

水星磁気圏探査機MMO搭載MIAセンサー部の偏心性の検討

On relatively shifted centers of the analyzer electrodes of MIA onboard Mercury Magnetospheric Orbiter

*三宅 互¹、宮崎 祥一¹、斎藤 義文²、横田 勝一郎²

*Wataru Miyake¹, Shoich Miyazaki¹, Yoshifumi Saito², Shoichiro Yokota²

1.東海大学工学部、2.JAXA宇宙科学研究所

1.Tokai University, 2.ISAS/JAXA

MIA (Mercury Ion Analyzer) on board MMO employs a top-hat electrostatic analyzer, which measures three dimensional velocity distribution of solar wind and magnetospheric ions around Mercury. The analyzer uses axisymmetric toroidal electrodes and is designed to have no dependence in its characteristics on azimuthal direction of incident ions. However, our ground calibration experiments have revealed that it has a slight dependence. We have tried to explain the dependence by means of model calculations. We assume that all parts of electrode are manufactured precisely but their centers are not exactly coincident through assembling process. Our result of model calculations suggests that relative shift of 0.1 to 0.2 mm may be included and can be responsible for the azimuthal characteristics of the analyzer.

キーワード：MMO、MIA

Keywords: MMO, MIA

ASICプリアンプ内蔵型サーチコイルの基礎検討

A basic study of search coil with a built-in ASIC preamplifier

*徳永 祐也¹、尾崎 光紀²、八木谷 聡²、小嶋 浩嗣³*Yuya Tokunaga¹, Mitsunori Ozaki², Satoshi Yagitani², Hirotsugu Kojima³

1.金沢大学 理工学域 電子情報学類、2.金沢大学 理工研究域電情報学系、3.京都大学 生存圏研究所

1.School of Electrical and Computer Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2.Faculty of Electrical and Computer Engineering, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 3.RISH, Kyoto University

磁気圏のプラズマ波動ダイナミクスを多点で捉えるために超小型科学衛星の開発が進められている。同時に科学観測機に対して質量や消費電力等の物理的制約が厳しくなっている。これに対し、我々はリソースの大幅な削減のためにアナログASIC（特定用途向け集積回路）技術を用いてプラズマ波動観測機を開発を行っている。プラズマ波動の交流磁界成分は、通常ファラデーの法則を用いたサーチコイルが用いられる。一般的なサーチコイルセンサは一組のコイルと棒状の磁性体コアで構成され、衛星本体などから発生するノイズの影響を防ぐため衛星本体から数m離れたマスト先端に配置される。従来の場合、サーチコイルセンサから出力される微弱な信号（mVオーダー）は伝送する過程で雑音の乗りが特性が劣化する。本研究では、サーチコイルセンサ内部に我々が開発したASICプリアンプを配置することで、ケーブルによる特性の劣化やサイズ・質量を極端に低減するASICプリアンプ内蔵型サーチコイルを提案する。本研究では特に以下の項目について検討を行った。まず一つは、実効透磁率である。従来型のサーチコイルセンサは、棒状コアを使用しておりASICプリアンプを配置する空間がない。そこで、棒状の磁性体コアの断面を分割することでASICプリアンプを配置する空間を確保することを考えた。その結果、従来コアと四分分割したコアでは分割コアの実効透磁率が1.35 dB大きくなり性能が向上することが分かった。二点目は、放射線環境についてである。ASICプリアンプ内蔵型サーチコイルは暴露機器として使用されるため放射線の影響を考える必要がある。過剰な放射線がASICプリアンプに入射すると、ラッチアップや電気性能の劣化が起こる。このため放射線シミュレーションを行った結果、コイルを模擬した銅版（厚さ：5 mm）はアルファ線（60 MeV/(mg/cm²)以下）とガンマ線（0.05 MeV/(mg/cm²)以下）に対してシールド材として働くことが分かった。三点目は、クロストーク問題である。交流磁界ベクトル測定を行うには直交三軸に配置されたサーチコイルを用いる。そのため、水平方向の磁界に対し直行成分の磁界も発生し磁性体コアにより磁界が歪む。その結果、クロストークとしてセンサ性能を劣化させる。そこで、三軸の磁性体コアの最適な配置を交流磁界シミュレーションにより解析した。シミュレーションの結果より各磁性体コアの間隔35 mm以下でクロストークが-40 dB以下（角度誤差1度以下）となることが分かった。本発表では、ASICプリアンプ内蔵型サーチコイルの解析結果について詳細に述べる予定である。

キーワード：ASICプリアンプ、プラズマ波動観測機、サーチコイル

Keywords: ASIC preamplifier, Plasma wave observations, Search coil

ERG/MGFセンサの地上校正試験結果

The result of ground calibration for ERG/MGF sensor

*寺本 万里子¹、松岡 彩子¹、野村 麗子¹、能勢 正仁²

*Mariko Teramoto¹, Ayako Matsuoka¹, Reiko Nomura¹, Masahito Nose²

1.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、2.京都大学大学院理学研究科

1.Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Graduate school of science, Kyoto University

内部磁気圏の微小な磁場変化や擾乱が、プラズマ粒子を加速している可能性が指摘されている。そのためERG衛星の科学的目標であるプラズマ加速過程の解明の為に、高い精度で磁場を計測する必要がある。

3軸のフラックスゲート磁力計(MGF)のセンサ各軸は、製造時の取り付け誤差による直交性の誤差や、回路部やセンサに起因するオフセットを持つ。さらに、オフセットと感度は温度により変化することが知られている。衛星打ち上げ後取得されるデータを補正し精度の高いデータを取得するために、地上試験によって感度・アライメント・オフセットとそれらの温度依存性をあらかじめ把握する必要がある。我々は、ERG衛星に搭載されるMGFのセンサに関して、地上試験によって感度・アライメント・オフセットを求め、その温度依存性を調べた。本発表ではこれらの結果について報告する。

ソーラー電力セイルによるクルージングフェーズサイエンス

A study of cruising-phase sciences using Solar Power Sail

*岩田 隆浩¹、矢野 創¹、松浦 周二²、津村 耕司³、平井 隆之⁴、松岡 彩子¹、野村 麗子¹、米徳 大輔⁵、森 治¹
*Takahiro Iwata¹, Hajime Yano¹, Shuji Matsuura², KOHJI TSUMURA³, Takayuki Hirai⁴, Ayako Matsuoka¹,
Reiko Nomura¹, Daisuke Yonetoku⁵, Osamu Mori¹

1.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、2.関西学院大学、3.東北大学、4.宇宙航空研究開発機構、5.金沢大学

1.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Kwansei Gakuin University, 3.Tohoku University, 4.Japan Aerospace Exploration Agency, 5.Kanazawa University

ソーラー電力セイル探査機は、ソーラー電力セイルによる外惑星領域探査を実証することを目的としており、その主要なサイエンスターゲットは木星トロヤ群小惑星の表面および内部の科学探査である。しかしながら、打上げから木星スイングバイまでのクルージングフェーズは、その空間的(約6AU)・時間的(約6年)拡がりによって、魅力的な科学研究の場を与える。我々は、このフェーズに実現を目指す科学観測をクルージングフェーズサイエンスと規定して、太陽系内の物質・エネルギーの同径方向の分布や宇宙初期の状態の解明など、以下に掲げるサイエンスの実現を目指している。

赤外線観測装置EXZITは、口径約10cmの可視・赤外線望遠鏡である。地球近傍から木星軌道までの長期間の観測により、黄道光の数密度、組成、アルベド等の立体構造を明らかにする。また小惑星帯以遠では、黄道光の影響が地球近傍より著しく低下することから、赤方偏移 z が10を超える宇宙初期の再電離などによる宇宙赤外背景放射を捉えることにより、宇宙の初期状態の解明が期待される。

ダスト観測装置ALADDIN2は、ソーラー電力セイル小型実証機IKAROSに搭載されたALADDIN(大面積惑星間塵検出アレイ: Arrayed Large-Area Dust Detectors in INterplanetary space)からの改良型装置である。ALADDINによる地球~金星近傍のダスト観測に加えて、地球~木星軌道間のダストを分析するとともに、EXZITとの比較により太陽系のダストを3次元構造と其の場観測との両面から解明する。

磁力計MAGは、探査機本体とトロヤ群小惑星にランデブーする子機への搭載が検討されており、このうち探査機本体側の装置は、クルージングフェーズ中での観測により、地球近傍~木星軌道においてプラズマの太陽系動径方向の構造を明らかにすることを旨とする。ソーラー電力セイルの両端に搭載することにより、10mオーダーの高解像度が得られ、これは電子スケールでの分解に適している。これにより太陽風の加熱機構が明らかになることが期待される。

ガンマ線バースト観測装置GAP2は、地球-探査機間の基線長が最大で約6AUに及びことを活用して、ガンマ線バースト天体(GRB)の位置を高精度で決定するガンマ線望遠鏡である。GRBの観測から高エネルギー粒子の加速機構の解明を行うとともに、EXZITとの協同により宇宙初期状態に関する新たな知見が得られることも期待される。

キーワード: ソーラー電力セイル、黄道光、ダスト、プラズマ、ガンマ線バースト

Keywords: Solar Power Sail, zodiacal light, dust, plasma, gamma-ray burst

波動分布関数法に適した先験情報の検討

Study on prior information suitable for wave distribution function method

*太田 守¹、笠原 禎也¹、後藤 由貴¹

*Mamoru Ota¹, Yoshiya Kasahara¹, Yoshitaka Goto¹

1. 金沢大学大学院自然科学研究科

1. Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

地球磁気圏内を伝搬するプラズマ波動は、その励起・伝搬過程において伝搬経路上のプラズマ媒質の影響を強く受ける。宇宙空間プラズマ環境の理解のためには、科学衛星を用いた「その場」の詳細観測が重要であり、波動観測がその有力な手段となっている。また、波動の偏波解析や伝搬ベクトルの推定には、衛星が観測する複数の電磁場成分のクロススペクトルからなるスペクトルマトリクスが一般に用いられている。2016年に打ち上げ予定のジオスペース探査衛星「ERG」では、搭載されるプラズマ波動電磁場観測装置(PWE)においてパワースペクトルとともにスペクトルマトリクスを作成し常時地上に伝送することが計画されている。これらの連続データは、間欠的な観測しか行えない高分解能な波形データを降ろすタイミングを決めるための判断材料として用いられる。

また、スペクトルマトリクスを用いるVLF波動の伝搬ベクトル推定手法としては、1. Means法を代表とする単一平面波を仮定し偏波の情報を用いる手法と、2. 複数のインコヒーレントな波の重ね合わせであると観測信号を仮定し統計的な扱いをする波動分布関数法が提案されている。このうち、波動分布関数法は複数の波源の伝搬ベクトルを推定する必要があり、一般には入力データの要素数と比べてその推定しなければならないパラメータ数は多い。したがって、解が一意に定まらず何らかの先験情報(モデル)を付加することで解を特定する必要があり、これまでにさまざまなモデルが提案されてきた。しかし、モデルの決め方に依存して推定像が大きく変化することに加え、各モデルの良し悪しを評価する方法が確立されていないために複数のモデルによる推定結果を総合的に判断して解の妥当性を評価しなければならなかった。つまり、現状では波動分布関数法の信頼性が真に担保されず、さらに推定を行う研究者の負担が大きいという問題がある。

本研究では、恣意的なモデルの仮定を用いない新たな波動分布関数法を提案する。この手法では、スペクトルマトリクスの半正定値性と波動分布関数の非負値性から解集合が有界となることを利用している。また、解集合上の一様分布を仮定し、推定像の平均や信頼区間といった統計量を算出するため、解を一意に定めるためのモデルを与える必要がないことが特徴である。最後に、モデル選択基準を用いてモデルの妥当性を客観的に評価するための方法について検討を行う。

キーワード：プラズマ波動、不良設定問題、波動分布関数法、モデル選択

Keywords: Waves in plasma, Ill-posed Problem, Wave distribution function method, Model selection

太陽風粒子の熱構造発展の解明に向けた超小型磁場観測器の開発

Development of ultraslim magnetometers to discover the mechanism of the solar wind heating

*野村 麗子¹、松岡 彩子¹、池田 博一¹、小嶋 浩嗣²*Reiko Nomura¹, Ayako Matsuoka¹, Hirokazu Ikeda¹, Hirotsugu Kojima²

1.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、2.京大生生存圏研究所

1.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

太陽風の温度 T は太陽圏動径方向に沿って断熱的に冷えると考えられていたが、惑星探査機Voyager 2号の観測によると、断熱変化で得られる予想温度($T=T_0 \cdot R^{-4/3}$)よりも太陽風は温かい($T \sim T_0 \cdot R^{-1/2}$)ことがわかっている [Richardson and Paularena, 1995]. これは、宇宙空間中における太陽風粒子の加熱を示唆しているが、その加熱物理機構は未だ明らかにされていない。この加熱機構のひとつとしては太陽風中のプラズマ乱流の散逸が有力視されている。惑星間空間中の太陽風乱流スペクトルはHelios1衛星 [Roberts+1987] やUlysses衛星 [Goldstein+1995] によって、地球近傍はCluster衛星 [Sahraoui+2007; 2010] によって調べられ、乱流のエネルギー E と波数 k の関係 ($\log_{10}(E) \sim kA + E_0$) には、イオンや電子の慣性長に対応する k でのキンクが存在することが観測されている。これらのキンクは、波動粒子相互作用によって乱流から粒子へエネルギーが受け渡された可能性を示しているが、粒子にエネルギーを渡す役割を持つはずの波動モードがわからない等、物理機構は未解明である。

これまでの惑星間空間での観測的研究は単機衛星によるものであったため、時間・空間変化を分離することができず、3次元物理量である波数ベクトルを導出できなかった。このため波動モード決定に必要な分散関係を明らかにすることができなかった。本研究では、ソーラーセイルミッション (木星トロヤ群小惑星探査) の大規模な (一辺~50m) 薄膜太陽電池パネルの4隅に磁力計を搭載し、波数を計測することを目指して、センサ部と信号処理部一体型の超小型・軽量、省電力かつ低ノイズの磁場観測器を開発している。大型薄膜太陽電池パネルに搭載するためには、従来の磁場観測器のままでは信号処理回路部が大きく重すぎることが問題とのひとつとなる。そこで、センサ部と信号処理回路で構成されているフラックスゲート磁力計のうち、信号処理回路のアナログ回路部全体を5mm 角の集積回路 (ASIC; Application Specific Integrated Circuit) に納めることにより軽量化及び1/3 以下に小型化をおこなった。

本発表では回路の各機能部分における性能について、シミュレーション結果との比較とともに、ASICを組み込んだ回路の評価を報告する。

キーワード：フラックスゲート磁力計、プラズマ乱流、太陽風、波数解析

Keywords: fluxgate magnetometer, plasma turbulence, solar wind, wavenumber analysis

小惑星/小天体内部構造探査のための地震探査パッケージの開発と検討

Investigation and Development of Seismic Observation Package for Asteroid and Small Body Explorations

石原 吉明²、*川村 太一¹、山田 竜平³、小川 和律⁴、竹内 希⁵、新谷 昌人⁵、ロニョーネ フィリップ¹、白井 慶²、辻 健⁶、小林 泰三⁷、西川 泰弘^{1,5}、ドリロー メラニー¹、田中 智²

Yoshiaki Ishihara², *Taichi Kawamura¹, Ryuhei Yamada³, Kazunori Ogawa⁴, Nozomu Takeuchi⁵, Akito Araya⁵, Philippe Lognonné¹, Kei Shirai², Takeshi Tsuji⁶, Taizo Kobayashi⁷, Yasuhiro Nishikawa^{1,5}, Mélanie Drilleau¹, Satoshi Tanaka²

1.パリ地球物理研究所、2.宇宙科学研究所/宇宙航空研究開発機構、3.国立天文台 RISE 月惑星探査検討室、4.神戸大学、5.東京大学、6.九州大学、7.福井大学

1.Institut de Physique du Globe de Paris, 2.Japan Aerospace Exploration Agency, 3.National Astronomical Observatory of Japan, 4.Kobe University, 5.Tokyo University, 6.Kyushu University, 7.University of Fukui

小惑星探査は太陽系の形成や初期状態、進化について知る上で重要な要素である。はやぶさのサンプルリターン成功以来、小惑星探査は日本が世界に先行する分野の一つとなった。持ち帰ったサンプルの分析は探査天体について知る重要な手がかりとなる一方でその場観測でしか制約できない情報をミッション中に観測することは持ち帰ったサンプルを理解する上でも重要である。その場観測で制約すべき情報として天体の内部構造、特に深部の構造が挙げられる。本研究では内部構造探査の有効な手段として地震観測に注目し、小天体や小惑星の内部構造探査のための地震探査パッケージの開発と検討状況について報告する。本研究は主に、1.小天体で期待される地震シグナルの推定と2.小惑星/小天体で実現可能な地震観測の2つの内容について議論する。

まず小天体上で期待される地震イベントとして人工地震を含めた衝突イベントによって励起される地震の振幅や周波数特性を推定する。推定にはNormal Mode Summation を用い、震源の違いによる地震波の特性の違いを検討する。本研究では特に内部構造による地震波特性の違いについて検討する。小惑星は月のように表面がレゴリス、メガレゴリスの層で覆われていると考えられ、天体のサイズ、衝突によって、さらにその下に隕石衝突による掘削を受けていない岩塊層が存在する可能性もある。このような天体の内部の情報は天体の起源や進化に対する重要な制約となる。地震探査はこのような深部の状態について定量的な制約を与える効果的な方法であり、本研究では理論波形の計算を通じて適切な観測条件や小天体上での地震観測の可能性について議論する。

後半では我々が提案する小惑星/小天体用地震探査パッケージについて紹介する。これは主にJAXAが計画を進めているMars Moon Exploration Mission (MMX) に提案した地震探査パッケージの検討内容が中心となる。地震探査パッケージは3軸の短周期地震計と加振源から成る。自然イベントは重要である一方で確実な成果を上げるためにはアクティブ探査が重要である。本発表では我々が検討した加振源の紹介とそれによって期待される成果について議論する。さらにそれを含めた観測条件や観測計画についても紹介する。また現在検討中の項目、および開発中の要素についても議論し、期待される成果について紹介する。

キーワード：惑星科学、小惑星、地震学、小天体

Keywords: Planetary Science, Asteroid, Seismology, Small bodies

次期惑星探査に向けた新型紫外線検出器の開発

Newly developed ultraviolet detector for future space missions

*村上 豪¹、桑原 正輝²、疋田 伶奈²、鈴木 文晴²、吉岡 和夫³、吉川 一朗²*Go Murakami¹, Masaki Kuwabara², Hikida Reina², Fumiharu Suzuki², Kazuo Yoshioka³, Ichiro Yoshikawa²

1.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻、3.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

1.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Department of Complexity Science and Engineering, The University of Tokyo, 3.Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

The extreme ultraviolet (EUV) telescopes and spectrometers have been used as powerful tools in a variety of space applications, especially in planetary science. For example, an EUV telescope onboard Japan's lunar orbiter KAGUYA first took a global meridian image of the Earth's plasmasphere. In addition, the EUV spectrometer EXCEED (Extreme Ultraviolet Spectroscope for Exospheric Dynamics) onboard the Japan's small satellite Hisaki was launched in 2013 and it has observed tenuous gases and plasmas around the planets in the solar system (e.g., Mercury, Venus, Mars, Jupiter, and Saturn). These EUV instruments adopted microchannel plate (MCP) detection systems with resistive anode encoders (RAEs). An RAE is one of the position sensitive anodes suitable for space-based applications because of its low power, mass, and volume coupled with very high reliability. However, this detection system with RAE has limitations of resolution (up to 512 x 512 pixels) and incident count rate (up to $\sim 10^4$ count/sec). Concerning the future space and planetary missions, a new detector with different position sensitive system is required in order to a higher resolution and dynamic range of incident photons. One of the solutions of this issue is using a CMOS imaging sensor. The CMOS imaging sensor with high resolution and high radiation tolerance has been widely used. Here we developed a new CMOS-coupled MCP detector for future UV space and planetary missions. It consists of MCPs followed by a phosphor screen, fiber optic plate, and a windowless CMOS. We manufactured a test model of this detector and performed vibration, thermal, and performance tests. In this paper, we report the concept of this detector and initial results of our tests.

キーワード：紫外線、検出器、惑星探査

Keywords: Ultraviolet, Detector, Planetary exploration

観測ロケット搭載電場観測用センサの開発

Development of the electric field sensor for a sounding rocket

*石坂 圭吾¹、小嶋 浩嗣²、阿部 琢美³

*Keigo Ishisaka¹, Hirotsugu Kojima², Takumi Abe³

1.富山県立大学、2.京都大学生存圏研究所、3.宇宙科学研究所

1.Toyama Pref. Univ., 2.RISH, Kyoto Univ., 3.JAXA/ISAS

Measurements of electric fields are one of key elements for the investigation of ionospheric plasma. The detection of electric field is useful to identify global plasma dynamics and energetic processes in magnetosphere and ionosphere. The concrete examples are as follows.

- Electric field structure associated with the charged particle precipitation and the global motion of the ionosphere
- The role of the electric field in the acceleration and heating mechanisms of ions
- Propagation mechanism of the electric field in the auroral ionosphere to the low latitude ionosphere
- Electric field structure in the equatorial ionosphere

Many electric field measurements have been carried out in Japan. And the electric field detector onboard sounding rockets have been successfully used in the D, E and F regions of the ionosphere. The double probe technique have been extensively used on sounding rockets in order to measure electric field in the ionosphere. And the passive double probe technique has been proven to be a reliable technique in the high electron density plasmas of the ionosphere. The technique has been extended to the lower density plasmas of the D region of the ionosphere. For electric field measurement, a wire antenna has been used as a sensitive sensor onboard Japanese sounding rocket. And this antenna will be used for several spacecraft in the future mission. However, its extension mechanism is complicated and it is difficult for the sounding rocket to extend a wire antenna in the ionosphere. Accordingly new type sensors are developed in order to measure the electric field by the sounding rocket. Their sensors fulfill the severe requirements to the sensor system, i.e., light mass, enough stiffness, compact storage, safe extension, and reasonable test efforts. Four sensors were newly developed for the electric field measurement. These sensors were loaded on four sounding rockets in Japan (S-310-37, S-520-23, S-520-26 and S-310-44). And these new style sensors deployed normally during the flight of a sounding rocket, and succeeded in the electric field observation in the ionosphere.

This paper describes about the basic measurement techniques of the electric field in the ionosphere. In particular it explains about four new type sensors in detail. Then we show the electric field data in the ionosphere measured by the new type sensor onboard the Japanese sounding rocket.

キーワード：電場観測センサー、観測ロケット、電離圏、電場観測

Keywords: electric field sensor, sounding rocket, ionosphere, electric field measurement