

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14784

研究課題名（和文）MAVEN観測による火星電離大気流出における磁気リコネクションの役割の解明

研究課題名（英文）MAVEN observations of ion escape from Mars driven by magnetic reconnection

研究代表者

原田 裕己（Harada, Yuki）

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：90823386

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、火星電離大気からのイオン流出を駆動するイオン加速過程として磁気リコネクション（磁気再結合）に着目し、火星周回探査機が火星圏において長期間蓄積してきた観測データを活用することで、火星イオン流出において磁気再結合が果たす役割を調べた。その結果、(i)磁気再結合が火星周辺空間の広範囲な領域で発生し得ること、(ii)非正常磁気再結合が火星地殻残留磁化上空で頻発していること、(iii)リコネクションジェットによる瞬時イオン散逸率は他のバルク散逸機構と同程度に達するが、時間平均すると全体の総イオン散逸率への直接的な寄与は小さいことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過去研究では火星周辺空間における磁気再結合の発生条件や空間分布が不明であったが、本研究の結果を総合すると、火星圏は磁力線形状が常に時間変化し続けるダイナミックな電磁環境であることが示唆された。これは、近年広域撮像画像が取得可能になり急速に研究が発展している、火星ディスクリットオーロラ観測の結果が指し示す描像と合致する。本研究の結果から得られる知見は、今後進展が期待される火星圏多点観測や複数ミッション観測データの複合解析に応用できるという点で重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigate the acceleration of planetary ions by magnetic reconnection and its contribution to ion escape from Mars by analyzing long-term data obtained by Martian orbiters. The results show that (i) magnetic reconnection can operate in many locations around Mars, (ii) transient reconnection frequently occurs above the Martian crustal magnetic fields, and (iii) instantaneous ion escape rates by reconnection jets could become comparable to those of other bulk escape mechanisms while the time-averaged escape rate would provide only a small contribution to the total ion escape rate.

研究分野：惑星プラズマ物理学

キーワード：火星 磁気リコネクション 大気散逸 地殻残留磁化

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間への大気散逸は、過去から現在への火星の気候変動において主要な役割を果たしたと考えられている。火星の大気散逸を定量的に制約するためには、火星大気散逸の詳細な物理機構を理解することが必須である。火星大気の宇宙空間への散逸は、(a)中性粒子として散逸する過程と、(b)中性粒子が電離し、電磁場の影響を受けてイオンとして流出する過程に大別される。現在進行中の火星大気散逸においては(a)の中性大気散逸が支配的であるが、過去の太陽風条件を考慮すると、時間積分した総散逸量に(b)のイオン流出が大きく寄与したと推測されている (Jakosky et al., *Icarus*, 2018)。火星電離大気からのイオン流出の全容を解明するには、現在働いている様々なイオン加速機構 (e.g., Dubinin et al., *Space Sci. Rev.*, 2012) の各々の物理素過程を理解し、流出率の太陽風条件への依存性を明らかにすることで、過去への演繹の手がかりを得ることが不可欠である。

イオン流出を引き起こしうる加速機構の一つが、磁気リコネクション (磁気再結合) である。磁気再結合とは、方向の異なる磁場に挟まれた電流シートで磁力線がつなぎ変わる現象であり、磁化プラズマにおいて(a)磁気エネルギーを粒子の運動エネルギーに変換する、(b)磁気トポロジーを変える、という2つの重要な役割を果たす (e.g., Yamada et al., *Rev. Mod. Phys.*, 2010)。火星は内部ダイナモ起源の双極子磁場を持たない非磁化惑星であるが、非一様に分布する地殻残留磁化により、火星の周辺空間には非常に複雑な磁場構造が形成される。このような複雑な磁場環境では、多くの場所で磁気再結合が起こりうると予想され (Krymskii et al., *JGR*, 2002)。磁気再結合は火星において重要なイオン加速機構の一つであると考えられている (Lillis et al., *Space Sci. Rev.*, 2015)。しかしながら、研究開始当初は、磁気再結合が火星周辺空間のどの場所で、どのような条件下で発生しているかは明らかではなく、磁気再結合による直接的なイオン加速が火星イオン流出全体への程度寄与するかを推定できる段階には達していなかった。

2. 研究の目的

上述した通り、火星周辺空間における磁気再結合の発生条件や空間分布が不明であることが、磁気再結合のイオン散逸率への寄与の推定を困難なものにしていた。火星での磁気再結合の発生特性を明らかにするためには、特定の領域で発生した個別事例の詳細解析に加えて、火星周辺の広範な空間領域での網羅的な調査が必要となる。申請者らの過去の研究により、火星圏における磁気再結合の観測的特徴が整理されてきており、大量の観測データから磁気再結合発生事例を効率的に探索・同定する解析手法を確立するために必要な知見が整いつつある状況であった。本研究の目的は、火星探査機が蓄積してきた長期間のプラズマ観測データを活用し、火星圏における磁気再結合についての大規模な統計調査を行うことで、火星イオン流出において磁気再結合が果たす役割を解明することにある。

3. 研究の方法

本研究では、火星探査機 MAVEN および MGS により火星圏で取得された荷電粒子および磁場観測データを用いた。過去研究で得られた知見に基づき、磁気再結合の観測的特徴——具体的には電流シート中のイオンジェット (4-1、4-3 に後述)、および閉じた磁力線への瞬間的電子注入現象 (4-2 に後述)——を効率的に同定する手法を開発した。この独自開発した手法を火星圏の長期観測データに適用することで、磁気再結合発生事例を網羅的に探索した。同定されたイベントの統計調査から、火星周辺空間における磁気再結合の空間分布、上流太陽風・惑星間空間磁場依存性、季節依存性、ならびに局所パラメータとの対応を調べた。さらに、個別観測事例からイオンジェットおよび電流シートの特性を抽出することで、磁気再結合が駆動するイオンジェットによるイオン散逸率を推定した。

4. 研究成果

ここでは、本研究で得られた主要な結果を報告する。

4-1. 火星周辺空間における磁気再結合の空間分布と発生条件の調査

火星周辺空間には、(a)火星の昼側に積み重なり夜側に吹き流された惑星間空間磁場 (IMF) が、尾部で反平行の構造となり形成する尾部電流シート、(b)上流太陽風に埋め込まれている電流シートが火星昼側に押し付けられ薄化した電流シート、(c) IMF と地殻残留磁場が局所的に反平行の向きとなり形成する電流シートなど、多様なパターンで薄い電流シートが形成されることがわかってきた。これまでの研究から、このような電流シートが火星周辺空間で頻りに形成され、磁気再結合が頻発しているのではないかと提唱されていたが、観測的証拠が欠如していた。本研究では、これまでに個別の火星尾部・昼側の磁気再結合観測事例の精緻な調査から積み上げてきた知見に基づいて、磁気再結合の主要な生成物である電流シート内のイオンジェットの自動同定手法を開発し、長期間の MAVEN 観測データに適用することで、未だ不明であった火星での磁気

再結合の全球的な発生特性に迫った。自動同定したイオン流の特徴と付随する磁場構造および磁力線形状は、磁気再結合から予測される特性と良く一致しており、電流シート内イオンジェットに着目した本手法は火星周辺の磁気再結合事例を捉えるのに有効であることを確認した。統計調査の結果、図1に示す通り、電流シート内で加速された太陽向きおよび反太陽向きのイオン流の両方が、火星周辺の幅広い空間範囲で上流太陽風条件に依らず観測された。さらに、電流シートの厚みと周辺プラズマ特性の解析から、観測された電流シートの大部分は磁気再結合発生条件を満たしていることが示された。これらの結果により、少なくとも現在の太陽風条件の範囲内では火星周辺の様々な場所で磁気再結合が発生し得ることが明らかになった。これは、火星圏は磁力線形状が常に変化し続ける動的な電磁環境であることを示唆する結果である。

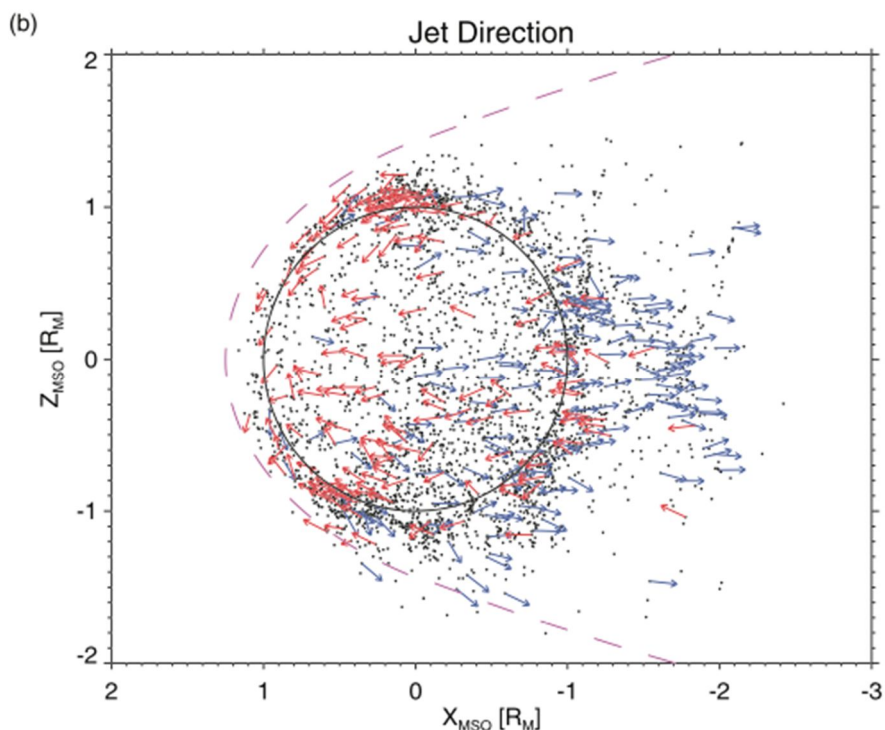


図1 . 電流シート内イオンジェット観測事例のMSO座標空間分布。赤・青色の矢印が太陽向き・反太陽向きのイオンジェットを、黒点が電流シート通過事例を示している。火星周辺の広範な領域でイオンジェットが観測されている。Harada et al. (2020) Figure 1bより転載。

4-2 . 火星地殻残留磁化上空における電子注入現象の統計調査

火星の強い地殻残留磁化の上空では、時間と共にエネルギーが下降するエネルギー分散を伴う電子フラックス増強が繰り返し観測されることがある(Harada et al., *GRL*, 2016)。これらの電子のピッチ角分布は両側ロスコーンを示し、閉じた磁力線に捕捉されている電子であることがわかる。これらの観測的特徴の要因は、火星地殻起源の閉じた磁力線に外部から幅広いエネルギー帯の電子が瞬間的かつ局所的に注入され、捕捉された電子の勾配・曲率ドリフト速度がエネルギー依存するために、少し離れた位置の探査機に到来するまでの飛行時間にエネルギー分散が生じるためであると解釈できる。瞬間的かつ局所的な電子注入過程の詳細は不明だが、惑星周辺に巻き付いたIMFと火星地殻磁場の間の間欠的な磁気再結合が候補として提唱されている。この電子注入現象の存在は最新のMAVEN探査機の観測データ解析から見出されたものであるが(Harada et al., *GRL*, 2016)、過去のMGS探査機による電子観測データを再調査してみると、同様の現象が多数検出されていたことが明らかになった(図2)。そこで大量の観測データから効率的に電子注入現象の観測事例を同定する手法を開発し、MGSの太陽同期・400 km高度の円軌道からの6年以上の長期観測データを活用することで、火星地殻残留磁化上空における電子注入現象についての大規模統計調査を行なった。その結果、電子注入現象の発生率には太陽天頂角依存性、太陽風動圧依存性、季節依存性、IMF方向依存性、および地域依存性があることが明らかになった。太陽天頂角依存性、太陽風動圧依存性、および季節依存性は、閉じた磁力線へ注入されるホットな電子の供給・輸送過程に関連していると考えられる。一方でIMF方向依存性と地域依存性については、誘導磁気圏尾部を形成する吹き流されたIMFと火星地殻磁場の磁気再結合から予想される傾向と一致した結果が得られており、非定常磁気再結合が火星地殻残留磁化上空で頻繁に発生し、閉じた磁力線に電子を注入していることを示唆する結果である。これは、近年新しい撮像観測により捉えられた、短い時間でその様相を大きく変化させる火星ディスクリーオーロラ(Lillis et al., *GRL*, 2022)と共に、激しく時間変動するダイナミックな火星

圏プラズマ・電磁環境の一端を垣間見せる観測結果の一つであるといえる。

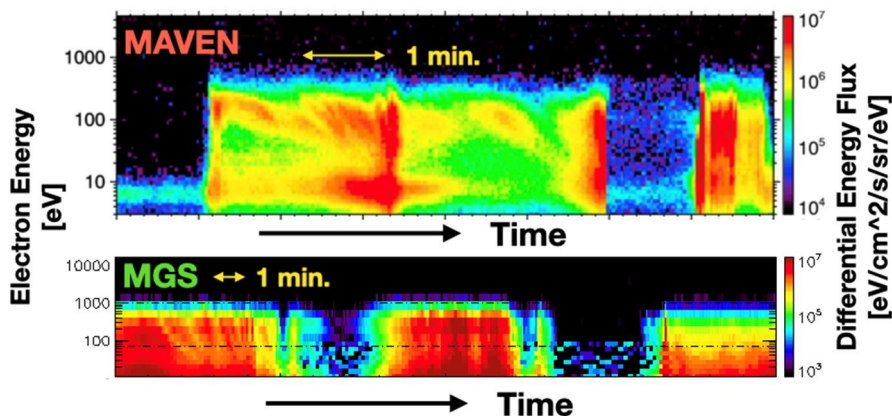


図2 . MAVEN(上)および MGS(下)探査機による、火星地殻残留磁化上空の閉じた磁力線への電子注入現象の観測事例。エネルギー分散を伴う複数の電子フラックス増強が、E-t スペクトログラム上で右下がりの筋模様として識別できる。MAVEN の観測事例は Harada et al. (2016) Fig. 1 より一部抜粋し加筆。

4-3. リコネクションジェットによる直接的なイオン散逸への寄与の見積り

火星周辺空間で磁気再結合が発生すると再結合領域から離れるように双方向のアウトフロー（リコネクションジェット）が排出されるため、その片方では火星から離れる向きの脱出イオン流が生成されると予測される（図3）。この機構により、どの程度のイオン散逸が引き起こされるのか、4-1 で同定したイオンジェット観測事例を利用して瞬時散逸率および平均散逸率を概算した。

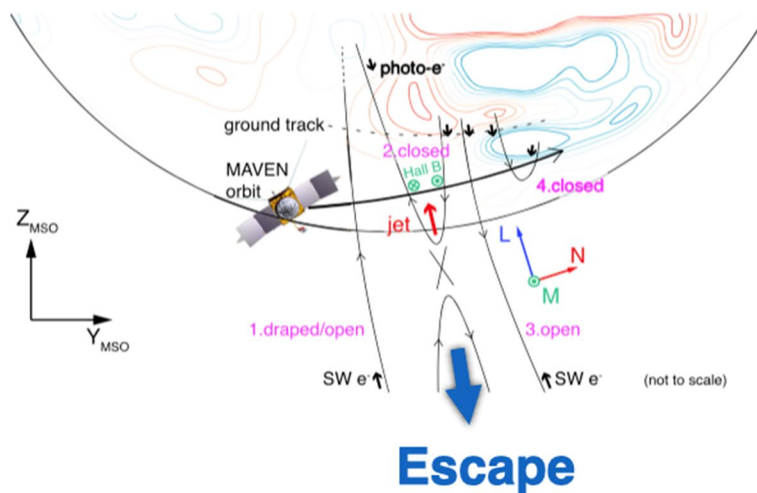


図3 . 磁気再結合が引き起こすイオンジェットによる、火星からのイオン散逸の概念図。Harada et al. (2018) Figure 1 より一部抜粋し加筆。

それぞれのイオンジェット観測事例について、イオン密度、速度、および電流シート厚みを導出し、X線の長さを1000 kmと仮定してこれらの観測値からイオン散逸率を推定した（図4）。図4dの頻度分布に示す通り、単体のイオンジェットによる瞬時イオン散逸率は $\sim 10^{22}$ - 10^{23} s^{-1} 程度であるという推定結果が得られた。これは、磁気フラックスロープ (Brain et al., *GRL*, 2010; Hara et al., *JGR*, 2014) やスノーブロー効果 (Halekas et al., *GRL*, 2016; Halekas et al., *GRL*, 2019) などの他のバルク散逸機構について推定されている瞬時散逸率と同程度である。すなわち、イオンジェットは瞬間的には他の非定常バルク散逸機構と同程度のイオン散逸を担い得ることが示された。この瞬時散逸率から時間平均した散逸率を導出するためには、磁気再結合の全球的なデューティー比を乗算する必要がある。火星全球における磁気再結合発生率を確度良く推定することは容易ではないが、近似的に4-1の全電流シート通過事例数におけるイオンジェット観測事例の割合 $\sim 10\%$ を仮定すると、イオンジェットによる時間平均イオン散逸率は $\sim 10^{21}$ - 10^{22} s^{-1} 程度となる。これは、総イオン散逸率の推定値 $\sim 10^{24}$ - 10^{25} s^{-1} (Brain et al., 2015; Jakosky et al., 2018) の1%未満である。上記推定値には大きな不確実性が含まれるが、現在

の火星ではリコネクションジェットの総イオン散逸率への直接的な寄与は時間平均すると小さいことが示唆される。ただし、火星周辺空間における磁気再結合は、アウトフロー加速によるイオン流出への直接的な寄与のみならず、磁気トポロジーを変化させることで冷たいイオン流出の散逸経路を制御する、間接的ながら重要な役割を果たしていることに留意されたい。

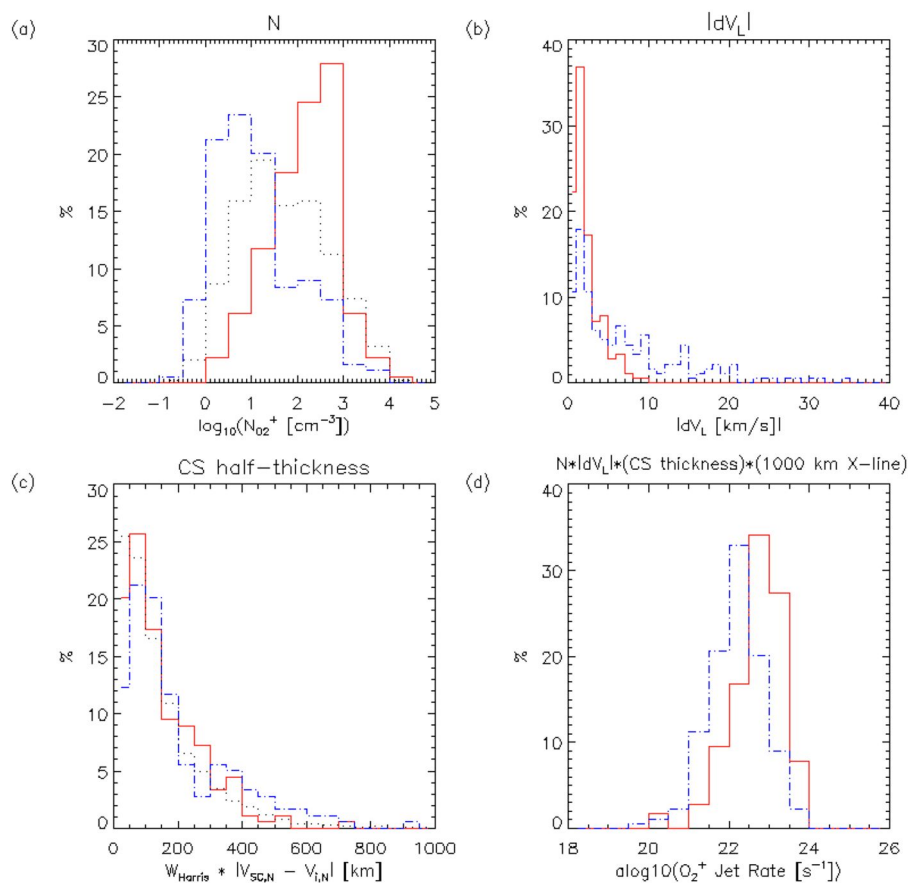


図4 .MAVEN 観測に基づく、イオンジェットによる瞬時イオン散逸率の見積もり結果。(a)イオンジェット中のイオン密度、(b)イオンジェット速度、(c)電流シートの厚み、および(d)1000 km の X-line 長を仮定した時のイオン散逸率の頻度分布。赤線が太陽向きジェット、青破線が反太陽向きジェット、黒点線が全ての電流シート通過事例の分布を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 8件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 DiBraccio, G. A., N. Romanelli, C. Bowers, J. R. Gruesbeck, J. S. Halekas, S. Ruhunisiri, T. Weber, J. R. Espley, S. Xu, J. G. Luhmann, Y. Harada, E. Dubinin, G. K. Poh, J. E. P. Connerney, D. A. Brain, and S. M. Curry	4. 巻 49
2. 論文標題 A statistical investigation of factors influencing the magnetotail twist at Mars	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2022GL098007
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022GL098007	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 Esman, T. M., J. Espley, J. Gruesbeck, C. M. Fowler, S. Xu, M. Elrod, Y. Harada, J. Giacalone	4. 巻 127
2. 論文標題 Martian Ionospheric Magnetic Fluctuations below 200 km	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2022JA030470
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JA030470	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 Bowers, C. F., DiBraccio, G. A., Slavin, J.A., Gruesbeck, J. R., Weber, T., Xu, S., Romanelli, N., Harada, Y.	4. 巻 128
2. 論文標題 Exploring the Solar Wind-Planetary Interaction at Mars: Implication for Magnetic Reconnection	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2022JA030989
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JA030989	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 Hara Takuya, Huang Zesen, Mitchell David L., DiBraccio Gina A., Brain David A., Harada Yuki, Luhmann Janet G.	4. 巻 127
2. 論文標題 A Comparative Study of Magnetic Flux Ropes in the Nightside Induced Magnetosphere of Mars and Venus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029867
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021JA029867	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 Ogohara Kazunori, Nakagawa Hiromu, Aoki Shohei, Kouyama Toru, Usui Tomohiro, Terada Naoki, Imamura Takeshi, Montmessin Franck, Brain David, Doressoundiram Alain, Gautier Thomas, Hara Takuya, Harada Yuki, et al.	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 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 Harada Y., Halekas J. S., Xu S., DiBraccio G. A., Ruhunusiri S., Hara T., Mcfadden J. P., Espley J. R., Mitchell D. L., Mazelle C.	4. 巻 125
2. 論文標題 Ion Jets Within Current Sheets in the Martian 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 e2020JA028576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028576	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 Y., Ruhunusiri S., Halekas J. S., Espley J., DiBraccio G. A., Mcfadden J. P., Mitchell D. L., Mazelle C., Collinson G., Brain D. A., Hara T., Nos? M., Oimatsu S., Yamamoto K., Jakosky B. M.	4. 巻 124
2. 論文標題 Locally Generated ULF Waves in the Martian Magnetosphere: MAVEN Observations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 8707 ~ 8726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JA027312	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

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 坂東日菜
2. 発表標題 レーダーサウンディング観測とその場観測による火星電離圏不規則構造の駆動源の研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今田馨
2. 発表標題 MAVEN and MEX Quasi-Simultaneous Multipoint Observations of Solar Wind-Driven Waves in the Ionosphere of Mars
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂東日菜
2. 発表標題 Simultaneous Remote and In-situ Observations of Irregularities in the Martian Ionosphere: Origins of Diffuse Echoes on Ionograms
3. 学会等名 AOGS 18th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田裕己
2. 発表標題 MAVEN衛星による火星プラズマダイナミクスの観測と今後の展望
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今田馨
2. 発表標題 MAVENおよびMEXによる太陽風が駆動するULF波動の火星電離圏への伝搬の準同時多地点観測
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂東日菜
2. 発表標題 Simultaneous observations of ionospheric irregularities at Mars by Mars Express MARSIS topside sounder and MAVEN
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第152回講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田裕己
2. 発表標題 SEPイベント時の火星夜側電離圏におけるレーダー電波吸収についての観測・シミュレーション比較
3. 学会等名 第24回惑星圏研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今田馨
2. 発表標題 MAVENとMEXの準同時多地点観測による上流プロトンサイクロトロン波動が火星電離圏にULF波動を駆動する確率の推定
3. 学会等名 第24回惑星圏研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂東日菜
2. 発表標題 Mars Express・MAVEN探査機の遠隔・直接同時観測による火星電離圏電子密度擾乱の研究
3. 学会等名 第24回惑星圏研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 原田裕己, C. M. Fowler, G. Collinson, J. S. Halekas, S. Ruhunusiri, G. A. DiBraccio, J. P. McFadden, T. Hara, J. Espley, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2. 発表標題 Oxygen ion modulation by magnetosonic waves in the upper ionosphere of Mars
3. 学会等名 第150回SGEPSS総会および講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Harada, Y., J. S. Halekas, S. Xu, G. A. DiBraccio, S. Ruhunusiri, T. Hara, J. P. McFadden, J. Espley, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2. 発表標題 Reconnection Jets Observed by MAVEN Around Mars: Implications for Ion Escape
3. 学会等名 AOGS 18th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤倫生, 原田裕己, David L. Mitchell, Christian Mazelle, Gina A. DiBraccio, Jasper S. Halekas, Suranga Ruhunusiri
2. 発表標題 MAVENおよびMGS観測データを用いた火星地殻残留磁場近傍での周期的電子注入現象の研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂東日菜, 原田裕己, 寺田直樹, 中川広務
2. 発表標題 火星電離圏不規則構造の遠隔・直接同時観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤倫生, 原田裕己, David L. Mitchell, Christian Mazelle, Gina A. DiBraccio, Jasper S. Halekas, Suranga Ruhunusiri
2. 発表標題 MAVEN および MGS 観測データを用いた火星地殻残留磁化近傍での周期的電子注入現象の発生機構についての研究
3. 学会等名 第150回SGEPSS総会および講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂東日菜, 原田裕己, 寺田直樹, 中川広務
2. 発表標題 MAVEN および Mars Express による火星電離圏不規則構造の遠隔・直接同時観測
3. 学会等名 第150回SGEPSS総会および講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂東日菜, 原田裕己, 寺田直樹, 中川広務
2. 発表標題 火星電離圏不規則構造の遠隔・直接同時観測
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Harada, Y., S. Ruhunusiri, J. S. Halekas, J. Espley, G. A. DiBraccio, J. P. McFadden, D. L. Mitchell, C. Mazelle, G. Collinson, D. A. Brain, T. Hara, M. Nose, S. Oimatsu, K. Yamamoto, and B. M. Jakosky
2. 発表標題	Magnetosonic waves driven by proton ring distributions in the Martian magnetosphere
3. 学会等名	JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Harada, Y., J. S. Halekas, G. A. DiBraccio, S. Xu, S. Ruhunusiri, T. Hara, J. Espley, J. P. McFadden, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2. 発表標題	Survey of dayside reconnection signatures at Mars with MAVEN
3. 学会等名	JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Harada, Y., J. S. Halekas, S. Xu, G. A. DiBraccio, S. Ruhunusiri, T. Hara, J. P. McFadden, J. Espley, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2. 発表標題	A survey of ion jets within current sheets in the vicinity of Mars with MAVEN
3. 学会等名	第148回SGEPSS総会および講演会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Harada, Y., J. S. Halekas, S. Xu, G. A. DiBraccio, S. Ruhunusiri, T. Hara, J. P. McFadden, J. Espley, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2. 発表標題	Reconnection jets within current sheets around Mars
3. 学会等名	Uji Reconnection Workshop 2020
4. 発表年	2020年

1 . 発表者名 Harada, Y., J. S. Halekas, S. Xu, G. A. DiBraccio, S. Ruhunusiri, T. Hara, J. P. McFadden, J. Espley, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2 . 発表標題 Global survey of ion flow acceleration within current sheets in the Martian magnetosphere with MAVEN
3 . 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Harada, Y., J. S. Halekas, S. Xu, G. A. DiBraccio, S. Ruhunusiri, T. Hara, J. P. McFadden, J. Espley, D. L. Mitchell, C. Mazelle
2 . 発表標題 Reconnection Jets Observed by MAVEN Around Mars: Preliminary Estimates of Ion Escape Rates
3 . 学会等名 MAVEN PSG (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Harada, Y., S. Ruhunusiri, J. S. Halekas, J. Espley, G. A. DiBraccio, J. P. McFadden, D. L. Mitchell, C. Mazelle, G. Collinson, D. A. Brain, T. Hara, M. Nose, S. Oimatsu, K. Yamamoto, and B. M. Jakosky
2 . 発表標題 Locally generated ULF waves in the Martian magnetosphere
3 . 学会等名 MAVEN PSG (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Harada, Y., S. Ruhunusiri, J. S. Halekas, J. Espley, G. A. DiBraccio, J. P. McFadden, D. L. Mitchell, C. Mazelle, G. Collinson, D. A. Brain, T. Hara, M. Nose, S. Oimatsu, K. Yamamoto, and B. M. Jakosky
2 . 発表標題 Internally generated ULF waves in the Martian magnetosphere
3 . 学会等名 第146回SGEPSS総会および講演会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Harada, Y., S. Ruhunusiri, J. S. Halekas, J. Espley, G. A. DiBraccio, J. P. McFadden, D. L. Mitchell, C. Mazelle, G. Collinson, D. A. Brain, T. Hara, M. Nose, S. Oimatsu, K. Yamamoto, and B. M. Jakosky
2. 発表標題 MAVEN observations of internally generated ULF waves in the upper ionosphere of Mars
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Harada, Y., S. Ruhunusiri, J. S. Halekas, J. Espley, G. A. DiBraccio, J. P. McFadden, D. L. Mitchell, C. Mazelle, G. Collinson, D. A. Brain, T. Hara, M. Nose, S. Oimatsu, K. Yamamoto, and B. M. Jakosky
2. 発表標題 ULF Waves in the Ionosphere of Mars
3. 学会等名 21st Symposium on Planetary Sciences
4. 発表年 2020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

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		
米国	アイオワ大学	NASAゴダード宇宙飛行センター	カリフォルニア大学バークレー校