

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03894

研究課題名（和文）交換型磁気リコネクションの磁場トポロジー

研究課題名（英文）Magnetic topology of interchange magnetic reconnection

研究代表者

渡辺 正和（Watanabe, Masakazu）

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号：70446607

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：交換型リコネクションとは、その前後で磁力線の属する領域が入れ替わるものをいう。結果として各領域の磁束は変化しないが、磁力線のつながり方や形状は変化する。本研究は交換型リコネクションの3次元構造（磁力線形状とトポロジー）を明らかにした。磁気零点（磁場が0となる点）からは2次元境界面（fan）と1次元境界線（spine）が出ている。交換型リコネクションでは、fan上に拡散領域が現われて、fanの両面に隣接する磁力線が入れ替わる。拡散がないとした場合、磁力線はspineを軸としてfan上で反転する。交換型リコネクションのトポロジーは"fan reconnection"と呼ばれているものと同相である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義の第一は、交換型という、2領域の磁力線しか関与しない特殊なりコネクションが実在することを示したことである。通常想定するリコネクションでは、2領域の磁力線から別の2領域の磁力線に変わる（4領域の磁力線が関与）。意義の第二は、平行磁場の入れ替わりという、3次元リコネクションの本質を具体的に示したことである。一般に磁気リコネクションというと、反平行磁場が一旦切れ、パートナーを変えて再び繋ぎ替わるという2次元描像が流布しているが、これは大きな誤りである。3次元のリコネクションでは、拡散領域内で必ず平行磁場が存在する。平行磁場がアイデンティティを失って入れ替わることがリコネクションである。

研究成果の概要（英文）：The interchange reconnection refers to magnetic reconnection in which the topological regions to which the magnetic field lines belong interchange at the time of reconnection. Although the net magnetic flux in each region is unchanged, the connectivity and geometry of field lines do change. This study clarified the three-dimensional structure (field line geometry and topology) of interchange reconnection. In general, a two-dimensional separatrix (a magnetic surface that separates the topological regions, called a "fan") and a one-dimensional separatrix (oppositely directing magnetic field lines, called a "spine") emanate from a magnetic null point. In interchange reconnection, a diffusion region appears on the fan, with the field lines on both sides of the fan interchanging. If we assume the absence of diffusion in the plasma, the magnetic field lines flip on the fan about the spine as an axis. The topology of interchange reconnection is the same as what is called "fan reconnection."

研究分野：磁気圏物理学

キーワード：磁場トポロジー 磁気流体シミュレーション 地球磁気圏 磁気リコネクション

1. 研究開始当初の背景

研究者が通常思い浮かべるリコネクションは、2領域の磁力線から別の2領域の磁力線ができるリコネクションで、全体で4つの領域が関与する。これはDungey型リコネクションと呼ばれている。一方交換型リコネクションは、リコネクション前後で2領域の磁力線が入れ替わる特殊なリコネクションである。交換型リコネクションの概念は、最初太陽物理学で導入された(Crooker et al., 2002) 代表者の渡辺正和が地球磁気圏物理学に適用した(Watanabe et al., 2004)。交換型リコネクションの理論に関心のある研究者は当時世界中におらず、交換型リコネクションの概念はあっても、実在するかどうかを含めて、その実体は全く分かっていなかった。実在を問うためには磁場トポロジーを明らかにしなければならない。リコネクションにおける磁場トポロジーの理論研究は、Eric Priest (英国) のグループが有名である。Priest & Titov (1996) は、磁気零点(磁気中性点とも言う)を介して起こる3種類のリコネクション(separator reconnection, spine reconnection, fan reconnection)を提唱し、各々について磁力線の“運動”を初等関数で与えた数学モデルを発表している。これ以降、トポロジー研究にあまり進展はない状況だったので、Priest & Titov (1996) が行ったのと同様な数学モデルを、交換型リコネクションについて構築できないかと考えていた。しかし交換型リコネクションを議論する場合、磁力線が閉じているか開いているかといった、大域的磁場トポロジーの情報が必要である。そのような状況は局所的な箱モデルによる数値シミュレーションでは再現できない。そこで地球磁気圏のグローバルシミュレーションを題材に、交換型リコネクションのトポロジーを調べる研究を提案した。また、意外かもしれないが、数値シミュレーションデータから磁場トポロジーを正確に決定する手法は確立されていない。ただし研究提案当時、磁気零点から発する磁気面を数値的に追跡する手法(レベル集合法, level-set method)が、研究分担者の蔡東生によって開発途上であった。この手法を使えばトポロジーが決定可能なので、本研究を始めるよい機会だと考えた。

2. 研究の目的

磁気流体力学(magnetohydrodynamics, MHD)の範囲内で、交換型リコネクションの実在を示すことが本研究の目的である。そのためのMHD数値シミュレーションを行うが、通常の理論研究で使われているような局所的箱モデルでは交換型リコネクションの再現はできない。そこで、具体的な形状・境界条件を与えたグローバルシミュレーションを行う(本研究では地球磁気圏)。シミュレーション結果から最先端の解析手法(レベル集合法)を用いて磁場トポロジーと磁場形状を決定する。その結果を基に、実空間での磁力線形状を表現する数学モデルを構築し交換型リコネクションの実在を示す。

交換型リコネクションの概念はそれほど広く認知されていないが、太陽物理学や地球磁気圏物理学で様々な現象と関連することが指摘されている。宇宙・天体現象においてリコネクションは普遍的に現れ、3次元磁場トポロジーと3次元リコネクションの同定は普遍性のある研究テーマおよびデータ解析技術である。本研究はMHDに基づくが、マイクロなプラズマ過程を追う場合でも背景となる磁場トポロジーの理解は欠かせない。リコネクションの3次元構造はまだよく分かっていない部分が多く、宇宙・天体現象の基礎原理の理解に貢献することも長期的な目的である。

3. 研究の方法

分担者の田中高史が開発した磁MHDモデルREPPU(Reproduce Plasma Universe)を用いて、交換サイクルが形成されている磁気圏を再現する。REPPUは太陽風と地球磁気圏の相互作用を模擬するMHDシミュレーションコードである。交換サイクルとは、連続する2種類の交換型リコネクションで構成される磁気圏の磁束循環のことである。得られたシミュレーションデータに対し磁場トポロジー解析を行う。解析の都合から、シミュレーションデータをまずデカルト座標系の正規格子(0.25Re間隔, Reは地球半径)に補間する。続いて磁気零点を探索する。探索には三重線形補間法を用いる。磁気零点が1次零点(磁場 \mathbf{B} のヤコビ行列式が非零 $[\nabla \mathbf{B} \neq 0]$)であれば必ず検出できる手法が確立されている。磁気零点にはA型、B型の2種類ある。ヤコビ行列の固有値実部の符号が、(- - +)であるものがA型、(+ + -)であるものがB型である。実部が同符号である2つの固有値に対応する固有空間(固有ベクトルが張る空間)は2次元多様体で、磁気面でもある。これをfanと呼ぶ(記号 Σ を使う)。残りの1つの固有ベクトルが作る固有空間は1次元多様体で、磁力線でもある。これをspineと呼ぶ(記号 γ を使う)。大域的磁場トポロジーを決定するために、各零点から出る Σ 面を追跡する。追跡にはレベル集合法を用いたアルゴリズムを採用する。この手法は分担者の蔡東生が開発・改良を続けてきたものである。 Σ 面を他の零点と交差するまで追跡すれば零点間の結合様式、すなわち大域構造が決定する。交換型リコネクションは Σ 面上で起こる。零点近傍の Σ 面上で、磁力線、沿磁力線電場、 Σ 面を通過するプラズマ流を調べる。沿磁力線電場はリコネクションの効率を表す重要な物理量である。さらに、 Σ 面上にない Σ 面近傍の磁力線形状を調べる。以上を基に、交換型リコネクションの幾何学と力学を考察する。最後に、磁力線形状を初等関数で表現することを考える。

4. 研究成果

まず地球磁気圏を模したシミュレーション結果を図1に示す。REPPUコードを用いて、交換型リコネクションによる磁気圏・電離圏対流（交換サイクル）を再現した。惑星間空間磁場の強度は6nT、真北から測った時計角は -20° とした。地心太陽磁気圏座標系（geocentric solar magnetospheric [GSM] coordinate system）での成分は $B_x=0\text{nT}$, $B_y=-2.1\text{nT}$, $B_z=5.7\text{nT}$ である。図1aは北半球の電離圏ポテンシャル（1kV毎の等高線）と磁力線の開閉（赤が閉領域、青が開領域）を示したものである。等ポテンシャル線は電離圏対流の流線でもある。図1aの対流パターン（L, M, Rの対流セル）は交換サイクルが起きていることを示唆している。図1bはレベル集合法を用いてこの時の磁気圏磁場トポロジーを決定した結果である。北半球にA型零点が1個、南半球にB型零点が1個あり、それらが2本のセパレータで結ばれている。本研究で用いる座標系は、GSM座標系とはX成分とY成分が反転している（ $X=-X_{\text{GSM}}$, $Y=-Y_{\text{GSM}}$, $Z=Z_{\text{GSM}}$ ）。北半球の零点A [$(X, Y, Z)=(1.1, 2.9, 14.6)\text{Re}$] から Σ_A （青）が、南半球の零点B [$(X, Y, Z)=(1.3, -3.1, -14.7)\text{Re}$] から Σ_B （紫）が出ている。両者の交線はセパレータと呼ばれている。図1bで分かるように、昼側セパレータは綺麗に求められている。夜側セパレータも交線として部分的に求められている。 Σ 面の追跡は零点から60Reの距離まで行った。零点から離れると追跡に時間がかかるようになり、60Reで打ち切っている。

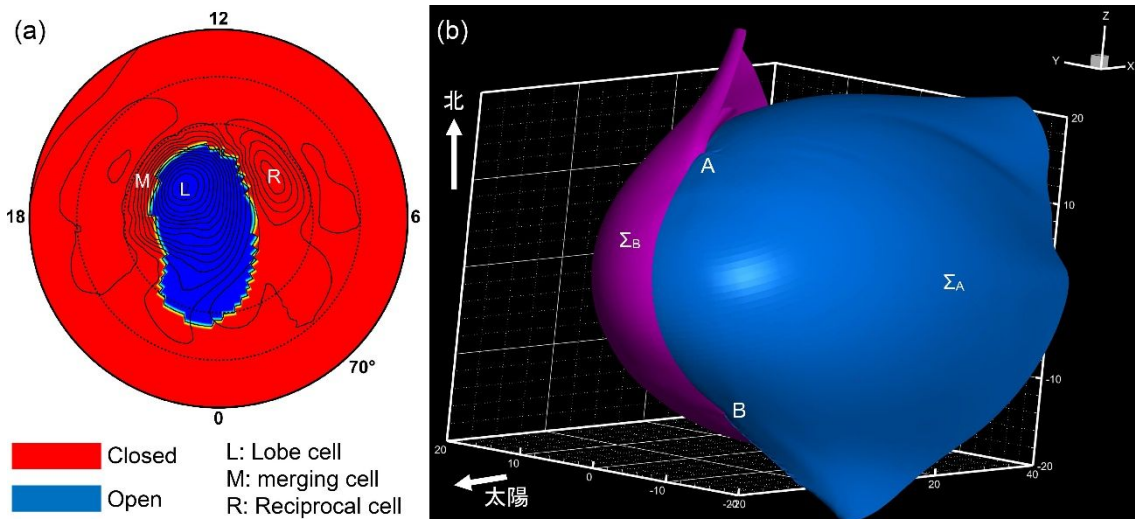


図1 (a) グローバル MHD シミュレーションで再現された電離圏ポテンシャル（黒実線、1kV 毎）と磁力線の開閉（色）。(b) 大域的磁気圏磁場トポロジー。2つの零点から出る Σ 面を追跡。

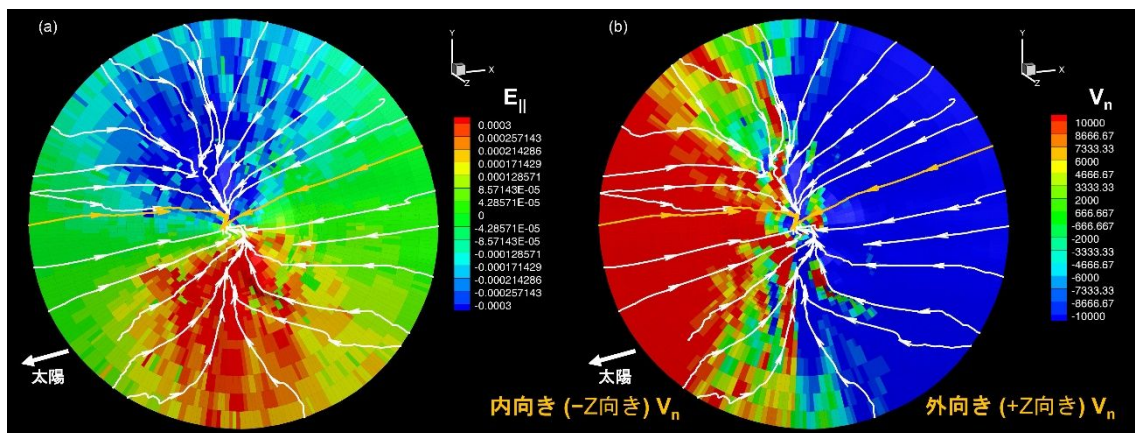


図2 (a) Σ_A 上の沿磁力線電場と磁力線。(b) Σ_A を通過するプラズマ流（北から南が正）

図2は零点A近傍の Σ_A （Aを中心に半径5Re）を北から見下ろしたものである。矢印付流線は Σ_A 上の磁力線で、特に橙色の流線はセパレータ（図1bの Σ_A と Σ_B の交線）である。図2aの色は沿磁力線電場を表している。3次元リコネクションでは、一般に沿磁力線電場がリコネクションの効率を表す。セパレータより朝方側（上部）には朝方に向く沿磁力線電場が、セパレータより夕方側（下部）にも朝方に向く沿磁力線電場があることが分かる。前者は閉磁力線と南半球の開磁力線がリコネクションを起こしていることを示し、後者は惑星間空間磁力線と北半球の開磁力線がリコネクションを起こしていることを示している。いずれも交換型リコネクションである。後出の図3aに示すような、いわゆる“X line”が零点Aから朝夕方向に伸びていることが見てとれる。図2bの色は Σ_A を通過するプラズマ流を示している。正は Σ_A を北から南に通過する流れで、負は Σ_A を南から北に通過する流れである。X lineより昼側ではプラズマ流は

北から南に通過し、X line より夜側ではプラズマ流は南から北に通過している。これらの流れは前述の2つのリコネクションによる流れと合致している。

図3aは図2に示した Σ_A 上の磁力線を模式的に表したものである。磁力線の形状に交換型リコネクションの特徴が表れている。X line (青破線)がセパレータ(橙線)に直交する方向にでき、 Σ 面上の磁力線はX lineに接する形で零点に収束していく。X lineに沿う磁場はいわゆる案内磁場(guide field)で、拡散で Σ_A より前面の磁力線と Σ_A より背面の磁力線が入れ替わる。これが交換型リコネクションの基本である。またセパレータより上方(朝方側)のリコネクションと下方(夕方側)のリコネクションは独立である。以上の磁力線形状の特徴は、電流がない真空中の磁場、すなわちポテンシャル磁場(スカラーポテンシャル ϕ で書ける磁場 $[\mathbf{B}=-\nabla\phi]$)と比較すればよく理解できる。図3bは双極子磁場と一様磁場を重ね合わせたポテンシャル磁場の形状である。ポテンシャル磁場では、 Σ_A 上の磁力線はセパレータ(橙線)に接する形で零点に収束する。これが図3aのように変形するのは、リコネクションを起こしている電流シートの電流による。

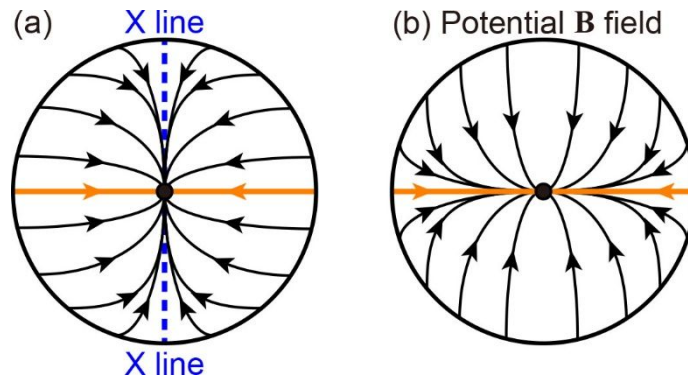


図3 Σ_A 面上の磁力線形状(橙線はセパレータ)。 (a)は図2の模式図で、(b)はポテンシャル磁場(真空, 電流なし)の場合。

零点A近傍で起こっている2つの交換型リコネクションのうち、以後閉磁力線と南半球の開磁力線が起こす交換型リコネクションに絞って記述する。すなわち、図2および図3でセパレータより上方(朝方側)で起こるものに注目する。セパレータより下方で起こる惑星間空間磁力線と北半球の開磁力線が起こす交換型リコネクションもトポロジーは同相である。閉磁力線と南半球の開磁力線が起こす交換型リコネクションについて、図4はリコネクション直前の磁力線(1および2)と、リコネクション直後の磁力線(3および4)を示したものである。図4は朝方側から見た図で、見る方向が図2とは異なっていることに注意せよ。図2bのプラズマ流と見比べると、磁力線1が Σ_A を南から北へ通過して磁力線3になり、磁力線2が Σ_A を北から南へ通過して磁力線4になることが分かる。これら磁力線の γ_A に沿う部分はほとんど変わらない。 γ_A 上に拡散はほとんどないので、見かけ上、磁力線は Σ_A 上でflippingを起こしていることになる。これはPriest & Titov (1996)が提唱したfan reconnectionと同じである。ただしflippingは Σ_A の全面ではなく、セパレータで区切られた半平面上で起こることになる。

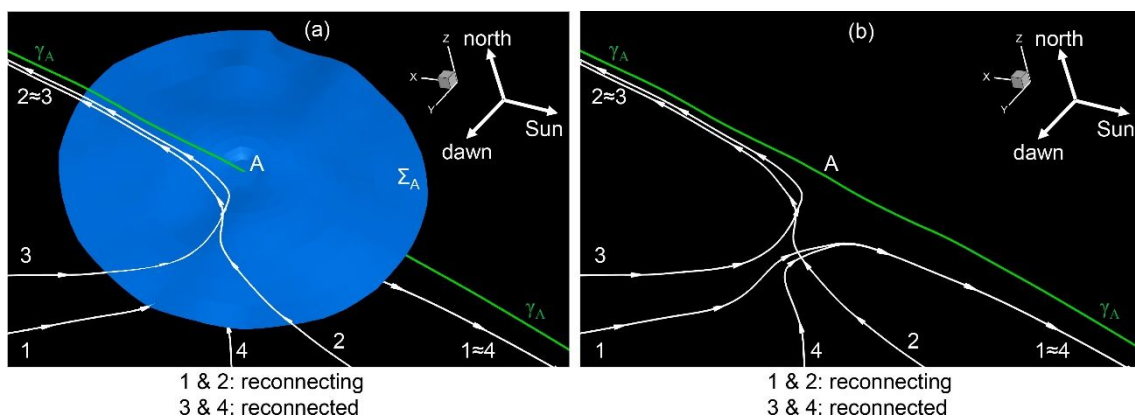


図4 閉磁力線と南半球の開磁力線が起こす交換型リコネクションに関し、リコネクション直前・直後の磁力線形状を朝方側から見たもの。(a)には Σ_A (ここでは半径 $3R_e$)が描いてあるが、(b)には描いてない。

図5aは図4で考察した磁力線の“運動”を模式的に示したものである。 Σ_A と Σ_B によって零点A近傍は4つの象限(図中のsouth lobe, north lobe, closed, IMF = interplanetary magnetic

field) に分割されている。このうち今考えているリコネクションには、閉磁力線領域 (closed) と南半球の開磁力線領域 (south lobe) が関与する。リコネクション直前の磁力線 1 (青) と磁力線 2 (緑) が、リコネクション直後の磁力線 3 (赤) と磁力線 4 (灰) になる。 Σ_A 上に拡散領域があり、 Σ_A の両面に隣接する磁力線が入れ替わる。もし拡散がないとすれば、 Σ_A 上で磁力線は flipping を起こす。ただし flipping はセパレータの朝方側に限られている。したがって Priest & Titov (1996) の言う fan reconnection の半分と考えることができる。また、拡散領域内で 2 本の磁力線は平行であり、リコネクションは反平行磁場のつなぎ換わりではなく、平行磁場の入れ替わりであることが理解できる。図 5b は X line に沿って朝方側から見た図である。この方向から見た場合にのみ、反平行磁場がつなぎ換わる 2 次元描像になる。

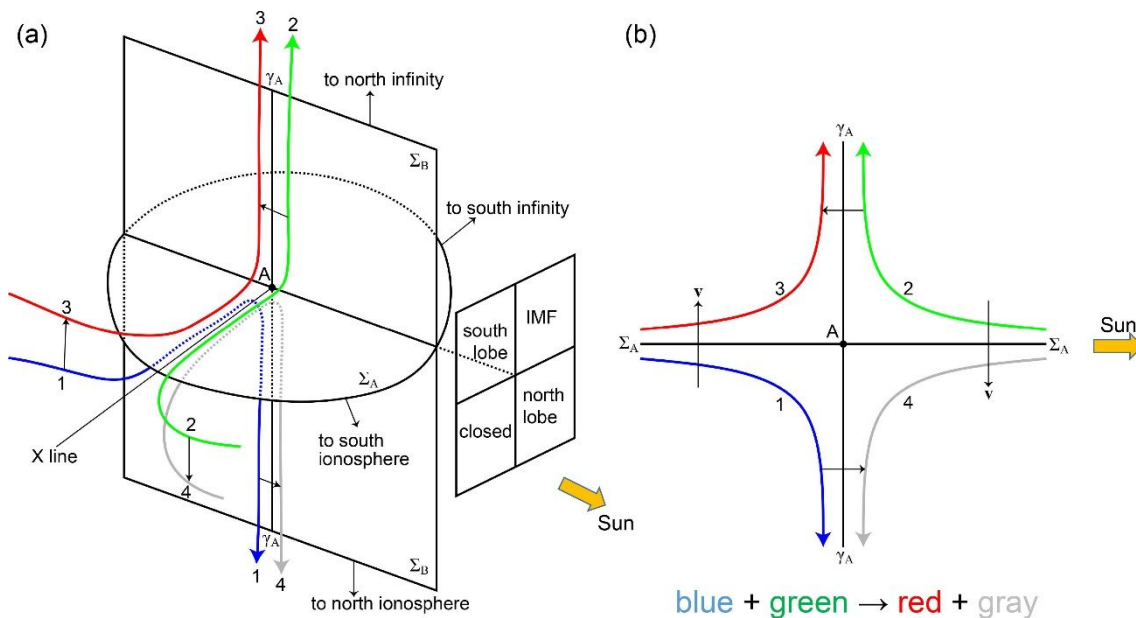


図 5 (a) 交換型リコネクションの 3 次元描像。(b) X line に沿う方向からみると、反平行磁場のつなぎ換えに見える。

以上の考察から以下の主要結論を得る。交換型リコネクションの磁場トポロジーは Priest & Titov (1996) が提唱した “fan reconnection” と同相である。ただし、他の零点から出る fan (Σ 面) によって、関係する領域が全空間の半分に限定されている。また、磁力線の “運動” を表す数学モデルは Priest & Titov (1996) と同じものを考えればよく、新たに構築する必要はない。磁場・速度場を矛盾なく解析的に与えられることが言えるので、交換型リコネクションは実在すると結論できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Fujita, S., Nishitani, N., & Kataoka, R.	4. 巻 127
2. 論文標題 Interpretation of the theta aurora based on the null-separator structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2022JA030332
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JA030332	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 Tanaka, T., Watanabe, M., Ebihara, Y., Fujita, S., Nishitani, N., & Kataoka, R.	4. 巻 127
2. 論文標題 Unified theory of the arc auroras: Formation mechanism of the arc auroras conforming general principles of convection and FAC generation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2022JA030403
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JA030403	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 Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Fujita, S., & Kataoka, R.	4. 巻 126
2. 論文標題 Global simulation of the Jovian magnetosphere: Transitional structure from the Io plasma disk to the plasma sheet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021JA029232	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 Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Den, M., Fujita, S., Kikuchi, T., Hashimoto, K. K., & Kataoka, R.	4. 巻 126
2. 論文標題 Development of the substorm as a manifestation of convection transient	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028942
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020JA028942	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 Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Den, M., Fujita, S., Kikuchi, T., Hashimoto, K. K., Nishitani, N., & Kataoka, R.	4. 巻 126
2. 論文標題 Roles of the M-I coupling and plasma sheet dissipation on the growth-phase thinning and subsequent transition to the onset	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029925	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 Fujita, S., & Tanaka, T.	4. 巻 74
2. 論文標題 Two current systems in the preliminary phase of sudden commencements in the magnetosphere	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-022-01624-3	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 -

1. 著者名 Tanaka, T., Ebihara, Y., Watanabe, M., Den, M., Fujita, S., Kikuchi, T., Hashimoto, K. K., and Kataoka, R.	4. 巻 126
2. 論文標題 Formation and release of the Harang reversal relating with the substorm onset process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2020JA028170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028170	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 渡辺正和	4. 巻 4
2. 論文標題 磁気圏ダイナモと磁気圏磁場トポロジー	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 オーロラ物理学シリーズ	6. 最初と最後の頁 1-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15094/00016231	査読の有無 無
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 田中高史	4. 巻 1
2. 論文標題 複合系磁気圏物理学	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 オーロラ物理学シリーズ	6. 最初と最後の頁 1-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15094/00016232	査読の有無 無
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12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Masakazu Watanabe, Dongsheng Cai, Peikun Xiong, Shigeru Fujita, and Takashi Tanaka
2. 発表標題 Geometric and dynamic properties of interchange reconnection in the Earth's magnetosphere
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺正和, 蔡東生, 熊沛坤, 藤田茂, 田中高史
2. 発表標題 極冠分岐の磁場トポロジー
3. 学会等名 第152回地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masakazu Watanabe, Dongsheng Cai, Peikun Xiong, Shigeru Fujita, Takashi Tanaka
2. 発表標題 Reinterpreting "polar cap bifurcation" reproduced by magnetohydrodynamic simulations
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Watanabe, M., Asano, T., Cai, D., Xiong, P., Fujita, S., and Tanaka, T.
2. 発表標題 Topology and geometry of interchange-type reconnection in the terrestrial magnetosphere
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺正和, 田中高史, 藤田茂, 蔡東生, 熊沛坤
2. 発表標題 磁気圏尾部“乗り換えリコネクション”の磁場トポロジー
3. 学会等名 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Watanabe, M., Cai, D., Xiong, P., Fujita, S., and Tanaka, T.
2. 発表標題 A possible origin of the “polar cap bifurcation” during northward interplanetary magnetic field periods
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺正和, 蔡東生, 熊沛坤, 藤田茂, 田中高史
2. 発表標題 逆転対流セルを生み出す交換型リコネクションのトポロジー
3. 学会等名 2021年度極域・中緯度SuperDARN 研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺正和, 蔡東生, 熊沛坤, 藤田茂, 田中高史
2. 発表標題 交換型リコネクションの磁場トポロジー
3. 学会等名 2021年度RISH電波科学計算機実験シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Watanabe, M., T. Tanaka, and S. Fujita
2. 発表標題 Ionospheric plasma sheet isolation during northward interplanetary magnetic field periods reproduced by numerical magnetohydrodynamic modeling
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺正和, 田中高史, 藤田茂
2. 発表標題 電離圏でのプラズマシート孤立化を引き起こす磁気圏尾部「乗り換え」リコネクション
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watanabe, M., T. Asano, D. Cai, P. Xiong, S. Fujita, and T. Tanaka
2. 発表標題 Visualizing field-aligned electric fields associated with interchange-type reconnection
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺正和, 浅野智哉, 蔡東生, 熊沛坤, 藤田茂, 田中高史
2. 発表標題 地球磁気圏における交換型リコネクション
3. 学会等名 2020年度KDKシンポジウム
4. 発表年 2021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	蔡 東生 (Cai Dongsheng) (70202075)	筑波大学・システム情報系・准教授 (12102)	
研究分担者	田中 高史 (Tanaka Takashi) (70346766)	九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター・博士研究員 (17102)	
研究分担者	藤田 茂 (Fujita Shigeru) (70500693)	統計数理研究所・モデリング研究系・特任教授 (62603)	

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
---------	---------