

雲解像モデルによる放射対流平衡実験: 全球雲解像モデルへ至る道

佐藤 正樹 (地球環境フロンティア研究センター, 埼玉工業大学),
富田 浩文, 那須野 智江, 伊賀 晋一, 三浦 裕亮 (地球環境フロンティア研究センター)

1. はじめに

地球フロンティアで開発中の非静力正 20 面体大気大循環モデル NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model) の全球雲解像実験によって得られる気候値 (統計的平衡状態) の妥当性を調べるために, さまざまな条件設定のモデルの結果と比較している. 特に, 現在, はじめての全球雲解像実験として, 水惑星実験を実施している (富田他の稿参照). 水惑星実験は緯度分布をもつ全球海面条件での実験である. 特に, この結果の熱帯の気候状態を調べるために, より単純化した熱帯一様条件での実験との比較を行うことが有用である. このような実験は, 従来から放射対流平衡実験として多くの研究がある. 本研究では, 全球雲解像実験を理解するために実施した一連の放射対流平衡実験の結果について報告する.

2. 実験設定

実験には, NICAM の非静力学コアである Cartesian 座標系の非静力学モデル (Satoh 2003), NICAM の半径を小さくした小惑星モデル, および JMA-NHM を用いた. Cartesian 座標系のモデルでは周期境界条件を課すことで, 一様熱帯条件を設定することができる. 実験条件は Tompkins and Craig (1998) と同様とする.

まず, パラメータ実験として $100\text{km} \times 100\text{km}$ の小領域の計算を行った. この結果の一部については昨年の講演 (佐藤 2003) で報告している. 同様に JMA-NHM を用いて比較的大領域の周期境界条件の実験を行った. はじめ, Tompkins (2001) と同様な領域 $1000\text{km} \times 100\text{km}$ 程度の 3 次元実験を実施し, 次に領域を拡張し, $5,000\text{km} \times 100\text{km}$ 実験, および最終的に赤道一周 3 次元実験 ($40,000\text{km} \times 100\text{km}$) を行った. この際, -2K/day の一様冷却率を与え, $5,000\text{km} \times 100\text{km}$ 実験について 1 ケースだけ放射相互作用する実験を行った.

NICAM は球面モデルであるため, Cartesian 座標系のモデルのような周期境界条件を課すことができない. そこで, 全球の SST を一様にして, 全球熱帯条件を設定することとした. 計算資源に応じて地球半径 R を小さくする, いわば「小惑星実験」である. $R = 100\text{km}$ を標準実験として行い, $R = 200, 400\text{km}$ まで行った. $R = 400\text{km}$ の場合は, 表面積は $4\pi R^2 \approx (1,418\text{km})^2$ となり, 熱帯条件としては十分大領域な 3 次元計算である. 赤道近くの熱帯を想定するので, 自転や日射の日変化はないものとして, 1 日平均状態を与えるものとする. 格子間隔は $\Delta x = 3.5\text{km}$ を標準として行った. NICAM を水惑星の全球雲解像実験を行う際, $\Delta x = 14\text{km}$ の粗い格子で spin-up run を行ない, $\Delta x = 14\text{km}, 7\text{km}$ および 3.5km の分解能依存性を調べる. これらの実験と比較するために, 小惑星による放射対流平衡実験でも $\Delta x = 14\text{km}, 7\text{km}$ および 3.5km の分解能依存性を調べる. 雲物理過程は Grabowski(1998) の簡単なスキーム (水物質 3 カテゴリー, 温度に応じて氷相/液相を区別) と Lin et al.(1983) をもとした水物質 6 カテゴリーのスキームを用いた. 放射過程は, MSTRN-X (Nakajima et al. 2000) を用い, 放射と相互作用する実験を行う.

3. 赤道一周実験

図 1 は JMA-NHM を用いた赤道一周 3 次元実験 ($40,000\text{km} \times 100\text{km}$) における可降水量の Hovmöller 図である. 約 7 日の積分であるが, 徐々に組織化が起こり, 最終時点で波数 10 程度の構造が現れている. 赤道条件であるので, 東西の非対称性はないはずであるが, この実験では東進する構造が顕著に現れている.

表 1 には質量重み付平均温度, 可降水量の各計算領域の広さ依存性である. $1,000\text{km}$ 以上では領域に対する依存性は小さい. 比較的大きな一様冷却率を与えているため, いずれも平均温度は熱帯条件よりも小さくなっている.

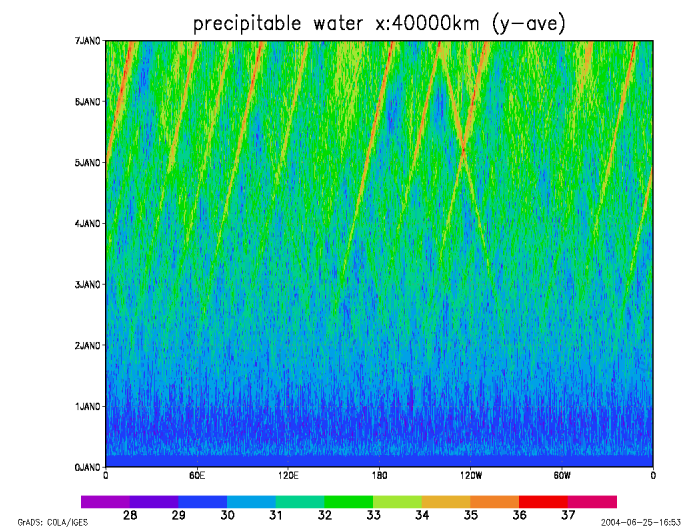


図 1: JMA-NHM による赤道 1 周実験 $40000\text{km} \times 100\text{km}$ による可降水量の Hovmöller 図. 緯度方向に平均をとり, 経度方向には 10km の移動平均により平滑化している.

実験	積分時間	平均温度 [K]	可降水量 [kg/m^2]
1000km^\dagger	56 日	249.49	29.03
1000km	30 日	251.88	31.91
5000km	30 日	252.62	34.32
5000km	7 日	251.13	32.12
40000km	7 日	251.28	32.28
5000km^\ddagger	30 日	256.26	40.39

表 1: JMA-NHM による放射対流平衡実験における可降水量と平均温度の領域依存性. (\dagger は spin-up 実験, \ddagger は放射相互作用計算)

4. 小惑星実験

次に, NICAM による放射対流平衡実験の結果を示す. 図 2 には $R = 400\text{km}, \Delta x = 3.5\text{km}$ での全球熱帯条件の実験における最下層の温度分布と風速ベクトルを示す.

積雲対流に伴うコールドプールの表されている。球面上に同時に何カ所にもコールドプールが共存し、多数の積雲対流が共存するシステムであることがわかる。図3には質量重み付平均温度と可降水量の時間変化である。R = 200km では特に温度に時間変動がある。R = 400km は5日だけの計算であり R = 200km よりも急な時間変化が生じているが、R = 200km の変動幅の範囲内である。

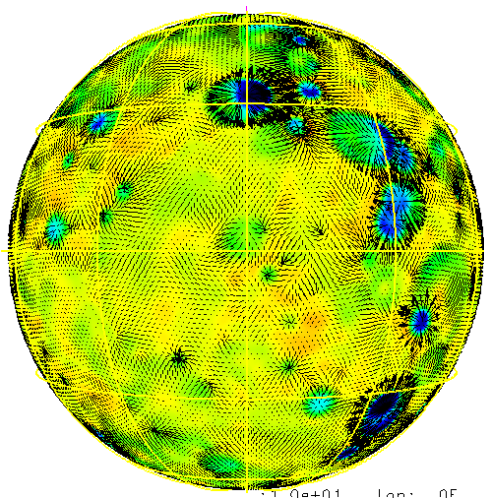


図2: 小惑星実験による放射対流平衡. R = 400km. 最下層の温度分布と風速ベクトル.

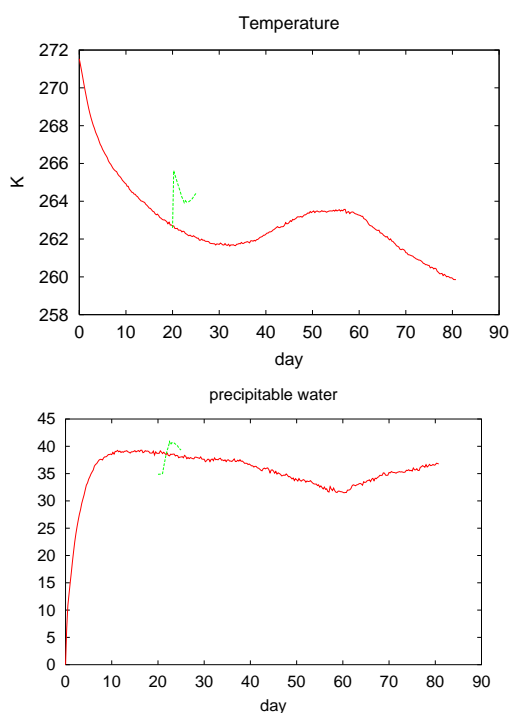


図3: 小惑星実験による放射対流平衡. R = 200km (0-80日)と R = 400km (20-25日)の質量重み付平均温度と可降水量の時間変化.

最後に、R = 100kmでの分解能、雲物理依存性の結果を図4に示す。上から、質量重み付平均温度の時間変化、可降水量の時間変化、相対湿度の鉛直分布である。右はGrabowski (1998)の雲物理スキームを用いた結果とLin et al.(1983)の雲物理スキームを用いた結果の比較である。左は分解能依存性 $\Delta x = 14\text{km}$, 7km , 3.5km である(雲物理スキームは Grabowski (1998) に固定)。解像度を

あげると温度が低くなり、可降水量が上昇する傾向がある。Lin et al. スキームを用いた場合には、30日目あたりから温度が上昇している。これは、降水パターンに変化が生じていることを示唆している。また Lin et al. スキームの場合は、Grabowski(1998)のスキームを用いた場合に比べて可降水量が少ない(25-6kg程度)。図は示さないが、CAPEは3.5km格子では1500ぐらいを維持するが、7, 15km格子では小さく、解像度をあげるとCAPE上がる傾向がある。この結果は、Satohの実験と逆の傾向であり、今後原因を調べたい。

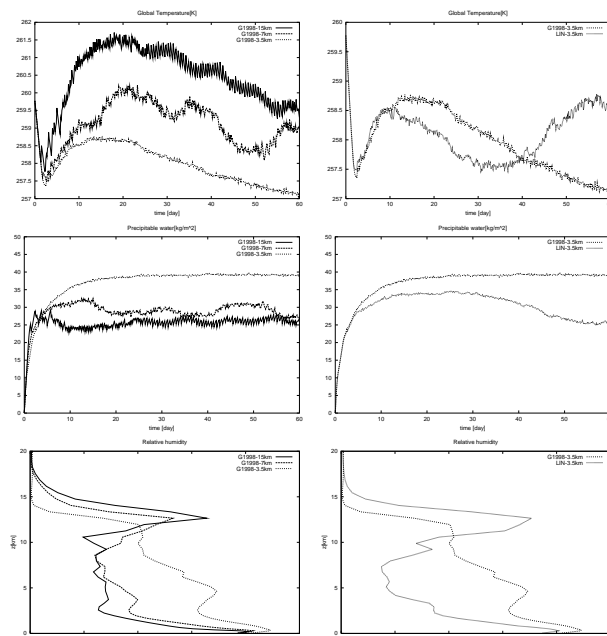


図4: NICAM 小惑星実験による放射対流平衡. 平均温度, 可降水量, 相対湿度の鉛直分布. 左: 解像度依存性, 右: 雲物理依存性.

5. まとめ

全球雲解像モデルの実験準備のために、さまざまな条件下で放射対流平衡実験を行った。代表的な量として、質量重み付平均温度と可降水量の比較を行った。領域を大きくしても、これらの量には大きな変化がない。小惑星実験の範囲では、分解能依存性は7km, 3.5km格子でも残っている。NICAMによる実験では、解像度をあげると温度が低くなり、可降水量上がる傾向があるが、これが一般性があるのか追実験を行いたい。これらの結果を、水惑星実験と比較することが意味がある。水惑星実験では温度の緯度分布によって、熱帯にハドレー循環による平均上昇流が存在する。このため放射対流平衡実験(全球熱帯条件)よりも可降水量が増加するものと予想される。全球雲解像モデルの分解能依存性と、本実験の分解能依存性を対応づけて解析することができるだろう。このように、放射対流平衡実験は、全球雲解像実験のための重要な指針を与える。

引用文献

Grabowski, W. W. (1998), *J. Atmos. Sci.*, **55**, 3283-3298.
 Lin, Y.-L. et al. (1983), *J. Climate Applied Meteorology*, **22**, 1065-1092.
 Nakajima et al. (2000), *Applied Optics*, **39**, 4869-4878.
 Satoh, M. (2003), *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1033-1050.
 Tompkins, A.M. and Craig, G.C. (1998), *QJRM*, **124**, 2073-2097.
 Tompkins, A.M. (2001), *J. Atmos. Sci.*, **58**, 529-545.