



+ 電離圏エコー

北海道レーダー地上散乱エコー

の統計的性質

— 初期解析結果から —

細川敬祐

電気通信大学

西谷望, 片岡龍峰, 小川忠彦

名古屋大学太陽地球環境研究所

地上散乱エコーと電離圏エコー

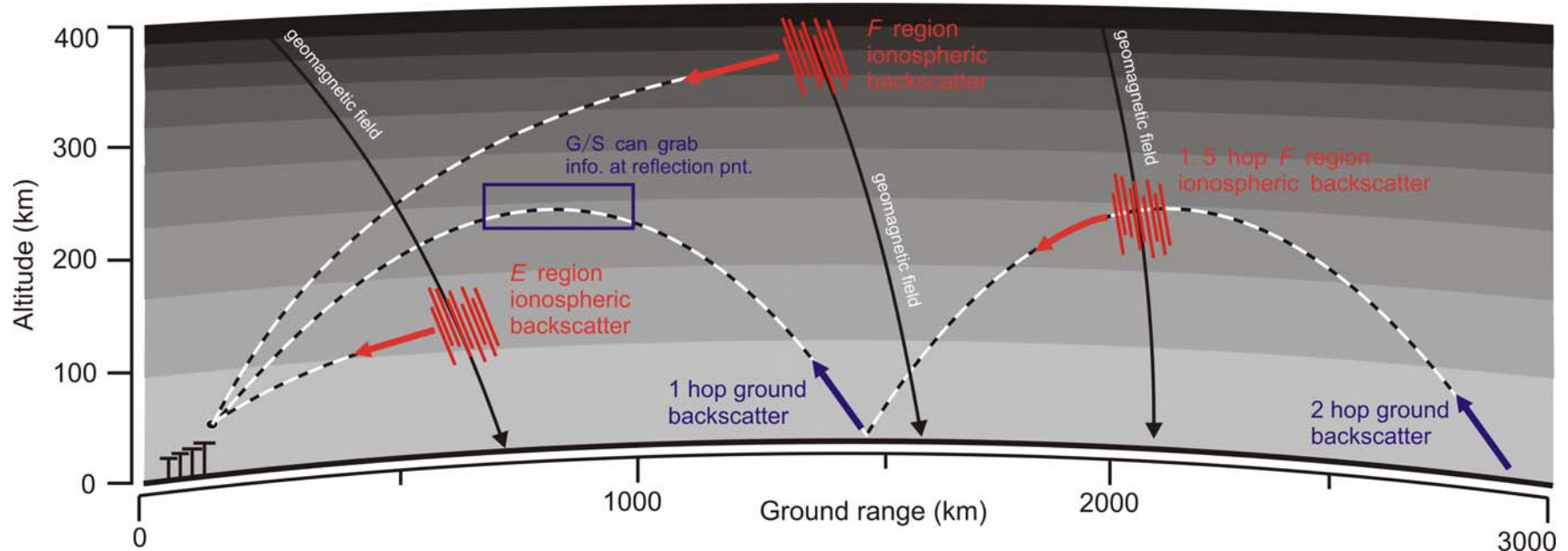
電離圏エコー (Ionospheric Scatter)

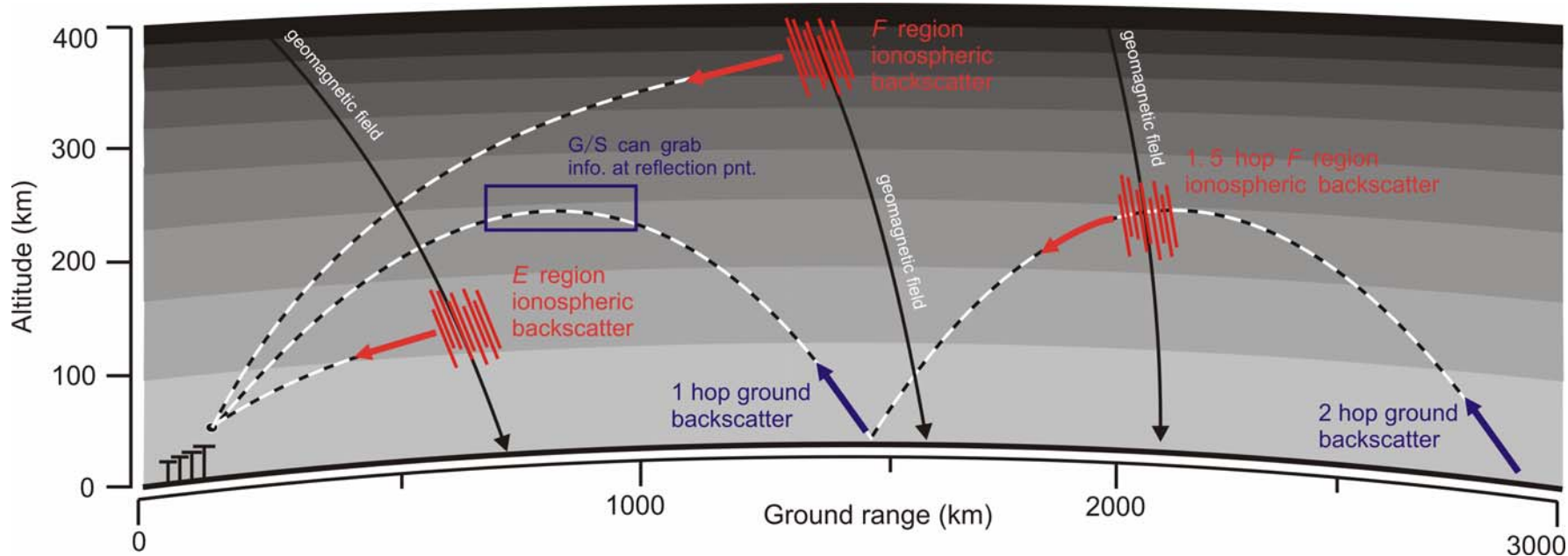
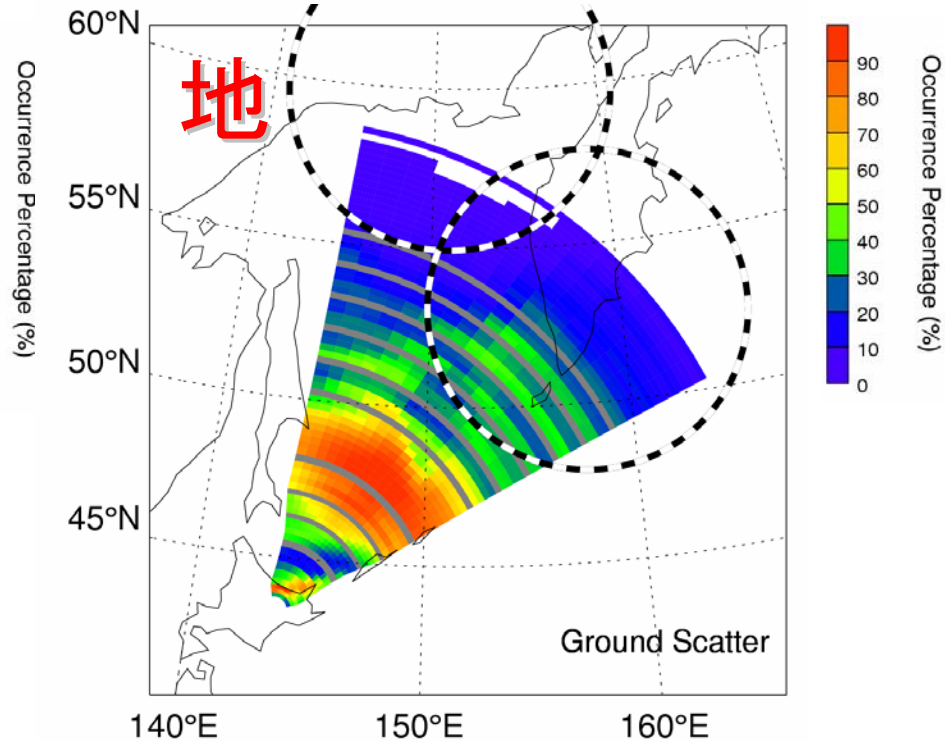
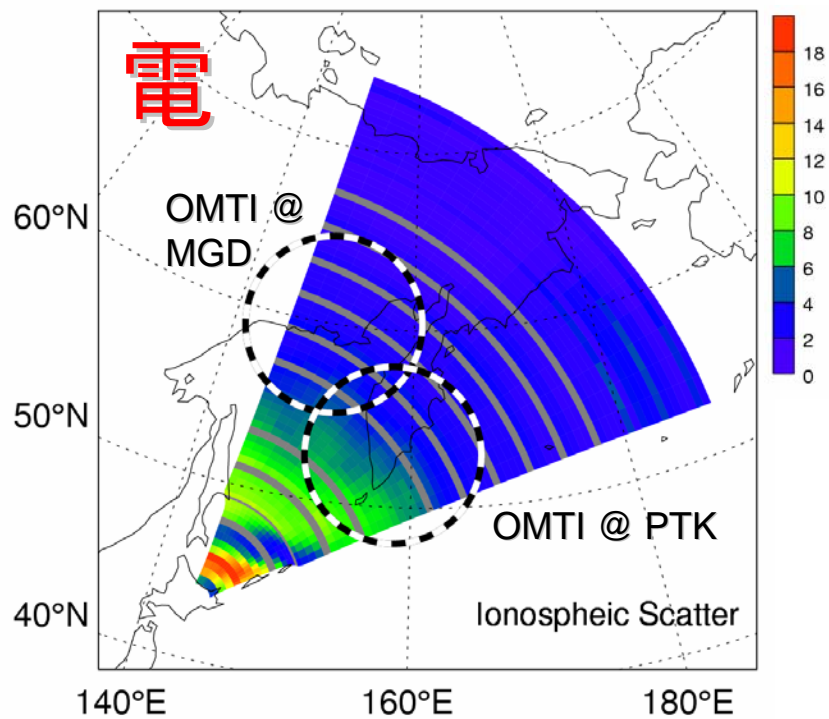
電離圏電子密度不規則構造 (FAIs) に電波が垂直に入射した時に起こるブラッグ散乱。印可された Doppler shift から電離圏プラズマの水平対流速度を得ることができる。

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 速度は一般に小さく ($< 50 \text{ m s}^{-1}$)、スペクトル幅は狭い。TID, ULF 波動などで電離圏に揺らぎ (擾乱) がある場合、その情報を持ち帰ることがある。

★ 両者の弁別は、基本的には速度の大きさ (threshold より大きい小さいか) で自動判定。





電離圏エコーの統計的性質

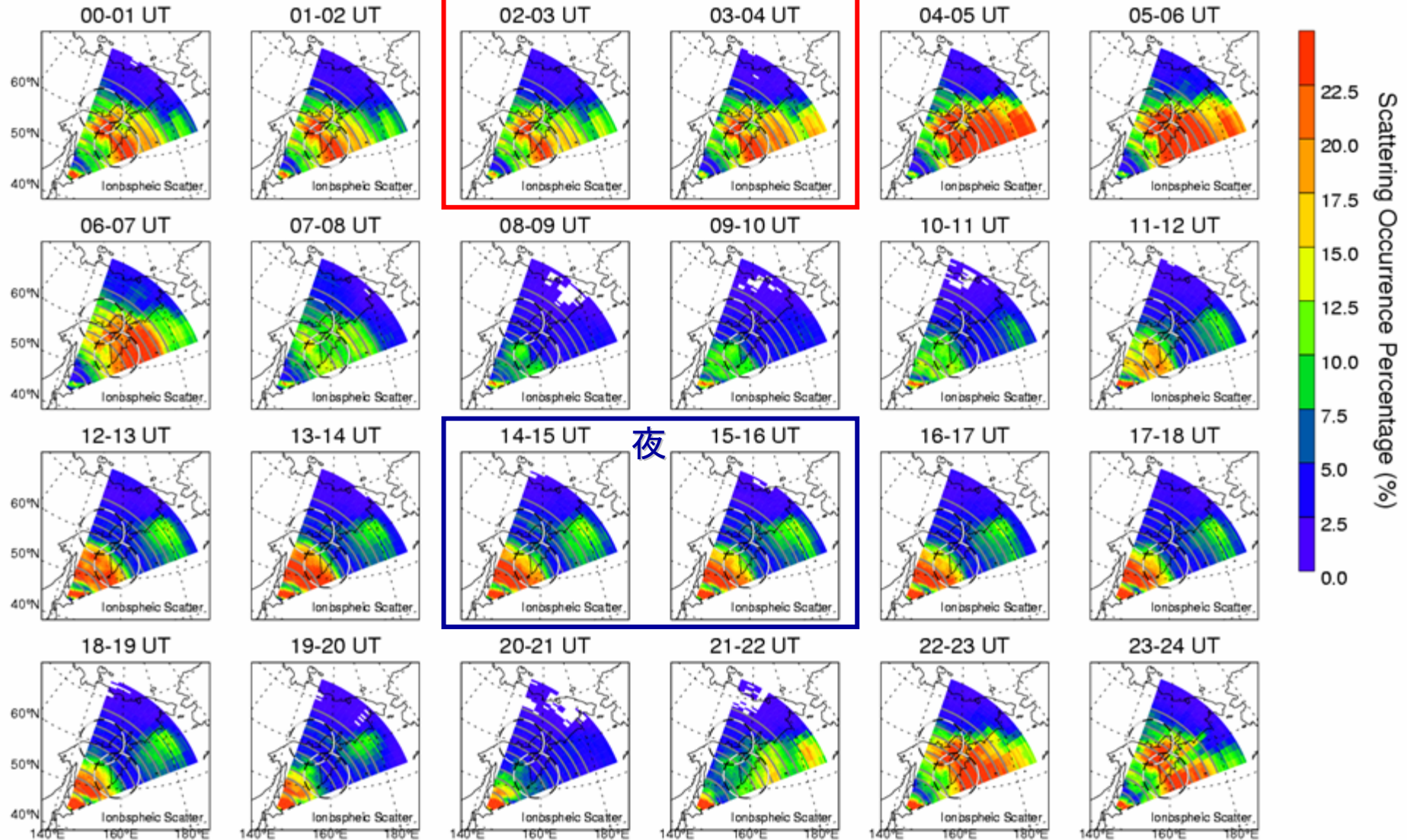
Ionospheric Scatter

Hokkaido Radar Backscatter Statistics

Ionospheric Scatter (projection height 400 km)

Dec 2006
to
Feb 2007

processed with FitACF version 1.22



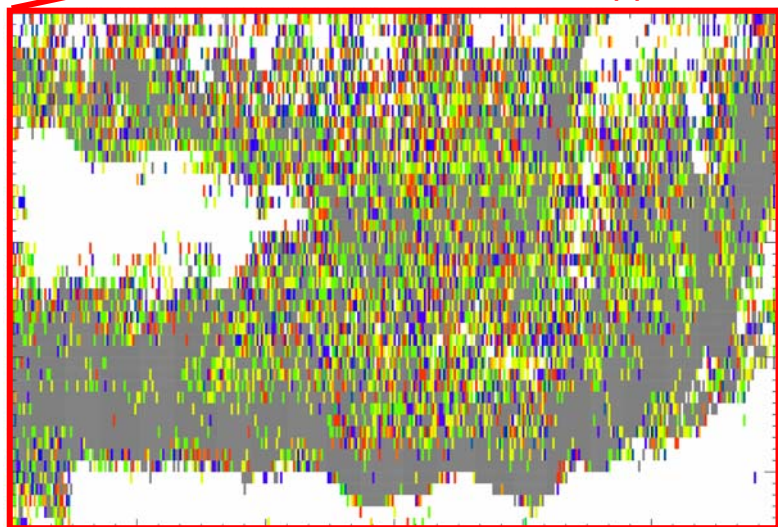
出自のよくわからない昼間の電離圏エコー

昼間に限らず、パワーの大きなエコー（右の例の場合、近距離レンジの地上散乱エコー）がある場合、それよりも遠距離レンジにノイズーな電離圏エコーが現れる。

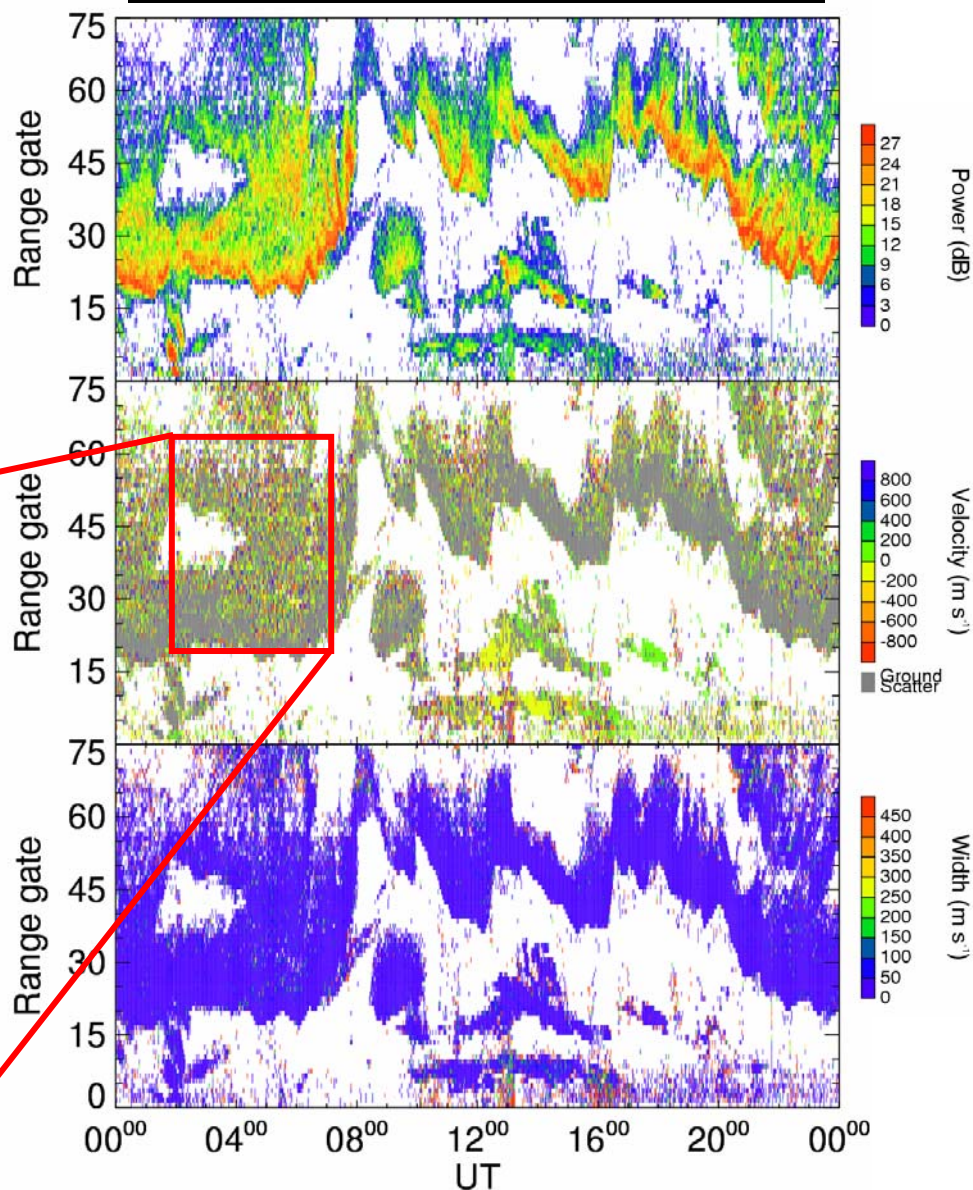
これは各レンジから同時に戻って来た受信波が干渉して起こるものと考えられる。

パワーの大きい地上散乱エコーを頻繁に観測する中緯度 SD レーダーで顕著な問題？

一貫性のない Doppler shift

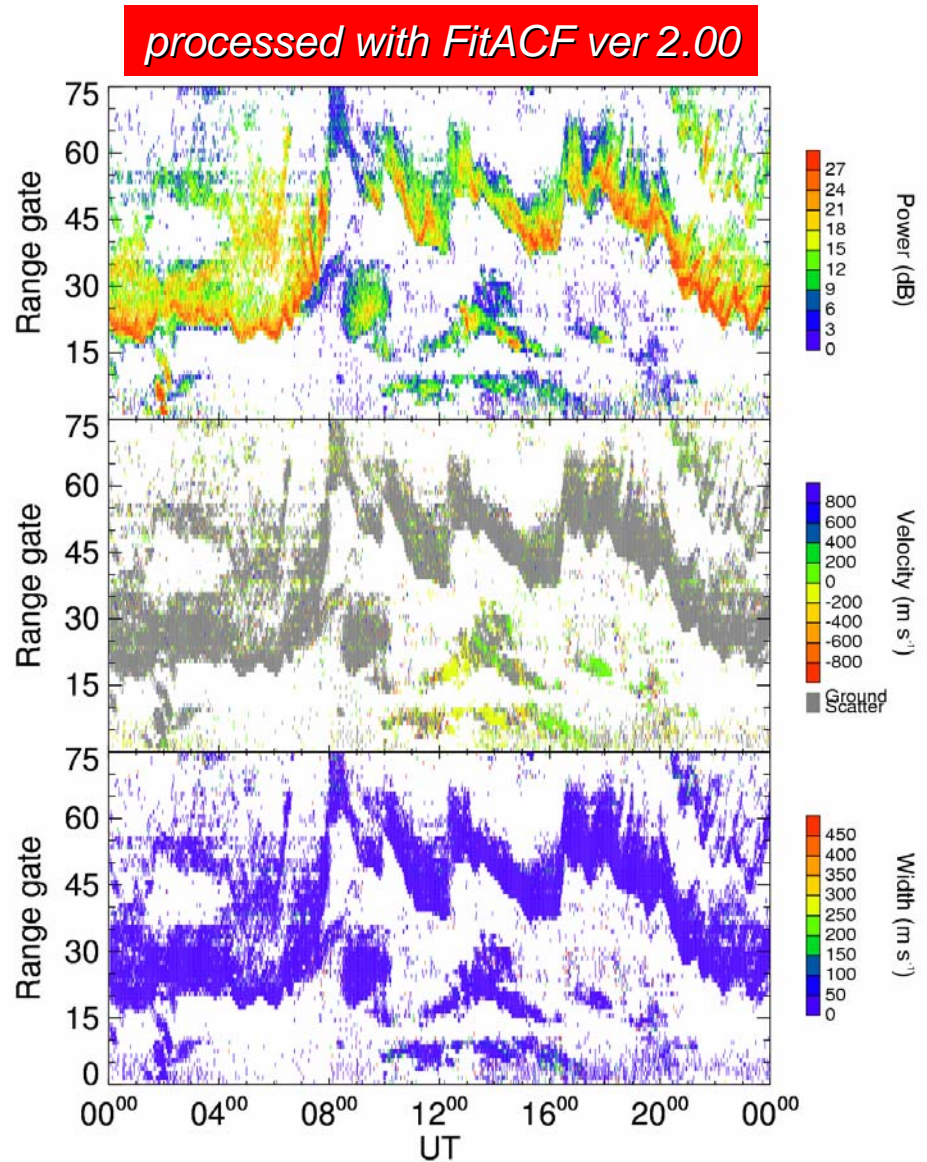
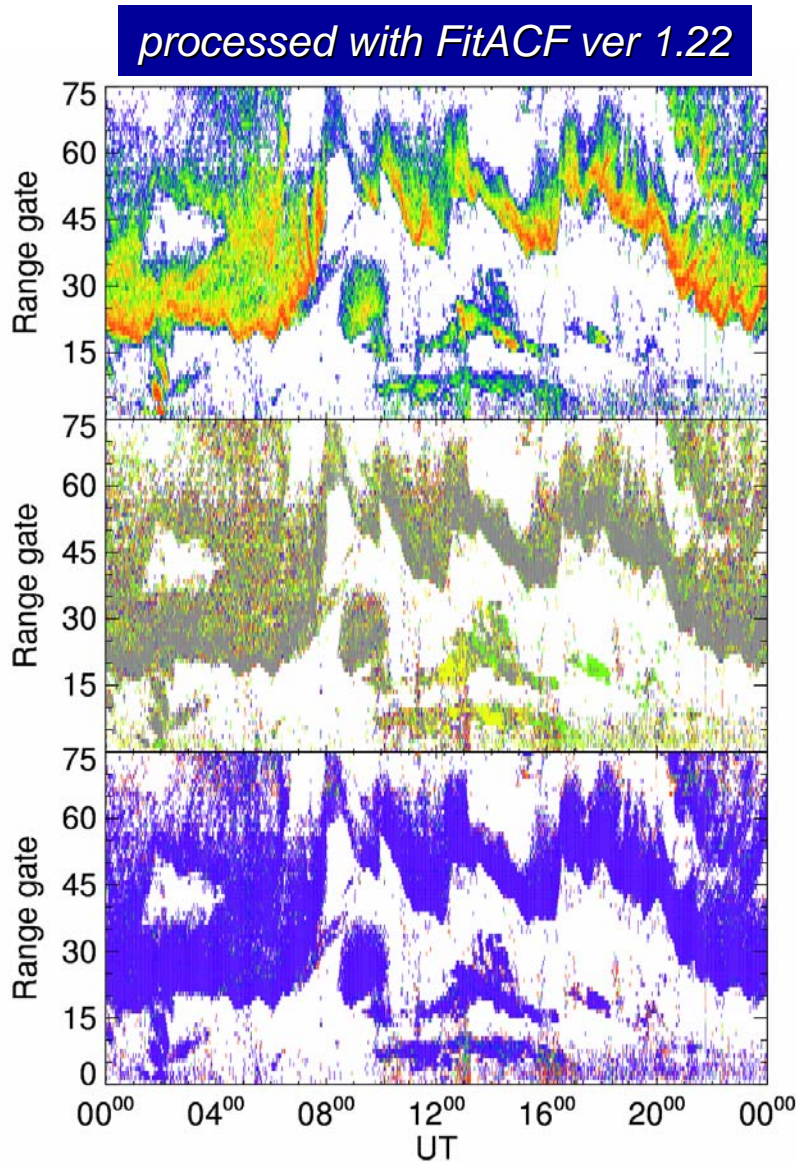


2007年2月13日（1日分の観測）



生データのフィッティング手法の改良 – FitACF ver 2.00 (under testing)

cross-range interference に伴う badlag の判定を厳しくした効果が出ていると思われる。

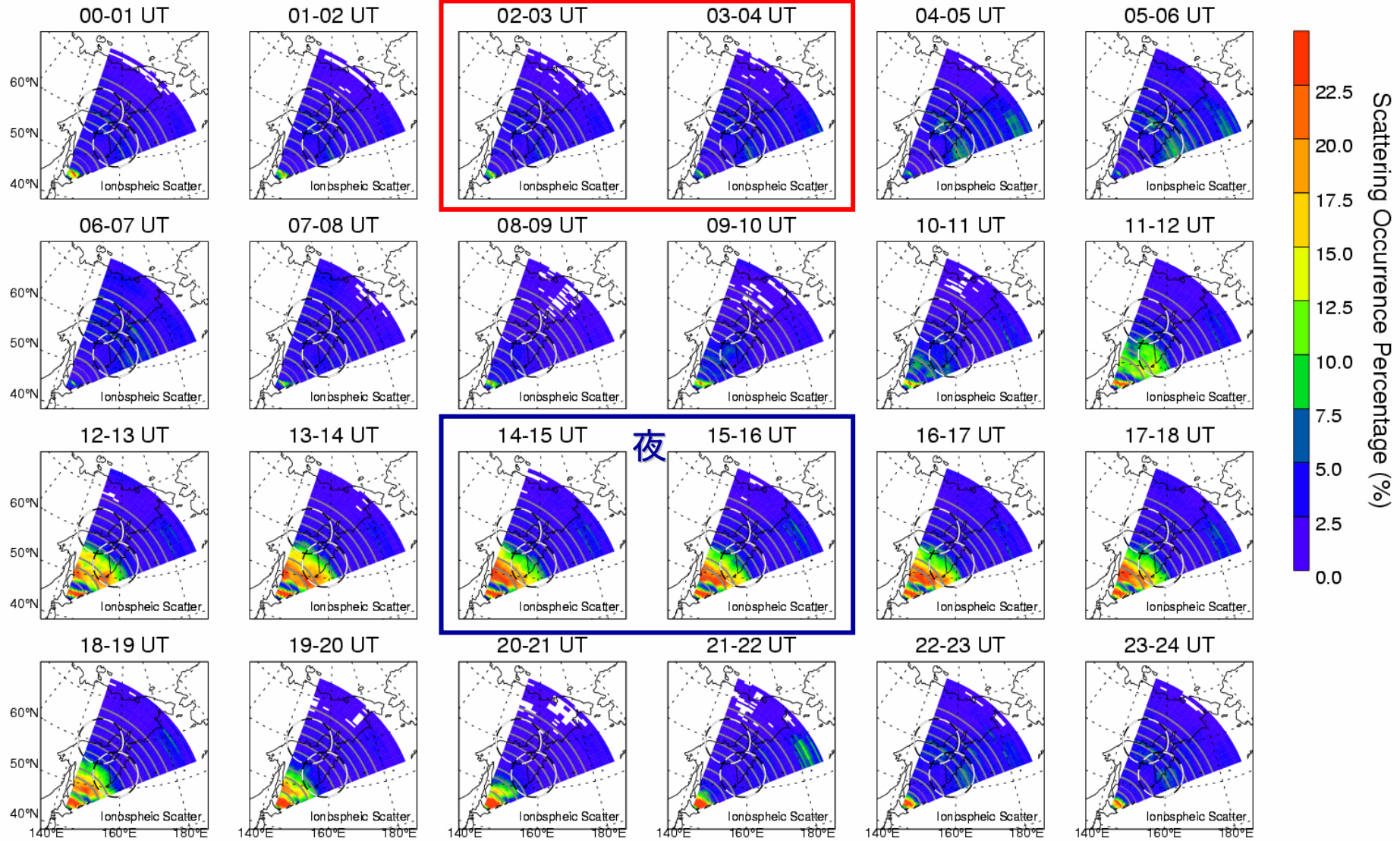


Hokkaido Radar Backscatter Statistics

Ionospheric Scatter (projection height 400 km)

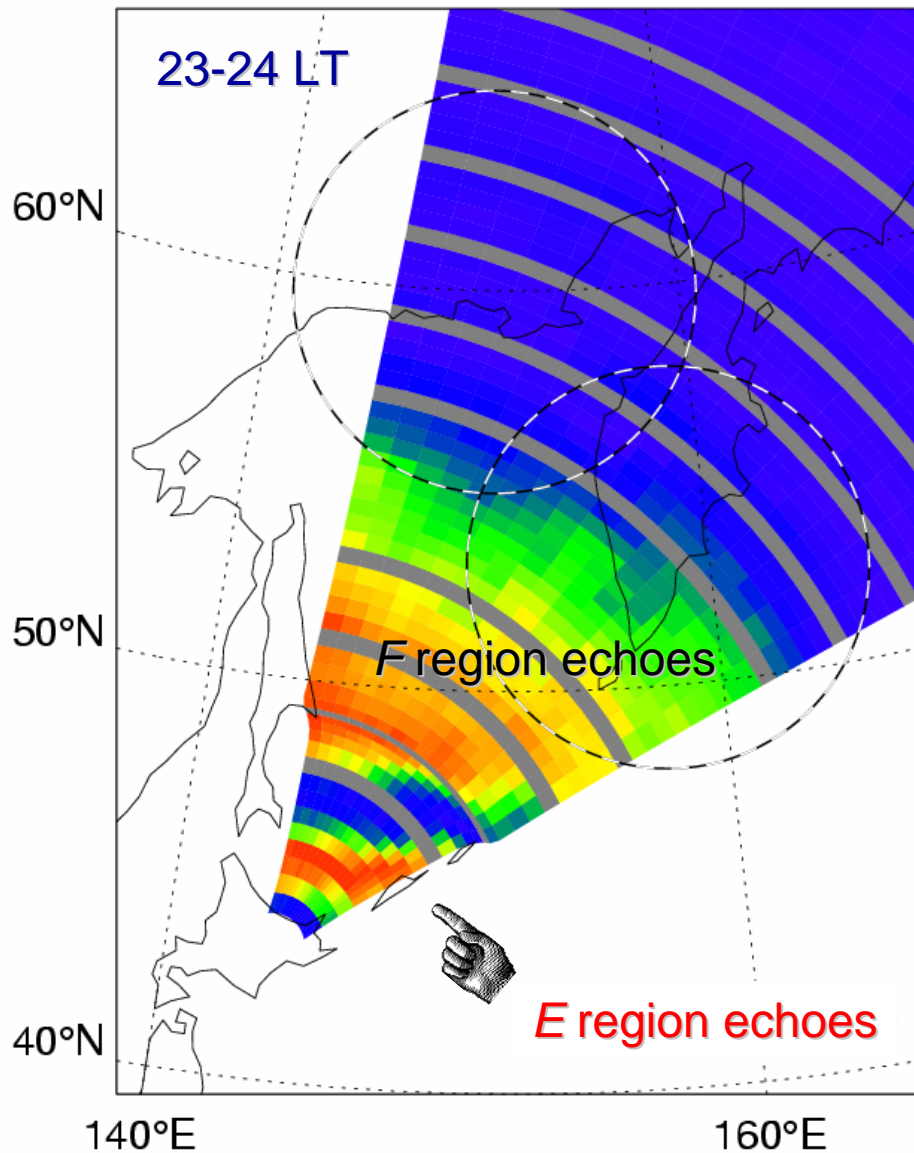
Dec 2006
to
Feb 2007

processed with FitACF version 2.00

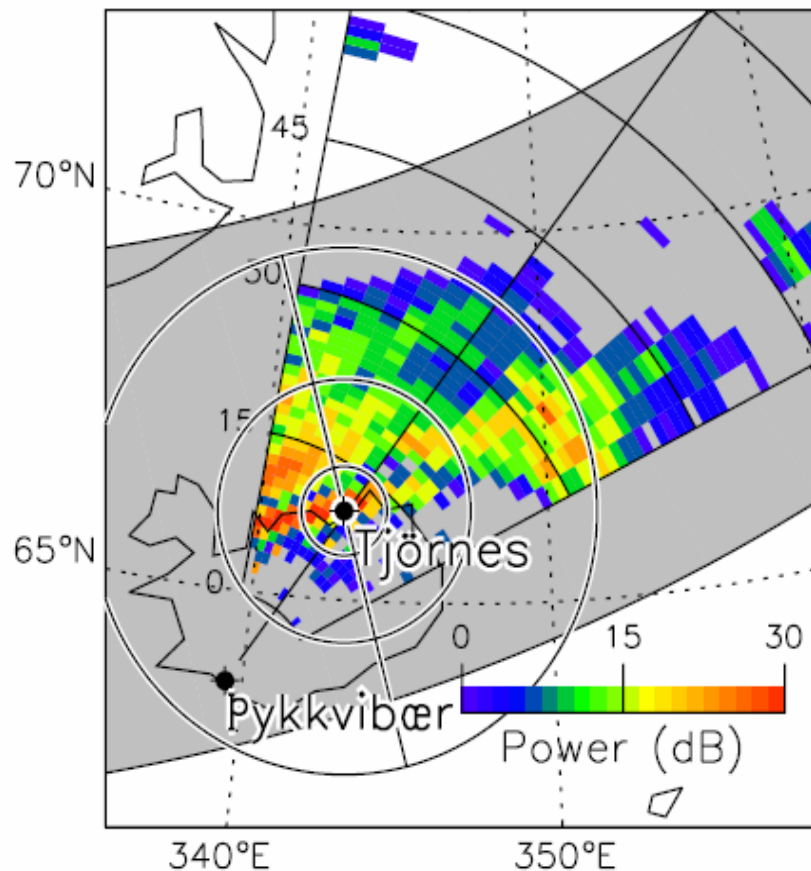


夜間のエコーに注目すると - E region FAIs

14-15 UT



レンジ約 250-500 km の領域で高い頻度で E 領域からの電離圏エコーが得られる。L-shell に沿って現れる性質は、これらのエコーが直交条件を満たした FAIs からの散乱であることを示している。

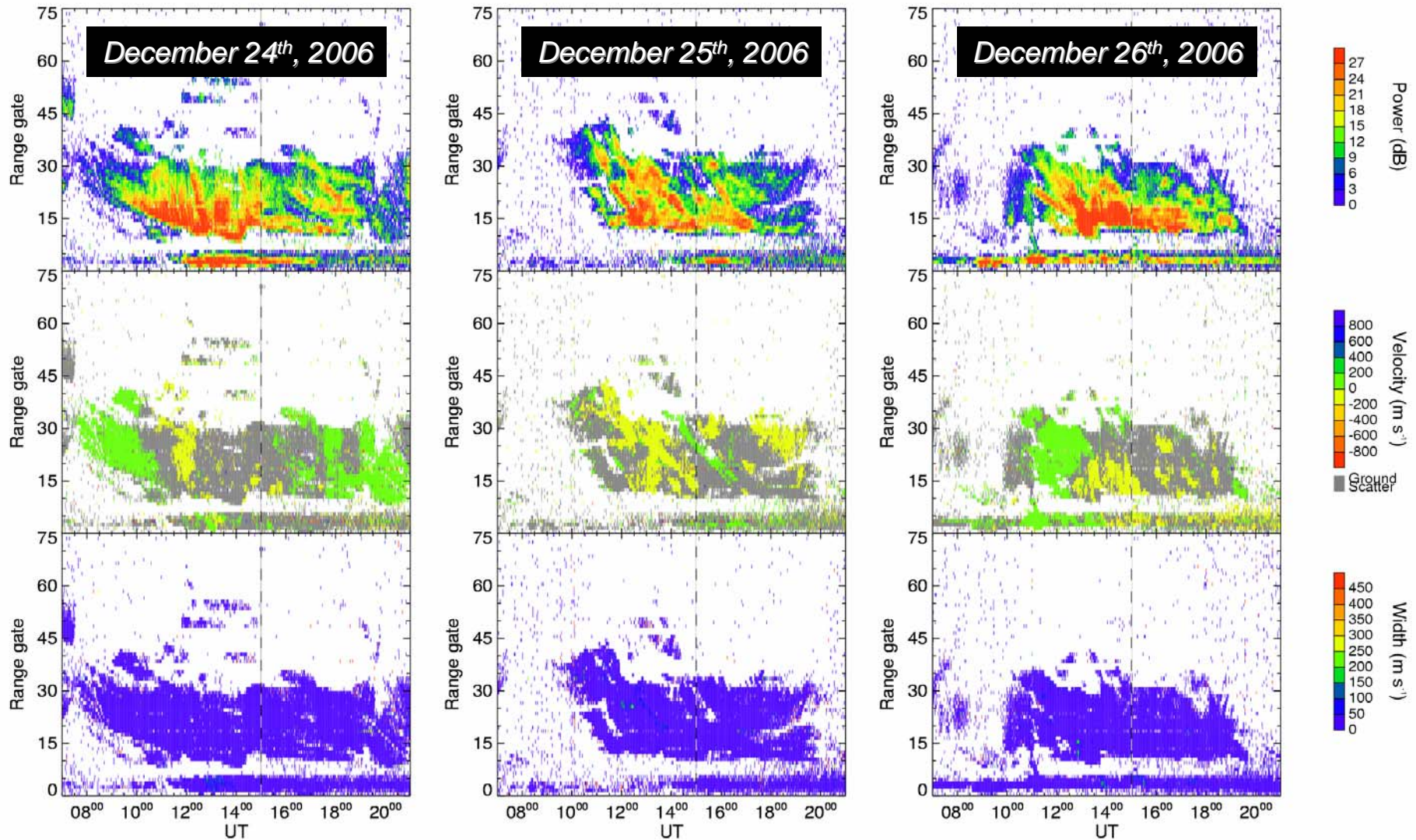


Milan et al., Annales, 2002

夜間のエコーに注目すると - F region FAIs

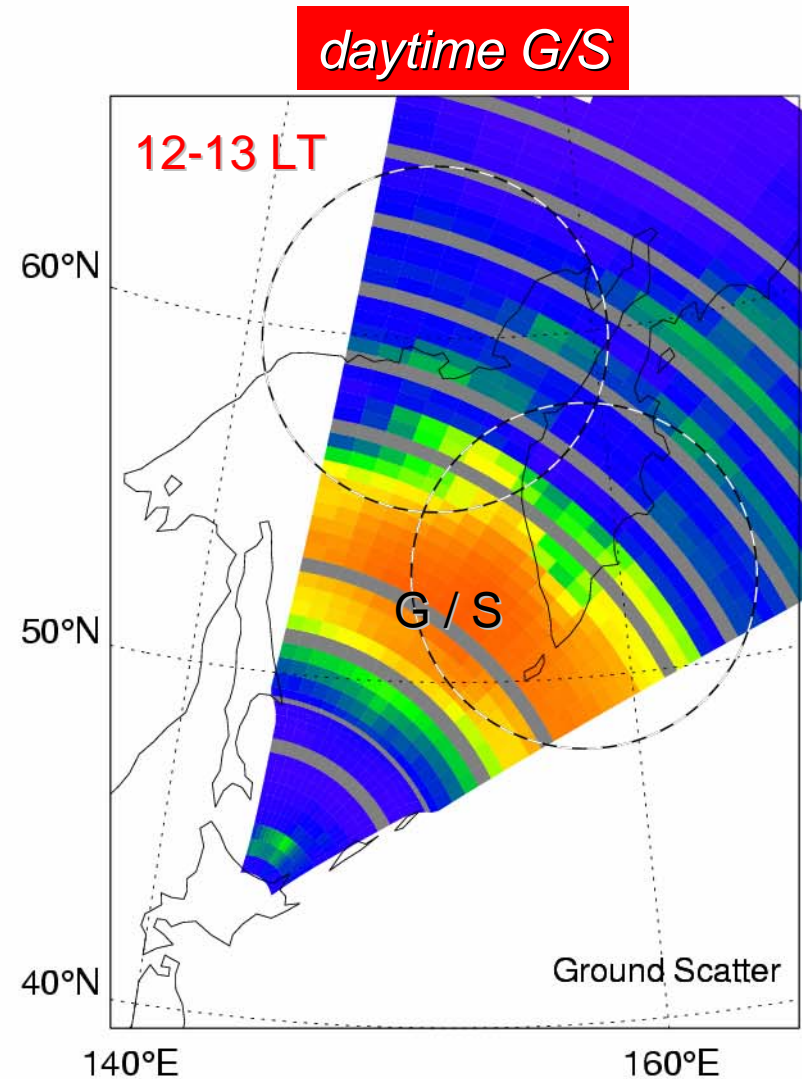
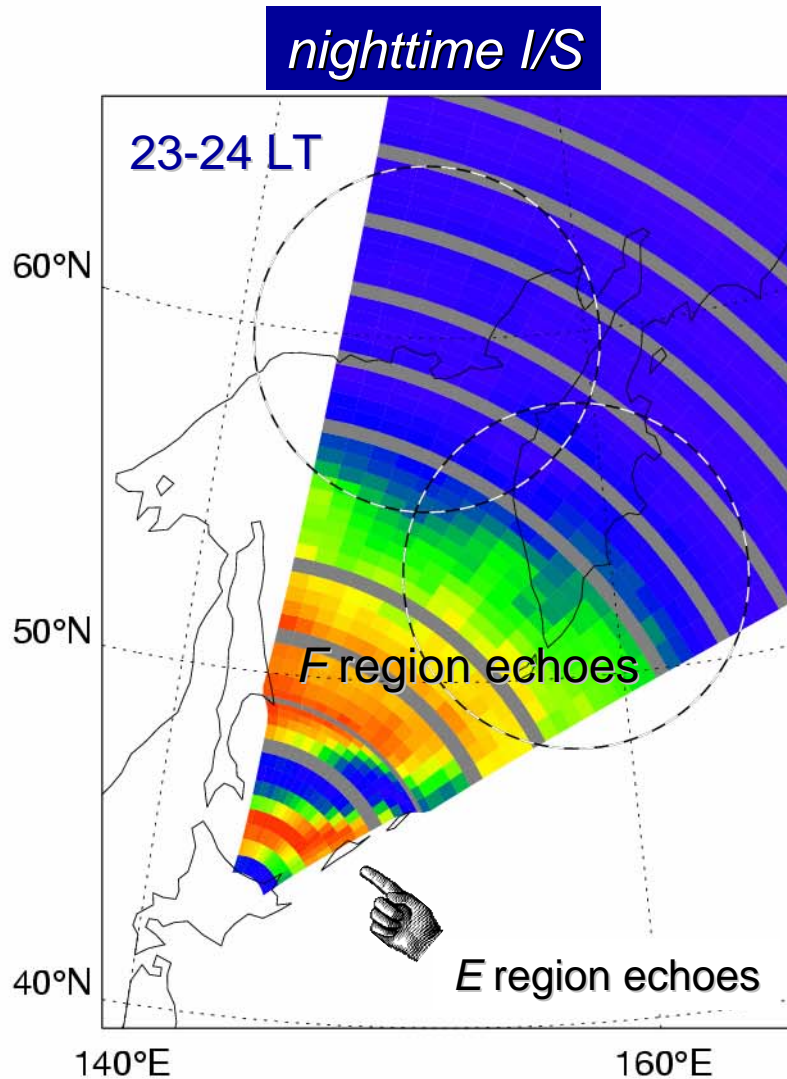
夜間の F 領域電離圏エコーは地上散乱エコーと混じり合って現れる。

電離圏の擾乱に伴って、大きな Doppler shift が印可された地上散乱エコーの可能性？



夜間のエコーに注目すると – F region FAIs

夜間の F 領域エコーもやはり L-shell に沿って現れる → 直交条件を満たしている？
地上散乱エコーではなく, 電離圏 FAIs からの散乱の可能性大.



地上散乱エコーの統計的性質

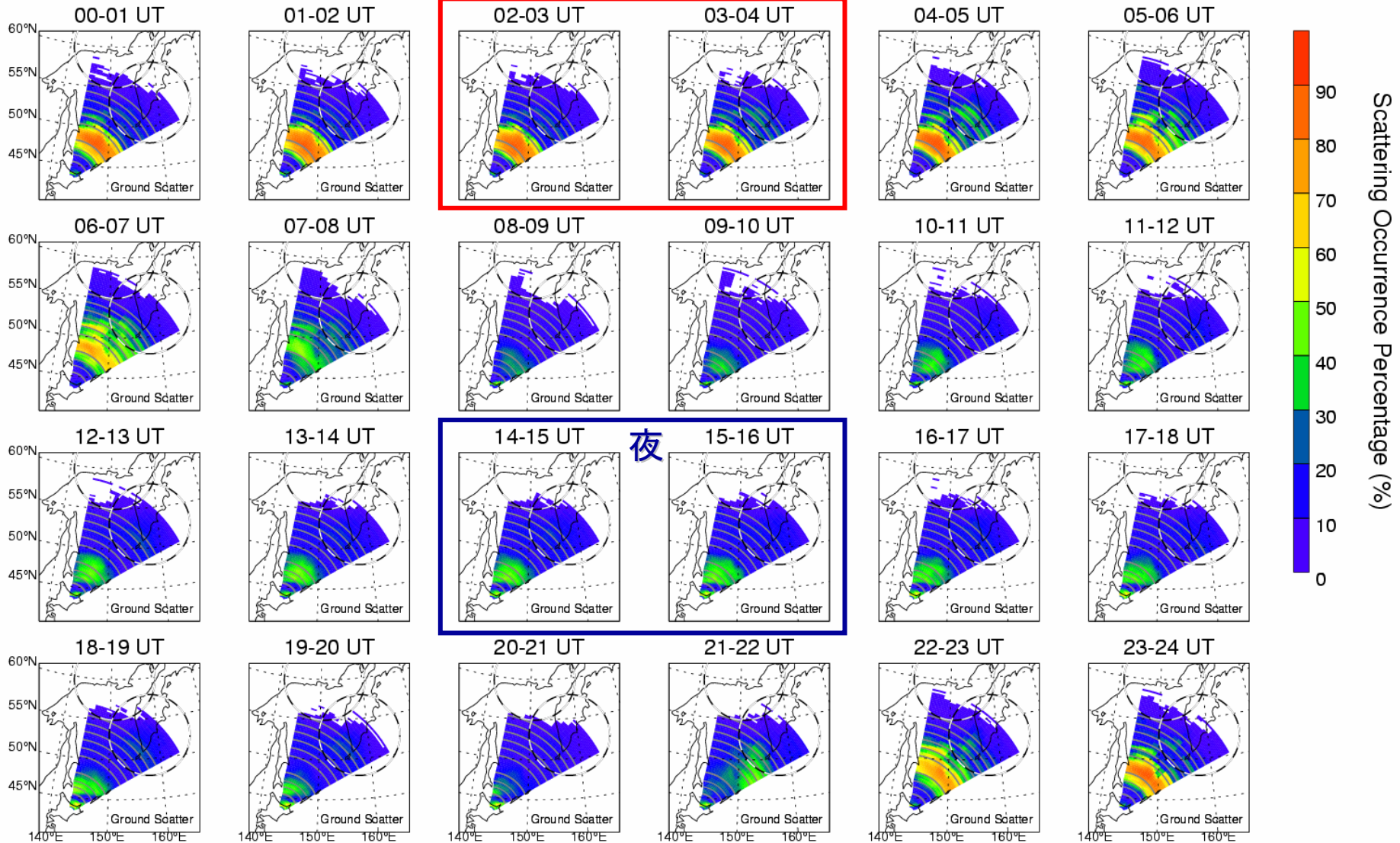
Ground Scatter

Hokkaido Radar Backscatter Statistics

Ground Backscatter (reflection point: reflection height 250 km): 昼

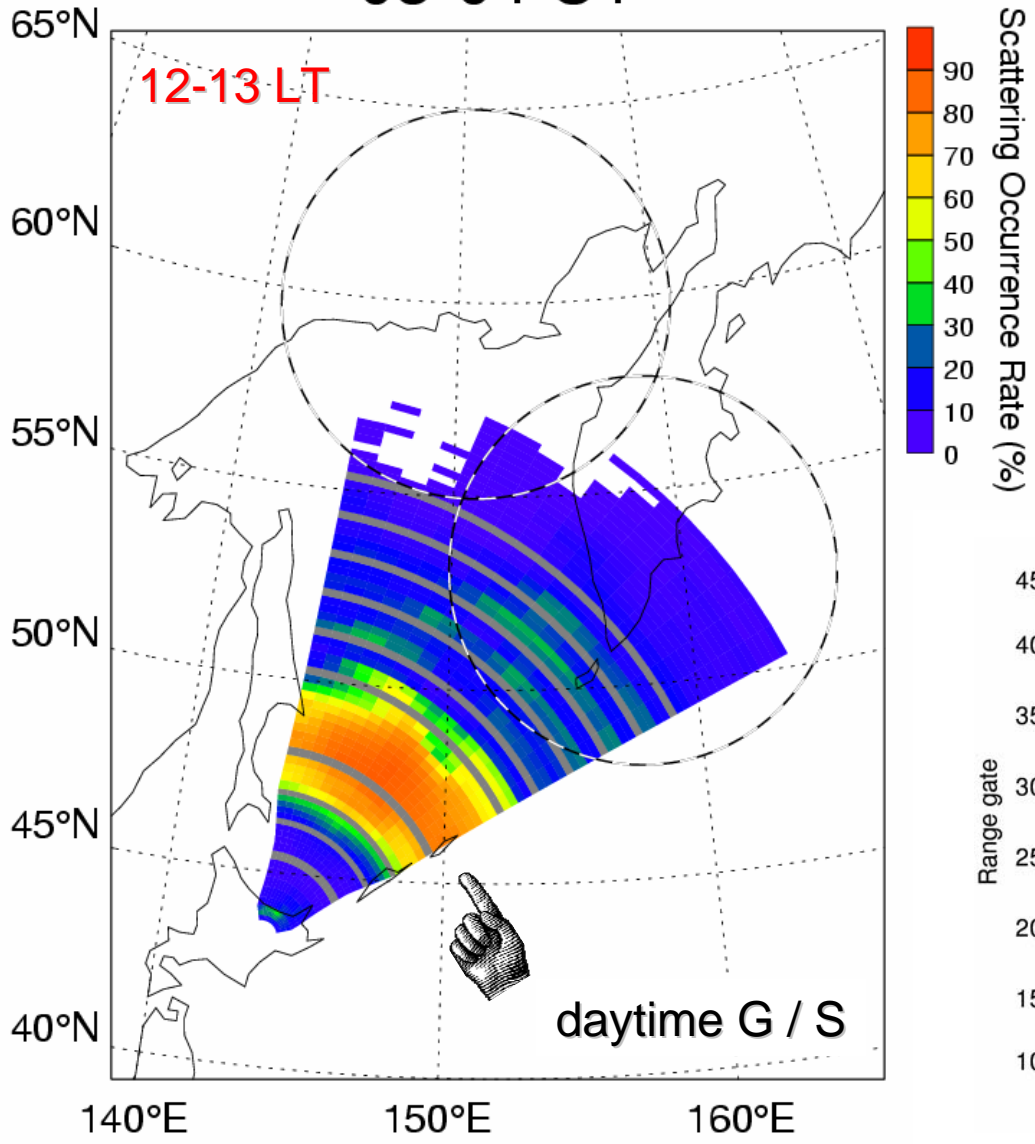
Dec 2006
to
Feb 2007

processed with FitACF version 2.00



昼間の地上散乱エコー – MSTIDs を高い確率で含むエコー領域

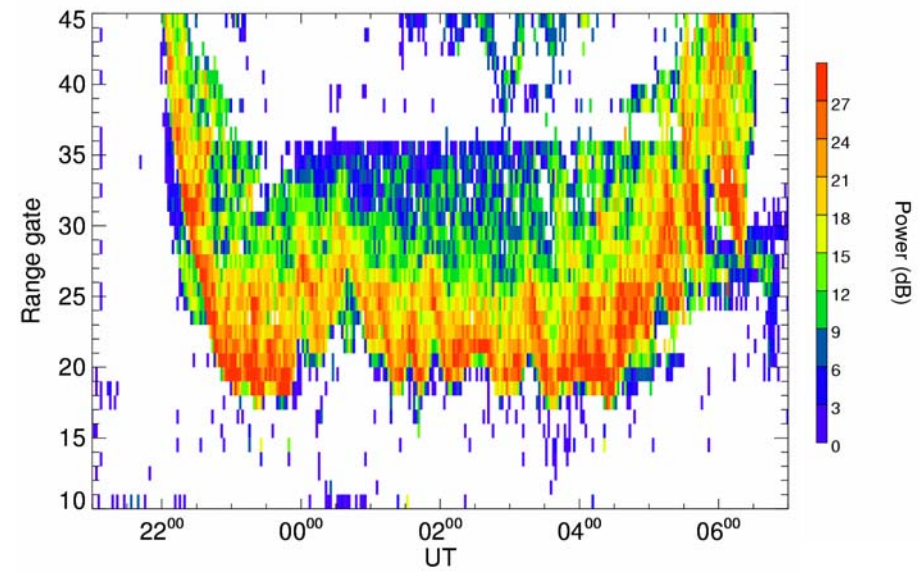
03-04 UT



昼間の地上散乱エコーが得られるのは、**地理緯度 45-50 度の領域** (電離圏における反射点).

このエコー領域では、受信パワーの時系列に、何らかの波状構造が見られる。極域で頻繁に見られる MSTIDs と考えられる。

2006 年 12 月 17-18 日

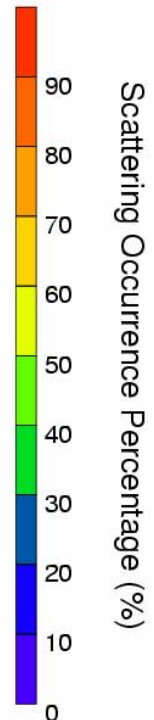
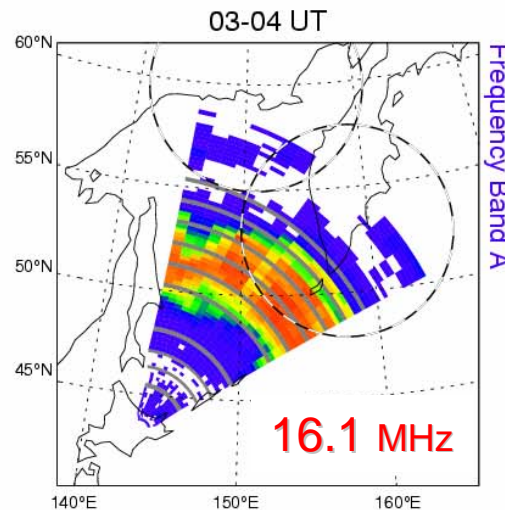
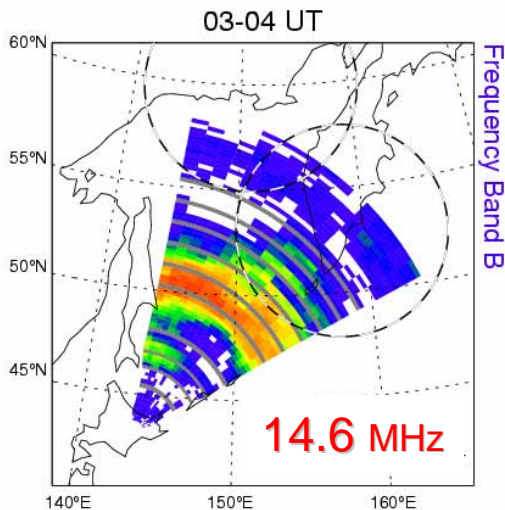
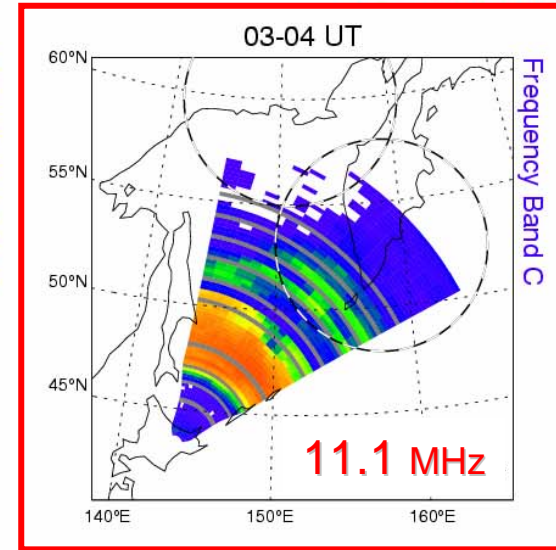
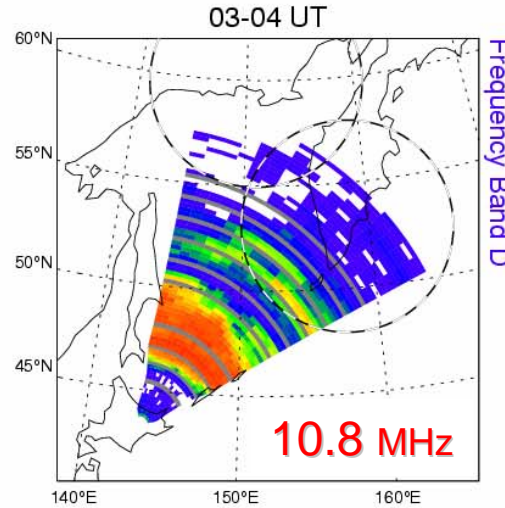
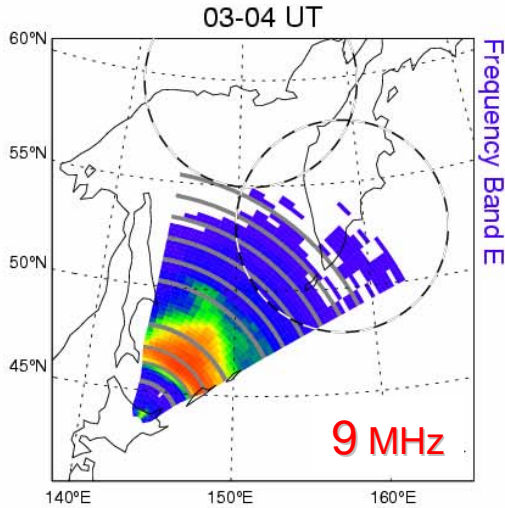


Hokkaido Radar Frequency Survey

Ground Backscatter (reflection point: reflection height 250 km):

Nov 2006
to
20061214

processed with FitACF version 2.00



5 Frequency Bands Available

Frequency Band A: 16.11 MHz

Frequency Band B: 14.64 MHz

Frequency Band C: 11.07 MHz

Frequency Band D: 10.80 MHz

Frequency Band E: 09.11 MHz

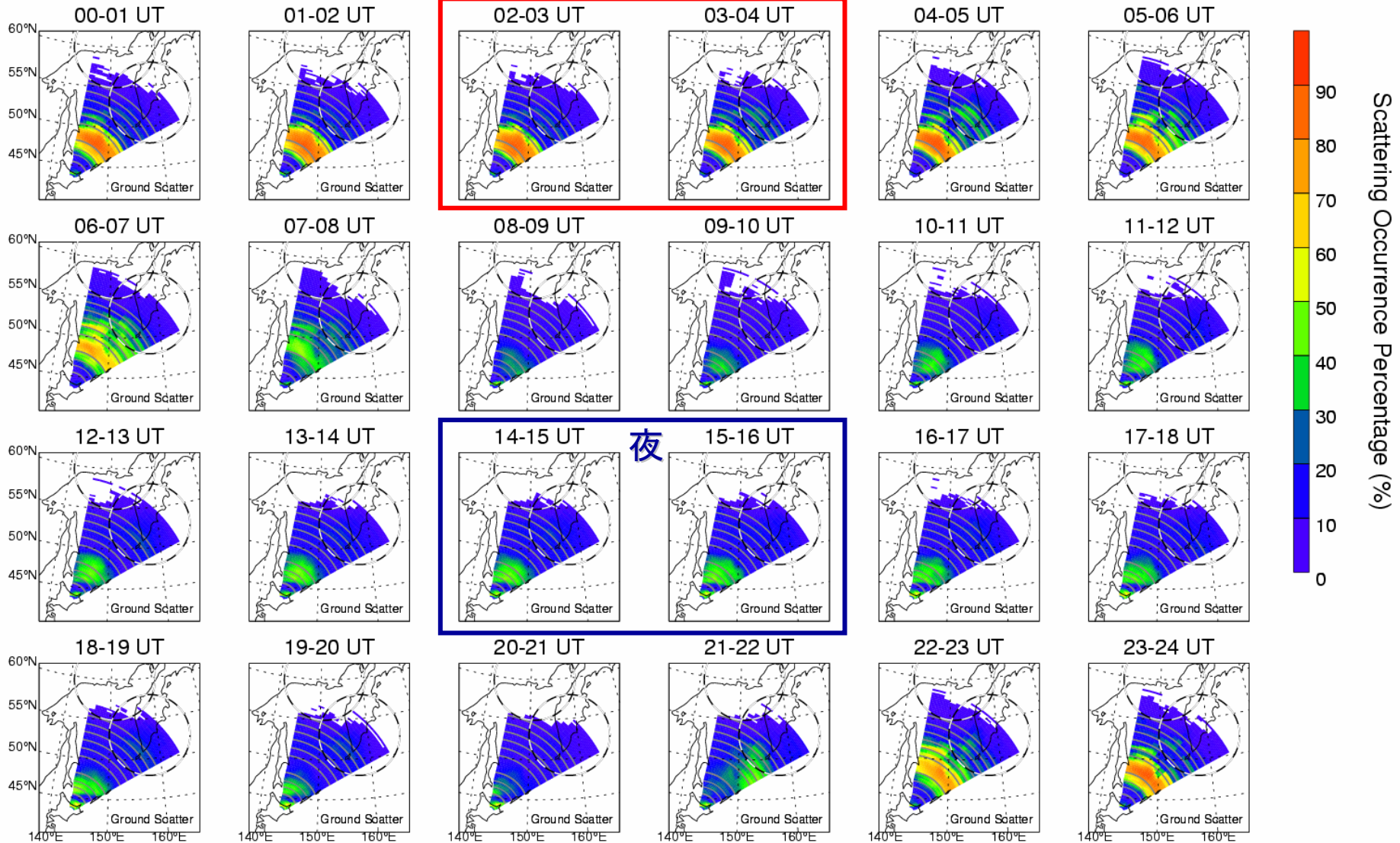
送信周波数高 → 遠くからエコー

Hokkaido Radar Backscatter Statistics

Ground Backscatter (reflection point: reflection height 250 km): 昼

Dec 2006
to
Feb 2007

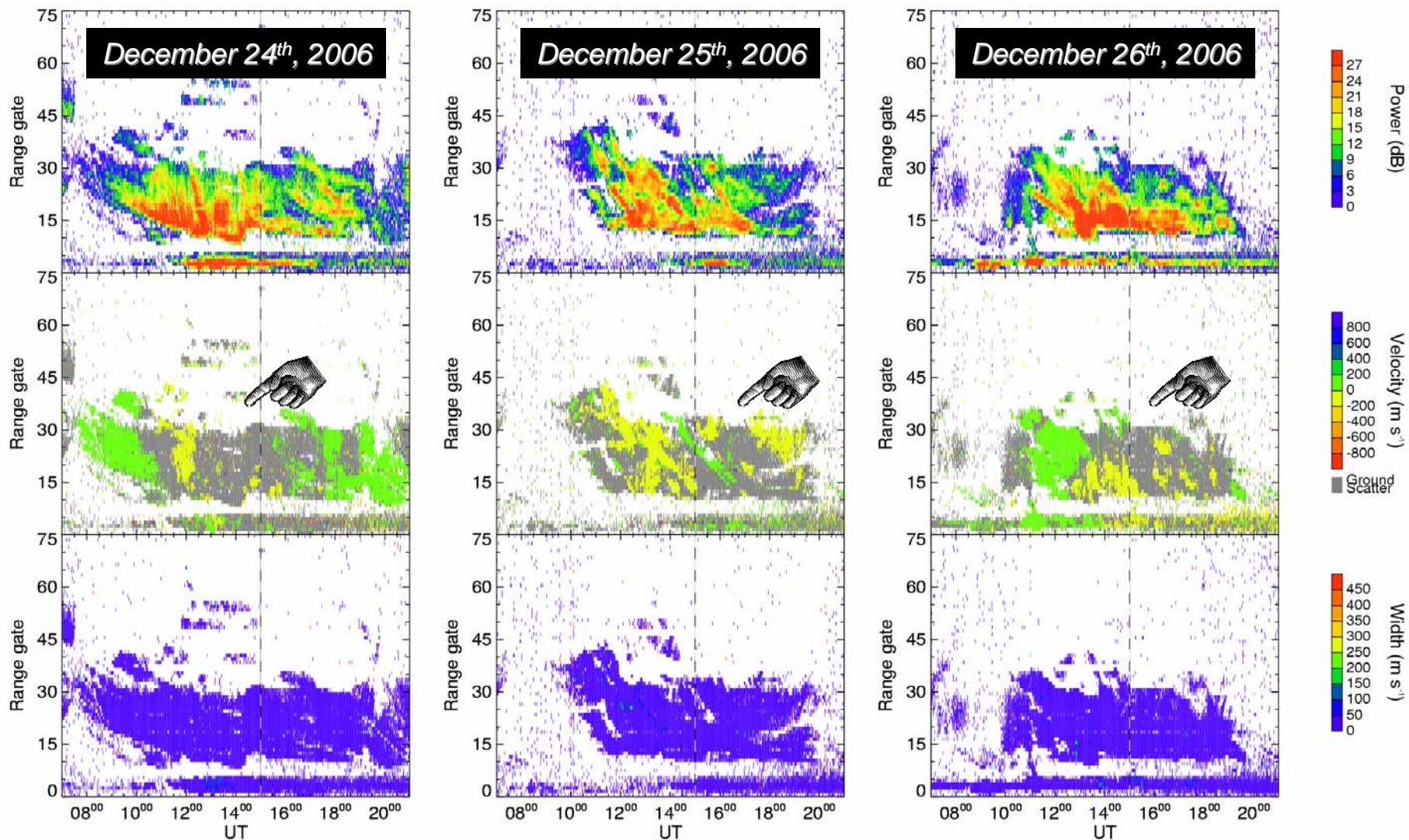
processed with FitACF version 2.00



夜間の地上散乱エコー – 電離圏エコーかもしれない？

夜間の 地上散乱エコーは F 領域電離圏エコーと混じり合って現れる。

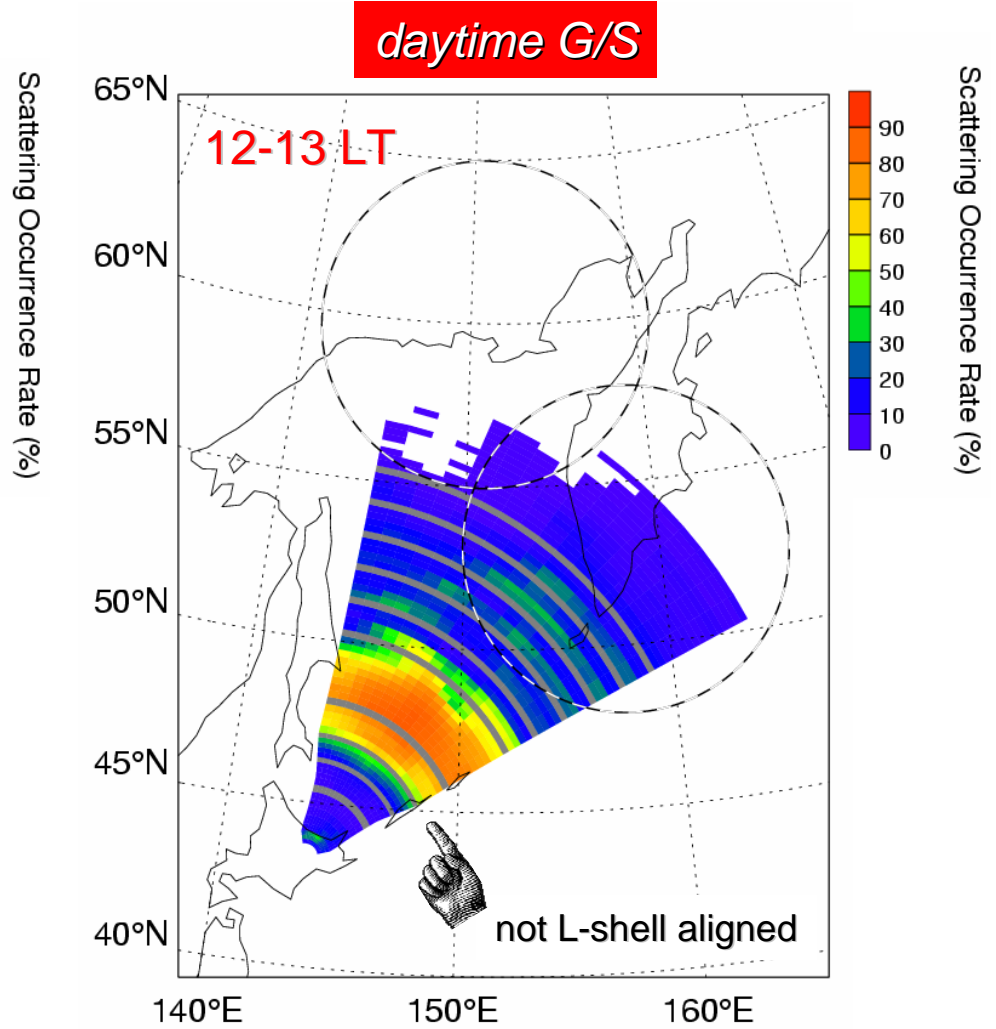
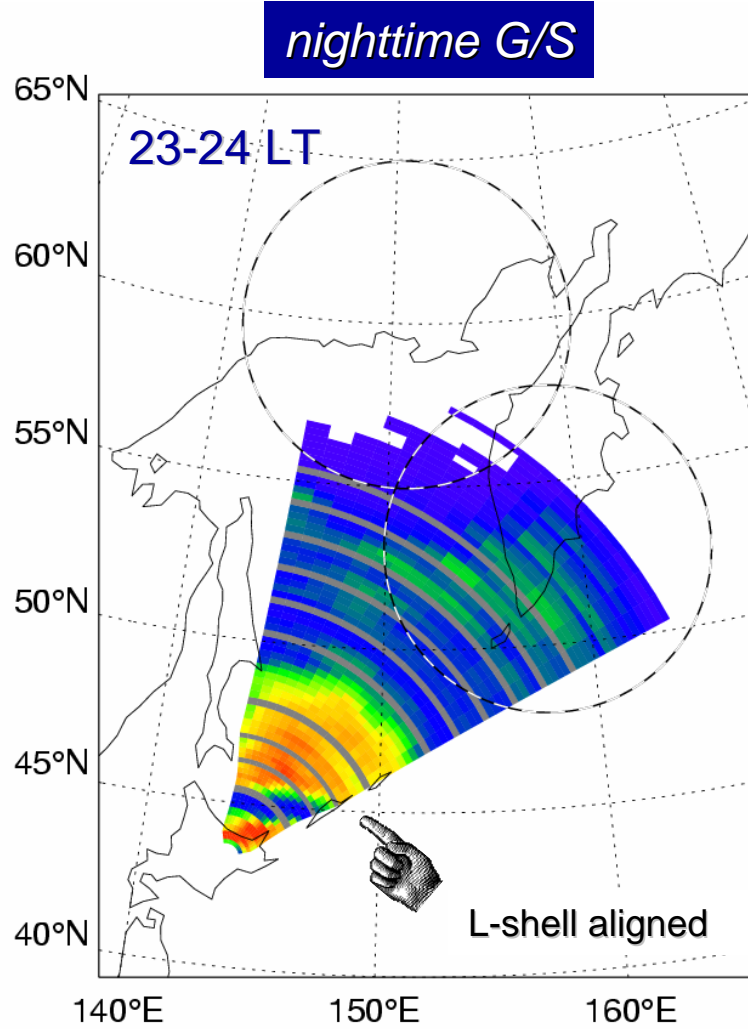
Doppler shift の小さい電離圏エコー（中緯度特有のもの）の可能性？



夜間の地上散乱エコー - 電離圏エコーかもしれない？

夜間の地上散乱エコーは L-shell に沿って現れる性質がある。

直交条件を満たした FAIs からの電離圏エコー(但し Doppler shift は小さい) の可能性？



夜間のエコーの地磁気活動度依存性 – Kp dependence

Hokkaido Radar Echo Kp Dependence

Ionospheric Scatter (upper panels), Ground Scatter (bottom panels)

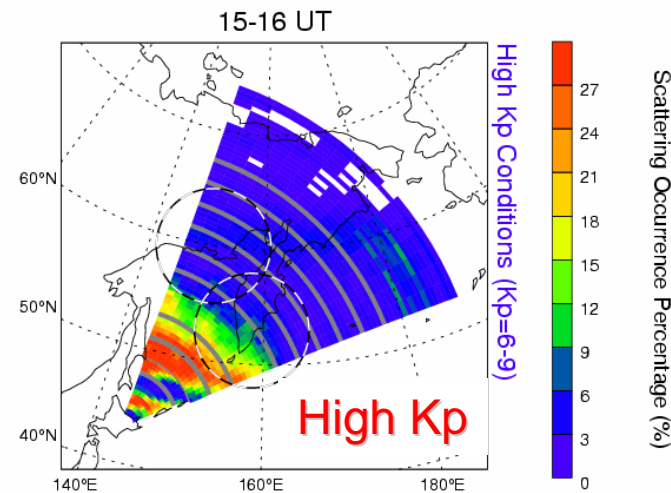
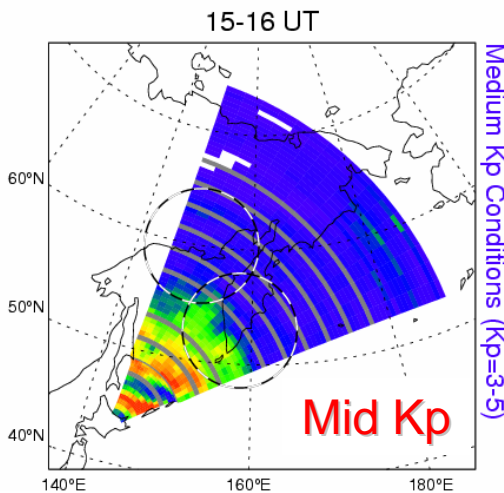
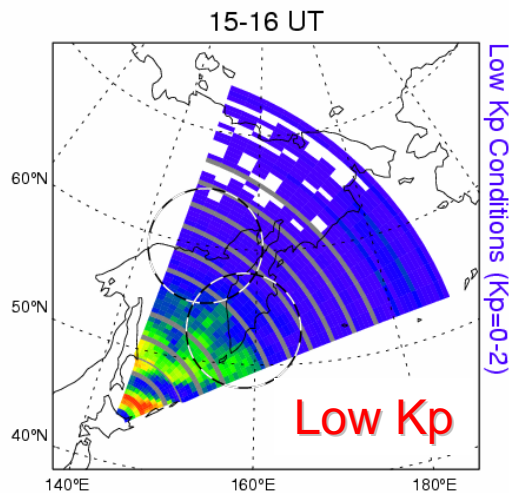
Nov 2006

to

Feb 2007

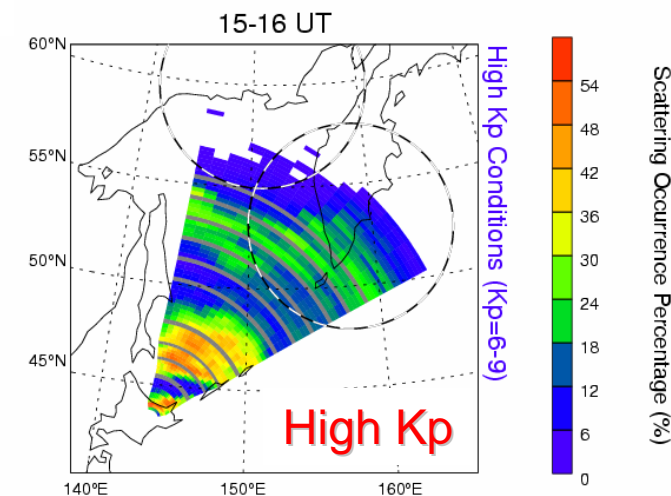
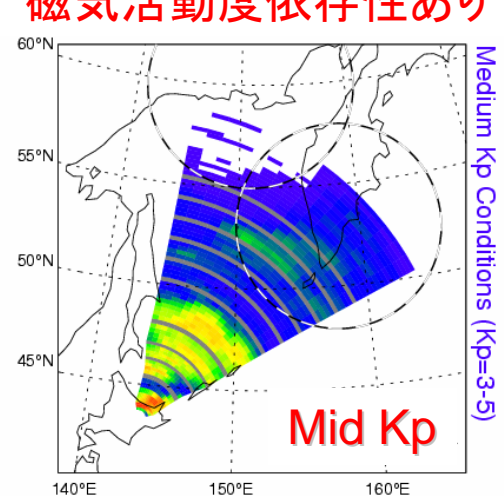
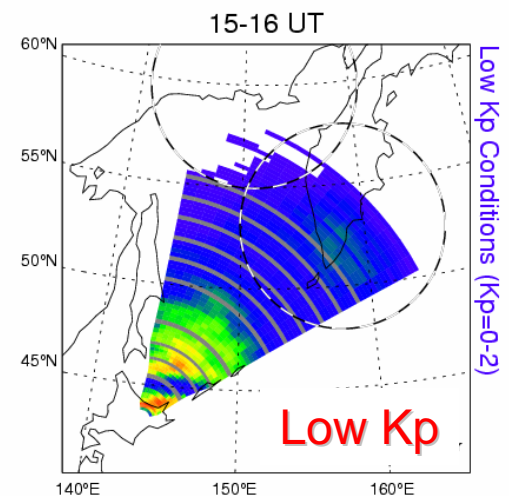
processed with FitACF version 2.00

電離圏エコー



磁気活動度依存性あり

地上散乱エコー

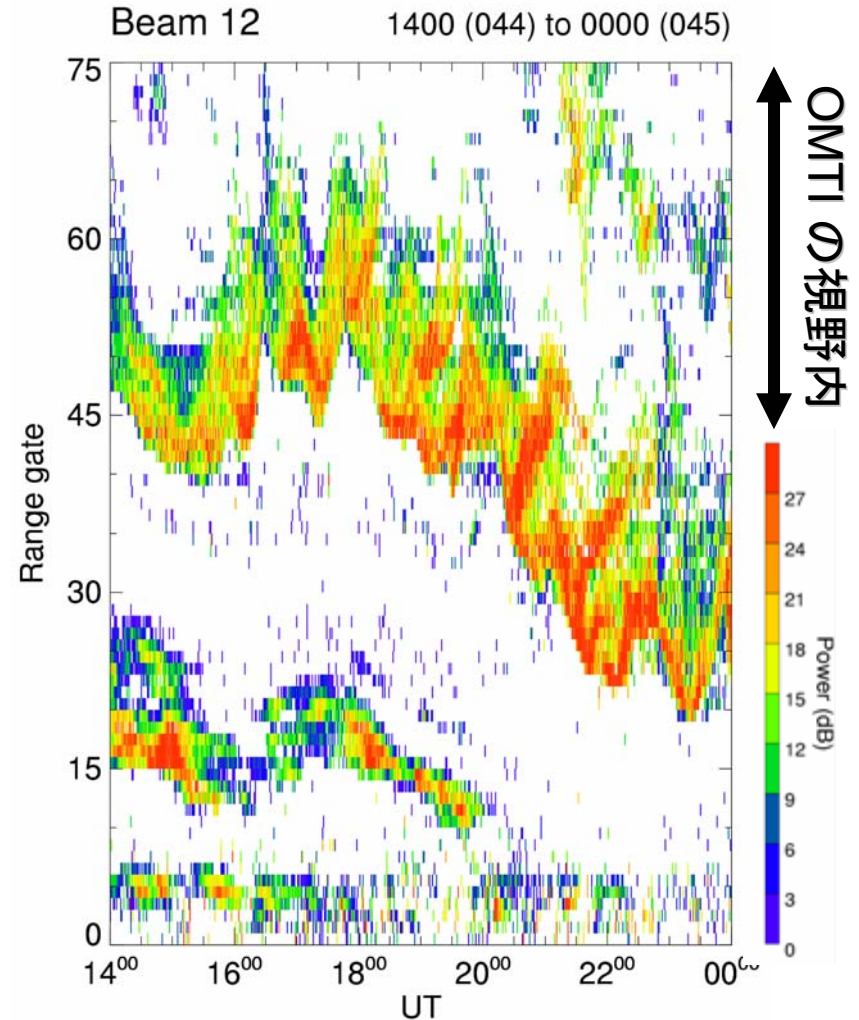
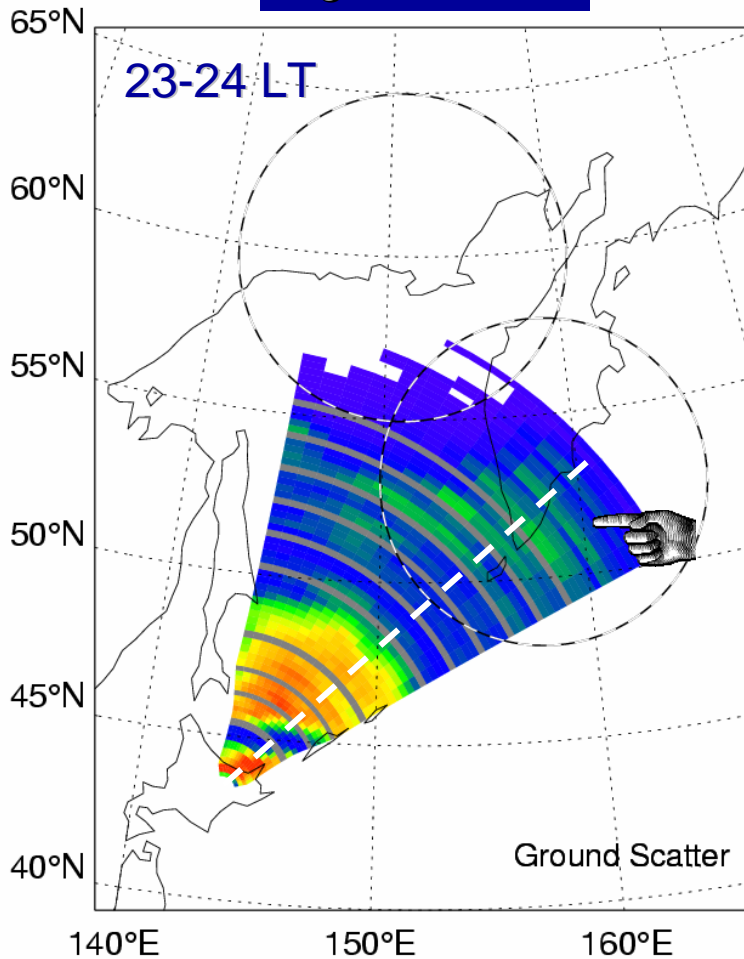


夜間の地上散乱エコー – カムチャツカ沖に見える population

夜間の地上散乱エコーには、もう一つ遠いレンジにエコー集団がある。

カムチャツカ沖, OMTI @ PTK の視野の真ん中あたり. 夜の TID の同時観測は可能.

nighttime G/S



!!!! 以下の結果は磁気嵐時や夏期については参考になりません !!!!

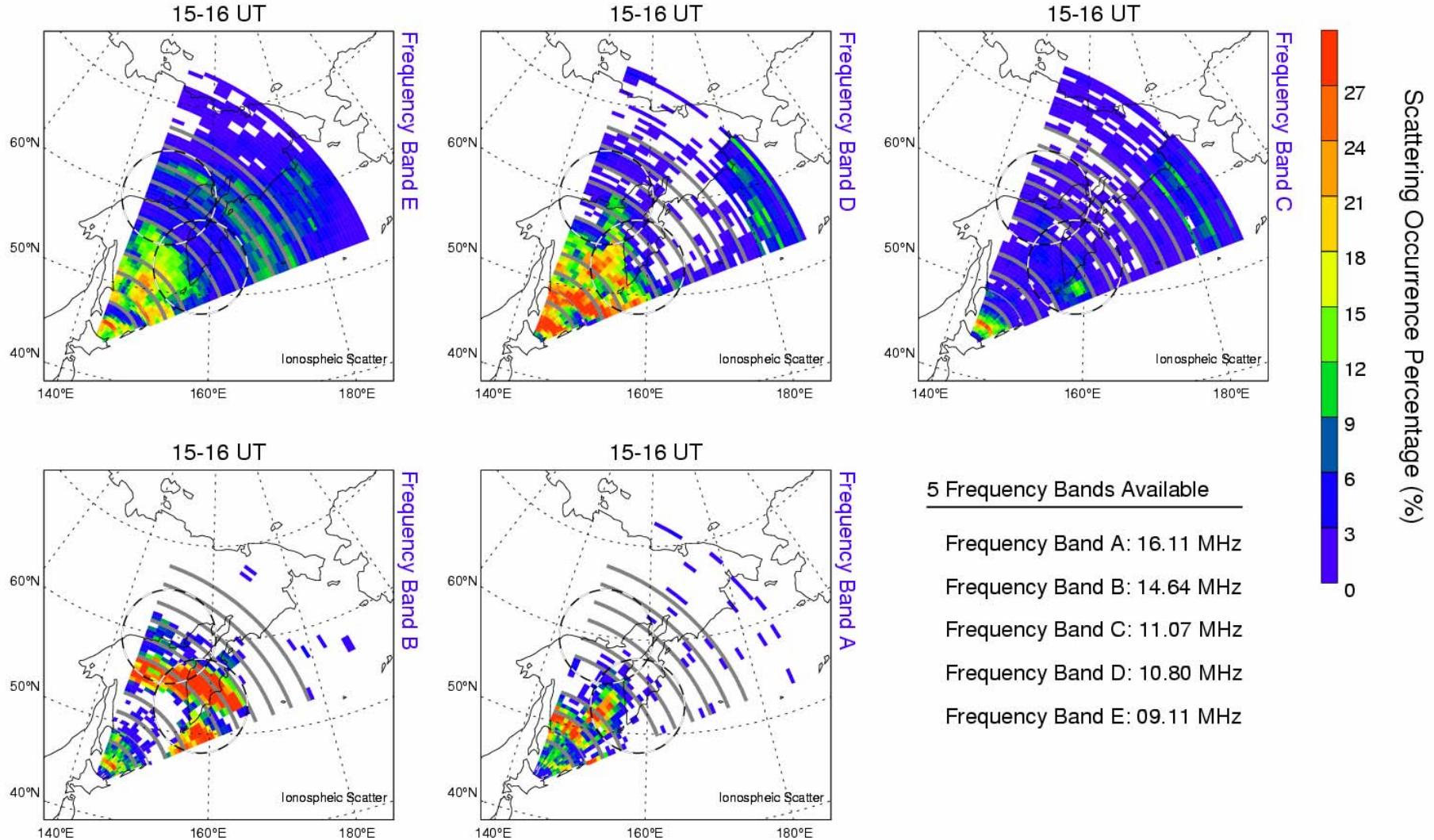
- ★ 昼間には、電離圏エコーは基本的にない。現在使われている生データ処理系で現れる多量のノジジーなエコーに物理的な意味はないと思われる。
- ★ 昼間は地上散乱エコーが大量に得られる（基本的に毎日）
 - 冬期には MSTID が高い頻度で含まれる。高緯度で見られるものと酷似。
 - 得られる場所は周波数によって変わるが、11 MHz ならば地理緯度 45-50度。
- ★ 夜間に得られる電離圏エコーは比較的大きいドップラー速度を持つ $\sim 100 \text{ m s}^{-1}$.
 - 得られる場所は地理緯度 48-56 度, 磁気緯度 40-50 度あたり。
 - 比較的クリアな Kp 依存性を持つ。
 - 生成に寄与するプラズマ不安定は何か？ ドップラー速度の意味は？ 共回転電場？
 - OMTI との同時観測が可能であり, 必要である。
- ★ 夜間の地上散乱エコーは、電離圏エコーと混じり合っって現れる（ほぼ必ず）。
 - ビーム方向によって跳躍距離 (skip distance) が変わる → 直交条件？
 - 夜間の電離圏エコーと同様の Kp 依存性を持つ。
 - 電離圏エコーの可能性？ 地上散乱エコーと電離圏エコーのミックスの可能性？
 - 生データ (ACF, spectrum) を見て確認する必要がある。
 - OMTI との同時観測が可能なピュアな地上散乱エコーもありそう。
- ★ さらに周波数のテストが必要。

夜間の電離圏エコーの周波数依存性

Hokkaido Radar Frequency Survey Ionospheric Scatter (projection height 400 km)

Nov 2006
to
20061214

processed with FitACF version 2.00



昼間のエコーの地磁気活動度依存性 - K_p dependence

Hokkaido Radar Echo K_p Dependence

Ionospheric Scatter (upper panels), Ground Scatter (bottom panels)

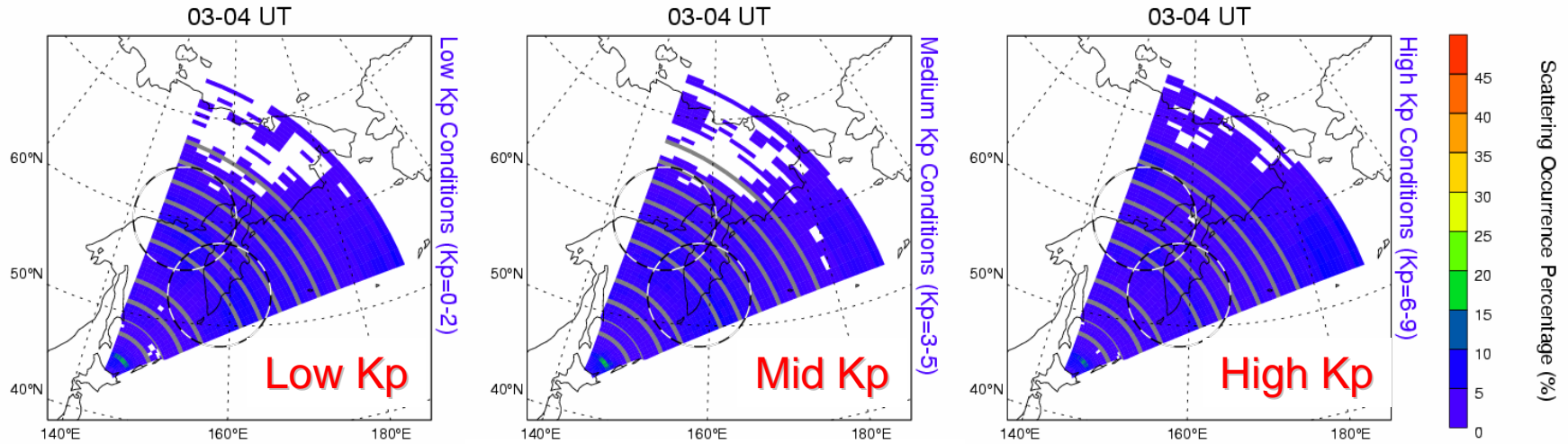
Nov 2006

to

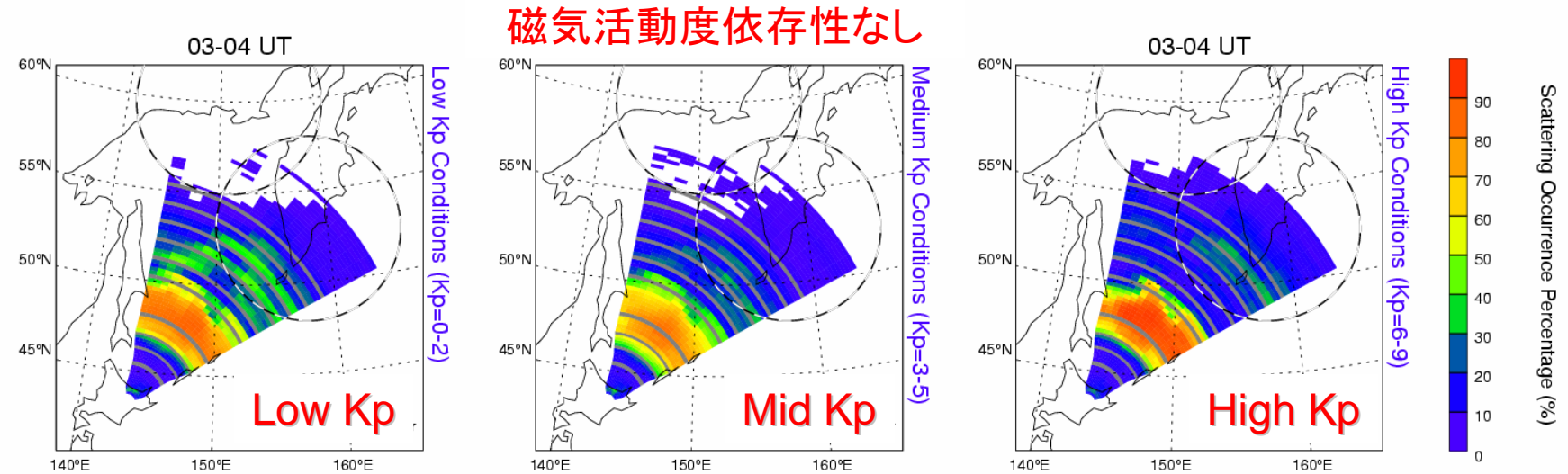
Feb 2007

processed with FitACF version 2.00

電離圏エコー

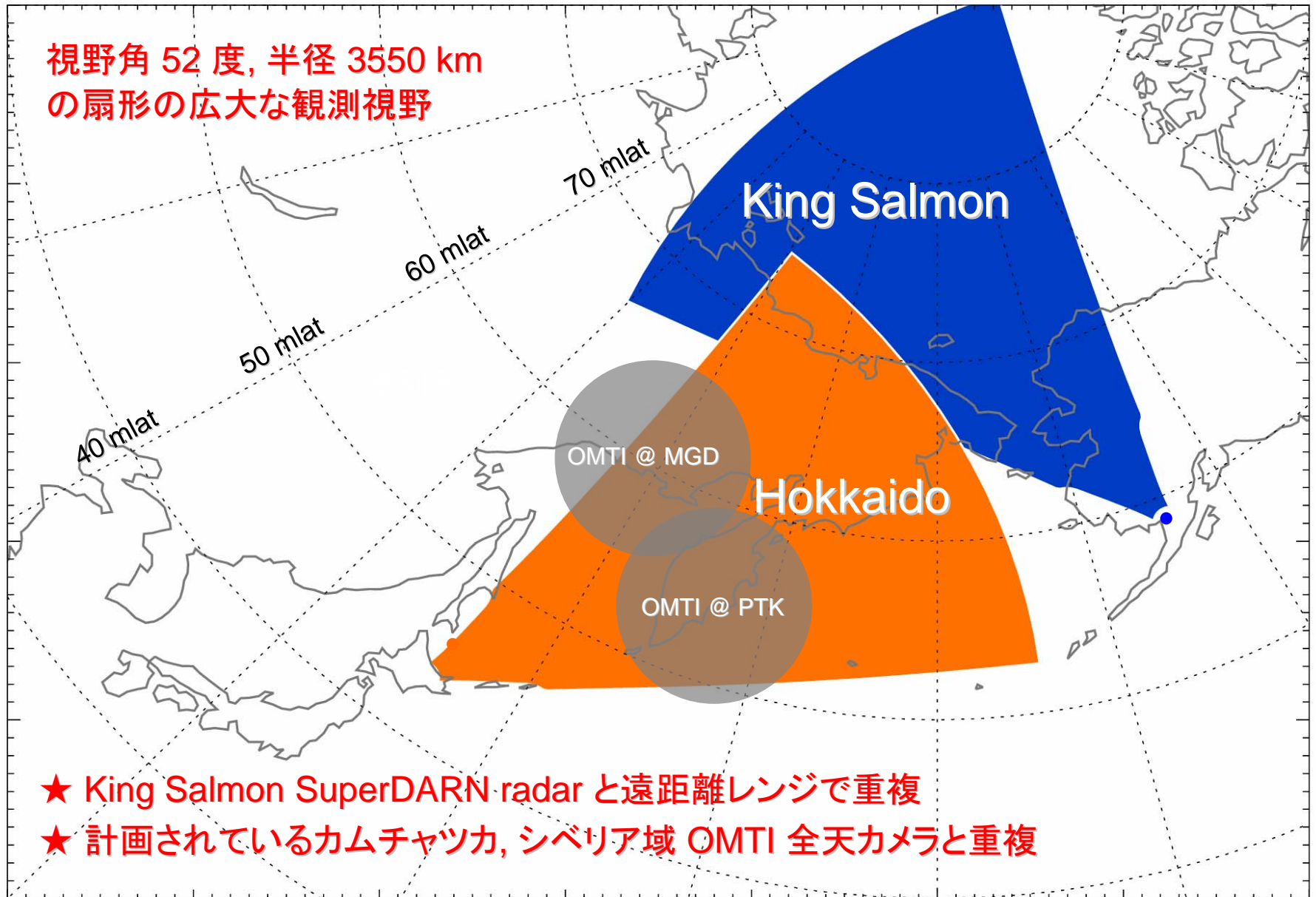


地上散乱エコー



観測視野

視野角 52 度, 半径 3550 km
の扇形の広大な観測視野



- ★ King Salmon SuperDARN radar と遠距離レンジで重複
- ★ 計画されているカムチャツカ, シベリア域 OMTI 全天カメラと重複