



# 山形 俊男

東京大学名誉教授、海洋研究開発機構アプリケーションラボ所長

専門分野 気候力学、海洋物理学、地球流体力学

## 季節予測を天気予報のレベルに

この度、球惑星科学連合フェローに選出され、大変光栄に思います。1970年代初頭に惑星波動の不安定問題等、回転流体の基礎的な研究から地球惑星科学分野に加わりましたが、その後、海洋循環や大気海洋相互作用を研究する過程で、次第に社会や産業界と対話する機会が増えてきたように思います。地球惑星科学は未知の自然現象を見出し、解明する純理学的な側面と、防災や資源などで社会や産業界に直接的に貢献する応用的な側面を併せ持っています。その両方に自然な形で関わられるようになったのは、この数十年の間に地球規模の観測技術や計算技術が著しく発達し、現象の理解とともに予測科学が進んだためだと思います。これからはますます基礎研究と応用研究の谷間が埋まり、科学と社会の双方向の交流が盛んになるでしょう。ここでは天気予報から私たちの季節予測に至る歴史を振り返ってみたいと思います。

予測科学と社会の交流の著しい成功例は天気予報の歴史にみることができます。天気予報とは大気運動を支配する力学、熱力学方程式系の初期値、境界値問題を解くことであると正しく定義したのはV.ピヤルクネスです。1904年のことでした。1922年にはL.F.リチャードソンが方程式系を差分化し、17世紀のB.パスカルの時代から始と進歩していなかった手回し計算機を使って、天気予報に始めて挑戦しました。複雑な時空間階層構造をもつ気象力学への理解が遅れていたことと計算技術の遅れから、成功を収めることはできませんでしたが、彼は64,000台の手回し計算機を劇場のようなところに用意し、旗を用いて信号を送り合えば天気が実際に進行する前に予測結果を出すことができると考えて、「天気工場」の夢を持ちました。いわゆる「リチャードソンの夢」です。彼は長期予測に向かうには海や陸の境界条件も大気と相互作用する系として取り扱うべきであることも指摘していました。これは後の季節予測に繋がる先駆的な視点です。1940年代後半に汎用コンピュータを開発中だったJ.フォン・ノイマンが最初の挑戦として選んだテーマが天気予報でした。気象学者のJ.チャーニイらと協力し、順圧の準地衡流方程式を用いて世界で最初の予測に成功したの

が1950年のことです。次第に冷戦構造が明確になって、核の冬への恐怖が現実のものとなりつつあった頃でした。N.フィリップスによる二層の準地衡流方程式を用いた計算結果に頼れた大気循環構造を目の当たりにして、核兵器の開発にも関係していたフォン・ノイマンが気候の変化や変動を研究する気候研究所（後の米国海洋大気庁地球流体力学研究所）を構想したのは極めて自然なことだったでしょう

現象の予測には初期値とする観測データが不可欠です。観測データは科学に不可欠な結果の検証にも欠くことはできません。こうした地球観測の充実という面では、1957、58年に行われた国際地球観測年に打ち上げられたソビエト連邦の人工衛星スプートニクの成功を契機とするリモートセンシング技術の発達と1961年の国連総会において米国のJ.F.ケネディ大統領が提唱した世界気象監視システムによる定時定点観測とデータ転送システムの構築を無視できないでしょう。

天気予報はフォン・ノイマンらによる最初の成功からも半世紀以上の歳月が経過しました。地球規模の観測とそれに基づいたスーパーコンピュータによる予測により、1週間先までの天候であればほぼ正確に見通せるようになり、今では社会活動にも産業活動に不可欠なものになっています。科学と技術の進歩が未来予測を可能にし、新しい社会を拓いた輝ける成功例といえます。

私たちが力を入れている季節予測もこうした挑戦の延長線上にあるものですが、最近、かなりの可能性が見えてきました。海洋大循環モデルと大気大循環モデルを結合して、それに太陽の放射を与え、スーパーコンピュータの中で自由に振舞わせると、この人工地球には世界各地に異常気象を引き起こす太平洋のエルニーニョ（ラニーニャ）現象はもちろんのこと、私たちが発見したインド洋のダイボ

ルモード現象、亜熱帯ダイポールモード現象、ニンガルーニーニョ（ニーニャ）現象、カリフォルニアニーニョ（ニーニャ）現象なども顕れます。適切な初期値を与えるならば、その発生予測もある程度可能になってきています。図1に示しましたが、熱帯域を中心に濃い緑色の部分や紫色で染めた地域、海域が多く、予測精度は9ヶ月前からでもかなり良いことがわかります。

季節予測の応用範囲は食に関係する主要穀物の収穫予測、安全に関係する極端現象予測、健康に関係するマラリアなどの感染症発生予測等々、実に幅広いものです。事前の対策も可能になります。フォン・ノイマンらによる天気予報の曙の時代から半世紀以上を超えて、今まさに季節予測の科学が未来社会を拓く時代に入ってきたといえるでしょう。

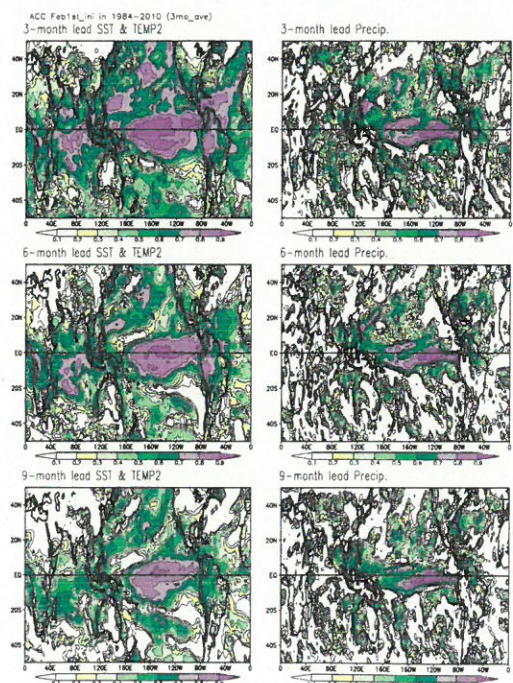


図1. 海洋研究開発機構アプリケーションラボのSINTEX-F気候変動予測システムによる海面水温と地上気温のアノマリーの季節予測精度(左)、降水量のアノマリーの季節予測精度(右)。上段から順に3ヶ月予測、6ヶ月予測、9ヶ月予測を示している。