

地上磁場観測と FM-CW レーダーを用いた サブストーム時の全球電磁場応答の解析 -FACの遠隔効果と電場侵入-

林 萌英¹, 吉川 顕正¹, 大谷 晋一², 西村 幸敏³, 藤本 晶子⁴

1. 九州大学
2. ジョーンズホプキンス 大学応用物理研究所
3. ボストン大学
4. 九州工業大学

1. 背景

- サブストームに伴う電流系
- サブストーム中の電磁場応答の先行研究

2. 目的

3. データ

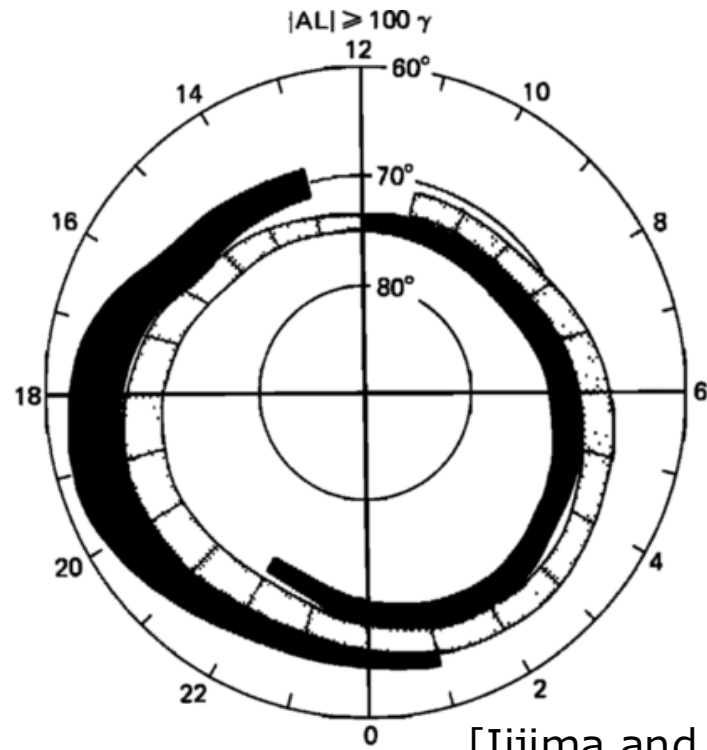
4. 手法

5. 結果

- ✓磁場応答（Case study/統計解析）
- ✓電場応答（Case study/統計解析）
- ✓昼夜のFAC変動と電場の関係

サブストーム中に発生・発達する電流系

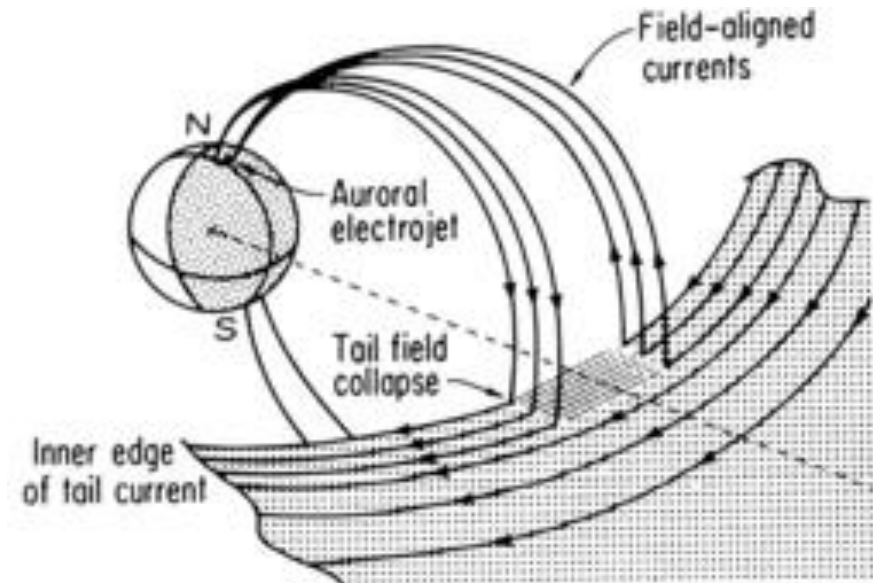
Region1(R1) , Region2(R2) 電流



R1 電流：磁気圏対流を反映

R2 電流：内部磁気圏の高圧プラズマにより駆動

Substorm Current Wedge(SCW)



サブストーム発生時の
プラズマインジェクションにより発生

背景（グローバルな磁場変動）

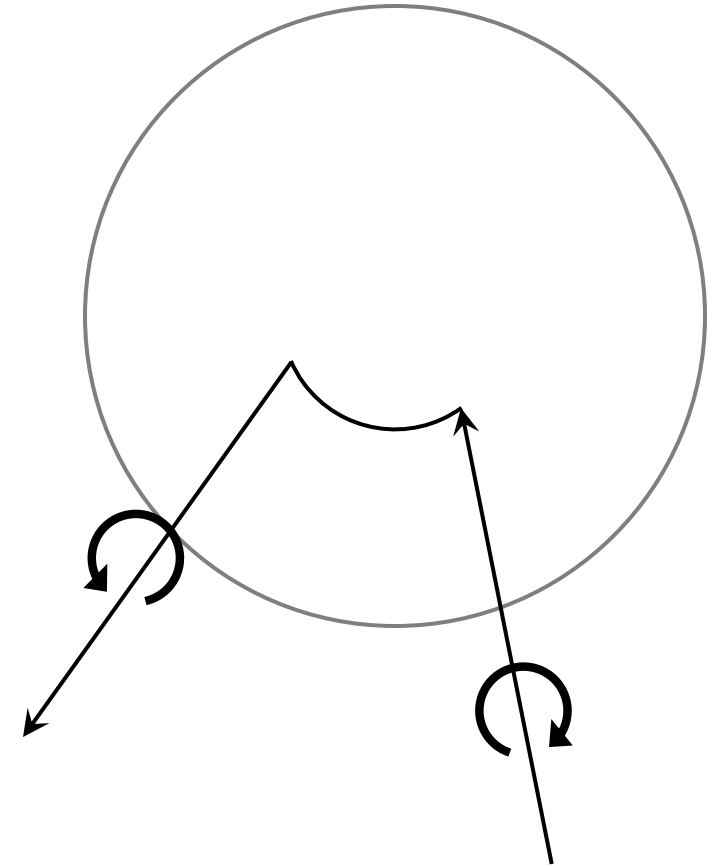
サブストーム中の中低緯度の磁場変動

SCWの影響による**H成分の減少**(昼側)

[Clauer and McPherron , 1974 ; Ohtani et al., 2021]

一方、
昼側と夜側の両方で**H成分増加**

[Clauer et al., 2006 ; Huang 2009]



背景（グローバルな電場変動）

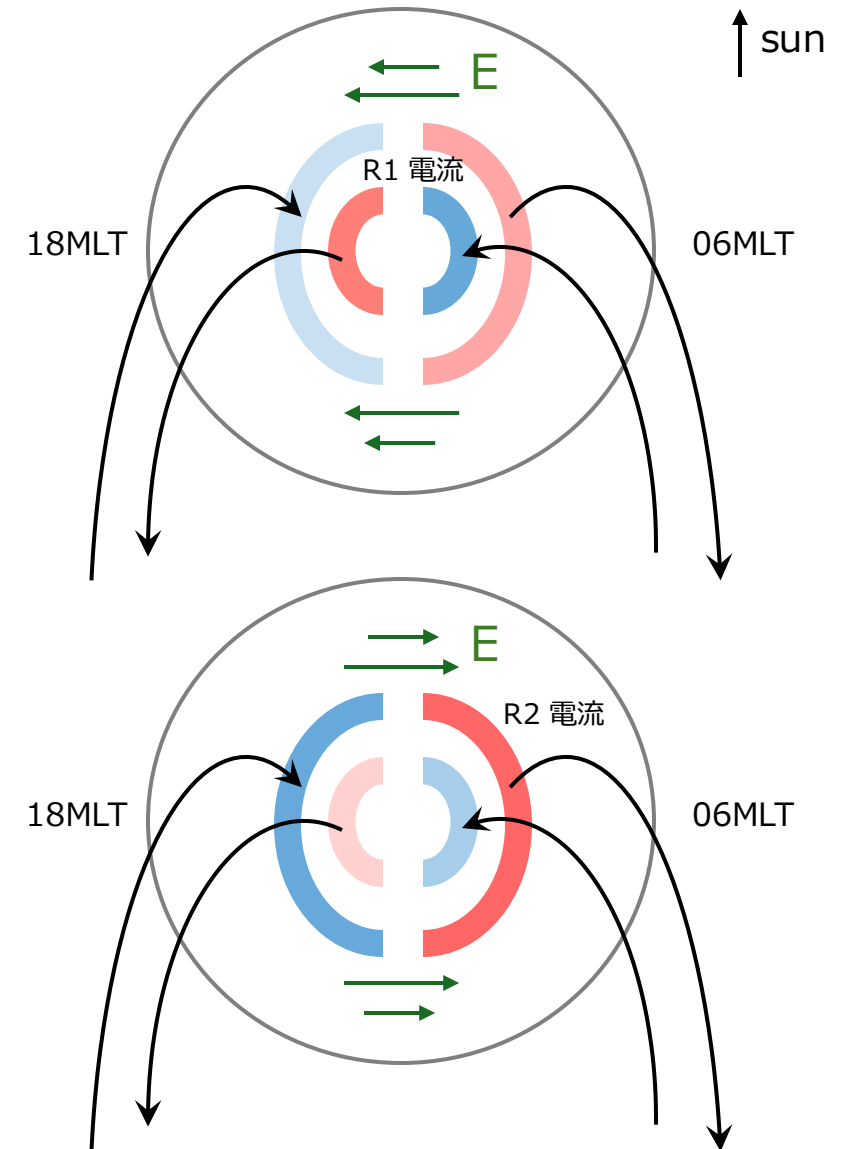
サブストーム中の中低緯度の電場変動

対流の増加に伴いR1電流が強化
→**朝側から夕側に向かう電場**発生

[Huang et al., 2004 ; Huang, 2009]

一方、
対流の減少に伴うR1電流の弱化
or 内部磁気圏の高圧プラズマ
→**夕側から朝側に向かう電場**発生

[Gonzales et al., 1979, Sibeck et al., 1998, Kikuchi et al., 2003]



モチベーション

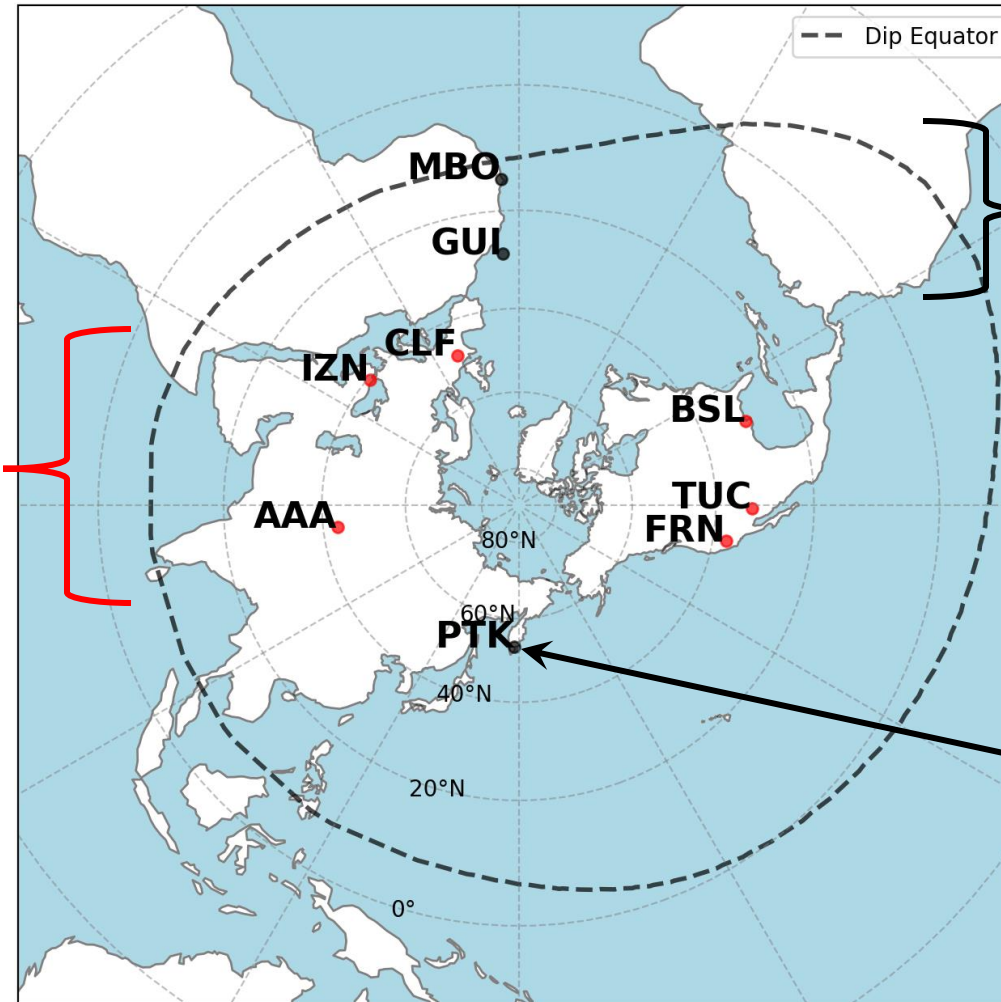
- サブストーム中の電磁場応答については、様々な説が提唱されている
- どちらがより一般的に発生するのか、統計的に分かっていない

本研究の目的

- Superposed Eposh Analysisを用いてサブストーム中の電磁場応答の統計的な様相を明らかにする

磁場応答：

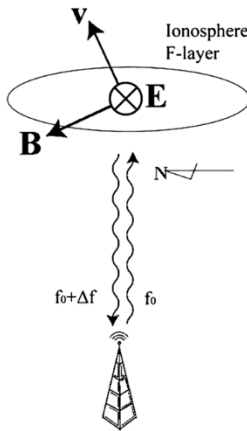
中低緯度 6 観測点の
H成分（南北成分）
D成分（東西成分）



電場応答：

昼側
MBO()と
GUI()の磁場H成分

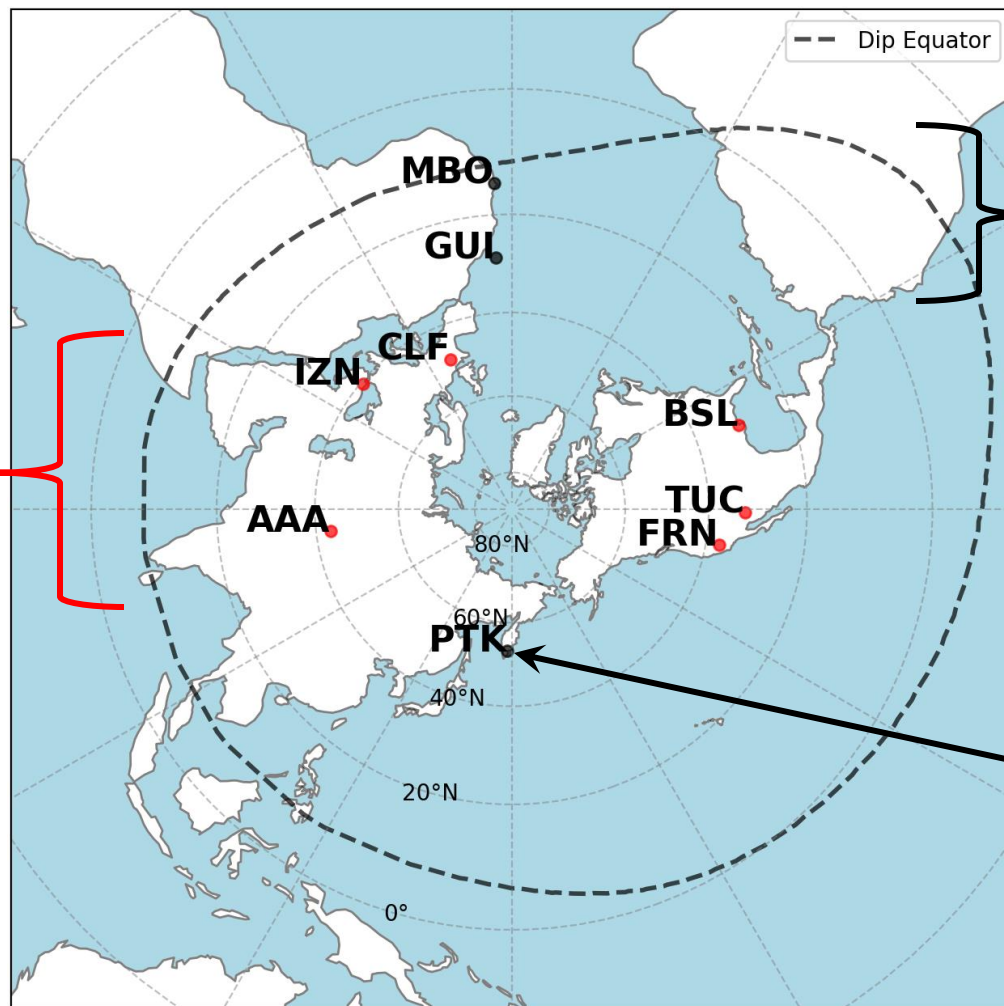
夜側
FM-CW レーダー



磁場応答：

中低緯度 6 観測点の
H成分（南北成分）
D成分（東西成分）

→FACが作る磁場を観測



電場応答：

昼側

MBO(dip equator)と
GUI(off dip)の磁場H成分

→H成分の差で電場の有無を確認
※電場侵入▶赤道でH成分の変動
がカウリング効果で強化される

夜側

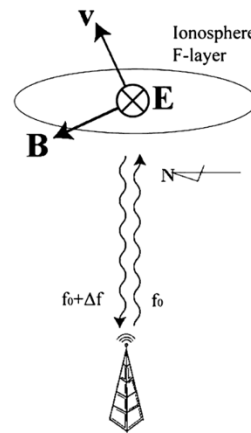
FM-CW レーダー

→電離層電場

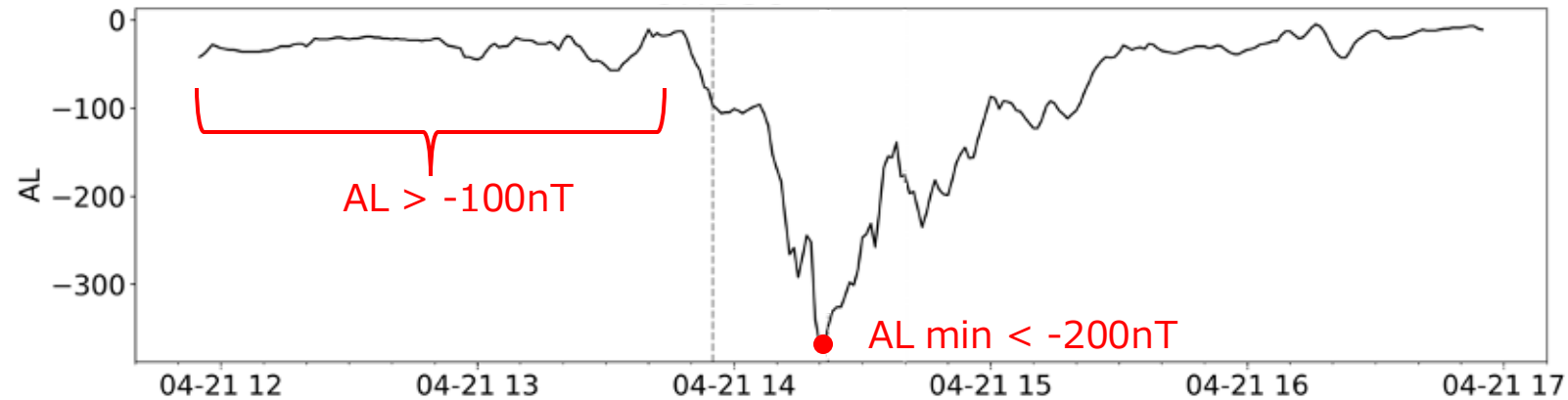
$$E = -V \times B$$

V:上下方向

E:東西方向



- 孤立型サブストーム

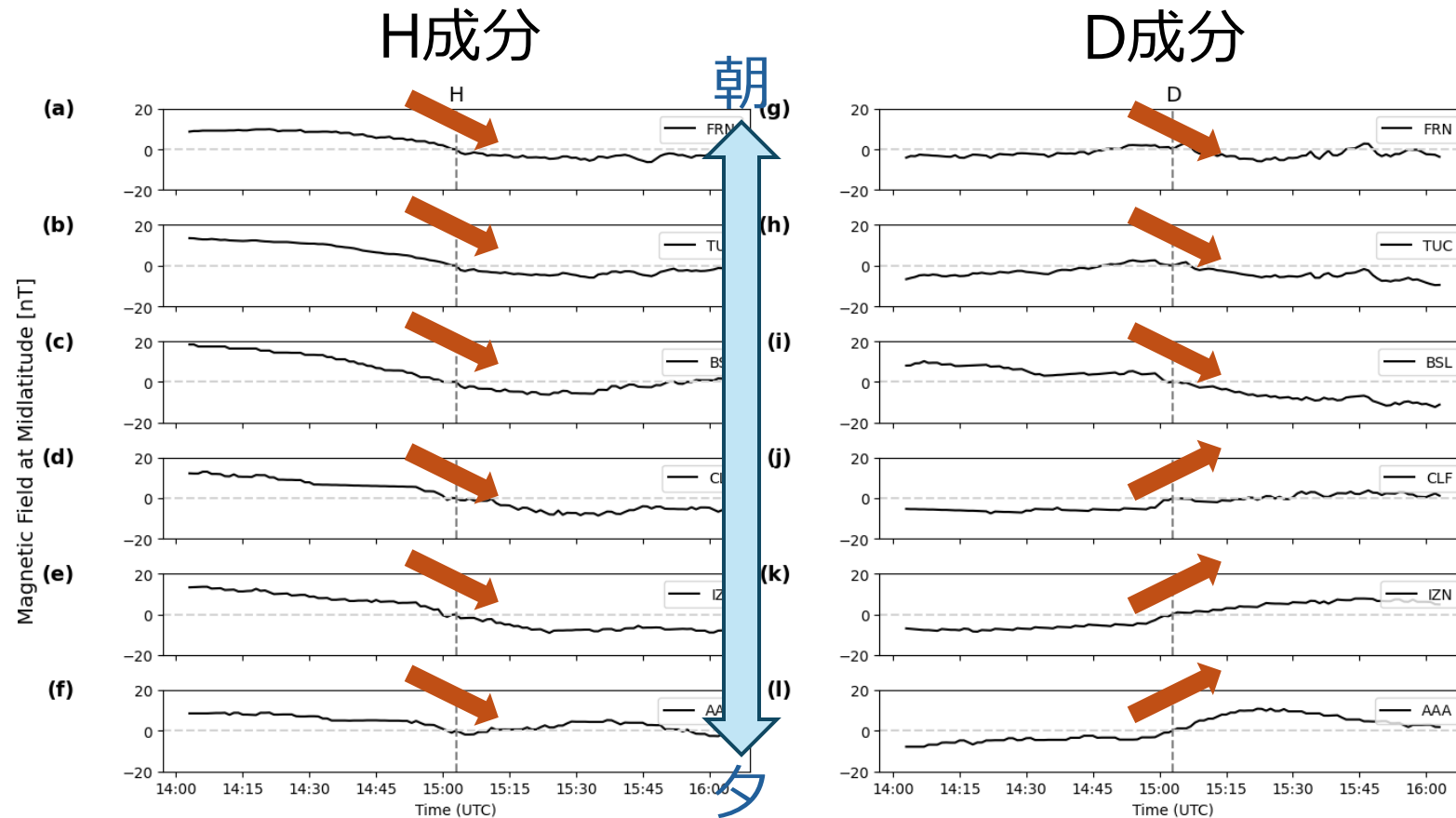


- AL : $AL(-2\text{h to onset}) > -100$ 、 $AL \text{ min} < -200\text{nT}$
- PTK (電場観測点) が22-02MLTに位置
- 170イベント (2009-2011年)

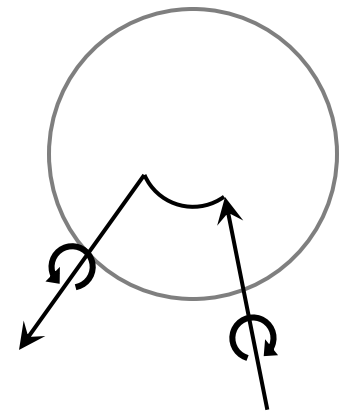
結果（磁場応答のケーススタディ）

2010年11月23日 15:03UT

- H成分：
多くの観測点で
減少



- D成分：
夕方側で増加、
朝側で減少

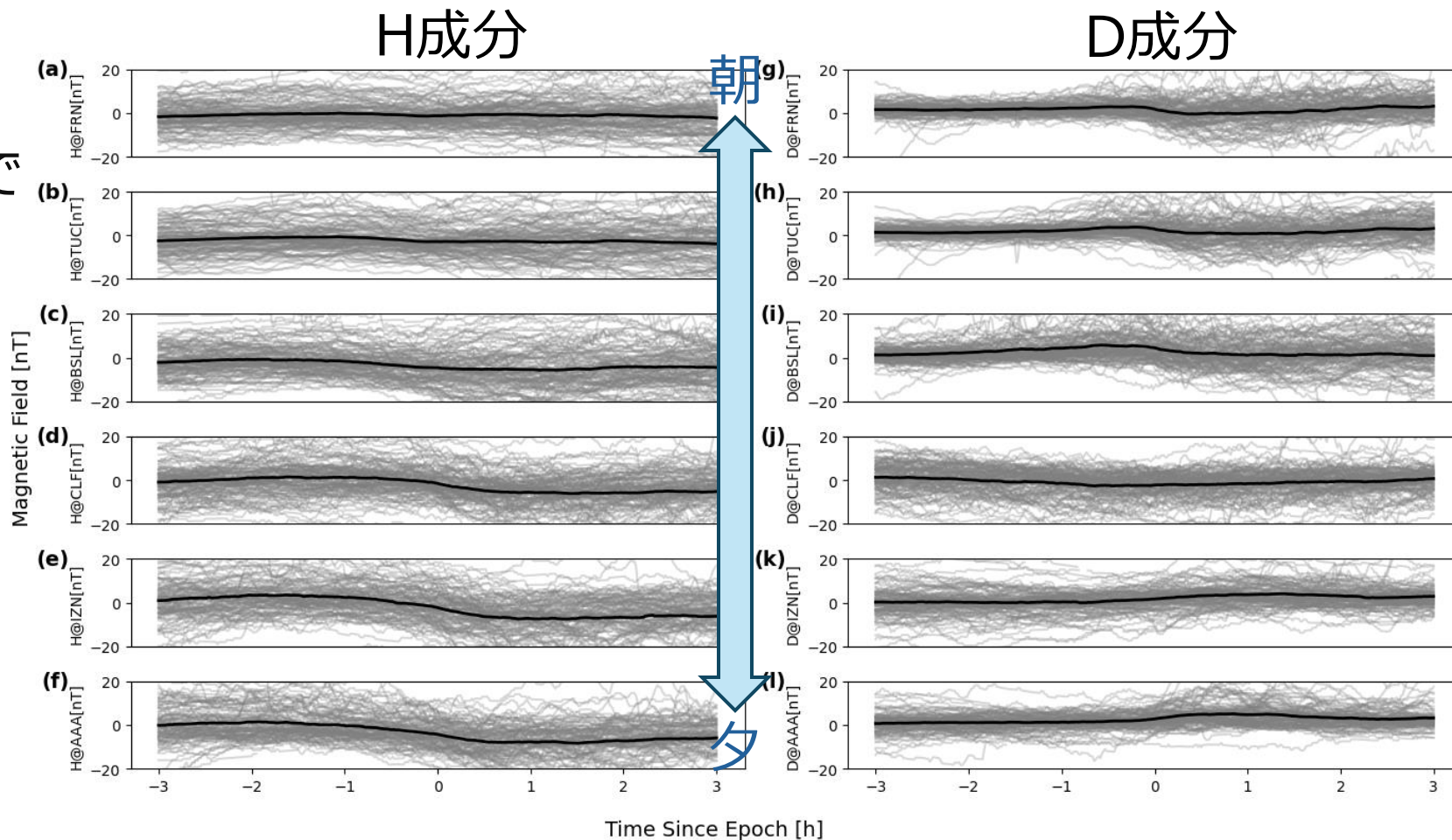
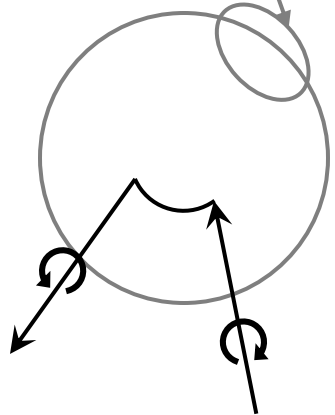


- 中緯度の観測点でグローバルにSCWの遠隔効果が観測された

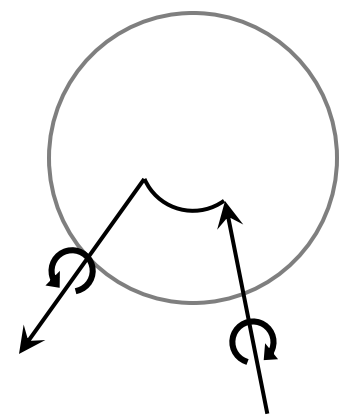
結果（磁場応答の統計解析）

- H成分：
多くの観測点で減少

（朝側ではあまり減少しなかった）

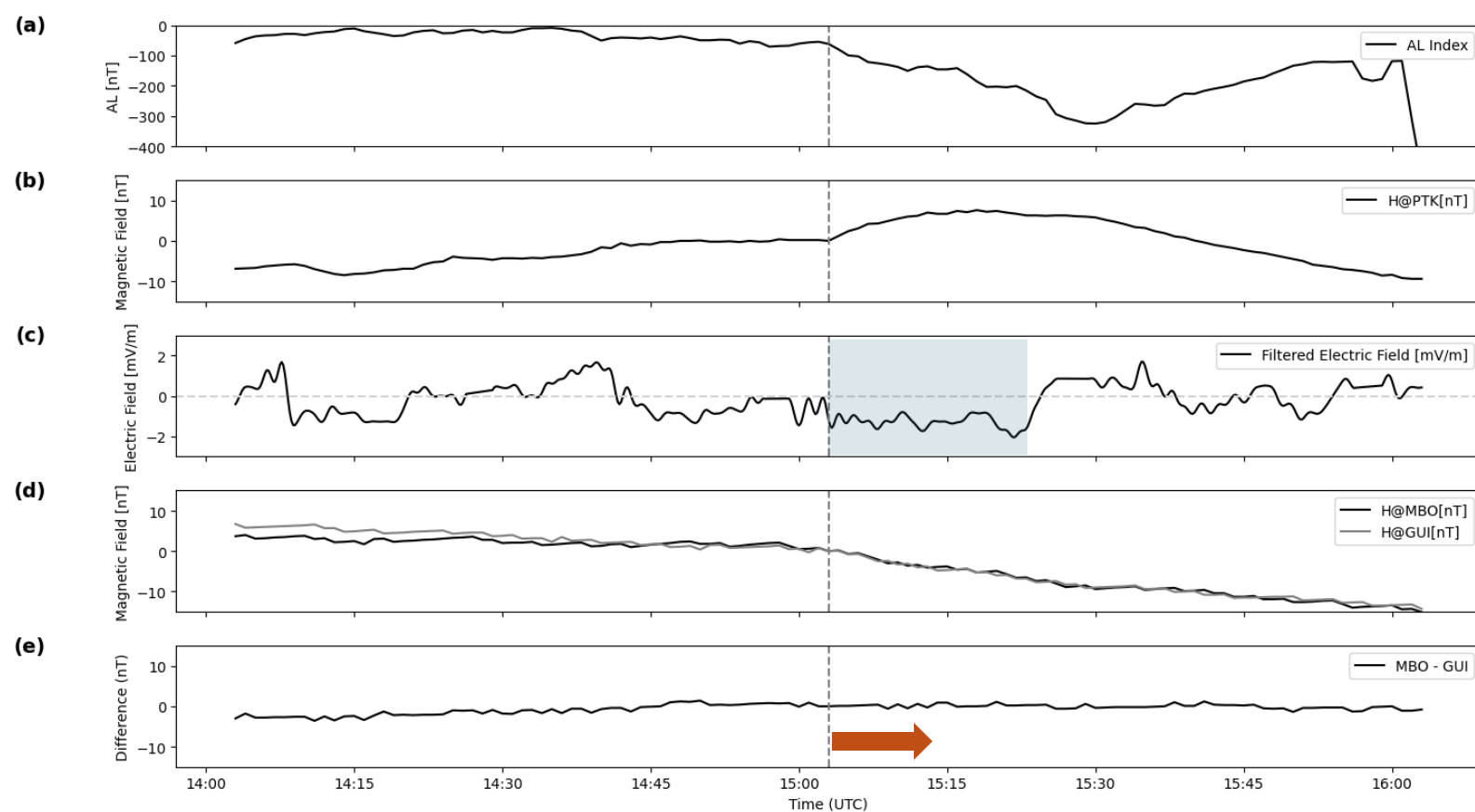


- D成分：
朝側で減少、
夕方側で増加



- 中緯度の観測点でグローバルにSCWの遠隔効果が観測された

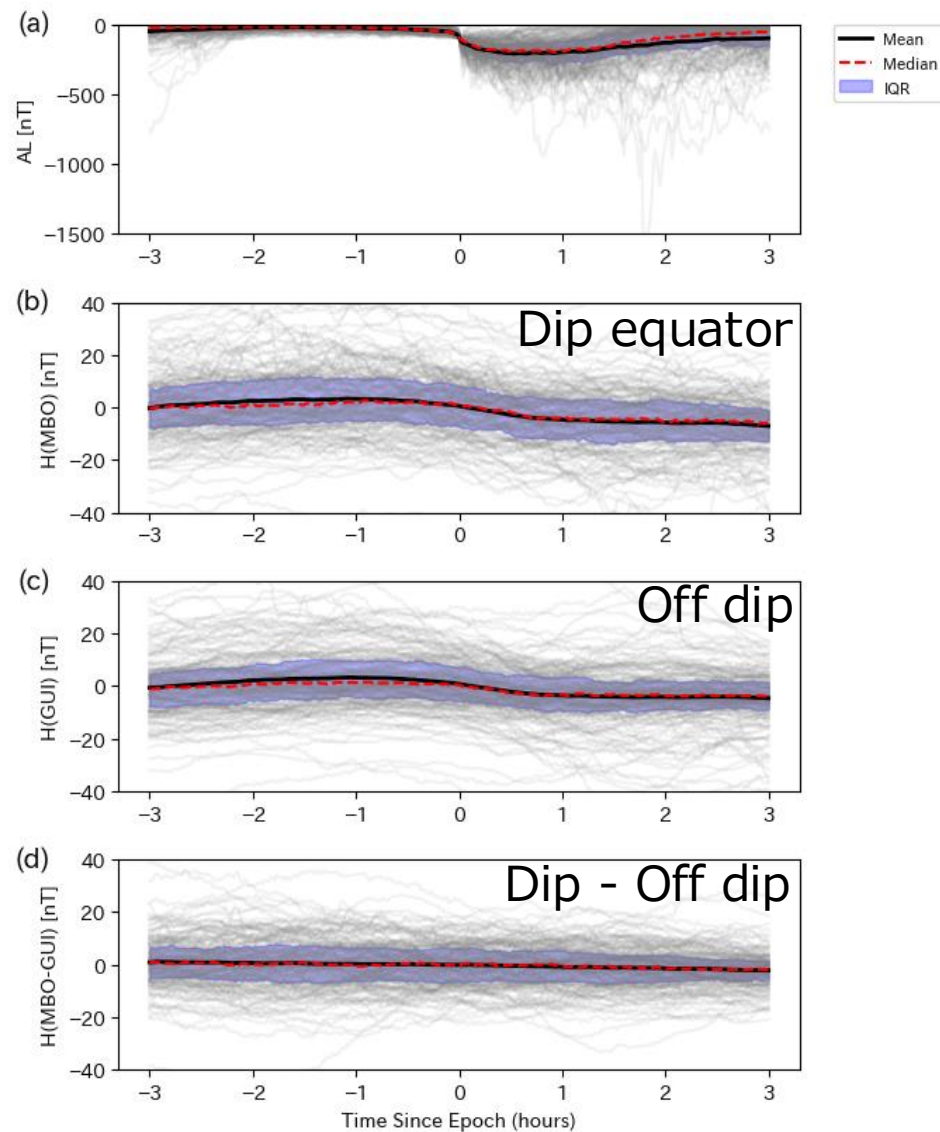
結果（電場応答のケーススタディ）



2010年11月23日 15:03UT

- 300nTの小規模サブストーム
- 夜側中緯度
西向き電場を観測
- 昼側
赤道と低緯度のH成分の変動に差がない
= 電場侵入はほとんど観測されなかった

結果（電場応答の統計解析）



- 赤道と低緯度のH成分の変動に差がない
= 昼側の電場侵入はほとんど観測されなかった

※(b)と(c)のH成分の減少はSCWの遠隔効果

孤立型サブストーム中の電磁場応答の統計解析

磁場変動：

- H成分は減少、D成分は朝側で減少、夕側で増加
→**SCWの遠隔効果**

電場変動：

- 赤道と低緯度のH成分の変動に差がない
→昼側の電場侵入は、統計的には、**ほとんど観測されなかった。**

孤立型サブストーム中の電磁場応答の統計解析

磁場変動：

- H成分は減少、D成分は朝側で減少、夕側で増加

→**SCWの遠隔効果**

先行研究[Clauer and McPherron , 1974 ; Ohtani et al., 2021]と一致。

※**D成分を追加し、より包括的にSCWの効果を捉えた。**

しかし、[Clauer et al., 2006 ; Huang 2009]とは不一致。

sawtooth サブストームと孤立型サブストームの違い？

電場変動：

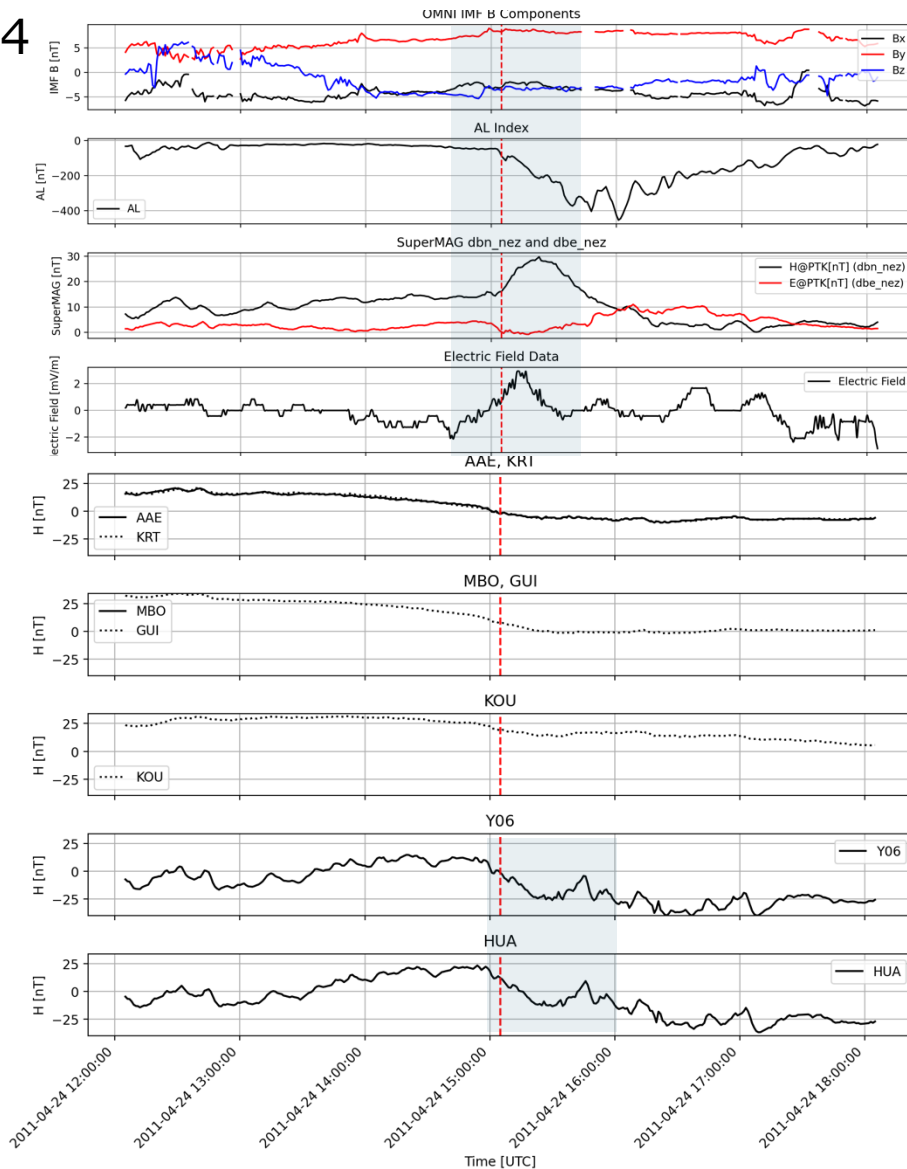
- 赤道と低緯度のH成分の変動に差がない

→昼側の電場侵入は、統計的には、**ほとんど観測されなかった。**

電場侵入したイベントもいくつかある。何が電場侵入の有無、向きを決める？

昼で電場変動が確認されたケース

2011/04/24
15:03UT



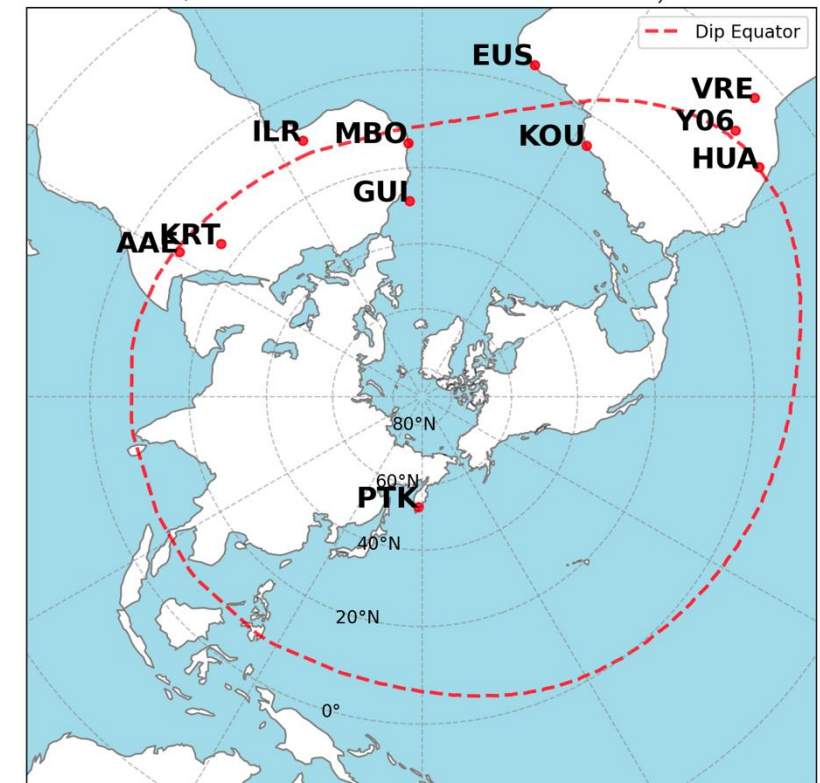
太陽風

AL

夜側
中緯度の磁場

夜側
中緯度の電場

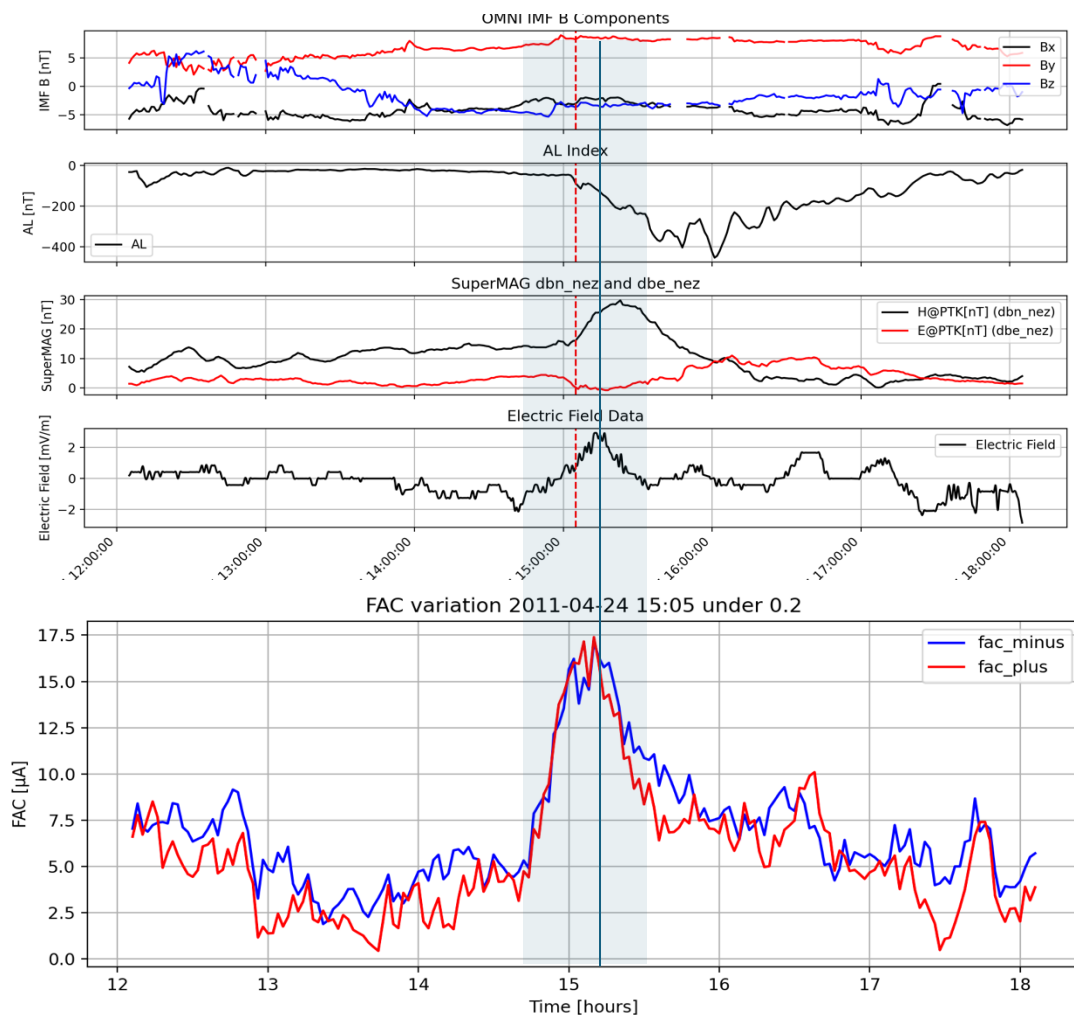
昼側赤道・
低緯度の磁場



夜側の電場と昼側の磁場応答のタイミングが異なる
向きは、どちらもDusk to Dawn

昼で電場変動が確認されたケース

夜側の電場を夜側（22-02LT）のFACと比較



➤ FM-CWで観測した
夜側の電場変動と

➤ AMPEREで観測した
22-02LTのFAC総量の変動

が一致。

22-02LTで積分

※緯度80度以下を積分
※電流密度が $0.2\mu\text{A}/\text{m}^2$ 値を積分

昼で電場変動が確認されたケース

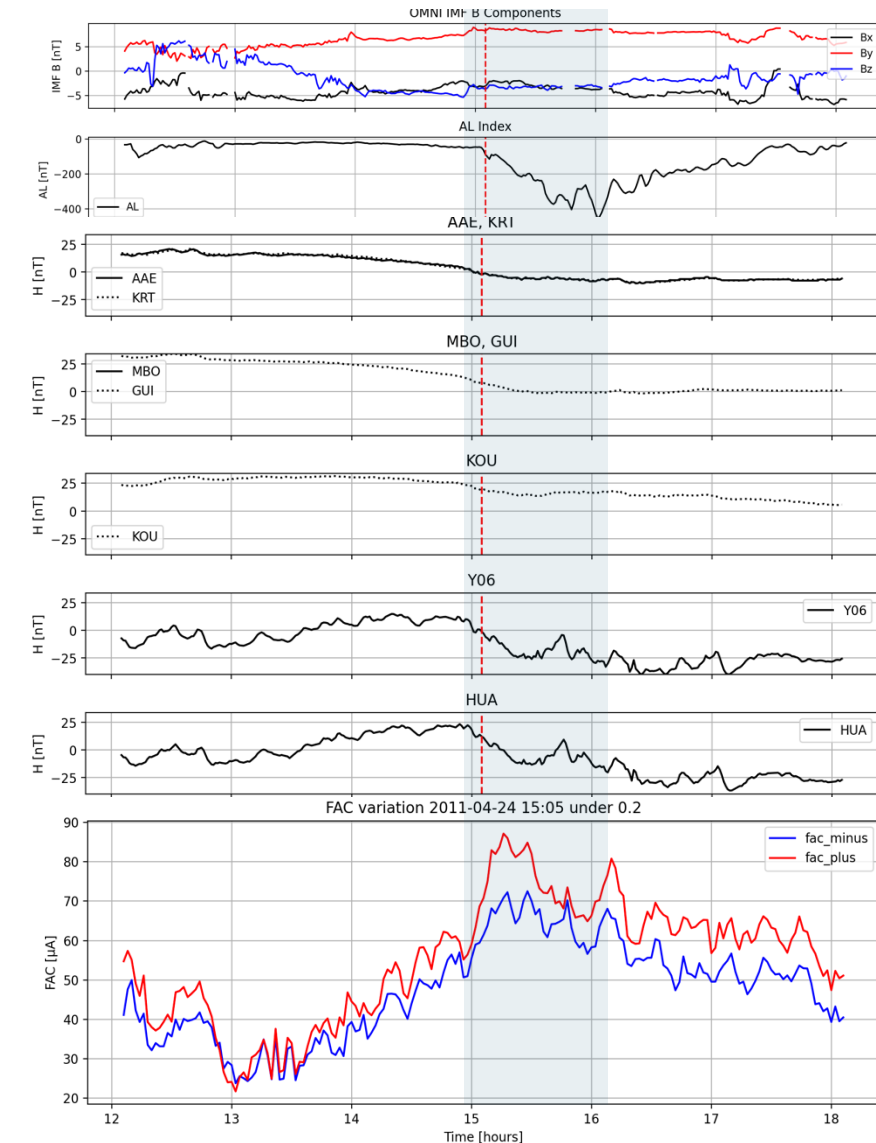
夜側の電場を夜側（22-02LT）のFACと比較

➤ H成分（赤道一低緯度）で観測した**昼側の電場変動**と

➤ AMPEREで観測した**10-14LTのFAC総量の変動**

が一致。

昼と夜の電場変動は、それぞれ応答のタイミングが異なり、**昼と夜のFACの変動と対応。**



10-14LTで積分
※緯度85度以下を積分
※電流密度が $0.2\mu\text{A}/\text{m}^2$ 値を積分

孤立型サブストーム中の電磁場応答特性

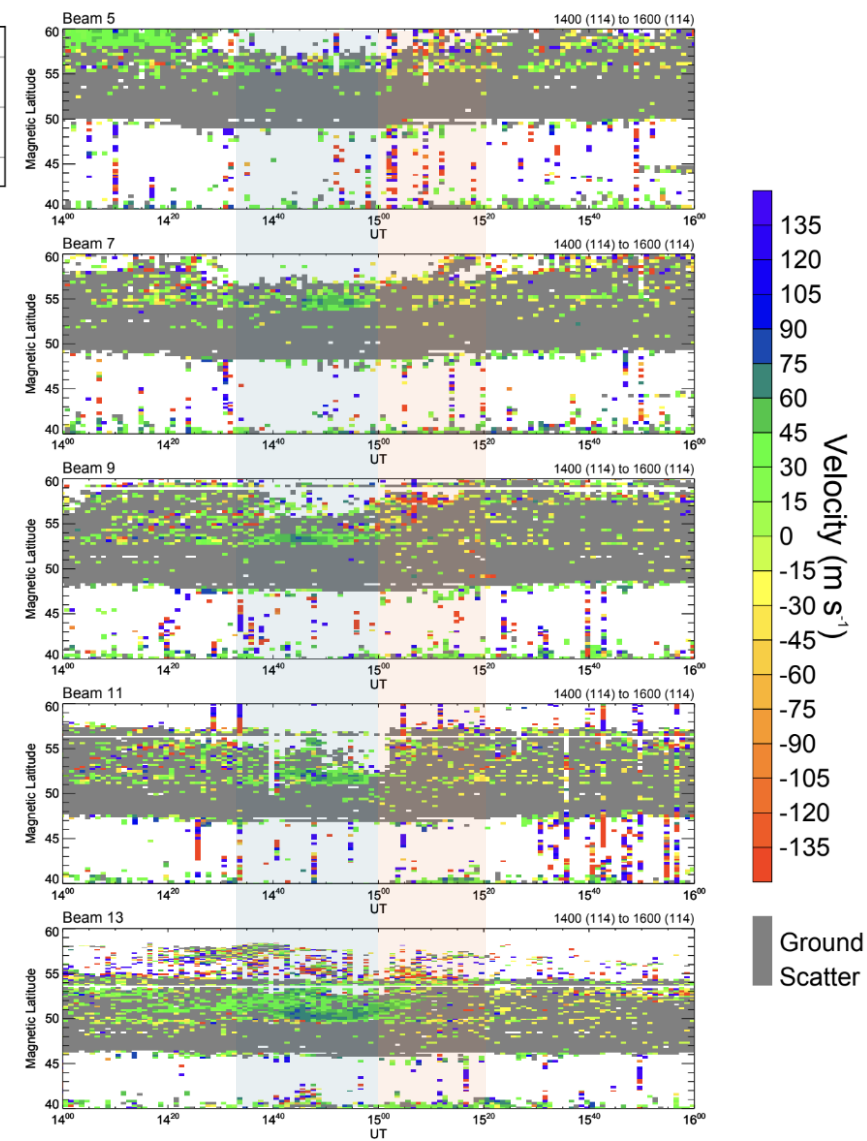
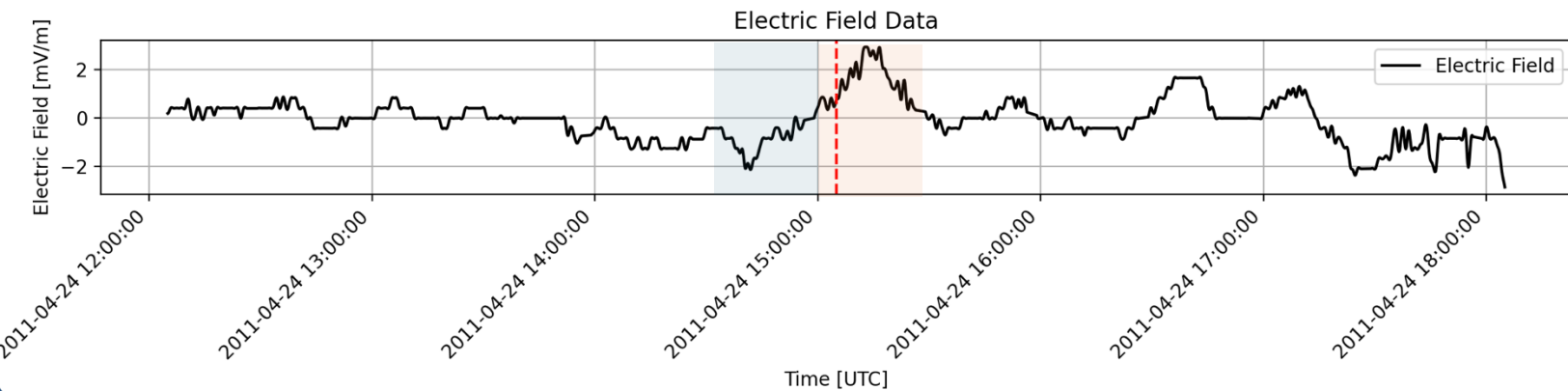
磁場変動：

- H成分は減少、D成分は朝側で減少、夕側で増加
→**SCWの遠隔効果**

電場変動：

- 赤道と低緯度のH成分の変動に差がない
→昼側の電場侵入は、統計的には、**ほとんど観測されなかった。**
- 昼側で電場変動が観測された場合：
→昼と夜で電場の変動が異なるタイミングで現れ、それぞれがFACの変動と一致した。

- タイミングは説明できるが向きは説明できない
→ SuperDARNを使って 2 次元的に電場を見してみる



2011/04/24 15:05のイベント

