

3. ドップラーレーダーデータを用いたリトリバル法と積雲対流モデルの初期値への応用*

吉 崎 正 憲**

1. はじめに

スーパーコンピュータの向上によって、ルーチン局地モデルの水平解像度は 10 km に迫ろうとしている。これが数 km になるのはもはや時間の問題である。こうなると、メソスケールの降水系を数値予報しようとした場合に従来の静水圧モデルで用いていた物理に不都合が生じる。一つは、個々の雲が解像されるようになり積雲の集団効果を表わす積雲のパラメタリゼーションが不用になることである。その代わり、個々の雲をきちんと表現するために、水を水蒸気・雲水・雨・雪などいくつかの形態に仕分けが必要が出てくる。二つには、積雲の縦横比が 1 に近いため静水圧の近似はもはや成り立たなくなることである。こうして、モデルは水をいくつかに仕分けた雲物理過程を持つ非静水圧モデル (以下、“積雲対流モデル”と呼ぶ) を使わざるを得なくなる。

さて、この積雲対流モデルでメソ降水系を予報しようとする、既に存在するメソ降水系の初期データをいかに作るかという問題 (Initialization) にぶつかる。従来の静水圧局地モデルの Initialization では、衛星・レーダー・AMeDAS データをもとにメソ降水系の非断熱量 (水蒸気の減少や熱の発生) を見積もり非定常な重力波がでないように循環場を作る。積雲対流モデルの場合には、従来のものに水蒸気や雲水・雨など水の仕分けに関する Initialization が必要となる。

ここでは、ドップラーレーダー網の中にメソ降水系がある場合を想定して、こうした問題を考えてゆく。これから展開する議論は数値モデルの出力を利用したシミュレーションゲームであるが、メソ降水系の実況をドップラーレーダーでとらえ、このデータを用いてリトリバル法を行い、得られた結果をこの降水系の

予報の初期値に使う事をイメージしている。

2. 複数台のドップラーレーダーによる降水系の実況の把握と予報

a. リトリバル法とは

“リトリバル法”とはあまり聞き慣れない言葉であるが、ある観測された情報をもとに欲しい情報を復元する (あるいは別の情報にする) 方法を意味する。ドップラーレーダーの場合は、観測される量は反射因子と風であり、求めたい量は温度・気圧・雲物理量などである。風については、ドップラーレーダーが一台であればレーダービーム方向の風成分が得られ、複数台であれば (連続の式を用いて) 3成分の風が得られる。この節では、3成分の風がわかったものとして話を進める。

さて、降水系の中では水の相変化による非断熱加熱・冷却が重要であり、そこでは、運動場と熱力学場と雲物理場は密接に結びついている。このことから、求めたい量が運動場の風と独立であっても、(ある仮定のもとで) リトリバル法により求めることが可能となる。例えば、ある格子点上昇流があったとしよう。一般に大気は安定成層をしていて下層に水蒸気が沢山あるので、この上昇流によって温位は下がり水蒸気は増える。ここで“定常”を仮定すると、(水平移流や拡散が小さい場合は) 水蒸気の雲水への相変化が温位の低下と水蒸気の増加を打ち消す物理過程となる。もしも上昇流が強い場合は、雲水の生成は大きくなり雨や雪など降水粒子への変換が起こる。これらは上昇流に逆らって落下して他の格子点の入力となる。このように風の空間分布を与えて、ある仮定のもとで (この場合は“定常”の仮定)、すべての格子点ですべての方程式を矛盾なく満たすような物理量の空間分布が決まれば、これは求めていた解である。このような発想で、例えば Hauser *et al.* (1988) は実際に観測された降水系の温度や圧力や水の分布を求め、物理的にもっとも

* A retrieval method using Doppler radar data and an application to initialization of cumulus convection models.

** Masanori Yoshizaki, 気象研究所台風研究部.

らしい結果を得た。

b. 非定常な降水系のリトリーバル法

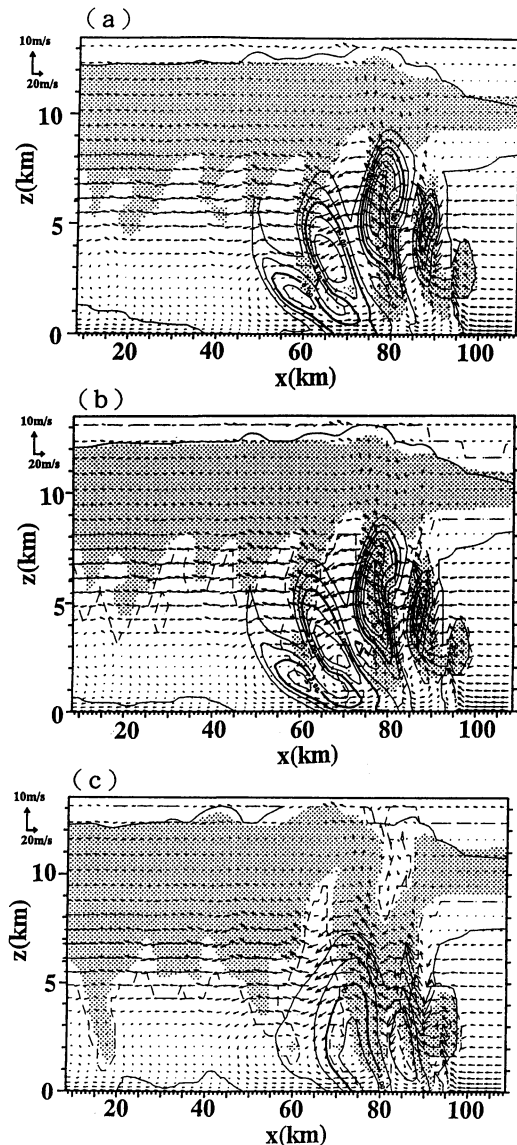
しかし、通常の積雲活動は非定常であるのが普通であり、“定常”という仮定はあまりに窮屈である。リトリーバル法をもっと一般的にするためには、“非定常”な場合にも使えるように拡張する必要がある。そこで、スナップショットのデータだけでなくもっと他の時間のデータまで利用してみる。現行のドップラーレーダーは数分から十数分の時間間隔でデータをサンプルできるので、時間変動する降水系を時間的に連続してとらえるのは可能である。簡単のため、2次元の数値モデルの出力を利用して周期的に時間変動するマルチセルの降水系の場合を例に考える。第1図(a)は、システム全体としては準平衡に達した降水系の雲水と雨の空間分布である。ところが、その中の個々のセルはシステムの右端で発生して左に動きながら発達・減衰というライフサイクルを繰り返す、非定常な振る舞いを示す(第2図の下半分)。吉崎と瀬古(1992)は、この場合について、風のデータは既知として1周期分サンプルして、これを繰り返して与えて熱力学の式と雲物理量の連続の式が準平衡に落ち着くまで時間積分した。温度と水蒸気の鉛直分布はこのシステムの上流と下流の2点でわかっているものと仮定した。時間積分を進めるにつれ降水パターンは風の変動になじんでゆき、十分時間がたった後では降水パターン第1図(b)は第1図(a)と驚くほどそっくりになった。一方、第1図(c)はある時刻の風に固定して求めた空間分布であるが、第1図(a)と比べると対応は必ずしも良くないことが分かる。

c. 積雲対流モデルの初期値問題

第1図(b)のリトリーバル法で求めた格子点データを改めて積雲対流モデルの初期値にしてモデルをランしてみた(第2図の上半分)。3時間以降の降水パターンはその前の変動とスムーズにつながり、うまく立ち上がっているのがわかる。一方、ある時刻の風に固定して求めた空間分布(第1図(c))を初期値にした場合、降水系が左側に大きく動くなど立ち上がりはうまくなかった(図略)。したがって、リトリーバル法ですべての物理量をバランスよく求めることが、積雲対流モデルの初期値として使うためには重要である。

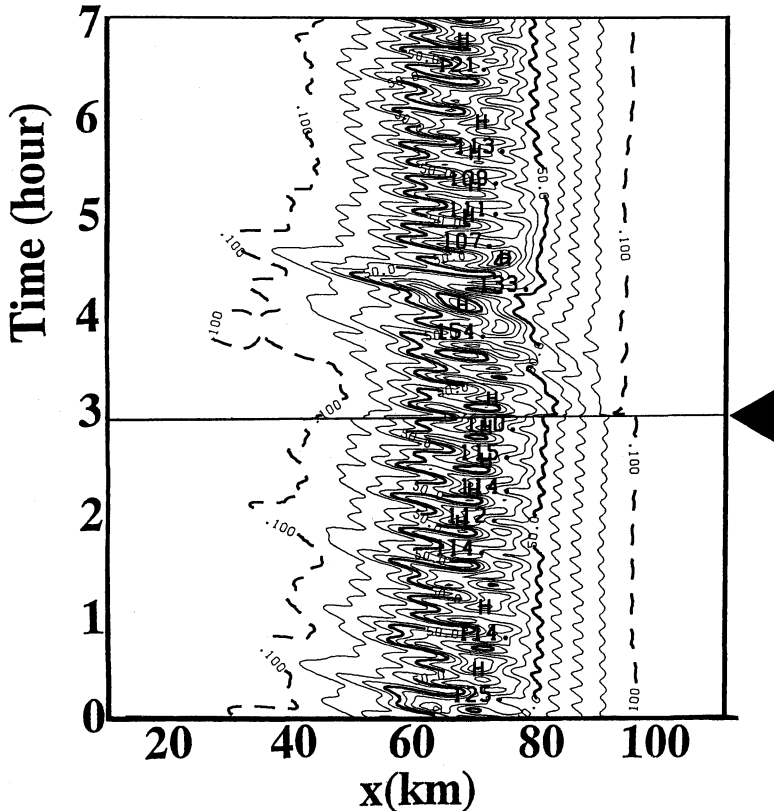
3. 問題点

アメリカではアメリカ本土をドップラーレーダー網でカバーする計画(NEXRAD)が進行中で、だいたい



第1図 システム全体としては準平衡に達したマルチセル降水系の雲水と雨および風ベクトルの空間分布。(a)は通常のラン、(b)は風を既知として周期的に与えた場合、(c)はある時刻の風に固定した場合である。ドット域は雲水がある領域、実線は雨の等値線(間隔1g/kg)を表す。

200 km の間隔でドップラーレーダーを設置しつつある。ところが、このような間隔でも広い範囲を複数台のドップラーレーダーでカバーするのにまだ粗すぎる。また、実際の運用も複数台を連動で使わないという。したがって、メソ降水系をいつも複数台のドップラー



第2図 地上降水量の時間—空間図。3時間までは通常のランであり、3時間目からはリトリーバル法で求めた格子点データを改めて積雲対流モデルの初期値にしてモデルをランしたものである。実線の等値線は5 mm/時から始めて15 mm/時毎に引いてある。

レーダーで覆うことは、NEXRAD をしても難しそうである。むしろ1台のドップラーレーダーデータで何ができるかを考えた方がより現実的である。そういう事で、アメリカを中心に一台のドップラーレーダーデータを用いたリトリーバル法の研究はすでに始まっている。この場合観測される量は反射因子とレーダービーム方向の風成分 (u) であり、リトリーバルしたい量は温度などのスカラー量に加えて風の u に直交する2成分 (v, w) となる。有望なリトリーバル法として、 u については時間的に沢山サンプルできるのを利用して、 $(u-u_{ob})^2$ (ここで、 u_{ob} は観測された u) と支配方程式系を組み合わせたものを空間と時間の4次元空間で領域積分して、この量が極小になるような時刻の v や w や温度の空間分布を決めるという方法がある (Adjoint 法)。Sun *et al.* (1991) はモデル出力データをもとに、この方法が有効であることを示した。

しかし、実際への応用はまだ今からの問題である。

リトリーバル法にとってドップラーレーダーの大きな欠点は、風データが降水域の外では取れないことである。そこで高層ゾンデ・ウィンドプロファイラー・衛星などのデータを併用することが必要となるが、そうしたデータは質や量が異なるため、これらを組み合わせるには一工夫が必要となる。

このようにまだ多くの問題はあがあるが、ドップラーレーダーなどを用いたリトリーバル法の考え方は、将来の積雲対流モデルによる降水短時間予報にとって有力な道具になるだろう。今後の研究の発展が待たれる。

討論

Q (新野)：定常解でも振動解でもない非定常な現象 (擾乱の減衰過程など) もリトリーバル可能か？

A：難しい。

Q(新野)：サンプリング時間が長い場合には取り込めるか？

A：変化の過程を含んだ、短い時間間隔の1時間分ぐらいの長さのデータがあれば、可能性があると考えている。観測データの精度向上に期待している。

参考文献

Hauser, D., F. Roux and P. Amayenc, 1988 : Comparison of two methods for the retrieval of thermodynamic and microphysical variables from

Doppler radar measurements : Application to the case of a tropical squall line. J. Atmos. Sci., 45, 1285-1303.

Sun, J., D. W. Flicker and D. K. Lilly., 1991 : Recovery of three-dimensional wind and temperature fields from simulated single-Doppler radar data. J. Atmos. Sci., 48, 876-890.

吉崎正憲, 瀬古 弘, 1992 : 数値モデル出力の風データを用いたリトリバル法の開発. 日本気象学会秋季大会予稿集, D 259, D260.

1051 (局地予報；メソ気象予測)

4. 局地予報の数値モデルと概念モデル*

小 倉 義 光**

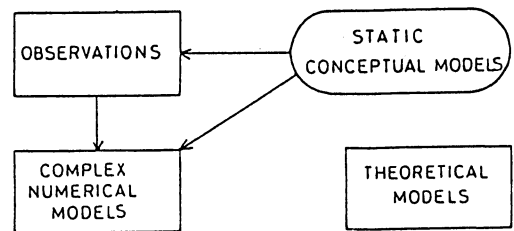
今回のシンポジウムのテーマである「メソスケールの気象予測—展望と課題」を考えると、先輩格のシノプティック・スケールの気象予測の経験が役にたつ。10年ほど前に Hoskins (1983) は当時までの温帯低気圧の研究の進め方は、必ずしも健全ではなかったと述べている(第1図)。概念モデルとしては、約60年前のノルウェー学派のモデルが固定化されたまま、天気図解析の基礎になっている。理論としては Charney や Eady 以来、たくさんの傾圧不安定波の論文がでたが、殆ど現実の大気データの接触しないで遊離している。極めて複雑な数値モデルが開発され、数値予報として実用化されているが、低気圧の理解という点からいえば、モデルからのアウトプットは自然と同じ位複雑なままである。

一般的に、もっと健全な研究の進め方として Hoskins が述べているのは、常識的であるが、観測・概念モデル・力学モデルの三者が相互に作用・協力しながら進展するものである(第2図の左半分)。

最近モデルとは何かについて、いろいろ議論されている。それでここでも概念モデルとは何かということから話を始めるべきかもしれないが、ここでは簡単に、

* Conceptual models and dynamical models for mesoscale weather forecasting.

** Yoshimitsu Ogura, 日本気象協会.



第1図 ときとして気象学の研究に存在する不健全な状態 (Hoskins, 1983).

ある現象の概念モデルとは、気象学の諸概念と諸原理に基づいた、その現象の理解のしかた(あるいはその現象の最も本質的な物理過程の記述)というだけで充分である。

その概念モデルを数式化・定量化したものが、ここでの力学モデルである。それで力学モデルとしては簡単なモデルから複雑なモデルまでを含む。簡単なモデルとしては室内実験や、もとの気象力学の非線型方程式系を解析的な解が得られるように単純化したものなどを含む。複雑なモデルとは、もちろん物理過程をできるだけ多く取りこんだ数値モデルである。

観測・概念モデル・力学モデルの三者の相互作用により、概念モデルは検証・改良され、新しい概念モデルが生まれる。第1図の static conceptual models に