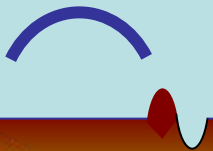


TEC enhancement before the 2011 Tohoku earthquake

北海道大学・理・自然史
日置 幸介

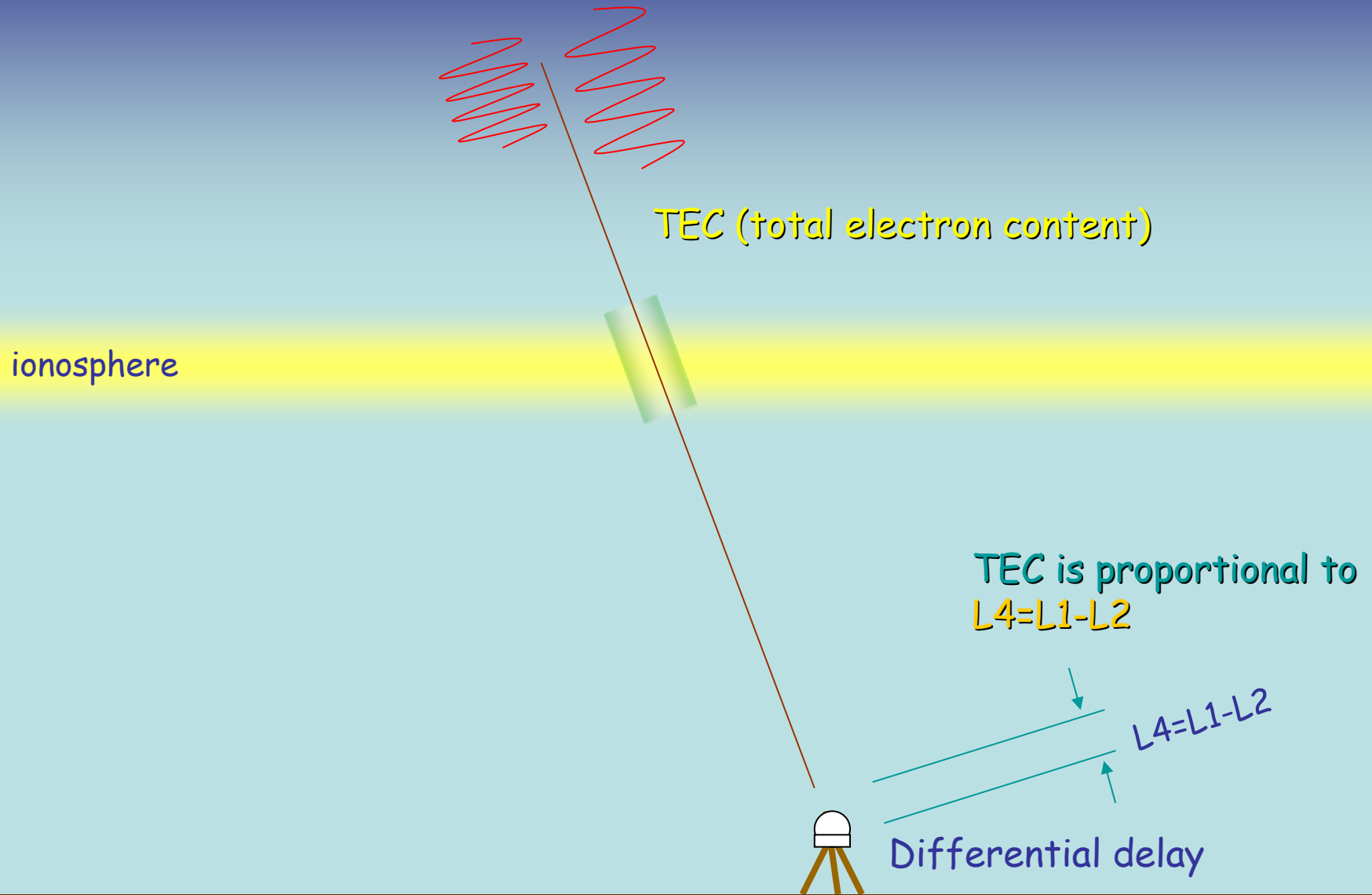


GPS as a Swiss Army Knife

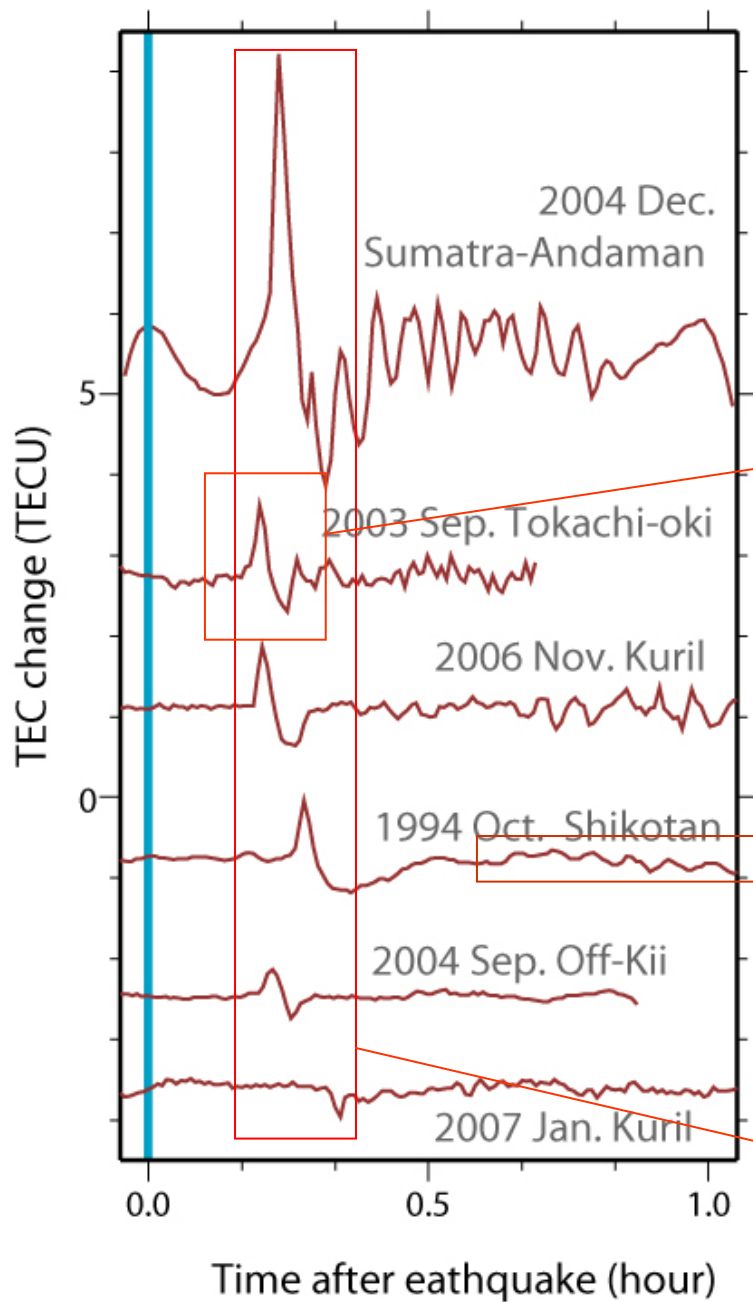
表技
裏技



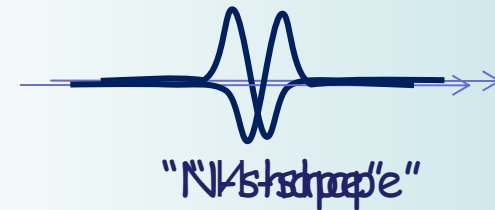
GPS can measure ionosphere



地震時電離圈擾乱



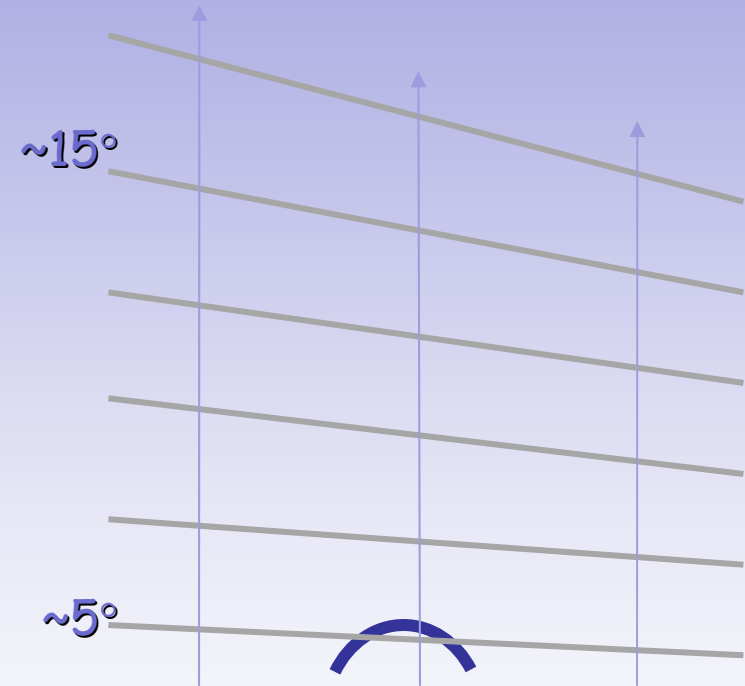
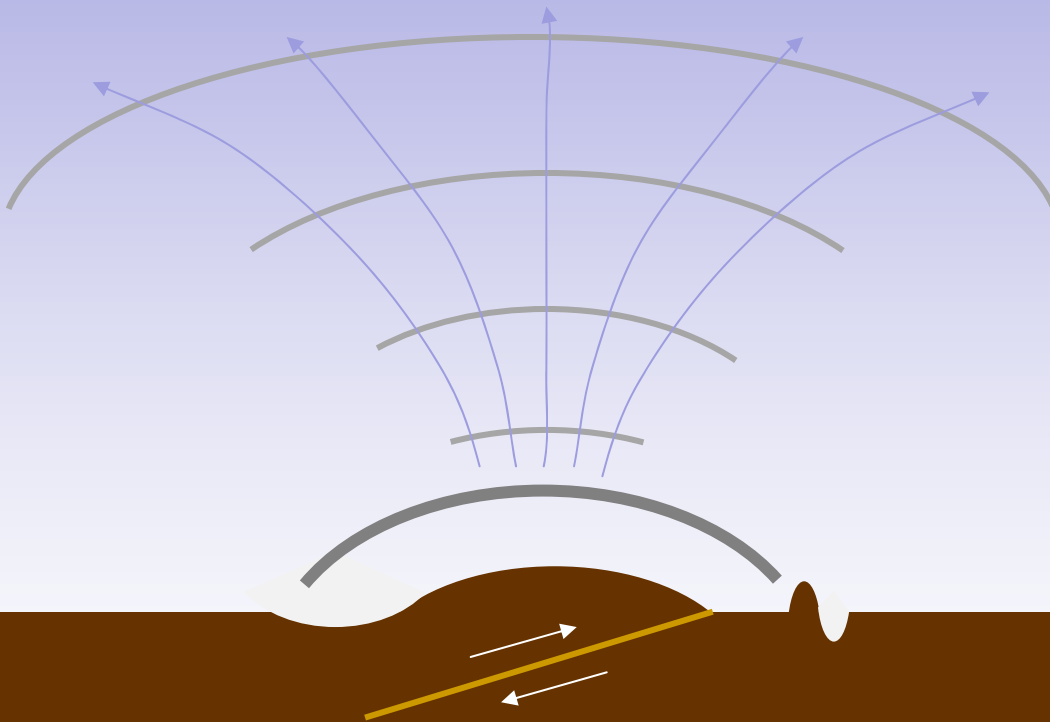
2. Positive initial motion, period ~ 4.5 min. amplitudes a few 0.1~1 TECU



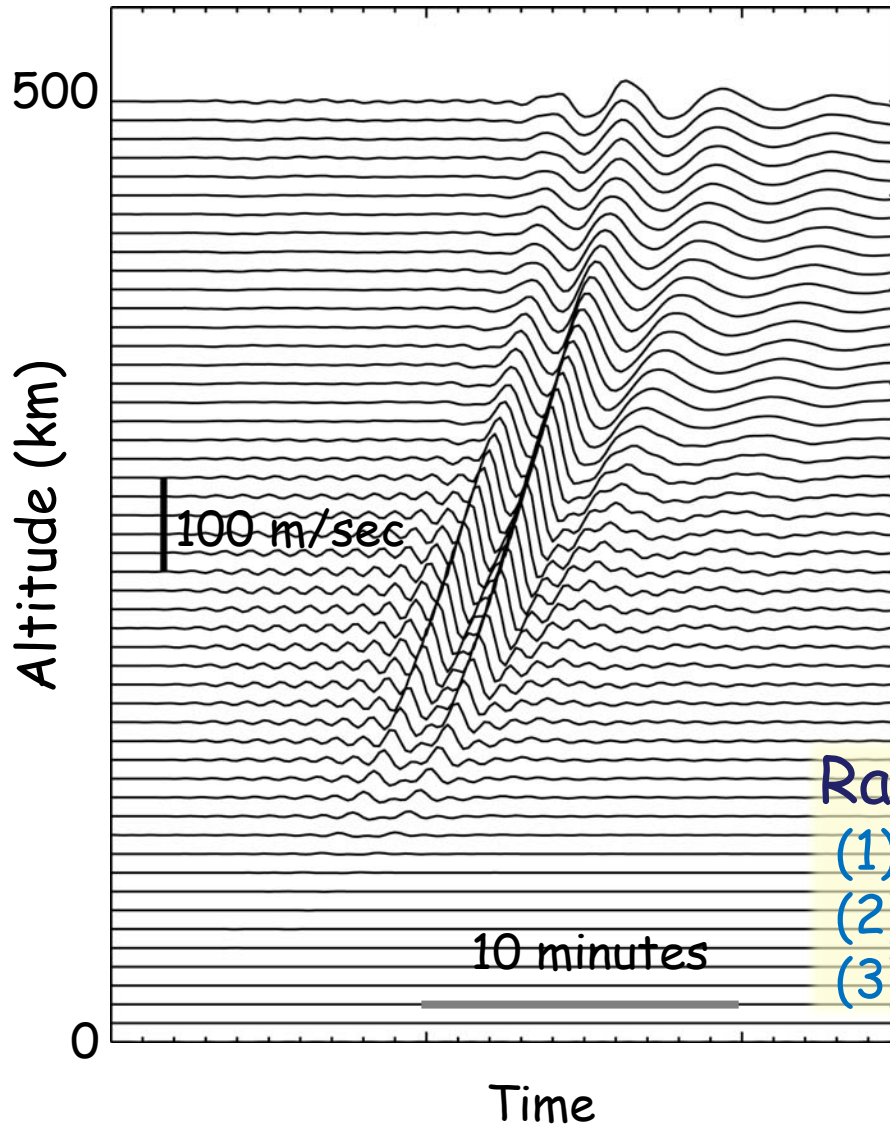
3. Monochromatic oscillation

1. Appear ~ 10 min. after eq.

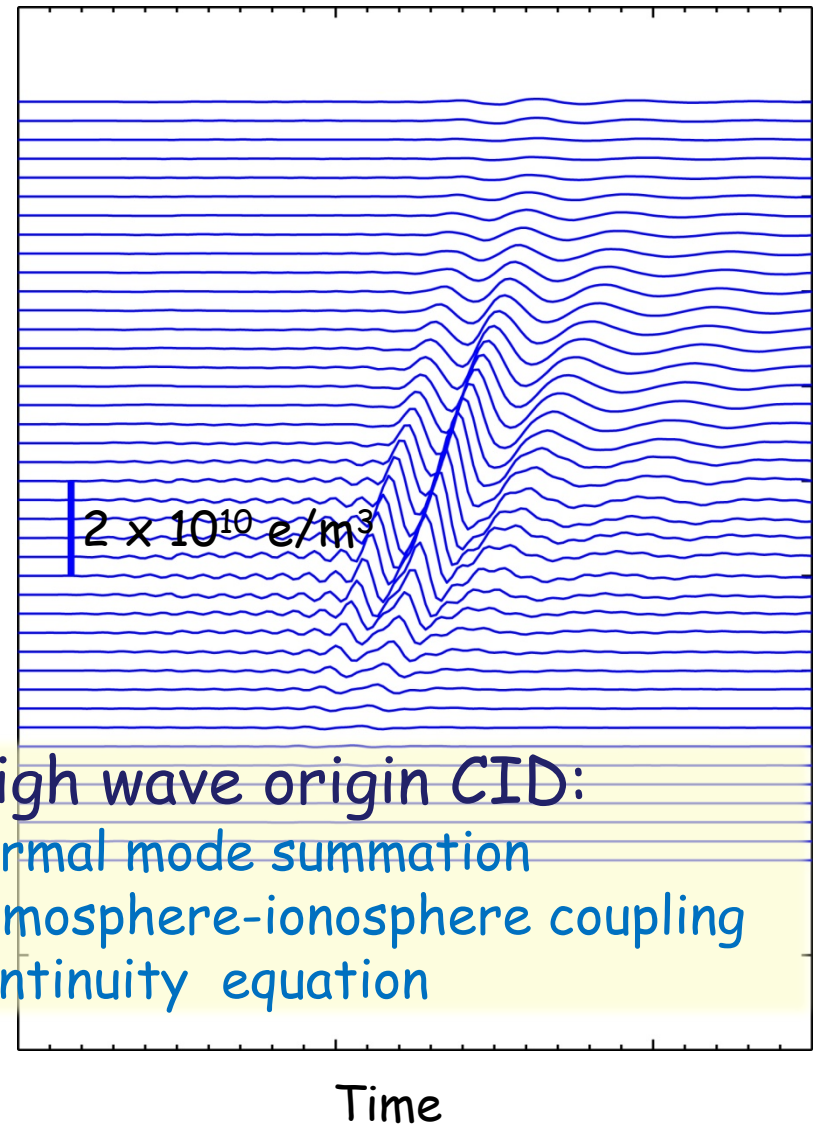
Two different types of acoustic waves



Vertical velocity



Electron density change



Rayleigh wave origin CID:

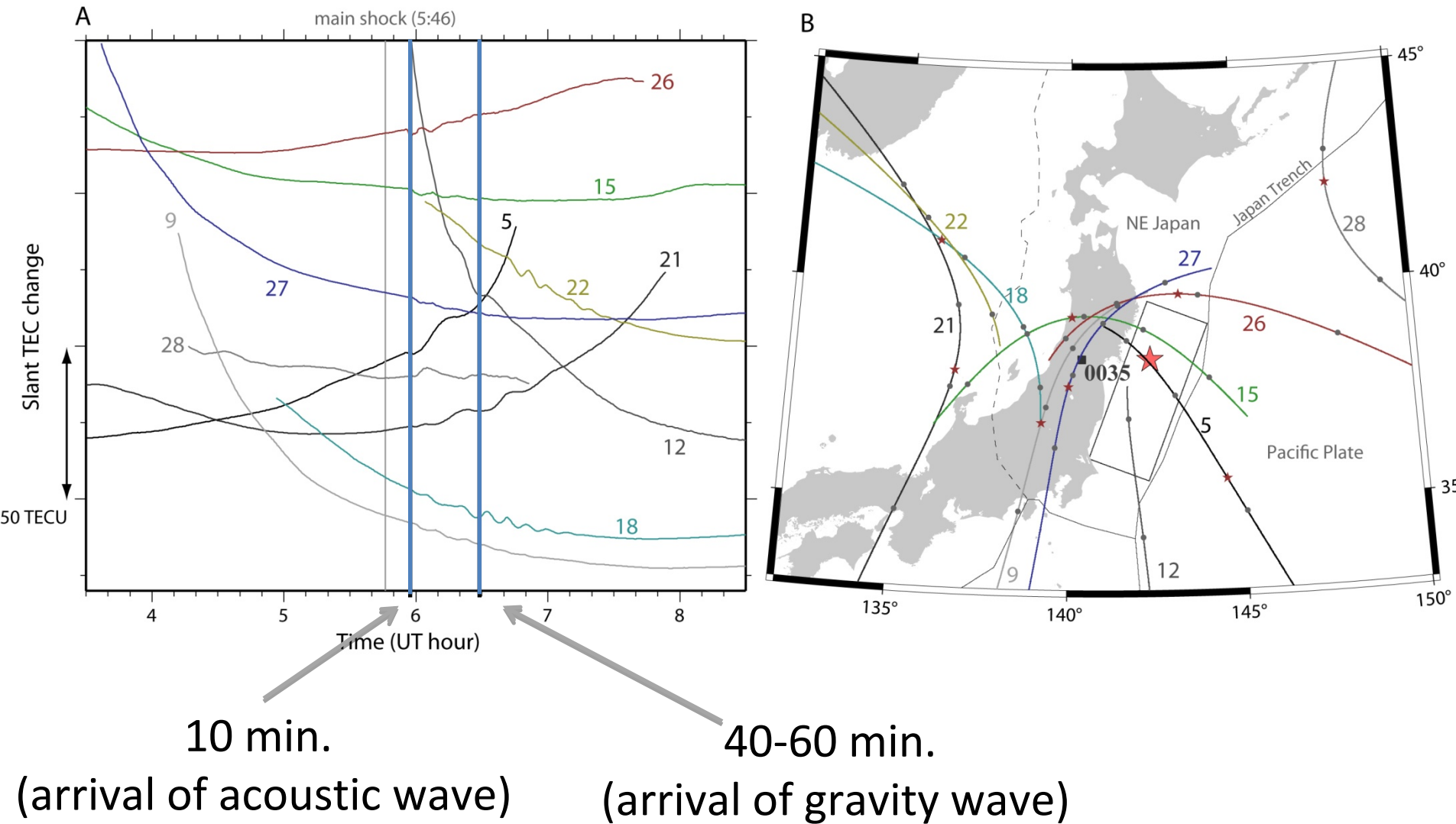
- (1) Normal mode summation
- (2) Atmosphere-ionosphere coupling
- (3) Continuity equation

2011年東北地方太平洋沖地震

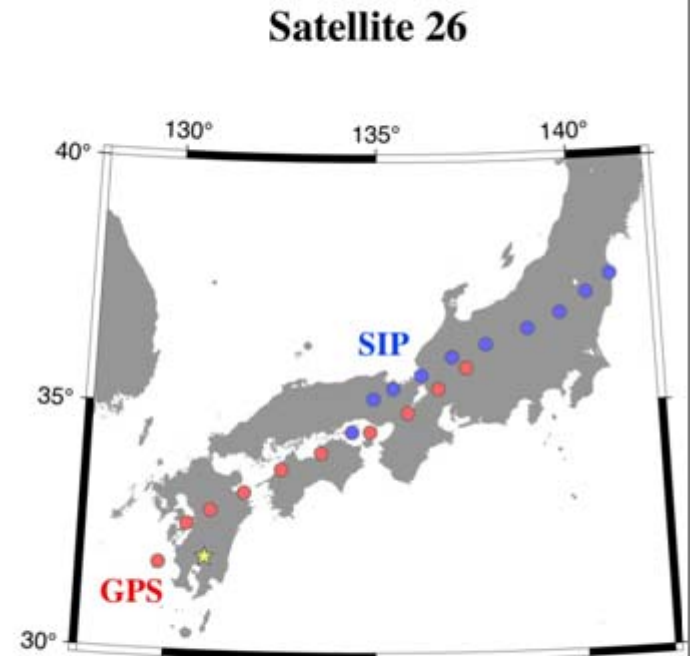
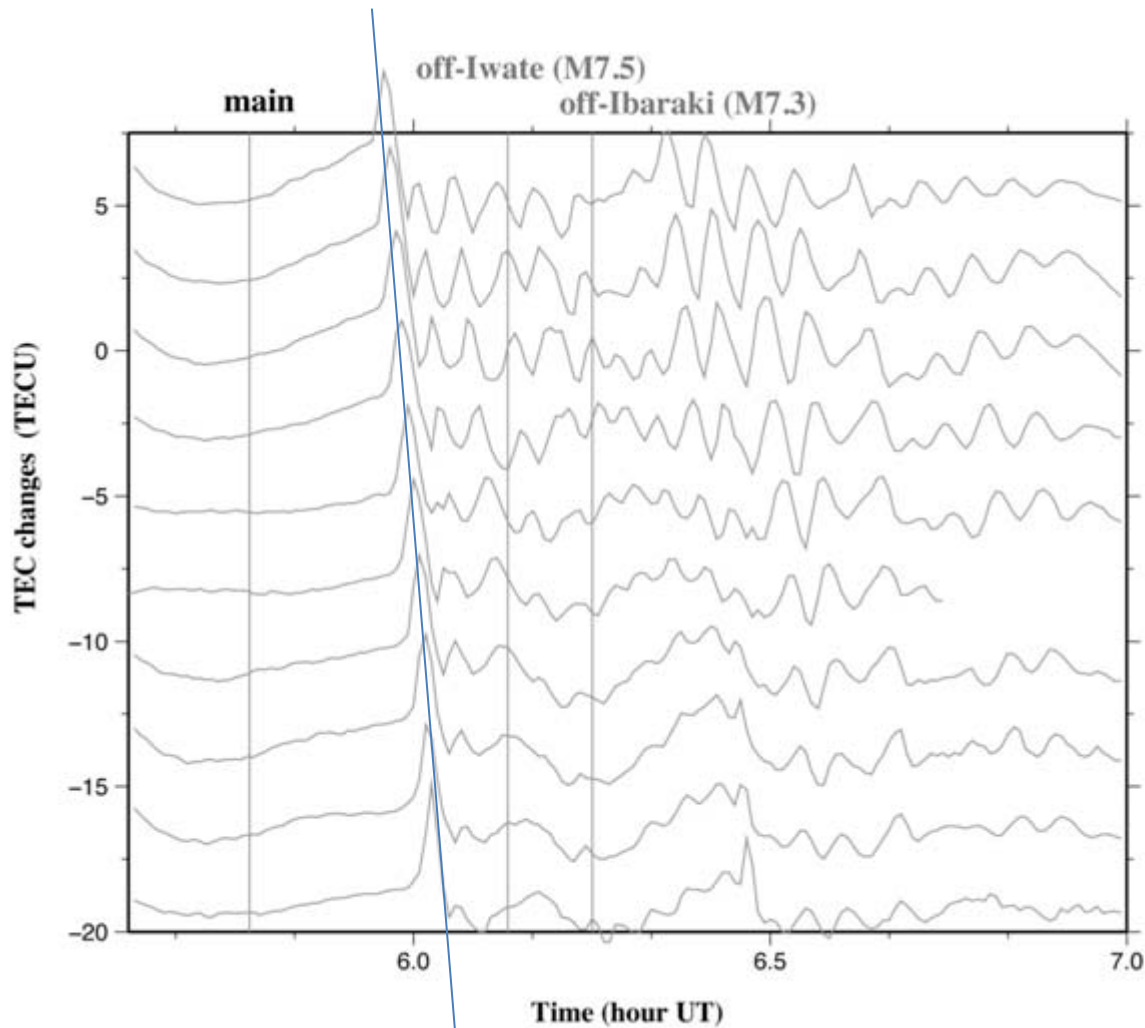
固体地球科学的な前兆(？)

0. 十年程前から福島沖のカップリングが剥離
(福島沖の地震のアフタースリップが拡大)
1. 七年前から伊豆背弧リフト拡大が加速
(太平洋プレートスラブの押しの緩み)
2. 三日前の前震とそのアフタースリップ
(M7前震にふさわしい本震の準備が進行)
3. 四十分前頃から東北大学の歪計で膨張開始
(東濃地震科学研の大久保氏による。
プレスリップ？震源核形成の開始？)

Raw TEC and Sub-ionospheric point (SIP) trajectory 3.5-8.5 UT

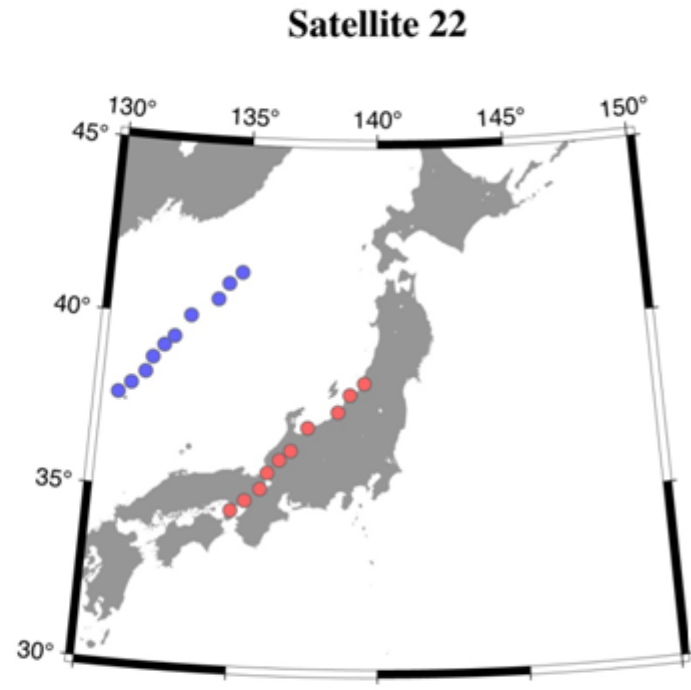
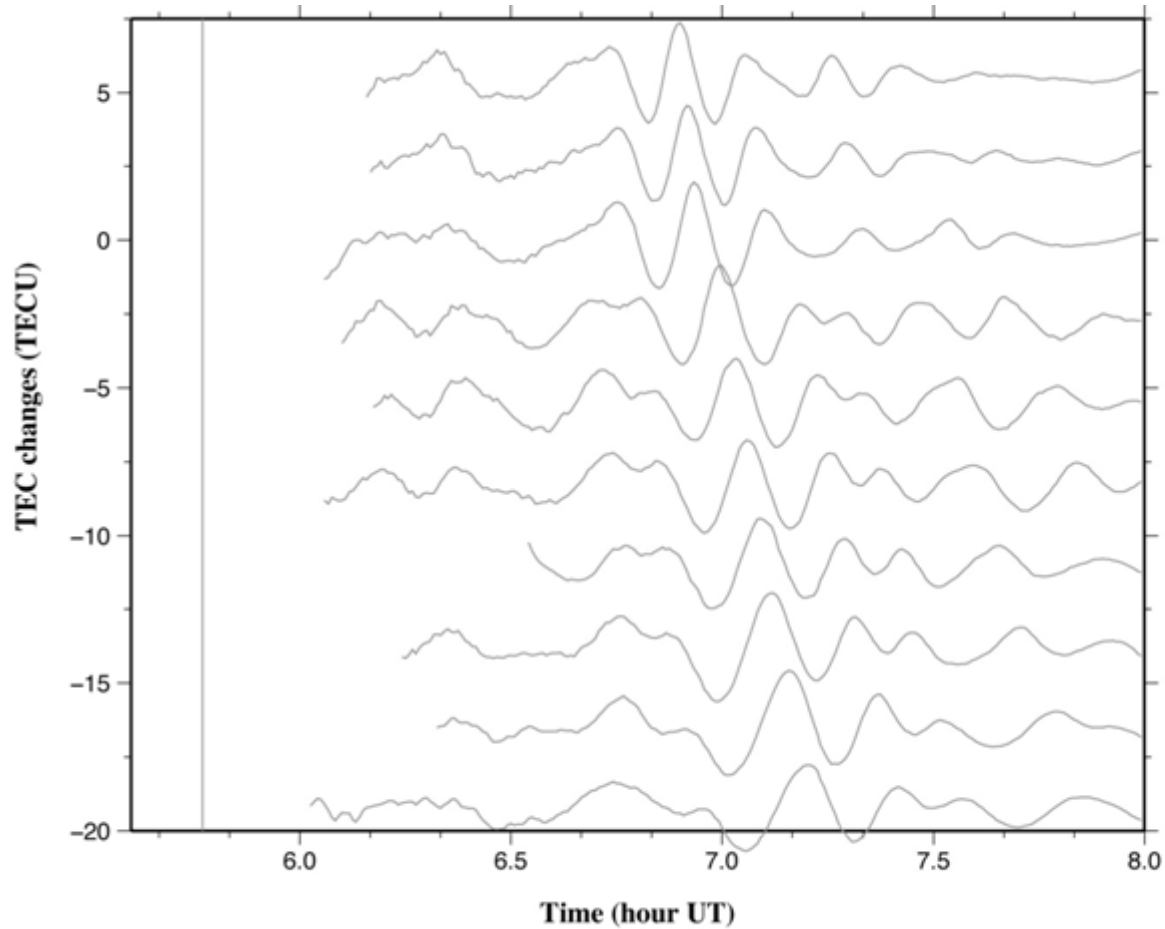


Propagation of the ionospheric disturbance (acoustic wave)



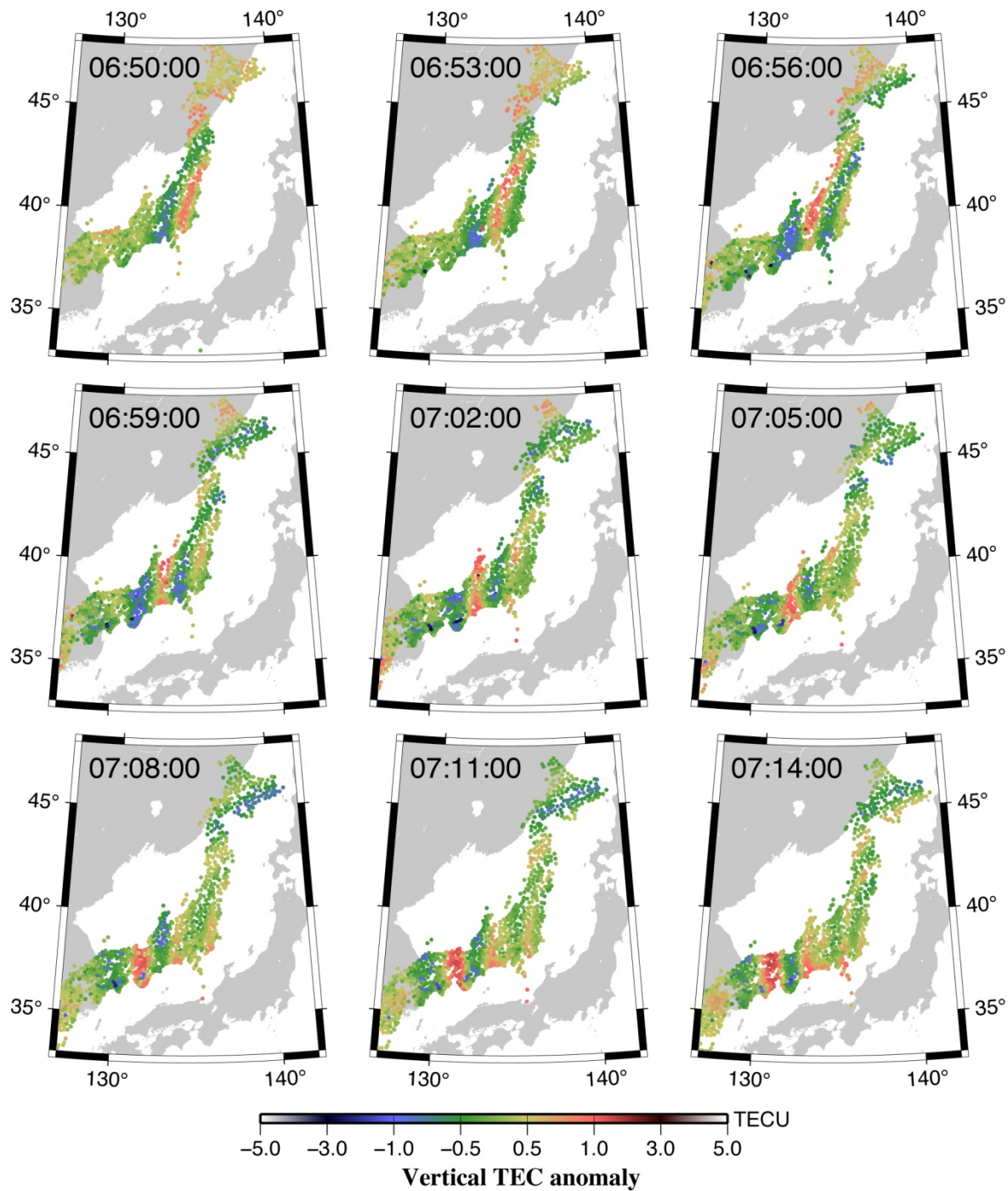
Rayleigh wave speed

Generation and propagation of inner gravity wave



Propagating westward
300-400 meter/sec

Satellite 22 gravity wave

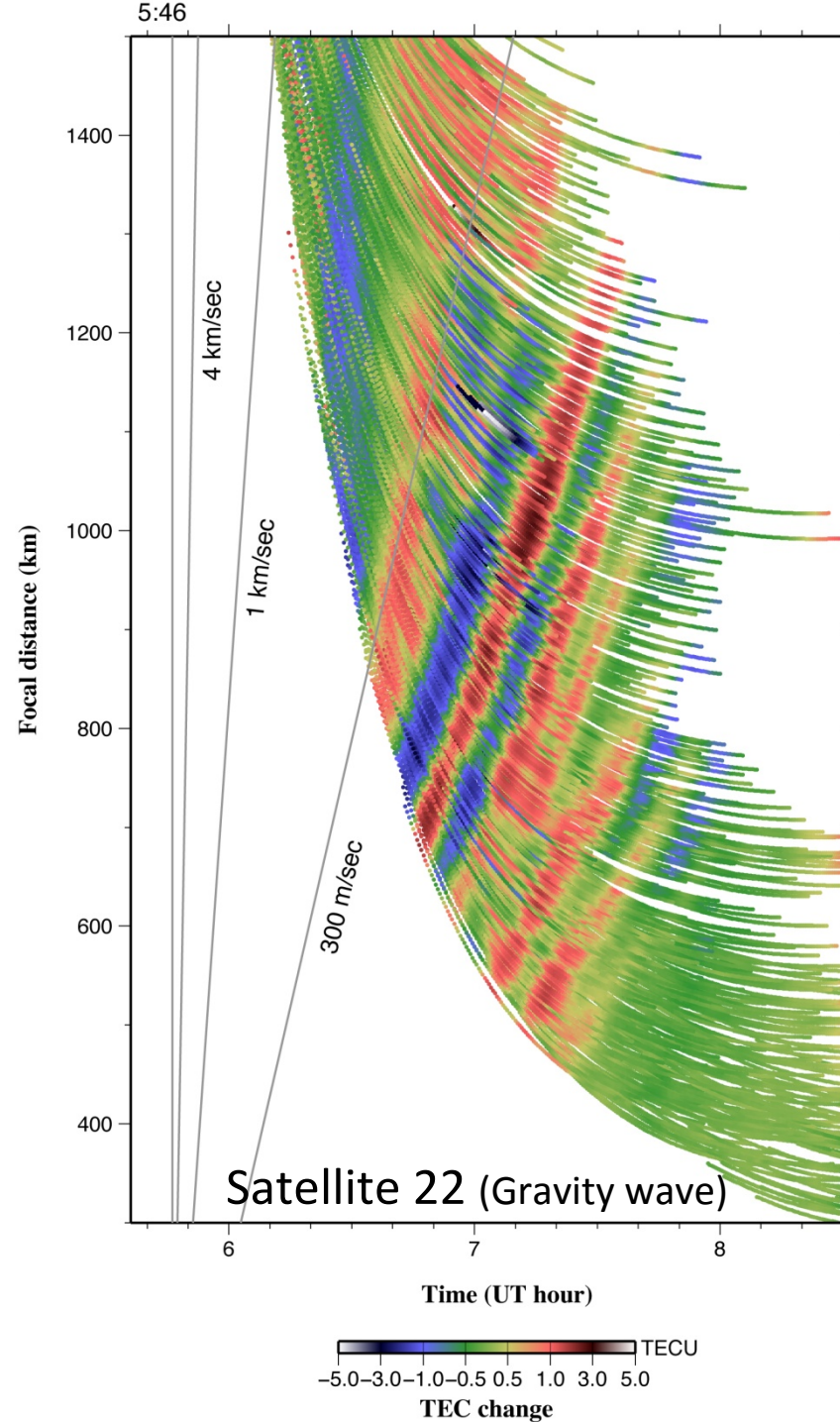
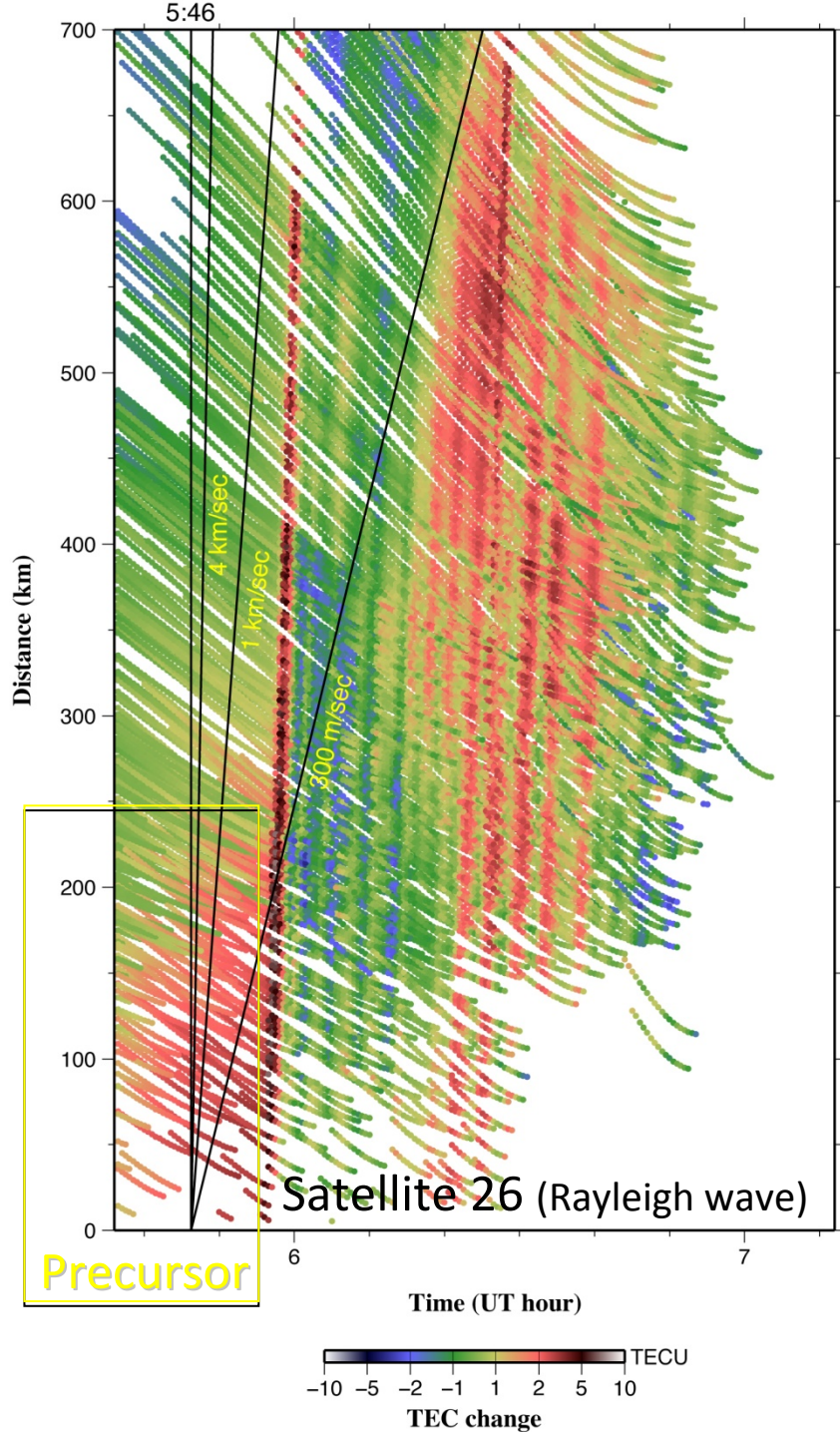


多くのグループが研究

1. JPLグループ

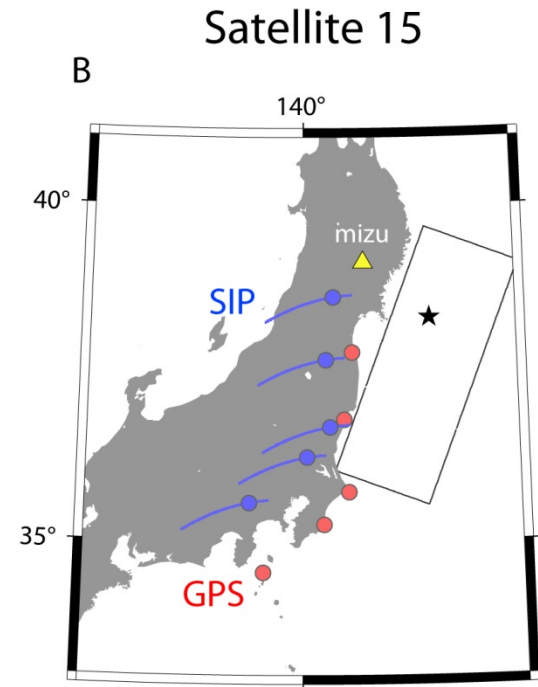
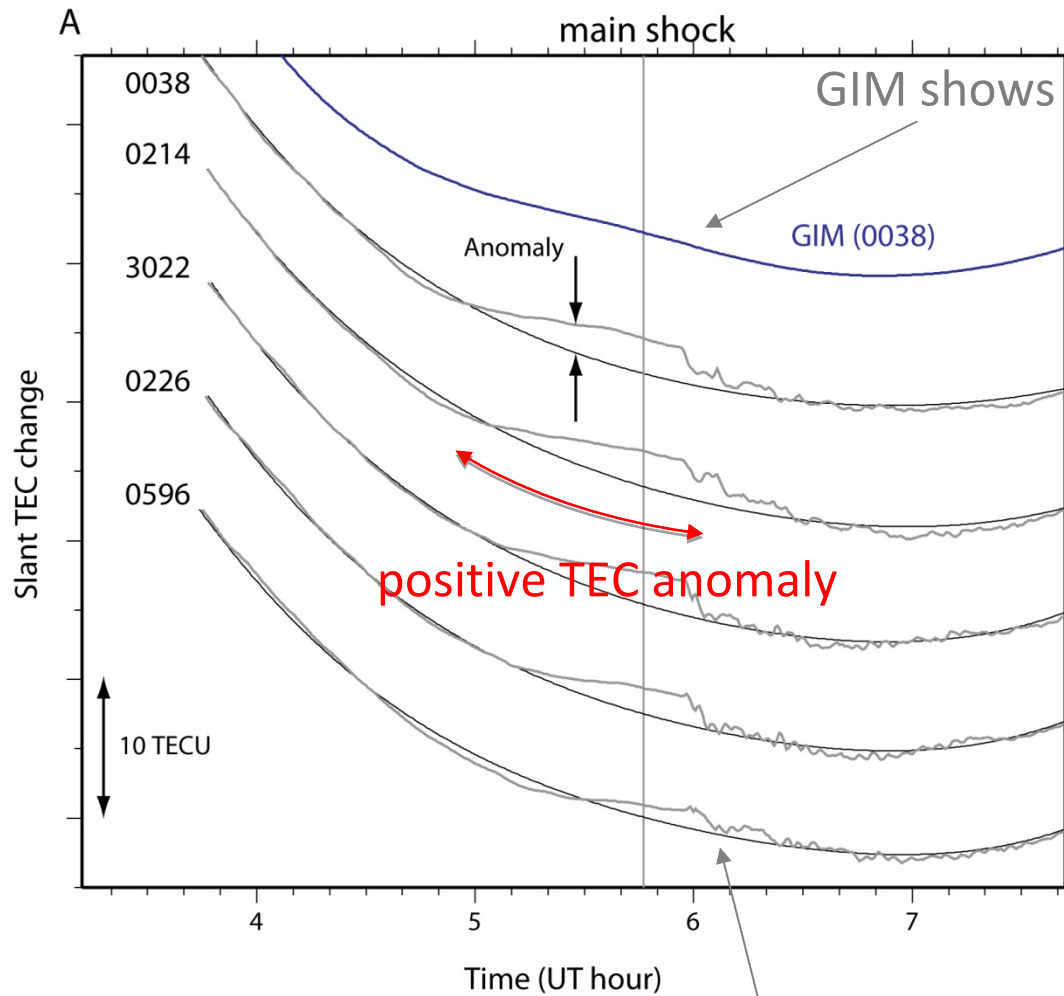
2. IPGPグループ

3. 日本でも複数
(査読してません)



15/26番衛星のデータを生で
(HPFを通さずに)見てみる

Satellite #15 near zenith



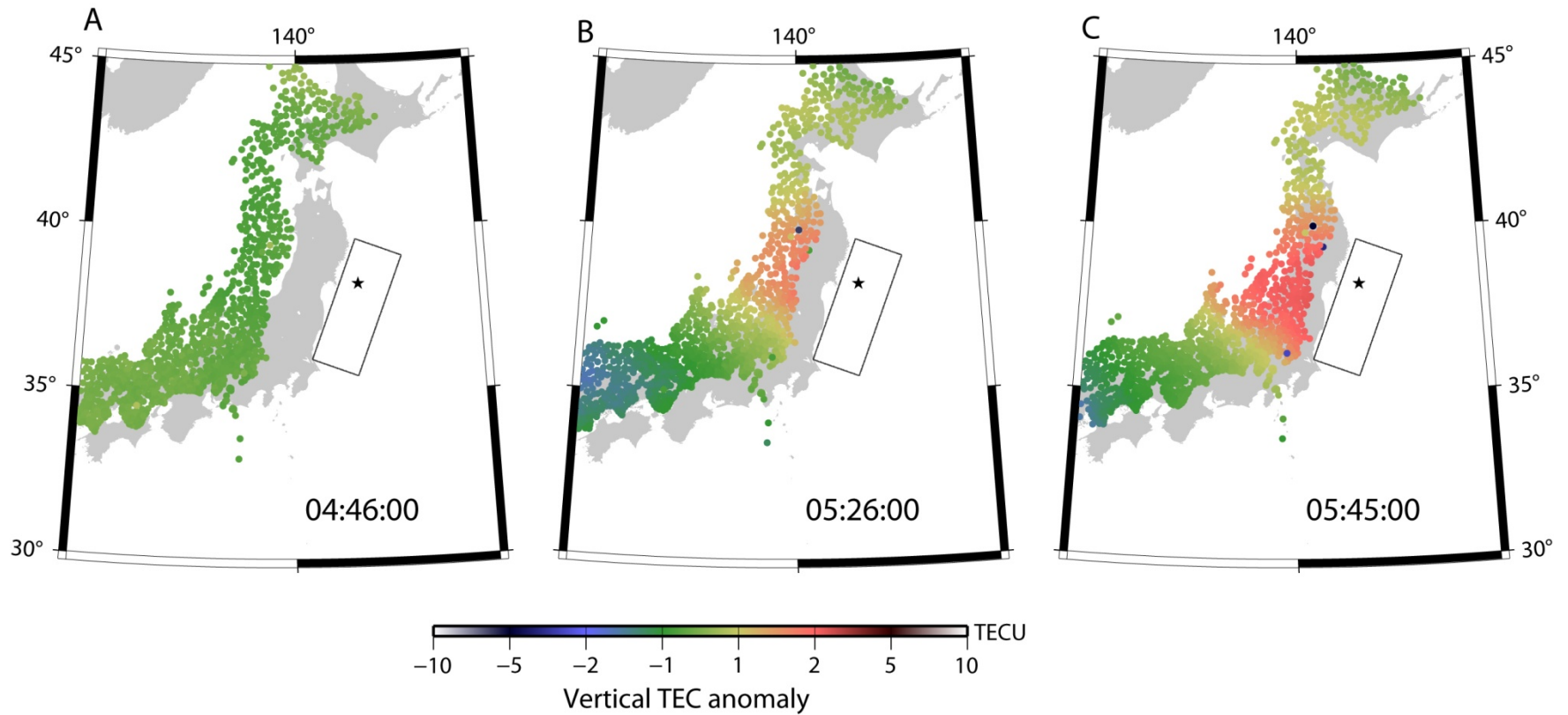
Vertical TEC is modeled as a cubic function of time

Electron concentration above the focal region prior to the earthquake

1 hour

20 min.

1 min. before the earthquake

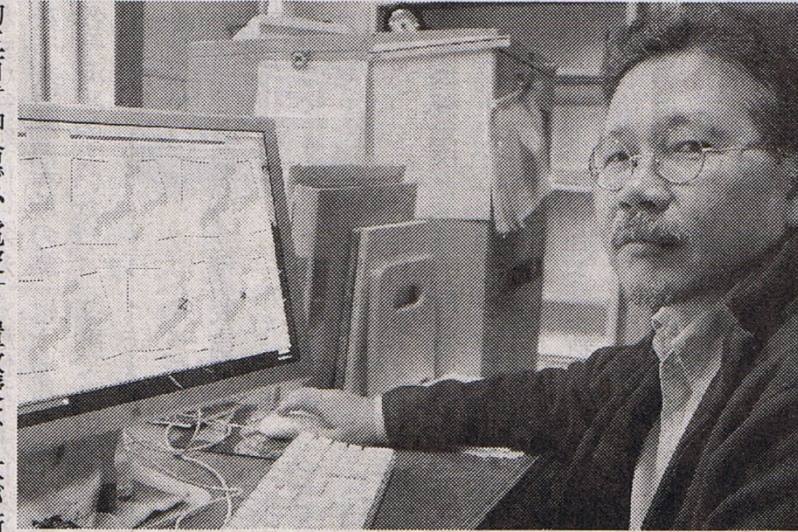


北朝鮮ミサイル 航跡をGPS解析

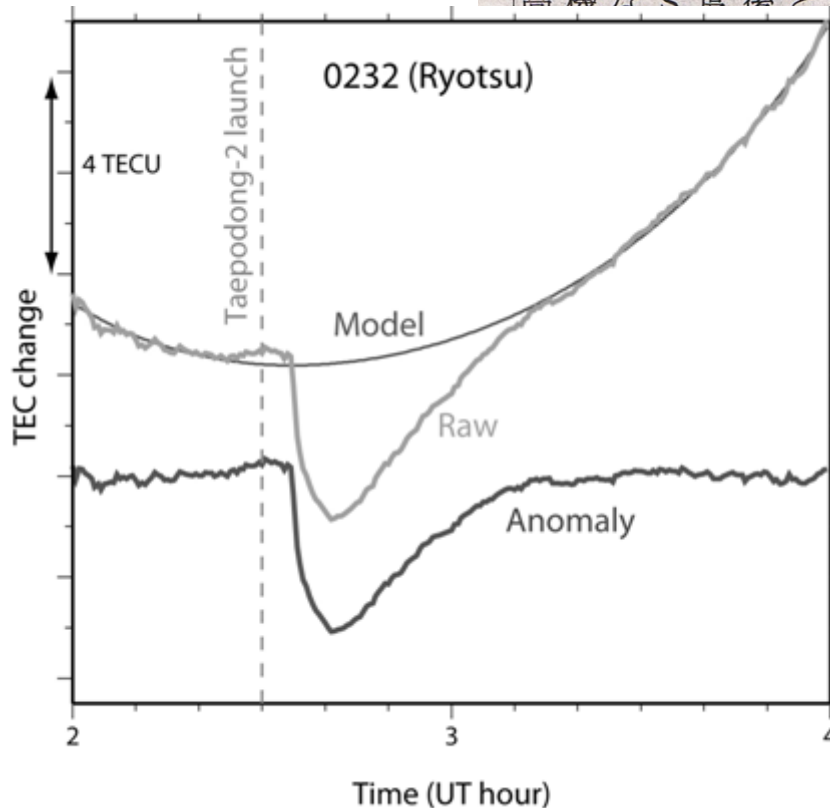
北大・日置教授 上昇速度「日本並み」

北朝鮮が「衛星打ち上げ」とする五日の長距離弾道ミサイルの発射で、北大理学研究院の日置幸介教授（測地学）が航跡を衛星利用測位システム（GPS）を使って解析、一段目の上昇速度は「日本のH2Aロケットと遜色ない」との結論を導き出した。

約三百ギン沖合で、電波を反射する上空の電離層で電子が乱れ始め、航跡が秋田県に向かった。日置教授は日本が衛星を打ち上げる際に使用するH2Aロケットと比較し、「一段目に限



航跡をGPSで解析した、北大の日置教授



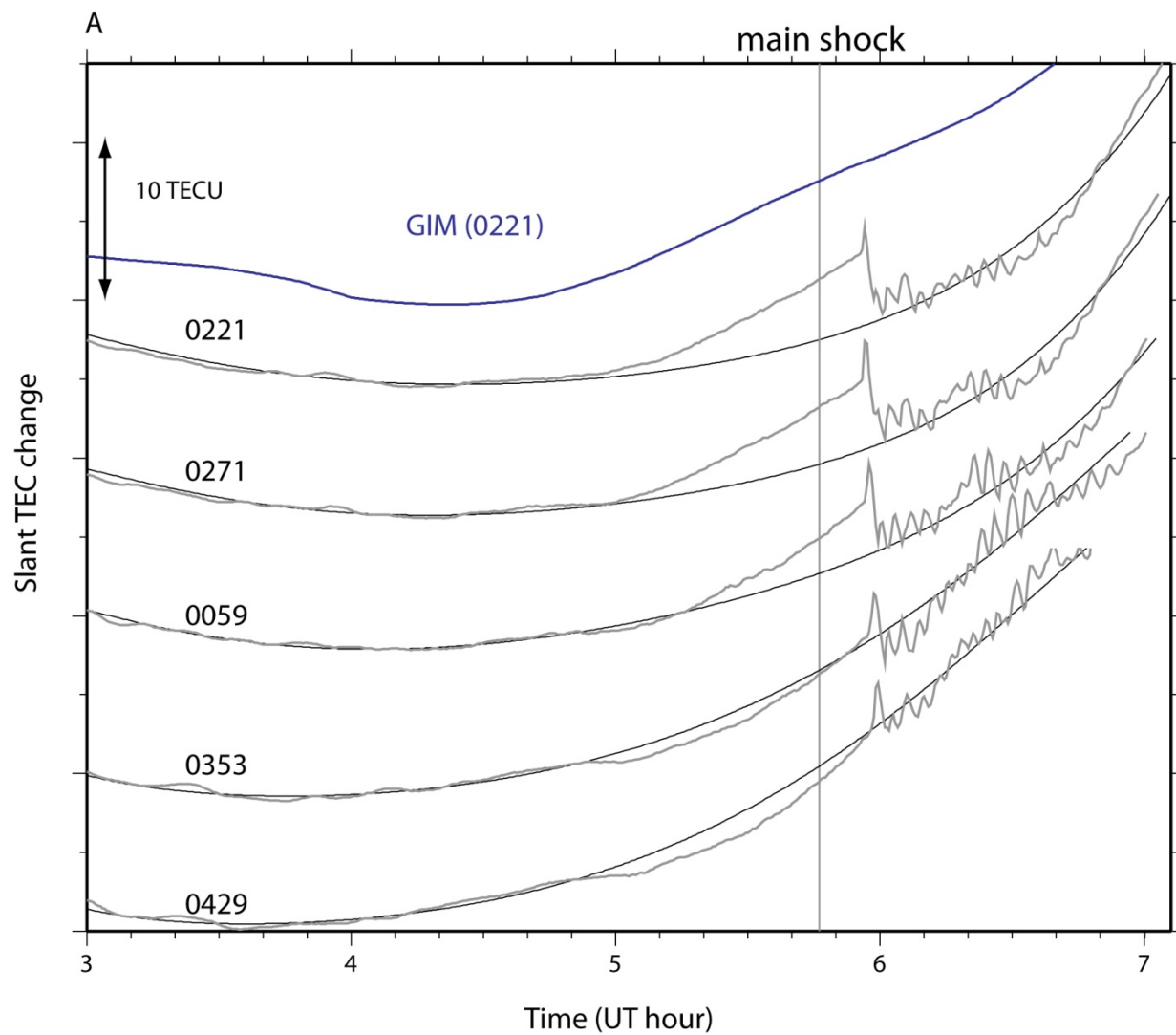
NEWS
事能力検定

とインドについて
つ選べ。
多いのはイスラム
ヒンズー教だ。

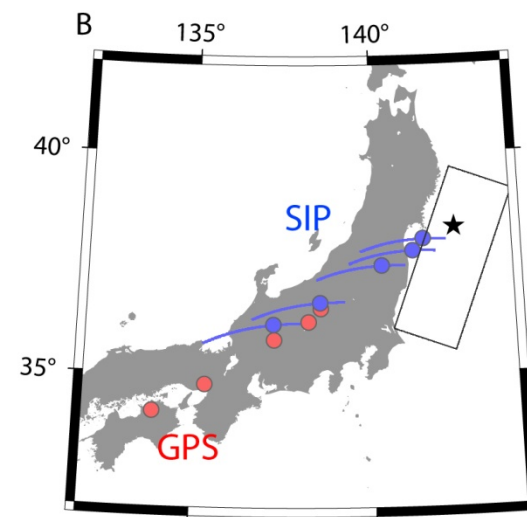
日置教授は「短波放送や無線に支障が出た可能性もある」と話す。これについて、北海道総合通信局は「電波障害などの問い合わせは、今のところ来ていない」としている。ロケットの排気による水蒸気が電離層の電子を消失させる原理を応用。国土地理院のGPS観測網のデータを基に、電子が一番多く集まる高度三百ギン付近の航跡を把握した。

テポドンの航跡解析と同手法 (Ozeki and Heki, JGR, 2010)

Satellite #26 in NE sky



Satellite 26

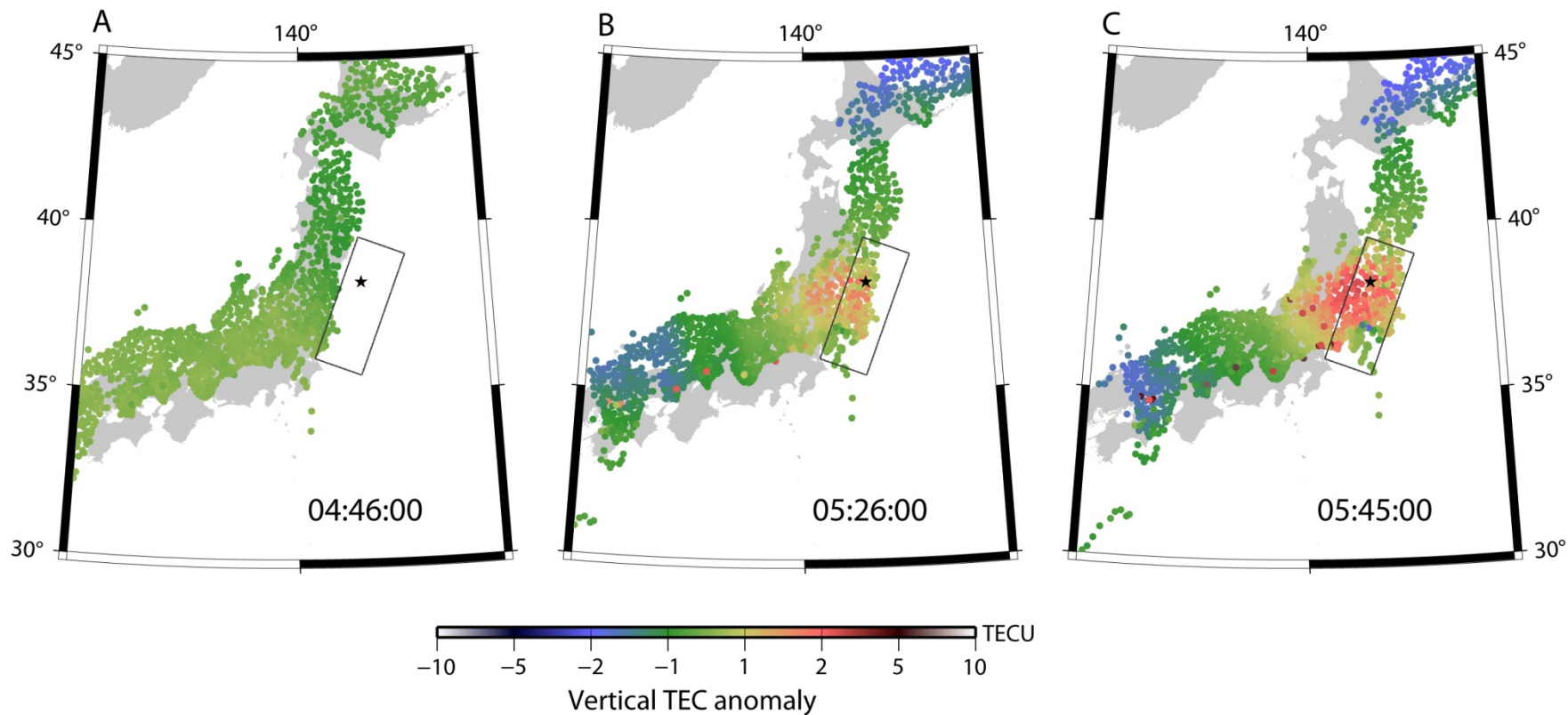


Positive TEC anomalies before earthquakes

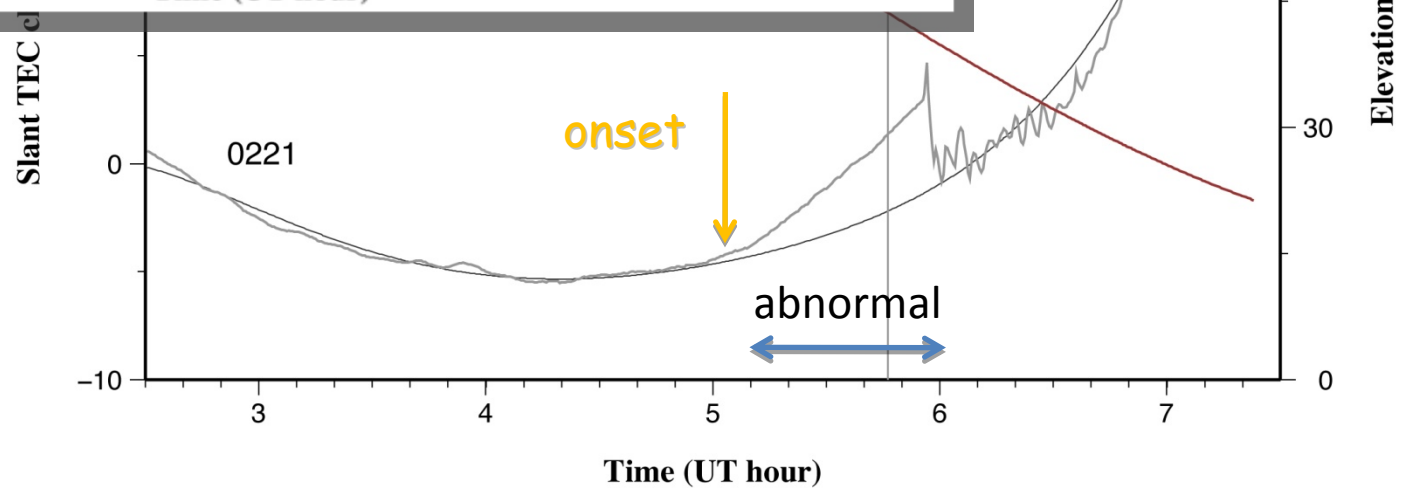
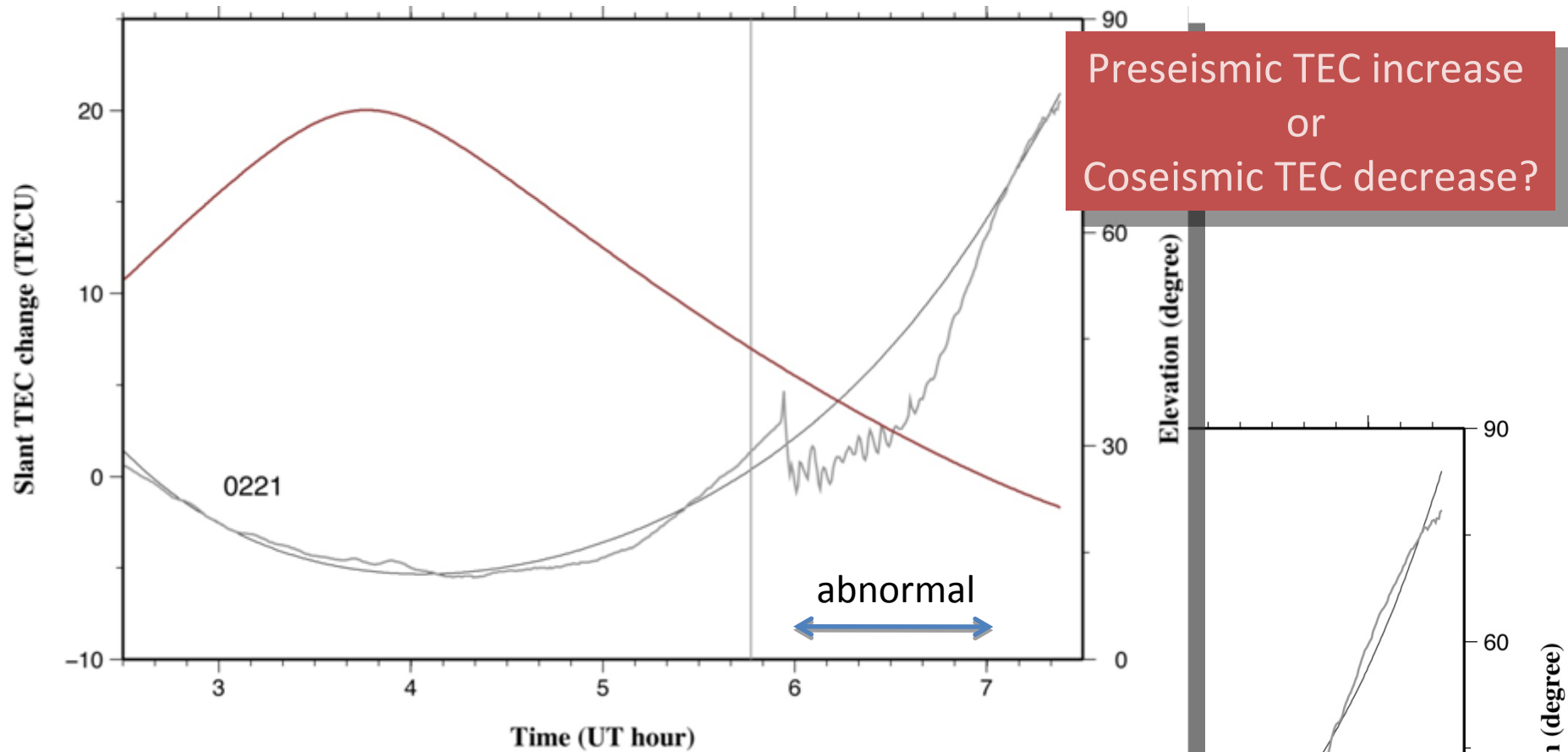
1 hour

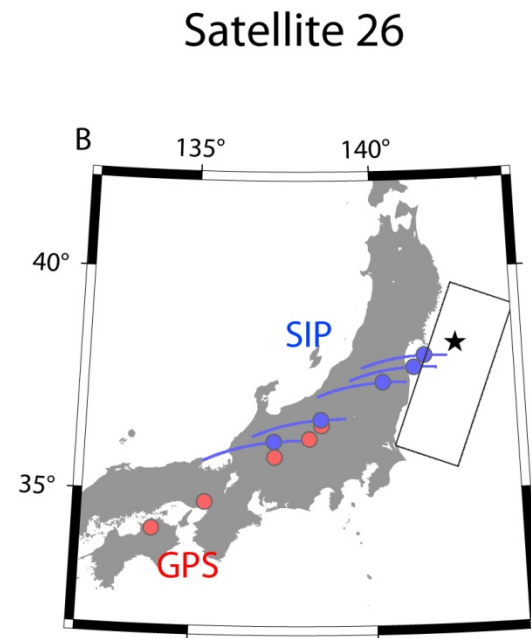
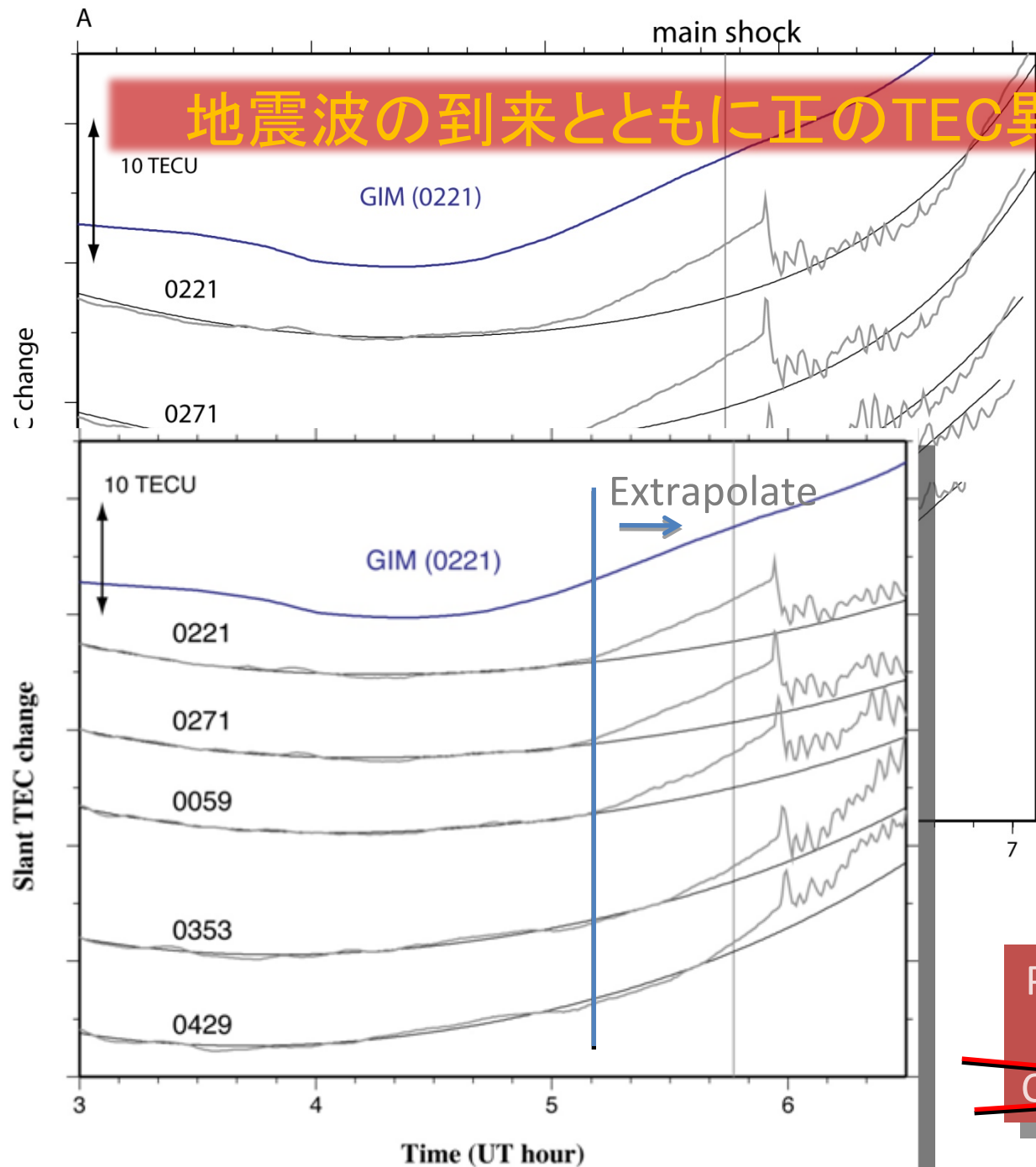
20 min.

1 min. before the earthquake



見かけの現象である可能性について
TECは地震を予め知っていたか？

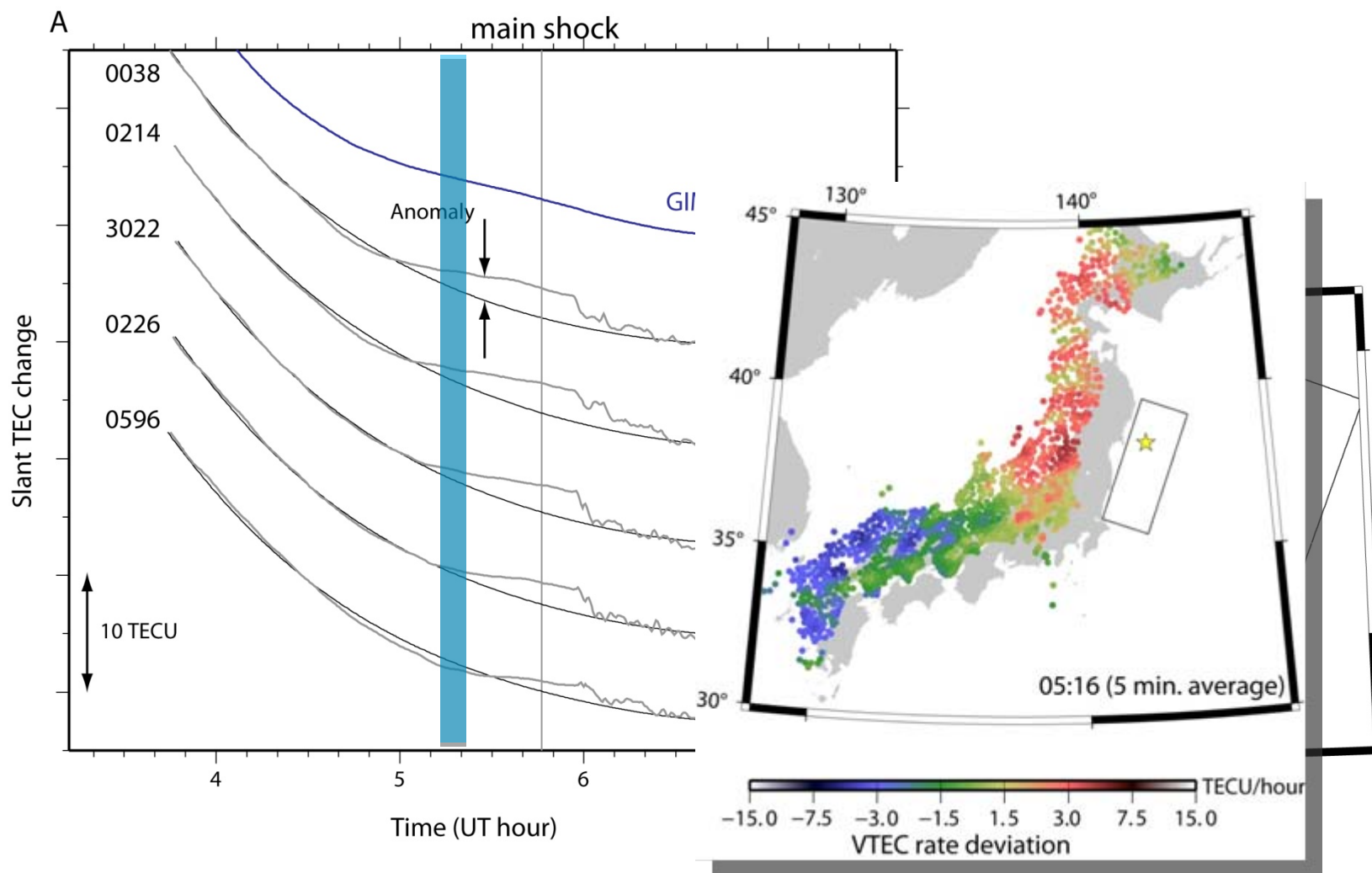




Preseismic TEC increase
or
~~Coseismic TEC decrease?~~

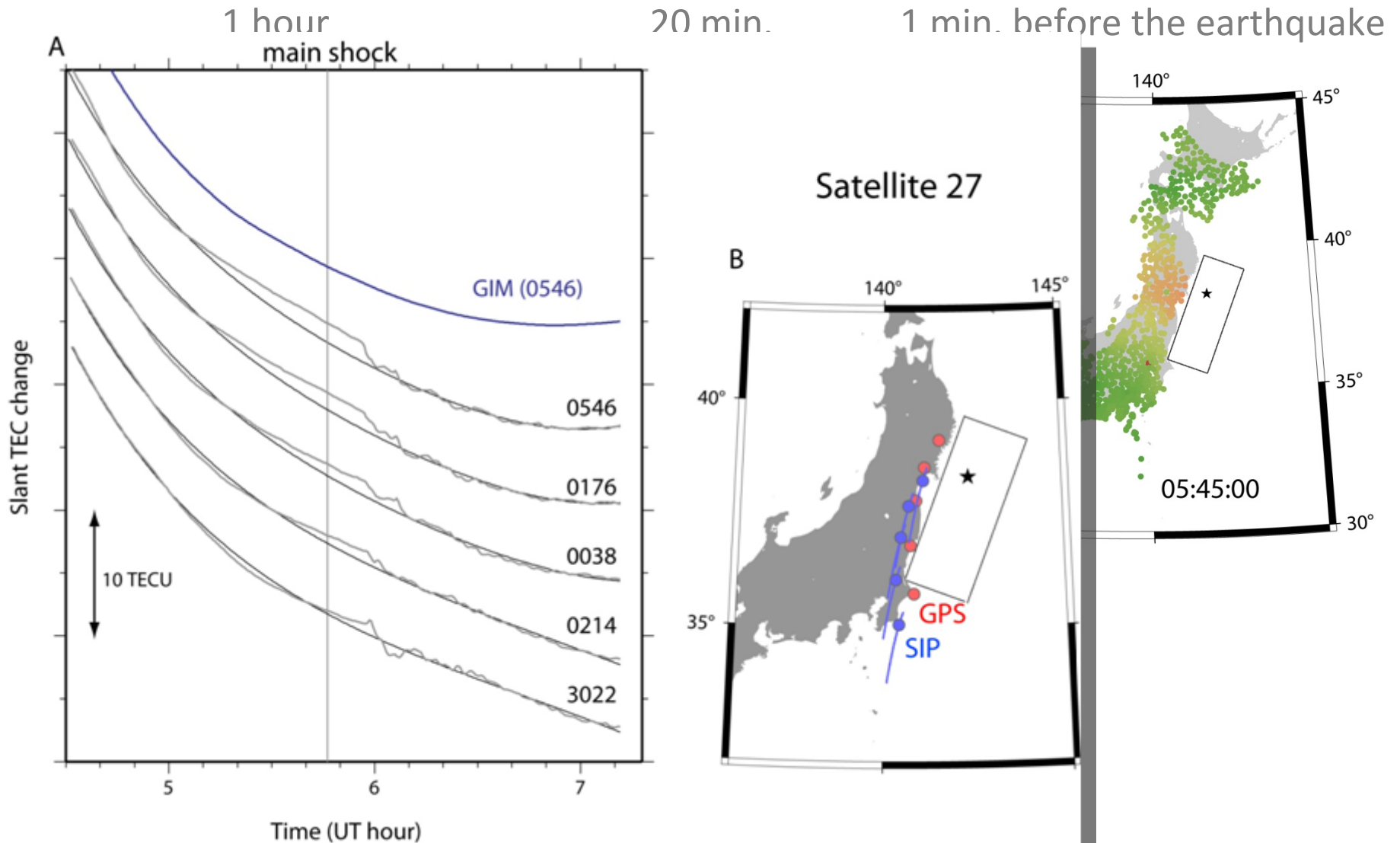
地震三十分前のTEC変化率

Satellite #15 near zenith



何が起こった？
TEC異常の三次元構造を探る

One more satellite: satellite #27 in southern sky near zenith

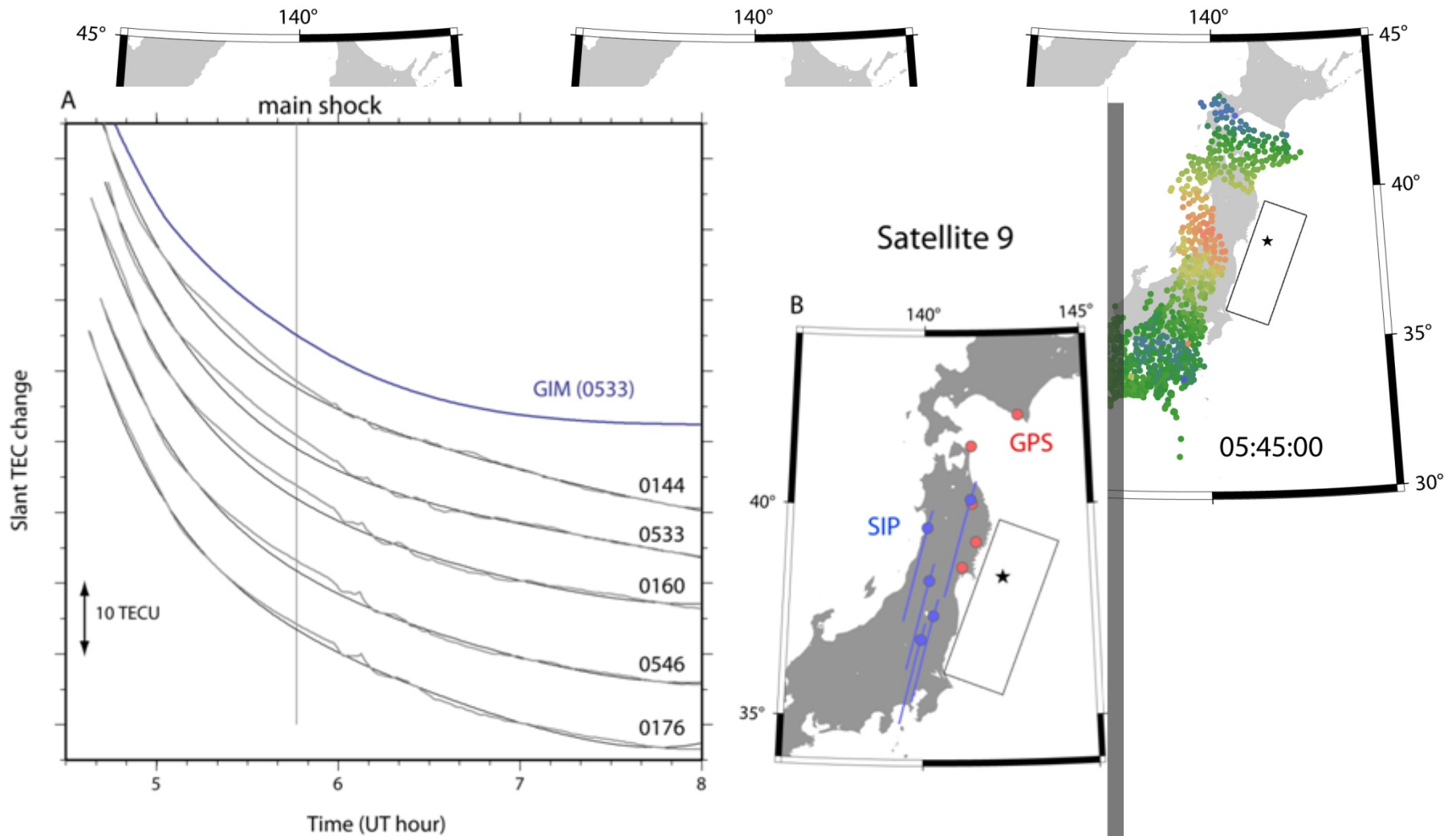


One more satellite: satellite #9 in the southern sky

1 hour

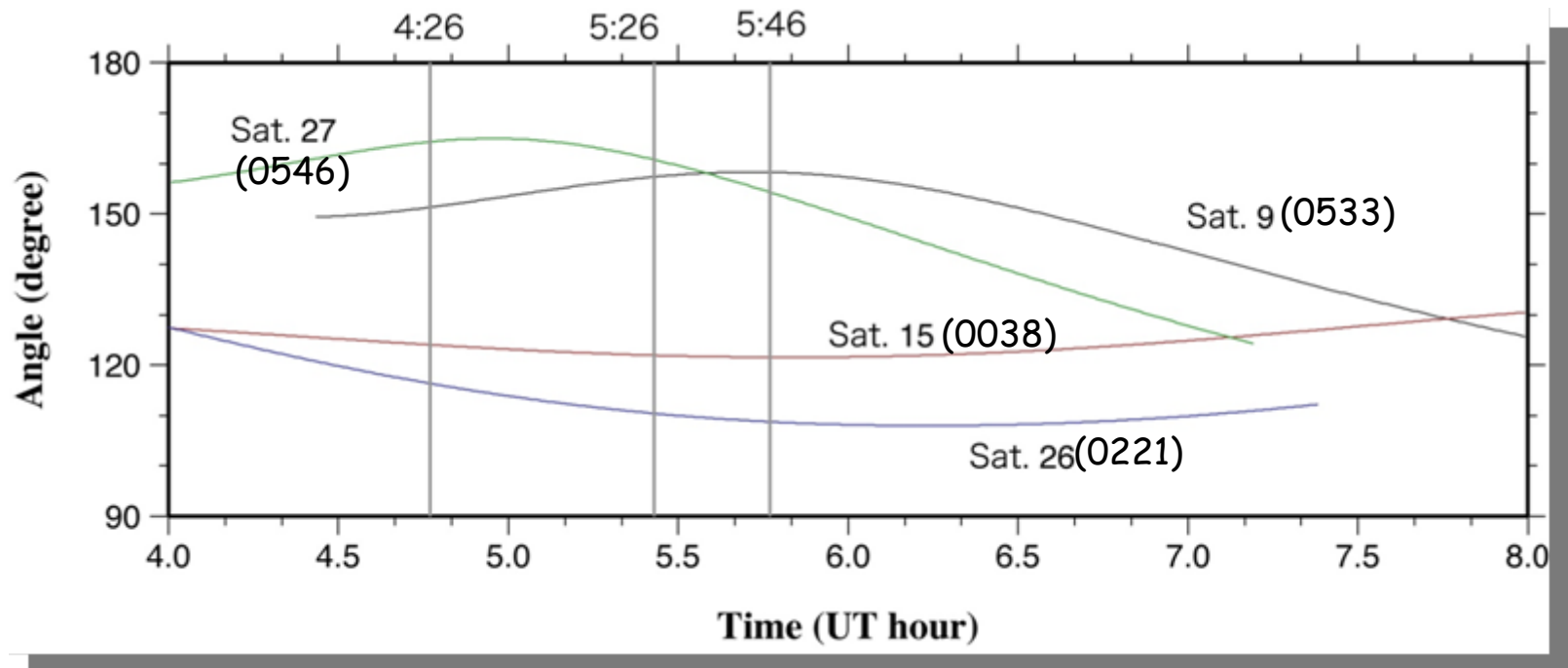
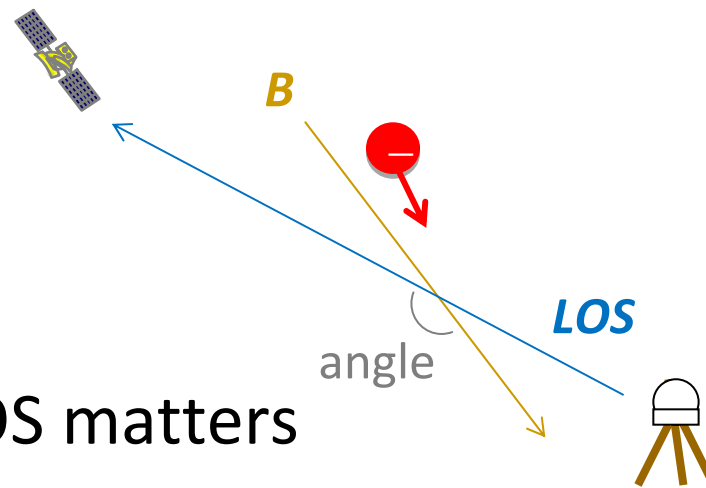
20 min.

1 min. before the earthquake



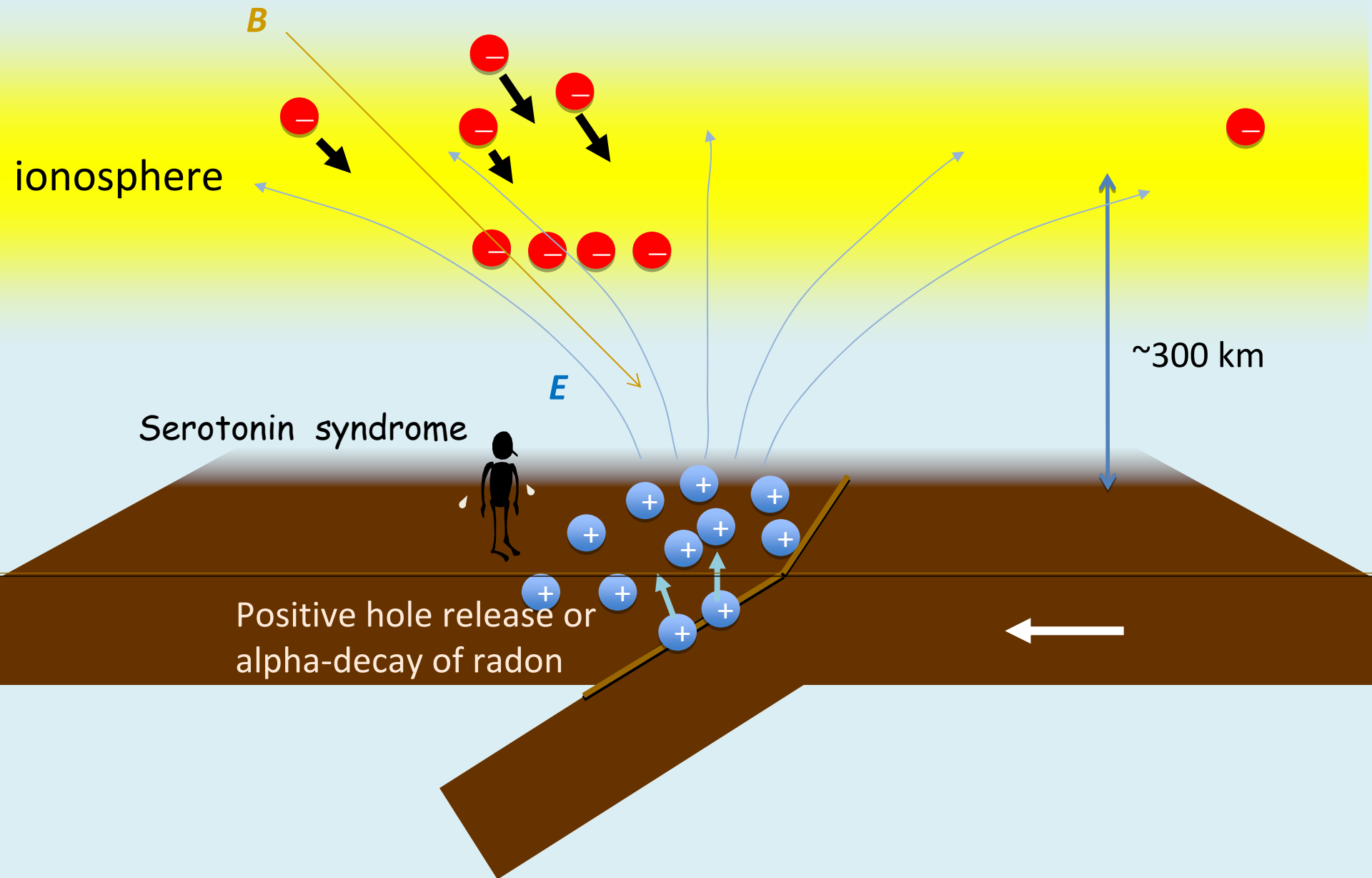
異常が強く出る衛星(15,26)と弱くでる衛星(9,27)
— 磁力線と視線が成す角度の違い —

Angle between B and LOS matters



正のTEC異常は、磁力線に沿った電子の下降？

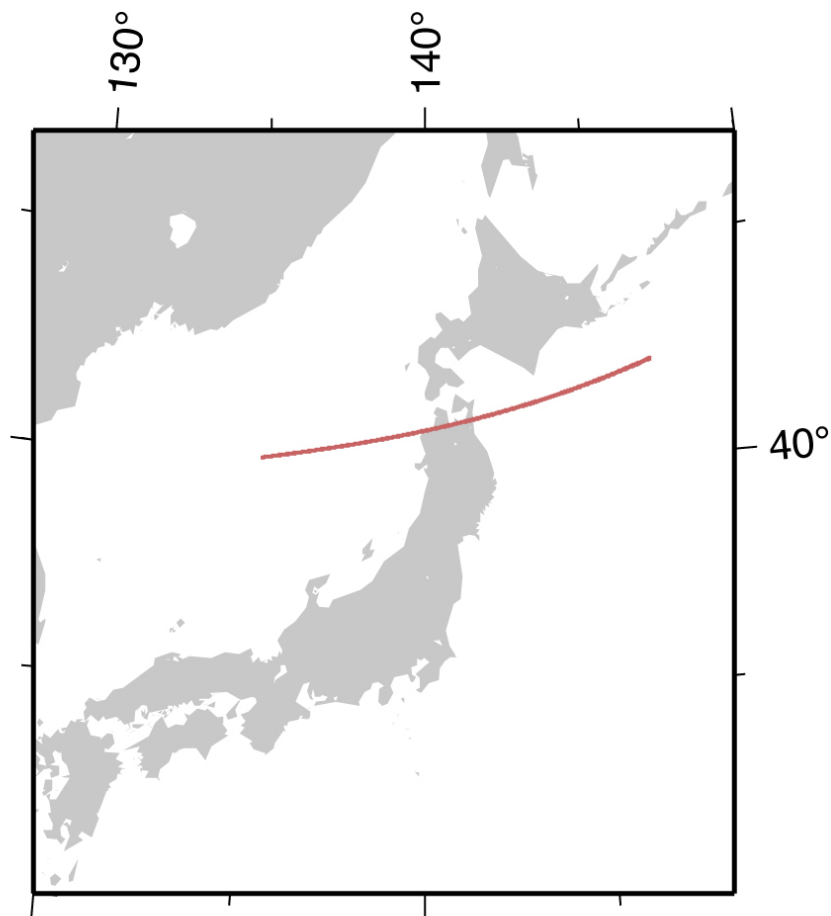
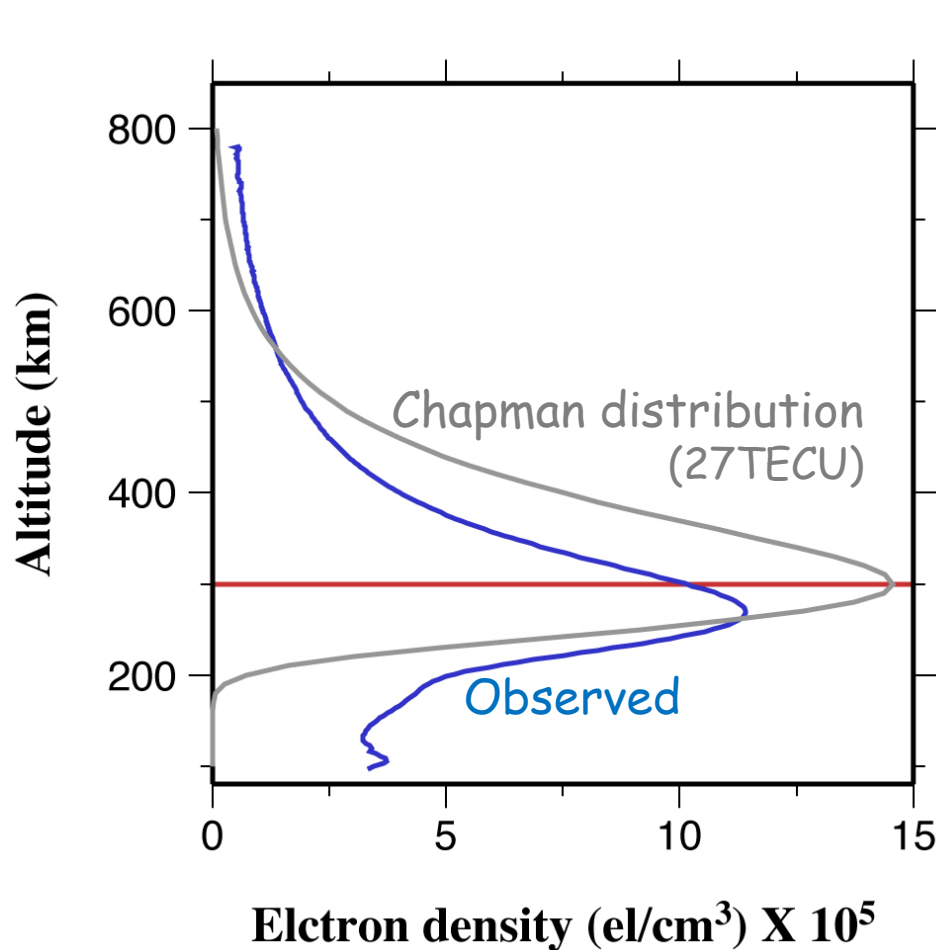
Positive charge attracted ionospheric electrons ?



GPS掩蔽観測データ？

地震直後の青森上空の電子密度プロファイル

COSMIC-2 RO data at 2011/070/05:50

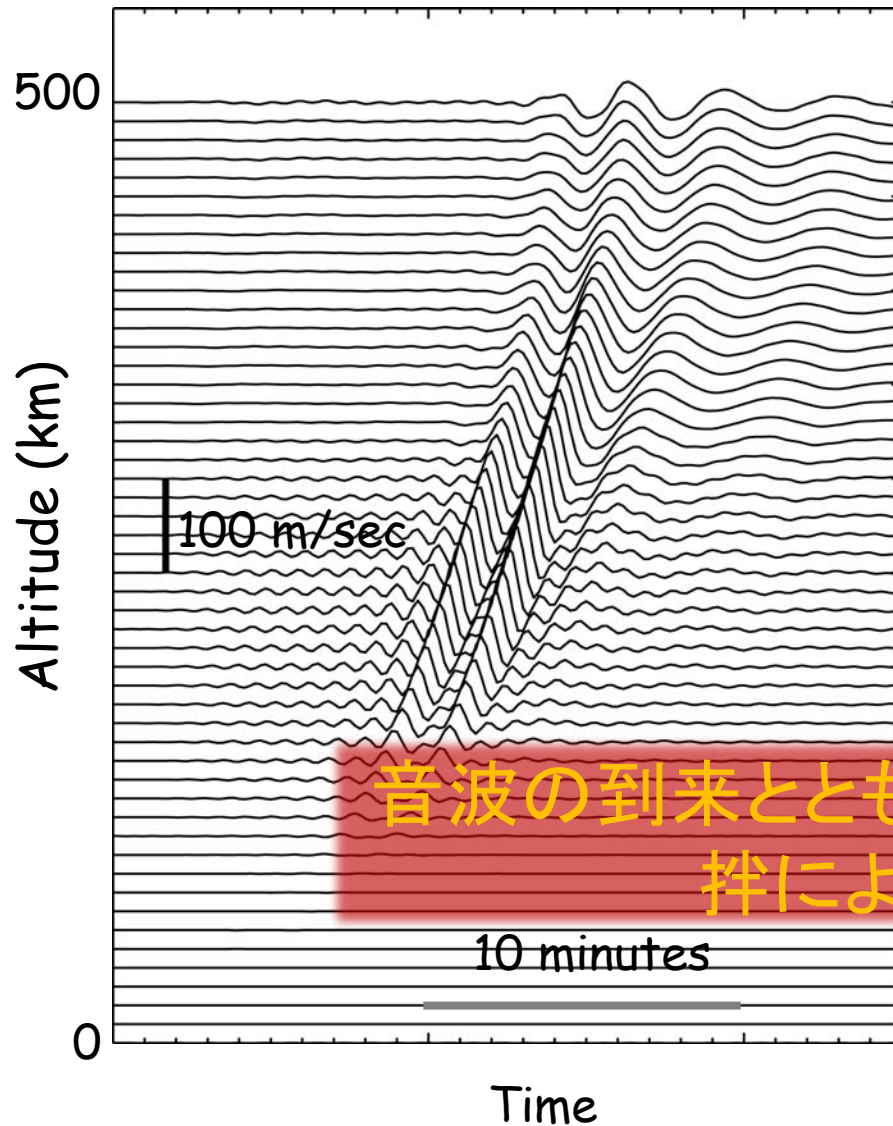


比べる対象がなくて異常なのか不明

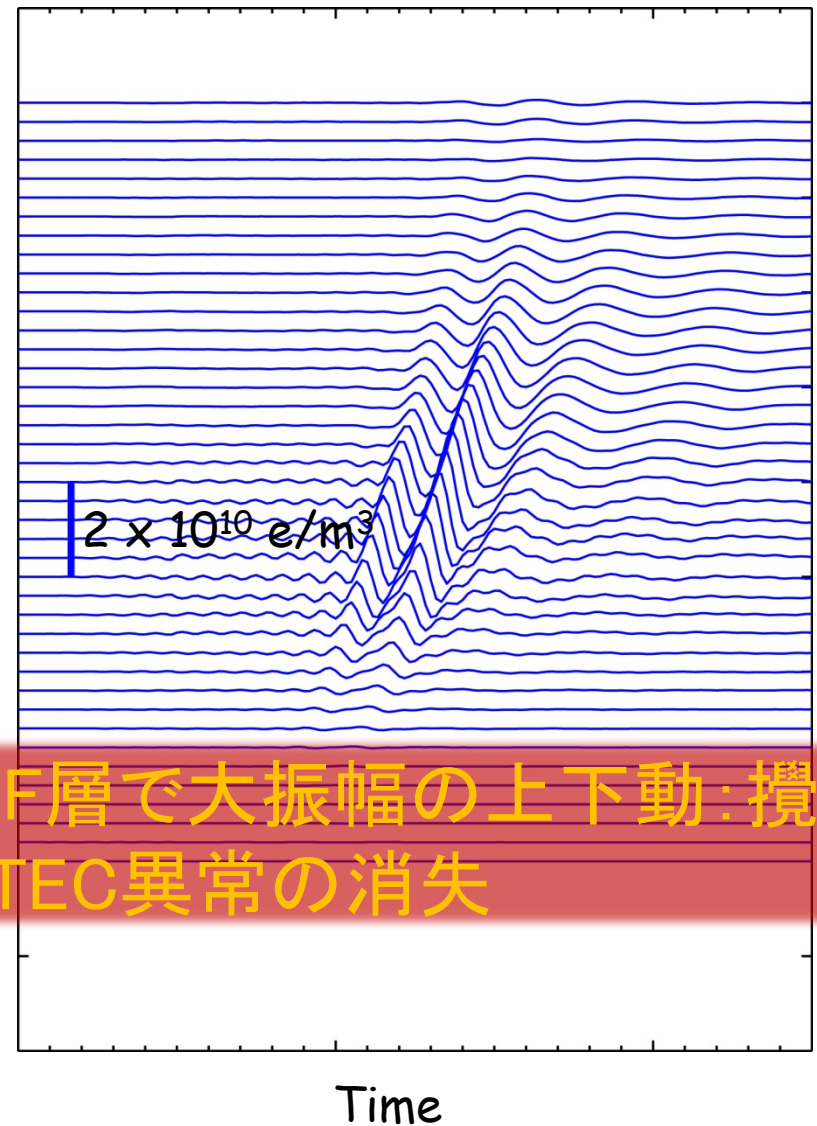
何故CIDと共に消えた？

上下方向に数十kmの振幅を持つ音波による攪拌

Vertical velocity

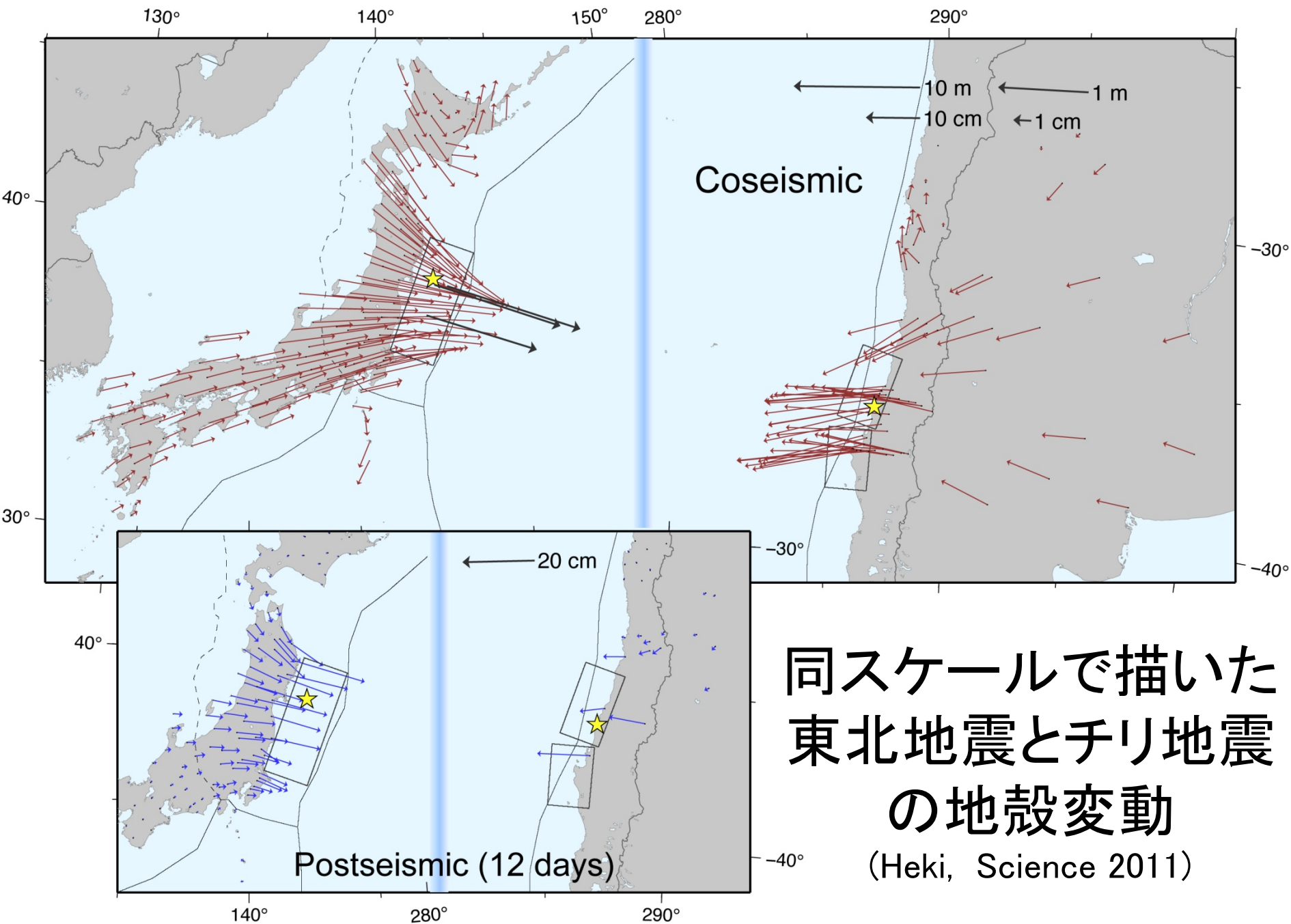


Electron density change



音波の到来とともにF層で大振幅の上下動：攪拌によるTEC異常の消失

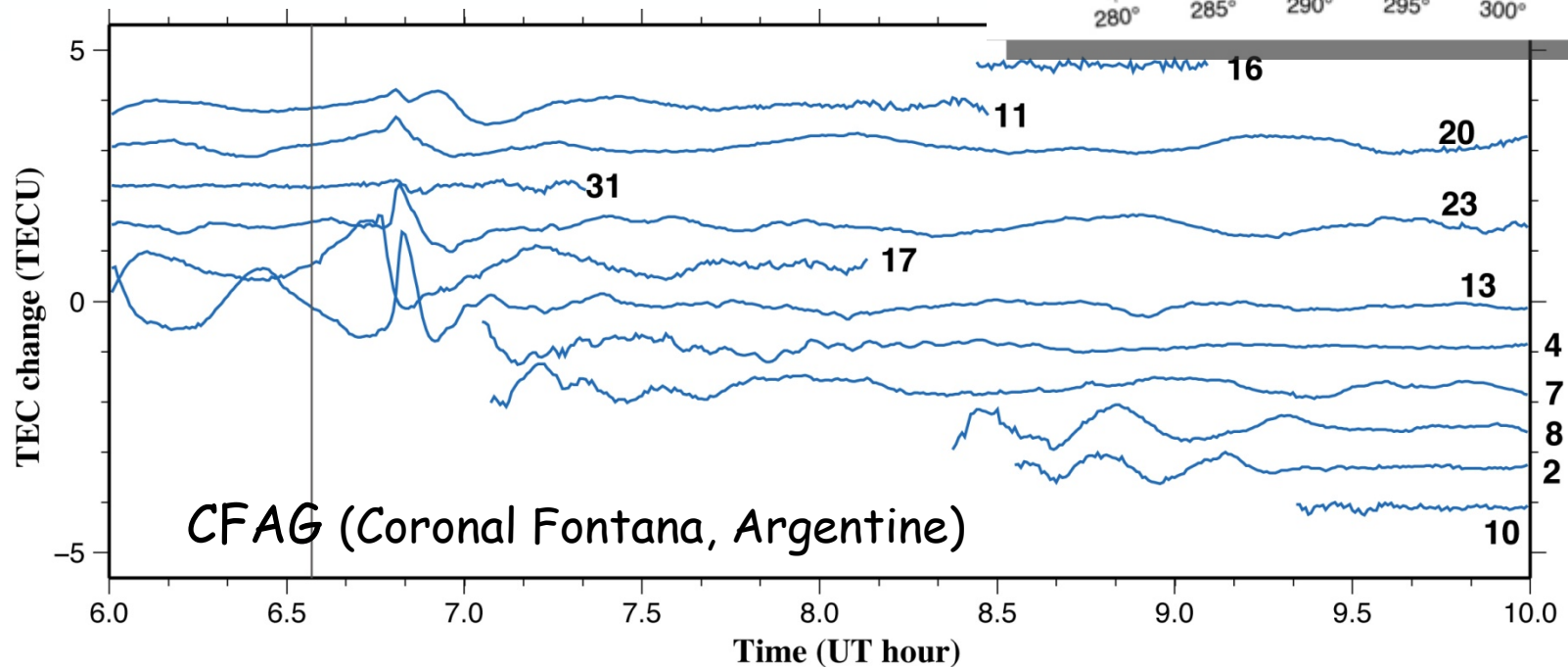
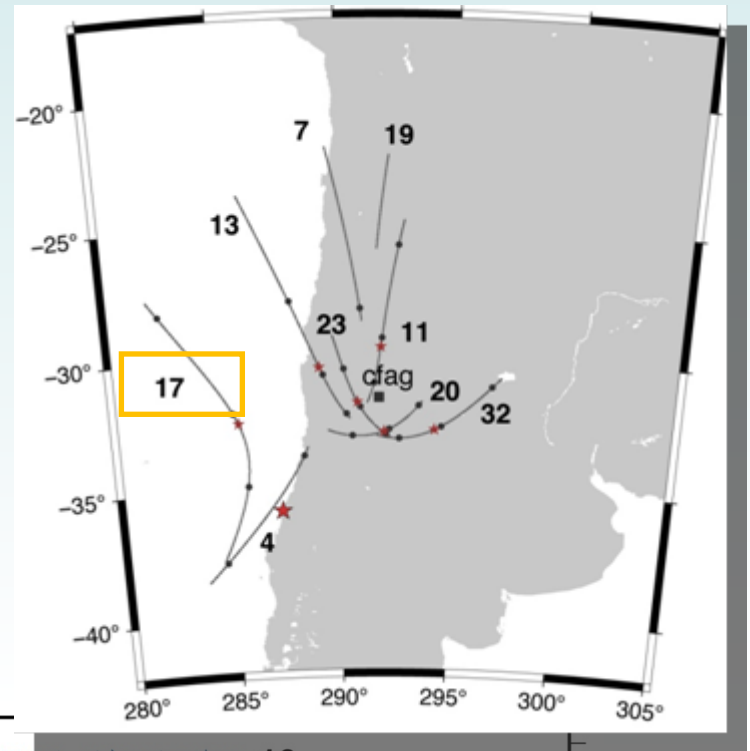
巨大地震に普遍的な現象？
2010チリ、2004スマトラ



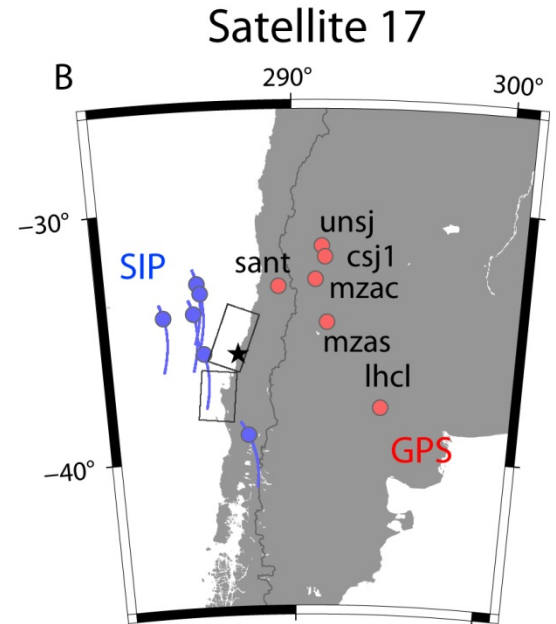
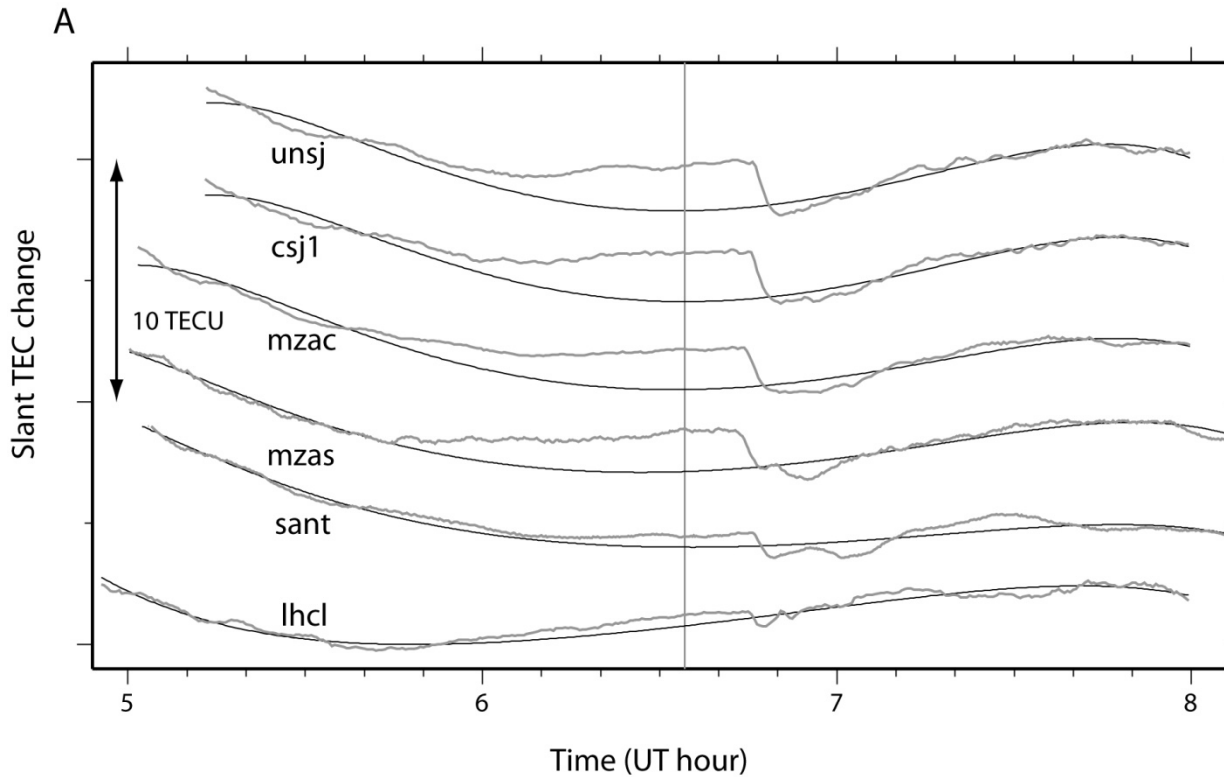
同スケールで描いた 東北地震とチリ地震 の地殻変動

(Heki, Science 2011)

Coseismic Ionospheric Disturbance in the 2010 Chile Earthquake

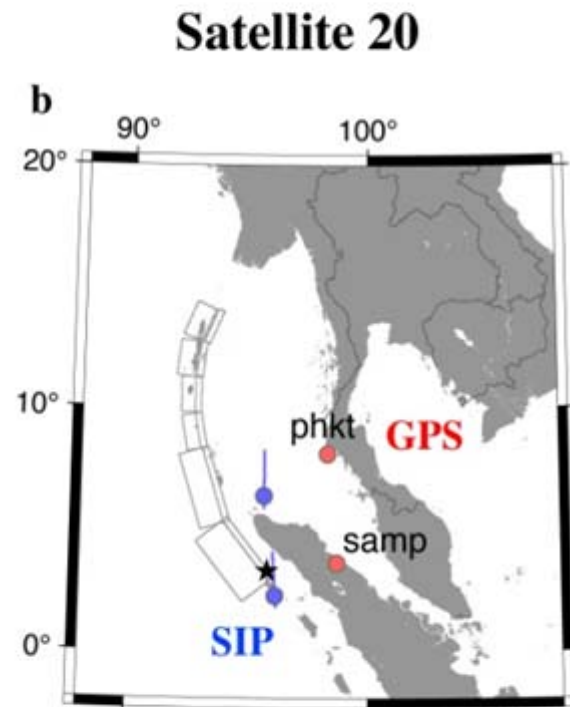
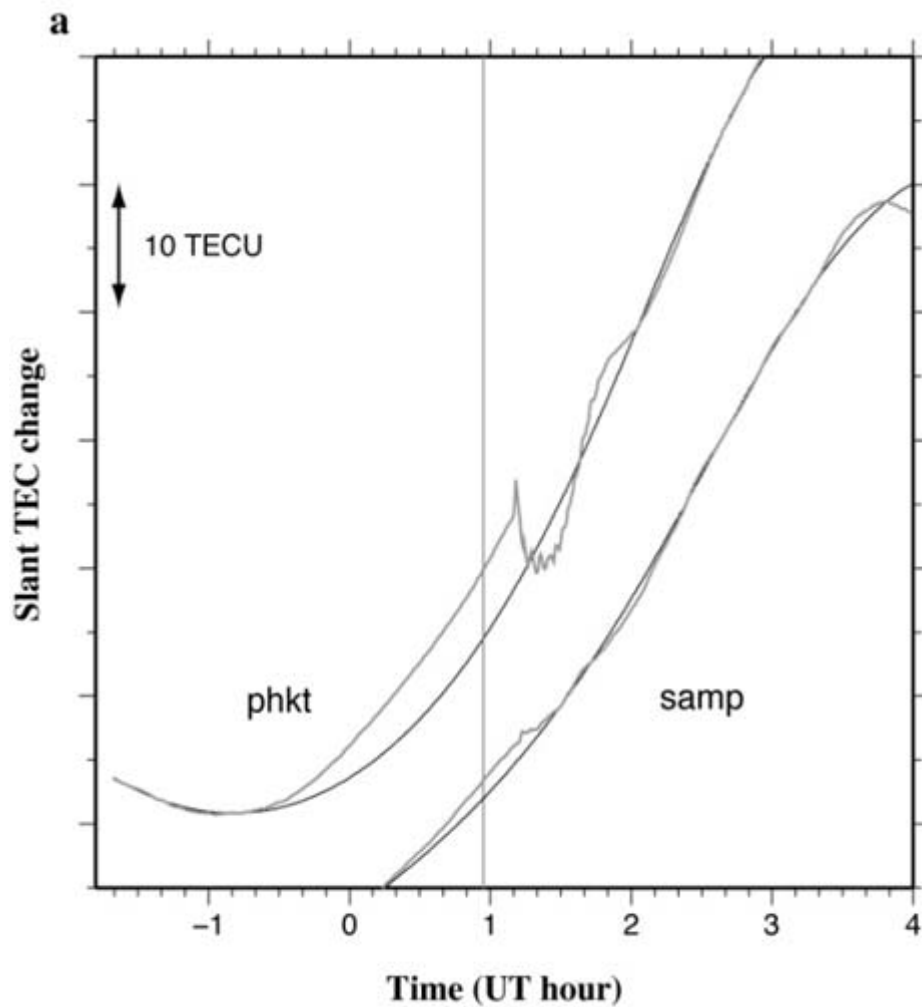


2010 February Chile (Maule) Earthquake



Similar signature in TEC changes

2004 December Sumatra-Andaman Earthquake



Larger preseismic TEC change signatures

M8クラス？

1994北海道東方沖(色丹) M8.3

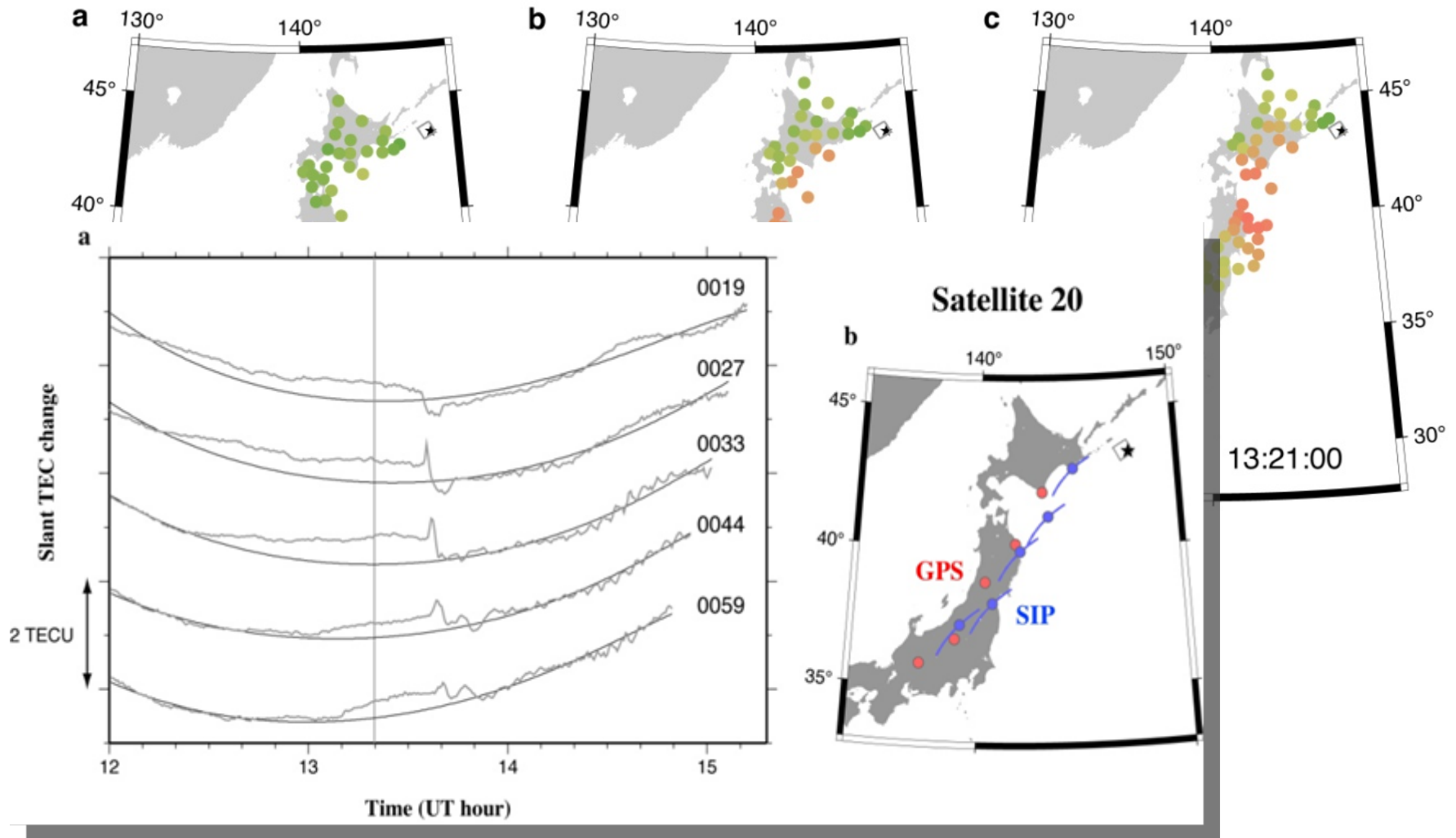
2003十勝沖 M8.0

1994 Hokkaido-Toho-Oki eq. (M8.3)

1 hour

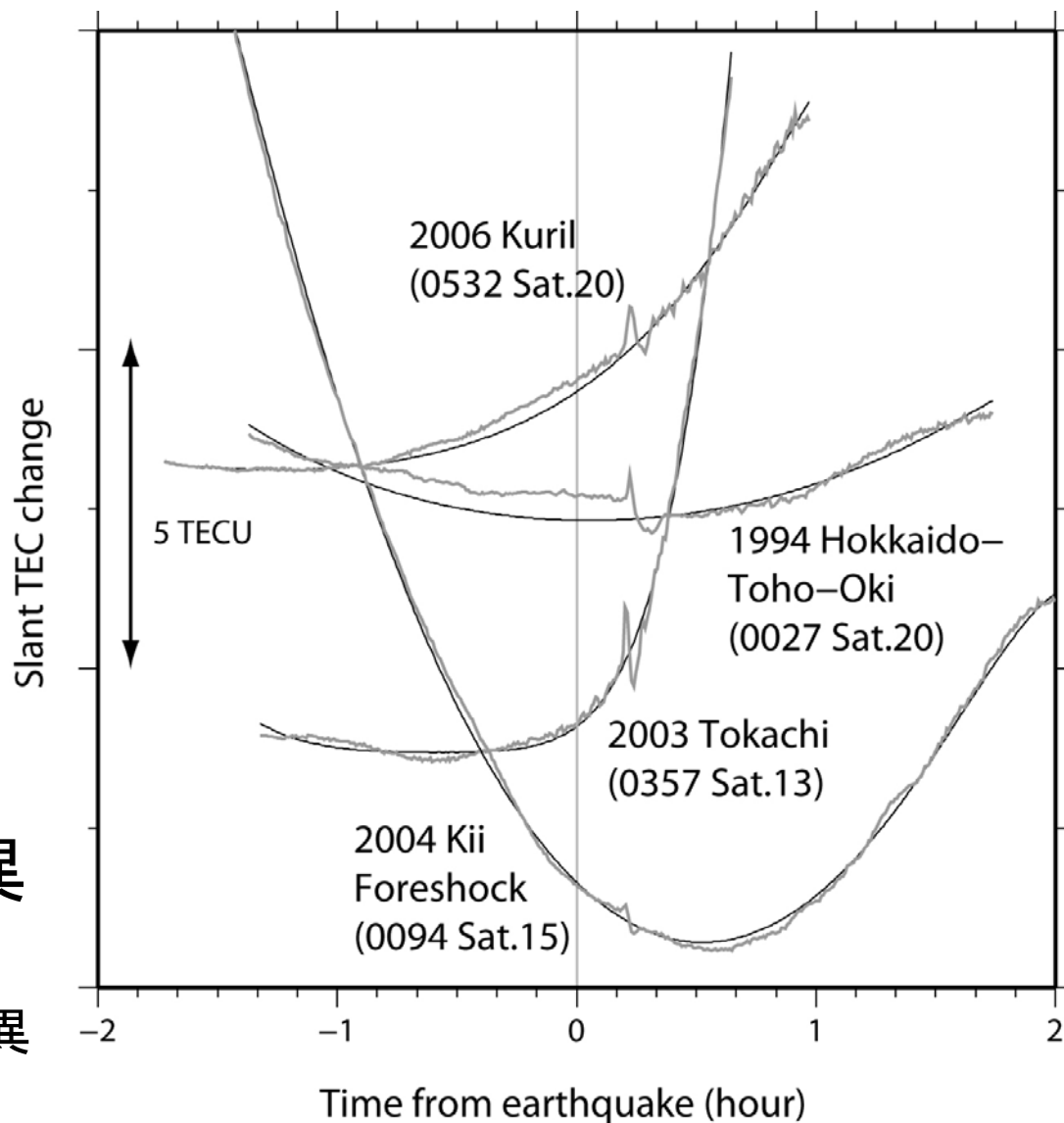
20 min.

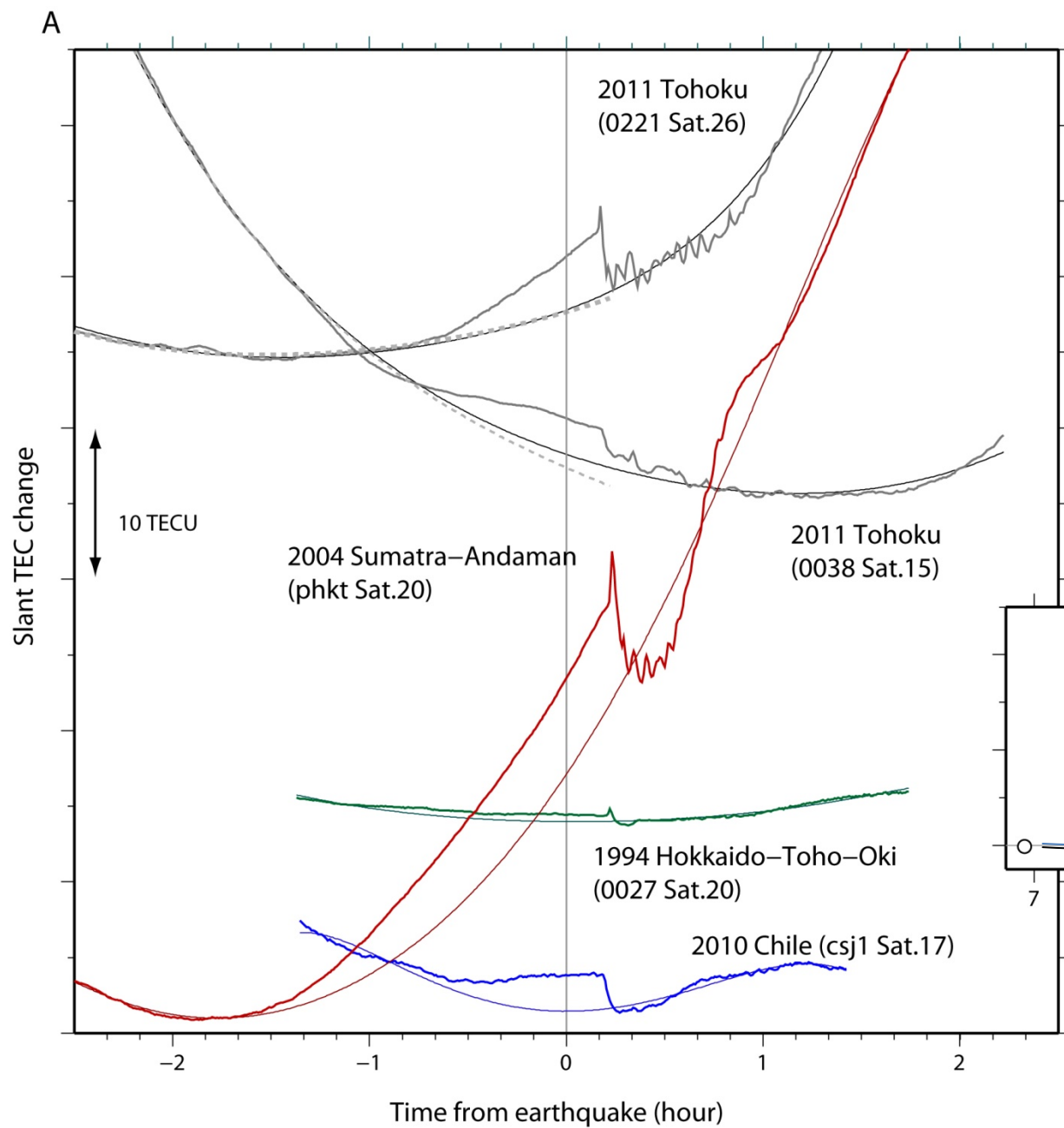
1 min. before the earthquake



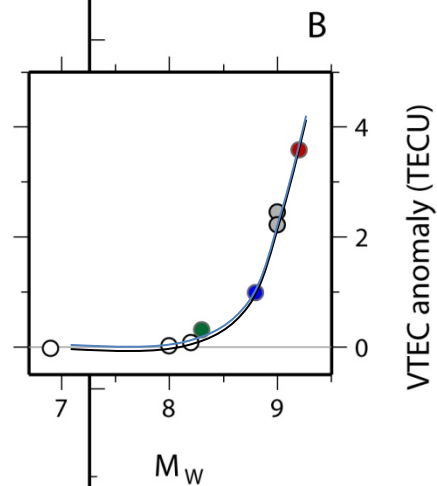
M7-8クラスではTEC異常出ない

(1994, 2006の地震には小さな異常が見えている)





M9クラスなら1
時間程前から
TEC異常が出る



要するに

1. TECが正の異常を示し始めたら
一時間以内にM9クラス地震が発生(いつ?)
2. 震源はTEC異常域中心の直下(?) (どこで?)
3. 上昇量はMに依存、M8級ではほぼ見えない
(どのくらいの大きさの?)

前兆ではなく、未知のフェーズ？

結論

Earthquakes are **not** inherently unpredictable



FAQ and Answer

1. 一言でまとめると？

GPS-TECで明瞭な前兆、予知研究のブレークスルー

2. 地震前に地面で何が起こった？

おそらく正電荷が関係、でも詳細は不明

3. 地震時のTEC減少による見かけの上昇？

いいえ、地震前の上昇が地震時に元に戻っただけ

4. 地震時にTECが戻った理由？

CIDで音波が熱圏大気を大きな振幅で上下に攪拌

5. 今までの前兆報告と何が違う？

(1)誰でも追試可、(2)M9地震で似た前兆、(3)直前の現象

6. 次の地震は予知できる？

静止衛星等でTEC監視体制制作ればM9クラスは可能性あり