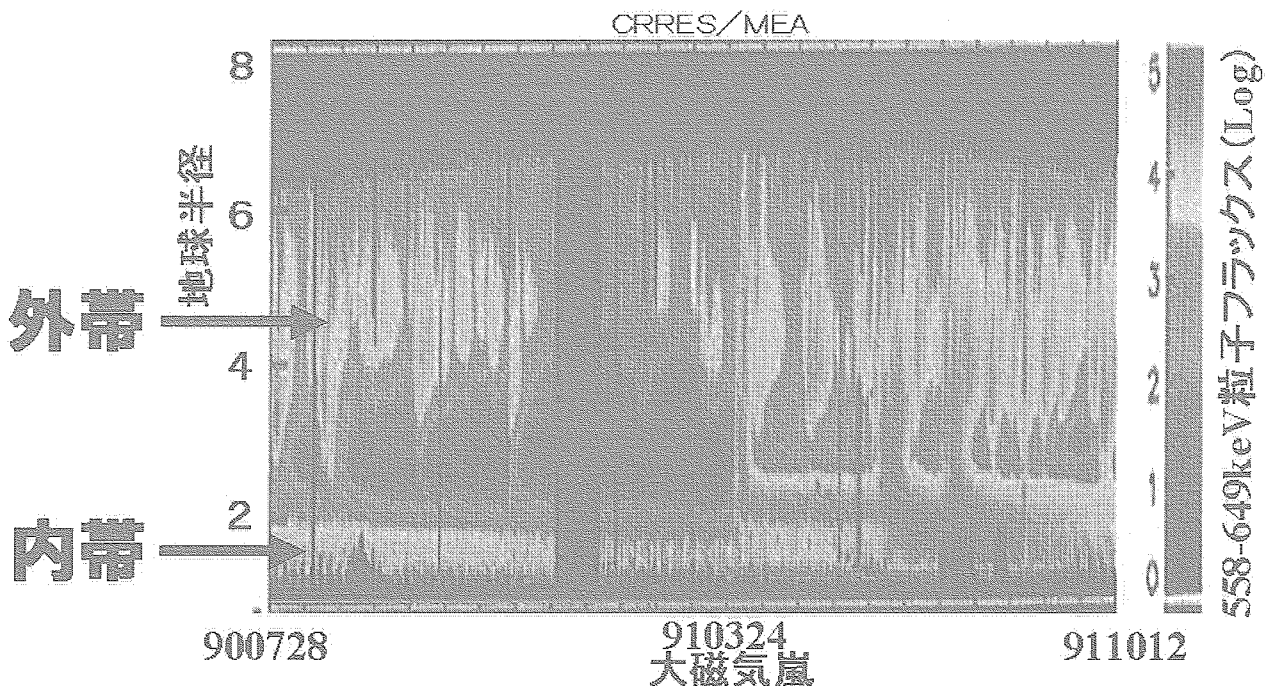


ジオスペース探査衛星ERG (Energization and Radiation in Geospace) について

塩川和夫、関華奈子、三好由純、家田章正、西谷望、品川裕之、寺田直樹 (名大STE研)、小野高幸、飯島雅英、熊本篤志 (東北大)、長妻努、小原隆博、菊池崇、島津浩哲 (NICIT)、高島健、浅村和史、笠羽康正、松岡彩子、齋藤義文、齋藤宏文、五家建夫 (JAXA)、平原聖文 (立教大)、利根川豊、遠山文雄 (東海大)、能勢正仁、家森俊彦、大村善治 (京都大)、笠原禎也 (金沢大)、湯元清文、河野英昭、吉川顕正、田中高史 (九州大)、海老原祐輔、行松彰、佐藤夏雄 (極地研)、石坂圭吾、三宅壮聡、岡田敏美 (富山県大)、渡辺重十 (北大)、樋口知之 (統計数理研究所)、星野真弘 (東大)、長井嗣信 (東工大)、地球電磁気・地球惑星圏学会内部磁気圏分科会

ジオスペースのうち、地球半径の10倍以内の内部磁気圏は、6桁以上もエネルギーの異なるプラズマが共存する領域を含み、磁気圏最大規模のエネルギー解放現象(磁気嵐)に伴って、相対論的高エネルギー電子が誕生するなど、非常にダイナミックに変動する興味ある空間である。この領域の探査は、宇宙時代の初期に精力的に行われたものの、放射線対策の難しさも一因となり、その後、現在まで本格的な探査が行われてこなかった。この領域は、地球磁気圏の中で最もエネルギーの高い粒子による「放射線帯」を含んでいる。放射線帯は1950年代後半に発見され、比較的安定に存在する領域と考えられてきた。しかし、1990年代における新たな衛星観測により、この領域が地磁気の変動に伴って激しく変動していることが発見された。そこで、本ミッションは、**磁場のある天体における高エネルギープラズマ生成機構の解明**を目的とし、地球半径10倍以内の内部磁気圏赤道面において、広いエネルギー範囲の粒子・電磁場、波動の総合観測を行うことにより、**内部磁気圏におけるプラズマの輸送、加速・加熱機構の解明**を目指す。放射線帯粒子は人工衛星などの機器の故障を引き起こすことが知られており、本ミッションは、**宇宙空間における安全な人間活動の確保**、という側面の波及効果をもつ。さらに、水星や木星周辺等の強放射線下における衛星観測、次世代磁気圏編隊飛行衛星観測などの将来計画に、技術面で資する側面も合わせ持っている。

1. 高エネルギープラズマ生成機構解明のために



(Li and Temerin, Space Sci. Rev., 2001)

図1：CRRES衛星による1年3ヶ月の放射線帯観測結果。放射線帯の外帯がダイナミックに変動し、91年3月24日の大磁気嵐に伴って、外帯と内帯の間に新たに放射線帯が形成され、長期間継続していることがわかる。1990年代にはこのように放射線帯が激しく変動していることが明らかになり、その原因の究明が待たれている。

図1に示すように、1990年代には放射線帯がダイナミックに激しく変動していることが明らかになり、その原因の究明が待たれている。特に磁気嵐の回復相において、放射線帯外帯の高エネルギー粒子が急速に再形成され、磁気嵐前の状態よりも粒子の量が増えることが、近年のあけぼの衛星などの観測により、知られるようになってきた。この急激な放射線帯の再形成は、磁場のある惑星における粒子加速機構の基本的な形態として、また、人工衛星や宇宙空間での人間活動に直接影響を与える粒子線の源として、重要な研究対象である。この外帯の急激な再形成機構の説明としては、断熱的な加速によるもの（外部供給説）と非断熱的な加速によるもの（内部加速説）との2つの概念が提唱されている。前者は、磁気モーメント（エネルギー）の大きい電子（high μ 電子）の起源を plasma sheet に設定し、そこからの断熱的な輸送で相対論的エネルギーまで加速されるものであり、後者は、磁気嵐時等に近地球領域に注入された hot electron が、その場でプラズマ波動等と相互作用することにより、加速されるというものである。

(a) 外部供給説：radial diffusion（拡散）と誘導電場（substorm injection）により、放射線帯の外から高エネルギー粒子が注入・加速される。単純な radial diffusion だけでなく、ULF 波動による radial diffusion (Elkington et al., GRL, 3273, 1999)、太陽風に依存した empirical な diffusion 係数などを考慮した研究もある (Li et al., GRL, 1887, 2001)。

(b) 内部供給説1：ホイッスラーモード波との相互作用による放射線帯内部での非断熱加速
・ broadband なホイッスラーモード波との相互作用による放射線帯内部での統計的な粒子加速 (Summers et al. JGR, 20487, 1998, Summers et al, JGR, 2625, 2000、他多数)。

・ monochromatic なホイッスラーモード波との相互作用による放射線帯内部での粒子加速 (Roth et al., Ann. Geophys, 631, 1999, Albert, JGR, 21191, 2000)。

(c) 内部供給説2：ULF 波動との相互作用による放射線帯内部での非断熱加速 (Liu et al., JGR, 17391, 1999, Summers et al., JGR, 15887, 2000)。

(d) 内部供給説3：サブストームによる induction 電場による非断熱加速 (Kim et al., JGR, 7721, 2000)。

(e) 内部供給説4：電磁波モード(R-X, L-O, L-X)の波との相互作用による粒子加速 (Summers et al., JGR, 10853, 2001)。

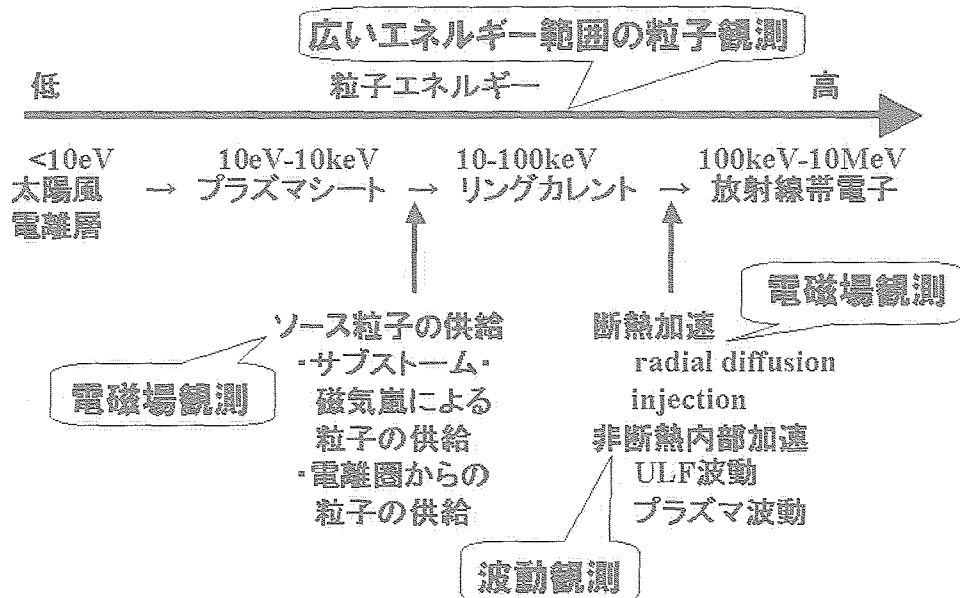


図2：ジオスペースミッションERGの探査領域。広いエネルギー範囲の粒子、電磁場、波動を同時に観測することにより、最終的に放射線帯粒子に至るまでの粒子の加速過程を調べる。

外部供給説と内部供給説、更に内部供給説のいくつかのプロセスのうちのどれがどのように効いているかを同定していくためには、内部磁気圏赤道面において、ソースとなる低エネルギー粒子分布を含めた広いエネルギー範囲の粒子分布、電磁場の変動、プラズマ波動を同時に総合的に観測していくことが必要不可欠である。

さらにERGはこの放射線帯の物理だけでなく、ジオスペースにおけるさまざまなプラズマ物理過程を調べることができる。これらのサイエンスのテーマとそのインパクトに関しては、本集録のページ制限を大幅に超えるので、以下のホームページや、以下のreferenceを参照して頂きたい。

<http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/member/shiokawa/yobosho/nakate.html>

Shiokawa et al., ERG - A small-satellite mission to investigate the dynamics of the inner magnetosphere, submitted to Advances in Space Research, (ILWS 特集号), 2004.

2. これまでの検討経緯

本ミッションは、2001年に地球電磁気関連の若手研究者を集めた将来構想検討会の中で検討されてきた。以下に示すように、数多くの研究会を行っている。この中で、2002年11月には、地球電磁気・地球惑星圏学会の中に内部磁気圏分科会が形成され、この枠組みの中で更に検討が続いた。また、2003年、2004年にはこれに関連する科学研究費補助金（特定領域研究）を申請している。

表1：研究会等一覧（括弧内：参加者の概数）

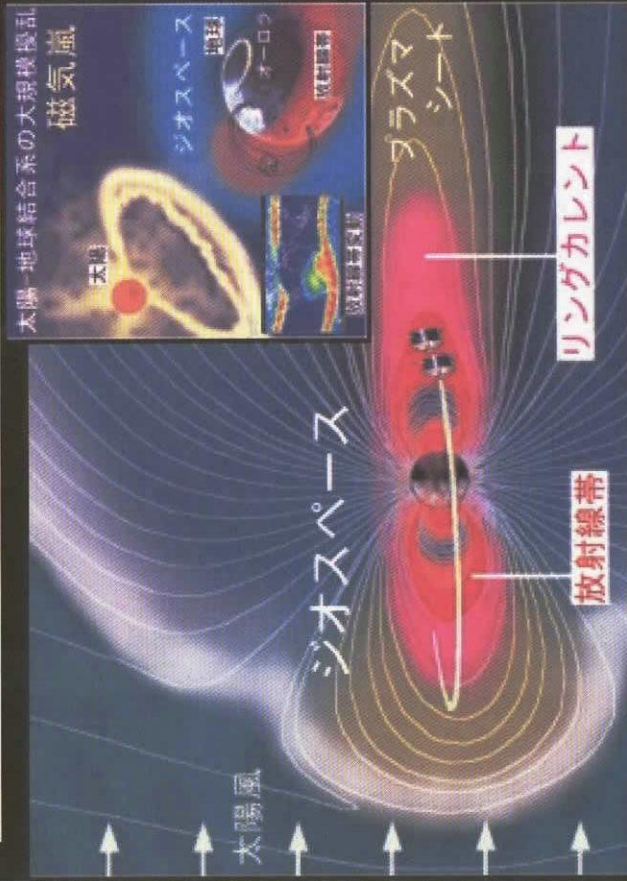
2001年 5月12日、8月18日、10月20日（東工大）	若手将来構想検討会(15)
2002年 1月12日、2月16日、4月13日、5月19日（東工大）	若手将来構想検討会(15)
2002年 3月13日（宇宙研）	第1回プラズマ圏・内部磁気圏研究会(20)
2002年 3月19-20日（九州大学）	第1回 CAWSES 電磁気圏シンポジウム(100)
2002年 8月 5-6日（東工大）	宇宙プラズマ／太陽系環境研究の将来構想座談会(30)
2002年 8月15-16日（通総研）	第2回プラズマ圏・内部磁気圏研究会(30)
2002年 9月27-28日（通総研）	磁気嵐時の内部磁気圏ダイナミクス研究会(30)
2002年 10月31日-11月1日（通総研）	第2回 CAWSES 電磁気圏シンポジウム(100)
2002年 11月14日（電通大）	地球電磁気・地球惑星圏学会・内部磁気圏分科会 創立(60)
2002年 11月20日（宇宙研）	内部磁気圏小型衛星ミッションに関する理学・工学の打合せ(10)
2002年 12月24日（宇宙研）	内部磁気圏に関する小研究集会(10)
2003年 3月10-11日（九州大）	第3回 CAWSES 電磁気圏シンポジウム(100)
2003年 5月29日（幕張メッセ）	地球惑星関連学会合同大会での内部磁気圏分科会(60)
2003年 8月20-21日（通総研）	内部磁気圏分科会(40)
2003年 11月2日（富山）	地球電磁気・地球惑星圏学会における内部磁気圏分科会(40)
2004年 3月4-5日（名大太陽研）	内部磁気圏探査を進めるにあたっての戦略検討会(20)
2004年 3月18-19日（九州大）	第4回 CAWSES 電磁気圏シンポジウム(100)
2004年 5月13日（幕張メッセ）	地球惑星関連学会合同大会での内部磁気圏分科会(40)
2004年 8月10-11日（情報通信研究機構）	内部磁気圏分科会(70)
2004年 9月29日（愛媛大）	地球電磁気・地球惑星圏学会における内部磁気圏分科会(40)

これらの研究会の多くは、名古屋大学太陽地球環境研究所、通信総合研究所（現・情報通信研究機構）、宇宙科学研究所（現 JAXA・宇宙科学研究本部）の共同利用研究集会として行われた。このほかにも数多くの打ち合わせ集会在ローカルに行われており、出張を伴う集会は2004年だけでも23回にのぼる。小型衛星としては、NiCTが打ち上げる SmartSat1 衛星の形式をベースにした三菱重工による150kgクラスのスピンの衛星の検討なども行われている。

まとめの図を次ページに掲載する。

- ・ 地球磁気圏における相対論的粒子の加速過程の直接観測
- ・ ジオスペース（地球近傍宇宙空間）環境変動メカニズムの探究
- ・ 強放射線帯下における小型衛星によるプラズマ計測の技術開発

内部磁気圏赤道面において粒子・電磁場・波動の総合観測を実現し、地上観測網・モニター衛星群との連携を活かして磁気嵐時のジオスペース変動の物理機構を探る



- ・ 打ち上げ時期：2010年頃
- ・ apogee：~6.6Re perigee：~250km
- ・ inclination：~0度（赤道面）
- ・ スピン衛星（スピン軸：太陽方向）
- ・ 衛星個数：1~2機
- ・ 衛星間距離：10-1000km
- ・ 衛星重量：80kg x 2 or 150kg x 1
- ・ 搭載機器
DC/AC磁場・電場計測器
超低・低・中・高エネルギーイオン
質量分析器（1eV-1MeV）
低・高エネルギー電子計測器
（10eV-10MeV）

関連ホームページ
<http://www2.nict.go.jp/dk/c231/im/index.html>