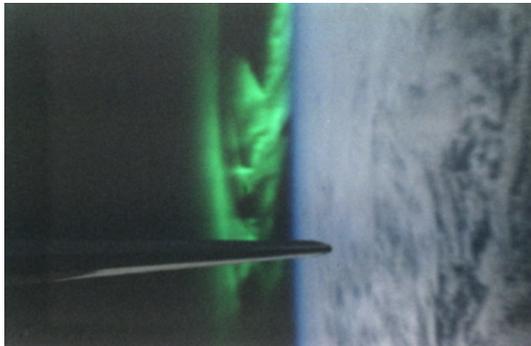
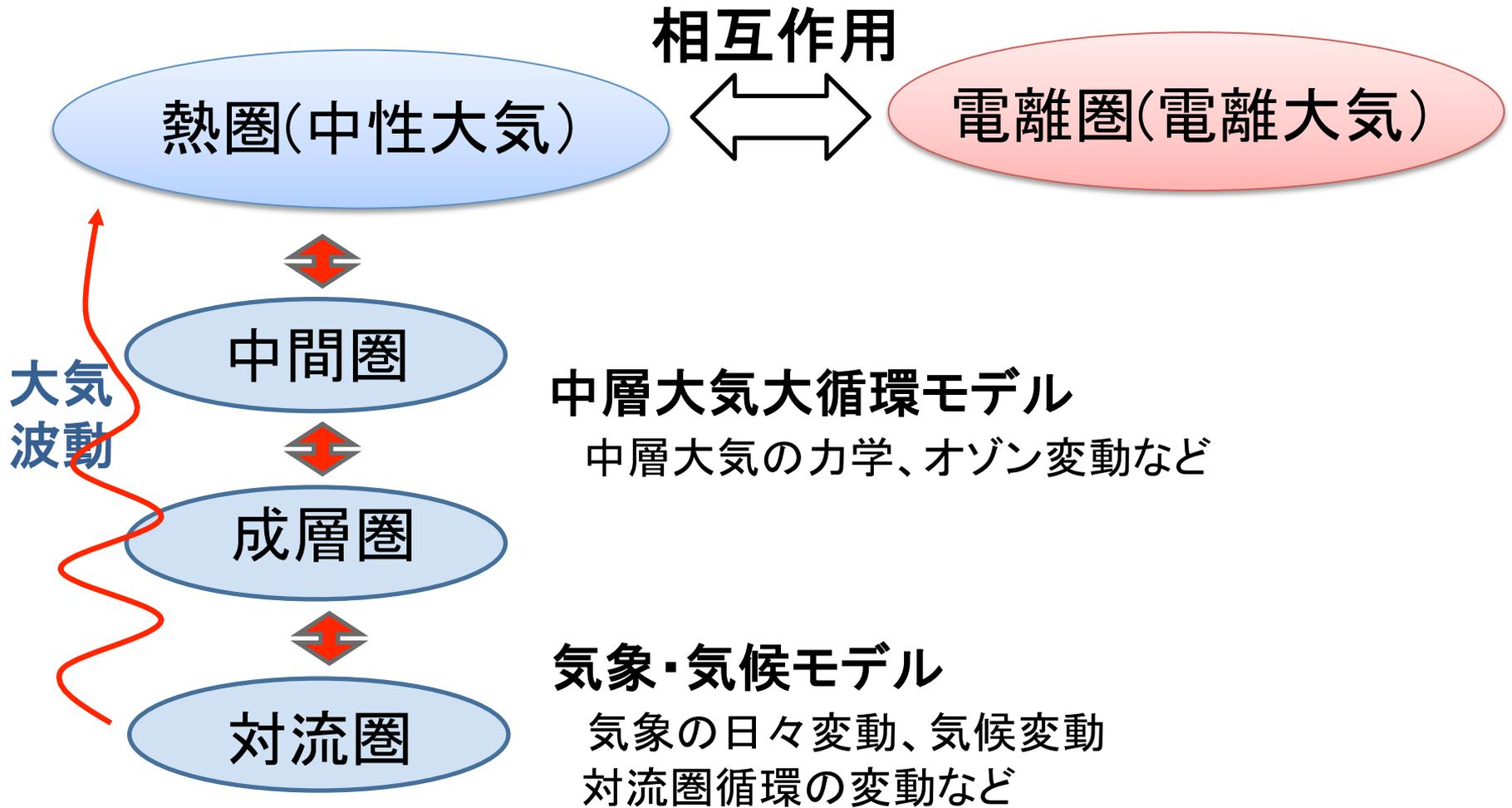


大気圏・電離圏結合モデルの現状と 将来計画

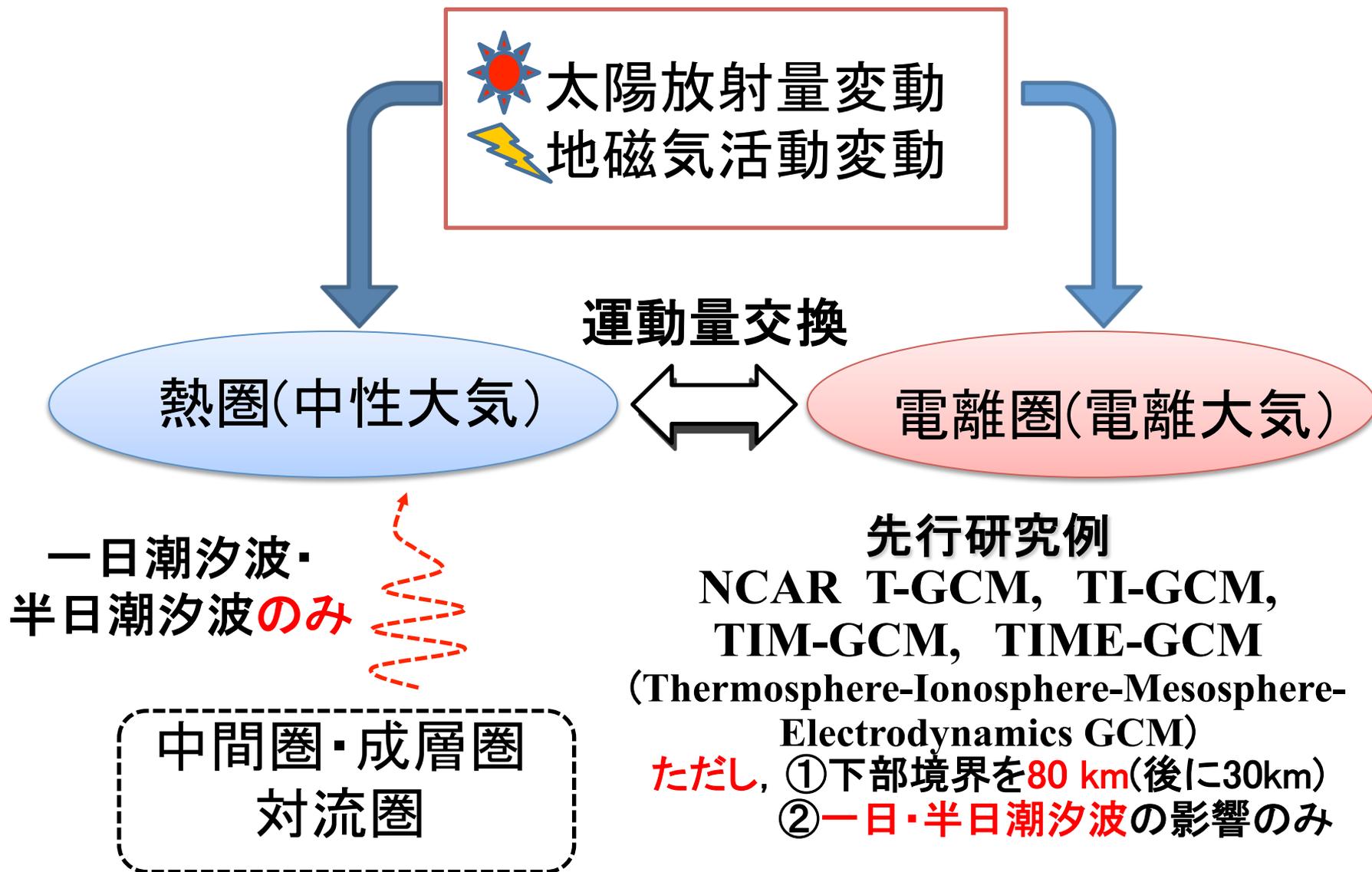
三好勉信(九州大)



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

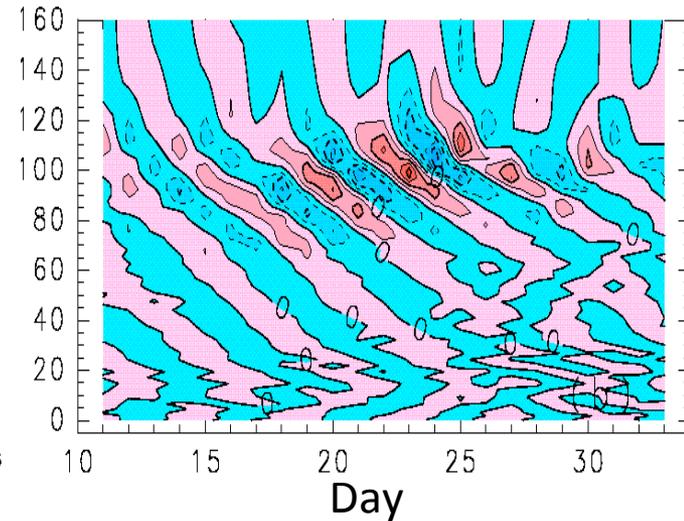
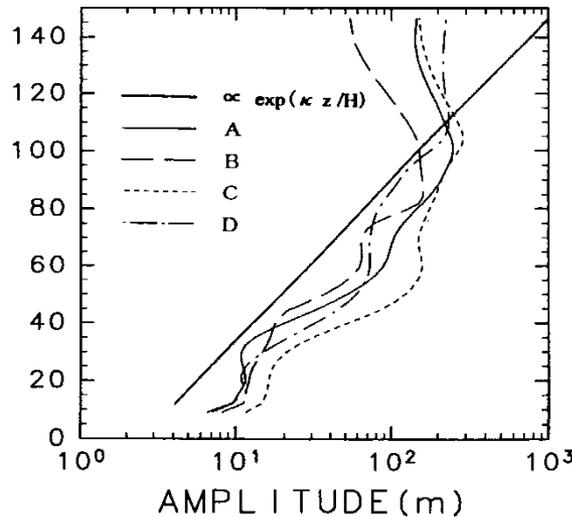
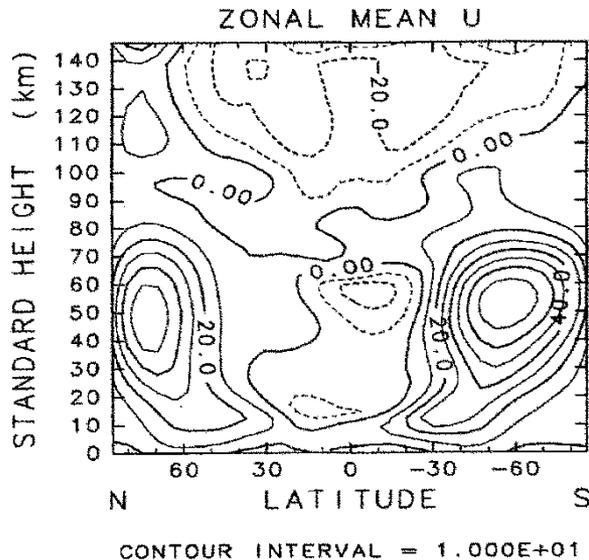


熱圏下部にも、下層大気起源の様々な大気波動が存在

(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

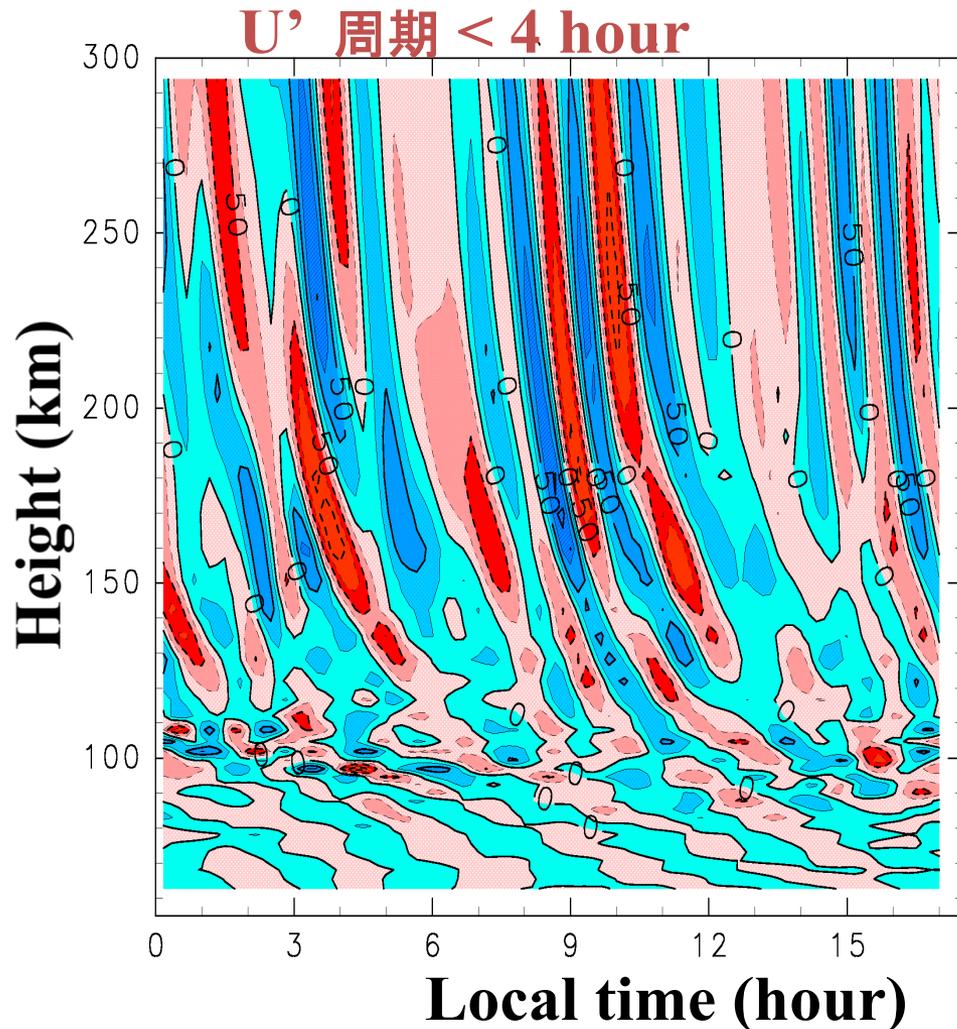
成層圏

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

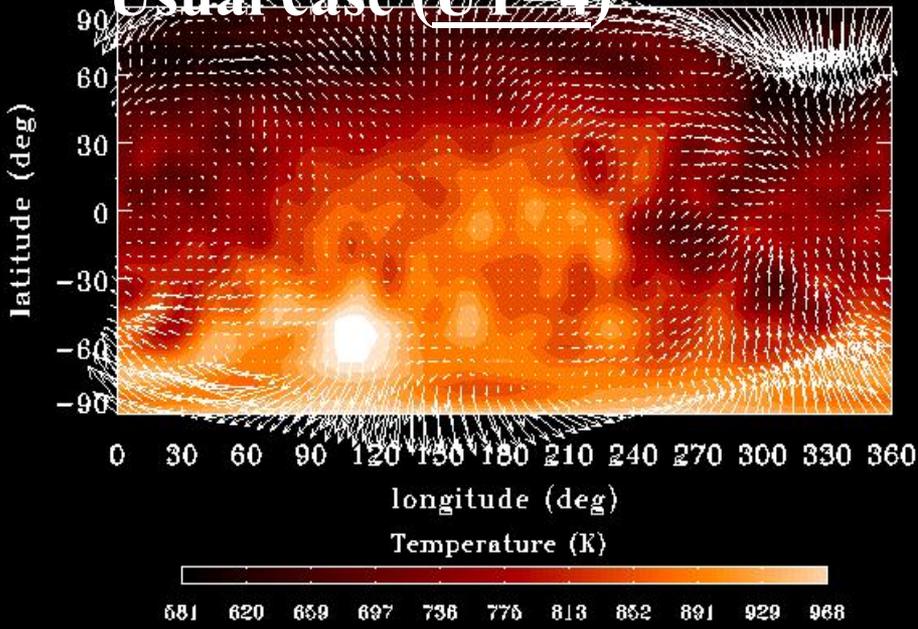
- ・熱圏においても、重力波に伴う風速
が、短時間で50m/s以上変化



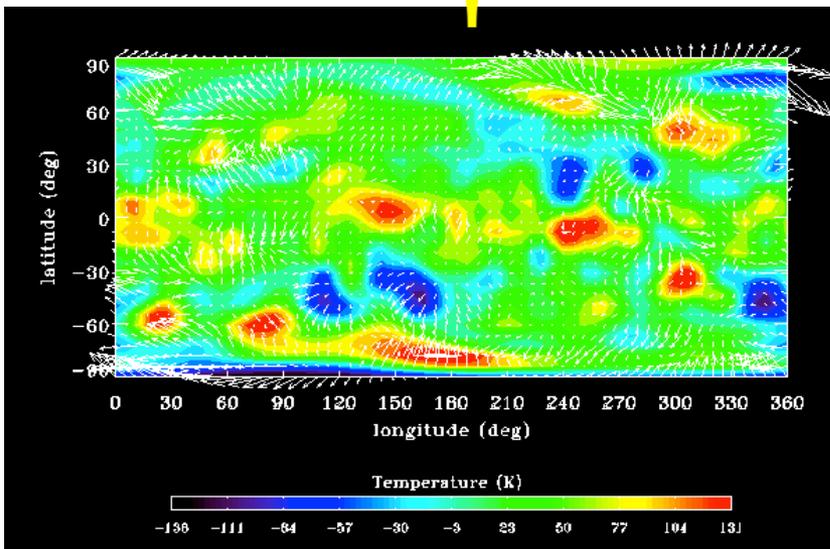
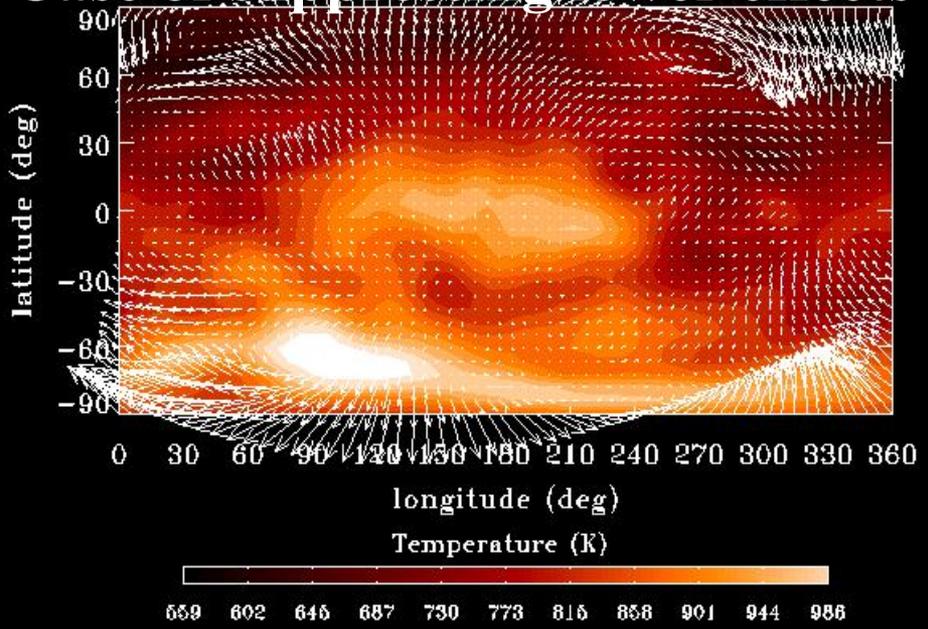
重力波の重要な励起源の一つである
**熱帯域積雲対流活動と超高層大気
変動の関連性？**

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)

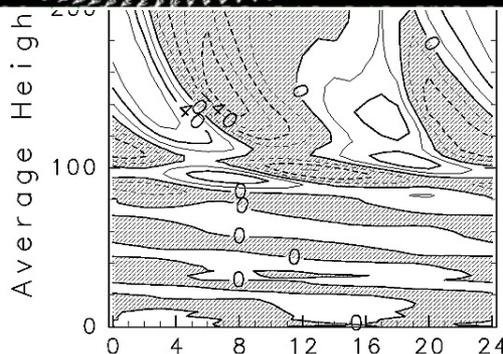
電離圏嵐
penetration
E-field

disturbance
dynamo

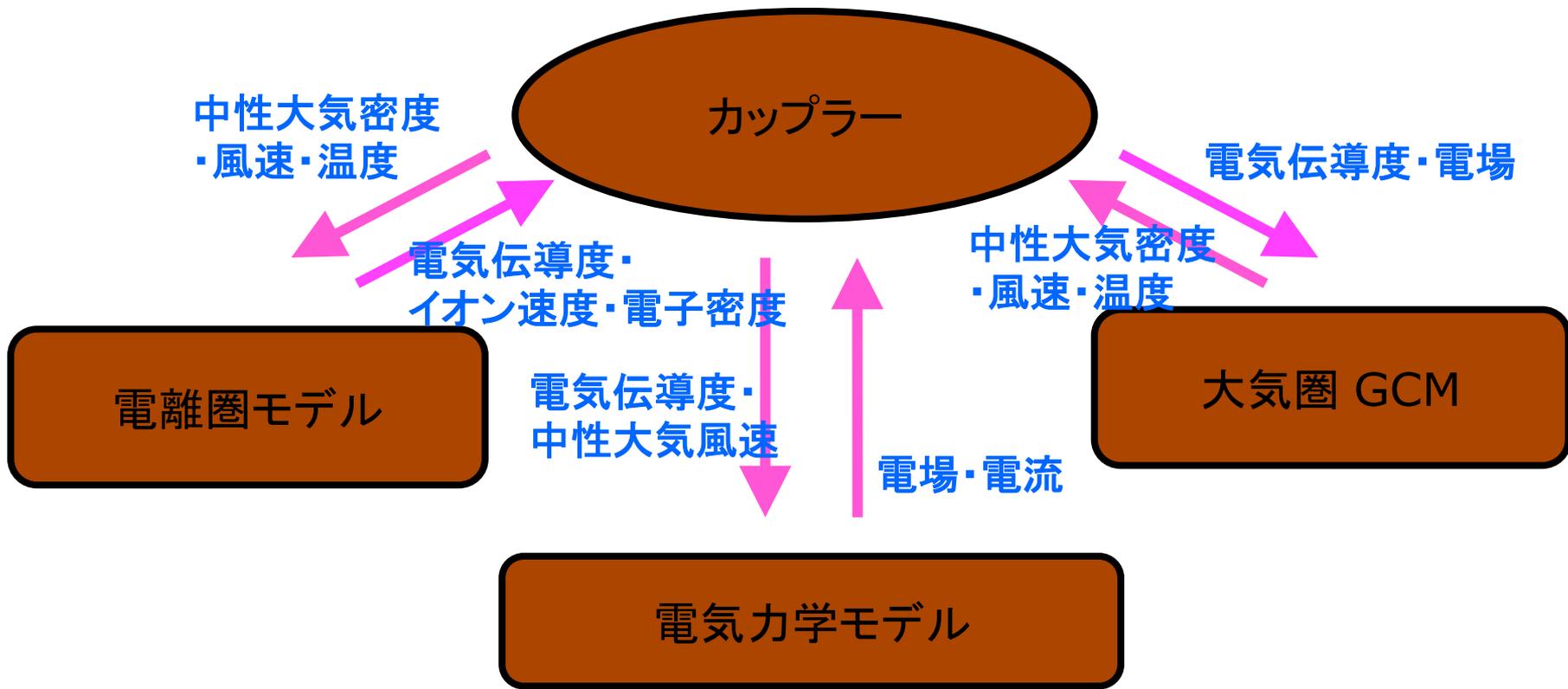
中性風変動

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

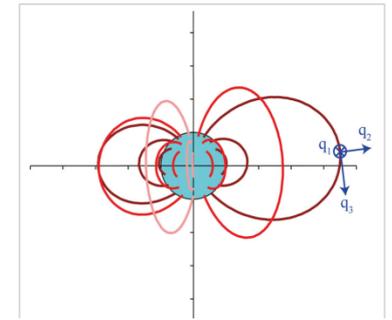
水平・鉛直分解能がモデルにより異なる：

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だからさらに複雑)



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

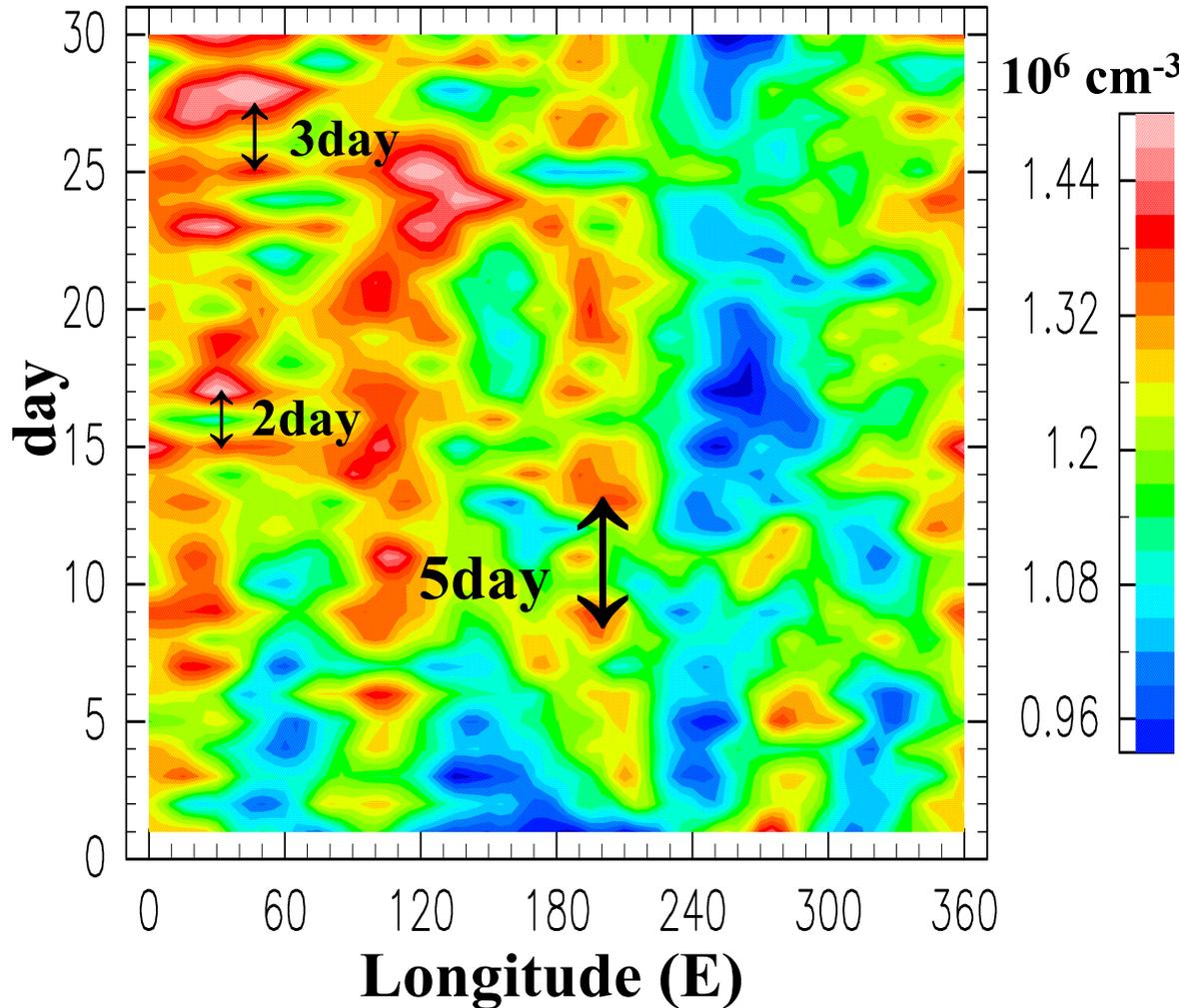
時刻 $t+dt$ から $t+2dt$ における中性大気計算(大気圏GCM)

↓

.....

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]

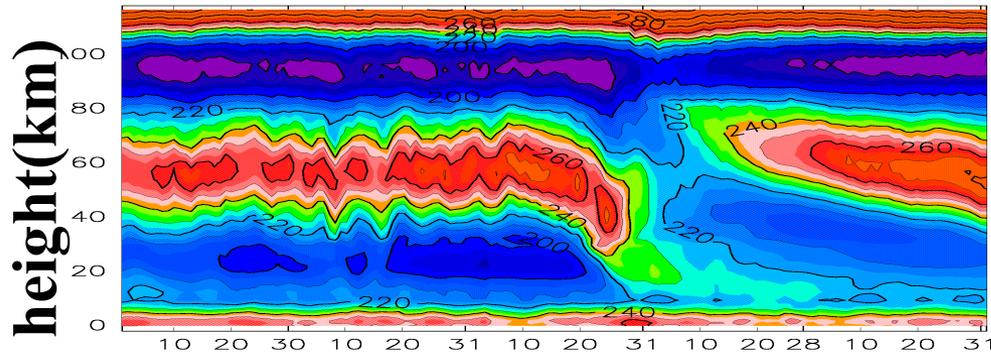
太陽放射**一定**,
磁気圏からのエネルギー
降り込み量**一定**と仮定し
1カ月積分

**東西非一様性と共
に、日々変動も顕著**

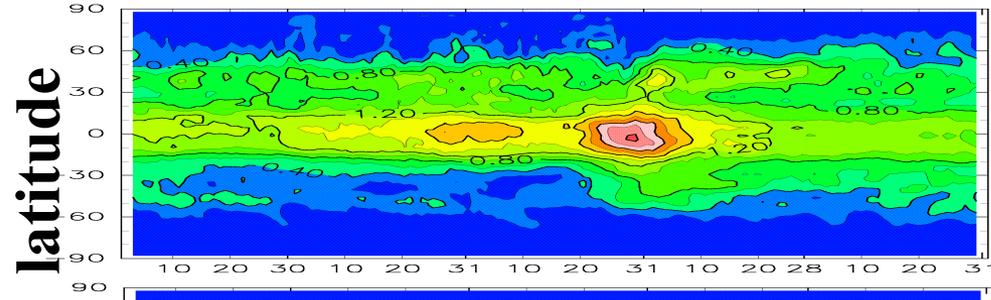
±15~20%の電
子密度変動は、下
層大気の影響で
起こりうる

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？

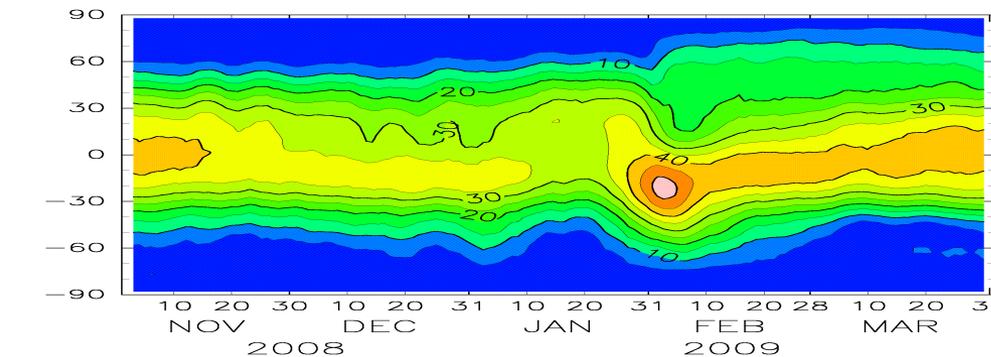
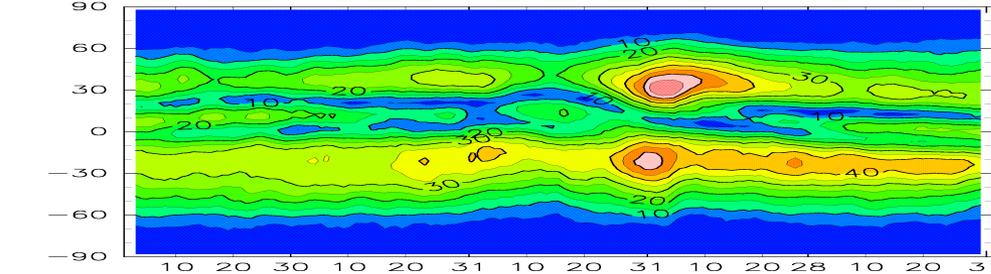
全大気統合モデルの結果2



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



熱圏

中間圏

成層圏

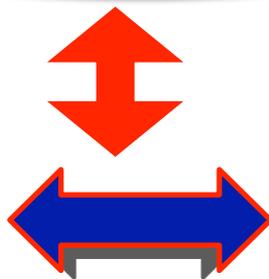
対流圏

大気圏モデル

太陽放射



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