

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04039

研究課題名（和文）天体放出物質の質量分析による地球型惑星・衛星系に偏在する物質輸送の観測的研究

研究課題名（英文）Observational study of mass transport unevenly distributed in terrestrial planetary and satellite systems by mass spectrometry of ejected material

研究代表者

横田 勝一郎（Yokota, Shoichiro）

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：40435798

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：地球や月の周回探査機による質量分析データを利用して、地球・月系に起きている物質輸送の評価を行った。ジオスペース探査機「あらせ」の観測データから、地球から散逸する酸素イオンに加えて窒素イオンや分子イオンを定量的に同定する手法を開発した。算出した散逸イオンの組成比を利用し、磁気嵐の経過とともに電離圏の供給源が次第に低高度・低緯度に移ることを示した。月探査衛星「かぐや」の観測データを利用して、放出される難揮発性元素イオンの放出量の分布を調査し、天体物質が始原的か進化を受けたかを区別できることを示した。この結果を、開発中の火星衛星探査計画（MMX）用質量分析器による観測計画検討に利用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙機搭載の質量分析装置によって地球から放出する大気の組成比を求めることで、大気進化の様子を調べた。月から放出する粒子を調べることで、月など小天体の成り立ちの情報が得られることを示した。火星とフォボスでも同様に構成粒子が放出していることが期待されるため、火星衛星探査計画MMXに搭載する質量分析器の将来観測計画の検討に、この研究成果を利用した。本成果は広く惑星環境の研究に役立つと期待できる。

研究成果の概要（英文）：Using mass spectrometry data from Earth and lunar orbiting spacecraft, I evaluated the mass transport occurring in the Earth-Moon system. A method was developed to quantitatively identify nitrogen ions and molecular ions as well as oxygen ions that escape from the Earth based on observation data from the Arase spacecraft. Using the calculated composition ratios of dissipated ions, I showed that the ionospheric supply source gradually shifts to lower altitudes and latitudes with the passage of magnetic storms. Using observation data from the lunar explorer KAGUYA, I investigated the distribution of emitted refractory ions and showed that it is possible to distinguish whether the source material is primordial or has undergone evolution. The results were used to examine the observation plan by the mass spectrometer for the Martian Mission Exploration (MMX).

研究分野：惑星科学

キーワード：質量分析 超高層大気 月 外気圏 大気散逸 スパッタリング

1. 研究開始当初の背景

地球と月は継続的に太陽風などの外的要因によって大気や表層の構成物質を宇宙空間に放出するだけでなく、外から飛来する物質の吸収も行っている。このような物質輸送(放出と吸収)は太陽系の惑星や小型天体にとって普遍的な現象である。物質輸送は惑星・衛星間に物質の移動も生じさせ、顕著な例として火星衛星に火星大気物質が数10億年に亘り降り積もっている予想がある。このような日々の物質輸送を定量的に理解することは天体起源隕石や帰還試料を分析する場合だけではなく、惑星・衛星系の進化を考える上でも重要である。そこで本研究では、地球や月の周回探査機による質量分析データを利用して各天体に対して放出及び供給される物質を網羅的に査定し、地球・月系に起きている物質輸送を定量的に評価する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、主に「あらせ」及び「かぐや」による質量分析のデータを利用して地球・月系で継続的に起こる物質輸送を定量的に調べることである。外的要因パラメータへの依存性を精査することで物理機構の解明やモデル化を目指し、火星・衛星系も含めた地球型惑星・衛星系の普遍的な物質輸送を明らかにする。

3. 研究の方法

これまでの地球から流出する大気成分の観測的研究は特に O^+ において進展しているが、近年「あらせ」によって初めて実現した中間エネルギー領域(10s keV—100s keV)での観測によって分子イオン($N_2^+/NO^+/O_2^+$)が初めて検出され、統計的研究が出来るほどの観測例が得られた。小型天体周辺でのイオン質量分析としては「かぐや」の他にほとんど例が無い。中性粒子の質量分析の例は多いが、特に揮発性物質については探査機本体からの脱ガスとの区別が困難となっている。中性質量分析器でHe, H_2O , Arについて比較的観測がされているため、追跡して評価を行うことで本研究の指標として利用出来る。一方で、 C^+ , N^+ , Na^+ , K^+ , Si^+ , その他金属イオンについて他に例の無い観測データが「かぐや」で得られている。

よって「あらせ」と「かぐや」搭載のイオン質量分析器の観測データを利用して以下の課題に取り組む。

【課題1】地球から流出する N^+ の統計的解析

質量分析モードでの「あらせ」の観測データから N^+ 検出イベントを全て探索する。 O^+ 分布に隣接する N^+ 検出イベント抽出の自動化手法を開発し、磁気圏活動度(Dst指数など)検出時の探査機位置、太陽風密度・速度への応答を調べる。

【課題2】地球から流出するその他重イオンの探索

質量分析モードでの「あらせ」の観測データから O^+ , N^+ , $N_2^+/NO^+/O_2^+$ 以外のマイナーな粒子種について評価する。これまで一例のみ地球磁気圏での Fe^+ 観測の報告がある(Christon et al., 2017, JGR)。月隕石の分析からは N_2 , H_2O , O_3 の地球からの到来の可能性も示唆されている(Ozima et al., 2008, PNAS)。「あらせ」質量分析器のエンジニアリング用リストモードデータが希少種の検出に適しているためこれも利用する。

【課題3】月から流出する揮発性イオン C^+ , N^+ , H_2O^+ の評価

巨大衝突を誕生時に経験した月は揮発性物質の全くない天体であると考えられてきたが、実際は月岩石サンプルの分析でも発見されていて (e.g. Saal et al., 2008, Nature)。「かぐや」によっても月から全球的に放出される様子が観測されている (図 1)。光学観測の実績のある Na の観測値を利用して、月面から放出される特に揮発性物質の流量を評価する。流星群イベント時にも着目し、惑星間ダストが衝突時に蒸発する成分の観測から月面への供給についても評価を試みる。

【課題4】月から流出する Si^+ と金属イオンの評価

金属イオン放出量の Si^+ との比を評価し、太陽風の増減や流星群イベントに対する応答を調べる。 Si^+ や金属イオンは二次イオンとして放出されるため、天体表面の化学的組成を反映している。月の起源・進化は豊富な月岩石分析によって既知であるが、未知の小型天体の場合は Si^+ や金属イオンの観測が始原的か否かを知る上で有用となる (Schaible et al., 2017, JGR)。月を試験サンプルとして Si^+ や金属イオンの観測による天体の起源・進化の評価精度を求める。

【課題5】月に到来する地球起源イオンの探索

【課題1】【課題2】より検出を目標とするイオン種を絞り、「かぐや」の観測データを O^+ (p6: 論文 13) 以外について網羅的に調べる。検出例がある場合はこれまでの到達量の見積もりを行う。

以上の課題に対する成果を進展毎に地球・月系における物質輸送のモデル化に向けて整理する。普遍的物理機構を抽出して火星・衛星系における物質輸送を将来観測に向けて予測する。その成果を MMX や BepiColombo による火星圏及び水星圏での質量分析器による観測計画に展開する。

4. 研究成果

ジオスペース探査機「あらせ」の観測データから地球から散逸する成分に着目して、主要な酸素イオンに加えて窒素イオンや分子イオンを定量的に同定する手法を開発した。窒素イオンや分子イオンは供給源となる地球電離圏の領域を示す情報となることを利用し、磁気嵐の経過とともに電離圏の供給源が次第に低高度・低緯度に移ることを統計的に示した。本研究で作成した窒素イオンや分子イオンを抽出するツールを「あらせ」の観測データ解析に広く利用できるように、標準化の整備も行った。

月探査衛星「かぐや」の観測データを利用して、天体からの放出されるイオンのうち難揮発性元素の放出量の分布を調査し、天体物質が始原的か進化を受けたかを区別できることを示した。この結果を、開発中の火星衛星探査計画 (MMX) 用質量分析器の科学目標に関する論文の一部として利用した。運航中の水星探査機 BepiColombo 用質量分析器の観測計画にも反映させ、金星フライバイ観測で得たデータの解釈に利用した。

以上の成果は、筆頭著者として一つの誌上発表と五つの学会発表となった。また、一つの修士論文と約 20 本の共著論文にもなった。更に筆頭著者として二つの論文を準備中である。

数値モデルを利用した物理機構の制約に幾つか未完の研究テーマが残ったが、MMX 計画での将来観測への課題に繋がることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計40件（うち査読付論文 40件／うち国際共著 34件／うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Persson M., Aizawa S., Andre N., Barabash S., Saito Y., Harada Y., Heyner D., Orsini S., Fedorov A., Mazelle C., Futaana Y., Hadid L. Z., Volwerk M., Collinson G., Sanchez-Cano B., Barthe A., Penou E., Yokota S. et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 BepiColombo mission confirms stagnation region of Venus and reveals its large extent	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 7743
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-35061-3	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 Kitamura N., Amano T., Omura Y., Boardsen S. A., Gershman D. J., Miyoshi Y., Kitahara M., Katoh Y., Kojima H., Nakamura S., Shoji M., Saito Y., Yokota S. et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 Direct observations of energy transfer from resonant electrons to whistler-mode waves in magnetosheath of Earth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6259
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-33604-2	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 Aizawa S., Persson M., Menez T., Andr? N., Modolo R., G?not V., Sanchez-Cano B., Volwerk M., Chaufray J.-Y., Baskevitch C., Heyner D., Saito Y., Harada Y., Leblanc F., Barthe A., Penou E., Fedorov A., Sauvaud J.-A., Yokota S., Auster U., Richter I., Mieth J., Horbury T.S., Louarn P., Owen C.J., Murakami G.	4. 巻 218
2. 論文標題 LatHyS global hybrid simulation of the BepiColombo second Venus flyby	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 105499 ~ 105499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.pss.2022.105499	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 Miyoshi Y., Shinohara I., Ukhorskiy S., Claudepierre S. G., Mitani T., Takashima T., Hori T., Santolik O., Kolmasova I., Matsuda S., Kasahara Y., Teramoto M., Katoh Y., Hikishima M., Kojima H., Kurita S., Imajo S., Higashio N., Kasahara S., Yokota S. et al.	4. 巻 218
2. 論文標題 Collaborative Research Activities of the Arase and Van Allen Probes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11214-022-00885-4	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 Murase Kiyoka, Kataoka Ryuho, Nishiyama Takanori, Nishimura Koji, Hashimoto Taishi, Tanaka Yoshimasa, Kadokura Akira, Tomikawa Yoshihiro, Tsutsumi Masaki, Ogawa Yasunobu, Uchida Herbert Akihito, Sato Kaoru, Kasahara Satoshi, Mitani Takefumi, Yokota Shoichiro, et al.	4. 巻 12
2. 論文標題 Mesospheric ionization during substorm growth phase	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Space Weather and Space Climate	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/swsc/2022012	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 Imajo S., Miyoshi Y., Asamura K., Shinohara I., Nos? M., Shiokawa K., Kasahara Y., Kasaba Y., Matsuoka A., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Hori T., Shoji M., Nakamura S., Teramoto M.	4. 巻 49
2. 論文標題 Signatures of Auroral Potential Structure Extending Through the Near Equatorial Inner Magnetosphere	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2022GL098105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GL098105	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 Thomas Neethal, Kero Antti, Miyoshi Yoshizumi, Shiokawa Kazuo, Hyotyla Miikka, Raita Tero, Kasahara Yoshiya, Shinohara Iku, Matsuda Shoya, Nakamura Satoko, Kasahara Satoshi, Yokota Shoichiro, et al.	4. 巻 127
2. 論文標題 Statistical Survey of Arase Satellite Data Sets in Conjunction With the Finnish Riometer Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2022JA030271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JA030271	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 Ma Q., Xu W., Sanchez E. R., Marshall R. A., Bortnik J., Reyes P. M., Varney R. H., Kaeppler S. R., Miyoshi Y., Matsuoka A., Kasahara Y., Matsuda S., Tsuchiya F., Kumamoto A., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Hori T., Mitani T., Nakamura S., Kazama Y., Wang S. Y., Jun C. W., Shinohara I., Tam S. W. Y.	4. 巻 127
2. 論文標題 Analysis of Electron Precipitation and Ionospheric Density Enhancements Due To Hiss Using Incoherent Scatter Radar and Arase Observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2022JA030545
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JA030545	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 Harada Yuki, Aizawa Sae, Saito Yoshifumi, Andr? Nicolas, Persson Moa, Delcourt Dominique, Hadid Lina Z., Fraenz Markus, Yokota Shoichiro, Fedorov Andr?i, Miyake Wataru, Penou Emmanuel, Barthe Alain, Sauvaud Jean Andr?, Katra Bruno, Matsuda Shoya, Murakami Go	4. 巻 49
2. 論文標題 BepiColombo Mio Observations of Low Energy Ions During the First Mercury Flyby: Initial Results	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2022GL100279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GL100279	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 Zhang Xiao-Jia, Artemyev Anton, Angelopoulos Vassilis, Tsai Ethan, Wilkins Colin, Kasahara Satoshi, Mourenas Didier, Yokota Shoichiro, Keika Kunihiro, Hori Tomoaki, Miyoshi Yoshizumi, Shinohara Iku, Matsuoka Ayako	4. 巻 13
2. 論文標題 Superfast precipitation of energetic electrons in the radiation belts of the Earth	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-29291-8	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 K. Kuramoto, et al. (34th/34 authors: S. Yokota)	4. 巻 74
2. 論文標題 Martian moons exploration MMX: sample return mission to Phobos elucidating formation processes of habitable planets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01545-7	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 Keika K., Kasahara S., Yokota S., Hoshino M., Seki K., Amano T., Kistler L. M., Nos? M., Miyoshi Y., Hori T., Shinohara I.	4. 巻 127
2. 論文標題 Preferential Energization of Lower Charge State Heavier Ions in the Near Earth Magnetotail	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029786	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 Nishino Masaki N., Kasahara Yoshiya, Harada Yuki, Saito Yoshifumi, Tsunakawa Hideo, Kumamoto Atsushi, Yokota Shoichiro, Takahashi Futoshi, Matsushima Masaki, Shibuya Hidetoshi, Shimizu Hisayoshi, Miyashita Yukinaga, Goto Yoshitaka, Ono Takayuki	4. 巻 74
2. 論文標題 An event study on broadband electric field noises and electron distributions in the lunar wake boundary	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01566-2	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 Nishino M. N., Hasegawa H., Saito Y., Kitamura N., Miyashita Y., Nagai T., Yokota S., Russell C. T., Gershman D. J., Giles B. L.	4. 巻 127
2. 論文標題 Transport Path of Cold Dense Plasmas in the Dusk Magnetotail Plasma Sheet: MMS Observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029747
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029747	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 K. Ogohara, H. Nakagawa, S. Aoki, T. Kouyama, T. Usui, N. Terada, T. Imamura, F. Montmessin, D. Brain, A. Doressoundiram, T. Gautier, T. Hara, Y. Harada, H. Ikeda, M. Koike, F. Leblanc, R. Ramirez, E. Sawyer, K. Seki, A. Spiga, A. C. Vandaele, S. Yokota, A. Barucci, S. Kameda	4. 巻 74
2. 論文標題 The Mars system revealed by the Martian Moons eXploration mission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01417-0	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 T. Nakamura, H. Ikeda, T. Kouyama, H. Nakagawa, H. Kusano, H. Senshu, S. Kameda, K. Matsumoto, F. Gonzalez-Franquesa, N. Ozaki, Y. Takeo, N. Baresi, Y. Oki, D. J. Lawrence, N. L. Chabot, P. N. Peplowski, M. A. Barucci, E. Sawyer, S. Yokota, et al.	4. 巻 73
2. 論文標題 Science operation plan of Phobos and Deimos from the MMX spacecraft	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01546-6	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

1. 著者名 A. Artemyev, I. Zimovets, I. Sharykin, Y. Nishimura, C. Downs, J. Weygand, R. Fiori, X.-J. Zhang, A. Runov, M. Velli, V. Angelopoulos, O. Panasenco, C. Russell, Y. Miyoshi, S. Kasahara, A. Matsuoka, S. Yokota, K. Keika, T. Hori, Y. Kazama, S.-Y. Wang, I. Shinohara, Y. Ogawa	4. 巻 923
2. 論文標題 Comparative Study of Electric Currents and Energetic Particle Fluxes in a Solar Flare and Earth Magnetospheric Substorm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 151 ~ 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac2dfc	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 Yokota Shoichiro, Terada Naoki, Matsuoka Ayako, Murata Naofumi, Saito Yoshifumi, Delcourt Dominique, Futaana Yoshifumi, Seki Kanako, Schaible Micah J., Asamura Kazushi, Kasahara Satoshi, Nakagawa Hiromu, Nishino Masaki N., Nomura Reiko, Keika Kunihiro, Harada Yuki, Imajo Shun	4. 巻 73
2. 論文標題 In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: the mass spectrum analyzer (MSA) for the Martian Moons eXploration (MMX) mission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01452-x	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 S. Yadav, K. Shiokawa, S. Oyama, Y. Inaba, N. Takahashi, K. Seki, K. Keika, T.-F. Chang, S. W. Y. Tam, B.-J. Wang, Y. Kazama, S.-Y. Wang, K. Asamura, S. Kasahara, S. Yokota, T. Hori, Y. Kasaba, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, M. Shoji, Y. Kasahara, A. Matsuoka, S. Matsuda, C-W Jun, S. Imajo, Y. Miyoshi, I. Shinohara	4. 巻 126
2. 論文標題 Study of an Equatorward Detachment of Auroral Arc From the Oval Using Ground Space Observations and the BATS R US-CIMI Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA029080
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA029080	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 Miyoshi Y., Hosokawa K., Kurita S., Oyama S.-I., Ogawa Y., Saito S., Shinohara I., Kero A., Turunen E., Verronen P. T., Kasahara S., Yokota S., Mitani T., Takashima T., Higashio N., Kasahara Y., Matsuda S., Tsuchiya F., Kumamoto A., Matsuoka A., Hori T., Keika K., Shoji M., Teramoto M., Imajo S., Jun C., Nakamura S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-92611-3	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 Artemyev A. V., Demekhov A. G., Zhang X. J., Angelopoulos V., Mourenas D., Fedorenko Yu V., Maninnen J., Tsai E., Wilkins C., Kasahara S., Miyoshi Y., Matsuoka A., Kasahara Y., Mitani T., Yokota S., Keika K., Hori T., Matsuda S., Nakamura S., Kitahara M., Takashima T., Shinohara I.	4. 巻 126
2. 論文標題 Role of Ducting in Relativistic Electron Loss by Whistler Mode Wave Scattering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029851	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 Harada Yuki, Kasahara Yoshiya, Nishino Masaki N., Kurita Satoshi, Saito Yoshifumi, Yokota Shoichiro, Kumamoto Atsushi, Takahashi Futoshi, Shimizu Hisayoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Global Maps of Solar Wind Electron Modification by Electrostatic Waves Above the Lunar Day Side: Kaguya Observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL095260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL095260	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 Kawai K., Shiokawa K., Otsuka Y., Oyama S., Kasaba Y., Kasahara Y., Tsuchiya F., Kumamoto A., Nakamura S., Matsuoka A., Imajo S., Kazama Y., Wang S. Y., Tam S. W. Y., Chang T. F., Wang B. J., Asamura K., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Hori T., Miyoshi Y., Jun C., Shoji M., Shinohara I.	4. 巻 126
2. 論文標題 First Simultaneous Observation of a Night Time Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbance From the Ground and a Magnetospheric Satellite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA029086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA029086	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 Y. Miyashita, T.-F. Chang, Y. Miyoshi, T. Hori, A. Kadokura, S. Kasahara, S.-Y. Wang, K. Keika, A. Matsuoka, Y. Tanaka, Y. Kasahara, M. Teramoto, C.-W. Jun, K. Asamura, Y. Kazama, S. W. Y. Tam, B.-J. Wang, S. Yokota, A. Kumamoto, F. Tsuchiya, M. Shoji, S. Kurita, S. Imajo, I. Shinohara	4. 巻 126
2. 論文標題 Magnetic Field and Energetic Particle Flux Oscillations and High Frequency Waves Deep in the Inner Magnetosphere During Substorm Dipolarization: ERG Observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA029095
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA029095	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 Y. Saito, D. Delcourt, M. Hirahara S. Barabash, N. Andre, T. Takashima, K. Asamura, S. Yokota et al.o, M. Fujimoto, N. Terada, K. Keika, BepiColombo Mio/MPPE Team	4. 巻 217
2. 論文標題 Pre-flight Calibration and Near-Earth Commissioning Results of the Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE) Onboard MMO (Mio)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-021-00839-2	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 Park I., Miyoshi Y., Mitani T., Hori T., Takashima T., Kurita S., Shinohara I., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Claudepierre S. G., Looper M. D.	4. 巻 126
2. 論文標題 Characterization and Calibration of High Energy Electron Instruments Onboard the Arase Satellite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029110	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 M. Szabo-Roberts, Y. Y. Shprits, H. J. Allison, R. Vasile, A. G. Smirnov, N. A. Aseev, A. Y. Drozdov, Y. Miyoshi, S. G. Claudepierre, S. Kasahara, S. Yokota, T. Mitani, T. Takashima, N. Higashio, T. Hori, K. Keika, S. Imajo, I. Shinohara	4. 巻 126
2. 論文標題 Preliminary Statistical Comparisons of Spin Averaged Electron Data From Arase and Van Allen Probes Instruments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028929	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 Yahnin A. G., Popova T. A., Demekhov A. G., Lubchich A. A., Matsuoka A., Asamura K., Miyoshi Y., Yokota S., Kasahara S., Keika K., Hori T., Tsuchiya F., Kumamoto A., Kasahara Y., Shoji M., Kasaba Y., Nakamura S., Shinohara I., Kim H., Noh S., Raita T.	4. 巻 126
2. 論文標題 Evening Side EMIC Waves and Related Proton Precipitation Induced by a Substorm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA029091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA029091	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 Kumar S., Miyoshi Y., Jordanova V. K., Engel M., Asamura K., Yokota S., Kasahara S., Kazama Y., Wang S. Y., Mitani T., Keika K., Hori T., Jun C., Shinohara I.	4. 巻 126
2. 論文標題 Contribution of Electron Pressure to Ring Current and Ground Magnetic Depression Using RAM SCB Simulations and Arase Observations During 7?8 November 2017 Magnetic Storm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029109	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 Kitamura N., Shoji M., Nakamura S., Kitahara M., Amano T., Omura Y., Hasegawa H., Boardsen S. A., Miyoshi Y., Katoh Y., Teramoto M., Saito Y., Yokota S., Hirahara M., Gershman D. J., Giles B. L., Russell C. T., Strangeway R. J., Ahmadi N., Lindqvist P. A., Ergun R. E., Fuselier S. A., Burch J. L.	4. 巻 126
2. 論文標題 Energy Transfer Between Hot Protons and Electromagnetic Ion Cyclotron Waves in Compressional Pc5 Ultra low Frequency Waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028912	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 Takada M., Seki K., Ogawa Y., Keika K., Kasahara S., Yokota S., Hori T., Asamura K., Miyoshi Y., Shinohara I.	4. 巻 126
2. 論文標題 Low Altitude Ion Upflow Observed by EISCAT and its Effects on Supply of Molecular Ions in the Ring Current Detected by Arase (ERG)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028951	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 ITO Motoo, OKADA Tatsuaki, KEBUKAWA Yoko, AOKI Jun, KAWAI Yosuke, MATSUMOTO Jun, CHUJO Toshihiro, NAKAMURA Ryosuke, YANO Hajime, YOKOTA Sho-ichiro, TOYODA Michisato, YURIMOTO Hisayoshi, WATANABE Motoki, IKEDA Ryota, KUBO Yuki, GRAND Noel, COTTIN Herve, BUCH Arnaud, SZOPA Cyril, MORI Osamu	4. 巻 19
2. 論文標題 A Feasible Study of In-Situ Measurements of Light Isotopes and Organic Molecules with High Resolution Mass Spectrometer MULTUM on the OKEANOS Mission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN	6. 最初と最後の頁 477 ~ 484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2322/tastj.19.477	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 Saito S., Kurita S., Miyoshi Y., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Hori T., Kasahara Y., Matsuda S., Shoji M., Nakamura S., Matsuoka A., Imajo S., Shinohara I.	4. 巻 126
2. 論文標題 Data Driven Simulation of Rapid Flux Enhancement of Energetic Electrons With an Upper Band Whistler Burst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028979	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 Y. Inaba, K. Shiokawa, S. Oyama, Y. Otsuka, M. Connors, I. Schofield, Y. Miyoshi, S. Imajo, A. Shinbori, A. Y. Gololobov, Y. Kazama, S. Y. Wang, S. W. Y. Tam, T. F. Chang, B. J. Wang, K. Asamura, S. Yokota et al.	4. 巻 126
2. 論文標題 Multi Event Analysis of Plasma and Field Variations in Source of Stable Auroral Red (SAR) Arcs in Inner Magnetosphere During Non Storm Time Substorms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA029081
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA029081	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 Thomas N., Shiokawa K., Miyoshi Y., Kasahara Y., Shinohara I., Kumamoto A., Tsuchiya F., Matsuoka A., Kasahara S., Yokota S., Keika K., Hori T., Asamura K., Wang S. Y., Kazama Y., Tam S. W. Y., Chang T. F., Wang B. J., Wygant J., Breneman A., Reeves G.	4. 巻 126
2. 論文標題 Investigation of Small Scale Electron Density Irregularities Observed by the Arase and Van Allen Probes Satellites Inside and Outside the Plasmasphere	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	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) 10.1029/2020JA027917	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 Sugo S., Kawashima O., Kasahara S., Asamura K., Nomura R., Miyoshi Y., Ogawa Y., Hosokawa K., Mitani T., Namekawa T., Sakanoi T., Fukizawa M., Yagi N., Fedorenko Y., Nikitenko A., Yokota S., Keika K., Hori T., Koehler C.	4. 巻 126
2. 論文標題 Energy Resolved Detection of Precipitating Electrons of 30-100 keV by a Sounding Rocket Associated With Dayside Chorus Waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	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) 10.1029/2020JA028477	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 Inaba Y., Shiokawa K., Oyama S., Otsuka Y., Oksanen A., Shinbori A., Gololobov A. Y., Miyoshi Y., Kazama Y., Wang S. Y., Tam S. W. Y., Chang T. F., Wang B. J., Yokota S., Kasahara S., Keika K., Hori T., Matsuoka A., Kasahara Y., Kumamoto A., Kasaba Y., Tsuchiya F., Shoji M., Shinohara I., Stolle C.	4. 巻 125
2. 論文標題 Plasma and Field Observations in the Magnetospheric Source Region of a Stable Auroral Red (SAR) Arc by the Arase Satellite on 28 March 2017	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	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) 10.1029/2020JA028068	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 Shiokawa K., Nos? M., Imajo S., Tanaka Y. M., Miyoshi Y., Hosokawa K., Connors M., Engebretson M., Kazama Y., Wang S. Y., Tam S. W. Y., Chang Tzu Fang, Wang Bo Jhou, Asamura K., Kasahara S., Yokota S., Hori T., Keika K., Kasaba Y., Shoji M., Kasahara Y., Matsuoka A., Shinohara I.	4. 巻 125
2. 論文標題 Arase Observation of the Source Region of Auroral Arcs and Diffuse Auroras in the Inner Magnetosphere	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 1 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JA027310	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 Kitamura N., Omura Y., Nakamura S., Amano T., Boardsen S. A., Ahmadi N., Le Contel O., Lindqvist P. A., Ergun R. E., Saito Y., Yokota S., Gershman D. J., Paterson W. R., Pollock C. J., Giles B. L., Russell C. T., Strangeway R. J., Burch J. L.	4. 巻 125
2. 論文標題 Observations of the Source Region of Whistler Mode Waves in Magnetosheath Mirror Structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 1 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JA027488	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 Yokota Shoichiro, Terada Kentaro, Saito Yoshifumi, Kato Daiba, Asamura Kazushi, Nishino Masaki N., Shimizu Hisayoshi, Takahashi Futoshi, Shibuya Hidetoshi, Matsushima Masaki, Tsunakawa Hideo	4. 巻 6
2. 論文標題 KAGUYA observation of global emissions of indigenous carbon ions from the Moon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 1 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aba1050	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 横田勝一郎他
2. 発表標題 SS-520-3号機観測ロケット搭載LEPによる極域カスプでのイオン電子の観測
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第152回総会・講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 横田勝一郎他
2. 発表標題 宇宙プラズマ観測用質量分析装置の開発：太陽系探査への展開
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第152回総会・講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 横田勝一郎他
2. 発表標題 火星衛星探査機MMX搭載低エネルギーイオン質量分析器(MSA)の開発
3. 学会等名 JAXA/ISAS宇宙科学に関する室内実験シンポジウム
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 S. Yokota, K. Tsuda, et al.,
2. 発表標題 Nitrogen and oxygen ions from the Earth's ionosphere observed by the Arase satellite
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 S. Yokota et al.,
2. 発表標題 Development of an engineering model (EM) of the Mass spectrum Analyzer (MSA) for Mars Moons eXploration (MMX)
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 第150回総会・講演会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 横田勝一郎他,
2. 発表標題 火星衛星探査計画MMX MSA EM開発状況報告
3. 学会等名 第 65 回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 横田勝一郎, 他
2. 発表標題 Global emissions of carbon ions from the total lunar surfac
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 津田 洸一郎, 横田 勝一郎, 他
2. 発表標題 Geomagnetic N+/O+ variation in the Ring Current Observed by the Arase
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 植田 晃平, ..., 横田 勝一郎, 他
2. 発表標題 Evaluation of response characteristics of the XEP onboard the Arase spacecraft
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2020年大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 横田勝一郎, 他
2. 発表標題 火星衛星探査計画MMX MSA開発状況報告
3. 学会等名 第 64 回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 出口雅樹, 横田勝一郎, 他
2. 発表標題 MMX 搭載用イオンエネルギー質量分析器の性能評価
3. 学会等名 日本惑星科学会2020年秋季講演会
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 横田勝一郎, 他
2. 発表標題 In situ observations of ions and magnetic field around Phobos: Mass Spectrum Analyzer (MSA) for Mars Moons eXploration (MMX)
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第147回総会・講演会
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

1. 発表者名 横田勝一郎, 他
2. 発表標題 地球型惑星衛星に起きている物質の供給と放出
3. 学会等名 第22回 惑星圏研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年 ~ 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>静かなオーロラが地球大気を深くまで電離させる https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2022/20220610_2 明滅オーロラとともに起こるオゾン破壊 宇宙からの高エネルギー電子が大気に及ぼす影響を実証 https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210713_1 宇宙空間に流出する月の炭素を初観測 https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20200507_1</p>

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

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		
	フランス	IRAP	Laboratoire de Physique des Plasmas
ドイツ	Max-Planck-Institut		