

EISCAT研究集会：北極・北欧における観測・研究戦略（STEL研究集会、2012年11月6日、名古屋大学 理学南館大講堂）

の場で発表されたEISCAT\_3Dに期待される研究内容やスペックのまとめ

1. 中間圏/熱圏/電離圏ダイナミクス
2. 宇宙/大気環境計測
3. オーロラ物理

の3つに大きく分類。

# 1. 中間圏/熱圏/電離圏ダイナミクス

# 極域下部熱圏中性風の研究における EISCAT\_3Dへの期待

野澤悟徳(名古屋大学太陽地球環境研究所)

- ・EISCATレーダーを用いて、極域下部熱圏大気ダイナミクスを実施。地上観測では、ISレーダーのみが、下部熱圏風速を高度分解能よく導出できる。
- ・これまで、平均風、1日潮汐波、半日潮汐波について、地磁気擾乱時変動、季節変動、太陽活動度変動の解明を実施。2005年9月の1月間連続データを用いて、潮汐波の日々変動および半日潮汐波のモード変動を示した。
- ・しかし、潮汐波や1日平均風の研究は進んでいるが、**短時間変動**や**プラネタリー波**の研究は、十分なされていない。またデータ数は必ずしも十分ではない。

- ・**中性風導出精度が懸案事項**。3局方式観測がベスト(図参照)。しかし、現有のISレーダーでは、不可能。
- ・EISCAT\_3D観測の風速導出精度向上により、**オーロラアーク近傍の風速変動**や**大気重力波**の研究が可能になる。
- ・連続観測により、**大気潮汐波の日々変動**および**プラネタリー波の研究**が進展すると期待できる。

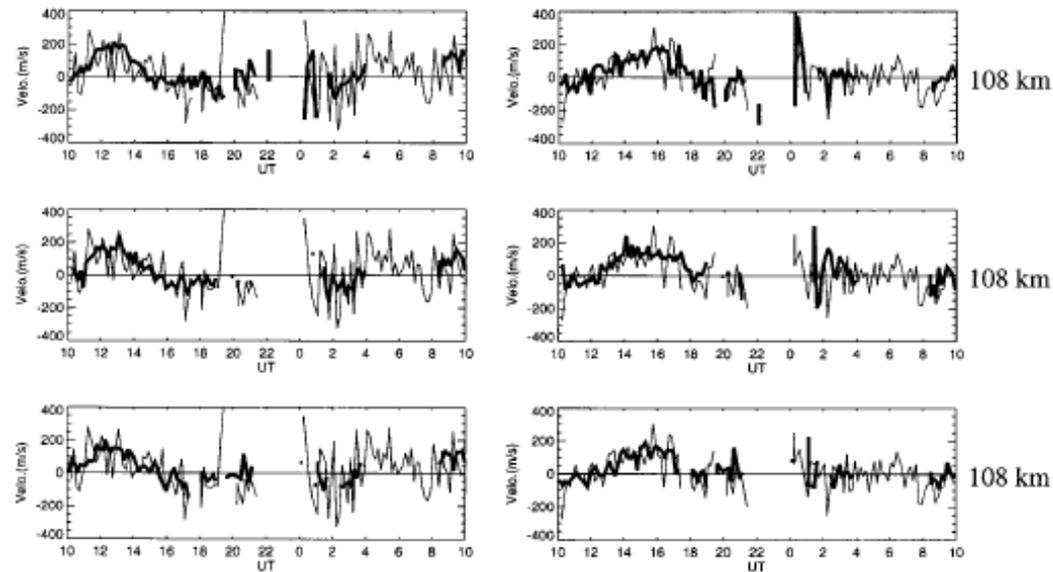


図: 3局方式(太字)と単局方式により導出された南北(左)および東西(右)イオン速度変動の比較。

(Nozawa and Brekke, *Radio Sci.*, 35, 845-863, 2000)

# 「中間圏・D層大気の微細構造」

## 津田卓雄(極地研)

### ・これまでに分かったこと

- SSLの微細構造(Naライダーの1次元の高時間観測)から短時間の大気変動(プラントバイサラ周期以下の音波・乱流的な変動)が明らかになりつつある(Tsuda et al., GRL, 2011).
- NLCの微細構造(イメージングカメラによる2次元の高分解能観測)から小規模の大気変動(水平波長10km以下)が明らかになりつつある(Pautet et al., JASTP, 2010).

### ・まだ明らかにされていない重要な点, 必要な点

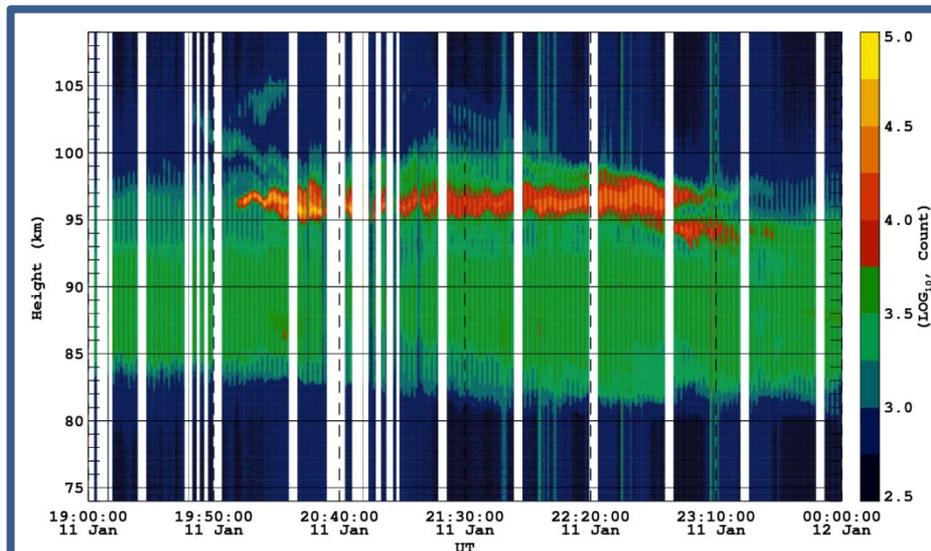
- SSLやNLC(中性大気変動のトレーサー)の微細構造と電離大気(Es層やPMSE)の微細構造の関係性, その3次元構造が未解明の課題となっている.
- 散発的な観測ではなく, 中性・電離大気の同時観測が必要で, 特に, 共鳴散乱ライダーとISライダーの同時観測が重要である.

### ・EISCAT\_3Dを組み合わせることにより理解が進むと思われること

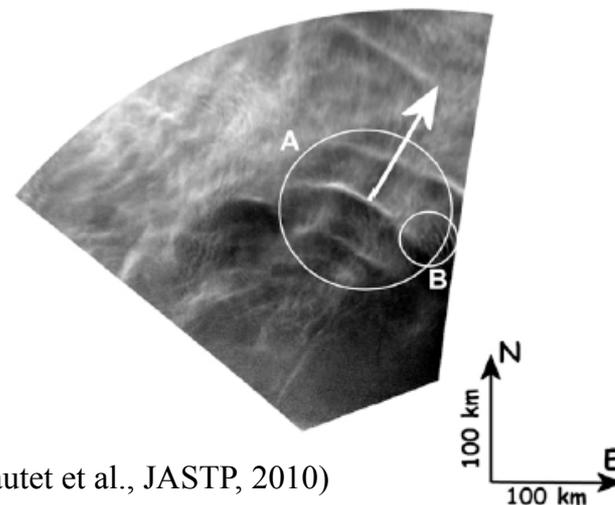
- 中性・電離大気の微細構造の関係性, 3次元構造解明
  1. SSL/Es層の対応関係
  2. NLC/PMC/PMSEの対応関係※高時空間分解能観測を達成する為の高いSN比が見込める現象を第一目標の研究対象として挙げている.

### ・必要なEISCAT\_3Dのスペック

- 共鳴散乱ライダーとの連携(common volume の観測)
- 水平空間分解能: 1 km
- 高度分解能: 0.1 km
- 時間分解能: 1 秒



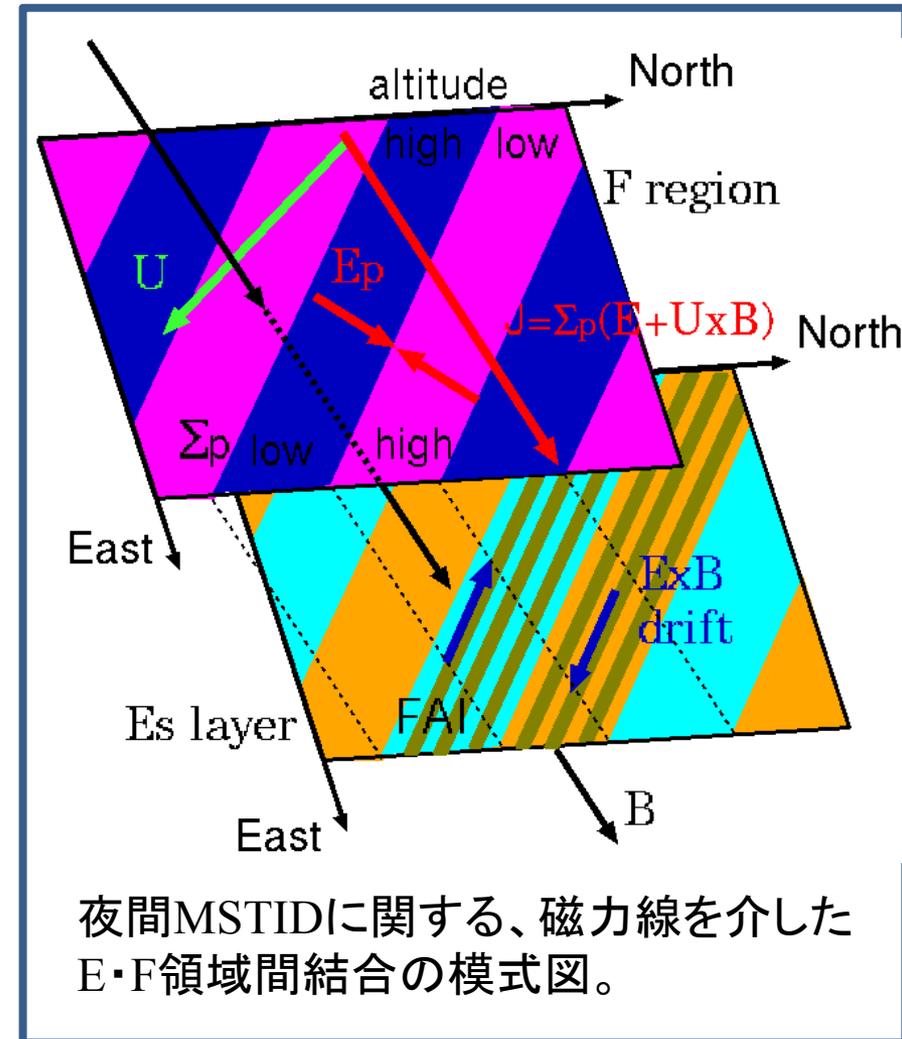
(Tsuda et al., GRL, 2011)



(Pautet et al., JASTP, 2010)

# 「夜間の中規模伝搬性電離圏擾乱(MSTID)生成機構 に対するE-F領域結合過程の役割」 大塚雄一(名大STE研)

- ・夜間のMSTIDの成因として、Perkins不安定が有力である。
- ・しかし、「理論から予想される線形成長率が小さい」、「なぜMSTIDが南西方向に伝搬するか不明」という未解明の問題がある。
- ・スプラディックE( $E_s$ )層と磁力線を介した電磁力学的結合を考慮することにより、解明できる可能性あり。しかし、これまで $E_s$ 層の水平構造の観測がなされていない。
- ・EISCAT\_3Dにより、MSTIDに対応する $E_s$ 層の水平構造(水平波長200-500km、周期30-60分程度)の観測を期待する。



# EISCAT\_3Dと観測ロケットによる超高層大気協同観測

## 阿部琢美(JAXA宇宙科学研究所)

### これまでの研究成果

- 1) カスプ領域のイオン流出 (2000年、SS-520-2号機)
- 2) 極域下部熱圏の力学とエネルギー収支 (2004年、S-310-35号機)

### これまでの研究の問題点

- 1) アンドーヤでの打上げの場合、レーダによるロケット軌道の完全なカバーが困難。
- 2) レーダが機械的に軌道周辺をスキャンするには数分の時間を要した。
- 3) EISCATレーダとロケットによるデータを比較する上で、観測空間スケールの差(数kmと数m)をどう考慮すべきかが自明でない。

### EISCAT\_3Dとの協同観測への期待

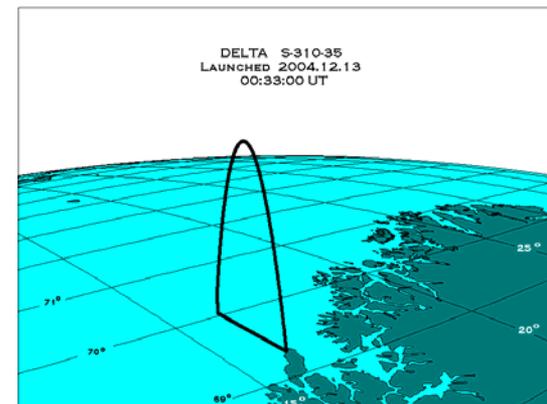
- 1) 電氣的スキャンによりロケット軌道のカバーが可能
- 2) マルチビームを使用し、ロケット軌道空間の高速スキャンが可能
- 3) 高空間分解能観測により、ロケット観測に近い空間スケールでのデータ比較が可能

### 期待するEISCAT\_3Dのスペック

水平空間分解能: 1km    高度分解能: 1km    時間分解能 10秒



アンドーヤからの打上げ

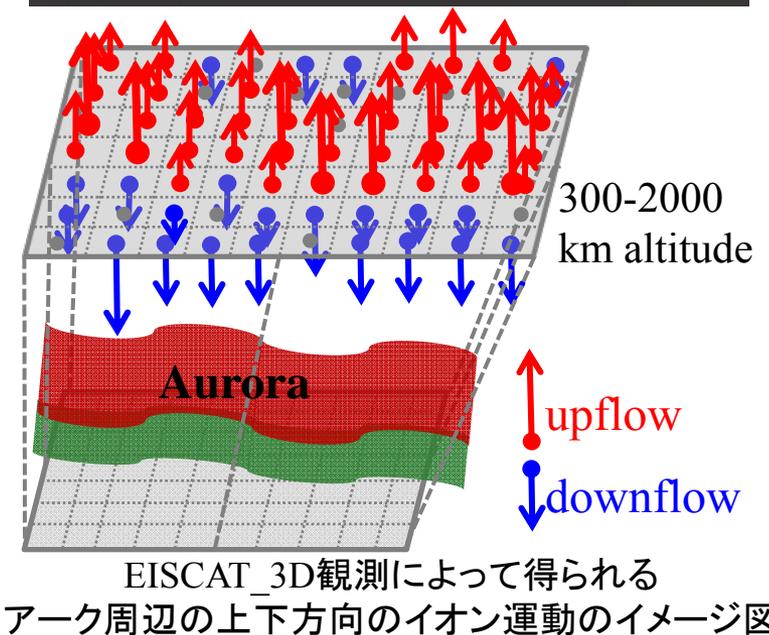
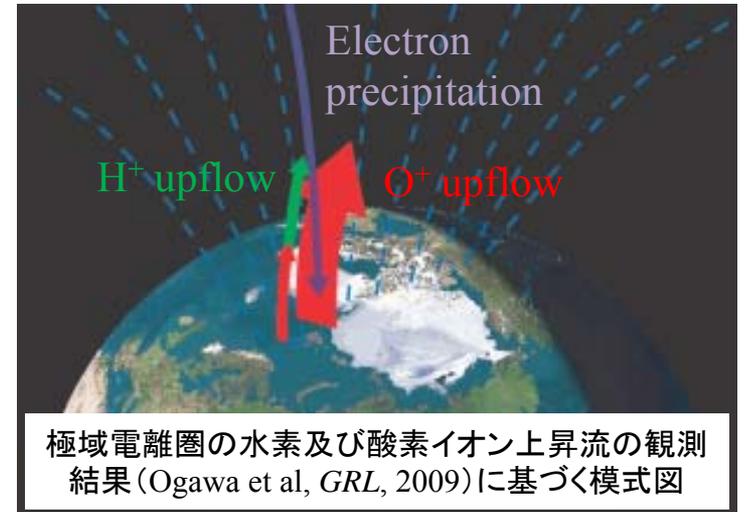


ロケット軌道の一例

# EISCAT\_3Dに期待されるイオン上昇流研究

## 小川泰信(極地研)

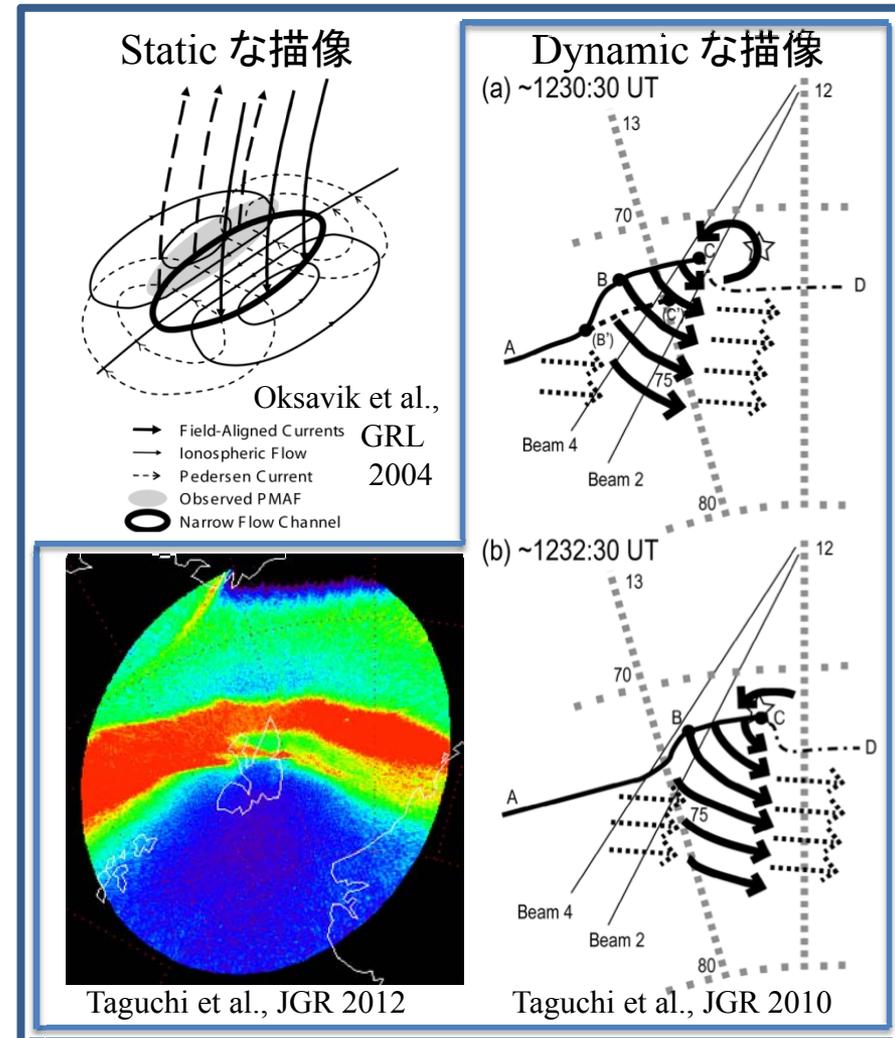
- ・電離圏イオン上昇流は様々な加熱・加速過程を経て、磁気圏へ流出。粒子の供給源や組成の変化という点でも重要。
- ・様々な加熱・加速過程の相対的な重要性や、鉛直方向の粒子の循環過程は未解決。
- ・EISCAT\_3Dの実現で理解が進む内容：アーク周辺のイオン循環過程、亜音速から超音速への加速過程、流出するイオン種と加速過程等
- ・必要なEISCAT\_3Dのスペック：現行のレーダーよりも高い送信出力とアンテナ感度や、3次元イオン速度(特に $V_{i//}$ )を多点で導出するための多点リモートサイト観測が必要。



# カスプメソスケール構造の形成と時間発展

## 田口 聡(電気通信大学)

- ・電離圏カスプのメソスケールダイナミクスにはFlux transfer eventが主要な役割を果たしている。
- ・対応すると考えられる種々の構造がどのように形成され、また時間発展していくのかは不明。
- ・EISCATスバルバルレーダー(ESR)の新たな可動式50m第3アンテナによって、密度、温度、イオン速度のメソスケール構造の形成と時間発展の理解が進む。
- ・そのために、オーロラの動きをモニターしながらターゲットを決めて、レーダー観測の2分先の仰角と方位角を調整できるモードが必要。



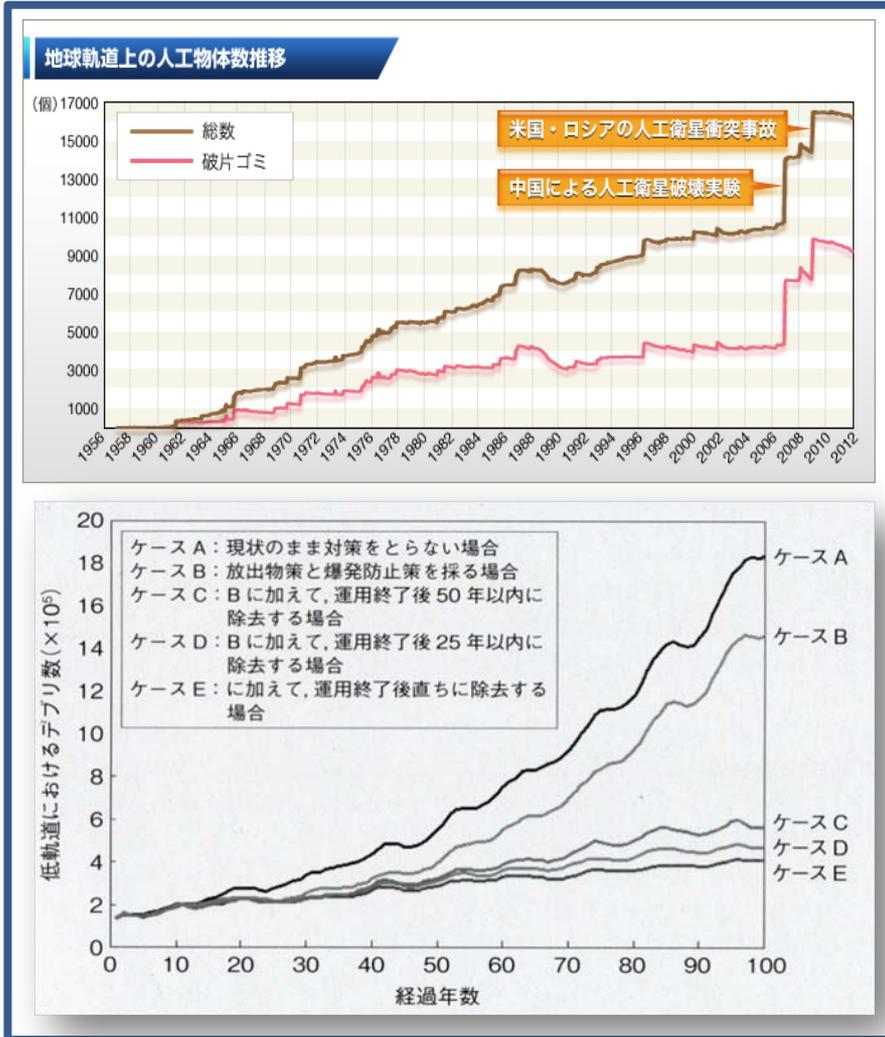
## 2. 宇宙/大気環境計測

# 「宇宙デブリ」研究からの期待

## 小原隆博(東北大学PPRAC,IRIDeS)

- ・電波や光を用いて、宇宙デブリが観測・識別されている。10cm以上のデブリが現在2万個に達しており、今後の宇宙活動に支障が出る事が懸念されている。また、使用済みの衛星にデブリが衝突する事により発生する2次デブリの増加も脅威である。10cm以下の小さなデブリは、更に多数存在していると思われるが、詳細は不明である。
- ・従来の電波レーダは、デブリ観測に不向きであったが、EISCAT-3Dは干渉法の利用により、高度100kmで20mの空間分解能を有し、送信電力が大きいことから、10cm以下の物体からのエコーも期待できる。観測は立体的に行われるので、デブリの軌道情報も算出可能である。
- ・問題点は、デブリ専用の受信機的设计で、合わせて検出処理装置の開発も、新規要素が多い。また、検出処理に時間がかかる事が予想される事から、それ相応の資金を事前に準備する必要もある。

# 資料出典: 外務省HP(上図),宇宙工学(下図)



# 大気レーダーとしてのEISCAT\_3Dに期待すること

古本淳一（京都大学生存圏研究所）

今まで使われず保存されていなかった低高度(対流圏・成層圏)観測データの活用

- ・北極圏上空の観測：風速、気温、降水
- ・なるべく低仰角、より広領域を希望
- しかし密なアンテナ配置が必要

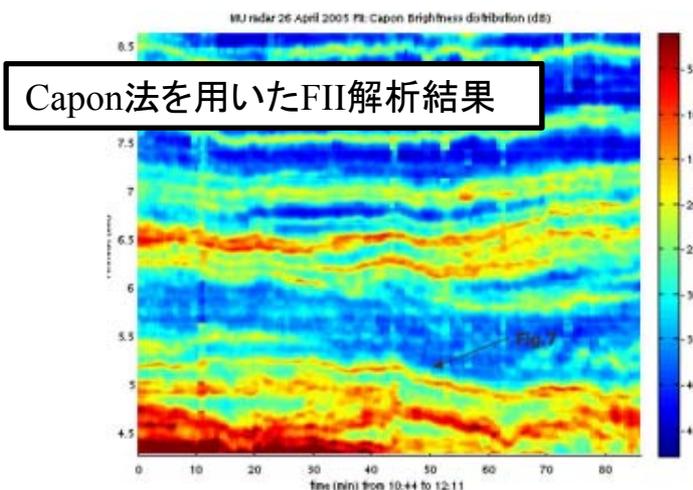
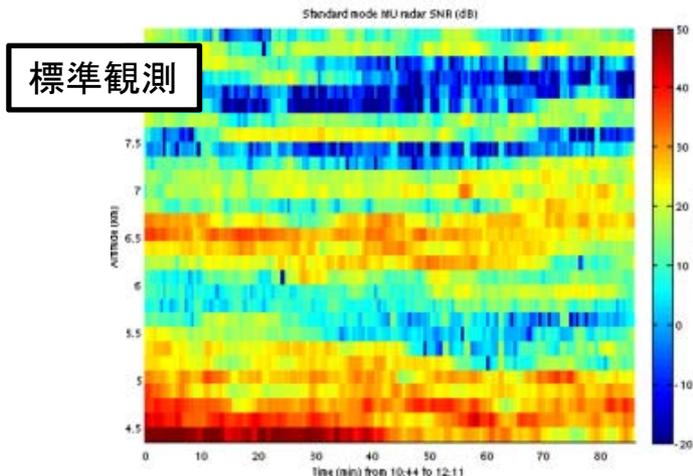
アンテナのサブアレイ分割による超多チャンネル化

ポスト・ビーム・ステアリング

干渉計・レーダー・イメージング

→データ量が(サブアレイ数) $\times$ (周波数数)倍

計算機、ストレージの発展に期待。



MUレーダーの乱流散乱観測にFIIを適用。レーダー探査領域内のエコー強度微細構造を得た。

### 3. オーロラ物理

# オーロラ微細構造研究に関するEISCAT\_3Dへの期待

## 坂野井健(東北大理)

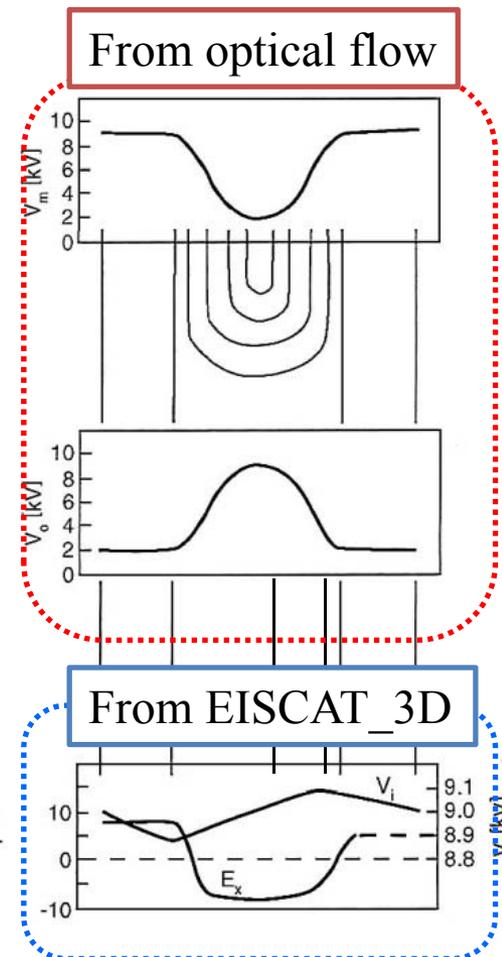
- オーロラ微細構造はM-I結合におけるフィードバック(不安定現象)により生成される。
- 不安定現象の候補はあるが、どれが重要かわかっていない。どのような時空間発展をするかへの理解が重要。
- 光学・電磁場データの空間スペクトル解析は有効。ただし、オプティカルフローと $E \times B$ ドリフトの関係は検証が必要。
- EISCAT\_3Dでは、時間・空間を分解できるため、不安定等による微細構造生成(クロススケール結合)の解明に大きな期待がされる。水平空間分解1km、高度分解1km、時間分解1sは満足できるスペック。

Ionospheric E-field

Magnetospheric potential

Parallel potential

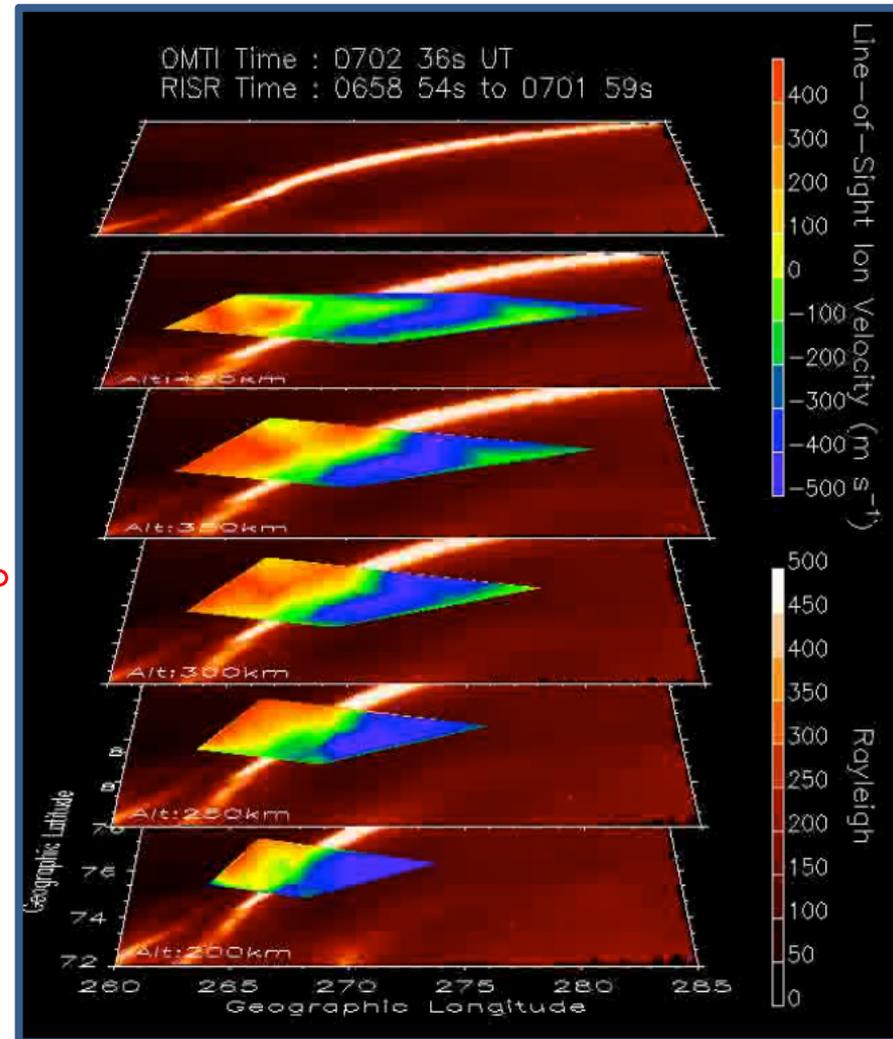
Ionospheric potential and E-field



# メソスケールオーロラ近傍の電場時空間構造の解明

## 細川敬祐(電気通信大学)

- ・脈動オーロラパッチ、オーロラビーズなどの 50km 程度のスケールのオーロラ空間構造の背景には、複雑な電場構造があることがわかりつつある。
- ・時間・空間分解能の足りなさからそれらの構造を 2, 3 次元的に鮮明に観測することができていない。
- ・時間分解能 [s] x 水平空間分解能 [km] = 50 [s·km] の立体的な観測ができれば、上記のようなオーロラ構造を作り出している磁気圏・電離圏結合系の物理の解明に繋がると期待される。



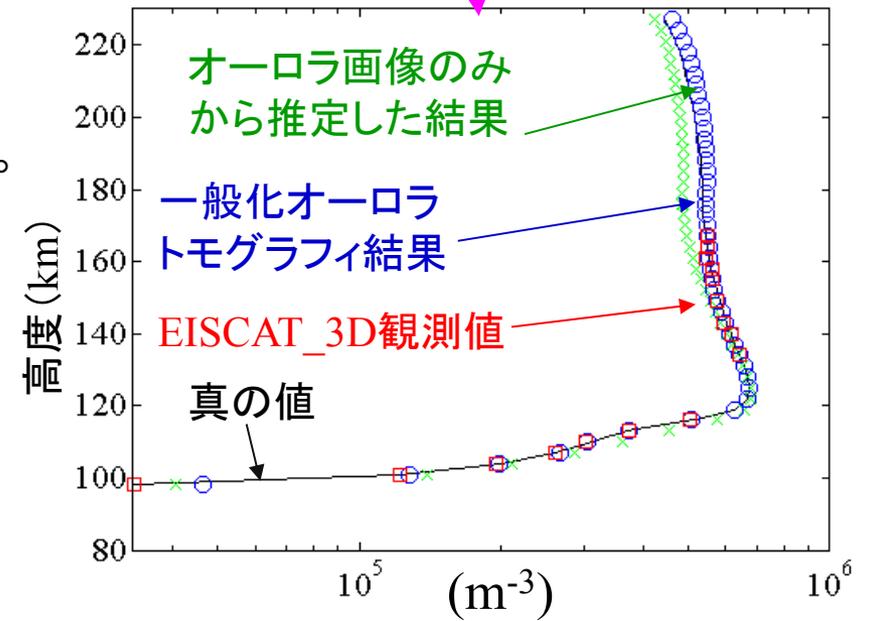
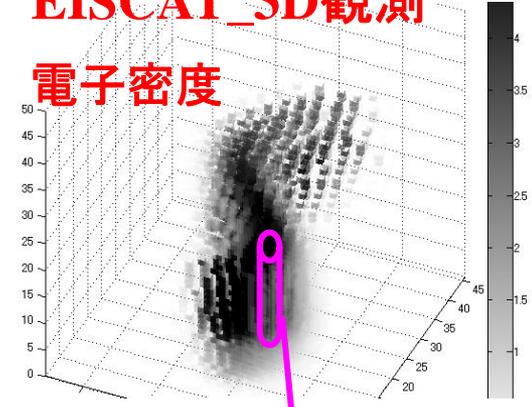
# オーロラトモグラフィー

## 田中良昌(国立極地研究所)

- ・これまでにわかったこと:
  - ・ケーススタディにより、一部のオーロラの発光高度や3次元分布が推定されたことがある。
- ・まだ明らかにされていない重要な点、必要な点:
  - ・ディスクリートオーロラ、脈動オーロラ等の3次元構造( $\infty$  降下電子エネルギー分布)とその時間発展の関係。電気伝導度、電場、電流の3次元分布。
- ・(1)EISCAT\_3Dを組み合わせることにより理解が進むと思われること:
  - ・オーロラ周辺の電気伝導度、電場の3次元分布。そこから推測される3次元電流系。
- ・(2)そのために必要なEISCAT\_3Dのスペック:
  - ・水平空間分解能 $\leq 5\text{km}$ 、高度分解能 $\leq 3\text{km}$ 、時間分解能 $\leq 5\text{秒}$ 、水平観測範囲 $\geq 200\text{km} \times 200\text{km}$ 。
- ・多点イメージャで同時観測し、一般化オーロラトモグラフィ法を組み合わせることで、足りない観測領域の電子密度データを高空間分解能で補間できる可能性がある。(右図)

### EISCAT\_3D観測

#### 電子密度



シミュレーションによる電離圏電子密度の再構成テスト結果

# 電離圏電流

## 家田章正 (名大STEL)

### ■ これまでに分かったこと:

STAREレーダーにより、オーロラ電流系の水平二次元構造が推定されてきた。特に、オーロラサーージ後方の電場は、南西向きと示唆された。

### ■ EISCAT\_3Dにより明らかにされる点:

- 二次元構造の時間発展。
- 直接観測による高空間分解。
- サブストーム前の弱い電場(20mV/m)。

### ■ 必要なEISCAT\_3Dのスペック:

電場・電気伝導度・全天オーロラ観測:

- 時間分解: 1-20秒。
- 水平空間分解: 2-50 km。
- 高度分解(電気伝導度): 2 km。
- FOV: 100-500 km。
- 静穏時・擾乱時ともに有意なデータ。
- 準定常観測。

Westward Traveling Surge (Inhester et al., JG, 1981)

Assumed as south-west

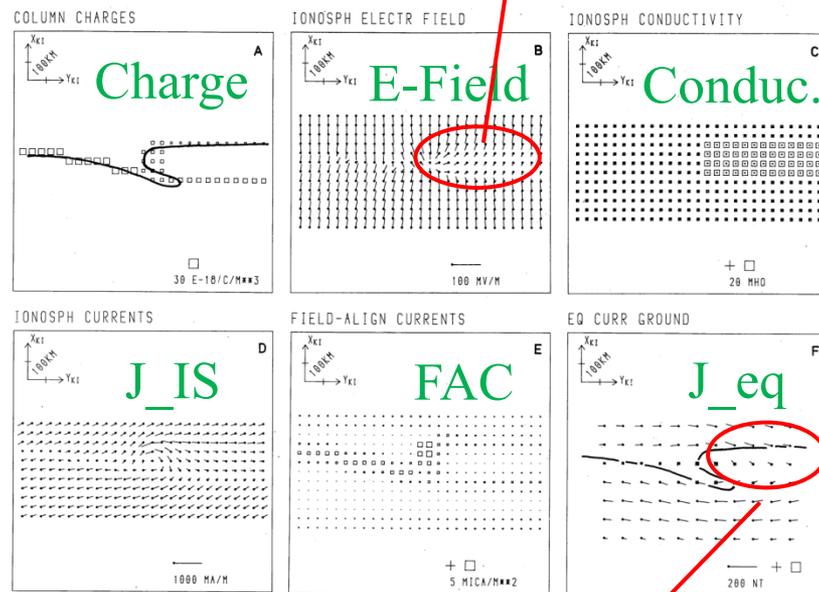


Fig. 6. Parameters of the model current system B and resultant equivalent current vectors on the ground; otherwise same as Fig. 5

Modeled  $J_{eq}$  flows westward, consistent with observed  $J_{eq}$ .  
→ Assumed E-Field is reasonable.