

(4) 雲・降水を介した多重スケール相互作用の評価に関する数値的研究

北海道大学大学院理学研究院

稲津 將

平成18～19年度合計予算額 2,030千円

(うち、平成19年度予算額 1,530千円)

※上記の合計予算額には、間接経費469千円を含む

[要旨] 本サブテーマでは、既存の大気海洋結合大循環モデルに既存の領域気候モデルを双方向ネスティングで組み込むシステムを開発し、サブテーマ1で開発されるFlexNestとその結果を比較することに主眼がある。平成18年度はこのシステムの開発に集中し、年度末にシステムの完成に漕ぎ付けた。基礎的な調査として、大循環モデルと領域モデルの解像度比を変えたデモンストレーション実験を行った。季節は冬前、領域モデルをネストした場所は北海道である。数値積分中で温帯低気圧が北海道を通過したケースに注目した。その結果、このようなネスティングシステムにおいては、解像度の比は1:5程度にしておくのがせいぜいであることがわかった。例えば、1:20にしてしまうと、前線の構造を飛び越えて小地形性の降水を計算するため、リアリティーが低いばかりか、計算機不安定の原因となりかねないことがわかった。さらに、システムは解像度比が1:5である限りにおいて、比較的安定的に積分が可能であり、領域モデルをアンデス山脈やインドネシア多島海など熱帯域をネストすることも可能であった。このように様々な場所をネストできるシステムを開発したことは、本サブテーマの特筆すべき成果といえる。また、大気海洋結合モデルと領域モデルの双方向ネスティングは世界に例を見ない新奇性のあるシステムとも言える。

[キーワード] ネスティング、大気海洋結合モデル、ダウンスケール、気候形成、気候変動

1. はじめに

近年、地球温暖化による気候変化が社会に与えるインパクトが大きな問題として世間を騒がしている。特に2004年の猛暑では、文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」第1課題の地球温暖化実験の結果の披露と重なり、いやがおうでも地球環境問題に対する世間の関心は高まった。しかし、その中でも重要な位置を占める気候シミュレーションには、まだまだ改善すべきテーマが数多くある。

気候シミュレーションの基本は、大気海洋をつかさどる運動と熱の流体物理と、水の相変化に関する物理である。物理法則がはっきりしている部分は然るべき微分方程式で記述され、また一部に経験式に基づく条件式での記述がある。微分方程式中の微分は数学上無限操作であって、これを有限回の四則演算手続きで済むように、差分方程式とする。このとき、計算機の制約を勘案

して、全球をどの程度で分割するかが決まる。現状では世界最速級の地球シミュレータをもってしても、200年の気候実験を行うに当たり、せいぜい全球を水平方向に約5万分割(海洋は約10万分割)、気候にとって重要な役割を果たす上空や深海のシミュレーションのために鉛直方向に大気海洋あわせて約100分割するに過ぎない。これは緯度経度に直せば水平方向に100km間隔の格子に切ることに対応する。さらに、通常のスーパーコンピュータを利用した気候研究では、水平250kmの解像度がせいぜいとなる。しかし、この250kmの中の気候は千差万別であり、また千変万化する気象現象を内含する。場所や季節によっては格子内が比較的一様でかつ時間変動が小さいような場合もあるが、それはむしろ稀で、運動量、熱、水蒸気といった気候を支配する物理変量が、境界層であれば乱流によって、熱帯であれば積雲対流によって、活発に時間的空間的に変化するであろう。例えば積雲対流は水平にせいぜい数kmの現象である。このような現象をよりの確に表現することが、確度の高い地球温暖化予測に必要なことである。これは非常に困難な作業であり、気象学の大問題でもあるが、本研究課題ではその解決の端緒をつかむために各サブテーマが設けられている。

2. 研究目的

サブテーマ1では米国で開発されたスーパーパラメタリゼーション(サブテーマ1の報告書参照)を日本付近だけに適応する新手法によってこの問題に挑む。しかし、本サブテーマでは、旧来より提案されている双方向ネスティングシステム(次節を参照)によってこの問題に挑むことにした。ただし、旧来より提案されているからと言って、それが実現された例はわずかに一例であり、かつ大気海洋結合モデルに領域モデルを双方向にネストした例は世界的に見ても例がない。

計算機の制約から、本サブテーマでは雲をいきなり解像し、雲が気候に及ぼす効果について調べることを目標にはしない。ここではその1つ前の段階として、小地形が大循環に及ぼす影響について調べることを目的としている。

3. 研究方法

ネスティングとは、全球で大きな格子間隔の風、気温、水蒸気などを予報する大循環モデル(以下、親モデル)に、限定されたある領域のみではあるが細かい格子間隔の風、気温、水蒸気などを予報する領域モデル(以下、子モデル)を入れ子にする手法のことである。このとき、子モデルには側面と上下端の境界があるため、それぞれに親モデルの予報値である風、気温、水蒸気を内挿して、子モデルに与える必要がある。従来よく行われている一方向のネスティングでは、まず親モデルの積分を行った後、子モデルの境界条件となるべき変数を内挿して、子モデルの積分を行い、力学的ダウンスケーリング(親モデルで得られた情報を細かくすること)が行われる。

本研究で実現される双方向ネスティングは、上記の上意下達の情報伝達に加え、子モデルの積分の値を親モデルの格子間隔に集約し、下意上達の情報伝達をすることで、格子内の千差万別千変万化の気象現象を斟酌した積分が(子モデルがある領域限定となるが)親モデルで可能となる。一方向ネスティングは現業でも行われているし、あるいは気候研究の中にもそれなりの数を見る

ことは出来る¹⁾。しかし、双方向ネスティングを用いて気候の問題を考えた例は、過去に一例しか見ない²⁾。しかも、それも大気モデルに領域モデルを双方向にネストしたもので、ここで考える親モデルが大気海洋結合モデルであるのとは違う。気候の問題を考える場合、大気海洋結合系の現象が重要であるから、親モデルに大気海洋結合モデルを用いることが非常に重要である。

4. 結果・考察

平成18年度は、双方向ネスティングシステムの開発も含めて、デモンストレーション実験が行えるようにすることに全ての時間を費やした。なお、親モデルとして東京大学、国立環境研究所、海洋開発研究機構で開発された大気海洋結合モデルMIROCを、子モデルとして気象庁と気象研究所で共同開発された非静力学モデルJMA/MRI NHMを気象庁からの許可を得て採用した。デモンストレーション実験は、サブテーマ(1)を意識した北海道を10km格子、20km格子、40km格子の領域モデルで双方向ネストする実験である。季節は冬前、領域モデルをネストした場所は北海道である。数値積分中で北海道を温帯低気圧が通過したケースに注目した。その結果、これまでの研究例が参考になるが³⁾、このようなネスティングシステムではその比を1:5程度にしておくのがせいぜいであることがわかった。1:20の実験では、低気圧に附随する前線の構造を飛び越えて小地形性の降水を計算するため、リアリティーが低いばかりか、計算機不安定の原因となりかねないことがわかった。

平成19年度は、夏季モンスーン期の南アジア域に注目して一方向ネスト実験と双方向ネスト実験を行った。南アジア域はモンスーンに伴う地形降水が山岳の風上側で非常に大きく、これに伴う非断熱加熱がさらに場の風の強化するフィードバックが一方向ネスト実験で考えられている⁴⁾。図1左上のCMAPの降水を見るとわかるように夏季モンスーンでは

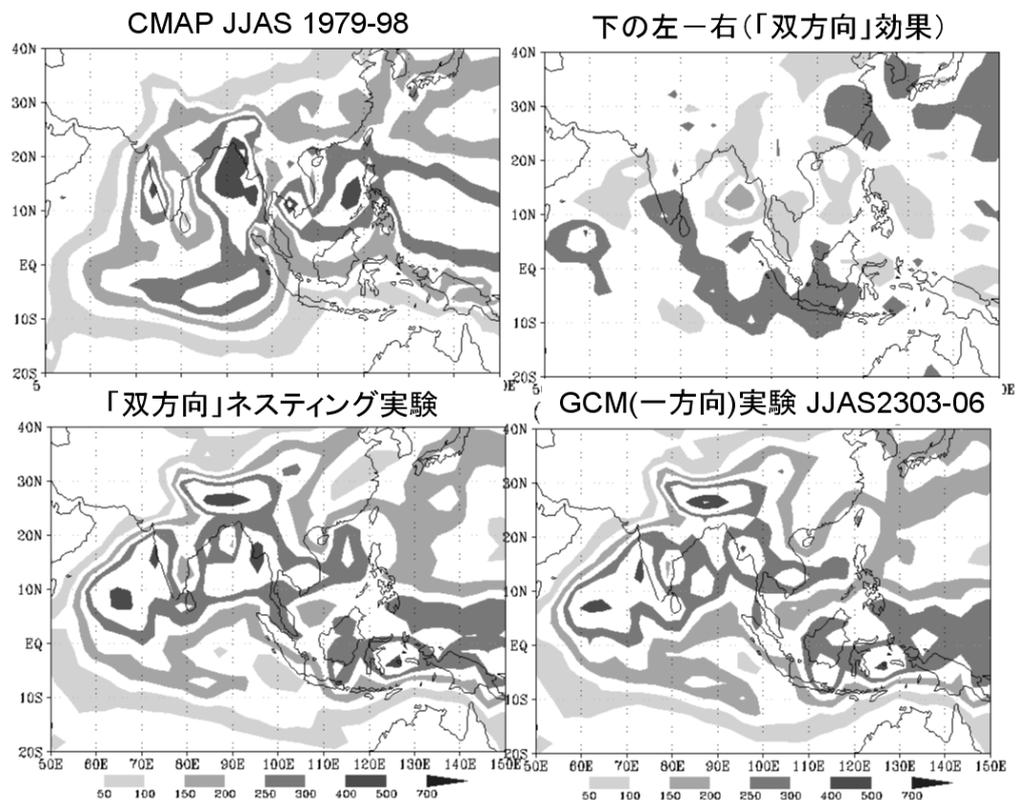


図1：実験のある年の6月から9月の間で平均した降水。(左上)CMAPの結果。(左下)双方向ネスト実験。(右下)一方向ネスト実験(つまり、通常のGCM実験と同じ)。(右上)双方向ネスト実験と一方向ネスト実験の結果の相違。

ベンガル湾に非常に強い降水が見られる。しかし、GCM実験ではベンガル湾の降水は過小評価されていて、むしろアラビア海に過剰な降水を伴うようなバイアスが存在する(図1右下)。双方向ネスト実験を行うと、GCM実験に比べるとベンガル湾の降水が増え、アラビア海の降水が減少した(図1右上と図左下)。それはGCM実験の降水バイアスを消すには量的に小さいが、領域モデルをネストとした実験結果を返すことで降水バイアスを低減するようになることを示している。平成19年度はこの実験のクイックルックを行うことで精一杯であったが、この研究を端緒として、双方向ネストモデルを活かした気候研究が出来ることが示されたものとする。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

このように様々な場所をネストできるシステムを開発し、それを持って小地形の効果を研究できるものであると確認できたことは、まだ科学論文としての成果にはなっていないものの、このサブテーマの特筆すべき成果といえる。また、世界初の大気海洋結合モデルと領域モデルの双方向ネスティングシステムの実現は新奇性の上でも十分な研究といえる。サブテーマ(1)との研究交流により、お互いのモデルが類似した問題点を抱えていることもわかった。これを機に将来的にも相互に交流することで互いの研究に資する事がわかったこともこの研究課題の成果といえよう。

(2) 地球環境政策への貢献

平成19年度より、別の環境省推進費プロジェクトにて、双方向ネスティングシステムを用いた地球温暖化実験を行い、地球環境政策への具体的な貢献を示していく予定である。本課題サブテーマ(4)はそのための基礎研究および基盤整備として位置づけている。

6. 引用文献

- (1) Giorgi, F., 1990: Simulation of Regional Climate Using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model, *J. Climate*, **3**, 941-963.
- (2) Lorenz, P., and Jacob, D., 2005: Influence of regional scale information on the global circulation: A two-way nesting climate simulation, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L18706.
- (3) 高薮出, 2005: 地域気候モデル研究の特性と課題について, *水文・水資源学会誌*, **18**, 547-556.
- (4) Xie, S.-P., H. Xu, N. H. Saji, and Y. Wang, 2006: Role of narrow mountains in large-scale organization of Asian monsoon convection, *J. Climate*, **19**, 3420-3429.

7. 国際共同研究等の状況

2008年度からハワイ大学IPRC謝教授の研究グループとの研究交流を予定している。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(2) 口頭発表(学会)

なし。

(3) 出願特許

なし。

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

なし。

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし。

(6) その他

なし