

# 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)

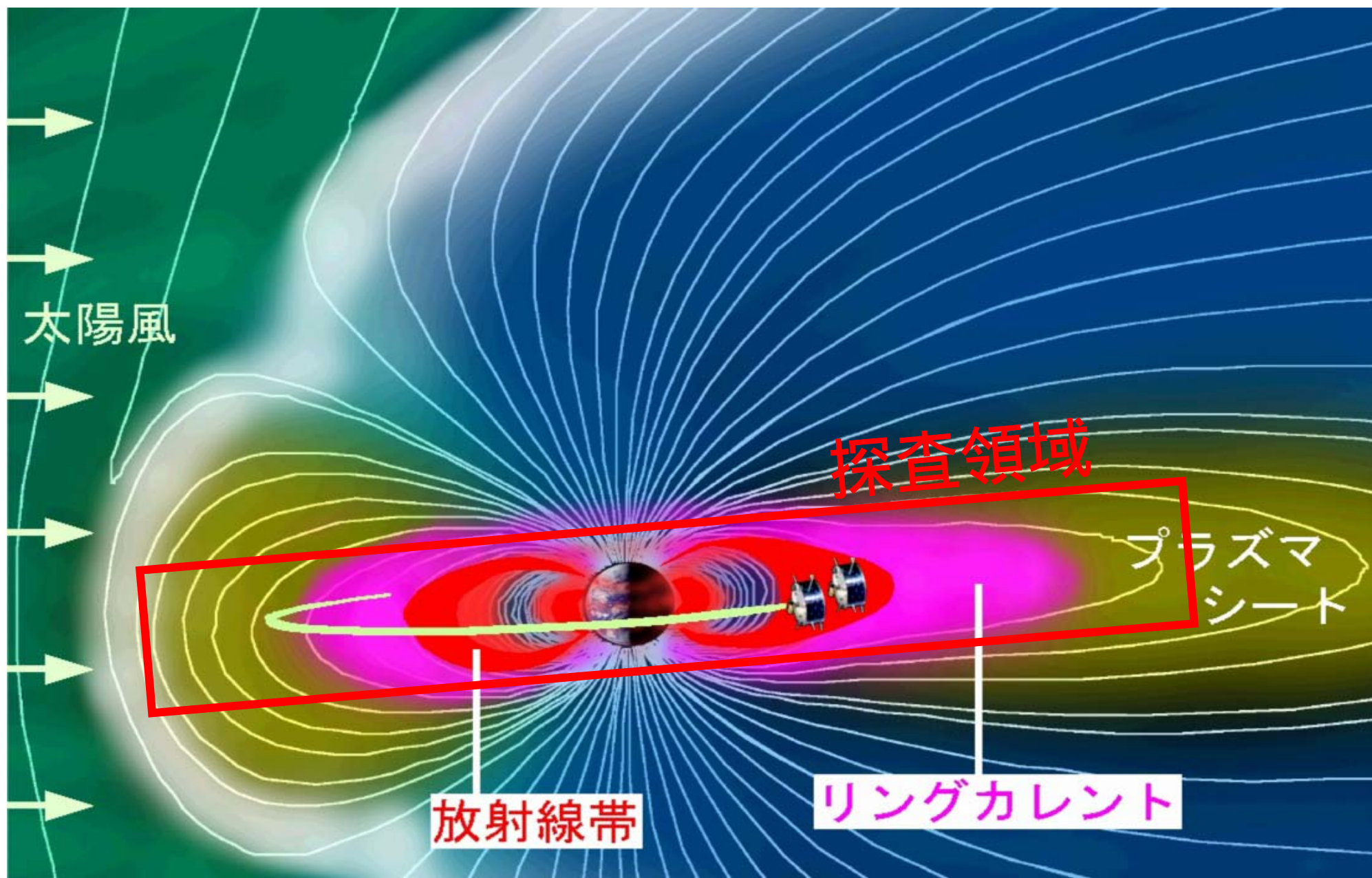
湯元清文、河野英昭、吉川顕正(九州大)

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

## 研究会他

- 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・工学の非公式打ち合わせ
- 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

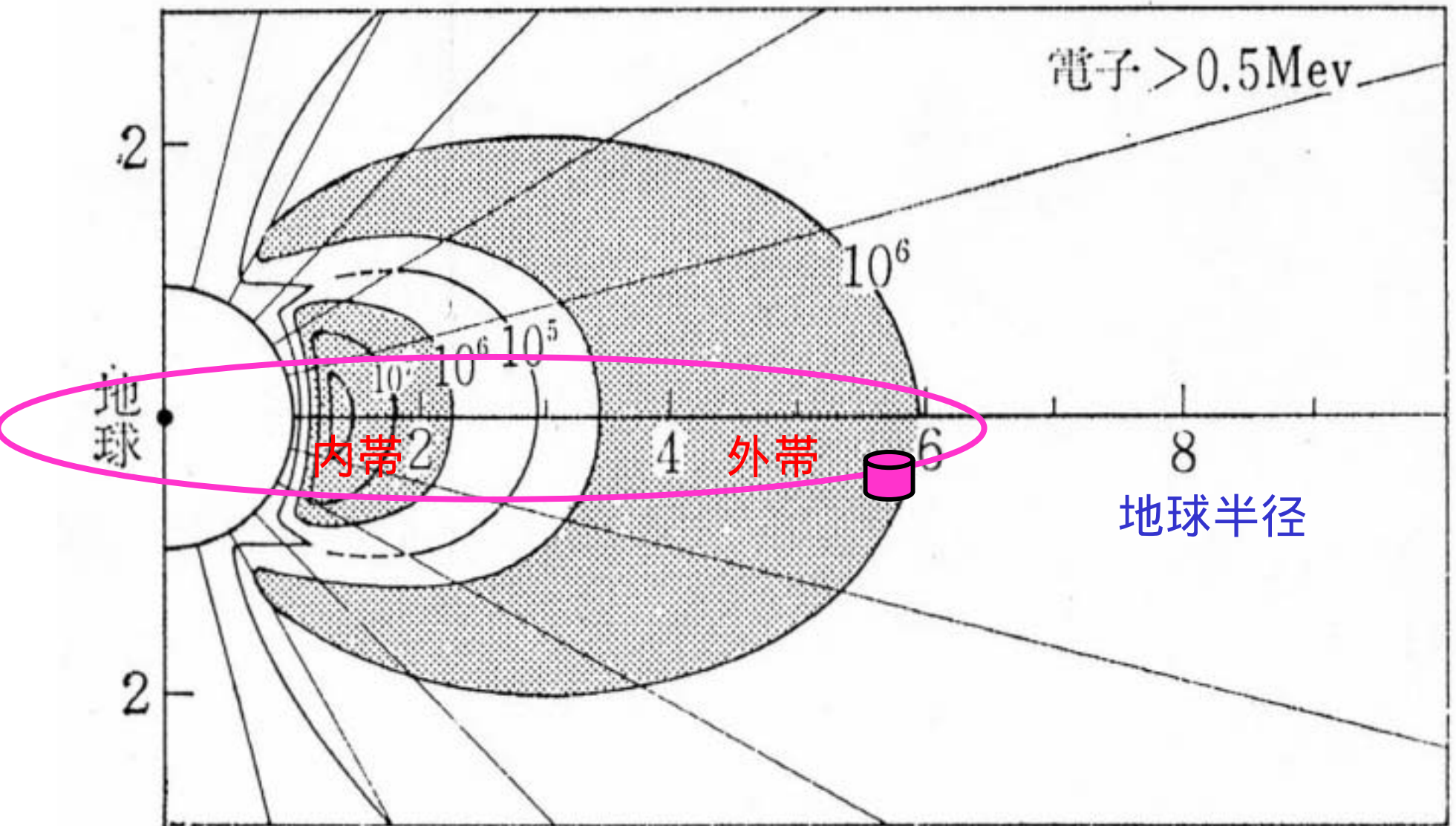


## ミッション目的

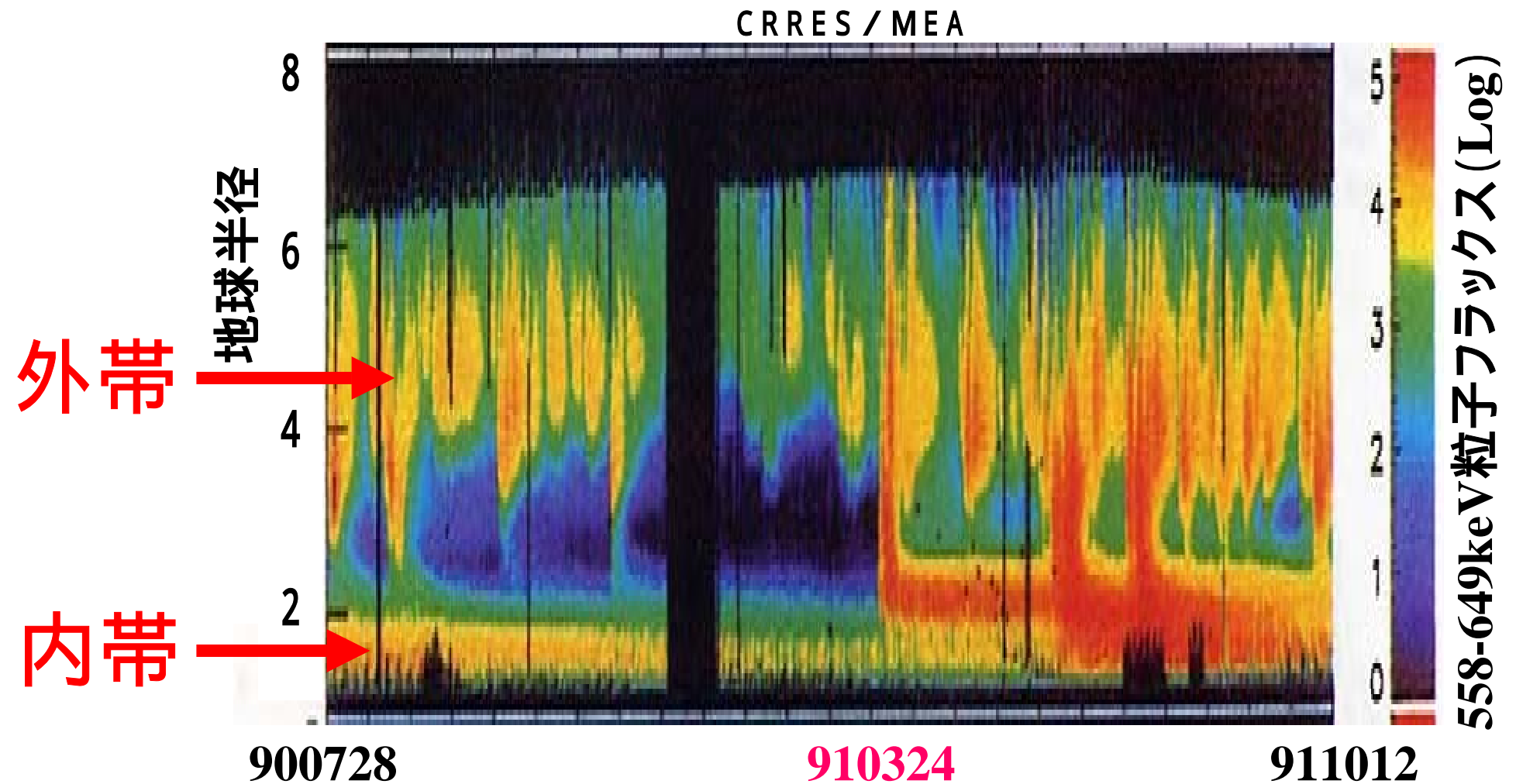
# 磁場のある天体における 高エネルギー粒子生成機構 波及効果

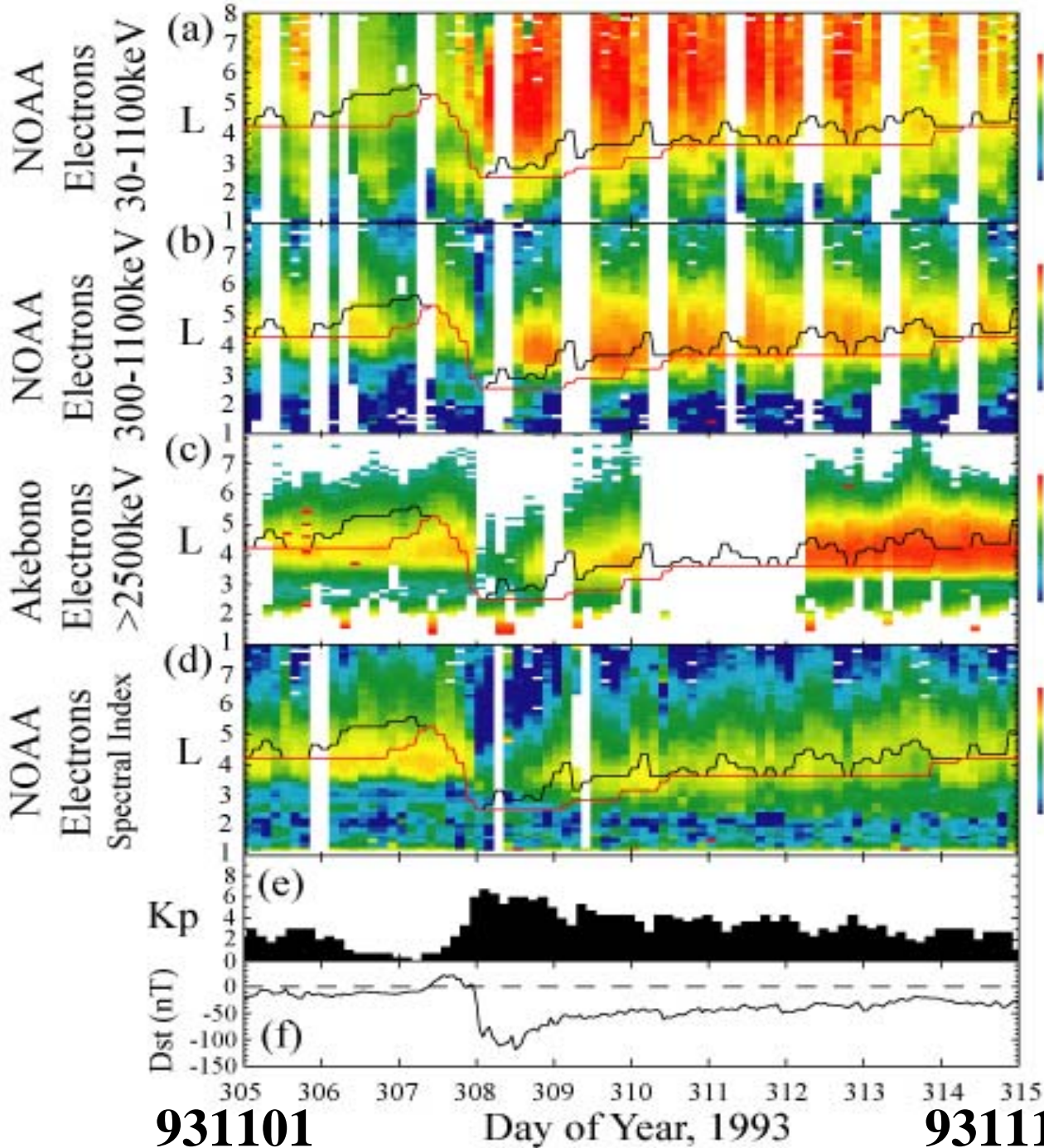
- ・宇宙天気研究への応用(宇宙空間での人類活動に与える影響の探査)
- ・強放射線下での小型衛星による理学計測( BepiColombo, SCOPE, 木星ミッションへの応用)

# 放射線帯：地球周辺で最もエネルギーの 高い粒子が存在する領域



# 大磁気嵐による新たな放射線帯の形成の発見





放射線帯粒子の  
ダイナミックな変動  
の発見 (低高度・  
極軌道衛星)

粒子加速を起こして  
いる磁気圏赤道面  
での観測が重要

# 広いエネルギー範囲の粒子観測

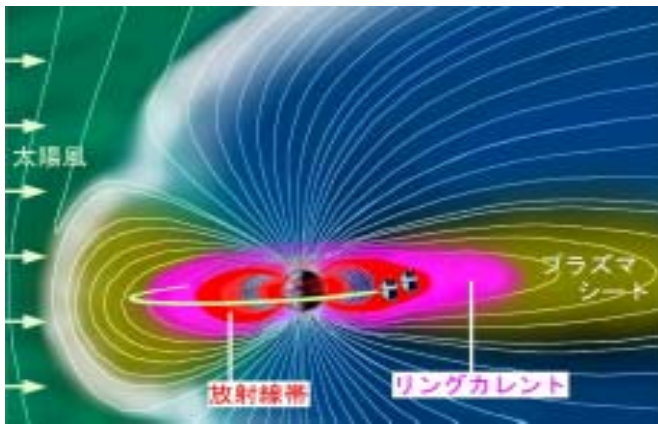
低 粒子エネルギー 高

<10eV  
太陽風  
電離層

10eV-10keV  
プラズマシート

10-100keV  
リングカレント

100keV-10MeV  
放射線帯電子



ソース粒子の供給

- ・サブストーム・磁気嵐による粒子の供給
- ・電離圏からの粒子の供給

断熱加速

radial diffusion  
injection

非断熱内部加速

ULF波動

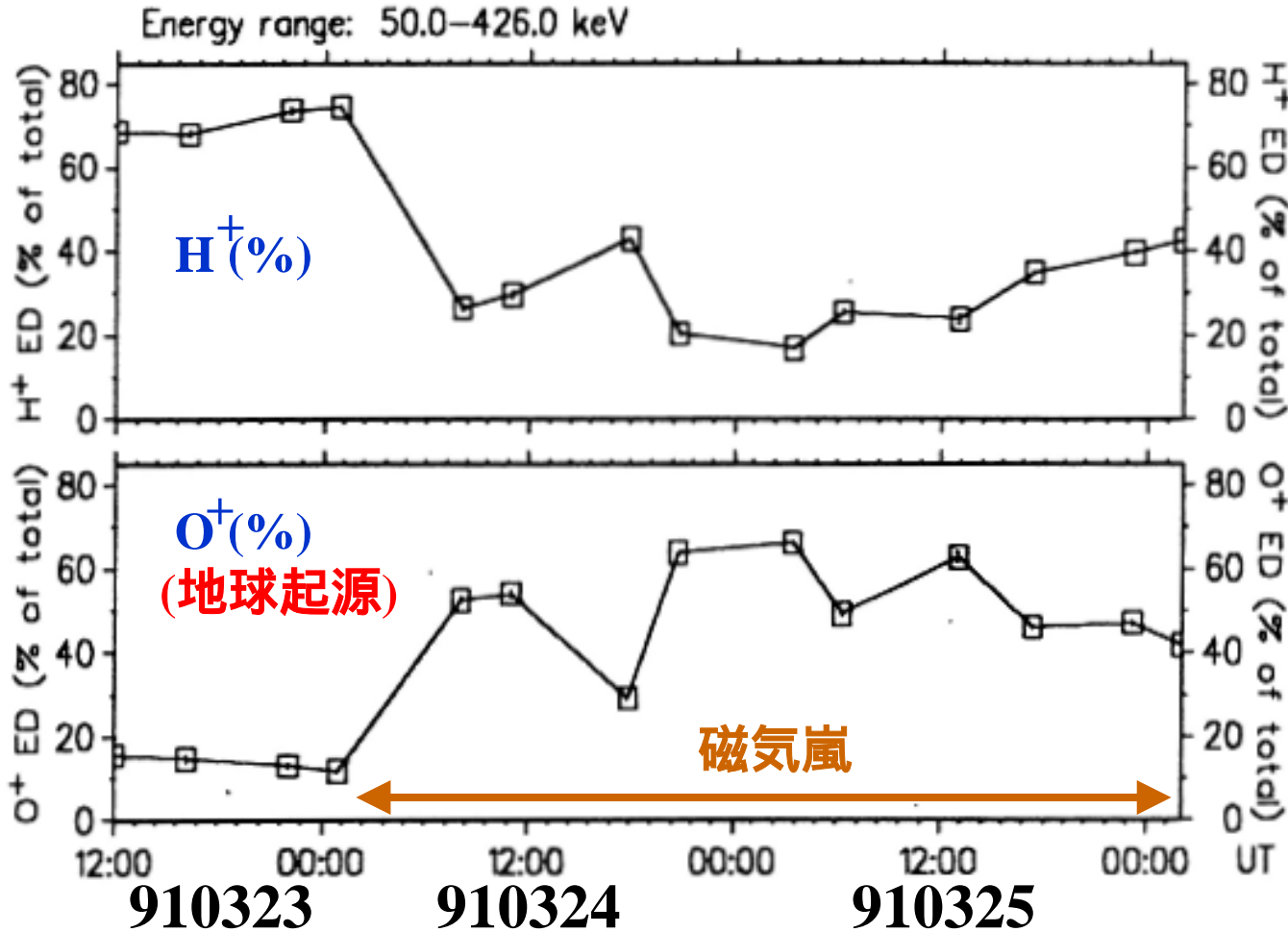
プラズマ波動

induction電場

探査領域

# プラズマ組成観測

CRRES orbits 0586-0592 MCS  
Date: 23.03.91 DOY: 082



プラズマ組成の  
急激な変化の  
発見

- ・粒子加速理論の  
再構築の必要性
- ・地球大気の収支  
と歴史

(Daglis, AGU Mono. 98, 1997)

# 波動と粒子の同時観測

## 非断熱加速の例 (波動粒子相互作用)

storm-time plasmapause

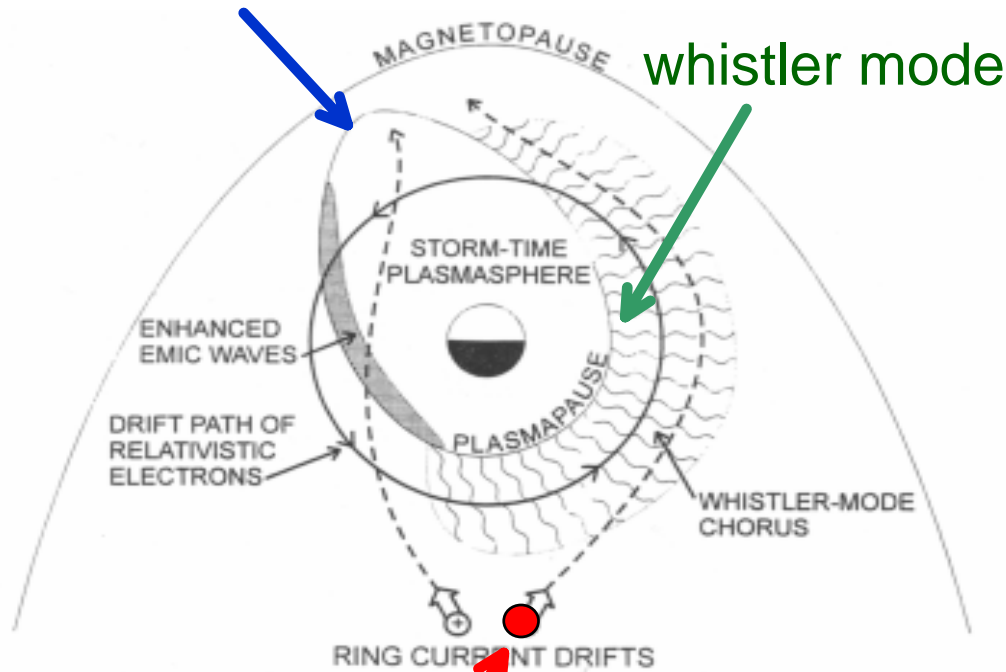
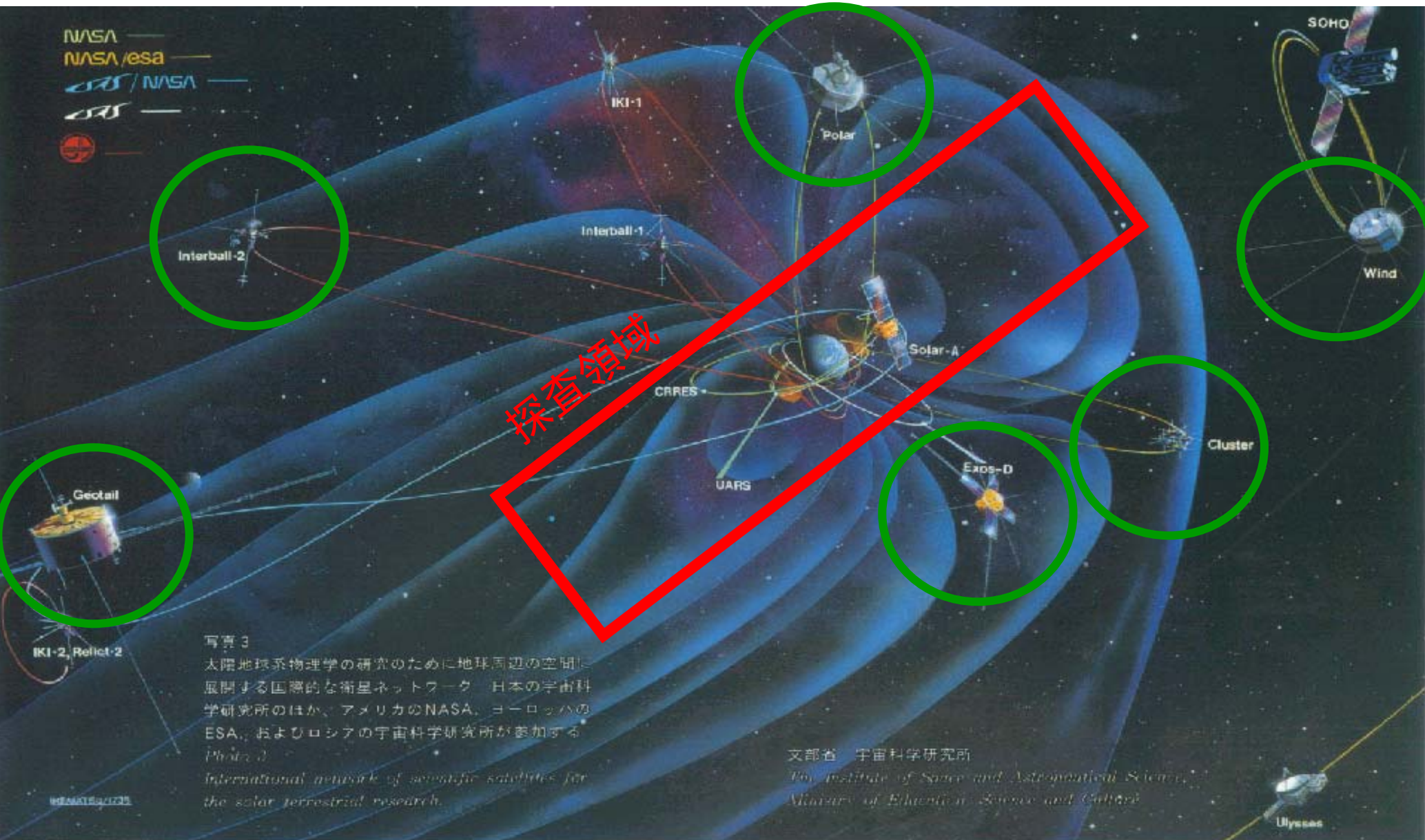


Figure 7. Schematic diagram showing spatial distribution of whistler mode chorus and EMIC waves during magnetic storms in relation to the position of the plasmapause and the drift paths of ring current (10–100 keV) electrons and ions and relativistic ( $\gtrsim 1$  MeV) electrons.

ring current electron

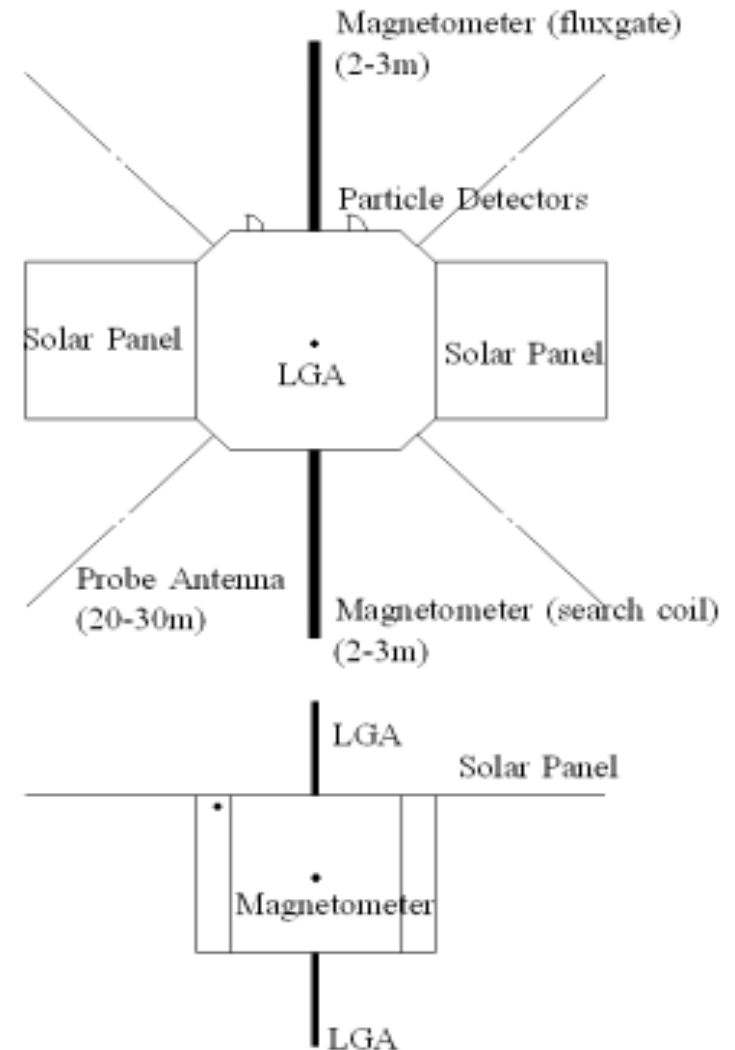
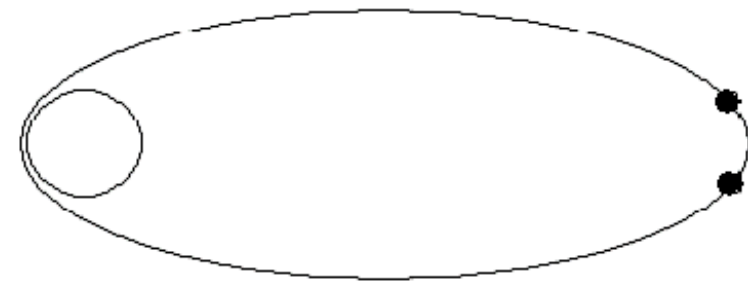


# 内部磁気圏赤道面における粒子・電磁場・波動の総合観測



# 衛星諸元

- ・ピギーバックの小型衛星
- ・apogee: 6.6 - 10Re
- ・perigee: 250 km
- ・inclination: 0度 (赤道面)
- ・衛星個数: 2機 (同一軌道で位相を変える)
- ・衛星間距離: 10 km から 1000 km へ徐々に離す
- ・打ち上げ時期: 2009年頃
- ・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
- ・サイエンス機器: 23 kg x 2
- ・衛星重量: 80kg程度 x 2



# 広いエネルギー範囲の粒子・電磁場・波動の総合観測

## \* 共通機器 (衛星 1、2)

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 の固有機器

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 の固有機器

熱的イオン (1 - 40eV) 質量分析器 + ion emitter

低エネルギー電子 (10eV - 40keV) 計測器

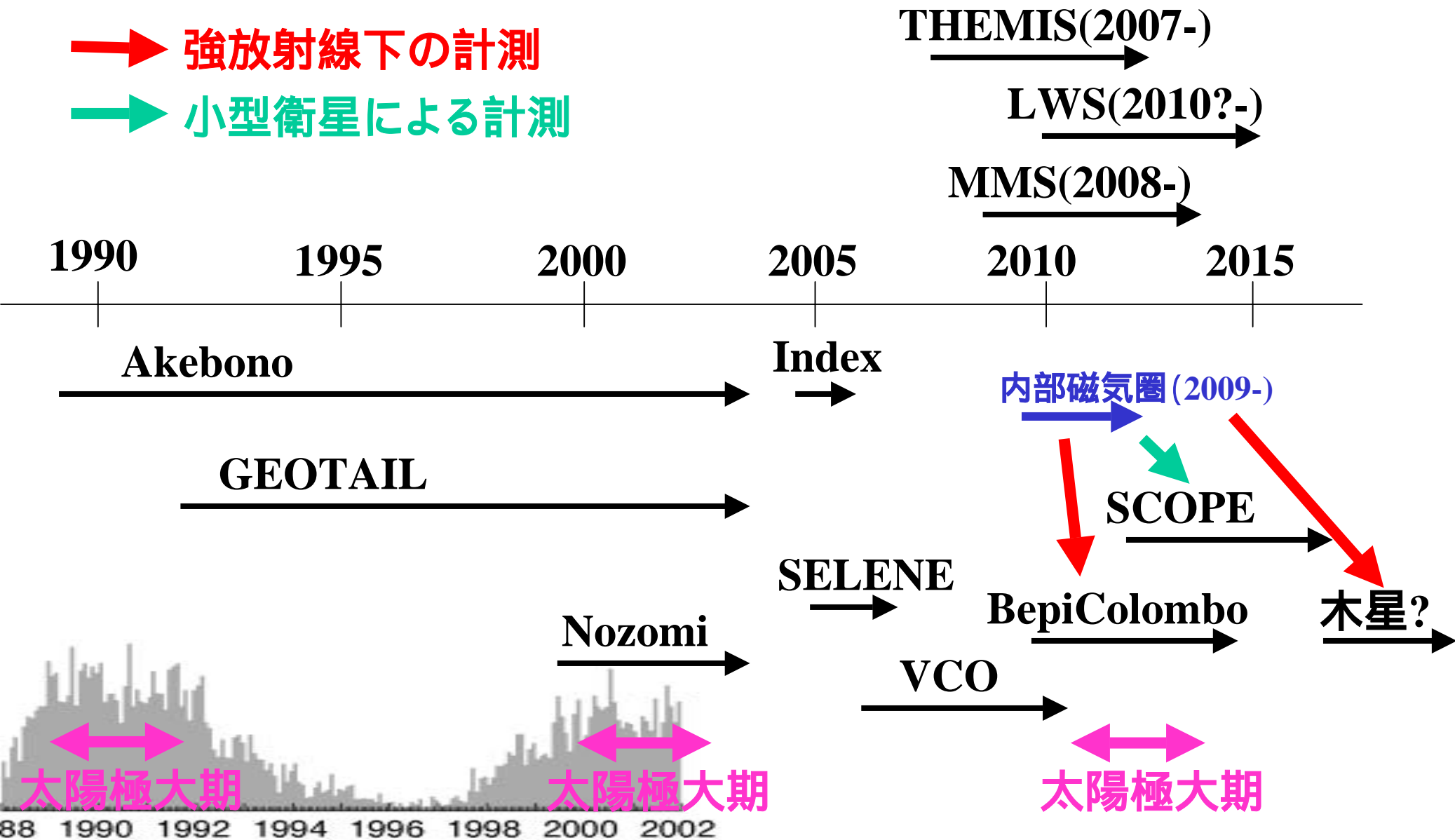
高エネルギー電子 (40keV - 10MeV) 計測器

AC磁場観測器 (MGS (search coil))

# ロードマップ上の位置づけ

→ 強放射線下の計測

→ 小型衛星による計測



# 小型衛星編隊飛行による内部磁気圏探査

- 意義
- ・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



衛星間距離:10-1000km

内部磁気圏の赤道面において広いエネルギー範囲の粒子・電磁場・波動を総合的に計測し、プラズマの輸送・加速・加熱過程を探る。



- ・打ち上げ時期：2009年頃
- ・apogee：6.6-10Re 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：2機
- ・衛星間距離：10-1000km
- ・衛星重量：80kg×2（SI：23kg×2）
- ・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- 1 MeV）
  - 低・高エネルギー電子計測器（10eV-10MeV）

関連ホームページ

<http://www2.crl.go.jp/dk/c231/im/index.html>



以降は

参考資料

太陽風

カスプ

ローブ

探査領域

磁気圏境界層

プラズマ圏

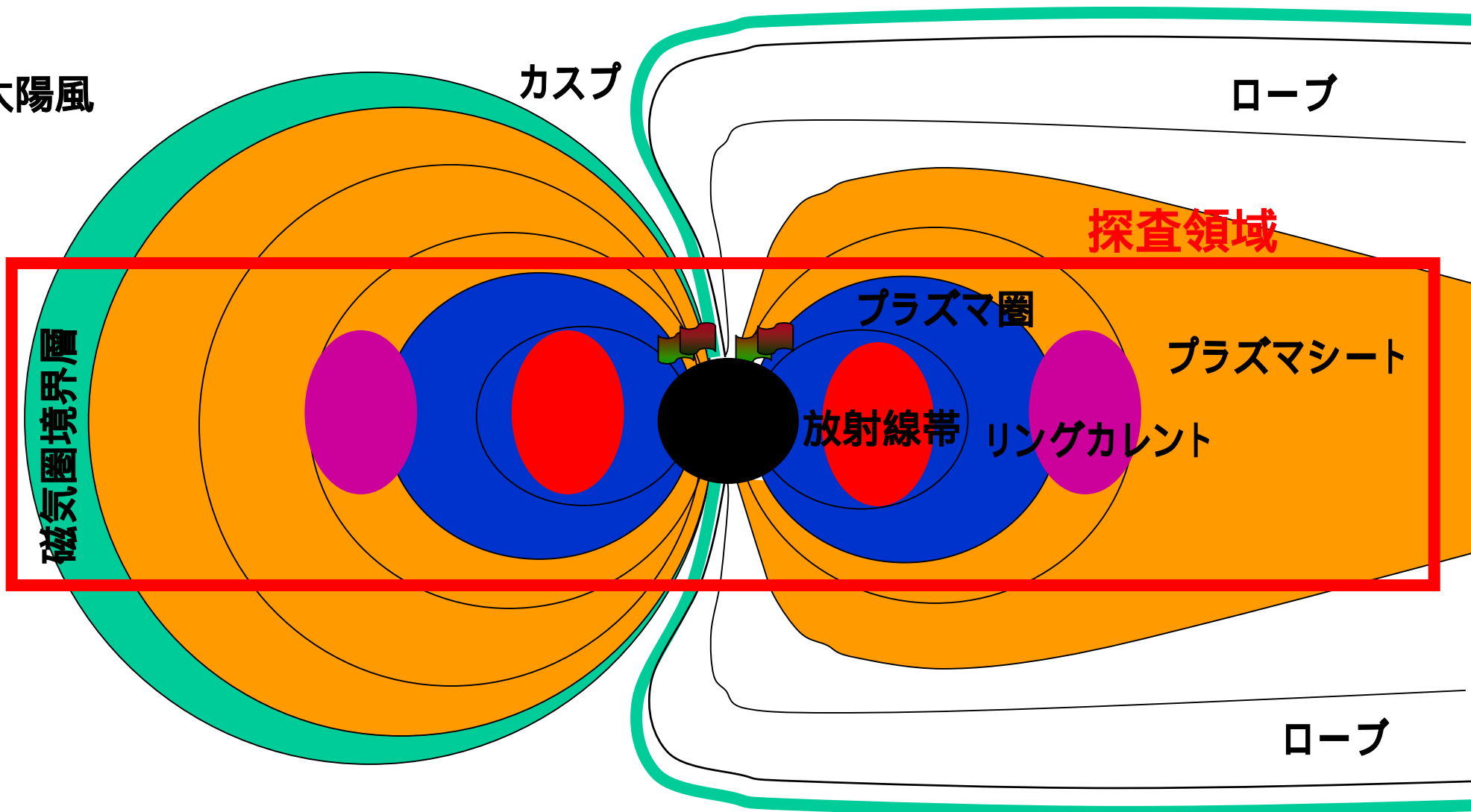
プラズマシート

放射線帯

リングカレント

ローブ

磁気圏境界層



## 21世紀のジオスペース

プラズマ現象解明  
のための実験室

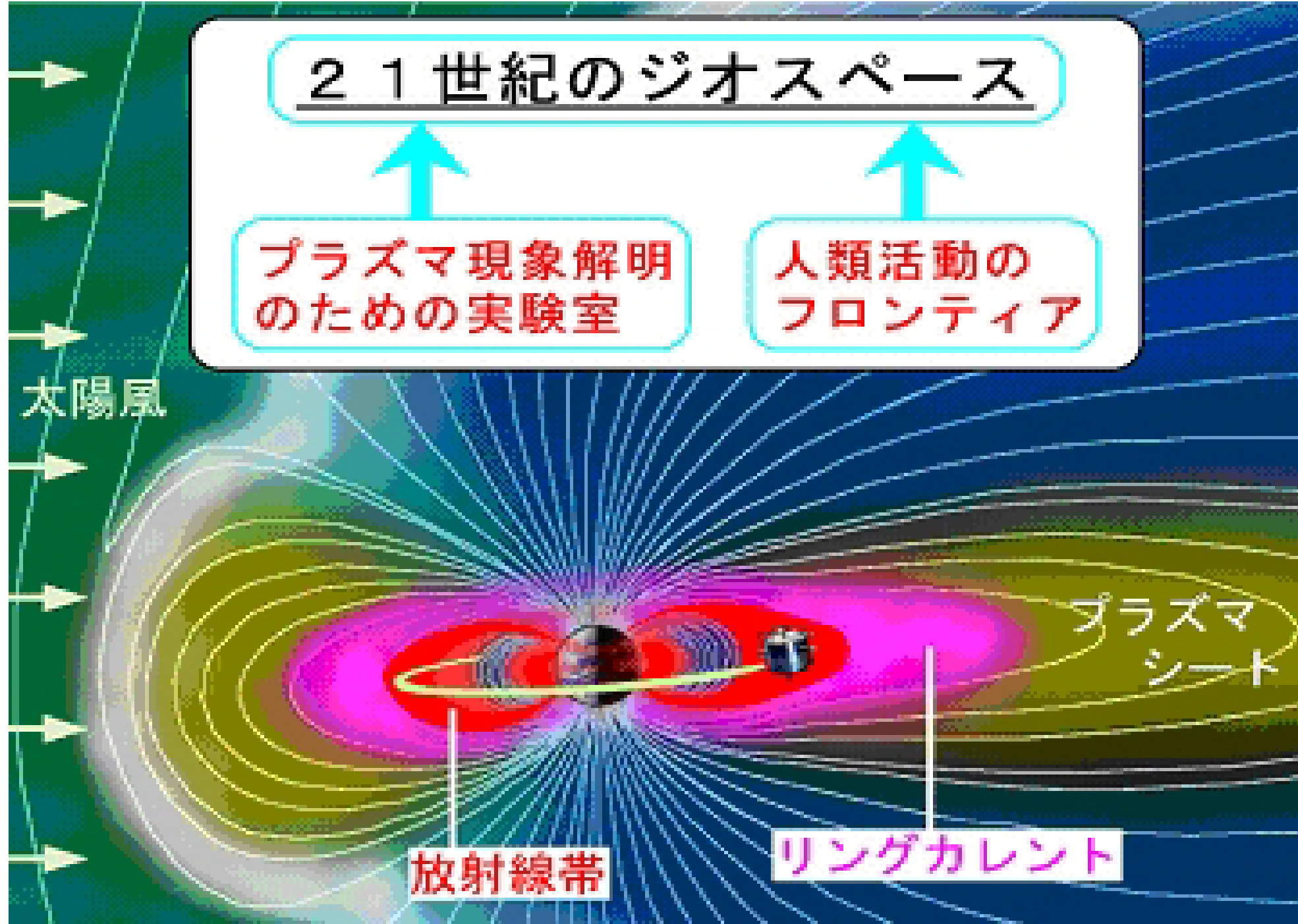
人類活動の  
フロンティア

太陽風

プラズマ  
シート

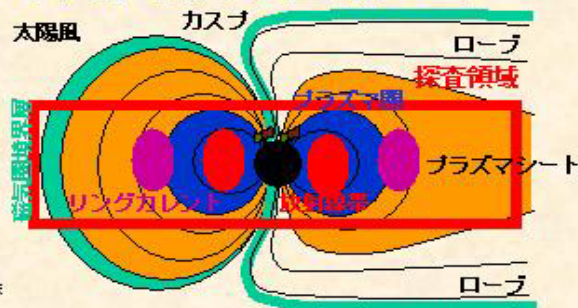
放射線帯

リングカレント



# 小型衛星編隊飛行による 内部磁気圏探査

塩川和夫、関華奈子(名大STE研)  
 三好由純、小野高幸(東北大)  
 長妻努、小原隆博(道総研)  
 能勢正仁(京大)  
 笠原慎也(金沢大)  
 平原聖文(立教大)  
 高島健、浅村和史、笠羽康正、松岡彩子、  
 齋藤義文、齋藤宏文(ISAS)  
 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



## 宇宙環境理解のためのミッシングリンクに挑む 磁気圏境界層

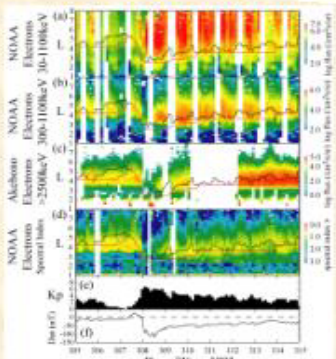
内部磁気圏は、6桁以上もエネルギーの異なるプラズマが共存する領域を含み、磁気圏最大規模のエネルギー解放現象(磁気嵐)に伴って、相対論的高エネルギー電子が誕生するなど、非常にダイナミックに変動する興味ある空間である。この領域の探査は、宇宙時代の初期に精力的に行われたものの、放射線対策の難しさも一因となり、その後、現在まで本格的な探査が行われてこなかった。

## 総括 強放射線環境でのプラズマ観測と編隊飛行衛星観測の達成

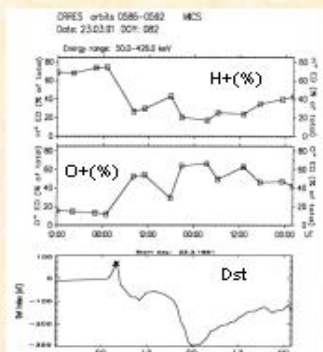
本ミッションは、地球半径10倍以内の内部磁気圏赤道面において、磁場・電場・粒子・波動の同時観測を行い、内部磁気圏におけるプラズマの輸送、加速・加熱機構の解明を目指す。

## 将来ミッションにもつながる技術と粒子加速機構解明への寄与

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過程の理解の深化、また、今後の宇宙空間における安全な人間活動の確保、にも波及効果を持つ。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。

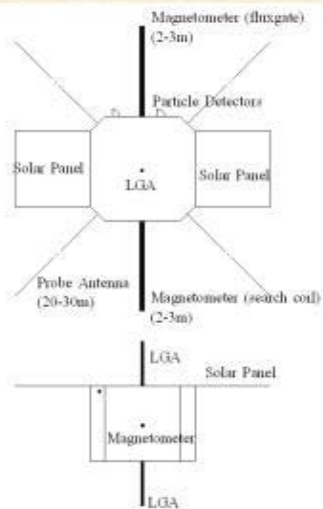
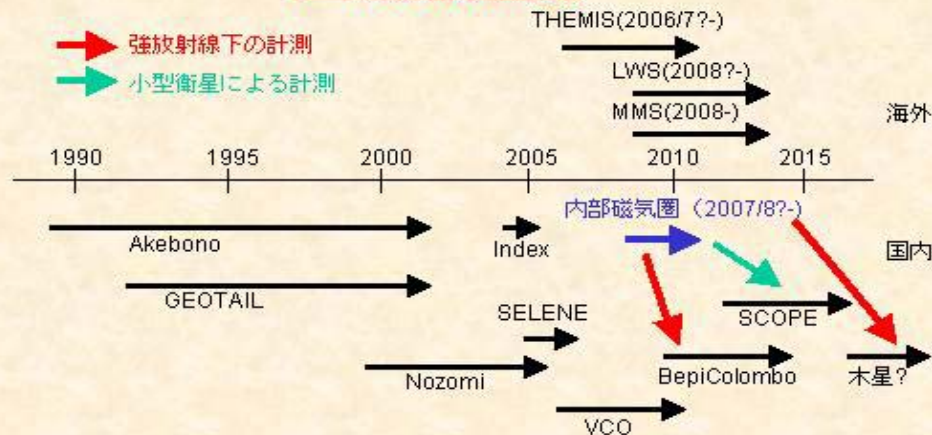


あけほの、NOAA衛星で観測された、磁気嵐主相における放射線帯外帯の消失と回復相における外帯の再形成(Myoshi et al., JGR, 2003)。こういった放射線帯粒子のダイナミックな変動は1990年代に明らかになってきたが、その原因となる粒子の加速過程はまだよくわかっていない。



大磁気嵐の主相では、酸素原子イオンがリングカレントのエネルギー密度に占める割合は80%近くになる事が、CRRES衛星により観測された(Daglis, AGU Monogr. 98, p.107, 1997)。こういった酸素原子イオンの供給源、その磁気圏における役割はまだよくわかっていない。

## ロードマップ上の位置づけ

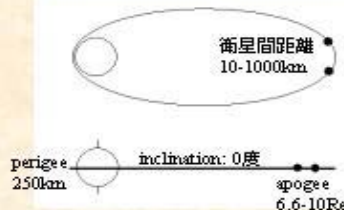


## 衛星諸元

- 打ち上げ時期：2007-8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

## 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)  
 \*\*\* 衛星1 \*\*\*
- 共通機器 (DC磁場、DC/AC電場)  
 低エネルギーイオン (40eV-40keV)質量分析器  
 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)  
 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  
 低エネルギーイオン (40eV-40keV)質量分析器  
 熱的イオン (1-40eV) 質量分析器 + ion emitter  
 AC磁場観測器 (MGS(search coil))

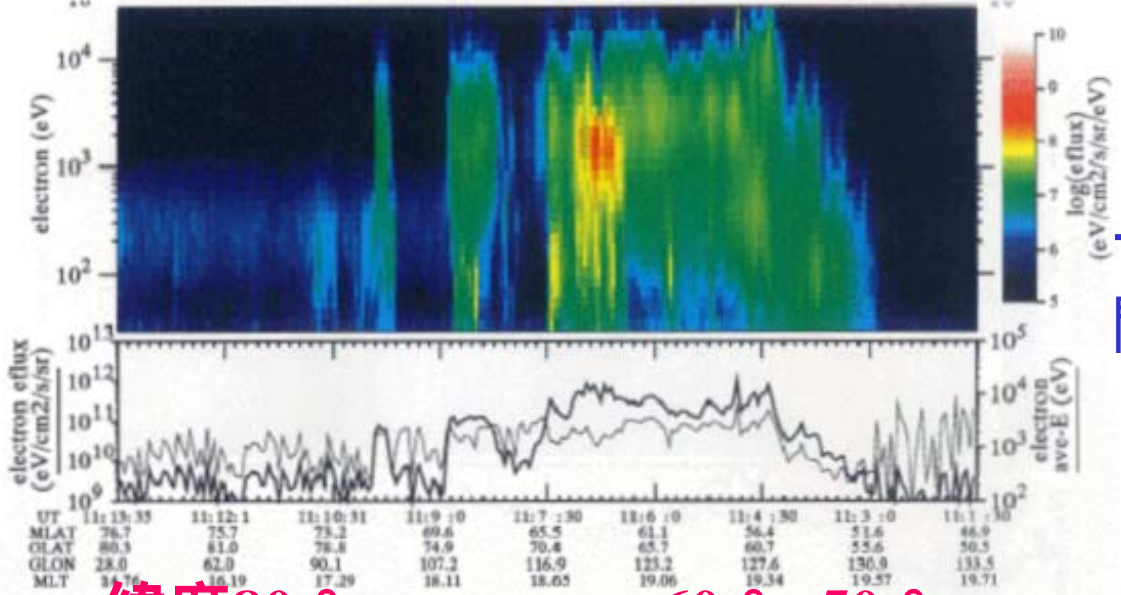


関連ホームページ  
<http://www2.crl.go.jp/dk/c231/fim/index.html>

# 大磁気嵐中のオーロラ電子 (30 eV - 30 keV)

低緯度域での急激な粒子加速現象の発見

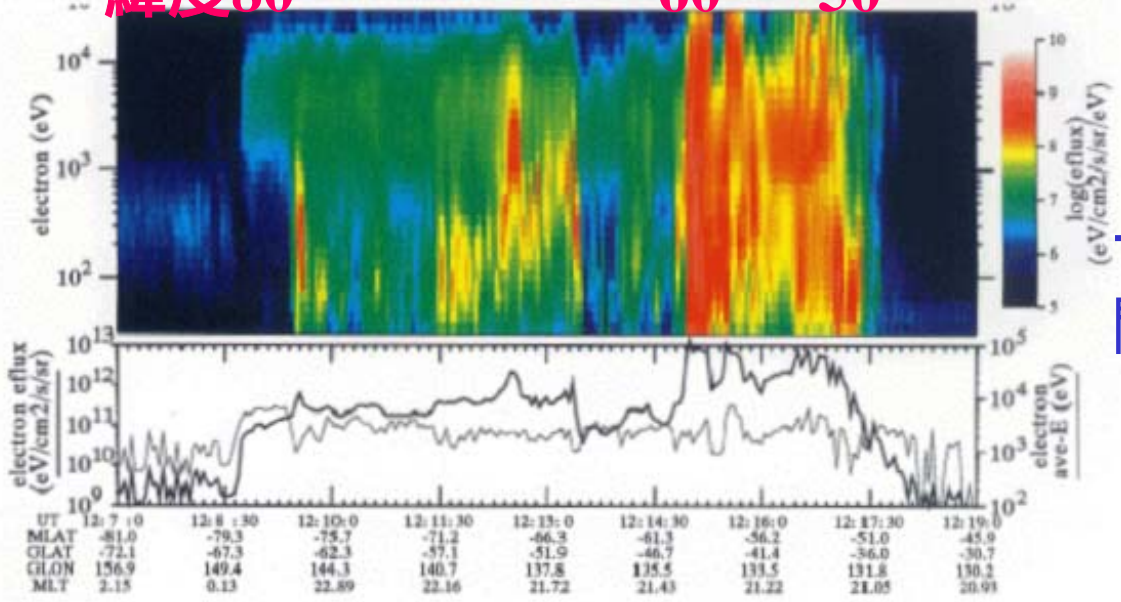
サブストーム開始1時間前



緯度 80° 60° 50°

内部磁気圏に未知の粒子加速メカニズムが存在する可能性

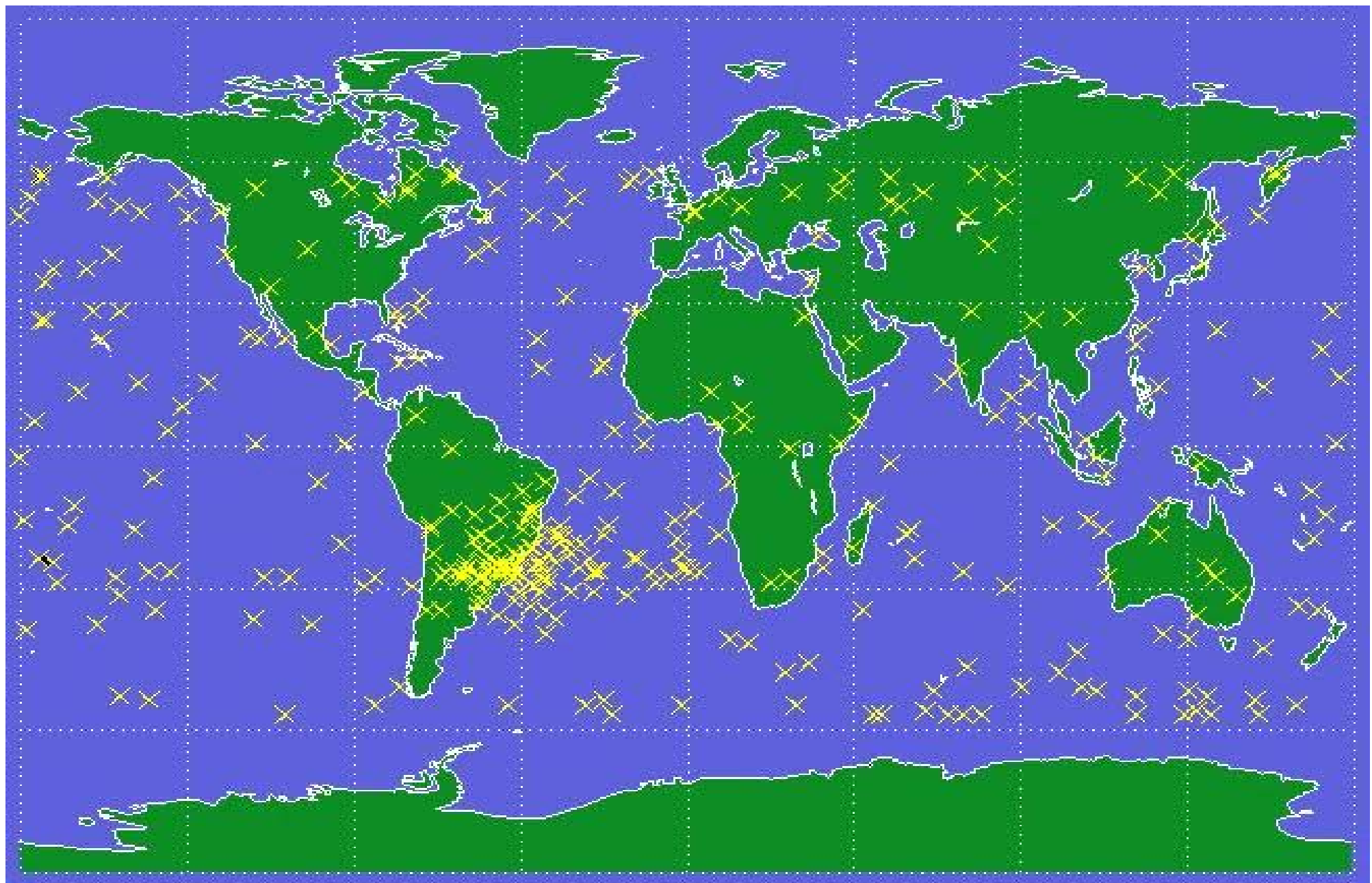
サブストーム開始直後



高緯度側

低緯度側

(Shiokawa et al. GRL, 1996)



## 講演

- 2001年11月22日(九大)地球電磁気・地球惑星圏学会
- 2001年11月19日(宇宙研)宇宙科学シンポジウム
- 2002年 1月17日(宇宙研)フライトフォーメーション研究会
- 2002年 2月13日(静岡)宇宙天気シンポジウム
- 2002年 2月22日(宇宙研)次期磁気圏衛星WG
- 2002年 3月 7日(極地研)SGEPSS将来計画シンポジウム
- 2002年 3月19日(九大)CAWSESシンポジウム
- 2002年 5月31日(代々木)地球惑星関連学会合同大会
- 2002年 7月22日(天草)地球電磁気・地球惑星圏学会若手会夏の学校
- 2002年 7月25日(宇宙研)GEOTAIL国際Workshop
- 2002年11月12日(電通大)小型衛星を用いた今後の科学探査に関する打ち合わせ  
(地球電磁気・地球惑星圏学会秋の学会期間中)
- 2002年 1月 6日(名大)惑星間空間中の高エネルギー粒子成分の起源と粒子加速( )
- 2003年 1月11日(宇宙研)宇宙科学シンポジウム
- 2003年 3月10日(九大)CAWSESシンポジウム
- 2003年 4月 3日(宇宙研)SCOPEシンポジウム
- 2003年 8月28日(NASDA)宇宙環境計測装置の小型・高機能化ワークショップ

## ・2機の衛星でプラズマ波動の波形観測・スペクトル観測

両衛星の波形のcorrelationをとることにより、coherentな波の空間広がり決定(衛星間距離を最初10kmから徐々に広げていく)スペクトルを比較し、波のパケットのスケールを見積もる。

放射線帯電子加速量の定量的見積もり

さらに両衛星の時刻同期をマイクロ秒オーダーでとることにより、静電波の位相速度、波長の決定

## ・2機の衛星でイオンのモーメントを観測することにより、現象の空間スケール、進行方向がある程度推定できる。

・current disruption領域の広がりがわかる。

・内部磁気圏にもBBFがあるとしたらその空間スケールがわかる。

・X方向に衛星が並ぶチャンスがあるので、サブストームオンセットに関連する現象が内側から発達するか外側から発達するかがわかる。

・静穏時の磁気圏圧力勾配の見積もり( activeな時にはエネルギーが40keV以上になってしまうので、観測できない)

これらのテーマは、放射線帯電子加速の元となる磁気圏ダイナミクスを調べるために必要。

## ・2機の衛星でULF波動の位相を比べることにより、波の伝搬モードを決定する放射線帯電子加速メカニズムの素過程に必要

**データ量見積もり**

**粒子:  $8\text{bit} \times 32\text{ch} \times 4\text{ions} \times 8\text{angle} \times 16\text{angle} / 3\text{s} \times 3\text{inst(max)} / 3\text{compress}$   
= 44kbps**

**磁場電場:  $16\text{bit} \times 3\text{ch} \times 128\text{Hz} \times 2\text{inst} / 3\text{compress}$   
= 4kbps**

**total: 48kbps + wave form measurements**

**LGA data rate : about 24kbps?**

**GEOTAILデータ転送レート 64kbps**

**のぞみのアンテナ30m 10cmx10cmx4cm、4個で2kg**

**10cmx4cmの面からアンテナが出る。先に2gのおもり付き**

**低エネルギーイオン計測器15cmx15cmx20cm**

**低エネルギー電子計測器15cmx15cmx15cm**

**中エネルギーイオン計測:直径40cm (EPIC)**