

大気の長周期変動とその予測

II. 長期予報

新田 勅*・露木 義**

前号の「I. 長周期変動の実態と力学」に引続き、ここでは長期予報に関する最近の研究について解説する。なお、参考文献の番号はI, II通し番号になっている。

1. 数値モデルによる延長予報

一般的な文献を挙げておくと、大気の子測可能性や延長予報について日本語で書かれたものとしては63があり、長期予報の可能性全般については64の第5部に簡潔でわかりやすい解説がある。また、4の第12章と第13章も参考になる。

65などの研究により、数値予報モデルが完全になったとしても、不可避的に含まれる初期値誤差と大気の運動の不安定性のため、日々の天気の子測可能性の限界は2週間程度であるとされている。予報誤差の解析を行った最近の研究としては66がある。しかし、月平均場の子測可能性を調べた67の研究や、1977年1月にアメリカに大寒冬をもたらしたブロッキングを大気大循環モデルで予報してみた68の研究などに触発されて、1カ月予報の研究が世界の主な数値予報センターで行われるようになった。最近の状況を知るには、それぞれヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)とアメリカ国家気象局(NMC)の研究報告である69, 70, 71と72がよい。気象庁でも最近になって力学的1カ月予報の本格的な研究が始まり、その序報として73がある。

明日明後日の予報と異なり、中期予報や延長予報においては予報精度がケースによって大きく変動するので、予報精度の予報が予報自体と同じくらい重要になる。循環場の持続性や準定常パターンなどに着目した研究がなされているが、特に74は、予報のスキルとPNAパターンとの関連を初めて指摘した論文で、この関係はその後の研究でも確認されている。また75は、準定常状態という観点から予報誤差変動の力学的な理解を試みている。

* Tsuyoshi Nitta, 気象大学校。

** Tadashi Tsuyuki, 気象庁予報部長期予報課。

数値予報モデルによる延長予報では、初期値が少しずつ異なる予報からなるアンサンブルに基づく方法が主に研究されている。それらの平均をとることによって、傾圧不安定波など予報の困難な変動が除去されるとともに、予報の間のばらつき具合から予報精度に関する情報が得られることが期待されるからである。また将来的には、アンサンブル内の子報をグループ分けして確率予報をだすことまで展望されている。詳しくは71を参照されたい。アンサンブルをつくる方法としては、モンテカルロ法の他に76によって提案されたタイムラグ法があり、簡便さから後者がよく使われている。しかし、確率予報まで考えるとこの方法には問題が多く、適切なアンサンブルをいかに効率的に構成するかが課題である。また、数値予報モデルが不完全なことによって生じる系統的誤差も、アンサンブル予報の効果を十分に引き出せない大きな原因になっている。

一方、海面水温のアノマリーが長期予報の精度にどの程度の影響を与えるかについて、多くの予報実験が行われてきた。57, あるいは77や78を参照されたい。それらによれば、熱帯では、積雲対流活動が海面水温に敏感に応答するため、最初の1カ月でも海面水温に観測値を用いた効果ははっきりと現れる。しかし中緯度については、初めの1カ月平均場では初期条件の影響が大きくて海面水温に気候値を用いた場合と違いがはっきりせず、海面水温の影響が卓越してくるのはそれ以降である、というのが大方の結論になっている。

季節予報になると、海面水温など大気にとっての外部条件も同時に予報し、これらのゆっくりとした変動が大気がどのように応答するのか、という点に予報の重点を移さざるを得ない。世界の天候への影響の大きさから考

えて、ENSOの予報が特に重要であるが、そのためには大気海洋結合モデルが必要とされる。しかし、このような研究はまだ始まったばかりであり、ENSOのメカニズムの解明が先であろう。大気海洋結合モデルの開発の現状を知るには79がよく、また80にはENSOの予報を念頭においた解説がある。

2. 統計的手法による長期予報

前節で紹介したように、近い将来、1カ月程度までの予報には数値モデルによる力学的方法が中心になることが期待されている。しかし、現在、力学的手法に基づく延長予報はまだ開発段階であり、世界各国の長期予報では主として過去の長期間のデータに基づく統計的手法が用いられている。統計的手法は、大気の大周期変動には類似性、再現性があることを前提にしており、相関関係、類似度、境界条件の影響などを過去データから統計的に評価して、予報に活かそうとするものである。

世界各国の長期予報の現状とその手法については、1986年に開催されたWMO主催の研究集会(81)で報告されている。気象庁で現在行われている統計的手法の現状と今後の研究計画については82, 83に述べられている。イギリスの長期予報法については84, 85に記述されており、また、86による詳細な紹介がある。アメリカの長期予報の現状と今後の方針については87, 88にまとめられている。各国とも、予報期間、予報の目的変数、説明変数の取り方などそれぞれ異なっているが、予報モデルとして用いられている統計的手法は大きく分けて次の3つに分類される。

(a) 相関法：予報域の気温、降水量や循環パラメータと北半球規模の大気循環(500 mb 高度)や境界条件(海面水温など)とのラグ相関関係を利用して、判別関数や重回帰式を求めて予報を行う。上述のイギリスでは、長期間の過去のデータからクラスター分析によって海面気圧の分布を6個に分類しておき、ラグ相関から判別関数を求め、それぞれの気圧分布の出現確率を予報している。一方、アメリカでは、700 mb 高度の予想図を、ラグ相関による重回帰式で作成している。日本では直接各地域の気温と降水量を500 mb 高度とのラグ相関から求めた重回帰式で予報している(89)。日本の結果によれば、重回帰モデルは1~3カ月予報について比較的安定した予報スキルを持つが、確率を付加するのに難点がある(83)。

(b) 類似法：過去数十年の大気循環、気温、降水量、海面水温などのデータから、現在と類似した年を選び出

し、それを基に予報を組み立てる方法で、古くから予報官による主観的判断に基づいて用いられていた。最近、米国(90)や日本(83)で類似度を客観的に数値化することによって現業に取り入れられている。その際、最も似ていると思われる年を数個だけ用いるよりも、ある程度多くの年を用いた方が良い結果を得ること、また、同時に反類似(逆符号で類似)も取り入れるとスキルが上がるということが報告されている。日本の例では1カ月予報のスキルは重回帰モデルに匹敵するが、2カ月以上ではスキルが大きく落ちるなどの問題点が指摘されている。

(c) 境界条件の影響：前号I.の2節で述べたようなENSOなどによる熱帯域海面水温や大陸上の積雪面積など境界条件の年々変動と大気循環や世界各地の天候変動との関係を積極的に予報に利用しようとする手法である。インドやオーストラリアなどの熱帯域では、ENSOサイクルの直接的な影響を受けており、インドモンスーンの始まる時期や降水量、南太平洋の熱帯低気圧の数の予報などにはSOI(南方振動指数)を用いた予測がなされ、かなり高い予報スキルが得られている(91, 92)。中・高緯度域でも熱帯域海面水温の影響を受けているものの、熱帯域に比べてその影響はより間接的であり、また、S/N比が小さいために、熱帯域ほどはスキルは大きくない。しかし、近年、境界条件の変化によるテレコネクションなどの物理的なメカニズムが徐々に解明されてきており、それらの成果を具体的な予報に活かすことが期待されている。

以上の様々な統計的手法の問題点は、力学的手法に比べて物理的な根拠や背景が希薄であり、モデル改良の一貫した見通しがはっきりしない点である。また、高々数十年のデータでは統計的に有意な情報を抽出することが困難なことであろう。今後、診断的研究や理論的研究によって長期変動の力学的なメカニズムを解明し、それに基づいた手法を開発するとともに、地道に高品質の観測データを整備することが要求されるであろう。

文 献

- 63) 新田 尚, 1982: 天気と予測可能性. 気象学のブロンナード 9, 東京堂出版, 230 pp.
- 64) Ghil, M., R., Benzi and G. Parisi, eds., 1985: Turbulence and Predictability in Geophysical Fluid Dynamics and Climate Dynamics, Italian Physical Society, 449 pp.
- 65) Lorenz, E.N., 1982: Atmospheric predictability experiments with a large numerical model. *Tellus*, 34, 505-513.
- 66) Dalcher, A., and E. Kalnay, 1987: Error

- growth and predictability in operational ECMWF forecasts. *Tellus*, **39A**, 474-491.
- 67) Shukla, J., 1981: Dynamical predictability of monthly means. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2547-2572.
- 68) Miyakoda, K., T. Gordon, R. Caverly, W. Stern and J. Sirutis, 1983: Simulation of blocking event in January. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 846-869.
- 69) Palmer, T.N., C. Brankovic, F. Molteni and S. Tibaldi, 1990: Extended-range predictions with ECMWF models: Interannual variability in operational model integrations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **116**, 799-834.
- 70) Tibaldi, S., T.N. Palmer, C., Brankovic and U. Cubasch, 1990: Extended-range predictions with ECMWF models: Influence of horizontal resolution on systematic error and forecast skill. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **116**, 835-866.
- 71) Brankovic, C., T.N. Palmer, F. Molteni, S. Tibaldi and U. Cubasch, 1990: Extended-range predictions with ECMWF models: Time-lagged ensemble forecasting. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **116**, 867-912.
- 72) Traction M.S., K. Mo, W. Chen, E. Kalnay, R. Kistler and G. White, 1989: Dynamical extended range forecasting (DERF) at the National Meteorological Center. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1604-1635.
- 73) Yamada, S., S. Maeda, J. Kudo, T. Iwasaki and T. Tsuyuki, 1991: Dynamical one-month forecast experiments with the JMA global prediction model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 153-159.
- 74) Palmer, T.N., 1988: Medium and extended range predictability and stability of the Pacific North American mode. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **114**, 691-713.
- 75) 向川 均, 木本昌秀, 余田成男, 1991: 予報誤差の変動と準定常状態. *グロースベッター*, 第29巻, 第2号, 1-19.
- 76) Hoffman, R.N., and E. Kalnay, 1983: Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, **35A**, 100-118.
- 77) Owen, J.A., and T.N. Palmer, 1987: The impact of El Nino on an ensemble of extended-range forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 2103-2117.
- 78) Tokioka, T., K. Yamazaki and M. Chiba, 1987: A case study of the impact of sea-surface temperature anomalies and initial conditions on dynamical forecast up to two months in the early summer of 1983. *Pap. Meteor. Geophys.*, **38**, 265-277.
- 79) Charnock, H., and S.G.H. Philander, 1989: *The Dynamics of the Coupled Atmosphere and Ocean*. Royal Society.
- 80) 木本昌秀, 1989: 大気海洋結合モデルの実現に向けて. *数値予報課報告・別冊第35号*. 気象庁予報部, 74-111.
- 81) WMO, 1988: Programme on long-range forecasting research, Long-range Forecasting Research Report Series No. 8, 352 pp.
- 82) 新田 勲, 山田真吾, 上野達雄, 1991: 平成元年度全国長期予報技術検討会報告. *研究時報*, **42**, 235-254.
- 83) 気象庁予報部, 1990: 長期予報の確率表現にむけて. *平成2年度長期予報研修テキスト*, 53 pp.
- 84) Folland, C.K., and A. Woodcock, 1986: Experimental monthly long-range forecasts for the United Kingdom, Part I: Description of the forecasting system. *Meteor. Mag.*, **115**, 301-318.
- 85) ———, and A. Woodcock, 1986: Experimental monthly long-range forecasts for the United Kingdom, Part III: Skill of the monthly forecasts. *Meteor. Mag.*, **115**, 377-394.
- 86) 田中康夫, 1987: 長期予報: 統計的予報法の現状—イギリス気象局モデルについて—. *グロースベッター*, 第25巻, 第2号, 15-32.
- 87) Gilman, D.L., 1985: Long-range forecasting: The present and the future. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **66**, 159-164.
- 88) Livezey, R.E., 1990: The variability of skill of long-range forecasts and implications for their use and value. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 300-309.
- 89) Ueno, T., K. Koizumi, and K. Kurihara, 1990: Prediction of monthly mean temperature in Japan with a multiple regression model. *Geophys. Mag.*, **43**, 131-144.
- 90) Livezey, R.E., and A.G. Barnston, 1988: An operational multifield Analog/Anti-analog prediction system for United States seasonal temperatures, 1. System design and winter experiments. *J. Geophys. Res.*, **93**, 10953-10974.
- 91) Shukla, J., and D.A. Mooley, 1987: Empirical prediction of the summer monsoon rainfall over India. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 696-703.
- 92) Nicholls, N., 1985: Predictability of interannual variations of Australian seasonal tropical cyclone activity. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1141-1149.