient in dry forsterite. *Earth Planet. Sci. Lett.* **345-348**, 95-103. 査読有
- ⑨ Motai, S., Nagai, T., Sowa, K., Watanabe, T., Sakamoto, N., Yurimoto, H. and Kawano, J. (2012) Needle-like grains across growth lines in the coral skeleton of *Porites lobata*, *Journal of Structural Biology*, **180**, 389-393. 査読有
- ⑩ Yurimoto, H. (2012) Characteristics of asteroid Itokawa from Hayabusa return samples. *AIP Conf. Proc.* **1484**, 139-141. 査読有
- Park C., Wakaki S., Sakamoto N., Kobayashi S. and Yurimoto H. (2012) Oxygen isotopic composition of the solar nebula gas inferred from high-precision isotope imaging of melilite crystals in an Allende CAI. *Meteorit. Planet. Sci.* **47**, 2070-2083. 査読有
- Kawasaki N., Sakamoto N. and Yurimoto H. (2012) Oxygen isotopic and chemical zoning of melilite crystals in a type A Ca-Al-rich inclusion of Efremovka CV3 chondrite. *Meteorit. Planet. Sci.* **47**, 2084-2093. 査読有
- Katayama J., Itoh S. and Yurimoto H. (2012) Oxygen isotopic zoning of reversely zoned melilite crystals in a fluffy type A Ca-Al-rich inclusions from the Vigarano meteorite. *Meteorit. Planet. Sci.* **47**, 2094-2106. 査読有
- ⑭ Takigawa A. and Tachibana S. (2012) Crystallographically anisotropic shape of forsterite: New probe for evaluating dust formation history from infrared spectroscopy. *Astrophys. J.* **750**, 149-164. DOI: 10.1088/0004-637X/750/2/149. 査読有
- ⑮ Kurosawa K., Kadono T., Sugita S., Shigemori K., Sakaiya T., Hironaka Y., Ozaki N., Shiroshita A., Cho Y., Tachibana S., Vinci T., Ohno S., Kodama R. and Matsui T. (2012) Shock-induced silicate vaporization: The role of electrons. *Journal of Geophysical Research: Planets* **117**, E04007. DOI: 10.1029/2011JE004031. 査読有
- ⑯ Telus M., Huss G.R., Oglione R.C., Nagashima K. and Tachibana S. (2012) Recalculation of data for short-lived radionuclide systems using less-biased ratio estimation. *Meteoritics & Planetary Science* **47**, 2013-2030. DOI: 10.1111/maps.12041. 査読有
- ⑰ 橋省吾 (2012) 太陽系始原天体サンプルリターン計画でめざすサイエンスと放射光分析. *放射光* **25**, 321-327. 査読有
- ⑱ 原田真理子, 瀧川晶, 橋省吾, 永原裕子, 小澤一仁 (2012) スピネル形成真空実験から探るプレソーラースピネルの起源. *遊星人* **21**, 160-167. 査読有
- ⑲ 橋省吾, 浦川聖太郎, 吉川真, 中村良介, 石黒正晃 (2012) 107P/Wilson-Harrington サンプルリターン計画. *遊星人* **22**, 4-13. 査読有
- ⑳ Greenwood J. P., Itoh S., Sakamoto N., Warren P., Taylor L. and Yurimoto H. (2011) Hydrogen isotope ratios in lunar rocks indicate delivery of cometary water to the Moon. *Nature Geoscience* **4**, 79-82. 査読有
- ㉑ Satish-Kumar, M., Yurimoto, H., Itoh, S. and Cesare, B. (2011) Carbon isotope anatomy of a single graphite crystal in a metapelitic migmatite revealed by high-spatial resolution SIMS analysis. *Contrib. Mineral. Petrol.* **35**, L05203. DOI: 10.1007/s00410-011-0626-3. 査読有
- ㉒ 坂本尚義 (2011) 月の水の起源は彗星か. *Isotope News*, 686, 17-21. 査読有
- ㉓ Miyawaki R., Shimazaki H., Shigeoka M., Yokoyama K., Matsubara S., Yurimoto H., Yang Z. and Zhang P. (2011) Fluorokinoshitalite and fluorotetraferri-phlogopite: new species of fluoro-mica from Bayan Obo, Inner Mongolia, China. *Clay Science* **15**, 13-18. 査読有
- ㉔ Yurimoto H., Abe K., Abe M., Ebihara M., Fujimura A., Hashiguchi M., Hashizume K., Ireland T. R., Itoh S., Katayama J., Kato C., Kawaguchi J., Kawasaki N., Kitajima F., Kobayashi S., Meike T., Mukai T., Nagao K., Nakamura T., Naraoka H., Noguchi T., Okazaki R., Park C., Sakamoto N., (他 9 名) (2011) Oxygen Isotopic Compositions of Asteroidal Materials Returned from Itokawa by the Hayabusa Mission. *Science* **333**, 1116-1119. 査読有
- ㉕ Ebihara M., Sekimoto S., Yurimoto H., (他 19 名 17 番目) (2011) Neutron Activation Analysis of a Particle Returned from Asteroid Itokawa. *Science* **333**, 1119-1121. 査読有
- ㉖ Tsuchiyama A., Uesugi M., Yurimoto H., (他

- 30 名 26 番目) (2011) Three-Dimensional Structure of Hayabusa Samples: Origin and Evolution of Itokawa Regolith. *Science* **333**, 1125-1128. 査読有
- ②7 Nagao K., Okazaki R., Nakamura T., Yurimoto H., (他 23 名 14 番目) (2011) Irradiation History of Itokawa Regolith Material Deduced from Noble Gases in the Hayabusa Samples. *Science* **333**, 1128-1131. 査読有
- ②8 坂本尚義, 石原盛男, 内野喜一郎, 江端新吾 (2011) フェムト秒レーザーを用いた 2 次中性粒子質量分析法の開発と宇宙試料分析への応用. *応用物理* **80**, 979-982. 査読有
- ②9 Xu J., Yamazaki D., Katsura T., Wu X., Remmert P., Yurimoto H. and Chakraborty S. (2011) Silicon and magnesium diffusion in a single crystal of MgSiO<sub>3</sub> perovskite. *J. Geophys. Res.* **116**, B12205. 査読有
- ③0 Tsuji, T., Tawara, T., Tanuma, R., Yonezawa, Y., Iwamuro, N., Kosaka, K., Yurimoto, H., (他 5 名) (2010) Analyses of high leakage currents in Al<sup>+</sup> implanted 4H SiC pn diodes caused by threading screw dislocations. *Materials Science Forum* **645-648**, 913-916. 査読有
- ③1 Krot A. N., Nagashima K., Yoshitake M. and Yurimoto H. (2010) Oxygen isotopic compositions of chondrules from the metal-rich chondrites Isheyevo (CH/CB<sub>b</sub>), MAC 02675 (CB<sub>b</sub>) and QUE 94627 (CB<sub>b</sub>). *Geochim. Cosmochim. Acta* **74**, 2190-2211. 査読有
- ③2 Inoue, T., Wada, T., Sasaki, R. and Yurimoto, H. (2010) Water partitioning in the Earth's mantle. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **183**, 245-251. 査読有
- ③3 Ishihara M., Ebata S., Kumondai K., Mibuka R., Uchino K. and Yurimoto H. (2010) Ultra-high performance multi-turn TOF-SIMS system with a femto-second laser for post-ionization: investigation of the performance in linear mode. *Surface and Interface Analysis* **42**, 1598-1602. 査読有
- ③4 Yamamoto K., Sakamoto N. and Yurimoto H. (2010) Analysis of the noise properties of a solid-state SCAPS ion imager and development of software noise reduction. *Surface and Interface Analysis* **42**, 1603-1605. 査読有
- ③5 江端新吾, 石原盛男, 公文代康介, 身深亮, 内野喜一郎, 坂本尚義 (2010) 局所分析の最先端—超高感度極微量質量分析システムの開発—. *遊星人* **19**, 295-304. 査読有
- ③6 阿部憲一, 坂本直哉, 坂本尚義 (2010) Acfer 094 隕石における宇宙シンプレクタイトの存在度. *遊星人* **19**, 268-272. 査読有
- ③7 石原盛男, 公文代康祐, 身深亮, 内野喜一郎, 坂本尚義 (2009) 多重周回飛行時間型質量分析計を用いた極微量質量分析システムの開発. (独) 日本学術振興会マイクロビームアナリシス第 141 委員会第 135 回研究会資料, 46-47. 査読有
- ③8 Krot A. N., Amelin Y., Bland P., Ciesla F. J., Yurimoto H. (他 11 名 15 番目) (2009) Origin and chronology of chondritic components: A review. *Geochim. Cosmochim. Acta* **73**, 4963-4997. 査読有
- ③9 Fujimoto, K., Itoh, S., Ebata, S. and Yurimoto, H. (2009) Non-chondritic oxygen isotopic component of metals in a noble-gas-rich chondrite—vestige of stellar wind from the proto-sun? *Geochemical Journal* **43**, e11-e15. 査読有
- ④0 坂本尚義 (2009) 原始太陽系の解剖学. *JGL* **5** (3), 8-9. 査読有
- ④1 Young, E. D., Kuramoto, K., Marcus, R. A., Yurimoto, H., and Jacobsen, S. B. (2008) Mass-independent Oxygen Isotope Variation in the Solar Nebula. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* **68**, 187-218. 査読有
- ④2 Yurimoto, H., Krot, A. N., Choi, B.-G., Aleon, J., Kunihiro, T., and Brearley, A. J. (2008) Oxygen Isotopes of Chondritic Components. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* **68**, 141-186. 査読有
- ④3 Greenwood, J. P., Itoh, S., Sakamoto, N., Vicenzi, E. P. and Yurimoto, H. (2008) Hydrogen isotope evidence for loss of water from Mars through time. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L05203, doi:10.1029/2007GL032721. 査読有
- ④4 Ebata, S., and Yurimoto, H. (2008) Identification of silicate and carbonaceous presolar grains in the type 3 enstatite chondrites. In T. Suda, T. Naozawa, A. Ohnishi, K. Kato, M.Y. Fujimoto, T. Kajino, and S. Kunbono, Eds. Origin of Matter and Evolution of Galaxies, CP1016. American Institute of Physics. 査読有
- ④5 Itoh, S., and Yurimoto, H. (2008) Exchange frequency of oxygen isotope reservoirs in the early solar system. In T. Suda, T. Naozawa, A. Ohnishi, K. Kato, M.Y. Fujimoto, T. Kajino, and S. Kunbono, Eds. Origin of Matter and Evolution of Galaxies, CP1016, p. 394-399. American Institute of Physics. 査読有
- ④6 Krot, A.N., Chaussidon, M., Yurimoto, H., Sakamoto, N., Nagashima, K., Hutcheon, I.D., and MacPherson, G.J. (2008) Oxygen isotopic compositions of Allende Type C CAIs: Evidence for isotopic exchange during nebular melting and asteroidal metamorphism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **72**(10), 2534-2555. 査読有
- ④7 Seto, Y., Sakamoto, N., Fujino, K., Kaito, T.,



Oikawa, T., and Yurimoto, H. (2008) Mineralogical characterization of a unique material having heavy oxygen isotope anomaly in matrix of the primitive carbonaceous chondrite Acfer 094. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **72**(11), 2723-2734. 査読有

- ④⑧ 坂本尚義 (2008) 同位体顕微鏡で覗く太陽系の起源. *金属* **78**, 1024-1028. 査読有
- ④⑨ Itoh, S., Makide, K., and Yurimoto, H. (2008) Calculation of radiogenic  $^{26}\text{Mg}$  of CAI minerals under high precision isotope measurement by SIMS. *Appl. Surf. Sci.* **255**, 1476-1478. 査読有
- ⑤⑩ Ebata, S., Fagan, T. J., and Yurimoto, H. (2008) Identification of silicate and carbonaceous presolar grains by SIMS in the type-3 enstatite chondrite ALHA81189. *Appl. Surf. Sci.* **255**, 1468-1471. 査読有
- ⑤⑪ Sakamoto, N., Itoh, S., and Yurimoto, H. (2008) Discovery of  $^{17,18}\text{O}$ -rich material from meteorite by direct-imaging method using stigmatic-SIMS and 2D ion detector. *Appl. Surf. Sci.* **255**, 1458-1460. 査読有
- ⑤⑫ Mibuka, R., Hassaballa, S., Uchino, K., Yurimoto, H., Todokoro, R., Kumondai, K., and Ishihara, M. (2008) Characteristics of post-ionization using a femto-second laser. *Appl. Surf. Sci.* **255**, 1595-1598. 査読有

[学会発表] (国際学会招待講演計 26 件, 内 9 件記載)

- ① Cosmochemistry of Primitive Bodies: The need for Marcopolo-R (December 17-18, 2012, Salle ESPACE, Paris, France), Yurimoto, H. (2012) Sample return mission, isotope microscope, and isotope nanoscope.
- ② The 9th Korean Symposium on Surface Analysis (October 10-12, Beache Palace, Muchangpo, Korea), Yurimoto, H. (2012) Isotope microscope and isotope nanoscope by SIMS and the applications.
- ③ 19th International Mass Spectrometry Conference (September 15-21, 国立京都国際会館, Kyoto, Japan), Yurimoto, H. (2012) Science of asteroid sample return mission "HAY-ABUSA".
- ④ Workshop on Formation of the First Solids in the Solar System (November 7-9, 2011, Sheraton Kauai Resort, Kauai, USA), Yurimoto, H. and Nagashima, K. (2011) Evolution of oxygen isotope reservoirs in the early solar system. Workshop on Formation of the First Solids in the Solar System, LPI Contribution No. 1639, #9134.
- ⑤ Workshop on Water in the Earth and the Solar System (October 4-5, 2011, Centre national de la recherche scientifique, Nancy, France), Yurimoto, H. (2011) Origin and isotopic composi-

tion of water in fluid inclusions from meteorites.

- ⑥ 8th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '11 (ALC '11) (May 22-27, 2011, Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea), Yurimoto, H., Ishihara, M., Uchino, K., Ebata, S., Itose, S., Matsuya, M. and Kudo, M. (2011) Development of Laser Ionization Mass Nanoscope (LIMAS).
- ⑦ Workshop on Cosmo-, Geo- and Environmental Research with NanoSIMS (January 18-19, 2011, 中央研究院 地球科學研究所, Taipei, Taiwan), Yurimoto, H. (2011) Oxygen isotope analysis of meteorites: the procedures and contribution to solar system evolution
- ⑧ 中国科学院广州地球化学研究所講義 (October 26, 2009, 中国科学院广州地球化学研究所, Guangzhou, China), Yurimoto, H. (2009) High Precision Isotope Petrography by Secondary Ion Mass Spectrometry.
- ⑨ 5th Biennial Geochemical SIMS Workshop (BGSW5) (June 13-15, 2008, University of Wisconsin-Madison, Madison, USA), Yurimoto, H. (2008) Development of isotope microscope and in-situ observation of presolar grains and other isotope anomalous materials.

[図書] (計 1 件)

坂本尚義 (2008) 元素の同位体異常. 地球化学講座 2 宇宙・惑星化学 (松田准一, 坂本尚義編), 培風館, 82-111.

④ その他

ホームページ

<http://vigarano.ep.sci.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 尚義 (YURIMOTO HISAYOSHI)

北海道大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号: 80191485

(2) 研究分担者

橘 省吾 (TACHIBANA SHOGO)

北海道大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号: 5061564

伊藤 正一 (ITOH SHOICHI)

北海道大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号: 60397023

坂本 直哉 (SAKAMOTO NAOYA)

北海道大学・創成研究機構・特任助教

研究者番号: 30466429

大槻 かおり (OTSUKI KAORI)

福岡大学・理学部・助教

研究者番号: 90570185

(3) 連携研究者 なし