

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010 年度～2012 年度

課題番号：22340145

研究課題名（和文） サブストームトリガー・駆動機構の完全解明に向けた先端研究

研究課題名（英文） A frontier study for elucidating the triggering and driving mechanisms of substorms

研究代表者

町田 忍 (MACHIDA SHINOBU)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：70209469

研究成果の概要（和文）：サブストームは地球磁気圏・電離圏で発生する大規模なエネルギー解放現象であるが、そのトリガー機構と駆動機構の解明を目指して、衛星および地上同時観測で得られた最新データを用いて研究を実施した。その結果、われわれがかねてより提案しているサブストームのトリガー・駆動機構モデルの正当性を確認することができた。また、サブストームに関連したオーロラ電波放射（AKR）について幾つかの重要な知見を得た。

研究成果の概要（英文）：Substorm are known as phenomena releasing large amount of energies in both magnetosphere and ionosphere. We investigated such substorms aiming at elucidating how they are triggered and derived by analyzing data obtained by simultaneous spacecraft and ground-based observations. We confirmed the validity of the model of substorm we proposed previously. Further, we could obtain several significant features of substorm-associated auroral kilometric radiations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2011 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2012 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

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：サブストーム、オンセット、オーロラ、AKR、カレントディスラプション、磁気リコネクション、GEOTAIL 衛星、THEMIS 衛星

## 1. 研究開始当初の背景

わが国の GEOTAIL 計画により、サブストームの研究は大きく進展したが、GEOTAIL 衛星は単独衛星であったために、サブストームの時間・空間的な発展を完全に分離することができなかった。しかし、これまでにない高時間（3 秒）・高空間分解能地上光学観測と、編隊を組んだ 5 機の衛星で構成される米国の THEMIS 計画が始まったことによって、サブス

トームの研究が大きく動き出した。とりわけ、2008 年・2009 年に磁気圏尾部に 5 機の衛星が直列に並んだ時の観測データは、時空間を分解することにより、サブストームトリガー機構の解明に著しい進展をもたらすことが期待された。しかし、そのような好機が訪れていたにもかかわらず、世界的な動向はサブストームモデルの対極として知られる二つのモデル、すなわち、カレントディスラプシ

ジョン（電流崩壊）モデルと近尾部磁気中性線モデルのいずれであるかという議論に依然終始していた。そのような状況の中であって、THEMIS 衛星データの真価が発揮されるような研究を組織的に開始することが急務であった。

研究代表者の町田らは、GEOTAIL 衛星で取得されたデータを統計的に解析し、その結果を解釈するために、Catapult (Slingshot) Current Sheet Relaxation Model と称する独自のサブストームモデルを提唱した。[Machida et al., Ann. Geo., 2009] そのモデルでは、磁気圏尾部におけるサブストームのオンセットの4分前に始まる第一段階において、カレントディスラプションの起こる領域と磁気中性線の形成される所の中間の領域（ $-12\text{Re} > X > -18\text{Re}$  ; Re は地球半径で、X は地球の中心を原点として太陽方向を正とする座標）で、プラズマシートに向かう直流（DC）的なポインティングフラックスが急増する。同時に、その領域のプラズマシートにおいてプラズマ圧の減少と地球向きの流れが同時に発生して、それがサブストームオンセットをトリガーする。この時までを第一段階として、それ以降を第二段階とすると、磁気圏においては、サブストームに伴う2つの段階の変化がみられることになる。

一方、共同研究者の森岡らは、オーロラ粒子加速域の発達を示すオーロラキロメートル放射（AKR）には2つの異なる周波数帯に出現するものがあり、それらがサブストームオンセットの時に異なる振る舞いをするのを見いだした。[Morioka et al., JGR, 2007] AKR の周波数は発生領域の電子サイクロトロン周波数にほぼ等しいという性質を用いると、それらは、高度が 4000-5000km と 6000-12000km の範囲で発生していることがわかった。低高度で発生する周波数の高い AKR はオーロラブレークアップ（サブストームオンセット）の数分前に現れて急速に強度を増してゆき、オンセット後、さらに強度を増大させる。一方、高高度で発生する AKR はサブストームオンセットと同時に突然現れる。このように、AKR も2段階の発展を行っている。そこで、われわれは、オーロラブレークアップの時間発展も含めながら、これらの現象を2段階発展という視点で統一的に理解する必要があると考えるに至った。これらの詳細や相互関係を調べることによって、サブストームのトリガー機構および駆動機構の本質に迫れるのではないかと考えた。

## 2. 研究の目的

地球の磁気圏は太陽風からエネルギーを取り込み、それを夜側尾部の領域に磁気エネルギーという形で蓄積する。しかし、この蓄積されたエネルギーは、あることをきっかけ

に爆発的に開放され、磁気圏・電離圏に様々な擾乱現象を発生させる。この過程をサブストームと呼ぶが、それをトリガーする機構や駆動する機構については、多くの説が提案されていて、未だに決着がつかない。本研究は、その問題に最終的な解答を与えるべく、磁気圏尾部とオーロラ粒子加速域、オーロラブレークアップを衛星および地上同時観測データを解析することによって調べ、特に、THEMIS 計画を中心とした最新データを用いて、サブストームが2段階的に発達することを明らかにし、それを手がかりに、サブストームの完全解明を目指す。

具体的には、これまでは、GEOTAIL 衛星のデータについて解析を進めてきたが、本研究においては、地球側のカレントディスラプションが起こる領域と磁気リコネクションの発生する領域、さらに、その両者の間に存在する極端に引き伸ばされた地球ダイポール磁場成分を持った電流層に関して THEMIS 衛星データを用いた解析を行う。

AKR には発生高度の異なる2つの種類のあることが発見されたが、本研究においては、それらの発生機構について調べる。地上オーロラ観測と GEOTAIL 衛星観測、AKEBONO 衛星によるオーロラ粒子加速域で得られた詳細な波動・粒子・磁場のデータを総合的に調べて、Morioka et al. [2007] で提唱された2段階で発展する AKR 発生メカニズムを検証する。さらに、オーロラ・尾部・粒子加速域を、それらが2段階的に発展することに着目した相互のタイミング、空間的な位置関係、変化の規模を手がかりとして因果関係を調べ、サブストームをトリガーする機構および、それを駆動する物理的な機構の全貌を解明することを目標とする。

## 3. 研究の方法

本計画では、サブストームのトリガー機構および駆動機構の解明を目指し、磁気圏尾部、オーロラ粒子加速域、オーロラブレークアップについて、衛星および地上同時観測で得られた最新データを用いた先端的な研究を実施した。

### (1) 2010 年度

この年度は、まず、THEMIS 計画のデータ、特にサブストームの2段階発展の解明に必要な、高時間(3秒)・高空間分解のオーロラ地上観測データを日本に導入した。次に、尾部と加速域のサブグループに分かれ、オーロラと尾部(磁場・プラズマ)、オーロラと加速域(AKR)について解析を行った。

具体的には、まず、THEMIS、GEOTAIL、AKEBONO 衛星などで得られた個々のイベントを調べた。その際、複数衛星による観測の特徴を活かして、細かい時間変動と空間変動を分離しながら研究を進めた。磁気圏尾部につ

いては、発達した電流層と磁気中性線の形成、磁気リコネクションの発生などに着目して、われわれの考案した Catapult Current Sheet Relaxation Model を他のサブストームモデルと比較しながら検証を行った。また、同時に AKR の遠隔観測から、オーロラ上空の加速域（静電ダブルレイヤー）の形成がオーロラの時間・空間的な発展と、どのような関係にあるか、解析を行った。

#### (2) 2011 年度以降

2 年目以降は、それまでに得られたサブストームに伴う磁気圏尾部の変化とオーロラの対応、および AKR の発生とオーロラの対応に関する解析結果を用いて、磁気圏と AKR の関係、さらに、AKR の発生に直接的に関わる沿磁力線電流と静電ダブルレイヤーの発達との相対的な関係を求めることに主眼を置いて研究を進めた。磁気圏尾部においてオンセット前にみられるプラズマシート中央部に向かう DC ポインティングフラックスの増大は、 $-12\text{Re} > X > -18\text{Re}$  の領域では、北向きのダイポール磁場成分を持ちながら極端に引き伸ばされた磁場構造を持つ電流層の磁気ストレスを増大させ、それがプラズマ圧に打ち勝つことによって地球向きの流れを作り電流層を緩和させる。一方、 $X \sim -8\text{Re}$  付近では、プラズマ圧の増大が起こり、それを介して、沿磁力線電流が増大することが考えられる。低高度 AKR の発生はこの過程が関わっている可能性が高い。電流層の緩和に伴う地球向きの流れは、その尾部側の境界において非常に薄い電流層を作る。そして、その領域において磁気中性線が形成されると考えられる。一方、この流れは、電流層の地球側にカレントディスラプションを発生させ、ウェッジカレントを発達させてゆくが、それに伴う沿磁力線電流、静電ダブルレイヤーの形成が高々度 AKR を発生させるのではないかという予想のもと研究を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) サブストーム時の磁気圏尾部の構造変化

サブストームのトリガー機構および駆動機構の解明を目指し、磁気圏尾部、オーロラ粒子加速域、オーロラブレイクアップについて、衛星および地上同時観測で得られた最新データを用いた研究を実施したが、その結果、先に GEOTAIL 衛星のデータを解釈するためにわれわれが考案した Catapult Current Sheet Relaxation Model の正当性を THEMIS 衛星のデータによっても確認することができた。また、サブストームオンセットに伴って、内部磁気圏においては、Current Disruption Model の予想とは異なり、プラズマ圧の増大が見出された。

THEMIS 衛星データの解析から、規模の大きなサブストームでは、成長期の特徴である

Plasma Sheet Thinning に伴う南向き磁場の変化が相対的に地球側でみられ、それと同時に、オンセット後の磁気リコネクションに伴う地球向きの流れが著しく発達することが見出された。しかし、オンセット直前に地球向きのコンベクション流は、逆に、一時的に弱まるという不思議な傾向のあることが導かれた。一方、小規模なサブストームでは、成長期に見られる南向きの磁場変動が相対的に尾部側でみられることが明らかにされ、サブストームの 2 段階的な発展にも解放されるエネルギーの量によって差のあることが見出された。

また、これまでの GEOTAIL 衛星と THEMIS 衛星の観測による統計および事例解析の結果をもとに、サブストーム開始時の中間領域と磁場双極子化開始領域におけるエネルギー収支と輸送について、定量的な検討を行った。その結果、高速流のエネルギーは、大部分は熱束として運ばれること、磁場双極子化開始領域に流入するエネルギーの大部分は、尾部側からの高速流よりも、ローブからのポインティング束として運ばれてくること、波動ポインティング束は、高速流と比べると小さいが、背景磁場に平行な成分と垂直な成分は同程度であることがわかった。

さらに、THEMIS 衛星データを用いた解析の結果、オンセットの直前に  $X = -12\text{Re}$  ( $\text{Re}$ : 地球半径) 付近を尾部方向から強いコンベクティブな流れが地球に向かって進行することが確認された。そして、それが、われわれのモデルが示唆するように、磁場変動の増大、広範囲にわたる地球向きの流れ、磁場双極子化、カレントディスラプションを引き起こしている様子を確認することができた。

その他にも、THEMIS 衛星のデータを用いて、サブストーム時に近尾部でみられる高速流について、そのリバウンド現象の証拠を示すことができたが、THEMIS 衛星のデータからも 2 段階的に発展するサブストームの特徴を確認することができた。また、近年、われわれは、プラズマ粒子コードを用いて、われわれの提唱したモデルの数値シミュレーションを行っているが、その結果は、2 段階的に発展する電流層の変化が、古典的なティアリングモード不安定で説明できる可能性を示している。その点について、今後さらに解明を進めたい。

#### (2) サブストーム時の AKR の時間発展

サブストームオンセット時の高々度 AKR (オーロラ電波放射) の出現とオーロラバルジの発達過程について調べた結果、バルジの高緯度拡大期間と高々度 AKR の出現継続期間の間には良い対応がみられ、高々度の沿磁力線加速域の出現がバルジの発達に深く関わっていることを見出した。また、サブストー

ムオンセットに対する極域電離圏上空に出現する粒子加速域の検証を進め、南北共役点オーロラ・磁場観測データ及び衛星による加速域発達過程 (AKR ダイナミクス) の観測データの照合・解析からサブストームオンセットのタイミングが南北半球で独立であることを明らかにした。

また、AKR スペクトルのデータを用いて、加速域の高度分布、季節変化、磁気活動度変化、プラズマシート電子温度との相関、加速域の微細構造、inverted-V 加速域との関係等を調べ、加速域の性質の統計像を明らかにした。さらに、AKR は大別して、「バースト性放射」と「連続性放射」に分類されることを示し、そのうち連続性放射は地球の自転に同期して周波数を変化させていることを発見した。またその原因は加速域を貫く磁力線がプラズマシートの中でプラズマ異方性が変化する領域 (inner plasma sheet boundary 領域) を自転に同期して sweep していることに起因するという仮説を提唱したが、この結果は、AKR を用いて経年的なサブストーム活動の変化を調べる際に注意が必要である観点からも重要である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 20 件)

1. Morioka, A., Y. Miyoshi, S. Kurita, Y. Kasaba, V. Angelopoulos, H. Misawa, H. Kojima, and J. P. McFadden, Universal time control of AKR: Earth is a spin-modulated variable radio source, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, A018485 1-9, 2013, doi:10.1029/2012JA018485.
2. Hori, T., N. Nishitani, Y. Miyoshi, Y. Miyashita, 他 9 名, An integrated analysis platform merging the SuperDARN data within the THEMIS tool developed by ERG-Science Center (ERG-SC), *Advances in Polar Science*, 査読有, 24, 69-77, 2013, doi:10.3724/SP.J.1085.2013.0006.92013.
3. Miyashita, Y., S. Machida, M. Nosé, K. Liou, Y. Saito, and W. R. Paterson, A statistical study of energy release and transport midway between the magnetic reconnection and initial dipolarization regions in the near-Earth magnetotail, *Journal of Geophysical Research*, 117, A11214 1-16, 2012, doi:10.1029/2012JA017925.
4. Nosé, M., T. Iyemori, L. Wang, 他 13 名, Wp index: A new substorm index derived from high-resolution geomagnetic field data at low latitude, *Space Weather*, 査読有, 117, S08002 1-12, 2012, doi:10.1029/2012SW000785.
5. Nosé, M., Y. Ono, S. P. Christon, and A. T. Y. Lui, Revisiting the role of magnetic field fluctuations in non-adiabatic acceleration of ions during dipolarization, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 118, A02207 1-2, 2012, doi:10.1029/2012JA.017518.
6. Miyashita, Y., Y. Kamide, K. Liou, C.-C. Wu, A. Ieda, N. Nishitani, S. Machida, Y. Saito, and T. Mukai, Successive substorm expansions during a period of prolonged northward interplanetary magnetic field, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 116, A09221, 2011, doi:10.1029/2011JA016719.
7. Ogasawara, K., Y. Kasaba, Y. Nishimura, T. Hori, T. Takada, Y. Miyashita, 他 3 名, Azimuthal auroral expansion associated with fast flows in the near-Earth plasma sheet: Coordinated observations of the THEMIS all-sky imagers and multiple spacecraft, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 116, 2011, A06209, 1-15, doi:10.1029/2010JA016032.
8. Nosé, M., S. Ohtani, P. Cson Brandt, T. Iyemori, K. Keika, and D.-Y. Lee, Magnetic field depression at the Earth's surface during ENA emission fade-out in the inner magnetosphere, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 116, A06220, 2011, doi:10.1029/2010JA015799.
9. Morioka, A., Y. Miyoshi, 他 14 名, On the simultaneity of substorm onset between two hemispheres, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 117, A04211 1-15, 2011, doi:10.1029/2010JA016174.
10. Fujii, R., O. Amm, A. Yoshikawa, A. Ieda, and H. Vanhamäki, Reformulation and energy flow of the Cowling channel, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 116, 2011, A02305 1-9, doi:10.1029/2010JA015989.
11. Amm, O., R. Fujii, K. Kauristie, A. Aikio, A. Yoshikawa, A. Ieda, and H. Vanhamäki, A statistical investigation of the Cowling channel efficiency in the auroral zone, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 116, 2011, A02304, 1-11, doi:10.1029/2010JA015988.
12. Morioka A., Y. Miyoshi, Y. Miyashita, 他 12 名, Two step evolution of auroral

- acceleration at substorm onset, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 115, 2010, A11213 1-21, doi:10.1029/2010JA015361.
13. Miyashita, Y., Observations of magnetic reconnection in the magnetotail associated with substorms, *Chinese Journal of Space Science*, 査読有, 30, 2010, 312-320.
  14. Nosé, M., Excitation mechanism of low-latitude Pi2 pulsations: Cavity mode resonance or BBF-driven process?, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 115, A07221, 2010, doi:10.1029/2009JA015205.
  15. Miyashita, Y., S. Machida, A. Ieda, 他 9 名, Pressure changes associated with substorm dipolarization in the near-Earth plasma sheet, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 115, 2010, A12239 1-17, doi:10.1029/2010JA015608.
  16. Nosé, M., H. Koshiishi, H. Matsumoto, P. C:son Brandt, K. Keika, K. Koga, T. Goka, and T. Obara Magnetic field dipolarization in the deep inner magnetosphere and its role in development of 0+-rich ring current, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 115, A00J03, 2010, doi:10.1029/2010JA015321.
- [学会発表] (計 52 件)
1. 町田忍, 衛星観測からみたサブストーム時の近尾部磁気リコネクションの開始について, 磁気リコネクション研究の現状と展望 2 (招待講演), 2013 年 2 月 03 日, 愛媛・松山
  2. Machida, S., Investigation of the characteristics of the dipolarization region with THEMIS data, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012 年 12 月 07 日, サンフランシスコ (米国)
  3. Miyashita, Y., On the transition between the inner plasma sheet and the outer plasma sheet in the Earth's magnetotail, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012 年 12 月 07 日, サンフランシスコ (米国)
  4. Hori, T., Evolution of negative SI-induced ionospheric flows observed by SuperDARN King Salmon HF radar, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012 年 12 月 03 日, サンフランシスコ (米国)
  5. 高田拓, れいめい衛星観測による 2 次元オーロラ構造と降り込み粒子の関係, 第 132 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2012 年 10 月 22 日, 北海道・札幌市
  6. 町田忍, THEMIS データを用いたダイポール化領域の特性に関する研究, 第 132 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2012 年 10 月 21 日, 北海道・札幌市
  7. Miyashita, Y., Relationship between substorm-associated processes in the magnetotail and plasma sheet structure, 11th International Conference on Substorms, 2012 年 9 月 06 日, Lueneburg (ドイツ)
  8. Hori, T., An integrated analysis platform powered by fitacf CDF and the THEMIS tool developed by ERGScience Center (ERG-SC), *SuperDARN Workshop 2012*, 2012 年 05 月 31 日, 上海 (中国)
  9. A. Morioka, GEMSIS international workshop: Current status and future perspective in space weather researches, 2012 年 3 月 13 日, 名古屋市・愛知
  10. Miyashita, Y., Magnetotail reconnection associated with storm time substorms 2011 International Conference on Storms, Substorms, and Space Weather (招待講演), 2011 年 9 月 23 日, Liutong Hotel, Hangzhou (中国)
  11. 宮下幸長, サブストーム開始に伴う対流の増大, 平成 22 年度国立極地研究所研究集会「SuperDARN による極域超高層大気研究集会 ~今後取り組むべき重点課題の戦略~」(招待講演), 2011 年 7 月 25 日, 国立極地研究所, 東京・立川市
  12. Miyashita, Y., Energy release midway between the magnetic reconnection and initial dipolarization regions in the near-Earth magnetotail and its role in the substorm onset, *IUGG 2011 General Assembly*, 2011 年 7 月 06 日, Melbourne Convention & Exhibition Centre,メルボルン (オーストラリア)
  13. Ieda, A., Field-aligned currents during an intense substorm as estimated from global images and ground magnetic observations, *AGU Chapman Conference - Relationship Between Auroral Phenomenology and Magnetospheric Processes*, 2011 年 3 月 01 日, アラスカ フェアバンクス (米国)
  14. Morioka, A., Two step evolution of auroral acceleration and substorm onset, *The Relationship Between Auroral Phenomenology and Magnetospheric Processes*, 2011 年 3 月 03 日, アラスカ フェアバンクス (米国)
  15. Machida, S., Catapult current sheet

- relaxation model for substorm onset, Earth-Sun System Exploration: Variability in Space Plasma Phenomena, 2011年1月18日, ハワイ コナ (米国)
16. Morioka, A., On the Simultaneity of Substorm Onset Between Two Hemispheres, Earth-Sun System Exploration: Variability in Space Plasma Phenomena, 2011年1月18日, ハワイ コナ (米国)
  17. Miyashita, Y., Energy release and transport in the near-Earth magnetotail associated with substorms: THEMIS observations, American Geophysical Union Fall Meeting, 2010年12月16日, サンフランシスコ (米国)
  18. Hori, T., Sub-auroral flow shear observed by King Salmon HF radar and RapidMAG 2010 AGU Fall meeting, 2010年12月16日, サンフランシスコ (米国)
  19. 町田忍, サブストームオンセット時のプラズマシートの変化: THEMIS 衛星データ事例解析(III), 第128回地球電磁気・地球惑星圏学会, 2010年10月31日, 沖縄
  20. Machida, S., Temporal variations in the Earth's magnetotail during substorms obtained by superposed epoch analysis with Geotail data, Workshop on the Auroral Substorm and its Impact on the Development of Solar-Terrestrial Research, 2010年4月09日, 国立中央大学, 中壢市 (台湾)
  21. Machida, S., Catapult current sheet relaxation model to explain triggering of substorm 2010 International Space Plasma Symposium, 2010年6月29日, 成功大学, 台南 (台湾)
  22. Miyashita, Y., Pressure changes in the near-Earth magnetotail associated with substorm expansion onsets: THEMIS observations, 2010 International Space Plasma Symposium, 2010年6月29日, 成功大学, 台南 (台湾)
  23. 町田忍, サブストームのオンセットを説明する Catapult Current Sheet Relaxation Model について, 日本地球惑星科学連合2010年大会2010年5月26日, 千葉市・幕張
  24. Morioka, A., Two step evolution of auroral acceleration at substorm onset, International Workshop on Advances and Perspectives in Auroral Plasma Physics, 2010年4月29日, ニース (フランス)

[図書] (計2件)

1. Morioka, A. and Y. Miyoshi, Two-step

- acceleration of auroral particles at substorm onset as derived from auroral kilometric radiation spectra, Auroral Phenomenology and Magneto-spheric Processes: Earth and Other Planets, Geophys. Monogr., 査読有, AGU, Washington, DC, 2012, 279-286 (全430ページ), doi: 10.1029/2011GM001160.
2. Miyashita, Y., S. Machida, A. Ieda, A statistical study of pressure changes in the near-Earth magnetotail associated with substorm expansion onsets, The Dynamic Magnetosphere, IAGA Special Sopron Book Series, 査読有, 2011, 125-132 (全368ページ), doi:10.1007/978-94-007-0501-2\_7.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

町田 忍 (MACHIDA SHINOBU)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 70209469

### (2) 研究分担者

森岡 昭 (MORIOKA AKIRA)

東北大学・理学研究科・名誉教授

研究者番号: 50004479

### (3) 研究分担者

家田 章正 (IEDA AKIMASA)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号: 70362209

### (4) 研究分担者

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

### (5) 研究分担者

三好 由純 (MIYOSHI YOSHIKAZUMI)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号: 10377781

### (6) 宮下 幸長 (MIYASHITA YUKINAGA)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・研究員

研究者番号: 20435811

### (7) 堀 智昭 (HORI TOMOAKI)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号: 30467344

### (8) 高田 拓 (TAKADA TAKU)

高知工業高等専門学校・その他・准教授

研究者番号: 80455469