

# 巨大竜巻による電離圏擾乱

## — 陸別と米国 HF レーダー及び TEC 観測結果 —

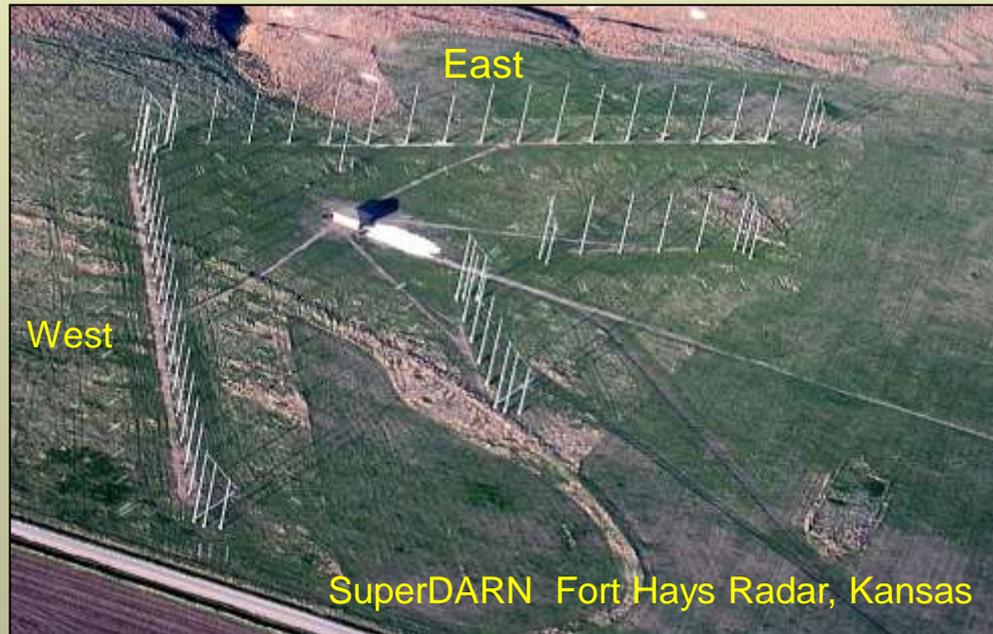
小川 忠彦<sup>1</sup>、西岡 未知<sup>1</sup>、西谷 望<sup>2</sup>、津川 卓也<sup>1</sup>

1) NICT 2) 名大STE研



SuperDARN Hokkaido Radar

(43.5°N, 143.6°E)



SuperDARN Fort Hays Radar, Kansas

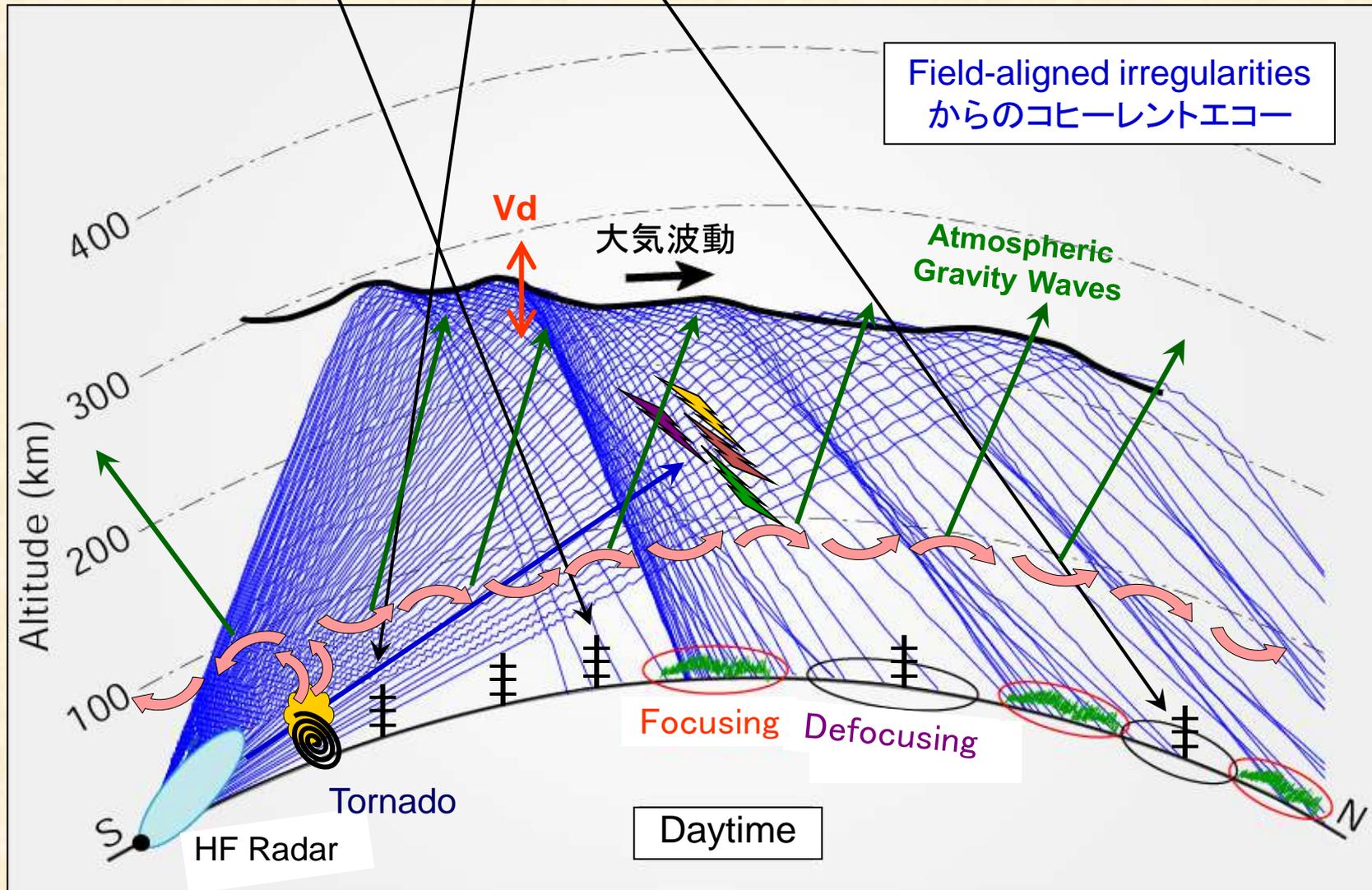
(38.9°N, 99.4°W)

GPS



地上・海面散乱によるエコー：  
レーダー波の focusing (defocusing)  
によるエコー強度の増加 (減少)

Field-aligned irregularities  
からのコヒーレントエコー



Focusing Defocusing

Daytime

# 注目する3つの巨大竜巻

## 1. 筑波竜巻

2012年5月6日 0335 UT Enhanced Fujita Scale 3 (**EF3**)

## 2. Moore (米国オクラホマ州)竜巻 (Nishioka et al., GRL,2013)

2013年5月20日 1945 UT **EF5**

## 3. El Reno (米国オクラホマ州)竜巻

2013年5月31日 2305 UT **EF3**

改良藤田スケール  
出典: フリー百科事典  
『ウィキペディア(Wikipedia)』



0335 UT (1235 JST)

**筑波電巻(EF3) : 2012年5月6日 0335 UT**

0200 UT (1100 JST)

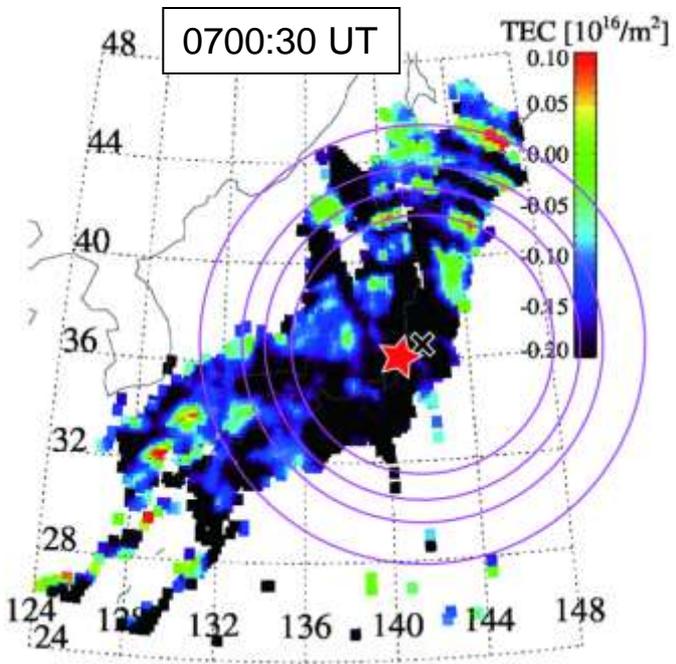
0400 UT (1300 JST)

0500 UT (1400 JST)

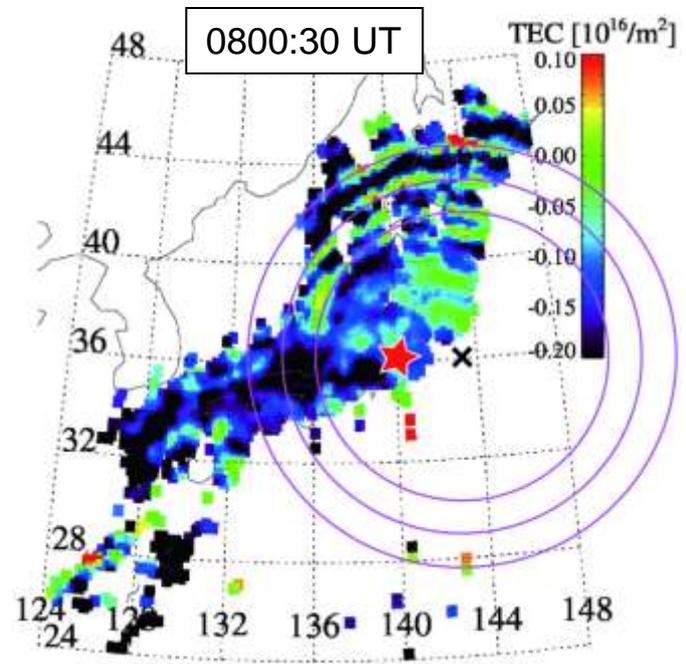
0700 UT (1600 JST)



「ひまわり」雲画像

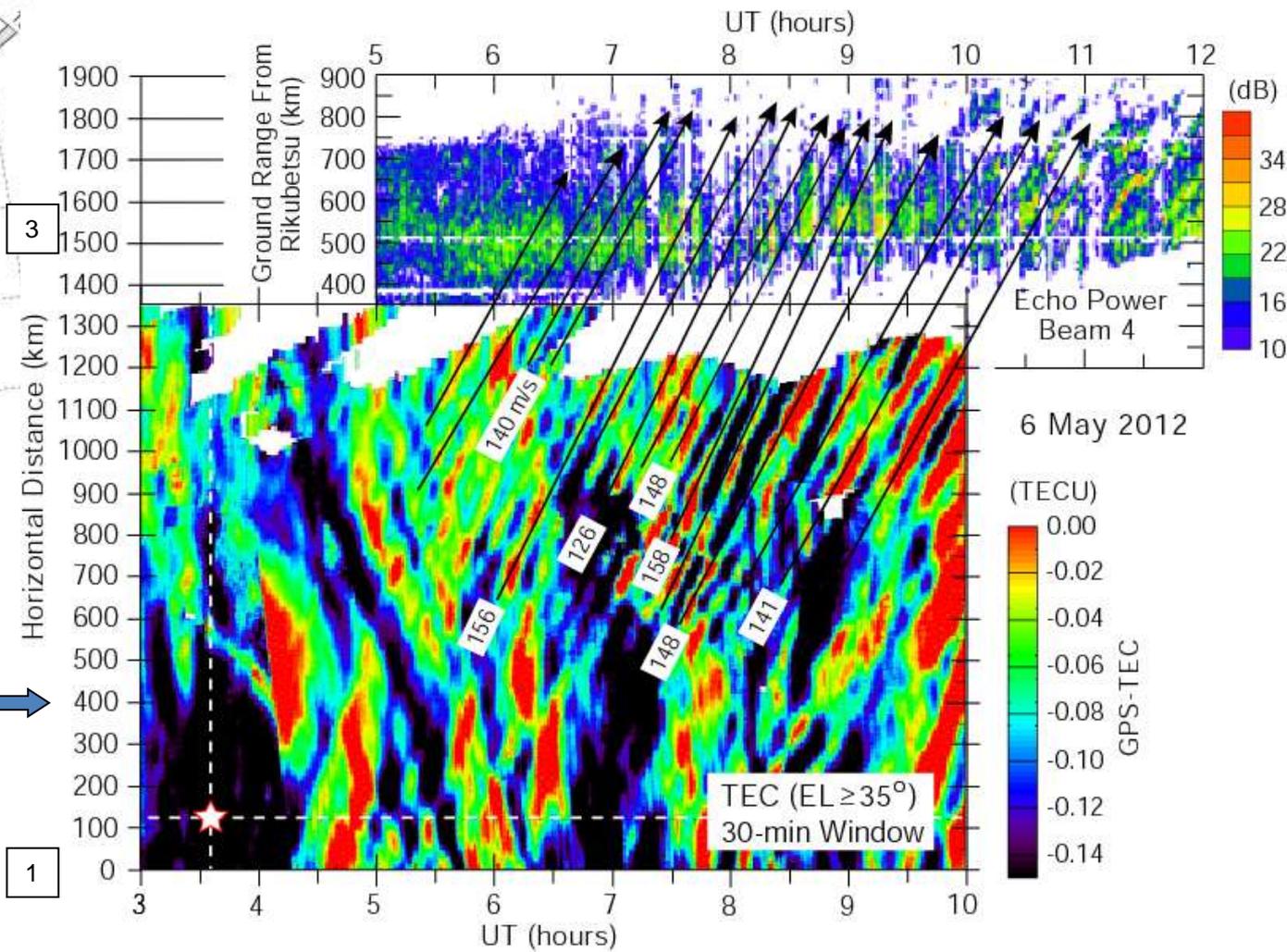
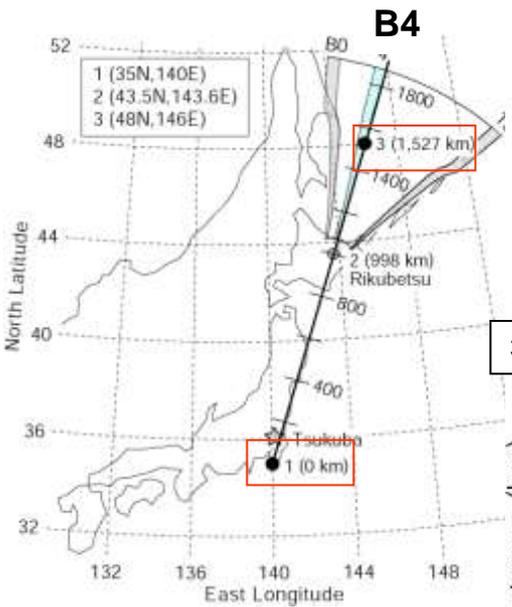


GPS-TEC



★ Tsukuba  
X Center of concentric waves

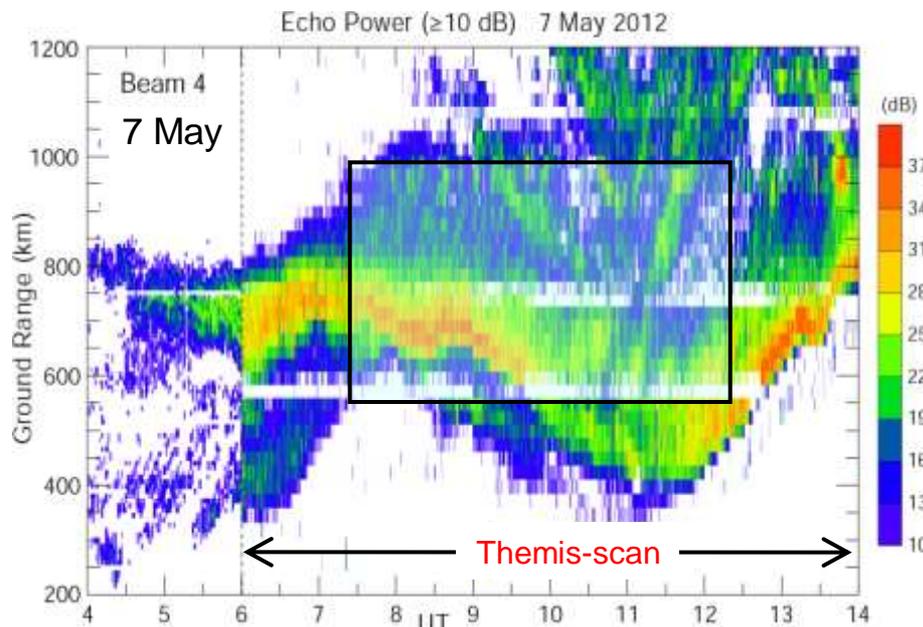
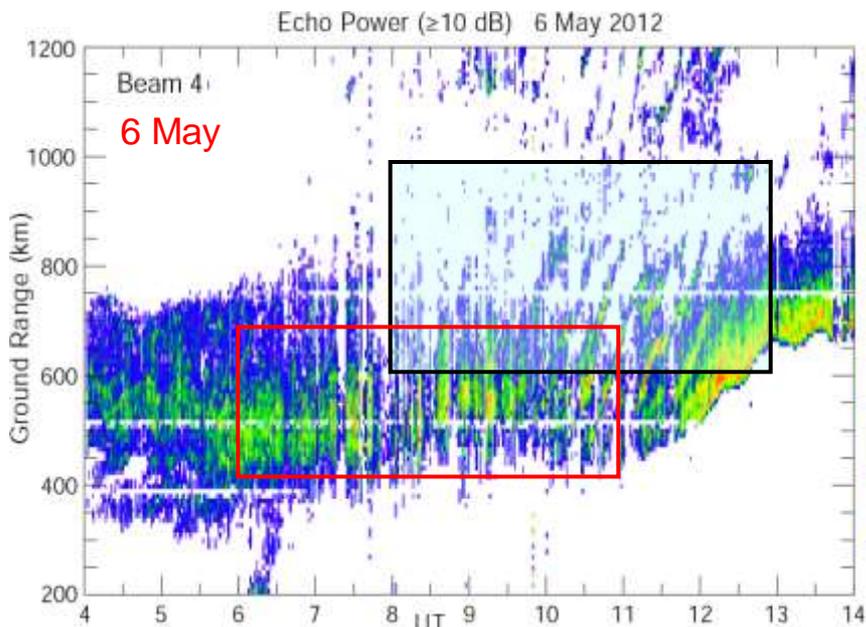
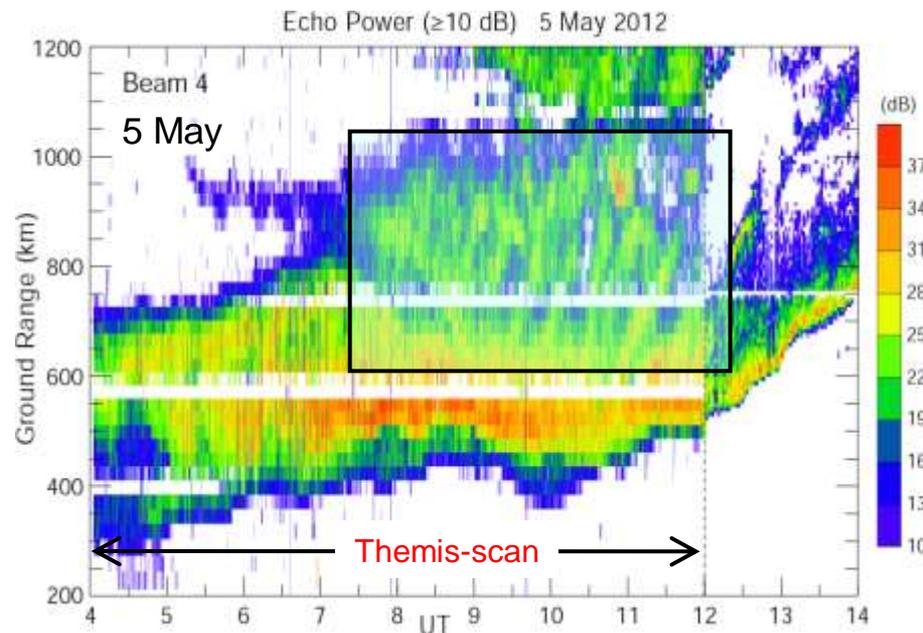
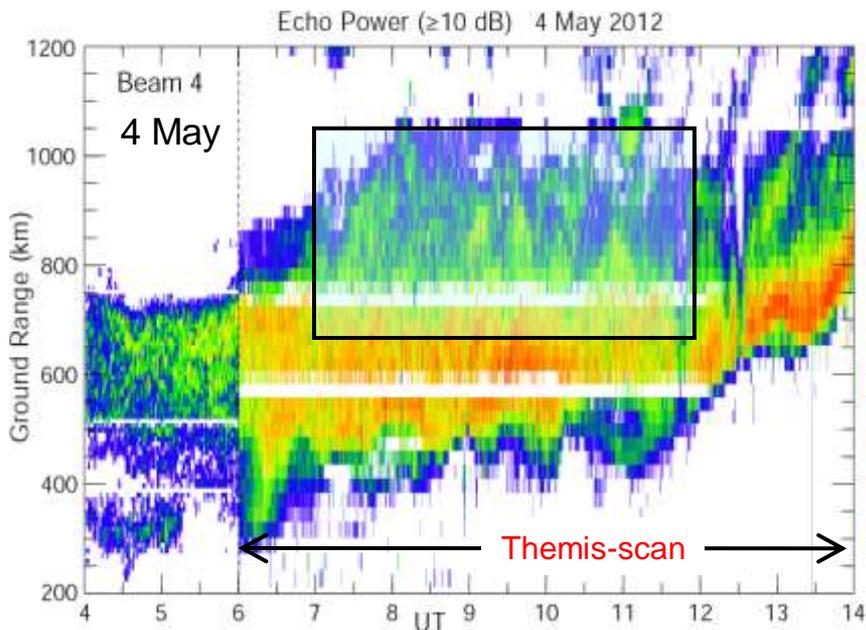
**筑波竜巻(EF3) 2012年5月6日 0335 UT**



Beam 4 に沿った  
ケオグラム (基線 1  
→ 3 の両側±50 km  
内のTECデータを平均)

北向き波動伝搬：周期 10 - 20分、120 - 160 m/s。  
周期15分で140 m/s の場合、波長は 126 km

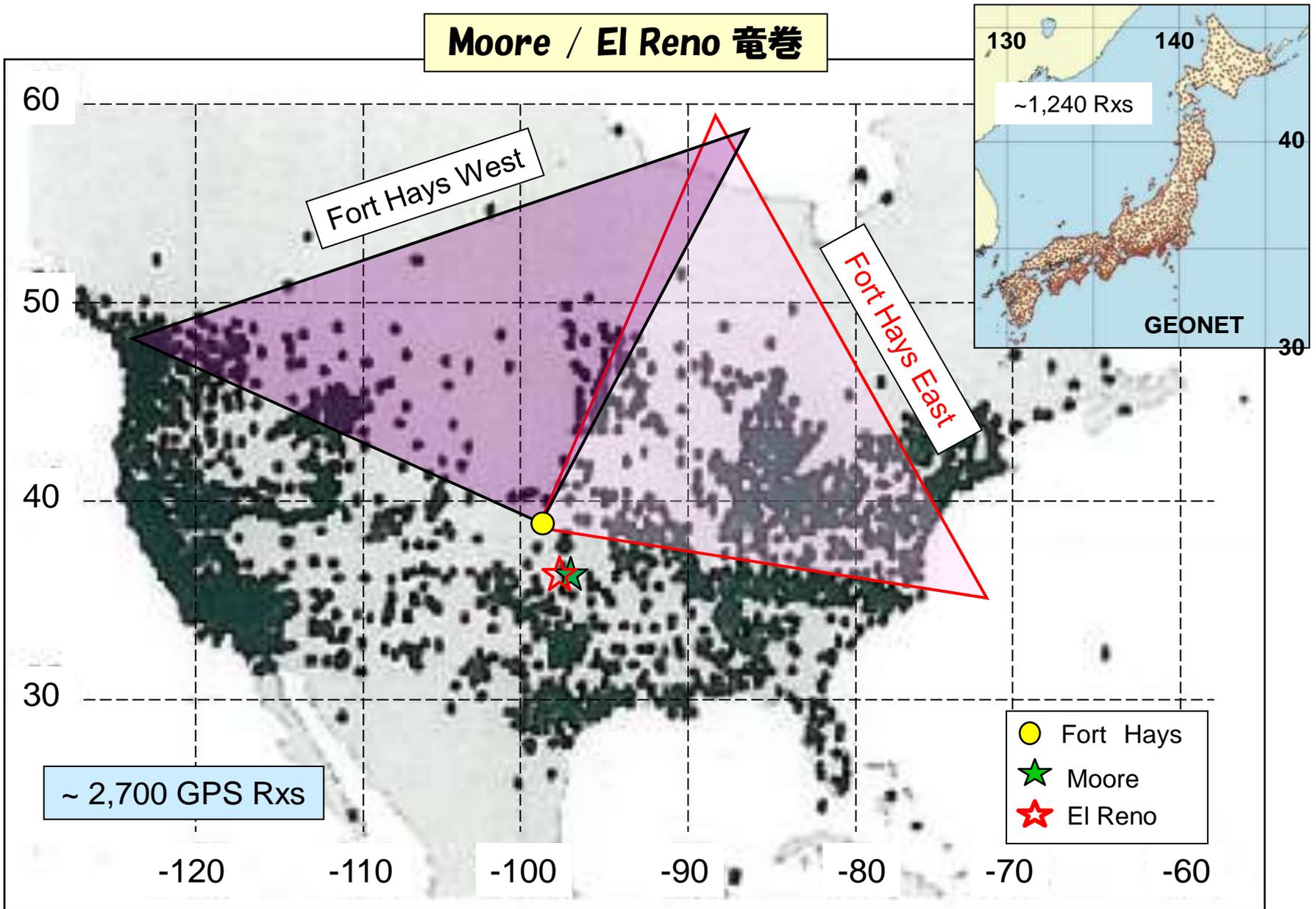
後述のMoore 竜巻：同心円速度は  
~170 m/s、波長は~120 km、周期は  
10~20 分で13分にブロードピーク



竜巻日のみ

類似の構造

# Moore / El Reno 竜巻

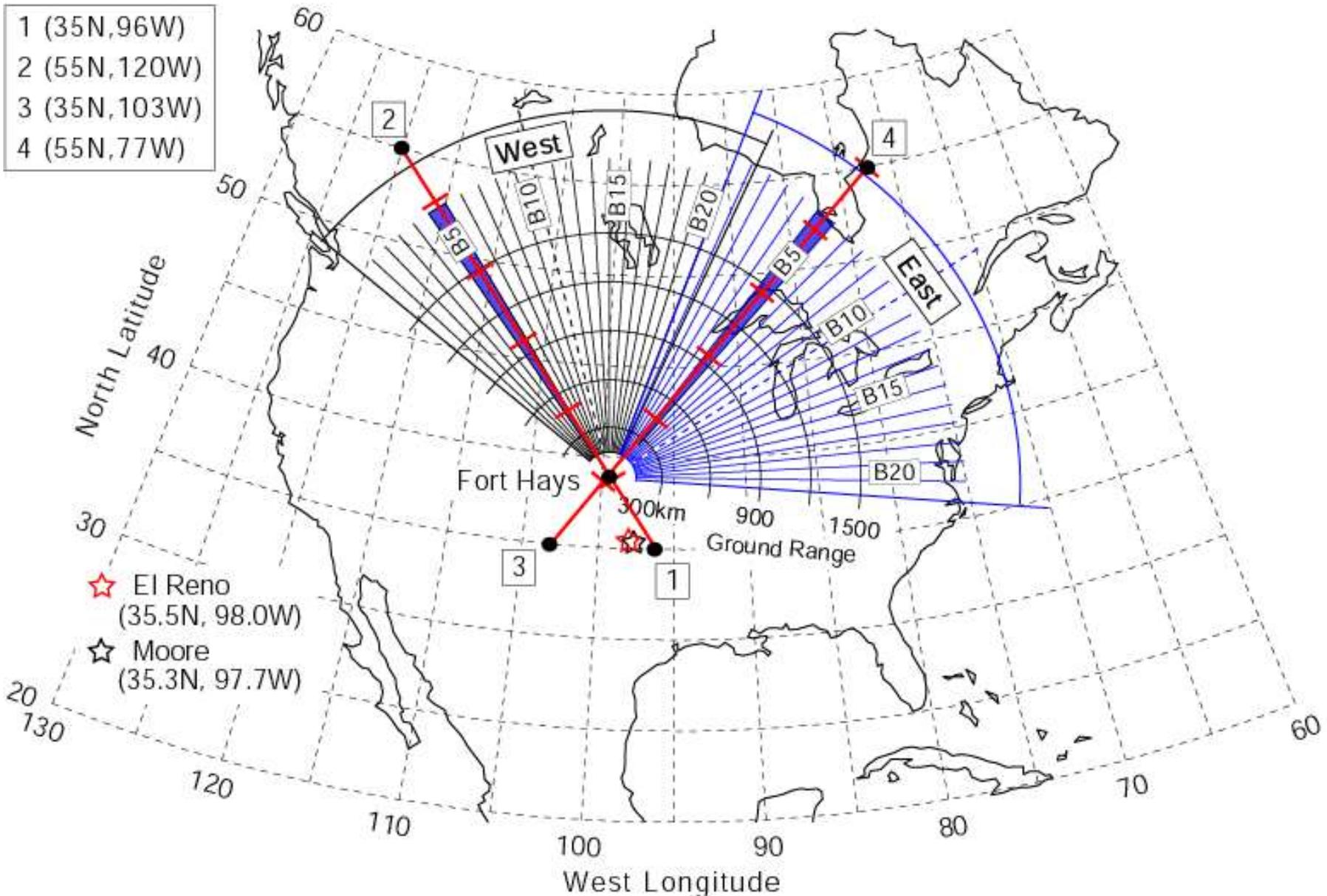


● Fort Hays (38.9N, 99.4W)

★ Moore (35.3N, 97.7W)

★ El Reno (35.5N, 98.0W)

- 1 (35N,96W)
- 2 (55N,120W)
- 3 (35N,103W)
- 4 (55N,77W)



1 (0 km) → 2 (2885.0 km)  
 3 (0 km) → 4 (2984.3 km)

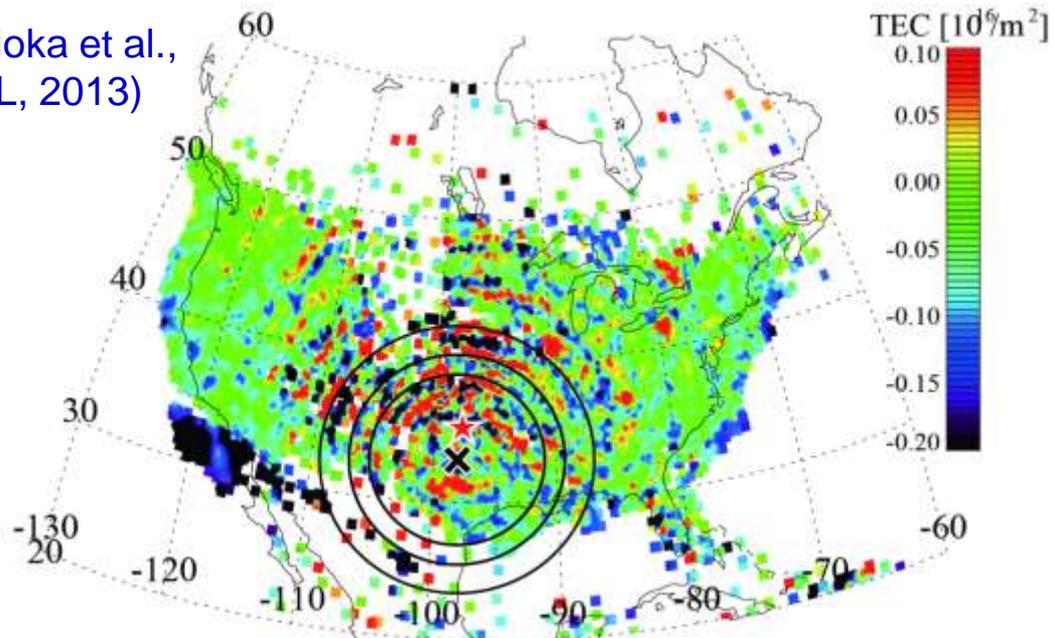
1 (0 km) → FH (528.0 km)  
 3 (0 km) → FH (538.4 km)

Moore ↔ El Reno : 35.2 km

(Nishioka et al.,  
GRL, 2013)

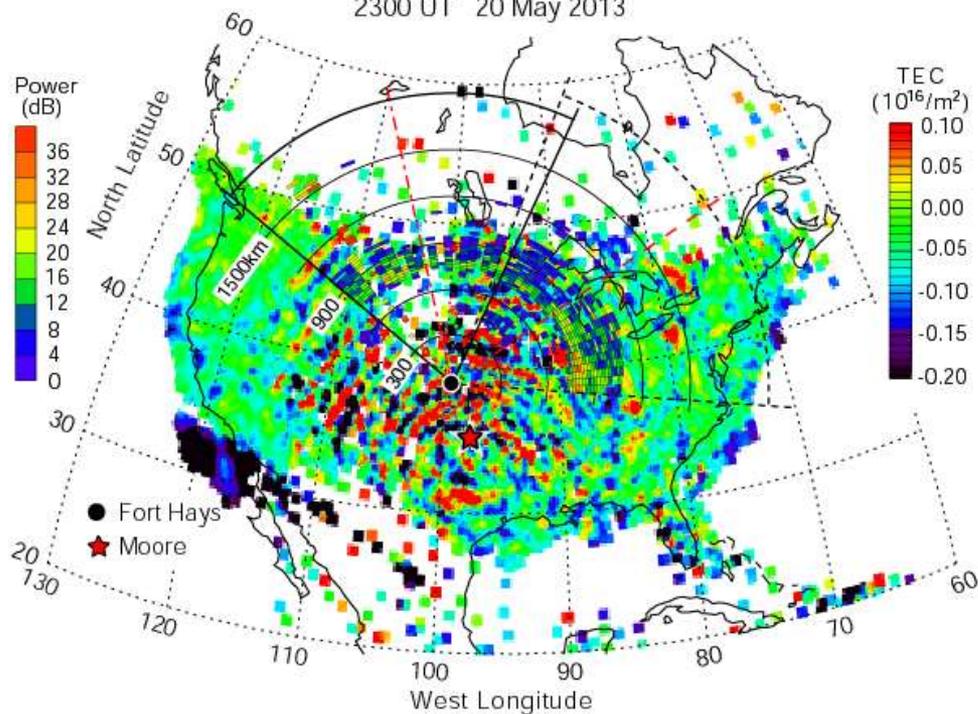
**Moore 竜巻 (EF5)**  
2013年5月20日 1945 UT

- Moore から同心円状に広がっていく  
波動構造：  
速度  $\sim 170$  m/s、波長  $\sim 120$  km、  
周期 13 - 15分
- 周期約 3.7 分の音波共鳴も！



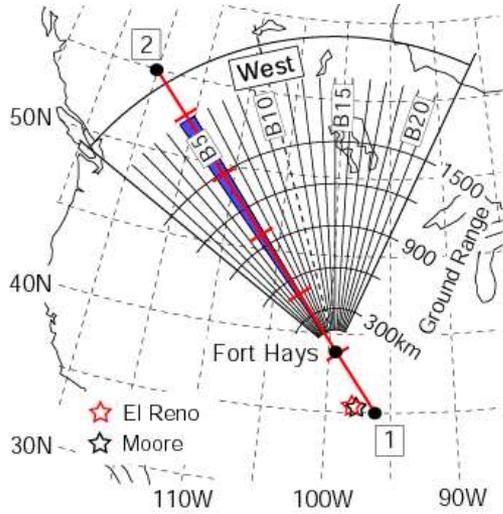
2300 UT 20 May 2013

- 上図 + Fort Hays West と Fort Hays East の ground scatter エコー域



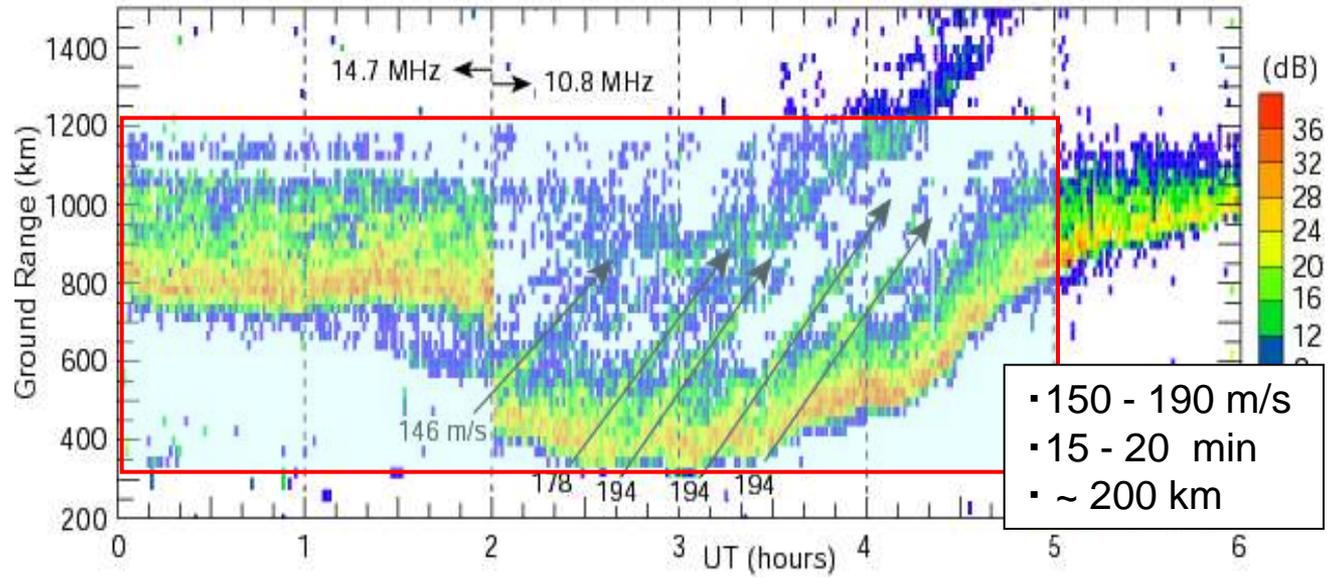
**Moore**  
 1945 UT  
 21 May 2013

**Fort Hays West  
 Beam 5**



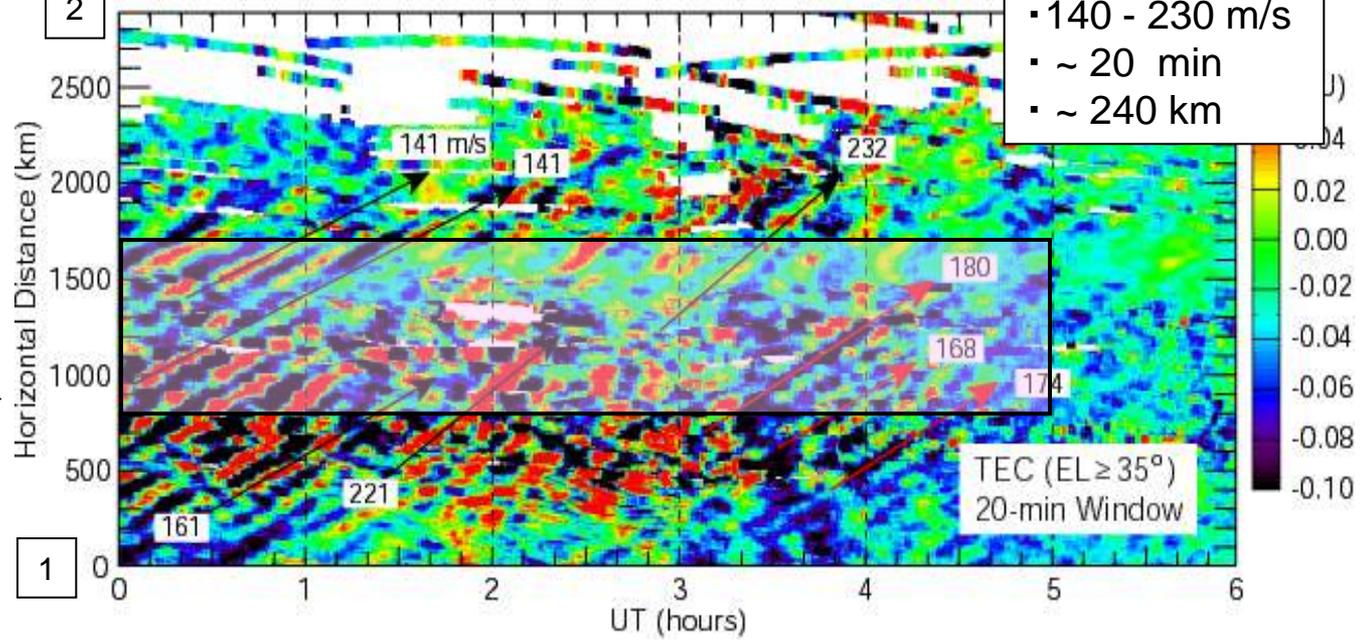
Beam 5 に沿った TEC  
 ケオグラム (基線 1  
 → 2 の両側 ±400 km  
 内の TEC データを平均)

FHW Echo Power Beam 5 21 May 2013



- 150 - 190 m/s
- 15 - 20 min
- ~ 200 km

TEC Along FHW Beam 5 21 May 2013

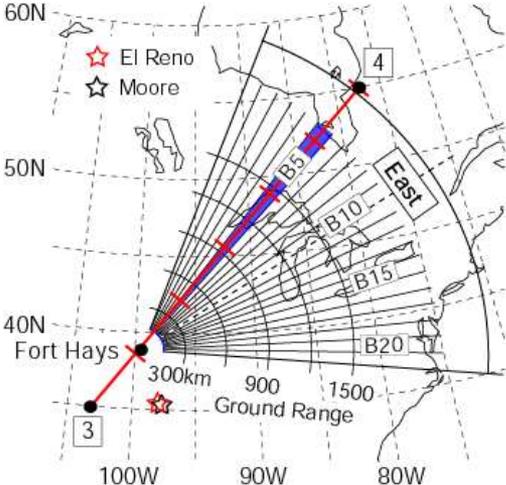


- 140 - 230 m/s
- ~ 20 min
- ~ 240 km

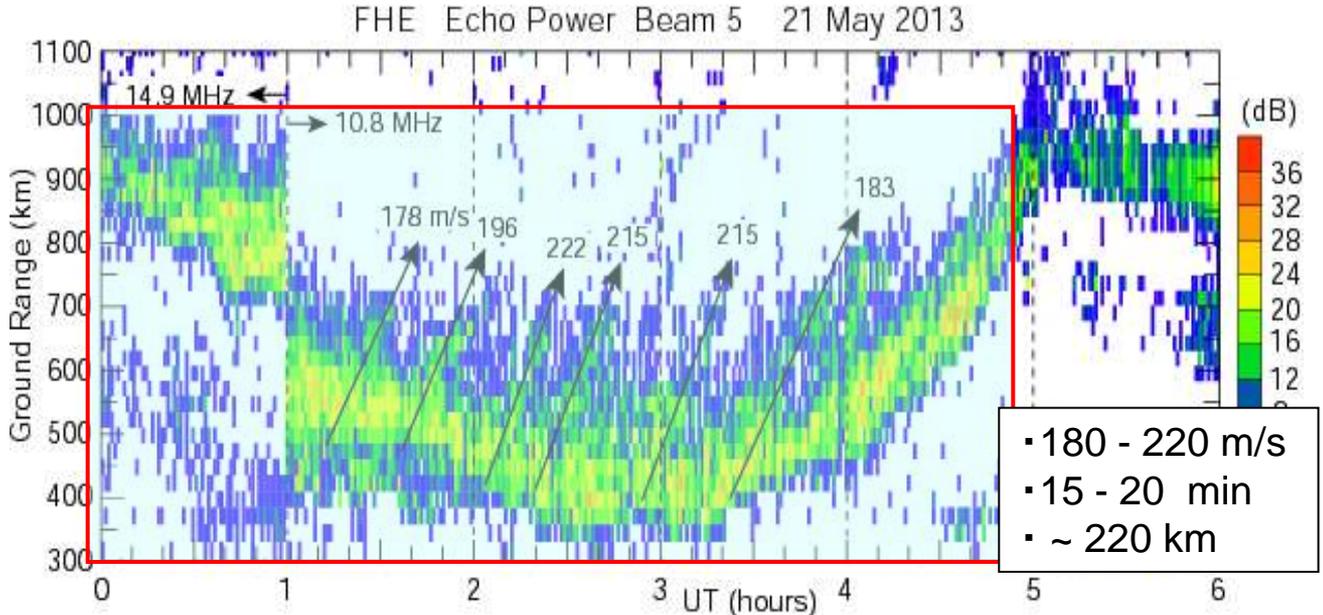
TEC (EL ≥ 35°)  
 20-min Window

**Moore**  
 1945 UT  
 21 May 2013

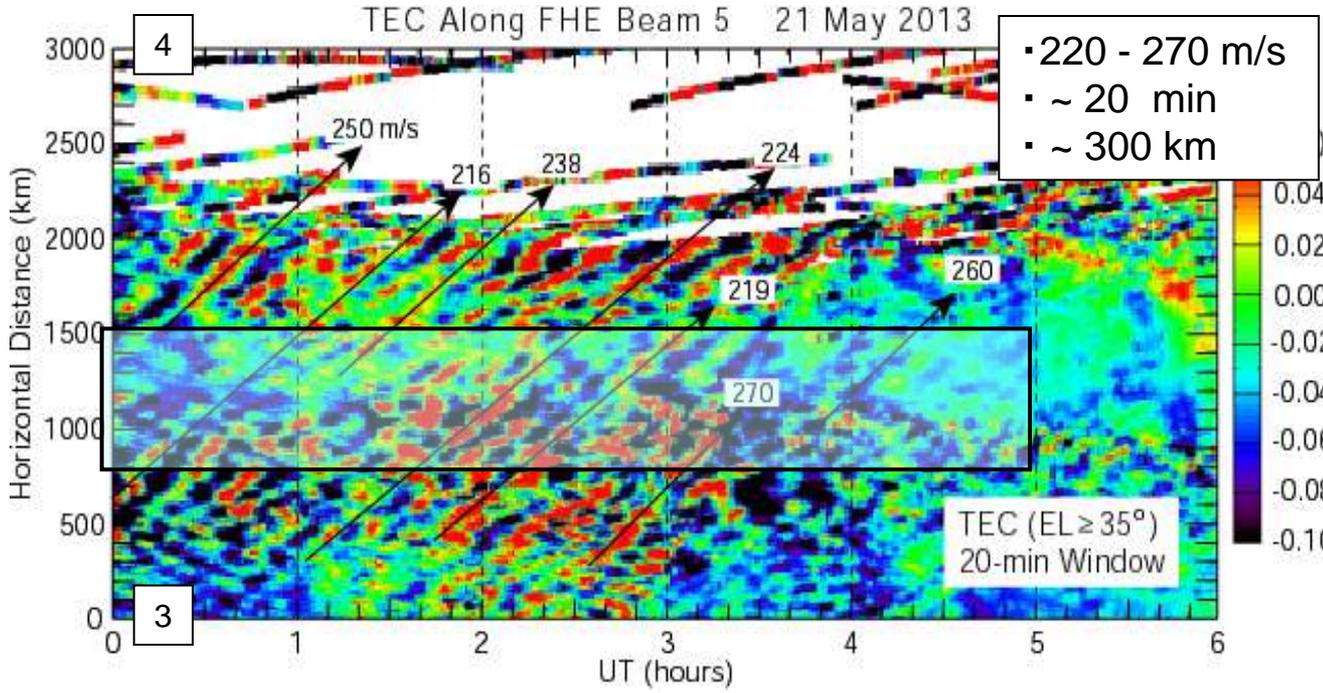
**Fort Hays East  
 Beam 5**



Beam 5 に沿った TEC  
 ケオグラム (基線 3  
 → 4 の両側 ±400 km  
 内の TEC データを平均)



- 180 - 220 m/s
- 15 - 20 min
- ~ 220 km



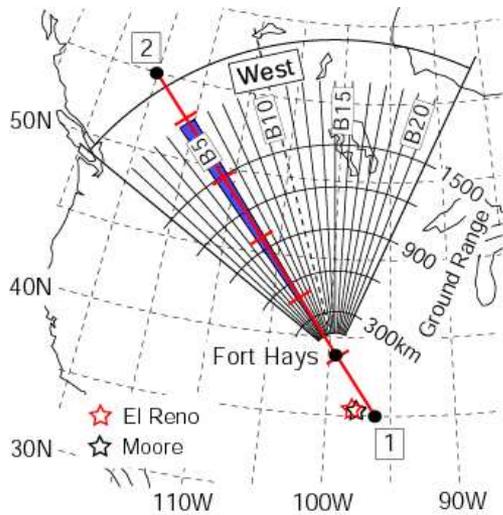
- 220 - 270 m/s
- ~ 20 min
- ~ 300 km

# El Reno 竜巻 (EF3)

2013年5月31日

2305 UT

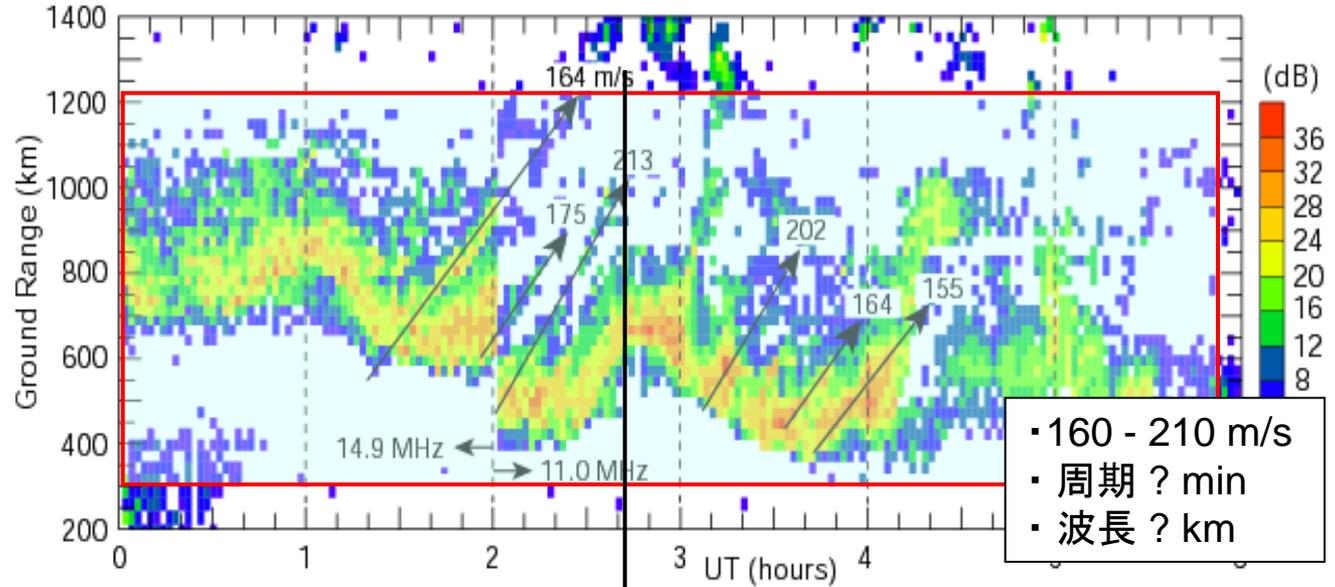
## Fort Hays West Beam 5



Beam 5 に沿った TEC  
ケオグラム (基線 1  
→ 2 の両側 ±400 km  
内の TEC データを平均)

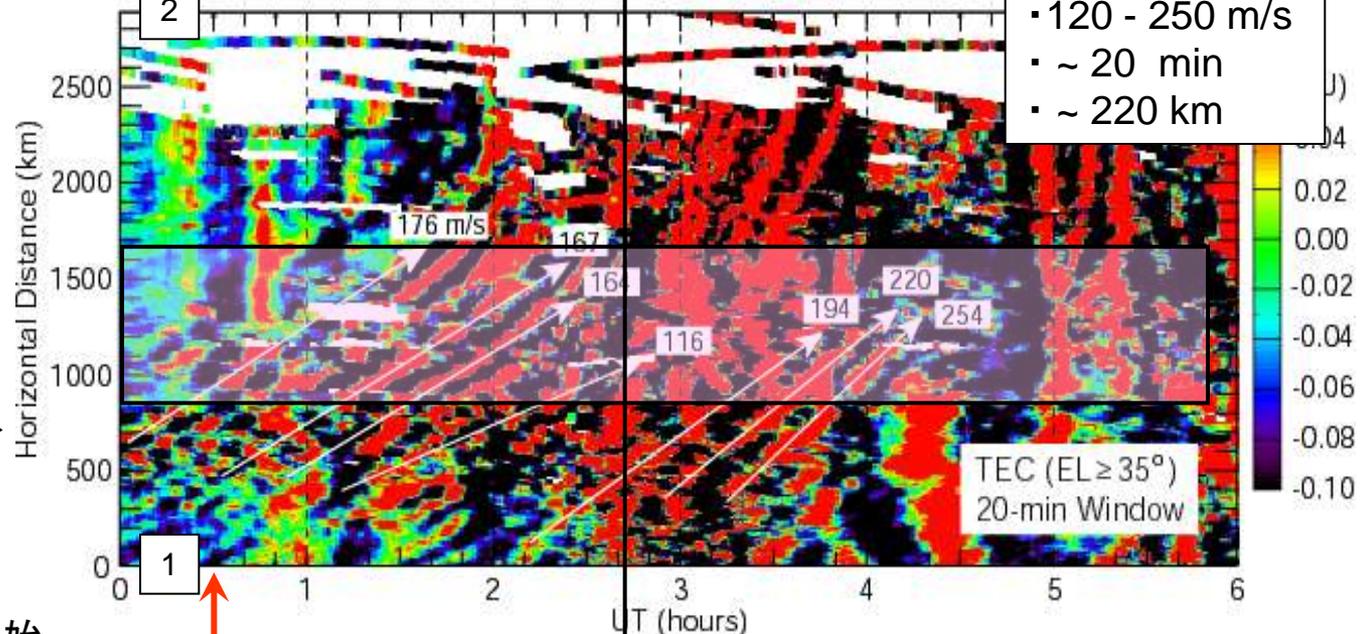
0030 UT 頃地磁気嵐開始

FHW Echo Power Beam 5 1 June 2013



- 160 - 210 m/s
- 周期 ? min
- 波長 ? km

TEC Along FHW Beam 5 1 June 2013



- 120 - 250 m/s
- ~ 20 min
- ~ 220 km

→ 竜巻による波動伝搬は不明瞭

## まとめ

- 2012年5月6日に筑波で **F3**、2013年5月20日にオクラホマ州 Moore で **F5**（詳細は Nishioka et al., 2013）、2013年5月31日にオクラホマ州 El Reno で **F3** の巨大竜巻が発生
- 竜巻域近傍を中心として同心円状に広がっていく波動構造を GPS-TEC で検出。同様の波動伝搬を SuperDARN HF レーダーでも検出。波動の継続時間は最大で 7 時間程度。El Reno の例では、竜巻発生後に磁気嵐が発生したため、北東から南西に伝搬する中規模 TID (MSTID) により竜巻由来の波動伝搬は途中で不明瞭に
- レーダーと TEC で観測された波動の伝搬速度は 120 ~ 270 m/s、周期は 10 ~ 20 分、波長は 140 ~ 300 km。観測手法が異なるため、両手法による値は必ずしも一致しない。なお、このような値は東北沖地震発生(2011.3.11)後の1時間後から約 1.5 時間にわたって観測されている(e.g., Tsugawa et al., 2011; Ogawa et al., 2012)
- **F3 - F5** クラスの巨大竜巻の発生は過去にもかなりある(全米で 2007年2月1日から2013年5月までに F5 クラスの竜巻は 9 例確認されている)。巨大地震に加えて、竜巻による電離圏擾乱の解明は大気上下結合過程の研究に貢献するであろう。