

平成21年 6月 19日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540445

研究課題名（和文） 磁気圏対流発達における電離圏極 - 赤道電磁エネルギー結合の役割

研究課題名（英文） Role of electromagnetic coupling between polar and equatorial ionosphere in development of the magnetospheric convection

研究代表者

橋本 久美子 (HASHIMOTO KUMIKO)

吉備国際大学・国際環境経営学部・准教授

研究者番号：00389008

研究成果の概要：地球周辺の宇宙空間（磁気圏）で発生する磁気嵐やサブストームは、太陽からの磁化プラズマ（太陽風）に伴うエネルギーの変動によってコントロールされている。我々は、極域から中低緯度の電離圏を経由して、磁気圏内部へ続く電磁エネルギーの伝搬経路が存在することを提案し、データで検証した。また、磁気圏内部で発生する遮蔽電場が電磁エネルギーの流入を阻害することにより、サブストームや磁気嵐の盛衰に大きな影響を与えることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	900,000	0	900,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	420,000	2,720,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学，超高層物理学

キーワード：磁気圏対流，電離圏対流，DP2電流系，磁気圏電離圏複合系，磁気圏電離圏電流系，過遮蔽，赤道電離圏

1. 研究開始当初の背景

宇宙利用の拡大にともない宇宙天気の研究が、予報という実学としての重要性が増している。そのなかで解決すべき大きな課題のひとつとして、衛星の軌道や宇宙飛行士の活動領域であり、放射線帯や磁気嵐環電流が発達する内部磁気圏への電磁エネルギー伝送が挙げられる。電磁エネルギーは、太陽風磁気圏相互作用の結果、外部磁気圏において発生するが、これがどのような経路をとって内部磁気圏へ伝送するかは、いくつかのモデルや

考え方があり、決着がついていない問題である。太陽風磁場の南向き変化にともない電離圏の対流電場が極域全体で発達するのに、電場伝搬が数分以内で速いという立場と、数十分程度かかるゆっくりした伝搬という異なる立場で議論がRidley 他[1999]とLockwood and Cowley [1999]の論争に端を発して1999 - 2002年頃に盛んになった。さらに、高速伝播の立場をとるグループの中でも、磁気圏対流が1000km/s以上の速度で伝わる磁気音波によって伝搬するという考えが支配的で

あった[Ridley 他, 1999, Murr 他, 2001, Slinker 他, 2001]が、磁気圏中を伝播する磁気音波は電離圏対流を駆動することができないと指摘する理論的考察[Kivelson and Southwood, 1992, Iijima, 2000 など]と、矛盾するものであった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、極から赤道までの電磁エネルギー伝送を電離圏固有の特性として捉え、その内部磁気圏・磁気圏尾部へのエネルギー伝送に果たす役割を検証することである。電離圏が果たす役割に注目し、これを観測データと理論モデルで検証し、内部磁気圏、低緯度電離圏を包含するグローバルな磁気圏電離圏結合系における電磁エネルギー伝送の新しいモデルを構築することを目指す。

3. 研究の方法

極域から赤道までグローバルに電離圏対流電場の発達に伴う電流系の変動を調べるために、スカンジナビア半島に沿って極からサブオーロラ帯まで広がる IMAGE 磁力計観測ネットワークと、中低緯度・磁気赤道に展開されている INTERMAGNET および、情報通信研究機構の磁力計ネットワークの磁力計データを解析した。特に、IMAGE 磁力計ネットワークで対流電場及びサブオーロラ帯を中心とする遮蔽電場の発達と減衰が同時に同定できることがわかった。そのため、過遮蔽の時間的、空間的な特性を調べる場合、IMAGE 磁力計ネットワークが 13-21 磁気地方時 (MLT) に位置する時間帯のデータから、過遮蔽の発生事例を抽出し、それらの事例に対して、昼側磁気赤道のサンプルス、アンコン、また夜側中緯度の柿岡など他の観測点の磁力計データを詳細に解析した。また、同時に SuperDARN のデータも利用し、極域電離圏の電場発達を検証した。

4. 研究成果

太陽風磁場 (IMF) が南向きになると磁気圏対流が発達し、サブストーム成長相が始まる。一方、成長相が 1~2 時間継続した後に、夜側の極域電離圏を中心としてオーロラ活動が活発になる爆発相が開始する。IMF が北向きになるか南向き IMF が減少し、対流電場が弱まることによって、この爆発相がトリガーされるという説が有力である。地磁気嵐の主相と回復相もまた磁気圏対流電場が成長または減衰するに従い、磁気嵐環電流が発達または衰退すると理解されている。このように、磁気圏対流の変動は、磁気圏電離圏の主要な現象をコントロールする。私達は磁気圏対流電場が極域電離圏から中緯度電離圏を経て赤道まで瞬時に伝搬すると同時に、磁力線沿いに内部磁気圏に伝送されることにより、サ

ブストームや磁気嵐の生成、消滅に寄与すると考えており、これを検証するために、サブストームや磁気嵐の各相について極域から赤道の磁場データおよび、SuperDARN データの解析をおこない、以下の成果を得た。

(1) サブストームに伴う過遮蔽

スカンジナビア半島に沿って極冠からサブオーロラ帯に広がる IMAGE 磁力計観測網の 15 観測点の地磁気データを解析し、対流電場の発達により極域から中緯度で DP2 電流系が強まるサブストーム成長相の最中に、サブオーロラ帯から低緯度側で急激な過遮蔽が発生し、過遮蔽にともなう夕朝方向の電場が昼側磁気赤道で、西向きのジェット電流 (CEJ: counter electrojet) を流したことを発見した。この遮蔽・過遮蔽電場は、対流にともなう電磁エネルギーの低緯度への流入を阻害し、また、逆向きの遮蔽電場エネルギーを中低緯度・赤道電離圏に流入させるという点で、重要である。これまでの過遮蔽は、対流電場により発達した非対称環電流に伴う領域 2 型沿磁力線電流 (R2FAC) に伴う遮蔽電場が、対流電場が減少することで顕在化することが原因であるとされた。しかし、本研究で発見した過遮蔽は南向き IMF が継続し、対流が成長する過程で発生した過遮蔽であった。したがって、中低緯度から赤道の過遮蔽はオーロラ帯の対流電場 (DP2 電流) の増加を伴っており、R1FAC とともに R2FAC が増強したことを示唆している。対流電場の増加は、SuperDARN レーダーでも高速のプラズマ流として確認された。

DP2 電流の増加を伴う過遮蔽の時間的、空間的な特性を調べるために、この過遮蔽と同様に顕著な IMF の変動や対流の減衰を伴わない事例を 2000 年の IMAGE 磁力計観測網のデータにより、31 イベント抽出した。その結果、過遮蔽は、地方時 14-19 MLT、磁気緯度 62~64° 付近に発生することが明らかになった。さらに、31 イベントのうち 17 イベントについては、夜側中低緯度に位置する柿岡や女満別でポジティブベイが観測され、サブストーム発生時に過遮蔽が発生することが確認された。

サブストーム爆発相とほぼ同時に発生する過遮蔽の特性を、2003~2005 年のグローバル磁力計網と SuperDARN データを用いて抽出した 92 事例について季節変化を調べた。その結果、冬季に発生することが明らかになった。この結果は、過遮蔽の発生に電離層電気伝導度が寄与することを示唆している。さらに、磁力計の 1 秒サンプリングデータを用いて、サブストームの爆発相開始と対流電場の過遮蔽が発生する時刻を比較した結果、赤道で過遮蔽が発生して数分以内に、夜中の中緯度で、サブスト

ームを開始を示すポジティブベイやPi2地磁気脈動が開始したことが明らかになった。

以上の結果は、サブオーロラ帯から赤道の過遮蔽電流が、非対称環電流により駆動される R2 FAC によりドライブされることを考えると、サブストーム時に、赤道ジェット電流 (CEJ)-R2FAC-非対称環電流の電流回路が形成されると結論される。これは、夜側のカレントウエッジがつくるサブストーム電流系 (DP1 電流) のほかに、内部磁気圏と電離層を結ぶ電流が存在することを示しており、中緯度 赤道の電離層電流を含む昼間 DP1 電流系が存在することを結論する。

(2) 3つの磁気嵐について、磁気圏電場の赤道電離層への侵入を調べた。解析した事例は、磁気嵐の主相時に東向き赤道 DP2 電流が発達し、回復相で西向き逆向き赤道ジェット電流 (CEJ) を伴った。赤道 DP2 電流の発達開始は、磁気嵐環電流の開始と同時であり、2-3 時間、継続した。この開始の同時性は、対流電場が赤道電離層へ侵入すると、ほぼ同時に内部磁気圏へ侵入することを示しており、Hashimoto et al. (2002) が示した、内部磁気圏の環電流が電離層電場の増加または減少の数分以内に発達または衰退する結果を支持している。一方、赤道 DP2 電流は、主相後半には減少し、回復相の初期で過遮蔽による CEJ が発生することが見出された。過遮蔽電場は、磁気圏対流に伴う電磁エネルギーが内部磁気圏へ流入するのを阻害する。したがって、DP2 電流に伴う電場が環電流発達に寄与する一方、過遮蔽電場が環電流の衰退に寄与することを示唆する。この結果は、Kikuchi et al. [2008] として、Journal of Geophysical Research に掲載された。

(3) 2006 年 12 月に発生した磁気嵐の開始直前に、周期約 30 分の準周期磁場変動が高緯度および磁気赤道で観測された。磁場の正負の変動に対応して、東向きと西向き赤道電離層電流が交互に現れたことを見いだした。さらに SuperDARN レーダーにより観測された電離層対流パターンは、正負の電離層電流に対応して、R1FAC および R2FAC が発達したことを示した。この結果は、IMF の南向き、北向きの変化に対応して、対流電場と遮蔽電場が交互に赤道に伝搬することを示している。すなわち、R1FAC と R2FAC が交互に極域電離層、さらに赤道電離層へ流入することを示している。この電磁エネルギー伝送メカニズムは、DP2 変動だけでなく、磁気嵐など一般的な地上磁場変動に際しても有効に働くメカニズムであることを結論した。この結果は、Journal of Geophysical Research に投稿中

である。

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 10 件)

Kikuchi, T., K. K. Hashimoto and K. Nozaki, Storm phase dependence of penetration of magnetospheric electric fields to mid and low latitudes, Midlatitude Ionospheric Dynamics and Disturbances, AGU Geophysical Monograph Series, edit. P. M. Kintner Jr., A. J. Coster, T. Fuller-Rowell, A. J. Mannucci, M. Mendillo, and R. Heelis. 査読有り, 181, 145-155, 2008

Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, and K. Nozaki, Penetration of magnetospheric electric fields to the equator during a geomagnetic storm, J. Geophys. Res., 査読有り, 113, A06214, doi:10.1029/2007JA012628, 2008

橋本久美子, 菊池崇, 国武学, 巨慎, 太陽風磁場の短時間変動に対する磁気圏電離層対流の応答, 吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要第 4 号, 査読無し, P.25-31, 2008

Fejer, B. G., Jensen, J. W., T. Kikuchi, M. A. Abdu, J. L. Chau, Equatorial ionospheric electric fields during the November 2004 magnetic storm, J. Geophys. Res., 査読有り, 112, doi:10.1029/2007JA012376, 2007

Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, M. Kunitake, K. Ohtaka, S. Watari, Ionospheric plasma convection observed by HF radar network in the northern polar region, J. Nat. Inst. Inform. Comm. Tech., 査読無し, vol.54, No. 1/2, p.117-126, 2007.

Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, M. Shinohara, K. Nozaki, and B. Bristow, Space weather study using the HF radar in King Salmon Alaska, J. Nat. Inst. Inform. Comm. Tech., 査読無し, vol.54, No. 1/2, 127-137, 2007.

橋本久美子, 菊池崇, 国武学, 大高一弘, 巨慎一, 北極域 HF レーダー観測による電離層対流の変動, 情報通信研究機構季報, 査読無し, vol.53, P.103-111, 2007

菊池崇, 橋本久美子, 篠原学, 野崎憲朗, B. Bristow, アラスカ King Salmon レーダーによる宇宙天気の研究, 情報通信研究機構季報, 査読無し, Vol.53.No.1/2, 113-121, 2007

橋本久美子, 内部磁気圏電離圏結合系における対流発達過程, 吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要, 査読無し, 第3号, P.9-18, 2007

石川裕子, 橋本久美子, 菊池崇, 国武学, 大高一弘, 渡辺堯, 電離圏における対流電場の過遮蔽, 吉備国際大学政策マネジメント学部研究紀要, 査読無し, 第3号, P.31-41, 2007

[学会発表](計 26件)

T. Kikuchi, Y. Ebihara, K.K. Hashimoto, R. Kataoka, T. Hori, S. Watari, N. Nishitani, Convection and overshielding electric fields in the global ionosphere as observed with magnetometers and SuperDARN during the geomagnetic storm on 14-15 December 2006, 米国地球物理学学会秋季大会2008, 2008年12月15日, 米国

菊池崇, 海老原裕輔, 橋本久美子, 片岡龍峰, 堀智昭, 巨慎一, 西谷望準周期DP2地磁気変動時の対流電場と過遮蔽電場, 中緯度短波レーダー研究会, 2008年12月8日, 名古屋大学

橋本久美子, 菊池崇, 巨慎一, Overshielding at subauroral - equatorial latitudes at the onset of substorm, 第3回磁気圏電離圏複合系における対流に関する研究会, 2008年11月18日, 吉備国際大学岡山駅前キャンパス
橋本久美子, 菊池崇, 巨慎一, オーロラサブストームに伴う昼側赤道の西向きジェット電流, 太陽から地球までシンポジウム, 2008年10月27日, 陸別町タウンホール

橋本久美子, 菊池崇, 巨慎一, Overshielding at subauroral equatorial latitudes at the onset of substorm, 日本地球電磁気惑星圏2008秋季大会, 2008年10月8日, 仙台市戦災復興会館

菊池崇, 新堀淳樹, 辻裕司, 橋本久美子, 巨慎一, 荒木徹, M. A. Abdu, 磁気嵐急始初期インパルスの数秒以内同時性と地面電離層導波管TMOモード伝播による理解, 日本地球電磁気惑星圏学会2008秋季大会, 2008年10月8日, 仙台市戦災復興会館

T. Kikuchi, A. Shinbori, Y. Tsuji, K. K. Hashimoto, S. Watari, T. Araki, M. A. Abdu, Instantaneous propagation of the preliminary impulse of geomagnetic sudden commencement to the geomagnetic equator both on the day -and night -side, 極地研シンポジウム, 2008年8月4日, 東京都・国立極地研究所

K. K. Hashimoto, T. Kikuchi, S. Watari, Overshielding associated with substorm,

第5回アジアオセアニア地球物理学学会, 2008年6月18日, 韓国

T. Kikuchi, A. Shinbori, Y. Tsuji, K. K. Hashimoto, S. Watari, T. Araki, M. A. Abdu, Simultaneity within a few seconds of the global preliminary impulse of the geomagnetic sudden commencement and its explanation by means of the Earth-ionosphere waveguide mode, 第5回アジアオセアニア地球物理学学会, 2008年6月17日, 韓国

T. Kikuchi, Y. Ebihara, K.K. Hashimoto, R. Kataoka, T. Hori, S. Watari, N. Nishitani, Magnetometer and SuperDARN observations of the stormtime electric fields at mid equatorial latitudes, 第5回アジアオセアニア地球物理学学会, 2008年5月19日, 韓国

T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, A. Shinbori, S. Watari, and B. Fejer, Penetration of stormtime electric fields to the low latitude ionosphere and the inner magnetosphere as observed with the magnetometers, incoherent scatter radar and Akebono satellite, 第5回アジアオセアニア地球物理学学会, 2008年6月18日, 韓国

菊池崇, 海老原祐輔, 橋本久美子, 片岡龍峰, 巨慎一, 西谷望, Penetration of the convection and overshielding electric fields to low latitude during quasi-periodic DP2 fluctuations, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月26日, 千葉市幕張メッセ

橋本久美子, 菊池崇, 国武学, 巨慎一, Overshielding associated with the substorm expansion as observed with polar-equatorial magnetometer array and SuperDARN, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月26日, 千葉市幕張メッセ

T. Kikuchi, K. K. Hashimoto, Y. Tsuji, S. Watari, B. Fejer, Stormtime convection and overshielding electric fields at the equator as observed with magnetometers and incoherent scatter radar, 国際赤道域超高層物理シンポジウム, 2008年5月20日, ギリシャ

菊池崇, 橋本久美子, 野崎憲朗, 低緯度赤道電離圏における磁気嵐電場について, 第3回磁気圏電離圏対流に関する研究会, 2007年11月26日, 岡山市・吉備国際大学岡山駅前キャンパス

菊池崇, 橋本久美子, 石川裕子, サブストームにともなう遮蔽電場の発達第3回磁気圏電離圏対流に関する研究会, 2007年11月26日, 岡山市・吉備国際大学岡山

駅前キャンパス

Kikuchi T., K. K. Hashimoto, and K. Nozaki, Penetration of magnetospheric electric fields to the equator during a geomagnetic storm, CAUSES 国際シンポジウム, 2007年10月22日, 京都府

Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, M. Shinohara, K. Nozaki, Penetration of magnetospheric electric fields to low latitude ionosphere during storm/substorms as observed with the IMAGE equatorial magnetometer array, IMAGE 磁力計ネットワーク観測国際シンポジウム, 2007年10月9日, ドイツ

K. K. Hashimoto, T. Kikuchi, K. Ohtaka, and M. Kunitake, Overshielding associated with substorm expansion phase, IMAGE 磁力計ネットワーク観測国際シンポジウム, 2007年10月9日, ドイツ

橋本久美子, 石川裕子, 菊池崇, 大高一弘, 国武学, IMF 北向き変動に伴う遮蔽電場の継続時間, 地球電磁気・地球惑星圏学会第122回講演会, 2007年9月30日, 愛知県・名古屋大学

- ②① 菊池崇, 海老原祐輔, 橋本久美子, 大高一弘, 磁気圏電場による磁気嵐時の赤道磁場準周期変動, 地球電磁気・地球惑星圏学会第122回講演会, 2007年9月29日, 愛知県・名古屋大学
- ②② 菊池崇, 海老原祐輔, 橋本久美子, 大高一弘, Penetration of storm-time electric field from high latitude to the equator, 極地研シンポジウム, 2007年7月16日, 東京都・極地研究所
- ②③ Kikuchi, T., Y. Ebihara, K. K. Hashimoto, K. Ohtaka, K. Kitamura, Penetration of storm-time electric field to low latitude, SuperDARN 極域短波レーダー国際会議2007, 2007年6月6日, 北海道
- ②④ 橋本久美子, 菊池崇, 石川裕子, 大高一弘, 国武学, サブオーロラ帯における対流電場の過遮蔽, 日本地球惑星科学連合2007年大会, 2007年5月20日, 千葉市幕張メッセ
- ②⑤ Kikuchi, T., K. K. Hashimoto, and K. Nozaki, Storm phase dependence of penetration of magnetospheric electric fields to mid and low latitudes, Chapman 会議 Mid-Latitude Ionospheric Dynamics and Disturbances, 2007年1月5日, アメリカ
- ②⑥ Hashimoto, K. K., T. Kikuchi, Global DP2 electric field during geomagnetic storm, Chapman 会議 Mid-Latitude Ionospheric Dynamics and Disturbances, 2007年1月4日, アメリカ

②⑦ 石川裕子, 橋本久美子, 菊池崇, 電離圏における遮蔽電場の発達, 第30回極域宙空圏シンポジウム, 2006年8月4日, 東京都・国立極地研究所

②⑧ 菊池崇, 石川裕子, 橋本久美子, 国武学, サブストーム時の極域電離圏プラズマ流とグローバル電流系, 第30回極域宙空圏シンポジウム, 2006年8月4日, 東京都・国立極地研究所

②⑨ 橋本久美子, 菊池崇, 丸山隆, 国武学, 大高一弘, 磁気嵐時の中低緯度 DP2 電流, 第30回極域宙空圏シンポジウム, 2006年8月4日, 東京都・国立極地研究所

③⑩ 菊池崇, 橋本久美子, 篠原学, 北村健太郎, B. Fejer, Penetration of magnetospheric electric fields to low latitude ionosphere, observations and modeling, 第3回アジア・太平洋地球科学会議, 2006年7月12日, シンガポール

③⑪ 菊池崇, 橋本久美子, 北村健太郎, 篠原学, Equatorial DP2/CEJ during the main/recovery phases of geomagnetic storms, 第3回アジア・太平洋地球科学会議, 2006年7月12日, シンガポール

③⑫ 橋本久美子, 菊池崇, 丸山隆, 大高一弘, Development of DP2 currents and ionospheric response at mid- and low-latitude during geomagnetic storms, 第3回アジア・太平洋地球科学会議, 2006年7月11日, シンガポール

③⑬ 菊池崇, 石川裕子, 橋本久美子, 国武学, Sunward high speed convection and substorm current system, SuperDARN 国際会議2006, 2006年6月6日, アメリカ

③⑭ 菊池崇, 橋本久美子, 北村健太郎, 篠原学, 磁気圏主相/回復相と赤道DP2/CEJの因果関係, 日本地球惑星科学連合2006年大会, 2006年5月15日, 千葉市幕張メッセ

③⑮ 橋本久美子, 菊池崇, 丸山隆, 国武学, 大高一弘, 磁気嵐主相におけるグローバルDP2電流と電離圏プラズマの応答, 日本地球惑星科学連合2006年大会, 2006年5月14日, 千葉市幕張メッセ

③⑯ 石川裕子, 橋本久美子, 菊池崇, 渡辺堯, 国武学, 大高一弘, 電離圏における遮蔽電場の発達, 日本地球惑星科学連合2006年大会, 2006年5月14日, 千葉市幕張メッセ

〔産業財産権〕

取得状況(計1件)

名称: プラズマ対流予測装置, プラズマ対流予測法

発明者: 菊池崇, 橋本久美子

権利者: 独立行政法人情報通信研究機構

種類: 特許

番号：特願 2003 -356686
取得月日：2006 年 4 月 28 日
国内外の別：国内

6 . 研究組織

(1)研究代表者

橋本 久美子 (HASHIMOTO KUMIKO)
吉備国際大学・国際環境経営学部・准教授
研究者番号：00389008

(2)研究分担者

2006～2007 年度 (2008 年度は連携研究者)
菊池 崇 (KIKUCHI TAKASHI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授
研究者番号：70358977

(3)連携研究者