

内部磁気圏ミッションの提案

塩川和夫、関華奈子、三好由純、家田章正（名大STE研）、小野高幸、飯島雅英（東北大）、長妻努、小原隆博（通総研）、高島健、浅村和史、笠羽康正、松岡彩子、齋藤義文（ISAS）、齋藤宏文（ISAS）、平原聖文（立教大）、利根川豊、遠山文雄、田中真（東海大）、能勢正仁（京都大）、笠原禎也（金沢大）、湯元清文、河野英昭、吉川顕正（九州大）、海老原祐輔、行松彰（極地研）、地球電磁気・地球惑星圏学会内部磁気圏分科会

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

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

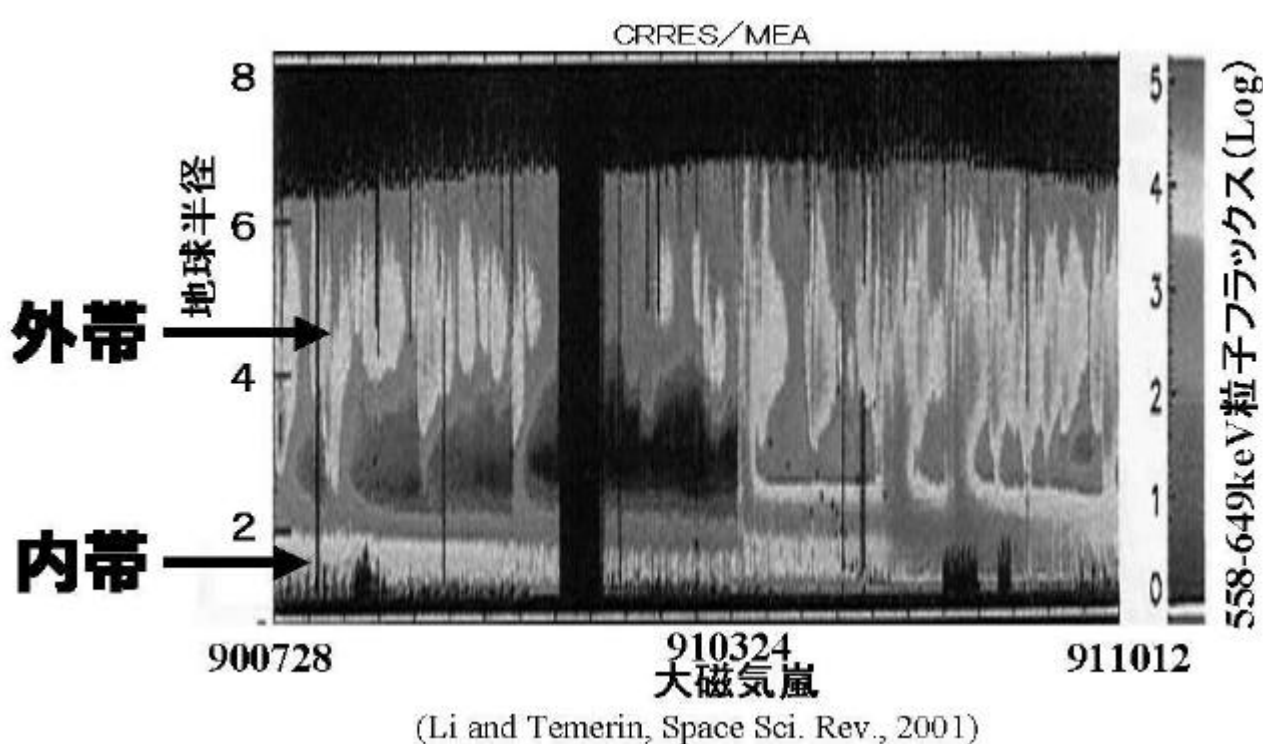


図1：CRRES衛星による1年3ヶ月の放射線帯観測結果。放射線帯の外帯がダイナミックに変動し、91年3月24日の大磁気嵐に伴って、外帯と内帯の間に新たに放射線帯が形成され、長期間継続していることがわかる。1990年代にはこのように放射線帯が激しく変動していることが明らかになり、その原因の究明が待たれている。

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、その原因の解明が待たれている。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 i 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、U L F 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)。

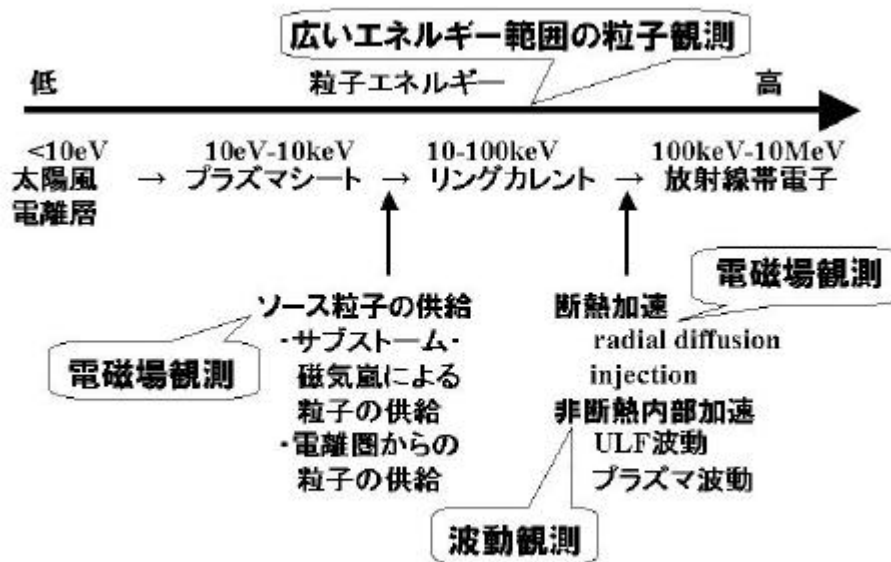
(b) 内部供給説 1：ホイッスラーモード波との相互作用による放射線帯内部での非断熱加速
 ・broadband なホイッスラーモード波との相互作用による放射線帯内部での統計的な粒子加速 (Summers et al. JGR, 20487, 1998, Summers et al, JGR, 2625, 2000、他多数)
 ・monochromatic なホイッスラーモード波との相互作用による放射線帯内部での粒子加速 (Roth et al., Ann. Geophys, 631, 1999, Albert, JGR, 21191, 2000)。

(c) 内部供給説 2：U L F 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)。

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



の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。

図2：内部磁気圏ミッションの探査領域。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。

この中に含まれるさまざまな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超えるので、昨年度（平成14年度）の宇宙科学シンポジウム集録（塩川他、p.435-443）か、以下のホームページを参照して頂きたい。

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

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、2001年に3回、2002年に12回、2003年に3回の研究会を行っている。この中で、2002年11月には、対応する学会である地球電磁気・地球惑星圏学会の中に内部磁気圏分科会、という組織が形成され、この枠組みの中で更に検討が続いた。また、2003年11月には、科研費・特定領域研究に「21世紀ジオスペース環境科学の基盤開拓」というタイトルで、この内部磁気圏ミッションの基盤となる機器の開発経費を申請している。

表1：研究会等一覧

2001年	5月12日	(東工大)	若手将来構想検討会
2001年	8月18日	(東工大)	若手将来構想検討会
2001年	10月20日	(東工大)	若手将来構想検討会
2002年	1月12日	(東工大)	若手将来構想検討会
2002年	2月16日	(東工大)	若手将来構想検討会
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 (宇宙研開催)
2002年	4月13日	(東工大)	若手将来構想検討会
2002年	5月19日	(東工大)	若手将来構想検討会
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 (名大STE研開催)
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 (名大STE研開催)
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 (名大STE研、通総研共催)
2002年	11月14日	(電通大)	内部磁気圏分科会 創立 (地球電磁気・地球惑星圏学会)
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・工学非公式打ち合せ
2002年	11月26日	(宇宙研)	非公式打ち合わせ
2002年	12月24日	(宇宙研)	内部磁気圏に関する小研究集会
2003年	5月29日	(幕張)	地球惑星関連学会合同大会での内部磁気圏分科会
2003年	8月20-21日	(CRL)	内部磁気圏分科会
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
2003年	11月17日		科研費・特定領域「21世紀ジオスペース環境科学の基盤開拓」の申請

3. ロードマップ上の位置づけ

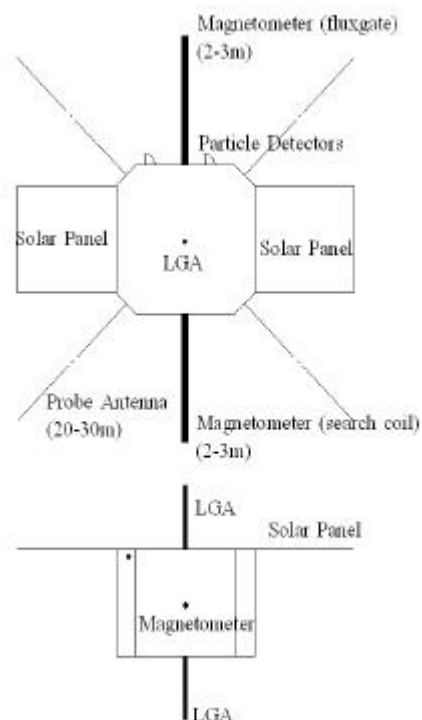
これまで記述してきた他衛星との関連を含めて、以下に将来計画のロードマップ上における本衛星の位置づけを示す。本ミッションに関連した米国の磁気圏探査計画である THEMIS, LWS, MMS ミッションと緊密に連携をとりながらミッションを進める。また、本ミッションによる技術開発は、強放射線帯下での理学計測、という意味で将来の水星ミッション (BeppiColombo) や木星ミッションに、小型衛星による理学計測、という意味で SCOPE ミッションにも応用することができる。

ロードマップ上の位置



図3：ロードマップ上の位置づけ

4. ミッションデザイン



現時点では、ミッションデザインとして以下のようなスペックのものを考えている。2機の衛星で編隊飛行を行い、最低限の時間変動・空間変動の最低限の分解を行うとともに、各現象の空間スケールを見積もる。

4.1. 衛星諸元

- ・打ち上げ時期：2009年頃
- ・apogee：6.6-10Re perigee：250km
- ・inclination：0度（赤道面）
- ・スピン周期：3秒程度 スピン軸：太陽方向
- ・衛星寿命：3ヶ月以上
- ・衛星個数：2機（同一軌道で位相を変える）
- ・衛星間距離：10kmから1000kmへ徐々に離す
- ・衛星重量：80kg程度×2（SI機器23kg×2）

4.2. サイエンス機器

*** 共通機器 ***

DC 磁場観測器（MGF(fluxgate)）

DC/AC 電場観測器（PWE, EFD, WFC）

低エネルギーイオン（40eV-40keV）質量分析器

*** 衛星1 *** 共通機器（DC 磁場、

DC/AC 電場、低エネルギーイオン）

中エネルギーイオン（10keV-100keV）質量分析器

高エネルギーイオン（50keV-1MeV）質量分析器

*** 衛星2 *** 共通機器（DC 磁場、

DC/AC 電場、低エネルギーイオン）

高エネルギー電子（40keV-10MeV）計測器

低エネルギー電子（10eV-40keV）計測器

熱的イオン（1-40eV）質量分析器 + ion emitter

図4：衛星の外観と軌道図

AC 磁場観測器（MGS(search coil)）

