

### 3. 数値実験

新田 尚\*

#### 1. はじめに

前回の入門講座で数値実験について書いたのは、ちょうど8年前のことであった。その頃70年代の気象学ということが賑やかに論じられており、気象研究ノート第106号(1971)は“70年代の気象学のあり方について”と題して特集号さえ組んだ。学問の進展を10年毎の年代ではかって論じることにはどれ程の意味があるかとも思うが、自らの仕事の跡づけと今後の展望をする上で、ひとつの便宜的な手法ともいえる。

筆者は、その頃ようやく気象学研究のひとつの有力な手段として定着しはじめた、数値実験の現場にいて、数値実験をかなめとした気象学の総合化が進んでいくだろうと予想した。前記気研ノートにもそうした内容のことを書いた。

今、70年代も終わりに近づき、80年代へのみとおしをつけようとするとき、過去8年間の数値実験の発展は、大げさにいうと micro-physical processes から気候変動論まで網羅し、複雑な気象現象の解明に気象学の諸分野が総動員されて働いているという印象をもつ。

毎月手にする世界の代表的な気象学会誌には、どの号にも少なくとも1,2篇の数値実験の論文が掲載されているし、学会発表のプログラムにも数値実験の報告をみないものはない。本講座で数値実験の案内を受けようとする読者は、それぞれ専門的に取り扱おうとするテーマをもっておられることだろうから、そのテーマに関連した数値実験の論文については、自分で各種学会誌の過去5~10年以内に発表されたもののリストを作成されることをおすすめする。また、本講座の自分の専門とかかわりの深いテーマの項目によって、重要度の高いものを見つけたい。ここでは総論的な話に限りたいと思う。

#### 2. 数値実験とは

前回のこのタイトルで数値実験というものについて論じ、8年前の状況で気象学の各分野でどのように使われているかながめた。数値実験への取り組みの第一歩としては、今でもこの新田は使える。

その後の参考文献を紹介する前に、ここでもう一度数値実験そのものについて考えてみよう。数値実験の基本の“道具”は、そのテーマに対する理論的背景の知識と、数値計算法の知識である。前者は、これから行なおうとする実験の motivation を明らかにし、その物理的位置づけを示してくれ、実験結果の解析の指針となる。後者は、最も効率のよい、かつ信頼するに十分な精度を保障してくれる。

それゆえに、これから数値実験に着手しようとするときは、取り上げたテーマの理論的研究によく通じていて、なぜそうした数値実験を行なうのか、行なわなければならないのか、が自分自身はっきり納得していなければならない。そうでないと計算のための計算になってしまう。

自分の行なおうとする数値実験の物理的意味がはっきりしたら、次に実験の設計に入ることになる。初心者程、えてしていきなり大がかりな実験を試みがちだが、着実に成果を積み上げていくためには、なるべく簡単な場合から手をつけることをすすめたい。場合によっては、正解のわかっている例を取り扱って、実験手段の正当性を確認しておくことが必要である。つづいて、物理的に意味のある最低限の自由度をもった実験(最も簡単な実験)を行なうのがよい。それに成功したら、ひとつひとつ複雑さを増して(自由度をふやして)、より大きい実験へとすすむのが正攻法だと思う。その際、用いる数値計算法は慎重に選んでほしい。これはいくら慎重に選んでも慎重すぎることはない。微分方程式で表現された基礎方程式の物理的特性を、十分な精度で保った数値計算法を使っているかどうか、について繰り返してチェックして頂きたい。そうしたチェックの手引きとしては、前回にも引用した Richtmyer・Morton、その後に出た新田他、Mesinger・Arakawa などがある。

#### 3. 数値実験への手引き

前回以後、つまり1970年以降に出た、総論的な参考書の類を紹介しよう。

最近出た工学関係の色彩の濃いものだが、Roache(高橋訳)が、ひとつの手がかりを与えてくれるよう

\* Ta. Nitta, 気象庁電子計算室。

だ。筆者は残念ながらまだ接していないが、中村によいと、この大部の書に対して欲張らずに、必要な箇所（プログラミングやテストのやり方等々のコツを標語にしてあるらしい）を利用するとよいそうだ。

気象にしばったものでこうした一般的な案内書はないが、Chang 編は GFDL を除く大気大循環の数値シミュレーション・モデルの集成（ただし、今ではもう少し前の世代のモデルだが）をして、大規模大気モデルの全体的な感じを与えてくれる。大循環以外にも大規模運動の数値実験を行なう際の参考になる。熱帯地方の数値モデルの開発に関する諸問題を論じたものに、Krishnamurti 編がある。問題のキイをさぐる上で役に立つだろう。なお、この GARP のシリーズは、世界各国で行なわれている、主として大規模大気現象の数値実験の現状を知る上で貴重な資料である。同様に、数値予報を中心にまとめたものに気象研究ノート第 134 号（1978）がある。非常に広範囲な内容で、数値予報の理論的基礎から数値計算法や世界各国のモデルまで網羅してあって便利な本である。

海洋循環のモデルについては、米 National Academy of Sciences がある。海洋大循環と気候を結びつけて論じたものに、WMO and ICSU があり、世界の第一線の息づかいが感じられる。

気候のモデルづくりについては、WMO and ICSU が全体的ながっちりした展望を示してくれる。

#### 4. 数値実験の現状

数値実験が気象学の各分野でひろく用いられてきたことは、前回でも既によく知られていた。その後の 8 年間では、その傾向にますます拍車がかげられ、最初に述べたように多くの仕事が各種学会誌を賑わしている。（たとえば、西ドイツの気象学会誌 Contribution to Atmospheric Physics (Beiträge zur Physik der Atmosphäre) の 50 巻（1977）は、ほとんどハンブルグでのシンポジウム：Simulation of Large-Scale Atmospheric Processes（1976）で発表された論文でうずめられている。

中でも最近特に目立つのが、海陸風・気候と気候変動およびそれに関連した大気の感受性 (sensitivity) の研究、雲物理関係、延長予報といったテーマである。こうしたテーマにも多少流行のようなものがあったり、研究費との関連といったことも影響するのかもしれないが、要するに研究者が興味をもち、実験する価値があると認め、さらに手許のコンピュータで処理が可能なものを取り上げるのが一番よいと思う。そして、あれこれかじる

よりも、一步一步実績を積み重ね、内容に常に新鮮な問題意識が備わっているような仕事をしてほしい。効率よく仕事のできる年代というものには限りがあるのだから、時々には自分の仕事ぶりを振り返って、悔いの残らないようまとめてみることも、よい反省の材料となることだろう。

話が少しそれるが、数値実験の手法の応用として、たとえば天気図を時系列的にまとめた映画がある。天気図を一枚一枚みているとすぐうすれてしまう大気の運動の様子が、実にダイナミックに観察できて、違った次元から気象の問題を考える上での刺激となる。

また、これからしばらくは、GARP のデータ、特に GATE, FGGE, MONEX のデータ・セットを利用した数値実験や数値シミュレーションの研究が登場すると思われる。これもひとつの新しい可能性といえよう。

最後に、数値実験の結果をまとめるときには、そのメリットとデメリットをしっかりとわきまえて、自分の研究成果になるべく客観的な評価を下していただきたいというお願いをして筆をおく。

#### 文献

- 新田 尚, 1970: 数値実験とは(1), (2), 天気, 17, 291-294, 237-240.
- Richtmyer, R.D., and K.W. Morton, 1967 (2nd ed.): Difference Methods for Initial-Value Problems, Interscience Publ., 405 pp. 約5000円.
- 新田 尚, 大林智徳, 近藤洋輝, 遠藤昌宏, 菊池幸雄, 岩嶋樹也, 1972: 気象力学に用いられる数値計算法, 気象研究ノート, 110, 158 pp.
- Mesinger, F., and A. Arakawa, 1976: Numerical Methods Used in Atmospheric Models, 1, GARP Publ. Series, No. 17, 64 pp. 約3000円.
- Roache, P.J., 高橋亮一他訳, 1978: Computational Fluid Dynamics/コンピュータによる流体力学 (上・下), 原書は Hermosa Publ., 発行, 1976, 449 pp. で, 本書はそれの翻訳, 上下各309頁, 315頁で構造計画研究所発行 (企画センター発売), 上下各5000円, (天気, 25, 536頁に中村一の紹介がある).
- Chang, J., ed., 1977: General Circulation Models of the Atmosphere, Methods in Computational Physics, 17, Academic Press, 337 pp. 約12000円.
- Krishnamurti, T. N., ed., 1976: Report of the Study Conference on the Development of Numerical Models for the Tropics, GARP Programme on Numerical Experimentation, Report No. 13, GARP Joint Organizing Committee (WMO-ICSU), 144 pp. 非売品.
- 日本気象学会, 1978: 数値予報 (上・下), 気象研

究ノート, 134, 上下各 250頁, 174 頁, 上下合わせて学会員価格4000円。

National Academy of Sciences, 1975: Numerical Models of Ocean Circulation, 364pp. (Printing and Publishing Office, National Academy of Sciences, 2101 Constitution Avenue, Washington, D.C., 20418 USA に注文のこと)。

WMO and ICSU, 1977: Report of the JOC/SCOR Joint Study Conference on General

Circulation Models of the Ocean and Their Relation to Climate, I, II, 非売品。

WMO and ICSU, 1975: The Physical Basis of Climate and Climate Modelling, GARP Publ. Series, No. 16, 265 pp. 約4500円 (翻訳, 浅井富雄, 朝倉 正, 田中康夫, 能登正之訳, 1977: 気候の物理学的基礎と気候のモデリング, 気象研究ノート, 132, 111, 会員価格940円)。



続気象学入門講座

これからの予定

(太字は既に掲載されたもの, カッコ内は掲載された巻号)

- 気象学へのガイダンス (25. 4)
- [基礎コース]
- 気象解析の手引き (25. 5)
- 気象力学・気象熱力学 (25. 6)
- 気象放射学
- 高層大気物理学入門 (25. 5)
- 雲物理学・降水物理学 (25. 8)
- 大気電気学・大気化学
- 気象観測と気象器械
- 気象統計について (25. 7)
- 気候学
- 生活と気象 (25. 6)
- [アドヴァンスト・コース]
- 気象予測論 (25. 7)

- 回転流体力学を学ぶために(25. 6)
- 対流論 (25. 6)
- 中小規模現象の気象学
- 大気大循環論
- エーロゾルの気象学
- 気候変動論
- 熱帯気象学 (25. 8)
- 高層大気力学の諸問題 (25. 9)
- 高層大気物性
- 大気境界層の物理
- 衛星気象学
- レーダ気象学
- 惑星気象学 (25. 7)
- 自動気象観測(隔測)・通報システム

- 応用気象学
- 大気汚染の気象学
- 実験気象学 (25. 10)
- 天候・気候変化の気象学
- 海洋気象学 (25. 9)
- 極気象学
- 気象災害論 (25. 9)
- 気象教育論
- 気象データ処理法
- [研究のすすめ方]
- 最近の気象資料
- 論文の書き方
- 気象学教科書・参考書のリスト