

## 2023年度日本鉱物科学会賞第29回受賞者

受賞者氏名：橘 省吾 会員（東京大学大学院理学系研究科宇宙惑星科学機構）

受賞題目：「初期太陽系における惑星材料物質の化学進化に関する実験的研究」



### 授賞理由

橘省吾会員は、惑星の多様性を生み出した「初期太陽系における惑星材料の化学進化」の理解を目指して研究活動を行ってきた。

そのキャリアの前半では、物質進化をつかさどる多様な化学反応の実験的解明を行った。橘会員は、原始太陽系円盤の主要鉱物の気相成長・蒸発・結晶化カINETIKSの実験的研究を多数おこない、エンスタタイトや硫化鉄の蒸発、金属鉄の成長・蒸発、カンラン石中の鉄の拡散など高温での原始惑星系円盤の主要ダスト形成や進化に関わる反応速度を定量的に示し、隕石物質の分析や理論研究と組み合わせること

で初期太陽系での物質形成過程やその条件の制約をおこなってきた。

橘会員は水素・真空中でのエンスタタイト蒸発実験により、エンスタタイトがフォルステライト多結晶層を残渣として非調和蒸発し、エンスタタイト蒸発の律速過程が、蒸発残渣層であるフォルステライトの残渣層の厚さによって変化することを示した。真空および水素ガス中において、フォルステライト層の増加に伴い、表面律速反応から拡散律速反応に移り変わり、定常状態では一定のフォルステライト厚みを保って、フォルステライトの蒸発速度で蒸発が進行することを明らかにした。一方、トロイライトの蒸発実験では、金属鉄を残渣に硫黄が選択的に蒸発するが、残渣層が多孔質であるために表面反応律速で蒸発が進行することを示した。また、真空中と水素中では硫黄の蒸発に関与する主たる化学反応が異なるために、反応障壁の大きさ（理想蒸発速度に対する実際の蒸発速度の比）が真空中では約 0.2、水素中では約  $10^{-4}$  と数桁も異なることを定量的に示した。さらに、金属鉄に関して真空中での蒸発・凝縮係数をともに定量的に求める実験に成功し、金属鉄の蒸発係数は 1 に近く、蒸発係数の報告がある珪酸塩や酸化物と大きく異なること、また、成長時の凝縮係数もほぼ 1 であることを明らかにした。これらの実験成果は、原始太陽系円盤での物質進化を議論する際に反応速度の理解が必要不可欠であることを改めて示す重要な成果であり、橘会員自らも実験結果と隕石の分析結果、理論研究を組み合わせる原始太陽系円盤におけるダストの高温過程による元素分別・同位体分別の可能性を示してきた。また、分子雲から原始惑星系円盤への進化における鉱物・氷・有機物の相互関係に着目した実験研究でも大きな成果を挙げている。分子雲条件を模擬した 50-150K の低温条件において、水氷や有機分子を含む水氷への紫外線照射により、水氷や有機分子を含む氷が液体的な振る舞いを見出した。粘性の低い液体的な氷は、有機物形成を加速させたり、原始太陽系円盤外縁の低温領域におけるダストの凝集効率を上げるなど、惑星形成過程にも影響を及ぼす可能性がある重要な発見である。

さらに、低圧条件での非晶質珪酸塩の結晶化や酸素同位体交換実験、CAI 形成実験、珪酸塩・酸化物の蒸発・凝縮実験など、原始太陽系円盤における主要鉱物の反応速度を実験的に解明する数多くの研究をおこなってきた。実験結果を得るだけにとどまらず、原始太陽系円盤における非晶質珪酸塩の残存条件、Type-B CAI 形成時の水素ガス圧、星周ダストの形成条件などを制約し、観測や原始惑星系円盤におけるダスト進化のモデル計算に実験で得られた速度定数を組み込むなど

の理論研究にも発展させてきた。このような研究を通じて複数の博士研究者を輩出し、宇宙条件での鉱物反応に関する実験的研究をおこなう世界有数の研究室を築いてきた。

橘会員は、実験的研究にとどまらず、観測においても大きな貢献をしている。例えば、ALMA 望遠鏡を用いた観測により、大質量原始星の周りでの AIO 分子の初検出という、原始太陽系円盤で起こった鉱物の形成と蒸発が観測的に捉えられる可能性を示唆した。さらに、小惑星リュウグウからの試料を地球に持ち帰った「はやぶさ2」探査においては、サンプル採取装置の開発を行った。そして、250 名を超える国際的な初期分析チームの統括をおこない、回収試料の初期分析において中心的役割を果たした。その「はやぶさ2」分析チームでは、Science 誌などの高インパクトジャーナルに多数の論文を出版している。また、自身も筆頭著者となって高インパクト論文を出版している。さらに、小惑星ベヌーからのサンプルリターンに成功した NASA の OSIRIS-REx 計画と日本の「はやぶさ2」探査計画での相互協力関係の実現に尽力するなど、国内外の地球外物質研究コミュニティの発展にも貢献し続けている。加えて、「はやぶさ2」プロジェクトの成果を含めたアウトリーチ活動を積極的に行い、鉱物科学の研究を広めている。

日本鉱物科学会ではこれらの成果を認め、橘省吾会員に 2023 年度日本鉱物科学会賞を授与するものである。

#### 橘 省吾 会員の主要論文

1. Tachibana S., Sawada H., Okazaki R., Takano Y., Sakamoto K., Miura Y. N., Okamoto C., Yano H., Yamanouchi S., Michel P., Zhang Y., Schwartz S., Thuillet F., Yurimoto H., Nakamura T., Noguchi T., Yabuta H., Naraoka H., Tsuchiyama A., Imae N., Kurosawa K., Nakamura A. M., Ogawa K., Sugita S., Morota T., Honda R., Kameda S., Tatsumi E., Cho Y., Yoshioka K., Yokota Y., Hayakawa M., Matsuoka M., Sakatani N., Yamada M., Kouyama T., Suzuki H., Honda C., Yoshimitsu T., Kubota T., Demura H., Yada T., Nishimura M., Yogata K., Nakato A., Yoshitake M., Suzuki A. I., Furuya S., Hatakeda K., Miyazaki A., Kumagai K., Okada T., Abe M., Usui T., Ireland T. R., Fujimoto M., Yamada T., Arakawa M., Connolly, Jr. H. C., Fujii A., Hasegawa S., Hirata N., Hirata N., Hirose C., Hosoda S., Iijima Y., Ikeda H., Ishiguro M., Ishihara Y., Iwata T., Kikuchi S., Kitazato K., Lauretta D. S., Libourel G., Marty B., Matsumoto K., Michikami T., Mimasu Y., Miura A., Mori O., Nakamura-Messenger K., Namiki N., Nguyen A. N., Nittler L. R., Noda H., Noguchi R., Ogawa N., Ono G., Ozaki M., Senshu H., Shimada T., Shimaki Y., Shirai K., Soldini S., Takahashi T., Takei Y., Takeuchi H., Tsukizaki R., Wada K., Yamamoto Y., Yoshikawa K., Yumoto K., Zolensky M. E., Nakazawa S., Terui F., Tanaka S., Saiki T., Yoshikawa M., Watanabe S. and Tsuda Y. (2022) Pebbles and sand on asteroid (162173) Ryugu: In situ observation and particles returned to Earth. *Science* 375, 1011-1016. doi.org/10.1126/science.abj8624

2. Tachibana S., Kamizuka T., Hirota T., Sakai N., Oya Y., Takigawa A. and Yamamoto S. (2019) Spatial distribution of AIO in a high mass protostar candidate Orion Source I. *Astrophys. J. Letters* 875, L29 (4 pp). doi.org/10.3847/2041-8213/ab1653
3. Yamamoto D. and Tachibana S. (2018) Water vapor pressure dependence of crystallization kinetics of amorphous forsterite. *ACS Earth Space Chem.* 2, 778-786. doi.org/10.1021/acsearthspacechem.8b00047
4. Tachibana S., Kouchi A., Hama T., Oba Y., Piani L., Sugawara I., Endo Y., Hidaka H., Kimura Y., Murata K., Yurimoto H. and Watanabe N. (2017) Liquid-like behavior of UV-irradiated interstellar ice analog at low temperatures. *Science Advances* 3, eaao2538. doi.org/10.1126/sciadv.aao2538
5. Tachibana S., Abe M., Arakawa M., Fujimoto M., Iijima Y., Ishiguro M., K. Kitazato, Kobayashi N., Namiki N., Okada T., Okazaki R., Sawada H., Sugita S., Takano Y., Tanaka S., Watanabe S., Yoshikawa M., Kuninaka H. and the Hayabusa2 Project Team (2014) Hayabusa2: Scientific importance of samples returned from C-type near-Earth asteroid (162173) 1999 JU3. *Geochem. J.* 48, 571-587. doi.org/10.2343/geochemj.2.0350
6. Tachibana S., Tamada S., Kawasaki H., Ozawa K. and Nagahara H. (2013) Interdiffusion of Mg-Fe in olivine at 1,400-1,600° C and 1 atm total pressure. *Phys. Chem. Min.* 40, 511-519. doi.org/10.1007/s00269-013-0588-2
7. Tachibana S., Nagahara H., Ozawa K., Ikeda, Y., Nomura, R., Tatsumi, K., and Joh, Y. (2011) Kinetic condensation and evaporation of metallic iron and implications for metallic iron dust formation. *Astrophys. J.* 736, 16. doi.org/10.1088/0004-637X/736/1/16
8. Tachibana S. and Huss G. R. (2005) Sulfur isotope composition of putative primary troilite in chondrules from Bishunpur and Semarkona. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69, 3074-3097. doi.org/10.1016/j.gca.2004.06.025
9. Tachibana S., Tsuchiyama A. and Nagahara H. (2002) Experimental study of incongruent evaporation kinetics of enstatite in vacuum and in hydrogen gas. *Geochim. Cosmochim. Acta* 66, 713-728. doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00797-9
10. Tachibana S. and Tsuchiyama A. (1998) Incongruent evaporation of troilite (FeS) in the primordial solar nebula; an experimental study. *Geochim. Cosmochim. Acta* 62, 2005-2022. doi.org/10.1016/S0016-7037(98)00122-7

1995年3月 大阪大学 理学部 宇宙地球科学科 卒業

1997年3月 大阪大学 大学院理学研究科 物理学専攻 博士前期課程修了

2000年3月 大阪大学 大学院理学研究科 宇宙地球科学専攻 博士後期課程修了（博士（理学））

1997年4月–2000年3月：日本学術振興会 特別研究員 DC1

2000年4月–2003年3月：日本学術振興会 特別研究員 PD

2003年4月–2012年3月：東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 助教

2012年4月–2013年1月：北海道大学 大学院理学研究院 自然史科学部門 地球惑星システム科学分野 講師

2013年1月–2017年9月：北海道大学 大学院理学研究院 自然史科学部門 地球惑星システム科学分野 准教授

2013年4月–2016年3月：JAXA 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 客員准教授

2017年10月–現在：東京大学大学院理学系研究科 宇宙惑星科学機構 教授

2019年4月–現在：JAXA 宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 特任教授