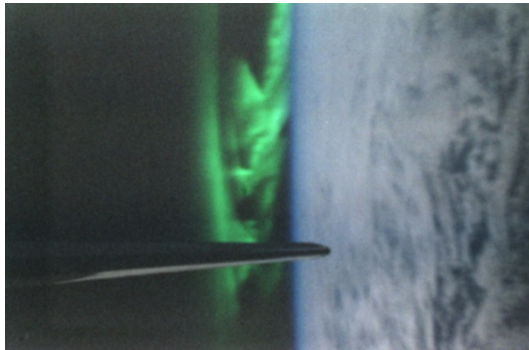
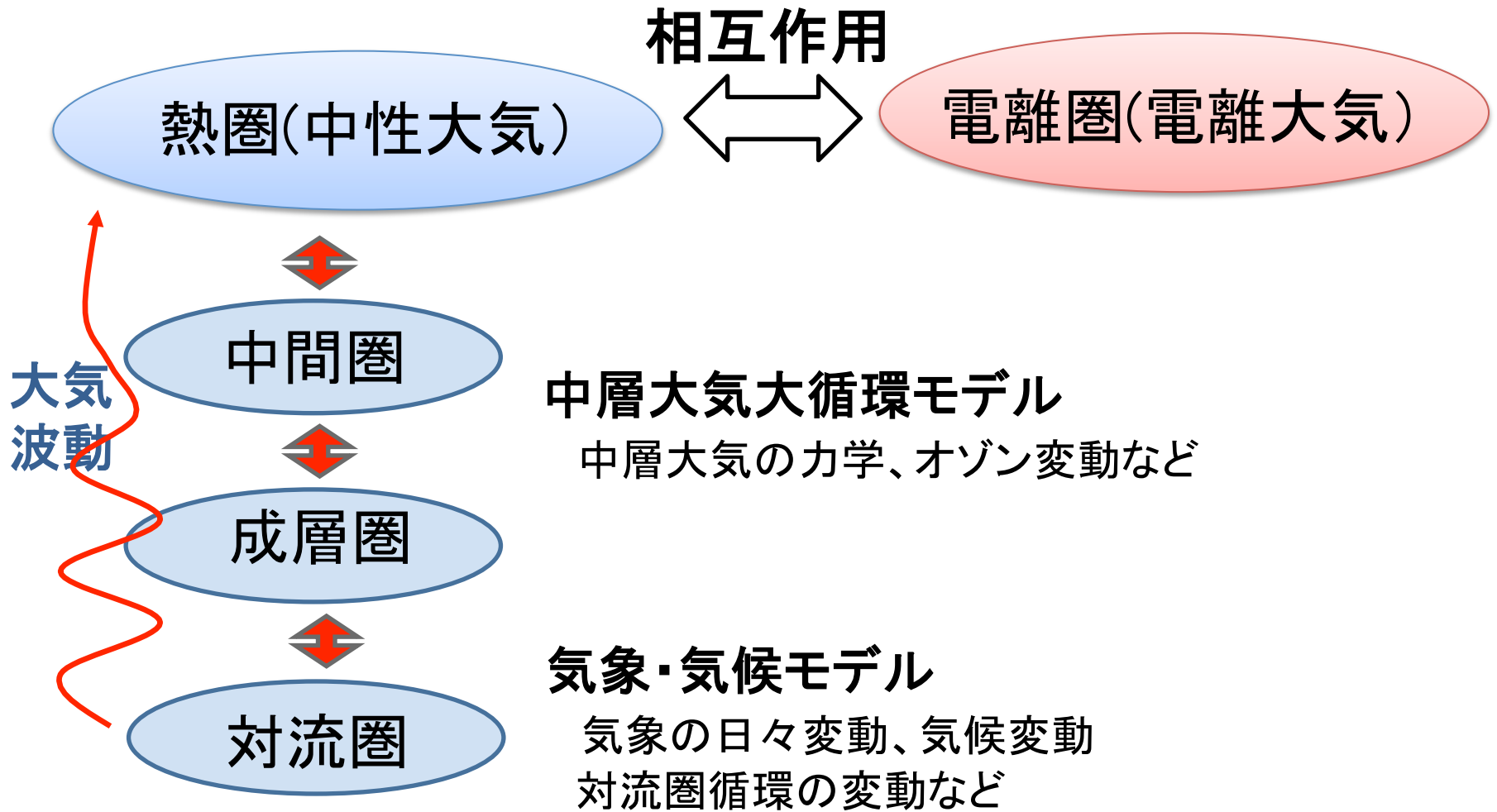


# 大気圏・電離圏結合モデルの現状と 将来計画

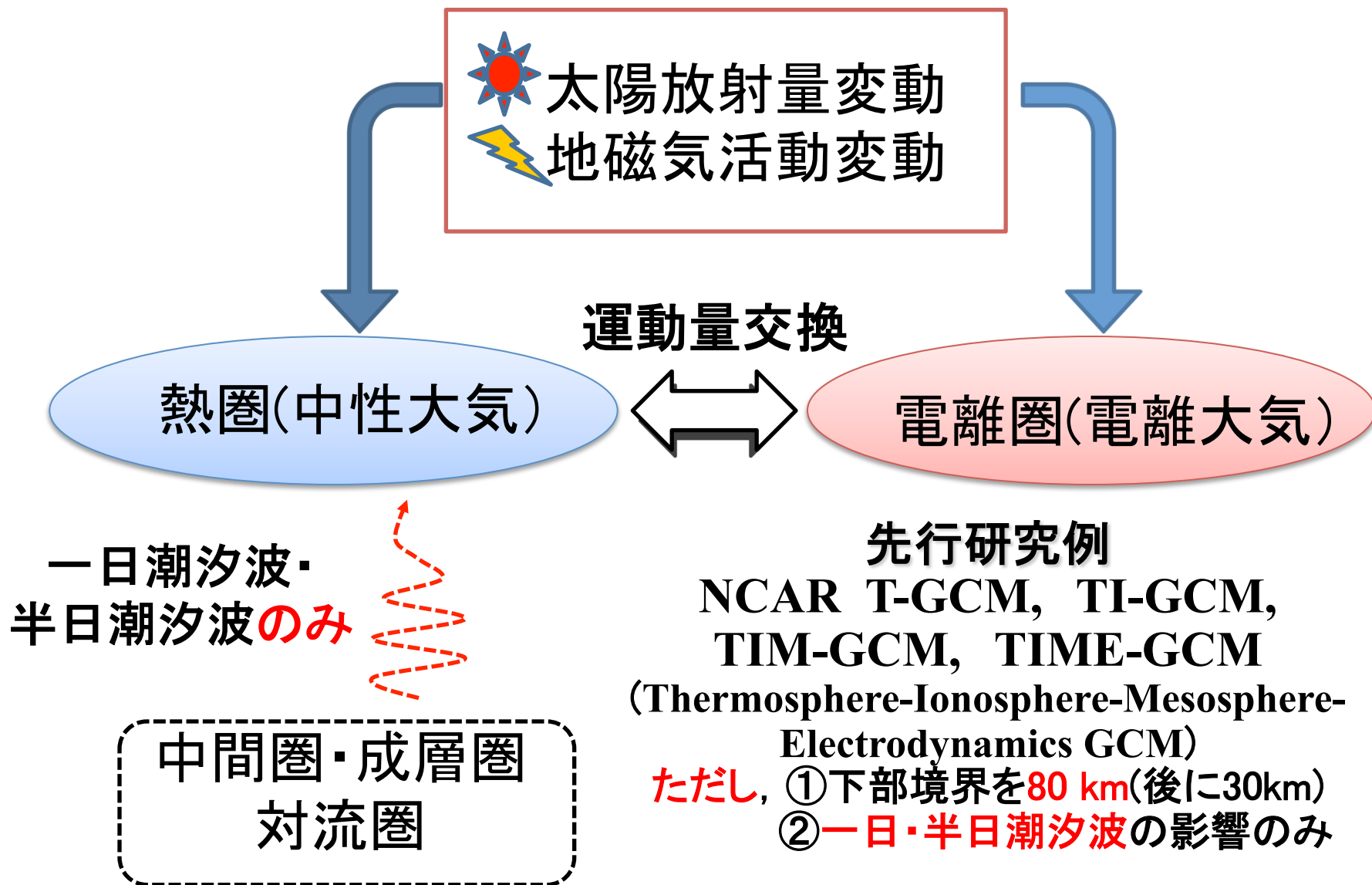
三好勉信(九州大)



# 地球大気のシミュレーション



# 2000年までの超高層分野のモデル



\*中層大気(成層圏・中間圏)は、独自に中層大気大循環モデルを開発

# 熱圏下部を含むモデル(Kyushu GCM)

気象GCMを**熱圏下部**(高度150kmまで拡張したGCM)

中間圏上部から熱圏下部における大気波動の解析

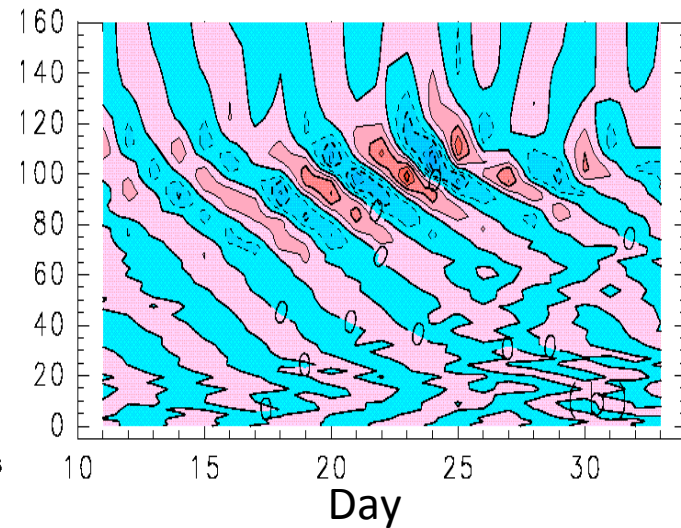
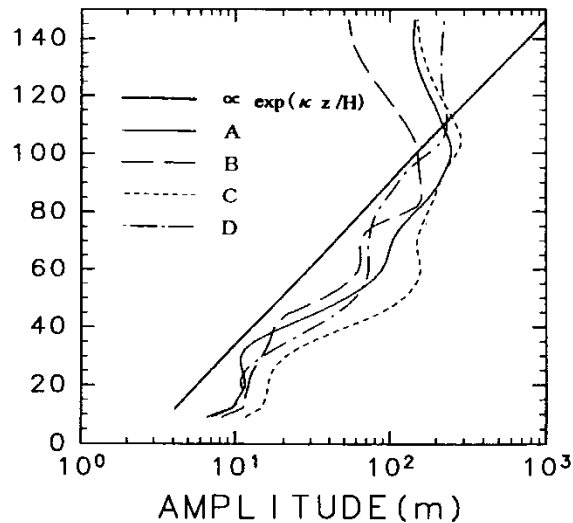
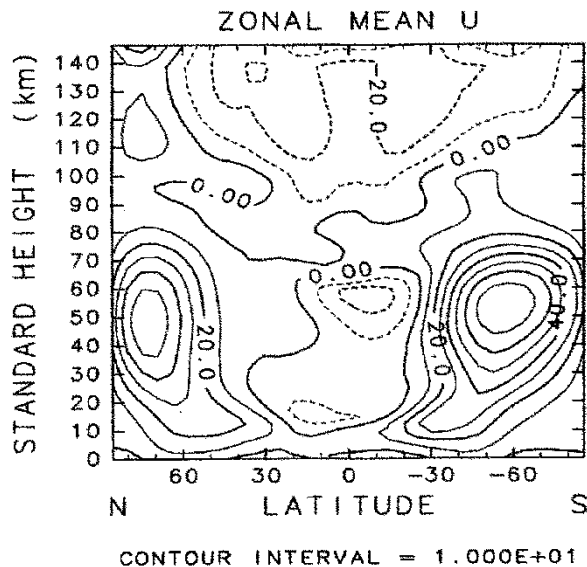


熱圏下部にも、下層大気起源の様々な大気波動が存在

(潮汐波・重力波・ケルビン波・ノーマルモードロスビー波)



下層大気起源の大気波動が熱圏上部まで影響を及ぼす可能性は？



Equinoxにおける東西風分布

5日波の振幅の高度分布  
(Miyoshi, 1999)

ケルビン波に伴う東西風

# 地表面から熱圏上部までを含むGCM



太陽放射量変動  
地磁気活動変動

運動量交換

熱圏(中性大気)

電離圏(電離大気)  
経験モデルで代用

全ての  
大気  
波動

中間圏

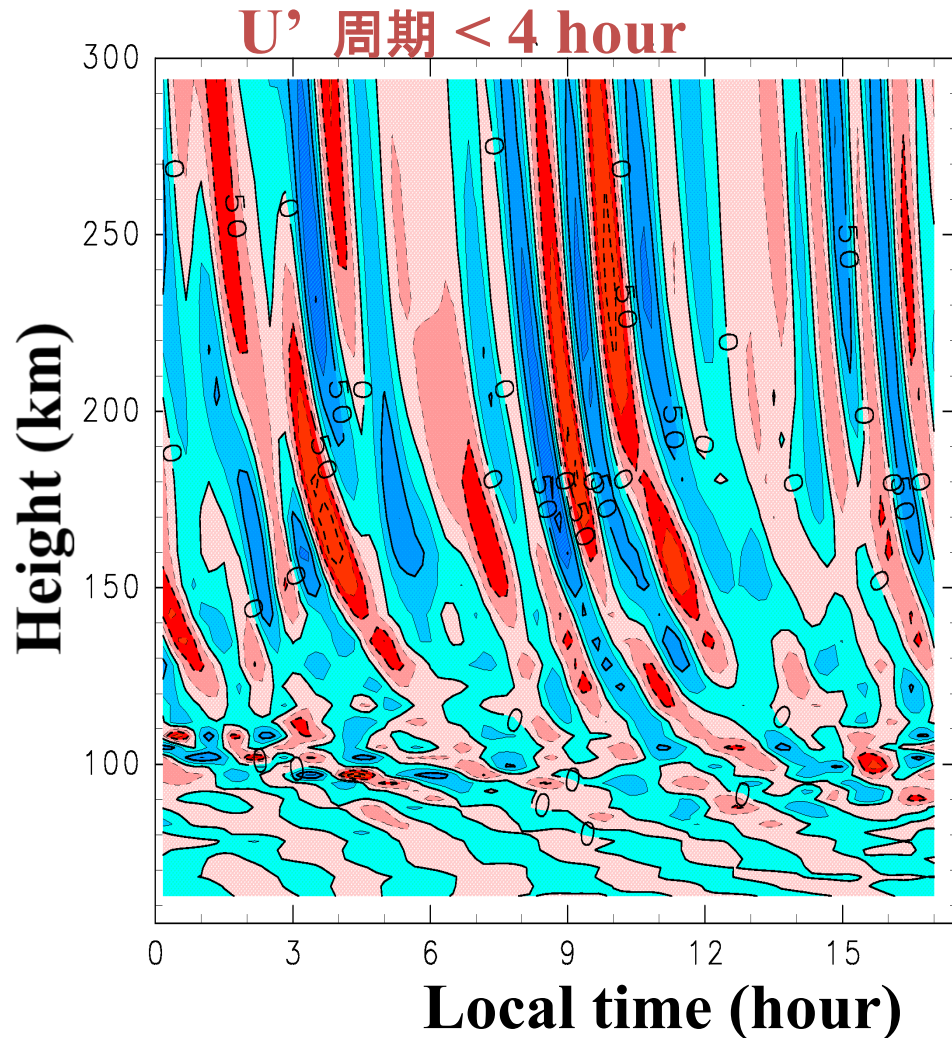
成層圏

対流圏

- ① 地表面から熱圏上端までを含む  
(途中に境界なし; 高度0-600km)  
⇒下層大気起源の大気波動の影響
- ② 電離圏モデルは簡略化(経験モデル)
- ③ 大気上端からのエネルギー流入過程  
も簡略化

(Miyoshi and Fujiwara, 2003)

# 地表面から熱圏までを含むGCM(重力波)



Contour Interval = 25 m/s

(Miyoshi and Fujiwara, 2008)

- ・鉛直上方に伝播する重力波の特徴  
(対流圏起源 もしくは、中間圏で碎波  
に伴う二次的な重力波)

- ・鉛直波長は高度とともに増加

- ・熱圏においても、重力波に伴う風速  
が、短時間で50m/s以上変化

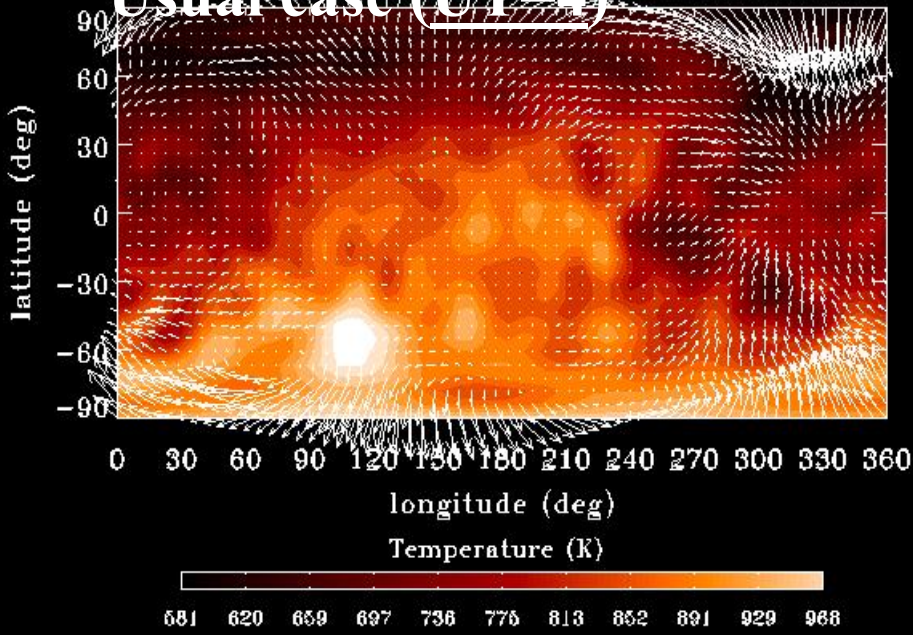


重力波の重要な励起源の一つである  
**熱帯域積雲対流活動と超高層大気  
変動の関連性？**

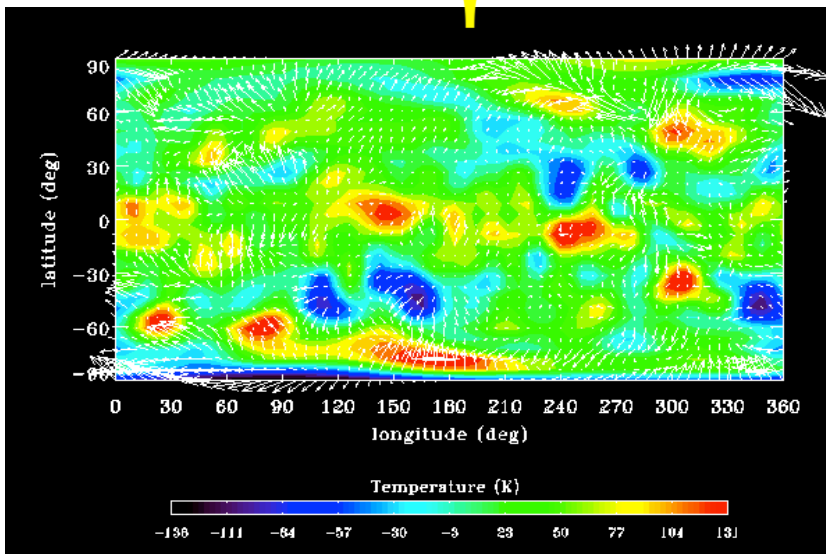
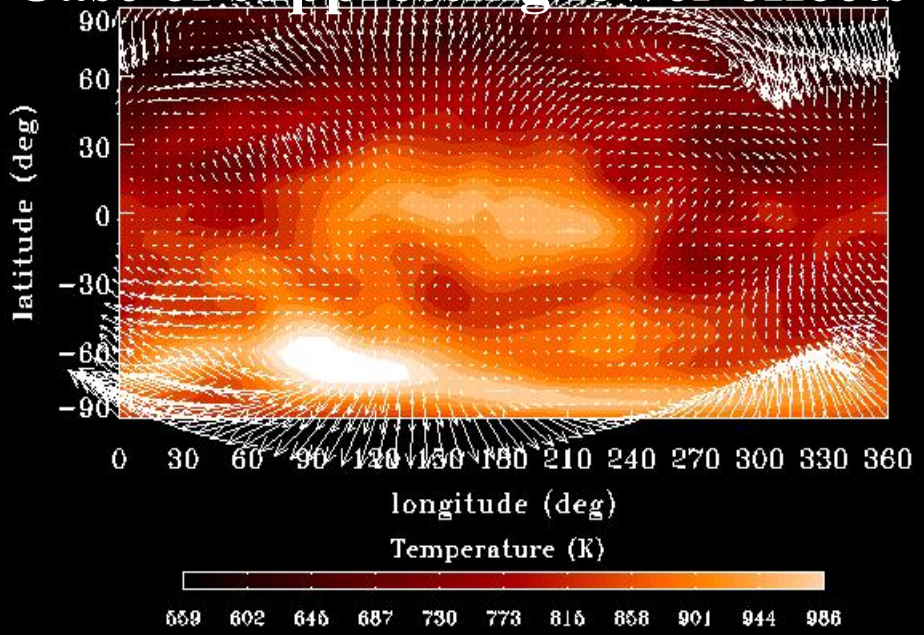


# 下層大気の影響 + 熱圏起源の擾乱 (TAD)

Usual case (UT=4)



Case of suppressing lower effects



Difference between above two cases  
 $\Delta T : -136 \sim 131 \text{ K}$

[Fujiwara and Miyoshi, 2008]

# 地表面から熱圏までを含むGCM

モデル開発は、従来の中層大気GCMを鉛直上方に拡張し、熱圏で必要な物理過程（イオン抗力、ジュール・オーロラ加熱、分子粘性、太陽EUV吸収など）を組み込む。（大枠は変更しない）

- 従来のスペクトルモデル（T21L75, T42L75, T42L150, T106L150など）
- 並列計算機の1ノード（SR11000, Primequest580）で高速化できるように（openMP, 並列指示行の挿入）

苦労した点：

- ・計算が途中で発散すると、共同研究者に詳細を聞く必要あり
- ・中層大気分野と超高層大気分野では、普及している可視化ソフトが違う  
超高層大気分野では、IDLが最も普及。  
→私は使ったことがなかったので、IDLの使い方も慣れる。



# 全大気統合モデル(中性大気+電離大気)



太陽放射量変動  
地磁気活動変動

相互作用

熱圏(中性大気)

電離圏(電離大気)

全ての  
大気  
波動

中間圏

成層圏

対流圏

電離圏モデルおよび電気力学モデル  
(ダイナモ過程による電場生成過程)  
を導入し、中性大気と電離大気の相互作用を解くモデルの開発

九州大・東北大・情報通信研究機構  
の共同研究

# 全大気統合モデル

電離圏現象  
(EIA, PRE  
Plasma bubble)  
への影響

電場・電流の生成  
E層ダイナモ

下層大気から  
の大気波動  
(重力波・潮汐波・  
惑星波・赤道波)

電気力学モデル  
Jin et al. (2008)

電離圏モデル  
Shinagawa et  
al. (2007)

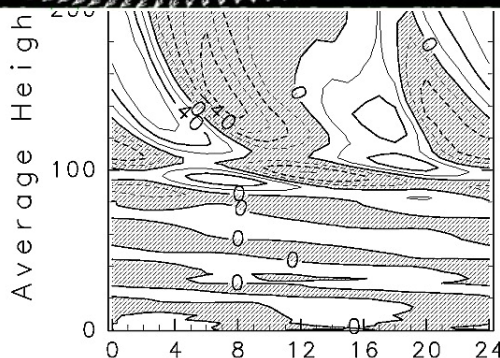
電離圏嵐  
penetration  
E-field

disturbance  
dynamo

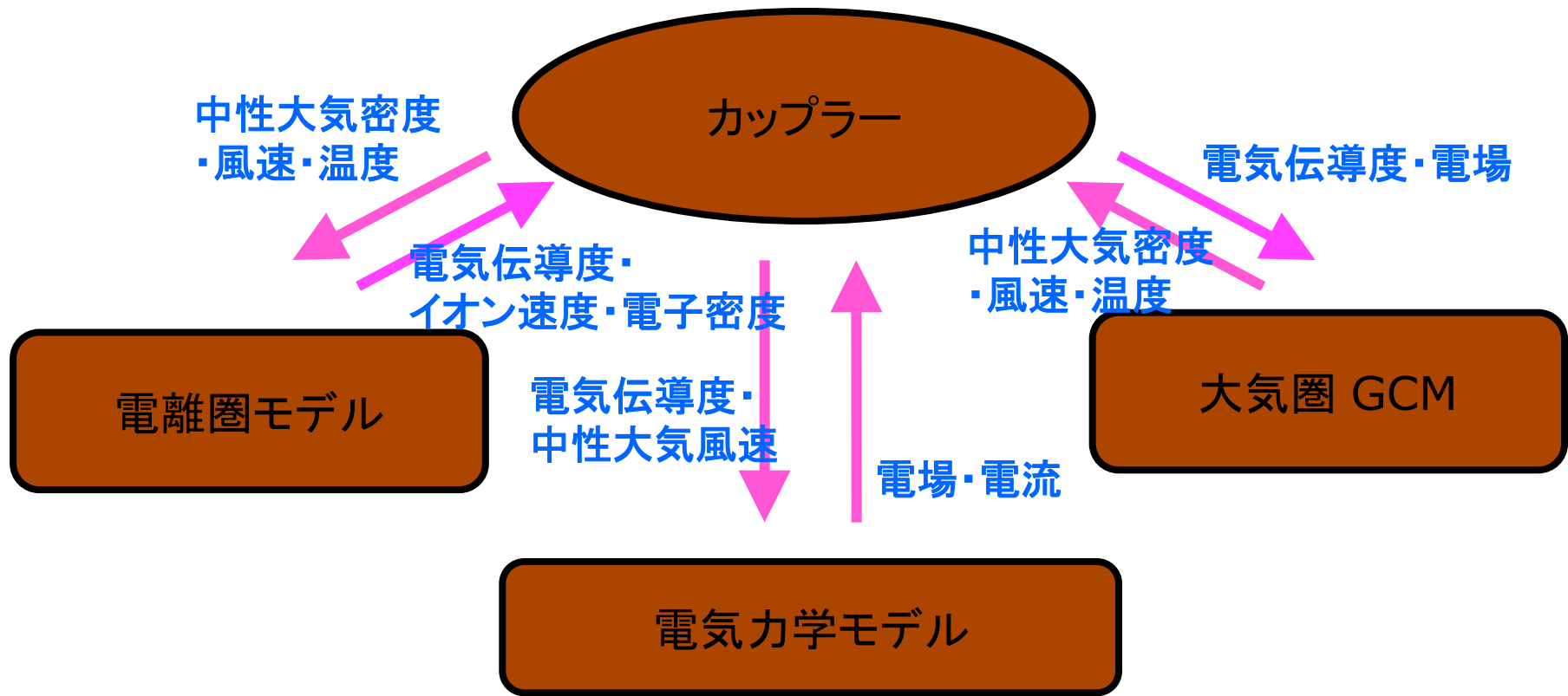
中性風変動

大気組成変化

中性大気モデル(GCM)  
Miyoshi and Fujiwara (2003)



# 全大気統合モデル Ver.1



3つの独立したモデル(中性大気GCM, 電離圏モデル, ダイナモモデル)を  
カップラーを使って結合

- ・必要なデータを交換
- ・水平・鉛直分解能の違うモデル間のデータ補間

# 全大気統合モデル Ver.1

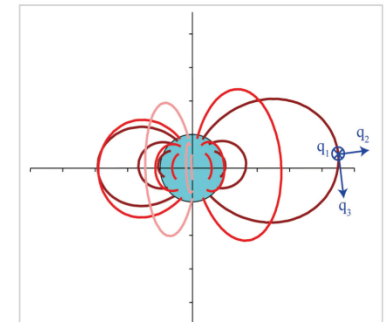
水平・鉛直分解能がモデルにより異なる：

**大気圏GCM**：経度 $2.8^\circ \times$ 緯度 $2.8^\circ \times 0.4H$  (T42L150)

**電離圏モデル**：経度  $5^\circ \times$ 緯度 $1^\circ \times 10 \text{ km}$

\*電離大気は、地理座標のみならず地磁気座標(磁場分布)に強く影響されるので、緯度方向にはより細かな分解能が必要

(ダイナモモデルは、磁力線に沿って等ポテンシャルを仮定しているのですらに複雑)



時刻  $t$  から  $t+dt$  における中性大気計算(大気圏GCM)

↓ 中性大気データを電離圏モデルの座標に変換 [Jin,2009 より]

時刻  $t$  から  $t+dt$  における電離大気計算(電離圏モデル・電気力学モデル)

↓ 電離大気データ・電場分布などを大気圏GCMの座標に変換

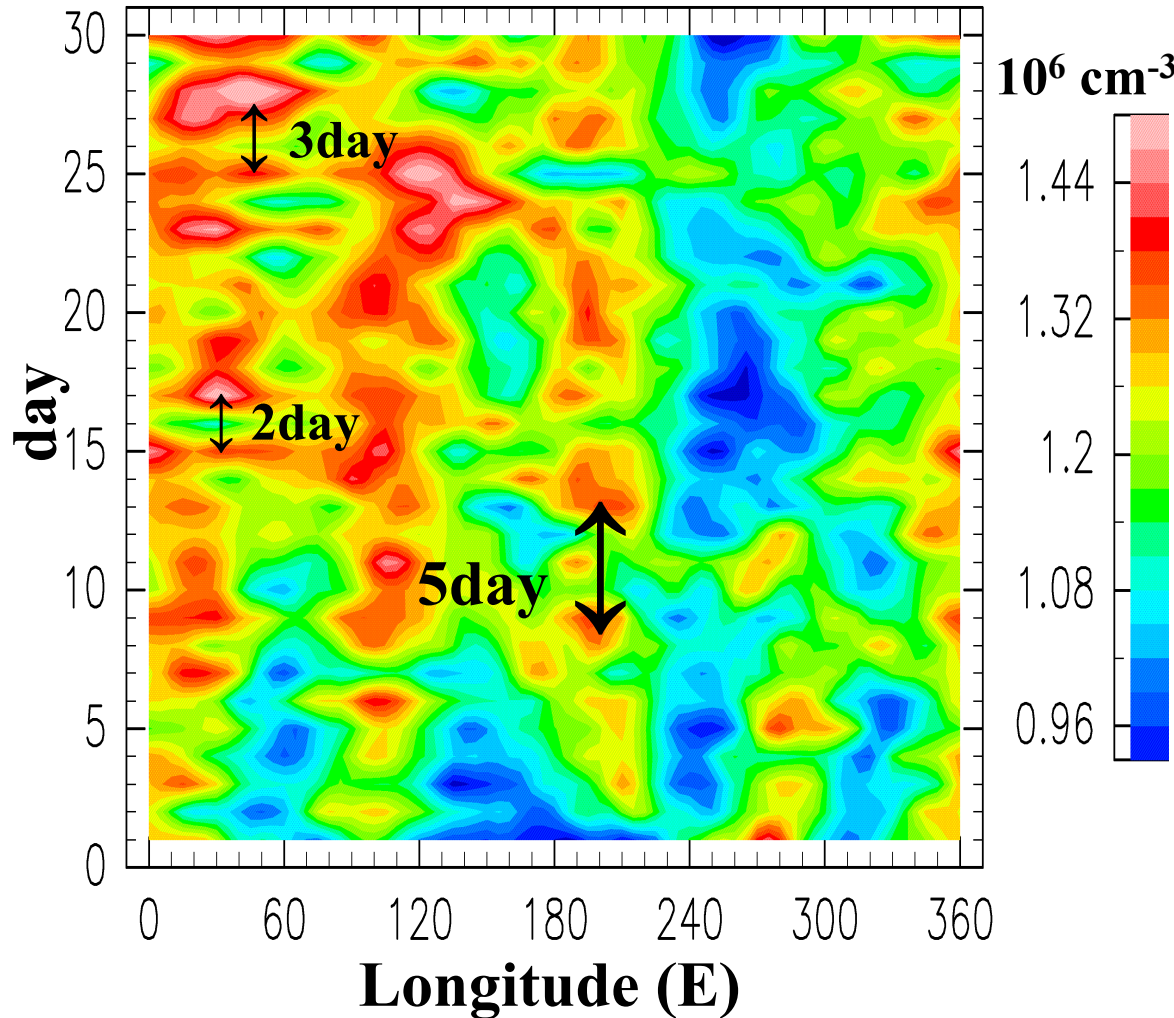
時刻  $t+dt$  から  $t+2dt$  における中性大気計算(大気圏GCM)

↓

.....

# 全大気統合モデルの結果1

## F層電子密度の日々変化



15LT, September [Jin et al., 2011]

太陽放射**一定**,  
磁気圏からのエネルギー  
降り込み量**一定**と仮定し  
1カ月積分

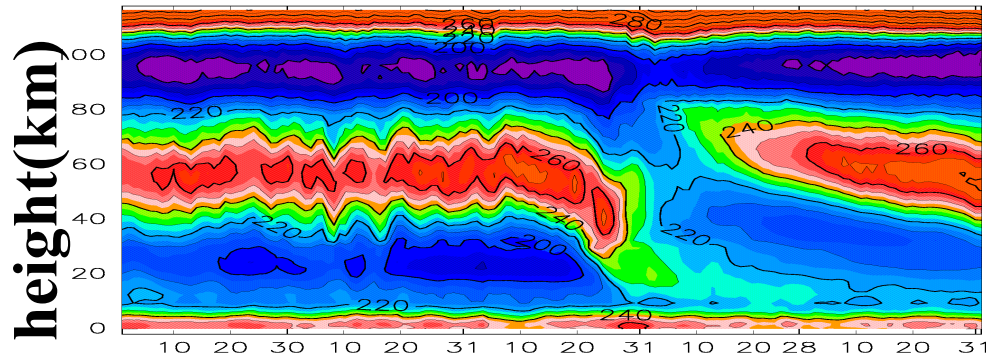
**東西非一様性と共  
に、日々変動も顕著**

±15~20%の電  
子密度変動は、下  
層大気の影響で  
起こりうる

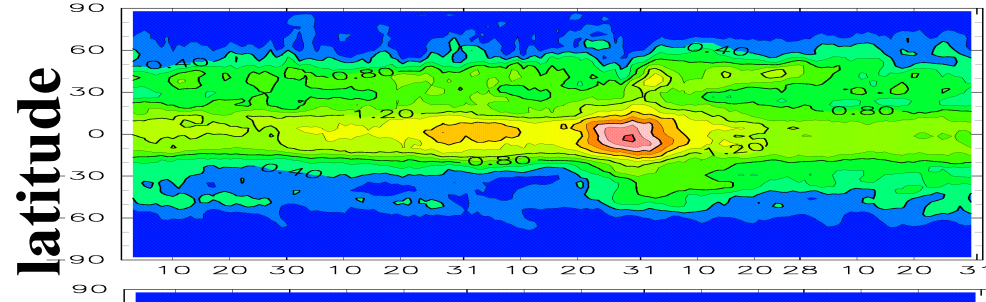
潮汐波の日々変動に  
加えて、ケルビン波や  
惑星波の影響か？



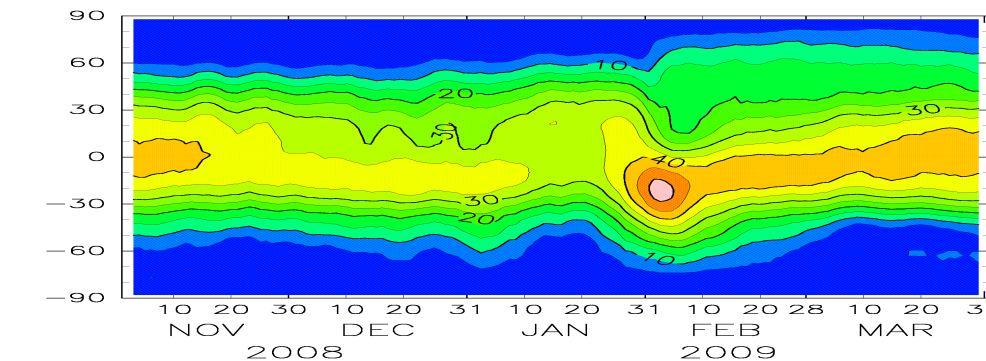
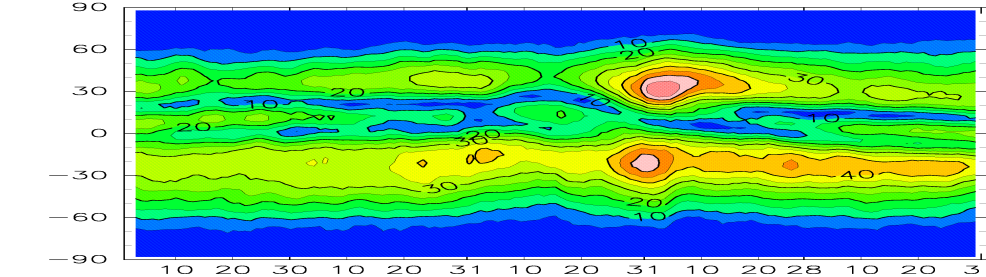
# 全大気統合モデルの結果2



成層圏突然昇温時に、  
成層圏一熱圏で、半  
日潮汐波の振幅が増  
大



本来は、太陽放射  
で生成される半日  
潮汐波が、惑星波  
との非線形相互作  
用で生成??



成層圏突然昇温時に  
は、半日周期の変動  
が電離圏(電子密度)  
にも出現

# 全大気統合モデル

全大気統合モデル開発は、従来の数値モデルをサブルーチン化し、カップラーでデータ交換する形で進める。

→ モデルによる開発環境の違い

大気圏モデル(並列計算機, SR11000)

電離圏モデル・ダイナモモデル(ベクトル計算機, SX8)

結合モデルを並列計算機(SR16000, PRIMERGY)で計算しても、思うような並列効率がでない

→ 他のモデルの内容については、ほとんど不明

中性大気と電離大気の相互作用の結果、発散した場合の原因究明にはそれなりの時間がかかる

(それぞれ独立に計算すれば問題なく計算できるのに)

→ 使用している可視化ツールが、共同研究者間でばらばらでどうするか？

共通のツールとしてIDLを使用していく

# 全大気統合モデル

- シミュレーションで出力される大量のデータをどうするか？  
中性大気温度・風速・組成に加えて、電離大気や電流分布の情報も出力され、GCMとは比較にならないほど多種類のデータが出力される。  
T42L150 相当のモデルで、30分ごとに出力すると----- **166GB/1month**
- 1年で2TBになるので、プログラムのみ共有し、それぞれの大型計算機(センター)で計算し、データ共有はしない。
- 将来的には、Gfarm(NICT提供のサイエンスクラウド)を利用する。各大型計算機センターでの計算結果を自動的に転送し、そこでデータの共有化し、可視化・解析を行う。
- 観測などとの比較などのために、シミュレーション結果を公開する場合のデータフォーマットとして、何が良い？  
(超高層大気分野・磁気圏との関連などを考えると、HDF形式が良いらしい。)

# 太陽一地球系モデルへの展開

太陽風観測データ or 太陽風モデル



磁気圏モデル

太陽放射



太陽放射



熱圏

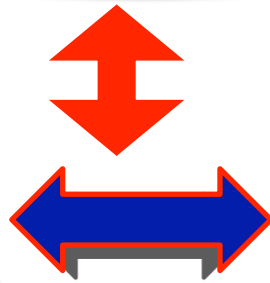
中間圏

成層圏

対流圏

大気圏モデル

電離圏モデル



- ・大気現象が、磁気圏に及ぼす影響？  
(宇宙空間への大気散逸、、、)
- ・磁気圏からのエネルギー降り込みが大気に及ぼす影響？

九州大・成蹊大・情報通信研究機構  
の共同研究

# 全大気統合モデルを用いた大気領域間結合過程の研究 ～今後の展望～

- ・下層, 中層大気と超高層大気との相互作用
  - 大気波動の鉛直伝播
  - 中性大気と電離大気間の相互作用
  - 超高層大気が下層, 中層大気に及ぼす影響
    - 一日々変動, 季節変動, 年々変動

- ・下層大気変動が電離圏(電子密度分布)へ及ぼす影響
  - 下層大気変動の影響を考慮した熱圏・電離圏変動予測
    - GPSの測位誤差,
    - 放送無線通信に利用される電波の伝搬障害
- ・磁気圏からのエネルギー流入
  - 熱圏・電離圏嵐の数値予測