

平成21年 5月25日現在

研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2006～2008  
 課題番号： 18540443  
 研究課題名（和文）リモートセンシングによる磁気圏・極域電離圏プラズマの動態の解明  
 研究課題名（英文）Understanding of the dynamics of the plasmas in the magnetosphere and polar ionosphere through remote sensing  
 研究代表者  
 田口 聡 (TAGUCHI SATOSHI)  
 電気通信大学・電気通信学部・准教授  
 研究者番号： 80251718

研究成果の概要：地球の周辺の宇宙空間には電気を帯びた微粒子が存在しており、様々な場所でそれぞれ固有の速さで動いている。本研究では、その微粒子の一部が姿を変えた中性の粒子の運動を検出する撮像のデータを主に用いて、電気を帯びた微粒子であるイオンの太陽風から磁気圏への直接的な流入、地球磁気圏の外壁であるマグネトポーズの運動、電離圏から磁気圏へと上昇するイオンの流れに関して、これまでに知られていない性質を見出した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	480,000	3,380,000

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、電離圏、カusp、マグネトポーズ、中性粒子、プラズマ、イオンアウトフロー、オーロラ

## 1. 研究開始当初の背景

地球の磁気圏・電離圏の中で運動しているイオンの動きのスナップショットを撮ることを主たる目的として、2000年に米国でイメージ衛星が打ち上げられた。その2年後に本研究の代表者は、米国においてこの衛星の中性粒子撮像観測データに基づく研究をする機会を得た。中性粒子撮像観測とは、中性粒子の放射分布をもとに、電荷を交換して中性粒子へと姿を変える前のイオンの動きの分布を明らかにしようとするリモートセンシングである。米国での研究に引き続き、2003年～2005年には、「科研費基盤（C）イメー

ジ衛星リモートセンシング撮像データに基づく太陽風・磁気圏相互作用の研究」を通して、太陽風から磁気圏のカusp領域を通過して直接進入してくるイオンの流れや電離圏から磁気圏へと出ていくイオンの流れ、さらに、マグネトポーズの運動に関して、新たな知見が得られた。

## 2. 研究の目的

これまでの研究成果を一層発展させるため以下の3つの課題を設定した。

(1) 磁気圏カusp領域における多様なイオン流入と電離圏とのカップリングの特性

(2) 磁気圏と太陽風との昼間側境界のマグネットポーズのダイナミクス

(3) 電離圏から磁気圏へのイオンアウトフローの磁気嵐中における時間空間特性

### 3. 研究の方法

すべての目的を通して軸となる方法は、イメージ衛星の低エネルギー中性粒子撮像観測器 (Low Energy Neutral Atom imager 以下 LENA) の詳細なデータ解析である。それに加えて目的 (1) では、LENA と同様にイメージ衛星に搭載されているプロトンオーロラの撮像観測器や地上レーダーからのデータ、地磁気データ、さらにその場観測の衛星からのデータも用いて総合的に解析する。(2) については、中性粒子のフラックスの分布とマグネットポーズの位置とを結びつける関係にの具体的な定式化を行う。(3) では、磁気嵐の中の主相や回復相という段階やそれらの中で発生するサブストームに焦点を当て、その場観測衛星との同時観測イベントの解析も行う。

### 4. 研究成果

それぞれのテーマで得られた主要な成果は以下である。以下の番号は目的に記した番号に対応する。

(1) まず、イメージ衛星の LENA がカスプに流入するイオンを捉えているさらなる証拠を得るため、太陽風の磁場の南向き成分が極めて大きく変動する特殊なイベントに注目して、イメージ衛星と地上 HF レーダーの同時観測データを解析した。その結果、LENA のフラックスの急激な増減に呼応して、電離圏カスプの対流領域が広がったり狭くな

ったりしていることがわかった。この高い相関から、LENA は、昼間側マグネットポーズでのリコネクションによってカスプ域に流入してくるイオンを捉えていることが事実となった。北向きの太陽風磁場に対しても、同様のことが示せた。

太陽風磁場の東西成分が卓越する状況では、大きなフラックスをもつイオンの進入領域は太陽風磁場の東西成分に応じて真昼から東と西に幾分ずれる。図 1 は、太陽風磁場の東向き成分が強いときに、カスプの東側の部分で強いイオンの流入が起こっていることを示す代表的な例である。

一方、この描像とは逆にずれる現象があることもイメージ衛星のプロトンオーロラの観測と LENA との同時観測より明らかになった (図 2)。この図の上下のデータはそれぞれ、プロトンオーロラの放射分布と LENA フラックスの電離圏投影分布である。注目する現象を丸印で示している。ともに真昼から西にずれたところに位置している。これは、カスプのイオン流入領域が孤立して移動するため生じるもので、電離圏高度では、動くプロトンオーロラとして現れる。LENA データに他の多くの同時観測データをあわせた総合的な解析を行い、このような現象を” Moving Meso-scale Plasma Precipitation” (以下、MMPP) として一般化した。この現象は、昼間側マグネットポーズでのリコネクションの時間変化と空間構造変化の両方に起因する。この MMPP の概念により、太陽風磁場の東西成分が大きいときの過去の多くの観測例を説明できることがわかった。南向きの太陽風磁場の状況に対してどのように拡張できるかが今後の課題である。

28 March 2001

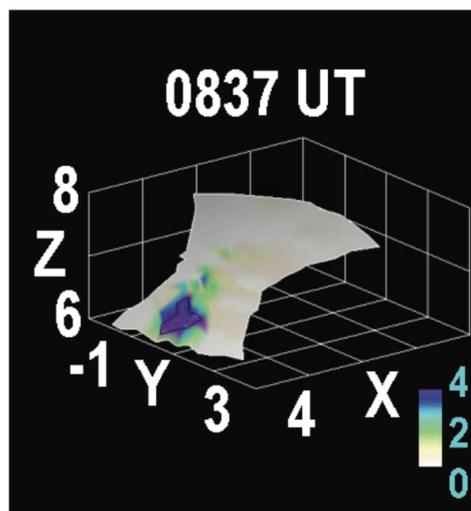


図1. カスプのイオン流入のリモートセンシングの例。真昼から少し東によった $Y > 0$ の領域に強いイオン流入が見られる。

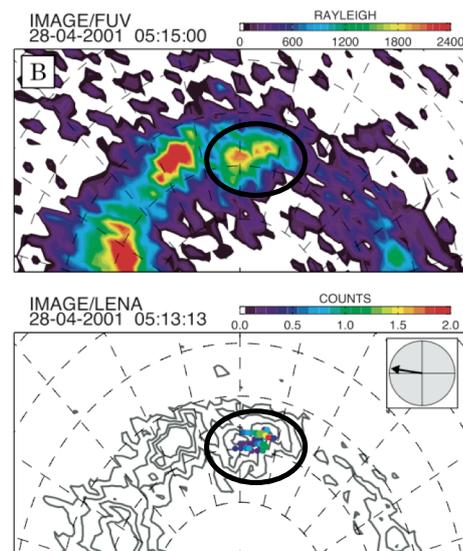


図2. LENA のカスプ方向の観測を電離圏に投影したものとプロトンオーロラの比較。動くプロトンオーロラ (丸印) のスナップショット。

この MMPP には対流の増速が伴っている。電離圏で現れるその速い対流は、カスプの極側で発生して極冠域へと流れていくポーラーパッチ現象の比較的大規模なものの発生に関わっていることも明らかになった。

(2) 昼間側の低緯度マグネトシース方向から観測される中性粒子のフラックスを入力として、マグネトポーズの位置を導出する手法を見出した。この手法により、1時間以上の期間にわたってマグネトポーズの位置の動きがわかる(図3)。また、その時間変化から、マグネトポーズの位置が数分のスケールでダイナミックに動いている様子が明らかになった。また、太陽風動圧の5ナノパスカル程度の鋭い上昇に対して、マグネトポーズは100-200 km/sの速さで動くことも明らかになった。

### 13 April 2001 Event

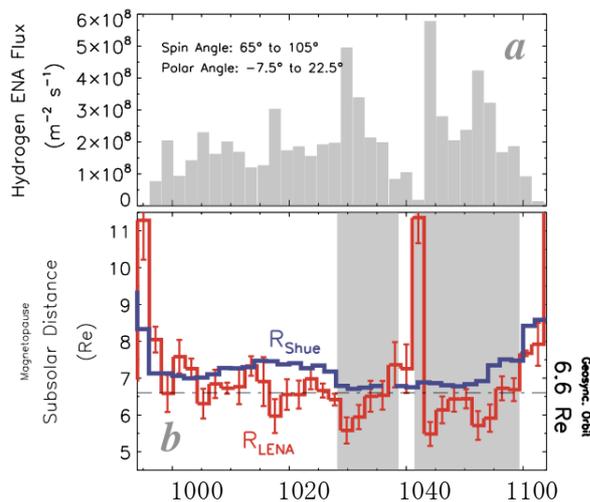


図3. LENA のフラックス(上図)を入力とする数式モデルにより1時間以上の長い期間に対してマグネトポーズの位置がリモートセンシングできている様子(下図赤線)

(3) まず磁気嵐の主相と回復相に注目して統計解析を行った。その結果、主相にみられるアウトフローは、主相中に起きた太陽風の動圧の上昇に応答して発生するのに対して、回復相では磁気嵐の回復の時間変化に従うようなフラックス変動をもつことがわかった。このことは、磁気嵐の段階によってイオンアウトフローの主要なプロセスが異なっていることを示している。

次に、磁気嵐中のサブストームにおけるイオンアウトフローの役割を調べた。地球方向から観測されるアウトフローはサブストームの発生に伴って明らかに増大していることがわかった(図3下、点線のタイミングがサブストーム)。この時に同時観測していたジオテール衛星とフレア衛星の観測データ

も合わせることにより、サブストーム時に磁気圏内で酸素イオンのフラックスが増大する現象において、電離圏からのイオンが1時間程度にわたるゆっくりとしたプロセスでかかわっていることが明らかになった。

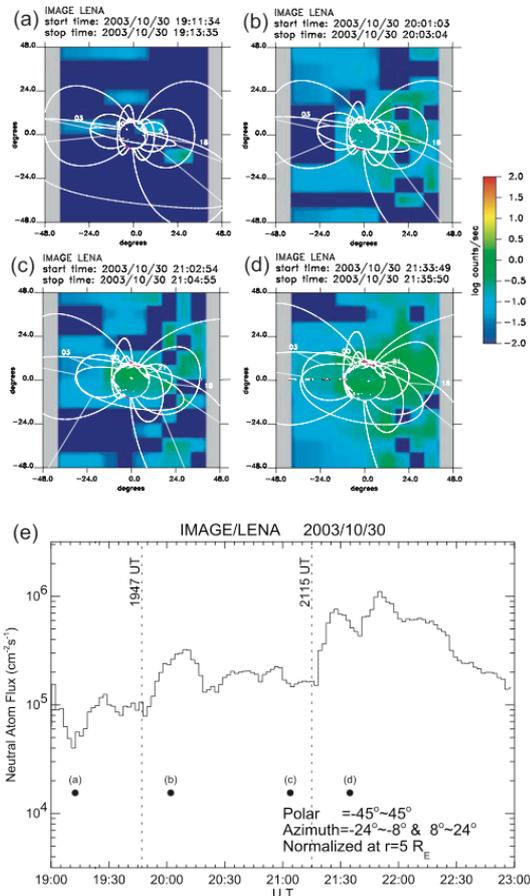


図4. 磁気嵐時におけるサブストームの前後(下図の点線の前後)で、電離圏からのアウトフローが増大していることを示した結果。

### 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9件)

(1) Taguchi, S., S. Suzuki, K. Hosokawa, Y. Ogawa, A. S. Yukimatu, N. Sato, M. R. Collier, T. E. Moore, Moving meso-scale plasma precipitation in the cusp, *Journal of Geophysical Research*, in press 2009 (査読有)。

(2) Nosé, M., S. Taguchi, S. P. Christon, M. R. Collier, T. E. Moore, C. W. Carlson, J. P. McFadden, Response of ions of ionospheric origin to storm-time substorms: Coordinated observations over the ionosphere and in the plasma sheet, *Journal of Geophysical Research*, 114, A05207, doi:10.1029/2009JA014048, 2009 (査読有)。

- (3) Taguchi, S., K. Hosokawa, A. Nakao, M. R. Collier, T. E. Moore, N. Sato, A. S. Yukimatu, HF radar polar patch and its relation with the cusp during *By*-dominated IMF: Simultaneous observations at two altitudes, *Journal of Geophysical Research*, 114, A02311, doi:10.1029/2008JA013624, 2009 (査読有).
- (4) Hosokawa, K., S. Taguchi, S. Suzuki, M. R. Collier, T. E. Moore, M. F. Thomsen, Estimation of magnetopause motion from low-energy neutral atom Emission, *Journal of Geophysical Research*, 113, A10205, doi:10.1029/2008JA013124, 2008 (査読有).
- (5) Suzuki, S., S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, H. U. Frey, S. B. Mende, Conjugate observations of ENA signals in the high-altitude cusp and proton auroral spot in the low-altitude cusp with IMAGE spacecraft, *Geophysical Research Letters*, 35, L13103, doi: 10.1029/2008GL034543, 2008 (査読有).
- (6) Kunori, T., M. Nosé, S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, Strom phase dependence of ion outflow: Statistical signatures obtained by IMAGE/LENA, *Geophysical Research Letters*, 34, L18106, doi:10.1029/2007GL029877, 2007 (査読有).
- (7) Murata, Y., S. Taguchi, K. Hosokawa, A. Nakao, M. R. Collier, T. E. Moore, N. Sato, H. Yamagishi, A. S. Yukimatu, Correlative variations of the neutral atom emission in the high-altitude cusp and the fast anti-sunward convection in the low-altitude cusp, *Journal of Geophysical Research*, 112, A11208, doi:10.1029/2007JA012404, 2007 (査読有).
- (8) Taguchi, S., K. Hosokawa, Y. Murata, A. Nakao, M. R. Collier, T. E. Moore, N. Sato, and A. S. Yukimatu, Neutral atom emission coming from the direction of the high-latitude magnetopause under northward IMF, *Advances in Polar Upper Atmospheric Research*, 20, 17-26, 2006 (査読有).
- (9) Nosé, M., T. Kunori, Y. Ono, S. Taguchi, K. Hosokawa, T. E. Moore, M. R. Collier, S. P. Christon, and R. W. McEntire, Simultaneous observations of ions of ionospheric origin over the ionosphere and in the plasma sheet at storm-time substorms, *Proceedings of the Eighth International Conference on Substorm (ICS-8)*, 8, 203-208, 2006 (査読無).
- [学会発表] (計37件)
- (1) 田口 聡, 細川 敬祐, 鈴木 臣, 森本 美奈子, モデルと観測から得られるカスプのプロトン構造とオーロラエミッションの分布: メソスケール構造の重要性, 第124回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2008年10月11日, 仙台.
- (2) Taguchi, S., S. Suzuki, K. Hosokawa, Y. Ogawa, A. S. Yukimatu, N. Sato, M. R. Collier, and T. E. Moore, Zonal flow jet in the cusp: Simultaneous observations from spacecraft, radars, and ground magnetometer network, 第32回極域宙空圏シンポジウム, 2008年8月4日, 東京.
- (3) Taguchi, S., K. Hosokawa, A. Nakao, M. R. Collier, T. E. Moore, N. Sato, A. S. Yukimatu, Motion of the Cusp and Change in the Convection During *By*-Dominated IMF: Simultaneous Observations From IMAGE Spacecraft and SuperDARN radar, Asia Oceania Geoscience Society 5<sup>th</sup> Annual Meeting 2008, June 18, 2008, Busan, Korea.
- (4) Suzuki, S., S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, H. Frey, S. B. Mende, Conjugate Observations of ENA Signals in the High-Altitude Cusp and Proton Auroral Spot in the Low-Altitude Cusp with IMAGE Spacecraft, Asia Oceania Geoscience Society 5<sup>th</sup> Annual Meeting 2008, June 18, 2008, Busan, Korea.
- (5) Nishizawa, R., S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, Derivation of Magnetopause Subsolar Distance From ENA Flow in the Magnetosheath, Asia Oceania Geoscience Society 5<sup>th</sup> Annual Meeting 2008, June 17, 2008, Busan, Korea.
- (6) 阿部 愛美, 田口 聡, 西沢 諒, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, 北向き IMF 時におけるカスプイオンインジェクションによる中性粒子放射特性, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月29日, 幕張.
- (7) 田口 聡, 細川 敬祐, 中性粒子エミッションによるカスプのリモートセンシング: 観測とモデル, 国立極地研究所研究集会「電離圏・磁気圏のリモートセンシングデータとモデルの結合」, 2008年1月18日, 東京.
- (8) 細川 敬祐, 田口 聡, 鈴木 臣, M. R. Collier, T. E. Moore, M. F. Thomsen,

中性粒子撮像観測による磁気圏界面運動の推定, 国立極地研究所研究集会「電離圏・磁気圏のリモートセンシングデータとモデルの結合」, 2008年1月18日, 東京.

(9) 鈴木 臣, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, H. U. Frey, S. B. Mende, IMAGE衛星で見る磁気圏・電離圏カスプの共役性, 国立極地研究所研究集会「電離圏・磁気圏のリモートセンシングデータとモデルの結合」, 2008年1月18日, 東京.

(10) Taguchi, S., K. Hosokawa, M. R. Collier, S. Chen, T. E. Moore, ENA emission from the cusp of the Earth's magnetosphere, Eos Trans. American Geophysical Union, 88(52), Fall Meet. Suppl., San Francisco, December 10, 2007.

(11) Hosokawa, K., S. Taguchi, S. Suzuki, M. R. Collier, T. E. Moore, M. F. Thomsen, Motion of the Earth's magnetopause: Estimation from low-energy neutral atom emissions, Eos Trans. American Geophysical Union, 88(52), Fall Meet. Suppl., San Francisco, December 10, 2007.

(12) Suzuki, S., S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, H. U. Frey, S. B. Mende, Conjugate observations of ENA signals in the high-altitude cusp and proton auroral spot in the low-altitude cusp with IMAGE spacecraft, Eos Trans. American Geophysical Union, 88(52), Fall Meet. Suppl., San Francisco, December 10, 2007.

(13) Nishizawa, R., S. Taguchi, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, Directional ENA flow in the Earth's magnetosheath: Estimation of the magnetopause subsolar distance, Eos Trans. American Geophysical Union, 88(52), Fall Meet. Suppl., San Francisco, December 10, 2007.

(14) 田口 聡, 小川 泰信, 細川 敬祐, 森本 美奈子, M. R. Collier, T. E. Moore, 行松 彰, 佐藤 夏雄, Motion of the cusp and pulsed ion outflow: Simultaneous observations from IMAGE spacecraft, EISCAT and SuperDARN radars, 第122回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2007年9月28日, 名古屋.

(15) 鈴木 臣, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, Conjugate observations of ENA signals and proton

auroral spot with IMAGE spacecraft, 第122回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2007年9月30日, 名古屋.

(16) 西沢 諒, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, ENAリモートセンシング観測から推論される subsolar magnetopause の動き, 第122回地球電磁気・地球惑星圏学会 2007年9月30日, 名古屋.

(17) Taguchi, S., Y. Ogawa, K. Hosokawa, M. R. Collier, T. E. Moore, A. S. Yukimatu, N. Sato, Equatorward shift of the high-latitude cusp observed by IMAGE spacecraft and its ionospheric response identified simultaneously in the low-altitude cusp by EISCAT and SuperDARN, 第31回極域宙空圏シンポジウム, 2007年7月23日, 東京.

(18) 西沢 諒, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, ENAリモートセンシング観測を用いたマグネトポーズ subsolar distance の見積もり: In-situ衛星観測に基づくモデルとの比較, 第31回極域宙空圏シンポジウム, 2007年7月23日, 東京.

(19) 田口 聡, 西沢 諒, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, Large IMF 5時におけるカスプ方向からの中性粒子エミッション: 観測とモデル, 日本地球惑星科学連合2007年大会, 2007年5月24日, 幕張.

(20) 西沢 諒, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, サブソーラーマグネトポーズ方向からの中性粒子エミッションの減少: Plasma depletion layer の出現, 日本地球惑星科学連合2007年大会 2007年5月22日, 幕張.

(21) 田口 聡, 細川 敬祐, 村田 洋三, 中尾 昭, M. R. Collier, T. E. Moore, 行松 彰, 佐藤 夏雄, 中性粒子エミッションの IMF 依存性: 磁気圏カスプにおける対流の道筋の同定, 第120回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2006年11月5日, 相模原.

(22) 村田 洋三, 田口 聡, 細川 敬祐, 西沢 諒, M. R. Collier, T. E. Moore, 佐藤 夏雄, 山岸 久雄, 行松 彰, 太陽風動圧による magnetopause の大きさの変化と電離圏対流, 第120回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2006年11月4日, 相模原.

(23) 西沢 諒, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, イメージ衛星

低エネルギー中性粒子撮像観測器による subsolar magnetopause motion のリモートセンシング, 第 120 回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2006 年 11 月 4 日, 相模原.

(24)田口 聡, IMAGE 衛星 LENA によるカスプのリモートセンシング, 名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「リモートセンシングによる極域電離圏・磁気圏プラズマの動態の解明」, 2006 年 9 月 27 日, 豊川.

(25)村田 洋三, 田口 聡, 細川 敬祐, 中尾 昭, M. R. Collier, T. E. Moore, 佐藤夏雄, 山岸 久雄, 行松 彰, SuperDARN による fast anti-sunward flow 領域の経度方向の動態をダイナミックに表示する新たな解析手法について, 名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「リモートセンシングによる極域電離圏・磁気圏プラズマの動態の解明」, 2006 年 9 月 27 日, 豊川.

(26)田口 聡, 細川 敬祐, 村田 洋三, 中尾 昭, M. R. Collier, T. E. Moore, 行松 彰, 佐藤 夏雄, Poleward-moving neutral atom emission in the direction of the high-latitude cusp and flow bursts in the low-altitude cusp, 第 30 回極域宙空圏シンポジウム, 2006 年 8 月 3 日, 東京.

(27)村田 洋三, 田口 聡, 細川 敬祐, 中尾 昭, M. R. Collier, T. E. Moore, 佐藤夏雄, 山岸 久雄, 行松 彰, カスプ方向からの中性粒子エミッションに呼応した電離圏 fast anti-sunward flow の変動, 第 30 回極域宙空圏シンポジウム, 2006 年 8 月 3 日, 東京.

(28)西沢 諒, 田口 聡, 細川 敬祐, M. R. Collier, T. E. Moore, 昼側低緯度マグネットポーズ方向からの中性粒子エミッション: Subsolar distance のリモートセンシング, 第 30 回極域宙空圏シンポジウム, 2006 年 8 月 3 日, 東京.

(29)田口 聡, 中尾 昭, 細川 敬祐, 村田 洋三, 山崎 敦, M. R. Collier, T. E. Moore, カスプに見られる低エネルギー中性粒子の特性: IMF By の効果, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月 18 日, 幕張.

(30)西沢 諒, 田口 聡, 細川 敬祐, 山崎 敦, 中尾 昭, 村田 洋三, M. R. Collier, T. E. Moore, 藤田 茂, 田中 高史, イメージ衛星低エネルギー中性粒子撮像観測を用いたマグネットポーズの subsolar distance の見積もり, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月 17 日, 幕張.

[その他]

アメリカ地球物理学連合 2008 年秋季大会スペシャルセッション “ENA from Solar Wind Interaction with the Atmospheres, Exospheres, and Regoliths of Earth, Mars, Venus, the Moon and Other Solar System Bodies”

コンピーナーホームページ

<http://space.ice.uec.ac.jp/ena/index.html>

アウトリーチ活動

電気通信大学オープンキャンパス 2008 における研究成果の公開「レーダー・衛星・コンピュータで切り拓く宇宙環境の科学」2008 年 11 月 22 日.

電気通信大学オープンキャンパス 2007 における研究成果の公開「レーダー・衛星・コンピュータで探る宇宙と超高層大気のダイナミクス」2007 年 11 月 24 日, 25 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田口 聡 (TAGUCHI SATOSHI)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号: 80251718

### (2) 研究分担者

細川 敬祐 (HOSOKAWA KEISUKE)

電気通信大学・電気通信学部・助教

研究者番号: 80361830

能勢 正仁 (NOSE MASAHITO)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 90333559

鈴木 臣 (SUZUKI SHIN)

電気通信大学・電気通信学部・非常勤研究員

研究者番号: 60397479

村田 洋三 (MURATA YOZO)

電気通信大学・電気通信学部・非常勤研究員

研究者番号: 70401635