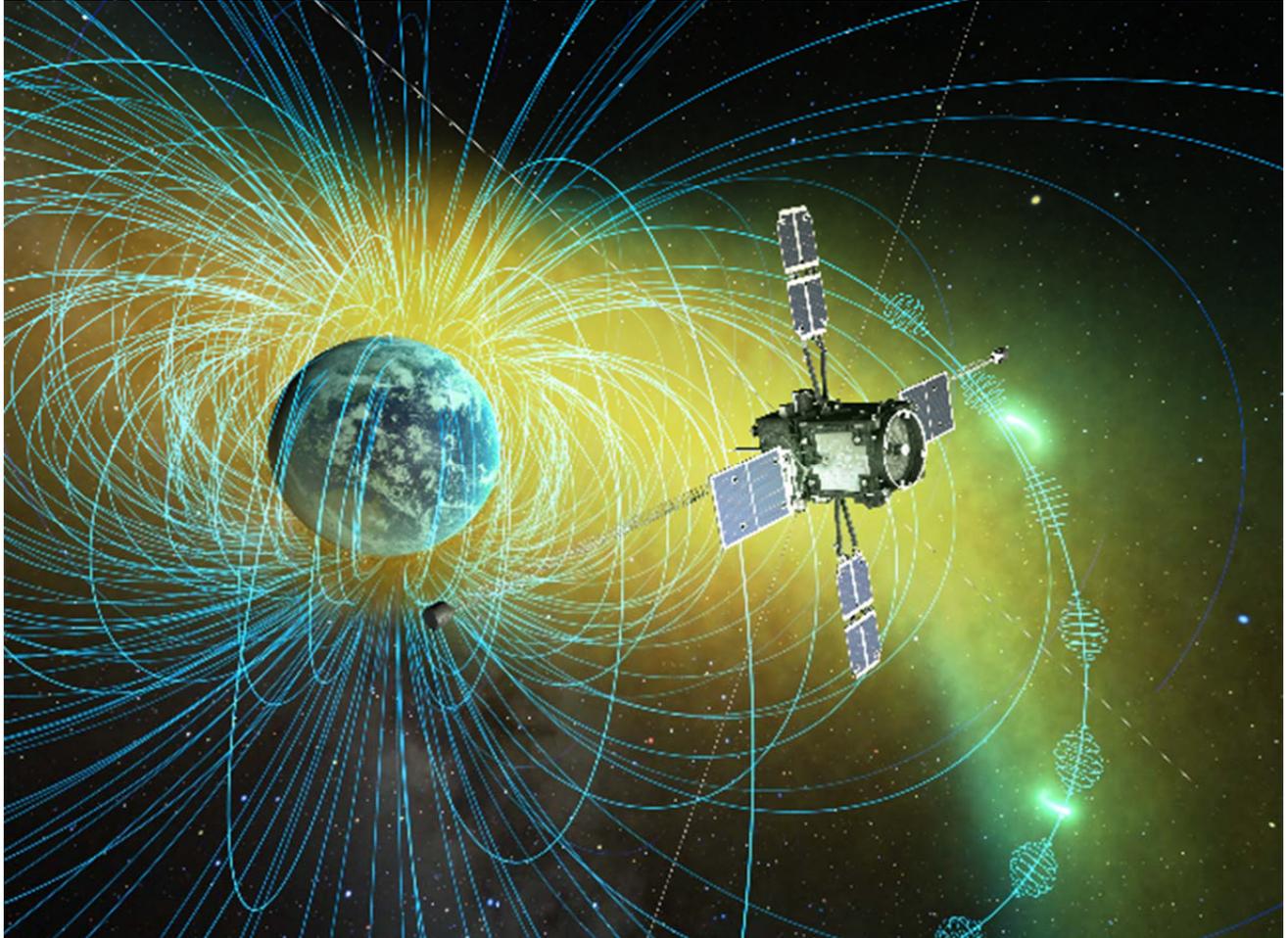




プレスキット/2016年11月18日(金)

ジオスペース探査衛星 (ERG: Exploration of energization and Radiation in Geospace)

地球周辺の宇宙空間 (ジオスペース) で宇宙嵐はどのように発達するのか、どのようにしてヴァン・アレン帯の電子が加速されるのかを明らかにする





目次

メディア関連のみなさまへ	3
お問い合わせ先	3
ERG 衛星についての情報は・・・	3
ERG プロジェクトとは	4
ERG 衛星概要	5
諸元	5
ERG 衛星外観	6
打上げロケット：	7
打上げ予定日：	7
打上げ予定時間帯：	7
打上げ予備期間：	7
軌道と姿勢	8
打上げ時 イプシロンロケット 2 号機の飛行経路	9
打上げから展開までのシーケンス	9
運用フェーズ	10
運用（地上局）	10
科学目的	11
背景	11
ミッションのねらいと特徴	14
ミッション機器	16
概要：	16
プラズマ粒子観測器（PPE）	17
磁場観測器（MGF）	18
プラズマ波動・電場観測器（PWE）	18
ソフトウェア型波動粒子相互作用解析装置（S-WPIA）	19
参考資料	20
プロジェクト参加機関	20



メディア関連のみなさまへ

お問い合わせ先

JAXA 相模原キャンパス 広報担当

電話：042-759-8008（受付時間：平日 9:30～12:15，13:00～17:45）

ERG 衛星についての情報は・・・

- ✓ JAXA 宇宙科学研究所 ジオスペース探査衛星（ERG）
<http://www.isas.jaxa.jp/j/enterp/missions/erg/index.shtml>

- ✓ ファン！ファン！JAXA！
ジオスペース探査衛星（ERG）/イプシロンロケット2号機 特設サイト
<http://fanfun.jaxa.jp/countdown/epsilon2/>

- ✓ JAXA ウェブサイト
プレスリリースを掲載します
<http://www.jaxa.jp>



ERG プロジェクトとは

ERG プロジェクトは、衛星観測と地上観測、シミュレーションを密接に連携させて地球周辺の宇宙空間（ジオスペース）を調べる研究プロジェクトです。

ERG プロジェクトの推進には、研究チームとして国内外の約 30 の大学・研究機関から 100 名以上の研究者が参加しています。低エネルギー電子観測器（LEP-e）は、台湾の中央研究院天文及天体物理研究所によって開発・製造されました。また、研究チームに加えて、JAXA 宇宙科学研究所と名古屋大学の共同運用による ERG サイエンスセンターが設置され、科学データの公開やソフトウェアの開発を行っています。





ERG 衛星概要

諸元

◆ 名称

ジオスペース探査衛星 (ERG: Exploration of energization and Radiation in Geospace)

◆ 目的

宇宙環境擾乱 (じょうらん) にともなって激しく変動するヴァン・アレン帯の中心部において、10 電子ボルトから 20 メガ電子ボルトの 6 桁におよぶ広いエネルギー帯域の電子などを総合的に直接観測することによって、高エネルギー電子がどのようにして生まれ/失われるのかを明らかにする。

◆ 形状：太陽電池パドルを持つ箱形 (約 1.5×1.5×2.7m)

展開した太陽電池パドルの両端間：約 6.0m (X 軸), 約 5.2m (Y 軸)

◆ 総重量：約 350 kg

◆ 電力：約 700W 以上

◆ 予定軌道

種類：楕円軌道

近地点高度：約 300km

遠地点高度：約 33 200km

軌道傾斜角：約 31 度

周期：約 580 分

◆ ミッション機器

- 低エネルギー電子分析器(LEP-e)
Low-energy particle experiments - electron analyzer
- 低エネルギーイオン質量分析器(LEP-i)
Low-energy particle experiments - ion mass analyzer
- 中間エネルギー電子分析器(MEP-e)
Medium-energy particle experiments - electron analyzer
- 中間エネルギーイオン質量分析器(MEP-i)
Medium-energy particle experiments - ion mass analyzer
- 高エネルギー電子分析器(HEP)
High-energy electron experiments
- 超高エネルギー電子分析器(XEP)
Extremely high-energy electron experiments
- 磁場観測器(MGF)
Magnetic field experiment
- プラズマ波動・電場観測器(PWE)
Plasma wave experiment
- ソフトウェア型波動粒子相互作用解析装置(S-WPIA)
Software-type wave particle interaction analyzer

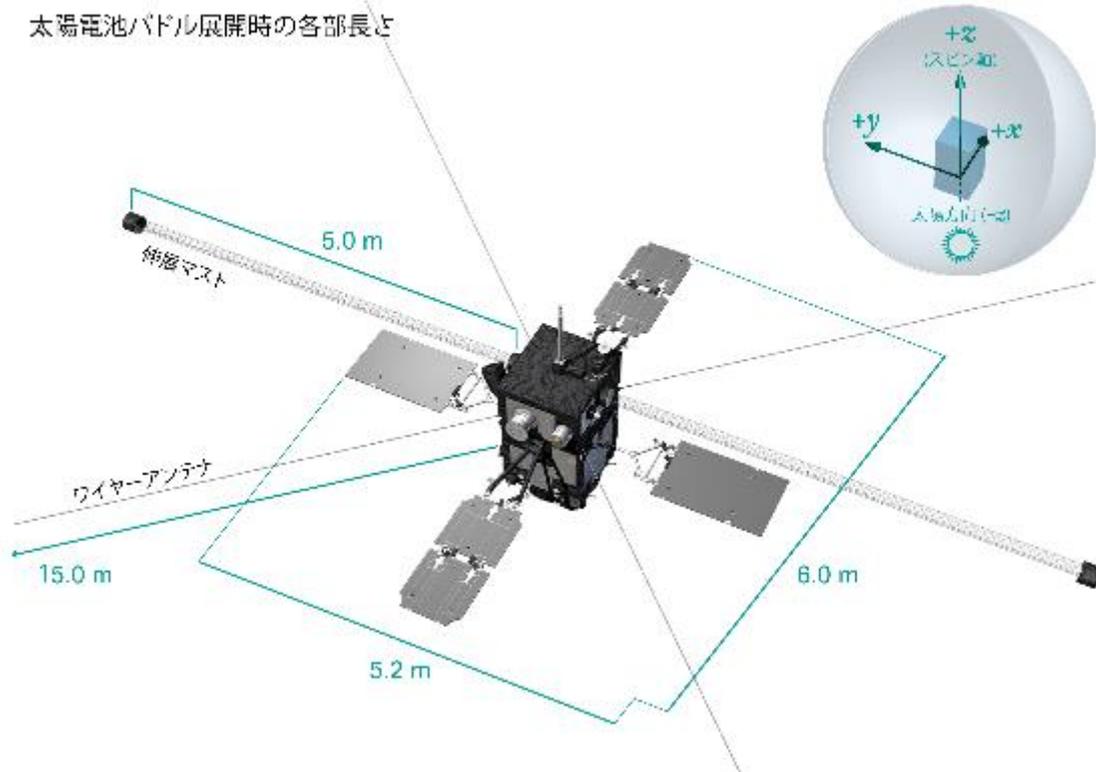
◆ ミッション期間

定常運用移行後 1 年以上

ERG 衛星外観
フェアリング格納時



軌道上での外観（太陽電池パドル展開時）





ERG 衛星の特徴

- ◆ 極めて厳しい軌道上環境と EMC(Electro-Magnetic Compatibility: 電磁適合性)要求
ここでいう EMC とは、衛星で生じる電磁ノイズを抑制することにより、搭載機器の正常な動作や、磁場とプラズマ電磁波動の高精度観測を可能とする性能のことです。
ERG 衛星は強い放射線にさらされるヴァン・アレン帯の中心で高精度の観測を行うために、下記のような工夫を施しています。
 - ・ 放射線シールド
 - ・ 放射線耐性の高い部品/材料の採用
 - ・ 表面導電性の確保と衛星構体への接続
 - ・ 電源フィルタ追加、ハーネスの二重シールド
 - ・ 設計から試験まで、機器・部品レベルからシステムレベルまでの一貫した EMC 管理

- ◆ 小型科学衛星の限られたリソースと適切な信頼性の確保
 - ・ 9 つの観測機器と電力制約、質量軽減要求
 - ・ 短期、低コスト開発
 - ✓ 小型科学衛星として実績のあるバス機器の採用
 - ✓ 機器の単系化+一部機能冗長+異常からの復帰/再構成
 - ✓ 個別マージンの削減+システムマージンの確保
 - ✓ 衛星運用計画詳細化と打上げ後の実力値推定による、観測運用機会の最大化

打上げロケット:

イプシロンロケット 2 号機

打上げ予定日:

2016 年 12 月 20 日 (火)

打上げ予定時間帯:

20 時 00 分～21 時 00 分 (日本標準時)

打上げ予備期間:

平成 28 年 12 月 21 日 (水) ～平成 29 年 1 月 31 日 (火)



軌道と姿勢

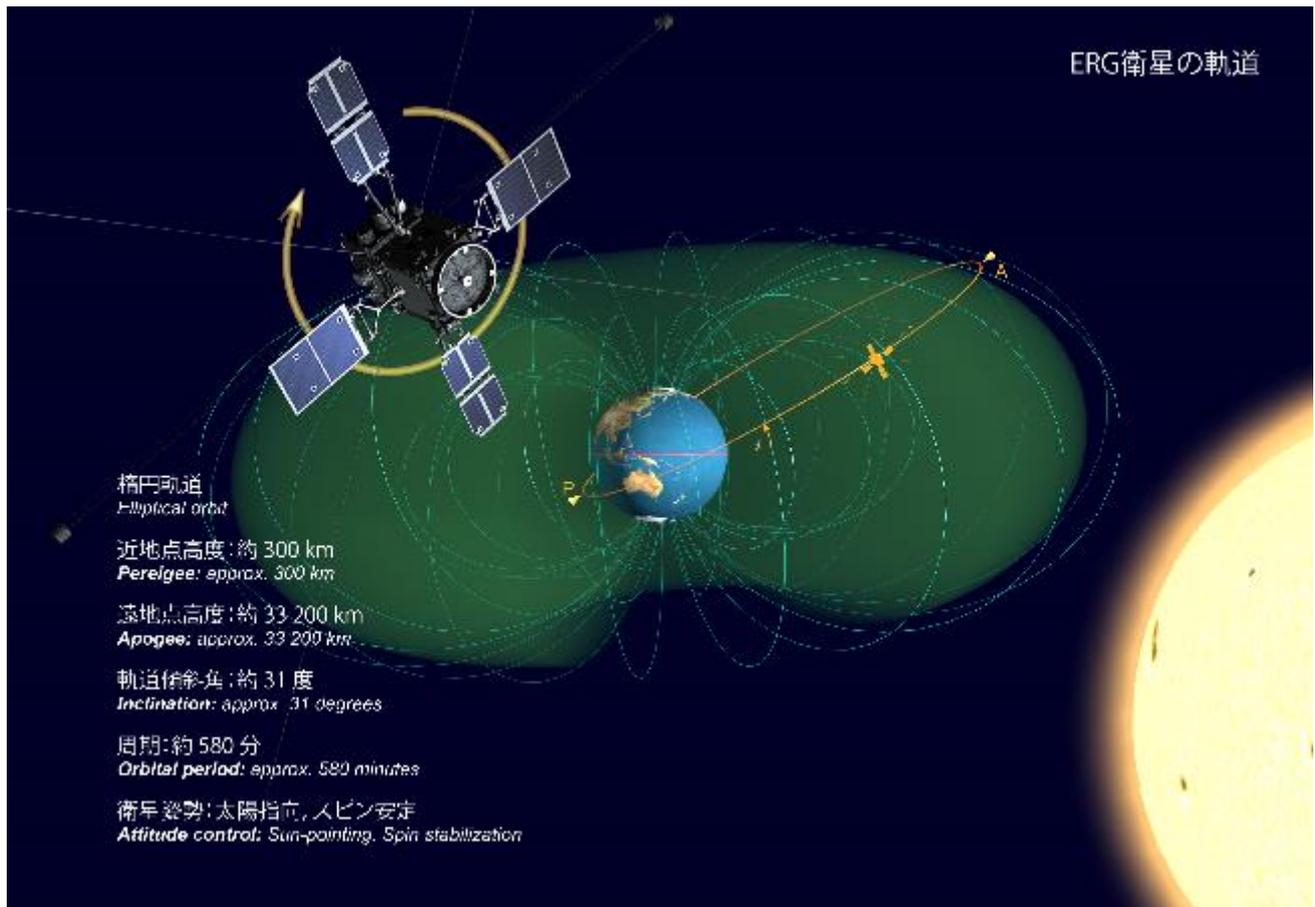
近地点高度：近地点：約 300 km、遠地点高度：約 33 200 km

軌道傾斜角：約 31 度

周期：約 580 分

姿勢：スピン安定方式

スピンレート：7.5 rpm（8 秒で 1 回転）



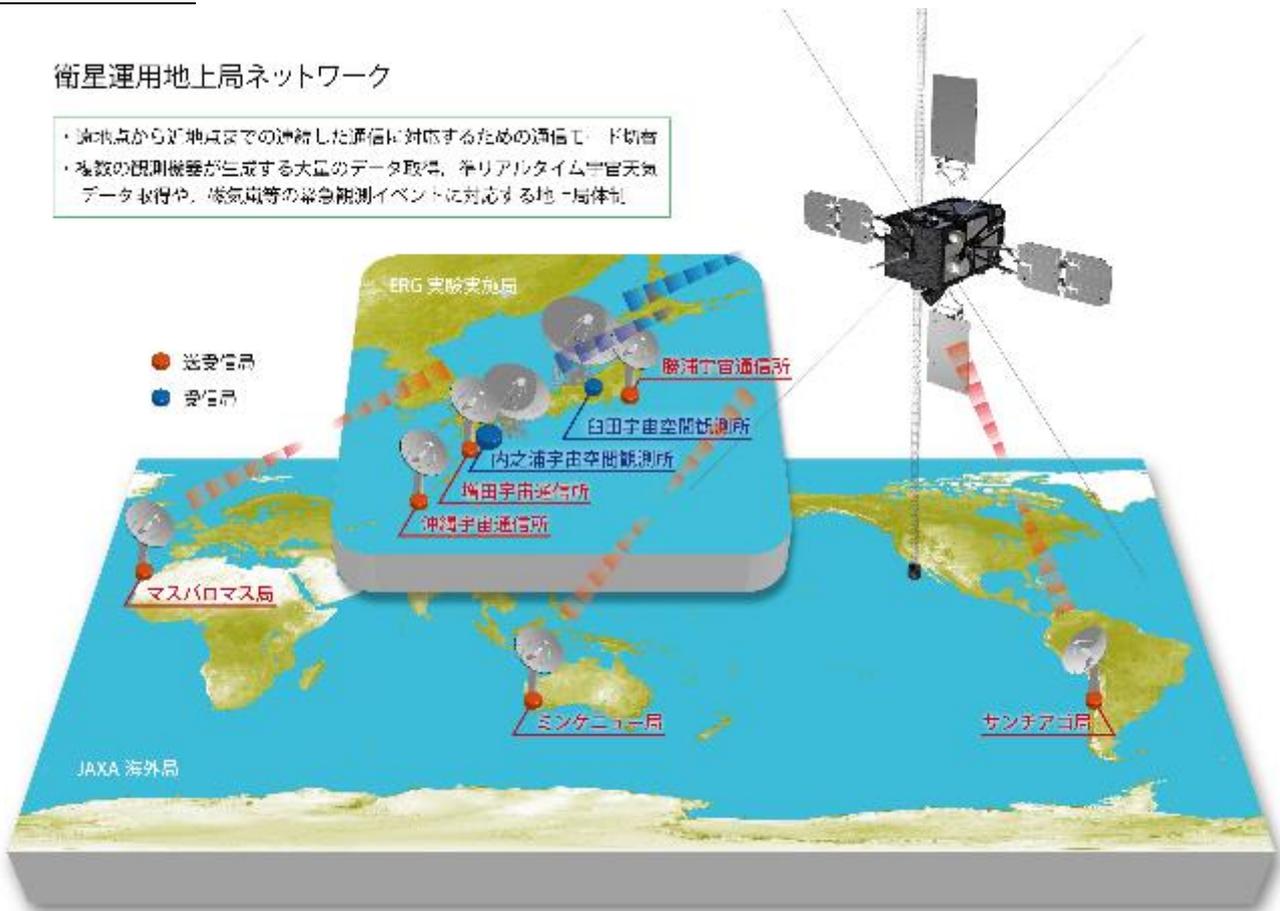
運用フェーズ



運用（地上局）

衛星運用地上局ネットワーク

- ・遠地点から近地点までの連続した通信に対応するための通信で、下切音
- ・多数の観測機が生産する大量のデータ取得、準リアルタイム宇宙天気データ取得や、磁嵐等の緊急観測イベントに対応する地上局体制



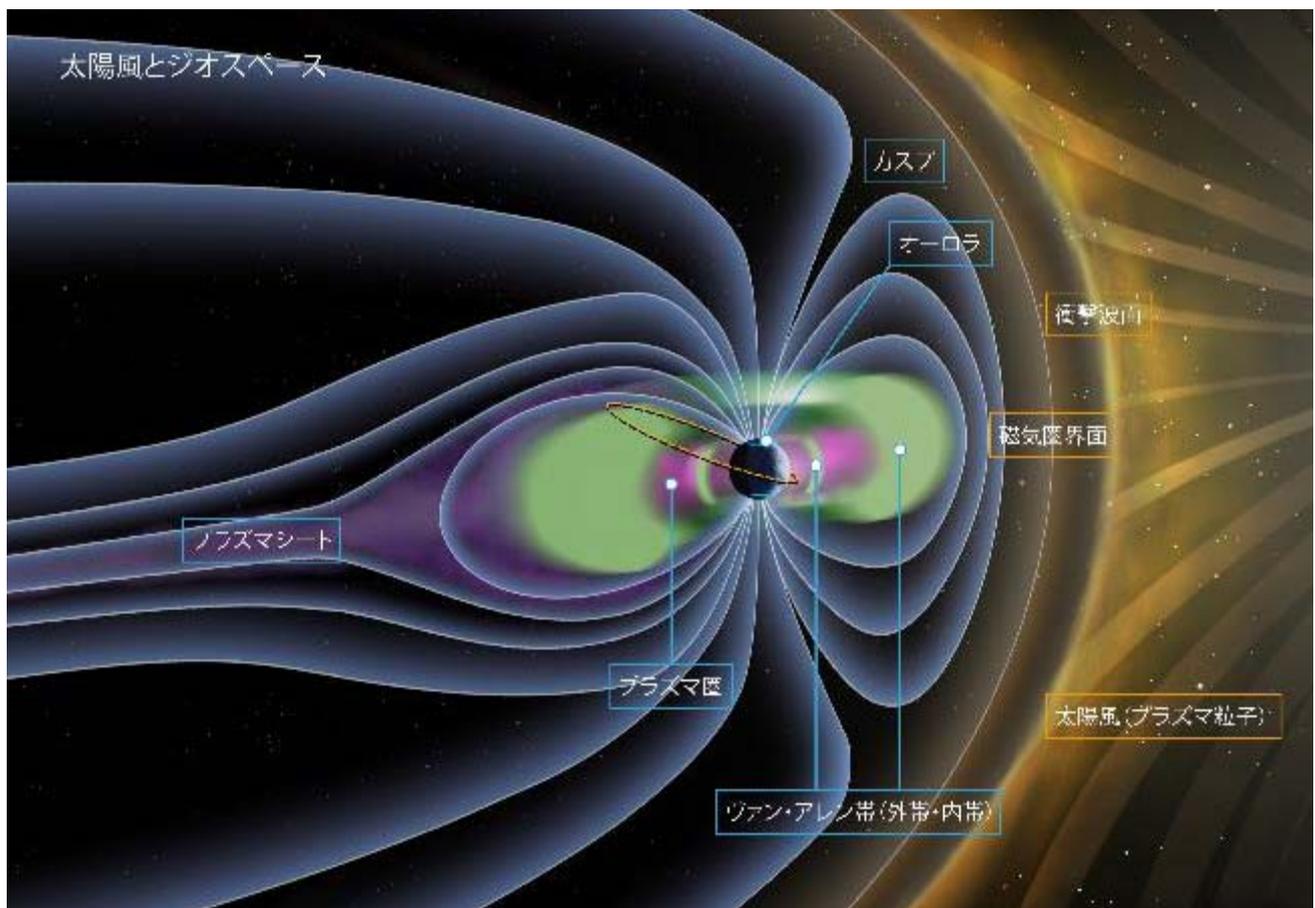
科学目的

背景

20世紀の前半までは、太陽は恵みの源であり、安定した星だと考えられていました。しかし20世紀後半になると、観測技術の進歩によって、太陽は激しく変化する恒星であること、そして、その太陽活動は地球に直接影響を及ぼしていることがわかってきました。約1億5千万kmの距離を隔てた地球に、太陽の活動は影響を及ぼしているのです。

太陽から継続的に惑星空間へと流出するプラズマの流れ、太陽風は、同時に太陽の磁場を引き出してきます。太陽風は地球周辺の宇宙空間に達し、地球の磁場と遭遇します。地球は固有磁場を持つため、地球周辺の宇宙空間には磁気圏が形成されています。地球磁場のおかげで太陽風のプラズマが直接地表に達することはありません。高エネルギーのプラズマは生命にとって有害です。ですから、地上の生命にとって、地球磁気圏は太陽風からのシールドになっていると言えるのです。

地球磁気圏は太陽風の進路を曲げるなど太陽風と相互作用し、様々な現象を引き起こします。他の固有磁場をもつ惑星・衛星もそれぞれの磁気圏を持っており、そこでも太陽風との相互作用によって様々な現象が起こっています。





ジオスペースとそこで起こっている現象をより深く理解することが ERG 衛星の目的です。同時に人間活動に関係する宇宙環境の理解を目指す宇宙天気、そしてその環境変動を予測する宇宙天気予報にも貢献できると考えています。

地球周辺の宇宙空間であるジオスペースには、メガ電子ボルトを越えるエネルギーを持つ粒子（高エネルギー粒子）が多量に捕捉されているヴァン・アレン帯（放射線帯）が存在しています。ヴァン・アレン帯に存在する高エネルギー電子は、太陽風の擾乱（じょうらん）に起因する宇宙嵐にともなって生成と消滅を繰り返しています。この高エネルギー電子がどのようにして生まれてくるのか、また宇宙嵐はどのように発達するのかを明らかにしようとしています。

私たちは通信や天気予報など、人工衛星に依存した社会で暮らしています。人工衛星はヴァン・アレン帯の粒子に囲まれているため、太陽風と地球磁気圏の相互作用によって起こる様々な現象の影響を受けています。そして、時にはそれらの現象によって人工衛星が異常動作を起すこともあります。

ヴァン・アレン帯を通過するとき、人工衛星は強い放射線にさらされます。ヴァン・アレン帯の高エネルギー電子が増大すると、この領域を飛翔する人工衛星の故障や劣化の危険性が高まります。したがって、高エネルギー電子の密度が変動するメカニズムを解明し、それを予測できるようになることは、宇宙天気予報の主要な課題の一つです。

人類が様々な目的で利用する人工衛星の静止軌道は、地球半径の約 6.6 倍の半径（約 4 万 2000km）をもち、ヴァン・アレン帯の外側に位置します。静止軌道に投入される前に、人工衛星は、打上げ後、いったん、細長い楕円の遷移軌道に投入されます。この遷移軌道はヴァン・アレン帯を横切る軌道となります。ですから、ヴァン・アレン帯の高エネルギー電子密度が変動し、増大すると、飛翔している人工衛星にも影響を及ぼすのです。すなわち、ヴァン・アレン帯の高エネルギー電子の生成と消失のメカニズムを明らかにし、高エネルギー電子の増減を予測できるようになることは、安全な人工衛星運用のためにも必要なのです。

ERG 衛星は電子の急激な加速が起こっていると考えられているジオスペースの赤道面付近で、プラズマ総合観測を行います。電子の加速を理解するためには、高速の電子（高エネルギー電子）の観測だけではなく、6 桁以上エネルギーが低いイオンや電子も観測しなければなりません。また、プラズマの波の観測も重要です。

このような総合観測は、ジオスペース赤道面ではほとんど行われたことがありません。それは、ヴァン・アレン帯のエネルギーが高い粒子のために、低いエネルギーのプラズマ粒子の観測がとても難しいからです。後述のように、ERG 衛星では、新たに開発した機器を搭載して、ヴァン・アレン帯の中でのプラズマ総合観測の実現を目指しています。

ERG 衛星は、ヴァン・アレン帯の中での詳細なデータを観測しますが、広大なジオスペースの中での一点です。宇宙嵐の発達や、変動するヴァン・アレン帯の理解のためには、一点だけではなくジオスペース全域で何が起きているのかを把握していく必要があります。



近年、地上に設置された磁力計やレーダーなどがネットワーク化され、電離圏でのプラズマ流速や電流構造、さらにはオーロラ発光などを面的にとらえることができるようになってきました。このような地上観測から、磁力線を介してつながっている宇宙空間のプラズマ流や磁場変動、粒子分布などがわかるようになってきました。

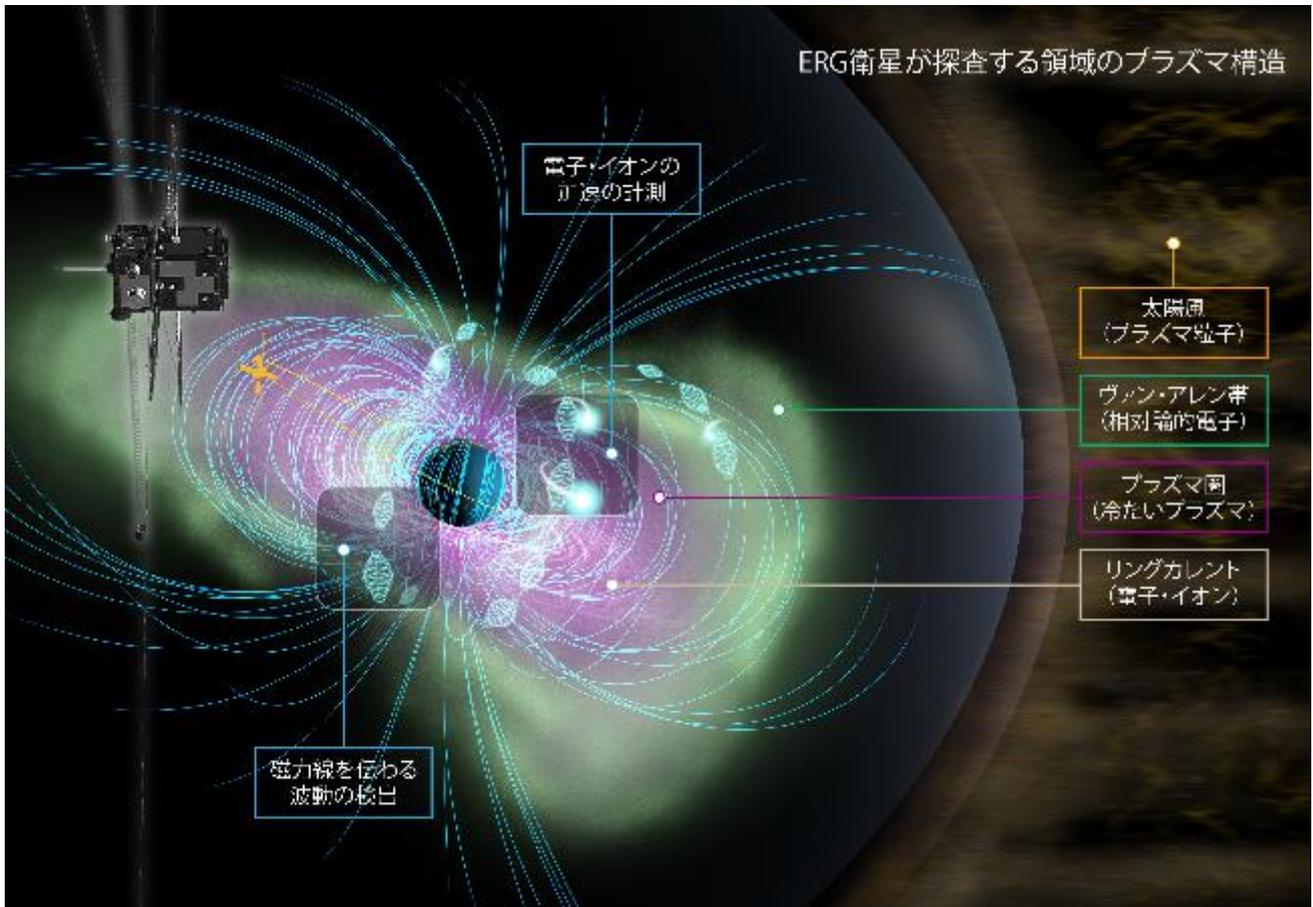
ERGプロジェクトでは、ERG衛星の詳細観測と地上からの電離圏の観測とが連携して研究を進めます。そのために、様々なデータを統合して解析できるツール群も開発しています。そして観測データとシミュレーションとを組み合わせることで現象のメカニズムを詳細に理解していくことも重要です。

このように、ERGプロジェクトは、衛星観測、地上観測、シミュレーション総合解析の3チームが一体となって研究を行う体制となっています。

上述のように、ヴァン・アレン帯の研究は、宇宙天気研究の最重要課題のひとつとされており、海外でもヴァン・アレン帯の衛星観測が実施・計画されています。ジオスペースを複数点の衛星によって同時に観測できる機会は、とても貴重です。また、衛星観測に加えて、国際的な地上ネットワーク観測は、ジオスペース全体の状態を把握する非常に強力な手段です。ERG衛星の打上げは、国際連携によるジオスペース観測の中でも要となるものです。科学成果を拡大するために、各国のジオスペース探査計画で情報の交換を進め、協同してジオスペース研究を推進していく議論が行われています。

実は、ヴァン・アレン帯は、木星や土星など他の惑星の周辺にも存在します。また、電子が光速近くまで加速される現象は、惑星の磁気圏だけではなく宇宙で普遍的に起こっています。ジオスペースは、そのような電子の加速の詳細かつ総合的な直接観測が可能な稀有な領域です。ERGプロジェクトによる粒子加速の研究の成果は、そのまま宇宙における粒子加速の理解につながります。

また、ERG衛星に搭載される計測装置は、強放射線環境下でも正常に動作するように設計されています。したがって、ERG衛星のために開発された観測技術は、将来のより過酷な放射線環境における探査（例えば、強大な磁気圏を持つ木星などの探査）への応用も期待されます。



- ◆ ヴァン・アレン帯では、宇宙嵐の開始時にいったん高エネルギー電子が急激に減少します。そして、回復期に入ると増加し、宇宙嵐の前の数倍から数十倍の粒子密度に達するという現象が起こります。高エネルギー電子が増加するメカニズムとして、「外部供給」と「内部加速」の二つの仮説があり、論争が続いています。ERG 衛星はこの問題に決着をつけます。
 - ・ ヴァン・アレン帯高エネルギー電子の増加現象を観測し、「外部供給」と「内部加速」の高エネルギー電子生成過程のどちらがヴァン・アレン帯の高エネルギー電子増加のカギを担っているかを明らかにします
 - ・ 多数の宇宙嵐を観測することによって、「外部供給」と「内部加速」の高エネルギー電子生成過程の効率が宇宙嵐の規模にどのように依存するのかを明らかにします



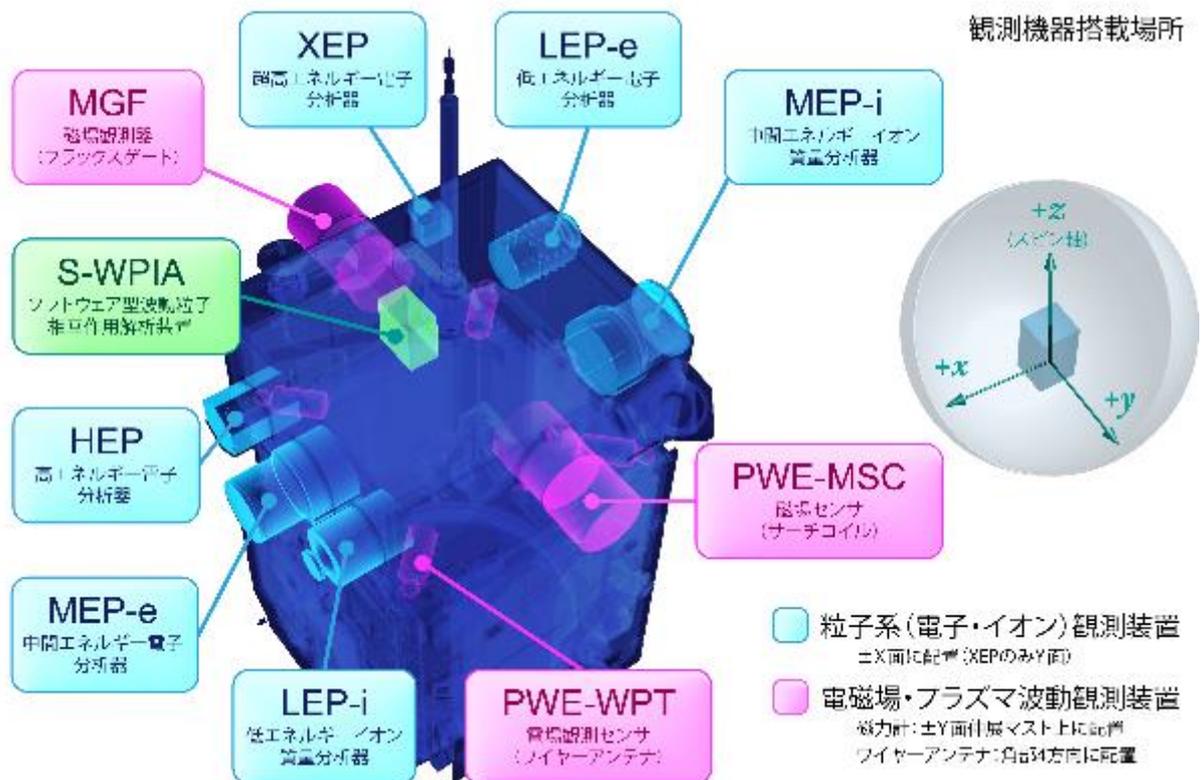
- ◆ プラズマ波動による高エネルギー電子の生成過程を明らかにする
 - ・ プラズマ波動による高エネルギー電子加速の現場を直接、その場で観測します
 - ・ 人工衛星の観測に、地上からの観測やシミュレーションを組み合わせ、どのような宇宙環境変動が高エネルギー電子の生成を引き起こすかを明らかにします
 - ・ 長時間の観測や国際共同観測の機会を活かして、高エネルギー電子の生成が起こりやすい場所や生成効率を明らかにします
- ◆ ヴァン・アレン帯の高エネルギー電子が失われる過程を明らかにする
 - ・ プラズマ波動によってヴァン・アレン帯の高エネルギー電子が失われている証拠を「その場」で観測します。
 - ・ ヴァン・アレン帯の高エネルギー電子が消失に繋がる様々な要素を調べ、どのような効果が最も重要なのかを明らかにします
 - ・ 国際共同観測の機会を活かして、ヴァン・アレン帯の高エネルギー電子の生成と消失の収支が宇宙嵐時にどのように変動するかを明らかにします

ミッション機器

概要：

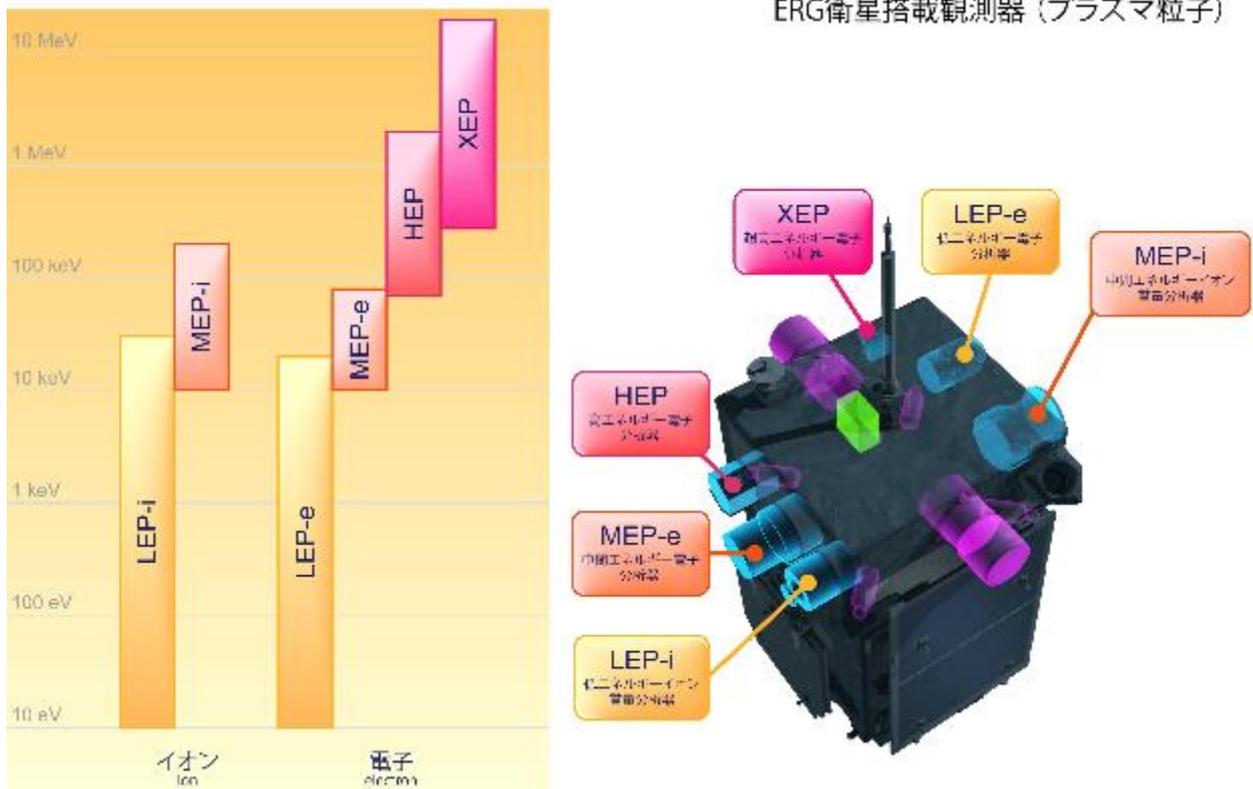
高エネルギー電子の生成・消失過程や宇宙嵐のダイナミクスを理解するために、プラズマ・粒子と電場・磁場、波動の総合的な観測を行う必要があります。ERG 衛星にはプラズマ粒子観測器 (PPE) と磁場観測器 (MGF)、プラズマ波動・電場観測器 (PWE) が搭載されています。

そして、波動粒子相互作用を観測する最先端の技術 (ソフトウェア型波動粒子相互作用解析装置、S-WPIA)が初めて ERG 衛星で開発され、宇宙空間で観測を行います。



プラズマ粒子観測器 (PPE)

PPE は、4つの電子計測器 (LEP-e、MEP-e、HEP、XEP) と2つのイオン計測器 (LEP-i、MEP-i) から構成されています。

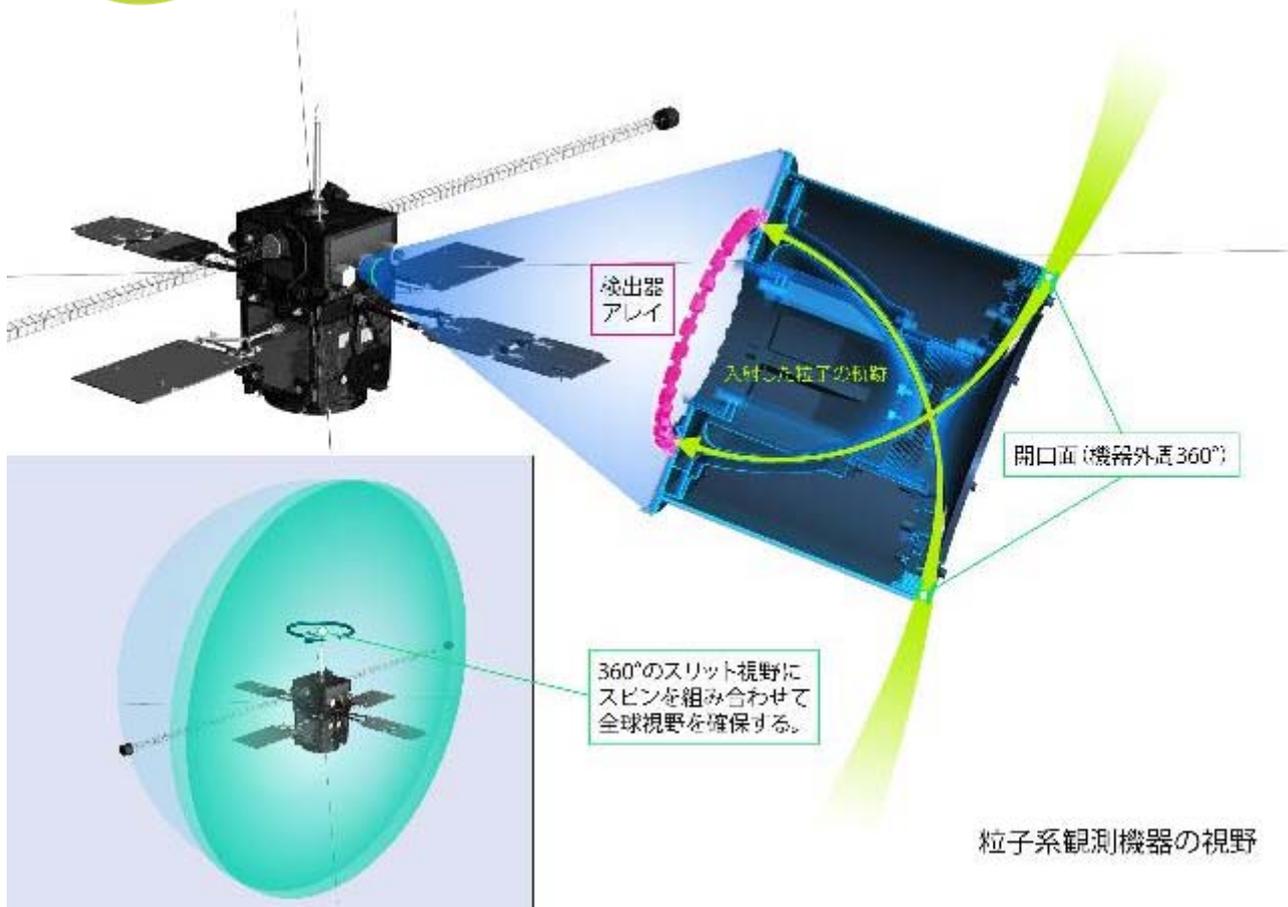


上図は、それぞれのプラズマ粒子観測器が観測できるエネルギー範囲を示しています。広いエネルギー帯域で連続したエネルギースペクトルが得られるように、計測器のエネルギー範囲を互いに重なるように設計しています。

これまでは、ヴァン・アレン帯の高エネルギー粒子の影響が大きいため、ヴァン・アレン帯の中で、数 10 keV 以下の低いエネルギーの粒子を計測することは困難でした。ERG 衛星では、ヴァン・アレン帯の高エネルギー粒子の影響を軽減するためのシールドを用いたり、新たに開発した技術を導入したりすることで、ヴァン・アレン帯の中でも低いエネルギーの粒子の観測を可能にしています。

LEP-i と MEP-i は、イオンのエネルギー・質量分析器です。高エネルギー粒子の影響によるノイズを効果的に軽減することもできる飛行時間 (TOF) 分析法を用いることで、数種類のイオンを同定できます。特に、新しい技術により、180 keV/q までのイオンの全立体角方向の計測が可能になりました。

ERG 衛星の姿勢は衛星自体が回転するスピン安定方式です。このため、スピン周期ごとに、あらゆる方向に視野を向け、粒子の情報を集めることが可能となります。



磁場観測器 (MGF)

MGF はフラックスゲート方式磁力計です。ジオスペースではリングカレントと呼ばれる電流が流れており、このリングカレントが強まったり弱まったりすると、背景の磁場構造が変化します。ジオスペースの粒子の分布や軌道はこのリングカレントによる背景磁場の変形の影響を受けるため、固有磁場からの変動分を正確に計測することは、リングカレントの効果や発展を理解する上で重要です。

MGF は、基本的には BepiColombo Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) 探査機搭載の MGF-I と同じ設計ですが、放射線帯観測のための最適化を行いました。MGF のセンサは、観測データのノイズを軽減するために、衛星本体から伸びた 5 m の伸展マストの先端に取り付けられます。

プラズマ波動・電場観測器 (PWE)

PWE は、下記のセンサとエレクトロニクスで構成されています。

- ・ 電場観測センサ (ワイヤーアンテナ) : PWE-WPT
- ・ 磁場観測センサ (サーチコイル) : PWE-MS
- ・ 観測エレクトロニクス: PWE-E

PWE は、時間変動しない電場と 10 MHz までの周波数で振動するプラズマ波動電場、および、数 Hz



から 100 kHz までのプラズマ波動磁場を観測します。PWE-WPT は電場成分を観測するセンサで、両端間の長さが約 32 m の 2 対のワイヤーダイポールアンテナです。PWE-MSD は 3 軸サーチコイルで磁場成分を観測するセンサです。

これらのセンサと観測エレクトロニクスによって、電場・磁場のデータを取得し、空間に存在する電場や、プラズマ波動の伝搬方向・エネルギーの流れ等を決定します。また、プラズマ波動の観測をもとに、衛星周辺のプラズマ密度を決定することもできます。さらに、電場・磁場波形と電子密度は S-WPIA に渡されて、波動-粒子間でのエネルギーのやりとりを調べます。

ソフトウェア型波動粒子相互作用解析装置 (S-WPIA)

S-WPIA は波動粒子相互作用を介したプラズマ(電子)とプラズマ波動とのエネルギー交換過程を理解するために、新たに開発された装置です。

S-WPIA は、衛星に搭載された粒子計測器(MEP-e, HEP, XEP)によって検出された電子と PWE によって計測されたプラズマ波動との相対位相を直接計算する、世界ではじめての機能です。どの電子がプラズマ波動の発生に寄与し、どの電子がプラズマ波動からエネルギーをもらっているかを定量的に識別します。この観測が実現すると、宇宙空間で波動粒子相互作用によってどのようにエネルギー変換が起こるかをはっきりと同定することが可能となります。



参考資料

プロジェクト参加機関

宇宙航空研究開発機構

北海道大学

東北大学

東北工業大学

千葉大学

東京大学

東京工業大学

電気通信大学

武蔵野大学

立教大学

東海大学

国立極地研究所

統計数理研究所

情報通信研究機構

玉川学園

大乘淑徳学園

中京大学

名古屋大学

富山県立大学

金沢大学

京都大学

大阪府立大学

大阪電気通信大学

神戸大学

吉備国際大学

高知工業高等専門学校

徳山工業高等専門学校

九州大学

北九州工業高等専門学校

鹿児島工業高等専門学校

台湾・中央研究院天文及天文物理研究所

台湾・国立成功大学