

5. モデリングの側からのコメント*

増田 耕一**・佐藤 信夫***

このコメントは佐藤のメモを土台に、増田が自分の見解を加えて発表した。

数値モデルと言っても、構成の単純なものから複雑なものまでいろいろあるが、ここでは大気大循環モデル (GCM) あるいは数値予報モデル (両者の違いは使い方にあり、実体は同じと言ってよい) のように、比較的複雑な構成をもち、計算結果を観測データと定量的に比較できるようなモデルを中心に議論する。

本稿では、他の場所で解説済みのものは参考文献にゆずり、要点だけ述べる。

1. GCM によるシミュレーションと力学的延長予報 (1カ月から季節予報)

予報の延長には、大気よりも長い記憶期間をもつと考えられる海や陸の状態が重要になってくる。

これまでに、海面水温の平年値からの偏差を与えて大気への応答をモデルで調べる感応実験は数多くなされている。特に、エルニーニョやラニーニャ (ENSO でエルニーニョの逆フェイズ) を対象とするものが多い (たとえば WCP, 1986)。このような実験ができるのは、海面水温の観測値が、現場観測と衛星観測を合わせればグローバルにそろっており、客観解析による格子点データも作られているという背景がある。この結果、熱帯の海面水温偏差に対する熱帯での大気への応答は、ほぼ線形論で議論できることがわかってきた。しかし、中緯度の大気への影響は、いわゆる PNA パターンなどに関する議論はあるものの、まだよくわかっていない。

中緯度の天候に影響を与えるのは、海面水温ばかりではなく、積雪や土壌水分も重要であろう。ユーラシアの積雪がインドモンスーンに影響するという指摘 (Hahn and Shukla, 1976ほか) もある。土壌が湿っているか乾いているかは、大気に対するエネルギーの供給のうちでの顕熱と蒸発の潜熱との比 (ボーエン比) を変え、ひいては大気中のどこに上昇運動を引き起こすかを変えることになる。積雪の効果には、日射の反射が裸地面よりも多いというアルベド効果もあるが、融雪によって土壌水分が供給されることの効果も大きいと思われる。ま

た、凍土は、冬には流出を妨げ、夏には解けて水蒸気の供給源となるといった効果をもつであろう。

しかし、このような陸面状態の大気大循環におよぼす影響の数値実験例は、Yasunari ら (1991) などがあるが、まだまだ少ない。その背景としては、これらの変数の定量的観測が不足している、ということがある。土壌水分については大陸規模の議論に適した変数の定義もできていない。積雪は、広がり衛星の可視画像などで得られるものの、水当量についてはまだ不確実である。

- そこで、「GAME」構想に期待するところが大きい。
- ある地域で、陸面の水・氷収支の各項やそれに関係する変数を、しっかりと観測すること。
 - 衛星観測・現地観測を含めて、大陸規模でデータを収集すること。
 - 水収支の各項を決めている変数を、大陸規模で観測できる量と関係づけていくような解析を行なうこと。
- が柱となるであろう。

2. 4次元データ同化による全球的な地表面と大気の水・エネルギー循環の診断

数値予報の現場では、予報の初期値を作るため、観測値の空間内挿と予報モデルによる時間外挿を組み合わせて、なるべく誤差の小さい気象変数の場の推定をしようとしている (たとえば佐藤, 1991a 参照)。これを4次元データ同化あるいは予報・解析サイクルという。

4次元データ同化は、観測データのない場所の量や、広域の蒸発量のように、直接の観測値が得られていない量に対して最良の推定値を与える (佐藤, 1990; 増田, 1989)。

* Comments from the viewpoint of modeling.

** Kooiti Masuda, 東京大学理学部。

*** Nobuo Sato, 気象庁数値予報課。

しかし、これは予報モデルの特性に依存するものでもあるから、モデルとは独立したデータによる広域の水収支・エネルギー収支の解析を行なって、同化システムが正しく働いているかどうかを検証することが必要である。

3. 物理過程の改良の必要性

シミュレーション、予報に向けても、また4次元同化に向けても、もっとモデルの性能を向上させる必要がある。モデルの物理過程のうちで、陸面水文過程は、雲のパラメタリゼーションとともに、最も遅れた部分であると言える。

計算量や観測値の制約がある中でも、陸面水文過程を構成する物理過程をなるべく合理的に表現しようとする努力もなされている。SiB (Sellers ら, 1986; 佐藤, 1991b)。はその1つであり、蒸散に対する気孔抵抗をはじめとする植生の役割を記述している。これを融雪のシミュレーションに応用し、よい結果が得られている (佐藤・馬淵, 1989)。

今後は、河川や地下水による水の水平移流など、SiBでも考慮されていない過程のモデルも必要になってくるだろうが、SiBと同様、なるべく観測可能な物理量を使うようにモデルを構成し、実験観測によってパラメータを決めていくことにより進歩が望めるだろう。

4. データ同化・利用サイクル

4次元同化の技術は、1979年に行なわれたFGGE (GARP 全球実験) を機会に大きく進歩した。FGGEでは、気象電報でデータが集められて、数値予報の初期値を作るための4次元同化が行なわれるというリアルタイムのデータの流れのほかに、電報に間に合わなかったデータも郵便などさまざまな方法で集められ、それを利用した4次元同化が行なわれた (増田, 1988)。

予報の初期値のために作られた同化プロダクト自体も気候・水文研究に有用であるが、遅れてきた観測値が使われていないことのほか、同化システムの改良のため見かけの年々変動が生じるという問題もある。予報現象とは別に、一定のシステムで多数の年の観測データを同化するようなプロジェクトが望まれる。

またFGGEでは、データが広く提供され、さまざまな研究に利用した人々からのコメントがデータ編集・同化の担当者に返され、観測データベースが改訂され、それを改良された同化システムに導入して、再び同化が行なわれた。つまり、データ作成者と利用者とのフィードバックが有効に働いた。観測する人、データを編集・提供する人、同化を行なう人、データを利用して研究する人、などがそれぞれの価値を認め合い協力していく必要があると思う。

参考文献

- Hahn, D.G. and Shukla, J., 1976: An apparent relationship between Eurasian snow cover and Indian monsoon rainfall. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2461-2462.
- 増田耕一, 1988: FGGE III b データの問題点. *天気*, **35**, 5-19.
- , 1989: 大気データの4次元データ同化による気候系の解明. *日本の科学と技術*, **30**, No. 255, 54-59.
- 佐藤信夫, 1990: 4次元データ同化による土壌水分・積雪量の初期値化の試み—序報, 第4回 WCRP シンポジウム報告集, 57-59.
- , 1991a: 我国の数値予報システムの現状, (2) 全球解析予報システムの過去・現在・未来. *天気*, **38**, 11-31.
- , 1991b: SiB, *天気*, **38**, 202.
- , 馬淵和雄, 1989: 1次元生物圏モデルを用いた全球的積雪深分布の推定 (序報). 第3回 WCRP シンポジウム報告集, 41-42.
- Sellers, P.J., Mintz, Y., Sud, Y.C. and Dalcher, A., 1986: A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 505-531.
- WCP, 1986: Workshop on comparison of simulations by numerical models of the sensitivity of the atmospheric circulation to sea surface temperature anomalies. WCP-121 and WMO/TD 138, WMO, 188 pp.
- Yasunari, T., Kitoh, A. and Tokioka, T., 1991: Local and remote responses to excessive snow mass over Eurasia appearing the northern spring and summer climate—A study with the MRI-GCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 473-487.