



北海道-陸別短波レーダー Doppler velocityデータの 統計的解析手法の開発

名古屋大学太陽地球環境研究所
西谷 望・筒井寛典・市原章光

Outline

This paper is based on:

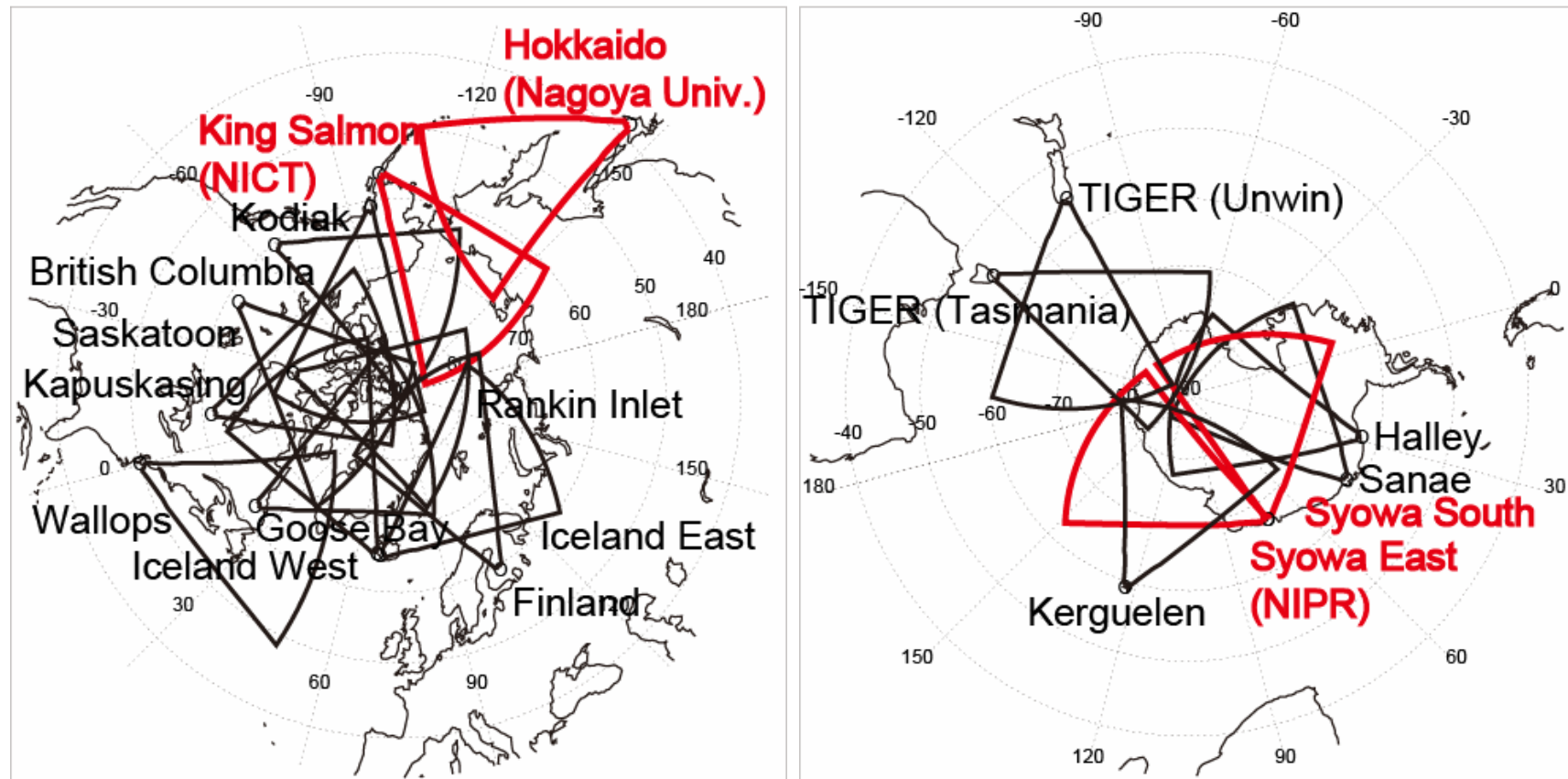
筒井寛典

- 北海道-陸別HFレーダーで観測された電離圏エコーの統計解析研究(平成19年度卒業研究)

市原章光

- レイトレイシングプログラムを活用したHFレーダーエコーの解析(平成19年度卒業研究)

Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN)



Total: 19 HF radars (12 in the northern and 7 in the southern hemispheres)

SuperDARNによるconvection分布 の統計解析研究

- Ruohoniemi and Greenwald (J. Geophys. Res., 101, 21,743, 1996)
 - Goose Bayデータを使用した統計解析
- Ruohoniemi and Greenwald (J. Geophys. Res., 110, A09204, doi:10.1029/2004JA010815)
 - 極域SuperDARNデータを使用した統計解析
- Baker et al. (J. Geophys. Res., 112, A01303, doi:10.1029/2006JA011982, 2007.)
 - Wallopsレーダー(geomag. lat.: 50 degrees)を含めた統計解析

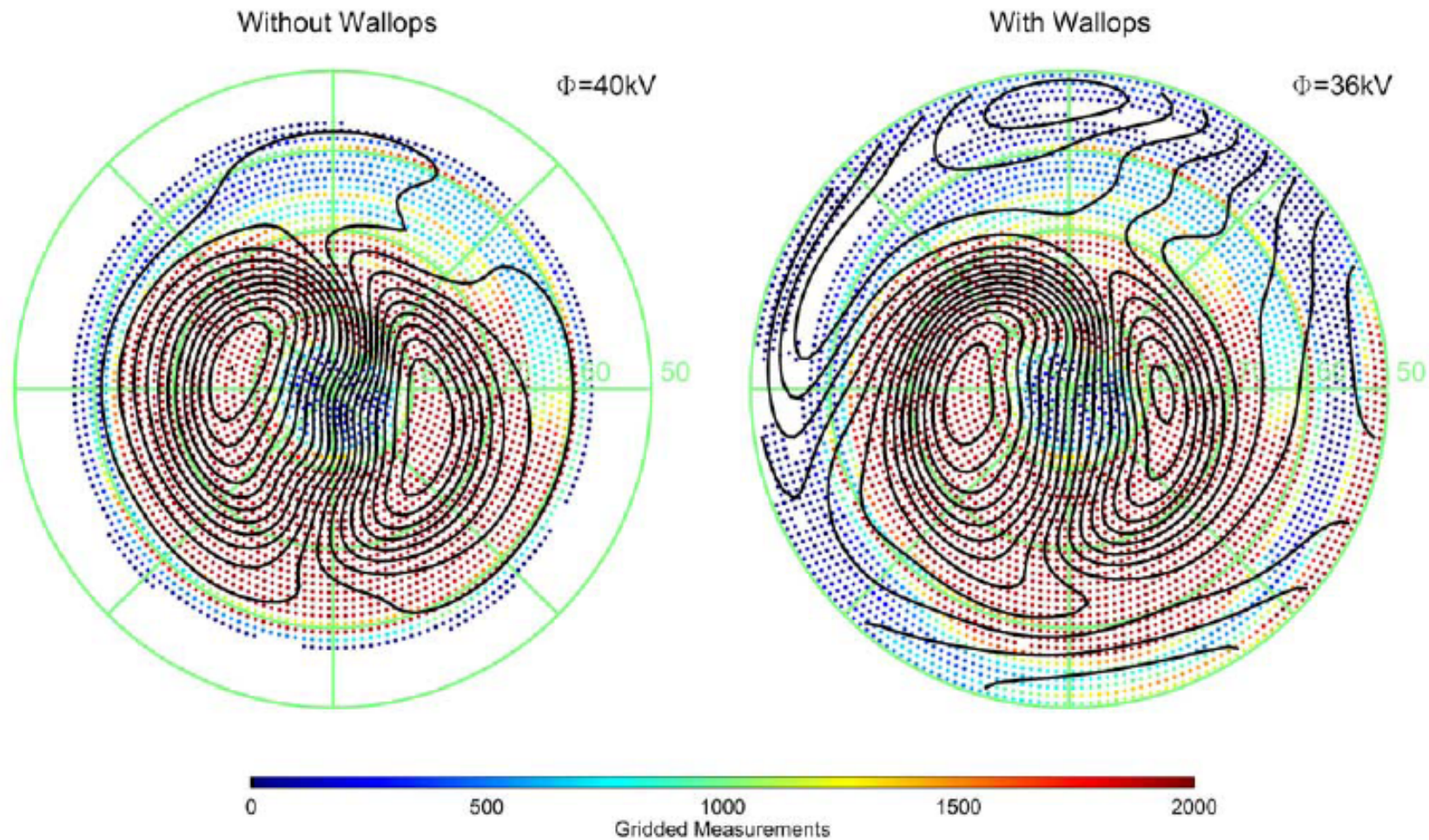


Figure 11. Average patterns of Northern Hemisphere ionospheric convection calculated from SuperDARN data collected during periods of weak geomagnetic activity ($Kp \leq 3$) between June 2005 and April 2006. The panel on the right (left) shows the convection calculated with (without) data from the Wallops radar. The format is the same as used in Figures 4–10; the contour spacing is 2 kV; the cross-polar potential is provided at the upper right. Colored dots show how many gridded Doppler measurements contributed to the patterns at a given location according to the scale provided along the bottom.

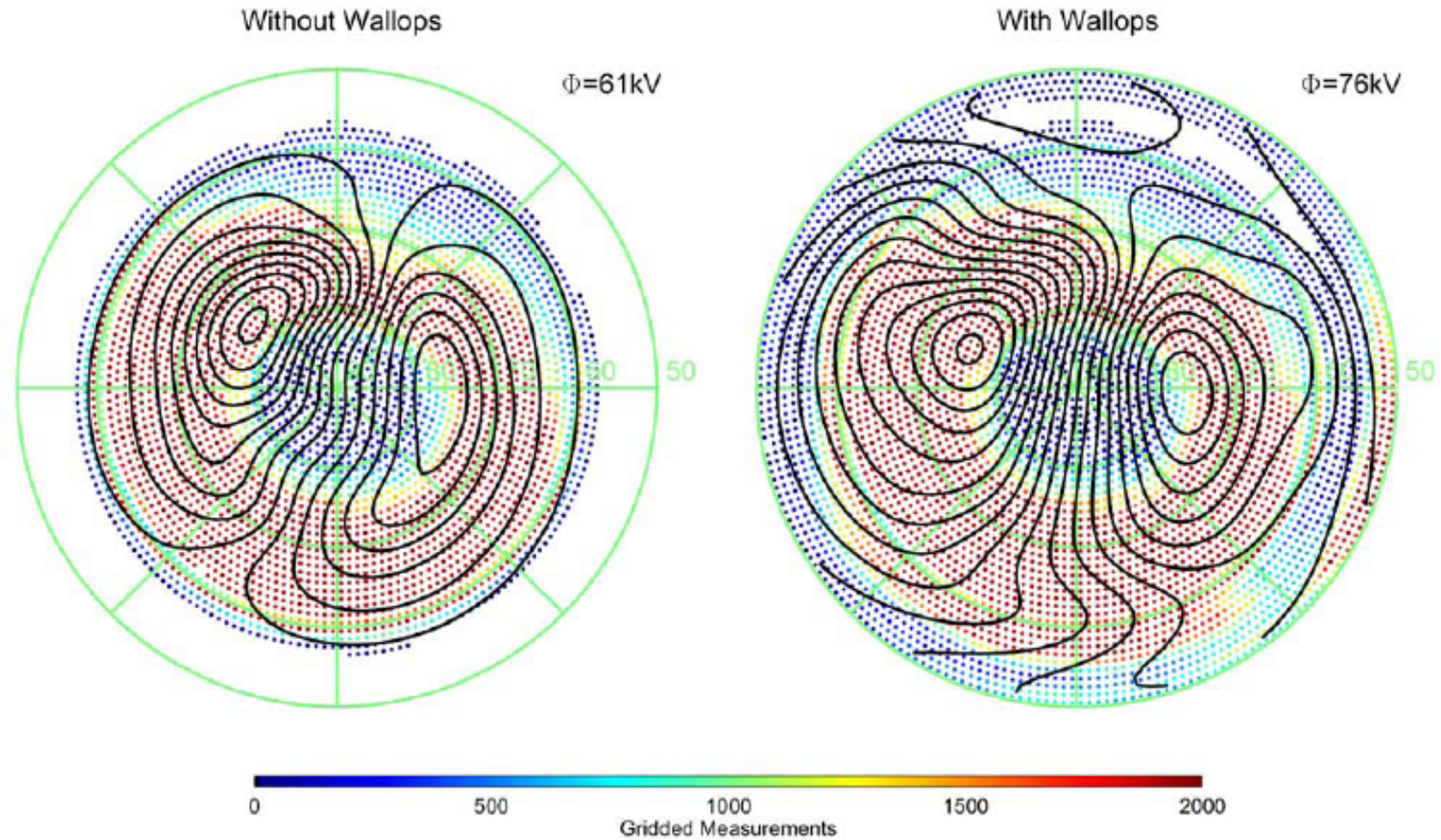


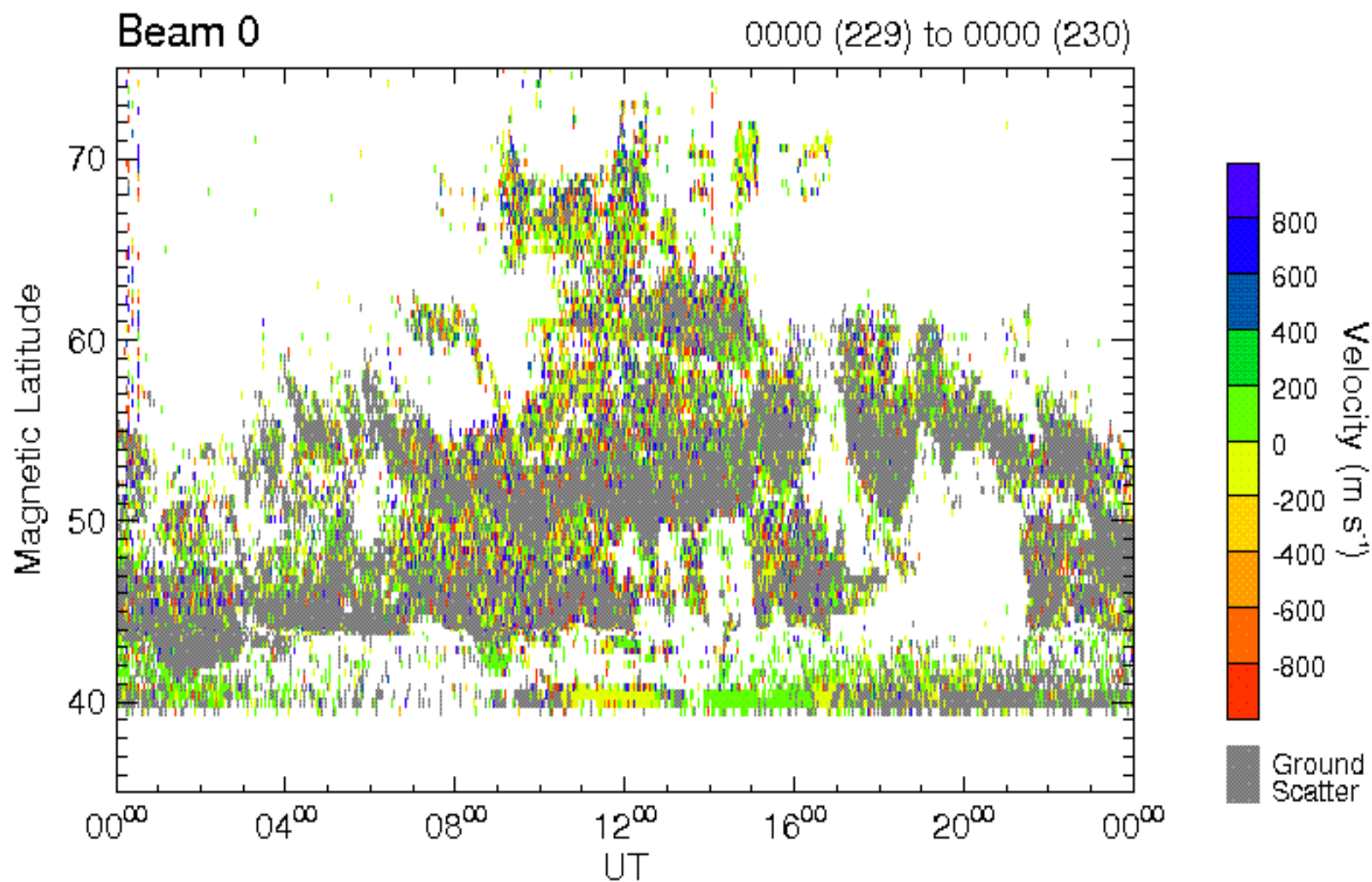
Figure 12. Average patterns of Northern Hemisphere ionospheric convection calculated from SuperDARN data collected during periods of increased geomagnetic activity ($Kp \geq 3$) between June 2005 and April 2006. The format is the same as used in Figure 10, except the contour spacing is 4 kV.

SUPERDARN PARAMETER PLOT

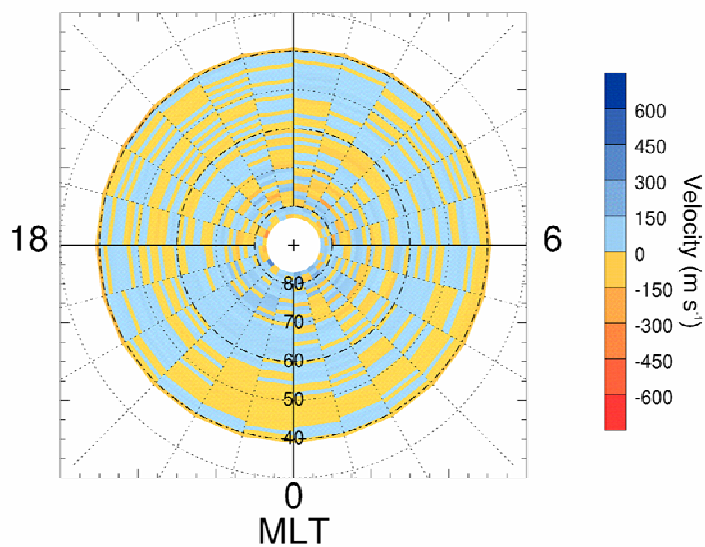
Hokkaido: vel

17 Aug 2007⁽²²⁹⁾

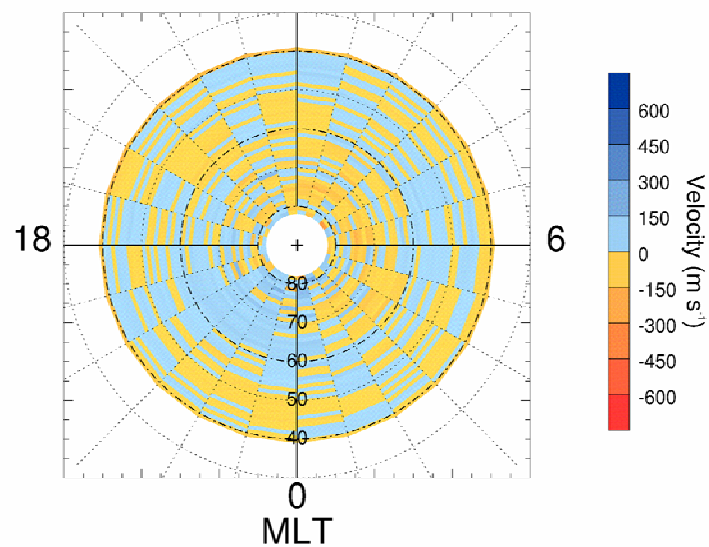
fast normal (cw) scan mode (151)



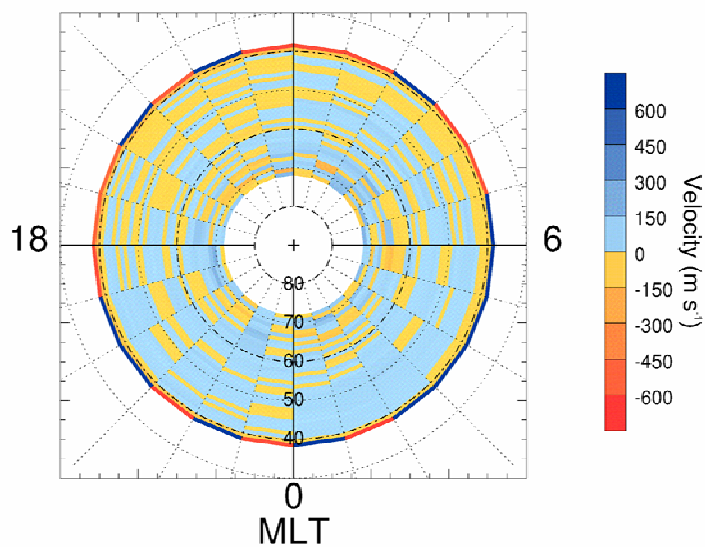
Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam 1



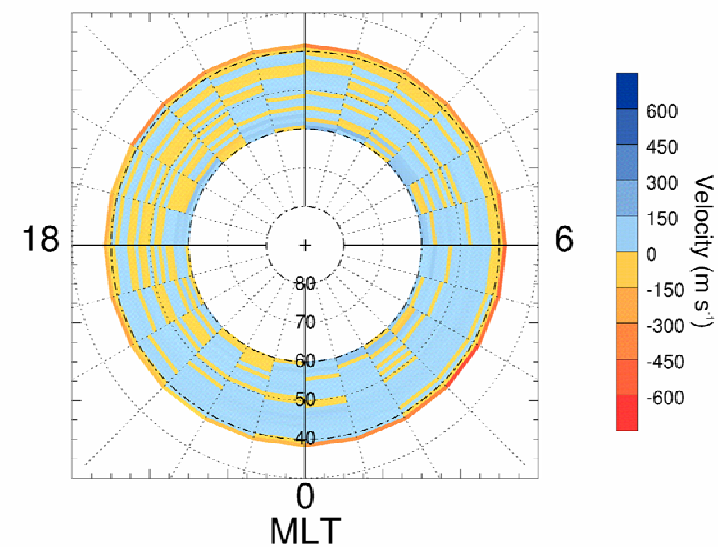
Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam 2



Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam 7

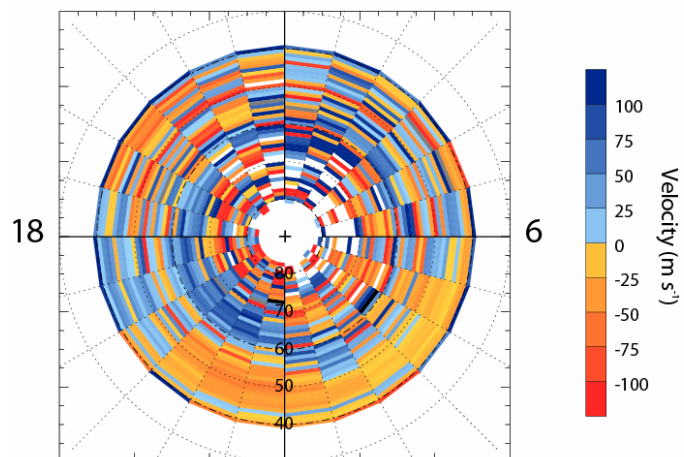


Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam12

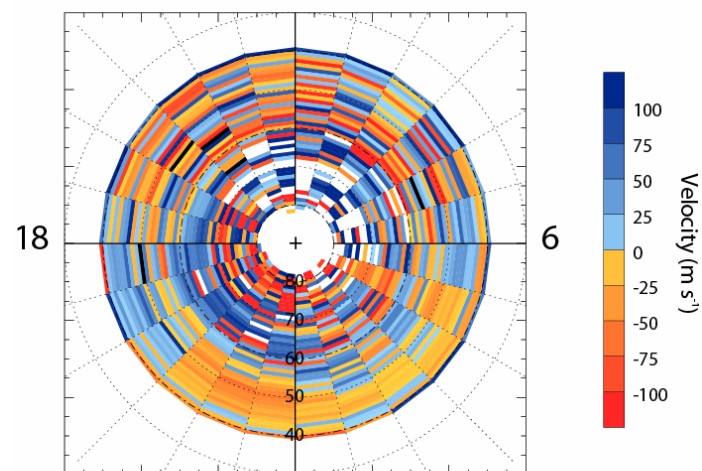


Filterをかけてノイズを除去した後の統計分布 – ただし夜側、緯度50度以下の領域以外はサンプル数小

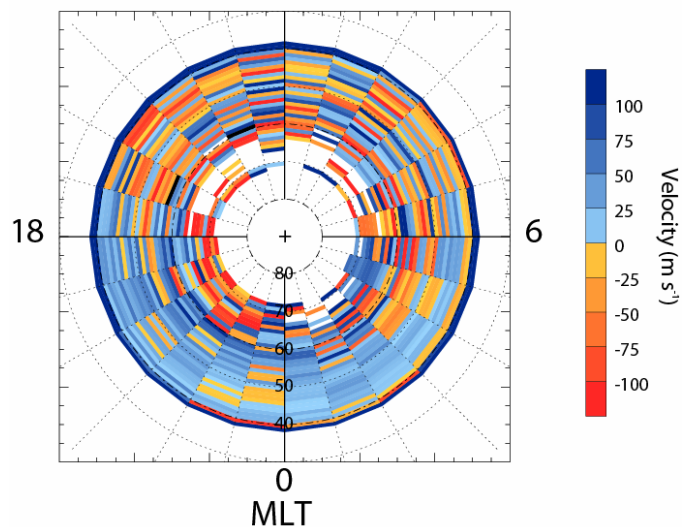
Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam 1



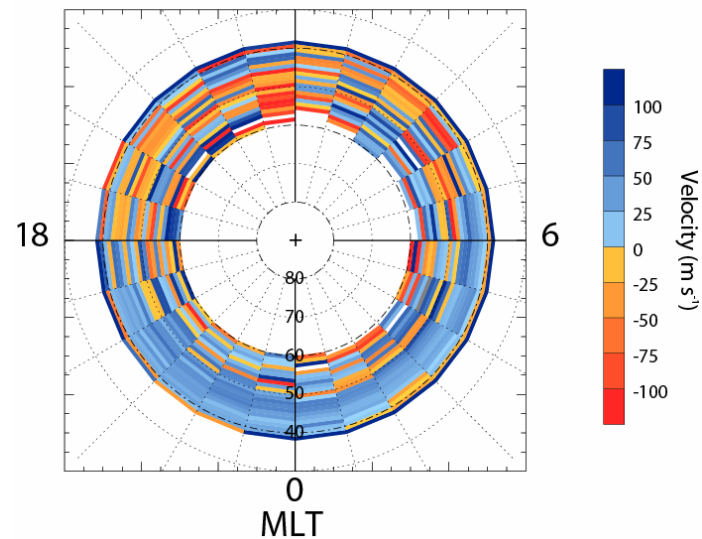
Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam 2



Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam 7

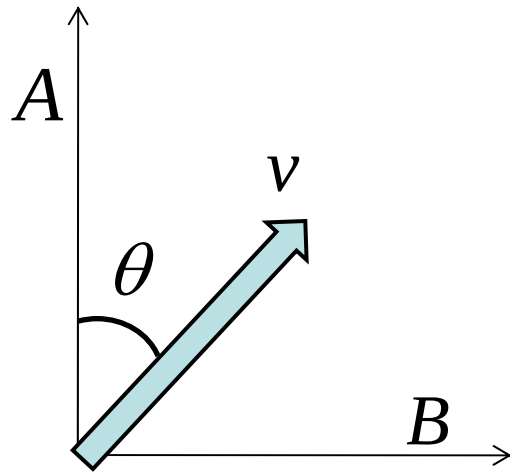


Hokkaido SuperDARN
Doppler Velocity Average 12/2006 - 11/2007
12 beam12



ベクトルの導出方法

最小二乗法



$$v_1 = A \cos \theta_1 + B \sin \theta_1$$

$$v_2 = A \cos \theta_2 + B \sin \theta_2$$

...

$$v_{14} = A \cos \theta_{14} + B \sin \theta_{14}$$

$$S = \sum (v_i - A \cos \theta_i - B \sin \theta_i)^2 \rightarrow \text{最小に}$$

$$\frac{\partial S}{\partial A} = 0 \quad \frac{\partial S}{\partial B} = 0 \quad \rightarrow \text{連立一次方程式}$$

電離圏エコーと地上散乱エコー

•電離圏エコー(Ionospheric Scatter)

電離圏電子密度不規則構造(FAls)に電波が垂直に入射した時に起こるブラッグ散乱により、レーダーまで戻ってくるエコー。

印加されたDoppler shiftから電離圏プラズマの水平対流速度を得ることができる。

•地上散乱エコー(Ground Scatter)

電離圏で反射した後、地面で散乱し、レーダーまで戻ってくるエコー。

地面で散乱するため、Doppler速度は一般に小さい($<50 \text{ ms}^{-1}$)。

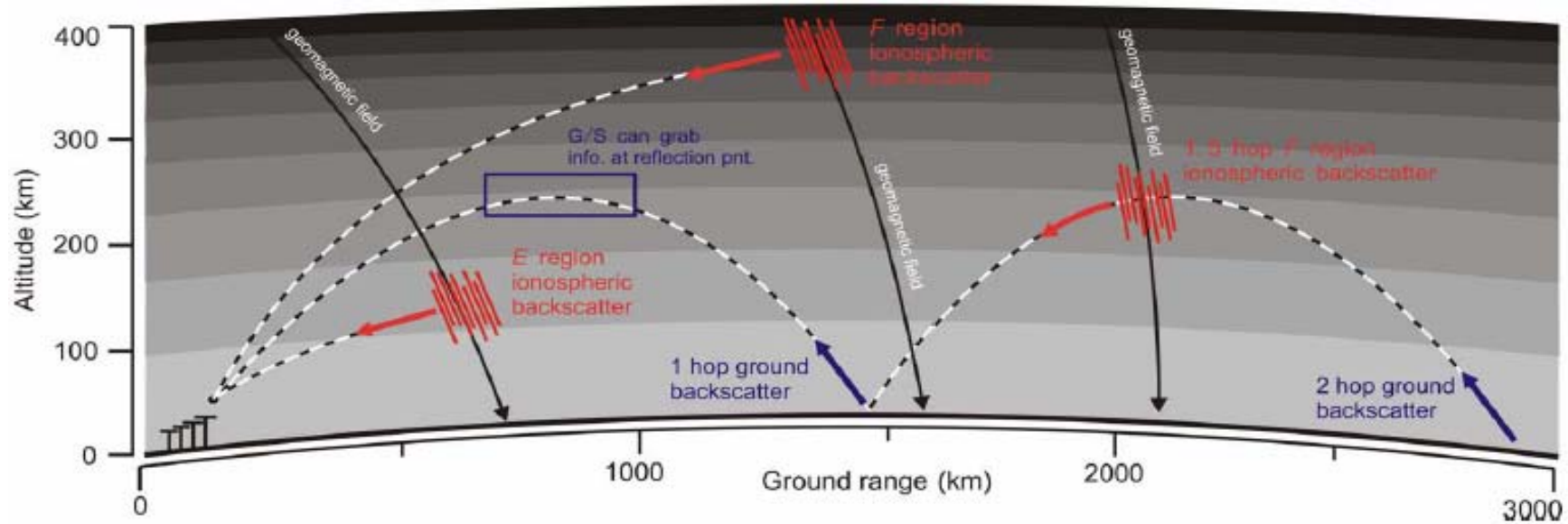


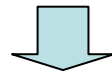
図3 :電離圏エコーと地上散乱エコー

エコーの判別

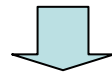
- 電離圏エコーと地上散乱エコーの識別は、基本的にはDoppler速度の大きさで判定。

地上散乱エコーの判別条件

$$|(\text{Doppler velocity})| \leq 30 - 1/3 \times (\text{Spectral width})$$



- この条件で電離圏エコーと地上散乱エコーの判別が正確に行われているか知りたい。



- 新たにエコー解析のためのツールが必要になる。

計算結果の例2

電離圏モデル

電子密度	IRI モデル (2006年12月15日 3:00(UT))
地磁気	IGRFモデル
衝突周波数	Exponential 関数

発射する電波

発射座標	N43.6、E143.6[deg]
周波数	11.07[MHz]
仰角	5-50[deg]
方位角	5.7[deg]

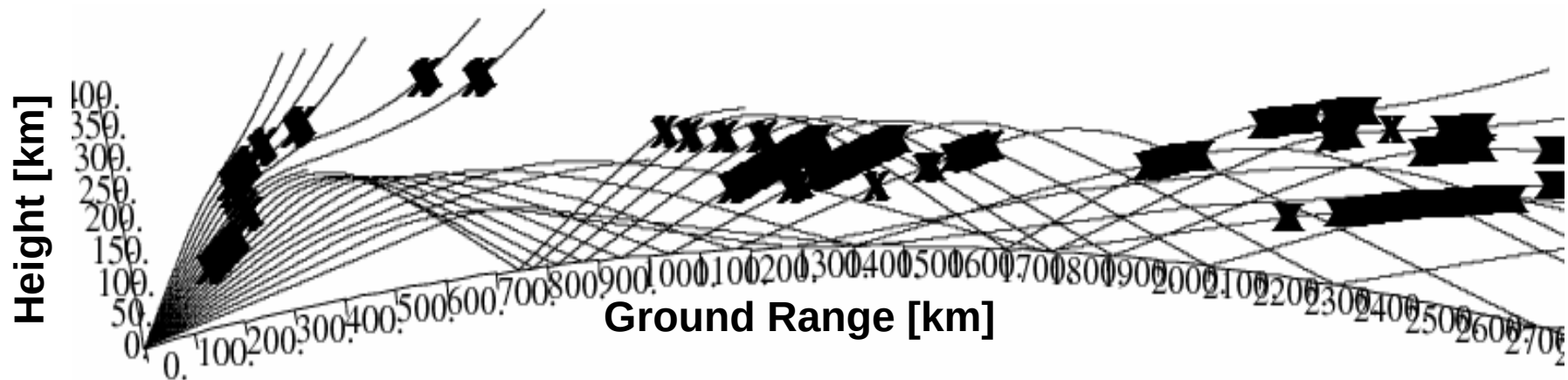


図4: 短波帯電波伝搬を計算した一例

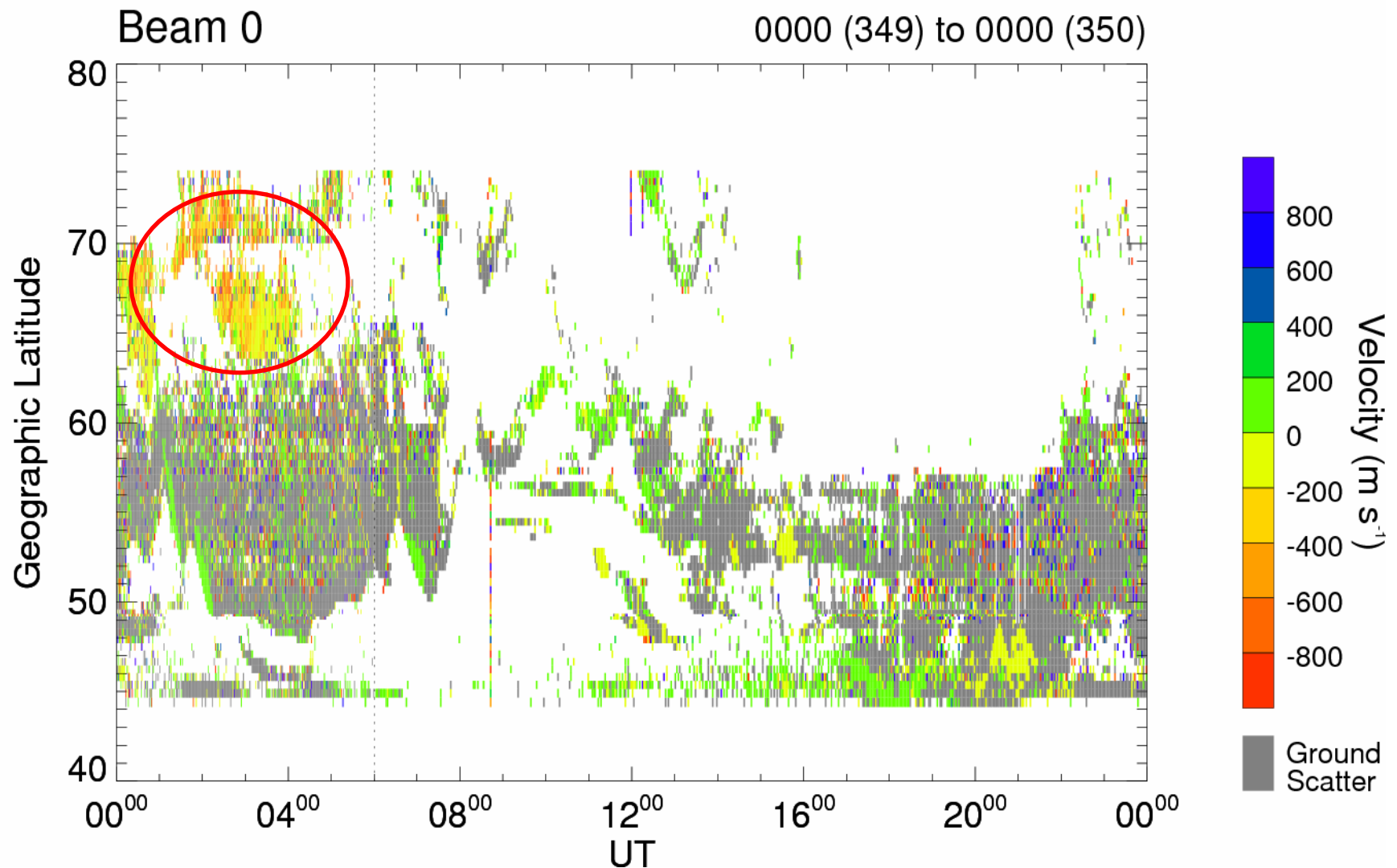
観測データ1

SUPERDARN PARAMETER PLOT

Hokkaido: vel

15 Dec 2006 ⁽³⁴⁹⁾

fast normal (cw) scan mode (151)



データ比較

SUPERDARN PARAMETER PLOT

Hokkaido: vel

15 Dec 2006 (19:09)

fast normal (cw) scan mode (151)

0300 00s (349)

11.070 MHz

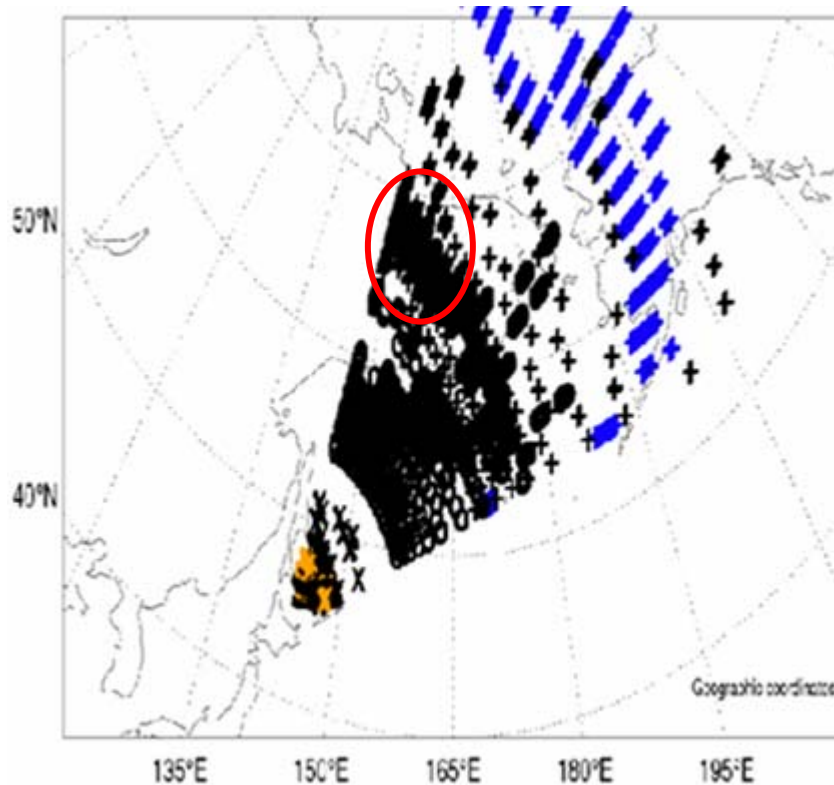


図6:電離圏エコー観測点

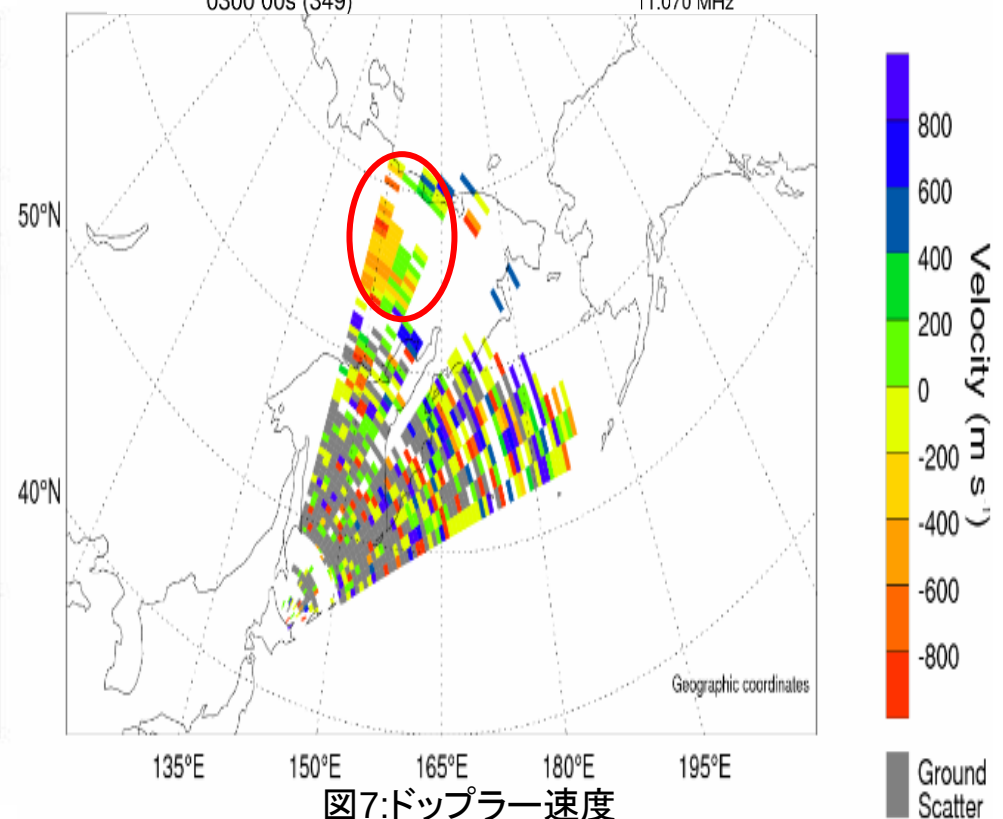
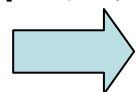


図7:ドップラー速度

- 右図は北海道HFレーダーを用いて観測したドップラー速度を表す。
- 右図の電離圏エコーと思われる領域(赤で囲まれた部分)は左図の直交条件を満たす領域に相当する。



電離圏エコーの可能性が高い。

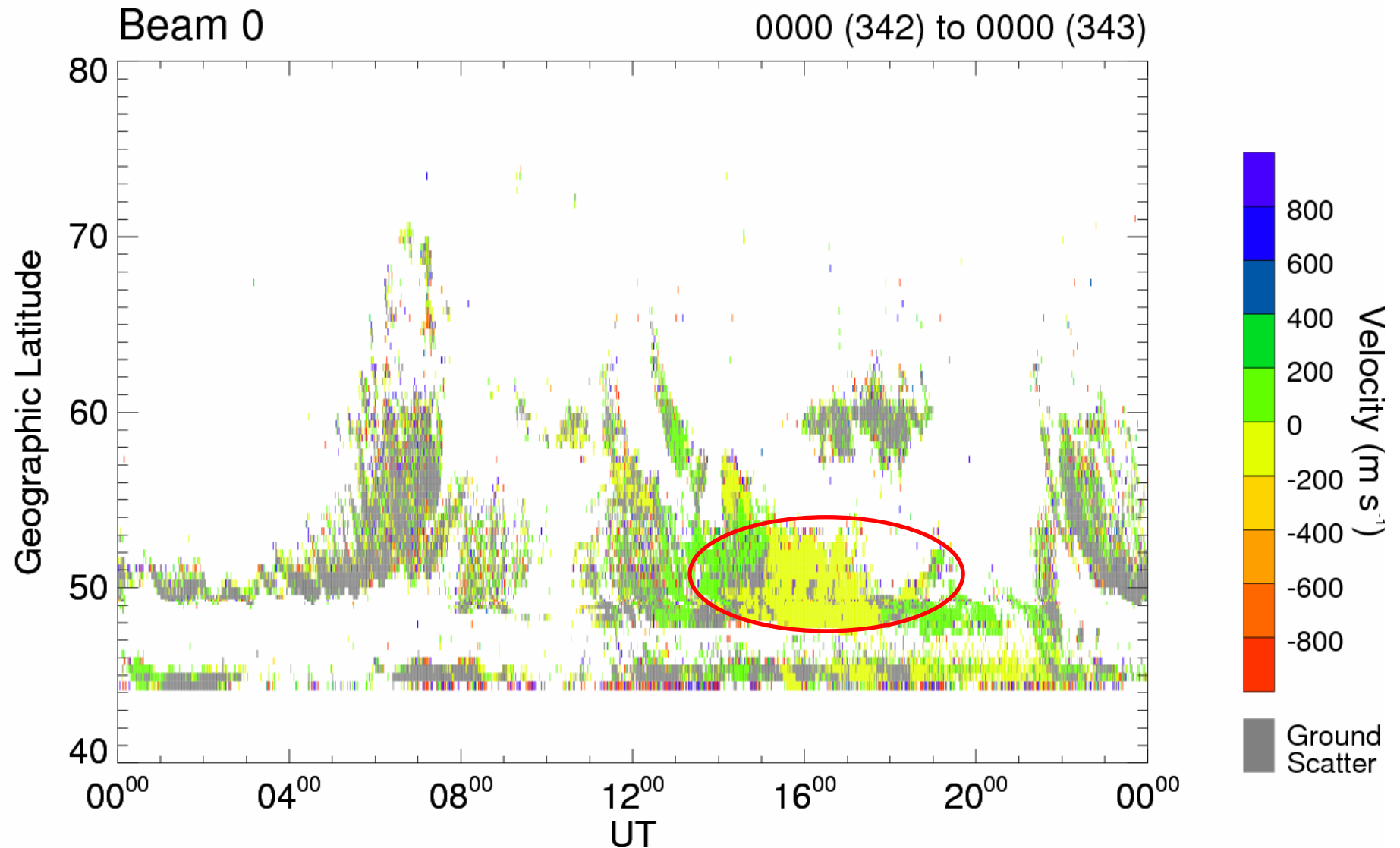
観測データ2

SUPERDARN PARAMETER PLOT

Hokkaido: vel

8 Dec 2006 ⁽³⁴²⁾

fast normal (cw) scan mode (151)



計算結果の例3

電離圏モデル

電子密度	IRI モデル (2006年12月08日 16:00(UT))
地磁気	IGRFモデル
衝突周波数	Exponential 関数

発射する電波

発射座標	N43.6、E143.6[deg]
周波数	9.12[MHz]
仰角	5-50[deg]
方位角	5.7[deg]

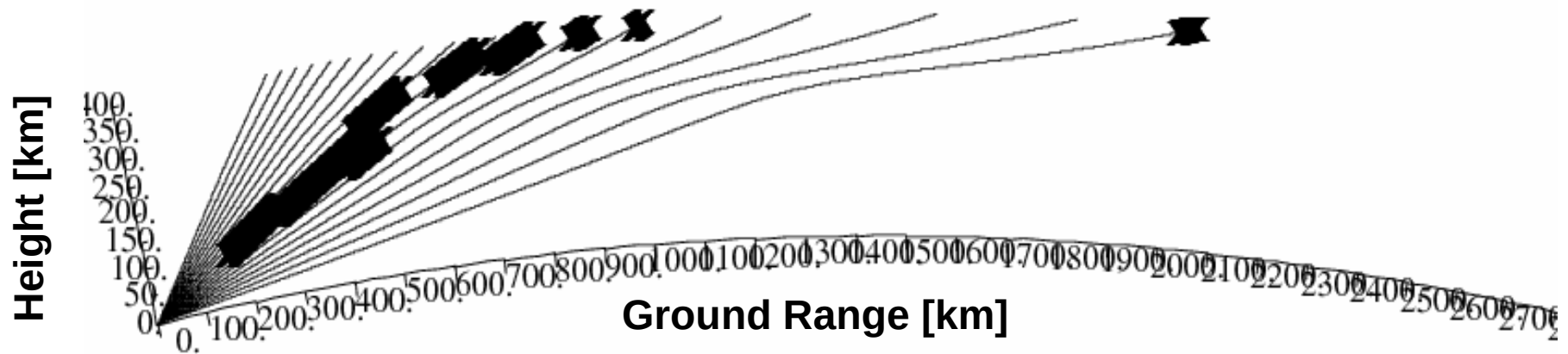


図8: 短波帯電波伝搬を計算した一例

データ比較2

SUPERDARN PARAMETER PLOT

Hokkaido: vel

8 Dec 2006⁽³⁴²⁾

fast normal (cw) scan mode (151)

1600 00s (342)

9.130 MHz

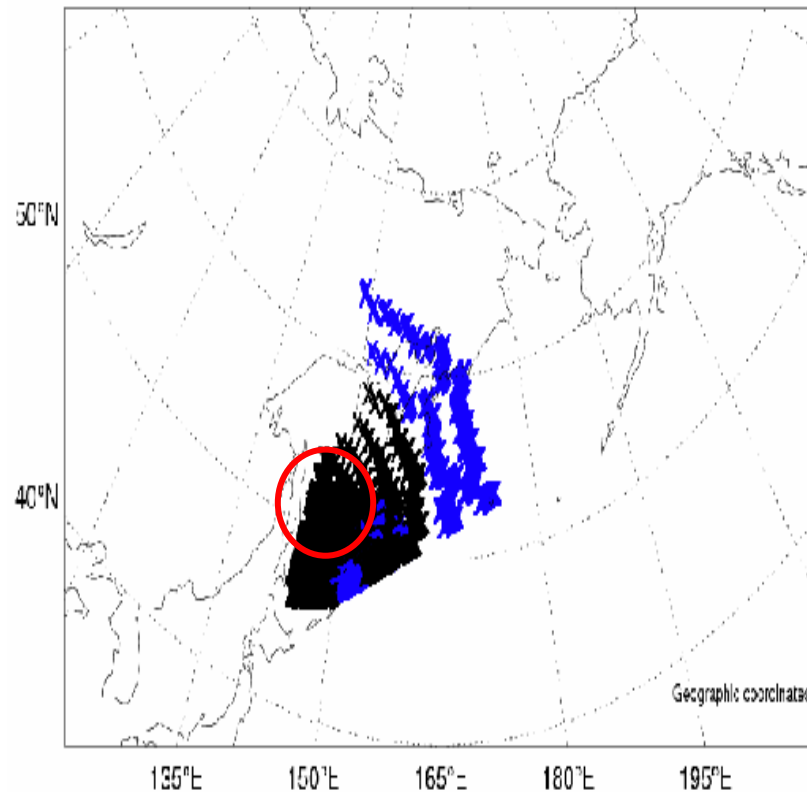


図9:電離圏エコー観測点

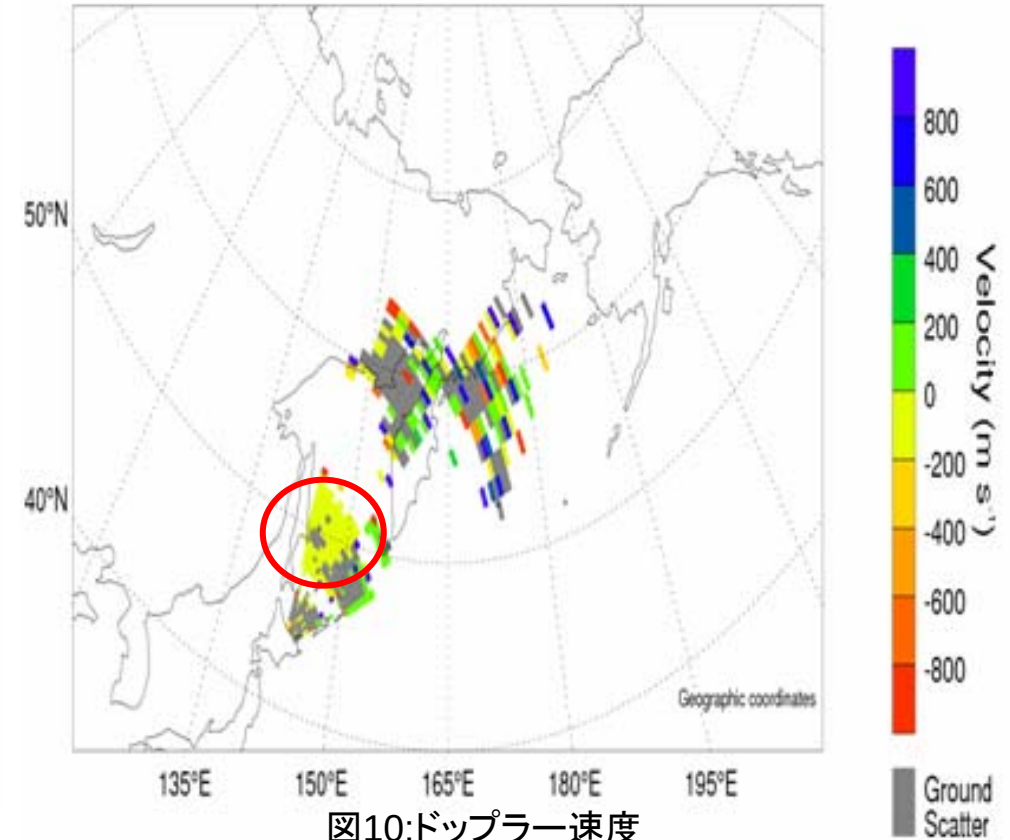
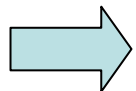


図10:ドップラー速度

- 右図の電離圏エコーと思われる領域(赤で囲まれた部分)は左図の直交条件を満たす領域に相当する。

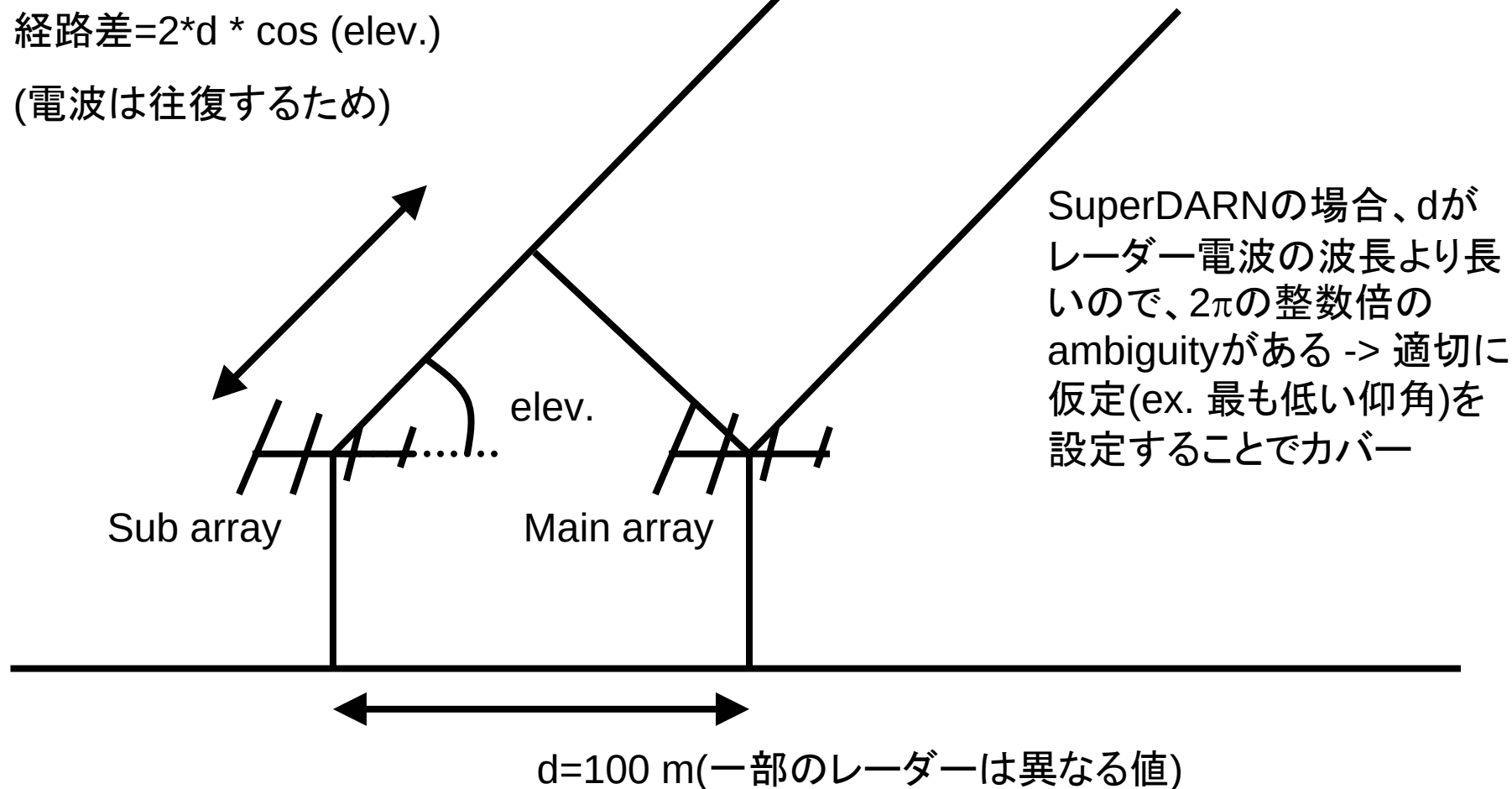


電離圏エコーの可能性が高い。

Main array, sub arrayの位相差よりエコーの到来方向の仰角(elevation angle)を計算

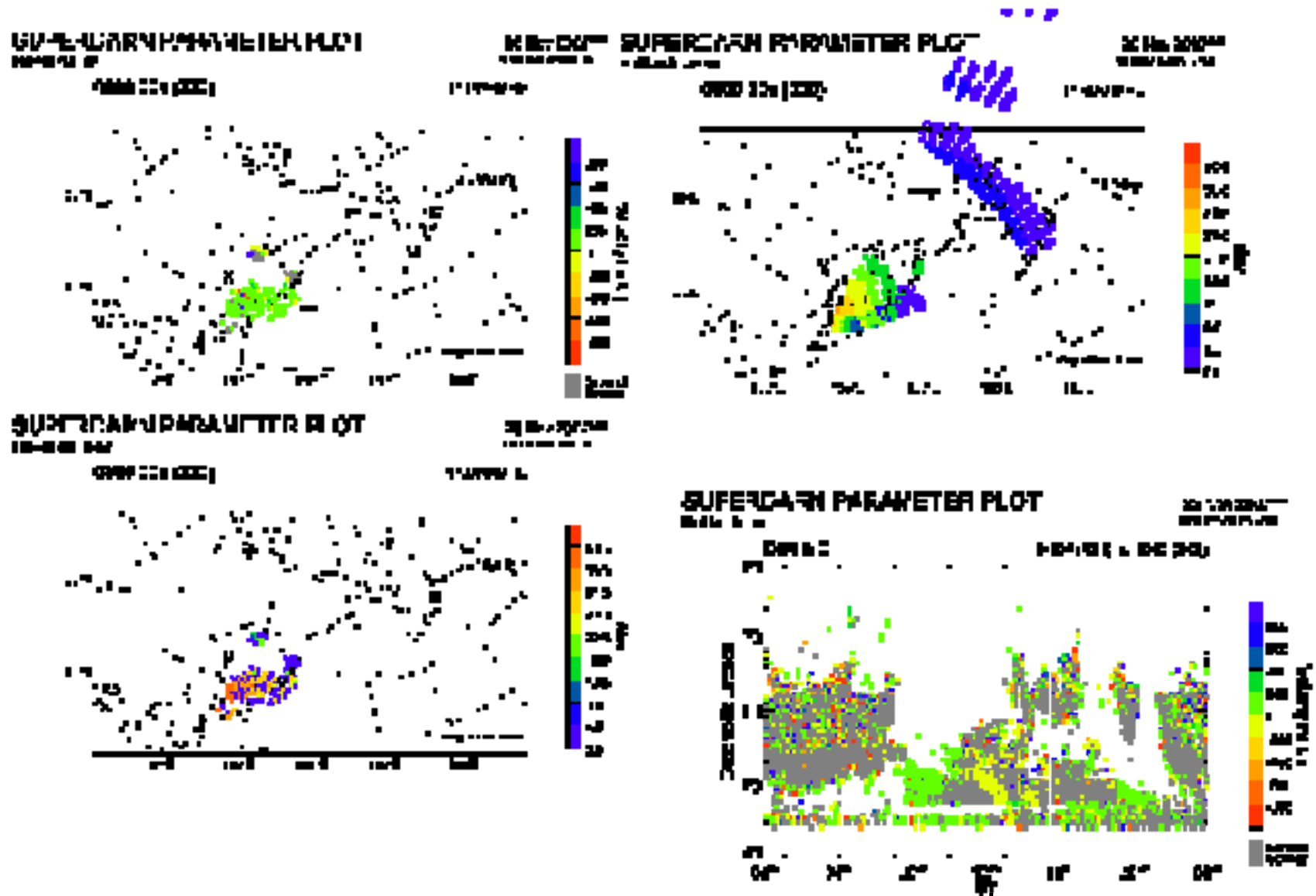
経路差 = $2 * d * \cos(\text{elev.})$

(電波は往復するため)



Elevation angleの観測とモデルの比較

(2007/11/26, nightside ionospheric echoes)



Elevation angleの観測とモデルの比較 (2007/12/11, dayside cusp echoes)

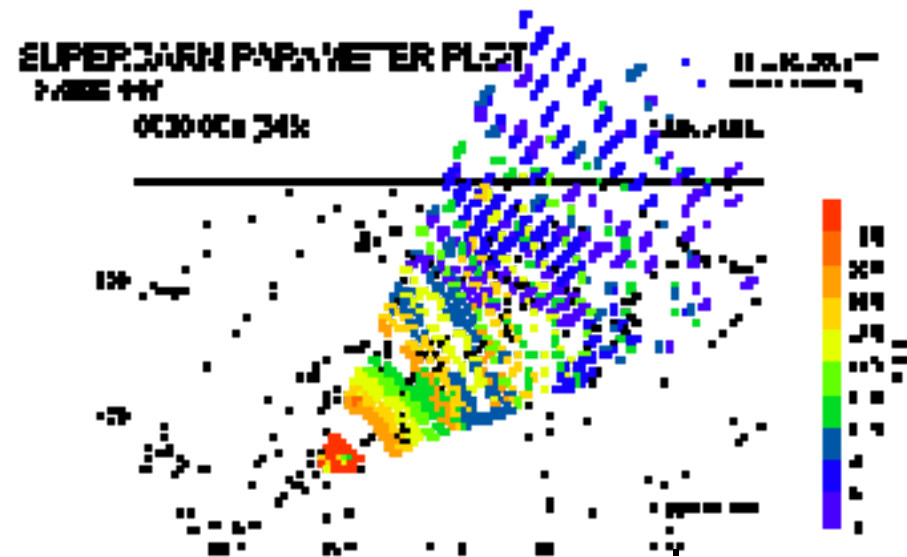
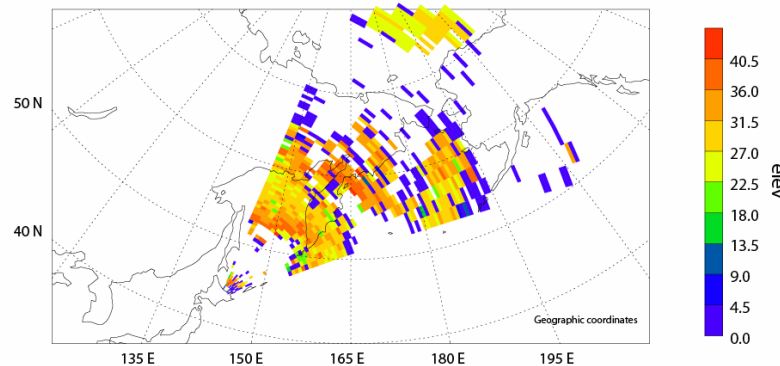
SUPERDARN PARAMETER PLOT

Hokkaido: elev

0030 00s (345)

10.805 MHz

11 Dec 2007 (045)
unknown scan mode (-151)



Elevation angleの観測とモデルの比較 (2007/11/22, dayside cusp echoes)

