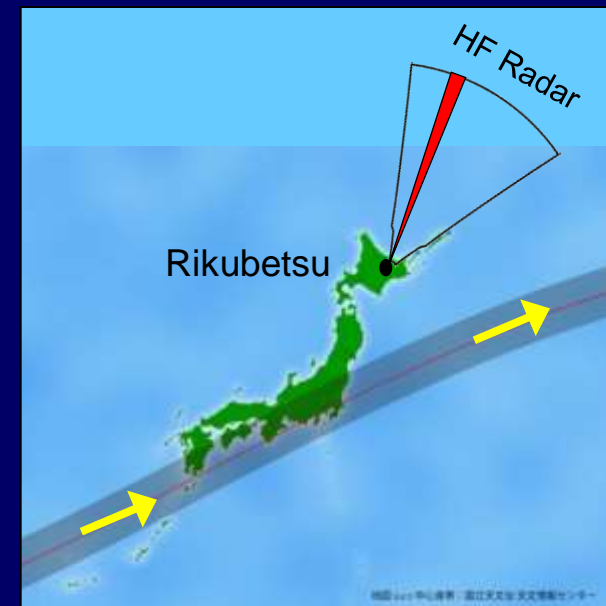


2012年5月21日の金環食時に北海道-陸別 HF レーダーで観測された短周期電離圏波動

小川 忠彦(NICT)、西谷 望(名大STE研)、津川 卓也(NICT)
寺本 万里子(名大STE研)

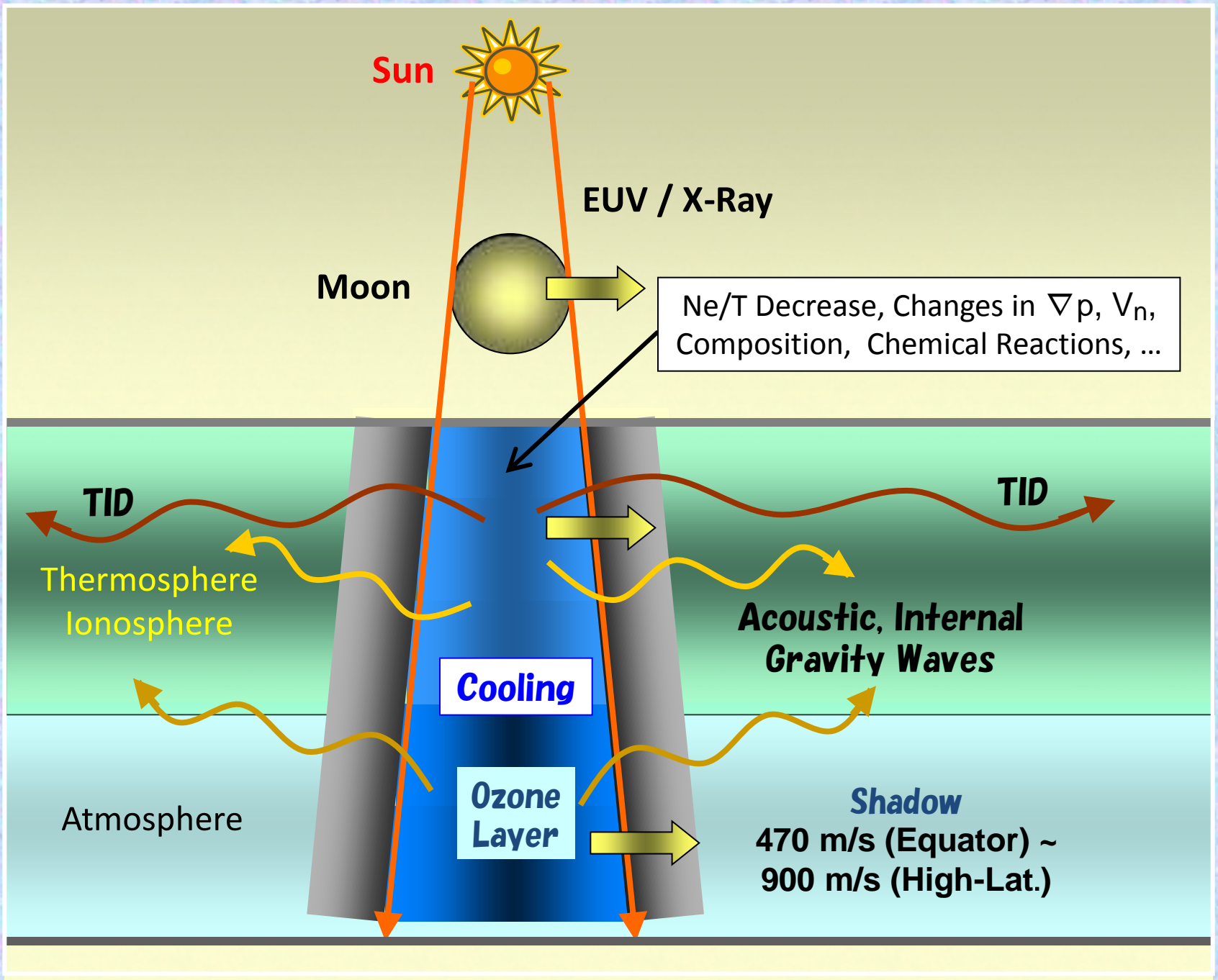
- 地磁気静穏日の朝に金環食域が西日本と関東域を通過
- マルチビーム HF レーダーと GPS ネットワークにより、日食時の2次元面内の電離圏波動伝搬を初同時観測
- 食開始前からレーダーの特定ビームにおいて、時間分解能 8 秒、距離分解能 15 km (実質的には 7.5 km) の特別観測を行い、詳細なデータを取得
- 金環食域がレーダー視野の南西に存在した時間帯で、約 6 分の周期で北向き伝搬する波動を検出。この波動は日食起源であると判断できる。他に、周期 2 - 3 分と 3 - 4 分の波動もあり、これも日食起源か？
- GPS-TEC にも周期 3 - 5 分の変動あり



日食に伴う電離圏波動の観測的同定の困難さ

- 日食(皆既食、金環食、部分食)により大気中の何処か(地表付近、オゾン層、熱圏)で励起された音波や内部重力波などの波動が電離圏を 1) 乱した、2) 乱した可能性が高い、3) 乱さなかった、などの諸観測結果が過去にある。特に、磁気嵐中に食があった場合はデータの解釈に要注意(このような例は過去に複数回あり)。
- 半影部を含む日食域が波動を励起しながら超音速で移動するため、観測された波動の励起時刻・高度・場所が不明など、波動の確実な同定は困難。伝搬方向や周期が異なる各種波動の破壊的干渉(destructive interference)が起こる可能性もある。
- 過去の日食時の電離圏観測(アイオノゾンデ、HF ドップラー、TEC など)では観測点が少なく、広域の同時データが少ないため、日食波動(例えば、伝搬方向)の確実な同定は困難。また、極域起源の波動が混在した可能性もあった。
- 日食時に観測される波動と同種のものが非日食時にも頻繁に観測される場合、日食起源の波動とは断定できない。
- 同様の日食が同じ時間帯と地理的位置で再度起こる可能性は殆どゼロであり、観測されたとされる日食起源の波動の再現は期待できない。

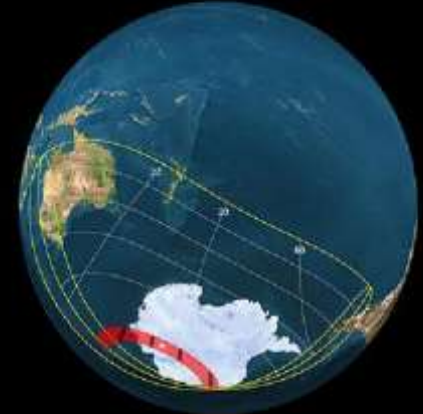
しかし、食の発生時間帯と地域は事前に判明しており、周到な観測計画を立てれば、食起源の波動を捉えることは可能。万全ではないが、特別観測例は過去にある。



南極皆既日食
23 Nov 2003

TIGER Tasmania

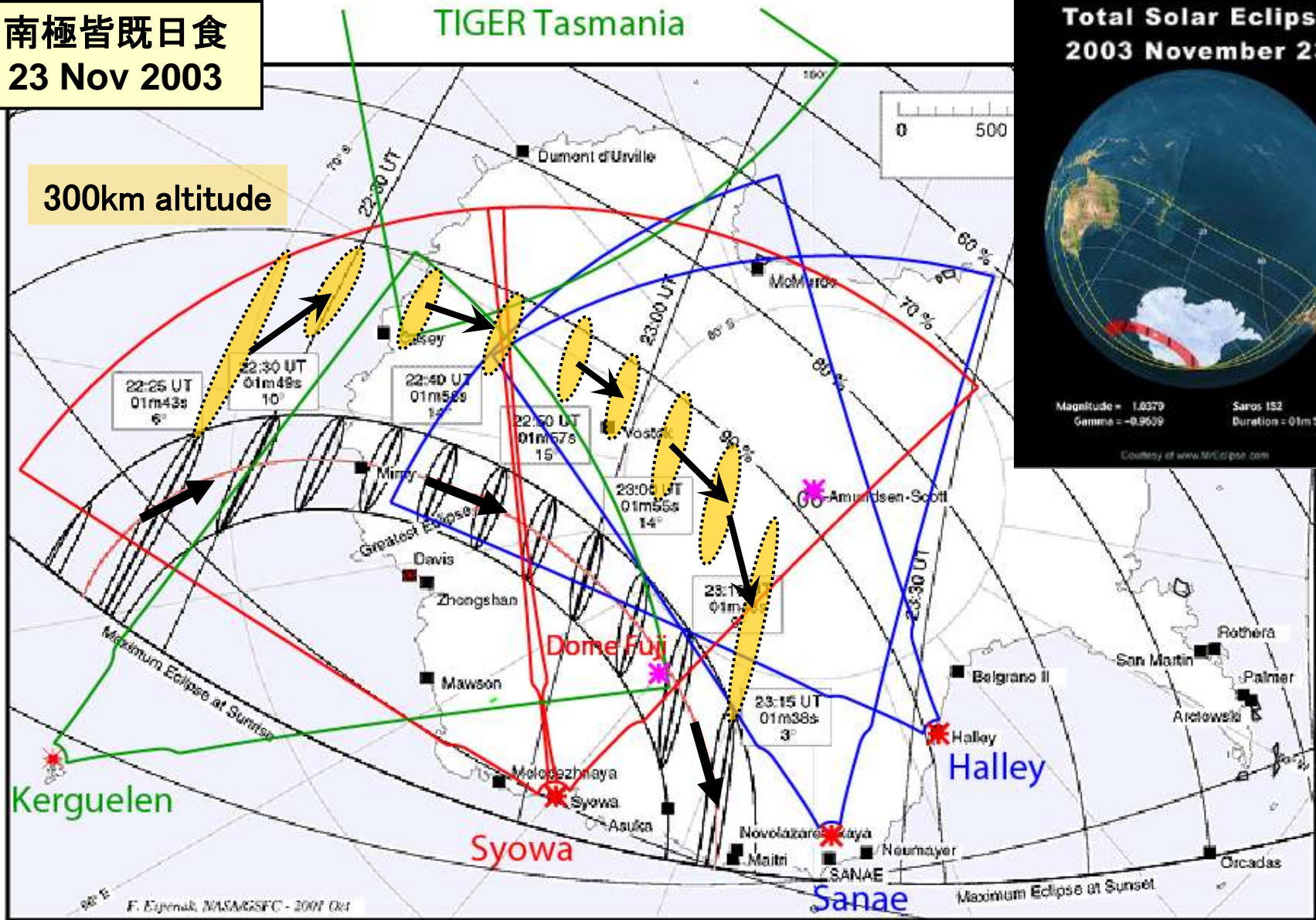
Total Solar Eclipse
2003 November 23



Magnitude = 1.0379
Gamma = -0.9639
Saros 152
Duration = 01m 57s

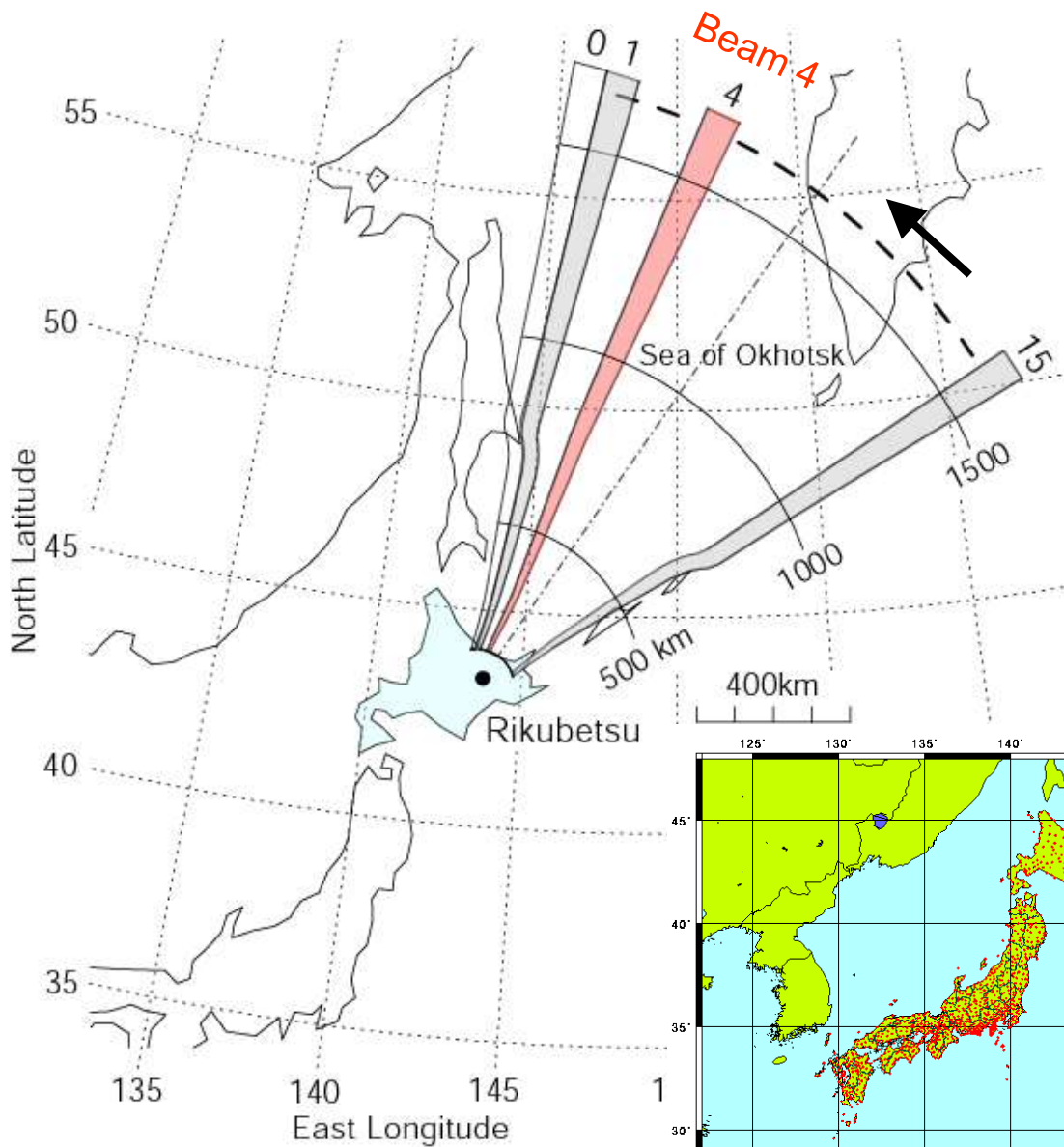
Courtesy of www.TSOclipse.com

300km altitude



Time Res. = 1 min
Range Res. = 45 km

MSTID らしき擾乱は観測されが、日食起源の擾乱は同定不可
→ サブストーム中であつたこと、時間・距離分解能が不十分？

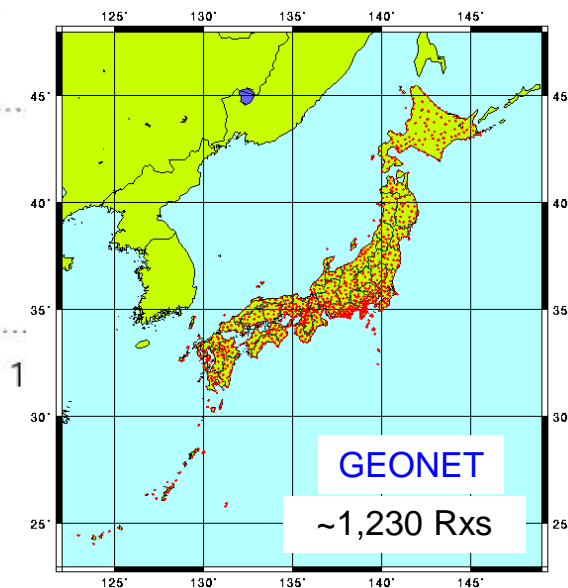


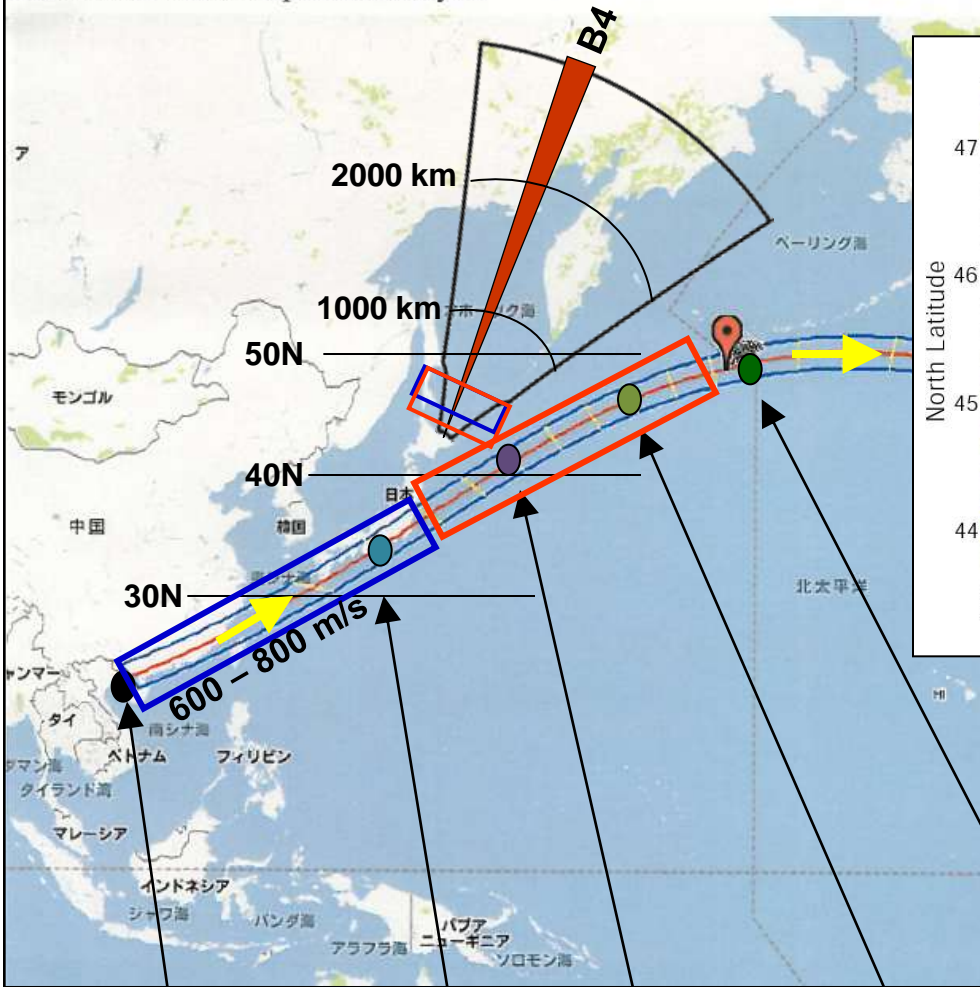
(43.5°N, 143.6°E)

Eclipse-scan

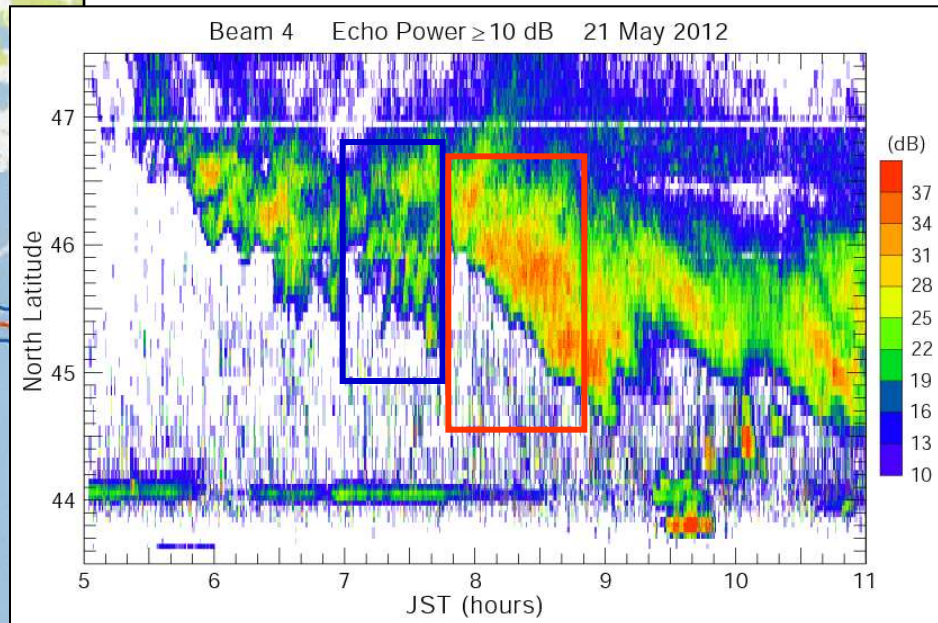
- 5/21 0300:00 JST から 1500 JST まで
- 距離分解能: 15 km
- ビーム掃引順
15 - 4 - 14 - 4 - 13 - 4 -
.... - 3 - 4 - 2 - 4 - 1 - 4
(Beam 0 は除外)
- 1 ビームで4秒積分、1掃引で120秒
- Beam 4 のみ 8 秒サンプル
- 他の beam は2分サンプル

GEONET : GNSS Earth Observation Network (since 2012.4)





Beam 4, Eclipse-scan: 8 s, 15 km



- ・日食パスがレーダー視野の南を通過
- ・0800 JST 頃に視野に再接近 (~500 km)。前者に比べて細かい変動あり

Start	Max	End
0722	0900	1039 JST

Start	Max	End
0611	0708	0813 JST

Start	Max	End
0657	0830	1012 JST

Start	Max	End
0616	0730	0856 JST

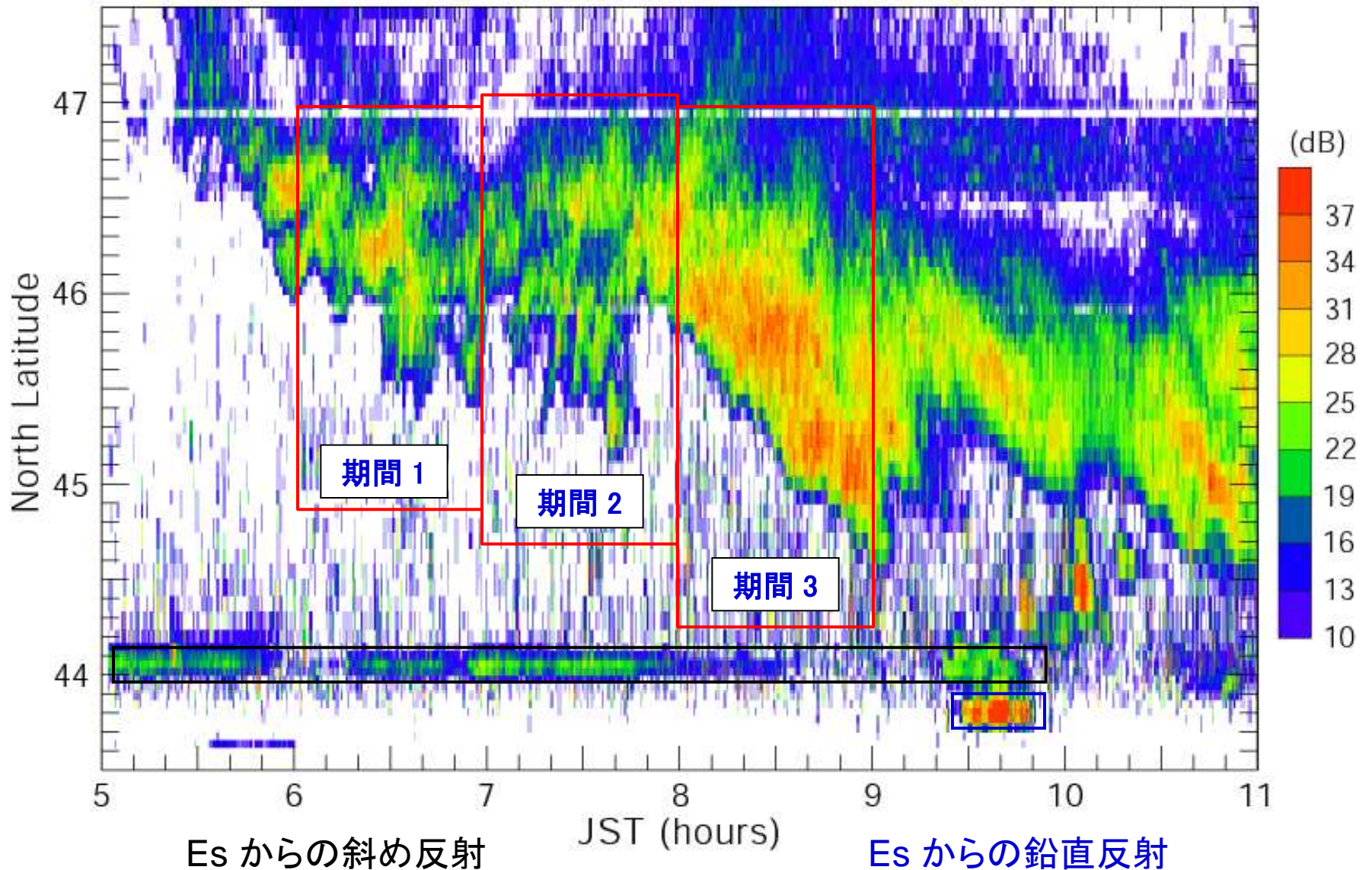
Start	Max	End
0635	0800	0937 JST

0300 - 0900 JST
 Hourly Dst : -1, 1, 1-, 0, -1, -2
 3-hour Kp : 1-, 0+
 地磁気活動は非常に静穏で、
 極域からの影響無し

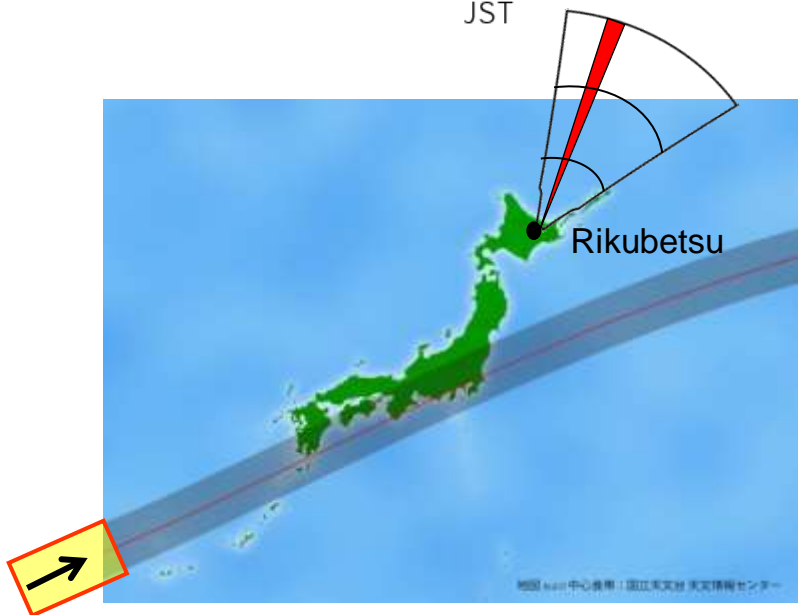
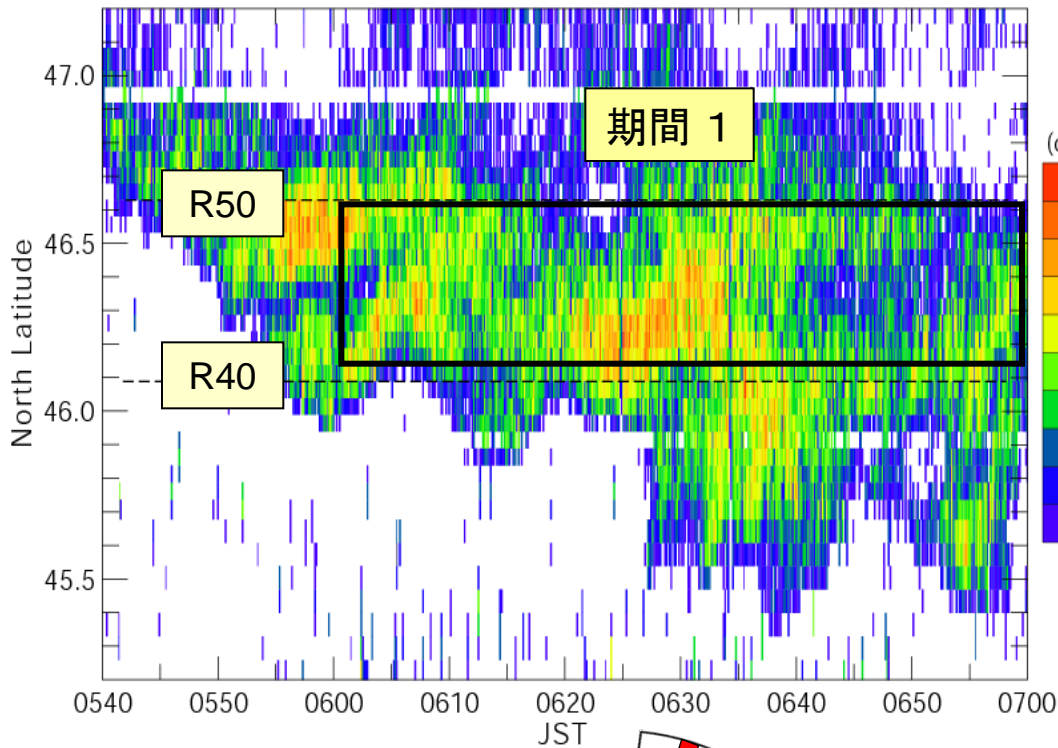
F 層反射による海面散乱エコーの強度

周波数 : 10.8 - 11.1 MHz
時間分解能 : 8 秒、距離分解能 : 7.5 km

Beam 4 Echo Power ≥ 10 dB 21 May 2012

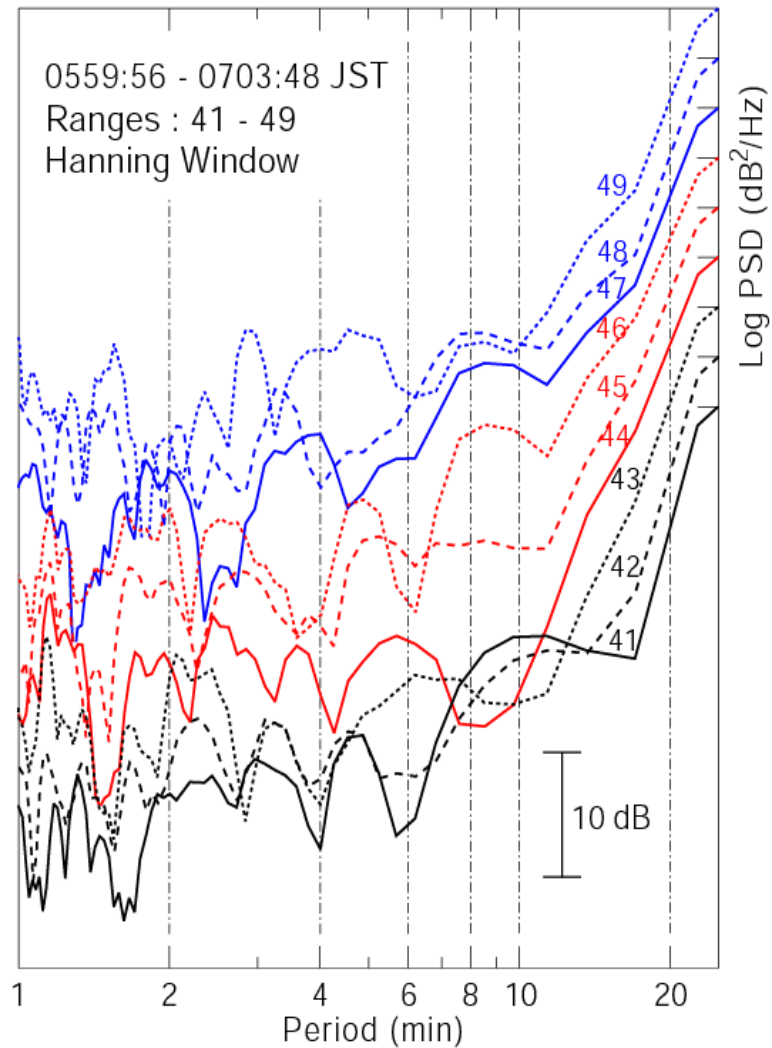


Beam 4 Echo Power ≥ 10 dB 21 May 2012



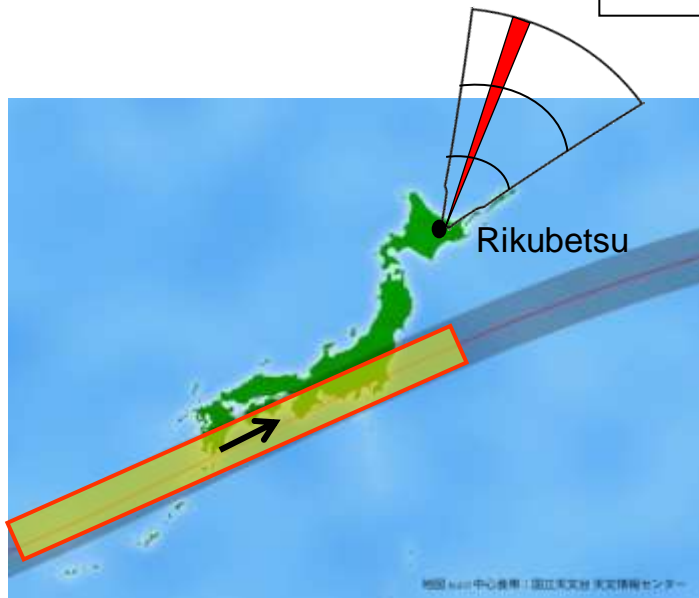
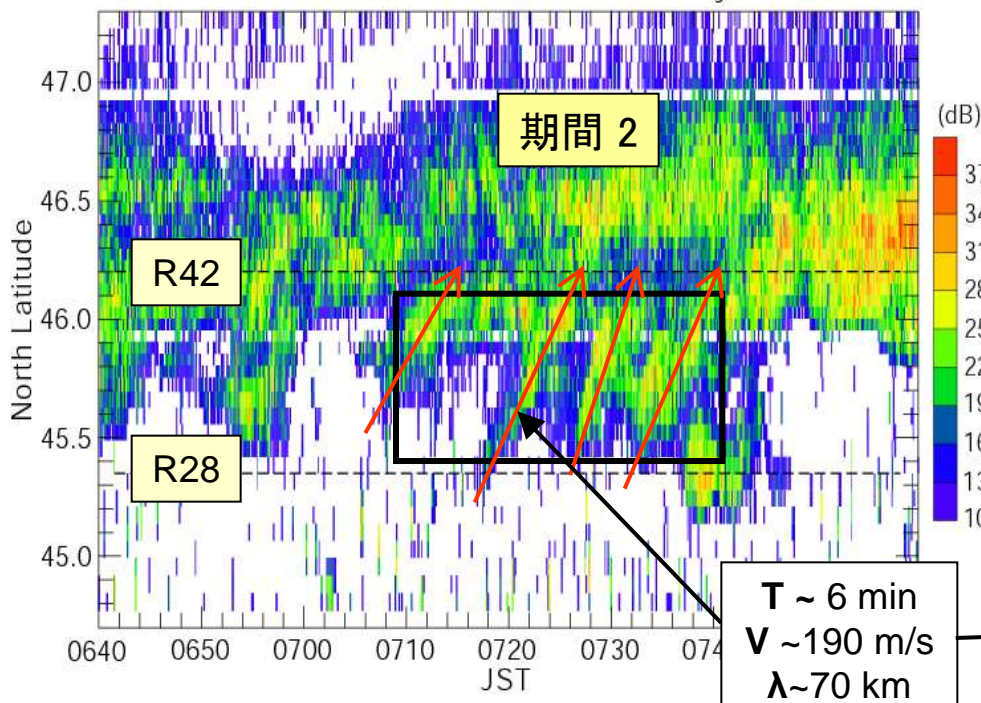
エコー強度の FFT

Beam 4 Echo Power 21 May 2012



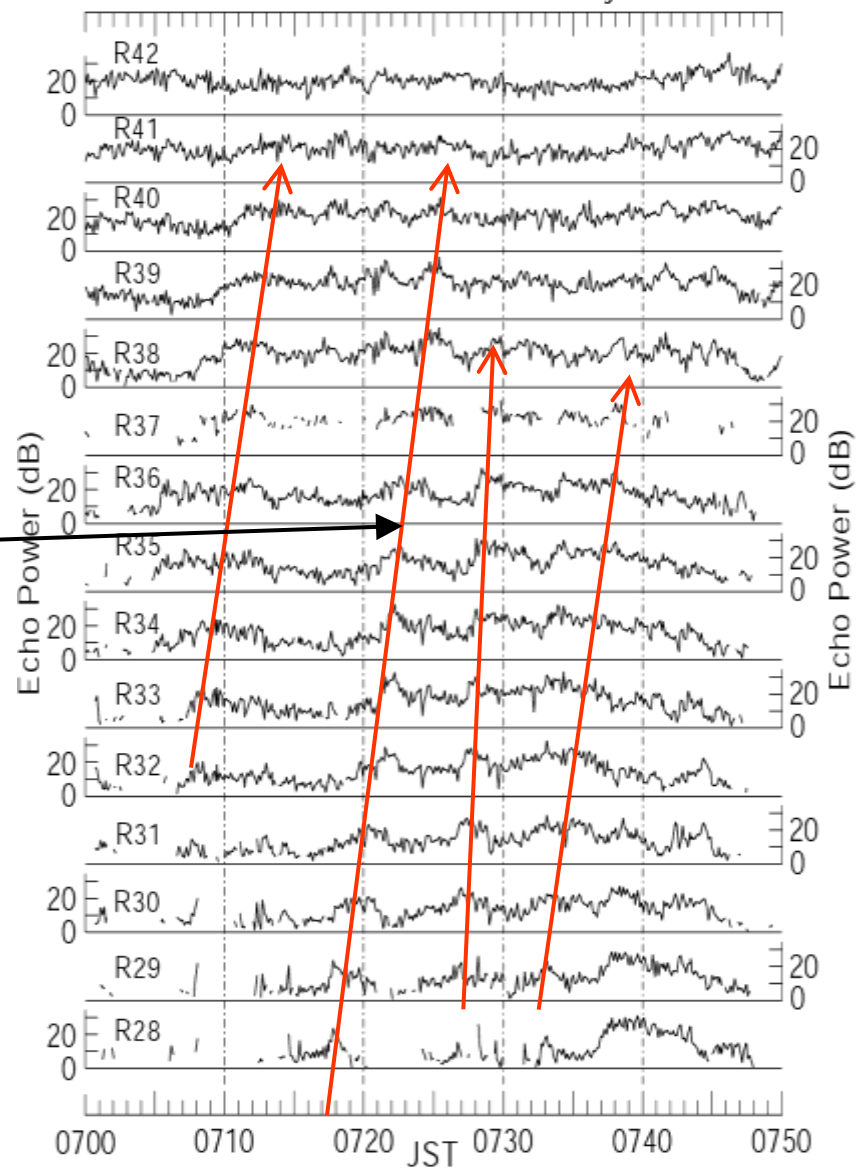
卓越周期は無し

Beam 4 Echo Power ≥ 10 dB 21 May 2012



エコー強度の時間変化

Beam 4 Echo Power 21 May 2012

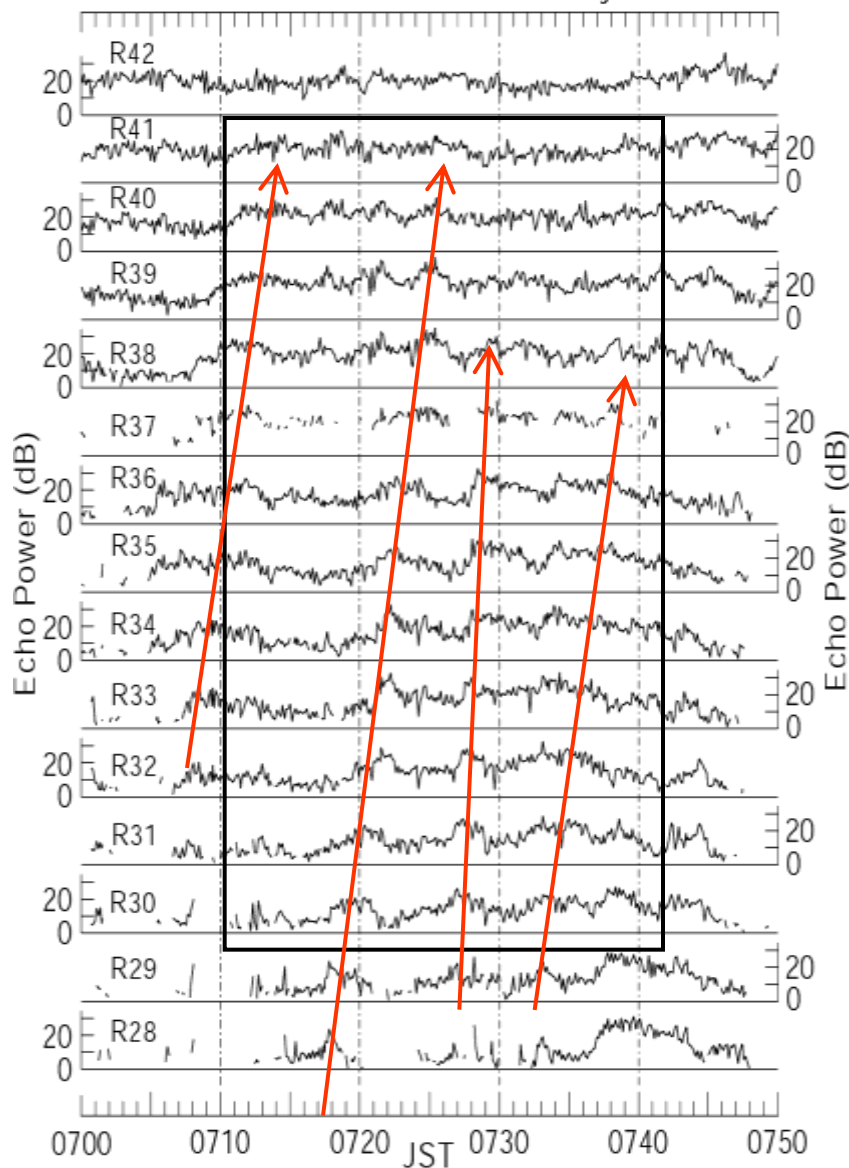


エコー強度の時間変化

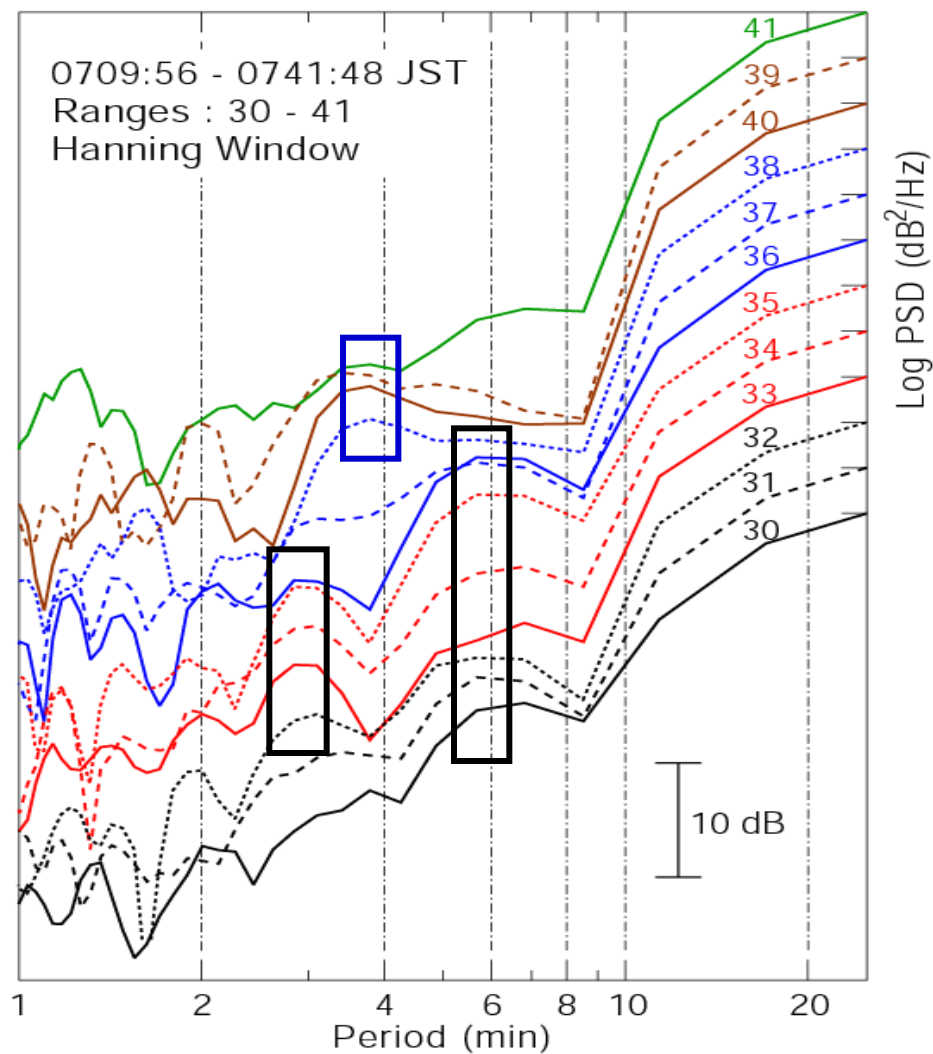
期間 2

エコー強度の FFT

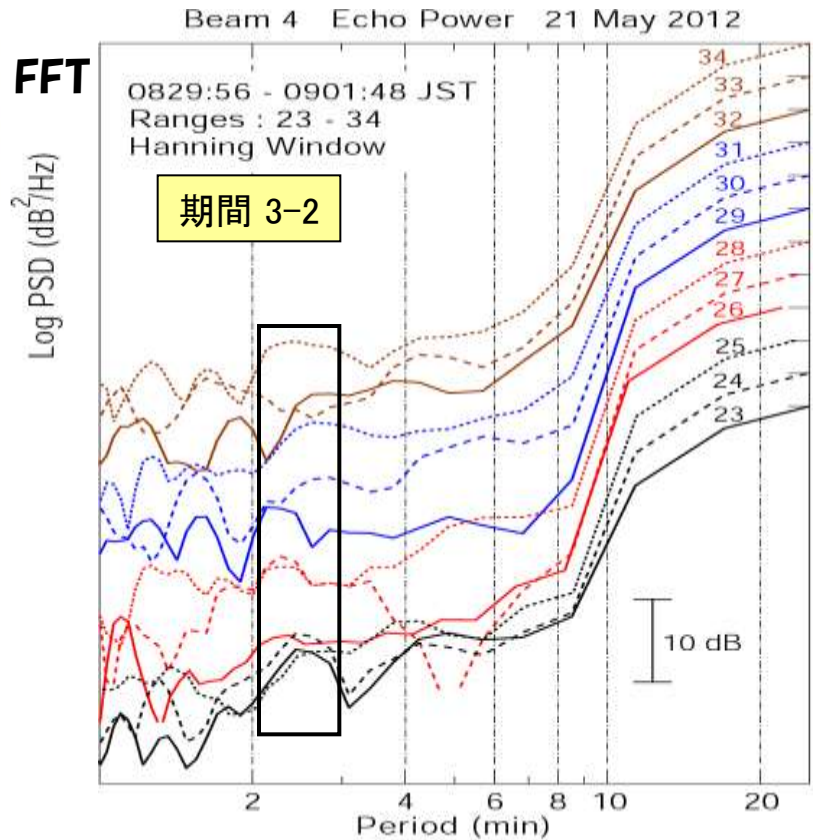
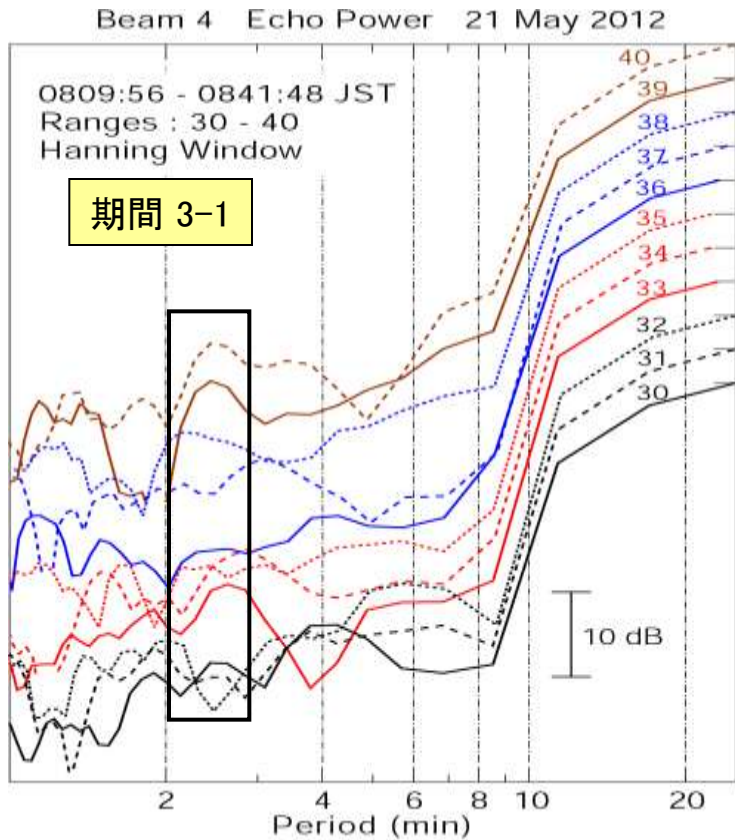
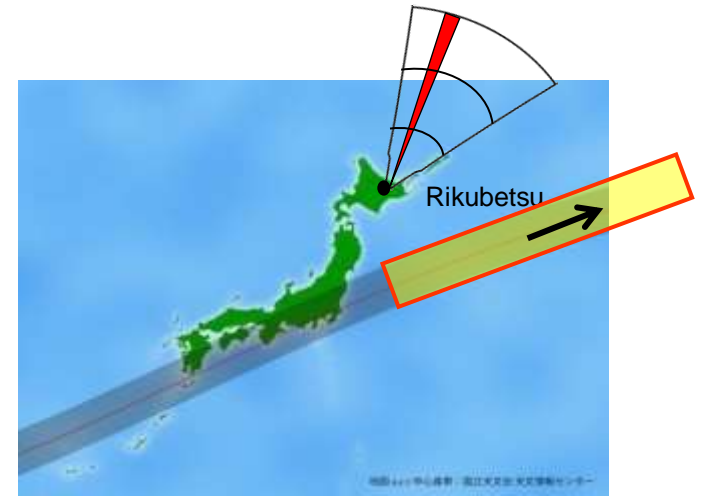
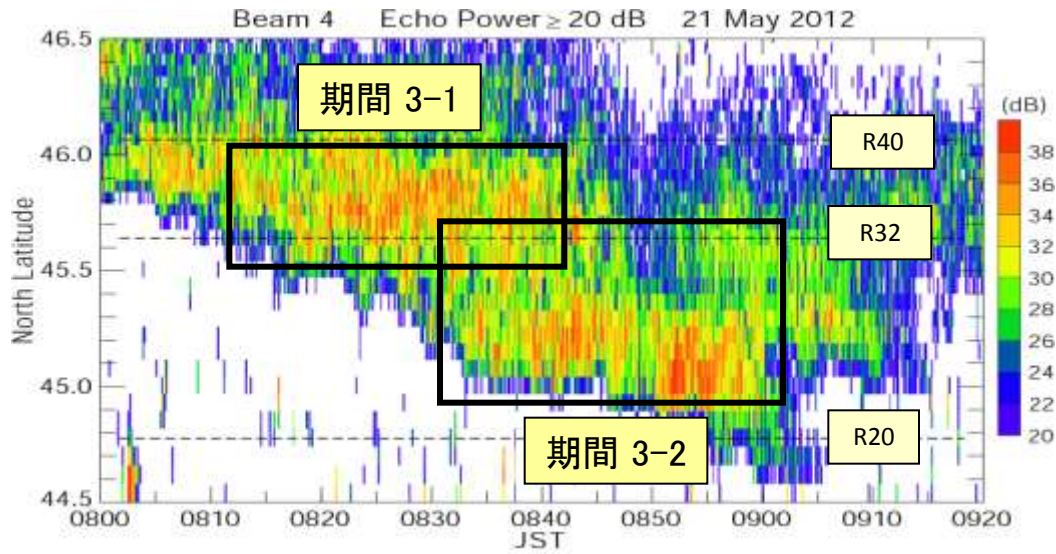
Beam 4 Echo Power 21 May 2012



Beam 4 Echo Power 21 May 2012

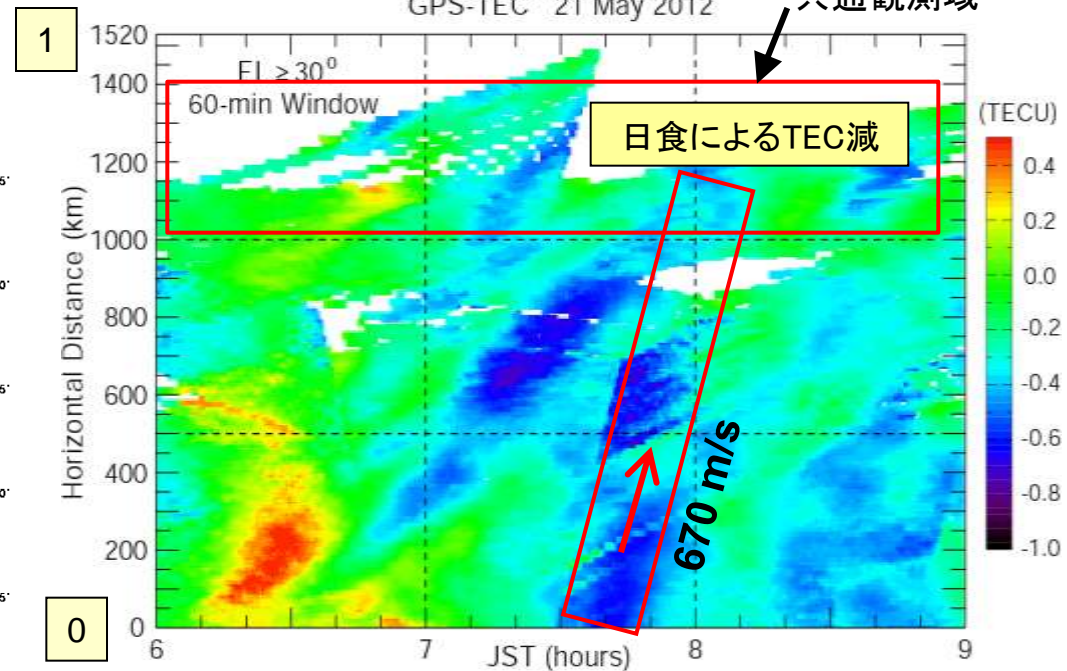
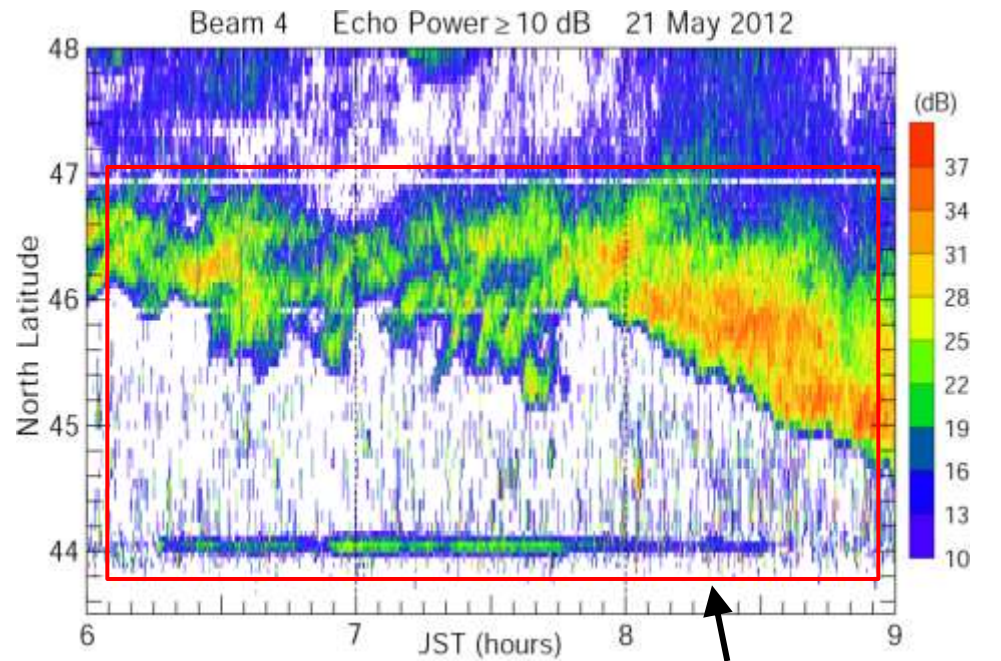
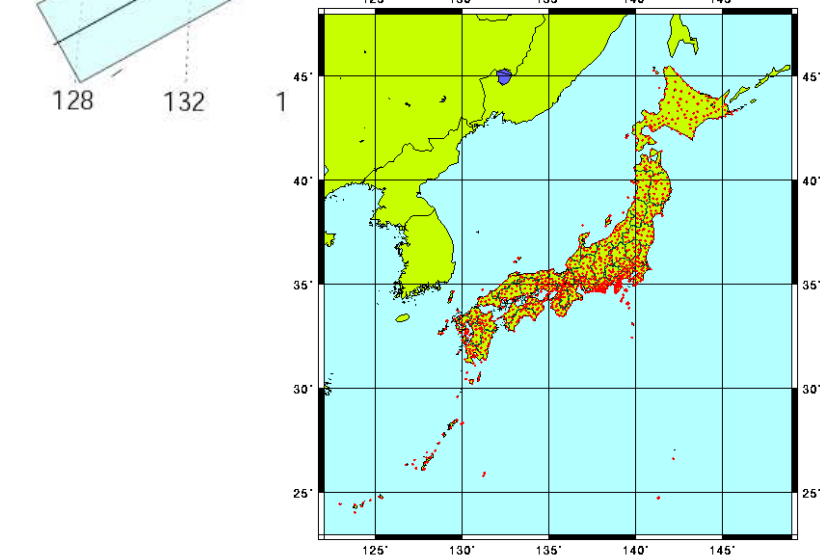
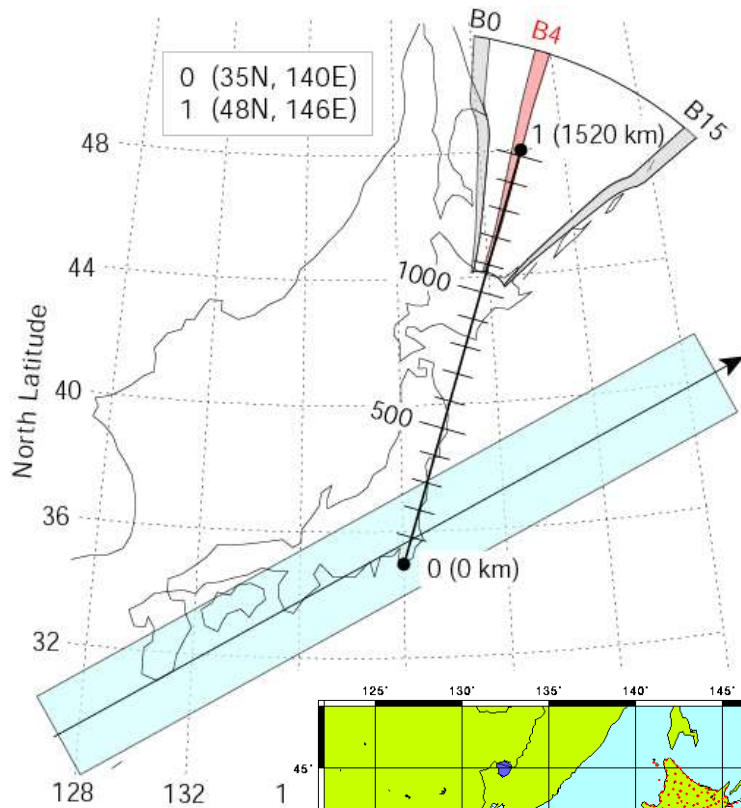


近距離では 6, 3 分の周期、
遠方では 4 分の周期が明瞭

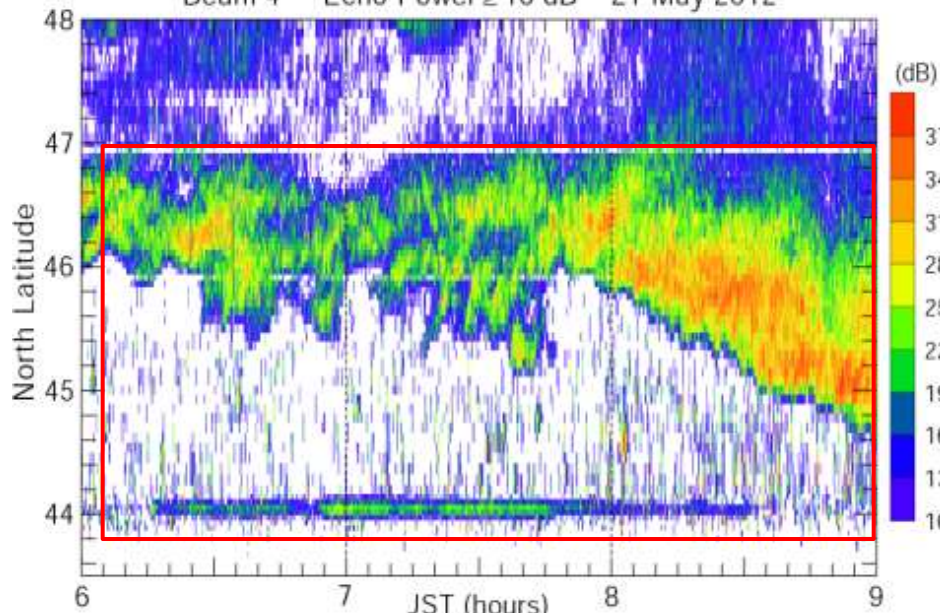


2 - 3 分の周期
がありそうだが、
不明瞭。伝搬方
向や周期が異
なる各種波動
の”破壊的干
渉”が発生か？

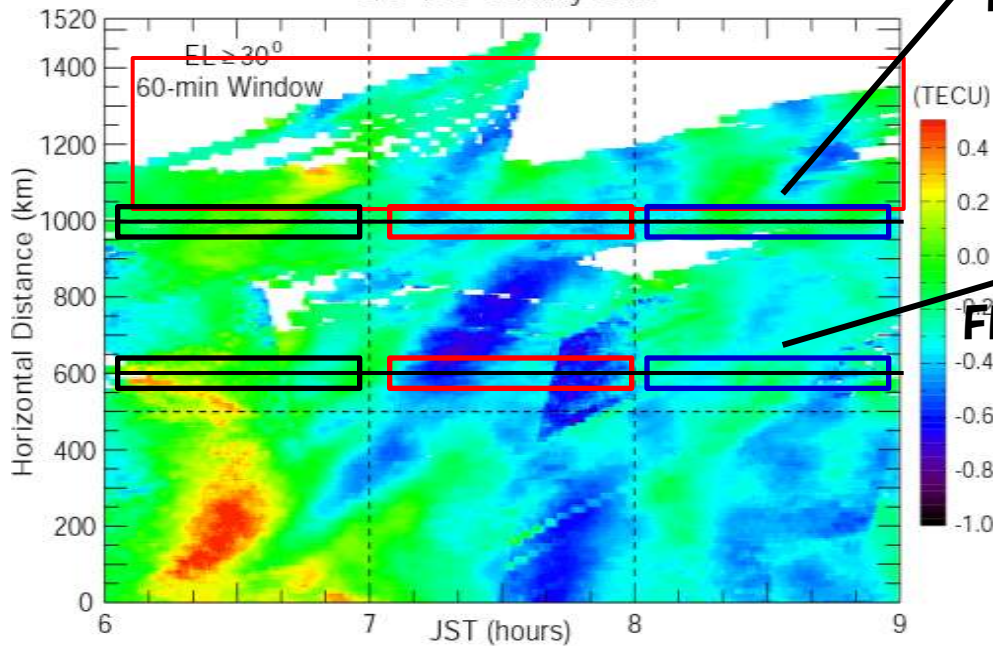
GPS-TEC との比較



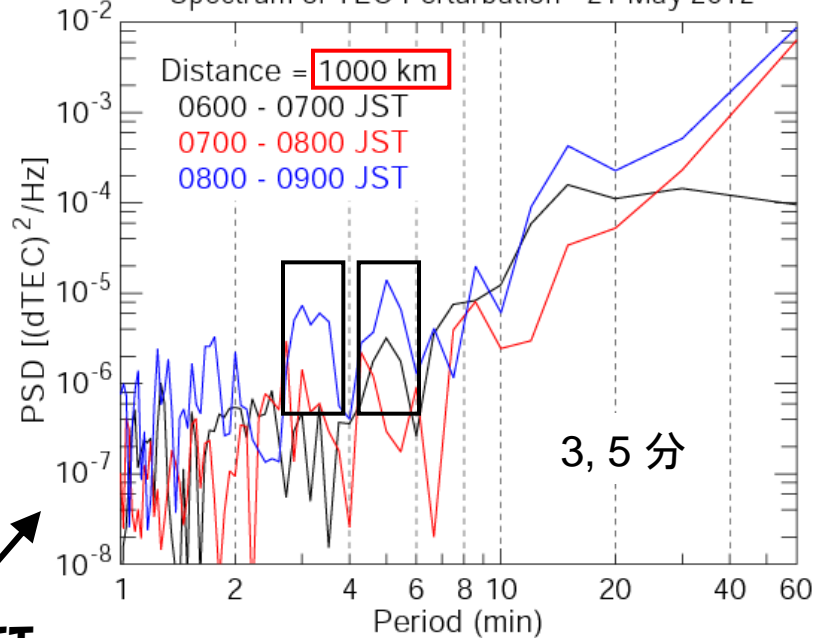
Beam 4 Echo Power ≥ 10 dB 21 May 2012



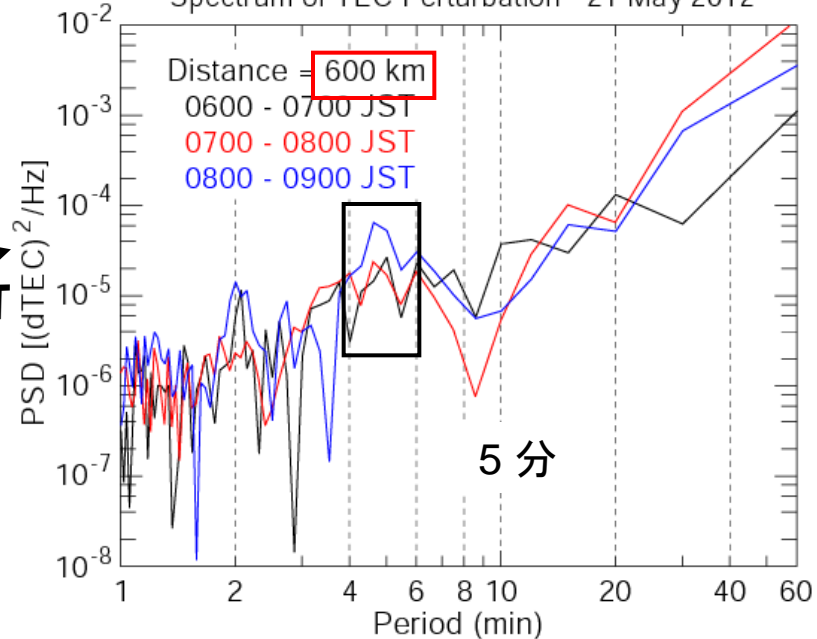
GPS-TEC 21 May 2012



Spectrum of TEC Perturbation 21 May 2012



Spectrum of TEC Perturbation 21 May 2012



まとめ

- 2012年5月21日(地磁気静穏日)の金環食時に北海道 HF レーダーのビーム 4 で時間分解能 8 秒、空間分解能 (7.5 km) の観測を行い、詳細データを取得
- 金環食域がレーダー視野の南西に存在した時間帯において、**約 6 分の周期で北向きに伝搬 (~190 m/s) する波動が検出された。**この波動は日食起源であると判断できる。月影の直径 300 km、影の移動速度 780 m/s とすると、周期 6.5 分の内部重力波が励起されるとの理論的予想と一致するが、観測された 6 分波動の励起場所は不明。他にも周期 3 - 4 分の波動を観測
- 食域がレーダーに再接近した時間帯では周期 2 - 3 分の波動(音波?)も観測されたが、6 分周期に比べて不明瞭。各種波動が“破壊的干渉”したためか?
- 食時に GPS-TEC には周期 3 - 5 分の変動があったが、**レーダーエコーの周期と若干相違** → 観測手法、観測域、観測高度が違うためか?
- 金環食日以外に Themis-scan (ビーム 4 で 8 秒の時間分解能)を行った日 (5/10, 5/19, 5/24, 5/26, 6/3)において 3 - 6 分の変動が時折観測されたが、時間・空間的にランダムであり、伝搬している兆候はなし
- GEONET 視野とレーダー視野の重なりが部分的であったため、GPS-TEC とレーダーデータとの詳細比較は不可能