

GCM simulations, *J. Climate*, **11**, 109-120.

Shopf, P. S. and M. J. Suarez, 1988: Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model, *J. Atmos. Sci.*, **45**, 59-566.

Sugi, M., R. Kawamura and N. Sato, 1997: A study of SST-forced variability and potential predictability of seasonal mean fields using the JMA global model, *J. Meteor. Soc. Japan*, **75**, 717-736.

質疑応答と総合討論

1 質疑応答

1.1 予測可能性概論について

質問: 予測の期間によって誤差の成長の仕方が異なるということはあるか。例えば1週間くらいの予報の場合と同じように1か月予報で誤差が成長しているのか。

余田: 予報の初期には線形的に誤差が成長し、その後非線形性が出てくる。現業の数値天気予報で非線形性が効いてくるまでに1日か2日と普通いわれているが、NCEPの結果をみると6時間くらいでも十分非線形性が出てきていて、線形論で考えられる期間はそう長くない。非線形段階に入れば、誤差予測をアンサンブル予報で行うのが理にかなっている。また、非線形な誤差成長といっても、1週間と1か月ではその様子も異なるであろう。

質問: バロトロピックモデルで、誤差が初期のときと比べると6日後には、誤差の空間スケールが大きくなっているようだが、これには何か本質的な事柄があるのか。

余田: 最大発達する誤差の空間構造は初期にはジェットにほぼ平行であるが、これが立ち上がって振幅も大きくなっていく。このようにジェットの水平シアーによる立ち上がりで空間スケールが大きくなるというのは、最適励起とか Orr のメカニズム (シアーのある流れで擾乱が一時的に増幅する機構。詳細は Lindzen, 1990などを参照) とかで考えている状況と同様である。局所的に強いジェットがあって、そのジェットの入り口付近に擾乱を与えるとそれが急成長するようなイメージだと思う。

1.2 データ同化と初期値感性について

質問: 誤差成長で、簡単なローレンツモデルを使った場合と現実的な ECMWF モデルを使った場合とで、ローレンツモデルでは初期に誤差が減っているのに対

し、ECMWF モデルでは後半で誤差が減っているようにみえる。この理由は何か。

露木: ローレンツモデルでは真値がわかっているのに対し、現実モデルではわかっていない。それゆえ、現実モデルでは真値の推定値である初期値に対してスコアをとるので必然的に初期誤差が0になっている。ゆえに初期誤差が減るようにはみえない。これは真値が分からない以上避けられない。通常、推定値に対する予報のスコアの向上をもって、初期値がより真値に近づいていると信じている。

1.3 予測可能性とアンサンブル予報について

質問: 短期予報で使う降水確率とアンサンブル予報で言う降水確率とはどう違うのか。

高野: 短期予報で言う降水確率は、数値モデルから予想された大気の状態と実際の降水現象との統計関係をもとに、ただ1個の数値予報結果から決定論的に決められたものであり、本来の意味は、総観規模の予報が適中したときにどれだけの確率で雨が降るかを表すもので、翻訳技術の1つと考えられる。総観場が確定していても天気には不確実性があることを考慮して導入されている。一方、アンサンブル予報で言う確率は、そもそも数値予報が当たらない、予測不可能である場合の確率である。

質問: 異なる予報センターのアンサンブル予報を比較した場合、その分散はそれぞれのアンサンブル予報の分散よりも大きいのか、それとも小さくなるのか。例えば、気象庁の予報だけでなく他センターのアンサンブル予報を利用することによってよりよい確率予報を得ることができないであろうか。うまくやれば経済的に統計的予報が出せるので有利であると思うが。

高野: UK Met Office と ECMWF とで実験されている。数年前はモデル毎の違いが大きくて難しいと考えられていた。最近の状況はわからない。

出席者コメント：センター間アンサンブルについては、ECMWF の Tim Palmer が異なる数値予報センターのアンサンブルを考えていると聞いている。

質問：20年以上前の Charney, Lorenz の時代には、予測可能性 (predictability) という言葉は、どこまでが決定論的に予測可能なのかという意味で言われており、予測可能性の限界が議論の1つの焦点であった。今、アンサンブル予報という実用的な技術が、1か月予報だけでなく週間予報でも適用されるという。となれば24時間程度の短期予報で使ってもよいはずであるが、このとき、かつて議論されていたような予測可能性の境目が本当にあるのかどうか、あるいはもはや議論をすることに意味がなくなったのか、この辺の考え方を伺いたい。

高野：現象のスケールに応じた予測可能性があって、例えばメソスケール現象については予測可能な期間は短いと思う。また温帯低気圧や超長波あるいはエルニーニョならばそれに応じた期間となろう。一方で、モデルの精度に応じてアンサンブル予報を選択するかどうかを考える必要もあろう。例えば、メソスケールの予報であれば、現段階ではまだ予報モデルを改善することが重要であると思う。予報モデルがよくなれば、アンサンブル予報を行ってリードタイムをとった予報を行い、防災情報に役立てることにもなるだろう。

2 総合討論

質問：余田氏の講演は大気の状態によって予報しやすい場合と予報しにくい場合があって、大気自身に予測の限界の原因を求めるような視点であったと思う。また露木氏は初期値に注目しており、非常によい初期値を得ることができれば予測可能性も高まるという考え方を基礎にしている。

ところで他にもう1つの問題があると思う。それは予報方程式系の表現に含まれる予測可能性である。予報方程式系は様々な物理過程を含んでいて、正しい物理過程が含まれているか否かで予報が左右される。方程式系が正しくないとき、過去の予報ができるような初期値を見つけたとしても、将来の予測に適切であるかどうかはわからない。このような意味で方程式系の問題があるといえると思う。これらについてはどのように考えているだろうか。方程式の問題と、大気の問題および初期値の問題を区別して考えられるのかどうかについても伺いたい。

余田：具体的な現象がどのように関係するかについては触れなかったが、高低気圧スケールで評価するか、より大規模の帯状平均量で評価するかなど、誤差成長の評価はノルムの定義に依っている。それぞれの興味の対象である現象に応じてノルムを決める、ということになる。私の話では、例として北半球域の500hPaの高度場を選んだが、これは高低気圧スケールの現象の1週間予報が当たる、当たらないを示すためには適当であるからである。メソスケール現象の予測可能性を評価する場合でも、それに適したノルムがあると思う。しかし、指摘されたように、メソスケールの予報モデルはまだパラメタリゼーション等、モデルの改善を図ることが正攻法であって、アンサンブル予報はまだ先のことであるというのは、その通りだと思う。

露木：モデルの不完全性のことを言っていると思うが、たしかに、間違ったモデルを使って過去のデータを同化してもそれは大きな間違いを犯すことになるだけである。私自身の現在の数値モデルについての問題意識として、数値予報の不完全性ないし系統的誤差やランダム誤差の問題がある。数値予報モデルは計算機の性能上、分解能は限られており、格子点以下のスケールの現象は何らかの形で格子点スケールで表さなければならない。それがともうまくできる物理過程もあるが、難しい物理過程もある。特に積雲対流について言えば、昔から様々なパラメタリゼーションが考えられてきたが、積雲対流を大きなスケールのパラメタリゼーションで表すと、かなり大きなランダム誤差を含むものであるのに、数値予報モデルではそれは無いと思ってやっている。実際、中緯度の現象の予報についてはそれでもともうまくいく。その理由は重力波モードとロスビー波モードが中緯度ではかなり分離されていて、小さなスケールのノイズは効いてこないからである。ところが、熱帯の現象やメソスケールの現象となるとそうはいかない。従って、データ同化でもいずれはランダム誤差があることを考慮しなければならなくなるだろう。現在の段階で言えば、中緯度の未来の予報がある程度うまく行くので、その範囲内では、過去のデータの影響をそのモデルで見積もっても大きな間違いにはならない。

質問：モデルをいかに改善するかということについて、物理過程には2種類あると思う。1つは流体力学や放射伝達のように物理法則が非常によくわかっているもの、もう1つは積雲対流過程や地面過程のような、

現象をよく理解していないけれども蛮勇を振るってパラメタリゼーションを行うものである。蛮勇を振るってパラメタリゼーションを行っている場合、パラメータを例えば self-adjoint のようなインバースモデルを使って予報誤差を最小化するように最適化することはできないだろうか。これは一種の tuning であって、ある意味ではモデルを nudge することになると思うので純粹に考えればまずい部分もあるだろうが、天気予報を当てるという観点から言えば悪くないと思う。

露木：同感である。私自身はモデル開発を担当していないので言いにくいですが、パラメタリゼーションはまだ未熟なものであると思う。例えば積雲対流ではグリッドスケールでたくさんの積雲があつてその全体の効果を見積もるのであるが、元になる考えは1個の積雲のイメージで考えてしまうというものである。モデルの中にはそういう部分が結構あつて、このような小さなスケールの現象から類推でグリッドスケールの現象を考えてしまうことには以前から不満を持っている。実際の物理を明らかにすることは重要であるが、実用的な対策として十分ありうると思う。このような考えは特異なものではなく、例えばニューラルネットを用い

た同様な試みがあるという話も聞いている。

木本：変分法とかカルマンフィルターを実施していれば、予報方程式の一番最後に $da/dt = 0$ なる式を加えて、それらと他の変数との誤差分散共分散行列を扱えば、自動的にパラメータが最適になるようにアップデートされるようにできる。技術的にも実現性が高いと言えるだろう。

質問：数値計算をするとカオスになるという言い方が多かったが、実際の大気はカオス系であるのか。

余田：カオスの定義は、わずかな違いが指数関数的に大きくなるということで、そういう意味で大気はカオスである。ただし、カオスを簡単な決定論的力学系で生じる不規則性という限定的な意味でとるならば、大気は自由度が大きくとても複雑な系であるので、そのような典型例とは言えないかもしれない。

参 考 文 献

Lindzen, R. S., 1990: Dynamics in Atmospheric Physics, Cambridge Univ. Press, 267.

気象学会員諸氏への要望

理事長 廣田 勇

今年の春季総会の議題にありますように、今般、公益法人に対する文部省の強い行政指導により、社団法人としての気象学会の総会成立条件が、従来の「会員総数の1/5以上の出席」から「同1/2」、すなわち、「委任状を含め会員総数の過半数」に変更となります。この定款改定は学会運営上、きわめて重大な意味を持っています。

これまででも、総会が成立するために必要な人数を確保するため、学会事務局は、書面による議案の可否の意志表示および委任状を返信葉書の形で集めるべく多大の努力を行なつてまいりましたが、実状は最低必要数ギリギリしか返信がありませんでした。

今回のやむを得ぬ定款改定に伴い、今後もしも会員諸氏の対応が従来と同じであるなら、総会は成立せず、学会運営は非常に困難な危機となります。

言うまでもなく、学会運営・活動とは会員諸氏の総意により成り立つものであり、それは同時に、会員で

あることの権利と責任を意味するものです。即ち、学会に対して会員個人個人が責任を果たさないならば、それは学会活動の低下さらには機能停止の形で結局会員の不利益につながることとなります。

以上のべた現状に鑑み、学会理事長の立場から、全会員に対し以下の事柄を強く要望いたします。

- (1) 大会出席者は研究発表セッションのみならず、総会に必ず出席すること。
- (2) 大会に出席できない会員は、総会議案の採決に関し、必ず書面（天気2月号巻末とじ込み返信用葉書）により参加すること。

これを完遂するために、特に、気象官署・研究機関・大学等において指導的立場にある会員には、然るべき時期に周辺の会員に対し書面返信を促す努力を行なうことも合わせてお願いする次第です。

会員諸氏のご理解と責任の自覚に期待いたします。