

気候変動予測研究の過去・現在・未来

○尾瀬智昭(気候研究部)

1. はじめに

地球温暖化の影響が現実化するなか、昨年、日本では「気候変動の影響への適応計画」が決定され、国際的には京都議定書(1997)以来の気候変動対策の枠組みであるパリ協定が採択された。気象庁は1981年に気候変動対策室を設置し、気象研究所では地球温暖化予測研究を開始した。その成果はIPCC第1次評価報告書から貢献している(時岡, 2015)。

地球温暖化のメカニズムは昔から指摘されてきたことであったが、懐疑的な声が少なくなったのはそれほど昔のことではない。過去30年間は気候変動予測研究の飛躍の時代であり、地球温暖化や気候変動の理解、研究手法、社会への応用が大きく転換した。この中で一つの中心的な役割を果たしてきた気象研究所における気候変動予測研究について、過去から現在までの流れと将来の展望を紹介したい。

2. 天気予報と気候の予測 —似て非なる予測原理

気象研究所では天気予報の基礎となる大気の数値予報モデルに海洋の数値モデルを組み合わせた気候モデルによって、今世紀末までの地球温暖化予測実験を、おおよそIPCCの報告書に合わせて実施してきている。

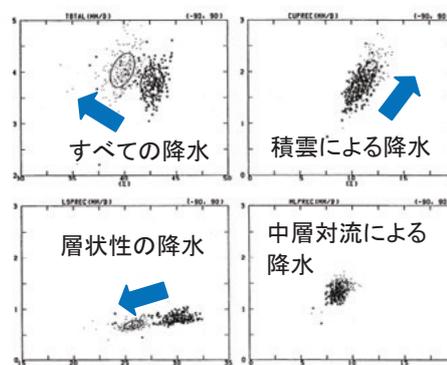
しかし、気候の予測は、今日から続く100年先までの天気予報ではない。天気予報は、大気の流れの中で日本付近に次に来る高低気圧を予測するのが目的であるが、たとえば、地球温暖化予測は、温室効果気体増加後の地球のエネルギー収支で決まる地球の落ち着き先を予測することが目的である。このため、気候モデルでは、地球のエネルギー収支に大きな影響を与える温室効果気体、雲、雪氷、海洋などすべてをもれなく、ひとまず大きなあやまりがないように数値モデル化する必要がある。同じ雲でも、天気予報モデルでは雲といえば降水現象のモデル化であるが、気候モデルでは放射に影響を与える雲のモデル化に多くの注意を払う必要がある(たとえば、Ose(1993))。

3. 過去の気候変動予測研究 —地球はどうなる？

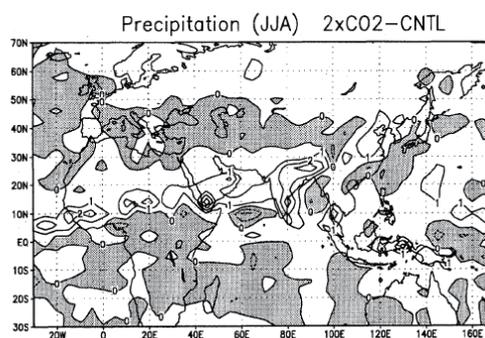
過去の気候変動予測は「もしほんとうに地球温暖化が起きたら」が前提で、ほんとうかどうか21世紀末になるまでわからないと揶揄される研究であったが、国際的にみると温暖化研究はかなり進んでいて、主な結論は今日でも大きな変更はな

い。予測結果は理論的に解析されて説明できる結果であるためだろう。気象研究所の気候予測研究から生まれた成果の中にも、今日の研究につながる重要な予測結果が生まれた。

第1図はNoda & Tokioka(1989)の結果である。層状に広がった雲からのシトシトと降る雨は地球温暖化によって減少し、積雲対流によって降る強い雨が增加することを予測している。Kitohほか(1997)は、降水量がアジアやアフリカのモンスーン地域の内陸部で増加し、地中海など乾燥域ではさらに減少する将来変化を示した(第2図)。



第1図: (縦軸)降水量(ミリ/日)と(横軸)降水面積(%), 現在と2倍CO₂時と比較。Noda & Tokioka(1989)からの引用。文字と矢印(将来変化を示す)は、発表者が追加。



第2図: 2倍CO₂時のアジアの夏季降水量変化。Kitohほか(1997)。等値線は1mm/日ごと。陰影は減少を示す。

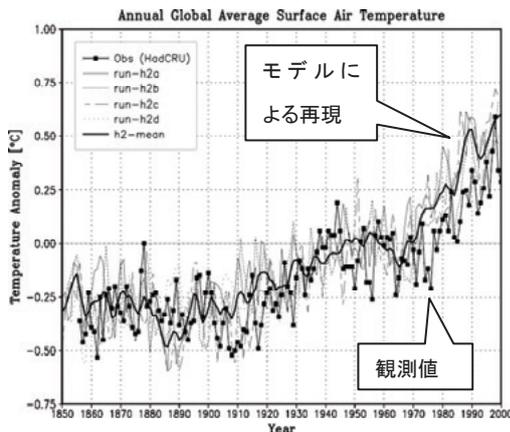
1990年代以前の気候モデルでは、梅雨や夏の太平洋高気圧、冬の低気圧などの表現が十分ではなく、世界には日本列島が無い気候モデルも多かった。気象庁の天気予報モデルを大気モデルとして利用するようになってから、気候モデルの天気表現の性能は一段と高まった。しかし、これが地球温暖

化に対する懐疑的な声が下火になった理由ではないだろう。上昇する地球平均の気温や減少する北極海の海水といった観測事実が、否定しようにも否定できない地球温暖化の証拠となって時代とともに鮮明になったからである (IPCC, 2013)。

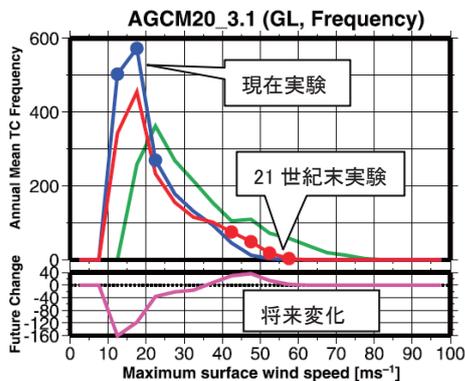
4. 現在の気候変動予測研究 - 精緻化するモデル

1990年代に入ると、これまでにない高温の記録が、世界でいろいろなかたちで更新されるようになった。これは地球温暖化のせい、それともエルニーニョのせい、それとも南岸を通る低気圧からの南風のせいといった議論もあったが、世界の気温の時系列をあとから振り返ってみると、地球は温暖化していたのである (第3図)。

こうなると、気になるのは1980年代以前にどうして地球温暖化が目立たなかったかである。気象研究所を含む世界の研究機関は、気候モデルに火山や人為起源のエロゾルなどの効果も取り入れた結果、1980年代以前の温暖化の停滞も再現できるようになった (Yukimotoほか, 2006) (第3図)。現在、これらの大気化学過程を取り入れた気候モデルは、地球システムモデルと呼ばれる。



第3図: 気象研究所の地球温暖化実験における、地球平均地上気温の再現性。Yukimotoほか (2006) に基づく。



第4図: 最大風速値別の熱帯低気圧発生頻度。現在実験(青)と21世紀末(赤)を比較。Murakamiほか (2012)。

計算機の発達に伴い、日本海側と太平洋側を分ける日本列島の山々や梅雨前線、台風の表現にすぐれた、20kmから2km空間格子の大気気候モデルが利用可能になった。これを応用して、台風や日本各地域の気候の将来予測を目的とする、温暖化影響評価実験 (Kitohほか, 2009) が行われた。台風の発生数は減少するが強い台風は増加すること (Murakamiほか, 2012) (第4図)、降水の無い日も極端降水量も増加すること、梅雨明けが遅れる傾向 (たとえば、Kusunokiほか, 2011) などの結果が得られている。

無降水日や極端降水量の増加については、これを支持する観測データの解析 (Fujibeほか, 2006) も現れて、「暑いだけじゃない地球温暖化」 (高荻ほか, 2012) が見えてきた。

5. これからの気候変動予測研究 - まだまだ残る問題

何度、地球温暖化予測実験を更新しても、地球温暖化は実は間違いでしたということになるわけではないが、これからもその時代の計算機能力に対応して精度を高めた地球システムモデルを開発し、地球温暖化予測実験を含む気候変動の予測研究を続けていく必要がある。まだまだ、多くの不確実性や多くの問題が残されているからである。

世界気象機関などが支援する世界気候研究計画では、地球温暖化に関係した6つの課題を今後探求すべき問題として掲げている。(1) 雲と温暖化感度、(2) 雪氷の減少、(3) 極端気候の増加、(4) 海面水位上昇の地域性、(5) 水の利便性の変化、(6) 10年スケールの気候変動予測である。どれも人類社会にとって重大な影響を及ぼす問題ばかりである。日本では、(7)として地域の気候変化を加えるべきだろう。

6. まとめ

地球温暖化は、もはや疑いようのない事実となった。しかし、予測通りに長期変化傾向が観測されていない現象もある。事実として現れていない将来予測が完全な信頼を得られないことは、学界や社会の健全さを示しているとも言える。これらの現象の変化を重点的に監視しながら研究を続ける一方、「後悔のない対策」を考えることが大切かもしれない。

もうひとつ、この30年ほどで疑いようがなくなった事実がある。それは気候モデルによる数値実験の有用性である。モデル予測実験は、複雑なフィードバック過程を経て決まる気候変動の量的な予測という実用性のみならず、あとで解析すると理解できるものの想定外である予測結果 (弱い台風の減少など) も示してきた。これらは、気候モデルなしに人間の思考だけではとても得られなかった予測結果だと思われる。

理論と予測と観測、新たな研究方法、科学と社会を巻き込んだ気候変動予測研究は、小さなひとつの科学史と言える。