

非静力対流モデルを用いた 湿潤大気構造の太陽定数依存 性に関するパラメータ実験

林祥介(神大理)、中島健介(九大理)、石渡正樹(北大理)
高橋芳幸(神大理)、杉山耕一郎(北大低温研)、小高正嗣(北大理)、
西澤誠也、納多哲史(神大理)、山下達也(北大理)

地球流体電脳倶楽部

dcmodel@gfd-dennou.org

2011年11月25日 国立環境研究所

平成23年度スーパーコンピュータ利用研究報告会



背景

- **多様な設定における湿潤大気の振る舞いを探索、湿潤対流に関する知見を深める**
 - 地球大気から他の惑星大気、仮想的な大気、系外惑星大気まで
 - 地球大気の知見を地球外的パラメタでテスト
- **そのための階層的モデル群の開発**
 - 統合された書式・I/O・可搬性を考えたソフトウェア
 - 全世代の枯れた技術、ポータブルなモデル
 - ◆ deepconv: 準圧縮系雲解像対流モデル
 - ◆ dcpam: 静水圧全球大気大循環モデル
- **これまでの基礎実験**
 - 水惑星GCM、雲対流
 - 火星全球計算、金星全球計算
 - 火星乾燥対流(vs湿潤対流)、火星主成分凝結対流
 - 木星多成分雲対流

昨年度の研究

- 昨年度課題名：湿潤惑星大気用数値モデル群の開発および基礎的実験
- 昨年度の目的
 - 開発
 - dcpam大循環に関する基礎的実験：同期回転水惑星
 - ◆ 太陽系外惑星における生命存在可能性を考える材料の1つ
 - ◆ 地球と異なる条件下にある湿潤大気の例題
 - ◆ 系外惑星・生命生存可能(ハビタブル)惑星へ
 - deepconv雲対流に関する基礎的実験：主成分凝結対流
 - ◆ 38億年前の火星が温暖だった可能性(CO₂ 氷雲による散乱温室効果；光田, 2008など)を考える材料の1つ
 - ◆ 地球の雲対流とは違った湿潤対流の例題(湿潤断熱線に関する自由度が1つ少ない)
 - ◆ 地球から火星へ

昨年度の基礎実験1:同期回転惑星実験

■ 昨年度の目的

- 高分解能実験による低分解能計算の検討

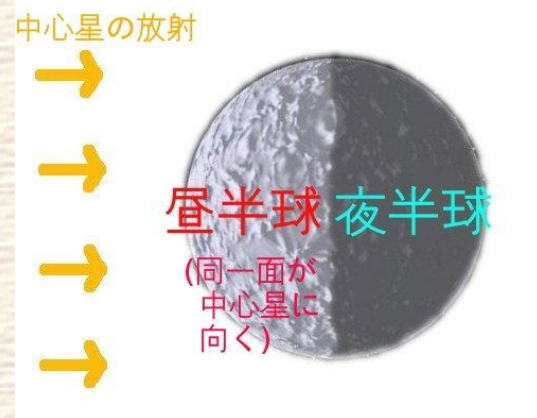
■ 放射過程

- 乾燥大気は透明、水蒸気は長波放射に対して灰色
- 雲による効果は考慮しない

■ 外的パラメータ:惑星半径、太陽定数等は地球の値

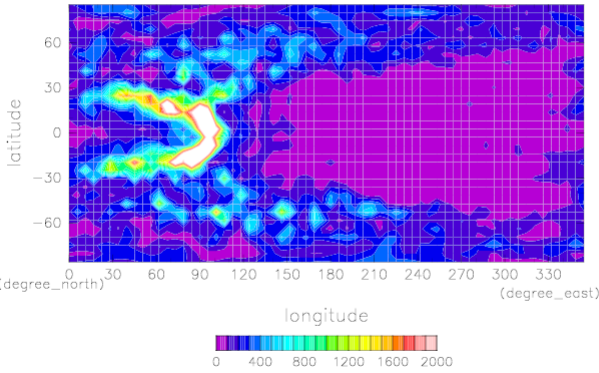
■ 解像度、時間ステップ、初期条件

- 水平解像度: T21, T42, T85, T170, T341、鉛直層数: 16
- 時間ステップ: 1.25 分
- 初期条件: T85までは等温静止状態、T170とT341は低解像度計算結果を内挿して作成

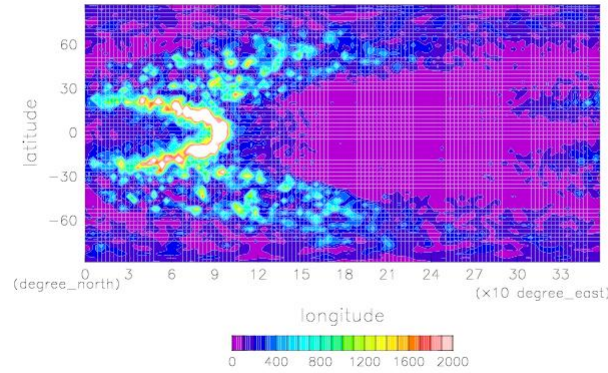


同期回転惑星実験：降水分布解像度依存性

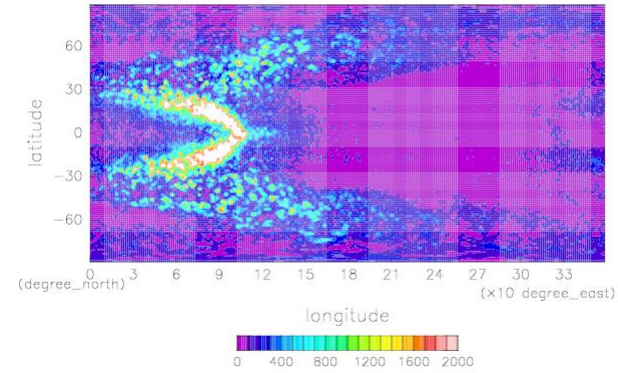
T21



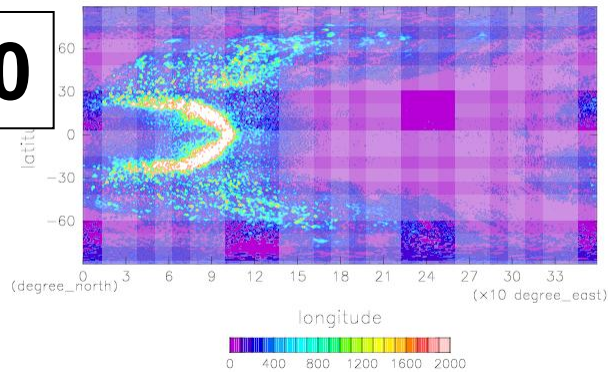
T42



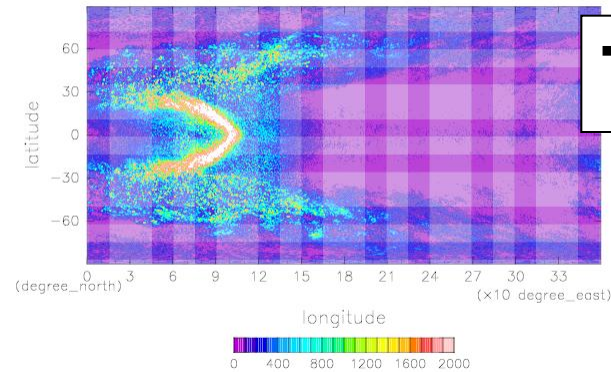
T85



T170



T341



昨年度の基礎実験2: 主成分凝結対流実験

■ 昨年度の目的

- 統計的平衡状態を求める(それまでは設定ミスにより熱収支・質量収支が正しく成り立っていなかった)

■ 基礎方程式

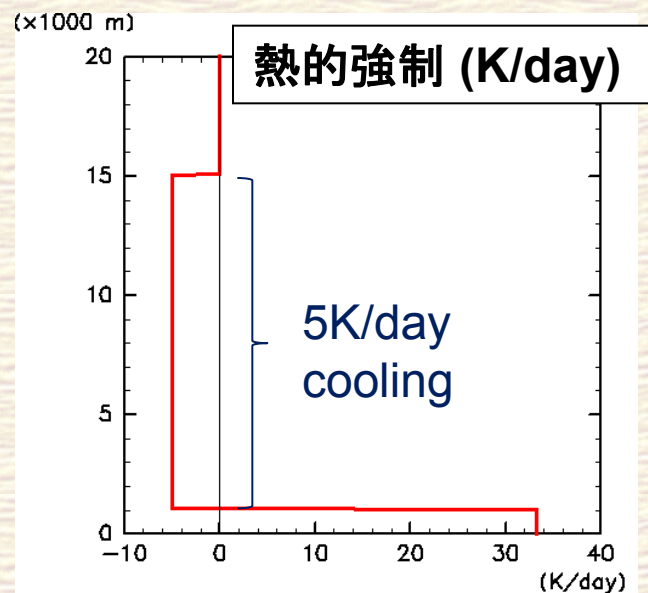
- 2次元準圧縮方程式系(Klemp and Wilhelmson, 1978) に主成分凝結の効果を考慮 (Odaka et al., 2005)

■ 計算領域, 積分時間

- 水平50km, 鉛直20km(格子間隔200m)
- 積分時間: 10日
 - ◆ 時間ステップ: 0.125秒(短), 1秒(長)

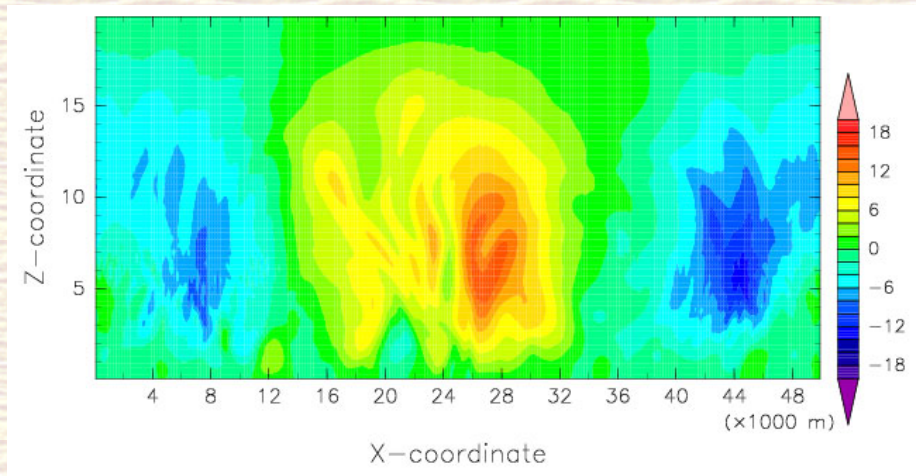
■ 放射強制

- 高度 1–15 km : 水平一様冷却 -5.0K/日
- 高度 0–1 km : 冷却と釣り合う一様加熱

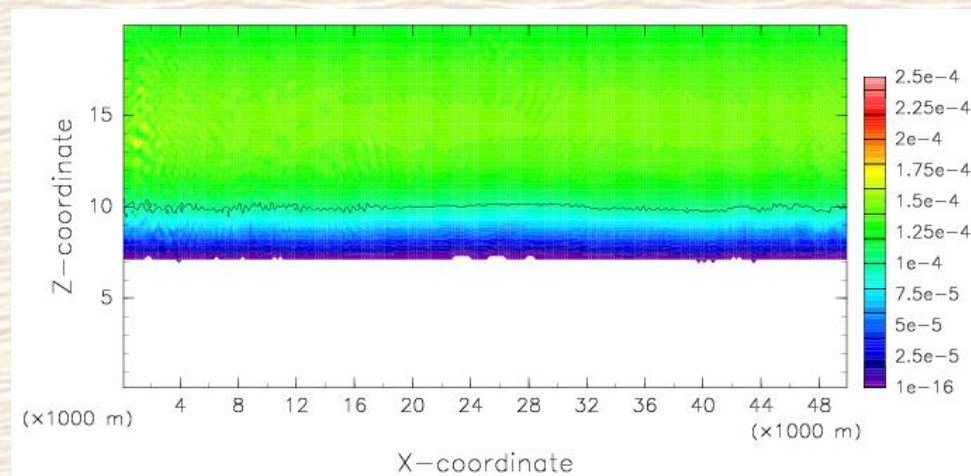


主成分凝結対流の流れ場・雲密度分布

鉛直流速(m/s)



雲密度



4日目におけるスナップショット

- 下層(7km以下)に乾燥領域、上層に水平一様な雲層
- 乾燥領域と雲層にまたがった対流運動
ちなみに、従来、雲層は対流しないと予想されてきた。
- しかし、長時間積分すると全層に対流が及ぶ。

昨年度のまとめ

■ 基礎的実験1: 同期回転惑星実験

- 計算分解能依存性の検証:T21~T341
ただし鉛直分解能は変えてない(荒い)
- 大まかな構造は水平分解能に依存しない
- 現在はT21~T85程度の低解像度計算へ移行
パソコンによるパラメタ研究
今後、要所にて、スパコンによる解像度依存確認

■ 基礎的実験2: 主成分凝結対流実験

- 対流が発達、雲層はより高高度に移動、領域上端に雲層が到達して「平衡状態」(計算設定破綻)。
この循環構造の理解は現在進行中。
- 雲粒の落下・荷重の無いのがあまりに過激な設定?
これらの組み込み方を調査中。
- 大領域での統計的平衡計算・3次元計算は今後の課題。

本年度の研究目的

(暴走温室) 湿潤対流にせよ主成分凝結対流にせよ、大気の運動を扱うに、いつまでも雲と放射の相互作用無し、と言うわけにはいかない。

雲と放射の相互作用を考慮した考察に踏み込む。

- deepconv雲解像モデルを使った放射対流平衡計算
 - 過去の中島の課題では、放射過程は極端に簡略化(固定)。
- 目標は温度構造・雲分布の太陽定数依存性の調査
 - 「暴走温室状態」の過去の研究の大部分が鉛直1次元モデルで行われた。GCMによる研究(Ishiwatari et al, 2002など)では低解像度、雲無し。
 - 暴走に近づいた、高温・高湿大気での雲対流の振る舞いは不明。
- しかし、肝心の放射過程の計算に困難が予想される。
 - 分厚い大気の放射吸収特性(射出限界など)は？
 - 雲と放射の相互作用は？
- まずは太陽定数固定・SST固定から開始
 - SST固定の雲解像長時間計算はかなり行われている(次頁)
 - 世の中の研究でも SST固定でないのはRomps, 2011くらい？

雲解像モデルによる過去の放射対流平衡計算

- Held et al. (1993) : 2次元、SST固定。
- Iwasa et al. (2001) : 2次元、灰色、SST固定。
- Bretherton et al. (2005) : 3次元、SST固定。
- Gao (2008) (GISS)
 - 分解能水平1.5km、2次元768km、SST固定。雲による放射吸収を on/off、40日。
- Pakula and Stephens (2009) SAM(CSU)
 - 分解能水平500m~2.4km、2次元20,000km、SST固定、雲による放射吸収を on/off、60日
- Rappin et al. (2010) WRF(NCAR)
 - 分解能水平3km、3次元200km~1600km、SST固定、90日
- Romps (2011) DAM(ドイツ)
 - CO₂増大実験による降水量変化の調査
 - 完全圧縮、分解能水平200m、3次元25.6km、SST領域内一様温度、300日以上
- NICAM ?

モデル・計算設定

雲解像モデル deepconv/arare

- <http://www.gfd-dennou.org/library/deepconv/>

■ 基礎方程式: 準圧縮系方程式

■ 地球放射モデル

- Chou et al. (1996), Chou et al. (2001)
- 太陽定数: 1366W/m^2 、太陽天頂角: 60度
- オゾン鉛直分布: 地球の赤道域を想定した分布

■ 暖かい雨のパラメタリゼーション

■ 2次元領域: $512\text{km} \times 30\text{km}$

- 格子間隔: 水平1km、鉛直300m

■ 下部境界: 固定SST(302K)

■ 積分時間: 80日

計算資源

- CGER SX-8 2 CPU
- 使用メモリ: 1184 MB
- 実行時間 : 約106時間 (80日分)
- ベクトル化率 : 92.6%
 - 2.0GFlops (SX-8 公称値16GFlops よりかなり遅い)
 - 平均ベクトル長 133.5 (“低速”の主な原因ではない)
 - 配列関数を多用しているため？

結果

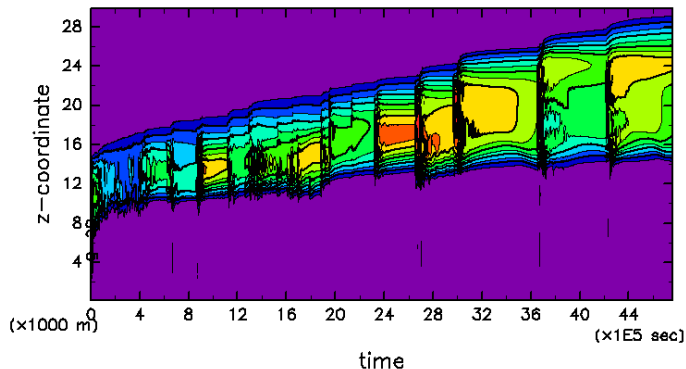
■ 結果

- 50日までの温位偏差、水蒸気混合比、雲水混合比、雨水混合比動画

[WithCloudAbsorption-C1e-3.mov](#)

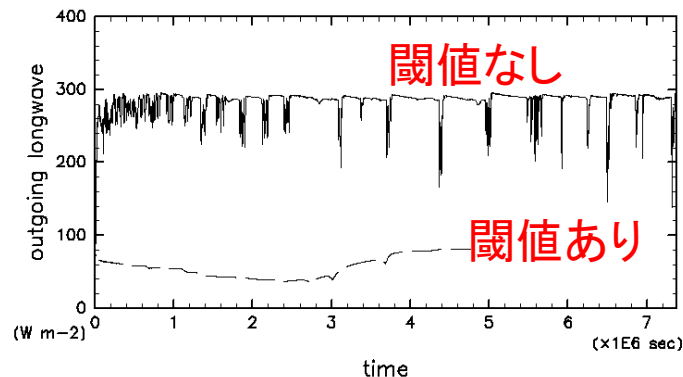
結果: 全天曇ってしまう

H2O 雲混合比 Ratio



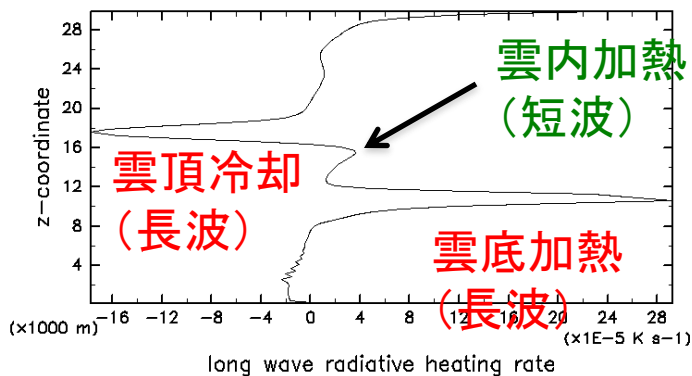
CONTOUR INTERVAL = 4.000E-05
 0 1.2e-4 2.4e-4 3.6e-4 4.66e-4

大気上端の長波放射



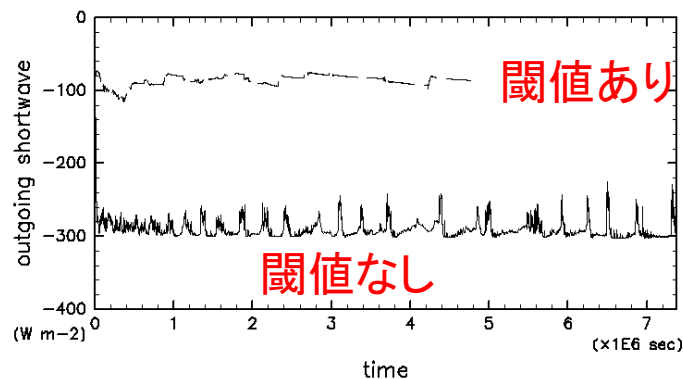
(mean) x:500..511500

T 全放射加熱量



(mean) t:300600..498600

大気上端の短波放射



(mean) x:500..511500



結果

■ 結果

- 50日までの温位偏差、水蒸気混合比、雲水混合比、雨水混合比動画

[WithCloudAbsorption-C1e-3.mov](#)

■ 全領域が曇ってしまう

→雨が降りやすい極端な設定で再計算

雲粒から雨粒への変換閾値(雲粒密度)
をゼロにする

雲水→雨水返還の閾値をゼロに

■ 結果

- 50日までの温位偏差、水蒸気混合比、雲水混合比、雨水混合比動画

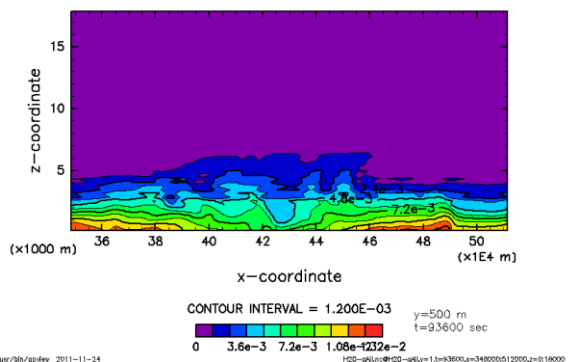
[WithCloudAbsorption-C0.mov](#)

■ 雲対流の特徴が少々奇妙、モデルがおかしい？

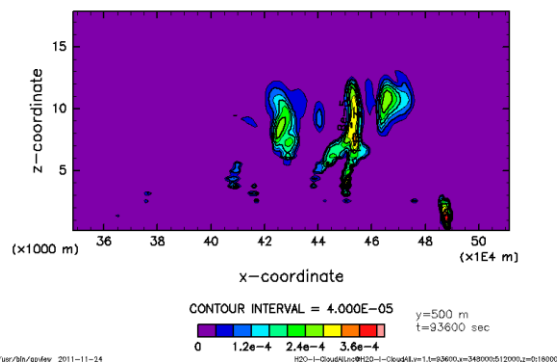
- 持続的に雲活動が起こらない
- 領域500kmにも関わらず(?)雲対流の存在しない期間がある
- この特徴は雲と放射の相互作用を切ってもかわらなかった

水物質と放射強制分布の対応確認

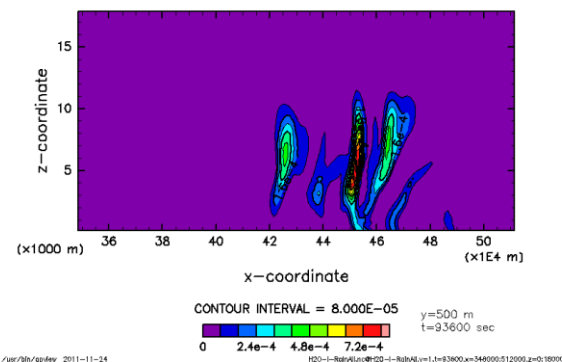
水蒸気混合比



雲水混合比



雨水混合比

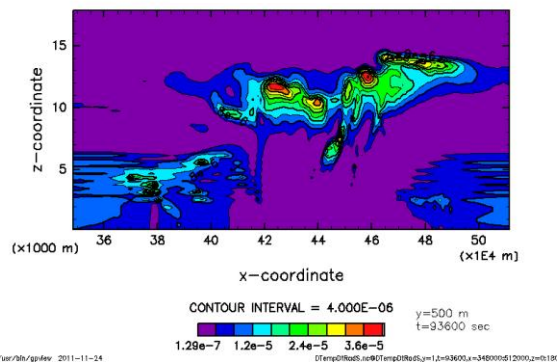


計算開始から26時間目

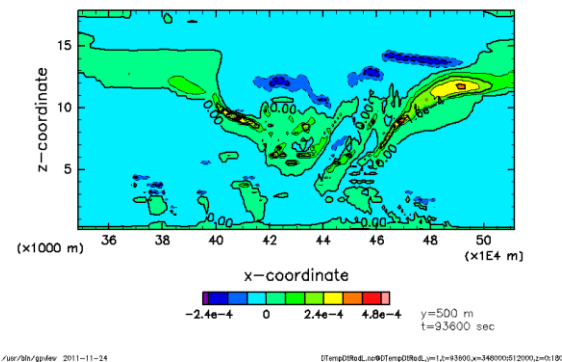
雲の下面で長波加熱
 雲の上面で長波冷却

雲の中で短波加熱

short 短波加熱率

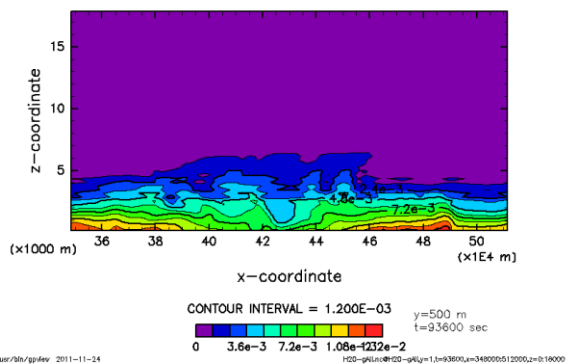


lc 長波加熱率

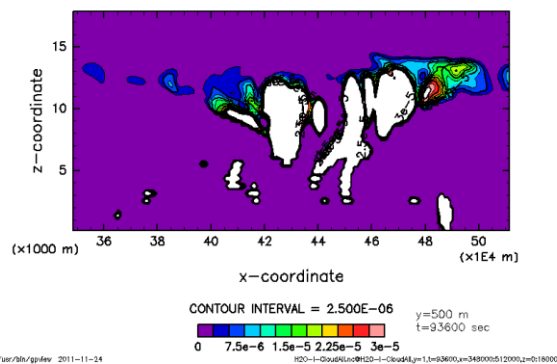


水物質と放射強制分布の対応確認

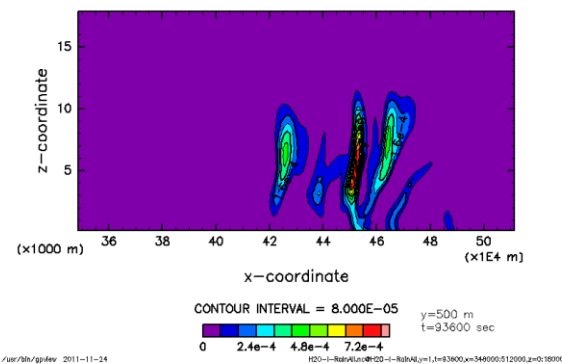
水蒸気混合比



雲水混合比(薄い雲)



雨水混合比

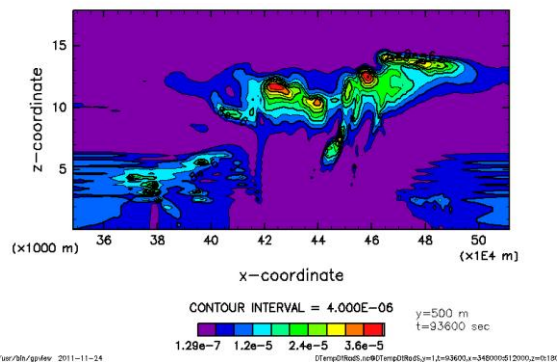


計算開始から26時間目

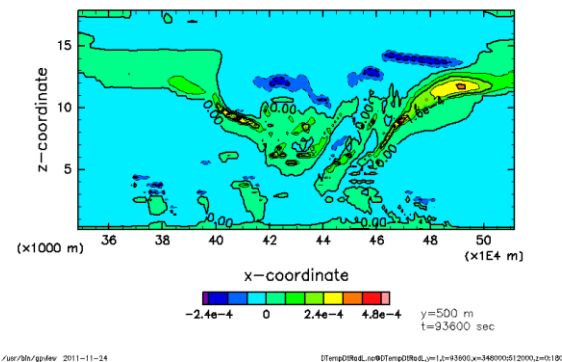
雲の下面で長波加熱
 雲の上面で長波冷却

雲の中で短波加熱

short 短波加熱率



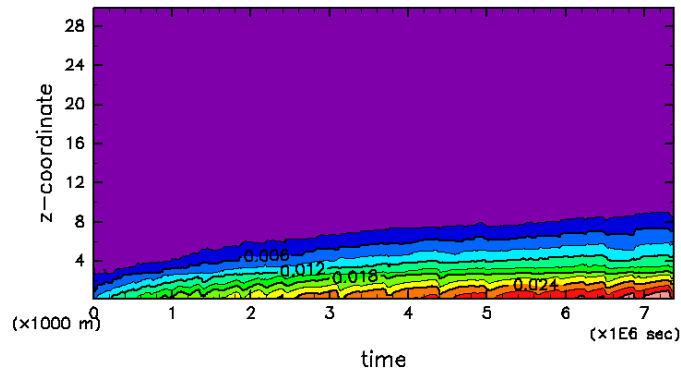
lc 長波加熱率



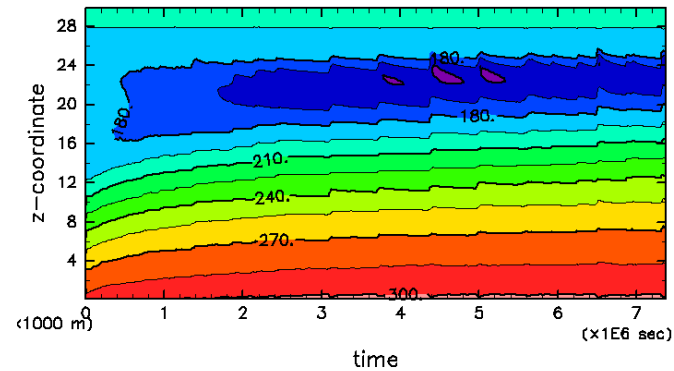
定常に至っていない+トラブル

物理量の領域水平平均の時間発展

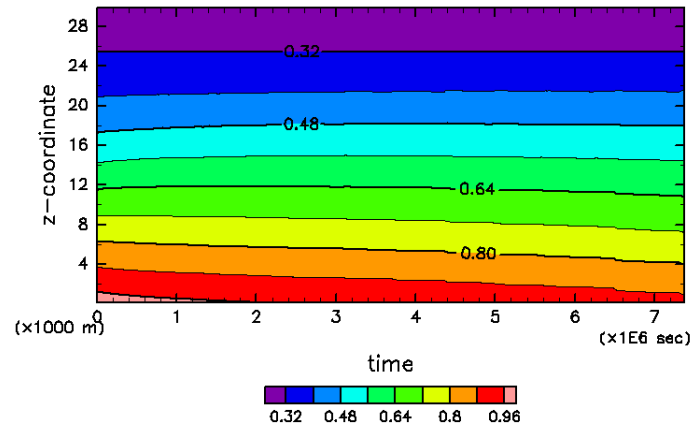
水蒸気混合比



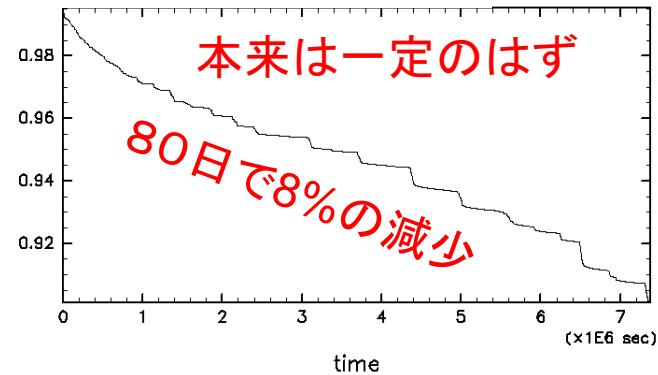
温度 ture



Exner関数(無次元圧力)



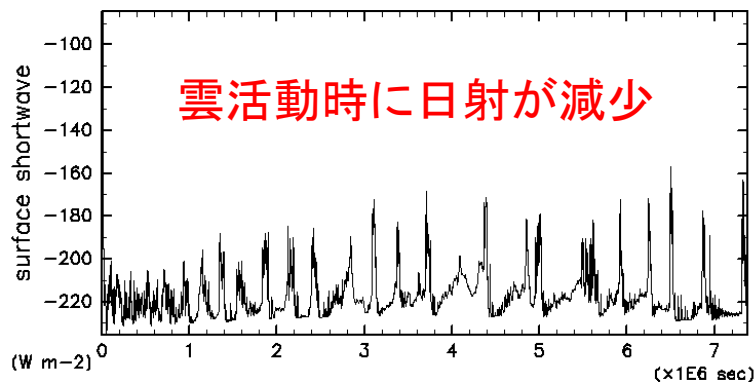
(無次元)地表面気圧 ire



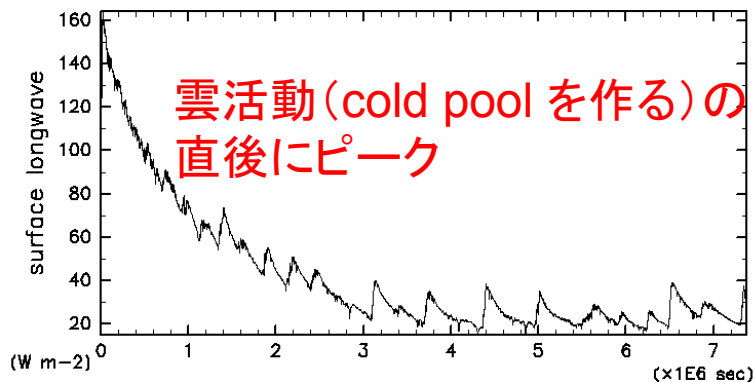
z=150 m

地表面エネルギー収支(地表面では黒字)

短波放射(上向きが正)

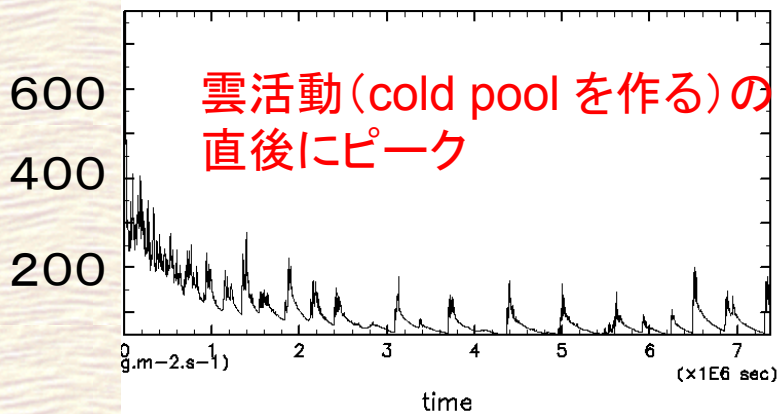


長波放射(上向きが正)



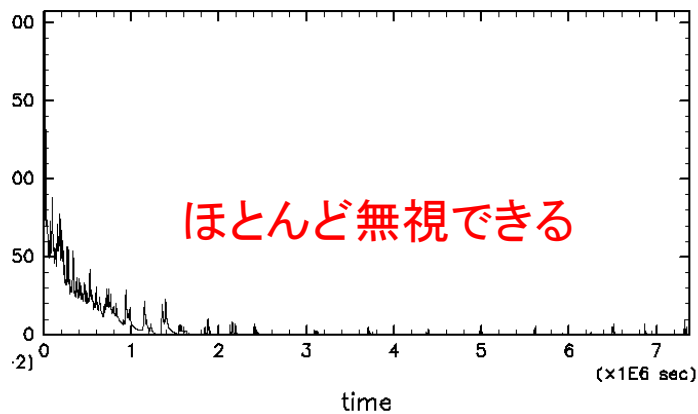
H: 潜熱フラックス ux

/usr/bin/gvew 201



(mean) x:500..511500

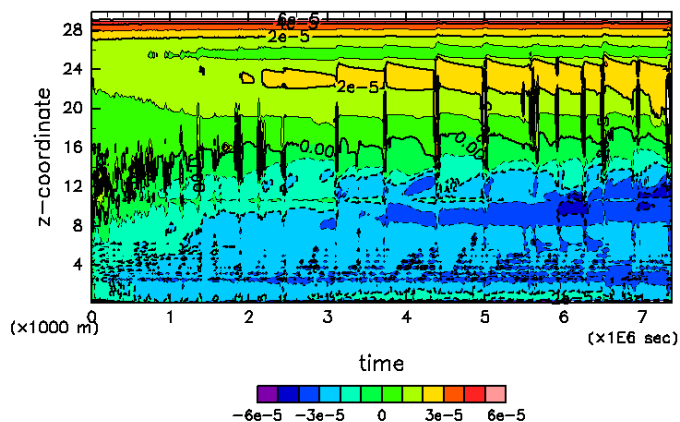
顕熱フラックス



(mean) x:500..511500

放射加熱(平均的に系は「黒字」)

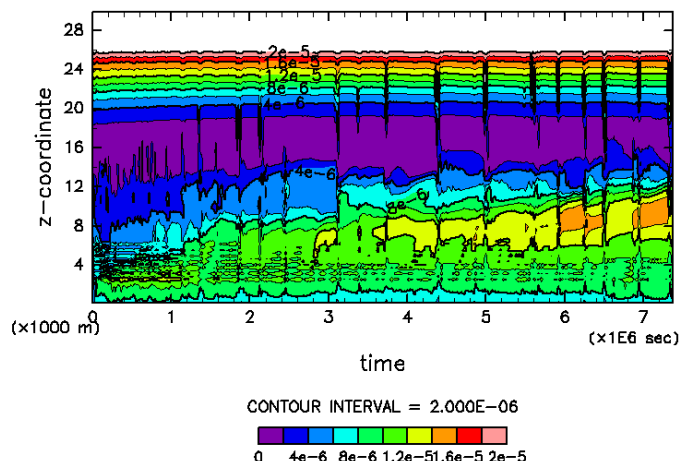
T_c 全放射加熱率 \dot{e}



/usr/bfn/gpview 2011-11-1

LS.nc@TempDirRadL_t=0:10

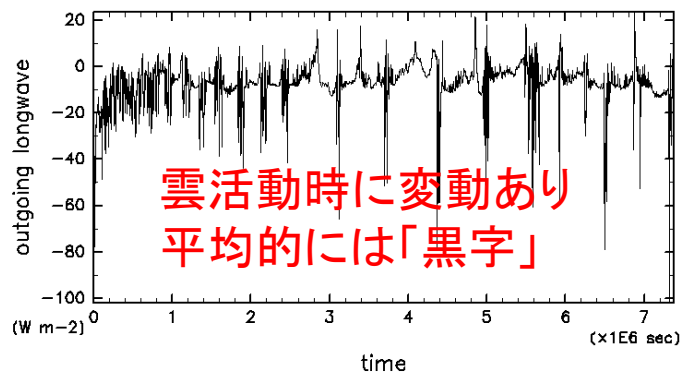
short ν 短波加熱率 \dot{g} rate



/usr/bfn/gpview 2011-11-24

pDirRadL_xave.nc@TempDirRadS_t=0:1000000000:10

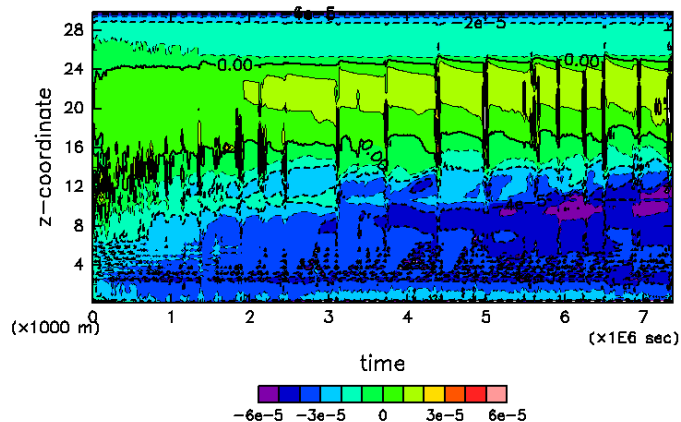
大気上端の放射収支



/usr/bfn/gpview 2011-11-24

(mean) x:500..51151

long 長波加熱率 \dot{g} rate

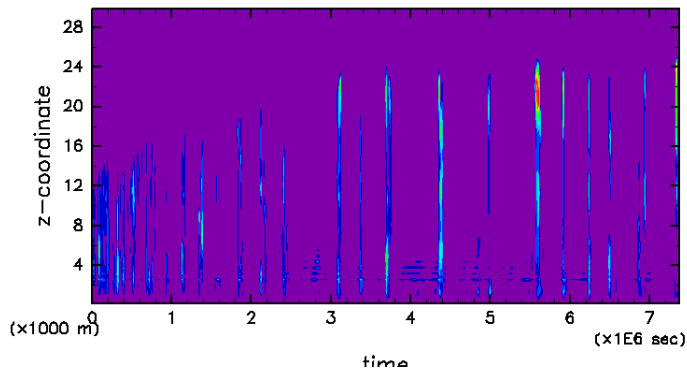


/usr/bfn/gpview 2011-11-24

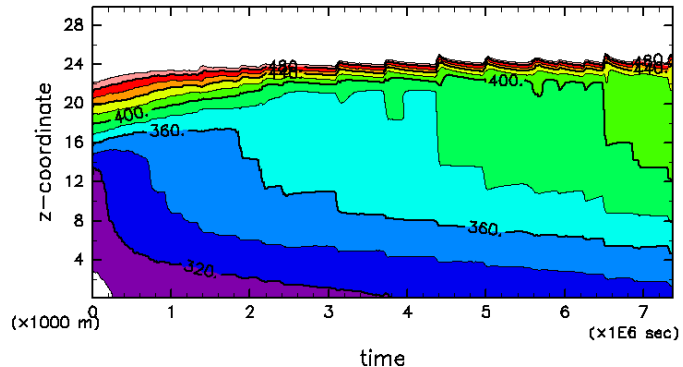
thermal-mcsl_DTempDirRadL_xave.nc@TempDirRadL_t=0:1000000000:10

その他の特徴 (領域平均量)

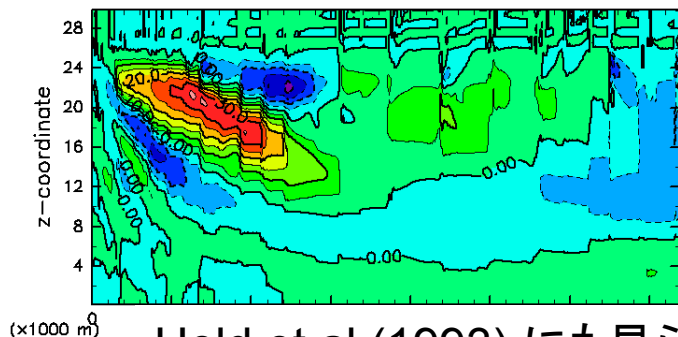
H2O 雲混合比 Ratio



温位 “下部成層圏”が中立



平均東西風: 始めにQBO的振動

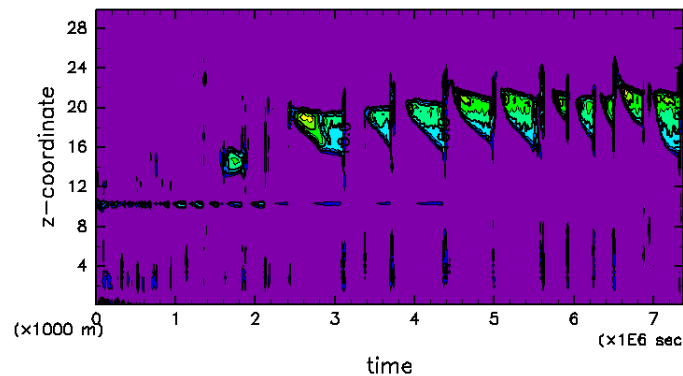


Held et al (1993) にも見られた

CONTOUR INTERVAL = 5.000E+00



乱流強度: “下部成層圏”で間欠的に強い



CONTOUR INTERVAL = 8.000E+00



まとめ

雲解像モデルを用いた放射対流平衡計算

■ 現状: テスト計算の実行・チェック

- まだ平衡状態に達していない
- そもそも地表面気圧が減少してしまっている
→ 保存性の再検討が必要
- 計算効率向上のために何かできるか

■ 今後

- 準圧縮系を用いているのに基本場のドリフトに対応していない
- 解像度についての試行(下層雲の出方に影響)
- 雲→雨の閾値問題: 雲物理のパラメタ実験の必要
- 本当にスーパーコンピュータが必要な大領域計算に至っていない
- 本来の目的の太陽定数依存性調査にはまだまだ

■ 現在のところ小規模な計算、しかし、長時間計算を実行して初めて見出される問題点がある。

- スパコンが使えることは、とてもうれしい、感謝。