

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2013～2017

課題番号：25108001

研究課題名（和文）宇宙における分子進化：星間雲から原始惑星系へ

研究課題名（英文）Evolution of molecules in space: from interstellar clouds to proto-planetary nebula

研究代表者

香内 晃 (KOUCHI, Akira)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：60161866

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,600,000 円

研究成果の概要（和文）： 宇宙分子進化研究を実験、観測、理論、分析等の多様な手法で推進し、さらに、これらを学際的な連携・融合研究として展開させることが主たる目的である。このために、全体集会、ワークショップ、国際シンポジウム等を開催するとともに、若手研究者の育成にも努めた。その結果、計画班同士および計画班と公募研究者の連携研究が、当初の想定以上に活発に展開され、優れた研究結果が多数生み出された。それらの研究活動を通じて、次世代の指導者たる人材を育成することができた。さらに、領域のホームページや多種多様な方法でのアウトリーチ活動もおこなった。

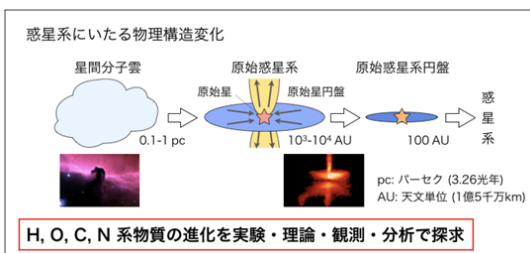
研究成果の概要（英文）： We focus our attention on the most abundant solid materials in space: ices and organic materials. How do these molecules evolve in space? We aim at answering this question by interdisciplinary approaches including laboratory experiments, theoretical studies, astronomical observations, and analyses of extraterrestrial materials. To promote interdisciplinary studies between respective groups, we have been performed following activities: whole project meetings, workshops, international symposiums, etc. As a result, interdisciplinary studies advanced remarkably, and excellent results have been yielded. We also made outreach activity by various methods.

研究分野：地球惑星科学，天文学

キーワード：分子進化 星間分子雲 原始惑星系 氷 有機物

1. 研究開始当初の背景

本研究領域の研究者らは、惑星形成過程を化学的視点から理解することをめざし、星間塵表面での原子反応による氷や有機物の生成・同位体濃縮過程の解明、炭素鎖分子に富んだ原始星の発見、同位体顕微鏡による太陽系最古の水の発見など世界的業績をあげてきた。いずれも化学的進化の一断面において特筆すべき成果であるが、分子雲から原始惑星系までの統一的理解には至っていない。これはH, C, O, N系物質の豊富で多様な情報を読み解くための戦略が欠如しているためである。これらの元素を含む系の反応は非平衡で時に不可逆であるため、物理化学的基盤に立った実験的・実証的研究が必要になる。す



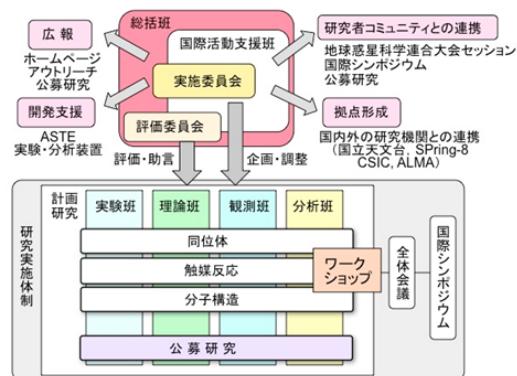
なわち、分子雲から原始惑星系に至る環境での氷・有機物の生成効率、生成経路、同位体分別機構を解明する実験を中心に置き、観測や分析で有機物進化を読み解くための戦略を立てることが最も重要となる。

2. 研究の目的

宇宙で最も大量に存在する元素（H, O, C, N）からなる固体物質（氷および有機物）の形成・進化に着目し、実験、観測、理論、分析等の多様な手法で、分子進化の全体像を描き、これらを通して、化学的視点に立脚した惑星形成論を新たに構築することを目的とする。研究領域全体で、分子雲から原始惑星系に至る分子進化を物理化学的手法によって解明し、分子進化シナリオを作成する。総括班の重要な役割は、領域全体を1つの学際的な融合研究として機能させることである。

3. 研究の方法

(1) 各班および公募研究の連携構築を目的とし、領域全体研究集会を各年度1回開催する。複数班にまたがる特定の研究テーマを深く議論するために、若手研究者がリーダーシ



ップをとってワークショップを開催する。領域全体の進展状況を把握し、状況に適宜対応するために、必要に応じて総括班会議を開催する。

(2) 若手支援・育成のために、公募研究で優先的な採択、ワークショップでのリーダーとしての登用、積極的な海外派遣等をおこなう。

(3) 領域の研究成果を広く学界に知らせめ、また、研究者コミュニティとの連携をはかるために、日本地球惑星科学連合大会でセッションを開催する。

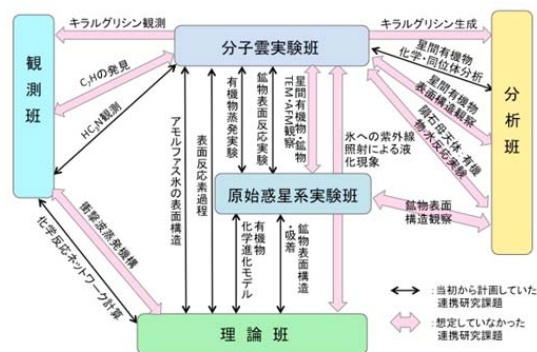
(4) 大型観測・実験装置の開発を支援するために、対応する研究機関との連携を推進するとともに、若手技術者の育成をはかる。

(5) 領域の研究成果を広く知らせめ、また、領域内の情報伝達等のために、ホームページを開設する。また、多種多様な方法でアウトリーチ活動をおこなう。

4. 研究成果

(1) 図に計画研究間で遂行された連携研究課題を示す。当初の想定以上に幅広い課題で連携・融合研究が進展した。総括班メンバー間の密接な連絡や、総括班会議を通して連携研究の推進を図った。計画研究の分担者や公募研究を含む領域全体の研究や連携に関しては、年1回開催される全体集会で、研究成果をできる限り多くのメンバーと共有しさらに新たな展開に結びつかせるよう努めた。

さらに、共通性の高い研究課題に関しては、各計画研究の枠を超えた「ワークショップ」を研究の進展に応じて随時開催し、より深い議論が進むよう工夫をして、最大限の有機的な連携を図るように努めた。研究期間内に計17回のワークショップを開催した。



(2) 本研究領域での2回の公募研究として、計画研究と有機的に結びつき新たな研究の創造が期待できる課題、計画研究がカバーしていない重要な課題およびその他独創的・萌芽的な課題等、計31件の課題が採択された。特筆すべきは、これまで天文学や地球惑星科学に携わっていない物理や化学の研究者の

提案課題を半数程度採択したこと、さらに採択研究者の平均年齢が2回の公募でそれぞれ38.5歳、39.5歳と、若手研究者の研究を多く採択できたことである。

全体集会やワークショップでの議論を通じて、公募研究と計画研究間の連携も想定以上に活発におこなわれ、優れた研究成果が多数生み出された。

(3) 領域の研究成果を広く学界に知らせ、また、研究者コミュニティとの連携をはかるために、日本地球惑星科学連合大会で毎年「宇宙物質進化」セッションを共催した。領域の5年間の研究成果を広く発信するための国際会議 Symposium 'Molecular Evolution in Space'を北海道大学で開催するとともに、他に8回の国際会議等を主催(共催)した。

(4) 全体集会、ワークショップ、総括班会議での情報交換を通じ、各班の進捗状況、連携情報を把握し、評価委員会から各班に対し、班員追加などの具体的な助言をおこなってきた。また、観測・実験装置開発、ワークショップの開催を通じ、国立天文台、放射光施設 SPring-8 との協力体制強化に努めてきた。国立天文台 ASTE 望遠鏡の観測装置開発を、若手技術者を中心に行わせ、観測装置の望遠鏡への搭載にあたっては、技術者をチリに派遣して経験をつませた。

(5) 領域発足直後にウェブサイト(www.astromolecules.org/)を立ち上げ、成果報告・活動報告をおこなってきた。本研究領域がめざす「分子雲から原始惑星系までの有機物進化の統一的理解」は、社会からの注目度の高い ALMA 望遠鏡や小惑星探査機「はやぶさ2」のめざす科学との親和性が高い。本研究領域にはこれらの計画にも深く関わる研究者が多数参加しており、一般向け講演やメディアを通じた情報発信の機会が多く、それらの機会を利用し、本研究領域の意義や成果を紹介し、社会還元に努めてきた。

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24件)

全て査読有

1. Y. Oba, T. Tomaru, T. Lamberts, A. Kouchi, N. Watanabe (2018) An infrared measurement of chemical desorption from interstellar ice analogues, **Nature Astronomy**, 2, 228-232, DOI: 10.1038/s41550-018-0380-9
2. O. Takahashi, Y. Tamenori, T. Suenaga, T. Ikeda-Fukazawa, J. Matsuno, A. Tsuchiyama (2018) XANES spectra of forsterite in crystal, surface, and amorphous states, **AIP Advances**, 8, 025107, 10pp, DOI: 10.1063/1.5017245
3. S. Tachibana, A. Kouchi, T. Hama, Y. Oba, L. Piani, I. Sugawara, Y. Endo, H. Hidaka, Y. Kimura, K. Murata, H. Yurimoto, N. Watanabe (2017) Liquid-like behavior of UV-irradiated interstellar ice analog at low temperatures, **Science Advances**, 3, eaao2538(6pp) DOI: 10.1126/sciadv.aao2538
4. R. Escribano, E. Artacho, A. Kouchi, T. Hama, Y. Kimura, H. Hidaka, N. Watanabe (2017) Simulations and Spectra of Water in CO Matrices, **Physical Chemistry Chemical Physics**, 19, 7280-7287, DOI: 10.1039/C6CP08248C
5. L. Piani, S. Tachibana, T. Hama, H. Tanaka, Y. Endo, I. Sugawara, L. Dessimoulie, Y. Kimura, A. Miyake, J. Matsuno, A. Tsuchiyama, K. Fujita, S. Nakatsubo, H. Fukushima, S. Mori, T. Chigai, H. Yurimoto, A. Kouchi (2017) Evolution of morphological and physical properties of laboratory interstellar organic residues with ultraviolet irradiation, **The Astrophysical Journal**, 837, 11pp, DOI: 10.1039/C6CP08248C
6. Koga, T., Naraoka, H. (2017) A new family of extraterrestrial amino acids in the Murchison meteorite, **Scientific Reports**, 7, 636 (8pp), DOI: 10.1038/s41598-017-00693-9
7. Naraoka, H., Yamashita, Y., Yamaguchi, M. and Orthous-Daunay F. R. (2017) Molecular evolution of N-containing cyclic compounds in the parent body of the Murchison meteorite. **ACS Earth Space Chem.**, 1, 540-550, DOI: 10.1021/acsearthspacechem.7b00058
8. Yu Kumagai, Tomoko Ikeda-Fukazawa (2017) Structures of surface and interface of amorphous ice, **Chemical Physics Letters**, 678, 153-158, DOI: 10.1016/j.cplett.2017.04.055
9. 羽馬哲也, 香内晃, 渡部直樹(2016) 宇宙の塵の化学: 原子から分子・星・惑星系へ, **化学と教育**, 64, 282-283, DOI: 10.20665/kakyoshi.64.6_282
10. 小島知子, 中村圭子, 橘 省吾(2016) 初期太陽系の惑星物質科学: 隕石・彗星・小惑星の微粒子, **エアロゾル研究**, 31, 161-168, DOI: 10.11203/jar.31.161
11. T. Hama, A. Kouchi, N. Watanabe (2016) Statistical ortho-to-para ratio of water desorbed from ice at 10 kelvin, **Science**, 351, 65-67, DOI: 10.1126/science. aad4026
12. S. K. Simakov, A. Kouchi, N. N. Mel'nik, V. Escribano, Y. Kimura, T. Hama, N. Suzuki, H. Saito, T. Yoshizawa (2015) Nanodiamond Finding in the Hylean Shallow Mantle Xenoliths, **Scientific Reports**, 5, 10765(8pp), DOI: 10.1038/srep10765
13. 羽馬哲也, 香内晃, 渡部直樹(2015) 低温アモルファス氷表面における水素原子の拡散—宇宙における分子進化の鍵—, **日本物理学会誌**, 70, 608-613, DOI: なし

14. A. Takigawa, S. Tachibana, H. Nagahara, K. Ozawa (2015) Evaporation and condensation kinetics of corundum: The origin of the 13- μ m feature of oxygen-rich AGB Stars, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, 218, 218:2 (16pp), DOI: 10.1088/0067-0049/218/1/2
 15. H. -W. Hsu, F. Postberg, Y. Sekine, T. Shibuya, S. Kempf, M. Horanyi, A. Juhasz, N. Altobelli, K. Suzuki, Y. Masaki, T. Kuwatani, S. Tachibana, S. Sirono, G. Moragas-Klostermeyer, R. Srama (2015) Ongoing hydrothermal activities within Enceladus, **Nature**, 519, 207-210, DOI: 10.1038/nature14262
 16. T. Soma, N. Sakai, Y. Watanabe, S. Yamamoto (2015) Methanol in the Starless Core, Taurus Molecular Cloud-1, **Astrophys. J.**, 802, 74, 9pp, DOI: 10.1088/0004-637X/802/2/74
 17. Kitajima, F., Uesugi, M., Karouji, Y., Ishibashi, Y., Yada, T., Naraoka, H., Abe, M., Fujimura, A., Ito, M., Yabuta, H., Mita, H., Takano, Y., Okada, T. (2015) A micro-Raman and infrared study of several Hayabusa category 3 (organic) particles, **Earth, Planets and Space**, 67, 12pp, DOI: 10.1186/s40623-015-0182-6
 18. T. Hama, H. Ueta, A. Kouchi, N. Watanabe, H. Tachikawa (2014) Quantum Tunneling Hydrogenation of Solid Benzene and Its Control via Surface Structure, **Journal of Physical Chemistry Letters**, 5, 3843-3848, DOI: 10.1021/jz5019948
 19. Takigawa A., Tachibana S., Huss G. R., Nagashima K., Makide K., Krot A. N. Nagahara H. (2014) Morphology and crystal structures of solar and presolar Al_2O_3 in unequilibrated ordinary chondrites, **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 124, 309-327, DOI: 10.1016/j.gca.2013.09.013
 20. Oya Y., Sakai N., Sakai T., Watanabe Y., Hirota T., Lindberg J.E., Bisschop S.E., Joergensen J.K., van Dishoeck, E.F., Yamamoto S. (2014) A Substellar-Mass Protostar and Its Outflow of IRAS 15398-3359 Revealed by Subarcsecond-Resolution Observations of H_2CO and CCH, **Astrophysical Journal**, 795, 31 pages, DOI: oai:arXiv.org.1410.5945
 21. Yurimoto, H., Itoh, S., Zolensky, M., Kusakabe, M., Karen, A. and Bodnar, R. (2014) Isotopic compositions of asteroidal liquid water trapped in fluid inclusions of chondrites. **Geochem. J.**, 48, 549-560, DOI: 10.2343/geochemj.2.0335
 22. Sakai R., Nagahara H., Ozawa K. Tachibana S. (2014) Composition of the lunar magma ocean constrained by the conditions for the crust formation, **Icarus**, 229, 45-56, DOI: 10.1016/j.icarus.2013.10.031
 23. Ito, M., Uesugi, M., Naraoka, H., Yabuta, H., Kitajima, F., Mita, H., Takano, Y., Karouji, Y., Yada, T., Ishibashi, Y. (2014) H, C, and N isotopic compositions of Hayabusa category 3 organic samples, **Earth, Planet. Space**, 66, 91, DOI: 10.1186/1890-5981-66-91
 24. Y. Oba, T. Chigai, Y. Osamura, N. Watanabe, A. Kouchi (2013) Hydrogen isotopic substitution of solid methylamine through atomic surface reactions at low temperatures: A potential contribution to the D/H ratio of methylamine in molecular clouds, **Meteoritics & Planetary Science**, 49, 117-132, DOI: 10.1111/maps.12096
- 〔学会発表〕（計 34 件）
1. A. Kouchi (2018) In Situ Observation of Amorphous Ices by Ultrahigh Vacuum TEM, **2018 MRS Spring Meeting & Exhibit**
 2. H. C. Connolly Jr., S. Tachibana, D. S. Lauretta, S. Messenger, and the sample analysis teams for HAYBUSA2 and OSIRIS-REX (2018) Analysis of the returned samples from asteroids Ryugu and Bennu, **Solar-System Symposium in Sapporo 2018**
 3. A. Kouchi (2017) Evolution of molecules in space: From interstellar clouds to proto-planetary nebulae, 新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会
 4. Kouchi A., Tachibana S., Hama T., Oba Y., Piani L., Sugawara I., Endo Y., Hidaka H., Kimura Y., Murata K., Yurimoto H., Watanabe N. (2017) Observation of liquid-like behavior of UV-irradiated amorphous ices, **Meeting on DIPPS (Dust and Ice Particles Spectroscopy and Scattering)**
 5. T. Ikeda-Fukazawa (2017) Overview of the Theoretical Group in the project "Molecular Evolution in Space", **Symposium 'Molecular Evolution in Space'**
 6. S. Tachibana, A. Kouchi, T. Hama, Y. Oba, L. Piani, I. Sugawara, Y. Endo, H. Hidaka, Y. Kimura, K. Murata, H. Yurimoto, N. Watanabe (2017) Liquid-like behavior of UV-irradiated interstellar ice analog at low temperature, **Symposium 'Molecular Evolution in Space'**
 7. S. Tachibana, A. Kouchi, T. Hama, Y. Oba, L. Piani, I. Sugawara, Y. Endo, H. Hidaka, Y. Kimura, K. Murata, H. Yurimoto, N. Watanabe, H. Naraoka, Y. Tamenori (2017) Photo-Induced Chemistry for Astro-Chronicle at Hokkaido University- PICACHU 2017, 新学術領域「宇宙分子進化」第 5 回全体集会
 8. 香内晃, 橘省吾 (2017) 宇宙における分子進化：星間雲から原始惑星系まで,

JpGU-AGU Joint Meeting 2017

9. 香内 晃(2017) 分子雲での光化学反応による有機物の生成と原始惑星系円盤における進化, シンポジウム「ダスト形成から惑星の多様性へ: 宇宙の物質進化における物理と化学のカップリング」
10. H. Sugahara, Y. Takano, S. Tachibana, I. Sugawara, N. O. Ogawa, Y. Chikaraishi, N. Ohkoshi, H. Yurimoto, A. Kouchi (2017) Nitrogen Isotopic Evolution of Organic Molecules in Interstellar Ice Analogues by UV Irradiation, **Solar-System Symposium in Sapporo 2017**
11. A. Kouchi, T. Hama, Y. Kimura, H. Hidaka, R. Escribano, N. Watanabe (2016) Formation of high-density amorphous ice by matrix sublimation method, **Workshop on Interstellar matter 2016**
12. Tachibana S. (2016) Chemical evolution of the solar system: Laboratory experiments and small-body explorations, **Goldschmidt Conference 2016**
13. Connolly Jr. H.C., Lauretta D.S., Walsh K.J. and Tachibana S. (2016) The dynamical evolution of asteroids constrained from sample analysis, **Goldschmidt Conference 2016**
14. 日高宏, 中坪俊一, 渡部直樹, 香内晃, 杉本宜昭(2016) 非接触原子間力顕微鏡によるアモルファス氷表面構造観察, 平成28年度新学術領域研究「宇宙における分子進化: 星間雲から原始惑星系へ」第4回全体集会
15. A. Kouchi, N. Watanabe, H. Hidaka, T. Hama, Y. Kimura, S. Nakatubo, K. Fujita, K. Sinbori, M. Ikeda (2016) Development of an UHV transmission electron microscope for in-situ observation of ice, **Astrophysical Ices in the Lab**
16. A. Kouchi, S. Tachibana (2016) Evolution of Molecules in Space: From Interstellar Clouds to Protoplanetary Systems, **Solar-System symposium in Sapporo 2016**
17. L. Piani, S. Tachibana, T. Hama, I. Sugawara, Y. Oba, H. Tanaka, Y. Kimura, A. Miyake, J. Matsuno, A. Tsuchiyama, H. Yurimoto, A. Kouchi (2016) Photochemistry in Molecular Cloud: Evolution of Ice and Organic Residues through Warming and UV-Irradiation, **Solar-System symposium in Sapporo 2016**
18. Naraoka H. (2016) Recent technical advances in organic geochemistry: High-resolution mass spectral, chromatographic and spatial analyses, **International Workshop of Organic Geochemistry "Biomarkers and Molecular Isotopes"**
19. A. Kouchi, S. Tachibana (2015) Evolution of molecules in space: from interstellar clouds to proto-planetary, **HAYABUSA2015:3rd Symposium of Solar**

System Materials

20. L. Piani, S. Tachibana, T. Hama, Y. Kimura, Y. Endo, K. Fujita, S. Nakatubo, H. Fukushima, S. Mori, T. Chigai, H. Yurimoto, A. Kouchi (2015) Evolution of organic molecules in space: characteristics and properties of experimental organic residues, **日本地球惑星科学連合 2015 年大会**
21. 木村 勇気, 山崎 智也, 土山 明, 永原 裕子, 羽馬 哲也, 日高 宏, 渡部 直樹, 香内 晃(2015) 初期太陽系星雲中でのFT型触媒反応による分子形成の再現実験, **日本地球惑星科学連合 2015 年大会**
22. 山本 智, 坂井南美(2015) Carbon-Chain Molecules in Astrophysics, **NAOJ**
23. A. Tsuchiyama, A. Miyake, T. Hama, S. Tachibana, H. Terasaki, T. Kondo, Y. Adachi, H. Hidaka, N. Watanabe, Y. Kimura, A. Kouchi (2015) Deposition of Amorphous Silicate Films for Experiments on Surface Reaction in Molecular Clouds and Protoplanetary Disks, **46th Lunar and Planetary Science Conference**
24. Y. Kimura, N. Watanabe, A. Tsuchiyama, H. Nagahara, A. Kouchi (2015) Molecular Formation Experiment by Catalytic Reaction on Inorganic Surfaces at Low Pressure Environment, **Second Workshop on Experimental Laboratory Astrophysics**
25. S. Tachibana, T. Hama, Y. Endo, L. Piani, H. Yurimoto, A. Kouchi (2014) Photo-induced synthesis of interstellar organic matter: Volatile compounds and texture of organic residues, **Workshop on Interstellar Matter 2014**
26. S. Maruyama, A. Kouchi (2014) Origin of life component of the Earth, **日本地球惑星科学連合 2014 年大会**
27. T. Hama, H. Ueta, A. Kouchi, N. Watanabe (2014) Cyclohexane formation following Hydrogenation of amorphous solid benzene at 20 K, **Faraday Discussion 168 Astrochemistry of Dust, Ice and Gas**
28. A. Kouchi, N. Watanabe, H. Hidaka, T. Hama, S. Nakatubo, K. Fujita, K. Sinbori, M. Ikeda (2014) Development of an ultrahigh vacuum transmission electron microscope for in-situ observation of ice, **13th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice(PCI-2014)**
29. 香内 晃 (2013) 新学術領域研究「宇宙における分子進化: 星間雲から原始惑星系へ」, **日本惑星科学会 2013 年秋季講演会**
30. 香内 晃 (2013) 宇宙における分子進化: 星間雲から原始惑星系へ, **2013 年度日本地球化学会第 60 回年会**
31. Tachibana S. (2013) 太陽系の進化をさぐる物質科学: 「はやぶさ 2」 サンプルリターン・室内実験, 首都大学東京研究環シンポジウム: 宇宙の化学進化 2014

32. Tachibana S. (2013) Experimental studies on dust formation in space, **The Life Cycle of Dust in the Universe**
33. Tachibana S. (2013) Scientific importance of return samples from near-earth C-type asteroid 1999 JU3: sampling method/strategy and sample analyses, **HAYABUSA2013 - Symposium of the Solar System Materials**
34. 橘 省吾(2013) 太陽系の起源・進化をさぐる始原天体探査, **第4回深宇宙探査シンポジウム**

〔図書〕(計2件)

1. 橘省吾(2016) 星くずたちの記憶―銀河から太陽系への物語, 岩波書店, 128
2. 橘省吾 (2014) “太陽系の元素は銀河系から” 宇宙と生命の起源 2 ～素粒子から細胞へ (岩波ジュニア新書), 岩波書店, 256

〔その他〕

ホームページ等

新学術領域研究「宇宙における分子進化：星間雲から原始惑星系へ」

<https://www.astromolecules.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香内 晃 (KOUCHI Akira)
北海道大学・低温科学研究所・教授
研究者番号：60161866

(2) 研究分担者

橘 省吾 (TACHIBANA Shogo)
東京大学・理学系研究科・教授
研究者番号：50361564

深澤 倫子 (FUKAZAWA Tomoko) 2017 年度のみ
明治大学・理工学部・教授
研究者番号：40409496

山本 智 (YAMAMOTO Satoshi) 2015 年度のみ
東京大学・理学研究科・教授
研究者番号：80182624

(3) 連携研究者

永原 裕子 (NAGAHARA Hiroko)
東京工業大学・地球生命研究所・フェロー
研究者番号：80172550

深澤 倫子 (FUKAZAWA Tomoko) 2017 年度を除く
明治大学・理工学部・教授
研究者番号：40409496

山本 智 (YAMAMOTO Satoshi) 2015 年度を除く
東京大学・理学研究科・教授

研究者番号：80182624

塚本 尚義 (YURIMOTO Hisayoshi)
北海道大学・理学研究院・教授
研究者番号：80191485

奈良岡 浩 (NARAOKA Hiroshi)
九州大学・理学研究院・教授
研究者番号：20198386

渡部 潤一 (WATANABE Junichi)
国立天文台・副台長・教授
研究者番号：50201190