

太陽風準周期変動に対する 地球磁気 圏応答時間の統計解析研究

上川 佳（宇宙地球電磁気学研究分野）

発表の流れ

☝ I. はじめに

☝

☝ II. DP 2変動の過去の研究

☝

☝ III. 1996年5月に観測された

☝ 2つの異なるタイプのDP 2変動について

☝ IV. 統計解析 (1999年4月～2000年3月)

☝

☝ V. 結果・結論

☝

☝ VI. 考察・今後の課題

I. はじめに

☛ 今、我々が問題としていることは...

太陽（太陽風） ⇔ 地球磁気圏 ⇔ 電離層・地上

それぞれの上に、どのような関係が成り立っているか？

本研究では、
太陽風の準周期的変動によって発生する地磁気擾乱のひとつ、

「DP 2 (Disturbance Polar of secind type) 変動」

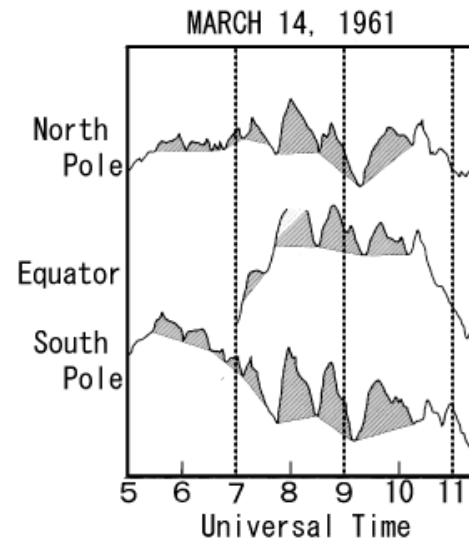
を通じて、地球磁気圏の太陽風準周期変動に対する
応答のメカニズムを解明する。

II. DP 2変動の過去の研究

DP 2変動とは？

汎世界的に同時観測される

周期帯が数十分～数時間の準周期的地磁気擾乱。



図：DP 2変動 (Nishida, 1968)

- ・ 惑星間空間磁場の周期的変動と相関が良い (Nishida, 1968)
 - ・ 太陽風動圧変動の周期的変動と相関は悪い (Nishida and Maezawa, 1971)
- ことが確認されている。

II. DP 2変動の過去の研究

(発生メカニズム)

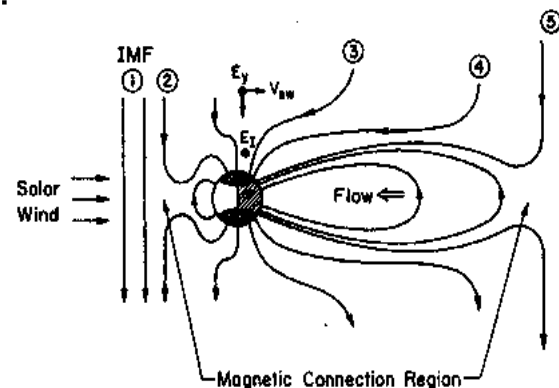
惑星間空間磁場(IMF Bz)が南向き(負)の時、地球磁気圏と再結合(リコネクション)する。

この時、太陽風中の電場

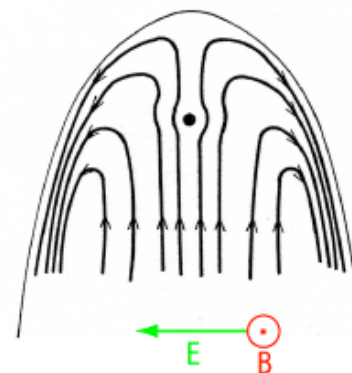
$$E = -v \times B$$

が地球磁気圏内に浸入。

地球磁気圏内のプラズマは、この浸入電場の影響で、 $E \times B$ ドリフトを起こし、対流を励起する。



図：磁力線再結合
(Dungey, 1961)



図：磁気圏対流
(Nishida, 1968)

II. DP 2変動の過去の研究

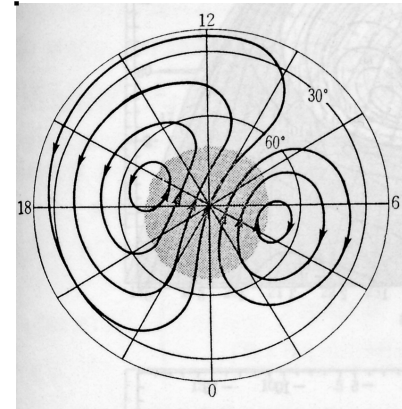
その対流の影響が、沿磁力線電流によって
高緯度電離層に伝わり、
朝側：時計回り
夕方側：反時計回り
の2つ渦の電流系（DP 2電流系）を形成させる。

※右図上は北極を中心に電離層を上から見たもの。

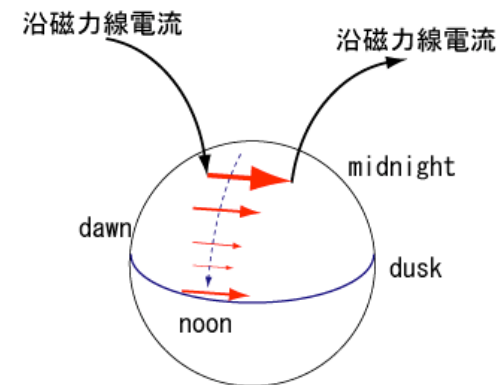
中・低緯度電離層は、...

高緯度電離層の渦電流を形成する電場
ポテンシャルが、導波管モードによって
赤道域まで伝播。

以上の影響が、地上観測点で汎世界的に観測



図：DP 2電流系
(Nishida, 1968)



図：中低緯度への
伝播モデル

II. DP 2変動の過去の研究

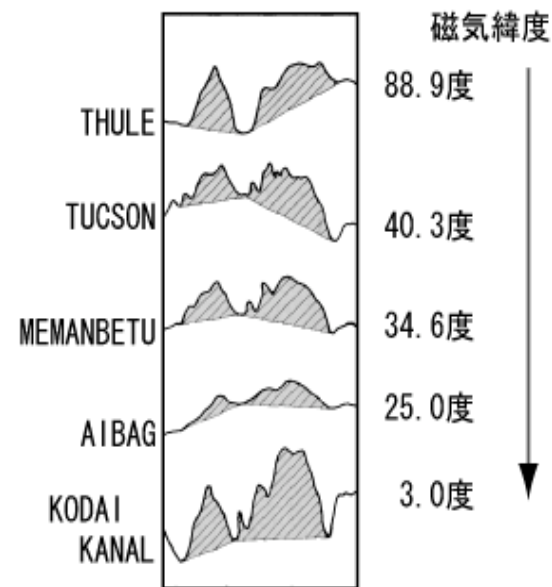
(DP 2変動の性質)

DP 2変動の振幅は
極域 → 中・低緯度
伝播する過程で、振幅は減少していく。

磁気赤道上の電離層では、
磁力線の傾きと、電離層中の中性大気と
プラズマの衝突の影響により、局所的に
電気伝導度が増大し、入力電場に対して、
強い電流を流し、地上磁場変動の振幅が
増大する（赤道 エンハンス）。



赤道エンハンスは高緯度電離層に対する
電場浸入の証拠。



図：同一経度線上での、
振幅・緯度分布
(Nishida, 1968)

Ⅱ. DP 2変動の過去の研究

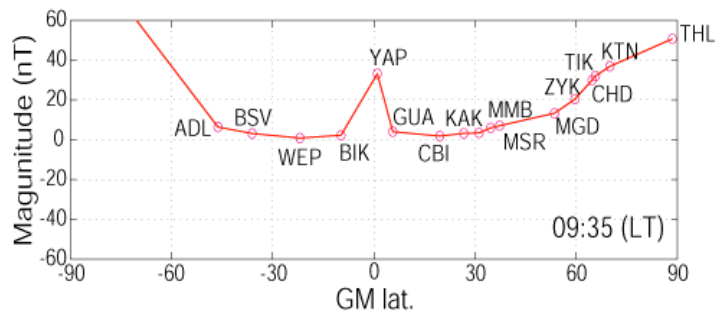
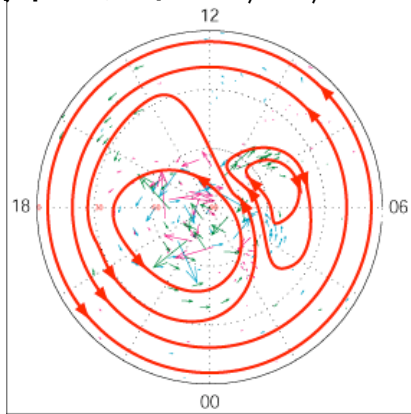
<DP 2変動・過去の研究のまとめ>

- ① 周期帯・数十分～数時間の準周期的地磁気擾乱
- ② 汎世界的に同時観測
- ③ 高緯度電離層は、地球磁気圏内部の対流の影響を受け、
2つ渦の等価電流系を形成
- ④ 極域から中低緯度に伝播する間、振幅は減衰傾向にあるが、
磁気赤道上では赤道エンハンス現象を観測
- ⑤ 惑星間空間磁場によって引き起こされる現象

以上のことが、過去の研究によって定性的に明らかにされている。

Ⅲ. 2つの異なるDP 2変動について

(イベント : 5/21/1996)



(イベント : 5/30/1996)

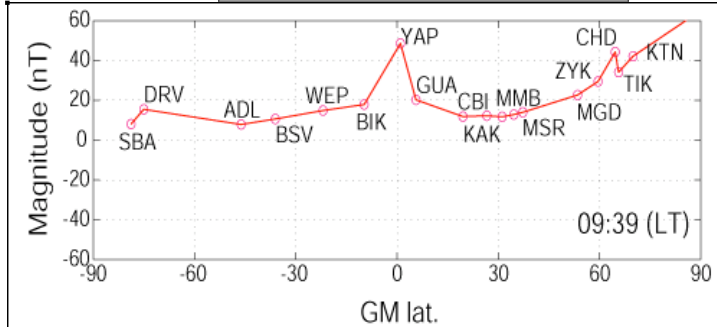
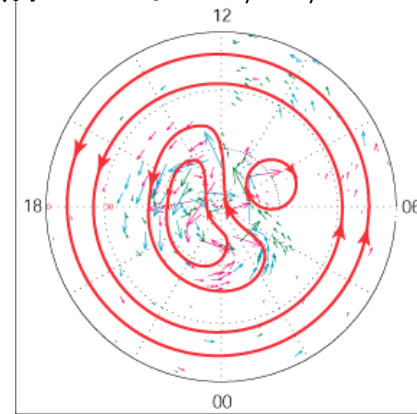
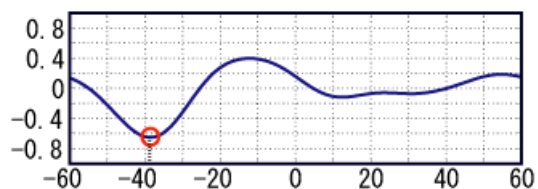


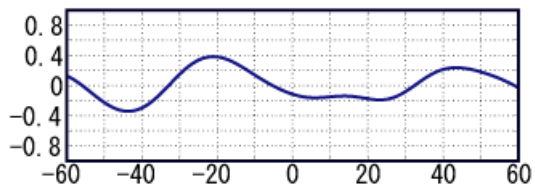
図 : 電離層中の電流系 (上) と同一経度線上での振幅・緯度分布図 (下)

Ⅲ. 2つの異なるDP 2変動について

(イベント : 5/21/
1996)
(惑星間空間磁場との相関)

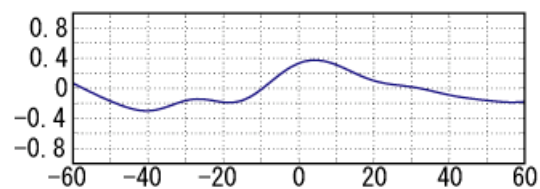


(太陽風動圧との相関)

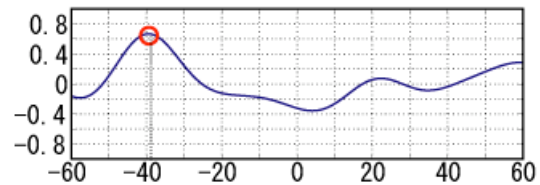


惑星間空間磁場 \leftrightarrow 地上
39分差で相関係数 : -0.65185

(イベント : 5/30/
1996)
(惑星間空間磁場との相関)



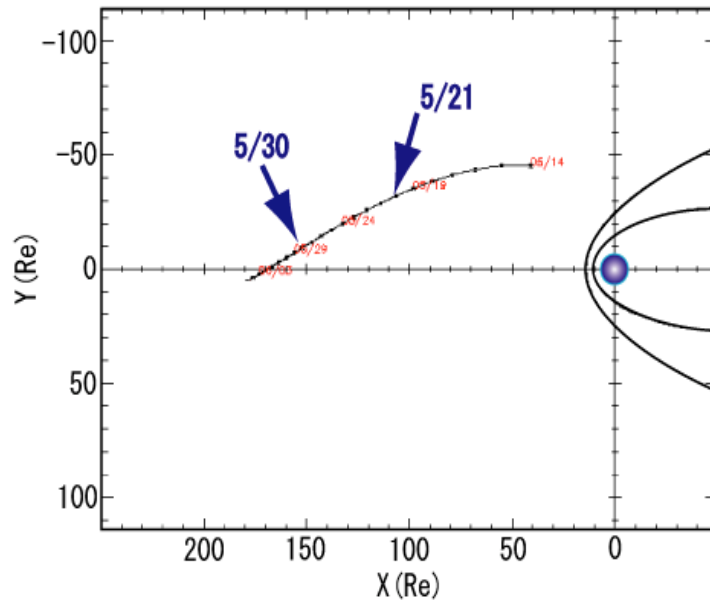
(太陽風動圧との相関)



太陽風動圧 \leftrightarrow 地上
38分差で相関係数 : 0.65185

図 : 地上観測データと惑星空間磁場・太陽風動圧との相互相関
(x軸 : 観測の時間差、y軸 : 相関係数)

Ⅲ. 2つの異なるDP 2変動について



図：人工衛星の軌道

(イベント：5/21/1996)

平均太陽風速度平均：460km/s

人工衛星の位置：111→118Re

観測時間差：39分

地球磁気圏への

到達予想時間：24分

⇒磁気圏の応答時間：15分

(イベント：5/30/1996)

平均太陽風速度平均：440km/s

人工衛星の位置：148→152Re

観測時間差：38分

地球磁気圏への

到達予想時間：34分

⇒磁気圏の応答時間：4分

Ⅲ. 2つの異なるDP 2変動について

DP 2変動には...

- ・ 惑星間空間磁場・南北成分によって引き起こされるタイプ
以外に、新たに、...
- ・ 太陽風の動圧によって引き起こされるタイプ
があることを発見。

(共通点)

- ・ 電離層中で描かれる電流系のパターンは同じ
- ・ 磁気赤道上で、赤道エンハンス現象あり

(相違点)

- ・ 磁気圏の応答時間が違う
 - 惑星間空間磁場の場合 : およそ15分
 - 太陽風動圧の場合 : およそ 4分

IV. 統計解析

この地球磁気圏の応答時間の違いが、地球磁気圏の太陽風変動に対する応答メカニズムを解明する一つの指標となると考え、この応答時間について、統計解析研究する。

- ・ 期間 : 1999年4月～2000年3月
- ・ 観測データ : ACE衛星 (地球から太陽方向に220Reのところ)
惑星間空間磁場
太陽風の動圧変動
環太平洋地磁気ネットワーク (CPMN group)
YAP (磁気緯度 : 0.50),
GAM (磁気緯度 : 5.64)
- ・ 解析方法 : YAP, GAMの差分 (赤道エンハンス成分) と、
惑星間空間磁場・太陽風動圧についてそれぞれ
相関係数を求め、相関係数の絶対値0.55以上の
イベントにおける地球磁気圏の応答時間に
dついて、平均および平均誤差を計算する。

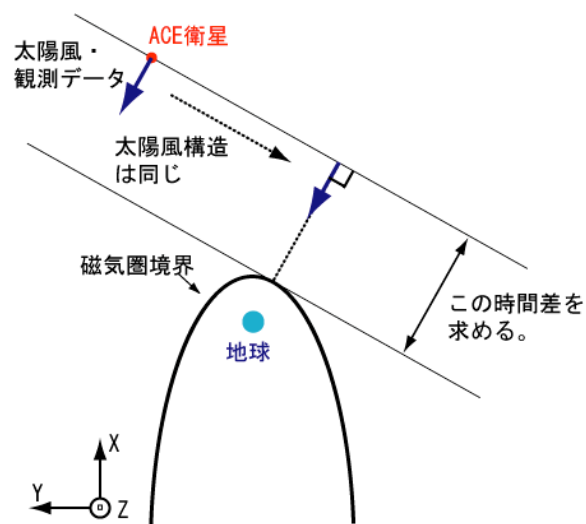
IV. 統計解析

$$\langle \text{ACEと地上の観測時間差} \rangle = \langle \text{地球磁気圏の応答時間} \rangle + \langle \text{太陽風の、磁気圏到着時間} \rangle$$

(到達予想時間の計算)

- ・ 衛星⇔地球での中で太陽風の構造は一定
- ・ 太陽風のy-z面の構造は一定
- ・ 地球磁気圏前面を10Reの半円と仮定

というのが成り立っているとし、計算を行う。



図：太陽風の地球磁気圏・到達予想時間の計算方法

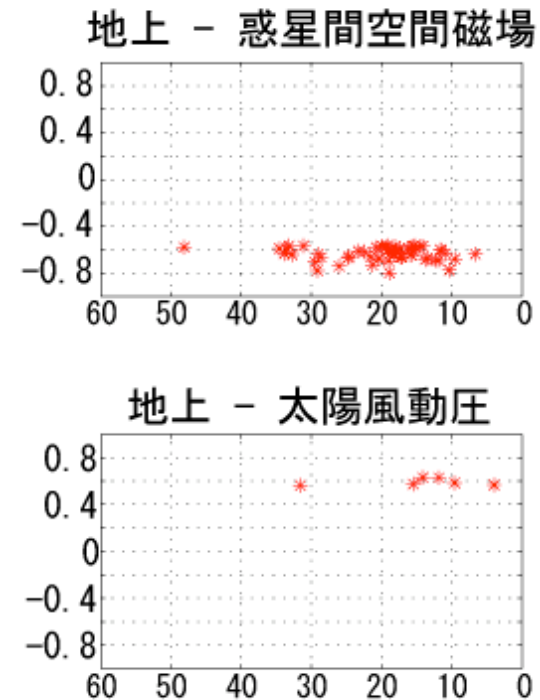
V. 結果・結論

結果、1999年4月 - 2000年3月に発生した61イベントのDP 2変動について、次のような計算結果が得られた。

- ・ 惑星間空間磁場 (52イベント)
 応答時間 : 20 ± 2 分
- ・ 太陽風動圧 (6イベント)
 応答時間 : 10 ± 7 分
- ・ 惑星間空間磁場と太陽風動圧 (3イベント)
 (計算不可)

<結論>

惑星間空間磁場によるDP 2変動は、太陽風動圧によるDP 2変動に比べて、地球磁気圏の応答時間が遅い。

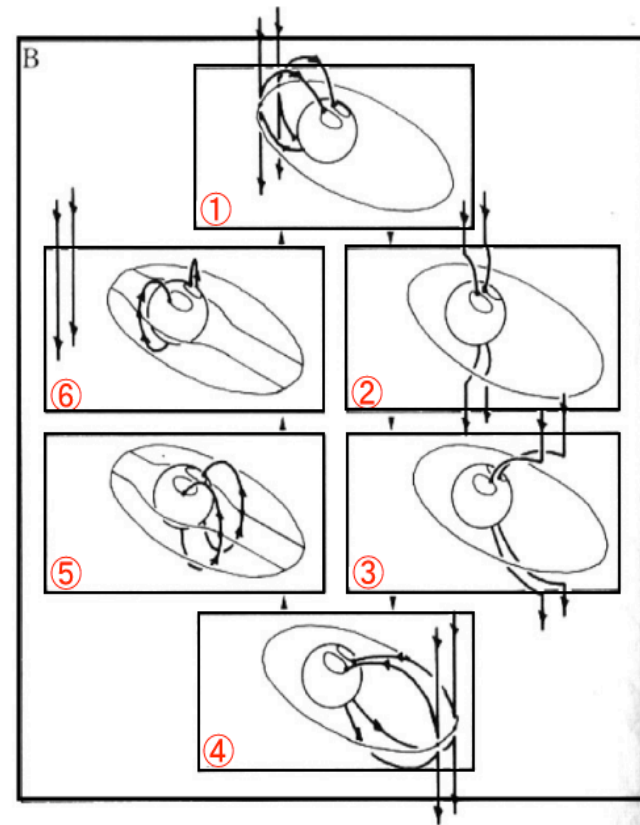


図：相関解析結果
(x:地球磁気圏応答時間、 y:相関係数)

VI. 考察・今後の課題

(惑星間磁場の場合)

数十分の磁気圏応答時間は、惑星間空間磁場が地球磁気圏境界を引き剥がすことにより、磁気圏対流を駆動させる時間であると解釈。



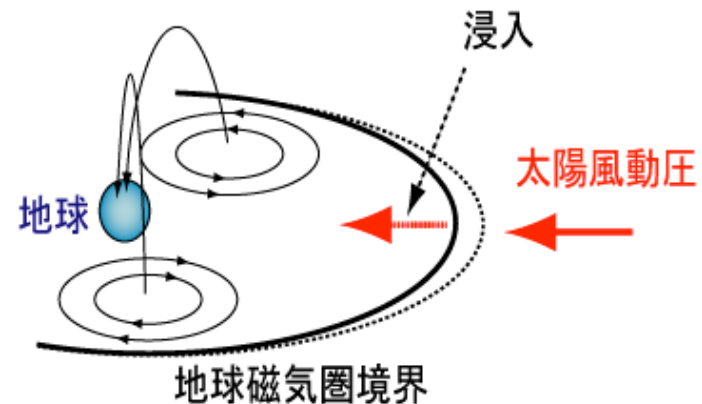
図：磁力線再結合による
磁気圏対流励起 (Saito, 1985)

VI. 考察・今後の課題

(太陽風動圧の場合)

数分の応答時間は、太陽風動圧で励起される圧縮波が、昼側磁気圏境界面から地球の位置まで伝播し、対流を励起する時間に相当。

このことから磁気圏対流は、太陽風動圧による圧縮波によって直接励起されていることを示唆。



図：太陽風動圧の直接浸入による磁気圏対流励起

VI. 考察・今後の課題

今後の課題として、…

- ・ ACE衛星から昼側地球磁気圏境界に到達する間の、
太陽風構造の変化を考慮した、より正確な磁気圏応答時間を計算する。
- ・ 太陽風変動に対する地球磁気圏内の応答について、
シミュレーションなどを用いて、そのメカニズムを解明する。