

地震に関連する電離圏擾乱
～最近の研究の紹介と東北地方太平洋
沖地震事例紹介～

北大・地震火山研究観測センター

柿並 義宏

2011/08/04 CPSセミナー

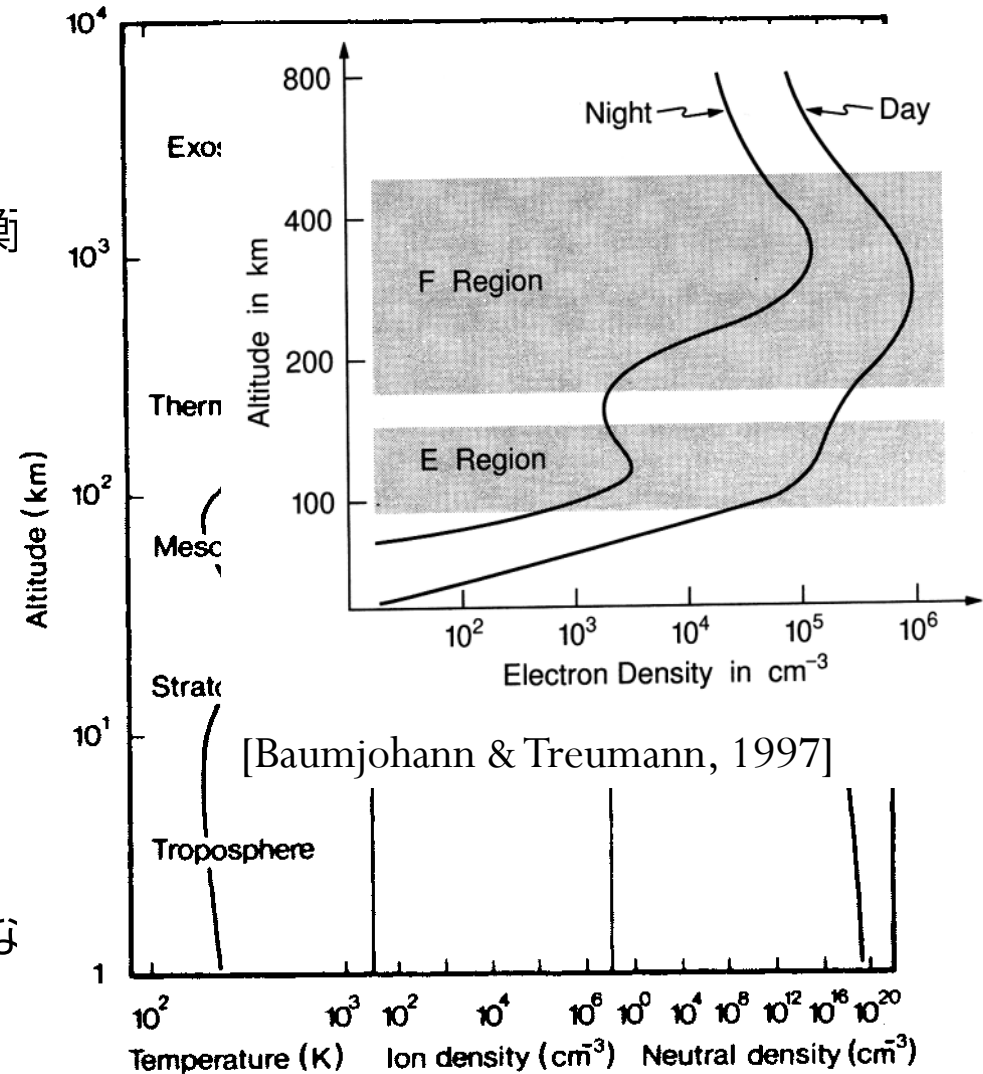
目次

- 電離圏のおさらい
- 地震後の電離圏擾乱
 - 電離圏ピーク密度
 - 電離圏全電子数(Total Electron Content)
- 地震前の電離圏擾乱
 - 高高度電離圏での電子温度異常
 - 電離圏ピーク密度異常
 - TEC異常
 - ケーススタディ/統計的研究
- 東北地方沖地震での例
 - 地面の揺れに伴う大気振動
 - 津波に伴う大気振動
 - 電離圏に大きな穴？ (広範囲のTEC減少)

電離圏についておさらい

- 電離圏

- F2層(300km~)
 - 光化学平衡と拡散平衡
 - O^+
- F1層(180~300km)
 - 光化学平衡
 - O_2^+ , NO^+
- E層(90~150km)
 - 光化学平衡
 - N_2^+ , O_2^+
- D層(60~90km)
 - ライマン α
 - 水和イオン($H^+(H_2O)_n$)な



[Rees, 1989]

電離圏の変動させるもの

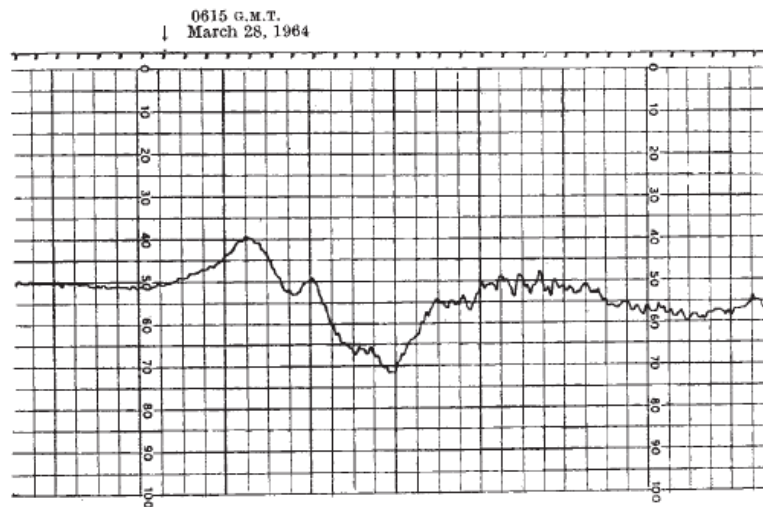
- 電離圏に影響を与えるもの
 - 太陽極端紫外光の27日変動/11年変動
 - 熱圏中性大気/中性大気風の季節変化
 - 局所的な風の変動
 - 太陽での爆発 (強いX線/高速・高密度プロトン)
 - 地磁気嵐 (太陽風のエネルギーが流入)
 - 対流圏での対流活動
 - Etc ...
 - 地震も ???

地震後に観測される電離圏擾乱

初期の観測 大気振動/電離圏擾乱

- アラスカ地震(1964/03/28)
 - 微気圧計で地震のレイリー波に伴う大気振動
 - イオノゾンデ観測で電離圏に擾乱

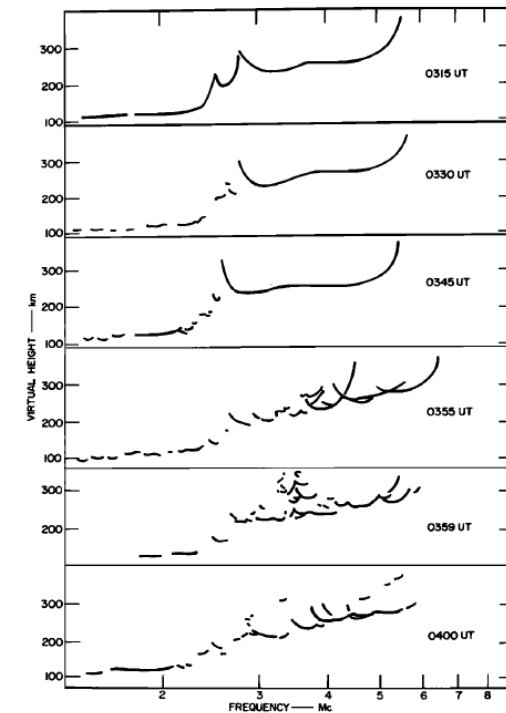
$10^6 \text{ cm}^{-3} \sim 9 \text{ MHz}$



[Bolt, 1964]

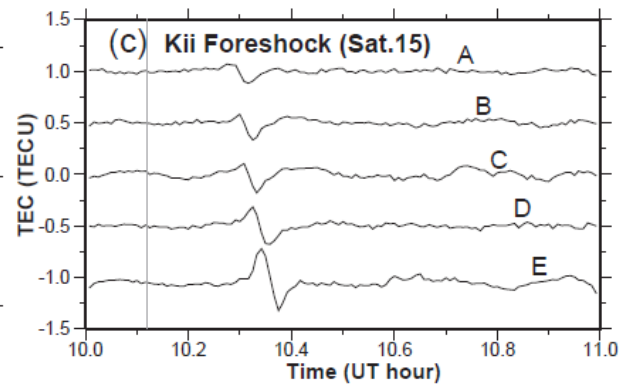
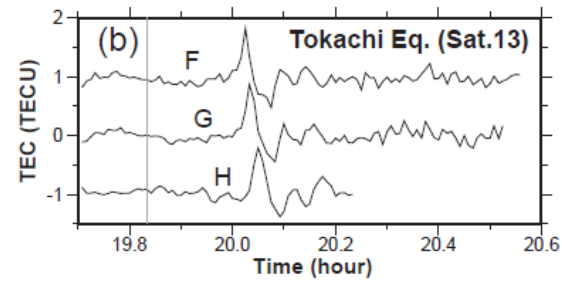
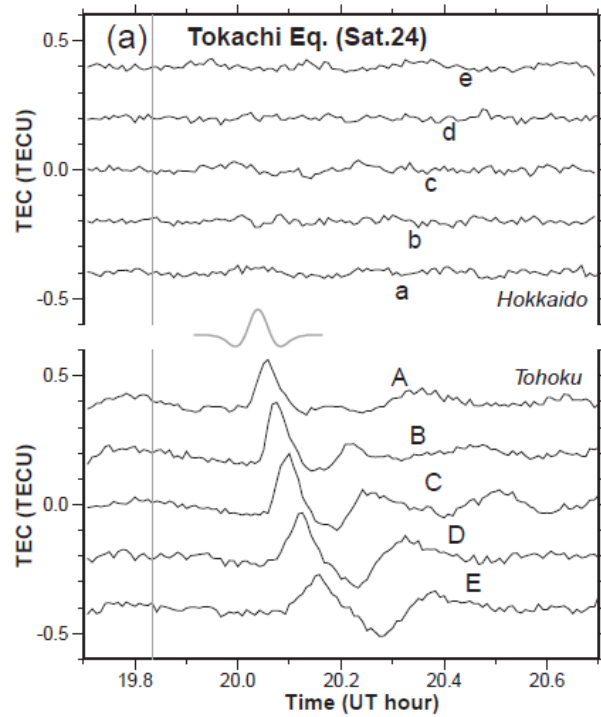
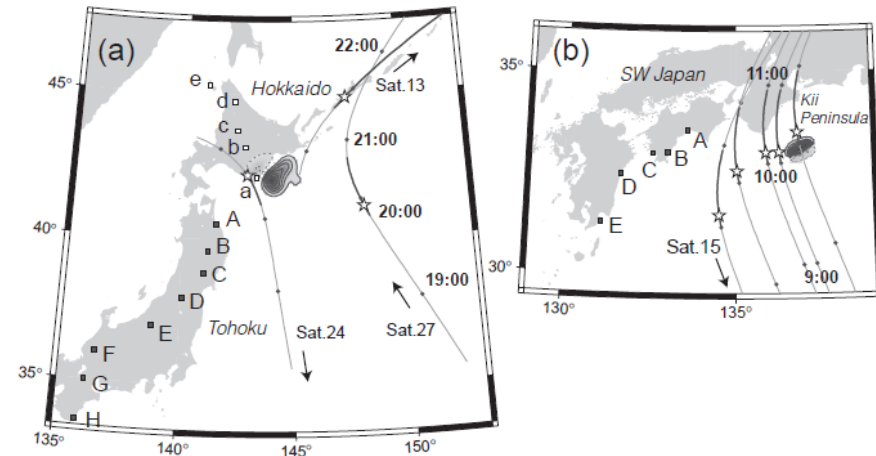
0.0048 mbar/1mm

6 mm/min

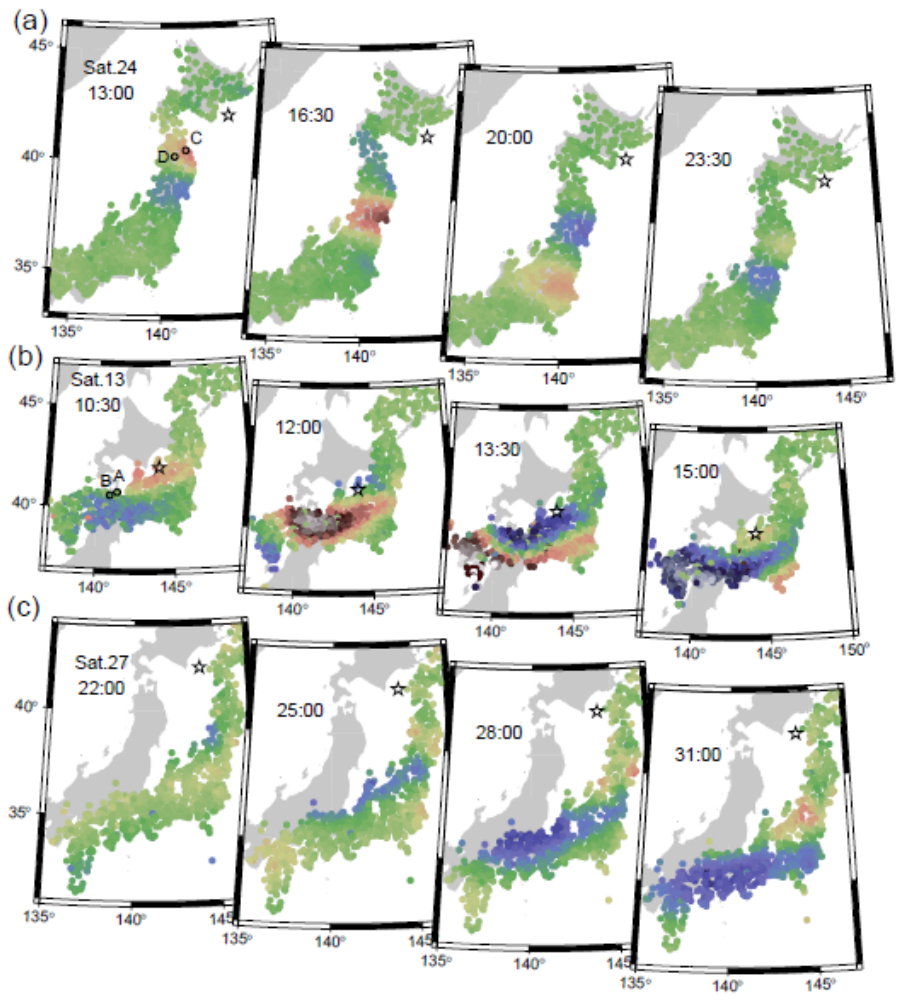


[Leonard & Barnes, 1965]

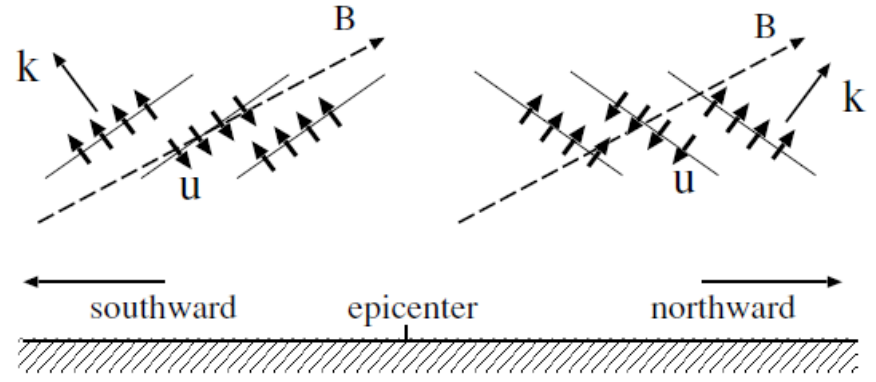
TEC変動



[Heki & Ping 2005]



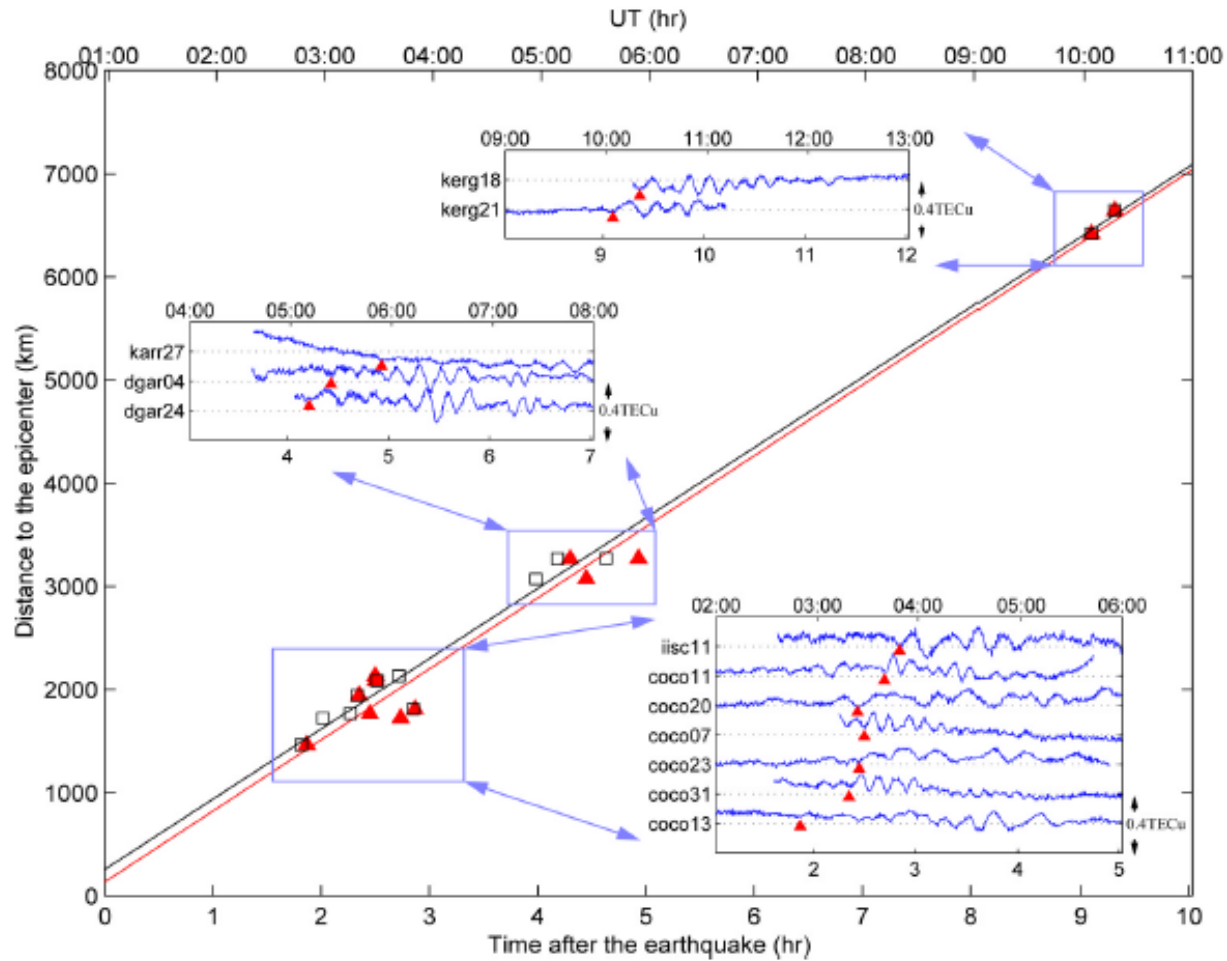
[Heki & Ping 2005]



[Otsuka et al., 2006]

津波でも

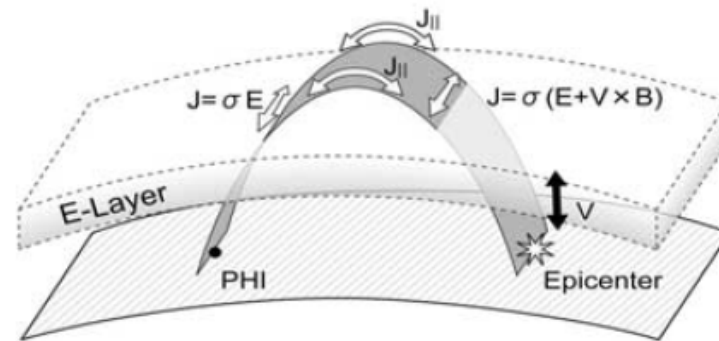
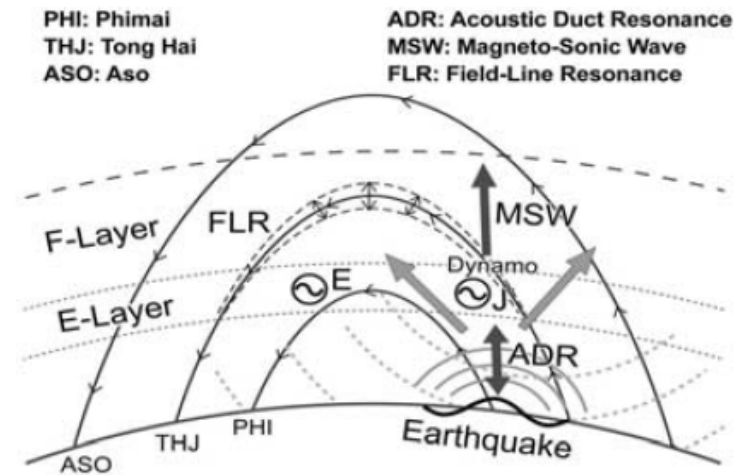
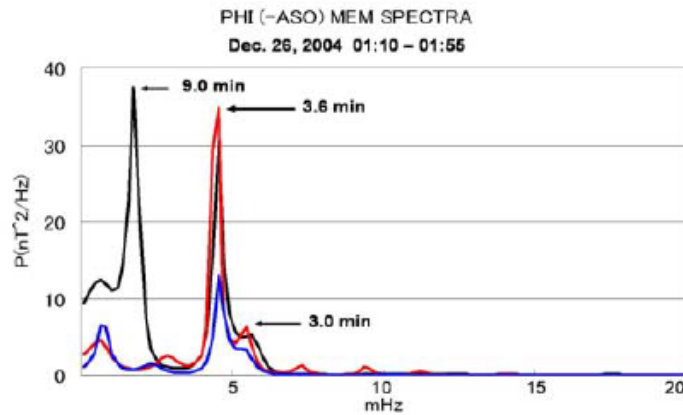
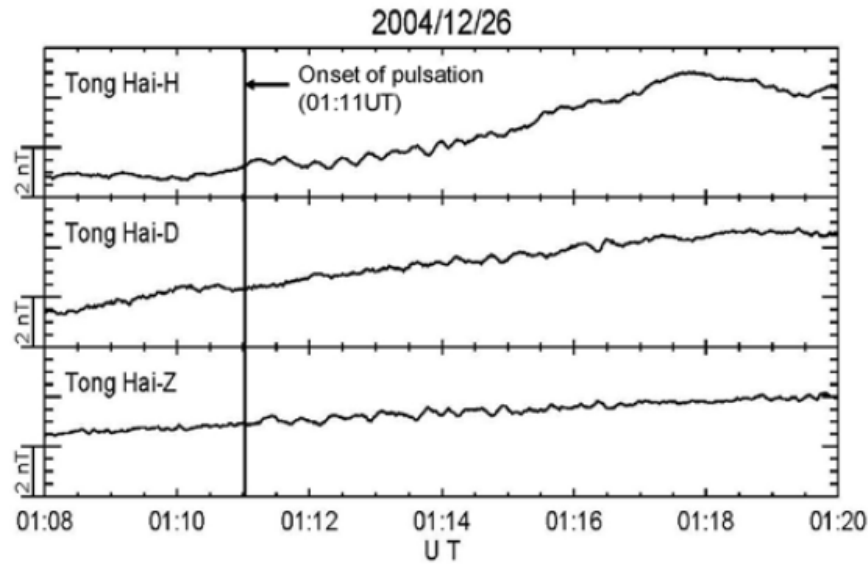
—津波
—TEC変動



□津波到着時刻, ▲TEC変動開始点

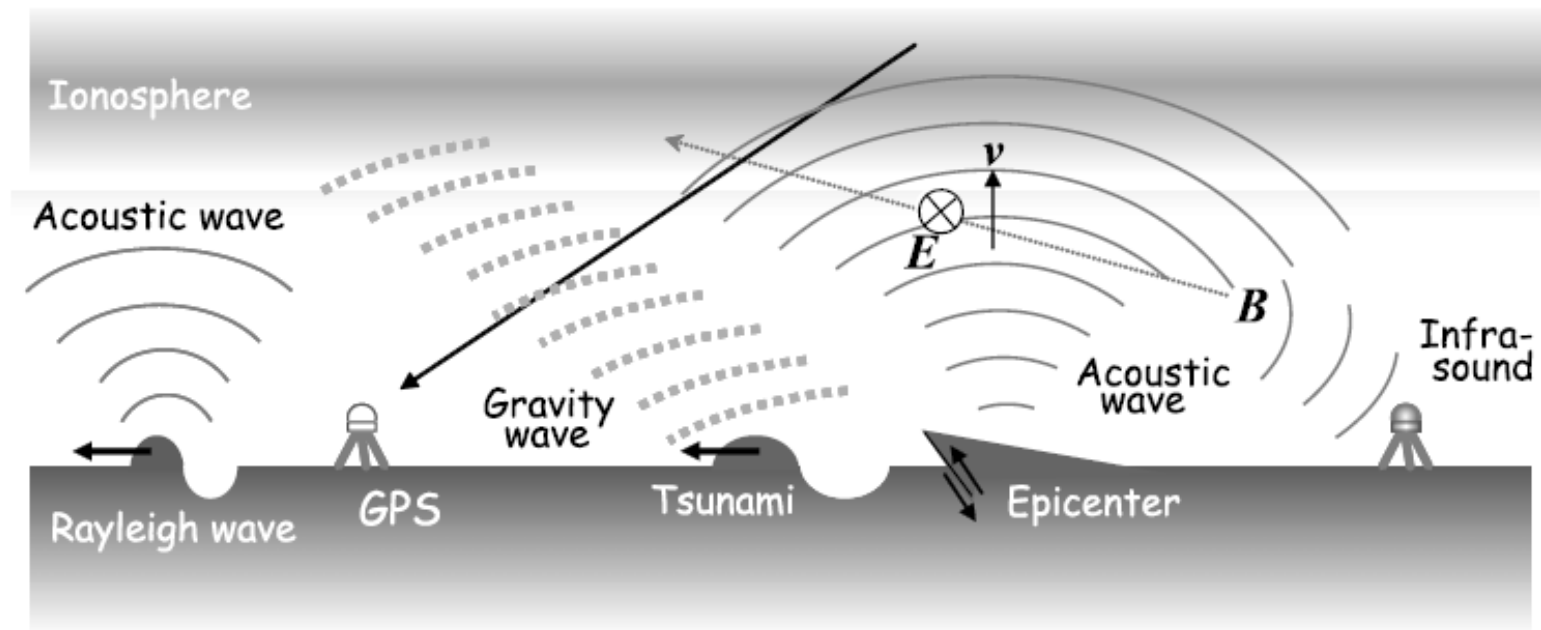
[Liu et al., 2006]

磁場変動



[Iyemori et al., 2005]

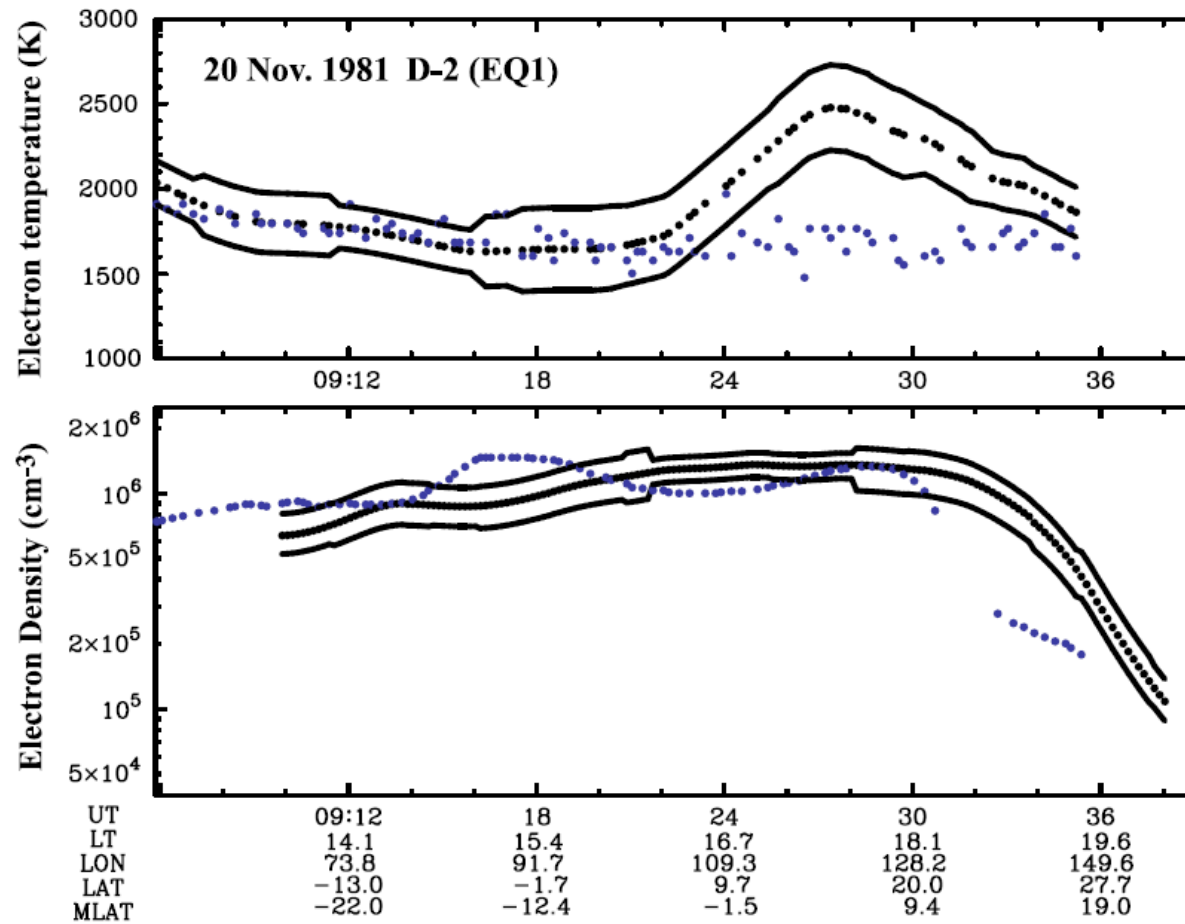
地震後の電離圏擾乱



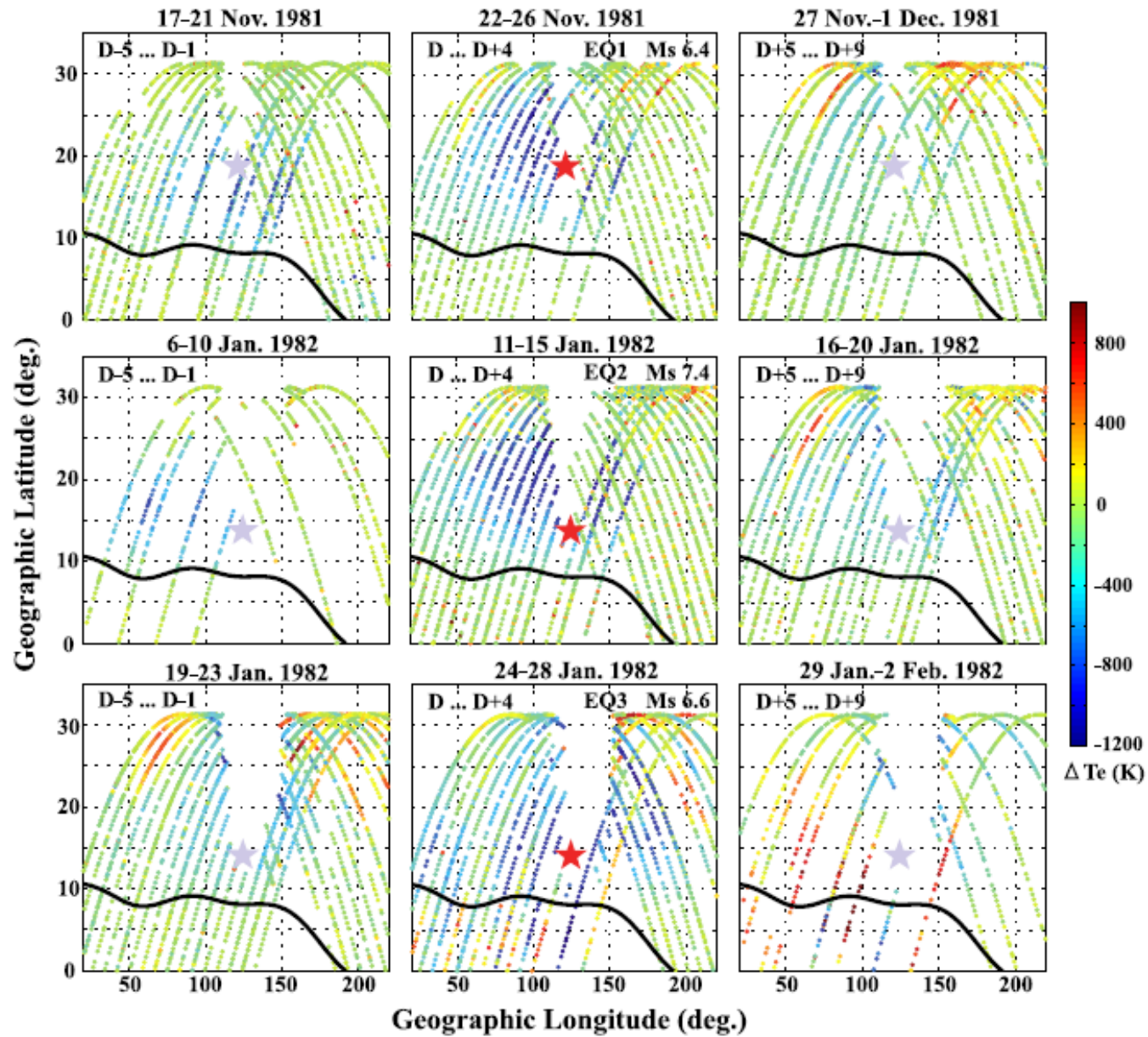
[Heki, 2006]

地震前に観測される電離圏異常

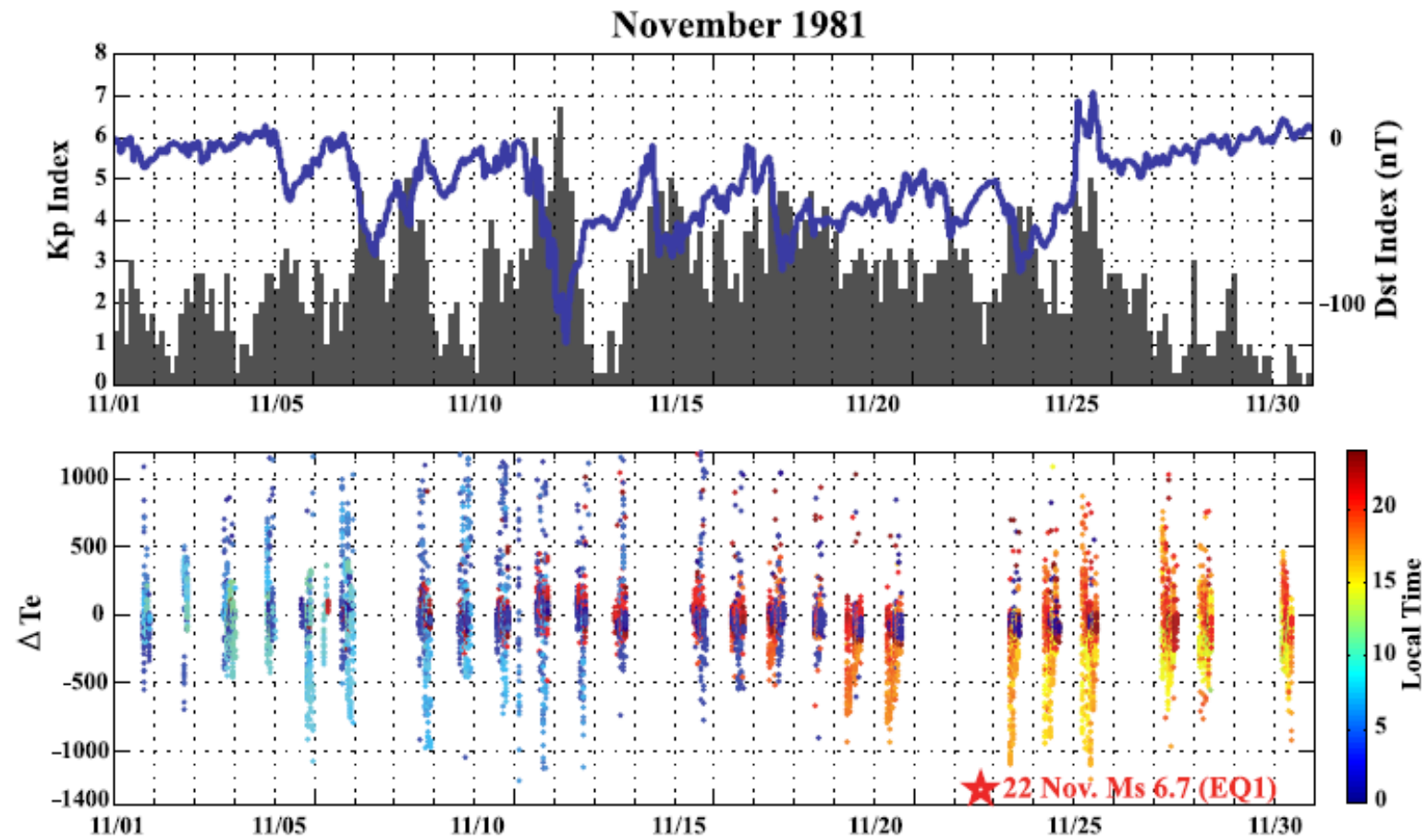
地震前に観測された電子温度(T_e)異常



[Oyama et al., 2008]



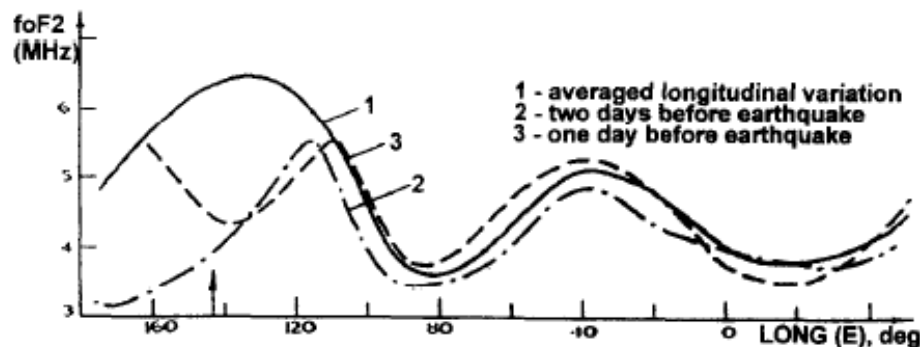
[Oyama et al., 2008]



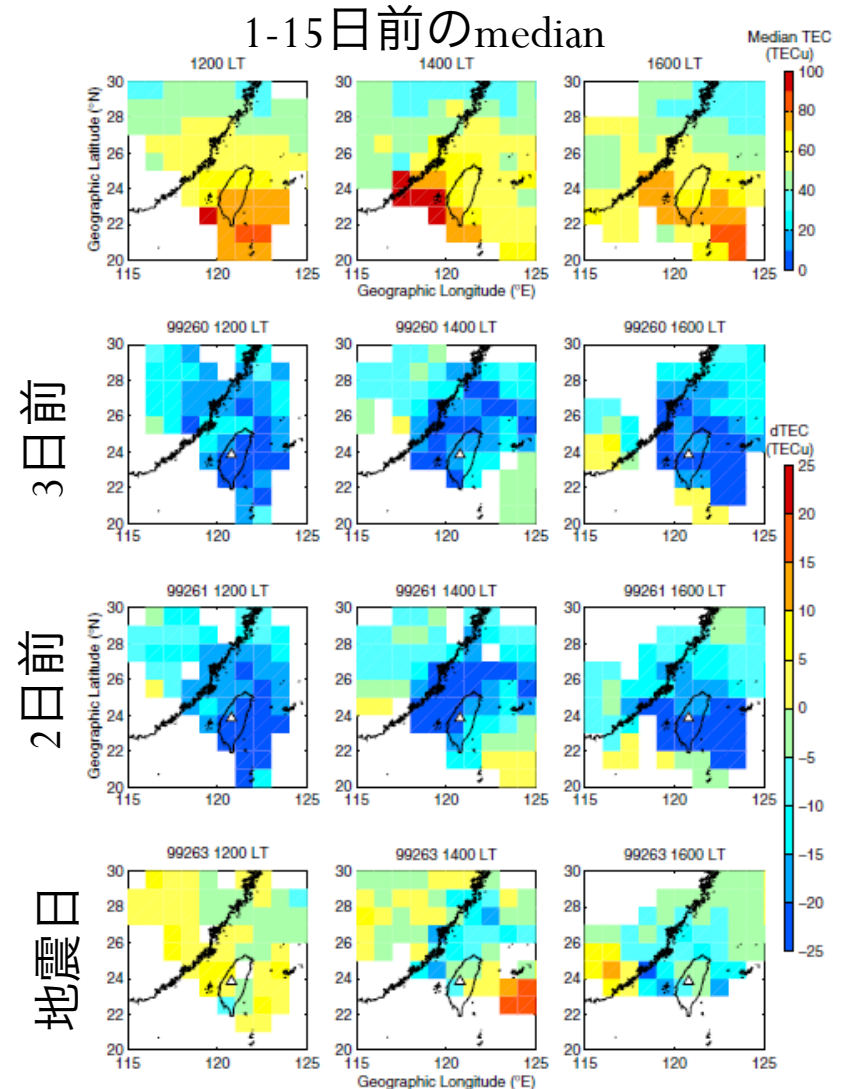
[Oyama et al., 2008]

地震前に観測される擾乱

- 衛星から観測された電離圏ピーク電子密度に地震の数日前に異常 [Pulinet, 1998]
- 集集(Chi-Chi)地震 (1999/9/21, Mw7.7)の数日前にTECに異常[Liu et al., 2001]

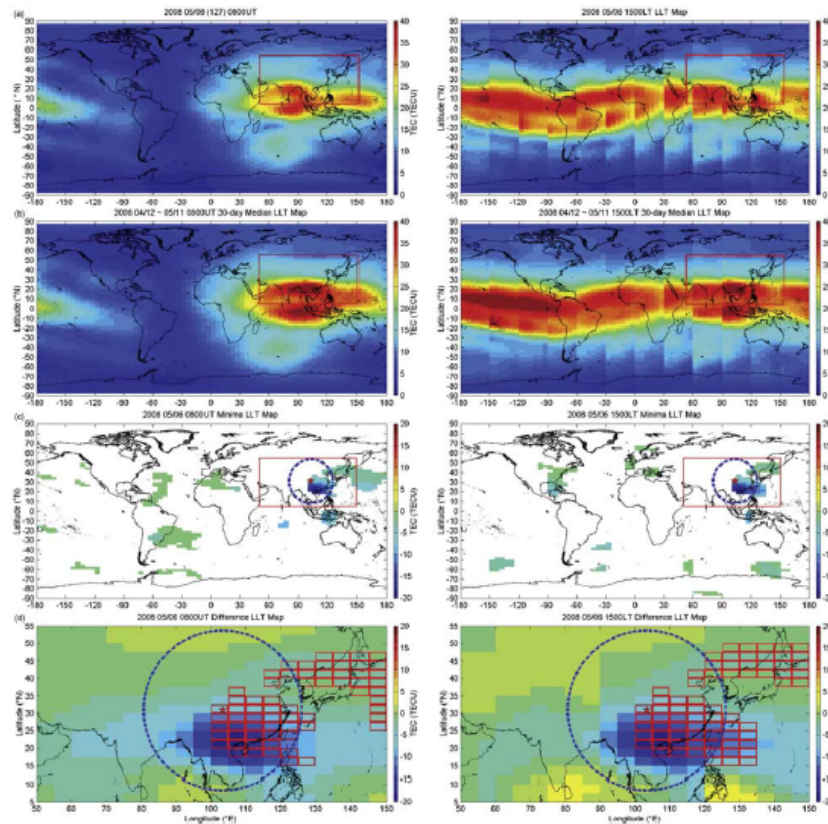


[Pulinet, 1998]

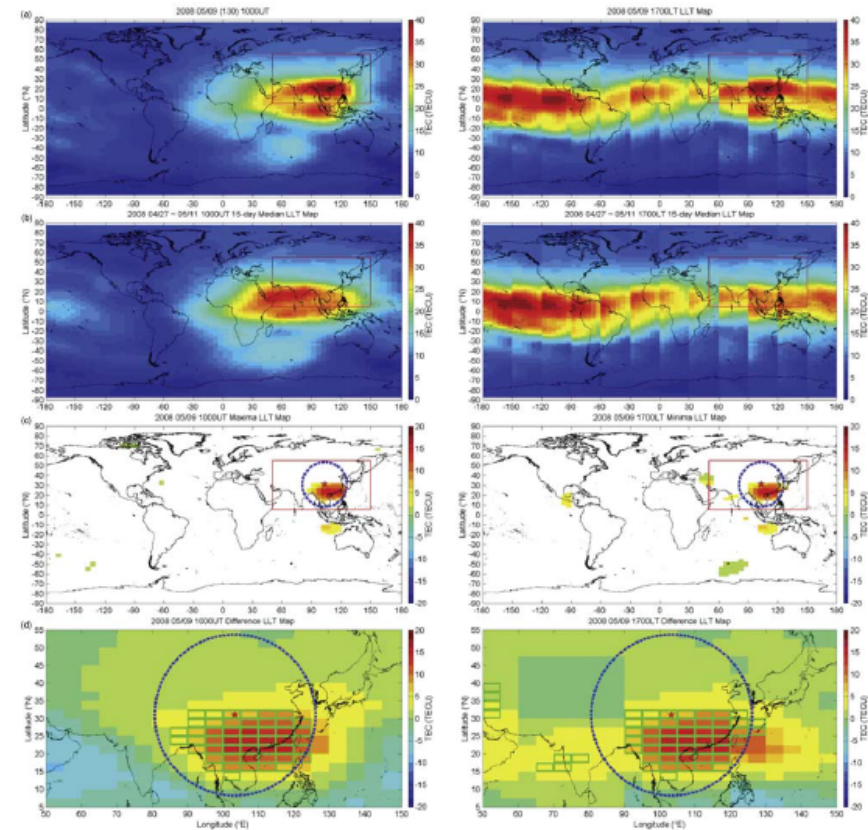


[Liu et al., 2001]

四川地震(2008/5/12, Mw7.9)



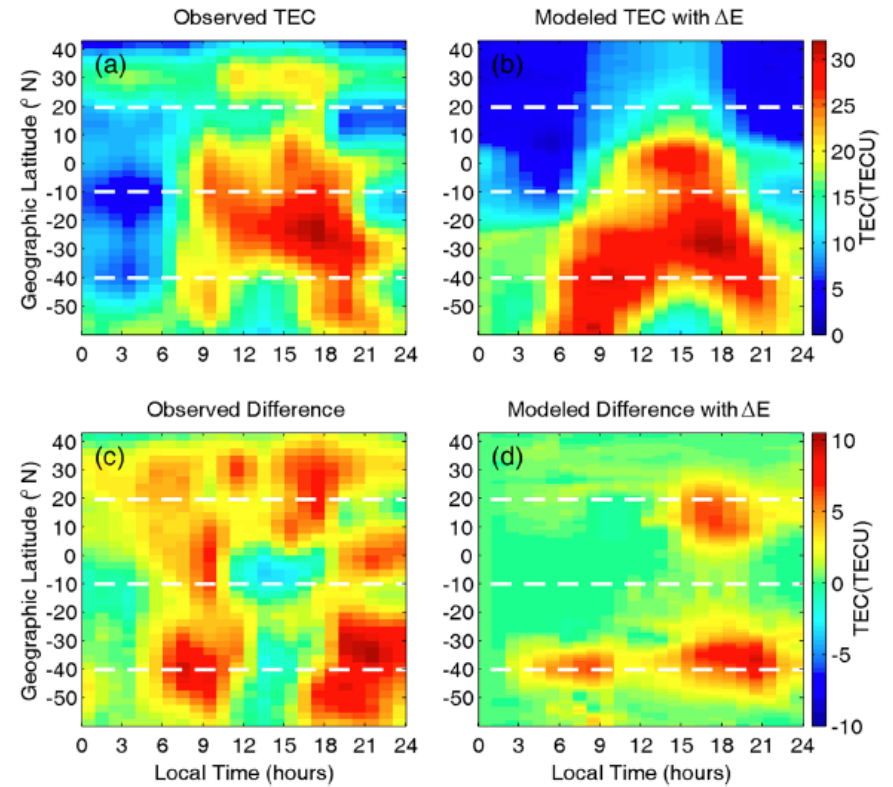
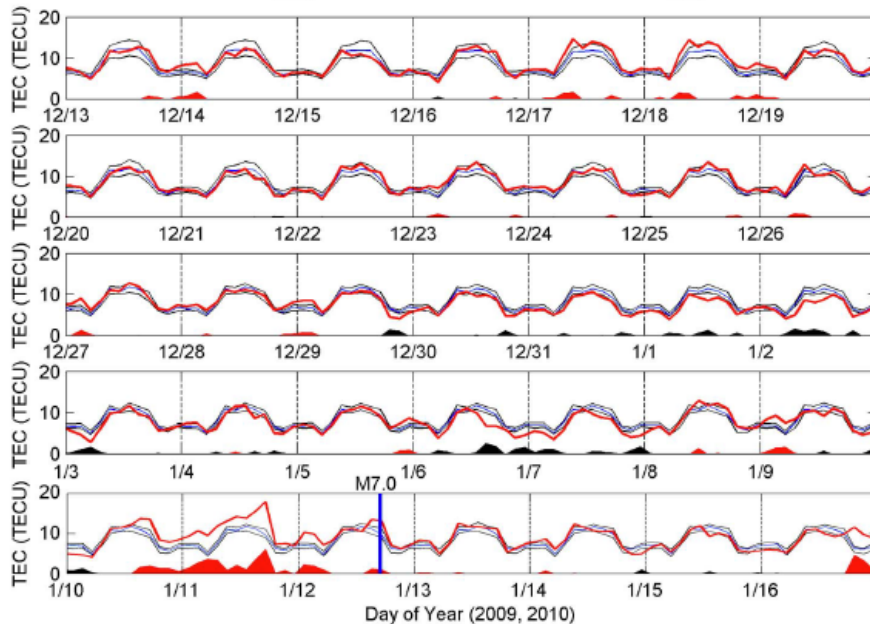
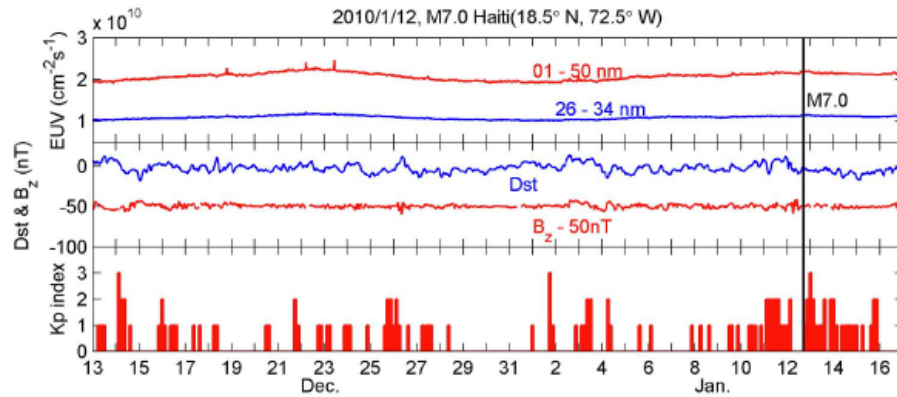
D-6に過去30日間で一番大きなTEC減少



D-3に過去30日間で一番大きなTEC増加

[Liu et al., 2009]

ハイチ地震(2011/1/17, Mw7)



[Liu et al., 2011]

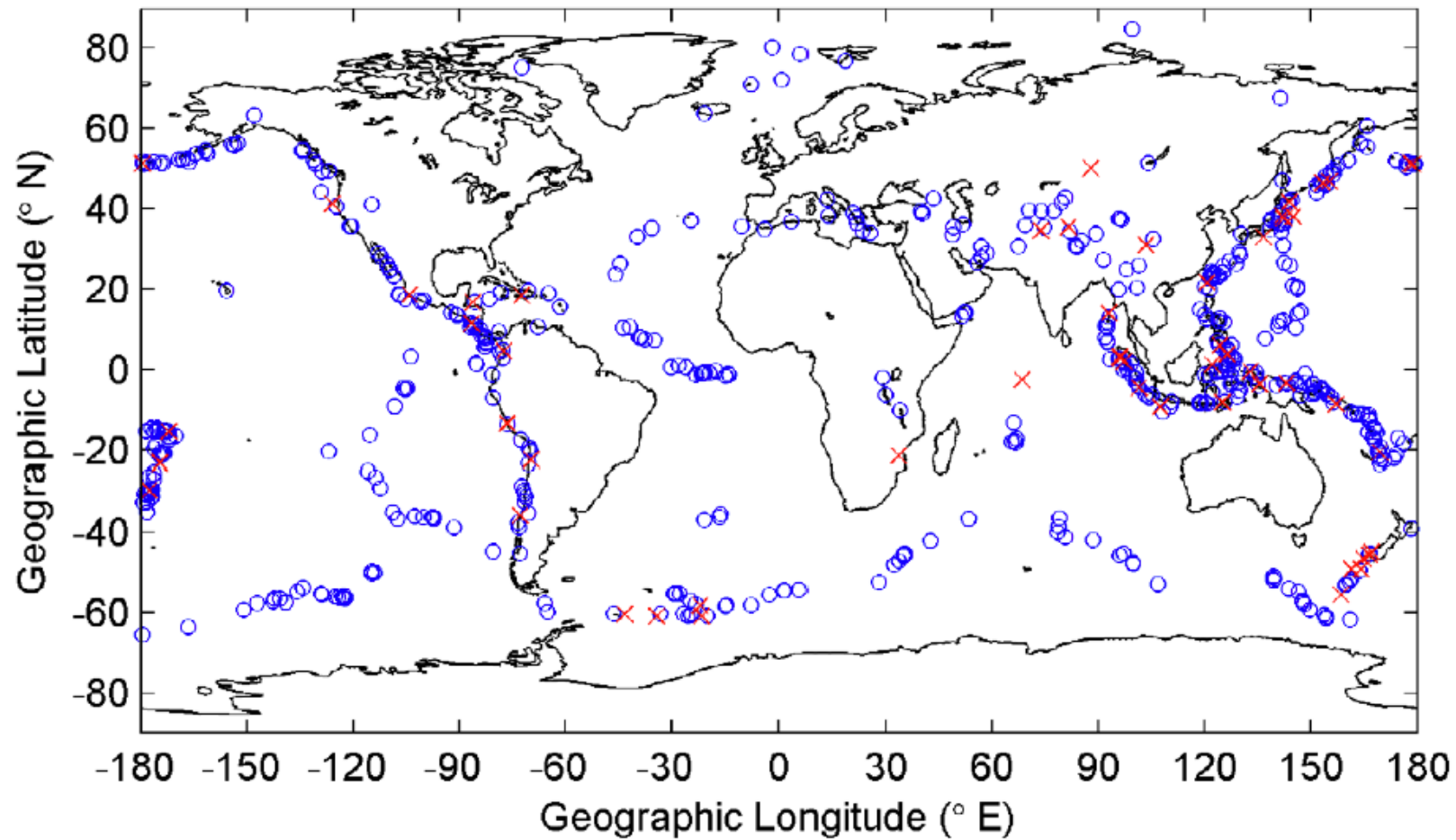
皆さんが違和感を持ったであろう点

- 電離圏は日々変動が大きいいため地震とは関係ない変動とまれにしか起こらない地震とを結び付けて認識してしまう可能性が大きい
- サンプル数を増やして、統計的に処理が必要あり

	異常現象あり	異常現象なし
地震あり	A	B
地震なし	C	D

解析に使った地震

M \geq 6.0 Earthquakes (2002-2010)

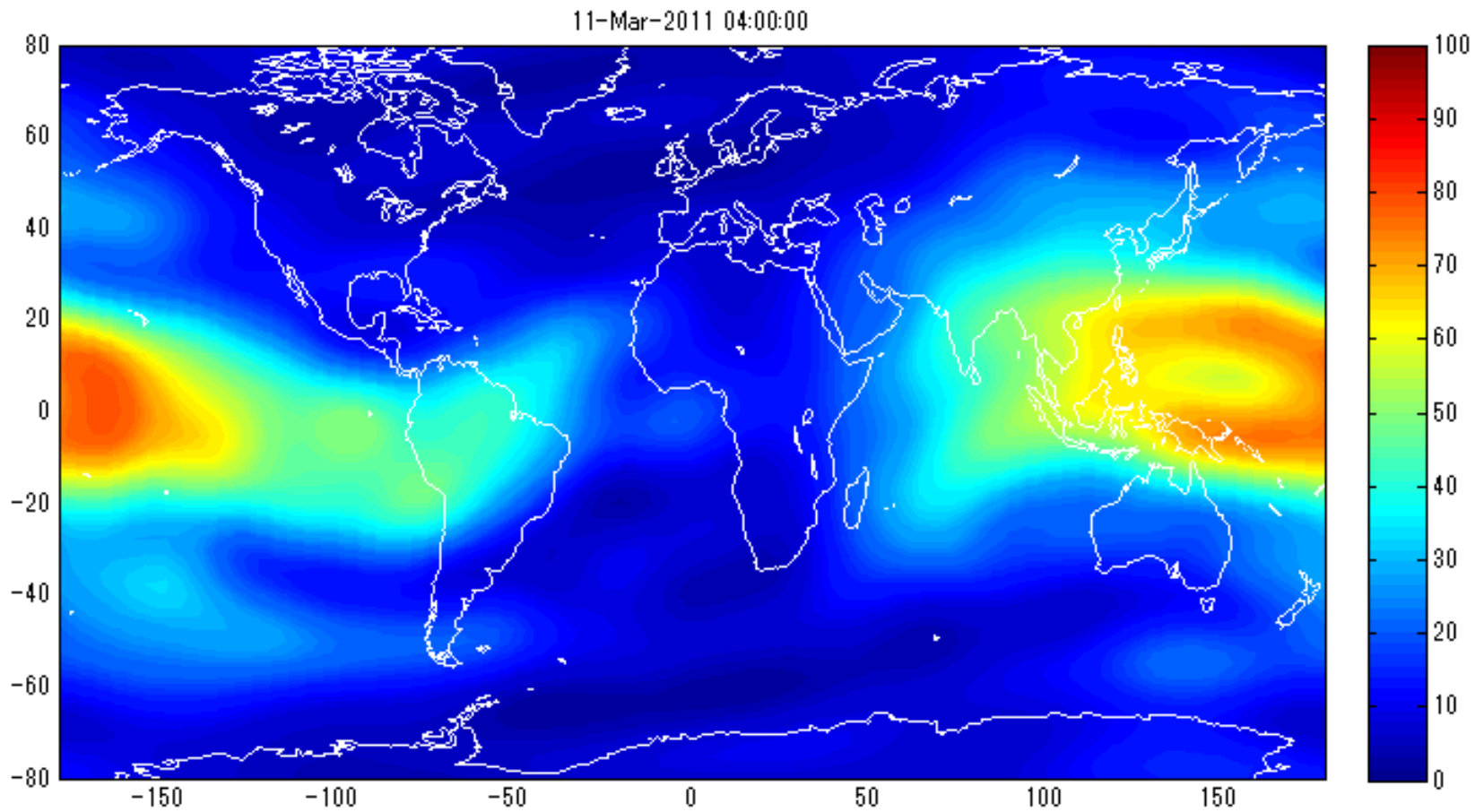


[Le et al., 2011]

○ : $6 \leq M < 7$, × : $M \geq 7$

Fig. 1

GIM TECマップの例



異常が観測される割合

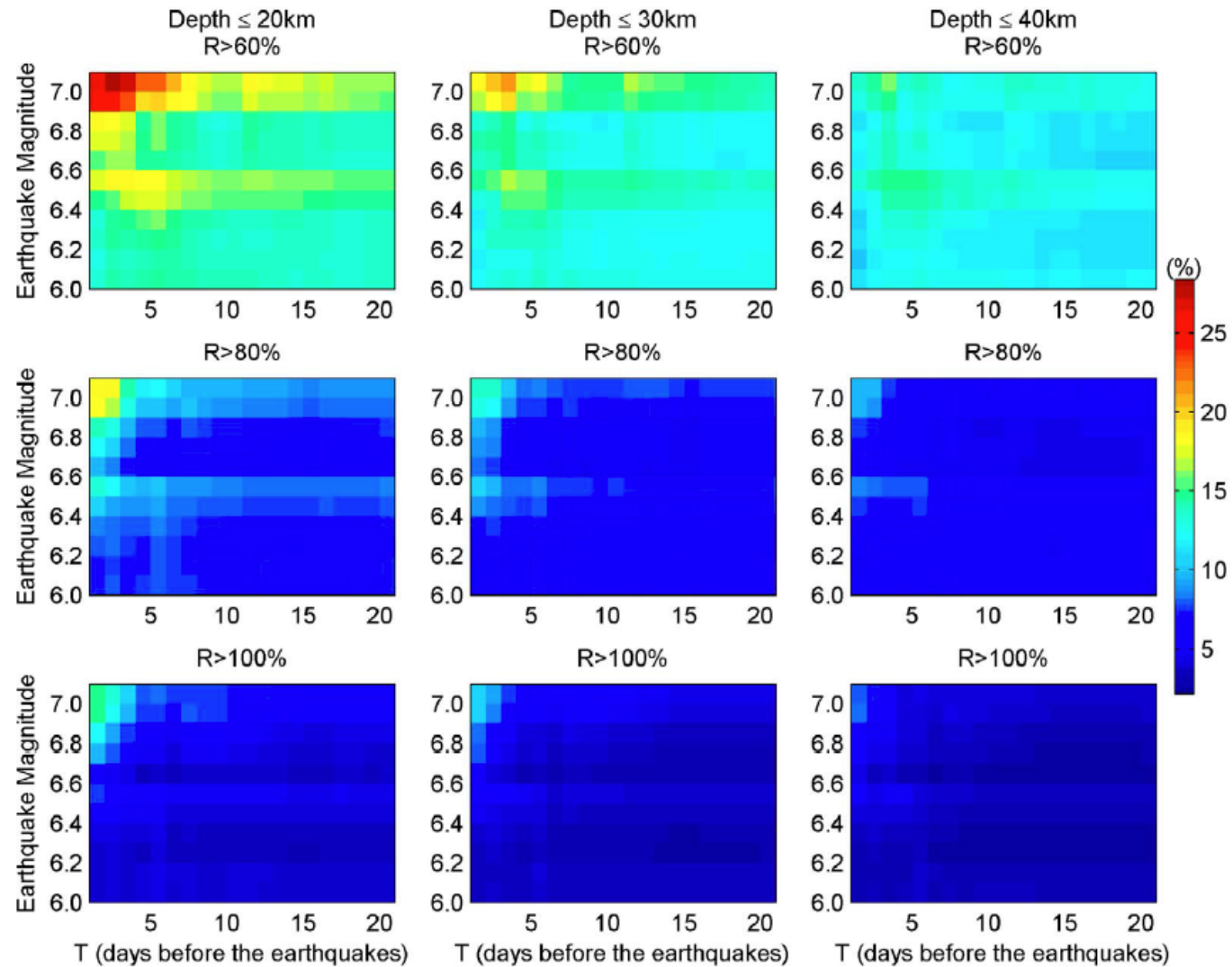
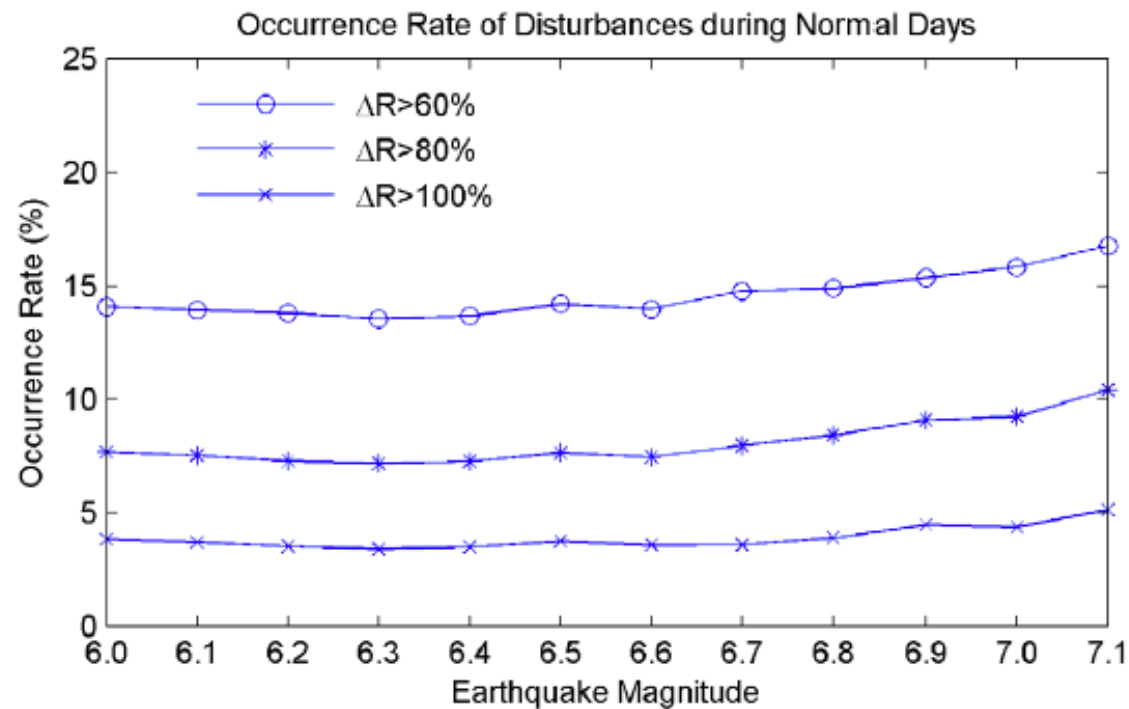


Fig. 2

[Le et al., 2011]

地震から遠く離れた日は？

- 地震前61-300日のデータを参考として解析
 - $M \geq 6$ がある場合は地震前後15日を排除
 - 磁気嵐を排除

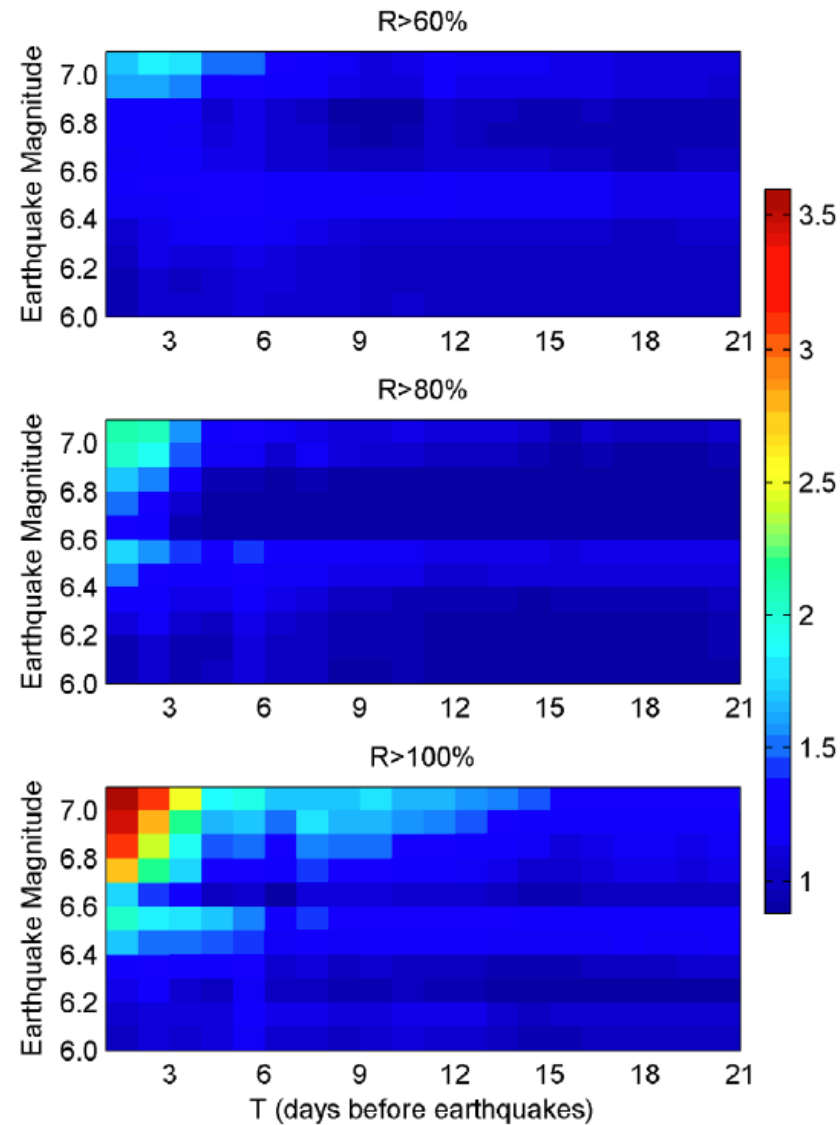


[Le et al., 2011]

Fig. 3

地震がないときと比べてどのくらい強くシグナルが出るか？

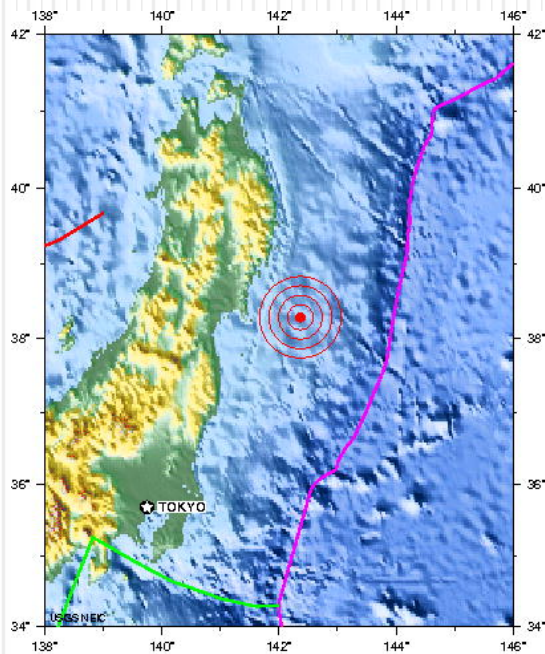
- 深さ $\leq 20\text{km}$
- 図2と図3の比



[Le et al., 2011]

Fig. 4

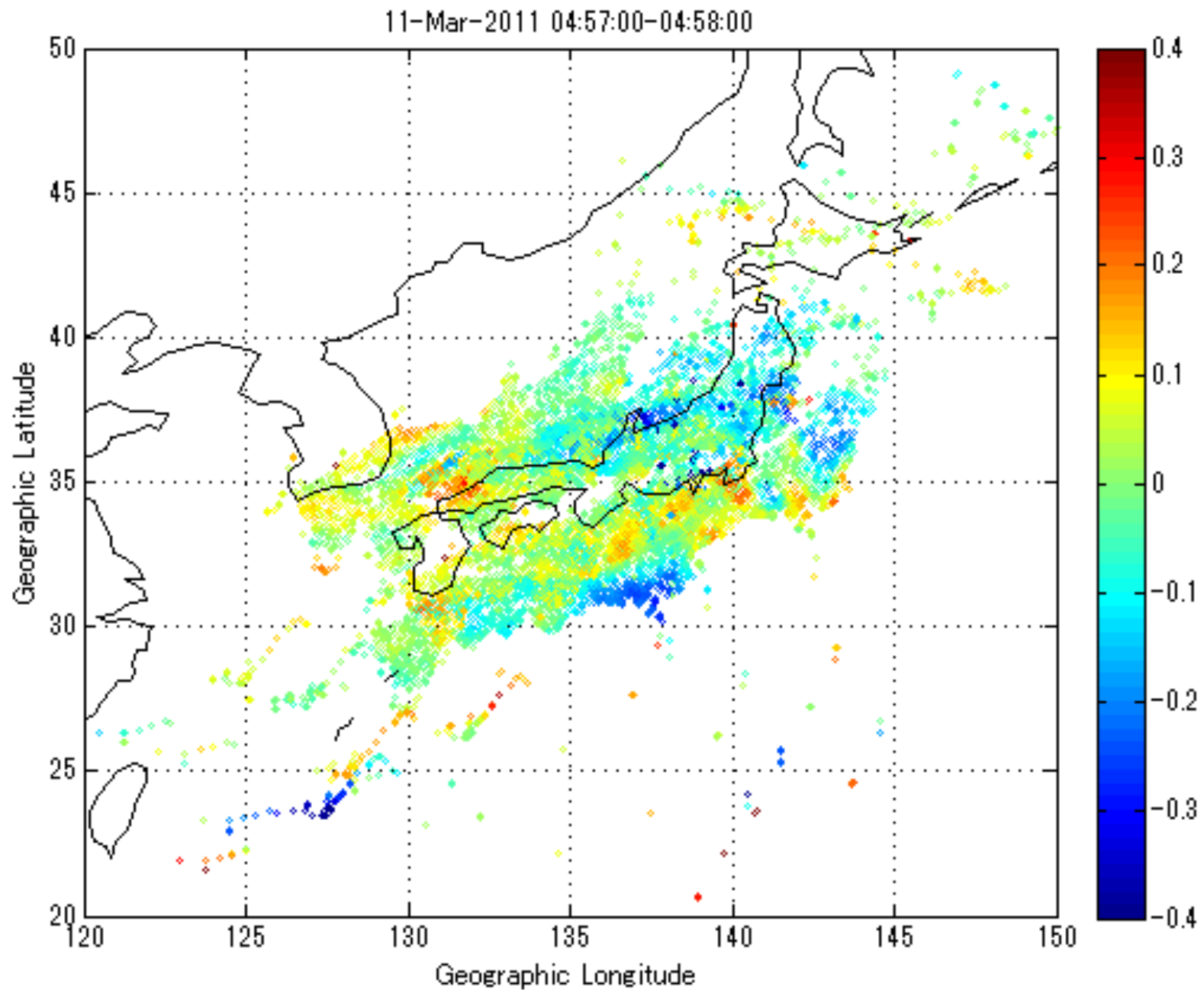
東北地方太平洋沖地震事例紹介



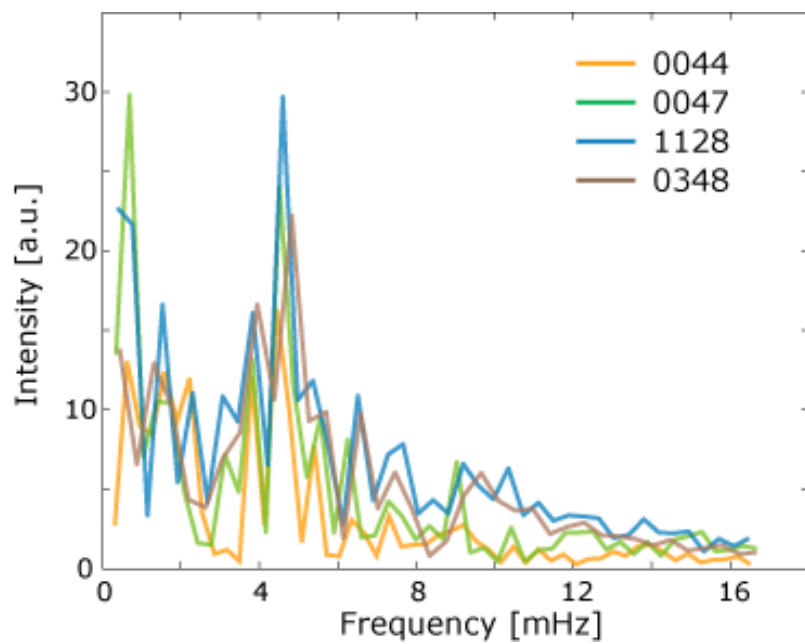
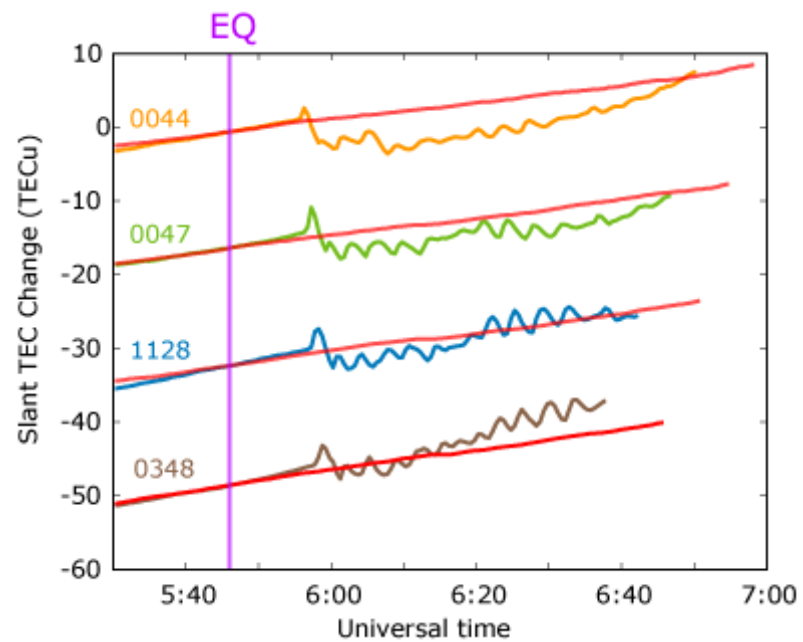
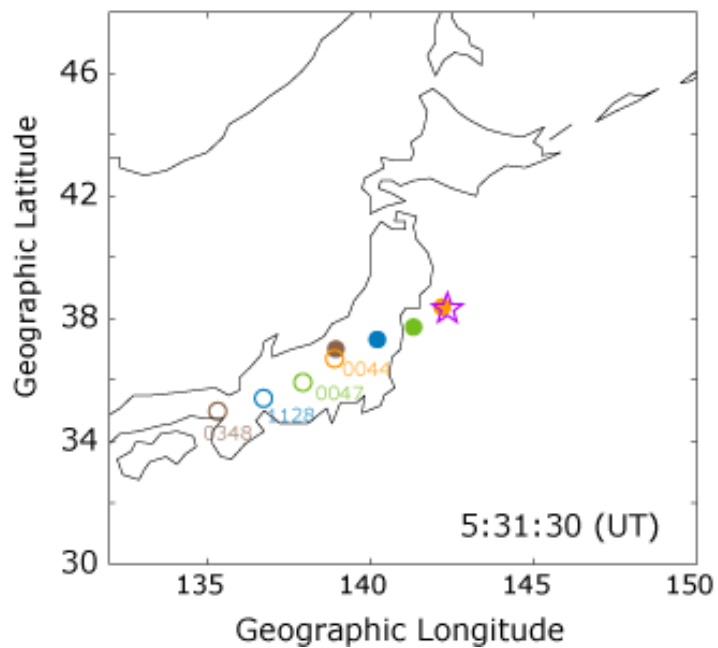
NEAR EAST COAST OF HONSHU, JAPAN
2011 03 11 05:46:24 UTC 38.29N 142.37E Depth: 30.0 km
Earthquake Location

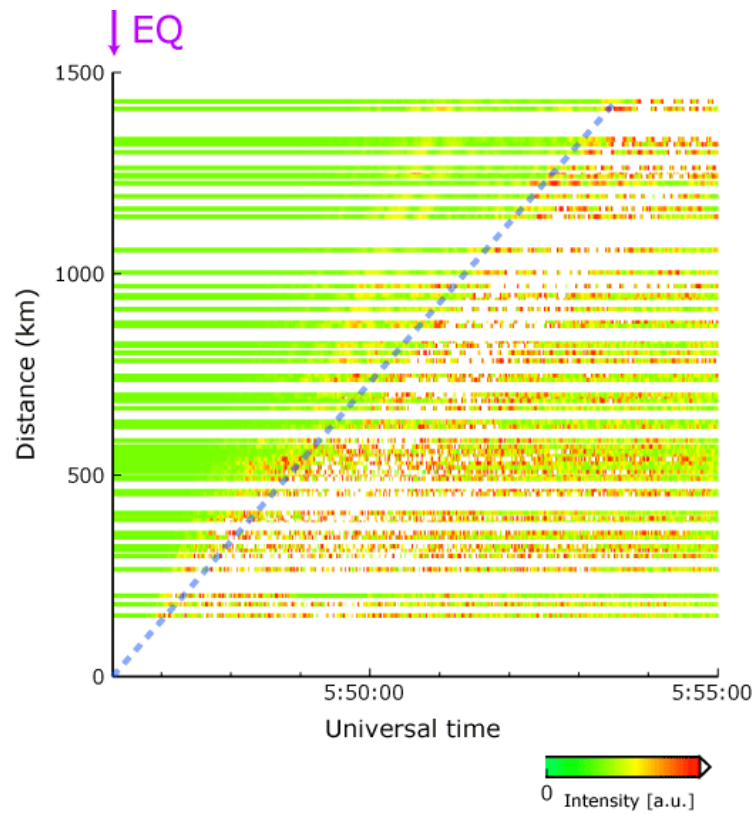
14:46:18 JST / 5:46:18 UT
北緯38度19分19秒，東經142度22分8秒
深さ 30 km
Mw 9.0

From USGS website

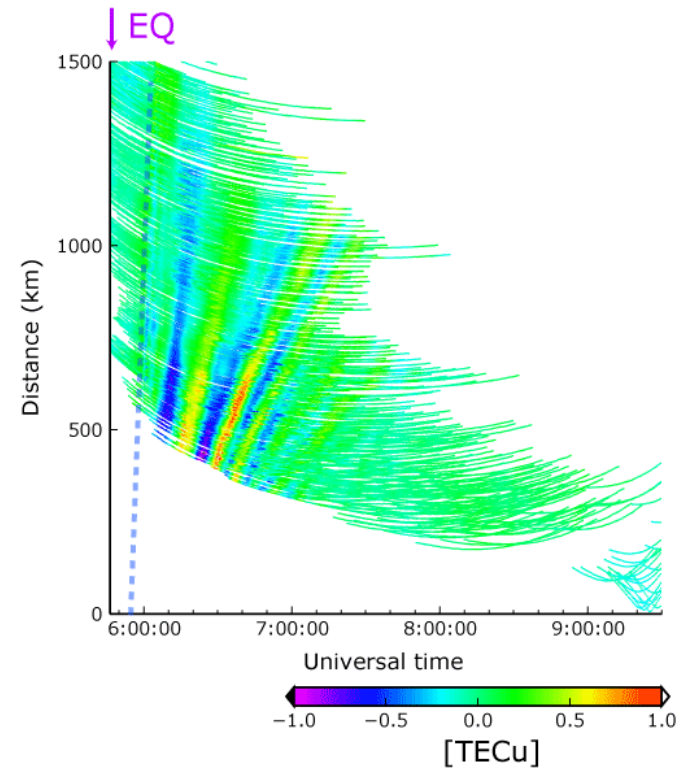


[05:47 UT 以降に注目]





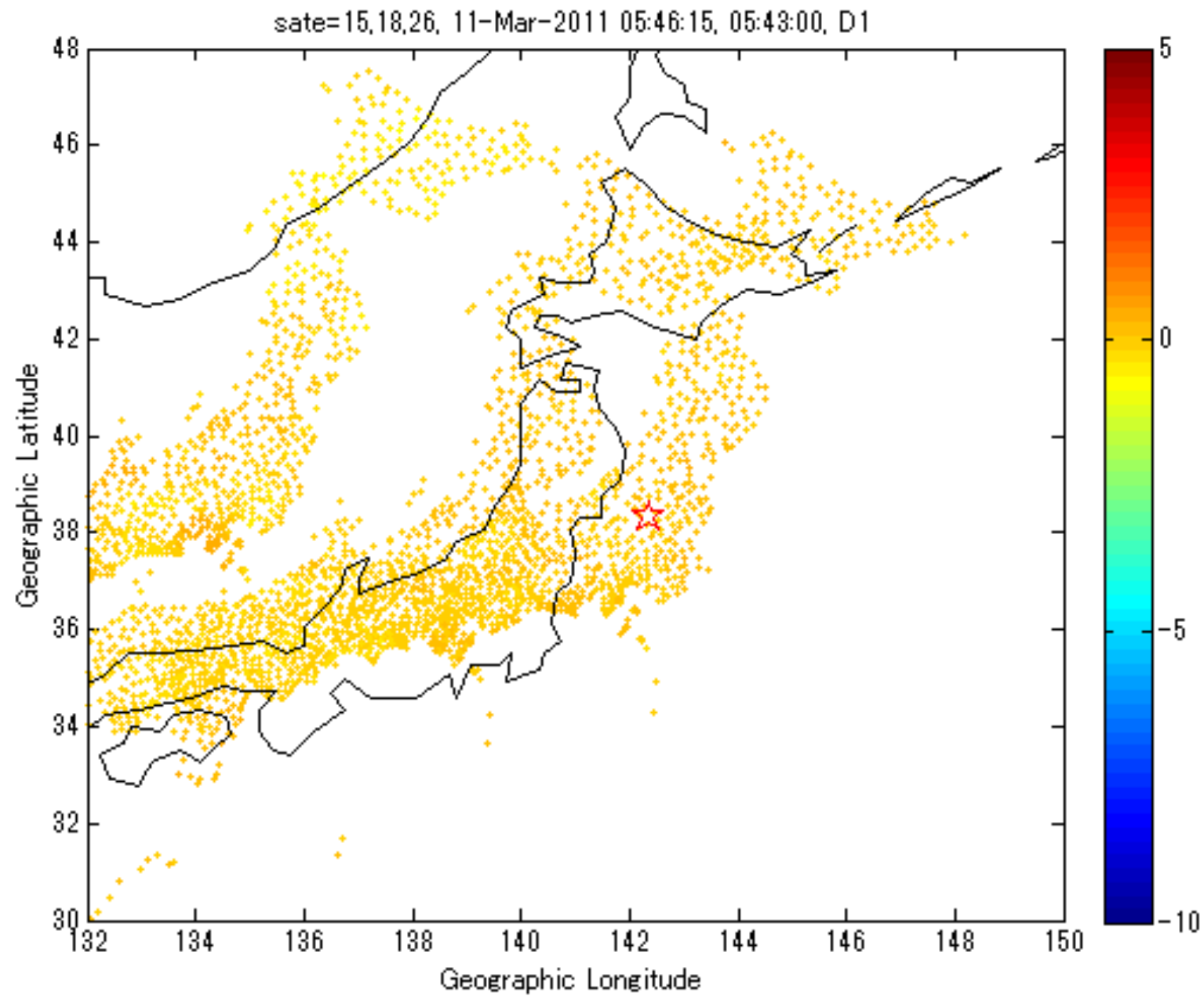
~3.4km/s



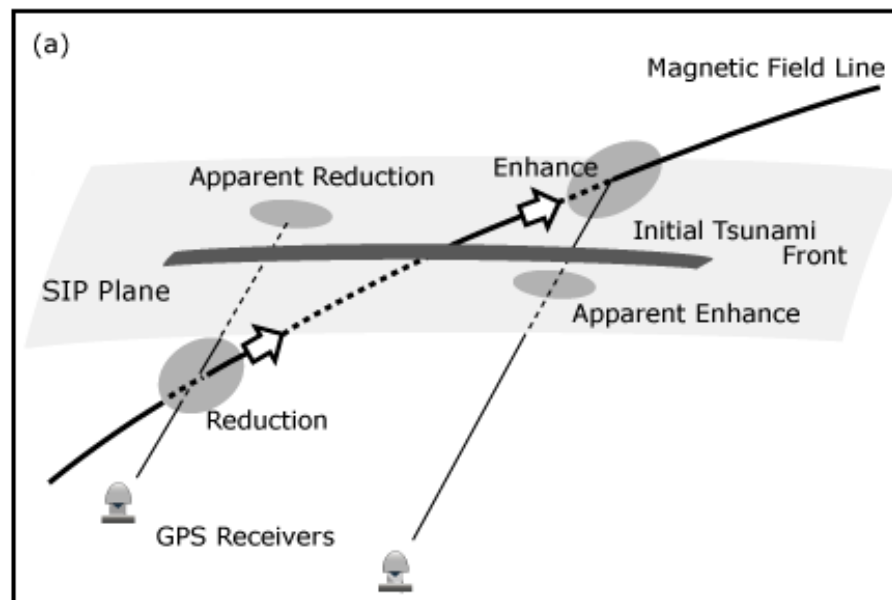
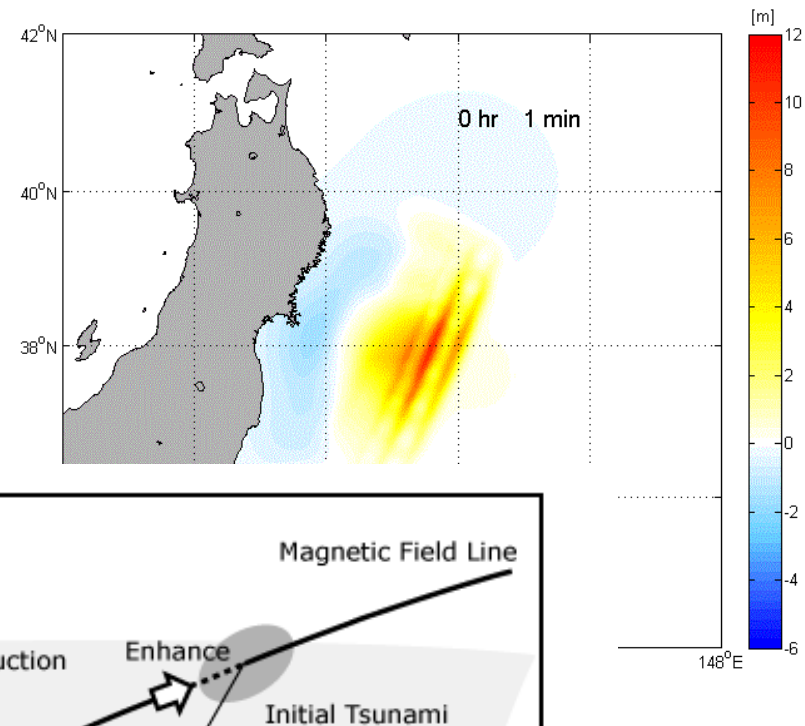
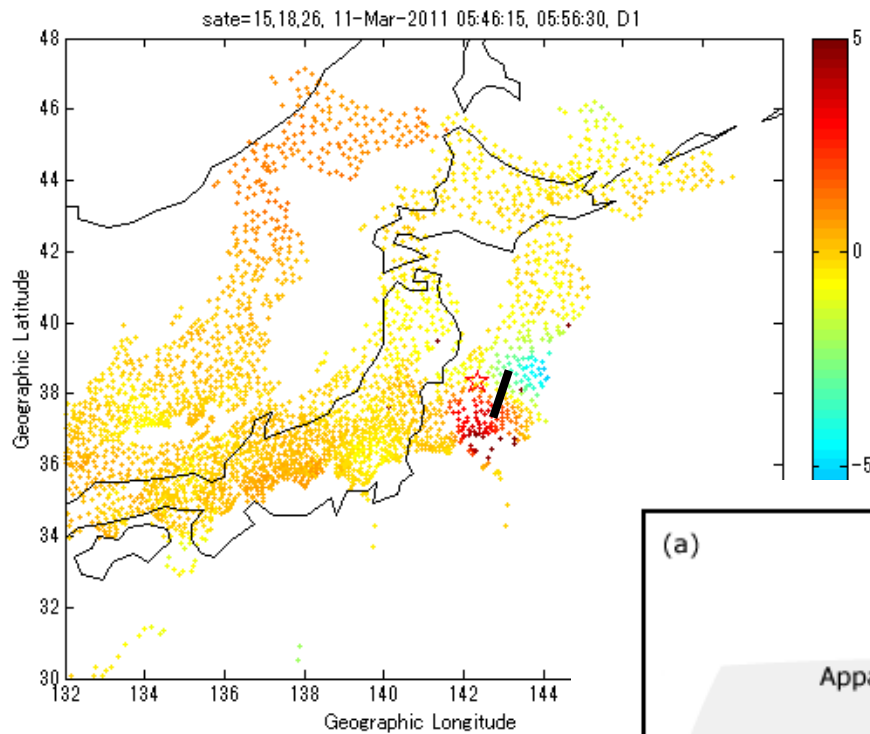
~3.0km/s

~750 m/s : 重力音波

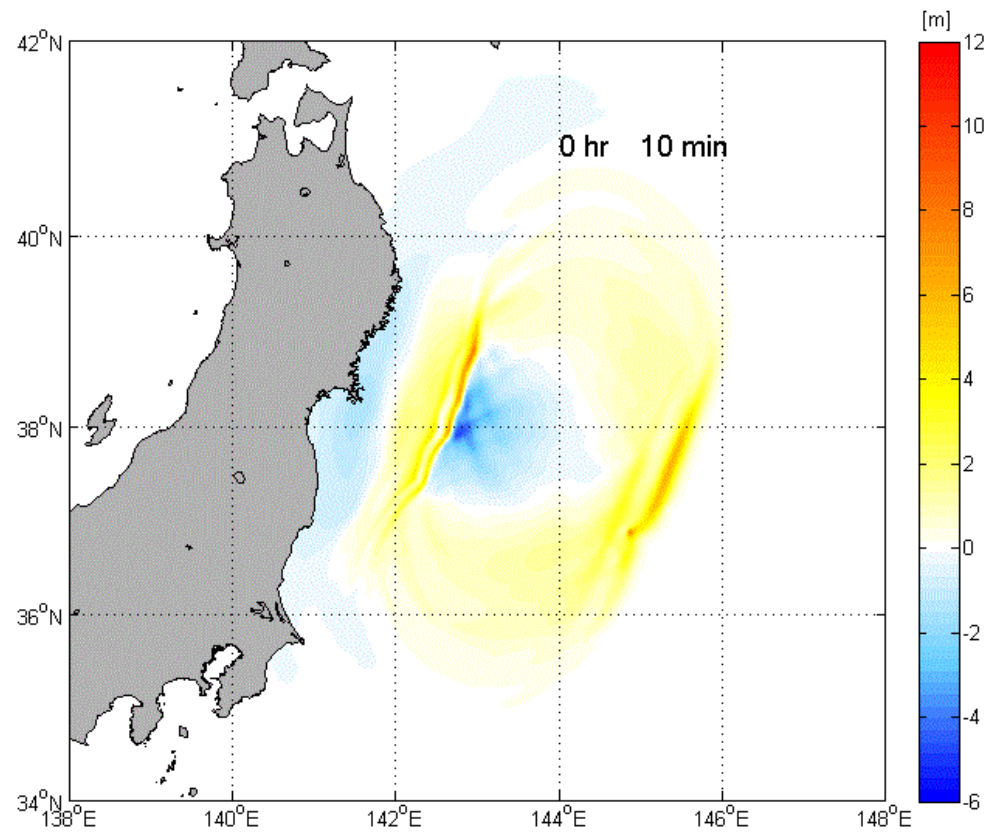
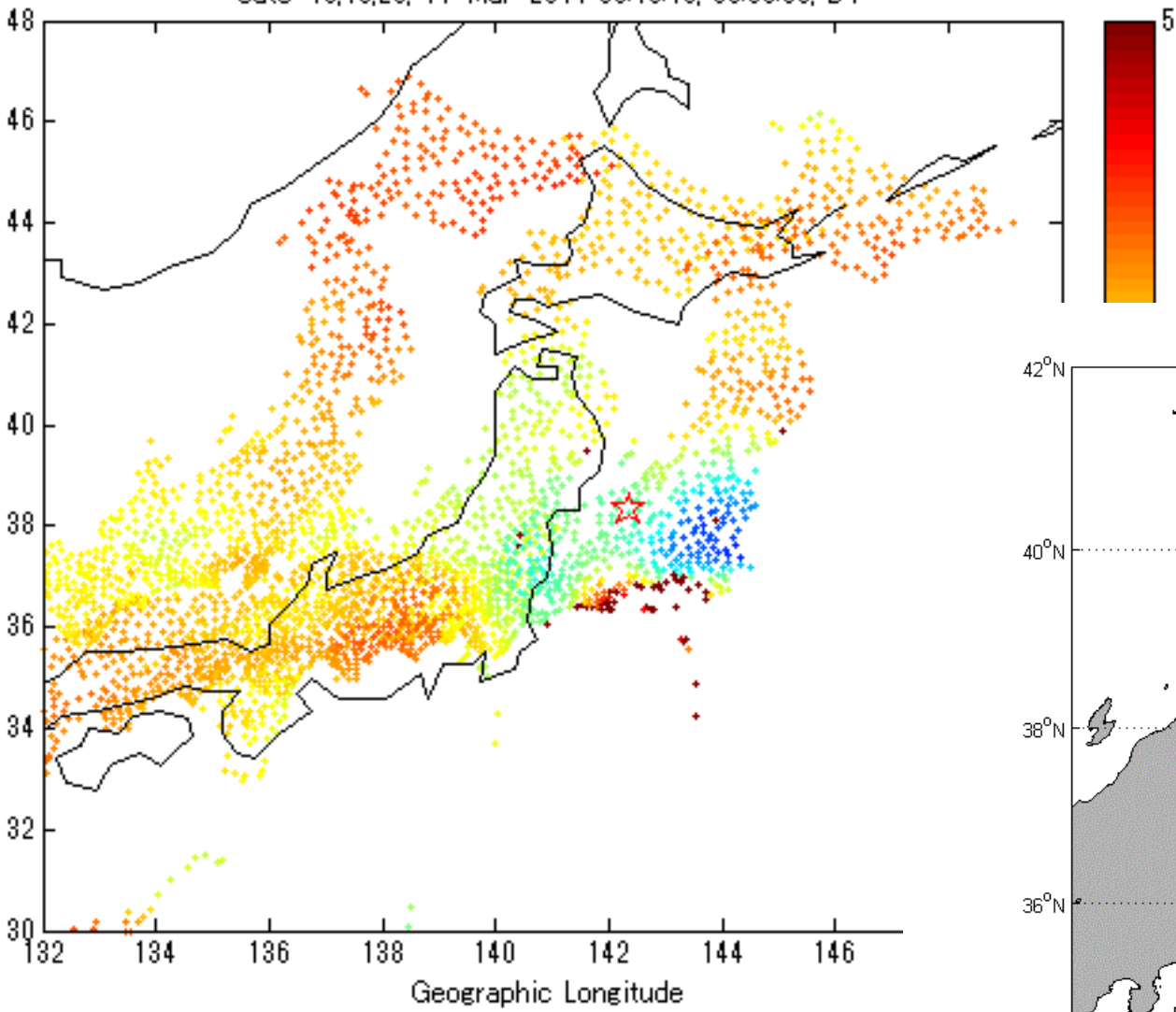
~200 m/s : 津波



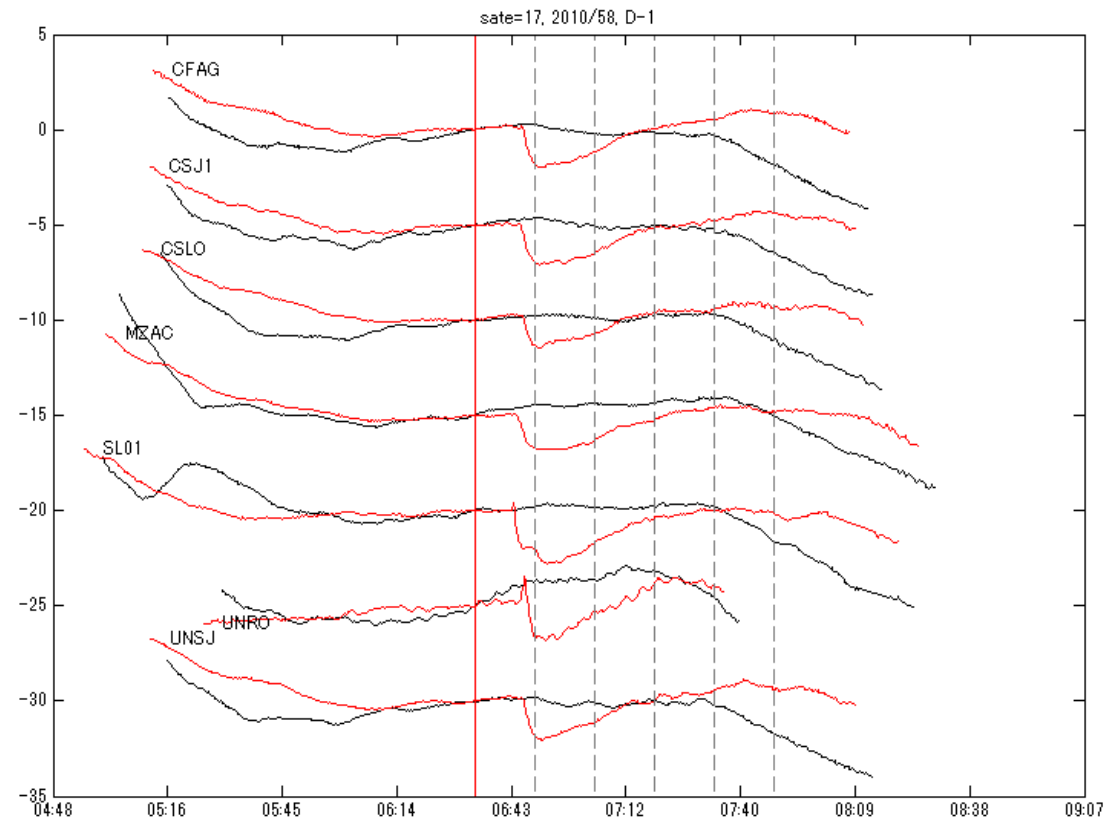
東北沖地震で見られたTEC変動



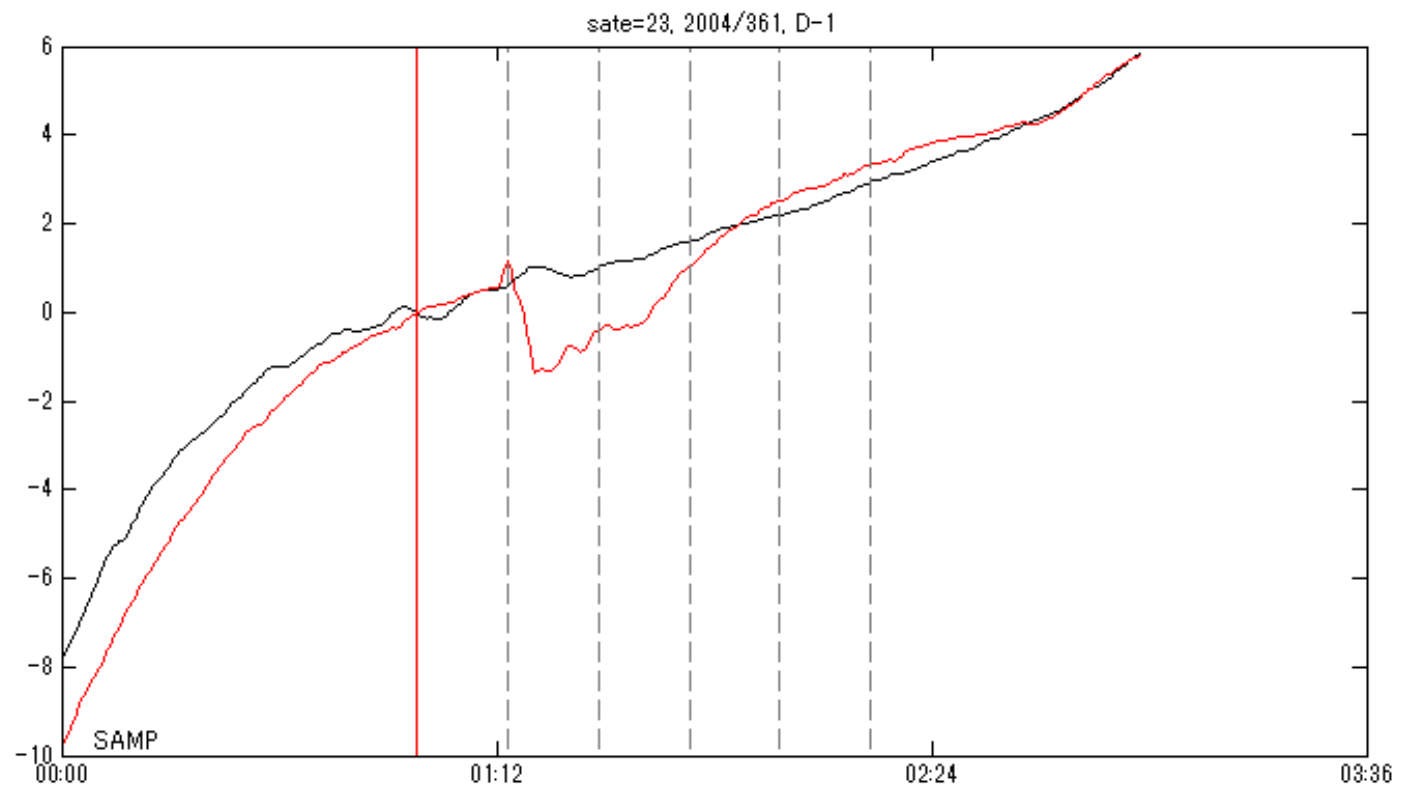
sate=15,18,26, 11-Mar-2011 05:46:15, 06:05:30, D1



似たものは他の地震で見られるか？



チリ地震 2010/02/28, Mw8.8



スマトラ地震 2004/12/26 Mw9.1

まとめ

- 地震前後の電離圏擾乱・異常について紹介
- 地震の後には地震動・津波に励起された大気振動により電離圏に擾乱が観測される
 - 火山噴火, 大きな爆発事故でも報告あり
- 地震数日前に電離圏に異常が観測されることがある
 - 本当に地震に関係しているのか???
 - 統計的に地震がないときより異常が出るという結果が発表された
- 東北地方太平洋沖地震後にレイリー波や津波によって励起された大気振動に伴う電離圏変動が観測された
 - 大きなプラズマ密度減少 (holeと命名) が見つかった
 - 津波のせい??

メカニズムは？

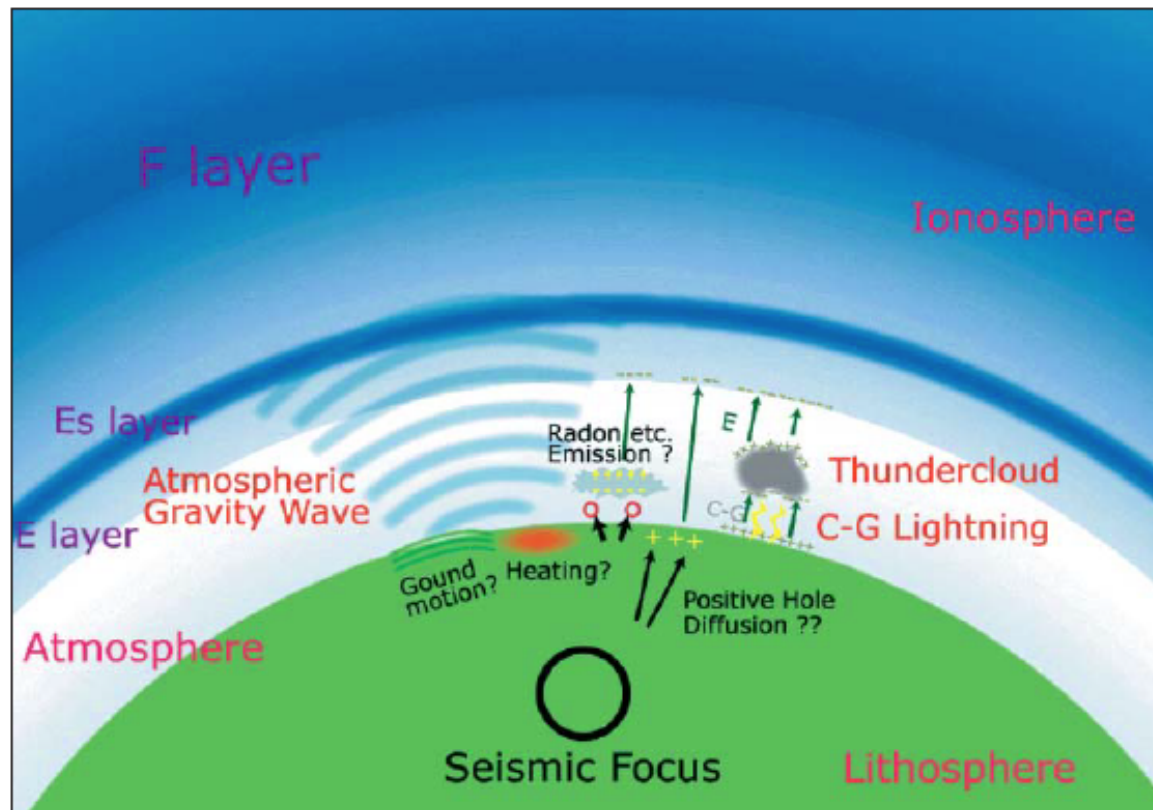


Fig. 2. Diagram of preseismic lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling models and proposed mechanisms.

[Kamogawa 2006]