

大型短波レーダーとGPS受信機網による 中規模伝搬性電離圏擾乱の研究

市原章光・西谷 望(名大STE研)・
小川忠彦・津川卓也(NICT)・
北海道-陸別HFレーダー研究グループ

2010.1.18 中緯度短波レーダー研究会

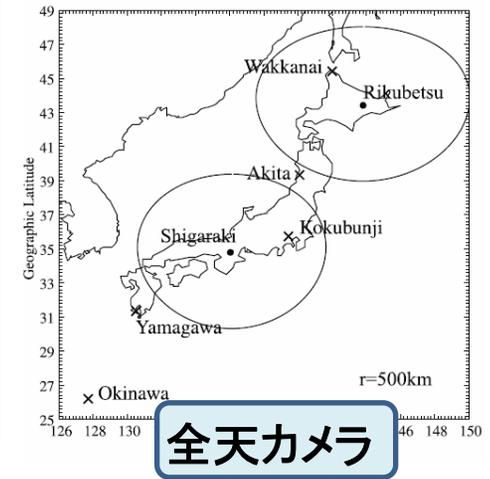
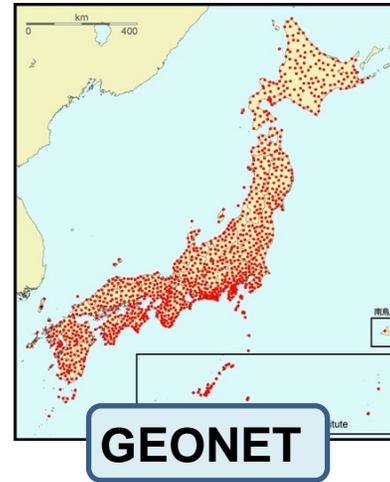
Acknowledgment: 国土地理院(for providing GEONET data)



研究背景-観測範囲-

■過去の研究

—日本上空を伝搬するMSTIDに関して、GEONET、全天カメラを用いて解析が行われてきた。

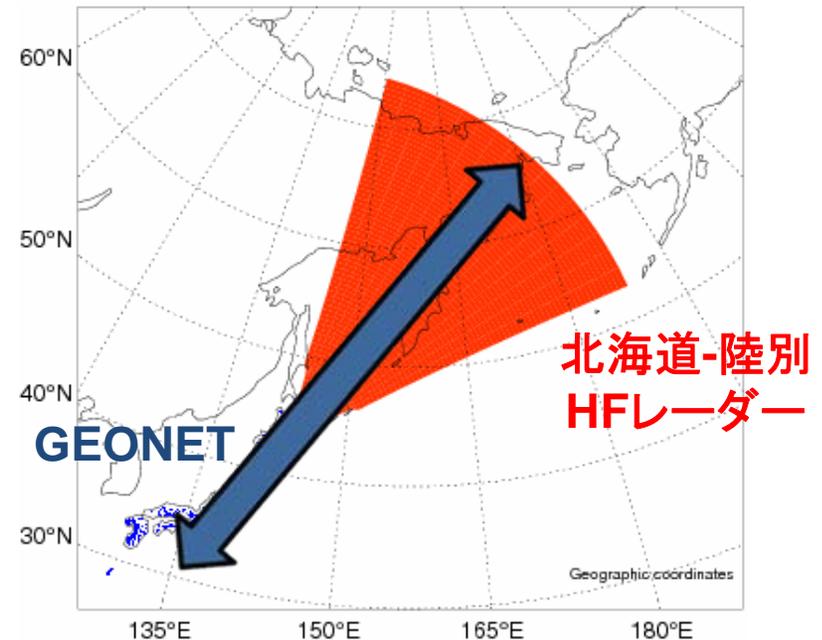


[Shiokawa et al., 2003]

■今回の研究

—2006年11月より稼働を開始した北海道-陸別HFレーダーを用いて日本より高緯度で観測されたMSTIDについて解析を行う。

—ロシア極東域から日本南端に至る約4000kmに及ぶMSTIDのダイナミクスの解明が可能に。

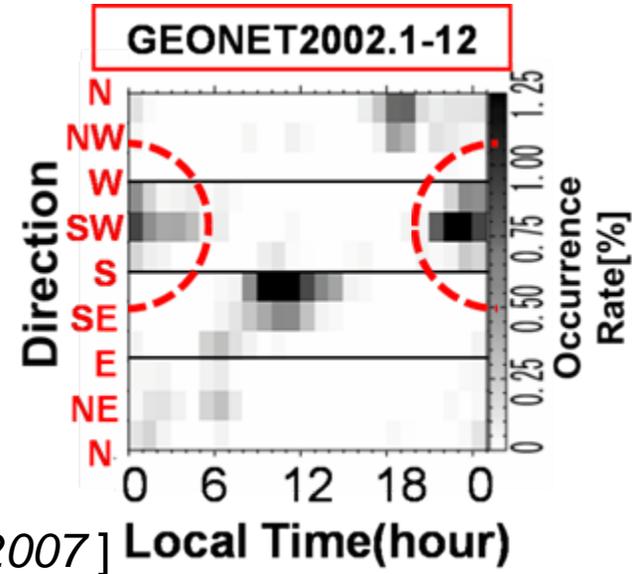
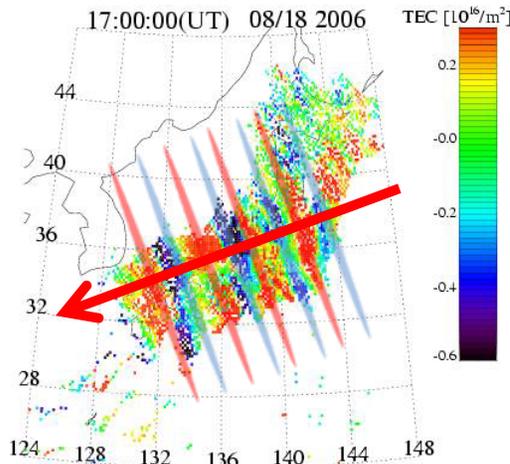


研究背景-伝搬方向-

■過去の研究

—日本上空の夜間のMSTIDは南西方向に伝搬するものが大半を占める。

GEONETを使った統計解析
[Kotake, 2007]
全天カメラを使った統計解析
[Shiokawa et al., 2003]

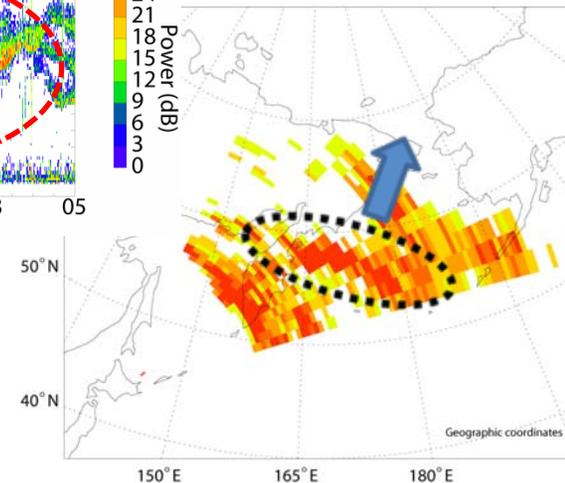
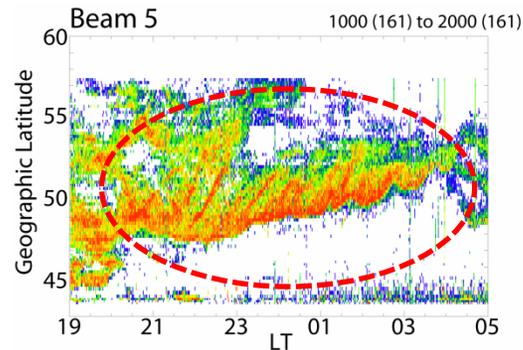


[Kotake, 2007]

■今回の研究

—北海道-陸別HFレーダーで日没時から夜間にかけて北向きに伝搬する波状構造が複数例観測された。

—これは、従来の南西方向に伝搬するMSTIDとは異なる性質を持つMSTIDである可能性が考えられる。



研究目的

■北海道-陸別HFレーダーで夜間に観測されたMSTIDについて解析を行う。

✓2007年1月～2009年7月の期間においてMSTIDの伝搬方向(8方向)、発生頻度について統計を取り、季節依存性、地方時依存性を調べる。

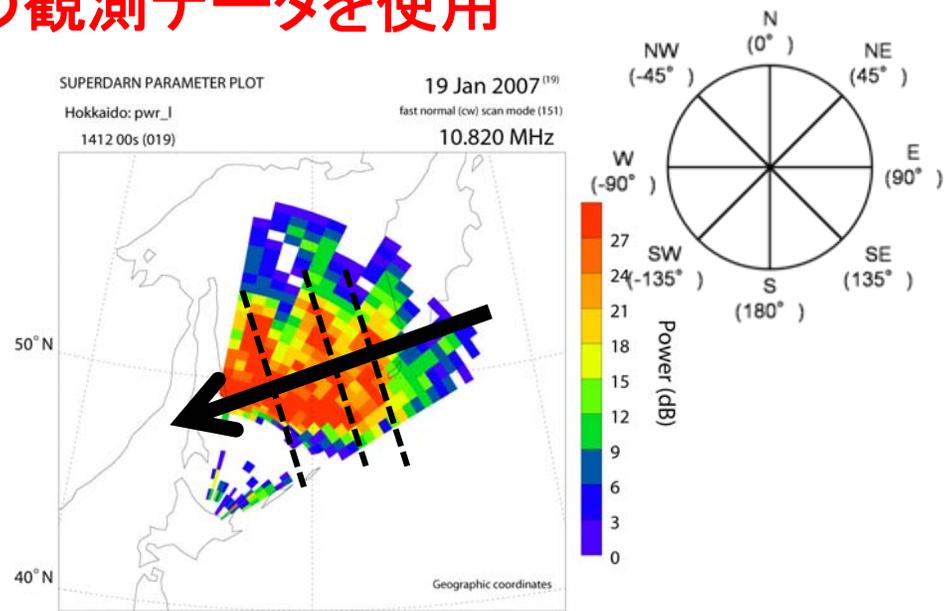
✓GEONETの観測データを利用することで、ロシア極東域から日本南端に至るMSTIDの伝搬過程を明らかにする。

統計解析-解析手法-

2007年1月～2009年7月17～7LTの観測データを使用

1. 2次元プロットから

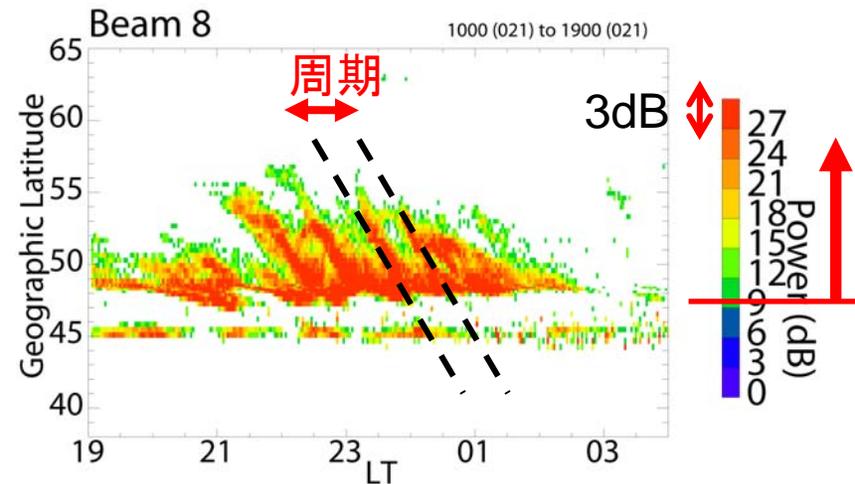
- 波が伝搬しているものを探す。
- 伝搬方向(8方向)を見積もる。



2. 時系列プロットから下記の条件を満たすか調べる。

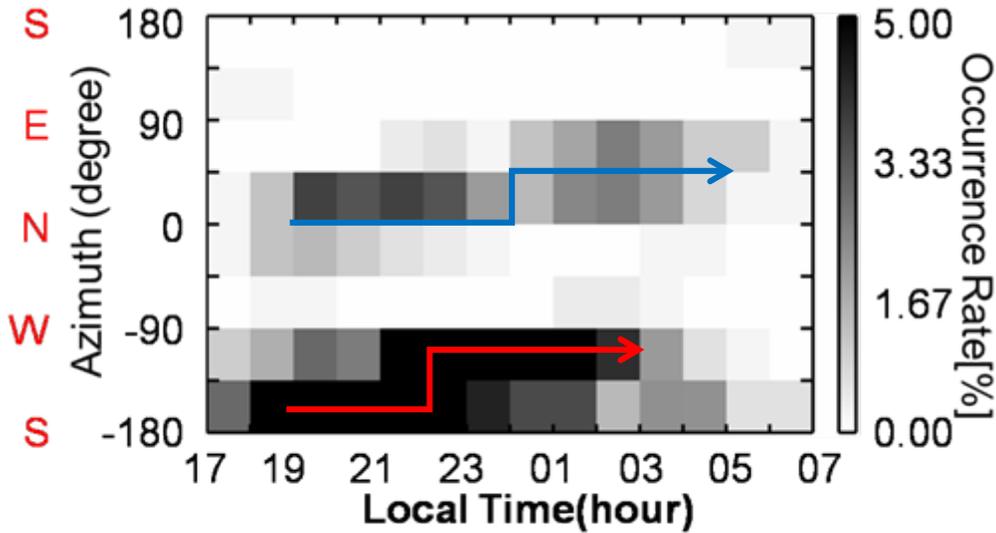
条件

- 伝搬構造が2つ以上みえる。
- 周期が60分以下である。
- エコーパワーが10dB以上
- 3dB間隔のカラースケールで判別可能なもの

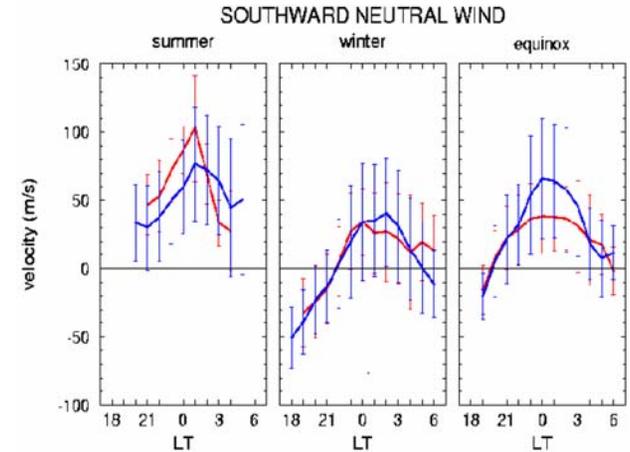


統計解析結果-伝搬方向の地方時依存性-

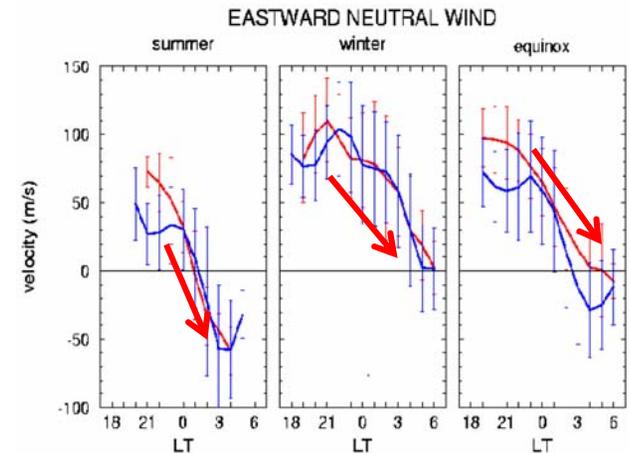
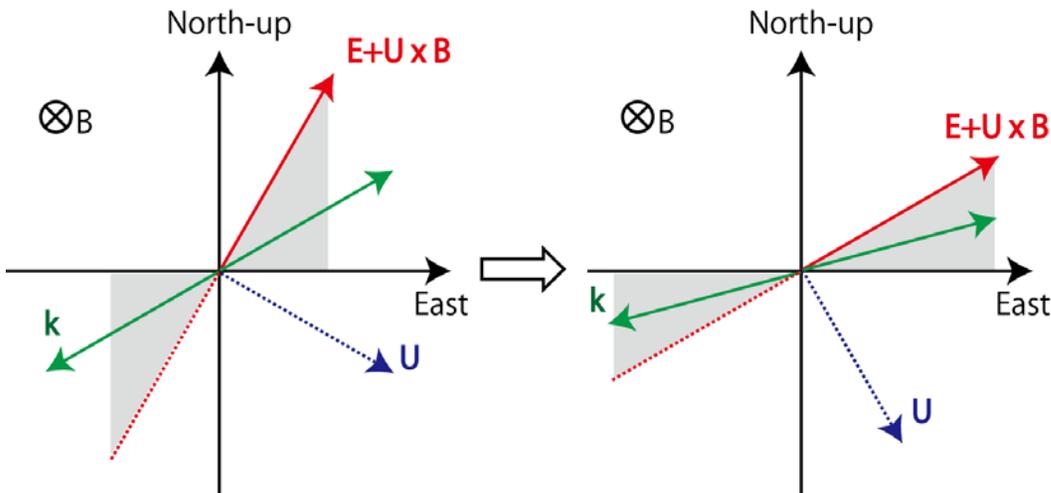
Propagating direction 2007.1 - 2009.7



ファブリペロー干渉計で観測された
南北風、東西風の統計解析結果



Perkins Instability

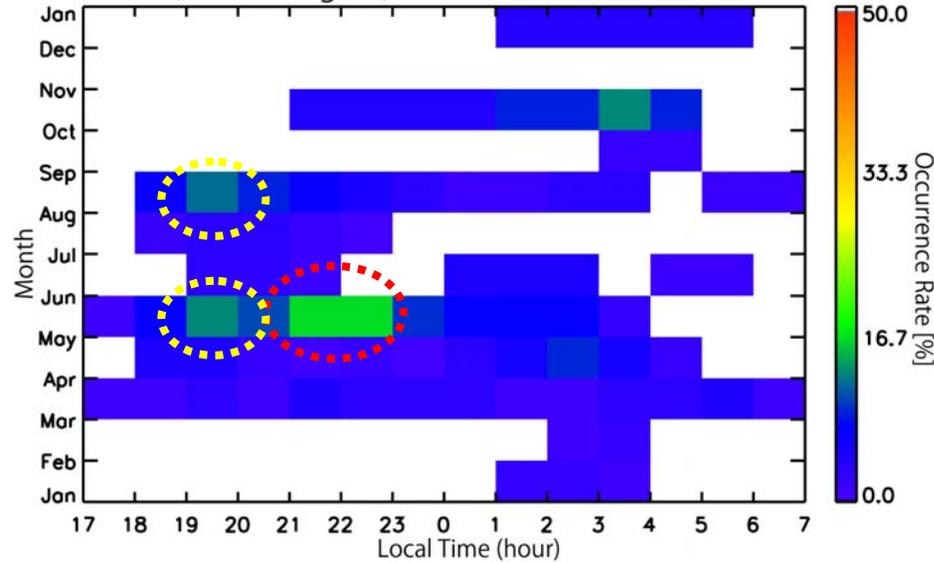


[Otsuka et al., 2009]

統計解析結果-季節・地方時依存性-

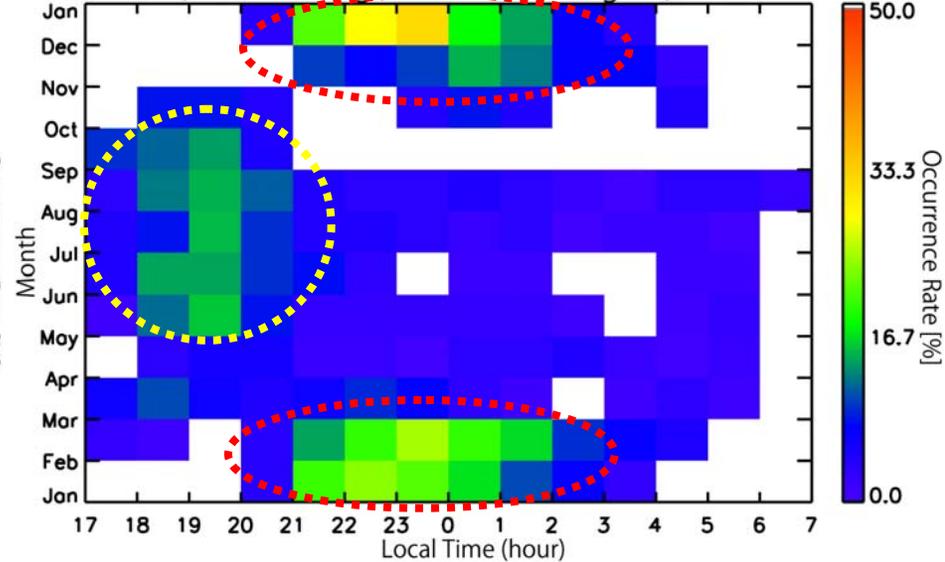
北向き(-90~90degree)

North (-90~90degree)



南向き(90~180, -90~-180degree)

South (-180~-90degree : 90~180 degree)



季節・地方時依存性

北向き

- 第1ピーク 5月夜中前
- 第2ピーク 夏期日没時

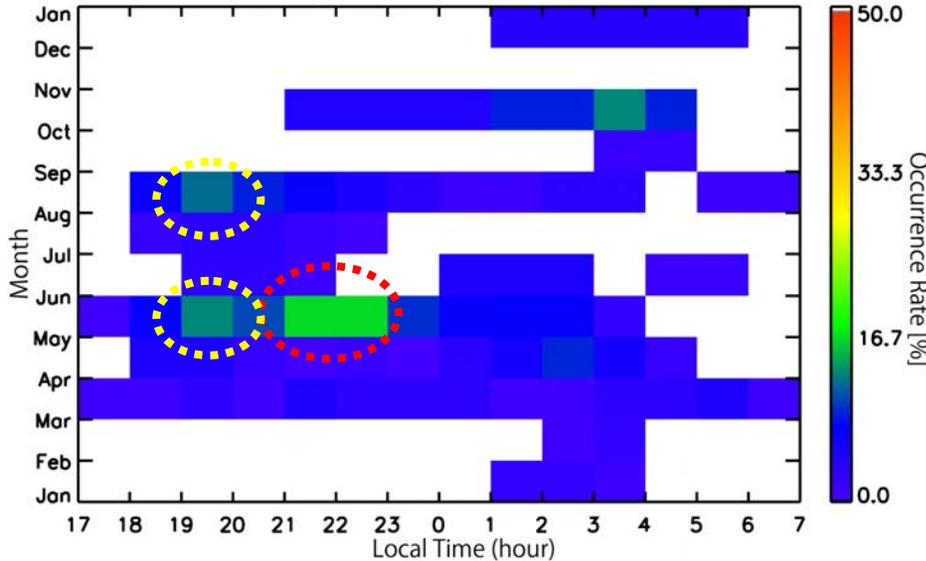
南向き

- 第1ピーク 冬の夜中
- 第2ピーク 夏の日没時

統計解析結果-北向きに伝搬するMSTID・比較-

季節・地方時依存性の比較

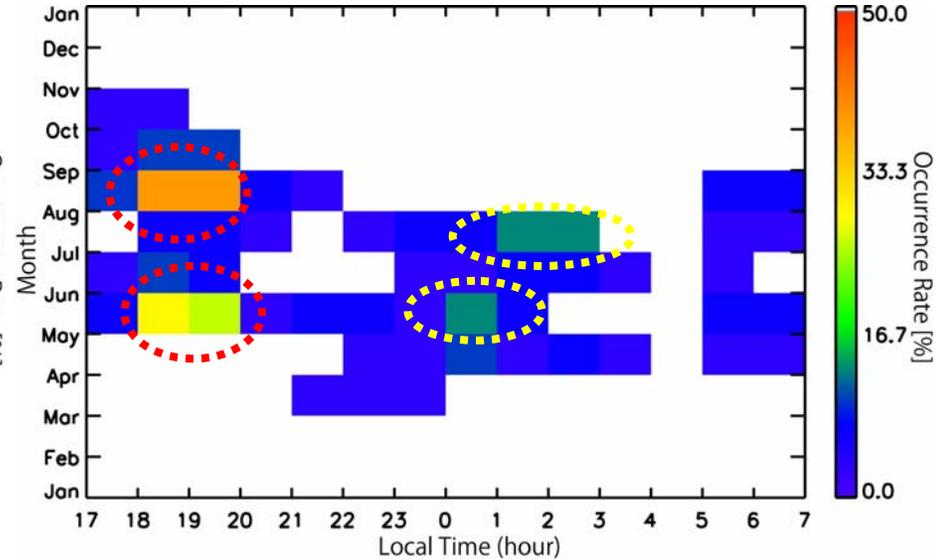
北海道-陸別HFレーダー 2007.1 - 2009.7



北海道-陸別HFレーダー

- 第1ピーク 5月夜中前
- 第2ピーク 夏の日没時

GEONET 2002.1-12



GEONET [Courtesy of Kotake-san]

- 第1ピーク 夏の日没時
- 第2ピーク 夏の夜中

■北海道-陸別HFレーダーの統計解析では、5月夜中前に発生頻度の第1ピークが見られたが、GEONETでは、その時間帯に発生頻度は大きくない。

⇒北海道-陸別HFレーダーとGEONETでは同じ北向きに伝搬するMSTIDを観測していない可能性が考えられる。

同時観測-解析手法-

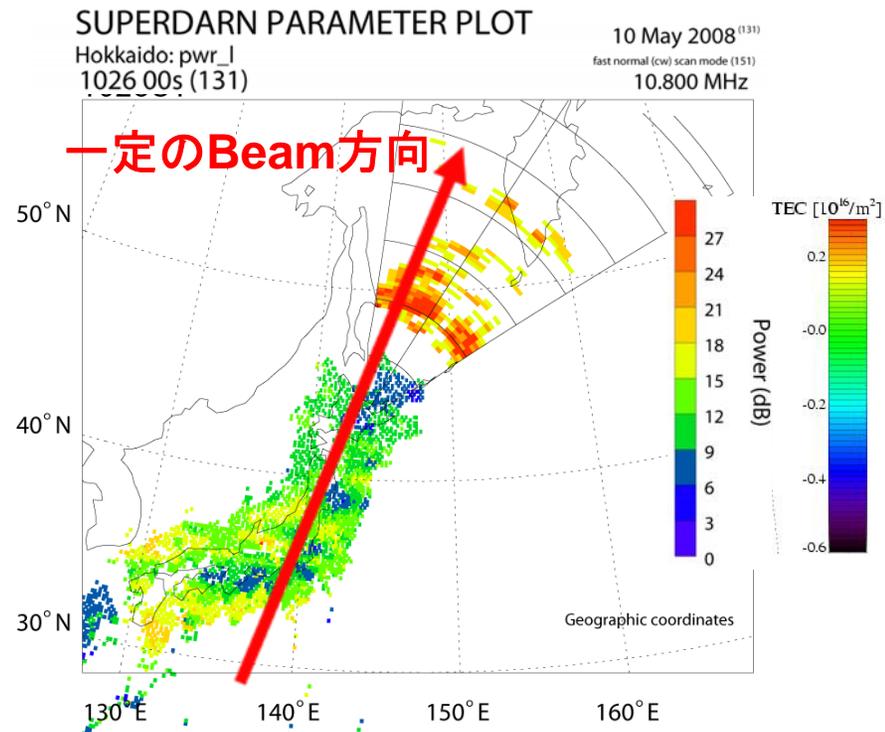
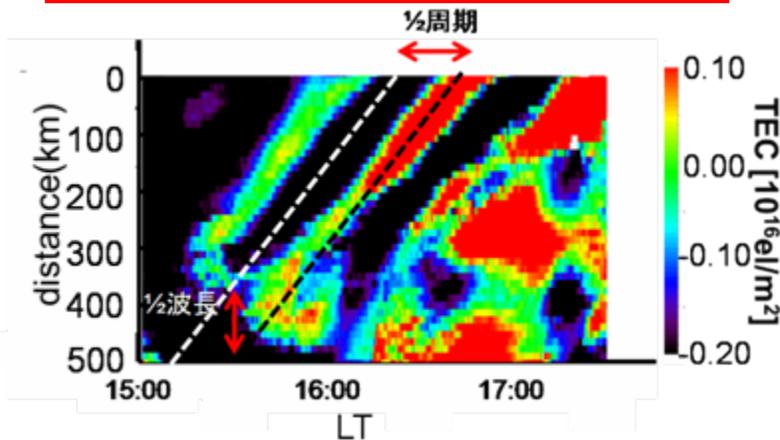
□北海道-陸別HFレーダーとGEONETの同時観測を行い、両者で北向きに伝搬するMSTIDを観測しているか調べた。

◆2007年1月～2009年7月17-7LTの観測期間において

北海道-陸別HFレーダーで**74例**の北向きに伝搬するMSTIDを観測。

GEONETのMSTID観測条件

- 波が伝搬している
- 波面が2つ以上みえる
- 波長が1000km以下である
- 周期が60分以下である
- Peak to peakが0.2TECU以上



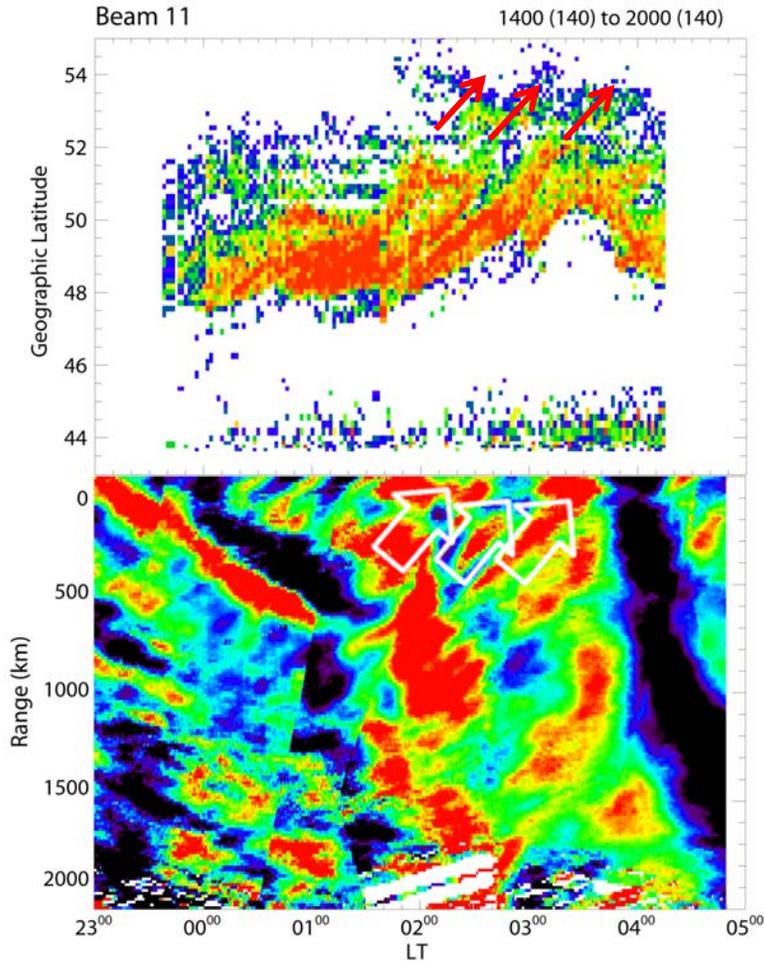
同時観測-空間・時間分布の比較-

北向きに伝搬するMSTIDを同時観測した例

北向きに伝搬するMSTIDを同時観測しなかった例

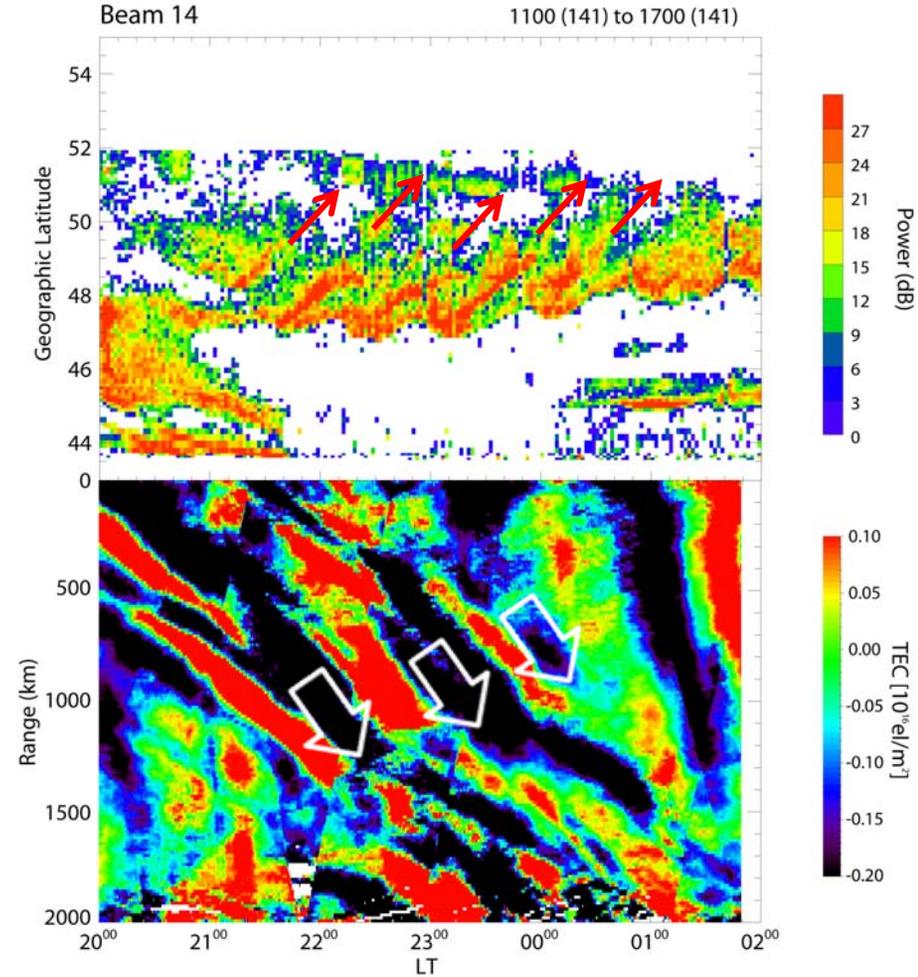
SUPERDARN PARAMETER PLOT
Hokkaido: pwr_l

19 May 2008⁽¹⁴⁰⁾
unknown scan mode (3300)



SUPERDARN PARAMETER PLOT
Hokkaido: pwr_l

21 May 2007⁽¹⁴¹⁾
normal (cw) scan mode (150)



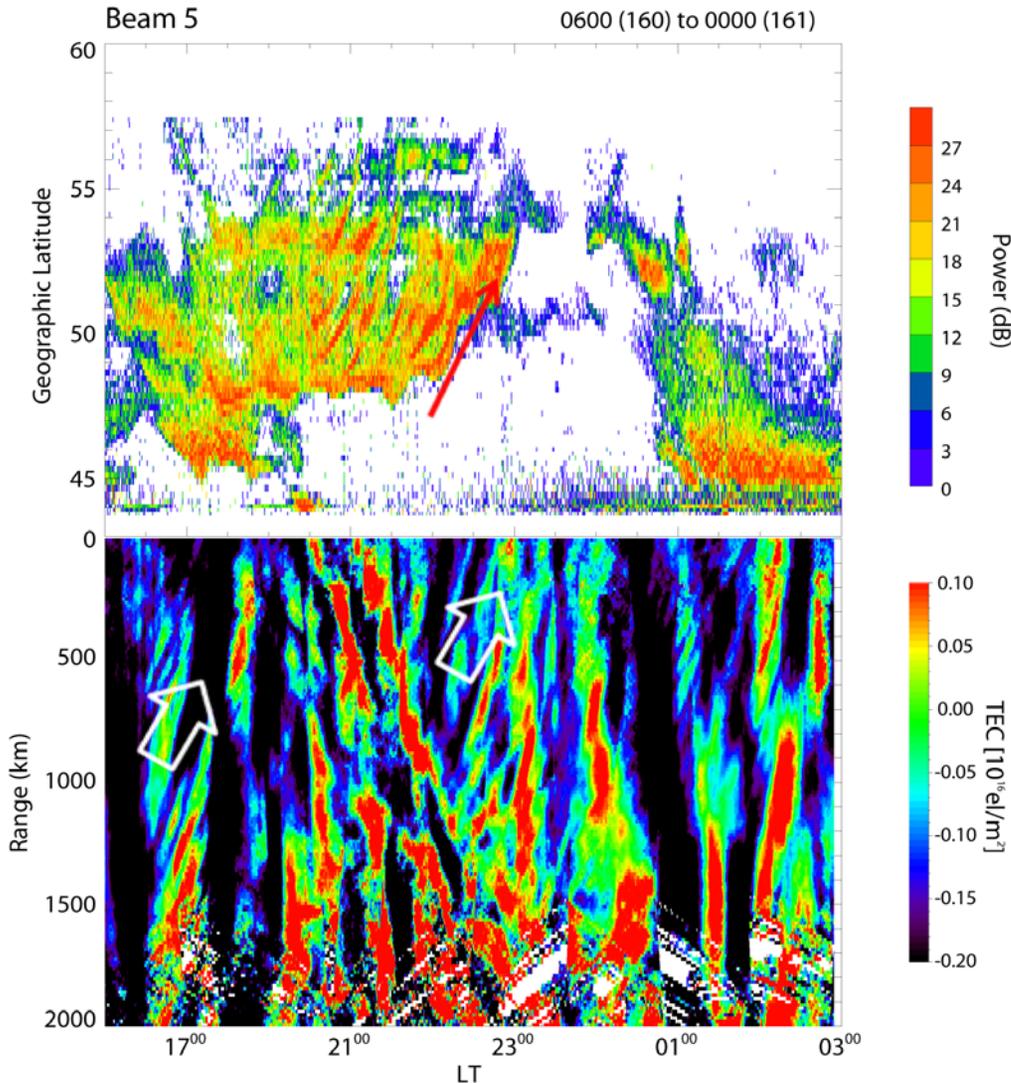
同時観測-GEONETで観測される北向きMSTIDの特徴

SUPERDARN PARAMETER PLOT

Hokkaido: pwr_l

9 Jun 2007⁽¹⁶⁰⁾

unknown scan mode (-151)



➤北海道-陸別HFレーダーで北向きに伝搬するMSTIDを観測した時、GEONETでは日没時と夜中の時間帯に北向きに伝搬するMSTIDが観測された。

日没時

日没線の移動によって発生する大気重力波と考えられている

[Galushko et al., 1998; Kotake, 2007]

夜中

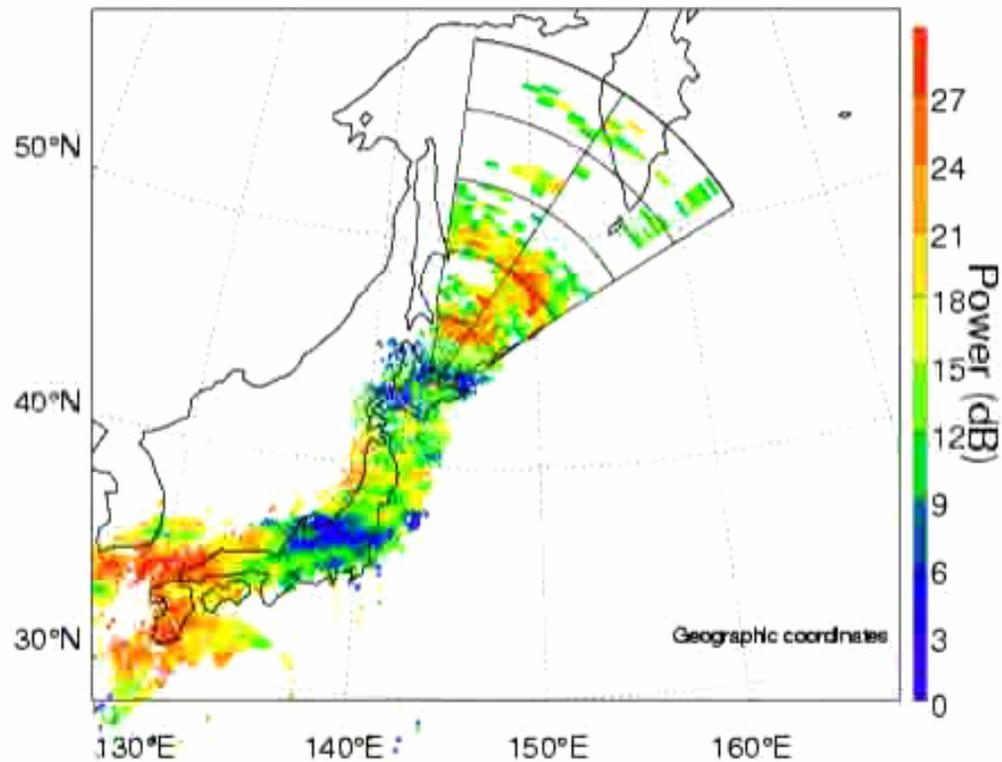
その生成機構についてはわかっていない。

SUPERDARN PARAMETER PLOT

0800UT

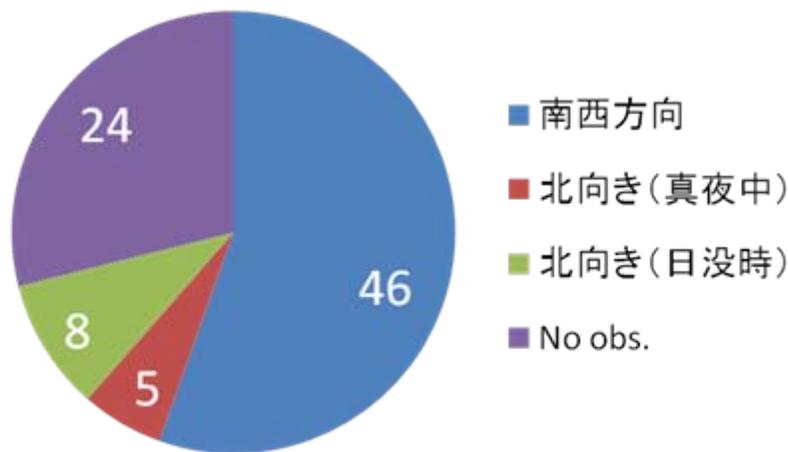
9 Jun 2007⁽¹⁰⁰⁾

unknown scan mode (-151)

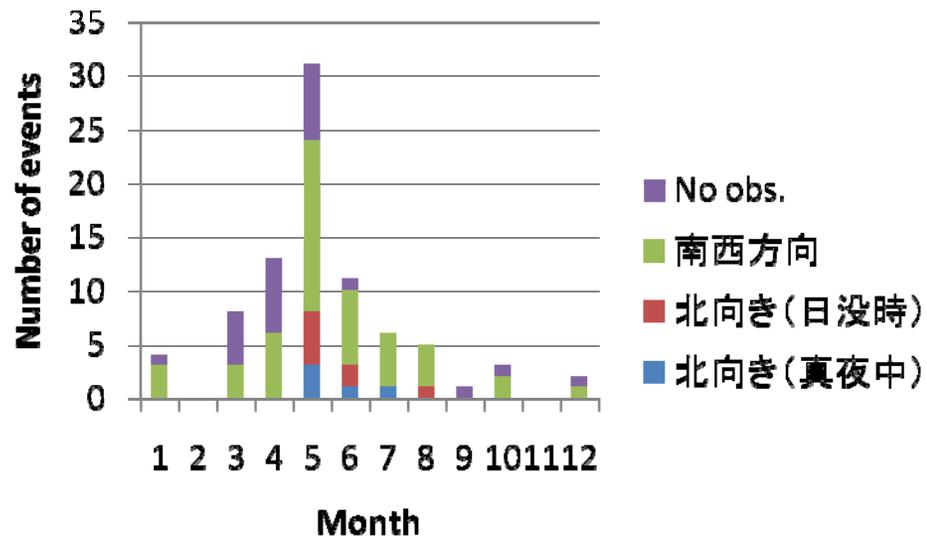


同時観測-GEONETで同時観測されるMSTIDの特性-

Number of MSTID events

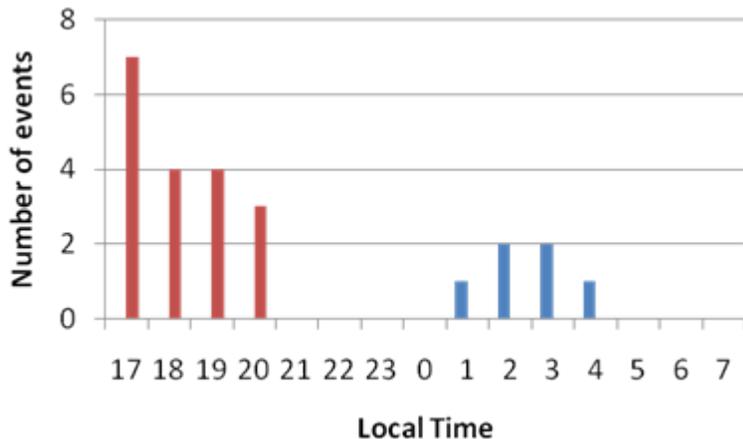


季節依存性 (Seasonal Dependence)

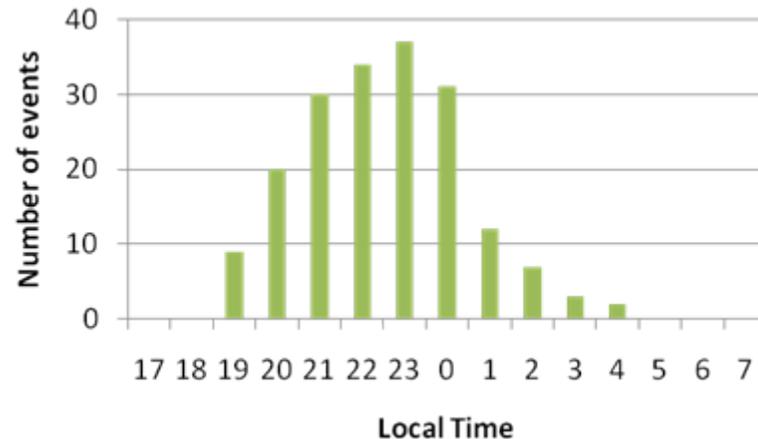


地方時依存性 (Local Time Dependence)

北向きに伝搬するMSTID (MSTID propagating Northward)

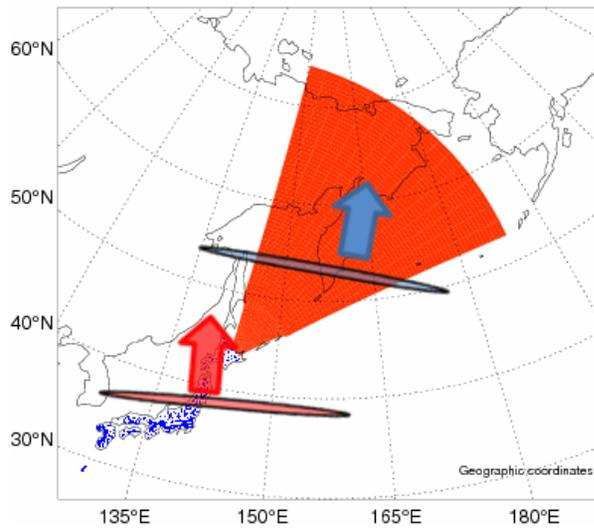


南西方向に伝搬するMSTID (MSTID propagating Southwestward)

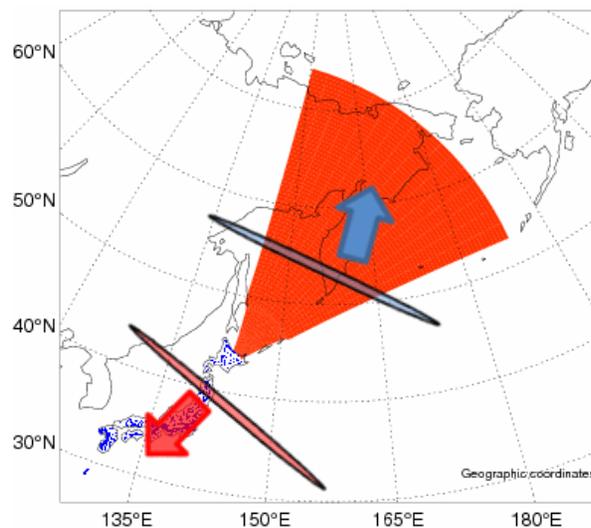


同時観測-伝搬方向の地方時依存性-

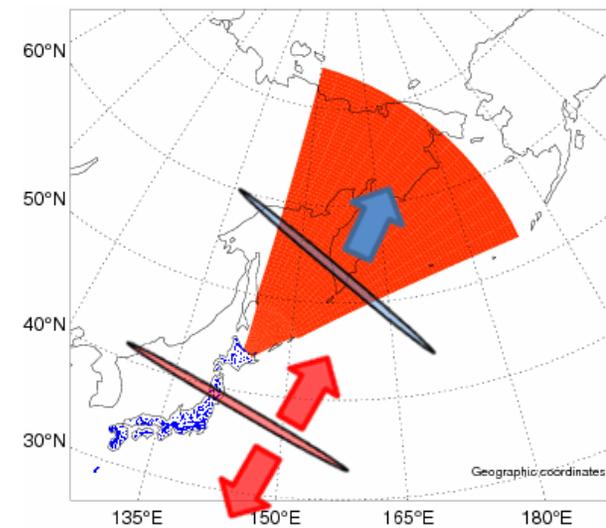
日没時 (18 - 19LT)



夜中前 (21 - 00LT)

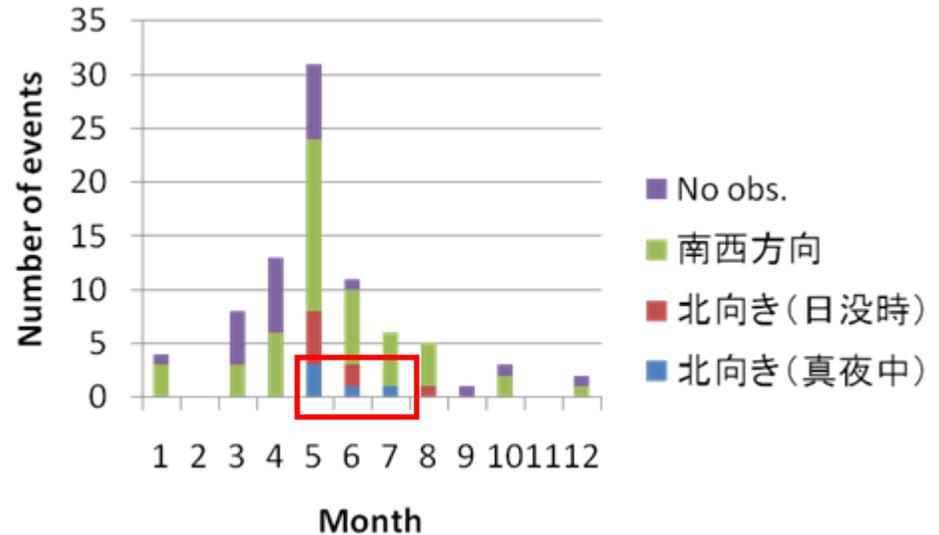
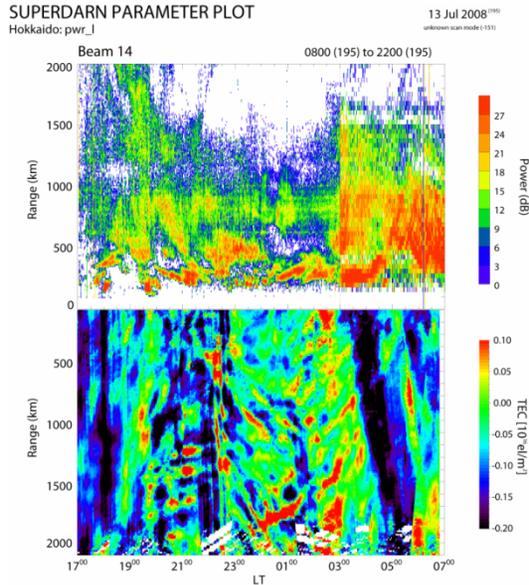


夜中 (01 - 04LT)



考察

➤夜中にGEONETで観測される北向きに伝搬するMSTIDの生成機構は？



- ① 夜間MSTIDとEs層FAIの電磁力結合が知られている。
- ② 北海道-陸別HFレーダーではレンジレートがポジティブのEs層エコーが観測されている。
- ③ GEONETとの同時観測において、それに伴うMSTIDが観測されている。
- ④ 今回の解析において、北海道-陸別HFレーダーで夜中に観測された北向きに伝搬するMSTIDは夏期に観測されている。
- ⑤ 日本上空で観測されるEs層は、夏期に発生頻度が大きい。

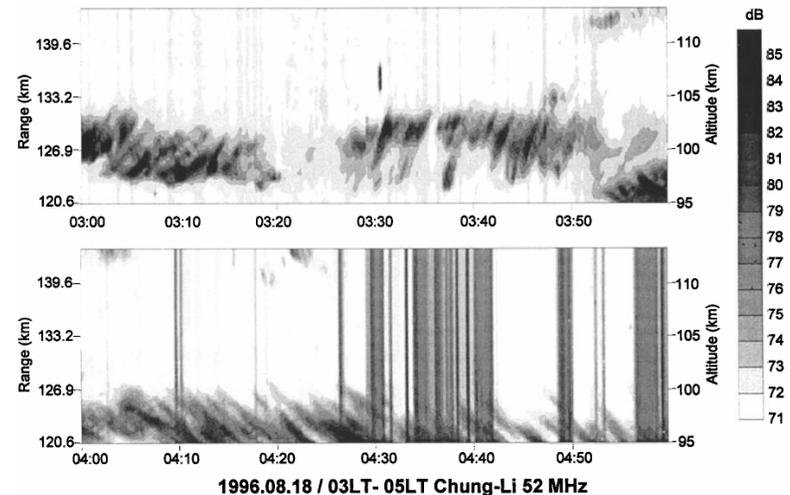
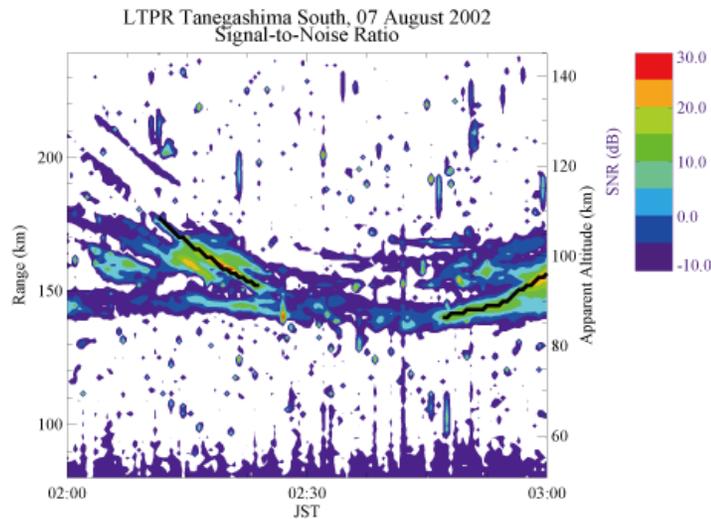
⇒夜中にGEONETで観測される北向きに伝搬するMSTIDとEs層の関連性が考えられる。

考察

➤北海道-陸別HFレーダーとGEONETで観測されるMSTIDの伝搬方向が異なる理由は？

1. Seek-2 campaignにおいて種子島の下部熱圏. プロファイラレーダー (LTPR)でEs層エコーのレンジレートの反転が観測されており、背景の中性風の違いが原因と考えられている [Saito et al., 2005]。
2. SEEK campaign期間において、Chung-Li VHFレーダーで半日周期のQP エコーが観測されており、半日潮汐による背景の中性風の変化が原因と考えられている [Pan and Tsunoda, 1999]。

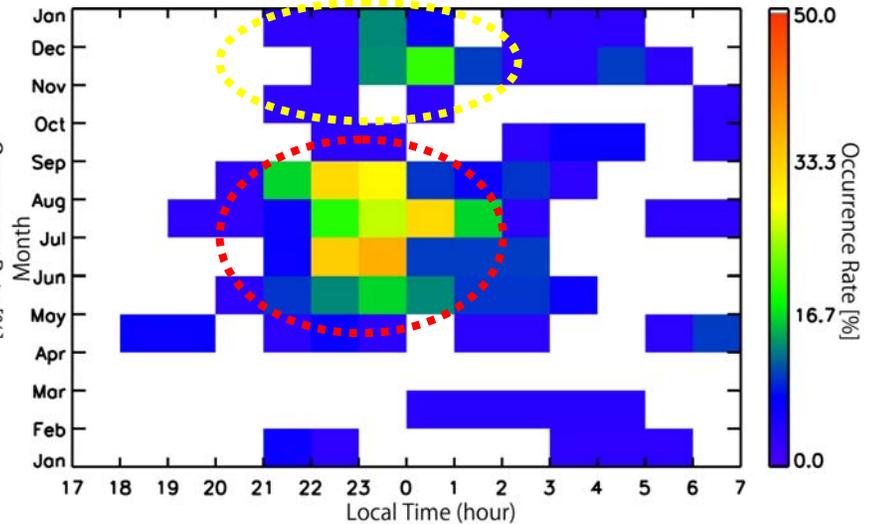
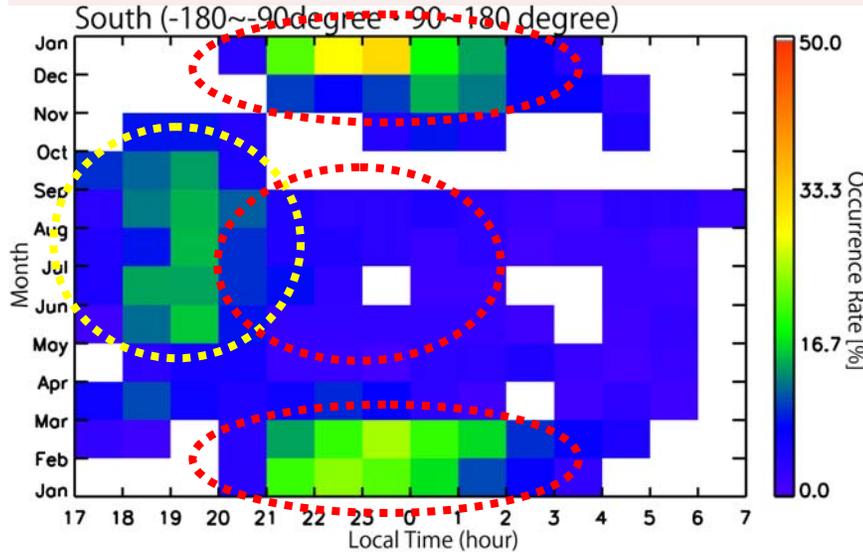
⇒日本より高緯度と日本上空で、Es層の背景の中性風の違いが生じている可能性が考えられる。



統計解析結果-南向きに伝搬するMSTID・比較-

北海道-陸別HFレーダー 2007.1 - 2009.7

GEONET 2002.1-12



[Courtesy of Kotake-san]

季節・地方時依存性

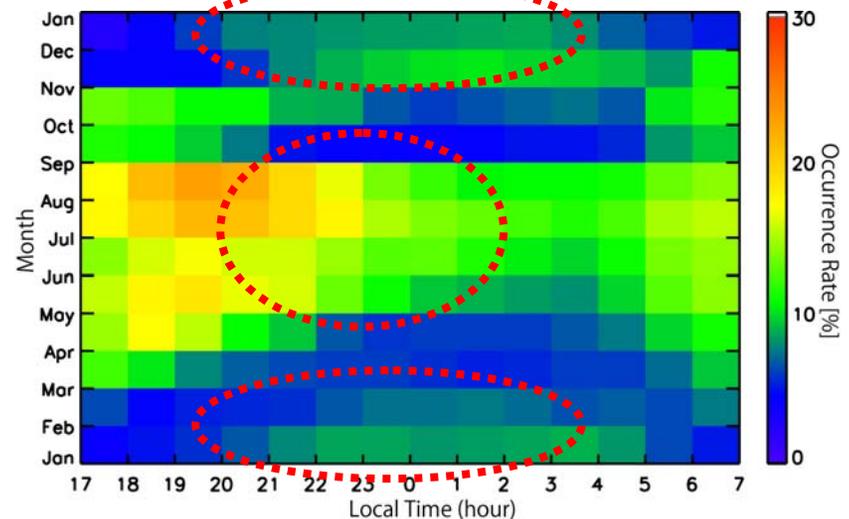
北海道-陸別HFレーダー

- 第1ピーク 冬の夜中
- 第2ピーク 夏の日没時

GEONET

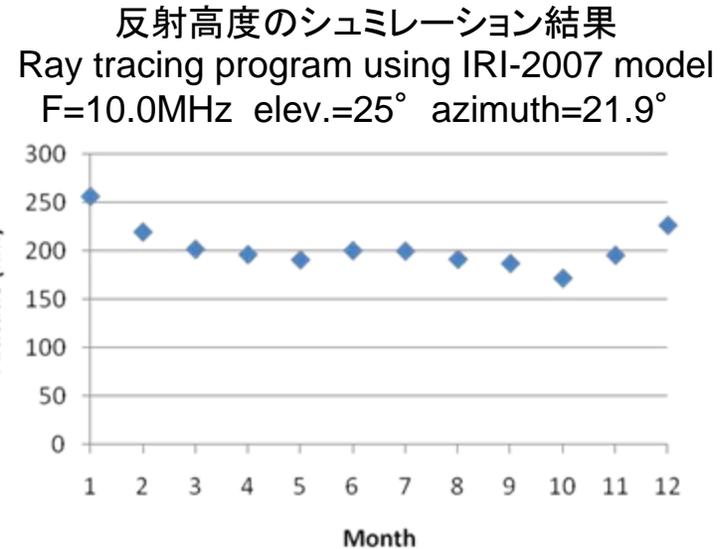
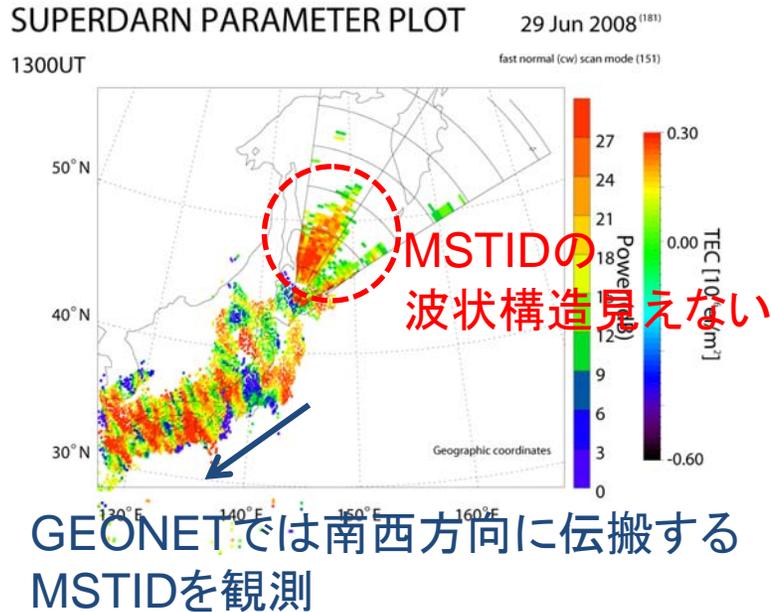
- 第1ピーク 夏の夜中
- 第2ピーク 冬の夜中

エコ観測率



統計解析結果-南向きに伝搬するMSTID・考察-

■北海道-陸別HFレーダーではGEONETに比べて夏の夜中に南向きに伝搬するMSTIDの発生頻度が低い



⇒夏は冬に比べて、電離圏の電子密度が高い

⇒電波がMSTIDが発生している場所、または、FAIに到達する前に反射されてしまう可能性が考えられる。

他の理由として下記のものと考えられる

1. 夏季夜間では人工雑音のレベルが高い
2. 電離圏エコーと地上散乱エコーの混在の影響

まとめ1

■北海道-陸別HFレーダーで観測されたMSTIDの伝搬方向について、2007年1月～2009年7月の夜間(17～7時LT)における統計解析を行った。

□伝搬方向の地方時依存性

- 従来の研究結果と同様、南西方向に伝搬するMSTIDが多く観測される中で、北～北東方向に伝搬するMSTIDも観測されていた。
- Perkins不安定の理論に適う伝搬方向の地方時変化が見られた。

□北向きに伝搬するMSTID

➤季節・地方時依存性

発生頻度の第1ピーク が5月夜中前、第2ピークが夏期日没時に見られた。

➤GEONETを用いた統計解析結果との比較

北海道-陸別HFレーダーでは、夏季夜間前に発生頻度の第1ピークが見られたがGEONETでは、その時間帯に発生頻度は大きくなかった。

まとめ2

□南向きに伝搬するMSTID

➤季節・地方時依存性

発生頻度の第1ピークが冬の夜間、第2ピークが夏の日没時に見られた。

➤GEONETを用いた統計解析結果との比較

GEONETでは夏季夜間に第1ピークが見られたが、北海道-陸別HFレーダーではその時間帯に発生頻度は大きくなかったが、これは電離圏の夏期の電子密度が冬季よりも大きいためであると考えられる。

■北海道-陸別HFレーダーで観測された北向きに伝搬するMSTID、74例に対して、GEONETの観測データを用いて、同時観測を行った。

➤北海道-陸別HFレーダーで北向きに伝搬するMSTIDを観測した時、GEONETでは南西方向に伝搬するMSTID、北向きに伝搬するMSTIDが観測された。

➤南西方向に伝搬するMSTIDは、夜中前、北向きに伝搬するMSTIDは日没時と、夜中に観測された。

➤夜中に北向きに伝搬するMSTIDは夏に観測され、Es層との関連性が考えられる。

➤北海道-陸別HFレーダーとGEONETの伝搬方向が異なる時がある理由として、Es層の背景の中性風の変化が考えられる。