

平成25年度名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会  
「中緯度短波レーダー研究会」，名古屋大学，2014年1月27日

# 下層大気で生成される音波・重力波 が超高層大気に与える影響の シミュレーション

品川裕之(NICT)、三好勉信(九大)、  
陣英克(NICT)、藤原均(成蹊大)、  
丸山 隆(NICT)



# 内容

---

## ◆地震・津波に伴う音波による電離圏変動のシミュレーション

- **2-D simulation of Tohoku-oki earthquake**  
[Shinagawa et al., 2013, GRL]
- **Effect of surface wave on ionosphere: 1-D simulation**  
[Maruyama and Shinagawa, 2013, JGR, submitted]

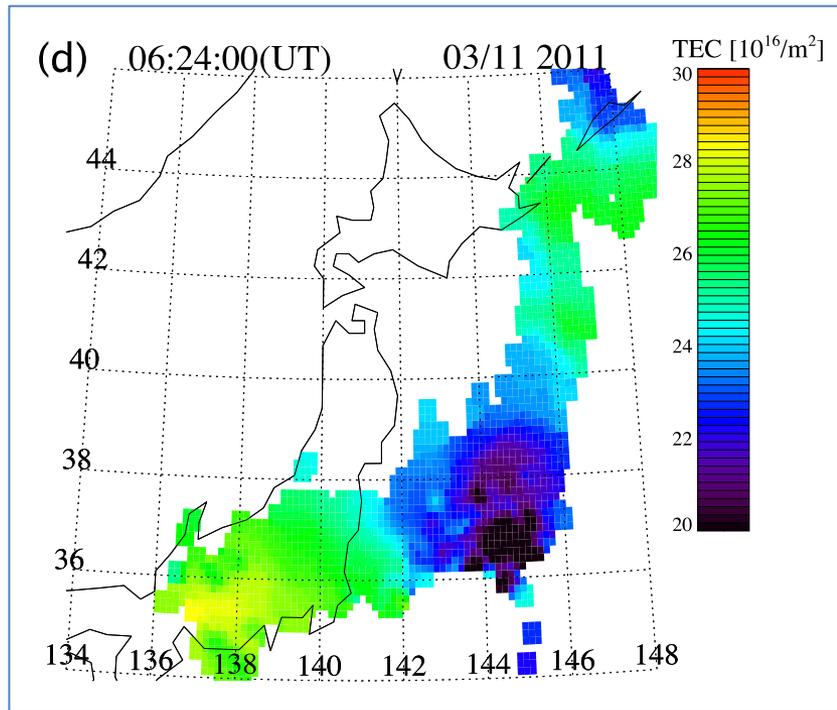
## ◆グローバルモデル中に現れる重力波の構造

- **A Global View of Gravity Waves in the Thermosphere Simulated by a General Circulation Model**  
[Miyoshi et al., 2014, JGR, submitted]

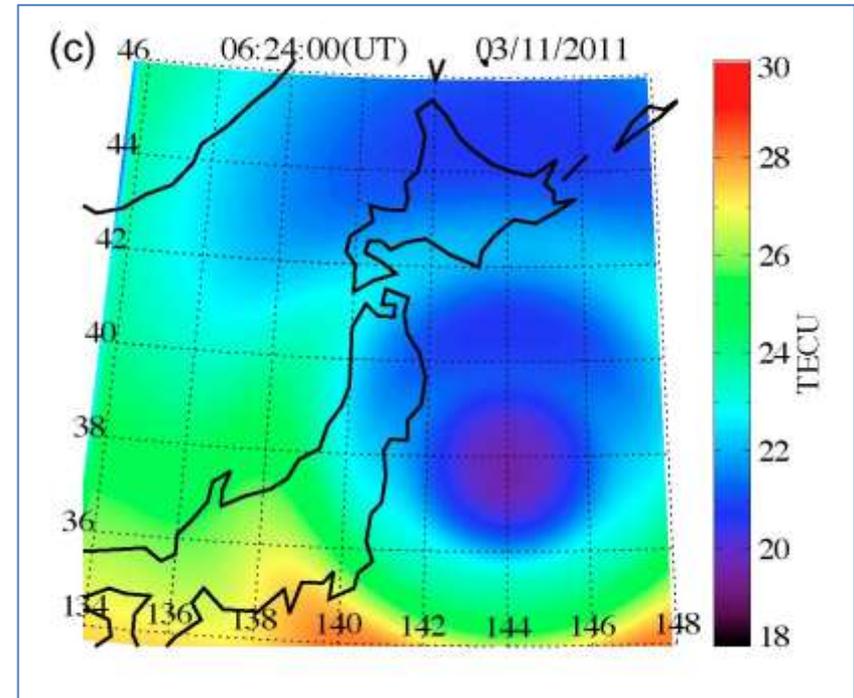
# “Two-dimensional simulation of ionospheric variations in the vicinity of the epicenter of the Tohoku-oki earthquake on 11 March 2011”

[Shinagawa, et al., 2013, GRL]

観測TEC



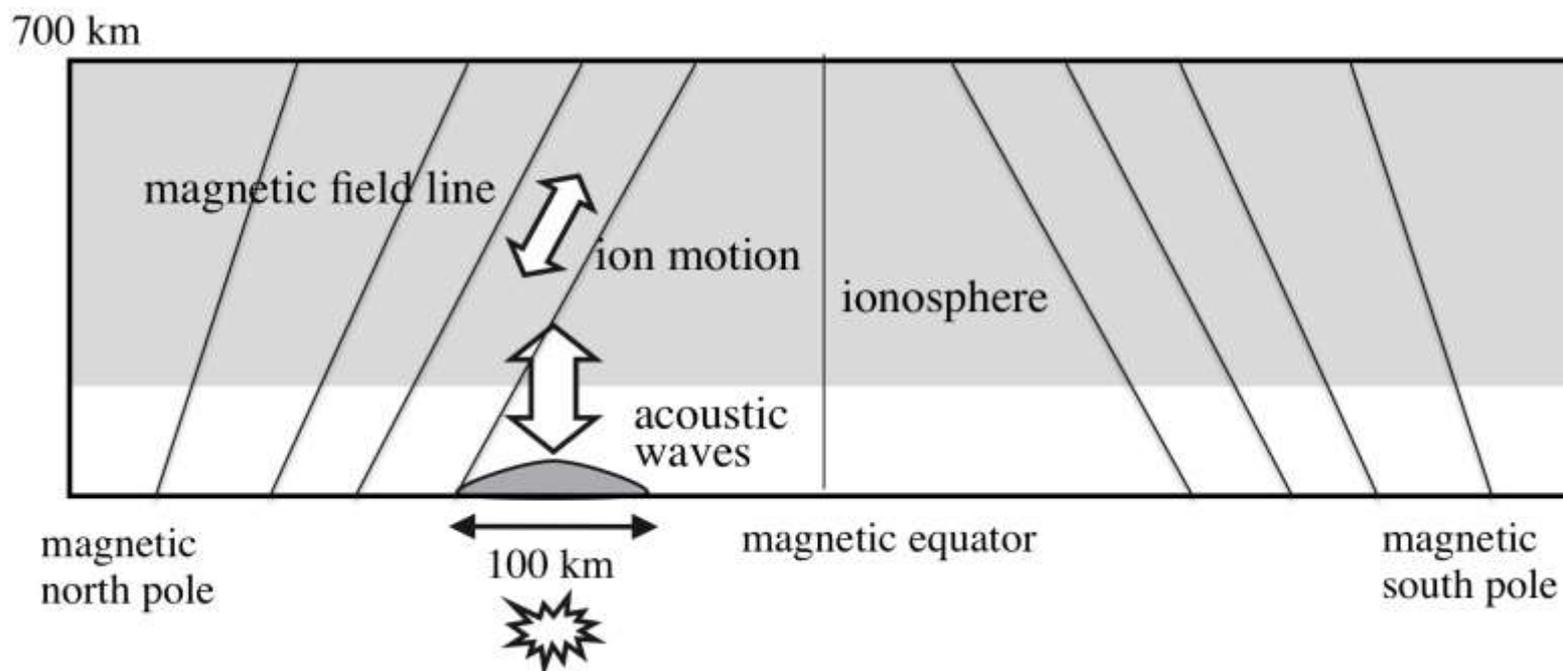
モデルTEC



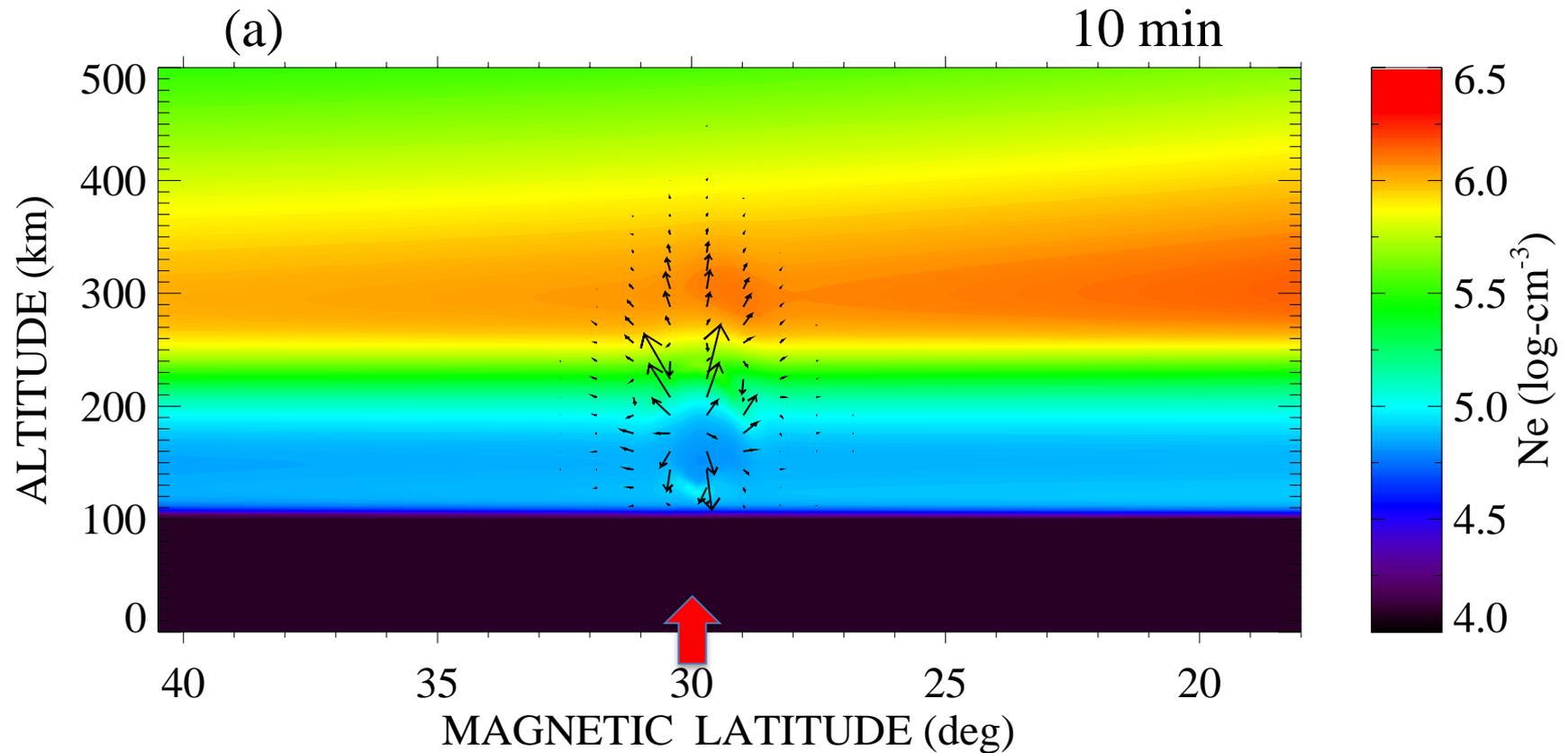
# 津波による大気圏電離圏変動のシミュレーション

## 初期変動

下部境界で、振幅2m/s, 周期10秒の正弦的な鉛直速度変動を1周期与える(海面上昇6m/sに相当)

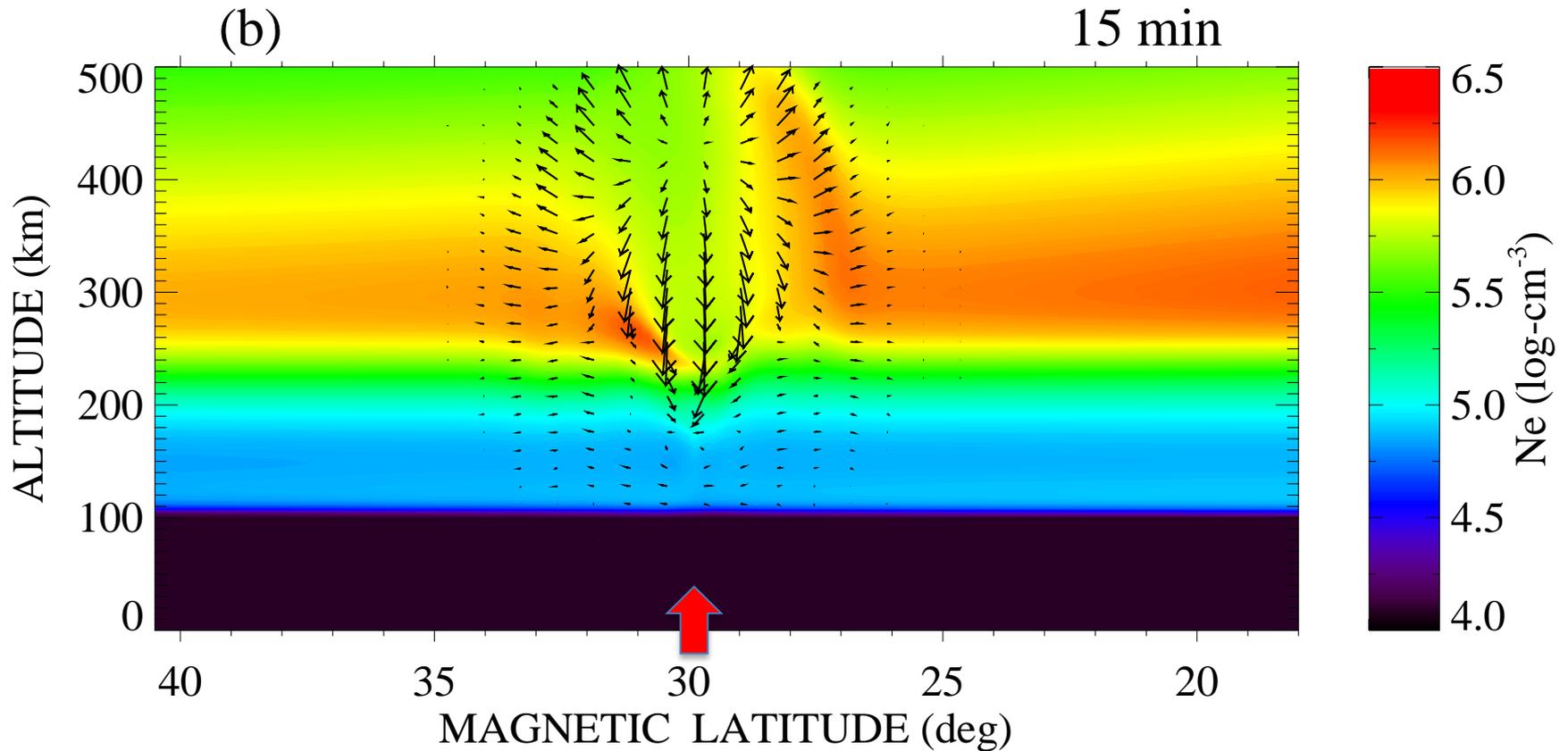


# Neutral Wind and Electron Density



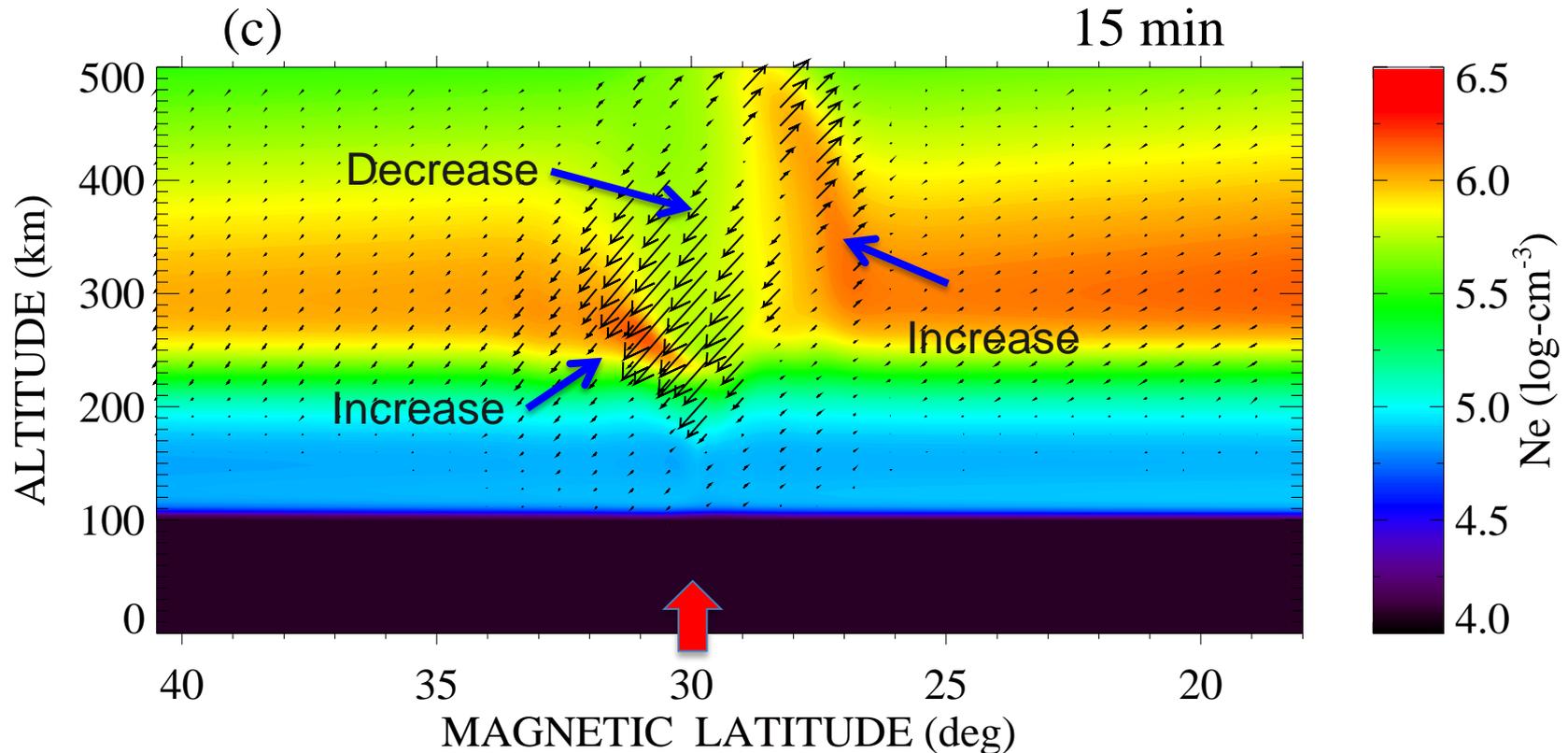
Pressure pulse generated at the surface propagates up to the thermosphere and expands outward.

# Neutral Wind and Electron Density



Neutral atmosphere expands drastically in the thermosphere, dragging ions outward.

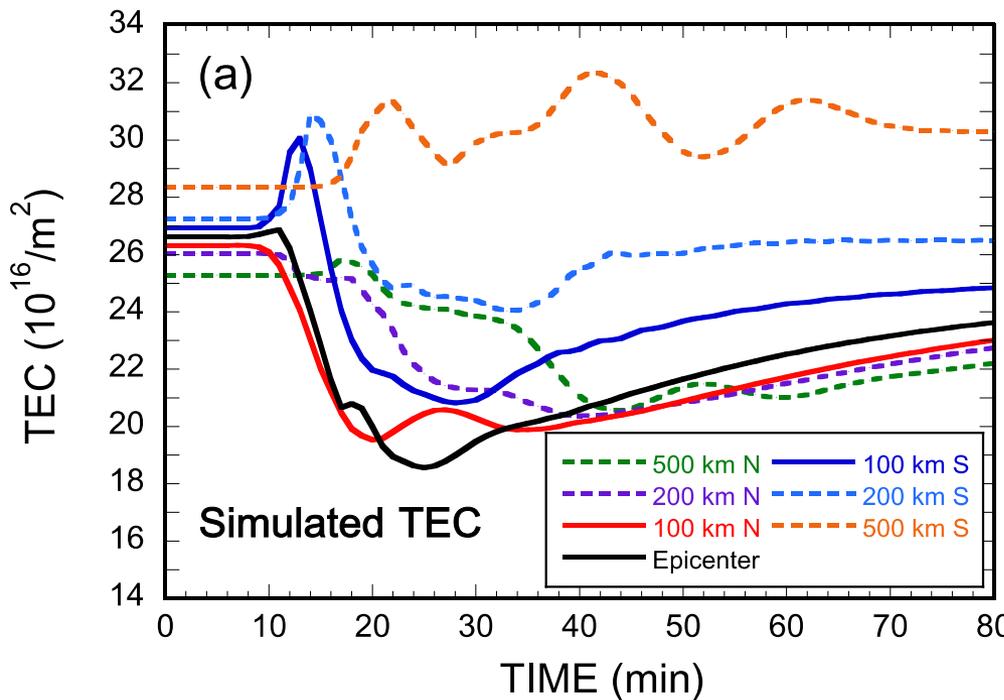
# Ion Drift and Electron Density



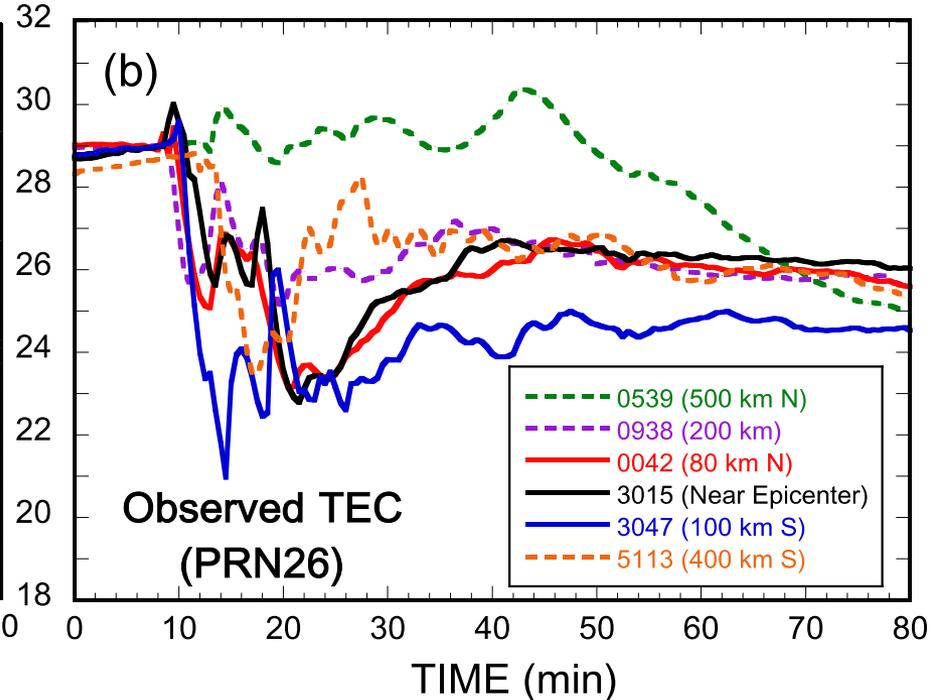
Electron density decrease at the epicenter is caused by divergent ion flow.

# TEC variations

## Simulation



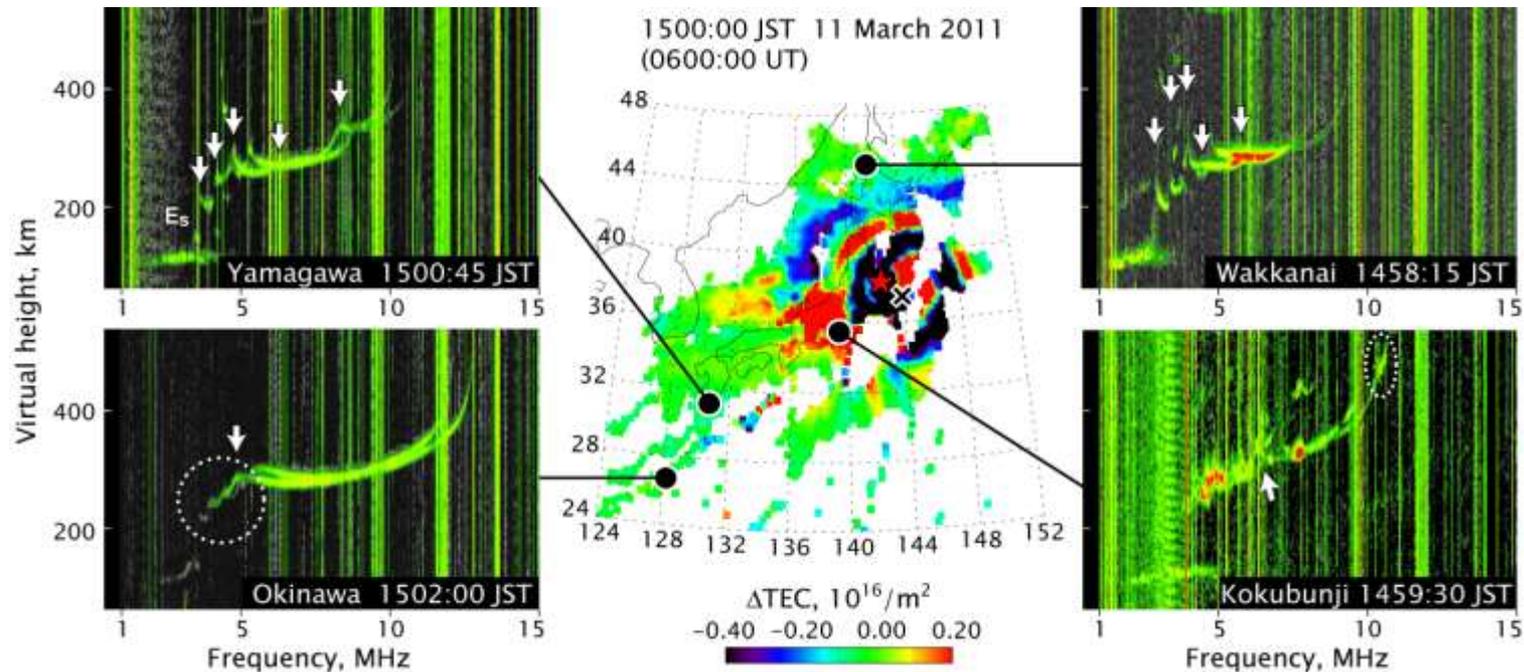
## Observation



Sudden TEC decrease is caused by strong atmospheric expansion in the thermosphere driven by an impulsive pressure pulse, which is generated by a sudden uplift of the sea surface.

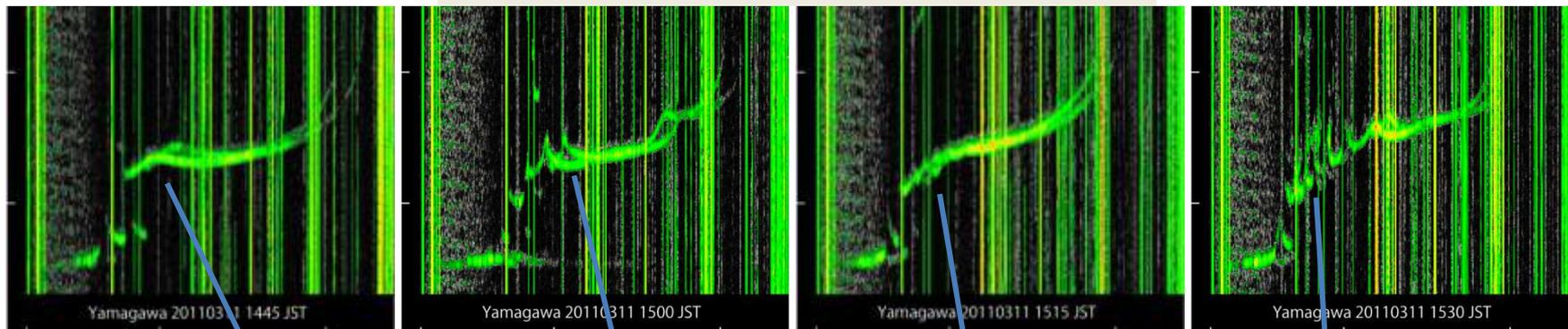
# “Infrasonic sounds excited by seismic waves of the 2011 Tohoku-oki earthquake as visualized in ionograms”

[Maruyama and Shinagawa, 2013, JGR, submitted]

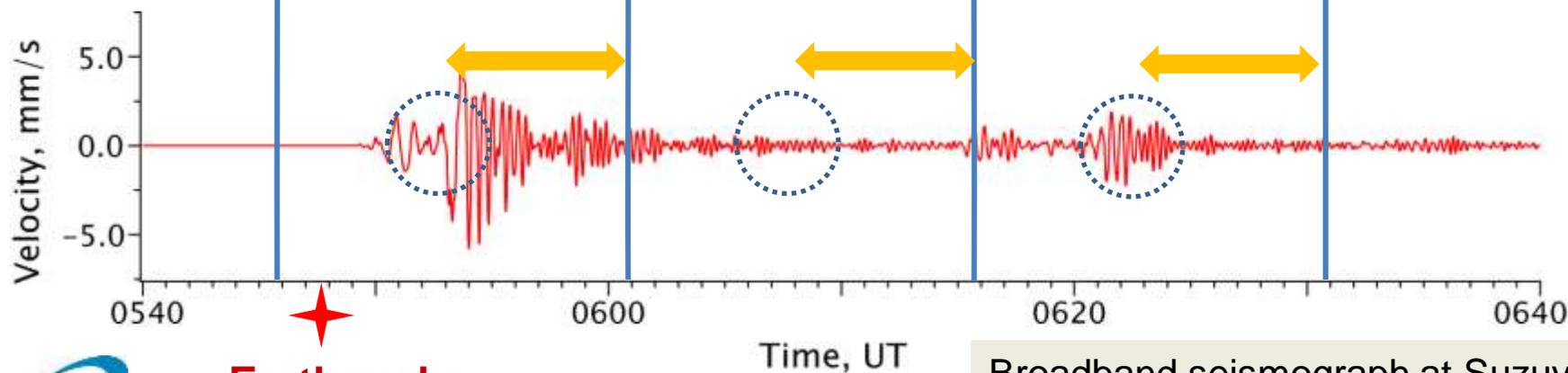


# Direct comparison between ionograms and seismograph

Ionograms at Yamagawa ( $d = 1410$  km)



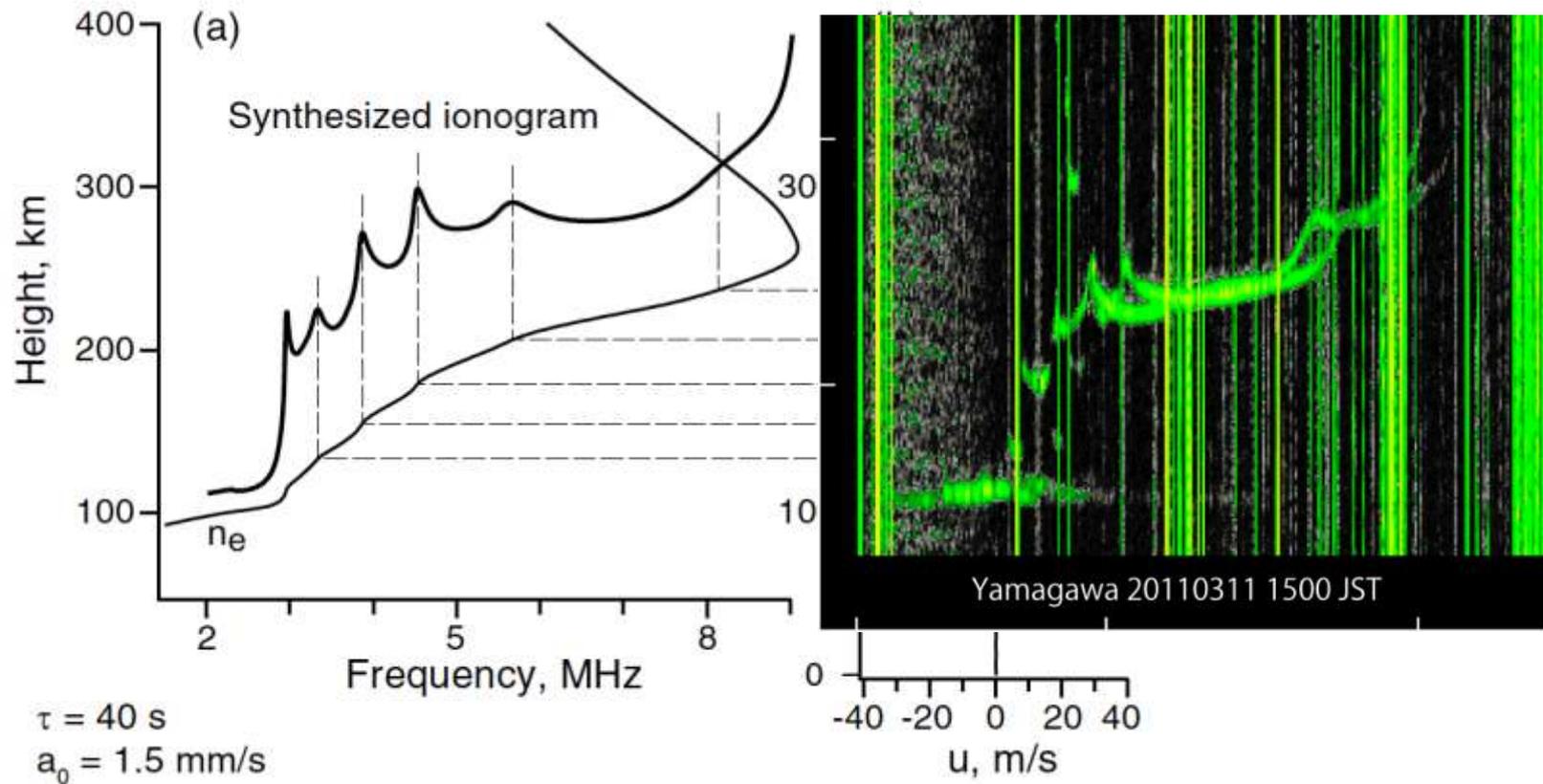
Ground motion >>> Propagation delay >>> Ionogram deformation



Earthquake

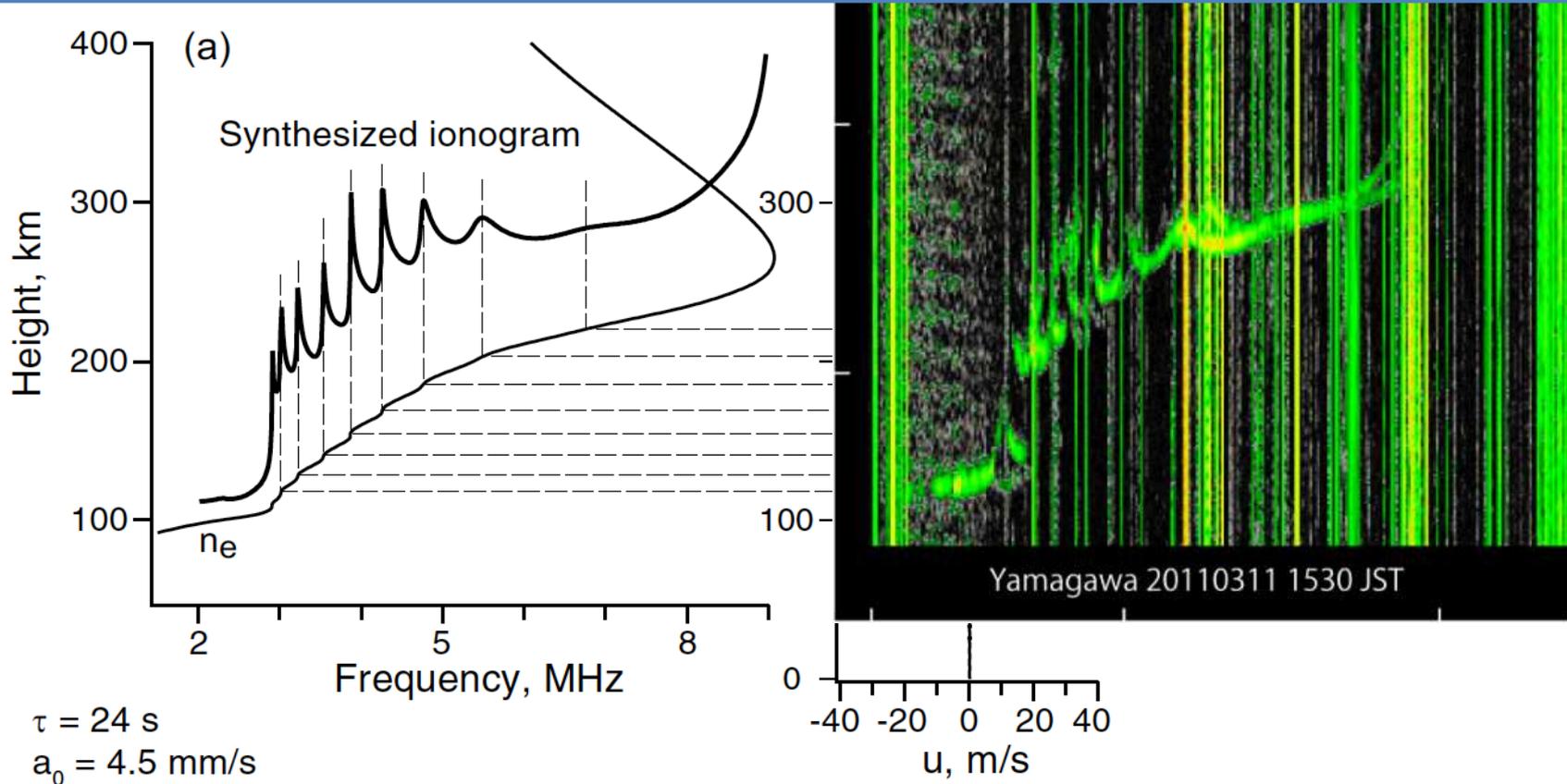
Broadband seismograph at Suzuyama

# 1-D Simulation



地面で正弦的な鉛直振動を与えた時の(a) 電子密度とそれから構築したイオノグラム値、(b) 音波の鉛直振動。地面の振幅を1.5 mm/s, 周期40秒とした場合。

# 1-D Simulation



地面の振幅を4.5 mm/s, 周期24秒とした場合。

イオゾンデで観測された電離圏変動は、地震に伴う表面波で励起された音波が上方に伝わり、電離圏領域を振動させた結果であると考えられる。

# A Global View of Gravity Waves in the Thermosphere Simulated by a General Circulation Model

[Miyoshi et al., 2014, JGR, submitted]

- 水平分解能 1度x1度版の中性大気モデル(GCM)を用いて、重力波のグローバル構造を調べる。
- 水平約300kmスケール以上の重力波が再現可能。
- 「重力波ドラッグのパラメタリゼーション」を含まないシミュレーションによって重力波ドラッグの超高層大気への影響を直接調べる。
- プラズマバブル再現モデルへの準備。

# Whole Atmosphere-Ionosphere Coupled Model (GAIA)

## ◆ Ionospheric model

- Spherical coordinates
- Altitude range: 0 – 3000 km
- Grids: latitude 1°, longitude 1°,  
altitude 10-100 km

## ◆ Dynamo model

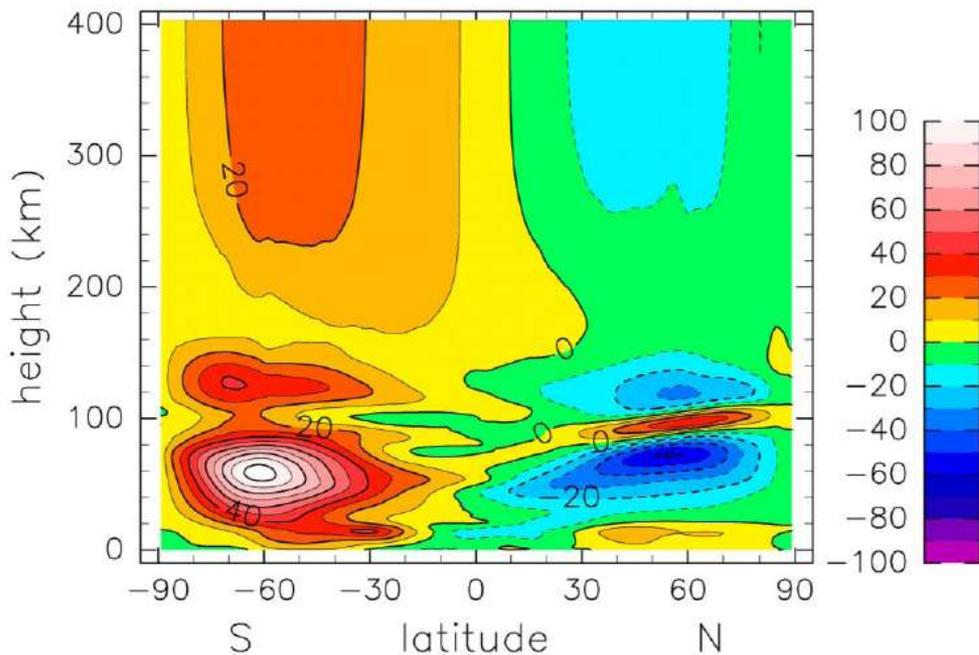
- Solves potential equation to give  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{J}$ ,  $\Delta\mathbf{B}$
- Tilted dipole magnetic field

## ◆ Atmospheric model

- Hydrostatic GCM
- Grids: latitude 1° x longitude 1°  
75-150 layers vertically (0 km ~ about 500 km)
- Meteorological processes included

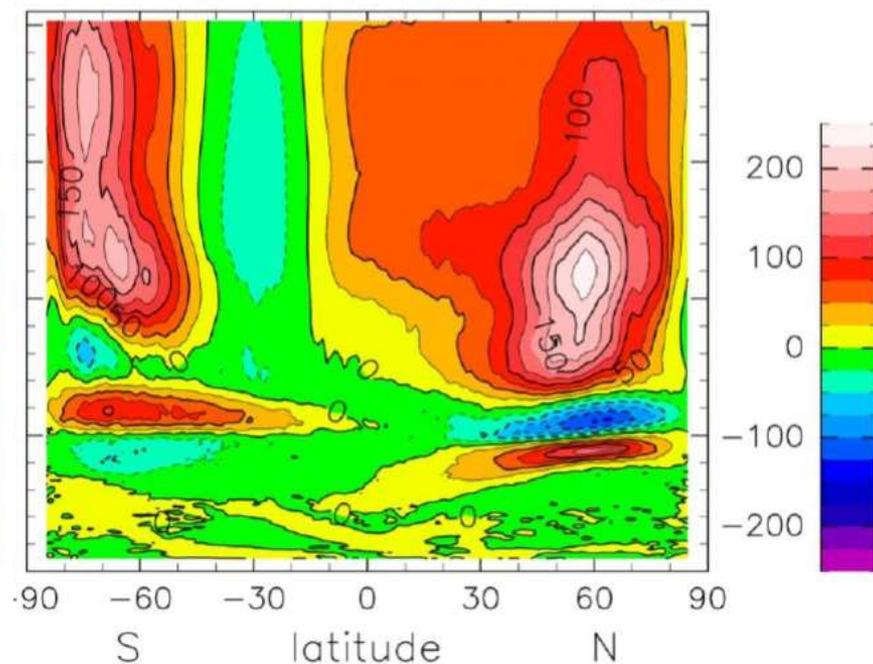
# 経度平均した東西風速と重力波ドラッグの高度-緯度分布

zonal mean U (m/s) ; June



経度平均東西風速。  
6月16~30日の平均値。  
プラスが東向き。

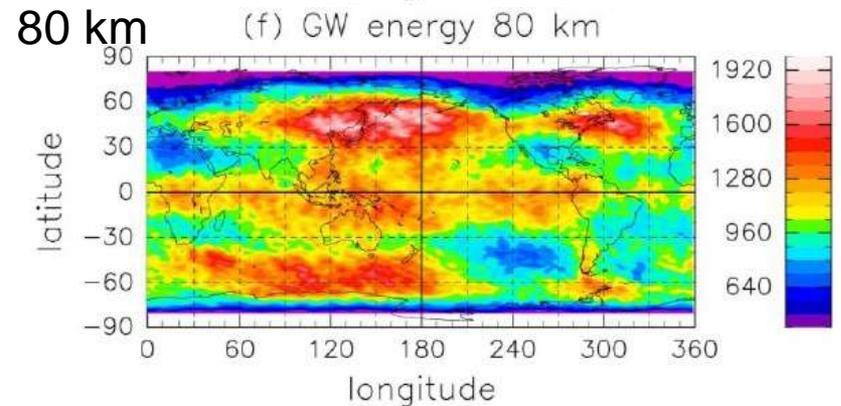
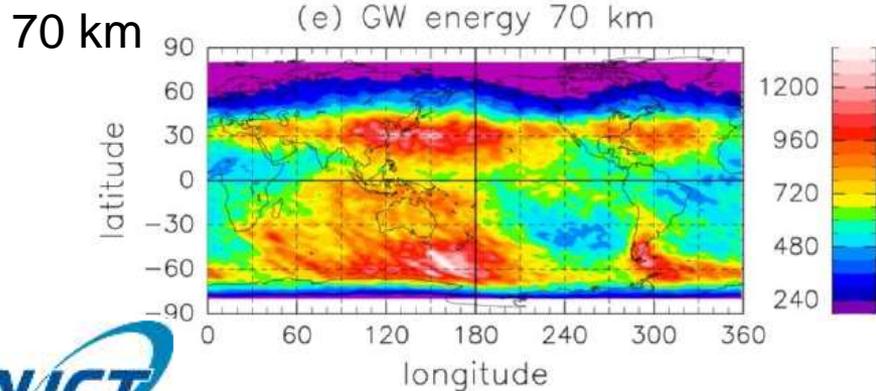
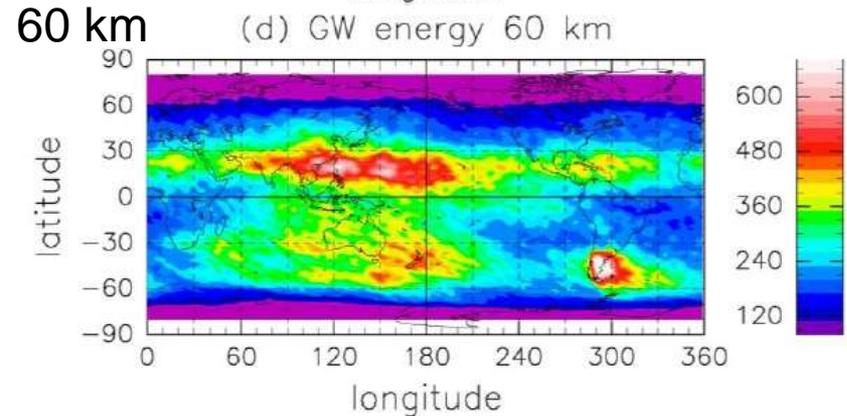
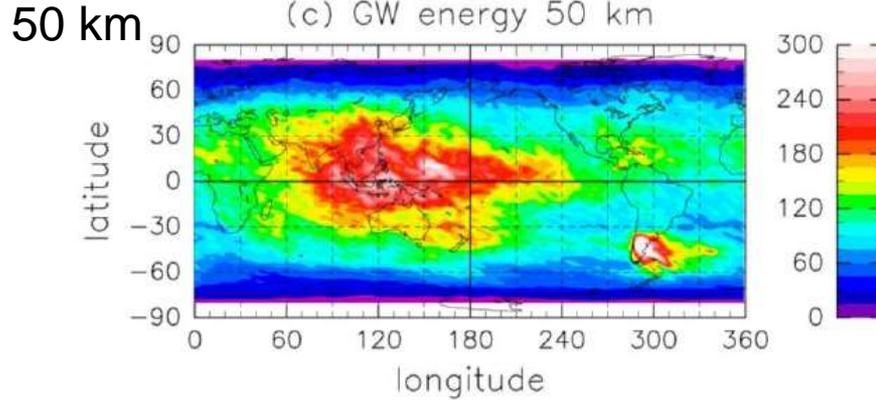
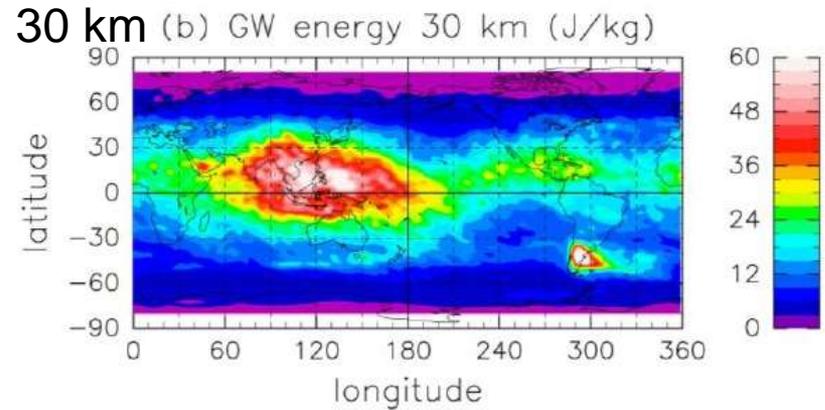
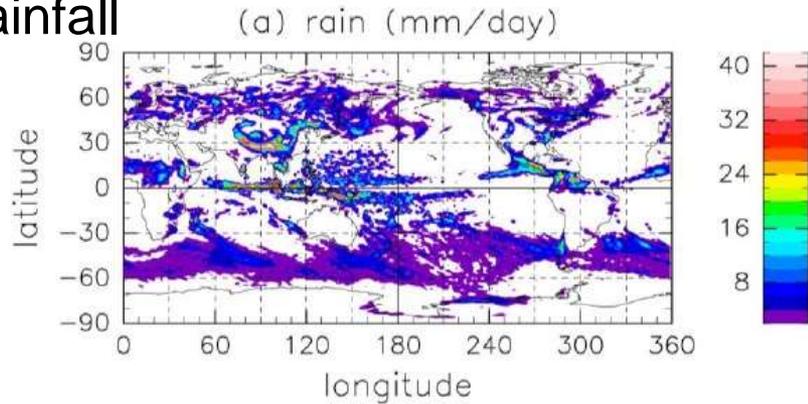
$-d(\rho u'w')/pdz$  (m/s/day)



経度平均重力波ドラッグ。  
6月16~30日の平均値。  
プラスが東向き。

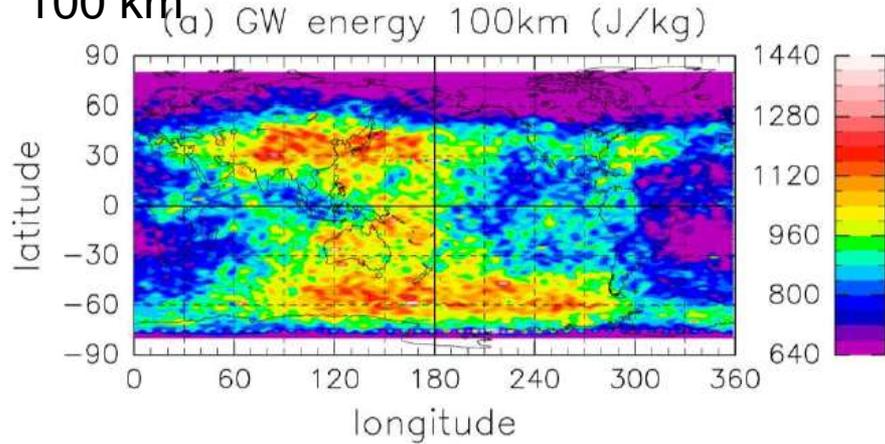
# Total energy associated with the GWs

## Rainfall

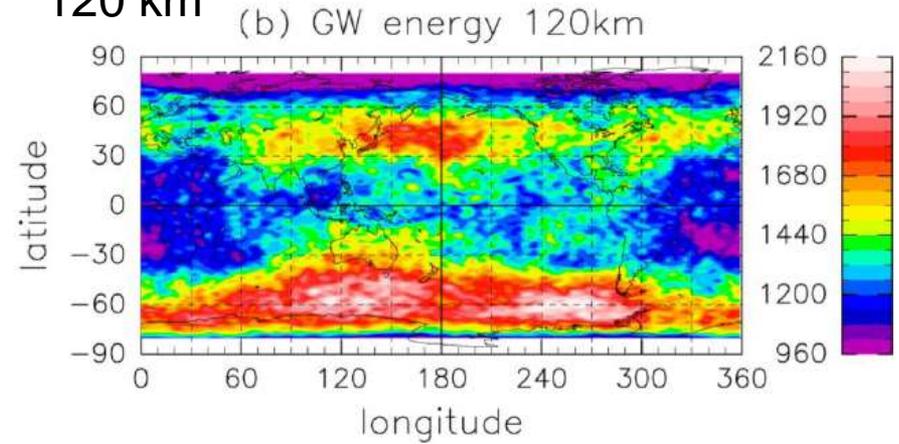


# Total energy associated with the GWs

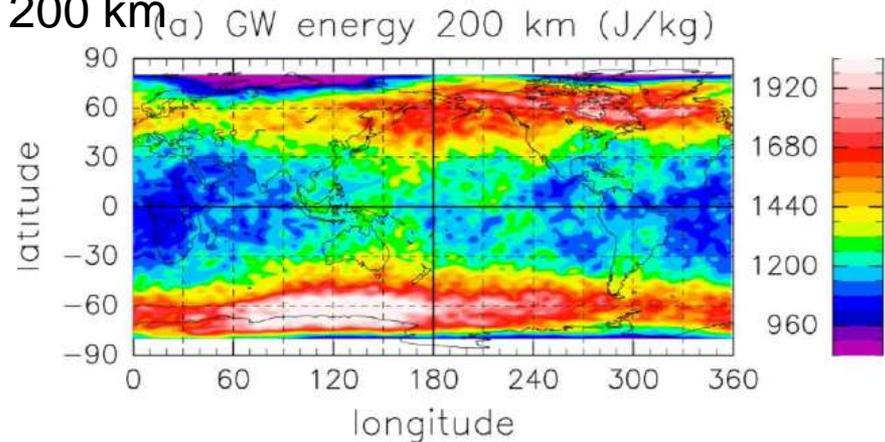
100 km



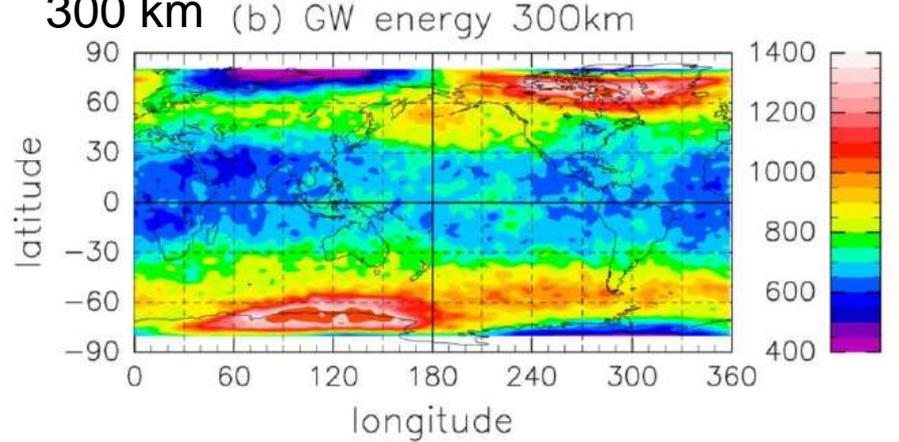
120 km



200 km



300 km



高高度では、極域のジュール加熱、降込み粒子加熱による重力波の影響が加わる。(Φ=30 kVの極域ポテンシャルを仮定)

# まとめ

- 地上付近のさまざまな現象によって音波、重力波が生成され、その一部は電離圏にまで影響を及ぼすことが近年明らかになってきた。
- シミュレーションを用いてこれらの現象を再現することが可能になりつつある。
- 今後、シミュレーションと、さまざまな電離圏観測 (TEC, SuperDARN, ionosonde, etc.) との比較を行うことにより、現象の定量的説明が期待できる。