

季節予報の技術について

—根本会員の質問に答える—

はじめに

根本氏から、近年の高温傾向について予報現場でどうということが考えられているのかという質問が寄せられた。また、季節予報の方法論についても質問が寄せられた。このため、ここでは現在の季節予報の方法論と今後われわれがどういう方向に行こうとしているのかについて簡単にまとめてみた。

季節予報の方法論とデータ

根本氏の指摘の1つは現場では古いマニュアルに従って予報作業を行っているが、それが現在起こっている現象に適用できなくなっているのではないかということである。

現業的予報作業においてこれまで得られた成果を客観化し、標準化することは必要なことだと考えている。しかし、もちろん氏のおっしゃるように現在起こっていること、すなわち実況を把握し、そこから起こっている現象の理解を深めることがおそろかにならないように努めなければならないことは当然であり、そのことに関しては大先輩の叱咤激励として重く受け止めた。その上で現在の状況をお話すると、我々気候情報課では「診断」と称して毎月初め、前月の大気大循環、異常天候の発生の有無などについて、収集した資料をもとにディスカッションを行っている。このことを通じ、現在の大気大循環にどのようなことが起こっているか常に監視している。そしてその成果は「気候系監視報告」として毎月公表している。一方、予報作業の客観化、標準化についても、技術の進展と共に常に見直しが必要だと考えており、それは定期的に行っている。

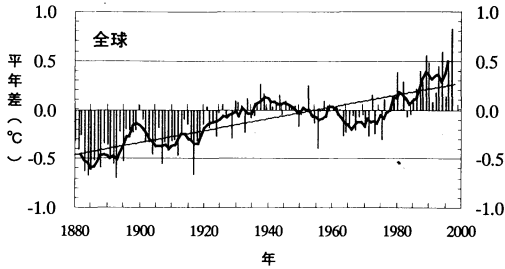
季節予報技術の発展の歴史を振り返ってみると、利用できる実況データの蓄積の歴史と言い換えてもよいと思う。季節平均の天候を決める大気の流れはその空間—時間スケールから必然的に全球的であり、全球規模のデータが必要である。また、根本氏もおっしゃっているように、積雪などの地表面も、エルニーニョ現象を始めとする海洋も季節平均の気温に影響を与えて

いる。すなわち、単に大気の流れのみを扱うのではなく、太陽放射、海洋、地表面、植物圏など様々の大気の流れと相互作用を行うものも全体として「気候系(Climature system)」としてとらえる必要がある。更にやっかいなことは、明日、明後日を予報する短期予報では1か月も待てば、30個のデータを集めることができ、データ間の比較検討が可能になるが、季節予報の分野では1年に1個のデータしか集めることができない。従って、調査、研究を進めるには過去の長い期間のデータが必要である。これらの全てのデータが揃っていれば良いのだが、現実には集めるのはなかなか困難であり、季節予報の現場の先人はこのデータ収集に力を注がれた。

これらのことを踏まえて、過去の技術の発展を振り返ってみると、国内の観測データの他に北半球地上天気図、北半球高層天気図、成層圏データ、熱帯の対流活動を見る衛星データ、全球海洋データが次々に登場し、それらを何とか季節予報に応用できないかということによって様々な努力が行われてきた。

例えば成層圏データが入手できるようになった1960年～70年代には突然昇温を始めとする成層圏の現象に注目が集まり、突然昇温と対流圏との関係等が議論された。また、1981年3月に出された「1か月予報指針」(気象庁編)にはそれまで蓄積された高層天気図をもとに、解析が行われており、Wallace and Gatzlar (1981)のテレコネクションの概念に極めて近い解析が行われている。これらの日米の研究が独立に極めて近い時期に行われたのは偶然ではないと考えられる。

さらに1980年代は1978年に打ち上げられた気象衛星「ひまわり」のデータが蓄積されてきており、このデータを利用してフィリピン付近の対流活動と日本付近の太平洋高気圧の動向の関係に関する研究等が精力的に行われた。また、全球的な海洋データが入手可能となりエルニーニョ現象と日本の天候の関係も調査されだした。長い間データの取得が困難だった熱帯域のデータが入手できるようになり、日本の天候に及ぼす熱帯の影響の調査が可能になってきたのである。そして1980年代の終わりからは、データの長期間の蓄積と共に10年から数10年スケールの変動が目立ってきた。



第1図 全球平均気温の時系列図。棒グラフ：各年の気温年平均偏差，太線：同5年移動平均値，細実線：長期傾向(トレンド) (気候変動監視レポート1998より引用)。

このように、季節予報技術の歴史は、そのまま利用できるデータの歴史、ひいては、それらを利用した「気候系」の理解の歴史と言うことができる。従って、予測法自体も必然的に次々に変化してきている。しかし、現実問題として、まだデータは十分とは言えず、従って技術的にもまだまだ発展段階であるといえる。従って予報技術についても常に見直しが必要であろう。

1980年代後半からの高温傾向

根本氏も述べておられるように、1980年代後半から日本は高温傾向となっている。また全球的に見ると、昇温傾向はそれより早く、1970年代後半から始まっている(第1図参照。なお、この節のことは「気候変動監視レポート1988」または「平成11年度今日の気象業務」(いずれも気象庁編)に詳しいので併せて参照いただきたい)。このようなデータも、ここ10~20年ほどの間に、信頼性も上がり、また極めて容易に入手できるようになった。

さて、この高温傾向であるが、第1図を見ると確かに昇温のペースはここ20年ほど極めて急である。しかし、過去の時系列を見てみると、そもそも全球平均気温は一様に上昇しているわけではない。例えば、1920年代から40年代にかけてはかなり急激に上昇している。一方1960年から70年代前半にかけてはむしろ下降していることがわかる。すなわち、長期的なトレンド以外に10年~数10年程度の時間スケールの変動があり、近年の高温傾向は両者が合わさった形で見えてると考えるほうが妥当であろう。この点については根本氏の見解に異議を唱えるものではない。

故新田勅東大教授と山田真吾氏(現気象庁予報課)は、それまでに蓄積されてきた北半球高層データ、海

洋データ、人工衛星による外向き長波放射(OLR)など、互いに独立な観測から得られたデータが、全て1970年代半ばを境に大きく変化していることを発見された(Nitta and Yamada, 1989)。私の知る限り「気候系」にこのような10年から数10年スケールの変動が起きていることを示した最初の論文の1つである。その後様々なやはり10年から数10年の時間スケールで変動する現象が見出され、また、大気海洋結合大循環モデルによる数値実験でもこのような変動が見出されている(例えば Yukimoto *et al.*, 1996)。この10年から数10年スケールの変動は学会では最近常に注目されており、様々な視点からの研究が精力的に行われている(例えば、東大気候システム研究センター編気候システム研究叢書 NO.3「気候システム変動の謎に挑む」の第3章に詳しい)。ただし、それがどのようなメカニズムで引き起こされているのかについては、海洋の変動が絡んでいることは間違いないと考えられるが、それ以上のことについては明快な結論は出ていないように思われる。この場合解明のネックの一つは海洋の内部の長期間のデータの不足である。今後地道なデータの蓄積の努力により解明が進んでいくであろう。

なお、根本氏は二酸化炭素の濃度も、まわりの影響を受けて変動するのではないかと述べておられるが、これもそのとおりであると思う。御指摘のとおり、1998年の二酸化炭素の増加率は極端に高く、人為起源だけでは説明できないようである。一方1991年、1992年は増加率は極端に低く一時的にマイナスにすらなった(気候変動監視レポート1998参照)。二酸化炭素自体も「気候系」の一つの構成要素であり、放射強制力を通じて影響を与えるだけでなく、人為的要因以外にも大気、海洋、植物圏等の変動に伴いその濃度は影響をうけるだろう(気候変動監視レポート1998参照)。

季節予報技術の今後の展望

以上述べたように、季節予報の技術の進歩は、「気候系」の理解のための観測の継続、データ収集と表裏一体である。根本氏が指摘された近年の高温傾向も、10年から数10年スケールの変動として明確に予報現場で意識しだしたのは、1990年代に入ってからである(故新田先生と山田氏の論文の発表は1989年である)。重ねて言うが10年から数10年スケールの現象を捕まえるには、最低でも数10年以上の様な観測の継続、データの整理が必要なのである。

さて、今後の季節予報技術の発展についてであるが、

少し私見を述べてみたい。もちろん今後の発展のためには引き続き地道な観測と、それらを丹念に収集する努力が重要なものというまでもない。しかし、今後これまでもとは質的に違った技術開発が可能になる素地が整ってきている。それは再解析(analysis)と数値予報モデル(大気海洋結合大循環モデル)の利用である。再解析というのは、これまでの蓄積された様々な観測値を使い、最新の解析技術により、過去の気象データ全体の解析をやりなおしデータセットを作り直すものである。これにより、解析法の違いにより難しかった、過去と現在の解析の比較も行えるようになる。例えば熱帯の循環場のデータは解析手法の違いにより結果が大きく違っており比較が難しかったが、この再解析データによれば過去との比較が容易にできるようになった。アメリカ気候予測センター(CPC)のホームページには97/98エルニーニョで確かに太平洋赤道域の東西循環(ウォーカー循環)が平年より弱まっているのが、イメージ図としてではなく解析の経度-高さ断面年平均偏差図として示されている。また、最新の解析技術による解析(数値予報モデルを使った4次元データ同化)は解析データ間の物理的整合性がよく、エネルギー収支等の定量的解析にも堪えるものになりつつある。再解析データの登場で過去の長い期間にわたって定量的解析ができるということは、気候系の年々変動のメカニズムの解明に大きな貢献をするであろう。

この再解析はアメリカのNCEP(旧NMC)やヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)等で過去15年~40年の期間で行われている。この再解析はそれをやること自体、気候系の素過程を定量的に研究する上で極めて有用である。かなりの計算機資源と人的資源を要するものの、日本の気象学界にもそれをやる技術的基盤はあると思われる。なんとか日本でも実現できないものであろうか。

次に数値予報モデル(大気海洋結合大循環モデル)であるが、これまでも気候研究に大気大循環モデルが利用され、多くの成果をあげてきたが、今後は現業的に季節予報に利用できるようになるであろう。日本では約10年前に全球モデルによる現業的週間天気予報が始まり、1996年に1か月予報にも力学手法が導入された。あと数年のうちには季節予報の範囲まで可能になる予定である。この数値予報モデルの導入により季節予報技術は大きく進歩していくであろう。もちろん、数値予報モデルは水晶玉ではなく、スーパーコン

ピューターを使い数値予報モデルさえ導入すれば全て解決というわけではない。実際、数値予報モデルにはまだ様々な不十分な点がある。しかし、数値予報モデルの最大の利点は物理法則にのっとった時間発展方程式を解くという形で予測を行うため、メカニズムの検討に極めて有効であるという点である。数値予報モデルによる予測がなぜうまくいかないかについても、システマティックな検討が可能になる。このため技術改善のペースがあがっていくであろう。

また、ある気候学的仮説が正しいかどうかを確かめるにも、数値予報モデルを使った数値実験を今まで以上にふんだんに行うことができることになるだろう。季節予報、気候学の分野の大きな悩みの一つは、データの不足以外にも定量的なメカニズムの解明がなかなかできないことであった。例えば、予測に用いていたある統計的關係が成り立たなくなっても何故なのかわからないことがあった。また、物理的、気象学的直感に基づきある仮説をたてても、それが正しいかどうかを直接、定量的に証明することは難しかった。これらのことが、質のよい再解析データと、現業的な力学的季節予報モデルの登場によりかなり解決できるようになるのではないかと大きな期待を持っている。

(気象庁気候情報課 高野清治)

参考文献

- 気象庁編, 1981: 1か月予報指針, 長期予報テクニカル・ノート, (23), 301pp.
- 気象庁編, 1999: 気候変動監視レポート1998, 大蔵省印刷局, 45pp.
- 気象庁編, 1999: 平成11年度今日の気象業務, 大蔵省印刷局, 181pp.
- Nitta, T. and S. Yamada, 1989: Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemispheric circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 375-382.
- 東京大学気候システム研究センター編, 1998: 気候システム変動の謎に挑む, 気候システム研究叢書, (3), 第三章.
- Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height during the Northern Hemispheric winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.
- Yukimoto, S., M. Endoh, Y. Kitamura, A. Kitoh, T. Motoi, A. Noda and T. Tokioka, 1996: Interannual and interdecadal variabilities in the Pacific in an MRI coupled GCM, *Clim. Dyn.*, **12**, 667-683.