

衛星観測から解明する地球磁気圏の磁場・プラズマ構造及び太陽風との関係

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
(JAXA/ISAS)

野和田 基晴

地球は大きな一つの磁石である。この磁石は地球近傍に“バリアー”を作る。この磁気バリアーを“地球磁気圏”と呼んでいる。地球磁気圏は太陽を起源とする高エネルギーのプラズマ粒子の流れ(太陽風)を遮っている。この磁気バリアーがないと我々人類を含む動植物は生きてはいられない。



地球磁気圏の反太陽側は太陽風により尾っぽの様に長く引き伸ばされた形になっている。

磁気圏内外の典型的なプラズマパラメータ

	磁場強度 (nT)	数密度 (/cc)	イオン温度 (KeV)
太陽風	5.0-10.0	10.0以下	~1.0
磁気圏	80.0-100	3.0以下	10.0 以上

宇宙科学の観測の歴史は南極及び北極における地上観測から出発した. しかし1958年にアメリカでExplorer-1が打ち上げられて以来、宇宙物理学は現代に至るまで飛躍的な進歩を遂げて来た.

現在では地上観測はもちろんのこと宇宙空間に何機もの衛星を配置し、地球近傍ではどのような物理現象がどのようなプロセスによって起きているのかを詳細に理解し、3次元的な描像を得ようと努力されている.

人工衛星観測の利点

1. 物理現象が起こっているまさに“その場”での観測が出来る.
2. 磁場やプラズマなどの多種類の詳細なデータを取得することが出来る.
3. 多くの衛星のデータを使うことで、大規模なスケールでの現象を理解することが出来る.

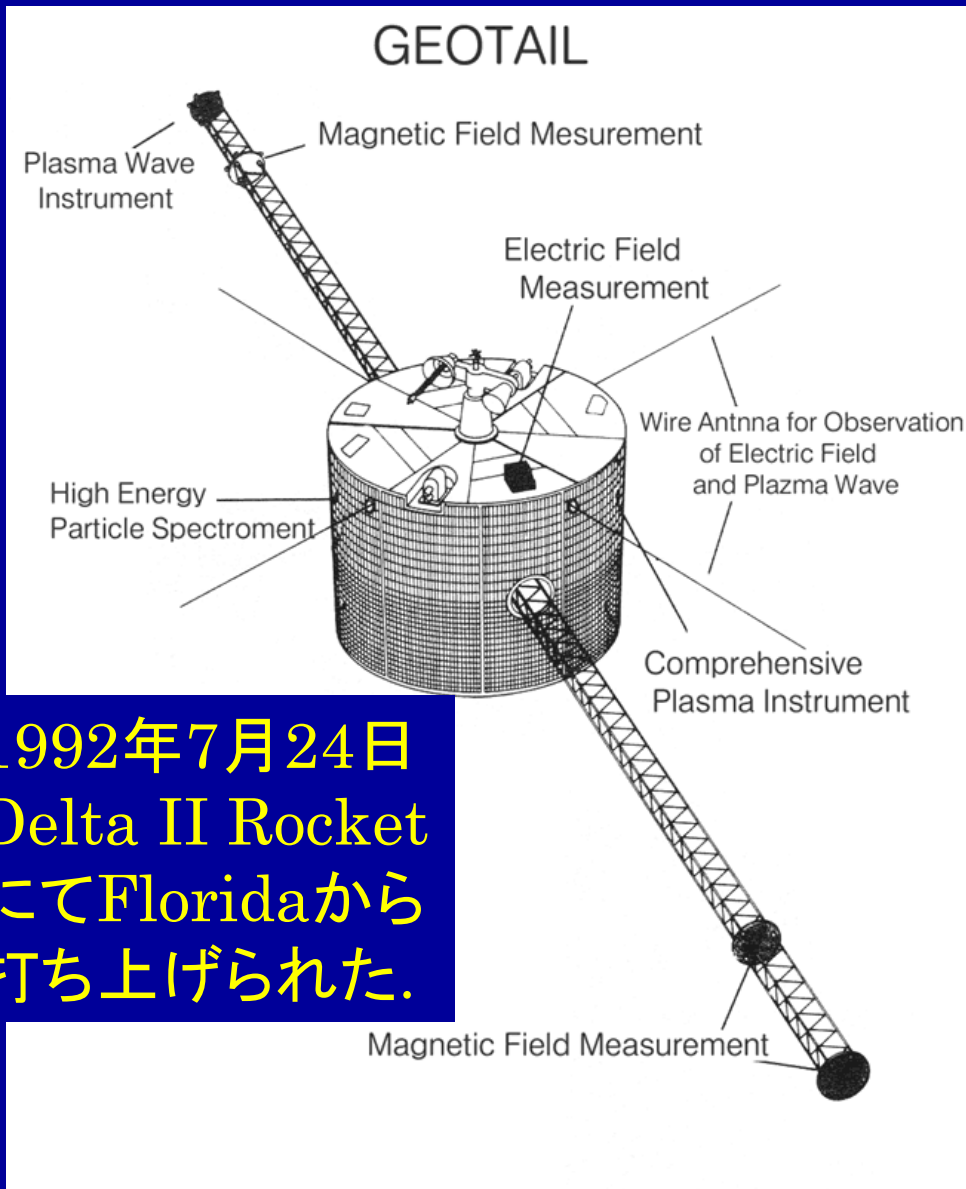
人工衛星観測の欠点

1. 設計から打ち上げまで時間が掛かる. コストが掛かる. (数年前: 衛星1機50億円也)
2. 観測機が壊れても簡単に修理が出来ないので、耐久性が必要.
3. データが地上に送られてくるまでのシステムが複雑になる. データ 校正 (キャリブレーション) が面倒.

今回紹介する衛星

1. GEOTAIL (地球観測衛星)
2. WIND (太陽風観測衛星)

GEOTAIL衛星について



1992年7月24日
Delta II Rocket
にてFloridaから
打ち上げられた。

取得可能なデータ

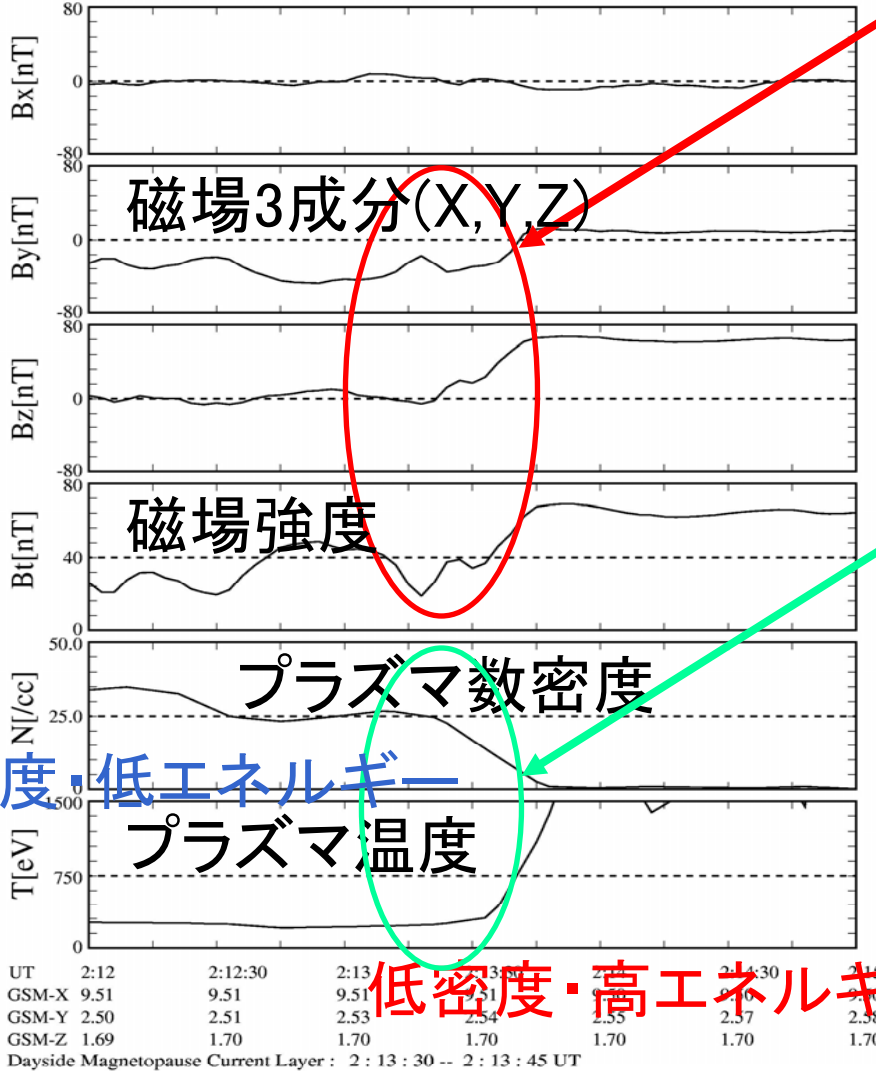
1. 磁場データ(3成分)
2. プラズマデータ(プラズマ速度3成分、プラズマ数密度、プラズマ温度2成分)
3. 電場データ(2成分)
4. プラズマエネルギーースペクトログラム
5. プラズマ分布関数
6. 電子のピッチアングル分布

GEOTAILの観測例

磁場データが変化している
ので電流が流れている領域を衛星が通過したことが分かる。

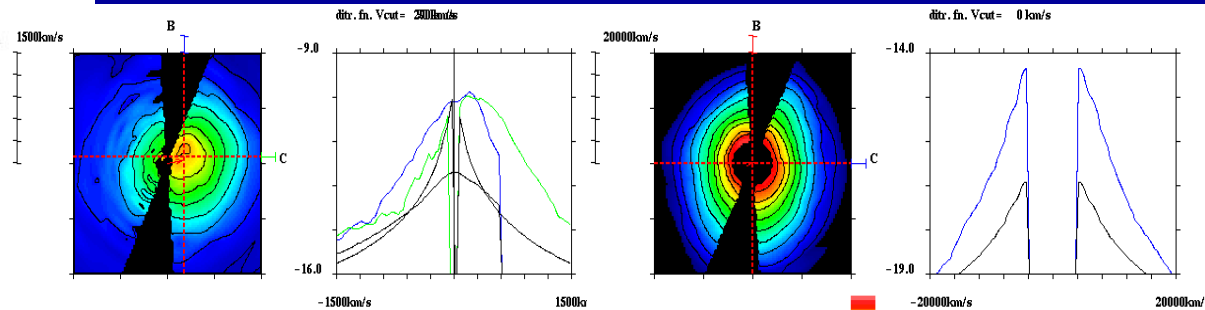
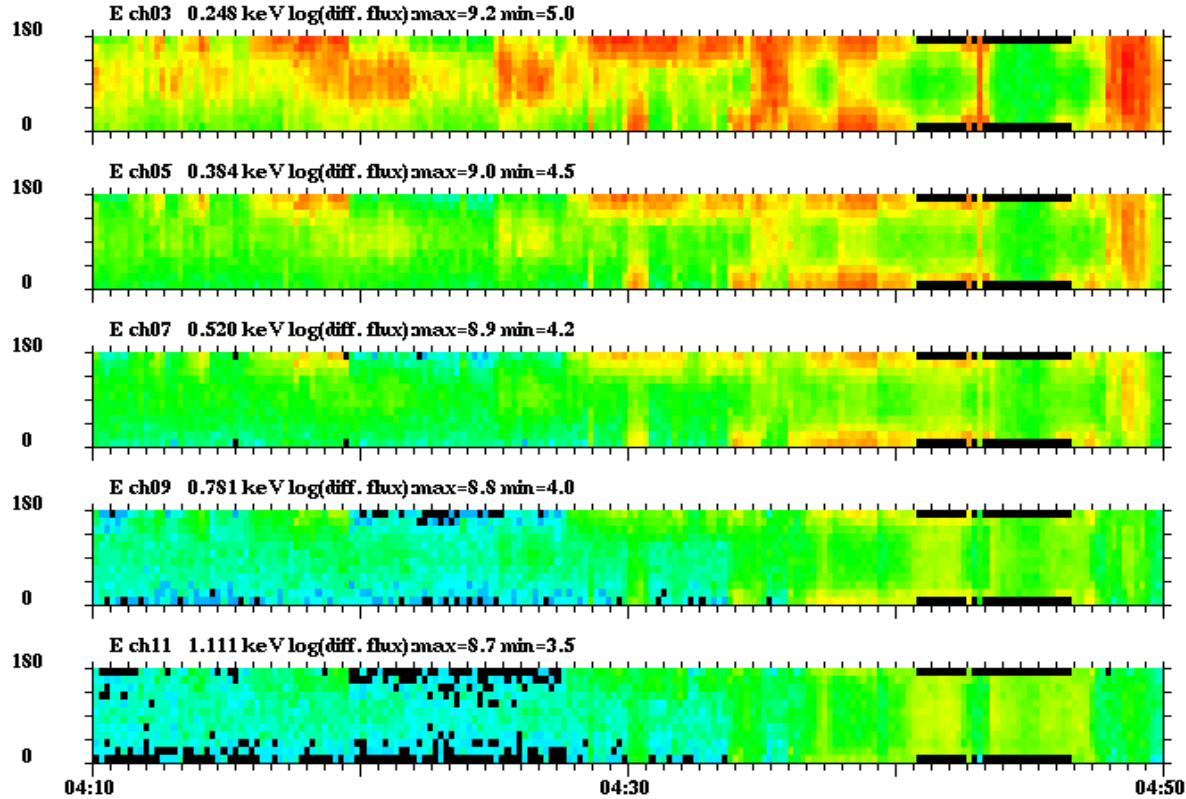
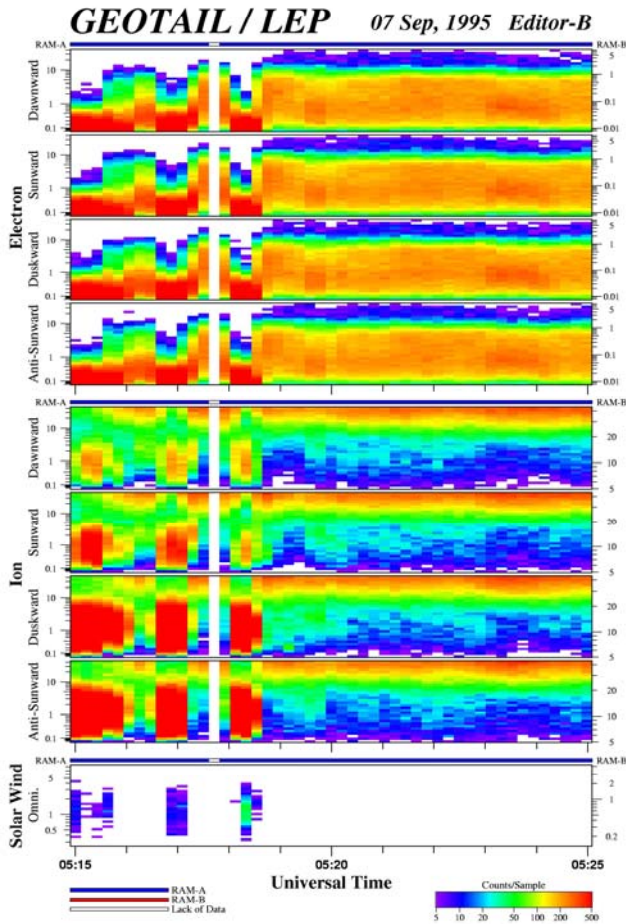
プラズマの密度・温度もこれと同時に変化している
ので2つの異なる性質のプラズマの境界を衛星は通過している...
などの情報をこのようなデータから得る。

GEOTAIL Magnetic Field, Density and Temperature Plot
Year: 1996 Date: 1/3 UT: 2:12 - 2:15



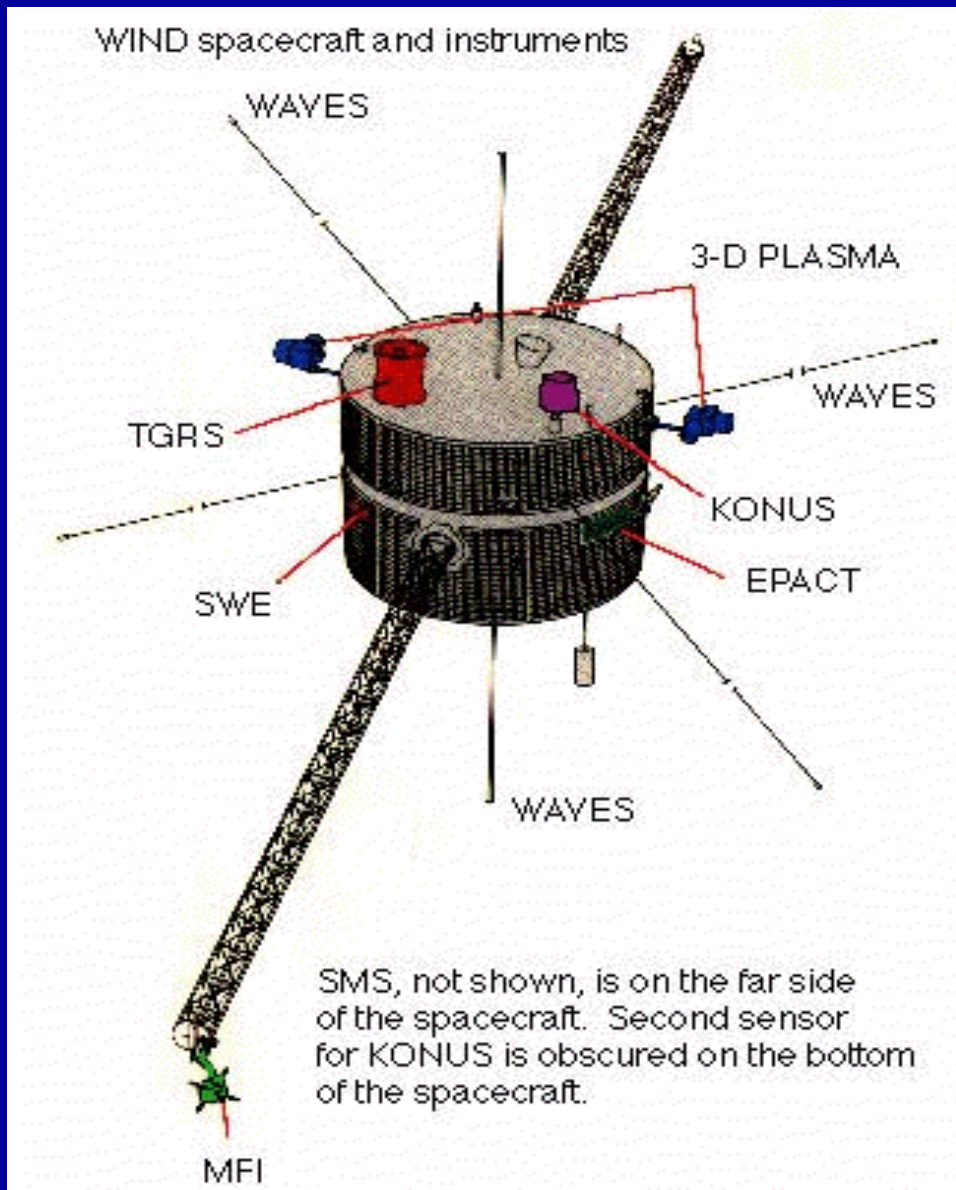
高密度・低エネルギー

低密度・高エネルギー



これらのデータはより詳細に磁気圏プラズマの状態(様子)を知るためのデータで、解析することで磁気圏プラズマをより深く理解することが出来る。

WINDについて



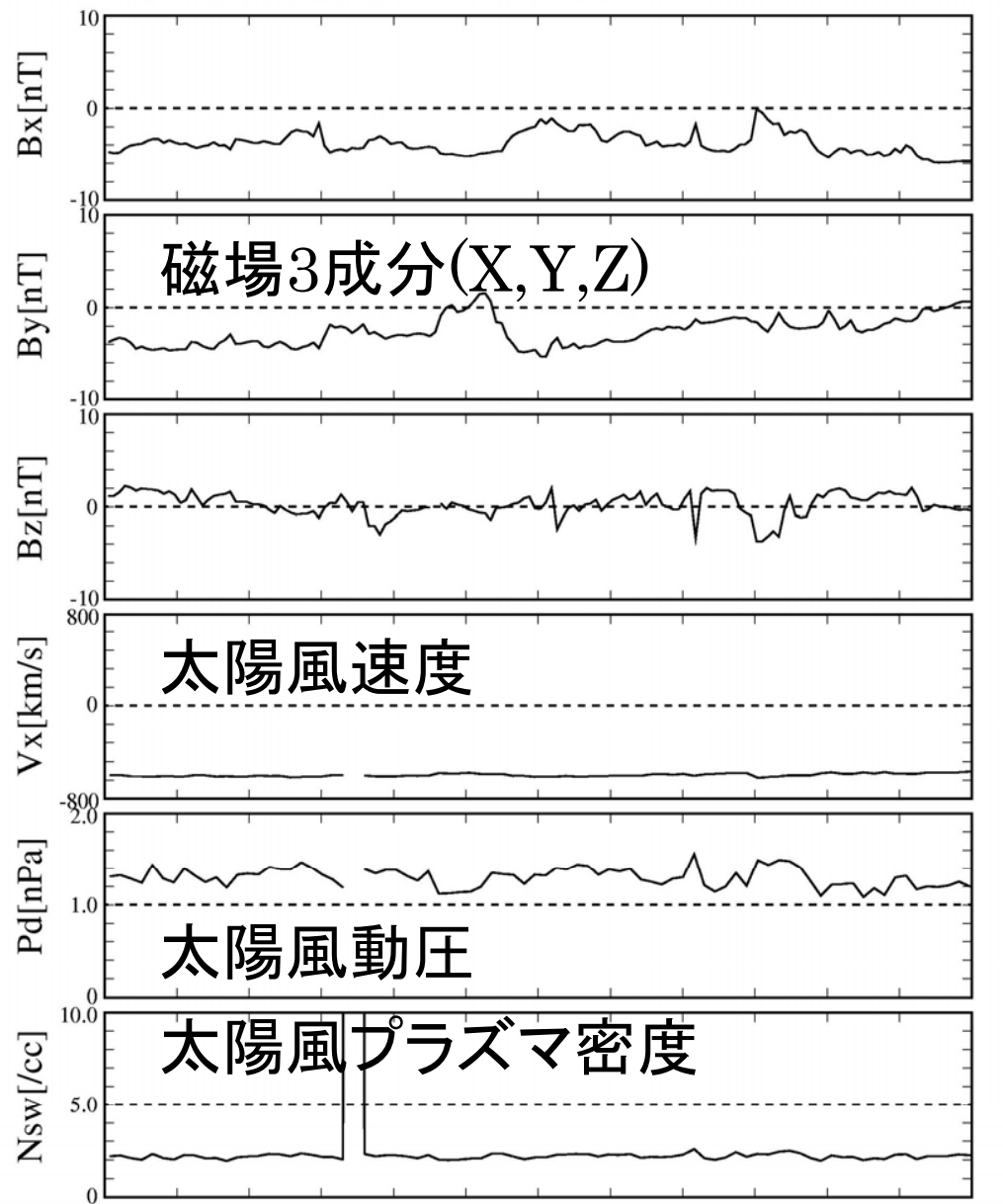
取得可能なデータ

1. 磁場データ(3成分)
2. プラズマデータ(プラズマ速度3成分、プラズマ数密度、温度速度)

1994年11月1日 Delta Rocket
にて打ち上げられた。

WIND Magnetic Field, SW Velocity, and Dynamic Pressure Plots

Year: 1995 Date: 9/07 UT: 4:00 - 6:00



UT	4:00	4:20	4:40	5:00	5:20	5:40	6:00
GSM-X	95.90	95.80	95.80	95.70	95.70	95.60	95.60
GSM-Y	10.30	10.10	9.90	9.60	9.40	9.10	8.90
GSM-Z	-17.10	-17.30	-17.40	-17.60	-17.80	-18.00	-18.10

WINDの観測例

太陽風の磁場や速度(動圧)の状態の変化によって地球磁気圏は様々な変化を見せる。

従って太陽風の状況も調べることは非常に重要である。この様に

GEOTAILやWINDのデータで得られた情報を総合して地球磁気圏内外ではどのような現象が起きているのか?等を探っている

日常では“物質同士の混合(攪拌)”は当然の事象



例: コーヒーにクリーム、卵の白身と黄身 etc...



物質同士(粒子同士)距離が短い(平均自由行程:
Mean Free Pathが短い)から.

宇宙プラズマでは混ざりにくい!



Mean Free Path が非常に長い

プラズマは磁場と共に動いている(磁場凍結の原理)

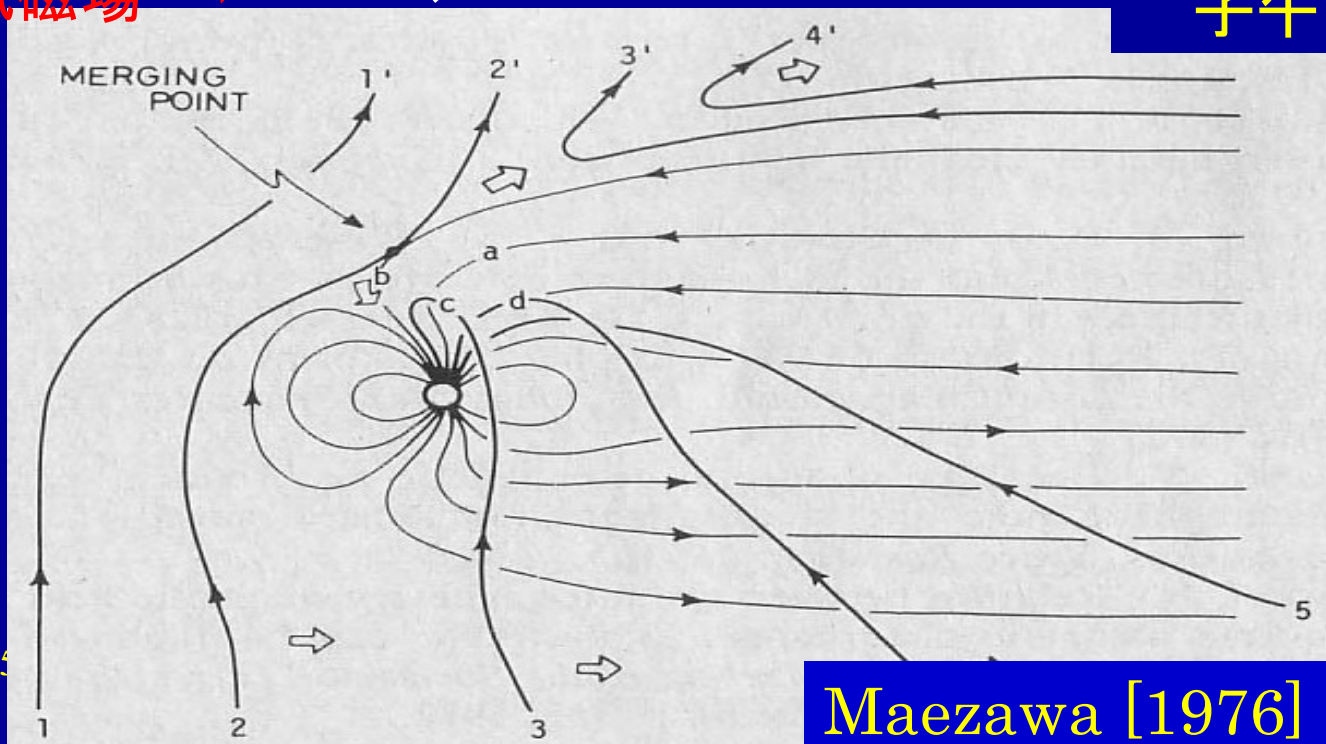
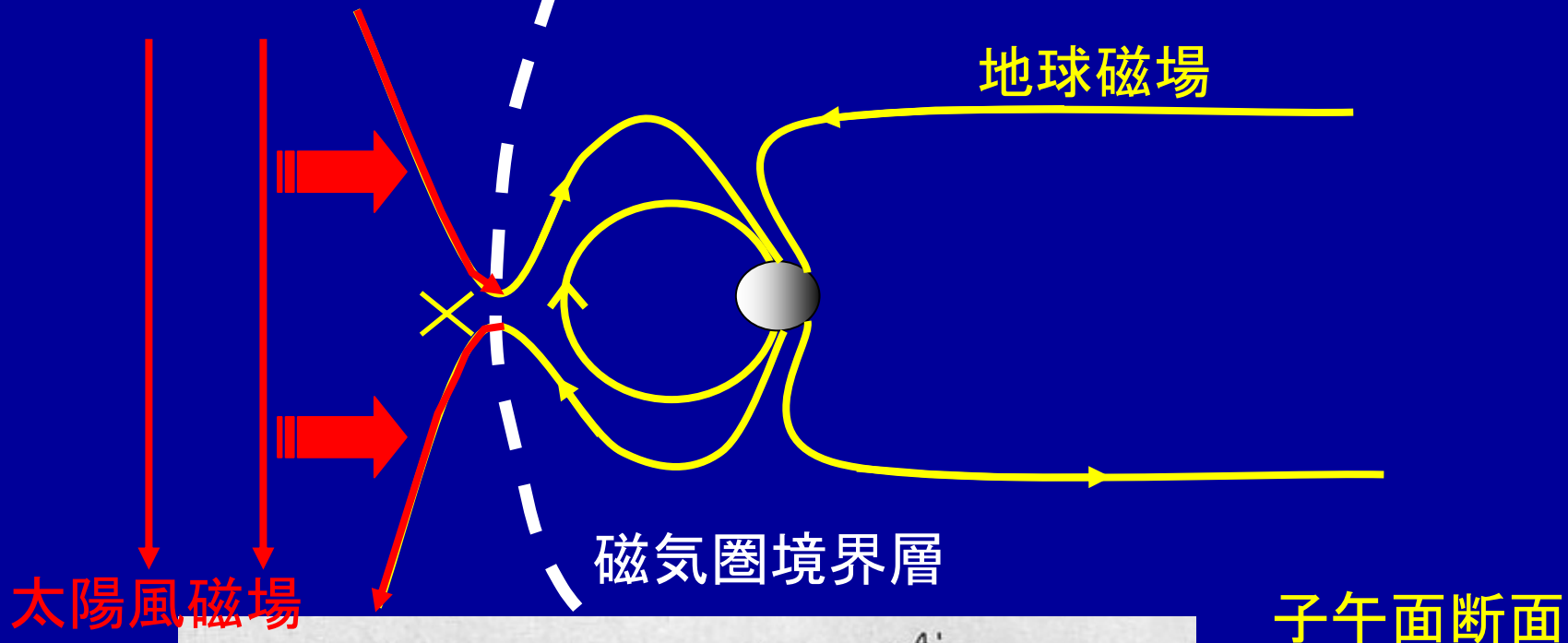
プラズマが混合するには...

1. 磁場凍結の原理を破る

→ 磁気リコネクション

2. 磁気流体の粘性

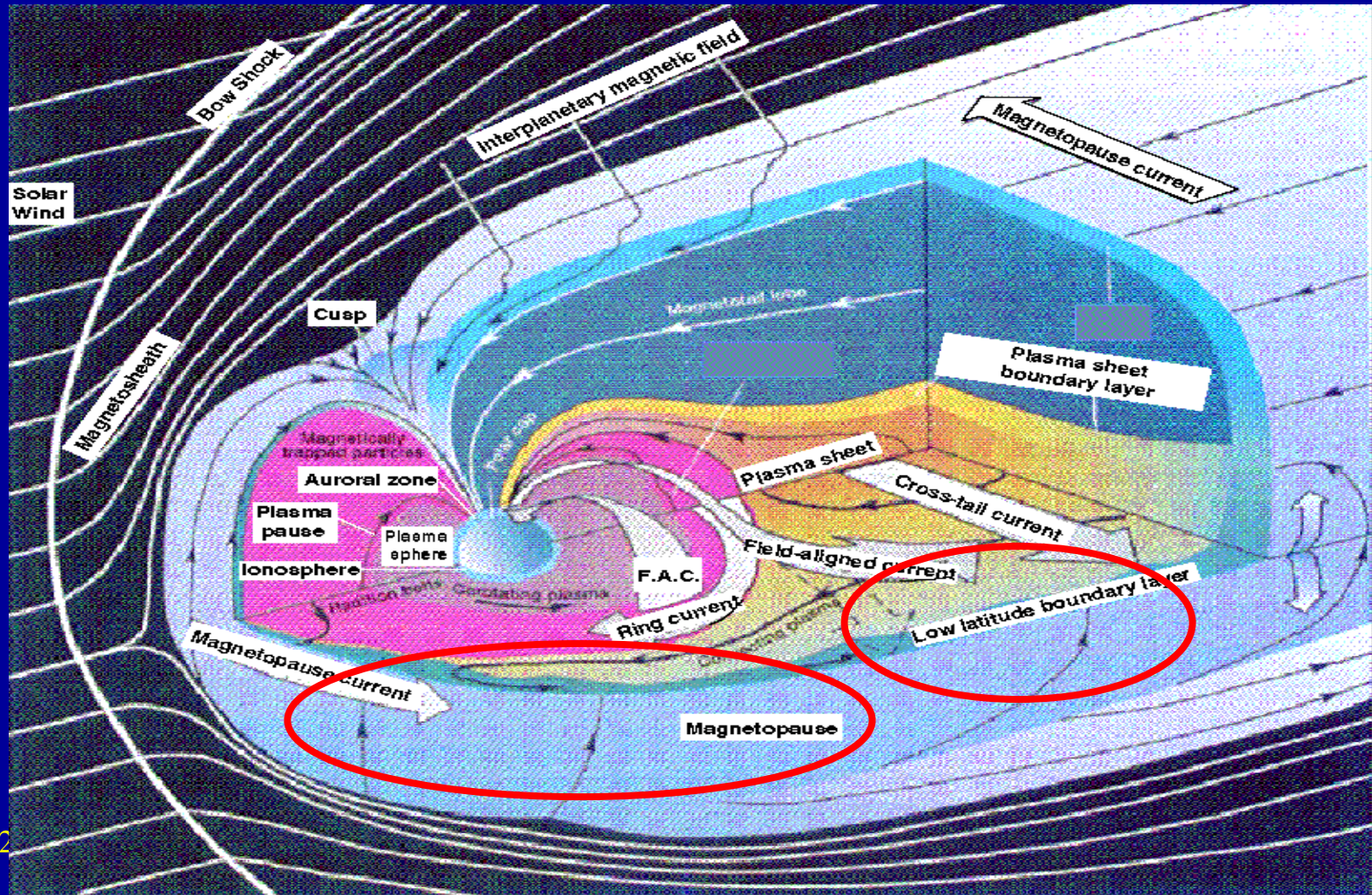
→ ケルビン-ヘルムホルツ渦



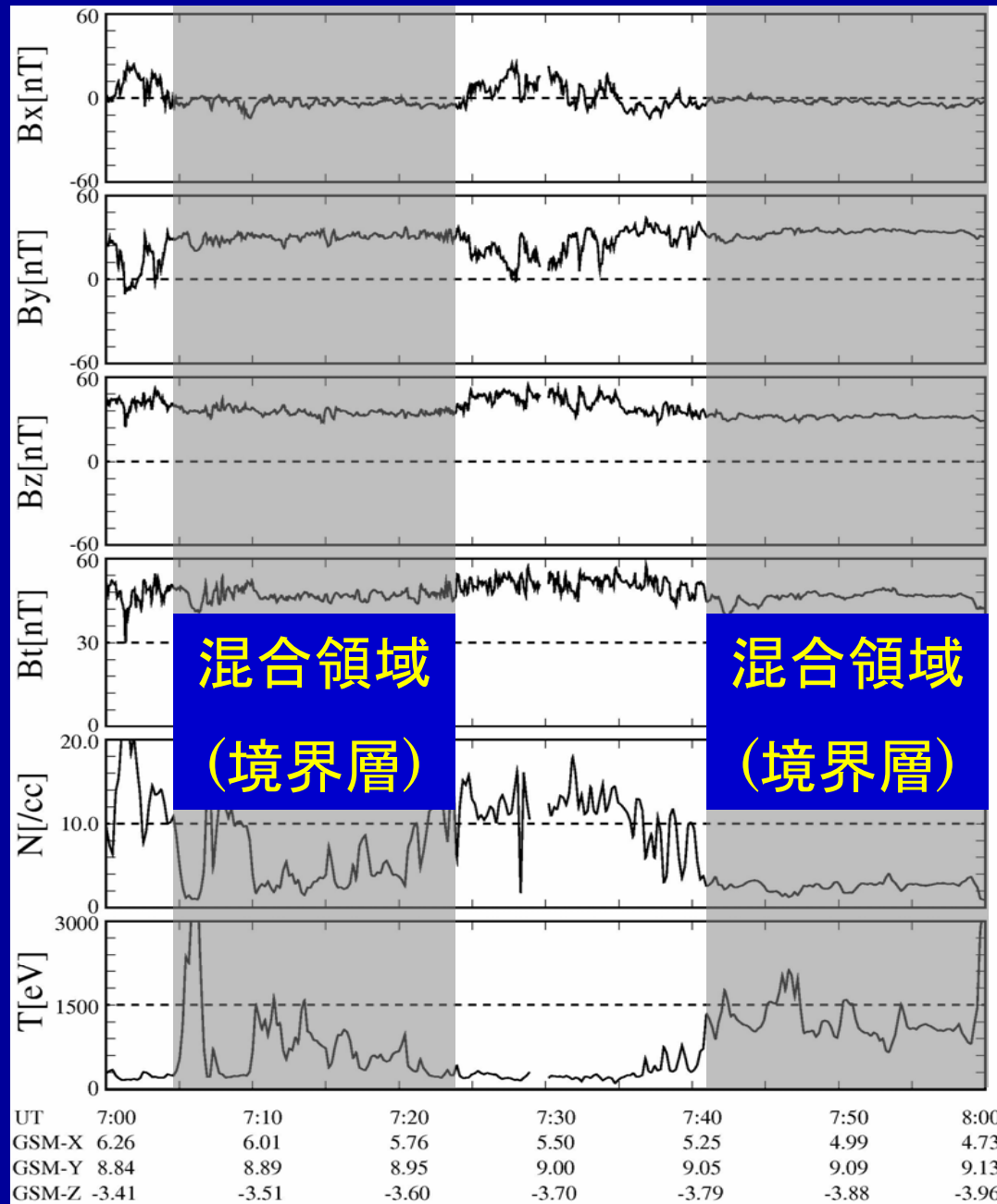
2006/3/25

Maezawa [1976]

プラズマの混合 → 太陽風起源の高密度・低エネルギーのプラズマと磁気圏起源の低密度・高エネルギーのプラズマが混合

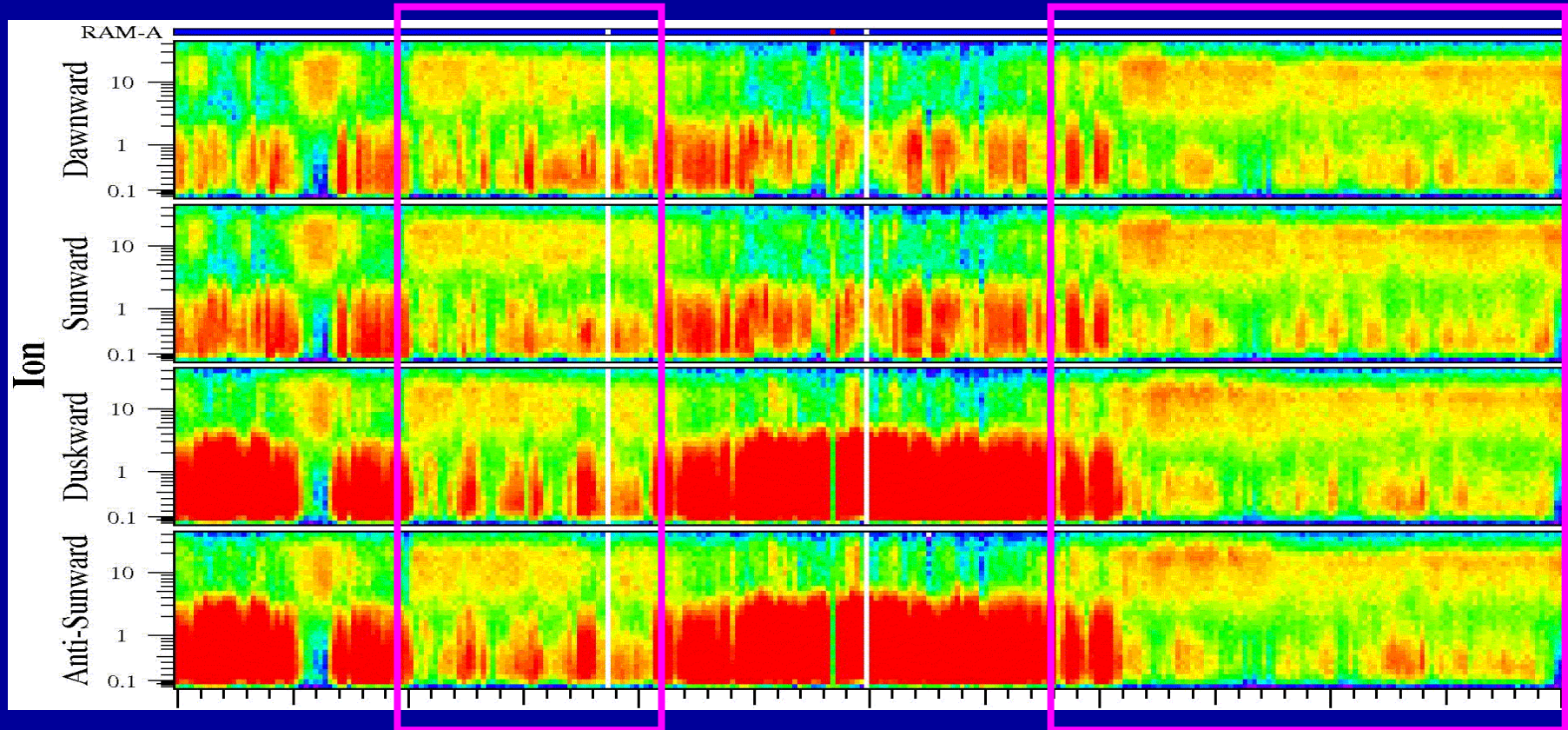


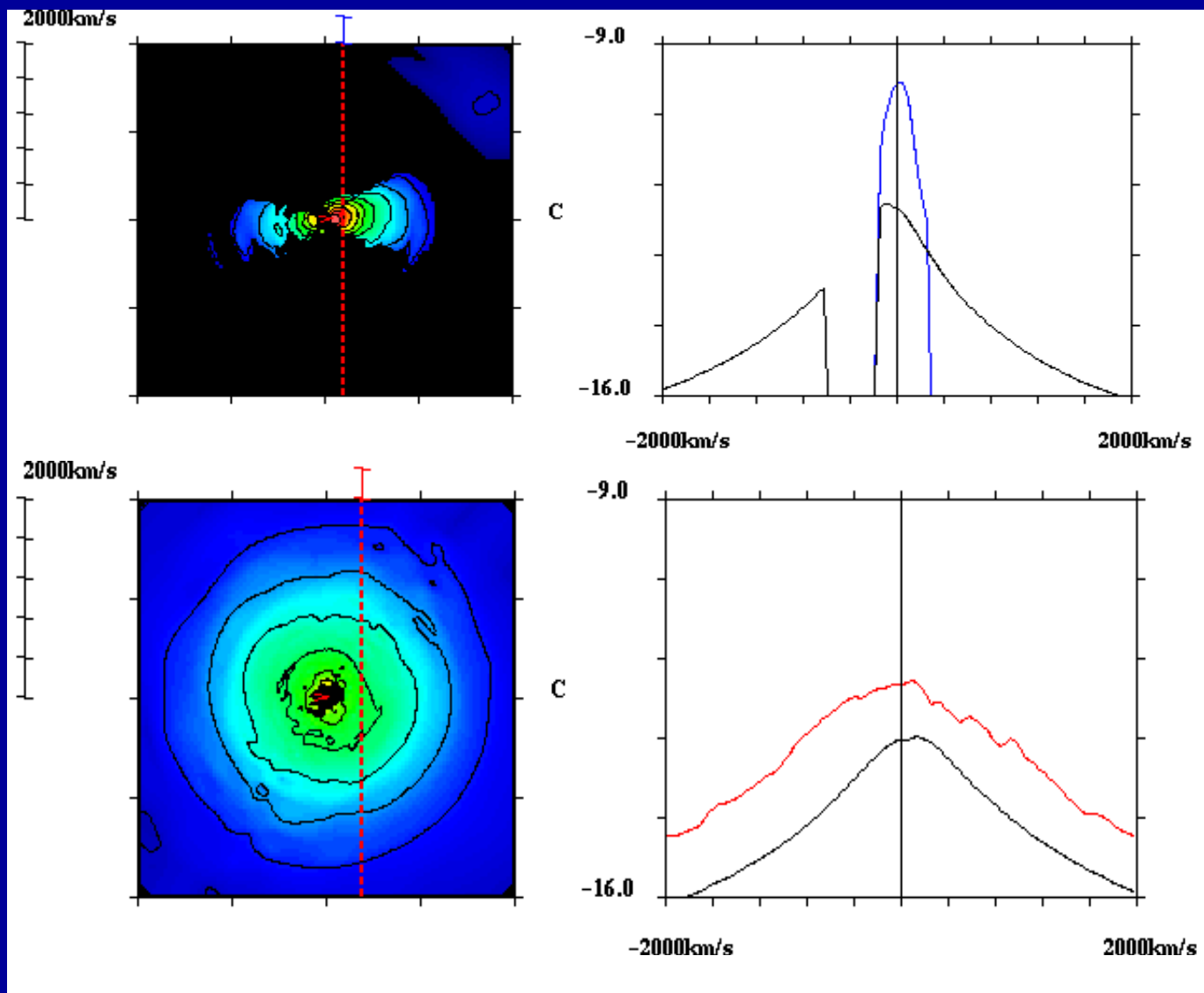
実際に衛星で観測すると...



2006/3/25

プラズマの主な性質: 太陽風起源の低エネルギー・高密度
プラズマと磁気圏起源の高エネルギー・低密度プラズマが
混合(共存)した成分



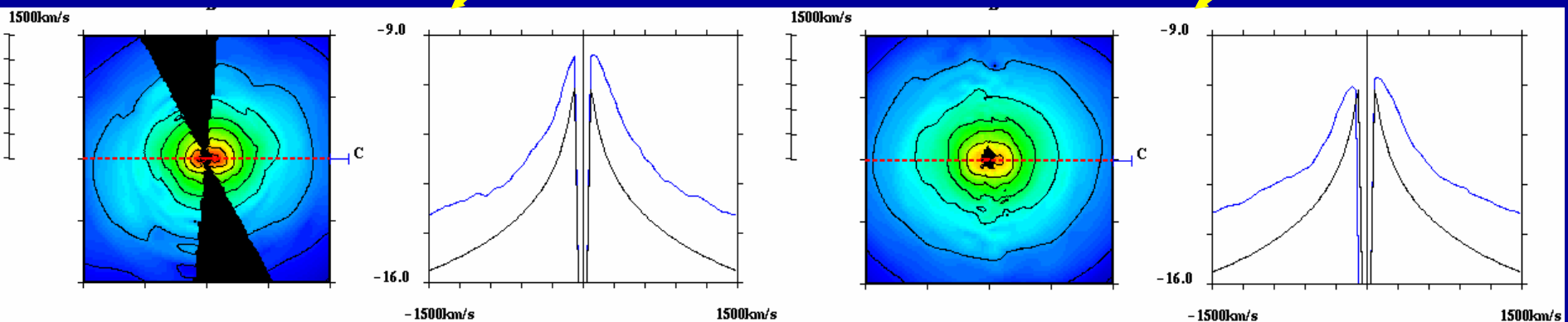
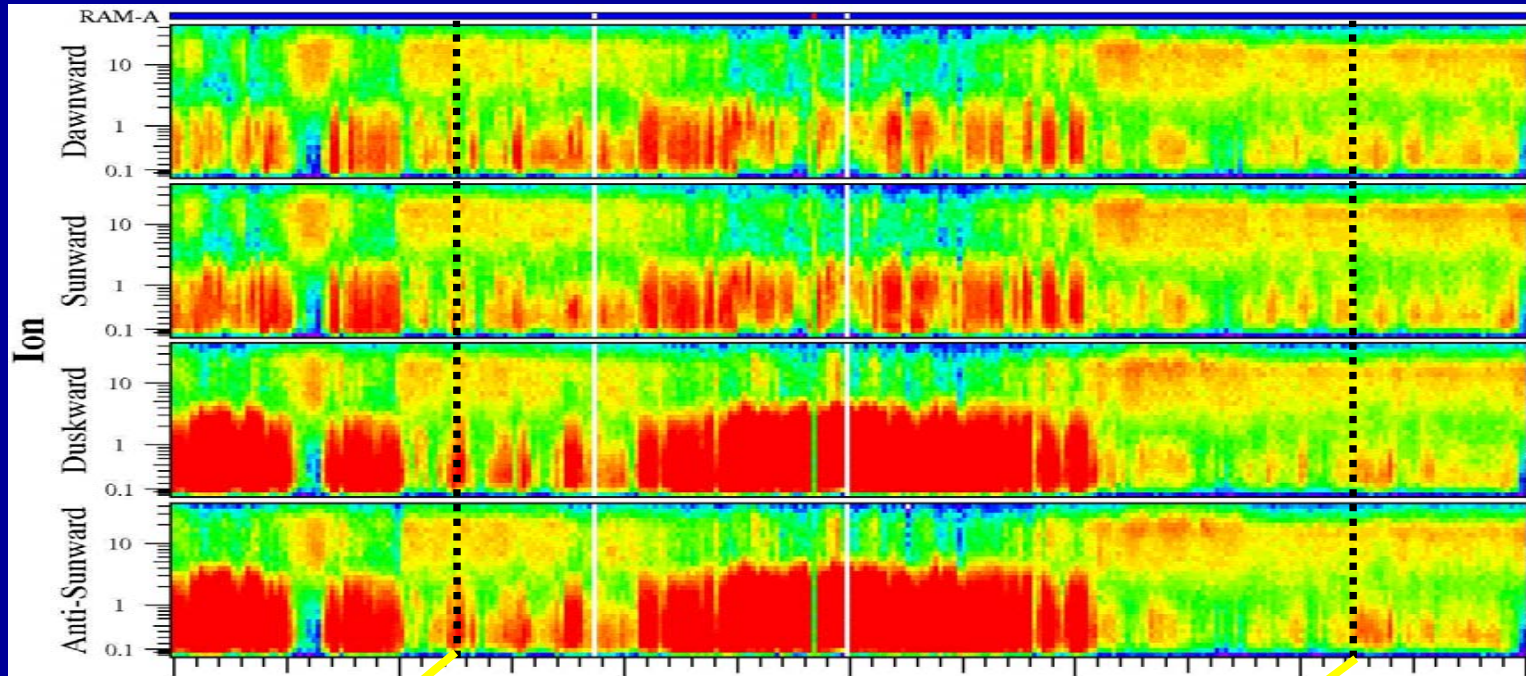


上: 太陽風起源のイオン分布

[Nowada et al., 1998]

下: 地球磁気圏起源のイオン分布

プラズマの主な性質：太陽風起源の低エネルギー・高密度プラズマと磁気圏起源の高エネルギー・低密度プラズマが混合(共存)した成分



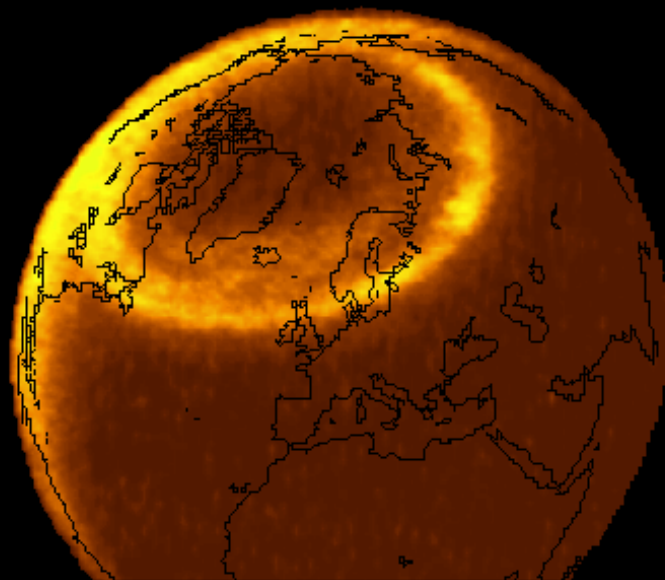
(A)



(B)

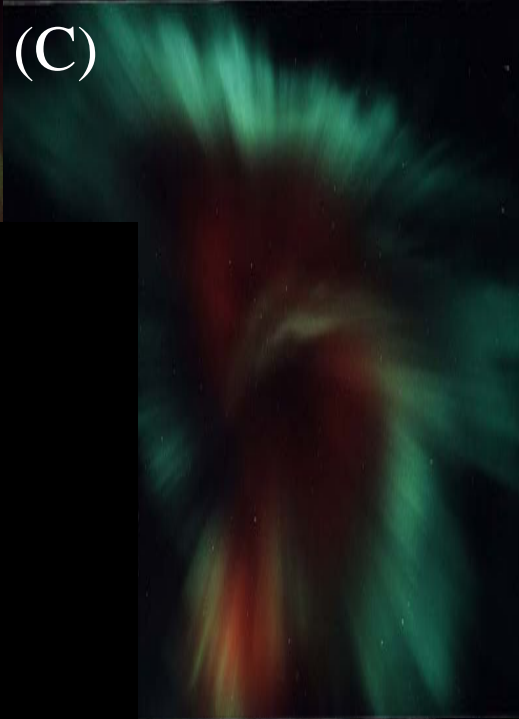
宇宙から見たオーロラ

VIS Earth Camera
2000/311 21:23 UT



Visible Imaging System/POLAR
The University of Iowa

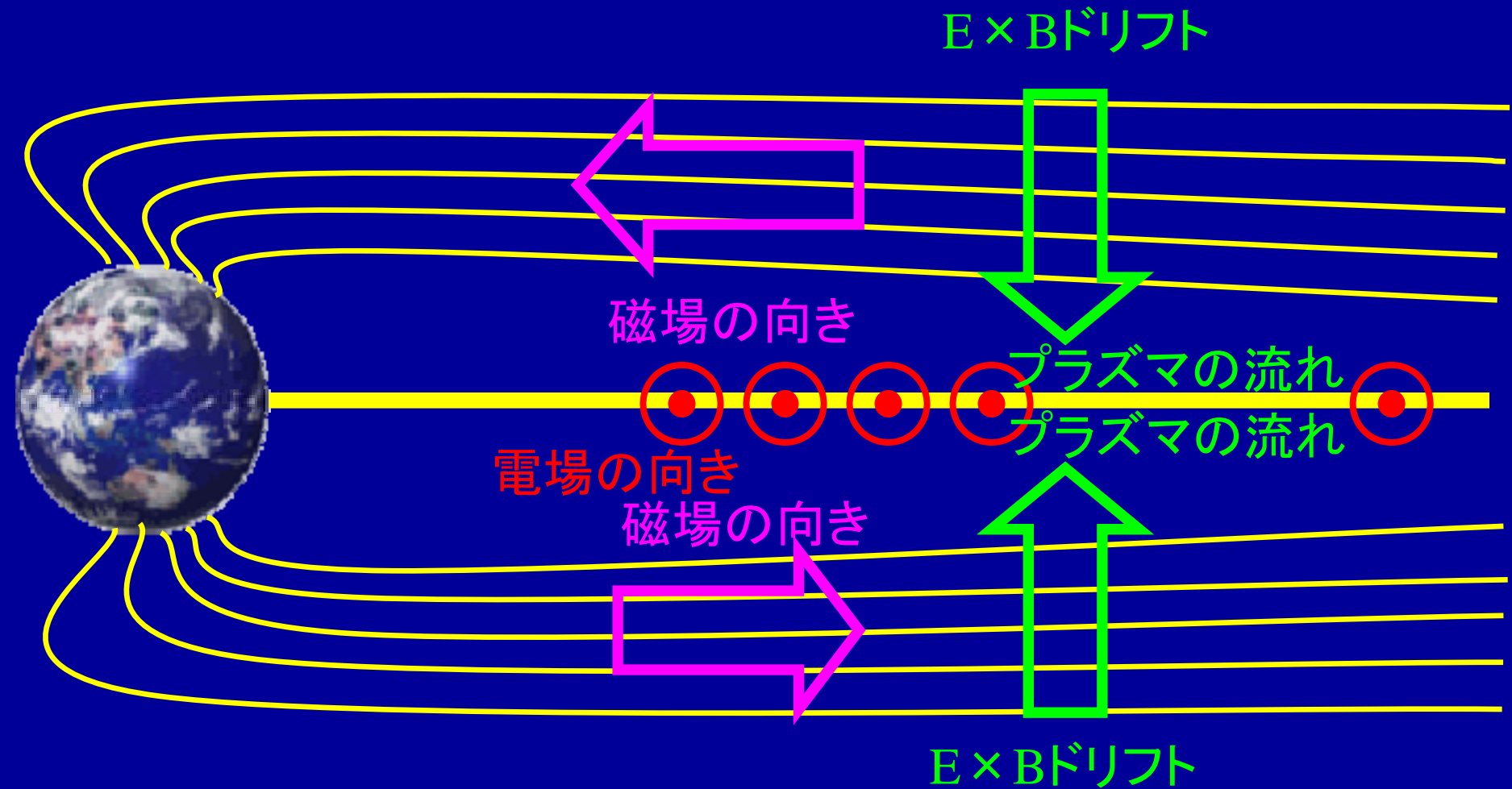
(C)



(D)



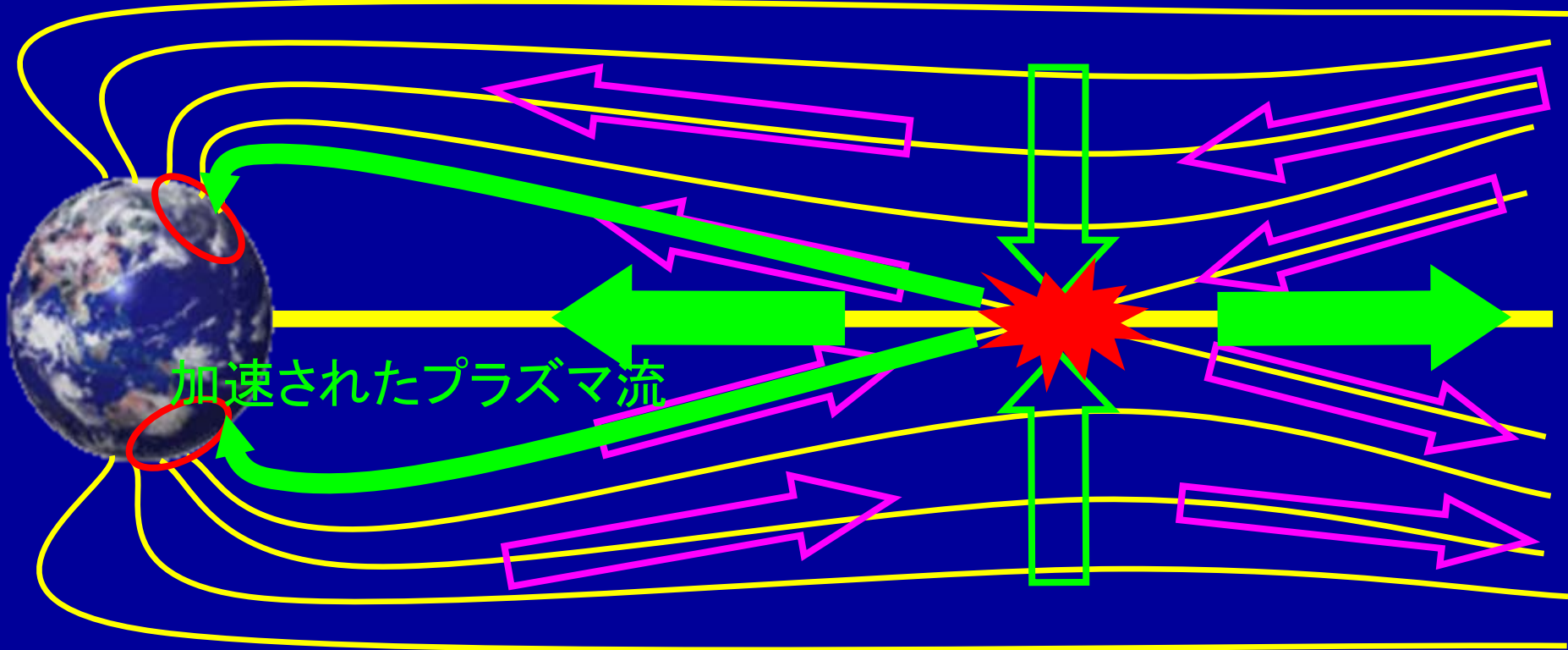
地球磁気圏の尾部(夜側)で起こるサブストーム



磁気圏尾部でも磁気リコネクションが起きることにより、磁場凍結の原理が崩れる。



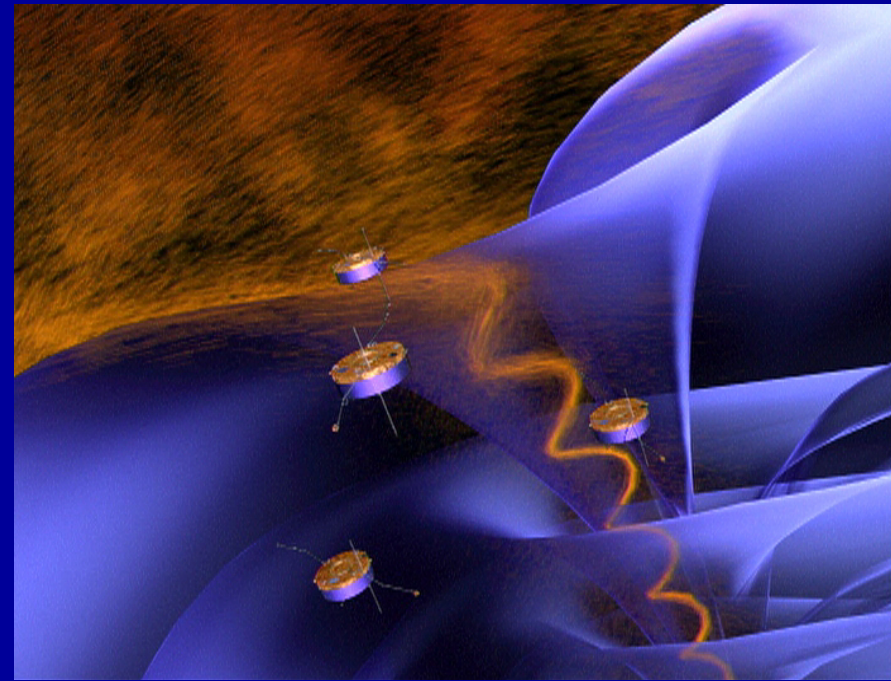
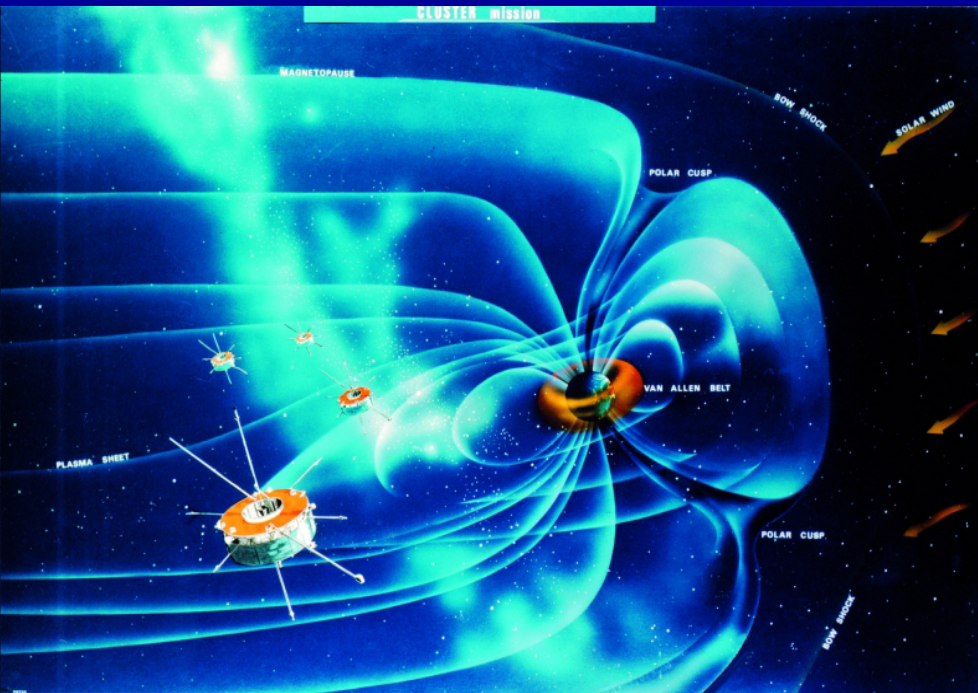
“磁場エネルギー”から“Kinetic なエネルギー”に変換



まとめ

1. 太陽風の変動により、地球磁気圏はダイナミックに変化する。太陽風と地球磁気圏との相互関係の物理は複雑だが面白い。
2. 地球磁気圏プラズマは太陽風プラズマから成っている。→ 磁気リコネクションなどにより太陽風プラズマが Energize され、地球磁気圏内に浸入する。
3. 宇宙プラズマの研究成果は今後“宇宙天気”に応用することが出来る。→ 未来の宇宙環境利用に必要不可欠なもの。

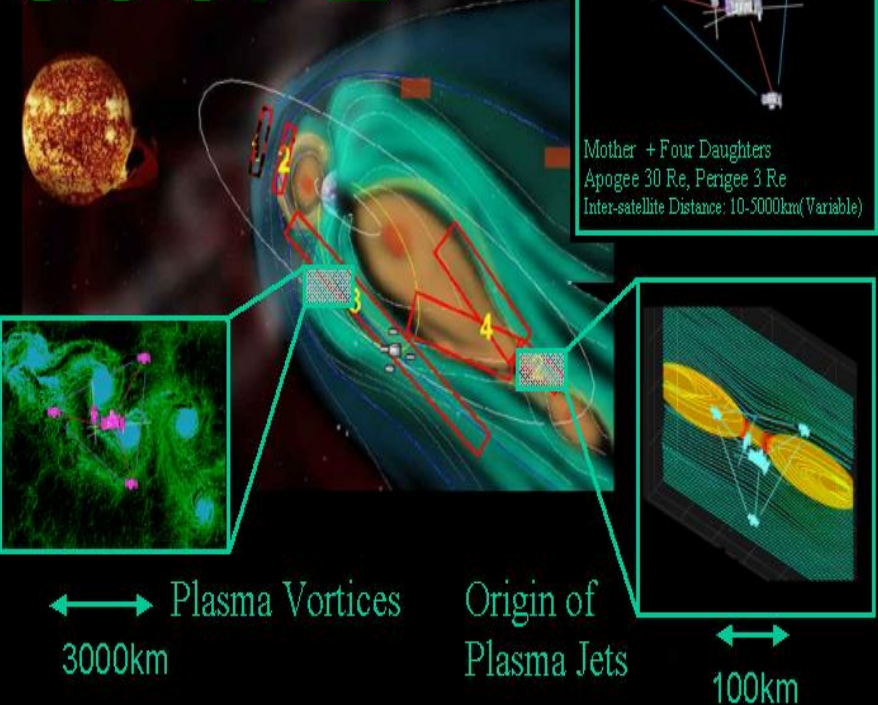
現在及び将来検討されているプロジェクトについて



CLUSTER-II 計画 → 現在Mission進行中

4機の編隊の衛星観測(ヨーロッパを中心に行われている)

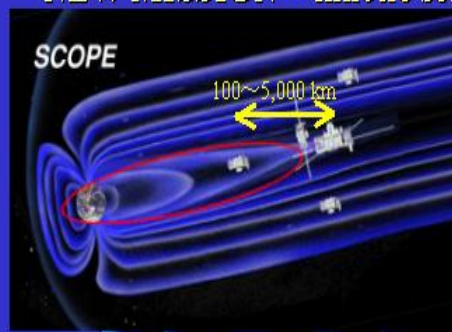
SCOPE



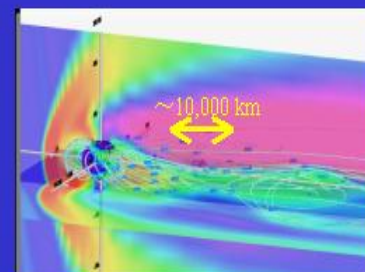
Future Mission: SCOPE (Scale Coupling in Plasma Environment)

NEW MISSION = kinetic scale

MC =MHD scale



+



- High-time resolution (~ 10 msec) electron detectors for understanding **electron-dynamics**
- Multi-spacecraft (1 parent & 4 children) observation for resolving **meso-scale phenomena** ($< \sim 1$ Re)

- **Global structure & dynamics** of the magnetotail
- 50-100 spacecraft will **resolve space/time ambiguities**.

= Cross-Scale Coupling in the Magnetotail

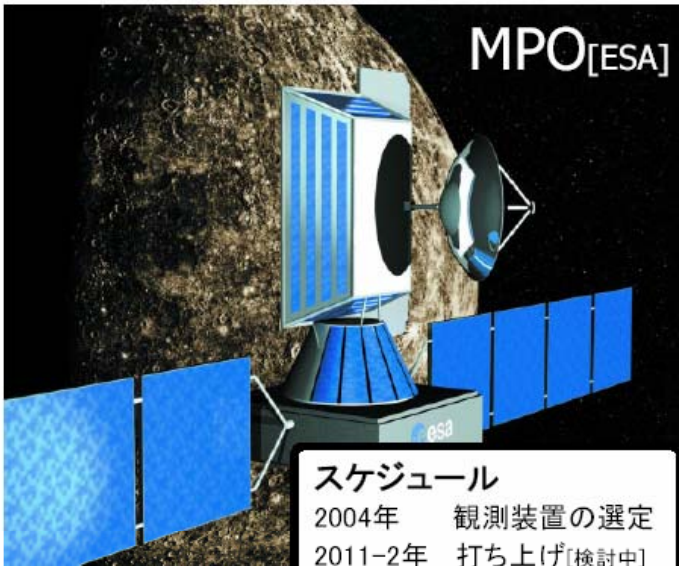
SCOPE計画

1機の母船+4機の子機の計5機が編隊を組んで磁気圏を探查する. 目標としては2010年にH-IIAロケットにて打ち上げ予定. **日本がProjectの中心！！**

Beppi Colombo 計画 (水星磁気圏探査計画)



BepiColombo 日欧共同水星探査計画



MPO [ESA]

スケジュール

2004年 観測装置の選定
2011-2年 打ち上げ[検討中]

「未知の惑星」水星を徹底探査

紀元前から知られる水星は、いまだに「未知の惑星」です。灼熱の惑星に近づいたのは、30年以上前の Mariner 10号の通過だけです。太陽系科学の鍵を握る多くの謎が残されています。

水星の形成史を探る

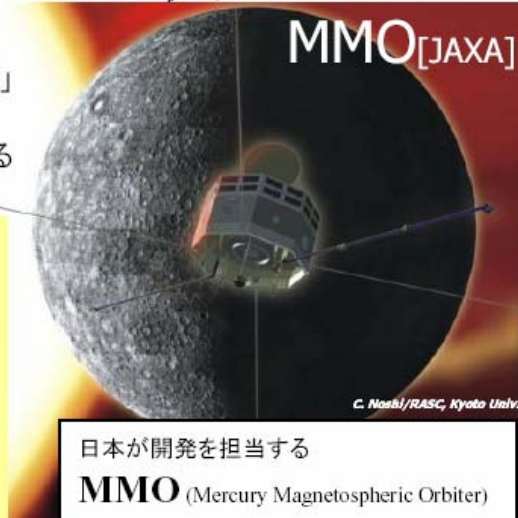
太陽系の最も内側にできた水星は、鉄の中心核が3/4も占めるなど特異です。この解明は太陽系形成の謎につながります。

水星磁場の成因を探る

火星・金星にはない磁場が、水星・地球にはあるのは何故か？初の惑星磁場の精密測定によって、その成因を解明します。

水星磁気圏の活動を探る

電離層がない水星が示す特異な電磁活動の探査は、オーロラなど惑星に広く見られる磁気圏活動の解明につながります。

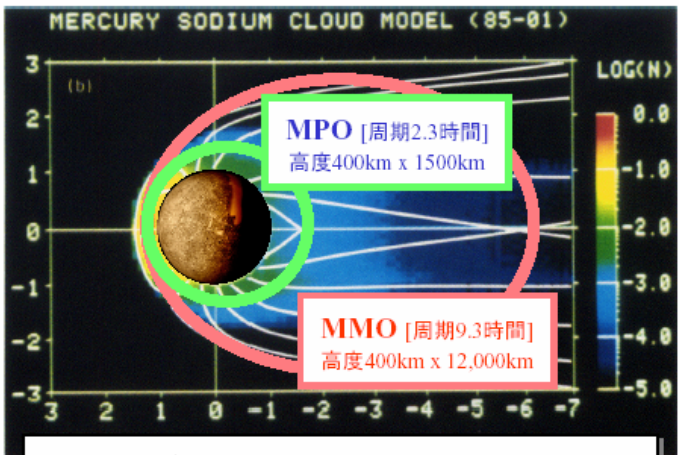


MMO [JAXA]

日本が開発を担当する

MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter)

- ・新素材や熱制御技術の開発により、高い耐熱性能を実現
- ・日欧共同の開発による最先端のセンサー群を搭載



予定軌道と水星磁気圏・希薄大気(モデル)

水星プロジェクト室: <http://www.stp.isas.jaxa.jp/mercury/index-j.html>

日欧初の大型共同ミッション

欧州宇宙機関(ESA)との初の大型共同プロジェクトです。2機の周回機(MPO・MMO)を一体結合して打ち上げ、協力して水星を解明します。両探査機には、日欧共同で開発する観測装置が搭載されます。

水星表面探査機 MPO (Mercury Planetary Orbiter)

3軸衛星：表面の地形・組成、および内部構造を探索
水星の特異な内部・表層の詳細探査によって、太陽に一番近い領域で起きた惑星形成の秘密に迫る。

水星磁気圏探査機 MMO

(Mercury Magnetospheric Orbiter)

スピンの衛星：磁場、大気・磁気圏、内部太陽圏を探索
水星の磁場・磁気圏の詳細観測によって、初めて地球を相対化し、「惑星磁場・磁気圏」研究に飛躍をもたらす。

MMOに搭載される 科学観測装置(予定)

ESA	電子スペクトル計測器
MSA	イオン質量分析器
SWA	太陽風イオン計測器
HEP-e	高エネルギー電子計測器
HEP-i	高エネルギーイオン計測器
ENA	高速中性粒子計測器
MGF	磁場計測器
PWI	電場・波動・電波計測器
MDM	ダスト検出器
MIC	水星大気カメラ

PLANET-C 計画 (金星気象学探査衛星)

