

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 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2012

課題番号：21244075

研究課題名（和文）

波動-粒子相互作用・電磁場による放射線帯・衝撃波・極域磁気圏での宇宙プラズマ加速

研究課題名（英文） Space Plasma Acceleration in Radiation Belt, Shock, and Polar Magnetosphere by Wave-Particle Interaction and Electro-Magnetic Fields

研究代表者

平原 聖文 (HIRAHARA MASAFUMI)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

研究者番号：50242102

研究成果の概要（和文）：

本研究では、地球周辺における宇宙プラズマ・波動・電磁場の直接観測において普遍的に見られる粒子加速とその関連現象を中心的な研究課題とする。特に、プラズマ波動-粒子相互作用による放射線帯粒子生成における高エネルギー粒子加速、オーロラ電子に代表される波動・電磁場による極域磁気圏でのプラズマ粒子加速、の2課題に対して観測技術的側面、及び、データ解析・モデリング的側面において相補的な研究を実施した。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on the particle acceleration processes and their related phenomena which are universally found in the in-situ observations of the space plasma/wave/electromagnetic fields in the vicinity of the Earth. In particular, we have completed the complementary researches for the high-energy particle accelerations in the radiation belt due to the plasma wave-particle interaction, plasma particle accelerations due to the waves/fields in the polar magnetosphere, represented by auroral electrons, from the comprehensive aspects on the measurement techniques, data analyses, and modeling.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2010年度	11,900,000	3,570,000	15,470,000
2011年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2012年度	1,300,000	390,000	1,690,000
総計	34,200,000	10,260,000	44,460,000

研究分野：宇宙空間物理学

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：宇宙空間、宇宙プラズマ、粒子加速、波動-粒子相互作用、電磁場、磁気圏、放射線帯、オーロラ帯

1. 研究開始当初の背景

地球周辺の宇宙プラズマは無衝突系であるが、プラズマ波動や電磁場を介した加速過程により、eV～MeV帯域まで幅広い分布を示し、更に探査機による直接観測が可能であることがその傑出した特徴である。これらの観測的・理論的知見は、普遍的な宇宙・天体プラズマダイナミクスの理解につながり純粋

科学的側面として重要である。また、磁気嵐は社会基盤としての宇宙インフラに影響するため社会的意義という側面をも併せ持つ。宇宙機・人工衛星が曝されるジオスペース環境の把握は近未来の社会基盤の整備・発展の基礎ともなる重要な自然科学的要素である。この様に、プラズマ粒子が基本的構成要素を成す太陽地球系空間での諸現象の総合研究

は、地球惑星科学としての知的探求と社会貢献の両面において最重要課題であることは学界で広く認知されている。

太陽地球系宇宙空間の本質的特徴は多圏間結合系で構成されていることである。例えば、媒質となるプラズマ粒子の密度・温度や電磁場の強度が何桁にも渡り断続的に変化する階層構造（電離圏・放射線帯・環状電流・プラズマシート・プラズマ圏、等）を形成している。また、高エネルギー粒子が分布する放射線帯・環状電流領域を内包する磁気圏と、オーロラや地球大気流出の現場である極域電離圏は地球固有磁場の磁力線により電磁的に結合している。この領域の宇宙プラズマは、地球起源を意味する 0.1eV 以下の熱的エネルギー帯域にも分布する一方、激しく変動する電磁場・プラズマ波動と絶えず相互作用しながら 10^5 - 10^7 eV の高エネルギー帯域に至る加速現象も断続的に発生している。エネルギー階層の粒子分布において特徴的なエネルギー変換や不均等なエネルギー配分が起こり、10MeV 以上に到達する放射線帯粒子が生成され、極域ではオーロラが大発達する。この様な選択的加速は無衝突衝撃波による宇宙線加速や磁力線再結合による粒子加速にも適用され、地球磁気圏前方のバウショックやプラズマシートのダイナミクスとも基本的物理機構の点で共通項が多く、プラズマ粒子・波動・電磁場の総合直接観測が求められて久しい。

一方で、2012 年頃と予想されている次期太陽活動極大期と頻発する磁気嵐（宇宙嵐）に向けて、特に国外では 1990 年代の ISTP の再来とも呼べる衛星総合観測計画が着実に進行している。周期的で大規模・長期的な太陽活動の活性化は、地球周辺宇宙環境（ジオスペース）で種々の大規模な宇宙プラズマ粒子加速現象を発生させ、磁気嵐やオーロラブレイクアップに代表される激変をもたらす。この様な大規模変動は、過去の観測結果に基づき 1990 年代から少しずつ着目されてきたが、全容の理解・解明は次期太陽活動極大期を含む数年間の集約的・国際的な研究に委ねられている。

本研究では、広いエネルギー帯域に分布するプラズマ粒子とプラズマ波動・電磁場との同時直接観測の実現を 1 つの基軸とする。特に衛星観測計画としては、国内主導によるジオスペース探査衛星 (ERG) における国際協同計画が検討・提案されている。更に特筆すべきは、日本の宇宙プラズマ素過程の観測的・理論的研究には海外の主要な研究成果に比肩しうる実績がある、という事実である。宇宙嵐時の放射線帯・環状電流の発達に代表され、波動・電磁場とプラズマ粒子との相互作用の所産と予想されている高エネルギー粒子生成、宇宙全体に普遍的な適用が可能な基

礎物理過程としての衝撃波・磁力線再結合におけるイオン・電子加速に関するプラズマダイナミクスの研究では、過去のあけぼの・Geotail 衛星観測結果を基盤とし世界的にも高く評価されつつある。惜しむらくは、それらの更なる発展を確約する具体的な探査衛星計画が、国内においては公式な承認を経ておらず、実質的な研究活動を支える必要経費を獲得するには至っていないことである。

ジオスペース探査は国際的にも太陽地球系プラズマ物理学の潮流となっており、本研究の遂行が ERG 衛星計画実施に向けた最も実質的な成果・貢献をもたらすことには疑う余地はない。本研究代表者はプラズマ粒子センサー群の開発責任者としてジオスペースの直接観測に最適化・特化されたプラズマ粒子センサーユニットを研究開発する責務があり、今後の国際的な発展にも資すると自負している。

また、欧米に匹敵する宇宙空間直接探査の技術力を日本が有すると評価される今日、アジア・オセアニアにおいて太陽地球系科学を主導しその発展を担うことも日本に囑望されている役割である。この様な長期的・献身的な立場から国内外の現状・将来を俯瞰する場合、近隣諸国との実験・理論両面での研究協同を促進することは必然であるとも言える。この方向性が正しいことは、日本で退職を迎えた第一級の研究者が台湾・韓国・中国等で活躍していることから極めて明瞭に裏付けされる。特に、本研究の承認・成果自体が試金石ともなる複数の探査計画の各々はジオスペース内の別の領域の観測を目的としているが、次期太陽活動極大期を含む 3~4 年間に集中して打ち上げられるため、ジオスペース磁気圏・電離圏の包括的な直接観測を実現する好機である。また、海外研究機関による他の探査衛星計画も複数が同時期に実施されるため、その中の複数の探査計画を日本が実施、あるいは実質的に参与することは、今後の太陽地球系科学の発展における日本の要路を不動のものとすることに直結する。

2. 研究の目的

地球周辺における宇宙プラズマ・波動・電磁場の直接観測において普遍的に見られる粒子加速とその関連現象を中心的な研究課題とする。特に、以下の 3 つの観測対象を基軸とする。これらを観測技術的側面、及び、データ解析・モデリング的側面において相補的に推進することが本研究の特徴である。

- (1) プラズマ波動-粒子相互作用による放射線帯粒子生成
- (2) 無衝突プラズマ衝撃波であるバウショック、磁力線再結合領域における高エネルギー粒子加速

(3) オーロラ電子に代表される波動・電磁場による極域磁気圏でのプラズマ粒子加速
太陽地球系科学・プラズマ科学・社会的貢献という多面性を持つ宇宙空間物理学・ジオスペース科学の発展には今後数年間が好機である。これまで国内で興隆してきた太陽地球系プラズマ物理学を素地としつつ、観測・理論の両面で卓抜した研究業績を将来に渡っても輩出するため、本研究における活動・成果を原動力とすることが、学界から本研究に求められている意義であると自負している。研究内容としては以下の課題に取り組む。
(A) 低～高エネルギー帯域の宇宙プラズマ粒子センサー較正用装置の構築・整備・改良
(B) (C) ジオスペース探査衛星実現に向けた中～高エネルギー帯域のプラズマ粒子センサー群と波動-粒子相互作用解析装置の同時並行開発

(D) 衛星計画指向型の観測提案・データ解析・モデリング・シミュレーションの実施
これらの研究課題を遂行することにより

- (1) 将来の地球惑星探査計画に向けた日本独自の機器開発・観測技術の確立と、国際協力による太陽地球系科学の推進、データ解析・モデリング・シミュレーション統合型研究体制の構築
- (2) 無衝突系宇宙プラズマ系の波動-粒子相互作用におけるエネルギー授受素過程の解明

の実現が期待出来る。従って本研究では、放射線帯、衝撃波・磁力線再結合、オーロラ帯等の地球周辺宇宙空間で引き起こされている大規模擾乱現象・プラズマ粒子加速過程を研究対象とする。宇宙プラズマ粒子・波動計測技術の基盤開拓・総合開発という機器開発の側面と並行し、これまでの観測データやモデリング・シミュレーションの結果を踏査し研究を進展させることで、過去の観測における問題点と将来の観測計画への展望を明らかにする。深く関連するこれらの研究要素の過程・結果を順次参照・反映させ合いながら、最終的に得られた成果を現在検討中のジオスペース環境・プラズマ素過程の直接探査計画の提案・改善・実現へと昇華させることを目指す。密接な研究体制の下でこれまでに構築してきた多面的観測手法・開発設備を活用・発展させながら、世界的にも類のない、観測的研究・計測技術開発の統合型研究を遂行する。

3. 研究の方法

本研究計画で取り組む具体的な課題・方法は以下の(1)～(4)の通りである。

- (1) 宇宙プラズマ粒子センサー較正用地上装置構築・整備・改良
- (2) ジオスペース探査用プラズマ粒子センサー総合開発

(3) 宇宙プラズマ波動-粒子相互作用解析装置設計・製作

(4) 衛星計画指向型観測提案・データ解析・モデリング・シミュレーション

本研究では、宇宙プラズマ粒子の基本加速機構の研究とジオスペース環境科学の両面で必須となるプラズマ粒子・波動計測手法の研究開発を行い、今後の国内外の直接探査衛星計画に適用されるプラズマ粒子センサーと波動-粒子相互作用解析装置の具体的な製作・試験を遂行する。この基盤となるのが、昨今、我々が主導的役割を果たすことで着実に革新されつつある最先端の計測技術と構築中の較正地上実験装置の整備・改良である。同時に、これまでの探査衛星により、不十分ではあるが取得されている地球周辺での宇宙プラズマ、及びジオスペース環境計測データを統計的、または微視的物理事象過程の視点から踏査する。更に、未計測のプラズマ物理量・領域別特性をモデリング・シミュレーション手法により定量化・推定することで、太陽地球系プラズマに関する過去の観測の問題点と将来の探査計画への展望を示し、宇宙プラズマ・ジオスペース探査衛星計画の詳細な観測仕様提案・決定を行う。

実験的研究の基軸としては、磁気嵐・衝撃波やオーロラに代表される地球周辺宇宙空間の大規模擾乱現象を担うプラズマ粒子を重点的な計測対象として位置付け、広エネルギー帯域で高時間分解能・広視野角範囲を実現するプラズマ粒子速度分布計測手法の基盤開拓とそれに必要な較正用地上装置の構築・整備を行う(研究課題(1))。並行して、粒子加速現象で重要となるプラズマ粒子のエネルギー・ピッチ角分布の掌握と、無衝突プラズマ系での基本物理機構であるプラズマ波動-粒子の相互作用に焦点を当て、低・中・高エネルギー帯域に渡るプラズマ粒子センサー群と波動-粒子相互作用解析装置の設計・試作・試験を遂行する(研究課題(2)(3))。これらの計測技術開拓・観測機器開発において、理論的・現象論的に高い信頼性・実現性を与えるのが研究課題(4)である。本研究では、特に放射線帯、衝撃波・マグネットポーズ等の境界層、プラズマシートでの宇宙プラズマ観測データの統計的処理と微視的見地からの解析に特化し、データ結合型モデリングと理想環境下でのシミュレーションで得られる結果との比較・検討を行う。(1)～(4)で基盤となる研究体制について、これまでの準備的な研究開発段階で周到に具体化されてきていることも本研究計画の特徴である。以下に課題別に詳述する。

研究課題(1)：本研究代表者が立教大学で独自構築したプラズマ粒子センサー較正用装置イオンビームラインを東京大学に移転し、再構築を行う。この際に、東京大学で発展的

に設備・構築するために、特に現有のビームライン用真空槽に適合した排気システムを新規に設置する。現有の排気システムには既に断続的な障害が発生しているためである。一方、立教大学では電子ビームラインを新規に構築し、東京大学・立教大学において、イオン・電子ビームラインの同時稼働を実現する。この移転・再整備に遅延が予想される場合、立教大学の訪問研究員制度を利用し立教大学に装置を設置したままの継続使用を検討する。

研究課題(2)：ジオスペース探査衛星(ERG)計画では、5keV以上2MeV程度までの中～高エネルギー帯域の電子計測をそれぞれに最適化された2台のセンサーで行うことを計画している。これらのエネルギー帯域は最近の検討で波動-粒子相互作用の実証に最も有効な粒子分布が担っているという点で最重要課題である。そのための基盤技術開発として、高時間分解能計測を支える半導体検出器

(APD: Avalanche Photodiode, SSSD: Single-Sided silicon Strip Detector)とカウント・エネルギー情報を処理する用途特定型集積回路(ASIC: Application-Specific Integrated Circuit)の開発に注力する。この検出器系により、10マイクロ秒の精度で入射粒子毎計数に対して時刻付けを行いながらエネルギー・飛翔方向測定を実現する。一方、10~180keVのイオン計測用として、SSSDの入射面として薄い不感層化を達成し、現在40keVである酸素イオンの最低測定エネルギーを、10keVを目標にして大幅に引き下げる。APD、SSSD共通技術開発として、数10chに及ぶ粒子検出部からのカウント・エネルギー情報を、低雑音で高速に、しかも小電力で処理する処理系を構築する。ASICと高性能時刻情報付加機能自体の実現性は高く、開発上の不確定要素はない。APD・SSSDの素子自体の新規開発に問題が生じた場合、検出効率・面積、測定エネルギー下限に関して妥協することで現有の素子が利用可能である。なお将来的には、波動観測器との同時相関処理により粒子のエネルギー・ピッチ角・ジャイロ位相の3成分を判定しつつ、kHz帯域のホイッスラー波動の電磁界成分との相関比較を施し、粒子・波動間のエネルギー授受の物理機構を決定的に判定し得る解析処理手法を開発するが、これらはそのための必須技術であり、可能な限り精励する。

研究課題(3)：宇宙プラズマ波動-粒子相互作用解析装置(WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer)では、プラズマ波動・粒子観測データを10マイクロ秒の精度で処理する必要があり、観測データへの正確な時刻付けや相関処理のために、データ配信回路を新規設計する必要がある。なお、現在の準備検討段階では以下の2形式のWPIAが検討

されている。

① 容易に書き換え可能なソフトウェアで機上処理を行うことで相関処理アルゴリズム改修において可変性を高め機能改善能力を一方でリアルタイム性を追求しないソフトウェア型WPIA(S-WPIA)

② 機上処理を専用電子回路系で行うことで相関処理速度の向上とリアルタイム性を追求するが、処理アルゴリズム改良の融通性を犠牲にしたワンチップ型WPIA(O-WPIA)

ここでは、相互の利点を活用し進化させた統合型(Intelligent)解析装置(I-WPIA)に関しても設計・製作・試験を行い、評価・改良を施す。I-WPIAでは、現象に応じた柔軟な観測モードの設定、データ精度の向上等を目指す一方で、専用のFPGAと組み合わせることにより、連続データ処理を実現し、重要なイベントを逃さないシステム構成を実現する。具体的にはFFT・フィルター処理等はチップ化回路で行い、種々のアルゴリズムを適用する相関処理ではソフトウェアを活用する。特に21年度では、WPIAにおける低レベルソフトウェア(基本的な処理を担うソフトウェア)の開発を行う。これらは、衛星搭載の理学観測機器用CPU(MDP: Mission Data Processor)上で動作することを前提とする。そのため、MDPと同等の機能をもつ模擬ボードを試作し、その上で低レベルソフトウェアの開発を行う。その他、EEPROMを搭載し、予め書き込まれた波動・粒子の疑似データを用いて動作確認機能を付加する。開発上の障害に対しては、I-WPIAではなく確実にソフトウェアで動作するS-WPIAとすることで処理速度を犠牲にし、世界初の相関処理装置自体の実現に傾注する。

なお、この画期的な波動-粒子相互作用解析の原理は、研究課題(1)(2)(3)を担う研究者間で理論的・計測学的に検討してきたものであり、国外の探査衛星計画には類を見ない独自の計測手法である。この計測手法の実現は日本のジオスペース探査の優位性を決定付ける最大の要素となると期待されている。

研究課題(4)：放射線帯・衝撃波・極域磁気圏で取得されている衛星観測データを、特にプラズマ粒子分布関数とプラズマ波動・電磁場の空間・時間変動に着目し、統計的に踏査する。速度分布のベキ乗則や温度異方性に影響する現状の分析器のエネルギー・角度分解能を評価することで、今後始動する探査衛星計画への観測提案・観測機器仕様決定の基準とする。今後の探査衛星観測データと同化・比較するため、データ解析と統合可能なモデリングと衝撃波・磁力線再結合での粒子加速シミュレーションを並行して実施する。

4. 研究成果

本研究での具体的な成果のまとめを以下に

列挙した後、より詳細に述べる。

- (1) プラズマ粒子センサー較正用装置イオン・電子ビームラインの機器配置の改善や制御系パラメータの調整により、イオン・電子ビーム特性改良を施した。この較正装置は以下の(2)(3)に関連する機器開発において、性能達成のために重要な役割を果たした。
- (2) 日本独自のコミュニティーミッションとしてのジオスペース探査衛星(ERG)計画に向けて開発中の高・中エネルギー帯域電子計測センサーの性能向上・軽量化・省電力化の検討を行い、フライトモデル開発の基礎とした。
- (3) プラズマ波動粒子相互作用装置衛星機上処理専用回路(CPU)のボードを用いて具体的な機上ソフトウェアのプログラミングを作製した。特に、機上位相校正に必要なFFT、逆FFT処理を可能な限り高速に実行できるようプログラムを最適化した。
- (4) オーロラ帯における沿磁力線電場による粒子加速現象に粒子速度分布と沿磁力線電流・オーロラ発光の領域・時間変化との相互比較を行った。また、電離圏イオンの加熱・加速現象と沿磁力線電場・電流との領域・強度の比較を行い、オーロラ帯上空に複雑に分布する上下方向の沿磁力線電場の存在を示唆し、電離圏高度でのイオンの分布関数に定性的な解釈を与えた。

ジオスペース探査計画に向けたプラズマ粒子センサーの開発

ジオスペース探査衛星 ERG(2015 年度打上げ予定)に向けて、70 keV から 2MeV までの電子を計測する高エネルギー電子観測器(HEP)について、センサ構造の検討を行った。検出部として用いる片面シリコンストリップ検出器(SSSD)の読み出しにはADCを含むアナログASICを用いる。ERGプロジェクトにて開発されたASICの読み出し速度を前提として、内部磁気圏における電子フラックスをカバーできるように HEPe の幾何学的因子を決定した。

角度分解能としては、1 層目の SSD の 1 ストリップを 200 ミクロンとし、ストリップ1つがコリメータ開口部を見込む角度を HEP-e-L (70 keV - 1 MeV を担当) では 5 度、HEP-e-H (700 keV - 2 MeV を担当) では 10 度となるようにセンサー構造を決定した。

中間エネルギー荷電粒子分析器の実験室モデル開発を行った。本科研費の期間中に設計・製作した静電分析部を用いて、エネルギー・角度特性(感度プロファイル)や極端紫外線除去特性の取得、及び耐電圧(10kV/mm)試験を行った。その結果、設計通りの性能が確認できた。

一方、電子検出素子 APD についても ERG の観測ターゲットを念頭に置いた形状パラメ

ータ設計を行い、実際に製作した。このテストモデルに対し、上記の静電分析部に組み込んだ電子検出試験を行うとともに、検出性能(エネルギー分解能、最小検出エネルギー等)の温度依存性や放射線照射による劣化を評価した。その結果、ERG 衛星環境条件において要求を満たす性能を実現できることがわかった。

イオン分析器質量分析部についても、製作した実験室モデルを試験した結果、設計通りに質量分解能の要求を満たすことが確認できた。

ジオスペース探査計画に向けたプラズマ波動粒子相互作用装置の開発

波動と粒子間のエネルギー授受を定量的に計測する新しい観測手法(機器)である WPIA(Wave-Particle Interaction Analyzer)についての科学的・技術的検討を行った。特に、2015 年に打ち上げられる科学衛星 ERG に搭載するソフトウェア型 WPIA(SWPIA)をターゲットとして、放射線帯における波動粒子相互作用を定量的に捉えることのできる手法の開発を行った。WPIA では、観測されるプラズマ波動の電界成分の瞬時値ベクトルと、粒子の一つ一つの速度ベクトルから、スカラー積を計算することによって、そのエネルギー伝達方向とその量を算出する。この時、限定的なイベント数で算出している以上、統計的な誤差が発生する。そのため、このスカラー積においてできるだけ多くの時間積分を計算する必要がある。本研究では計算機シミュレーションの結果を利用し、WPIA アルゴリズムとして、偏差の+2 倍の範囲にデータが入っていることでその精度が保証されることを示した。

一方、実際に衛星に搭載される CPU 相当の BBM を用いて、WPIA を実現するソフトウェアの開発を行った。特に、WPIA では、プラズマ波動の位相情報を正確にキャリブレーションする必要があるため、FFT と逆 FFT を多用することになる。一度の WPIA 処理では、そこで本研究では、12 回の FFT/逆 FFT 処理が必要である。BBM 上でいくつかのアルゴリズムによる FFT 処理を組み込み、その計算速度を評価し、実際の衛星ミッションにおいて WPIA 計測を実行するための処理時間の見積とその高速化を行った。その結果、衛星の 1 軌道で得られたデータをその軌道周期の中で処理できる見込みを立てることができている。

極域磁気圏での電子加速

inverted-V 構造の端では電場が局所的な磁力線に対し垂直であるため、ピッチ角は広がるはずであるが、れいめい衛星によりピッチ角の小さい低エネルギーのビーム電子が観測されている。これらのエネルギーやフラックスは、高エネルギーの inverted-V 電子と

連続的に繋がっており、密度と温度の導出から上層電離圏を起源とすると考えられる。オーロラ画像との比較から、アークやバンドの緯度方向のドリフトや拡大の有無によらずビーム電子が観測されており、上層電離圏電子がどのようにポテンシャル内に供給されるかを踏まえ、ビーム電子の加速機構を考えた。

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 16 件)

- ① S. Kasahara, T. Mitani, K. Ogasawara, T. Takashima, M. Hirahara, and K. Asamura, Application of single-sided silicon strip detector to energy and charge state measurements of medium energy ions in space, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, A603, pp. 355-360, 2009.
- ② Nishiyama, N., T. Sakanoi, Y. Miyoshi, Y. Katoh, K. Asamura, S. Okano, and M. Hirahara, The source region and its characteristic of pulsating aurora based on the Reimei observations, J. Geophys. Res., 116, A03226, doi:10.1029/2010JA015507, 2011.
- ③ Obuchi, Y., T. Sakanoi, K. Asamura, A. Yamazaki, Y. Kasaba, M. Hirahara, Y. Ebihara, and S. Okano, Fine-scale dynamics of black auroras obtained from simultaneous imaging and particle observations with the Reimei satellite, J. Geophys. Res., 116, A00K07, doi:10.1029/2010JA016321, 2011.
- ④ Kasahara, S., T. Takashima, and M. Hirahara, Variability of the Minimum Detectable Energy of an APD as an Electron Detector, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 664(1), pp. 282-288, 2012.

[学会発表] (計 64 件)

- ① M. Hirahara, Plasma particle instrumentation in forthcoming Japanese missions for space and planetary explorations: Toward the wide energy/angular coverages and the wave-particle interaction analysis, Taiwan-Japan Space Instrument Workshop,

Taiwan, 2010(Invited).

- ② M. Hirahara, M. Shioyama, Y. Saito, T. Takashima, K. Asamura, S. Yokota, S. Kasahara, and H. Hayakawa, Current Status and Future Course of the Plasma Particle Instrumentation Developed for the Japanese Space Explorations, Asia Oceania Geosciences Society and American Geophysical Union Joint Assembly, Singapore, 2012 (Invited).

[図書] (計 1 件)

- ① C. C. Chaston, K. Seki, T. Sakanoi, K. Asamura, and M. Hirahara, Evidence for a multi - scale aurora, Dynamic Magnetosphere, Springer Book, p271-280, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平原 聖文 (HIRAHARA MASAFUMI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授
研究者番号: 50242102

(2) 研究分担者

小嶋 浩嗣 (KOJIMA HIROTSUGU)
京都大学・生存圏研究所・准教授
研究者番号: 10215254

(3) 連携研究者

星野 真弘 (HOSHINO MASAHIRO)
東京大学・理学系研究科・教授
研究者番号: 90241257
大村 善治 (OMURA YOSHIHARU)
京都大学・生存圏研究所・教授
研究者番号: 50177002
高島 健 (TAKASHIMA TAKESHI)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授
研究者番号: 10298193
三好 由純 (MIYOSHI YOSHIZUMI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授
研究者番号: 10377781
関 華奈子 (SEKI KANAKO)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授
研究者番号: 20345854
柳町 朋樹 (YANAGIMACHI TOMOKI)
立教大学・理学部・准教授
研究者番号: 70200540