

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05339

研究課題名(和文) エッジワース・カイパーベルト天体起源岩片の探索によるニースモデルの物質科学的検証

研究課題名(英文) Verification of the Nice model by the search for Edgeworth-Kuiper belt objects in brecciated meteorites

研究代表者

三河内 岳 (Mikouchi, Takashi)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：30272462

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：約39億年前に起こった木星型惑星の軌道変化を提唱しているニースモデルは、エッジワース・カイパーベルト天体(EKBO)の破片が外部小惑星帯に降り注ぎ、天体表面のレゴリス中に残されている可能性を示唆している。本研究では、レゴリス質の角レキ岩隕石に含まれる、母岩とは異質の角レキ岩片に注目し、光学・電子顕微鏡、EPMA、ラマン分光計、放射光X線回折などを用いた詳細な鉱物学的研究を行なった。明確なEKBO起源物質は特定することができなかったが、Kaidun隕石中に水質変成を受けたエンスタタイトコンドライト岩片を見出し、地球の水の起源の可能性を探索した。

研究成果の概要(英文)：The Nice model predicts the possibility that the fragments of Edgeworth-Kuiper belt objects (EKBO) are present in the regolith of outer asteroid bodies. In this study I paid attention to foreign clasts in regolith brecciated meteorites and analyzed them using optical and electron microscopy, EPMA, Raman spectroscopy and synchrotron XRD. I could not discover possible EKBO materials, but found aqueously altered enstatite chondrites in Kaidun meteorite and discussed the possibility of the origin of earth water.

研究分野：惑星物質科学

キーワード：角レキ岩隕石 エッジワースカイパーベルト天体 ニースモデル エンスタタイトコンドライト スタ
ーダスト探査

1. 研究開始当初の背景

現在、地球に落下して来ている隕石は、特異な軌道により地球に運搬されていることから (Vokrouhlický and Farinella, 2000)、太陽系に存在する小天体物質の種類分布と対応しておらず、その種類と量にバイアスがかかっていると考えられる。そのため、これらの隕石のみを調べるのでは、初期太陽系での惑星物質進化を正確に辿れない恐れがある。しかし、角レキ岩隕石中に含まれている、母岩とは異質な角レキ岩片 (例えば、ゼノリス、黒色包有物、クラストなどと呼ばれているもの) は、これまでにあまり注目されていないものの、初期太陽系に存在した小天体の固体物質をより正しく代表している可能性がある。このように考える背景には近年提唱されているニースモデルの存在がある。ニースモデルは、約 39 億年前に木星型惑星の大規模な軌道変化が起こったことから、現在のこれらの惑星の軌道、太陽系外部で影響を受けた小天体リザーバーの軌道 (木星のトロヤ群小惑星、エッジワース・カイパーベルト天体 (EKBO) など) や月をはじめとした地球型惑星に見られる約 39 億年前の重爆撃期の存在をうまく説明しており、注目を集めている (Tsiganis et al., 2005; Morbidelli et al., 2005; Gomes et al., 2005)。ニースモデルで提唱されたイベントが約 39 億年前に起こったのであれば、この時代に小惑星帯に降り注ぎ、表面のレゴリス中に残された物質が、現在、レゴリス質角レキ岩隕石中に異質角レキ岩片として残っていることが期待される。特に興味深いのは、外部小惑星帯を起源とする角レキ岩隕石の中に EKBO 起源物質が存在する可能性である。しかし、ニースモデルは多くの観測・計算結果を説明するのに適した新しいモデルであるが、完全に受け入れられているわけでない。反論の一つは、木星型惑星の移動により軌道が擾乱されたとすると、小惑星帯外部には EKBO (D 型小惑星のような天体と考えられる) が多く存在するはずだが、実際には D 型小惑星は 1 割ほどしか存在していないことである。しかし、Levison et al. (2009) はこれらの天体は物理的に弱いため、9 割以上が衝撃破壊を受け、外部小惑星帯にはほとんど残っていないとしている。Levison らの考えが正しければ、破壊された EKBO の破片がより物理的に強い天体のレゴリス中に残されている可能性がある。

2. 研究の目的

そこで、本研究は、ニースモデルを隕石の分析により物質科学的に検証することを主目的の一つとしている。まず、レゴリス質角レキ岩隕石に含まれる異質角レキ岩片の鉱物学的分析を行い、これらの角レキの詳細なキャラクタリゼーションにより、既存の隕石種と異なったものが含まれていないかを調べる。特に角レキ岩隕石中に稀に含まれる黒色細粒異質岩片に注目する。これまでの研究

では、これらの黒色細粒レキ岩片は、単純に CI もしくは CM コンドライトに似た物質として扱われていることがほとんどであり、その他の起源の可能性についてはあまり言及されていない。しかし申請者らは、地球に最近落下した角レキ岩隕石の研究や過去の文献から、これらの黒色岩片には、CI もしくは CM コンドライトに属するものは多くなく、EKBO 起源物質が含まれる可能性があると考えている。しかし、EKBO の観測は盛んに行われているものの、天体が小さく遠距離のために詳細な観測は難しく、構成物質や化学組成についてはあまりよく分かっていない (Stern et al., 2014)。そこで、本研究では EKBO 物質の候補として考えられる NASA スターダスト探査によりサンプルリターンされた Wild 2 彗星塵を比較対象として、角レキ岩隕石中に EKBO 起源物質を探索することを試みる。Wild 2 彗星塵は特異な岩石学的特徴やケイ酸塩鉱物組成を持っていることから (Frank et al., 2014)、隕石中に EKBO 起源物質を見出すことが可能であると考えられる。また、実際に EKBO 候補物質が見つければ、希ガス組成の分析を行い、Ar-Ar 年代測定から衝撃変成年代を求め、約 39 億年前の年代が得られるかを検証し、また酸素同位体組成分析も実施する予定である。

以上のように、本研究ではレゴリス質角レキ岩隕石中に含まれる黒色細粒の異質角レキ岩片に EKBO の破片を探索することでニースモデルを物質科学的に検証し、さらにこれまで詳細が明らかになっていない EKBO 起源物質の物質科学的特徴を明らかにすることで、その成因について新たな知見を得ることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、レゴリス質角レキ岩隕石中に含まれる異質角レキ岩片を鉱物学的に分析し (光学顕微鏡、FE-SEM、EPMA、ラマン分光、TEM、放射光 XRD など) 既存の隕石種では未知のものが含まれないかを調べる。得られたデータを元に、既存の隕石種との比較を行い、現在地球に落下している隕石種と比べて、どの程度の差があるのかを検証する。角レキの中で特に注目するのは、EKBO 起源物質であるが、それだけでなく、存在が予想されるものの、これまでに既存の隕石種には見つからないような CI3 (CI1 の前駆物質であり、太陽系最初期の情報をそのまま保持しているはずの物質)、CM3 (CM2 の前駆物質)、CV1、CV2 (CV3 の水質変成物) などの未知の始原物質が存在しないかにも注目する。また、E コンドライトの母天体と考えられる E 型小惑星は反射スペクトルの観測から「水」の存在が示唆されているが、水質変成を受けた E コンドライトは見つからないことから、このような岩片の存在も考慮に入れて分析を行う。

レゴリス質角レキ岩隕石中の角レキ岩片に

実際に EKBO 起源物質が含まれれば、初期太陽系の外縁部で形成されたために揮発性の炭化水素を多く含み、宇宙線により損傷を受けたケイ酸塩鉱物が存在するはずである。EKBO の鉱物組成は、スターダスト探査で得られた Wild 2 彗星塵の組成に近いはずであり (Zolensky et al. 2006, Frank et al. 2014)、両者を比較することで EKBO 物質の存在を明らかにすることが可能であると考えられる。その後、鉱物学的分析結果から、EKBO 起源の可能性のある岩片を選別し、さらに追加の分析を実施する。具体的には、角レキの希ガス分析 (研究協力者: 長尾敬介教授と共同で実施) Ar-Ar 年代測定 (海外共同研究者の Jisun Park 博士に依頼) 酸素同位体の分析 (共同研究者の Richard Greenwood 博士に依頼) を予定している。実際にこのような分析により EKBO 物質の同定を試み、隕石を用いた物質科学的見地からニースモデルが正しいかを検証し、さらに EKBO 物質の物質科学的特徴を明らかにする。

4. 研究成果

各種の角レキ岩隕石の鉱物学的研究を行ったが、明確にエッジワース・カイパーベルト天体起源と考えられる特徴を持った岩片は見つからなかった。ただし、研究の過程で以下のことが新しい知見として得られた。

1) Kaidun 隕石は、コンドライト~エコンドライトまでの他種の隕石種の岩片を含む角レキ岩隕石である。本研究では、これまでに既存の隕石種では見つかっていない水質変成を受けたエンスタタイトコンドライト岩片を見つけ、詳細な鉱物学的分析を行った。エンスタタイトコンドライトは地球と同じ同位体組成を持つことから、地球の原材料物質になったことが指摘されているが、水などの揮発性成分は別の材料を必要するとされ、どのような過程でもたらされたかは議論が続いている。Kaidun 中に見つかった水質変成を受けたエンスタタイトコンドライトは地球の材料物質にそのままなり得る可能性があることから、今後は水素同位体比の測定などを行う必要がある。

2) 角レキ化した隕石は強い衝撃変成作用を受けているが、この影響によってカンラン石がどのような鉱物学的変化を受けるかについて注目して研究を行った。特に衝撃変成作用の強い火星隕石では、黒色化などの変化が普遍的に見られるため、いくつかの火星隕石を電子顕微鏡やラマン分光計などで分析し、黒色領域は高圧相転移 逆相転移を経験している可能性を示した。相転移速度の計算でもそのような高圧相転移は可能であることが明らかになり、その場合、高圧相は黒色カンラン石に見られる特徴 (ラマン分光分析で見られる特異なピーク、Fe³⁺の存在、ラメラ状組織の形成) を上手く説明できることが明らかになった。黒色カンラン石を含む火星隕石は高い衝撃圧を経験したにも関わら

ず高圧鉱物を含んでいないことが普通であるが、これは従来衝撃ステージ分類の指標とされてきた高圧鉱物が、その単純な有無だけでは指標として十分ではなく、形成と消失の速度論的效果を考慮する必要があることを示している。一方で、これまで衝撃ステージ分類の指標として用いられてきた高圧鉱物を含み、角レキ化していることが多い L コンドライトは、衝撃圧継続時間の長い、特異な一つの巨大衝突イベントを記録していたと考えられる。

3) さらに、角レキ化したポリミクトコレイライト隕石である Almahata Sitta の詳細な鉱物学的分析を行い、trachyandesite と斜長石を含むコレイライトの 2 つの破片についての形成環境の推定を行った。Trachyandesite は斜長石の Fe の価数から酸化的な環境で形成されていることがわかり、極還元性であったと考えられていたコレイライト母天体で酸化的環境が存在していたことを示した。また、斜長石を含むコレイライトは他の普通のコレイライトと同様に急冷過程を経たことをカンラン石の組成から示し、斜長石の存在が特異ではなかったことが明らかになった。

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 7 件)

Takenouchi A., Mikouchi T. and Kogure T. (2017) Mineralogical study of brown olivine in Northwest Africa 1950 shergottite and implications for the formation mechanism of iron nanoparticles. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 52, 査読有, DOI: 10.1111/maps.12949.

Sugiyama K., Arima H., Konno H. and Mikouchi T. (2017) XAFS study on the location of Cu and Mn in a greenish blue elbaite from Alto dos Quntos mine, Brazil. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, 112, 139-146, 査読有, DOI: 10.2465/jmps.161011.

Oda H., Miyagi I., Kawai J., Sukanuma Y., Funaki M., Imae N., Mikouchi T., Matsuzaki T. and Yamamoto Y. (2016) Volcanic ash in bare ice south of Sør Rondane Mountains, Antarctica: geochemistry, rock magnetism and nondestructive magnetic detection with SQUID gradiometer. *Earth, Planets and Space*, 68, id. 39, 19 pp., 査読有, DOI: 10.1186/s40623-016-0415-3.

Schiller M., Connelly J. N., Glad A. R., Mikouchi T. and Bizzarro M. (2015) Early accretion of protoplanets inferred from a reduced inner solar system ²⁶Al inventory. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 420, 45-54, 査読有, DOI: 10.1016/j.epsl.2015.03.028.

Joy K., Visscher C., Zolensky M., Mikouchi T., Hagiya K., Ohsumi K. and Kring D. (2015) Identification of magnetite in lunar regolith breccia 60016: Evidence for

oxidised conditions at the lunar surface. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 50, 1157-1172, 査読有, DOI: 10.1111/maps.12462.

Komatsu M., Fagan T. J., Mikouchi T., Petaev M. I. and Zolensky M. E. (2015) LIME silicates in amoeboid olivine aggregates in carbonaceous chondrites: Indicator of nebular and asteroidal processes. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 50, 1271-1294, 査読有, DOI: 10.1111/maps.12460.

Homma Y., Kouketsu Y., Kagi H., Mikouchi T. and Yabuta H. (2015) Raman spectroscopic thermometry of carbonaceous material in chondrites: four-band fitting analysis and expansion of lower temperature limit. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, 110, 276-282, 査読有, DOI: 10.2465/jmps.150713a.

[学会発表] (計 97 件)

1. Mikouchi T., et al. "Almahata Sitta MS-MU-011 and MS-MU-012: Formation Conditions of Two Unusual Rocks from the Ureilite Parent Body", 49th Lunar Planetary Sci. Conf., 2018.
2. Arai T. et al. "Na Variation and Redox State of Plagioclase in CK4 Chondrites: Possible Record of Thermal Metamorphism", 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
3. Arai T. et al. "DESTINY+ Mission: Flyby of Geminids Parent Asteroid (3200) Phaethon and In-Situ analyses of dust accreting on the Earth", 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
4. Hayashi H. et al. "Shock Metamorphism of the Northwest Africa 7203 Angrite", 49th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2018.
5. Nyquist L. E. et al. "Radiogenic and Cosmogenic Isotopes in Los Angeles and Dhofar 378 Shergottites", 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
6. Ono H. et al. "Silica Minerals in Non-Cumulate Eucrites with High Thermal Metamorphism", 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
7. Takenouchi A. and Mikouchi T. "Local Olivine Darkening by the Formation of Iron Nanoparticles in Shergottite Olivines", 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
8. Yokoi N. et al. "Iron Valence States of Plagioclase in Some Lunar Meteorites", 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
9. Zolensky M. et al. "Measuring the Shock Stage of Asteroid Regolith Grains by Electron Back-Scattered Diffraction", 49th Lunar and Planet. Sci. Conf. 49th Lunar Planet. Sci. Conf., 2018.
10. Komatsu M. et al. "Petrology of amoeboid olivine aggregates in Antarctic CR chondrites: Evidence for aqueous alteration and shock metamorphism", 40th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2017.
11. Ono H. et al. "Quartz and tridymite in the Yamato 980433 cumulate eucrite: Implications for its thermal history", 40th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2017.
12. Takenouchi A. et al. "Iron nano-particles in brown olivine in Yamato 984028 shergottite", 40th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2017.
13. Hoffmann V. H. et al. "Carbon phases in stony meteorites I", 40th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2017.
14. Hoffmann V. H. et al. "Almahata Sitta Meteorite MagSus Classification Database – the Enstatite Chondrites", 40th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2017.
15. Hoffmann V. H. et al. "Systematic detection of carbonaceous phases in chondrites – request for sophisticated techniques for Hayabusa 2 particle analyses", Hayabusa Symposium 2017, 2017.
16. Zolensky M. et al. "Measuring the Shock Stage of Asteroid Regolith Grains by Electron Back-Scattered Diffraction and Synchrotron X-ray Diffraction", Hayabusa Symp. 2017, 2017.
17. 三河内 岳 「火星隕石ナクライト・シャシナイト起源岩体の関係について」日本惑星科学会 2017 年年会, 2017 年.
18. 三河内 岳ら「Asuka 12209 アングライト中方ラン石外来結晶の形成環境」日本鉱物科学会 2017 年年会, 2017 年.
19. 東 浩太郎ら「Kaidun 隕石中の特異な岩片についての鉱物学的研究」日本鉱物科学会 2017 年年会, 2017 年.
20. 竹之内 惇志・三河内 岳 「火星隕石中黒色カンラン石の形成過程の再検討: 不均化反応による鉄ナノ粒子の形成」日本鉱物科学会 2017 年年会, 2017 年.
21. 大野 遼ら「Millbillillie ユークライト隕石中のシリカ多形」日本鉱物科学会 2017 年年会, 2017 年.
22. 山中 高光ら「Mn₃-xFexO₄ の J-PARC 中性子回折実験による高圧・高温での磁気転移、構造転移の解析」日本鉱物科学会 2017 年年会, 2017 年.
23. 小池 みずほら「分化隕石リン酸塩鉱物の U-Pb 年代・希土類元素分析」日本地球化学会 2017 年年会, 2017 年.
24. Mikouchi T., et al. "Iron valence variation in plagioclase from eucrite meteorites: Additional information and implications", 27th Goldschmidt Conf., 2017.
25. Mikouchi T., et al. "Multiple Igneous Bodies for Nakhilites and Chassignites as Inferred from Olivine Cooling Rates Using Calcium Zoning", 80th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2017.
26. Hasegawa H. et al. "Petrological and petrofabric study of RBT 04239 Compared to Tafassasset and Brachinites", 80th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2017.
27. Komatsu M. et al. "Amoeboid Olivine Aggregates in Antarctic CR Chondrites: Petrologic Variations Among CR Chondrites", 80th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2017.
28. Ono H. et al. "Silica Polymorphs in the Millbillillie Eucrite: Implications for Their Formation Conditions", 80th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2017.
29. Takenouchi A. et al. "Comparison of Shock Induced Lamellar Texture in Olivine Between Martian Meteorites and Experimentally Shocked Basalt", 80th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2017.
30. Hoffmann V. H. et al. "Almahata Sitta Meteorite – Compilation of Magnetic Susceptibility Database", 80th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2017.
31. 大野 遼ら「Eucrite の結晶化実験から推測する Non-cumulate eucrite 中シリカ多形の形成過程」日本地球惑星科学連合 2017 年

- 大会、2017年。
32. 竹之内 惇志ら「衝撃実験による玄武岩中カンラン石の微細構造と火星隕石中カンラン石との比較」日本地球惑星科学連合2017年大会、2017年。
 33. 堀内 美沙ら「火星衛星探査計画(MMX)のための LIBS を用いた元素分析」日本地球惑星科学連合2017年大会、2017年。
 34. Mikouchi T., et al. “Mineralogy of olivine xenocrysts in Asuka 12209 angrite”, 48th Lunar Planetary Sci. Conf., 2017.
 35. Mikouchi T. “Petrology and mineralogy of the Northwest Africa 8179 polymict ureilite” 48th Lunar Planetary Sci. Conf., 2017.
 36. Hasegawa H. et al. “Mineralogical and petrofabric study of paired brachinites Elephant Moraine 99402 and 99407”, 48th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2017.
 37. Buchanan P. C. et al. “Oriented mineral transformation in a dark inclusion from the Leoville meteorite”, 48th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2017.
 38. Higashi K. et al. “Brachinite-like clast in the Kaidun meteorite: First report of primitive achondrite material”, 48th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2017.
 39. Komatsu M. et al. “Ultra-refractory calcium-aluminum-rich inclusion in an AOA in CR chondrite Yamato-793261”, 48th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2017.
 40. Ono H. et al. “Crystallization experiment of silica minerals in eucrites”, 48th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2017.
 41. Takenouchi A. et al. “Shock recovery experiment of olivine-phyric basalt for constraining formation conditions of brown olivine in Martian meteorites”, 48th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2017.
 42. Park J. et al. “ $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ in the Martian atmosphere: New evidence from Martian meteorites”, 48th Lunar Planetary Sci. Conf., 2017.
 43. Zolensky M. E. et al. “The Relationship Between Cosmic-Ray Exposure Ages and Mixing of CM Chondrite Lithologies”, 48th Lunar Planetary Sci. Conf., 2017.
 44. Mikouchi T., et al. “Consortium study of the Asuka 12209 angrite”, 39th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2016.
 45. Komatsu M. et al. “A unique ultra-refractory inclusion-bearing AOA from Y-793261 CR Chondrite”, 39th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2016.
 46. Ono H. et al. “Mineralogical study of coexisting silica polymorphs in several cumulate and non-cumulate eucrites”, 39th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2016.
 47. Hoffmann V. H. et al. “News on the Machtenstein H5 ordinary chondrite”, 39th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2016.
 48. 三河内 岳「地球外物質の衝撃変成履歴と惑星物質進化」日本光学会年次学術講演会 シンポジウム、2016年(招待講演)。
 49. 小松 睦美ら「南極産 CR コンドライト隕石の水質変成度と始源性の評価について」日本惑星科学会2016年会、2016年。
 50. 三河内 岳「ナクライト・シャシナイト火星隕石の冷却速度と形成岩体」日本鉱物科学会2016年年会、2016年。
 51. 井上 優ら「NWA 3222 コレイライトの鉱物学的研究：Hughes 009 タイプユレイライトとの関連性」日本鉱物科学会2016年年会、2016年。
 52. 竹之内 惇志ら「火星隕石中黒色カンラン石との比較による月隕石中着色カンラン石の着色過程の推定」日本鉱物科学会2016年年会、2016年。
 53. 大野 遼ら「ユークライト隕石 Y-75011中のシリカ多形について」日本鉱物科学会2016年年会、2016年。
 54. 長谷川 輝・三河内 岳「Miller Range 09ペアと Reid 013 Brachinite 隕石の鉱物学的研究」日本鉱物科学会2016年年会、2016年。
 55. 木田 祐輔ら「元素置換に伴うアパタイトの構造変化」日本鉱物科学会2016年年会、2016年。
 56. Mikouchi T., et al. “Petrology, mineralogy and O-isotopic composition of the Northwest Africa 10153 Nakhilite: A Sample from a Different Flow from Other Nakhilites?”, 79th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2016.
 57. Takenouchi A. et al. “Mineralogical Study of Reddish Olivine in Dhofar 307 Lunar Meteorite: Comparison with Brown Olivine in Martian Meteorites”, 79th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2016.
 58. Ono H. et al. “Mineralogy of Silica Polymorphs in Basaltic Clasts in Eucrites”, 79th Annual Meet of Meteorit. Soc., 2016.
 59. Inoue M. et al. “Petrography and Mineralogy of Northwest Africa 3222: Magmatically Zoned Augite-Bearing Ureilite with only Little Carbon”, Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2016.
 60. Hasegawa H. et al. “Mineralogical and Petrofabric Study of Brachinite Reid 013”, Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2016.
 61. Hagiya K. et al. “Crystallographic Study of Itokawa Particle, RA-QD02-0127 by Using Energy-Scanning X-Ray Diffraction Method with Synchrotron Radiation”, 79th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2016.
 62. Nagao K. et al. “Noble gases in Nakhla and three nakhilites Miller Range 090030, 090032, and 090136”, 79th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2016.
 63. Mikouchi T. “Application of synchrotron X-ray radiation to analyze extraterrestrial materials”, International Workshop: Planetary Sci. & Space Exploration, 2016.
 64. Mikouchi T., et al. “Cooling history and redox state of NWA 8694 chassignite: Comparison with Chassigny and NWA 2737”, 26th Goldschmidt Conf., 2016.
 65. Komatsu M. et al. “An Amoeboid Olivine Aggregate in Polymict Eucrite LEW 85300”, 26th Goldschmidt Conf., 2016.
 66. Zolensky M. et al. “Ceres revealed in a grain of salt”, 26th Goldschmidt Conf., 2016.
 67. Ono H. et al. “Silica polymorphs in Y-75011 Eucrite: Implications for their Formation Conditions”, 26th Goldschmidt Conf., 2016.
 68. Kameda S. et al. “LIBS for Martian Moons eXploration (MMX)”, 3rd International Workshop Instrum. Planet. Mission, 2016.
 69. 荒井 朋子ら “DESTINY+: Phaethon fLyby with reUSable probe” 日本地球惑星科学連合2016年大会、2016年。
 70. 大野 遼ら「集積岩ユークライト中に含まれる Quartz および Tridymite の鉱物学的研究」日本地球惑星科学連合2016年大会、2016年。
 71. 堀内 美沙ら「火星衛星探査計画のため

- の LIBS を用いた隕石判別実験」日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年。
72. Mikouchi T. et al. "Mineralogical Investigation of Yamato 002712 Basaltic Shergottite: Implications for the Redox Change During Crystallization", 47th Lunar Planet. Sci. Conf., 2016.
 73. Mikouchi T., et al. "Synchrotron radiation XRD analysis of indialite in Y-82094 ungrouped carbonaceous chondrite", 47th Lunar Planetary Sci. Conf., 2016.
 74. Zolensky M. et al. "Unique View of C Asteroid Regolith from the Jbilet Winselwan CM Chondrite", 47th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2016.
 75. Takenouchi A. et al. "Iron Micro-XANES analysis of colored olivine in martian meteorites", 47th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2016.
 76. Komatsu M. et al. "Petrology of Amoeboid Olivine Aggregates in Antarctic CR Chondrites: Comparison with Other Carbonaceous Chondrites", 47th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2016.
 77. Ono H. et al. "Silica Polymorphs in Cumulate Eucrites", 47th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2016.
 78. Inoue M. et al. "Petrography and Mineralogy of Calama 001, Catalina 037, Northwest Africa 2895: New Augite-Bearing Ureilites", 47th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2016.
 79. Hasegawa H. et al. "Mineralogical and Petrofabric study of Brachinite-Like MIL 090206, 090340 and 090405", 47th Lunar Planet. Sci. Conf., 2016.
 80. Mikouchi T. "Mineralogy and petrology of Y002712 shergottite", 38th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2015.
 81. Homma Y. et al. "Raman spectroscopic thermometer for carbonaceous materials in chondrites", 38th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2015.
 82. Komatsu M. et al. "Raman spectroscopy and petrology of Antarctic CR chondrites: Comparison with other carbonaceous chondrites", 38th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2015.
 83. Hasegawa H. et al. "Mineralogical comparison of Northwest Africa 6112 and Divnoe ungrouped achondrites", 38th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2015.
 84. Takenouchi A. et al. "Micro-Raman spectroscopic analysis of darkened olivine in Martian meteorites", 38th NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 2015.
 85. Zolensky M. et al. "Measurement of shock effects recorded by Hayabusa samples", HAYABUSA 2015 3rd Symp. of Solar System Materials, 2015.
 86. 小松 睦美ら「炭素質コンドライト隕石の変成の特徴：はやぶさ 2 データの「始原性」の評価に向けて」日本惑星科学会 2015 年年会、2015 年。
 87. 三河内 岳「スターダスト・はやぶさサンプル分析の成果（～Phaeton 探査へ）」第 8 回 C P S 月惑星探査研究会、2015 年
 88. 三河内 岳ら「アングライト隕石中の含 Si カルシウムリン酸塩の鉱物結晶学」日本鉱物科学会 2015 年年会、2015 年。
 89. 竹之内 惇志ら「火星隕石中黒色カンラン石の高圧相転移」日本鉱物科学会 2015 年年会、2015 年。
 90. 長谷川 輝ら「NWA 6112 始原的エコンドライトの鉱物学的研究」日本鉱物科学会 2015 年年会、2015 年。
 91. 佐竹 渉ら「マスケリナイトの Fe 価数から推測したシャーゴットイト火星隕石のマントルソースの酸化還元状態」日本鉱物科学会 2015 年年会、2015 年。
 92. Mikouchi T., et al. "Mineralogy and noble gas of NWA 8707 L melt rock: Implications for thermal and shock history of an L chondrite parent body", 25th Goldschmidt Conf., 2015.
 93. Mikouchi T. et al. "Transmission Electron Microscopy of SilicoApatite in D'Orbigny", 78th Annual Meeting Meteorit. Soc., 2015.
 94. Nyquist L. E. et al. "'Normal Planetary" Ne-Q in Chelyabinsk and Mars, 78th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2015.
 95. Goodrich C. A. et al. "A Volcanic (Quenched) Angrite Clast in Polymict Ureilite DaG 319", 78th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2015.
 96. Takenouchi A. et al. "Olivine Darkening and Shock Textures in ALH 77005 Lherzolithic Shergottite", 78th Annual Meeting of The Meteorit. Soc., 2015.
 97. 本馬 佳賢ら「コンドライト隕石へのラマン分光炭質物温度計の適用」日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年。
- 〔図書〕(計 0 件)
- 〔産業財産権〕
- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)
- 〔その他〕
ホームページ等
6. 研究組織
- (1)研究代表者
三河内 岳 (MIKOUCHI, Takashi)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：3 0 2 7 2 4 6 2
- (2)研究分担者
- (3)連携研究者
- (4)研究協力者
ZOLENSKY, Michael
HOFFMANN, Viktor
GOODRICH, Cyrena
長尾 敬介 (NAGAO, Keisuke)