第 4 回「長期予報はなぜ当たらないか？」

山崎 孝治（北海道大学大学院地球環境科学研究院）

１．はじめに

今度の冬は暖冬でしょうか？雪は多いでしょうか？誰しも気になるところです。気象庁は１ヶ月、３ヶ月、季節予報などの長期予報を発表していますが、今日・明日の予報に比べれば精度は悪く予報もあいまいです。果たして、長期予報は可能なのでしょうか。

一方、二酸化炭素の増加によって数十年後には温暖化するといわれています。半年先の予報もできないのに数十年先のことが予測できるでしょうか。今回はこれらの疑問に答えようと思います。

２．天気予報のしくみ－数値予報－

毎日の天気を主に支配しているのは高気圧・低気圧や前線・台風などで、気圧、気温、風、湿度などの3次元分布が天気を決めています。天気予報はまずこれらの量の現在の状態を観測することから始まります。世界各国の気象機関では毎日定時にゾンデなど各種の測器による気象観測を行っています。それに加えて衛星観測や船舶・航空機からの観測も行われ、これらの気象データは通信網を介して各国の気象機関に集まります。

大気の運動は地球という回転する天体の上の流体運動ですから基本的な物理法則はわかっています。そのため、ちょうど月・地球の運動を支配する物理法則がわかっているので初期の状態がわかれば将来の日食が予測できるように、将来の気象状態も予測できるはずです。ただし、大気の運動法則は紙と鉛筆で解けるようなものではないので、スーパーコンピュータによって計算しています。これを数値予報とよんでいます。

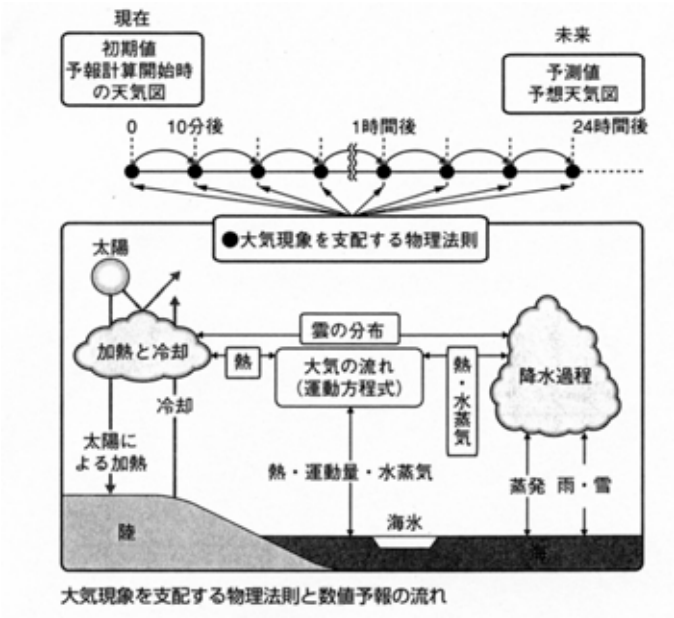


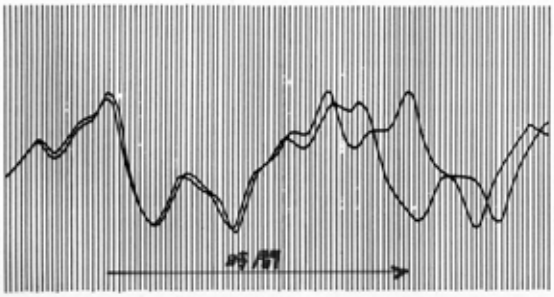
図１：数値予報モデルと数値予報の流れ（「天気の100不思議」（村松照男）より）

まとめると、気象庁の発表する短期予報は、大気の運動を支配する物理法則（水平運動方程式、静力学平衡の式、連続の式、熱力学方程式、水の連続の式など）を初期値問題としてコンピュータを用いて解く数値予報モデルによって行われています。初期の状態から10分後の状態を予測し、さらに10分後と繰り返して、1日後、1週間後の予測を行います（図１）。近年の数値予測技術の進歩は著しく、明日の予報の的中率は８０％以上に達しており、予報誤差も年々減少しています。

３．天気予報の限界

では、将来、技術の進歩によって１年後の天気予報も可能になるでしょうか？　残念なことに大気の運動は非線形であるため、初期のほんのわずかな違いが有限時間のうちに拡大して（これをカオス的振る舞いといいます）、予報が不可能になってしまいます。これを予測限界時間といいます。初期の誤差をどんなに小さくしても、予測限界時間を無限にのばすことはできないのです。理論的な予測限界時間は２週間と言われています。せいぜい長くとも1ヶ月でしょう。大気の記憶は２～4週間というわけです。これは低気圧の寿命が1週間程度であり、発達・衰弱を何度か繰り返すと、もう予測できなくなるということで理解されます。この予測可能性の限界についてはロレンツが３０年以上前に発見しました（図２）。

「南米で蝶がはばたくと2週間後のニューヨークの天気が変わる」という比喩からバタフライ効果ともよばれます。しかし、ロレンツの結果は、なかなか受け入れられませんでした。今でも、多くの人は将来は「4ヵ月後の2006年元旦の札幌の天気は雪」といった占い師のような予報も可能になると考えているかもしれませんが、それは原理的に不可能なのです。



How two weather patterns diverge. From nearly the same starting point, Edward Lorenz saw his computer weather produce patterns that grew farther and farther apart until all resemblance disappeared. (From Lorenz's 1961 printouts.)

図２　ロレンツのバタフライ効果

４．長期予報は確率的

大気運動はカオスであるため大気だけでは１ヶ月以上の長期天気予報は不可能であると述べました。では、気象庁はできもしない長期予報を発表しているのでしょうか。

海洋のような長い時間スケールで変動するもので、大気にとっては境界条件や外力と考えられるものが変動した場合は、日々の天気は予報できなくても平均（例えば1ヶ月平均）は予報できる可能性があります。例えば、エルニーニョが起こったときは冷夏・暖冬になりやすいので、エルニーニョが予測できればある程度の予測はできます。それでも、限界時間以上の予報は確率的にならざるをえません。そのため、気象庁の長期予報は確率を付して発表しています。もともとの定義から「平年並み」の起こる確率は40%、それより暑い、寒いのはそれぞれ30%ですから、その分布からどれほど外れて予報を出すかが、予報官の腕の見せ所です。図３に7月25日発表の3ヶ月予報を示しました。当たっているでしょうか。

図３

気象庁発表の3ヶ月予報

確率で表示されている。

北海道地方　3か月予報

（8月から10月までの天候見通し）

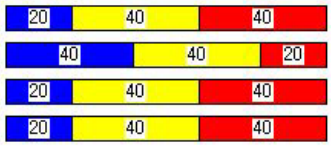
平成17年7月25日
札幌管区気象台　発表

＜予想される向こう3か月の天候＞

向こう3か月の出現の可能性の最も大きな天候は以下のとおりです。
この期間の平均気温は平年並か高く、降水量は平年並でしょう。
8月　天気は数日の周期で変わるでしょう。平年に比べ曇りや雨の日が多いでしょう。
気温は平年並か低く、降水量は平年並か多いでしょう。
9月　天気は数日の周期で変わるでしょう。平年と同様に晴れの日が多いでしょう。
気温は平年並か高く、降水量は平年並でしょう。
10月　天気は数日の周期で変わるでしょう。平年と同様に晴れの日が多いでしょう。
気温は平年並か高く、降水量は平年並でしょう。

＜向こう3か月の気温、降水量、日照時間の各階級の確率（%）＞

【気　温】
［北海道地方］



なお、エルニーニョの予報は、大気と海洋を結合した数値モデルによって行っています。ただし、海洋（海面温度）の予報が完全であっても大気の変動は完全には予報できません。大気内部で勝手に変動する部分があるからです。熱帯では、大気の全変動のうちかなりの部分が海洋でほぼ決まりますが、中緯度では海洋で決まるのは30%以下です（図４）。また、海洋以外にも長期の記憶を持つもの（例えば、積雪や成層圏）や外力（火山爆発など）から長期予報の精度向上を目指す研究も行われています。

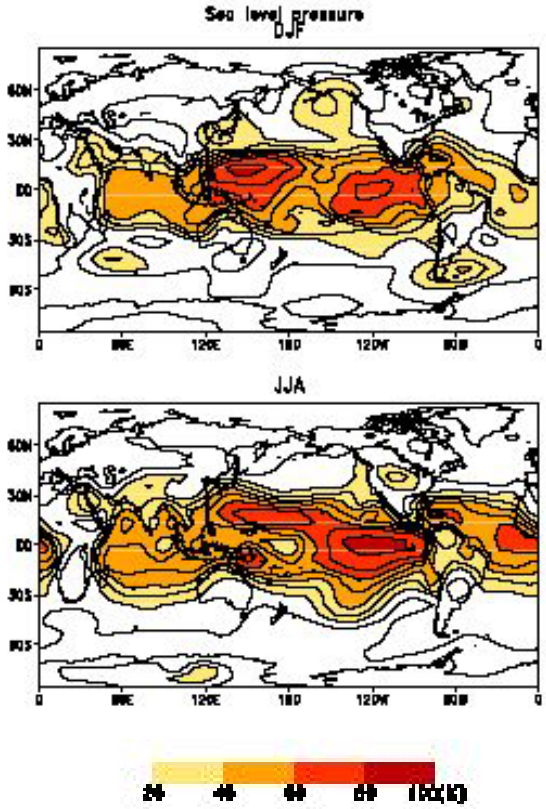


図４　海面気圧変動が海面水温で説明される割合（Matsumura et al.,2005）
上が冬、下は夏。

５．温暖化予測は信頼できるか？

温暖化予測も気候モデル（大気海洋結合モデル）を用いて、年率1%でＣＯ$_2$が増加したらどうなるかを計算しています。気候モデルの不完全性などで予測されるは昇温量はモデル間でばらつきますが、すべてのモデルは温暖化を予測しています。温暖化実験の場合は外力が変動するのでそのシグナルは内部変動のノイズより大きくなります。したがって、50年後の天気予報はできませんが、このままＣＯ$_2$が増加し、巨大隕石衝突とか大規模火山噴火の頻発など想定外の事態が起こらなければ、50年後の全球平均気温は上昇するということは、ほぼ確実に予測できます。日本の気温も20世紀に比べれば高いでしょう。半年予報よりも50年後、100年後の長期予測のほうが容易なのです。

６．アンサンブル予報

1週間後でもカオスの性質は現れてきます。そこで気象庁では週間予報や1ヶ月予報のためにアンサンブル予報を行っています。アンサンブル予報とは初期値を観測誤差の範囲内で変動させた初期値を作って多くの（週間予報では２５）メンバーによる数値予報を行うことです。それぞれのメンバーが1週間後に同じような状態を予測すれば、予報の信頼性は高いと考えられます。逆に、メンバー間でばらつきが多ければ、予報の信頼性は低いと考えられます。アンサンブル予報のばらつきを利用して、気象庁の発表する週間予報には信頼度をＡ，Ｂ，Ｃのランクをつけて発表しています。テレビの天気予報ではそこまでは示しませんが。

７．まとめ

1ヶ月以上の長期天気予報は不可能です。理由は大気はカオスであるため1ヶ月以上の記憶をもたないためです。しかし、海洋などより長い記憶をもつものにより確率的な予報はある程度可能と考えられます。それでも限界があるため、長期予報は100%近く当たることは不可能です。長期予報は当たらないものと思って聞きましょう。でも、2003年の冷夏、2004年の猛暑など極端な異常気象は何か原因があって予測可能な部分があるのではないかとあがいているのが研究者であり気象庁なのです。一方、3ヶ月、半年予報に比べて、地球温暖化はより確実です。ＣＯ$_2$濃度という外力が変動するからです。