

アンサンブル予報で予報に信頼度付加

気象予報士（元気象庁） 饒 村 曜

1 天気予報に不可欠な数値予報

場所や高さによって異なる大気の状態は、3次元的な格子点ごとの風向や風速、気圧、気温、水蒸気量などで定量的に表すことができます（図1）。このように格子点上に表された気象要素の時間変化を物理学の法則を用いて計算し、将来の大気の状態を予想するのが数値予報です。しかし、これらの方程式は複雑に組み合わせられており、膨大な計算量が必要な数値解析という方法を用いて解いています。数値予報という名前の由来です。

数値予報の可能性を示したのは、ノルウェーの気象学者ヴィルヘルム・ビヤークネスで、明治41

年（1908）のことです。しかし、その実現のためには大気の状態の三次元的な観測と、膨大な量の計算が必要であり、すぐにできるものではありませんでした。大正11年（1922）にイギリスの気象学者ルイス・フライ・リチャードソンは、この物理方程式を解く方法を考案し、たった一人で手計算を試みました。リチャードソンは、毎日の予報を数値予報で行うことを考えていましたが、コンピュータのない時代の話です。実現のために、6万4000人の計算係を一カ所に集め、指揮者の号令で一斉に計算を行うという、壮大な夢を描いていました。しかし、リチャードソンの試みは失敗に終わり、数値予報は「リチャードソンの夢」と言われました。

この夢が実現されたのは、第二次世界大戦後にコンピュータが作られてからです。コンピュータの生みの親であるアメリカのジョン・フォン・ノイマンと、気象学者ジュール・グレゴリー・チャーニーの協力で数値予報が成功し、昭和30年（1955）には、アメリカの気象局で定常的な業務として実用化されています。

日本では、昭和34年（1959）に当時としては世界最大級のIBM社製のコンピュータを使い、アメリカ、スウェーデンについて世界で3番目に業務としました。老朽化した気象庁の建物の更新より、海にもものとも山のものともわからなかった数値予報の導入を優先したことに、大蔵省（現在の

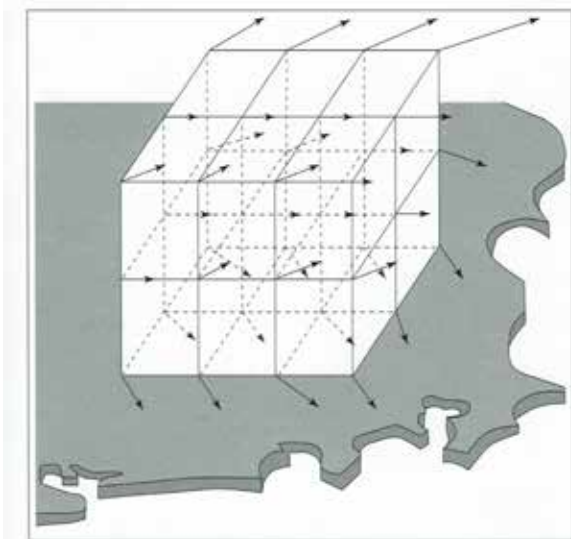


図1 数値予報のための格子の模式図

出典：著者作成

財務省)担当者は、あきれはてたという話が伝わっています。しばらくは精度が悪く、全く使い物になりませんでした。昭和55年(1980)頃になると、コンピュータの能力は飛躍的向上し、また、気象衛星などによる観測網も充実してきました。さらに、数値予報技術そのものが進歩したことなどもあって実用的なものとなり、現在は、数値予報を欠いては、天気予報は成り立たないところにまで進歩しました。

2 数値予報の種類

数値予報は、その利用目的によって、いくつかの種類(モデル)があります(表)。現在、数時間～9時間先の大雨や暴風などの災害をもたらす現象の予報には2km格子の局地モデルと、5km格子のメソモデルを、1週間先までの天気予報には約20km格子の全球モデルを使用しています。また、防災気象情報や府県天気予報など比較的予報期間が短い予報ではアンサンブル予報も併用さ

れていますが、3か月予報など、長い期間の予報は全てアンサンブル予報です。季節アンサンブル予報システムでは、地球全体を大気の様子と海洋の様子を同時に計算する大気海洋結合モデルが使われていますが、この手法を最初に発見し、この功績で令和3年(2021)度のノーベル物理学賞を受賞したのが真鍋叔郎博士です。

一般的に、この格子間隔が小さくすればするほど、予報期間を長くすればするほど、飛躍的に計算量が増えていきます。物理学の法則の数を増やし、より精密に適用すれば計算量はさらに増えます。研究のためなら良いのかもしれませんが、天気予報に使うためには24時間先を計算するのに24時間はかけられません。電子計算機の能力から、数値予報の予測精度の上限が決まっています。

昭和34年(1959)に導入した最初の電子計算機の演算速度を1とすると、平成30年(2018)6月に導入した第10世代の電子計算機は約1兆倍の能力を持っています(図2)。第10世代の電子計算機により、6時間先まで可能だったきめ細かな降

表 主な数値予報モデルの概要

予報モデルの種類	モデルを用いて発表する予報	予報領域(格子間隔)	予報期間	実行回数
局地モデル	航空気象情報、防災気象情報、降水短時間予報	日本周辺(2km)	10時間	毎時
メソモデル	防災気象情報、降水短時間予報、航空気象情報、分布予報、時系列予報、府県天気予報	日本周辺(5km)	39時間	1日6回
			78時間	1日2回
全球モデル	分布予報、時系列予報、府県天気予報、台風予報、週間天気予報、航空気象情報	地球全体(20km)	5.5日間	1日2回
			11日間	1日2回
メソアンサンブル予報システム	防災気象情報、航空気象情報、分布予報、時系列予報、府県天気予報	日本周辺(5km)(21メンバー)	39時間	1日4回
全球アンサンブル予報システム	台風予報、週間天気予報、早期天候情報、2週間気温予報、1か月予報	地球全体(18日先まで約27km、18～34日先まで約40km)(51メンバー)	5.5日間	1日2回
			11日間	1日2回
			18日間	1日2回
			34日間	週2回
季節アンサンブル予報システム	3か月予報、暖候期予報、寒候期予報、エルニーニョ監視速報	地球全体(大気55km、海洋25km)(5メンバー)	7か月	1日1回



図2 気象庁のコンピュータの演算速度の推移
出典：気象庁ホームページ

水量予測（降水短時間予測）を15時間先までに、台風強度予測も3日先から5日先への延長が行われました。

3 アンサンブル予報

アンサンブル予報は、従来の天気予報が一つの初期値から出発する単独予報であるのに対して、実況値にごく近い複数の初期値から出発する複数の数値予報を行い、それを統計的に処理することにより、よりたくさんの情報を得ようとするものです。アンサンブル予報では、初期値、予報結果をある決まった値と考えるのではなく、ある広がりをもった有限個（メンバー数）のかたまりと

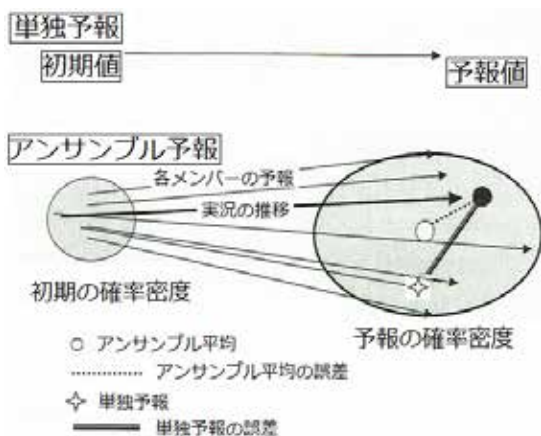


図3 アンサンブル予報の説明図
出典：気象庁ホームページ

考えます（図3）。そして、全メンバーの中で平均をとったり、予報結果の類似しているものおしを集めてグループに分け、その平均をとったりします。グループ毎の平均のばらつきが小さいほど、信頼度（スキル）が高いことに相当しているからです。このように、アンサンブル予報結果に基づき、統計的な処理をすることで、最良の予報値や予報誤差などを推定することができます。

ただ、一つの数値予報でも膨大な計算を必要とするのに、たとえば21回計算を行うアンサンブル予報（21メンバー）では、普通の数値予報を行う場合の21倍の計算機を必要とします。

図4～図6は、気象庁が専門家向けに提供している図の一部です。令和4年12月18日21時の観測値をもとにしての8日先（192時間先）までの上空約1500mの気温偏差予想図で、現在の平年よりは低い気温が21日に向けて上がってゆくという予想は、札幌、館野（つくば市）、福岡共に揃っています。そして、那覇では、22日以降は、バラツキが小さく、気温は平年より低く推移するという

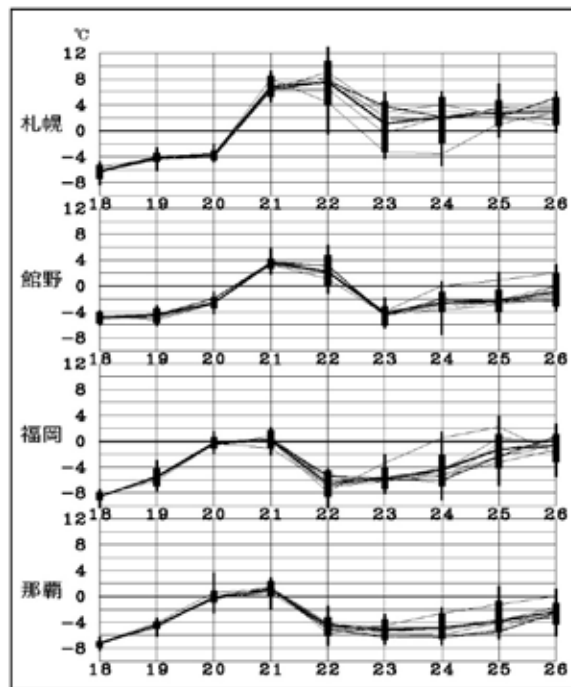


図4 上空約1500mの気温偏差予想（クラスター平均）
縦太線は80%、縦帆祖先は全メンバーの範囲
出典：ウェザーマップ提供

予想です。しかし、札幌は、21日以降バラツキが大きくなり、特に、22日と23日は大きく、予報の信頼度が低くなっていますが、気温は平年より高めに推移する予想です。

そして、これらのアンサンブル予報の平均を使って地上天気図を予想したのが図5ですが、22日21時の地上天気図の予想（上段中央）で北海道

付近にある低気圧の予想精度は低いということがわかります。

また、図6は、令和4年12月14日21時を初期値とした一ヶ月先までの気温変化傾向をみたものです。これによると、北日本は12月17日に大きく気温が下がるものの、12月下旬は平年より高くなるという傾向にはバラツキがありません（北海道付

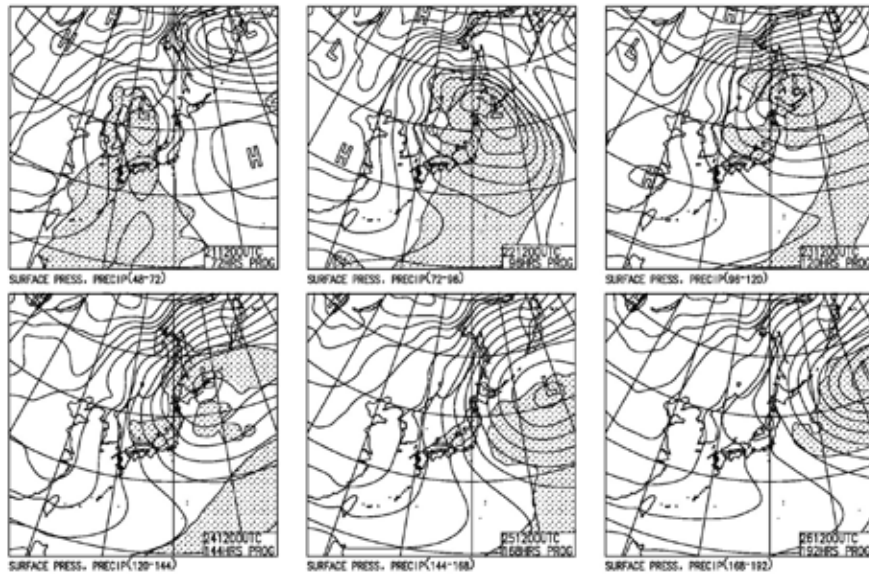


図5 予想天気図（上段左上から12月21日、22日、23日、下段左から24日、25日、26日の予想）

出典：ウェザーマップ提供

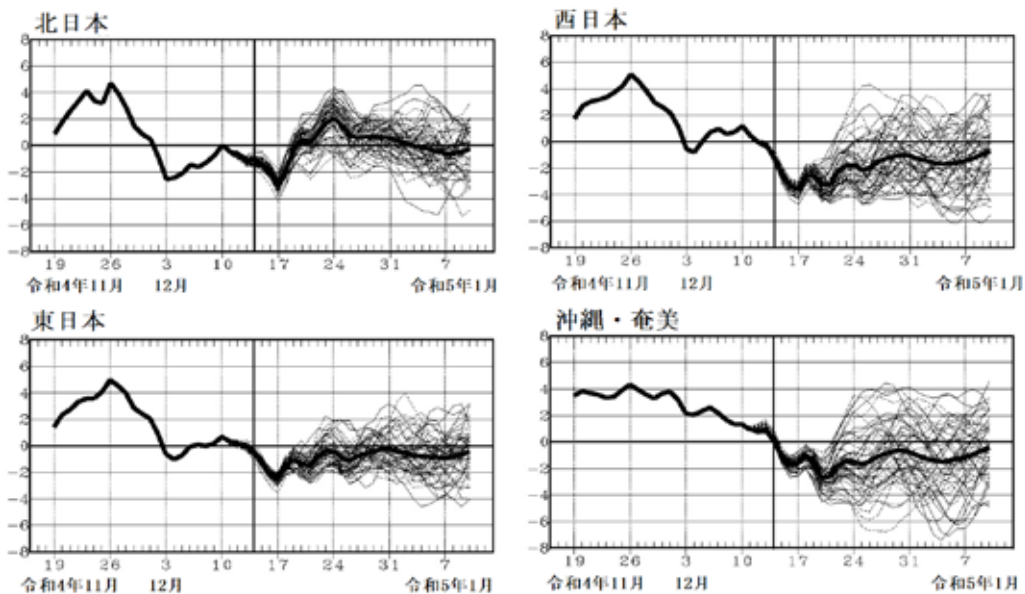


図6 アンサンブル予報による上空約1500mの気温変化傾向（令和4年12月14日21時を初期値とした一ヶ月予報）

出典：ウェザーマップ提供

近の低気圧の位置がずれても暖気が入るという予想の精度は高い)。これに対し、西日本や沖縄奄美地方は、中旬に気温は平年より低くなったあと、下旬は平均すれば、気温は低く推移しますが、バラツキが大きく精度が低いと考えられます。

アンサンブル予報の利用は近年拡大しています。

図7は台風進路予報のアンサンブル予報ですが、これをもとに予報円の大きさが決められていますので、台風の進路予報は、信頼度が分かるものが付いた予報ということができます。

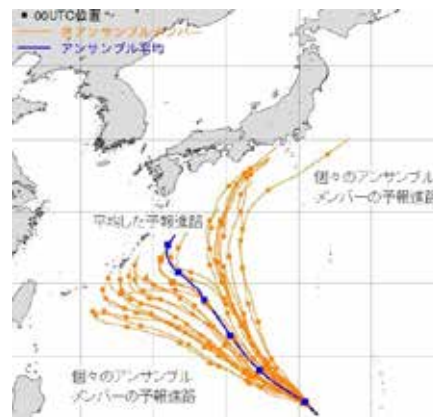


図7 台風進路のアンサンブル予報の例（平成25年（2013）10月19日3時を初期値とする台風27号の予報）

出典：気象庁ホームページ