

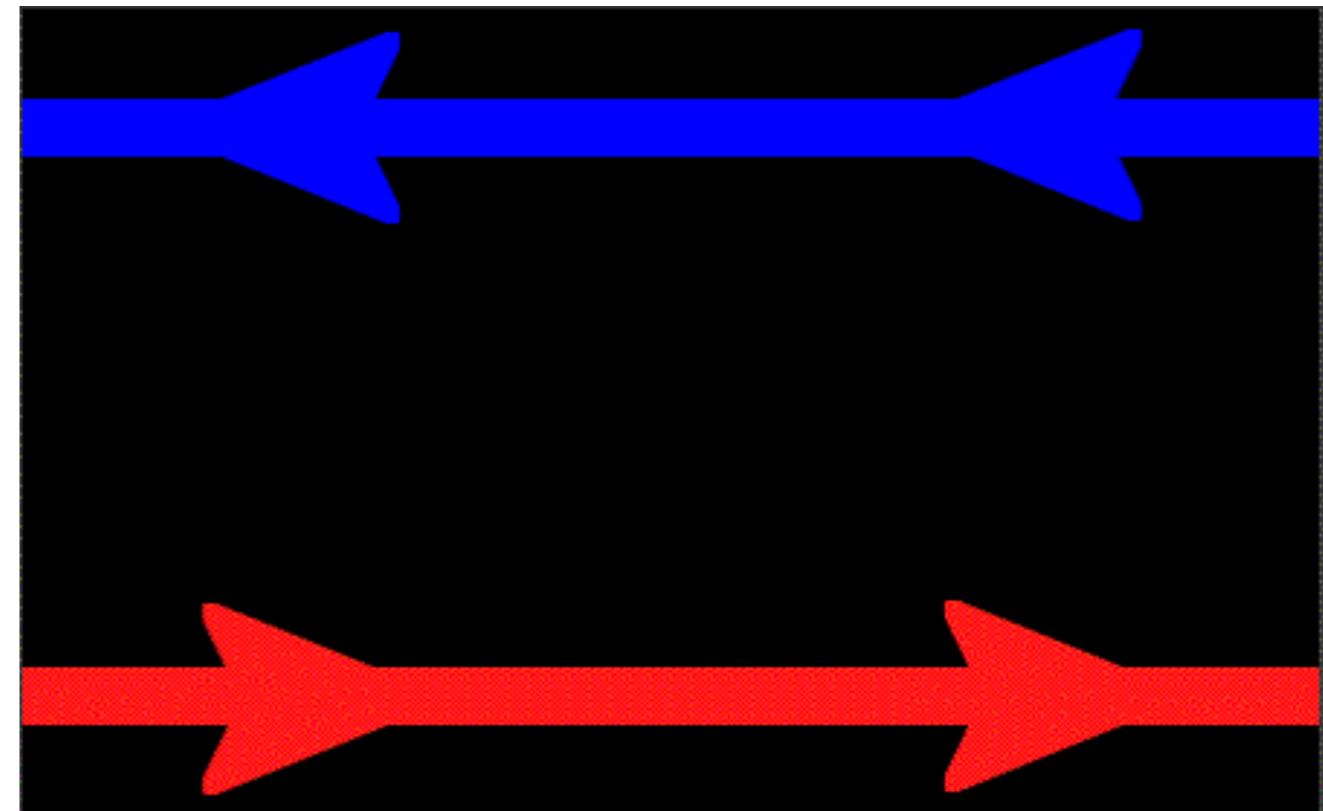
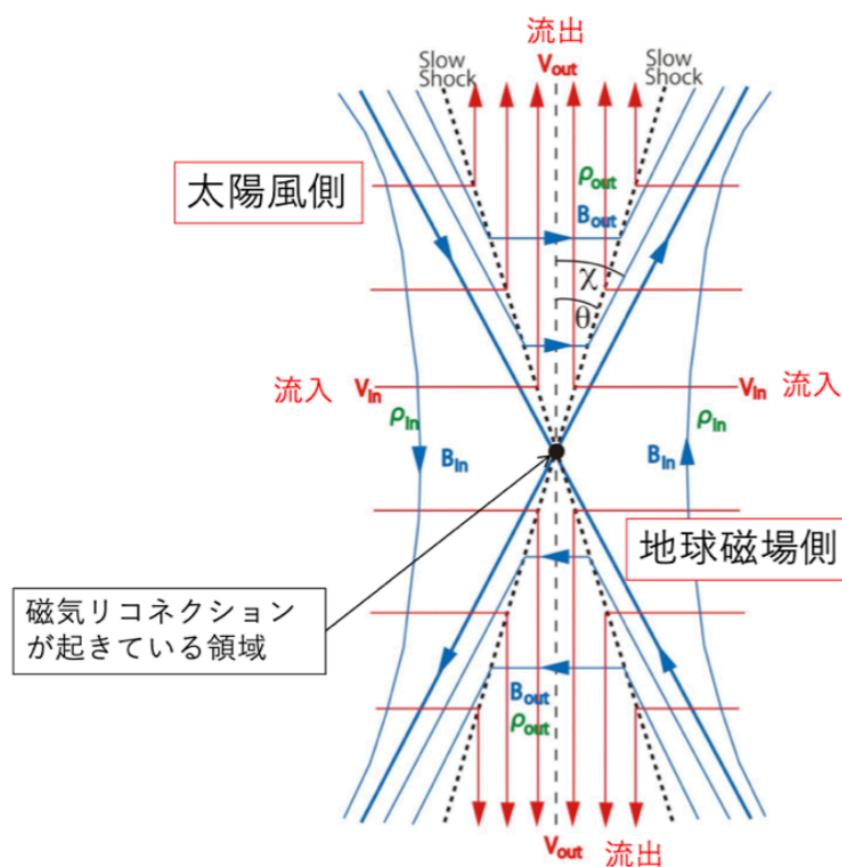
DD6
Cluster衛星のデータから見る
磁気リコネクションの様子

はじめに

- ・ 今回から2回にわたり、磁気圏境界で起こっている磁気リコネクションと呼ばれる現象について見ていく。
- ・ 磁気リコネクションは、太陽フレアやオーロラ発光などの現象の背後に起こっている宇宙プラズマ環境における普遍的な現象である。
- ・ 解析にはCluster衛星のデータを用いる。

磁気リコネクション

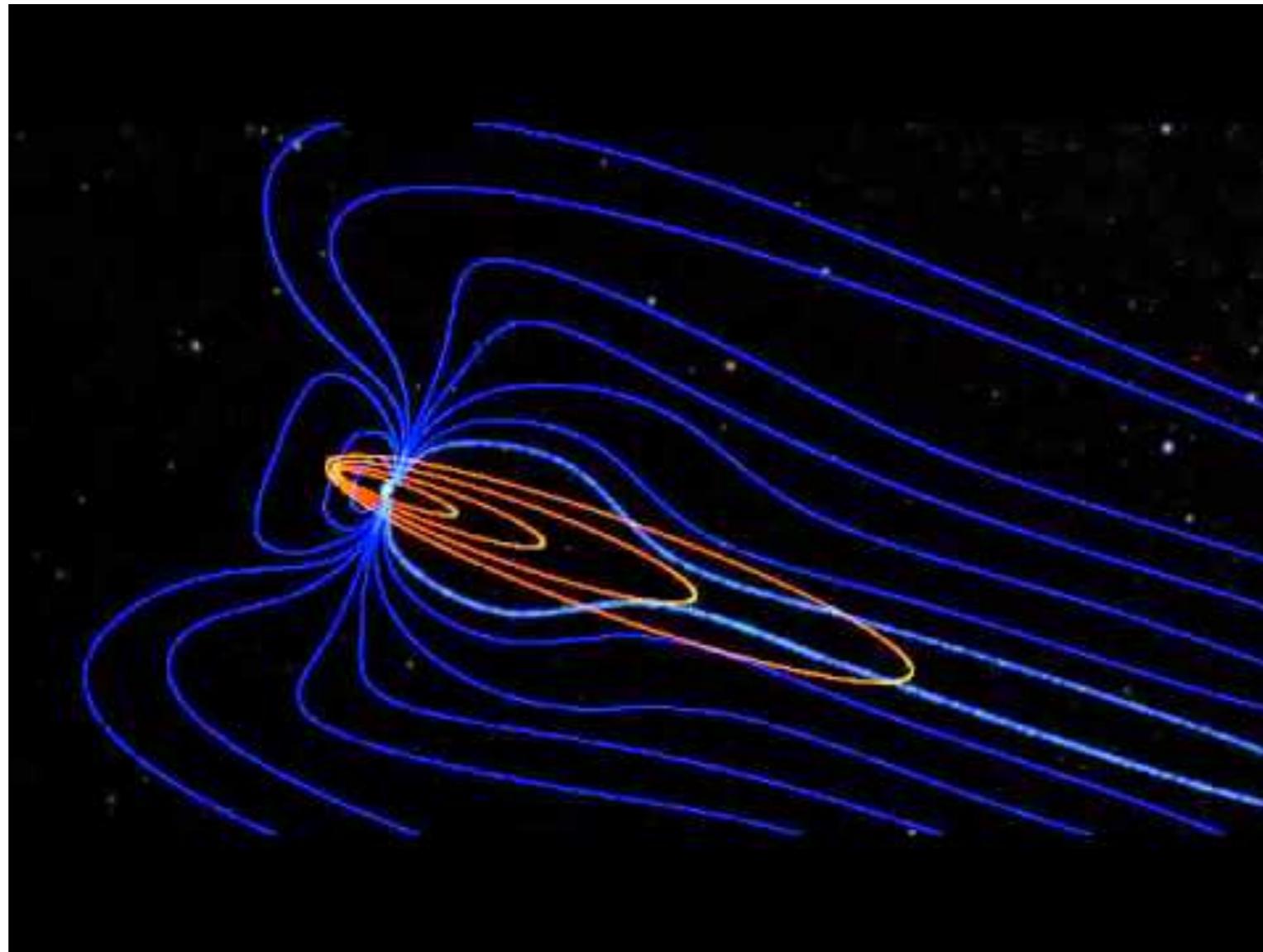
磁気リコネクションの形状（低緯度マグネットポースでの場合）



[https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2006/05/
Schematic_of_magnetic_field_lines_during_reconnection](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2006/05/Schematic_of_magnetic_field_lines_during_reconnection)

- 反平行な磁力線同士が”繋ぎ変わる”ことで起こる。
- 繋ぎ変わりの後には磁場強度が減少し、その分の磁場エネルギーが
プラズマの運動エネルギーや熱エネルギーへと変換される。

リコネクションによる磁気圏対流



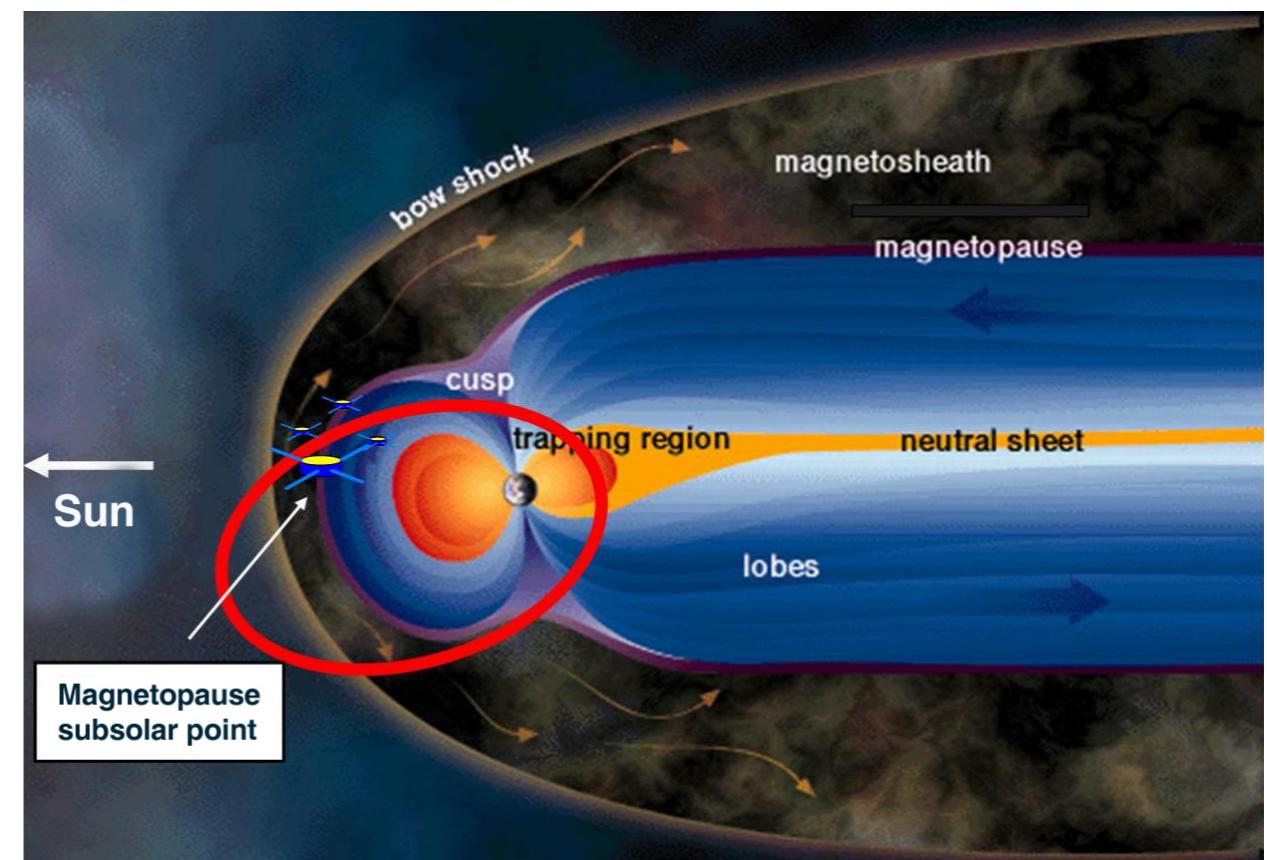
<https://www.youtube.com/watch?v=8NDPsSZCcz0>

- ・ リコネクションにより歪んだ磁力線は磁気張力を持つ。
- ・ 磁気張力により、プラズマは引きずられて加速し、磁力線の再配位が起こる。
- ・ リコネクションは磁気圏のグローバルなプラズマの動きに影響する。

Cluster衛星

- 地球磁気圏の主に境界領域の観測を目的に打ち上げられた。
- 4機の衛星による編隊飛行

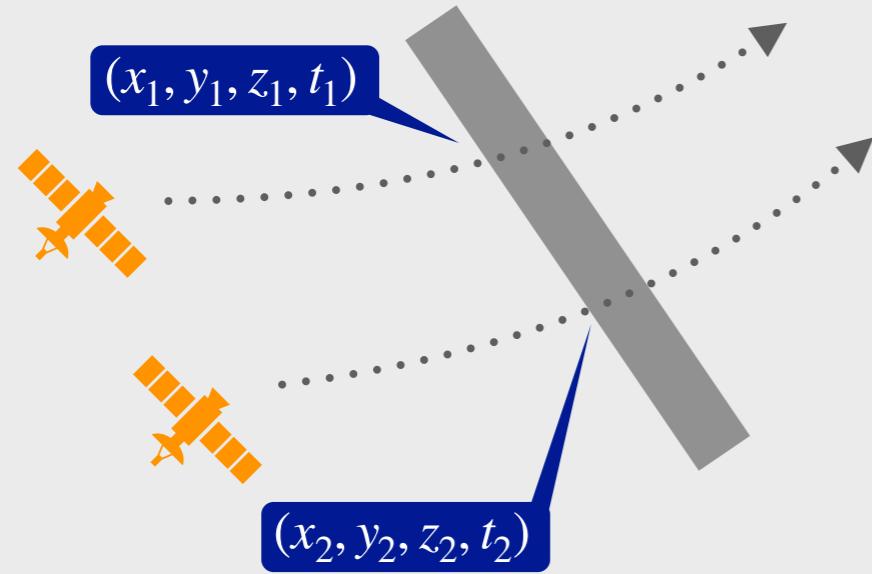
Operation	2000/10/10 ~ 2000/10/10
Orbit	Apogee: km Perigee: km
Constellation	
Period	2.5 days
Instruments	<ul style="list-style-type: none">• CIS (Ion)• FGM(Magnetic Field)• PEACE(Electron)• EFI(Electric Field, ~ 0.25 Hz)• STAFF(Wave, ~8 kHz)...



複数機観測のアドバンテージ

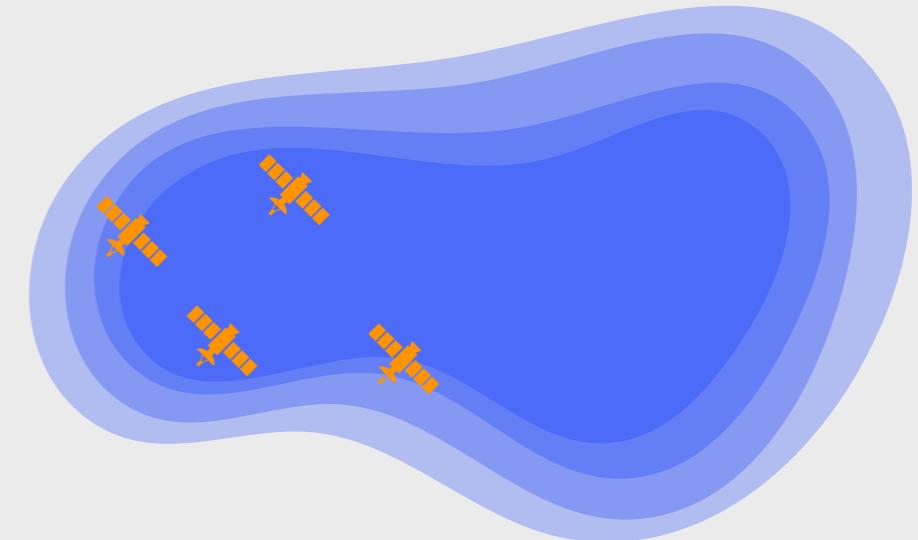
単機衛星だけではわからない構造の動きや空間勾配を知ることができる。

1. 構造の向きや移動速度の推定



例：カレントシートの向きと移動速度

2. 物理量の空間勾配の計算



例：磁場の空間勾配

! 例えば空間勾配の計算のためには、衛星間の距離が変化の空間スケールよりも十分小さい必要がある。このように、知りたい情報が観測から引き出せるのかどうかを常に意識しなければならない。

進め方

- ・ 私が研究で使うために作ったCluster衛星データの解析ツールと、衛星データ解析用ライブラリであるSPEDASを組み合わせて解析を行う。
- ・ リコネクション領域の磁場構造のプラズマの運動の様子を見ることで、地球磁気圏境界におけるダイナミクスを理解する。
- ・ 解析の進め方は、以下のgithubページにて説明する。
https://github.com/HarutoKoike/DD6_2022

データのロード・プロット

- 解析する期間を指定し、データをロードします。

```
IDL> timespan, ['2004-03-10/12:00:00', '2004-03-10/13:00:00'] ;期間の設定
```

```
IDL> cl_load, 3, /fgm, /cis ;Cluster3のFGM(磁場)とCIS(イオン)データをロード
```

- ロードしたデータはSPEDASのtplot変数に格納されます。tplot_namesで確認してみます。

```
IDL> tplot_names ;ロードされたSPEDASのtplot変数の名前と通し番号を表示
```

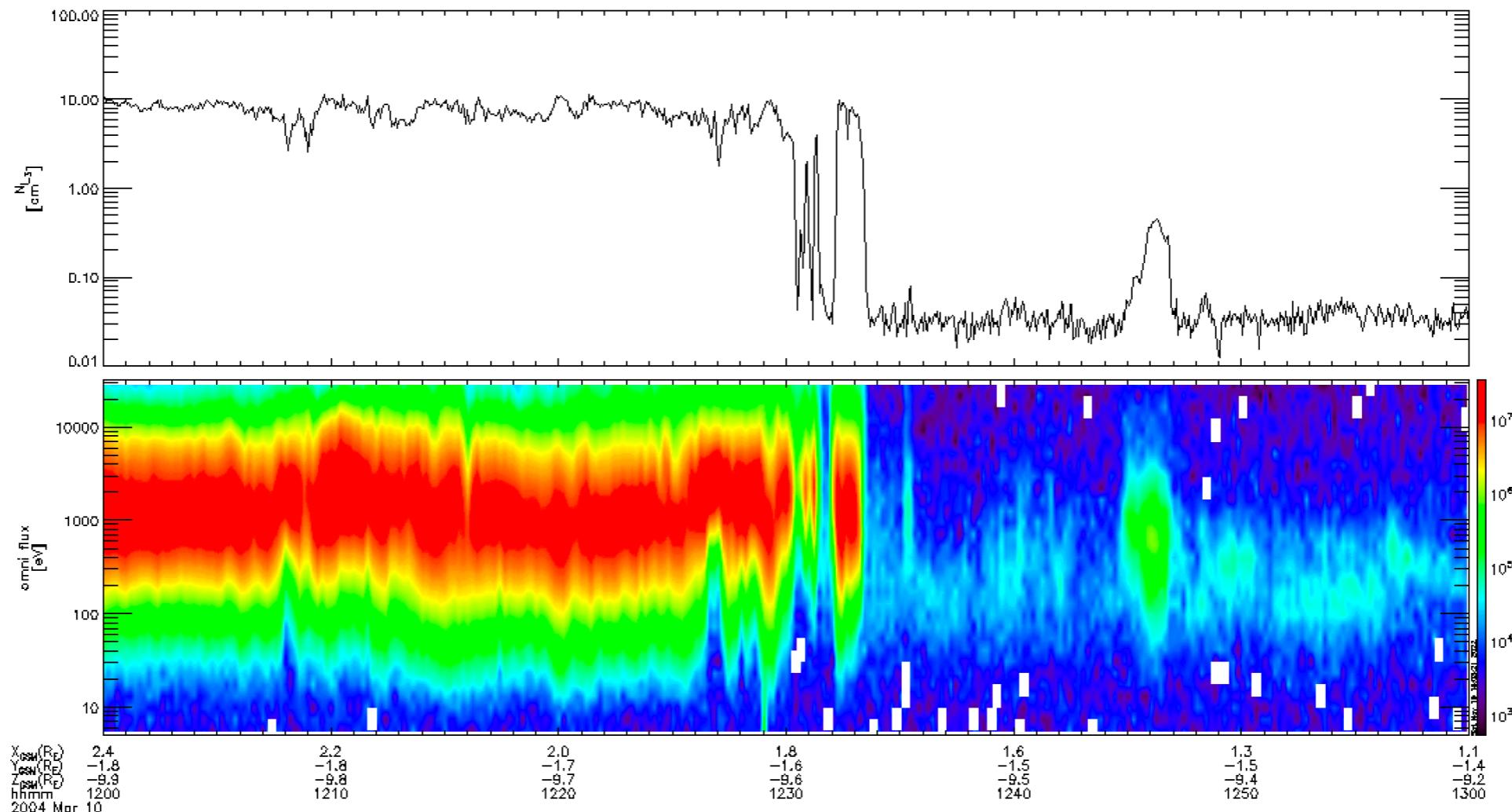
```
1 status_C3_PP_CIS  
2 N_p_C3_PP_CIS  
3 N_01_C3_PP_CIS  
. .
```

- tplot変数をプロットしてみましょう。変数名もしくは通し番号を指定します。
イオン数密度('N_HIA_C3_PP_CIS')とイオンフラックス('flux_C3_CP_CIS-HIA_HS_1D_PEF')をプロットしてみます。

```
IDL> tplot, ['N_HIA_C3_PP_CIS', 'flux_C3_CP_CIS-HIA_HS_1D_PEF']
```

その他の操作

- tplot変数にデータを格納することで、SPEDASで用意された様々な処理ができるようになります。前回までの演習で使ったtlimitやctime, time_clipなどの操作もそのうちの一つです。



スクリプトの作成

- 何度も同じ操作を繰り返す場合にはスクリプトを組むと便利です。
- 例えば、ある時刻の密度のデータを表示する処理を'test_script.pro'というファイル名で保存します。
(.proはIDLのプログラムであることを表す拡張子)

test_script.pro

```
get_data, 'N_HIA_C3_PP_CIS', data=ni  
t = time_double('2004-03-10/12:27:00')  
tmp = min(abs(ni.x - t), idx)  
print, ni.y[idx]  
end ; 最後にendを入れる
```

- コマンドで'.r test_script'と実行すると、スクリプトの一連の処理が実行されます。

```
IDL> .r test_script ; ".pro"は含めなくてよい  
% Compiled module: $MAIN$  
2.21940
```

課題

【課題5】

2004年3月10日12時20分からの20分間において、Cluster3の観測した①イオン数密度、②イオンフラックス、③磁場3成分(GSM)、④イオン速度(磁場平行・垂直)の4つの変数を1枚にまとめたプロットを作成せよ。磁場とイオン速度には $y=0$ の横線を引くこと。この期間でイオンのエネルギーが急激に増加している領域を衛星が通過していることが確認できる(例えば12:27 UT頃)。

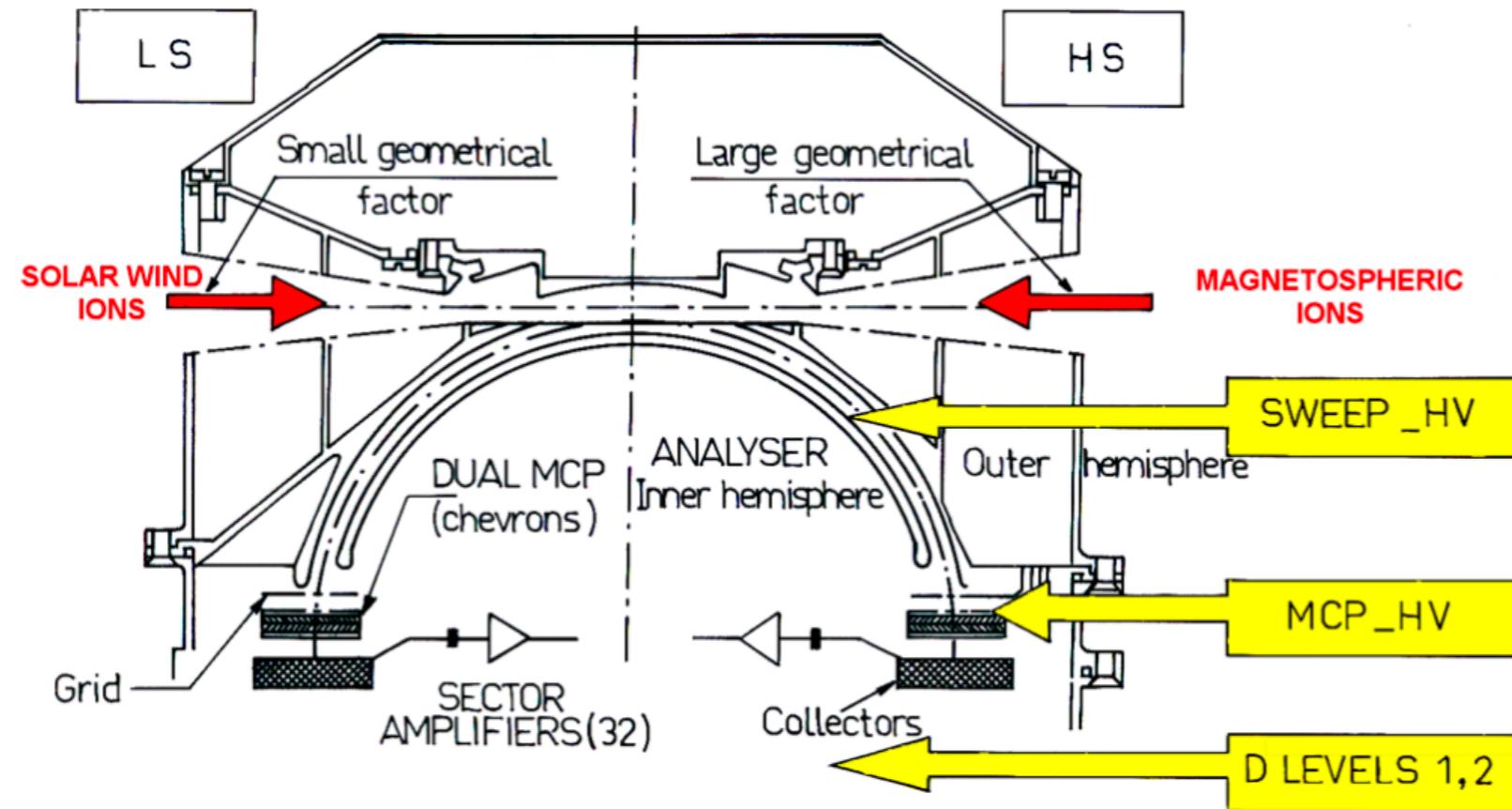
この20分間にイオン数密度の大きさは2桁ほど変化していることがわかる。このことから衛星が地球のマグネットポーズを横切ったことがわかる。磁場やイオン速度のデータをもとに、衛星がどのような軌道を通過してきたのかを時刻と共に図示せよ。ただし、磁気圏をGSM座標の $Y=0$ の断面で夕方側(Y 軸正の方向)から見たとして、磁力線の形状と共に衛星の軌道を書くこと。レポートは2枚の図を用いてまとめること。

(ヒント：衛星は南半球のローブ領域付近を通過していた。)

【課題6】

衛星がマグネットシースを通過している期間と加速されたイオンを観測した期間のそれぞれで1つ時刻を決め、その時刻でのイオンのエネルギー・フラックスを、横軸をエネルギー、縦軸をフラックスとして両軸を対数スケールでプロットせよ。2つの時刻のフラックスは色を分けて重ねてプロットし、2つの時刻のフラックスが最大となるエネルギーの位置に縦線を引くこと。縦軸と横軸には適切なキャプションをつける。次に、マグネットシースの磁場強度の大きさとイオン数密度を読み取り、その大きさに対応する磁場エネルギーが全てイオンの運動エネルギーへと変換された時の速度を見積もれ。ただしイオンは全てプロトンだと仮定してよい。さらに、2つの縦線の間隔(エネルギーの差)を求め、その大きさと求めた速度に対応するイオンの運動エネルギーの大きさを比較せよ。比較の結果からどのようなことが推測できるかを考察せよ。

Clusterに搭載された粒子計測器



- 電場を印加し、特定のエネルギー帯の電荷のみをカウントする。
(Energy Sweep)
- 粒子計測器は常に全方向から来る粒子を計測するわけではない。
- 衛星は4秒周期でスピンしており、スピンによって計測器は全方向を計測する。