

PLAIN センター ニュース

Center for PLAnning and INformation Systems

ドイツ便り ～ Cluster-II 衛星のデータ環境について(1)

Grüß Gott! 日本の皆様ご無沙汰しております、PLAIN センターの篠原です。私は各方面の方々のご厚意により、昨年10月から1年間、在外研究員としてドイツのマックス・プランク研究所（ミュンヘン）に滞在させて頂く機会を得ました。今回の滞在の大きな目的の1つは昨年夏に打ち上げられた ESA の Cluster-II 衛星のデータを見せていただくことです。Cluster-II は4つの同一な衛星からなり、それぞれが4面体の頂点となるように配置された衛星群で、4つの衛星の編隊観測によって地球磁気圏のプラズマ環境の変動を3次元的に観測しようという世界ではじめての大変野心的なプロジェクトです（図1）。このような編隊による衛星観測は NASA の MMS 計画や日本でも次期磁気圏観測衛星計画で検討が始まっており、その先駆たる Cluster-II の経験

や成果は世界中から注目を集めています。ここでは、2回に分けて Cluster-II 衛星の概要と地上のデータベース環境について簡単に紹介したいと思いますが、次期磁気圏観測衛星計画をはじめとした複数衛星群に対するデータ処理系の構築を考察するに当たって、本稿が少しでも参考になれば幸いに思います。また、ESA と ISAS の共同プロジェクトである水星探査計画におけるデータ処理環境を検討するに当たっても現在の Cluster-II のデータ処理環境は大変参考になるでしょう。

・ Cluster-II の科学目的

Cluster-II 衛星は太陽から噴出してくる超音速のプラズマの風（＝太陽風）と地球磁場の支配する領域（＝磁気圏）がどのように相互作用するかを調べることを目的としています。太陽風は主に

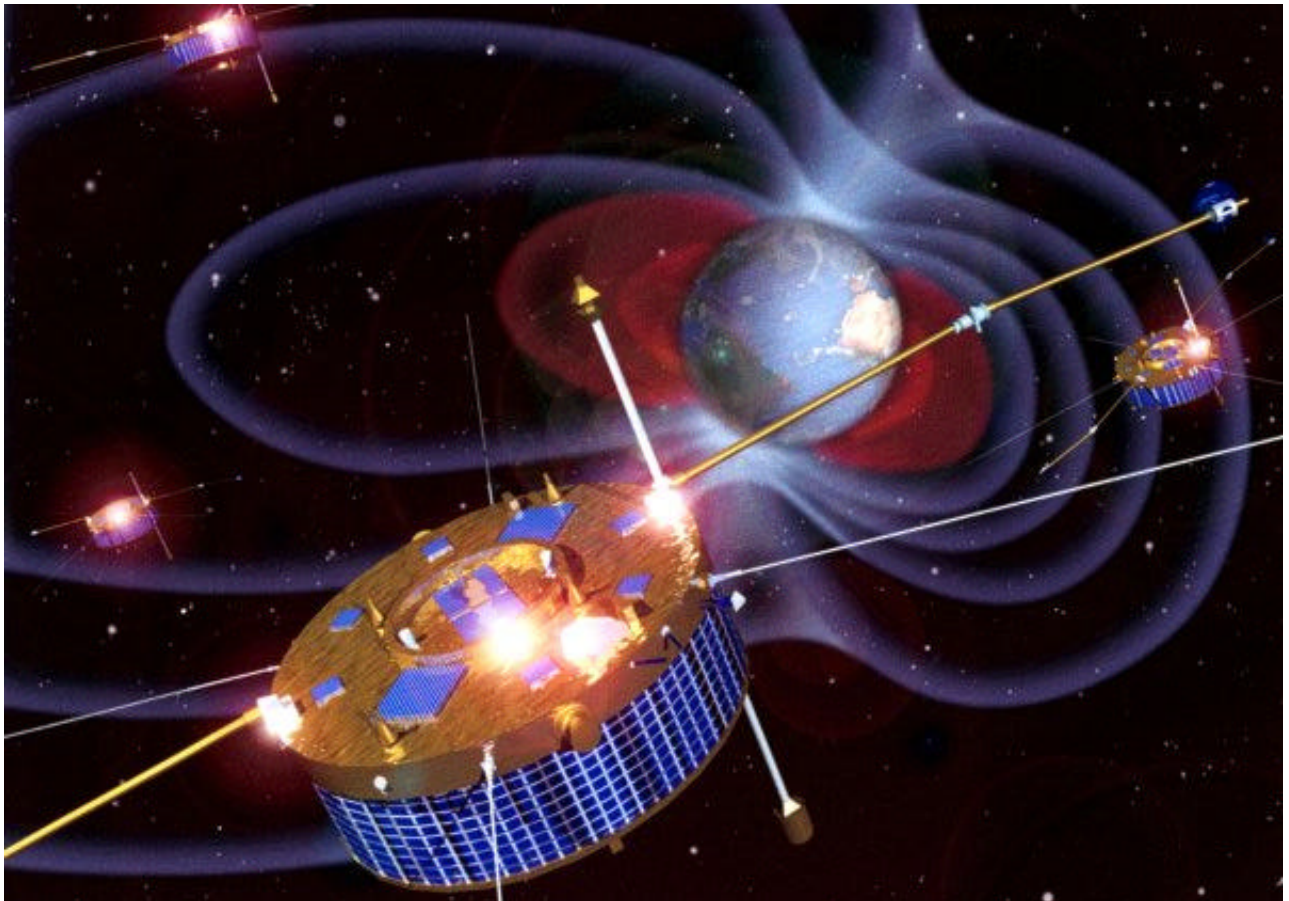


図1：Cluster-II 衛星

[裏へ続く]

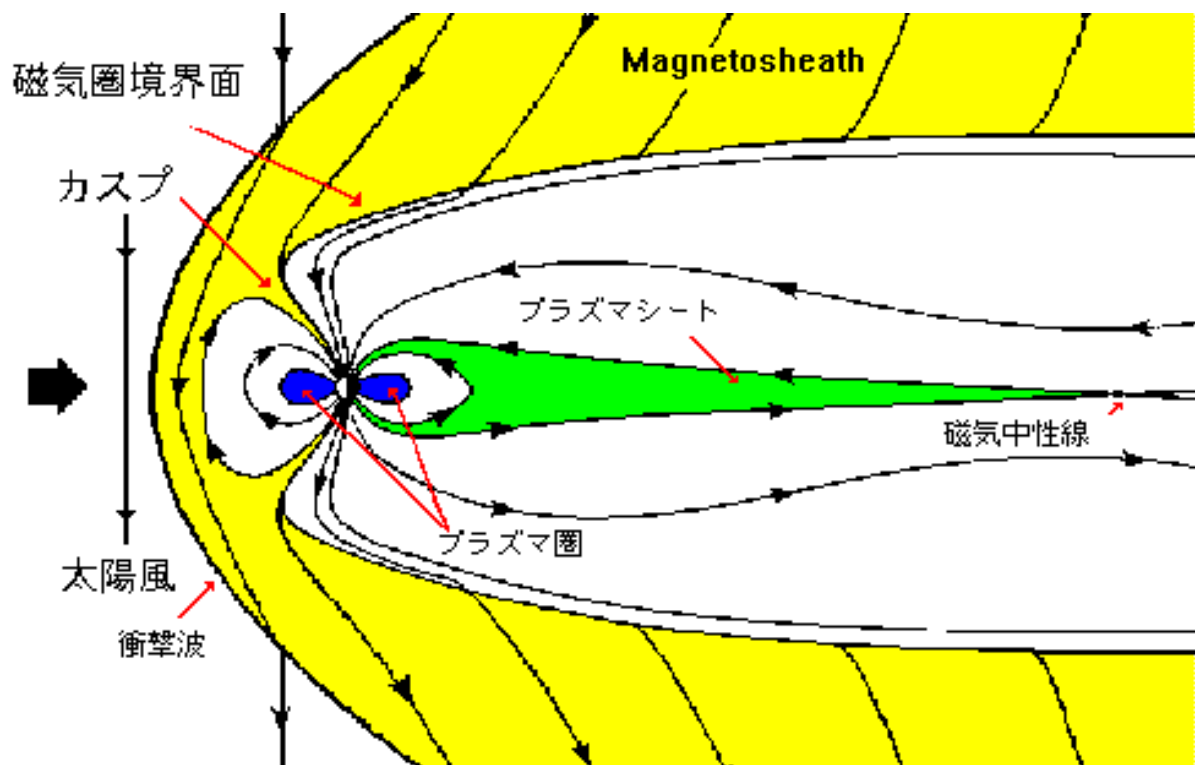


図 2：磁気圏の模式図

陽子と電子からなり絶えず地球に向けて吹き付けています。この荷電粒子の風は地球の持つ大きな磁場に遮られて普通は大気まで到達することができません。こうして地球磁場によって太陽風から保護された領域を磁気圏と呼び、昼間側は地球半径の 10 倍程度、夜側は～1000倍程度までの距離まで引き伸ばされた形をしています（図2）。しかし、太陽風の持つエネルギーは完全に地球磁場によって遮られてしまうわけではなく、太陽風と地球磁気圏の境界領域（磁気圏境界面）を通して様々な形でエネルギーや物質をやり取りしています。また、地球磁場も南北の磁極につながる領域では太陽風と直接磁場がつながる為に太陽風の粒子の一部が直接、極域の大気にふりこんでくることがあります（カスプ領域と呼びます）。この粒子は大気に衝突することによってオーロラを光らせます（注：真夜中に見える激しいオーロラは太陽風が直接ふってくる粒子ではなく磁気圏の尾部からくる粒子によって光ります。このしくみについては GEOTAIL 衛星や「あけぼの」衛星によって研究が進んでいます）。Cluster-II 衛星は主に磁気圏境界面やカスプ領域（＝太陽風と磁気圏と間のエネルギーや物質のやりとりが行われるまさにその現場）を詳細に観測することによって、その物理プロセスの詳細を理解することを目指しています。

・ 何故 4 つの衛星なのか？

ところで、何故、Cluster-II は 4 機の衛星で構成されているのでしょうか？従来、磁気圏をはじめと

する宇宙空間のプラズマ環境の観測は 1 つの衛星による 1 点観測であることがほとんどでした。1 点の直接観測は、まさにその場でどんなことが起こっているかを観測できるという利点があるものの、その変化が空間的な変化によるものなのか時間的な変化によるものなのかを本質的に区別ができない、という大きな欠点があります。Cluster-II の関係者達はしばしばこのことを「屋根の雨漏り」で説明します。従来の観測では「屋根（＝磁気圏境界面）が雨漏り（太陽風の侵入）することがわかったけれど、「雨漏りの穴がどのくらいの大きさでどのくらいの（時間又は空間）間隔であいているのか？」は 1 人（＝衛星）の観測ではわからなく、適切な間隔をもって構成された複数点の観測が必要となります。また、この屋根の構造が面でなく 3 次元的な構造を持っているならば観測点も 3 次元的な配置でなければならず、4 機は 3 次元的配置の最小構成（4 面体）なのです。Cluster-II 衛星の場合は衛星間の間隔をその観測目標領域に応じて半年毎に変更することになっています。冬期にはカスプ領域・磁気圏境界面を中心とした昼間側領域を観測、夏期には尾部のプラズマ・シートを中心とした夜側の領域を観測するような軌道設計になっているので（図3）、2001 年 1 月に始まった定常観測では当初衛星間距離は約 600 km とされていましたが、2001 年の 6 月からは尾部観測に備えて衛星間距離が約 2,000 km に広げられました。2002 年の 2 月に予定されている次の観測

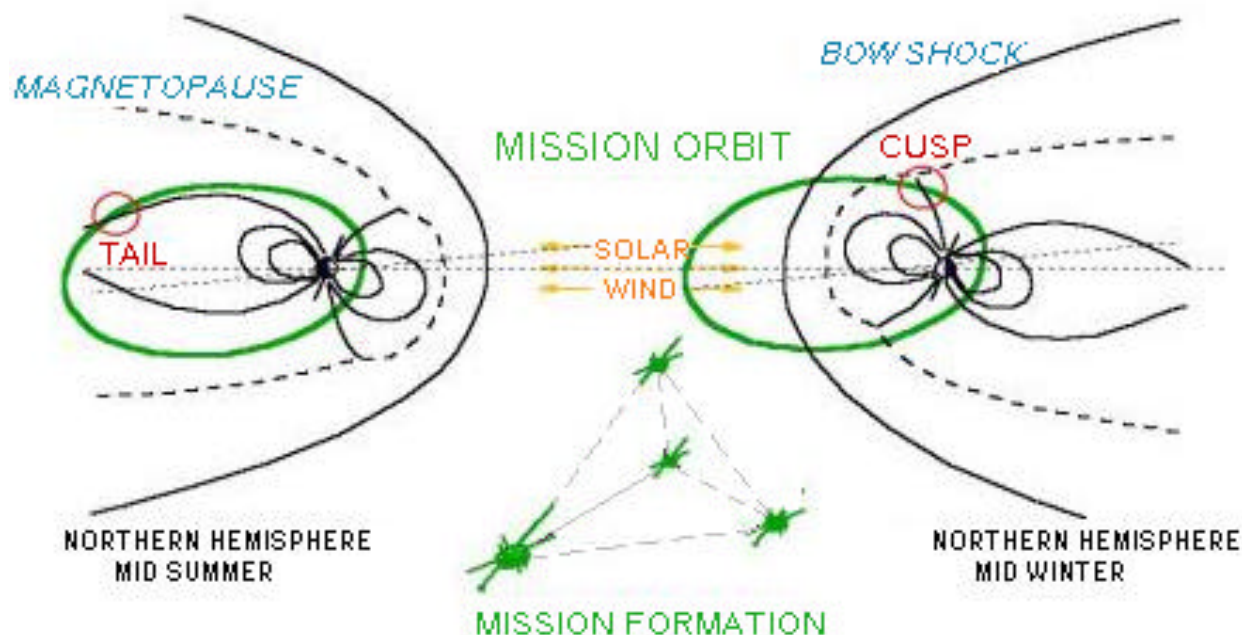


図 3 : Cluster-II の軌道

フェーズでは再び昼間側磁気圏の観測の為に衛星間隔は約100 kmにまで狭められることになっています。4つの衛星はその間隔だけでなく遠地点付近で衛星の構成が最も正4面体に近い形になるようにも設計されています。既に、Cluster-II 衛星は最初の磁気圏境界面観測を行っており、4機の衛星により磁気圏境界面の波打ち構造の詳細が明らかになりつつある等、編隊観測の威力を見せつけはじめています。今後、更に解析が進むのが大変楽しみです。日本においても GEOTAIL 衛星との共同観測等がこれから進められることになります。

・衛星の概要

さて、科学目的の説明が長くなったので話が前後してしまいましたが、衛星の概要を紹介しておきます。Cluster-II の4機の衛星は2000年の7月16日と8月9日の2回にわたって2対の衛星がカザフスタンのバイコヌール基地からソユーズロケットを使って打ち上げられました。4つの衛星には公募を経てそれぞれに愛称がつけられていて SC1 = ルンバ、SC2 = サルサ、SC3 = サンバ、SC4 = タンゴと呼ばれます。「4つの Cluster カルテットが宇宙空間でダンスを繰り広げる、」というイメージ（図4）で命名されたそうで、いかにもヨーロッパ風の洒落た名前です。軌道の遠地点は地球半径の19.6倍、近地点は地球半径の4倍の極軌道衛星で軌道周期は57

時間。スピン衛星でスピン周期は15 rpm、スピン軸は黄道面に垂直となっています。衛星の大きさは直径2.9 m、高さ1.3 m、重さが2,000 kg（科学機器71 kg）で、長さ50 mの4本のアンテナと2本の長さ5mのマストが伸びています。1つの衛星上には11の科学観測機が搭載されており（表）、4つの衛星の構成はすべて等しいものになっています。2000年夏の打ち上げから年末にかけての約5ヶ月間に初期運用として各観測機のチェック等が行われましたが、4つの衛星で計44の測定器のうち、1つの衛星のイオン分析器と別の衛星のポテンシャルコン

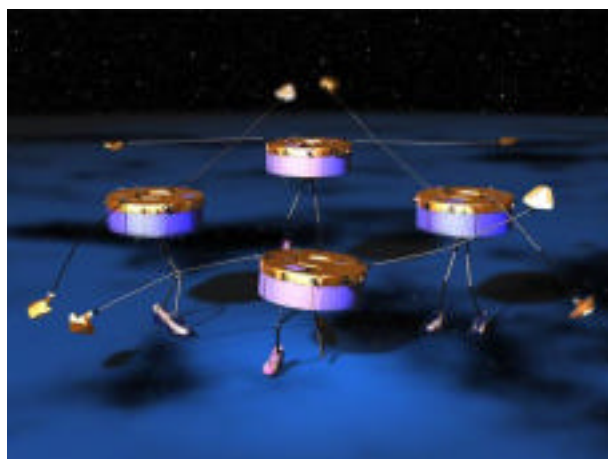


図 4 : Cluster カルテット

[裏へ続く]

トローラー、計2つが残念ながら正常に動作しないことがわかりました。とはいえ、44のうち 42 もの機器が正常動作しているということは大変素晴らしいことです。これらの衛星群の管制は主にドイツのダルムシュタットにある ESA の宇宙管制センター(ESOC: European Space Operations Center)で行われ、スペインのヴィラフランカにある 15 m アンテナからコマンドが送信されます。一方、衛星からのテレメトリーは同じくヴィラフランカにある 15 m アンテナから取得され、ESOC を経て各データセンターへ生データが配布されることになって

います。テレメトリーは一部、米国の深宇宙ネットワークのサポートを受けて受信されます。ヴィラフランカでの可視時間は約10時間ですが、4つの衛星のデータを受信するために1機あたりの正味は2時間半に限られてしまいます。この為、各観測機器はいくつかの観測モードを備えており、重要なイベント時(磁気圏境界面通過、等)にのみ詳細なデータを取得する(バーストモード)ように工夫されています。それでも、総データ量は1日あたり平均約1 Gbyte にもなり、約2年間のミッション・ライフで 800 Gbyte 弱のデータを取得することになります。44もの観測機器のいくつかの観測モードを整理してコマンド計画を作成するのが大変な仕事であることは想像に難くありませんが、この仕事はイギリスにある JSOC (Joint Science Operations Center) で行われます。各機器の PI からのリクエストに応じて JSOC で衛星へ伝送するプログラムを作成し、それを ESOC から衛星へ伝送するという事になっているようです。さて、今回はそろそろ与えられた紙面が尽きてしまったので、本題である「ESOC で取得されたデータがどのように配布されデータベ

観測機器名	観測項目
ASPOC	Active Spacecraft Potential Control (ポテンシャル・コントロール)
CIS	Cluster Ion Spectrometry (イオン)
EDI	Electron Drift Instrument (電場)
FGM	Fluxgate Magnetometer (磁場)
PEACE	Plasma Electron and Current Experiment (電子)
RAPID	Research with Adaptive Particle Imaging Detectors (高エネルギー粒子)
DWP	Digital Wave Processing Experiment (波動)
EFW	Electric Field and Waves (電場)
STAFF	Spatio-Temporal Analysis of Field Fluctuations (波動)
WBD	Wide Band Data (波動)
WHISPER	Waves of High Frequency and Sounder for Probing of the Electron Density by Relaxation (波動)

表：Cluster-II 衛星搭載観測機器

ス化されているか」については次回に話を続けたいと思います。

・近況など

日本は大変暑くなっているようですね。こちらでもここ1、2週間には30度を超える日もできました。皆さんご存知のようにミュンヘンはビールの本場ですが、5月頃から日が長くなり比較的暖かい日になると、ドイツ人たちは街のあちらこちらでビアガーデンや街路のテラス等の屋外でビールを飲みだします。昼間に屋外で飲むビールは美味しいものですね。とある日曜日に公園のビアガーデンでビールを注文したところ、いきなり 1 ㇫のジョッキがデン！0.5㇫のがよい、といったのに面倒くさそうに「ジョッキが無い。」とおじさんのつれないお答え。オクトーバーフェストでは 1 ㇫のジョッキ(マースといいます。)しかないとは聞いていたのですが… これに懲りた後、ある別の街のレストランでビールを注文した時、店員：「大きいジョッキにしますか?」、私：「いいえ、0.5㇫のがいいです。」、店員：「それが大きいのですよ!」、ミュンヘン子って特別なのでしょうか、それともレストランだったからかな? (篠原 育)

大型計算機のお知らせ

大型計算機の7月・8月の保守作業の予定

M:システムメンテナンス

ホスト名	7月16日(月) 8:00~13:00	8月20日(月) 8:00~13:00
Alpha サーバ	M	
GS 8300/10N		M

(三浦 昭)