

水惑星実験における 赤道域降水パターンの多様性： 鉛直乱流混合過程の影響

林祥介(北大理)、石渡正樹(北大地球環境)

山田由貴子(北大理)、森川靖大(北大理)、高橋芳幸(北大理)

中島健介(九大理)、小高正嗣(北大理)、竹広真一(京大数理)

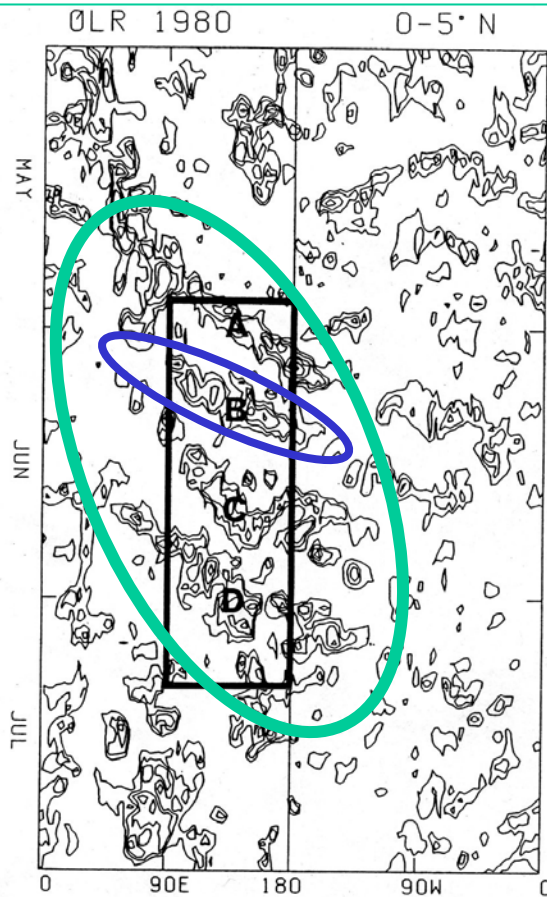
スーパーコンピュータによる地球環境研究発表会(第14回)

2006年10月30日

赤道域の降水階層構造

観測: OLRの経度-時間
図 (Nakazawa, 1988)

水惑星実験: 降水の経度-時間図
(Hayashi and Sumi, 1986)



0day

90day 0deg

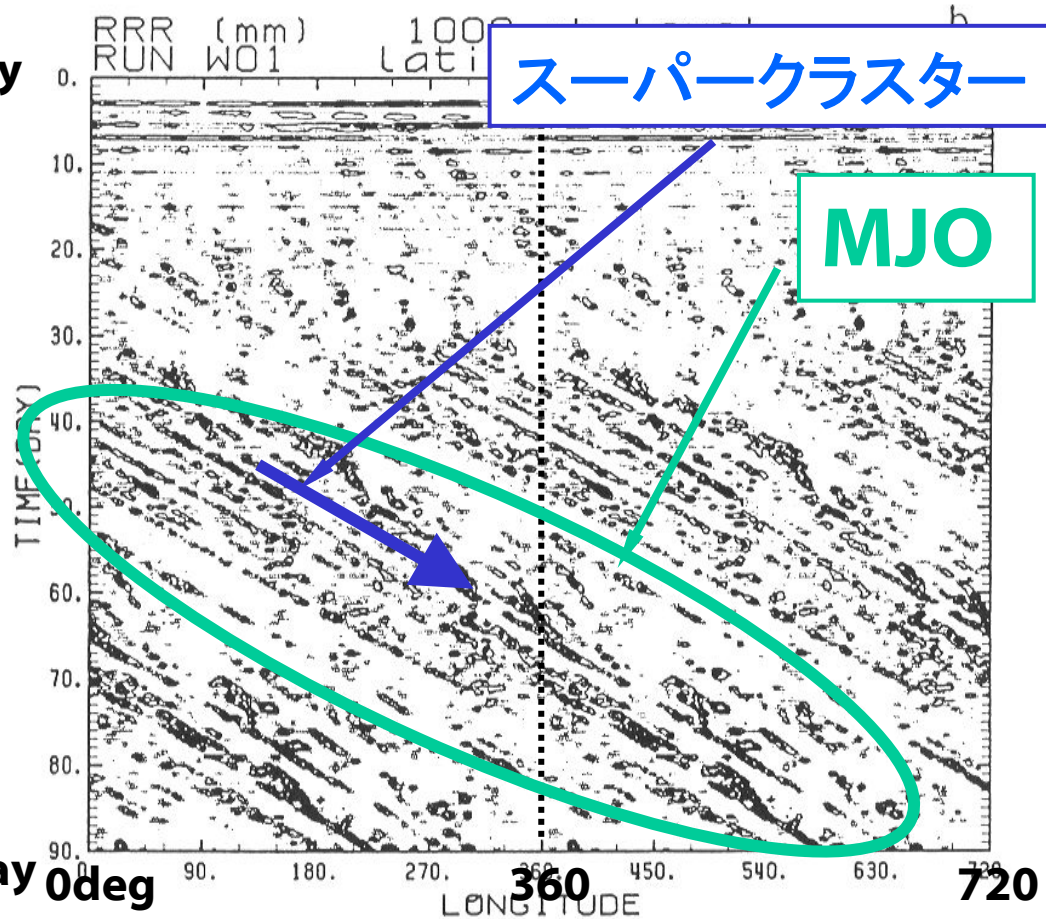


Fig. 1. Time-longitude section of transient (seasonal trend removed) OLR averaged between the equator and 5°N from May to July in 1980. Negative (active convective) regions are contoured. Contour interval decrements of 30 Wm^{-2} starting at $-15 Wm^{-2}$. Symbols A to D indicate super clusters.

目的

- 背景：湿潤過程を含む系の収束問題
 - 分解能をあげれば幸せになれるのか？
 - モデルの振る舞いに対する一致した見解は得られるのか
 - 「それは積雲パラメタリゼーションが悪いんだから仕方ないでしょう」は正しいか
 - そもそもモデルがとりえる多様性が掌握されていない

目的

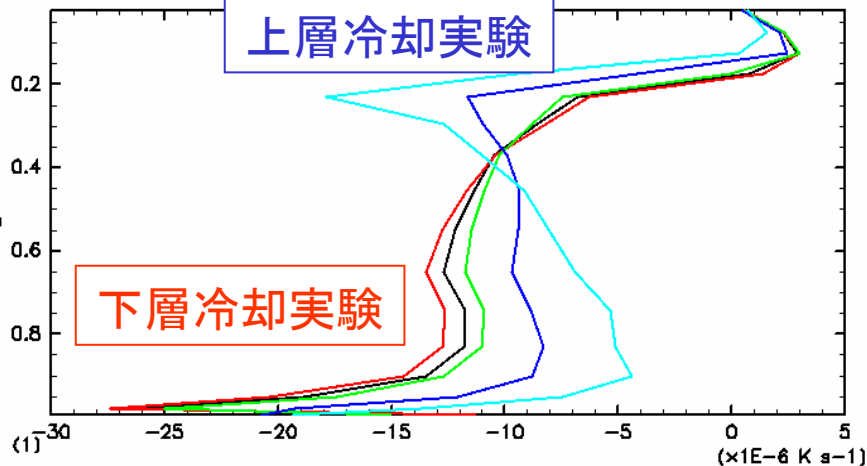
- 比較的簡略な物理過程しか持たないGCMでの惑星実験
 - パラメータ空間における面的な走査
 - 赤道域降水構造のモデルにおける表現の多様性を探査
 - 多様な降水構造の発生と維持のメカニズムの記述へ
- 特に物理過程依存性
 - 凝結加熱率の鉛直分布に対する依存性の調査
 - wave-CISKが働いていれば予想される効果
 - 上層冷却ではwave-CISKが働き東進構造の生成維持
 - 下層冷却ではwave-CISKが働かず背景風に移流されるCIFK構造
- 同時に、パラメタ研究に都合のよい大循環モデルの開発(DCPAM:地球型惑星大気モデル)
 - 可読性が高い(物理モデルとの対応付けが容易)
 - 可変性が高い(物理モデルの変更に対応)

放射冷却率依存性実験

- モデル: 地球流体電脳倶楽部版 AGCM5
 - 球面 3 次元プリミティブ方程式系: 解像度T42L16
 - 放射: 水蒸気 3 バンド, 乾燥空気 1 バンド
 - 積雲パラメタリゼーション: Kuo スキーム
 - SST分布: 南北対称・東西一様分布
- 上層冷却実験、下層冷却実験

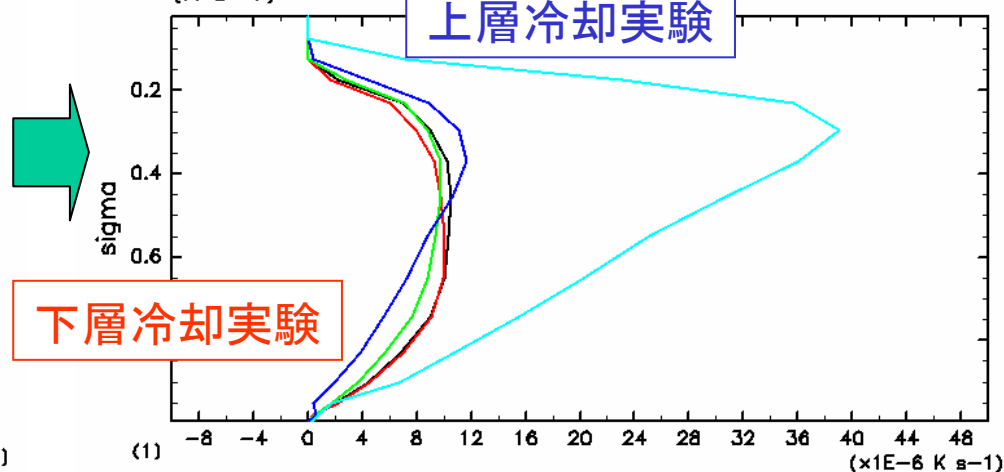
放射冷却率 (赤道上時間東西平均)

longwave heating
(K s⁻¹)



凝結加熱率 (赤道上時間東西平均)

condensation heating
(K s⁻¹)



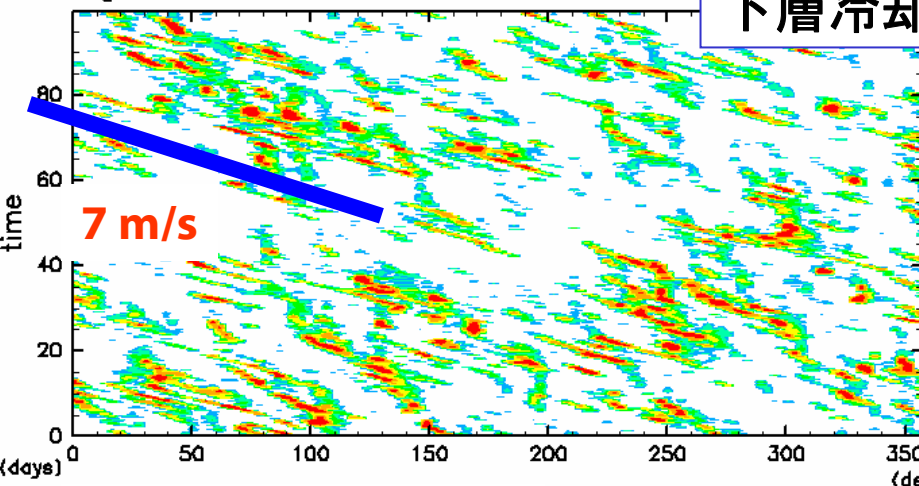
— control
— mradlAa
— mradlAb
— mradlAc
— mradlAd

— control
— mradlAa
— mradlAb
— mradlAc
— mradlAd

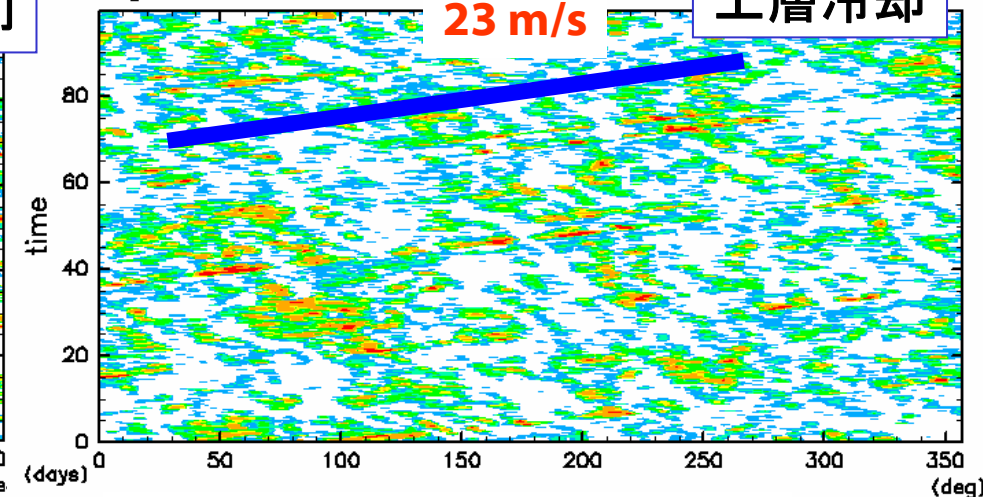
放射冷却率依存性実験 (KUOスキーム)

降水量 (赤道上経度時間図)

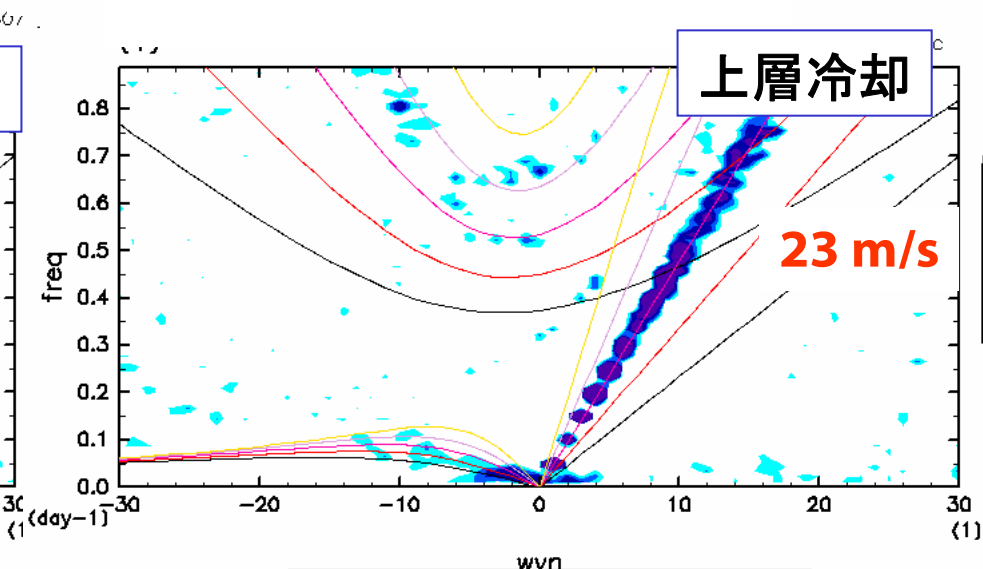
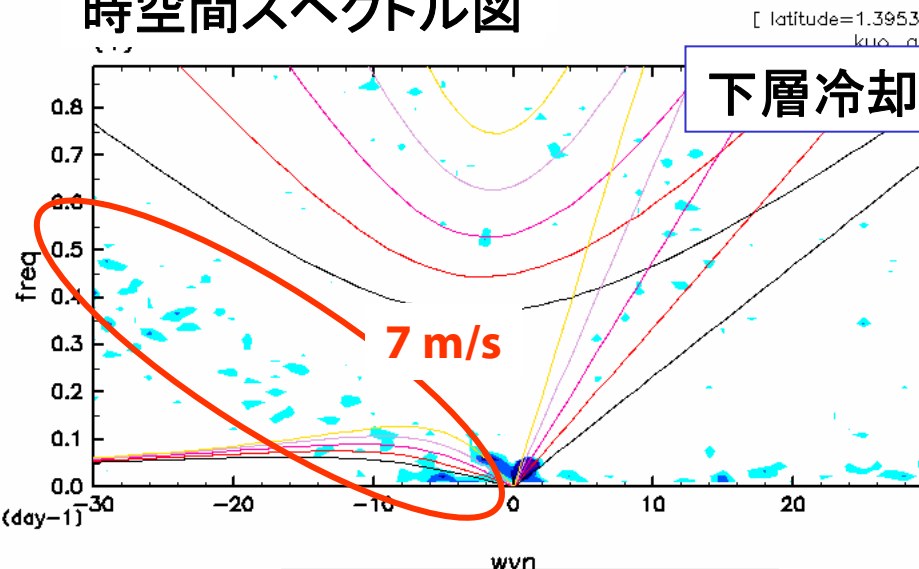
(kg m⁻² s⁻¹)



(kg m⁻² s⁻¹)



時空間スペクトル図



— h = 12
— h = 25

背景風移流CIFK的

— h = 12
— h = 25

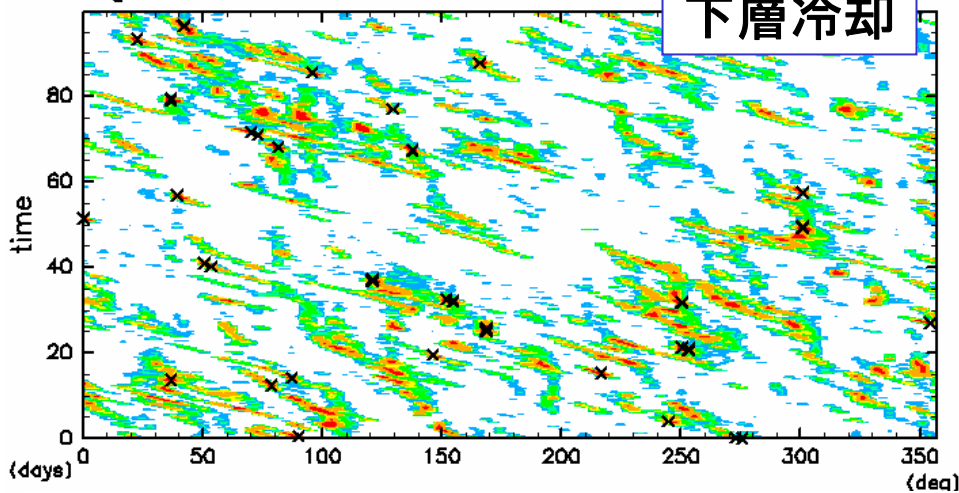
Kelvin wave-CISK的

放射冷却率依存性実験:

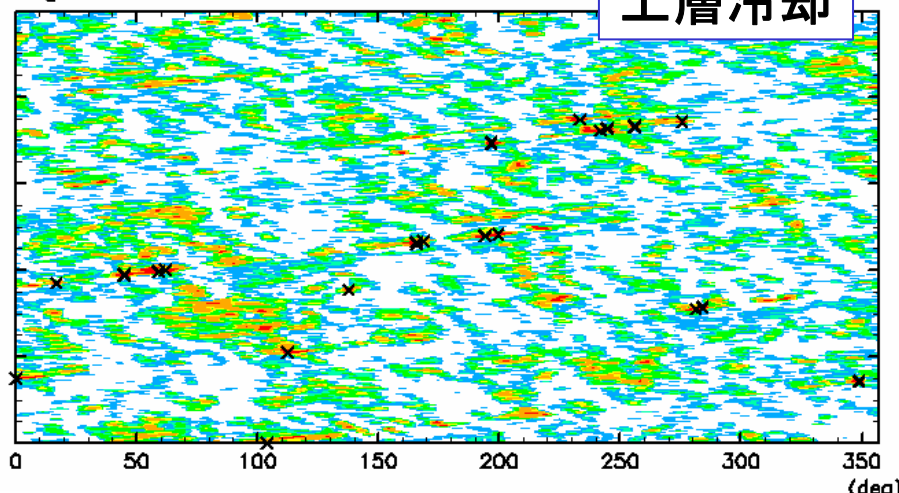
これまでの結果 (KUO)

降水量 (赤道上経度時間図)

($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

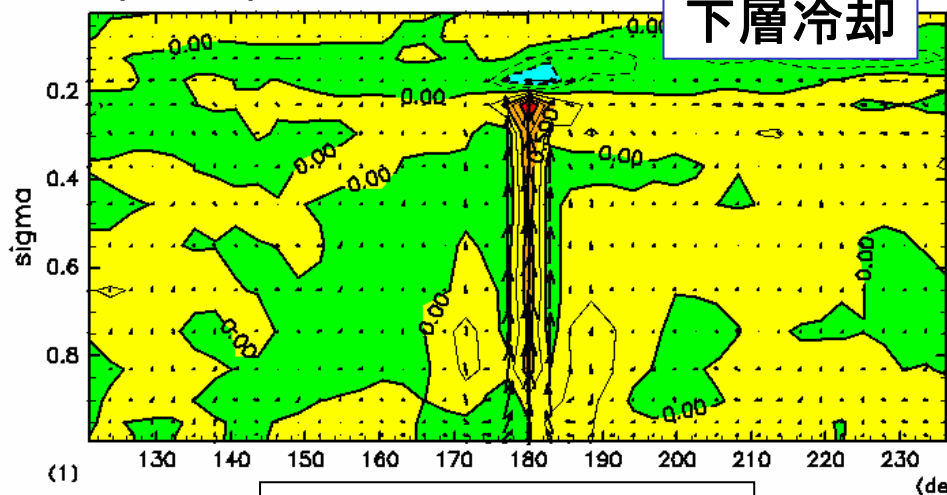


($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

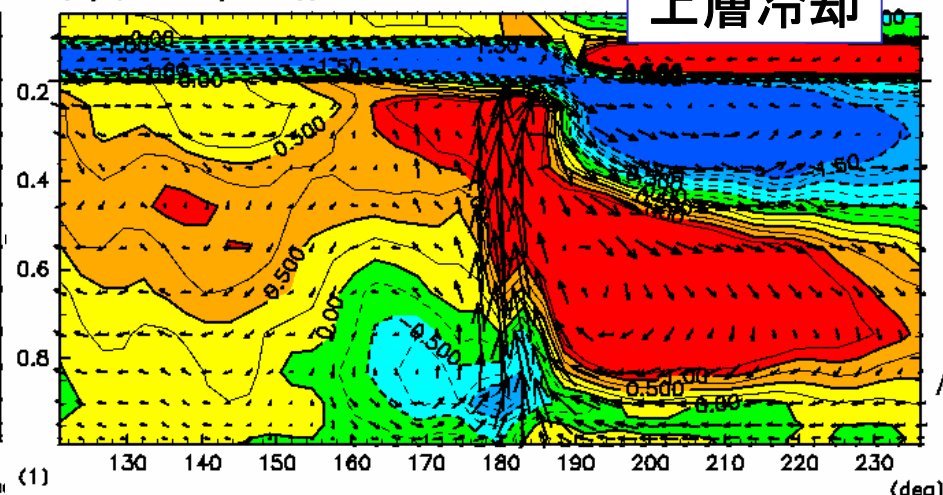


温度場、風速場の合成図 (赤道上経度高度図、東西平均偏差)

(K, (m s^{-1} , s^{-1}))



(K, (m s^{-1} , s^{-1}))



背景風移流CIFK的

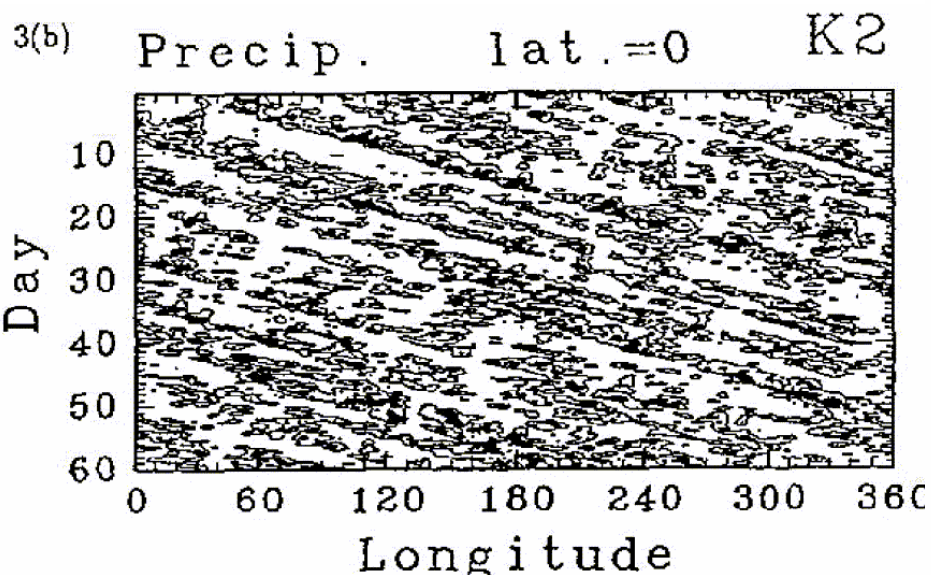
Kelvin wave-CISK的

CONTOUR INTERVAL = 2.500E-01

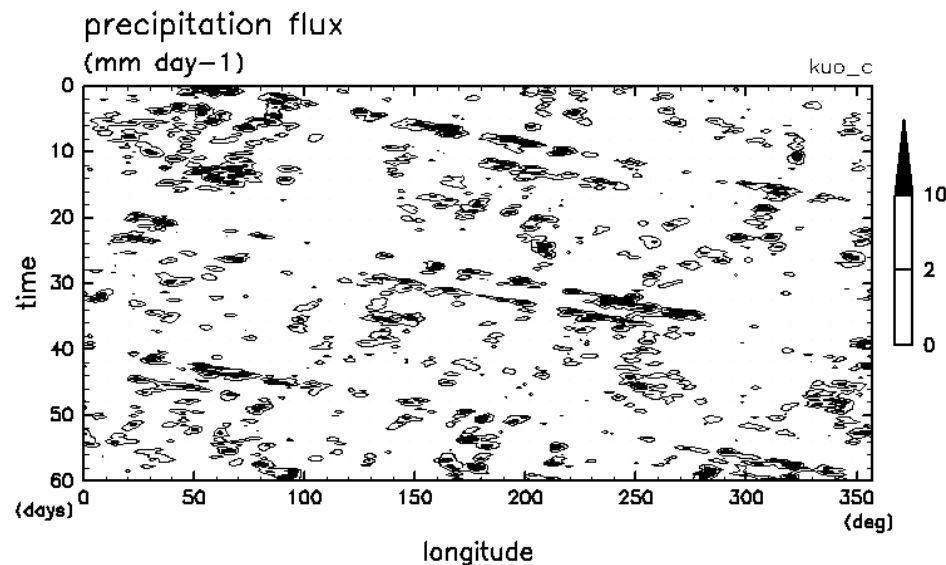
F_{diff} from (mm/s)

Numaguti and Hayashi (1991) 比較

● 降水量赤道上経度時間図



Numaguti and Hayashi (1991)



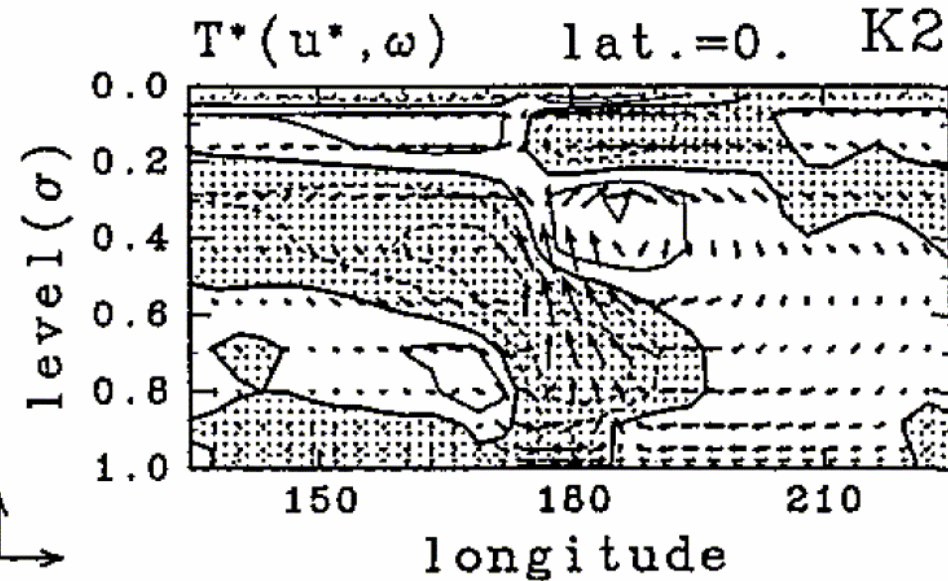
Kuo 上層冷却実験 (mradl-Kuo-C) [latitude=1.786307]

● NH91にくらべ

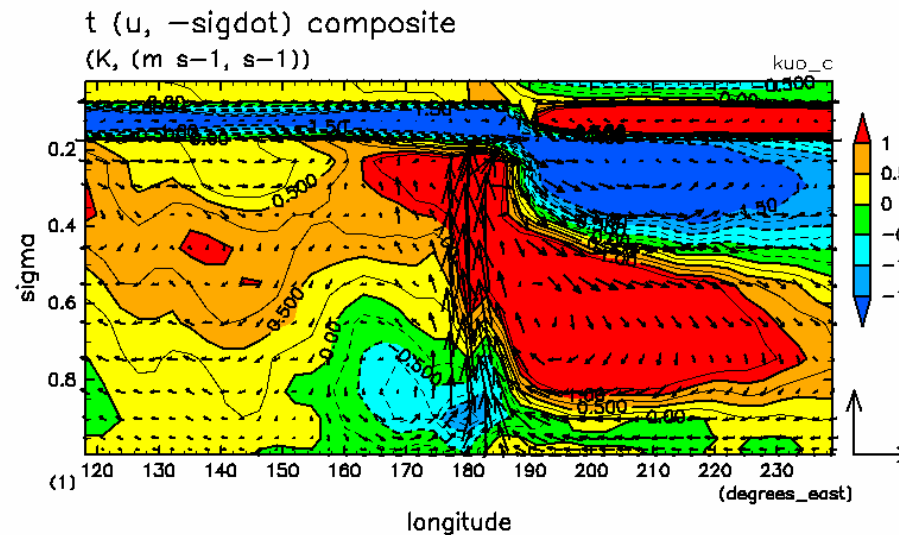
- 降水域がとぎれとぎれ
- 東西波数1の東進以外は、むしろ西進

Numaguti and Hayashi (1991) 比較

- コンポジット鉛直循環構造



Numaguti and Hayashi (1991)



Kuo 上層冷却実験 (mradl-Kuo-C)

- NH91にくらべ

- 対流圏鉛直波数2構造が強い
 - 東側の上層低温が強い
 - 西側の上層高温も強い
- 東西に広がっている(閉じてない)

本発表の目的

- 動機: Kuo上層過熱実験 と Numaguti and Hayashi (1991)との違いは？
 - モデルが違う(気象庁の最初の全球予報モデルvs地球流体電脳倶楽部AGCM5.3)
 - 物理過程が違う
 - 放射
 - 乱流混合
 - 地表面フラックス
- 調査方法
 - AGCM を解体して単純な線形摂動モデルであるwave-CISK モデルの枠組に段階的に近づける
 - 系の平均的状況のドリフトが問題

以下では

● 鉛直混合過程を単純化させる

● 降水域東進が顕著な上層冷却実験に対して、

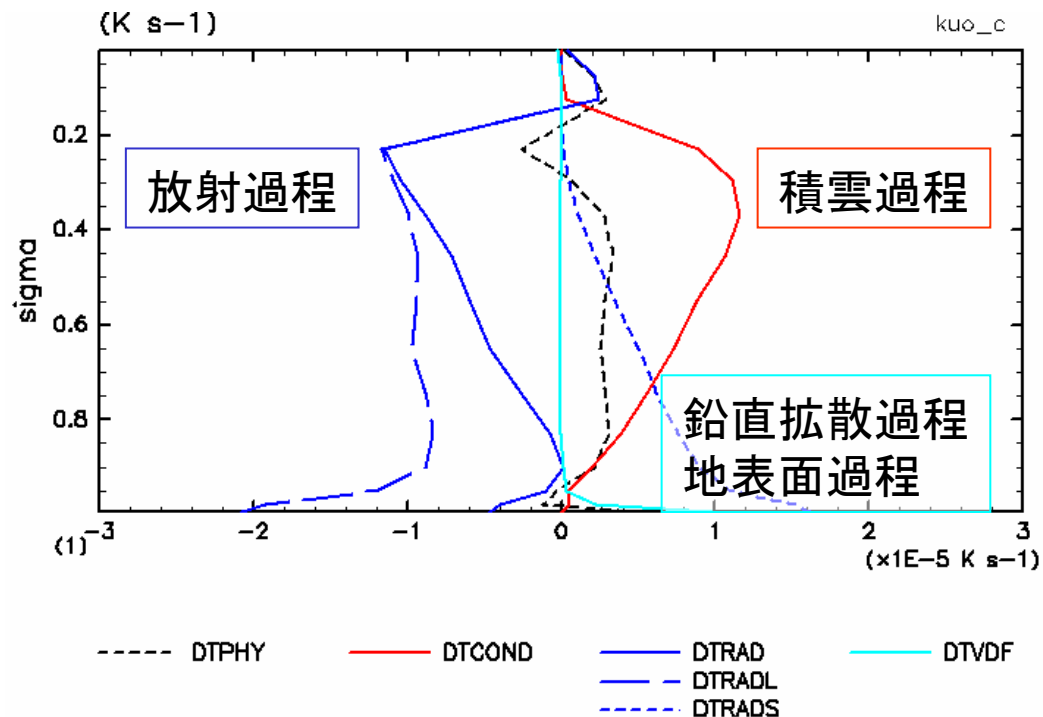
- 放射冷却率固定 (東西時間平均値)

- 鉛直拡散 (Yamada&Mellor)、
地表面過程 (Louis)

- 拡散係数を固定 (東西時間平均値)

- 拡散加[熱、速度、湿度]率を固定 (東西時間平均値)

- 鉛直拡散、地表面過程を計算しない



物理過程による加熱率
(赤道上東西時間平均)

地球流体電腦俱樂部版 AGCM5.3

- 計算順序

- 物理過程1

- 放射 (簡易4色バンド)
 - 鉛直拡散 (Yamada&Mellor Level2)
 - 地表面過程 (Louis)

- 力学過程

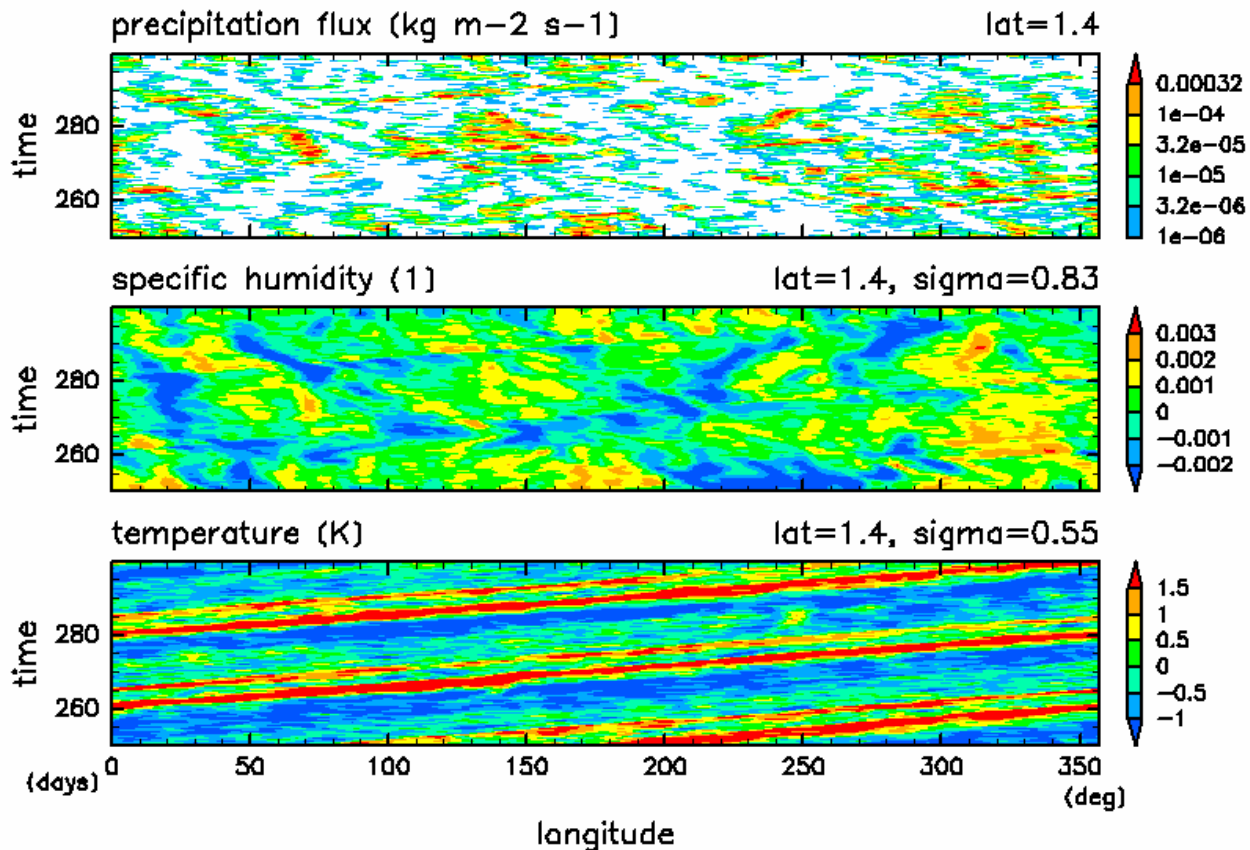
- 物理過程2 (調節)

- 積雲 (Kuo)
 - 大規模凝結
 - 乾燥対流調節

標準実験

- 標準実験（上層冷却）

- 強い降水域が、赤道円周上に一箇所ないし二箇所しか存在しない

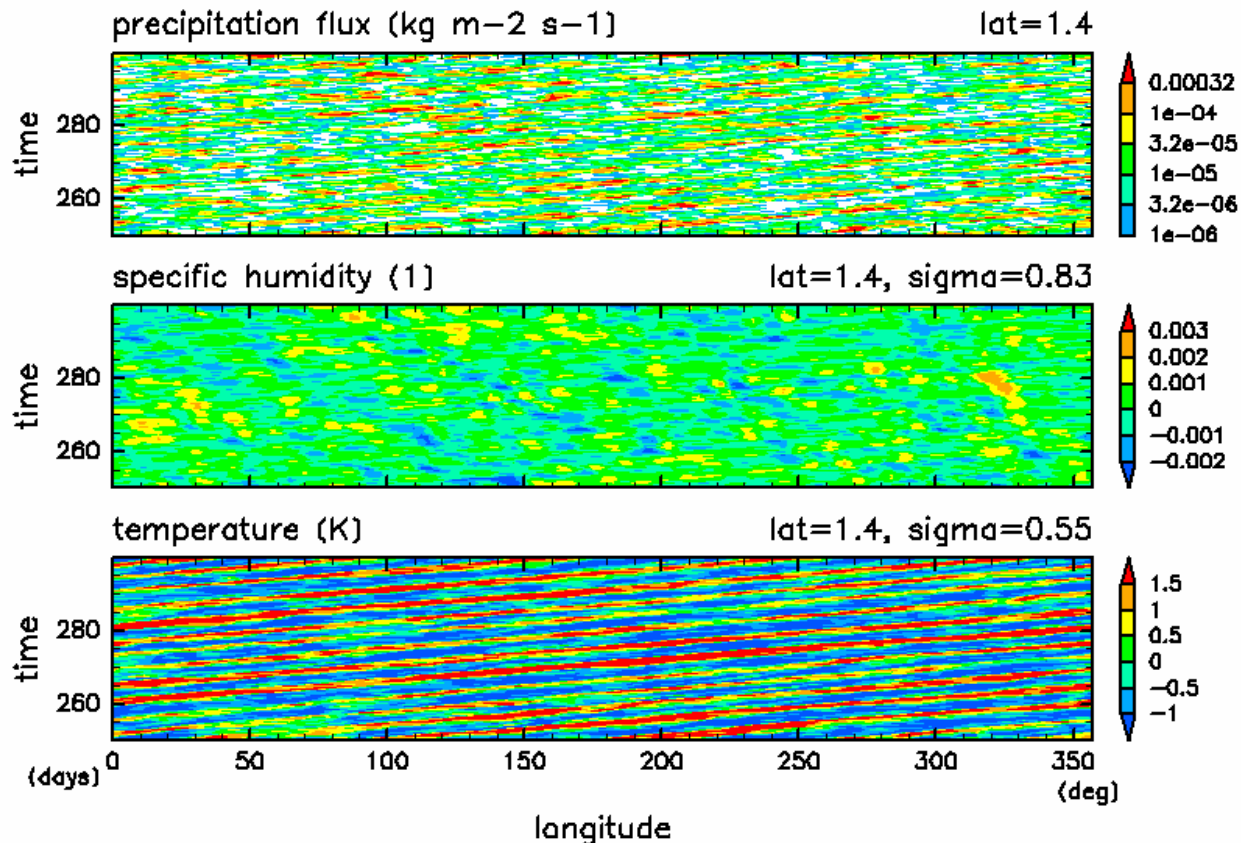


動画

拡散係数固定実験

- 拡散係数固定実験

- 強い降水域が赤道円周上に複数発生する傾向

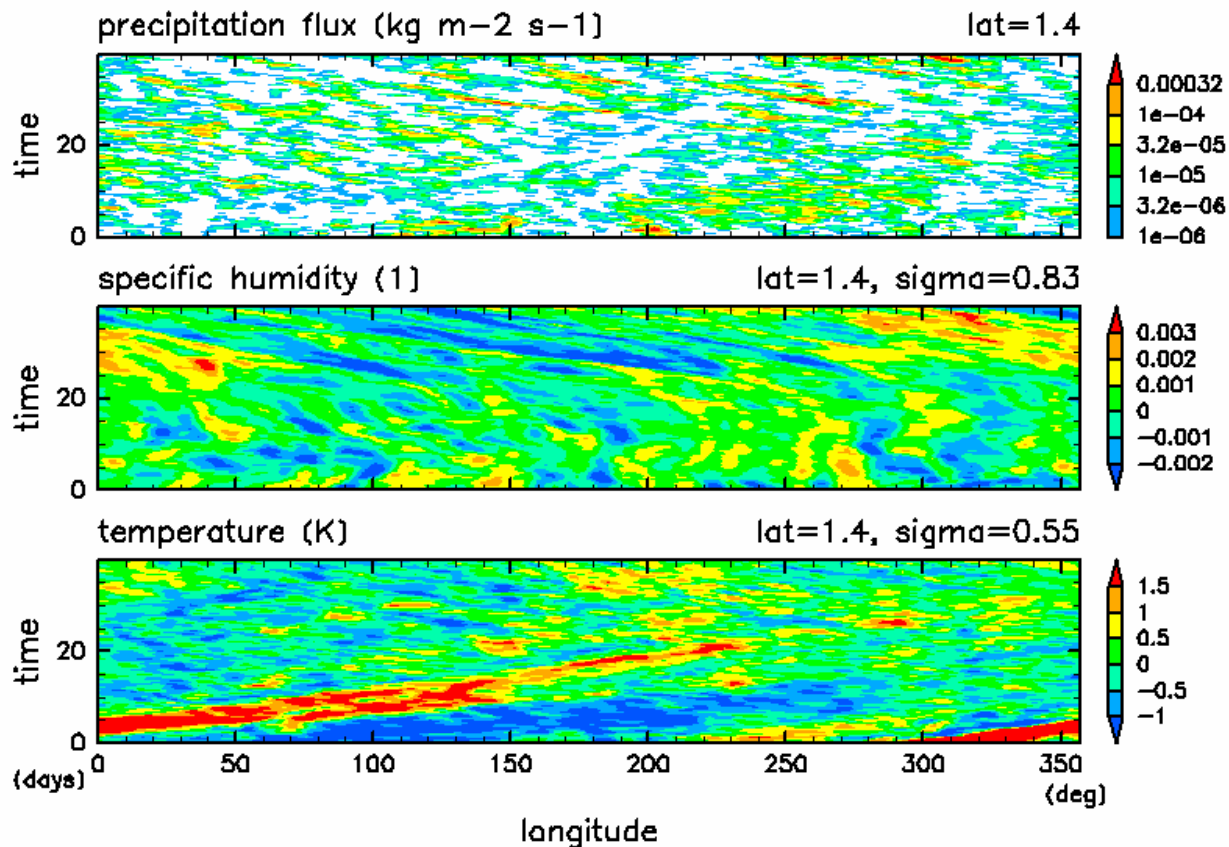


動画

固定してから250日目以降を表示

鉛直拡散、地表面過程なし実験

- 鉛直拡散、地表面過程なし実験



動画

過程除去直後から表示

物理過程の降水パターン形成への影響： 鉛直乱流混合過程実験まとめ

- 降水域東進構造の発現をキーにして
- 鉛直加熱分布依存性
 - wave-CISKyな上層冷却＝東進構造の発現が顕著
- 東進構造発現有利な冷却分布の下でより単純な物理過程設定
 - 放射冷却率固定 (東西時間平均値)
 - 鉛直拡散 (Yamada&Mellor)、地表面過程 (Louis) を東西時間平均値固定
 - さらに、鉛直拡散、地表面過程除去

物理過程の降水パターン形成への影響： 鉛直乱流混合過程実験まとめ

- **乱流混合過程がパターン形成に密接に関与**

(積雲パラメタリゼーションが悪くなくなったっていろんな事は起こりえる. あたりまえといえればあたりまえ?)

- **原因となる力学詳細にはまだ迫れていない**

- **積雲対流が発動しない**

鉛直混合の安定度等のフィードバックが対流生成抑制

- **積雲対流が発動する**

積雲対流パラメタリゼーションとの役割分担問題?

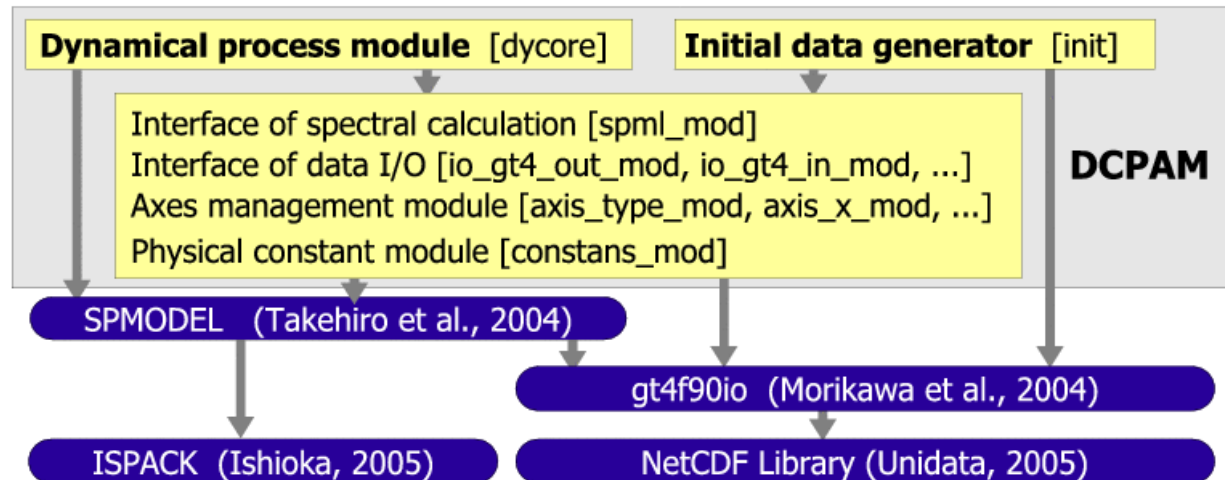
パラメタ研究に都合のよいモデルの試み

DCPAM

- モデルインフラストラクチャー
 - I/Oの統合 : gtool4 F90 netCDF I/O
 - 並列化インフラストラクチャー(GFDL/FMS に対抗) 未実装
 - 力学過程
 - 通常のAGCMの枠組 : 静水圧+浅い大気近似
 - スペクトル変換法
 - 物理過程の組み込み実験
 - AGCM5と同様の簡略な物理過程
 - 水惑星実験が可能に
 - 水蒸気のセミラグランジアン移流
 - ドキュメンテーション等の技術開発
 - RDoc (Rubyドキュメンテーションツール)の改良開発と導入
- ようやく水惑星実験再現へ

モデル開発

モデル構成

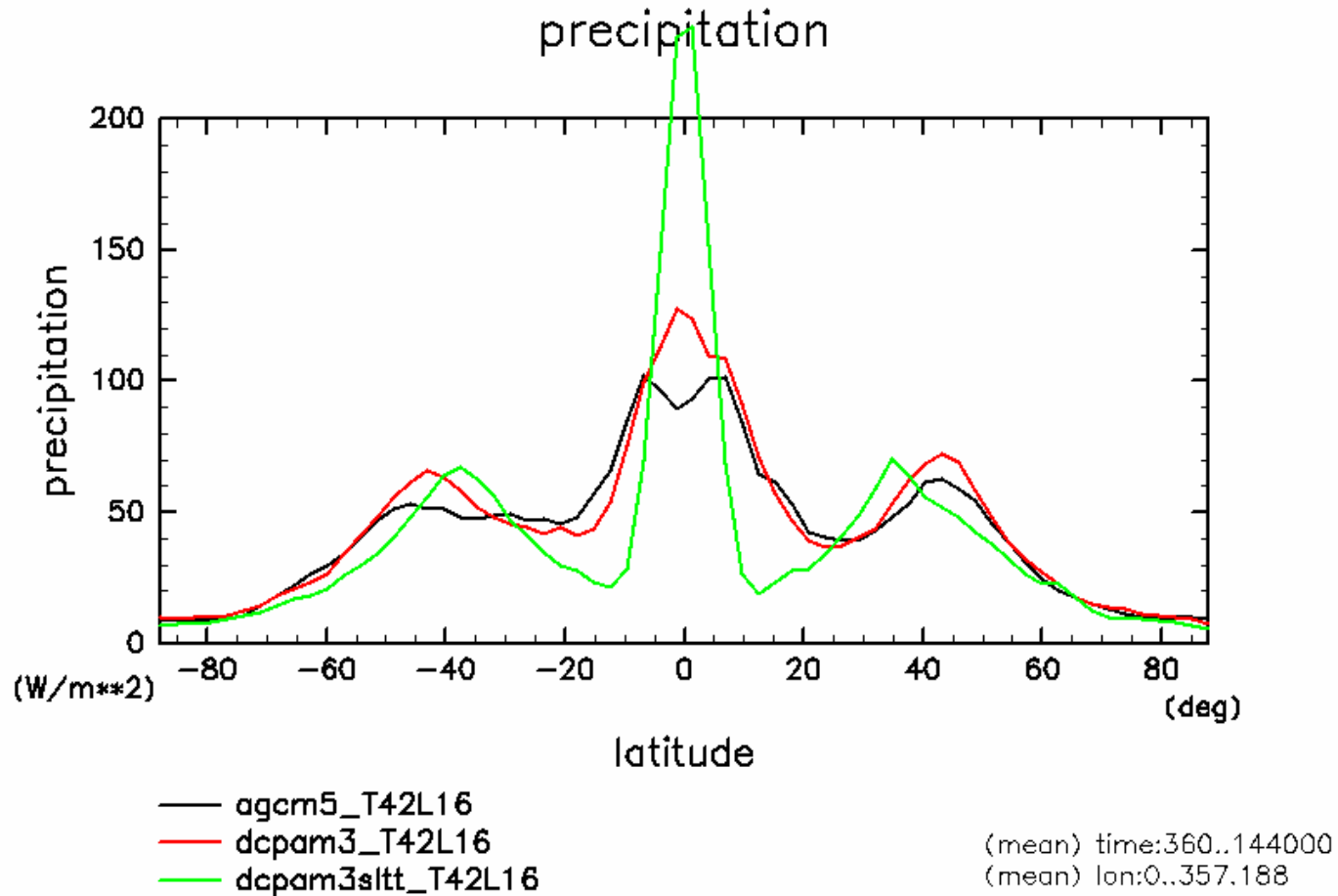


モデルの可読性を高める試み: 数式のようなソースコードを

```
(a) [ wz_VorTend_n = &&
      & wa_Div_xya_xya( xyz_VA_n , - xyz_UA_n ) &&
      & / Rplanet ]

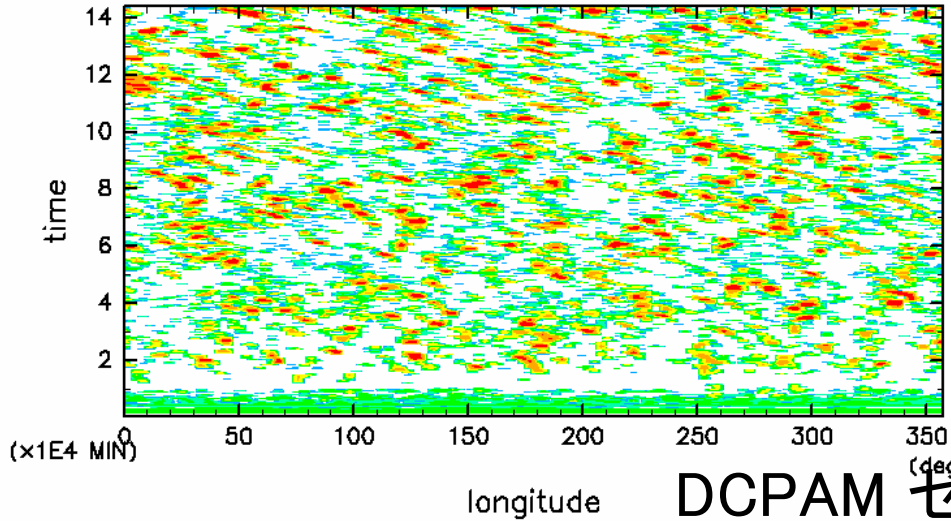
(b) [ xyz_Vor_a = &&
      & xya_wa( wa_xya( xyz_Vor_b ) &&
      & + 2. * DelTime * wz_VorTend_n ) ]
```

降水: 東西時間平均 (DCPAM)

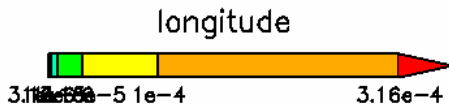
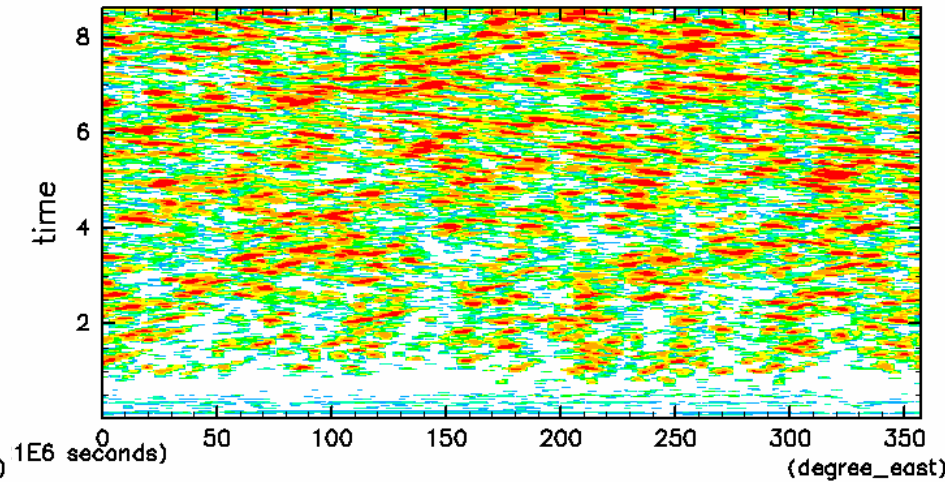
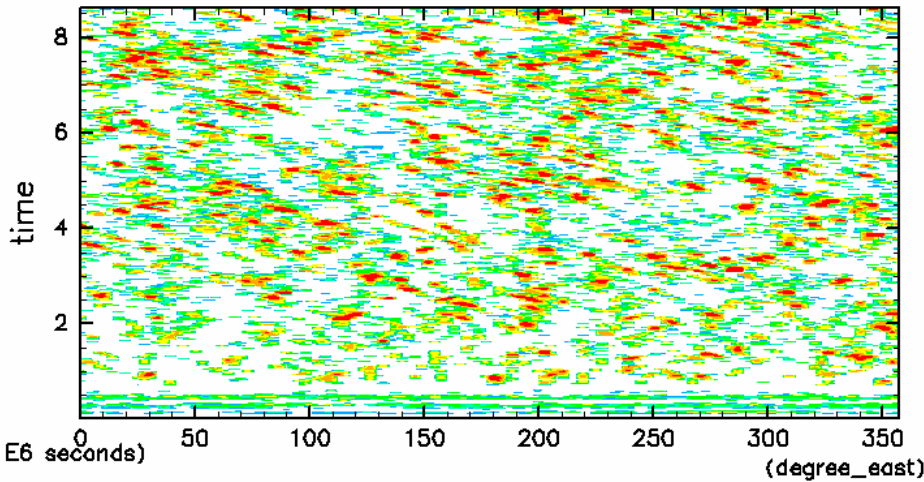


降水: 赤道上経度時間図 (DCPAM話)

agcm5 precipitation



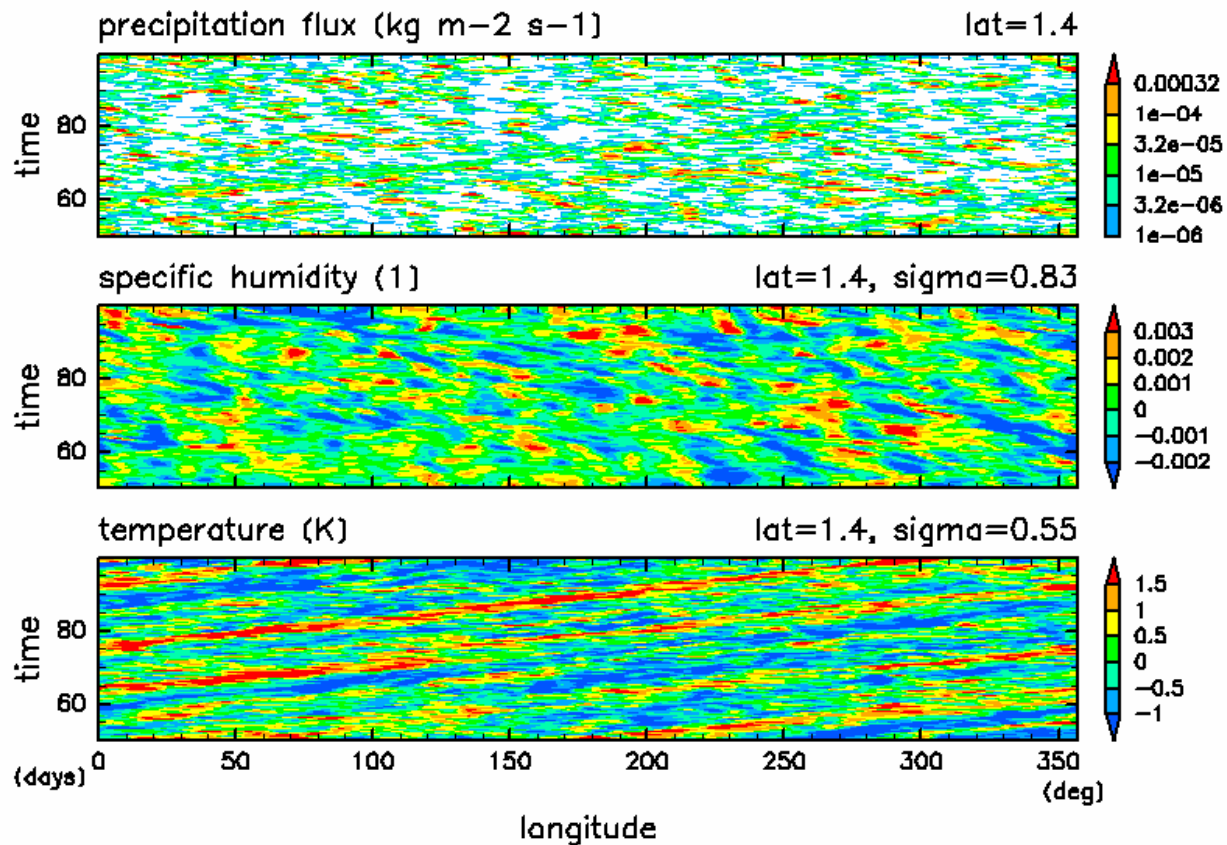
DCPAM セミラグ版



ふろく

拡散加[熱速度湿度]率固定実験

- 拡散加熱固定実験



Numaguti and Hayashi (1991)

- 線形 wave-CISK 解

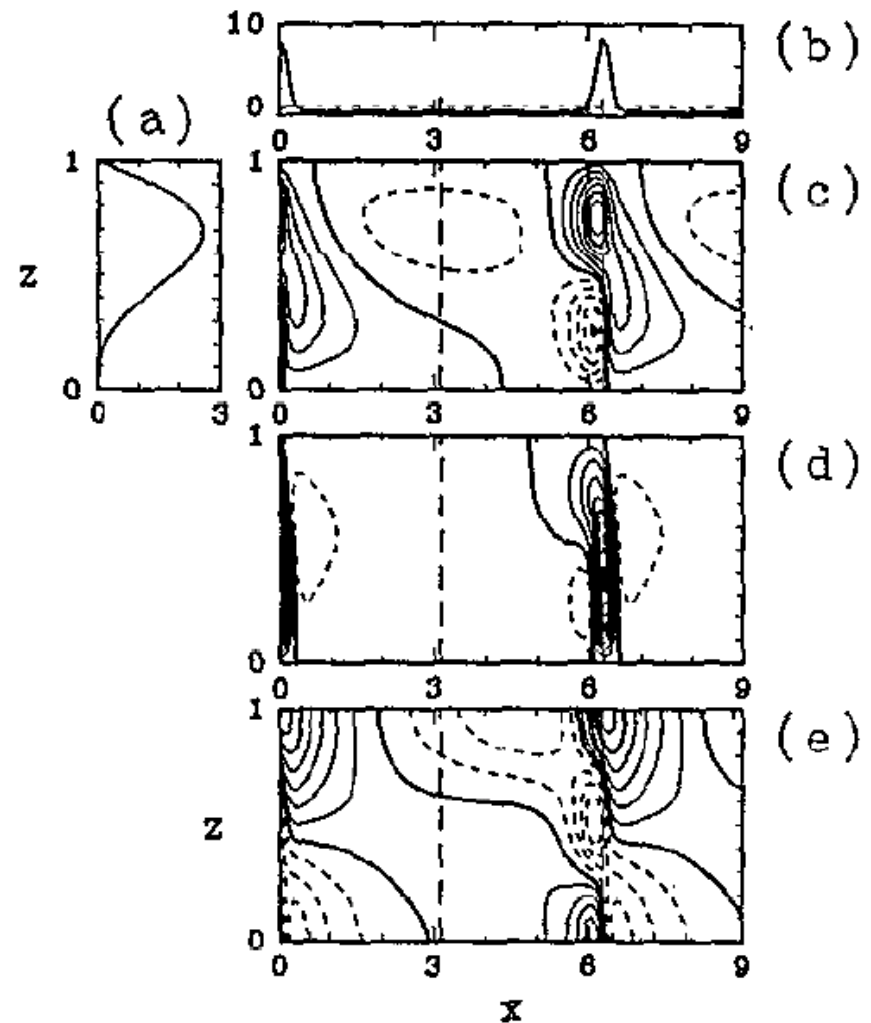


Fig. A5. Responses to a moving and growing heat source in the linear model. The case of the longitudinally Gaussian heating with two vertical modes: $C_r=0.062$ and $C_i=0.031$. (a) Vertical distribution of heating $\eta(z)$, (b) horizontal distribution of heating $\tilde{Q}(x)$, (c) temperature T , (d) vertical velocity w , (e) zonal velocity u .

WISHE (wind-induced surface heat exchange)

- Numaguti and Hayashi (1991b)
- WISHE: 蒸発-風速フィードバック

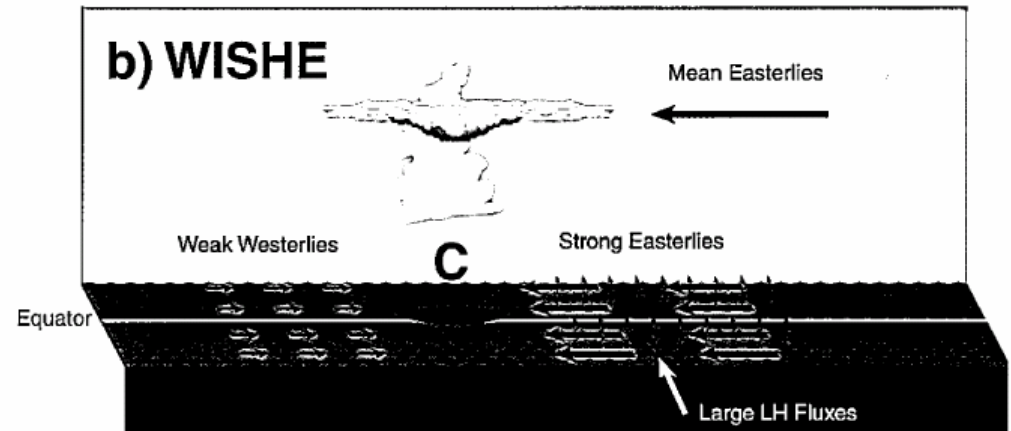
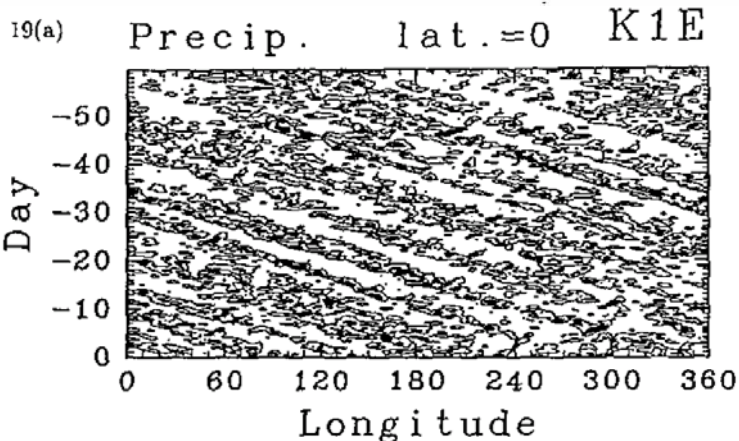
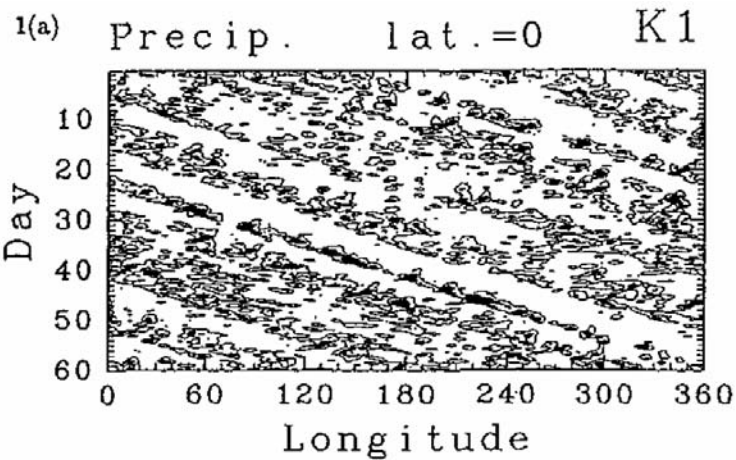


FIG. 9. The illustration of three conceptual models of intraseasonal oscillation. (a) Wave-CISK, (b) wind-induced surface heat exchange (WISHE), and (c) air-sea convective intraseasonal interaction (ASCII).

$$E = \rho C_D |\vec{v}| (q^* - q_a)$$

$C_D |\vec{v}|$ を
固定する

E: 蒸発量, C_D : バルク係数, ρ : 密度
 q^* : 地表面飽和比湿, q_a : 大気比湿

放射冷却率依存性実験 (KUOスキーム)

- 降水量 (全球平均、東西平均)

