

台風予報と数値モデル*

—1994年度日本気象学会藤原賞受賞記念講演—

栗原 宜夫**

1. はじめに

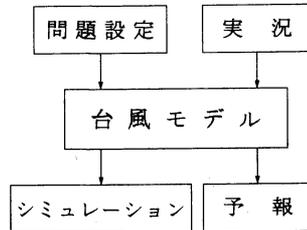
この度は、おもいがけなく藤原賞をいただき、たいへん光栄に思っております。受賞の対象となりました研究は、今まで私と一緒に仕事を進めてきました同僚達の協力に負うところが少なくありません。また、この研究を行うに当たっては、たくさんの方々から貴重な助言や心温まる励ましを戴いて来ました。ここに、厚くお礼を申し上げます。なお、私がこの仕事を続けていく上で、家族の支援も欠かすことができなかつたと思っております。

今日は、「台風予報と数値モデル」という題のもとに、台風の進路予報ということに話題をしばり、私がGFDLにおいて進めて参りました台風モデリングをふりかえてみたいと思います。

2. 数値シミュレーション

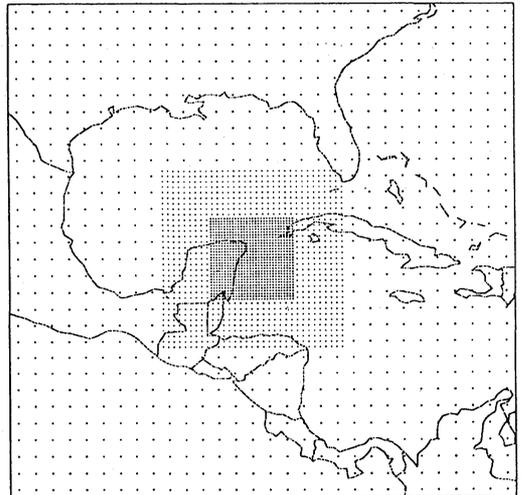
一般に、数値モデルには、2種類の使い方があります。すなわち、数値シミュレーションと数値予報です(第1図)。

シミュレーションでは、問題を設定し、それを数値モデルにかけて答えを出します。それでは、ひとつ問題を設定してみましょう。いま、広い平面上に台風規模の円い渦があって風向風速が一定の基本流に乗っているとします。すると、この場合、渦は形を変えずに基本流で流されて行きます。この答えを格子(グリッド)モデルで数値シミュレーションする(3日間位にわたり適当な誤差の範囲での話ですが)には、グリッドの間隔が10 kmとか20 km程度でなければなりません。これが、台風モデルに望まれる条件の一つです。ところで、このような細かいグリッドで広い領域を全部覆うということは、計算機経済の点で難しいので、



第1図 台風モデルの利用。

GFDL MMM MODEL



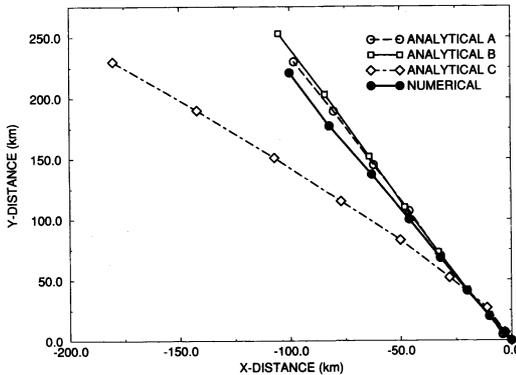
第2図 多重移動格子系。この図のものは、格子点間隔が1度、1/3度、1/6度の三重構造になっている。

多重移動格子系とよばれるものが利用されています(Kurihara and Bender, 1980)。例えば、台風中心に近付くにつれて、格子間隔は1度、1/3度、1/6度と細かくなります(第2図)。以前、大河内さんがこのような格子系を使って台風モデルを作られました(Ookochi, 1972)。

以上のように、数値シミュレーションの役割の一つは、答えの分かっている問題を利用して、数値モデル

* Typhoon Prediction and a Numerical Model.

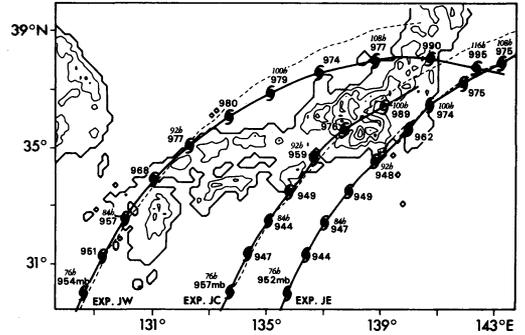
** Yoshio Kurihara, 米国海洋大気庁地球流体力学研究所。



第3図 ベータ効果による渦の移動。三つの解析的あるいは準解析的方法で計算した渦の中心の48時間経路(細い実線, 破線, 破点線の三本の線)と, 数値モデルで求めた48時間経路(黒丸をつなぐ太い実線)を示す。

の検証とか開発とかをすることだといえます。多重移動格子系の開発はこの良い例です。

シミュレーションの第二の役割は、正確な答えが分からない問題の近似解を求めることです。ここで、ふたたび台風規模の円い渦を考え、それをコリオリパラメータの緯度変化をなぞらえたベータ面の上に置いてみましょう。今回は、渦を運ぶ基本流は無いことにし、絶対渦度が保存されるという条件のもとで渦の振り舞いを調べます。そうしますと、ベータ効果によって円い渦の中に双極(ダイポール)渦が誘起され、渦が動き出すことが分かります。この問題は、いろいろなやり方で、解析的に(あるいは準解析的に)取り扱われています(Smith and Ulrich, 1990; Ross and Kurihara, 1992)。一方、この同じ問題を高い解像力を持った数値モデルで扱うことも行われています(Smith *et al.*, 1990)。いずれの場合も得られる答えは近似解です。それは、この問題が非線形であるためです。そこで、いろいろな方法で求められた答えを比べてみて、問題を解析的に取り扱う為に導入した仮定や近似の妥当性をチェックしたり、数値計算の精度を検査することが出来ます。第3図に、三つの異なった解析的方法で求めたある渦の移動(48時間後まで)を示してあります。また、数値モデルで計算した48時間の経路も描き入れてあります。この例では、一つの解析解が他のやり方で得られた解から外れています。詳しく調べたところ、この解析解の場合は近似の仕方に問題があったことが判明しました(Smith and Weber, 1993)。このような比較をして選んだ一つの方法が、GFDLの台



第4図 台風進路に及ぼす山の効果。台風が、西日本、中部日本、東日本にそれぞれ上陸するように設定して、数値実験を行った。台風進路(実線)の上に4時間毎の位置と中心気圧(hPa)を書き添えてある。破線は、山を取り除いた場合の経路。

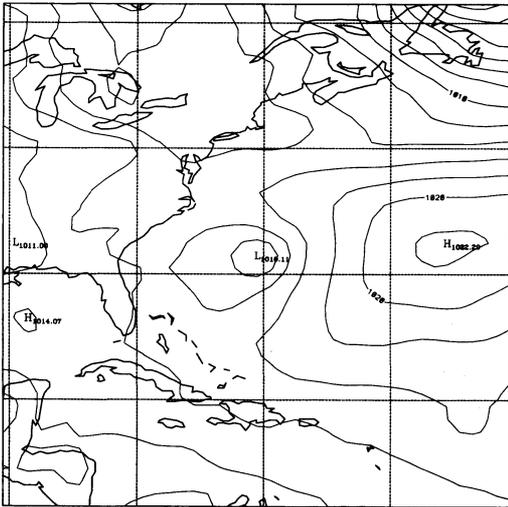
風モデルで双極渦の初期状態を決めるのに使われています。

シミュレーションの利用の三つ目は、それを通じて現象の診断をするということです。これには、数値モデルの能力の限界とか結果の有効性の問題などがからんできますが、まさにモデル作りの魅力と言えます。例えば、日本列島が台風の進路にどのような影響を与えるかを調べる事が出来ます(Bender and Kurihara, 1986)。第4図に、台風がある経路で日本の西部、中部および東部に接近したとき、山岳が有るか無いかでそれぞれの進路がどう違うかを示しました。これは理想化した実験の結果ですが、日本列島の高い山々が台風の動きに与える影響を示唆しています。台風モデルには、なるべく実際に近い地形を入れてやるのが望ましいです。

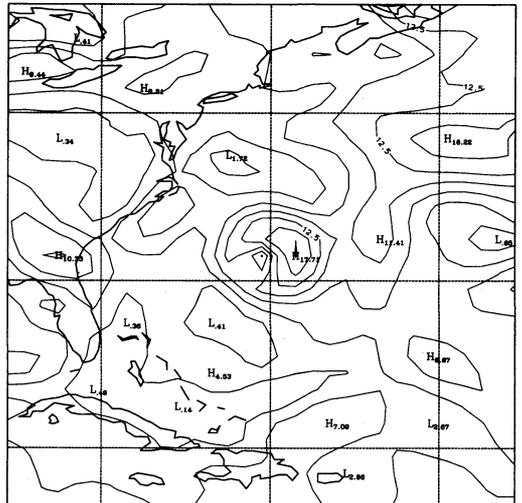
このようにして、GFDLの台風モデルは次第に形を整え、いろいろな数値実験が行われました(例えば Kurihara and Bender, 1982; Tuleya *et al.*, 1984)。

3. 台風モデルの初期条件

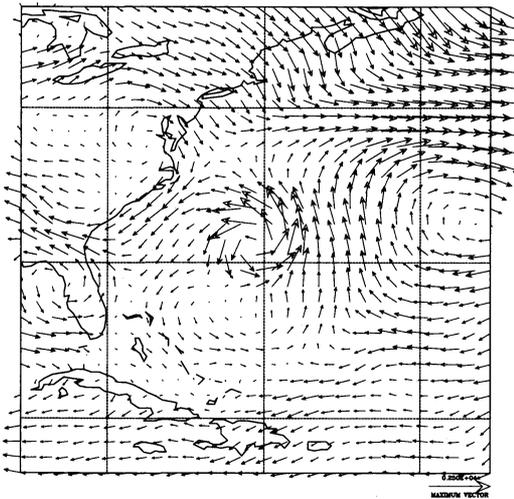
ここで、話を、第1図の右の路線、すなわち台風モデルの予報への利用に移しましょう。一般に、数値シミュレーションが出来たからと言って、必ずしも予報が出来るわけではありません。台風モデルは、この二つがうまく結び付いたケースです。台風モデルを予報に使う場合には、大気の実況をどのようにしてモデルに取り入れるかという課題を解決しなければなりません。大気の実況は、天気図で近似的に表されます。第



第6図 ハリケーン・エミリーを表す全球モデル地上解析 (1993年8月30日00 UTC).



第7図 全球モデルで解析されたシグマ・レベル0.85 (ほぼ850 hPa面にあたる)上の風速分布 (1993年8月30日00 UTC). ハリケーン・エミリーの最大風速が17.7 m/sと表されている.



第8図 全球モデルで解析されたシグマ・レベル0.85 (ほぼ850 hPa面にあたる)における風ベクトルの分布 (1993年8月30日00 UTC). 図の中央付近にハリケーン・エミリーがある.

を抜いた後に残る台風領域内の状態が周辺の場合へ滑らかに接続するように気を付けます. GFDL の方式では, 全球モデルで解析された風を検査して台風の領域を決定し, 最適内挿法を利用することによって, 台風を抜いた一般場を求めています. ハリケーン・エミリーの場合, 全球解析で得られた850 hPa面の風の分布を第8図に, また同図から台風を抜き去った場を第9図に示します.

次は, 台風モデルに入れる台風をつくる作業ですが, 一番大切なことは, 台風モデルになじんだ渦をつくることです. そうしないと, モデルの時間積分をはじめた時に, 渦の強さや構造が急に変わって, それが原因で台風の進路予報に誤差を生むことがあるのです. GFDL では, 3次元台風モデルを軸対称化したものを時間積分して, 台風モデルになじんだ円い渦をつくっています. その際, モデルの時間積分を続けながら, 観測あるいは推定にもとづいてあらかじめ定めた風(回転成分)の分布が得られるように, モデルの風をうまく誘導してやると, モデルになじみかつ実際のものに似た円い渦が出来ます. また, 渦の非対称成分(先に述べたベータ効果による双極渦)は, この円い渦を用いて計算しています. このようにして出来上がった台風を観測された位置に置き, 一般場に重ね合わせた

り, そこに [台風モデルの台風] を重ね込むという方式で行うことにしました (Kurihara *et al.*, 1993; Bender *et al.*, 1993; Kurihara *et al.*, 投稿中).

台風を抜き去る段階では, そのことによって台風を囲む大気の状態が影響を受けないように, そして台風

予報精度の向上を図るよう目指しております。また、藤原博士は、「必ず空模様を見ること。空と親しんでいなければ良い予報は出せない」とも言われました。これは、数値モデルが発達した昨今でも通用することだろうと思っております。

参 考 文 献

- Bender, M. A., and Y. Kurihara, 1986 : A numerical study of the effect of the mountainous terrain of Japan on tropical cyclones, Short- and Medium-Range Numerical Weather Prediction, (Matsuno, ed.), Met. Soc. Japan, 651-663.
- Bender, M. A., R. J. Ross, R. E. Tuleya, and Y. Kurihara, 1993 : Improvements in tropical cyclone track and intensity forecasts using the GFDL initialization system, *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2046-2061.
- Kurihara, Y., and M. A. Bender, 1980 : Use of a movable nested mesh model for tracking a small vortex, *Mon. Wea. Rev.* **108**, 1792-1809.
- Kurihara, Y., and M. A. Bender, 1982 : Structure and analysis of the eye of a numerically simulated tropical cyclone, *J. Met. Soc. Japan*, **60**, 381-395.
- Kurihara, Y., M. A. Bender, and R. J. Ross, 1993 : An initialization scheme of hurricane models by vortex specification, *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2030-2045.
- Kurihara, Y., M. A. Bender, R. E. Tuleya, and R. J. Ross : Improvements in the GFDL hurricane prediction system (Submitted).
- Ookochi, Y., 1972 : A computational scheme for the nesting fine mesh in the primitive equation model, *J. Met. Soc. Japan*, **50**, 37-47.
- Ross, R. J., and Y. Kurihara, 1992 : A simplified scheme to simulate asymmetries due to the beta effect in barotropic vortices, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1620-1628.
- Simpson, R. H., 1952 : Exploring eye of Typhoon "Merge" 1951, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **33**, 286-298.
- Smith, R. K., and W. Ulrich, 1990 : An analytic theory of tropical-cyclone motion using a barotropic model, *J. Atmos. Sci.*, **47**, 1973-1986.
- Smith, R. K., and H. C. Weber, 1993 : An extended analytic theory of tropical-cyclone motion in a barotropic shear flow, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **119**, 1149-1166.
- Smith, R. K., W. Ulrich, and G. Dietachmayer, 1990 : A numerical study of tropical-cyclone motion using a barotropic model. I : The role of vortex asymmetries, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **116**, 337-362.
- Tuleya, R. E., M. A. Bender, and Y. Kurihara, 1984 : A simulation study of the landfall of tropical cyclones using a movable nested-mesh model, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 124-136.