

## 気象データ処理法Ⅱ-補論

### —Normal mode initialization—

住 明 正\*

#### 1. はじめに

Primitive 方程式のような unfiltered model に対し、われわれの対象である大規模場を表現する初期値を得る過程を initialization と呼ぶ。

この initialization についての理論に関しては、**Charney** (1955), **Philips** (1960) などに始まる種々の一連の労作があるが、これらについては、前回の手引きや新田ら：気象力学に用いられる数値計算法の中の、該当する項を参考にされたい。そこで、ここでは、前回の手引き以降、新たに発展した (non-linear) normal mode initialization について、簡単に紹介して、気象データ処理法の補論としたい。

#### 2. Normal-mode initialization

normal mode analysis の端緒は、**Flattery** (1970) の Hough analysis であるが、具体的なモデルに基づいて、normal mode を作ったのは、**Dickinson・Williamson** (1972) が最初である。もちろん、それ以前に、**Longuet-Higgins** (1966) らによる、Laplace の潮汐方程式の解の性質が詳しく調べられたことが、その後の normal-mode の応用に重大な貢献をしたことは言うを待たない。Hough 函数の求め方、その性質などについては、**Kasahara** (1976) や、**Chapman・Lindzen** (1970) などに詳しい。特に、東西波数  $s=0$  の場合は、Rossby mode は縮退してしまうなど、特殊な取扱いが必要であるが、これについては、**Kasahara** (1978) を参照のこと。

そもそも、**Kasahara** (1976) による Hough 函数の

導入は、initialization の為というよりも、スペクトルモデルの基底をどのように選ぶか、という問題意識の方が強かったように思われる。すなわち、線形化された方程式の固有函数を基底に選ぶことにより、少なくとも、線形の項は、誤差なしに評価できるというのである。このような試みは、**Kasahara** (1977) によって、shallow water equation に適用された。

normal mode を initialization に応用する (linear) normal mode initialization は、**Williamson** (1976) により行なわれた。これら、linear normal mode initialization の結論は、最初に重力波モードを除去しておいても、非線形効果により、重力波モードが誘起されてしまうということであった。このことから、非線形効果を考慮した non-linear normal mode が、始められた。この、non-linear normal mode initialization は、**Machenhauer** (1977) や、**Baer** (1977), **Baer・Tribbia** (1977) らにより、独立に定式化された。しかしながら、両者の方法には、若干の差異がある。一番大きな違いは、Machenhauer のスキームでは、重力波モードに対応する時間変化項を零にするように、調節するのであるが、Baer-Tribbia のスキームでは、重力波モードの時間変化項が、ゆっくりした (ロスビーモードの時間変化に対応する) 時間変化を持つことが許されている点である。

Machenhauer の公式の下に、変分法とくみ合わせて、実用化の途を開いたのが、**Daley** (1978) である。この論文により、non-linear normal mode initialization 自体の評価と、現実の問題に対する有用性の評価がなされたといえる。ただ、ここで忘れてならないのは、このような normal-mode の利用が可能となったのは、スペクトル法の実用化が可能となったこと、とりわけ、**Simmonds・Hoskins** (1975) の matrix を用いた定式化が

\* Akimasa Sumi, 気象庁予報部電子計算室  
(現ハワイ大学気象学教室)。

有効に作用したことである。

さらに、地形効果や、凝結などの物理過程を含んだ operational model に対しては、スペクトルモデルに対しては、Daley (1979) が、格子点モデルに対しては、Temperton・Williamson (1979) により、それぞれ有用性が示された。Temperton・Williamson の結果で印象的なことは、彼らのモデルの垂直方向の層の数は九つであるが、九つ全てのモードを採用すると、スキームが発散してしまうことである。これは、vertical mode が高次になるにつれて、重力波モードと、Rossby モードの周波数の分離が悪くなるためと考えられている。この為、surface friction など、地表面付近の現象を解説することが困難となってくる。

さらに、Baer 流の normal-mode initialization については、Rossby 数で展開する為、低緯度での有用性が疑問視されていたが、Tribbia (1979) が、その有用性を示した。

最近、Browning・Kasahara・Kreiss (1980) は、bounded derivative method と呼ばれる別の方法も発表した。これは、時間に関する高階の微分が、対象としている大規模現象の時間スケールのオーダーになるように、初期値を調節する方法である。従来の non-linear normal mode initialization は、normal mode 自体、regional model では定義することがほとんど不可能な為、実際には、半球ないしは全球モデルに話が限られていたが、Browning *et al.* の bounded derivative method は、regional model に対しても適用できる可能性を持つ。non-linear normal mode initialization と、bounded derivative method との関連については、Leith (1979) などが、Baer-Tribbia 流の initialization method は、bounded derivative method の応用として、導き出すことができることを示した。また、non-linear normal mode initialization と、quasi-geostrophic theory に基づいた initialization method との比較については、Wiin-Nielsen (1979) や、Leith (1979) の論文がある。

最後に一言付け加えるならば、normal mode initialization は、完結した分野ではなく、むしろ、今やっとその端緒が開かれたばかりの分野と言って良い。それゆえに、今まで挙げた論文についても、過去の評価の定まった論文というよりは、現在進行形の論文と考えた方が良いと思われる。現在、non-linear normal mode initialization の問題点として、一番大きな問題は、non-linear normal mode initialization によって導入される

変化量が、観測誤差に比べて、大きくなり過ぎるという点である。Tribbia などは、heating の影響を考慮すべきであるとの主張をしている。その意味で、**American Meteorological Society: Fourth Conference on Numerical Weather Prediction (1979)** には、normal mode initialization に関する現在進行中の研究が報告されているので、興味のある人は、参照するのも良いと思う。

### 3. おわりに

objective analysis や initialization の分野は、従来の数値予報モデルの僕たる地位から、近年の理論的・技術的發展に支えられて、やっと一人前の地位を確立したように思われる。それだけに、まだ形が整っておらず、一面では、技術的・経験的な印象を与えることもあると思う。しかしながら、80年代の数値予報の課題は、analysis-initialization-forecast-diagnostic model など全ての sub-system を結合した、全体として理論的に斉合性のあり、技術的に製作可能で、現実的に有効な、analysis/forecast system を作り上げるといふ、理論的にも技術的にも、相当に興味のあるものである。この手引きが、この分野に対する興味を引き起こす一助となれば、望外の幸せである。

### 文献

- Alaka, M.A., and R.C. Elvander, 1972: Optimum interpolation from observations of mixed quality, *Mon. Wea. Rev.*, 100, 612-624.
- American Meteorological Society, 1979: Preprints of 4th Conference on Numerical Weather Prediction., 410 pp.
- Baer, F., 1977: Adjustment of initial conditions required to suppress gravity oscillations in non-linear flows., *Beitr. Phys. Atmos.*, 50, 350-366.
- and J.J. Tribbia, 1977: On complete filtering of gravity modes through nonlinear initializations., *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1536-1539.
- Browning, G., A. Kasahara and H-O. Kreiss, 1979: Initialization of the Primitive Equations by the Bounded Derivative Method., to be submitted.
- Charney, J., 1955: The use of the primitive equations of motion in numerical prediction., *Tellus*, 7, 27-49.
- Chapman, S., and R.S. Lindzen, 1970: Atmospheric tides—thermal and gravitational., *Gordon and Breach*, 200 pp.
- Daley, R., 1978: Variational non-linear normal mode initialization, *Tellus*, 30, 201-218.

- Daley, R., 1979: The application of non-linear normal mode initialization to an operational forecast model, *Atmosphere-Ocean*, 17, 97-124.
- Dickinson, R.E., and D.L. Williamson, 1972: Free oscillations of a discrete stratified fluid with application to numerical weather prediction., *J. Atmos. Sci.*, 29, 623-639.
- Flattery, T.W., 1970: Spectral models for global analysis and forecasting, *Proceedings of 6th AWS Tech. Exchange Conference*, 42-54.
- Leith, C.E., 1979: Nonlinear normal mode initialization and quasi-geostrophic theory, Submitted to *J. Atmos. Sci.*
- Longuet-Higgins, M.S., 1968: The eigenfunctions of Laplace's tidal equations over a sphere., *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, A262, 511-607.
- Kasahara, A., 1972: Simulation experiments for meteorological observing systems for GARP., *Bull. Amer. Met. Soc.*, 53, 252-264.
- , 1976: Normal modes of ultralong waves in the atmosphere, *Mon. Wea. Rev.*, 104, 669-690.
- , 1977: Numerical integration of the global barotropic primitive equations with Hough harmonic expansions, *J. Atmos. Sci.*, 34, 687-701.
- 新田ほか, 1972: 気象力学に用いられる数値計算法, *気象研究ノート*, 110.
- Philips, N.A., 1960: On the problem of initial data for the primitive equations, *Tellus*, 12, 121-126.
- Machenhauer, B., 1977: On the dynamics of gravity oscillations in a shallow water model, with applications to normal mode initialization, *Beitr. Phys. Atmos.*, 50, 263-271.
- Simmonds, A.J. and B.J. Hoskins, 1975: A Multi-layer spectral model and the semi-implicit method, *Q.J. Roy. Met. Soc.*, 101, 637-655.
- Tribbia, J.J., 1979: Nonlinear Initialization on an Equatorial Beta-Plane, *Mon. Wea. Rev.*, 107, 704-713.
- Wiin-Nielsen, A., 1979: On normal mode linear Initialization on the sphere., *J. Atmo. Sci.*, 36, 2040-2048.
- Williamson, D.L., 1976: The normal mode initialization procedure applied to forecasts with the global shallow water equations, *Mon. Wea. Rev.*, 104, 195-206.



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)
- 気象放射学への手引き (26.10)
- 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 (25.12)
- 気象の観測と測器 (26.11)
- 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 (25.11)
- 大気大循環論 (26.2)
- エーロゾルの気象学 (27.2)
- 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 (26.3)
- 大気境界層 (26.12)
- 衛星気象学 (25.8)
- レーダ気象学 (26.12)
- 惑星気象学 (25.7)
- 自動気象観測(隔測)・通報システ

- 応用気象学
- 大気汚染 (26.10)
- 実験気象学 (25.10, 26.5)
- 天候・気候変化の気象学
- 海洋気象学 (25.9)
- 極地気象学 (26.9)
- 気象災害論 (25.9)
- 気象教育論
- 気象データ処理法  
(26.4, 26.11, 27.3)

[研究のすすめ方]

- 最近の気象資料 (26.8)
- 論文の書き方 (27.1)
- 気象学教科書・参考書のリスト