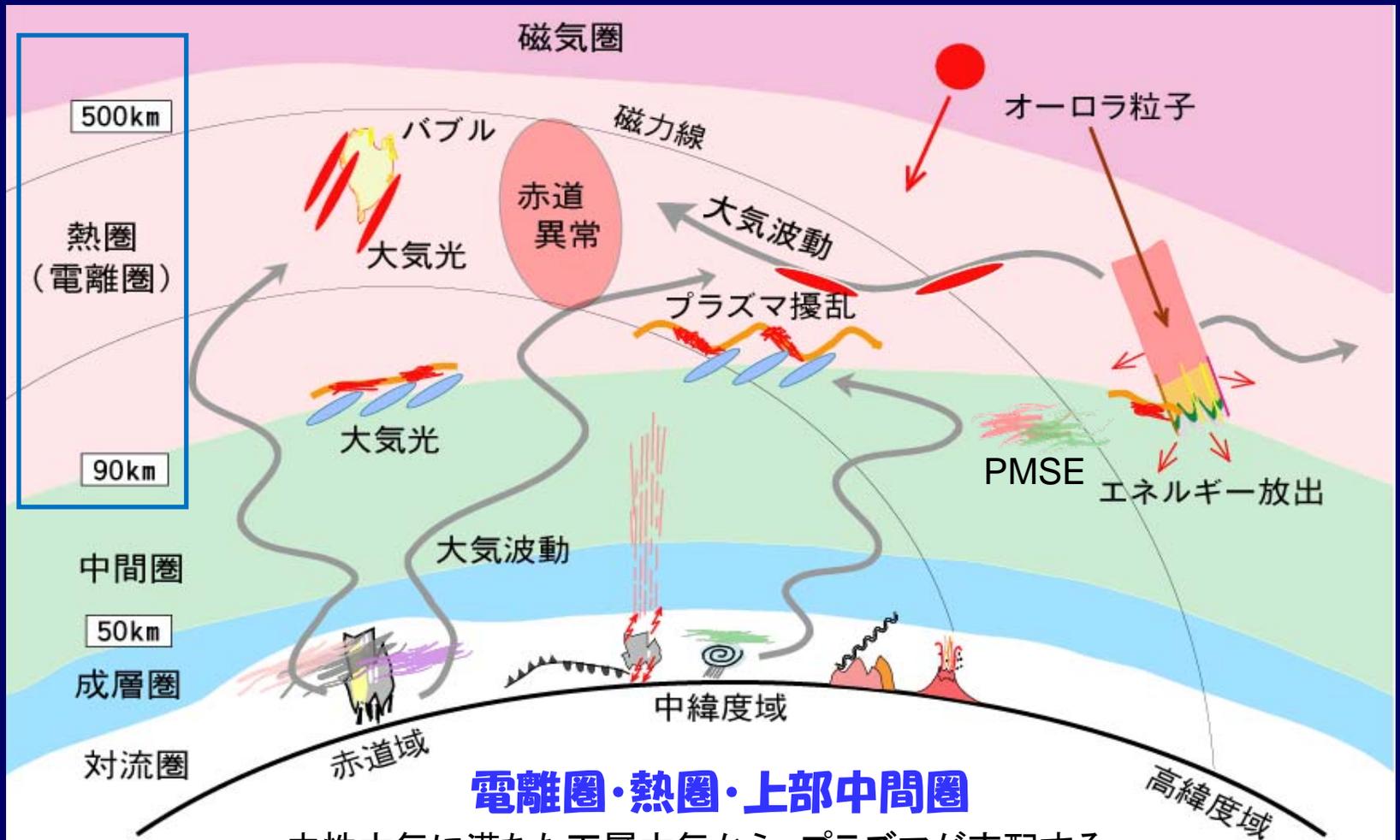


電波で電離圏を探る

- STE研での13年間 -

小川 忠彦

1. EISCAT
2. 信楽 MU レーダー
3. SuperDARN レーダー
 - 3.1 昭和基地 SuperDARN レーダー
 - 3.2 北海道-陸別 SuperDARN レーダー
4. 赤道域の電離圏擾乱



電離圏・熱圏・上部中間圏

- ・中性大気に満ちた下層大気から、プラズマが支配する磁気圏への遷移領域にあり、中性気体とプラズマが混在
- ・太陽放射の影響と下層大気、磁気圏からのフォーシング
- ・地球大気環境の外縁

国内外の多地点に設置した最新の各種の光・電波観測装置で得られる観測データの解析を基にした研究

1. EISCAT



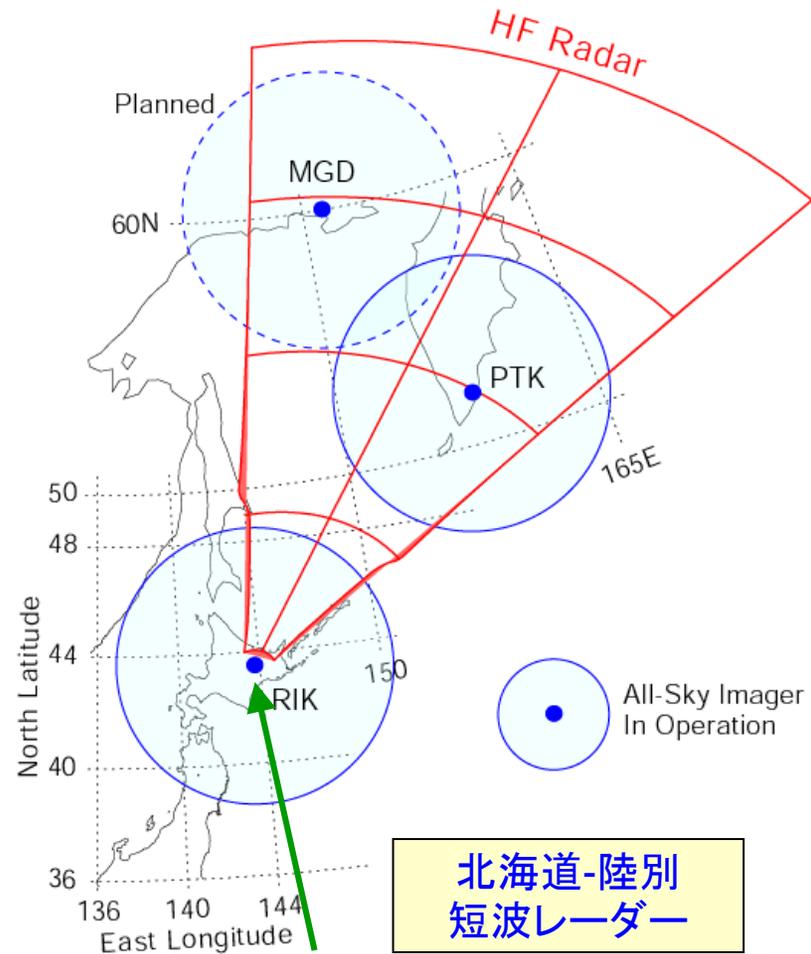
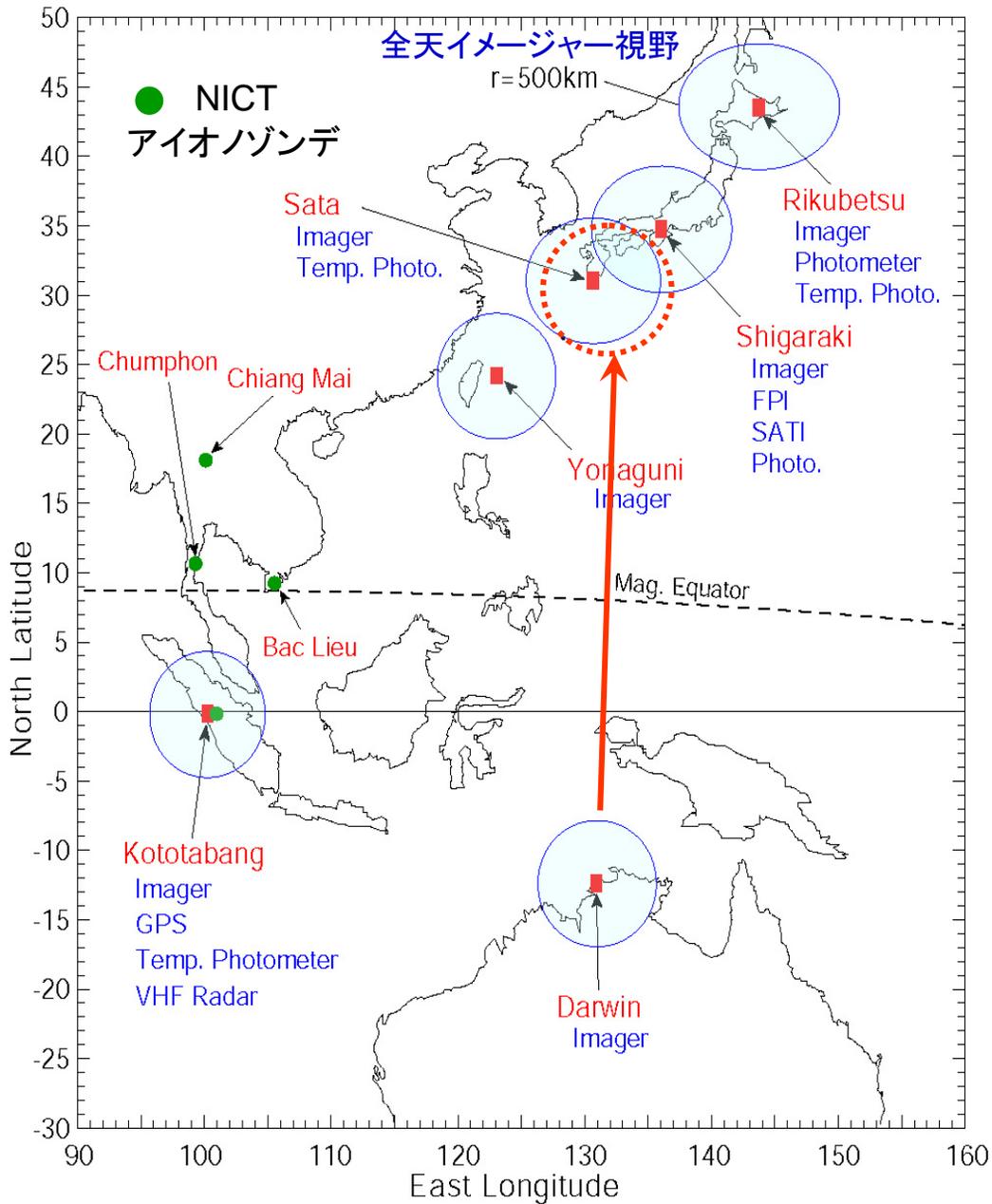
2001年5月18日
EISCAT @ トロムソ

STE研 EISCAT Svalbard レーダー(ESR)計画

- ・スヴァールバルに2基目の非干渉性散乱レーダーの設置を計画(松浦、藤井先生)
 - ・(STE研での初仕事) ESR 42m レーダー仕様の作成(1995年)
 - ・EISCATが独自に建設することに決定
 - ・補正予算(極地研)
 - ・日本がEISCATに加盟(1996年)
- EISCAT科学諮問委員会委員(9年間)



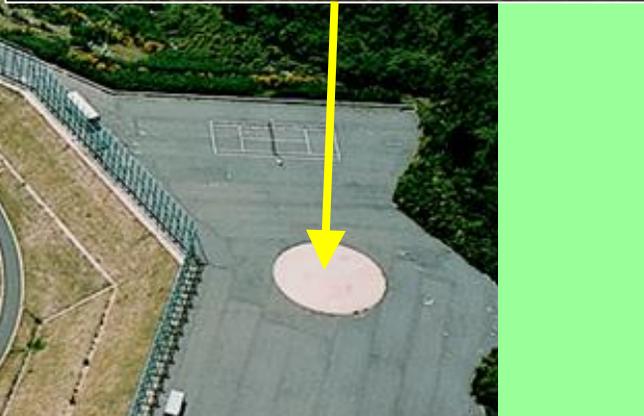
稼働中の地上観測ネットワーク



2. 信楽 MU レーダー(京都大学)

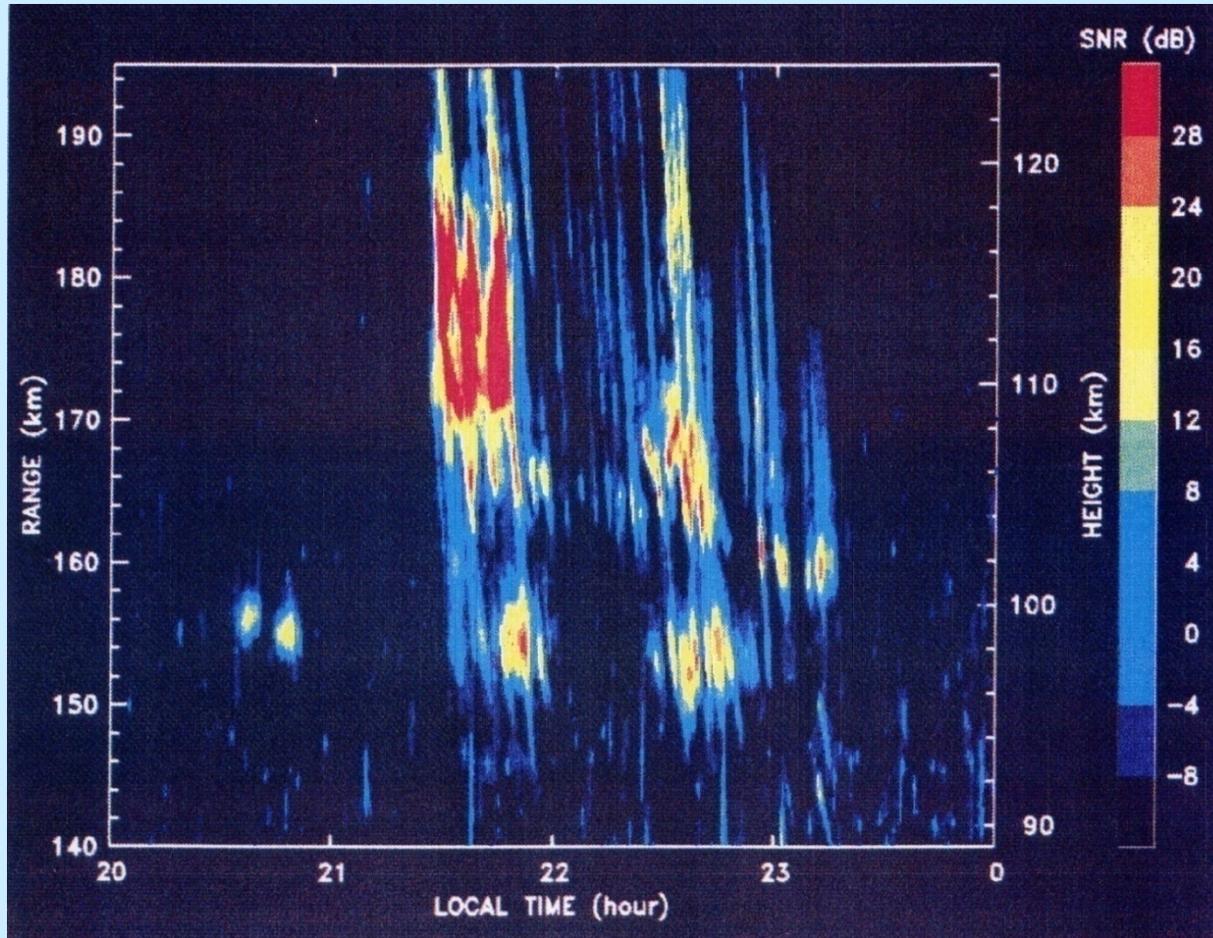


OMTI 小屋(1997年から)



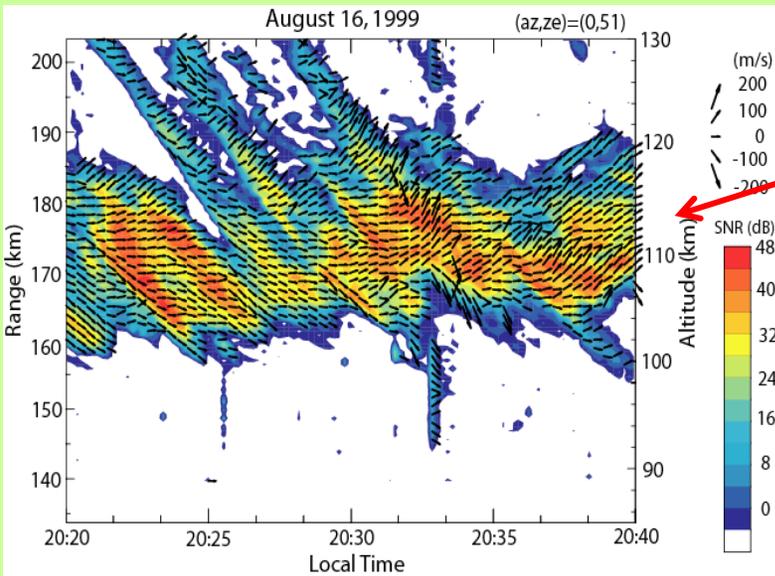
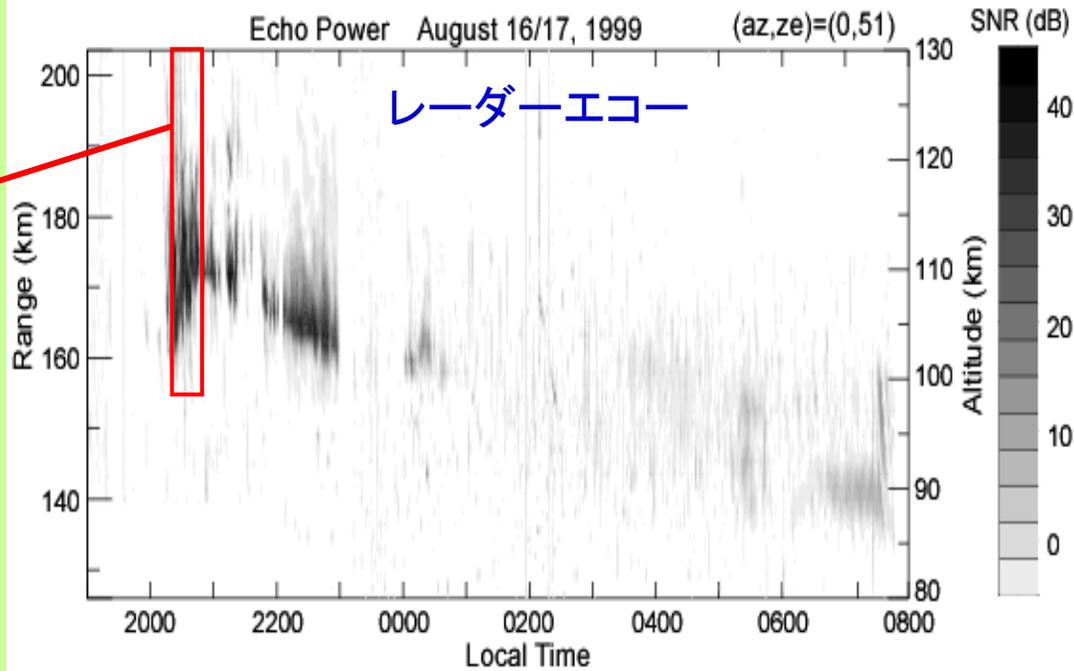
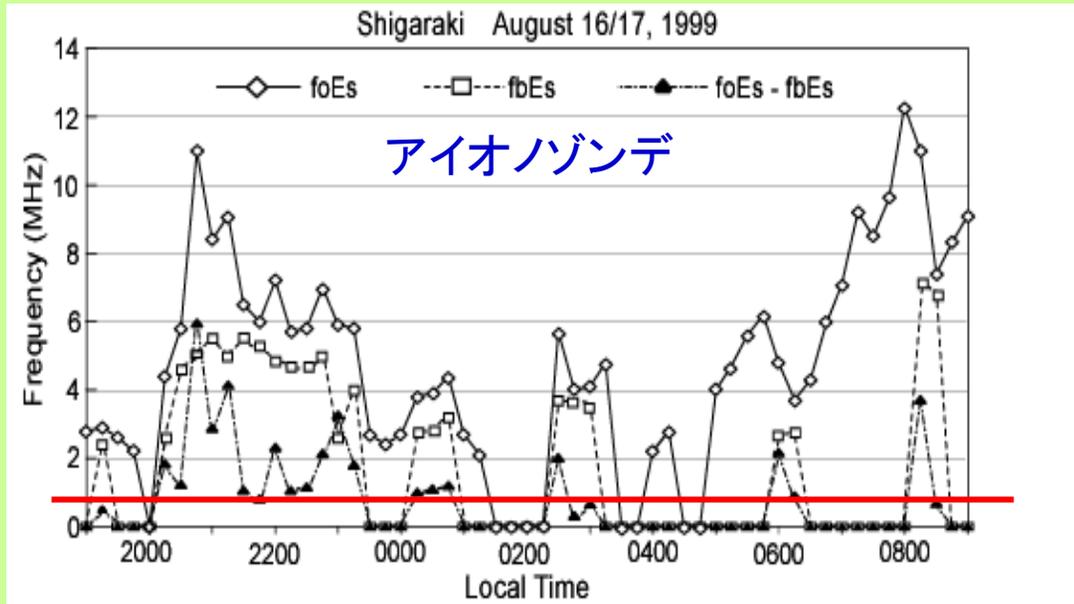
MUレーダー(46.5 MHz, 1 MW)

MU レーダーによる Es 準周期エコーの研究



- ・夏季夜間のスプラディック E (Es) 層からの準周期 (QP) エコーの発見 (Yamamoto et al., 1991)
- ・中緯度の電離圏プラズマは予想以上に激しく変動
- ・なぜ？

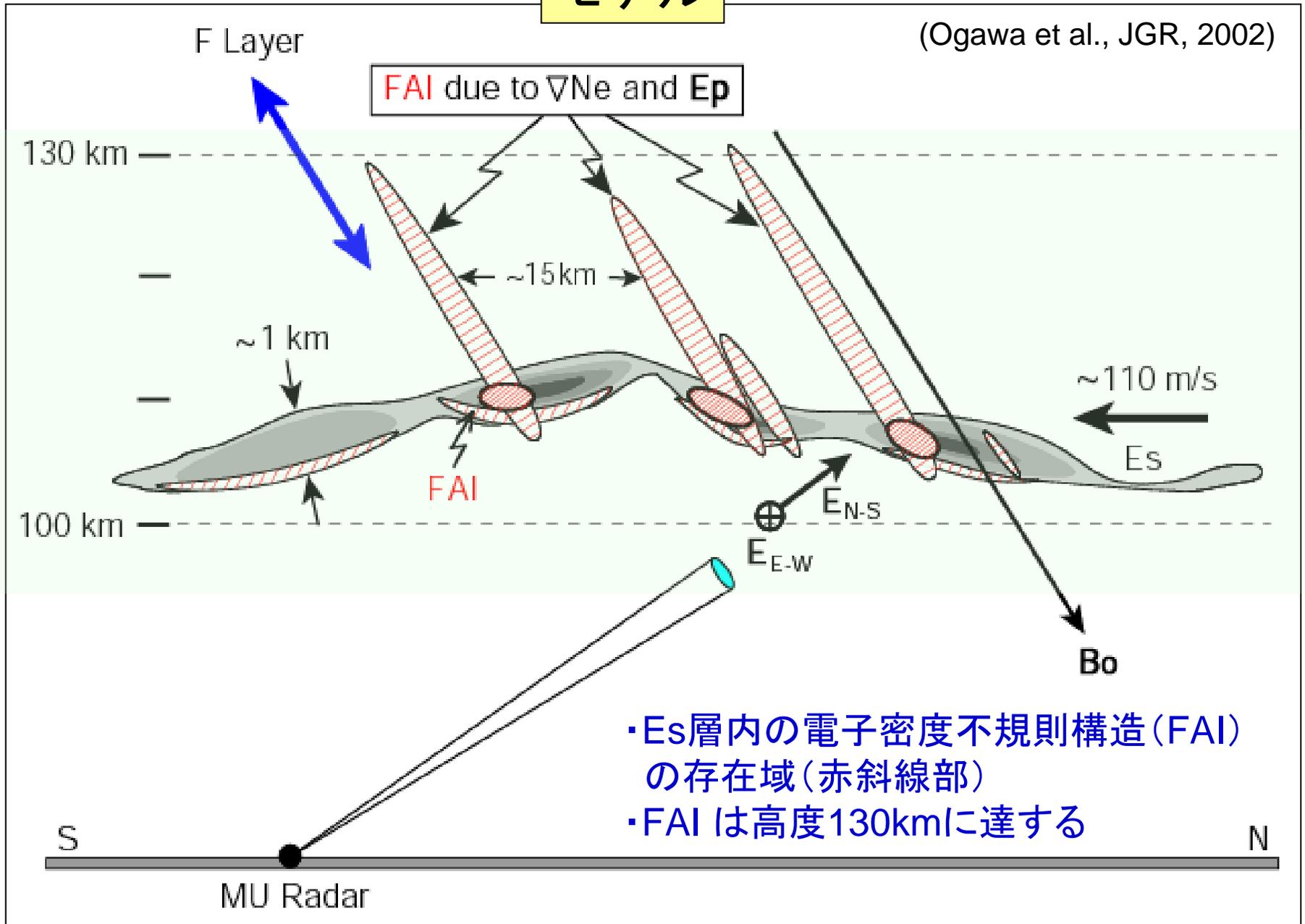
- ・foEs – fbEsが約 1 MHz を超えるとQPエコー発生
- ・エコーの最高高度は130km
- ・E層プラズマは激しい乱流



(Ogawa et al., JGR, 2002)

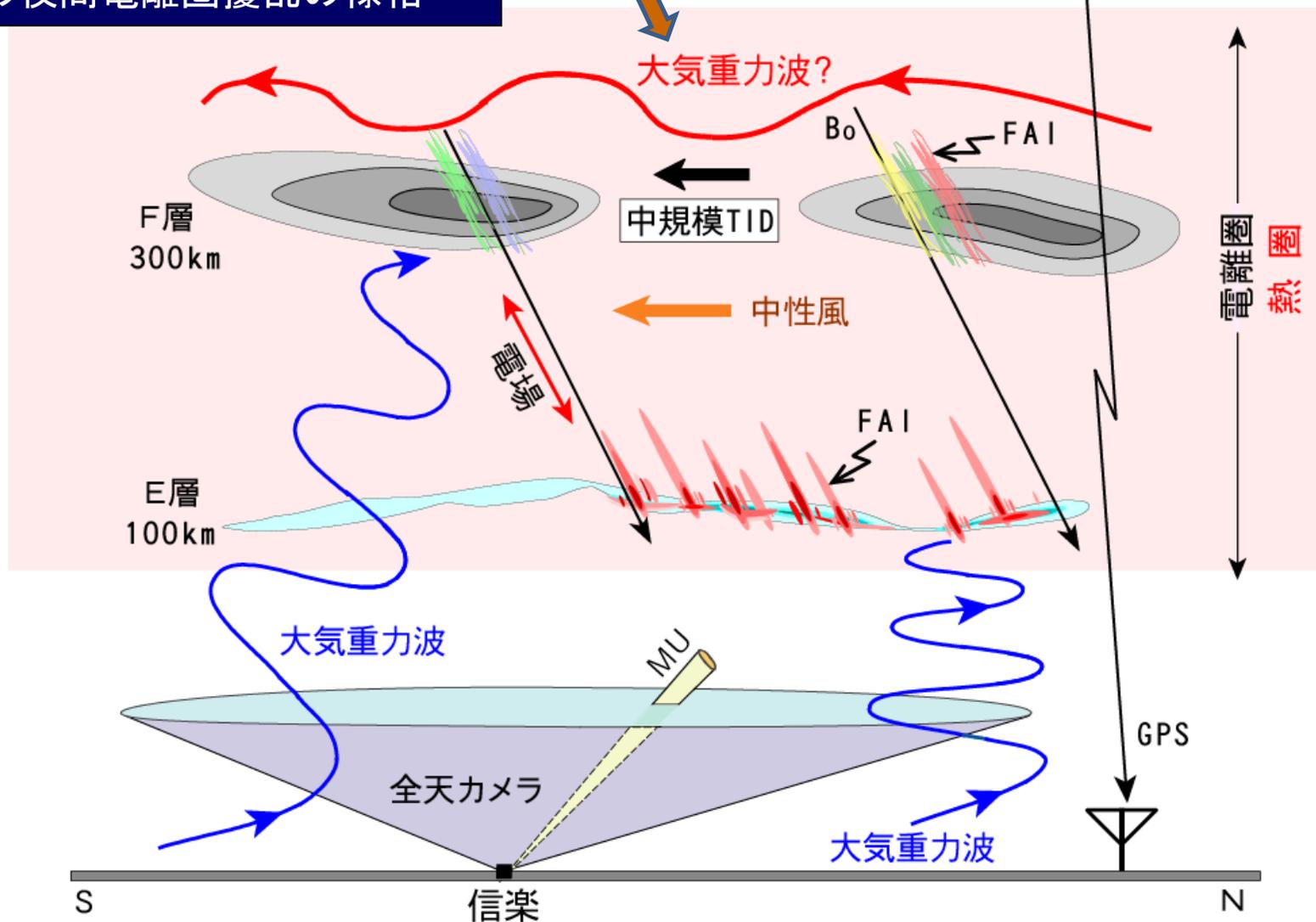
モデル

(Ogawa et al., JGR, 2002)



- ・Es層内の電子密度不規則構造 (FAI) の存在域 (赤斜線部)
- ・FAI は高度130kmに達する

全天イメージャー、MULレーダー、GPS観測から明らかになった日本上空の夜間電離圏擾乱の様相

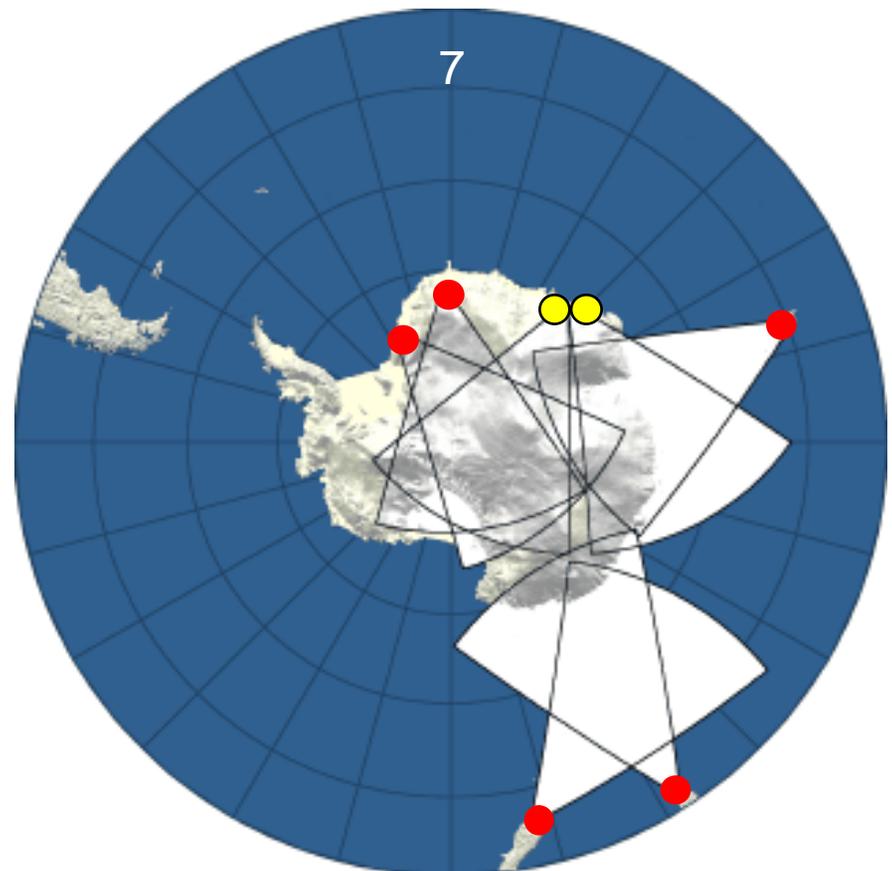
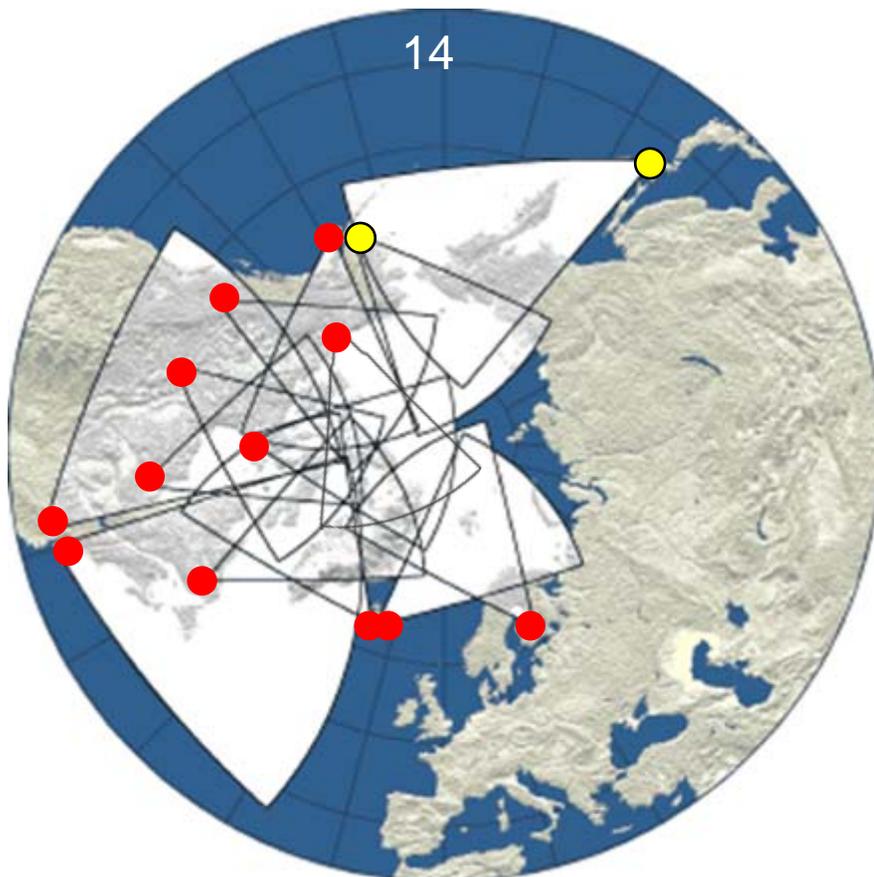


大気重力波によるプラズマ擾乱の誘発、電離圏E-F層の電氣的結合

3. SuperDARN レーダー

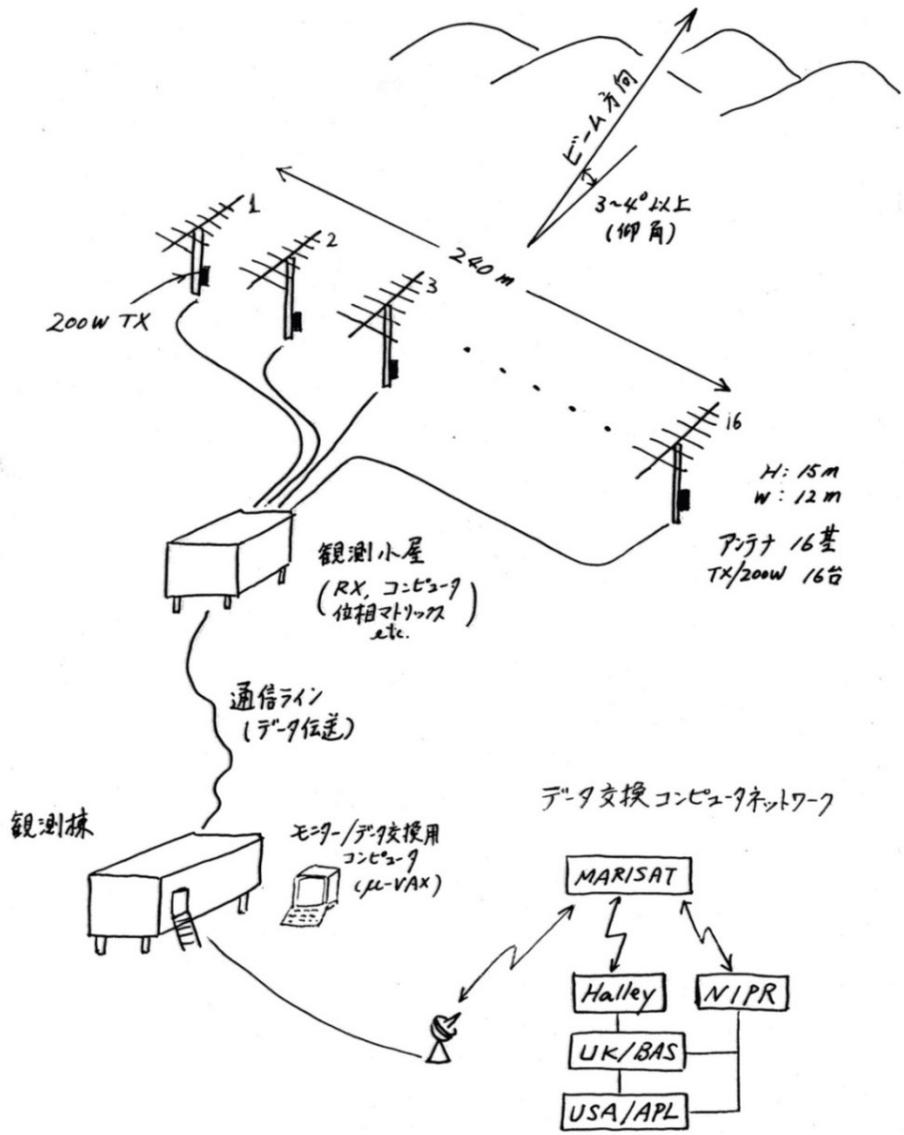
SuperDARN : Super Dual Auroral Radar Network

南・北極域の電離圏プラズマ運動を観測する
HF帯レーダー網

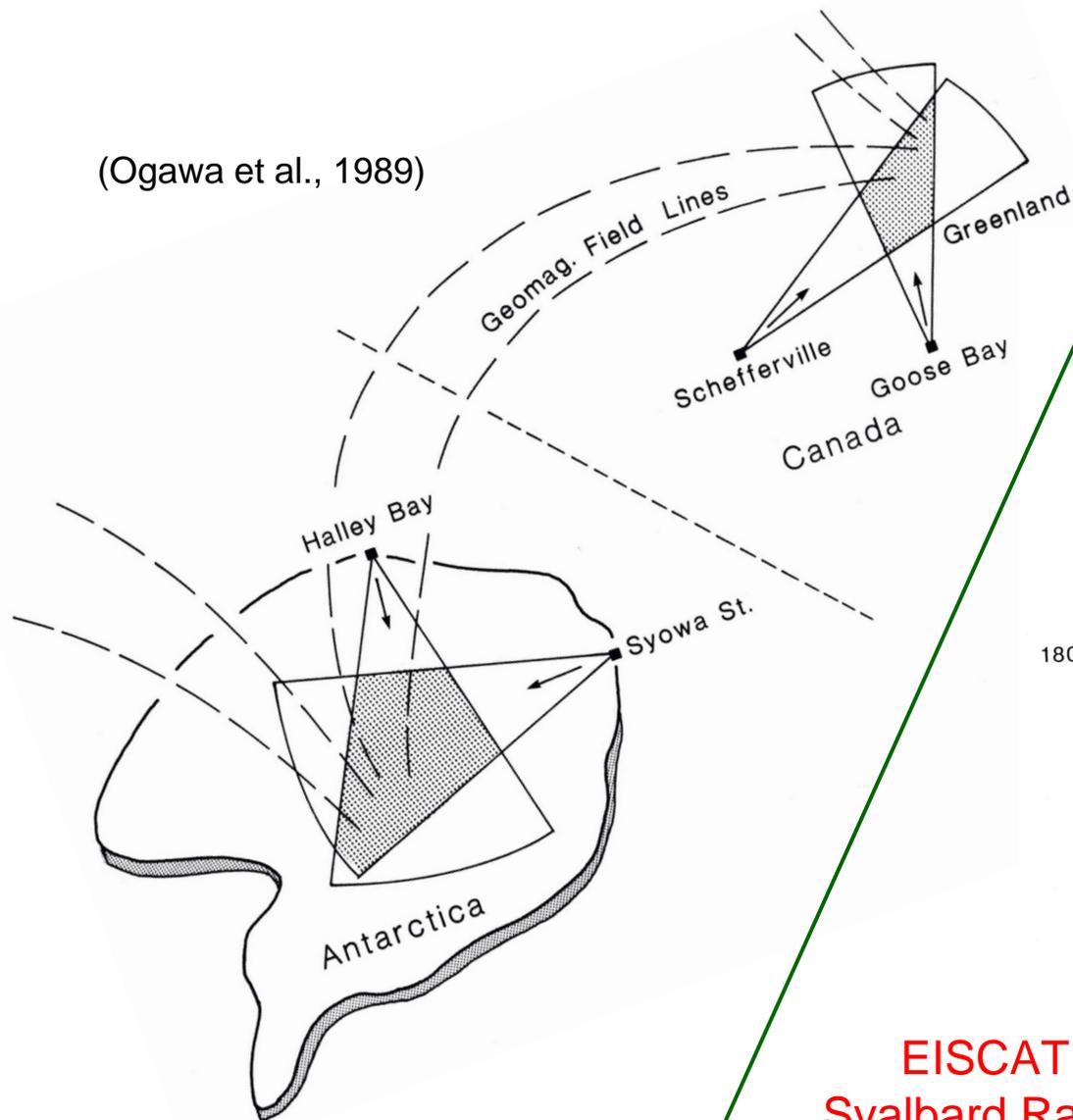


3.1 昭和基地SuperDARNレーダー

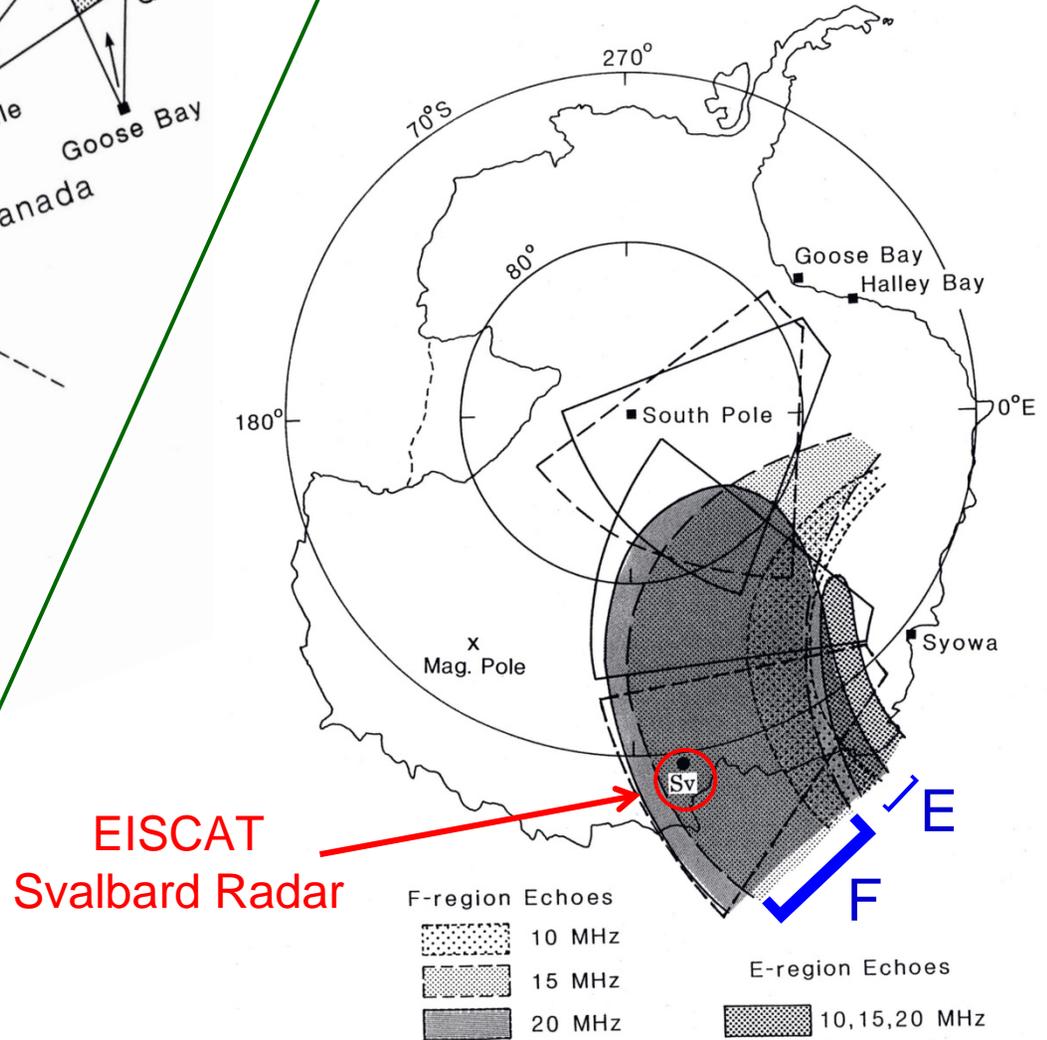
1989年2月
STEP期間(1990-1995)の
昭和基地研究プロジェクトとして提案

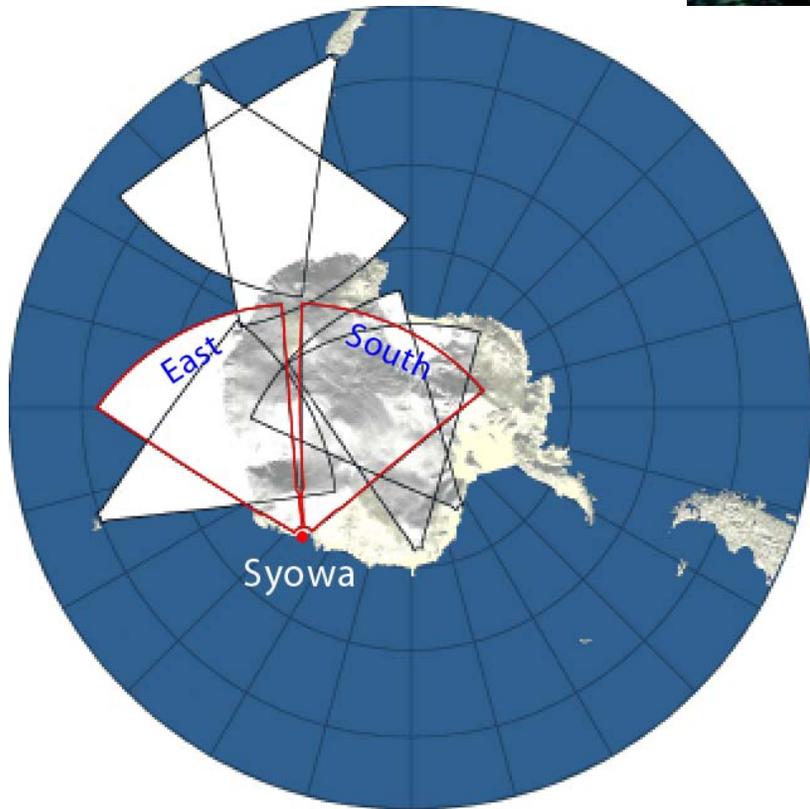


(Ogawa et al., 1989)

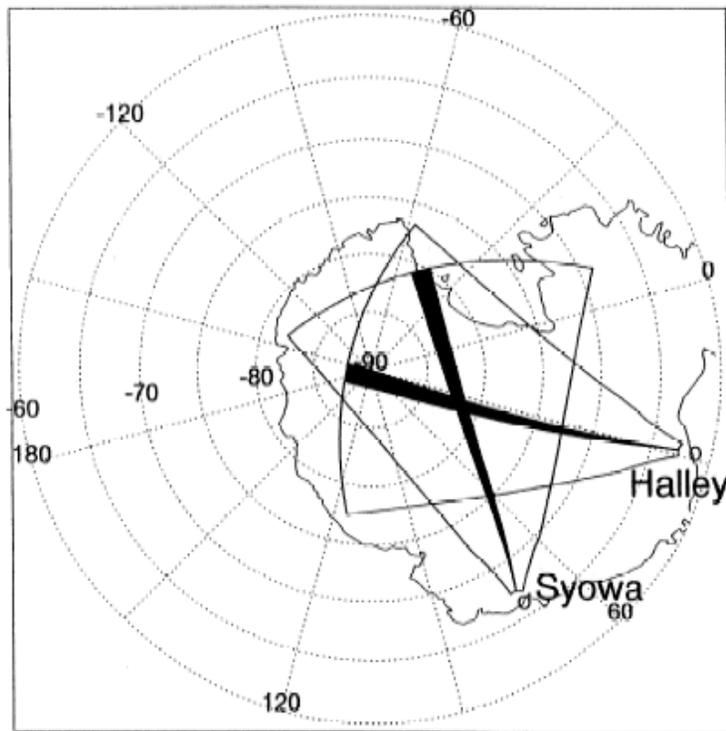


(Ogawa et al., 1990)



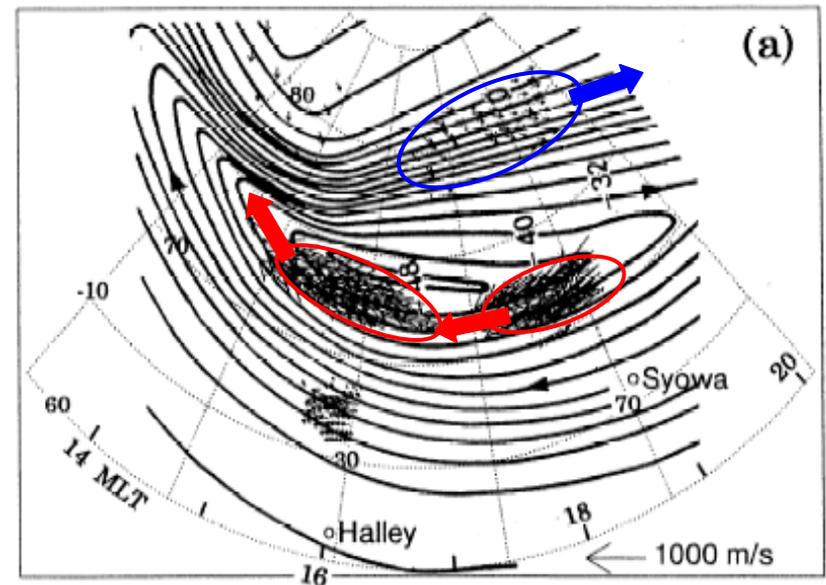
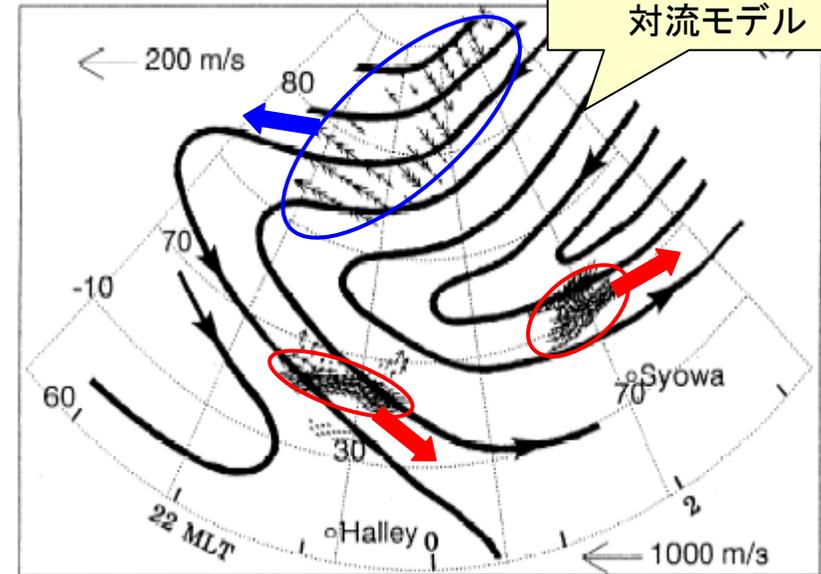


- ・1993年初頭 予算決定
- ・1995年2月
第1 (Syowa-South) レーダー
- ・1997年2月
第2 (Syowa-East) レーダー

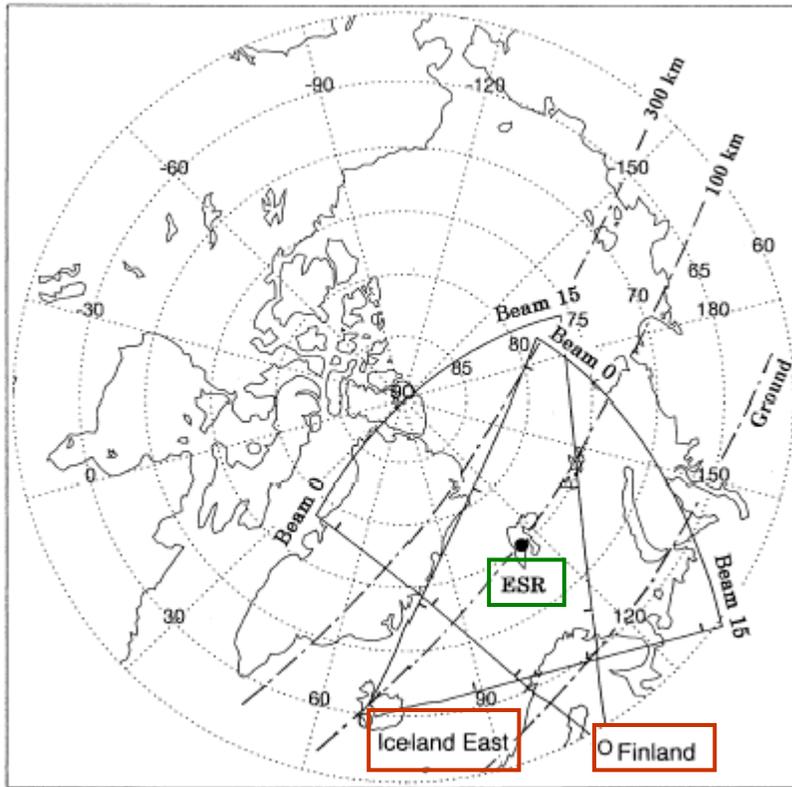


Irregularity drift velocity map

Heppner-Maynard
対流モデル

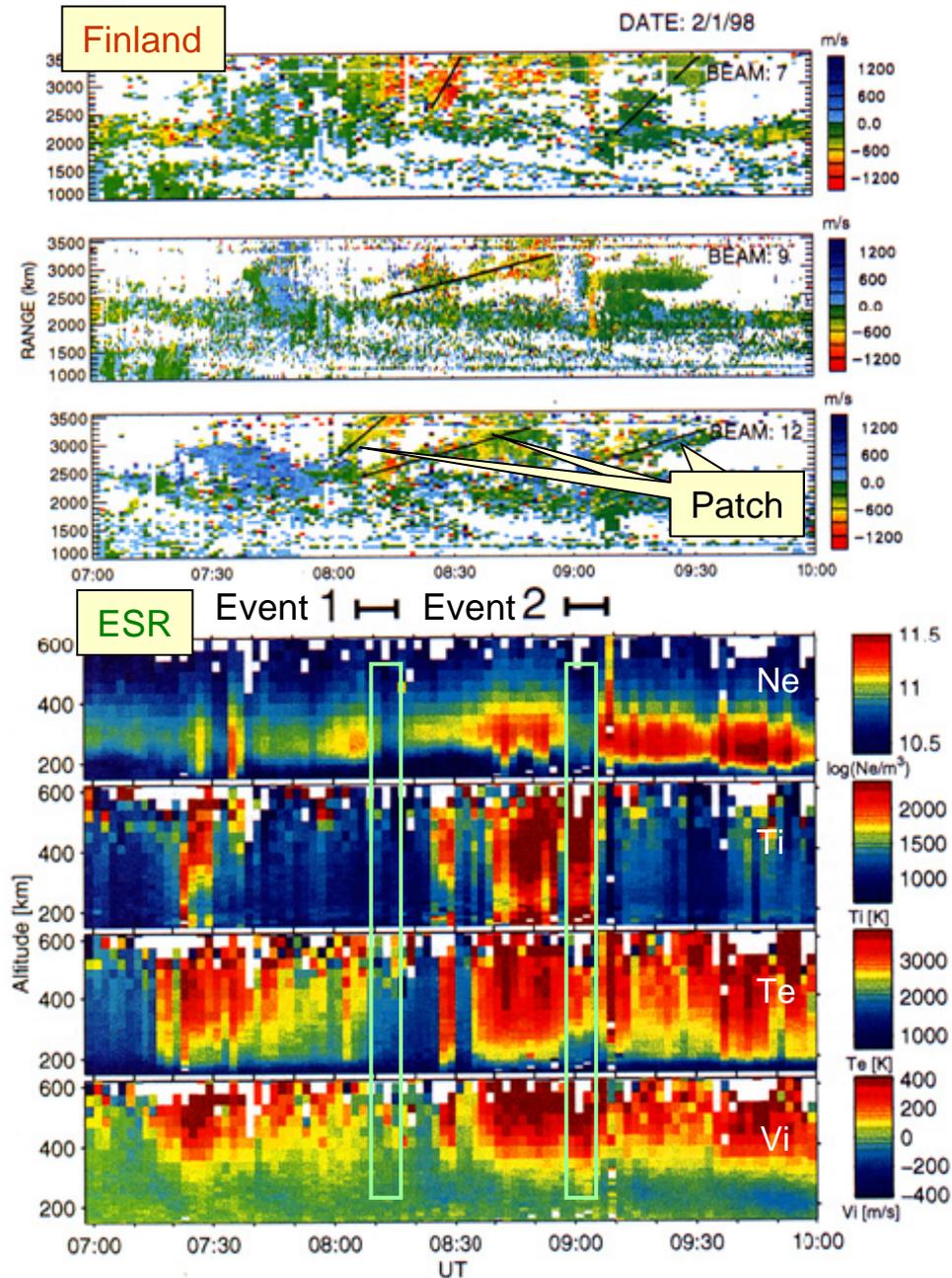


- ・ **ポーラーパッチ** (極冠域F層の高電子密度域) は、負のIMF-Bzの時にカस्प付近で次々と生成され、極冠域プラズマ対流に乗って反太陽方向に移動し、ハング不連続を通過後は**オーロラブロブ**としてオーロラ帯を太陽方向へ
- ・ パッチのサイズはおよそ1000x1500 kmであり、全天カメラで観測されるサイズに等しい。



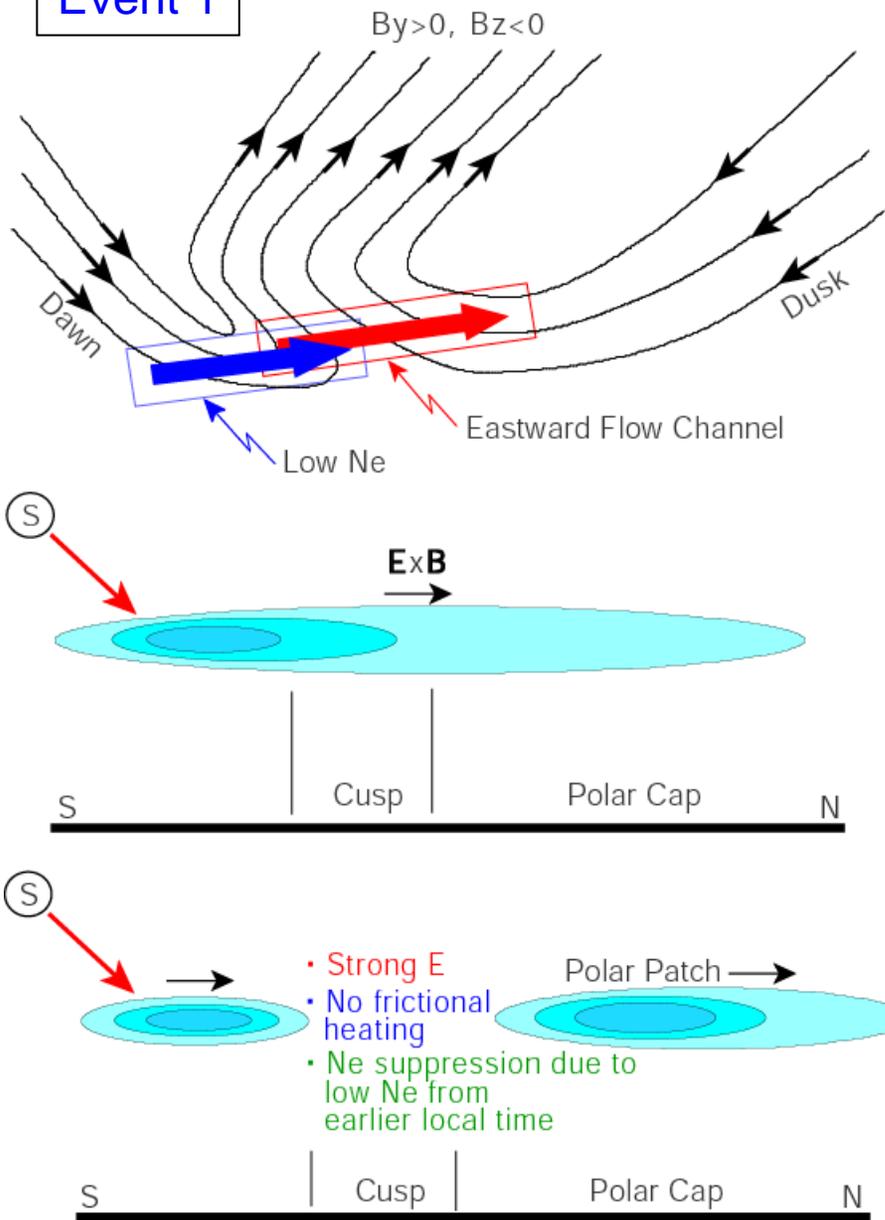
CUTLASS

ESRとCUTLASSレーダーとの同時観測から、負のIMF-Bz且つ正のIMF-Byの時に発生するF層電子密度の急減がパッチの生成因であることが判明

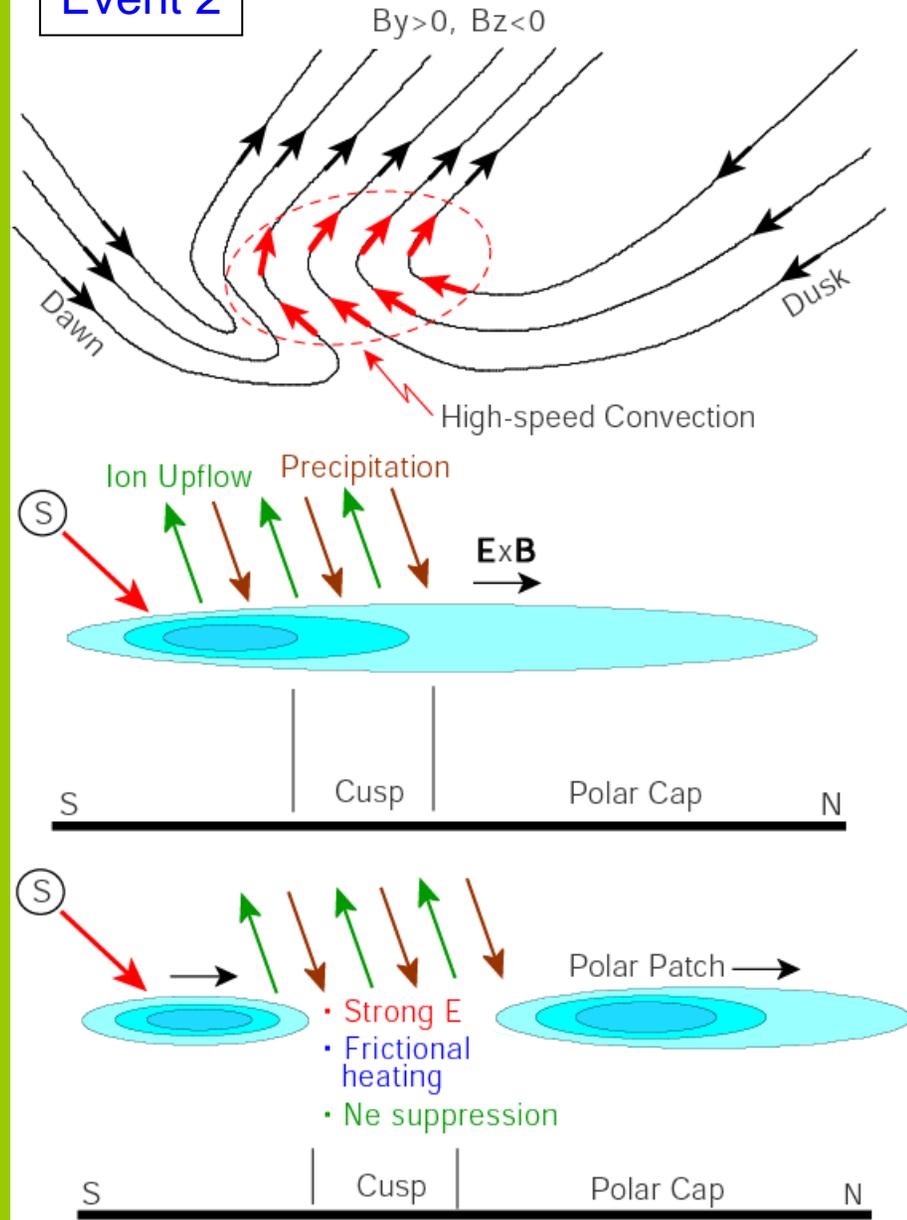


カスプ付近でのポーラーパッチ生成過程 (2/2)

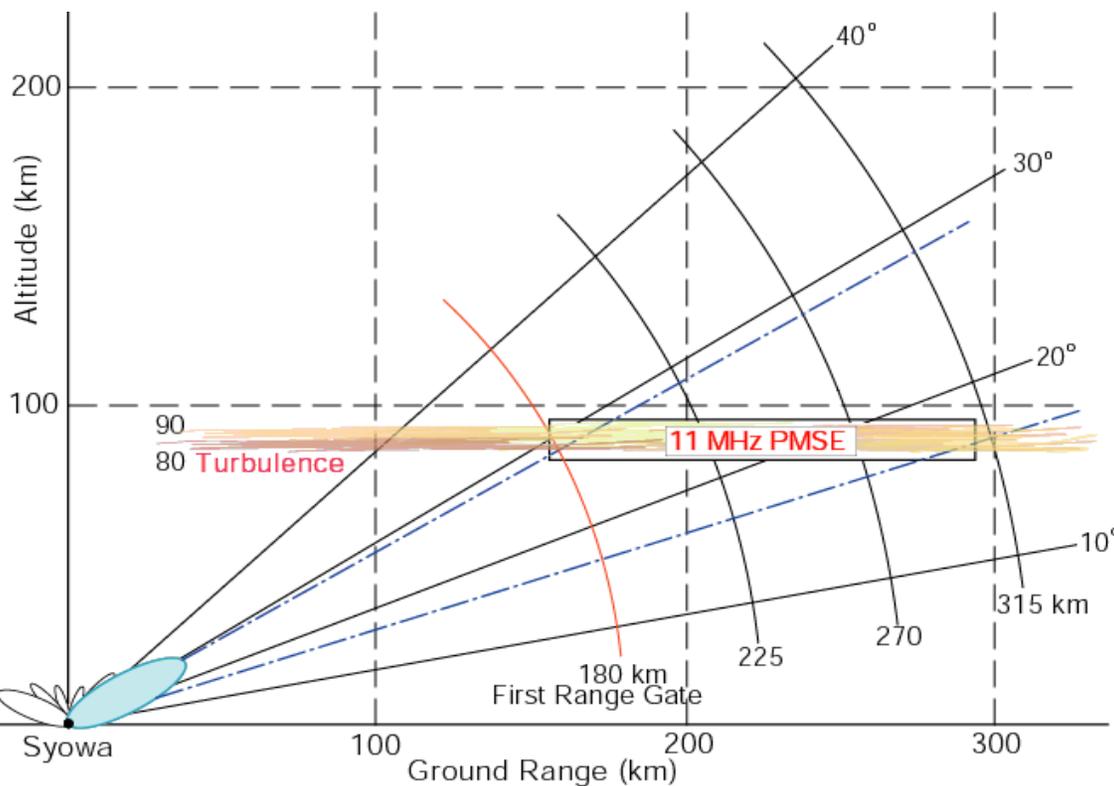
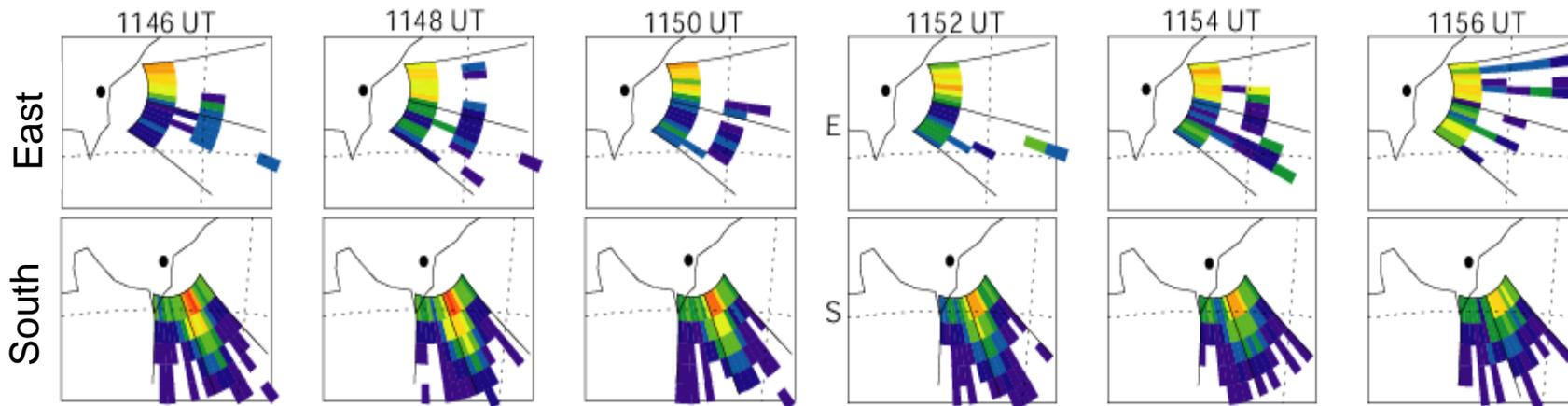
Event 1



Event 2



Dec. 15, 1997

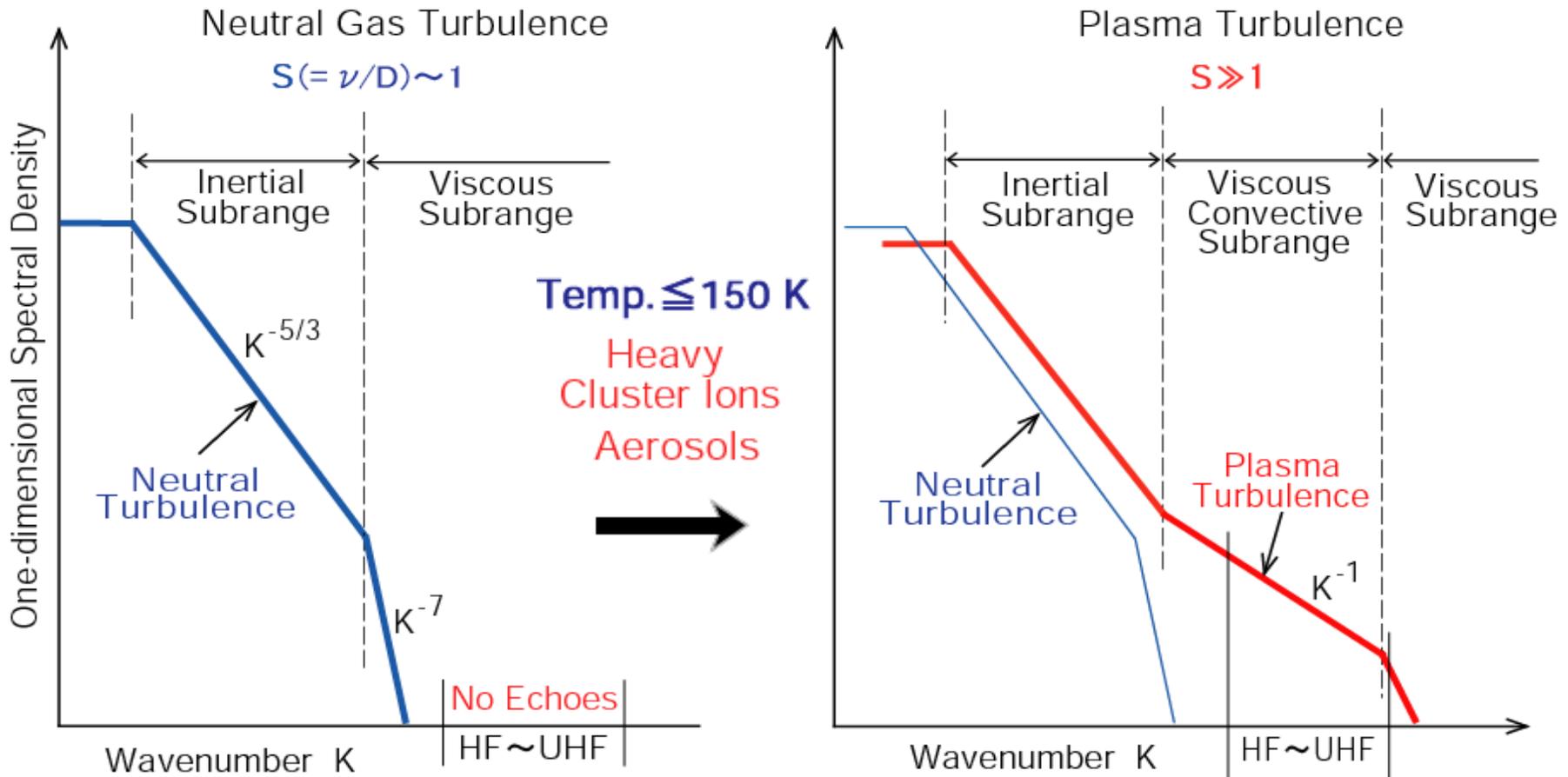


極域夏季中間圏エコー (PMSE)

- ・従来は鉛直ビームを持つ、もっぱら北極域のHF-UHF帯レーダーで観測
- ・斜めビームのSuperDARNでも観測されることを発見

PMSEの発生プロセス

$$S = \nu / D : \text{Schmidt Number}$$

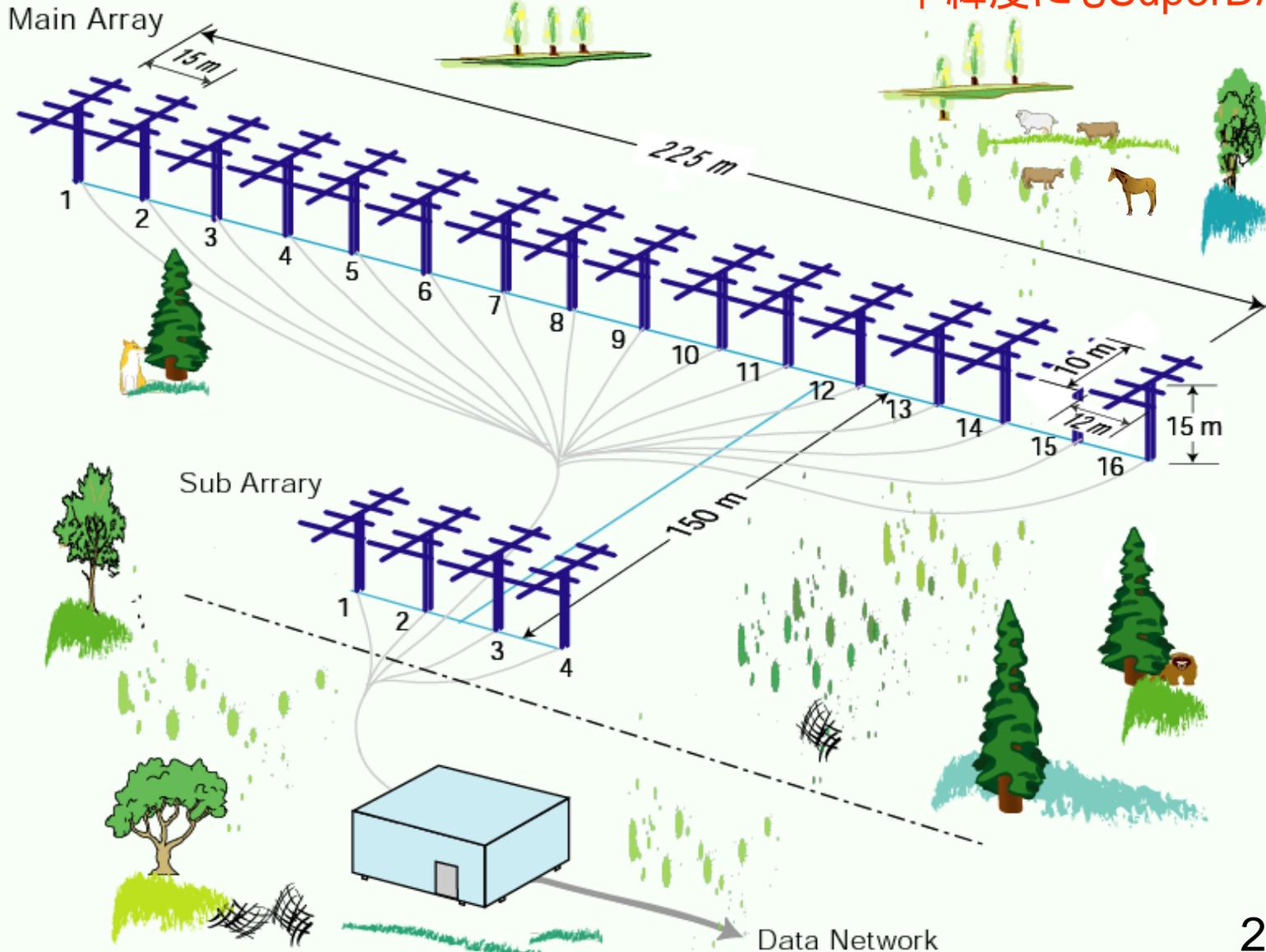


- ・夏季の中間圏界面付近(高度~85km)の温度が約150K以下になると発生
- ・温暖化による中間圏の寒冷化が進むとPMSE出現頻度が増加？

➡ PMSE観測から超高層寒冷化のモニターが可能

3.2 北海道-陸別 SuperDARN レーダー

中緯度にもSuperDARNを！



2001年

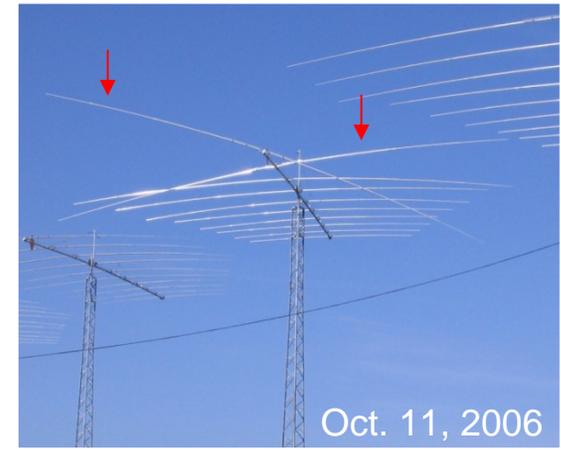


候補地(北海道陸別町・ポントマム)

Nov. 21, 2002



July 3, 2006



Oct. 11, 2006

2005年度 特別教育研究経費



Oct. 26, 2005



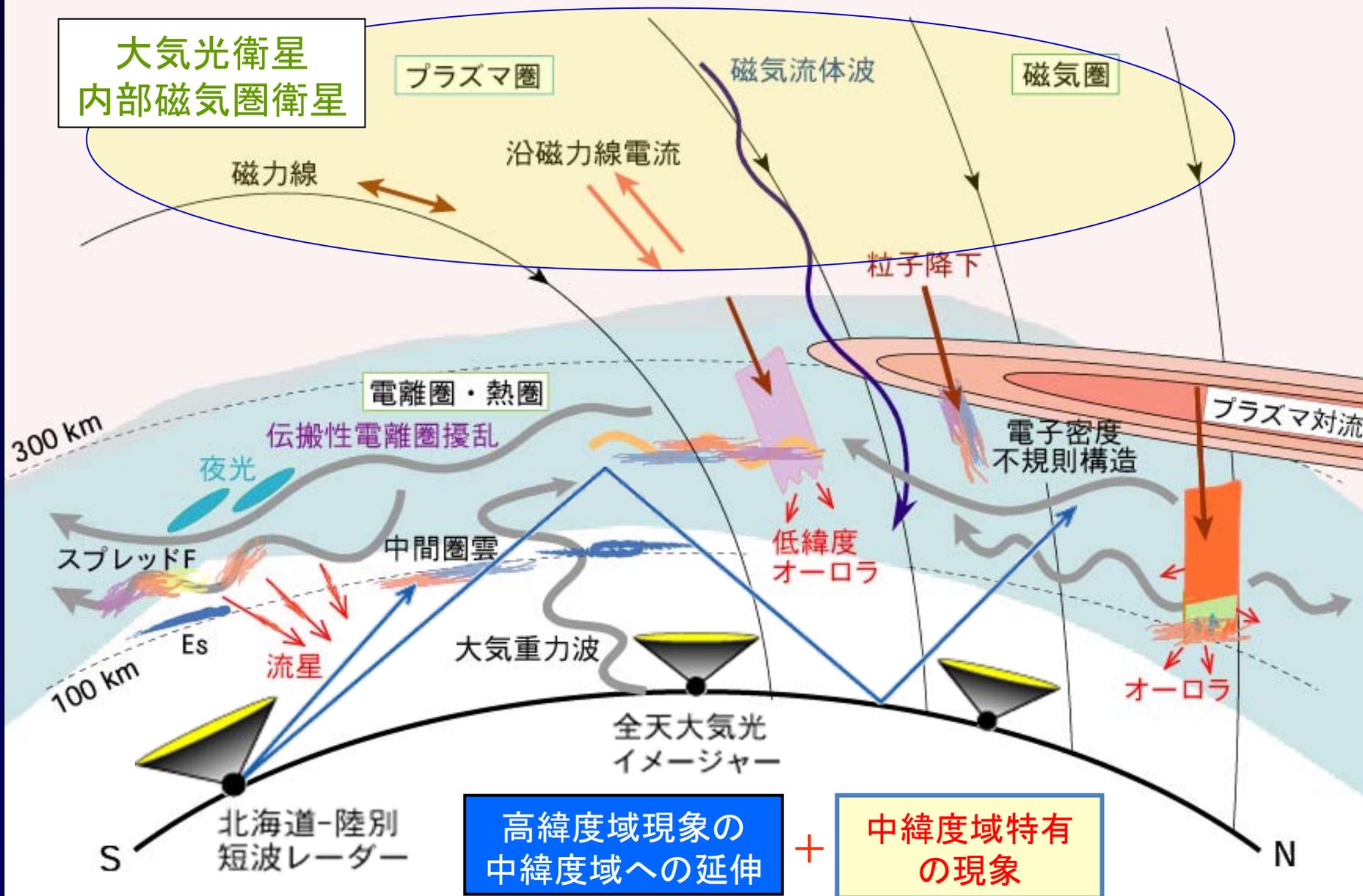
Dec. 15, 2005

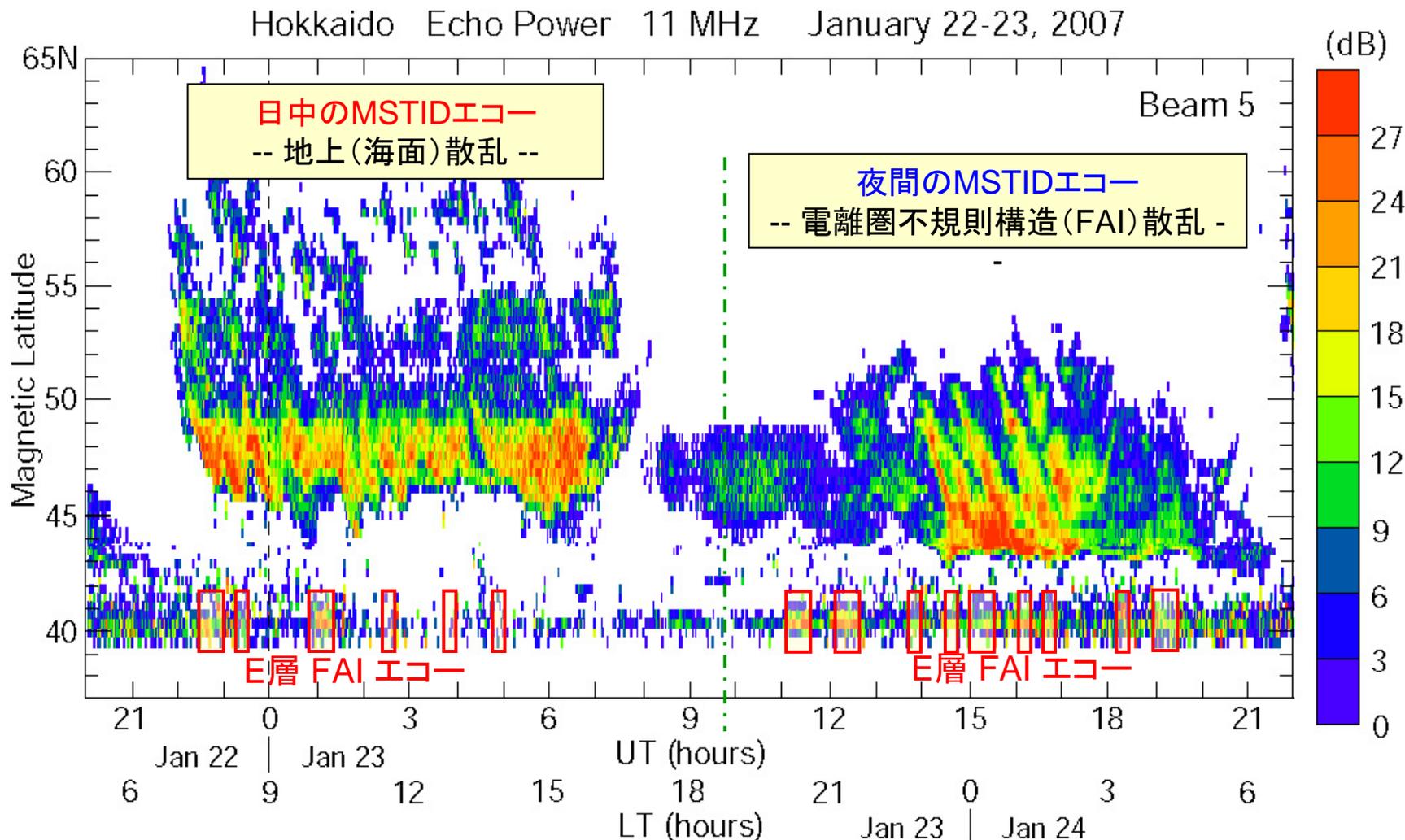


2006年12月
連続観測開始

Nov. 5, 2006

北海道-陸別レーダーの観測対象



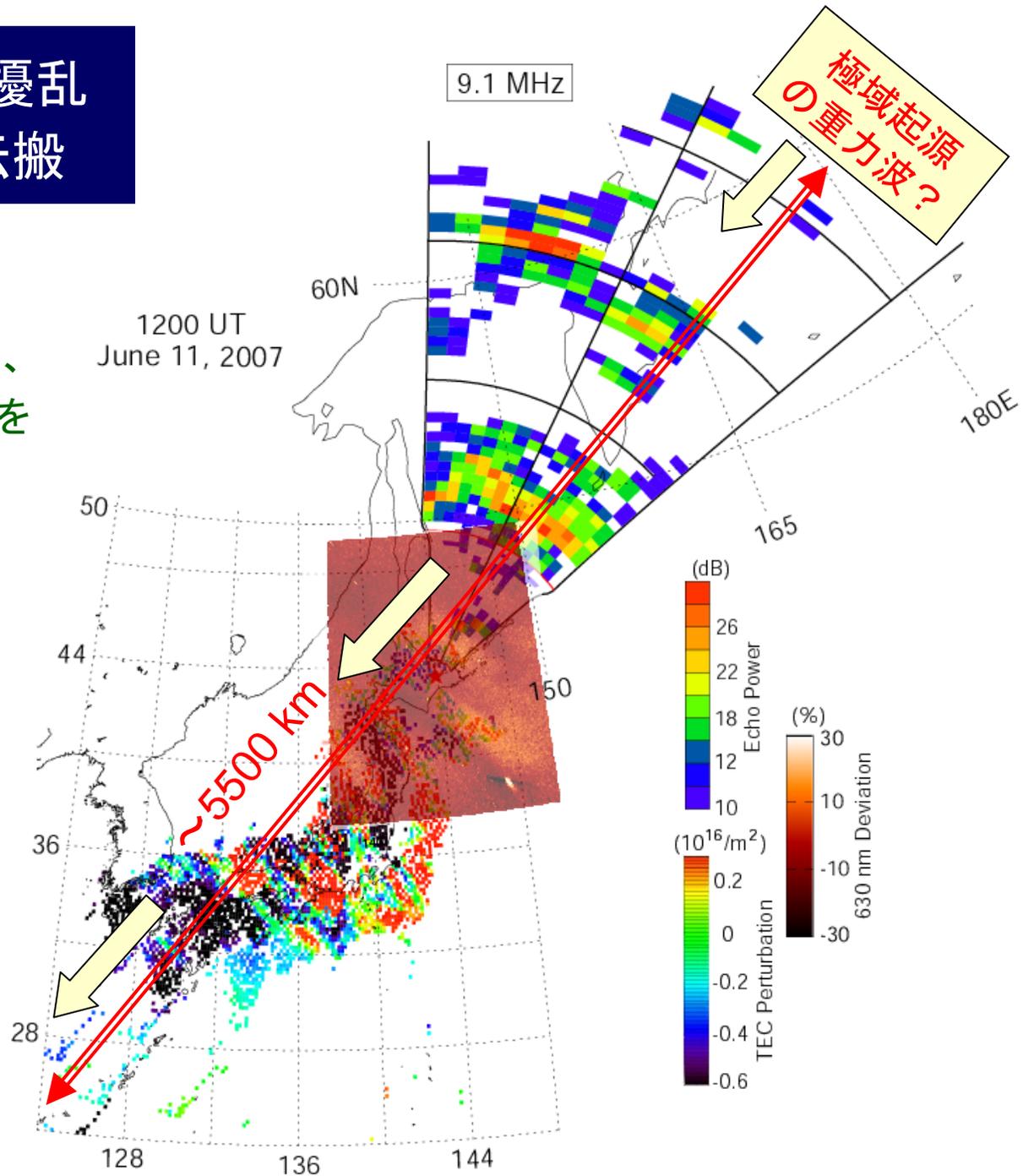
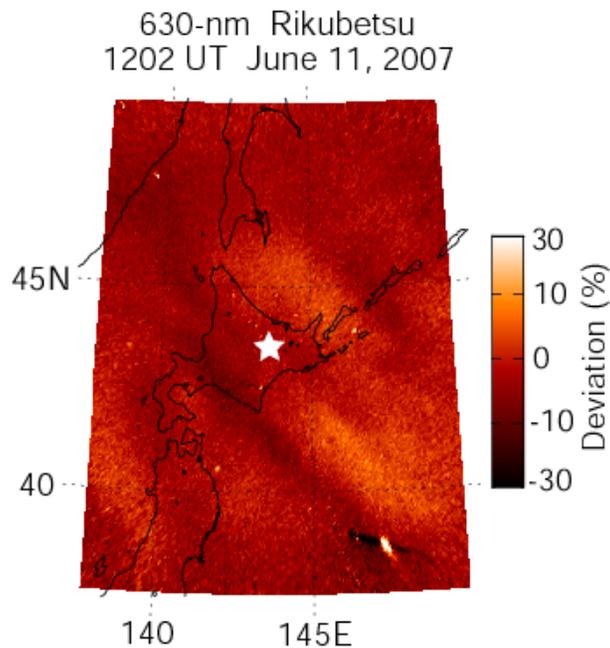


Hokkaido Radar Site (Rikubetsu)

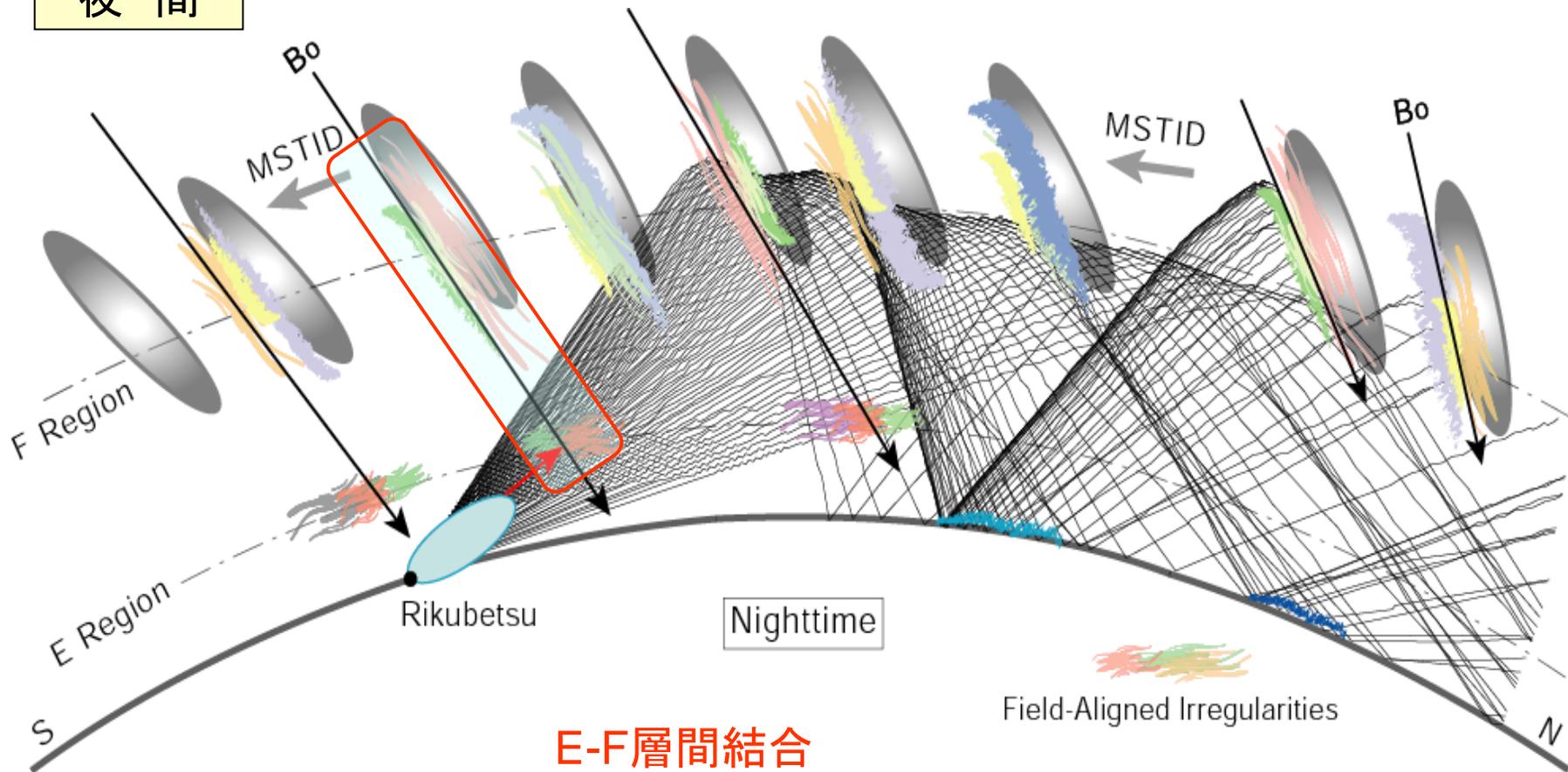
- Geographic: 43.53°N, 143.61°E
- AACGM magnetic coordinates (model=2000) : 36.46, -145.34
- L = 1.546

中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID)の長距離伝搬

短波レーダー、陸別全天イメージャー、GEONETで観測された、カムチャツカ半島から日本上空を南西方向に伝搬する中規模伝搬性電離圏擾乱



夜間



Nighttime

Rikubetsu

E-F層間結合

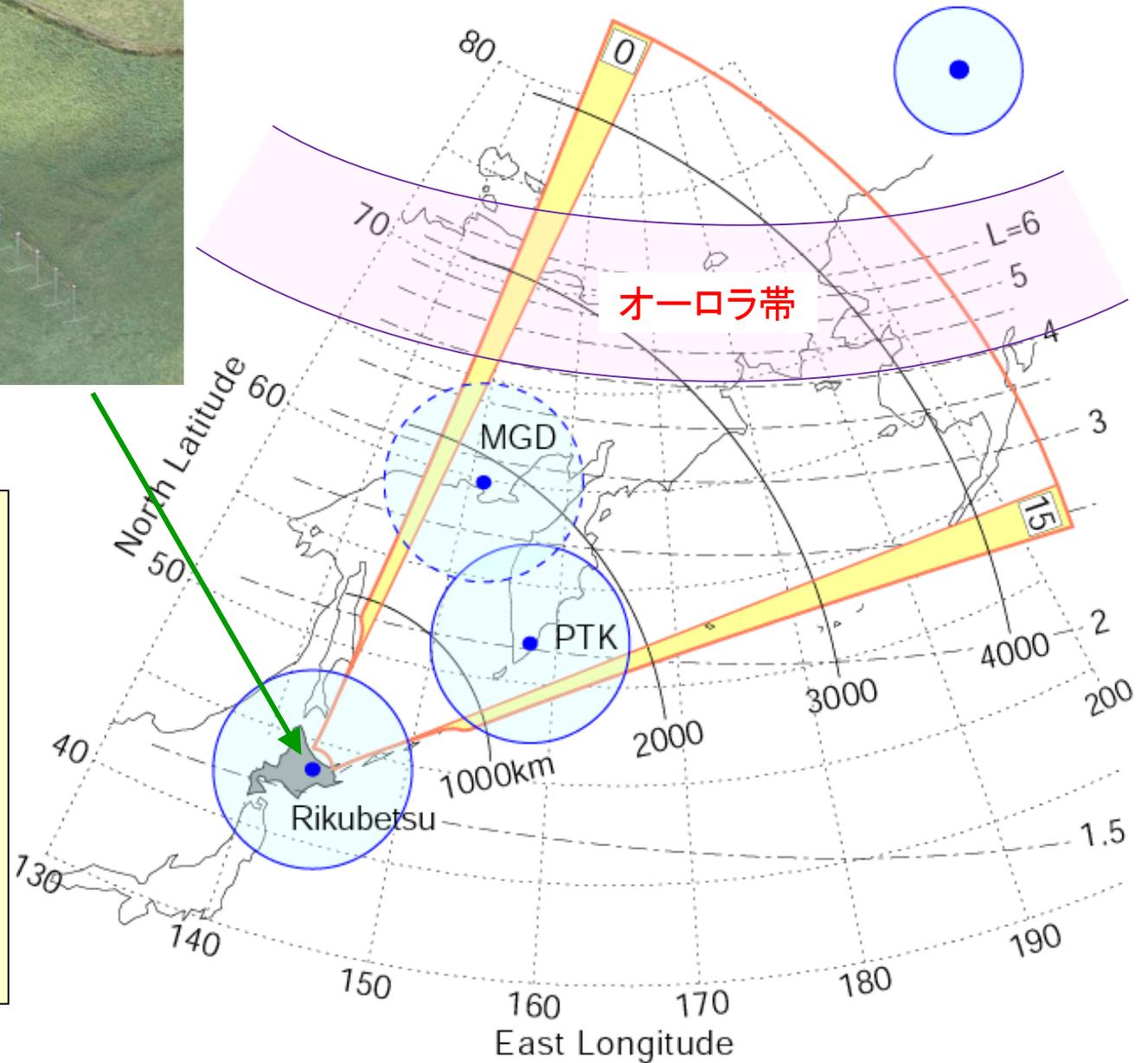
Field-Aligned Irregularities

S

N



All-Sky Imager



次の太陽活動極大期から
下降期には

- ・オーロラ帯及びサブ
オーロラ帯のダイナ
ミクス
- ・低緯度オーロラ
- ・極域からの波動
- ・中緯度特有の擾乱

等の研究に威力を発揮

4. 赤道域の電離圏擾乱



全天大気光
イメージャー



磁力計

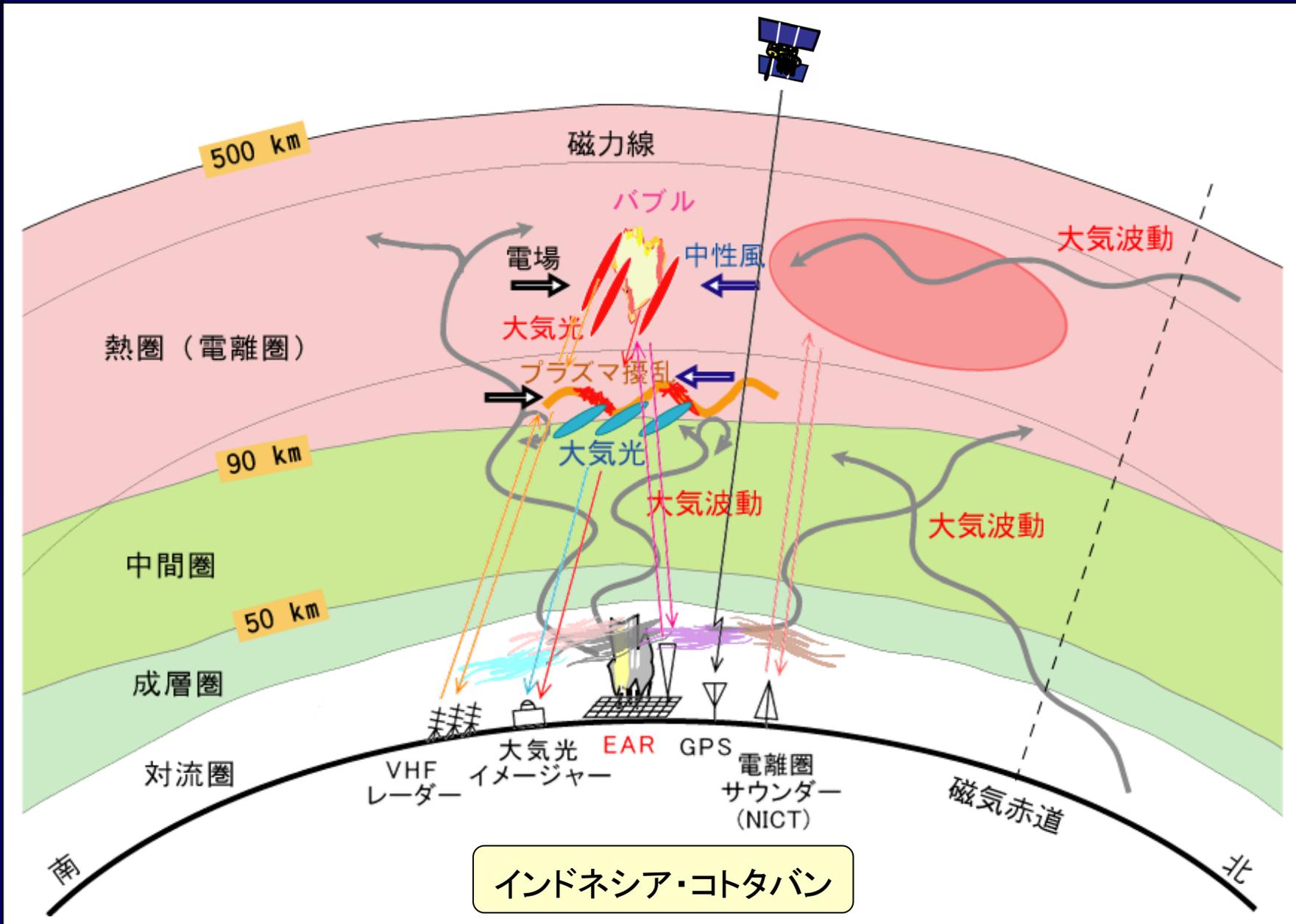


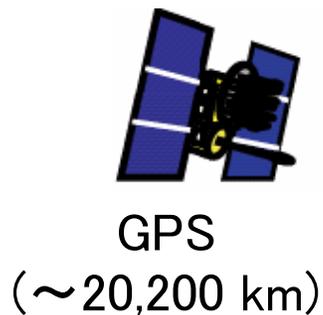
GPS受信機



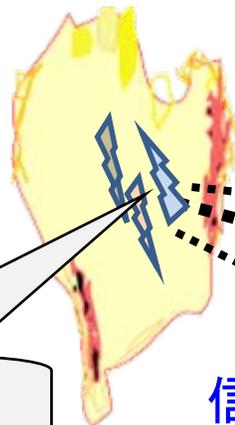
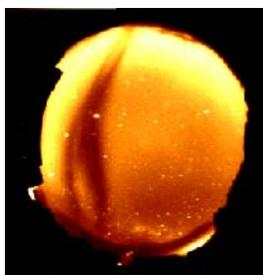
VHF レーダー

赤道域における上部中間圏・電離圏・熱圏の諸現象





プラズマバブル



~350m Ne不規則構造

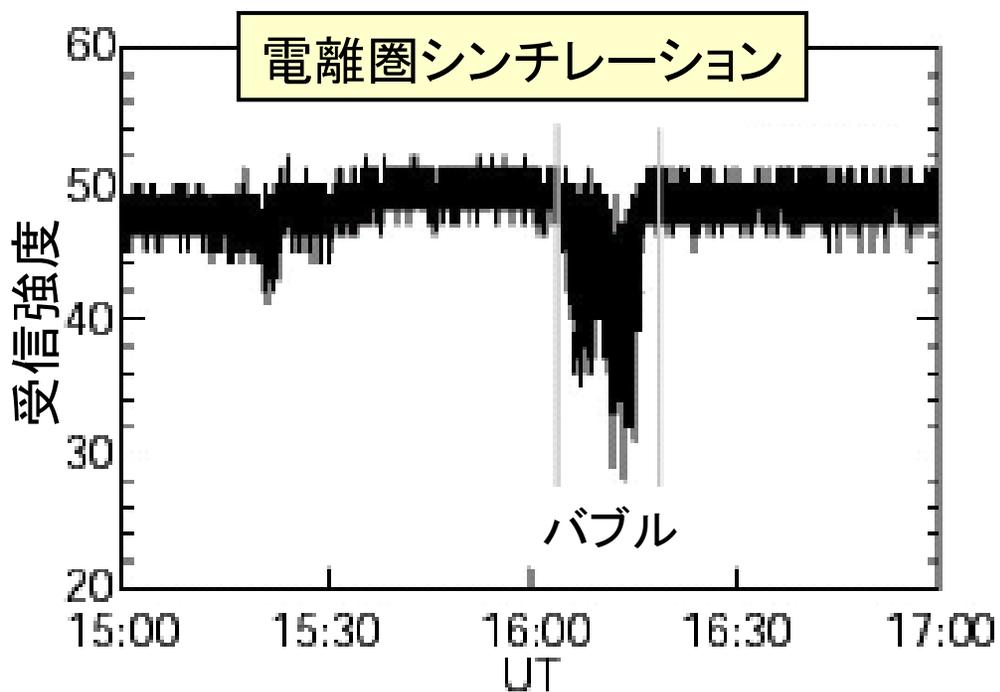
信号強度変動



地上

シンチレーション観測からバブル発生をモニター

シンチレーションはGPS測位、衛星リモートセンシング、衛星・飛行機管制、衛星通信などに影響

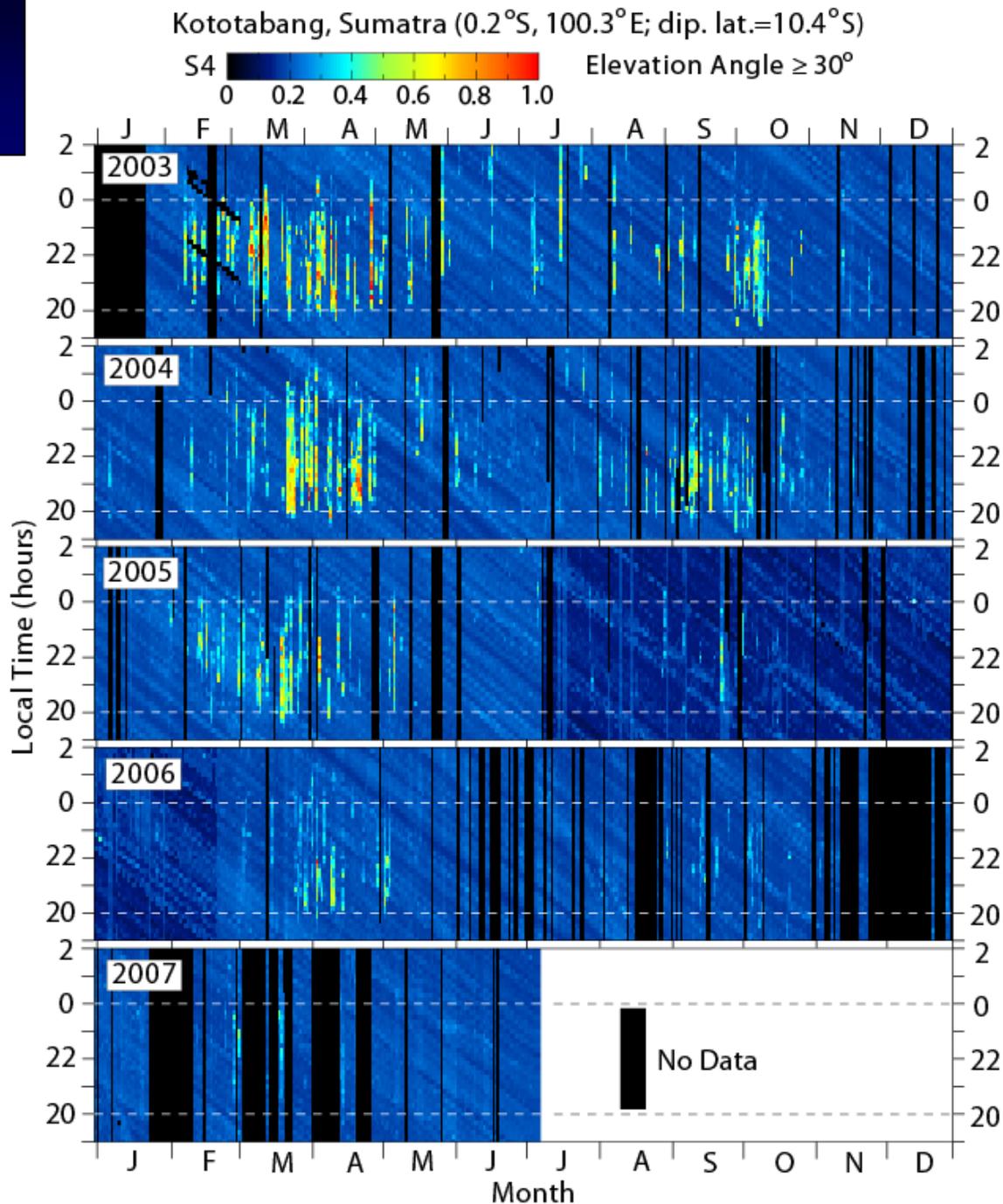


GPS シンチレーション 発生の長期変化

(Ogawa et al., 2008)

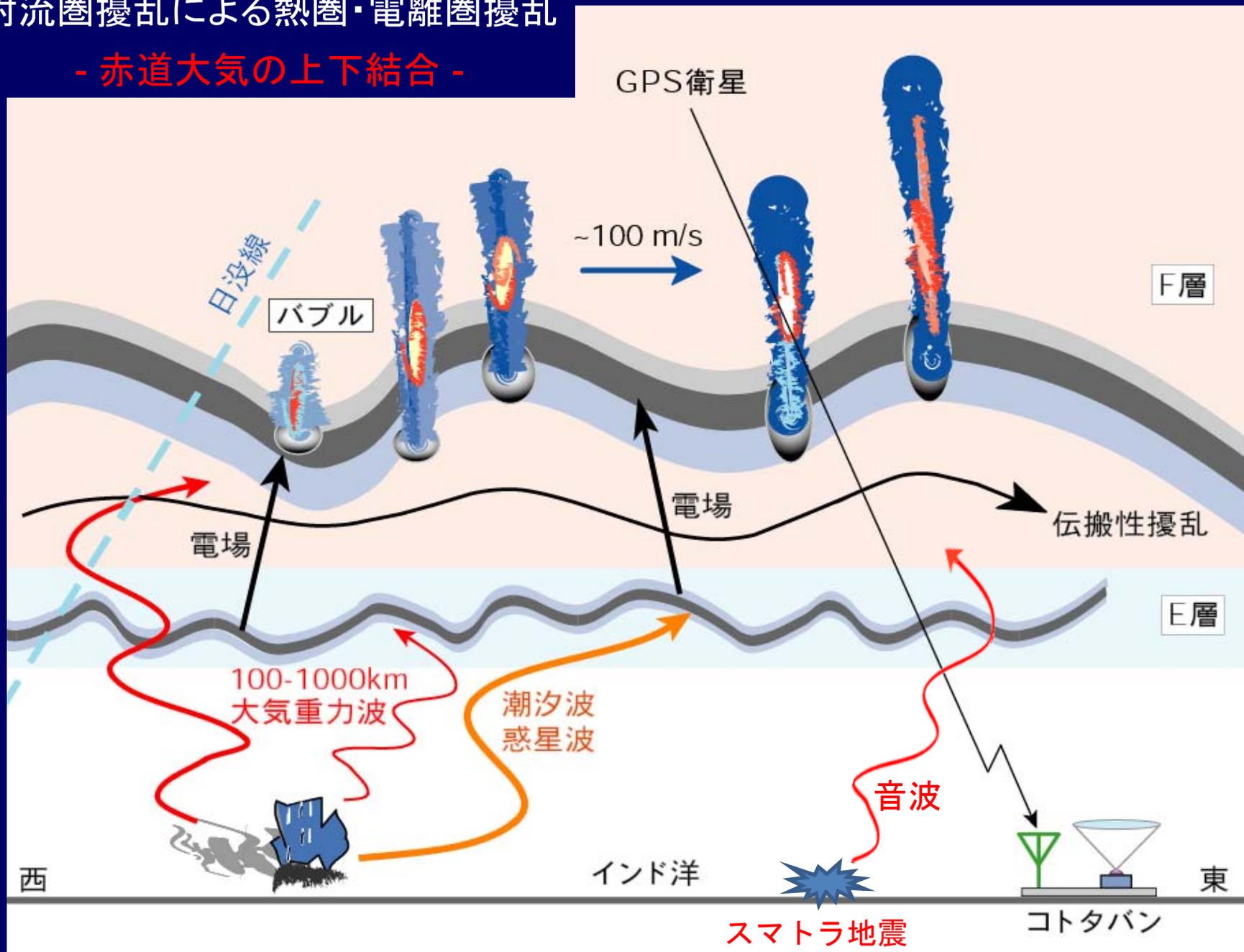
太陽活動低下

- ・春秋期の 20 - 01 LT、
春秋非対象
- ・インド・西太平洋域の
バブル発生傾向と一致
- ・非常に大きな日々変化
なぜ？



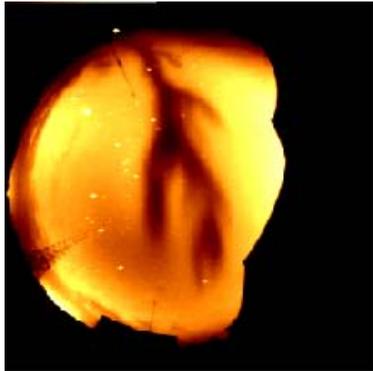
対流圏擾乱による熱圏・電離圏擾乱

- 赤道大気の上下結合 -



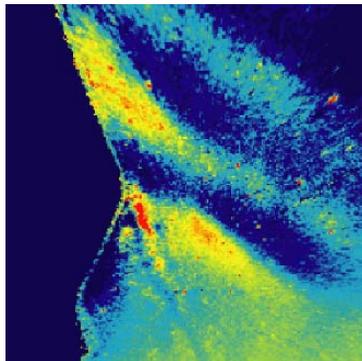
磁力線を介した 南北中緯度電離圏の 水平結合

バブル

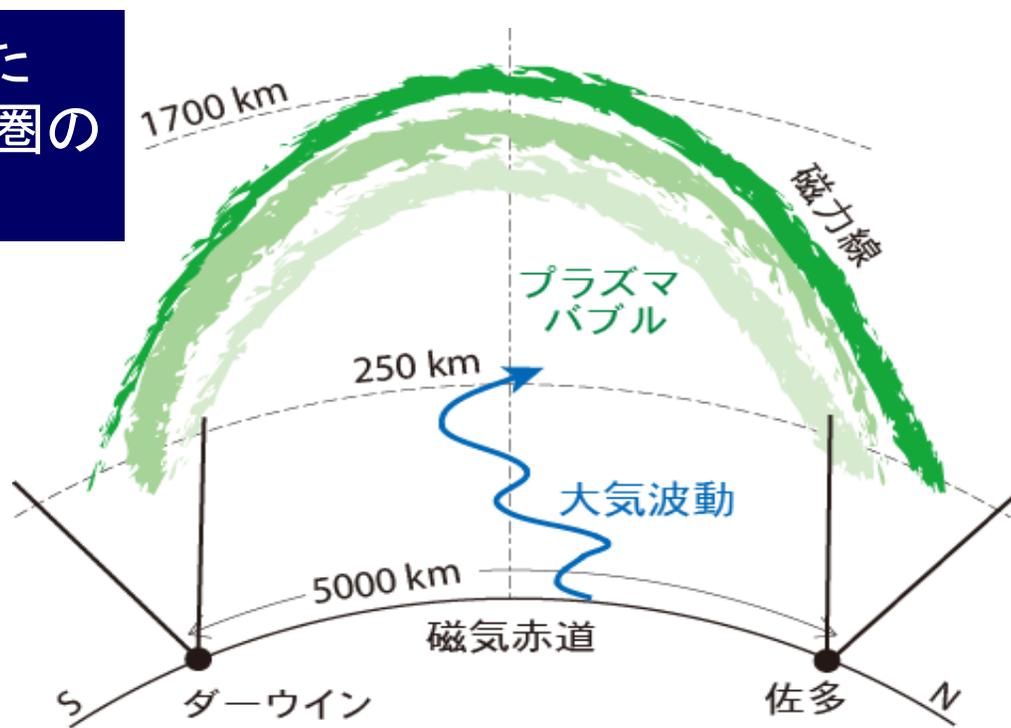


ダーウィン

中規模TID



ダーウィン



(Otsuka et al., 2002)

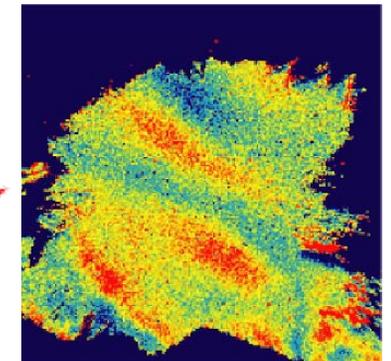
バブル



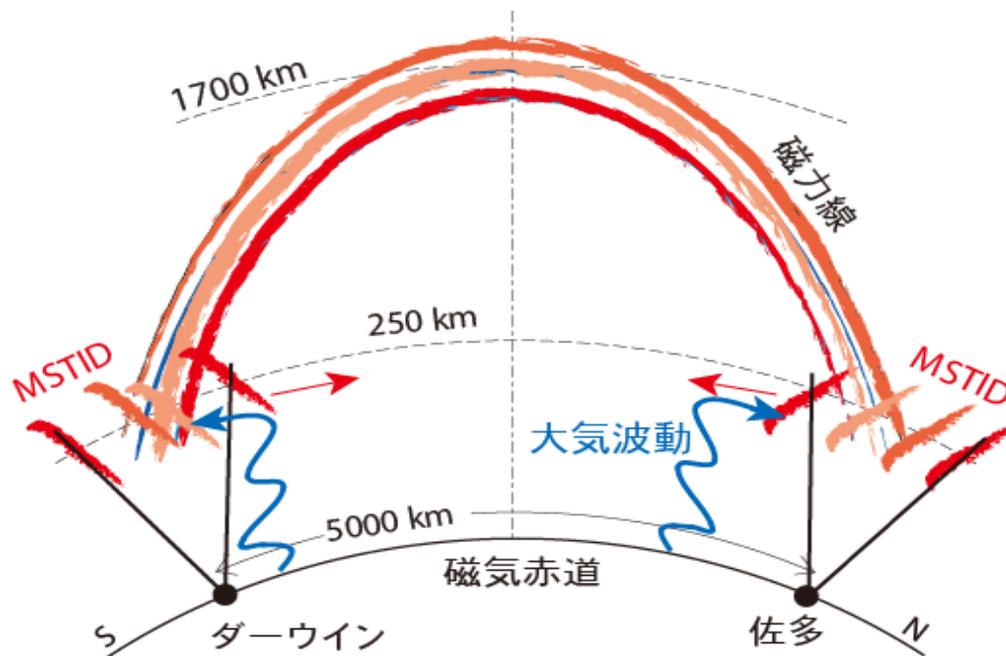
佐多

(Otsuka et al., 2004)

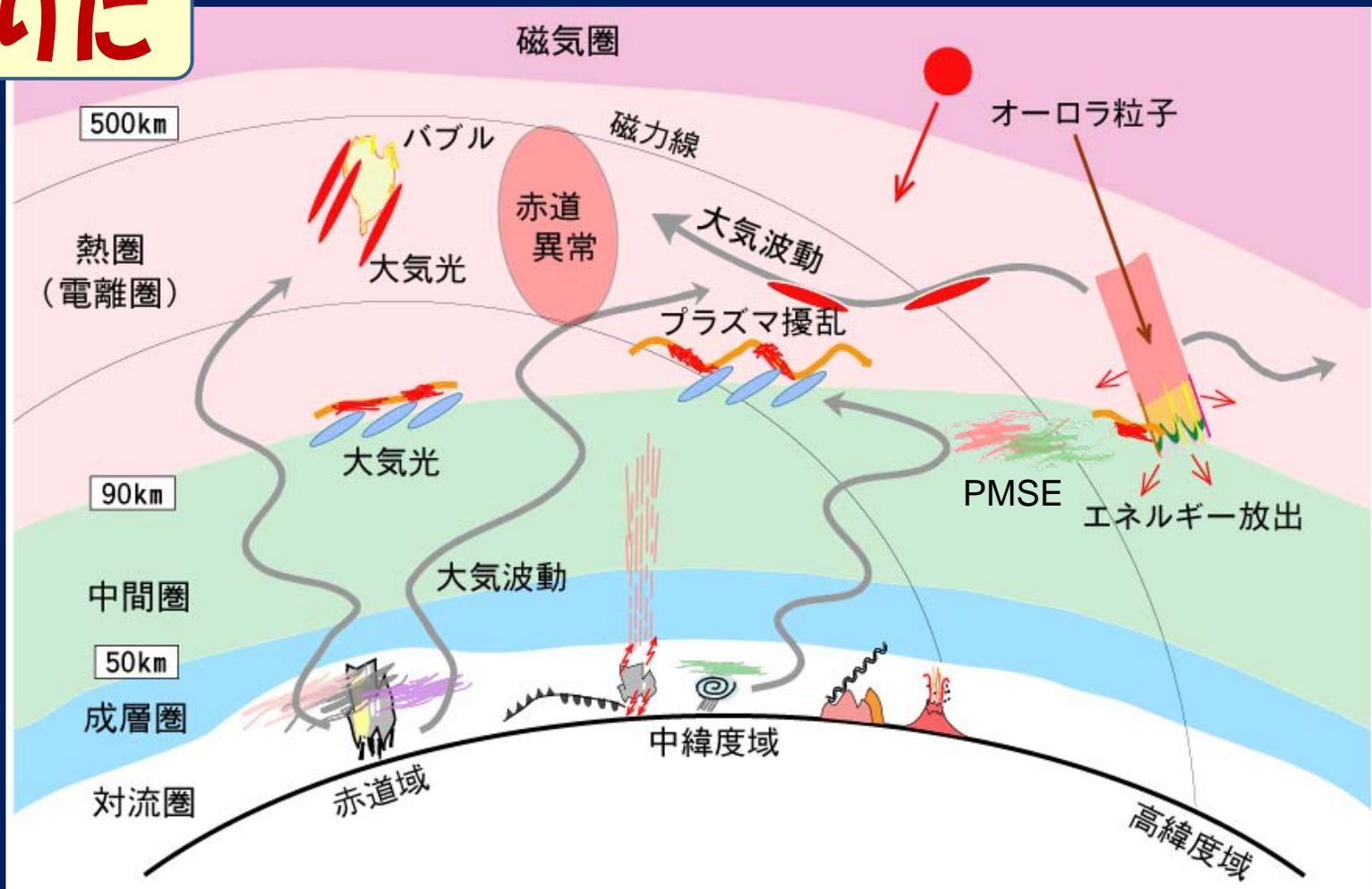
中規模TID



佐多



終わりに



- ・高緯度から赤道域に至る上部中間圏・電離圏・熱圏を研究対象
- ・国内外の各種の光・電波観測装置で得られる観測データの解析
- ・地球大気環境の外縁である電離圏・熱圏の理解
- ・中性大気－プラズマ結合、下層大気－電離圏・熱圏結合、電離圏内上下結合、反対半球との電氣的結合、…