

令和 5 年 5 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01269

研究課題名(和文) ガス惑星の大移動は生まれたてのS型小惑星を破壊したのか？

研究課題名(英文) Did the great migration of gas giants destroy a newborn S-type asteroid?

研究代表者

宮原 正明 (Miyahara, Masaaki)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・准教授

研究者番号：90400241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：原始太陽系が誕生して間もない頃、原始木星・土星といった巨大ガス惑星が太陽系内を大きく往復移動し、この惑星大移動が引き起こした重力散乱は、小惑星同士の衝突を誘発したと推測されている。本研究計画は、小惑星の欠片である隕石試料を用いて、衝突の痕跡である高圧鉱物やコンドリュールの変形組織等を用いて、小惑星の破壊のメカニズムやプロセスを明らかにし、“ガス惑星は小惑星の壊し屋であったか？”を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原始太陽系内での激しい天体同士の衝突は現在の小惑星に多様性や熱進化をもたらした。天体衝突現象の解明は、数値シミュレーションや衝突実験が中心で、小惑星の欠片である隕石試料を用いた研究は少なく実証性に乏しい。本研究計画では、衝突実験やモデルだけでなく、隕石中の高圧鉱物の種類、組み合わせ、化学組成や粒子サイズ等に基づき衝突が起きた際の圧力や温度を読み取り、天体の破壊プロセスを解き明かした点に学術的な意義がある。

研究成果の概要(英文)：In the early days of the primitive solar system, giant gas giants such as proto-Jupiter and Saturn moved back and forth within the solar system, and the gravitational scattering caused by these planetary migrations is thought to have triggered collisions between asteroids. This research project clarified the mechanism and process of asteroid destruction using meteorite samples, which are pieces of asteroids, and high-pressure minerals and deformation structures of chondrules, which are traces of collisions, to verify "Were gas giants the destroyers of asteroids?"

研究分野：高圧科学，隕石学

キーワード：高圧鉱物 衝突 隕石 衝撃銃実験 コンドリュール リン酸塩鉱物 カイネティクス

1. 研究開始当初の背景

新しい太陽系形成モデル「Grand tack」は、木星や土星などのガス惑星が、最初は太陽系の内側へ、その後、外側に向かって移動したと仮定している。この大移動によって、ガス惑星の重力が原始火星や原始小惑星帯にあった岩石物質を太陽系内や系外に飛ばし、岩石物質が希薄となった場所に火星や小惑星帯が形成されたとされている。最近の分光観測精度の向上によって、小惑星のスペクトル、反射率、表層構成物質、サイズなどが多様で、その分布が複雑であることが明らかになっている。ガス惑星の大移動に伴う重力散乱によって、異なる起源を持つ原始小惑星が移動し、衝突、合体、破壊、再集積を繰り返すことで、今の太陽系内の小惑星の多様性がもたらされたと予想されている。

S型小惑星は、小惑星帯の内側に存在する小惑星のグループで、普通コンドライトと呼ばれる隕石の母天体である。天体衝突の速度を計算するために行われたシミュレーションでは、ガス惑星が太陽系内を移動すると、小惑星同士の衝突速度は4 km/s以下に制限される。しかし、S型小惑星は非常に小さいため、4 km/s程度の衝突でも破滅的な破壊が起こる。天体衝突では、衝撃波による超高圧力が発生し、その圧力は伝播するにつれて急激に減衰し、最終的には弾性波になる。この過程で、クラックが発生し、破壊が生じる。衝撃圧縮では、圧力の上昇は不連続的で、エントロピーの増加を伴い、温度はかなり高くなる。一方、圧力減衰時は、断熱膨張過程であり、温度の降下は遅い。つまり、衝突後、小惑星には様々な熱進化が起こる。天体破壊のメカニズムやプロセス、衝突に伴う熱進化の解明は、数値シミュレーションや衝突実験が中心で、小惑星の欠片である隕石試料を用いた研究は少なく実証性に乏しい。

2. 研究の目的

「衝突破壊強度」とは、天体が衝突によってどの程度破壊されるかを表す指標である。この強度は、衝突が起こった場所で発生する圧力の大きさと持続時間が重要である。また、衝撃波が天体内部でどのように伝播・減衰するかも重要な要素である。普通コンドライトから得られたこれらのデータから、母天体であるS型小惑星の内部での衝撃圧力分布を研究した例はまだない。普通コンドライト母天体の構造モデルは“オニオンシェル型”が提案されている。“オニオンシェル型”では天体の最外殻が未変成の岩石学タイプ3、天体の中心領域は熱変成の進んだ岩石学タイプ6の普通コンドライトに相当する。衝突で生じたクラックに沿って滑りや応力の集中で岩石の一部が溶融する。事前調査の結果、普通コンドライトの岩石学タイプ3と4、タイプ5と6で溶融の起き方が異なっていた。さらに、タイプ5～6には様々な高圧鉱物が含まれるのに対し、タイプ3～4には殆ど含まれない。つまり、S型小惑星表層と深部で衝撃に対する応答が異なっている可能性がある。

高圧鉱物のカイネティクスに基づく衝撃圧力の持続時間は数百ミリ秒～数秒で、衝撃圧力、速度、持続時間すべてが衝突数値シミュレーションの予測値と整合的である。すなわち、高圧鉱物を用いた天体衝突規模の見積もりは有効である。しかし、この手法では高圧鉱物が存在しないS型小惑星表層物質の衝撃圧力推定は不可能である。また、減圧時と常圧に戻った後の残留熱、或は新たな熱源(低圧高温型の衝撃イベントや火成活動など)による高圧鉱物から低圧相への逆転移現象、そのカイネティクスが全く考慮されておらず、衝撃圧力・時間の過小見積もりや衝撃イベントが見逃されている可能性がある。また、普通コンドライトが経験した衝突の年代も明らかではない。以上の問題点を踏まえ、本研究の主要な目的はS型小惑星内における衝撃圧力分布、持続時間、衝突年代を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

本研究計画はS型小惑星内における衝撃圧力分布、持続時間、衝突年代を明らかにすることを目的とし、高圧鉱物の逆転移現象解明とそのカイネティクスの決定、コンドライトの衝撃変形実験、リン酸塩鉱物の系統的調査を行う。H、L、LLグループ普通コンドライトの各岩石学タイプに含まれる高圧鉱物の系統的記載、岩石学タイプ3のコンドライトのアスペクト比測定は既に一部事前調査で行っている。その結果、S型小惑星の内、HとLL、特にHグループ普通コンドライトから構成される天体は、残留熱或は新たな熱源による高圧鉱物の逆転移の痕跡が顕著で、衝撃圧力とその持続時間の正確な見積もりが出来ていない。これはHとLLがLグループ普通コンドライトから構成されたS型小惑星とは異なる内部構造・進化史を持つためと予測した。

以上のことを考慮し、岩石学タイプ5～6が占める深部領域の衝撃圧力は高圧鉱物の相平衡図を用いて見積もる。HとLLグループでは、明らかになる高圧鉱物の逆転移の影響を考慮してより正確な圧力と持続時間を見積もる。岩石学タイプ3～4が占める表層領域の衝撃圧力は得られた相関式にタイプ3の実測値を代入して得る。これで、H、L、LLグループそれぞれのS型小惑星内の衝撃圧力分布を描く。衝撃圧縮の持続時間からは衝突した天体のサイズが算

出でき、そのサイズをクレーター則に当てはめることで、どの程度の破壊が起きたか（例えば、コア型破壊やコーン型破壊）？クレーターサイズ(大きさ)と深さ)は？に対する解答が得られる。また、の結果から、衝突年代が“Grand tack”が予測する期間と調和的か？に対する解答が得られる。

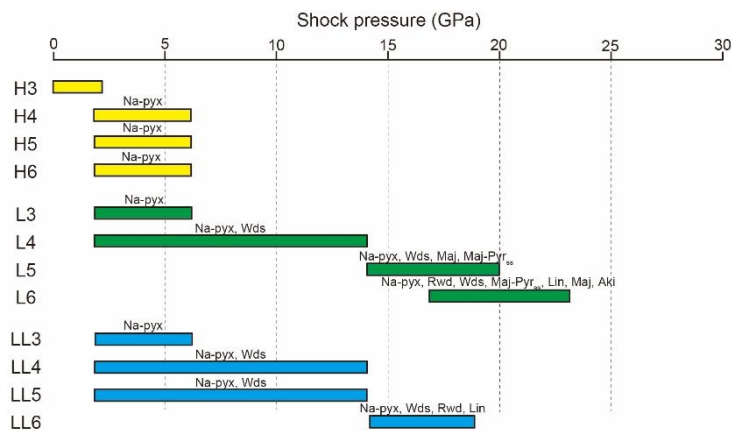
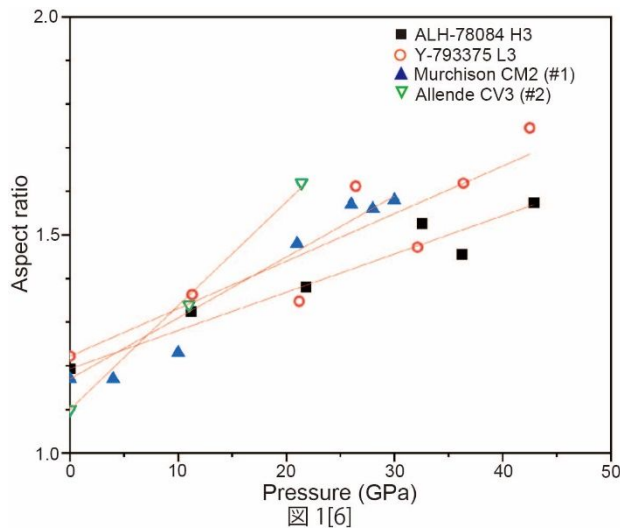
4. 研究成果

事前調査分と合わせて、溶融組織をもつ約 50 枚の H, 約 60 枚の L, 約 40 枚の LL グループ普通コンドライト(岩石学タイプ 3 ~ 6 を網羅)の岩石薄片を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) で観察した。その後、レーザーラマン分光装置により、高圧鉱物の相同定を行った。試料は主に極地研究所所有の南極隕石であるが、試料に多様性を持たせるために非南極隕石も用いた。衝撃溶融組織の存在する H, L, LL の系統的調査の結果、高圧鉱物は L に最も豊富に存在し、次いで LL に多く、H には少ないことが判明した。また、高圧鉱物の種類は、岩石学タイプと明確な関係がある。このような傾向は、南極と非南極隕石の何れにも認められ、普通コンドライトの普遍的な特徴と言える。高圧鉱物の系統的調査の過程では、オリビンの不一致溶融や最も重要な高圧鉱物の 1 つブリッジマナイトを発見することもできた(1, 2)。高圧鉱物の中には低圧相への逆転移を起こしているものもあり、その逆転移メカニズムの解明も試みた(3, 4)。普通コンドライト中の主要な高圧鉱物であるリングウッドイト、ブリッジマナイト及びリングンアイトの逆転移カイネティクスはマルチアンビルプレスを用いたその場 X 線回折実験とその回収試料試料で決定した(5)。

コンドリュールの衝撃変形実験は、コンドリュールサイズの異なる H3 と L3 普通コンドライトを用いて行った(6)。衝撃銃実験は一段式火薬銃を使用し、衝撃圧 11-43 GPa の範囲で行った。衝撃銃実験後、回収された全ての試料で溶融組織が見つかり、タイプ 3 普通コンドライトは、少なくとも 11 GPa の衝撃圧でも衝撃溶融が起きることが判明した。コンドリュールのアスペクト比は H3 と L3 のいずれにおいても衝撃圧の上昇と共に大きくなった(図 1)。つまり、コンドリュールの塑性変形が衝撃変成作用により起きていた。衝撃圧とコンドリュールのアスペクト比は一次式で近似でき、H3 と L3 では傾きに顕著な違いはなく、アスペクト比の変化はコンドリュールサイズには依存しない。また、炭素質コンドライトの衝撃銃実験結果も考慮すると、非平衡コンドライトでは衝撃圧とアスペクト比の一次式に明確な差異はないことが判明した。

リン酸塩鉱物の系統的調査は高圧鉱物の系統的調査を行った普通コンドライト試料を用いて行った。岩石学タイプ 3 ~ 6 の全てでリン酸塩鉱物を見出し、その産状と鉱物種の同定を行った。ただし、当初想定していたよりリン酸塩鉱物の存在率は低く、その粒子サイズも U-Pb 測定に十分なものも少なかった。リン酸塩鉱物の U-Pb 測定は新型コロナ感染対策の行動制限の影響を強く受け、当初予定より大幅な変更を強いられた。アナログ物質として月起源隕石中のリン酸塩鉱物の U-Pb テスト測定を行い、今後の測定のプロトコル作成をした(7)。

以上の研究成果を整理し、普通コンドライト母天体の破壊プロセスを検討した(8)。L と LL グループ普通コンドライト母天体では表層から深部に向かって衝撃圧が高くなっており(図 2)、これは母天体がスボール破壊していたことを意味する。一方、H グループ普通コンドライト母天体では、複数回の衝突を経験した可能性がある。母天体の大規模破壊に対する時間軸を入れるには至らなかったが、異なる化学グループ母天体ごとに異なる衝突破壊の歴史をもつことが判明した。



参考文献

1. K. Tiwari, S. Ghosh, M. Miyahara, D. Ray, Shock-Induced Incongruent Melting of Olivine in Kamargaon L6 Chondrite. *Geophys. Res. Lett.* **48**, e2021GL093592 (2021).
2. S. Ghosh *et al.*, Natural Fe-bearing aluminous bridgmanite in the Katol L6 chondrite. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **118**, e2108736118 (2021).
3. K. Fukimoto *et al.*, Back-transformation mechanisms of ringwoodite and majorite in an ordinary chondrite. *Meteorit. Planet. Sci.* **55**, 10.1111/maps.13543 (2020).
4. K. Tiwari, S. Ghosh, M. Miyahara, D. Ray, Vesicular Olivines and Pyroxenes in Shocked Kamargaon L6 Chondrite: Implications for Primary Volatiles and Its Multiple Impacts History. *J. Geophys. Res.: Planets* **127**, e2022JE007420 (2022).
5. T. Kubo *et al.*, Back-transformation processes in high-pressure minerals: implications for planetary collisions and diamond transportation from the deep Earth. *Progress in Earth and Planetary Science* **9**, 21 (2022).
6. M. Miyahara *et al.*, Chondrule Flattening by Shock Recovery Experiments on Unequilibrated Chondrites. *J. Geophys. Res.: Planets* **126**, e2021JE006864 (2021).
7. N. Morimoto *et al.*, Uranium–Lead Systematics of Lunar Basaltic Meteorite Northwest Africa 2977. *Mass Spectrometry* **12**, A0115–A0115 (2023).
8. M. Miyahara *et al.*, Systematic investigations of high-pressure polymorphs in shocked ordinary chondrites. *Meteorit. Planet. Sci.* **55**, 2619–2651 (2020).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Miyahara M., Yamaguchi A., Saitoh M., Fukimoto K., Sakai T., Ohfuji H., Tomioka N., Kodama Y., and Ohtani E.	4. 巻 55
2. 論文標題 Systematic investigations of high-pressure polymorphs in shocked ordinary chondrites.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 2619-2651
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fukimoto K., Miyahara M., Sakai T., Ohfuji H., Tomioka N., Kodama Y., Ohtani E., and Yamaguchi A.	4. 巻 50
2. 論文標題 Back-transformation mechanisms of ringwoodite and majorite in an ordinary chondrite.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1749-1763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Miyahara M., Ohtani E., Nishijima M., and El Goresy A.	4. 巻 291
2. 論文標題 Olivine melting at high pressure condition in the chassignite Northwest Africa 2737	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2019.04.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yang J., Zhang C., Miyahara M., Tang X., Gu L., Lin Y.	4. 巻 258
2. 論文標題 Evidence for early impact on a hot differentiated planetesimal from Al-rich micro-inclusions in ungrouped achondrite Northwest Africa 7325	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 310-335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2019.03.010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Terada K., Sano Y., Takahata N., Ishida A., Tsuchiyama A., Nakamura T., Noguchi T., Karouji Y., Uesugi M., Yada T., Nakabayashi M., Fukuda K., Nagahara H.	4. 巻 8
2. 論文標題 Thermal and impact histories of 25143 Itokawa recorded in Hayabusa particles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-30192-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takenouchi A., Miouchi T., Yamaguchi A.	4. 巻 53
2. 論文標題 Shock melted glassy veins and brown olivine in Martian meteorites: Implications for their shock pressure-temperature histories	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 2259-2284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Pittarello L., Yamaguchi A., Roszjar J., Debaille V., Koeberl C., Claeys P.	4. 巻 54
2. 論文標題 To be or not to be oxidized: a case study of olivine behavior in the fusion crust of ureilite A 09368 and H chondrites A 09004 and A 09502	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1563-1578
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13284	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Aonishi T., Hirata T., Kuwatani T., Fujimoto M., Chang Q., Kimura J.	4. 巻 33
2. 論文標題 Numerical inversion method for improving spatial resolution of elemental imaging by laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	6. 最初と最後の頁 2210-2218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ja00334j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yokoyama T., Kimura J., Mitsuguchi T., Danhara T., Hirata T., Sakata S., Iwano H., Maruyama S., Chang Q., Miyazaki T., Mrakami H., Saito-Kokubu Y.	4. 巻 52
2. 論文標題 U-Pb dating of calcite using LA-ICP-MS: Instrumental setup for non-matrix-matched age dating and determination of analytical areas using elemental imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 531-540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0541	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Moromoto N., Kawai Y., Terada K., Miyahara M., Takahata N., Sano Y., Fujikawa N., and Anand M.	4. 巻 12
2. 論文標題 Uranium-lead systematics of lunar basaltic meteorite Northwest Africa 2977	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 A0115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5702/massspectrometry.A0115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tiwari K., Ghosh S., Miyahara M., and Ray D.	4. 巻 127
2. 論文標題 Vesicular olivines and pyroxenes in shocked Kamargaon L6 chondrite: Implications for primary volatiles and its multiple impacts history.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022je007420.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kubo T., Kamura K., Imamura M., Tange Y., Higo Y., and Miyahara M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Back-transformation processes in high-pressure minerals: Implications for planetary collisions and diamond transportation from the deep Earth.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-022-00480-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ghosh S., Tiwari K., Miyahara M., Rohrbach A., Vollmer C., Stagno V., Ohtani E., & Ray D.	4. 巻 118
2. 論文標題 Natural Fe-bearing Aluminous Bridgmanite in the Katol L6 chondrite.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.	6. 最初と最後の頁 e2108736118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2108736118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tiwari K., Ghosh S., Miyahara M., Ray D.	4. 巻 48
2. 論文標題 Shock-induced incongruent melting of olivine in Kamargaon L6 chondrite.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL093592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL093592.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyahara M., Edanaga J., Yamaguchi A., Kobayashi T., Sekine T., Nakamura A.	4. 巻 126
2. 論文標題 Chondrule flattening by shock recovery experiments on unequilibrated chondrites.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JGR Planets	6. 最初と最後の頁 e2021JE006864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JE006864	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮原正明	4. 巻 31
2. 論文標題 TEMで解き明かす隕石中の高圧鉱物と衝突過程	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 高圧力の科学と技術.	6. 最初と最後の頁 157-165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4131/jshpreview.31.157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Miyahara M., Yamaguchi A., Ohtani E., Tomioka N., Kodama Y.	4. 巻 56
2. 論文標題 Complicated pressure-temperature path recorded in the eucrite Padvarninkai.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1443-1458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13724	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyahara M., Tomioka N., & Bindi L.	4. 巻 8
2. 論文標題 Natural and experimental high-pressure, shock-produced terrestrial and extraterrestrial materials.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-021-00451-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計20件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 宮原正明, 枝長潤之介, 山口亮, 小林敬道, 関根利守, 中村綾花
2. 発表標題 タイプ3 普通コンドライトの衝撃回収実験
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naotaka Tomioka, Takuo Okuchi, Luca Bindi, Masaaki Miyahara, Toshiaki Iitaka, Zhi Li, Xiande Xie, Narangoo Purevjav, Kiyoshi Fujino, Tetsuo Irifune, Riho Tani, Yu Kodama
2. 発表標題 A new Mg ₂ SiO ₄ polymorph "poirierite" in shocked meteorites and its possible high-pressure synthesis conditions
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaaki Miyahara, Junnosuke Edanaga, Akira Yamaguchi, Takamichi Kobayashi, Toshimori Sekine
2. 発表標題 Shock and recovery experiments of petrologic type 3 ordinary chondrite
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fukimoto K., Miyahara M., Sakai T., Ohfuji H., Naotaka T., Kodama Y., Ohtani E., and Yamaguchi A.
2. 発表標題 The investigation of back-transformation mechanisms of ringwoodite and majorite in the Yamato 75267 H6
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Moromoto, Y. Kawai, S. Yokota, K. Terada, M., Miyahara, N. Takahata and Y. Sano
2. 発表標題 Uranium-lead systematics of lunar basaltic meteorite Northwest Africa 2977
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the meteoritical society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Tomioka, T. Okuchi, M. Miyahara, T. Iitaka, N. Purevjav, R. Tani, and Y. Kodama
2. 発表標題 Topotaxial intergrowths of epsilon-(Mg,Fe) ₂ SiO ₄ in wadsleyite and ringwoodite in shocked chondrites
3. 学会等名 82nd Annual Meeting of the meteoritical society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Miyahara, K. Kozuma, E. Ohtani, A. Yamaguchi, T. Sakai, H. Ohfuji, N. Tomioka, and Y. Kodama
2 . 発表標題 Shock-induced melting and high-pressure polymorphs in lunar basaltic meteorites
3 . 学会等名 82nd Annual Meeting of the meteoritical society (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kubo and M. Miyahara
2 . 発表標題 Time-resolved synchrotron X-ray observations of mineral transformations under static pressures: applications to non-equilibrium behaviors in shocked meteorites
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 M. Kayama, E. Ohtani, M. Miyahara, S. Kaneko, T., Sekine, S. Ozawa, and N. Hirao
2 . 発表標題 Raman spectroscopy of seifertite
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 N. Tomioka, T. Okuchi, M. Miyahara
2 . 発表標題 Lattice-shear-induced metastable formation of high-pressure silicates in shocked meteorites
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名	M. Miyahara, A. Yamaguchi, M. Saitoh, K. Fukimoto, T. Sakai, H. Ohfuji, N. Tomioka, Y. Kodama, and E. Ohtani
2. 発表標題	Can high-pressure polymorphs clarify an ordinary chondrite parent-body breakup?
3. 学会等名	Japan Geoscience Union Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Kubo T., Kojitani H., Kaneshima S., Higo Y., Tange Y.
2. 発表標題	Kinetics of the two-stage post-spinel transformation under subduction zone conditions: Implications for mantle flow across the 660-km discontinuity
3. 学会等名	Japan Geoscience Union meeting 2018
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	久保友明, 森山一哉, 今村公裕, 西原遊, 鈴木昭夫
2. 発表標題	D111型装置を用いたせん断変形場におけるMg ₂ SiO ₄ のオリビン - スピネル相転移実験
3. 学会等名	第59回高圧討論会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	久保友明, 嘉村航, 今村公裕, 宮原正明
2. 発表標題	高圧鉱物の逆相転移に関する実験的研究
3. 学会等名	第59回高圧討論会
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 Kubo T., Miyahara M.
2. 発表標題 Time-resolved synchrotron X-ray observations of mineral transformations under static pressures: applications to non-equilibrium behaviors in shocked meteorites
3. 学会等名 日本地球惑星連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kubo T., Moriyama K., Mori Y., Imamura M., Koizumi S., Nishihara Y., Suzuki A., Higo Y.
2. 発表標題 In-situ X-ray observations of the olivine-spinel transformation under shear deformation: preliminary results on the reaction-induced weakening
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miyahara M., Yamaguchi A., Saitoh M., Fukimoto K., Sakai T., Ohfuji H., Tomioka N., Kodama Y., Ohtani E.
2. 発表標題 The systematic investigations of high-pressure polymorphs in shocked ordinary chondrites
3. 学会等名 The Ninth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮原正明, 山口亮, 吹本幹太, 齋藤優人, 大藤弘明, 境毅, 大谷栄治
2. 発表標題 普通コンドライト中の高圧相の系統的調査
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miyahara M., Ohtani E., Nishijima M., El Goresy A.
2. 発表標題 Complex dynamic episode recorded in Chassignite NWA 2737
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Terada K., Sano Y., Takahata N., Ishida A., Tsuchiyama A., Nakamura T., Noguchi T., Karouji Y., Uesugi M., Yada Y., Nakabayashi M., Fukuda K., Nagahara H.
2. 発表標題 U-Pb systematics of Hayabusa particles: Constrains on the thermal and impact histories of 25143 Itokawa
3. 学会等名 Hayabusa 2018 symposium
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平田 岳史 (Hirata Takafumi) (10251612)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	寺田 健太郎 (Terada Kentaro) (20263668)	大阪大学・理学研究科・教授 (14401)	
研究分担者	久保 友明 (Kubo Tomoaki) (40312540)	九州大学・理学研究院・教授 (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山口 亮 (Yamaguchi Akira) (70321560)	国立極地研究所・研究教育系・准教授 (62611)	
研究分担者	関根 利守 (Sekine Toshimori) (70343829)	大阪大学・工学研究科・招へい教授 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	パイロイト大学			
インド	IIT Kharagpur			