

## —夏期大学講座内容②—

## 数 値 天 気 予 報

札幌管区气象台技術部 北 出 武 夫

## はじめに

最近天気予報は昔と比べると随分当るようになってきました。それはどうしてなのでしょう。皆さんは新聞で地上天気図をよくみかけると思いますが、天気予報をする時の最も基本的な技術は予想天気図を描く事でしょう。予想天気図はどのようにして描かれるのでしょうか。現在の天気図を描く事は、様々な所で観測された地上気圧の値を地図の上に入力し、等値線を描き入れる事によって行う事ができます。しかし将来の天気図はどのようにして描けるのでしょうか。1つの方法は昨日の天気図と今日の天気図を比べてどのように変化しているかを調べ、今日から明日にかけてどのように変わるかを予想する方法です。これが昔行われていた方法ですが、主観的な方法なのでその精度は予報官の経験と能力におおきく依存するとともに自ずから限界があります。ここでは最近気象庁で行っている、数値天気予報というもっと科学的な方法についてお話しします。この方法では超高速のスーパーコンピュータを使って明日の天気図を数値計算によって描くのです。明日の天気図だけではなく、明日どこで何ミリの雨が降るかも計算で求める事が出来るのです。それは物理学の基本方程式をスーパーコンピュータで解いているのです。この数値予報の原理と結果を皆様に紹介いたします。

## 数値予報の原理

天気の変化をもっと大きな目で見てみましょう。最近では衛星による雲画像がテレビ等でおなじ

みになりましたから、天気の変化の全体像をつかみやすくなりました。まず丸い地球と太陽を思い浮かべて下さい。地球の上には空気があります。この地球規模で考えた空気の事を大気とよびます。我々が影響を受ける天気現象は主に高さ10km以下の大気の運動や変化によって起ります。それより上にいきましたと空気は薄くなって、天気の変化にはあまり影響しなくなるのです。地球の半径は約6400kmありますので、大気というのはとても平べったいものです。太陽光が地球にやってくると、まず地面や海面を暖め、さらに大気を暖めます。しかし地球は丸いので赤道方面が最も強く暖められ、南極や北極はほんのすこししか暖められません。空気に暖かいところと冷たいところが生ずると空気の流れが生ずる事は皆様よく経験する事だと思います。同じ事が大気にも起ります。この流れを風とよんでいます。天気を構成するもう1つの要素として雲があります。大気中には水蒸気が含まれていて、これが凝結して雲になり雨を降らせます。凝結が起ると凝結熱が出る事は御存知の事と思いますが、この熱によってまた空気の流れ、すなわち風が起ります。このような空気の流れや水蒸気の相変化が、天気の変化を構成しています。従って天気を予想するためにはこの空気や水蒸気の変化がどのように起るかを理解しなければなりません。

皆様は流体力学の方程式という言葉聞いた事はないでしょうか。これは物理学の基本方程式で、空気のような流体がどのように変化するかを記述した式です。簡単に言えば、風速の変化は空気に

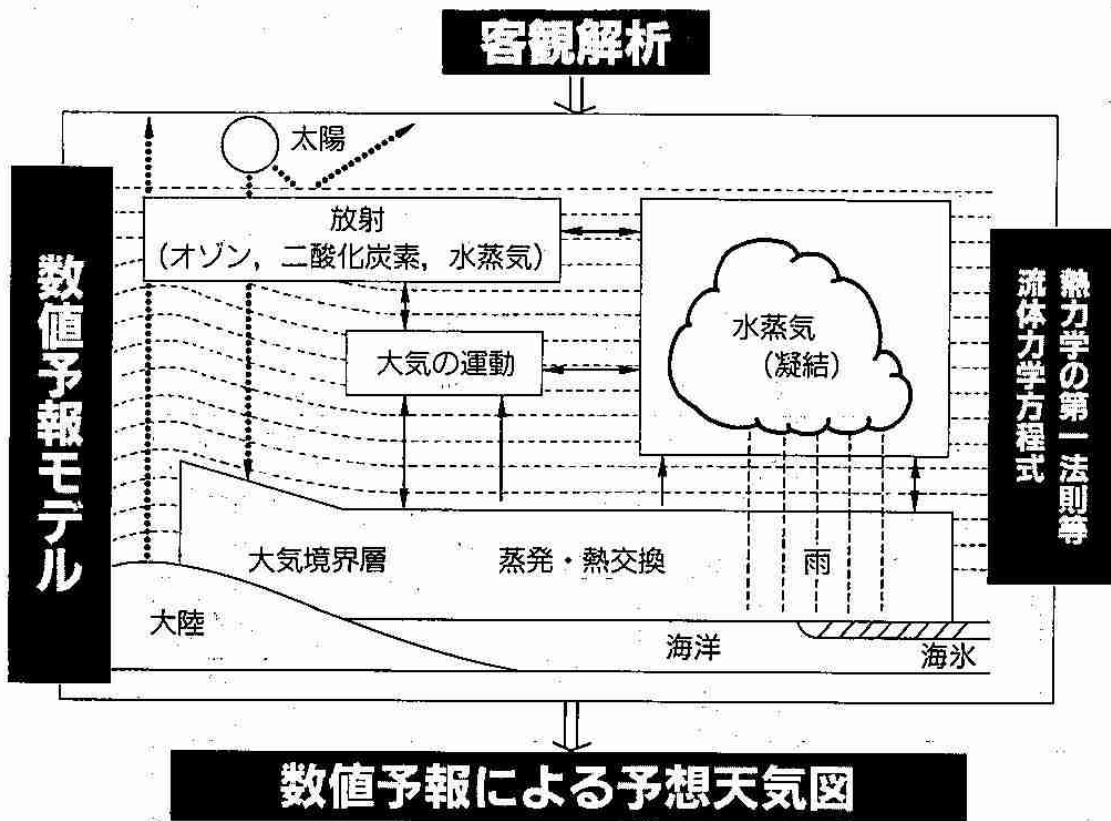


図2-1 数値予報モデルの概念図

加わる力に比例するというものです。気圧が場所によって変わると気圧の高い方から低い方に力が働きます。この力を気圧傾度力と言い、これが空気に働く力です。流体力学方程式は剛体の場合にはニュートンの運動方程式と呼ばれているものですが、流体の場合には流れる効果を表す移流項が加わります。また大気の場合には地球が自転しているのでコリオリカというみかけ上の力が加わる事になりますが、基本的には運動方程式を表したものです。この式で気圧傾度力が分かれば、風の変化を知る事が出来ます。では気圧の変化はどうして知る事が出来るのでしょうか。気圧と言うのはその空気の温度と密接な関係があります。従って気圧の分布を知るには温度の分布を知る必要があります。上に述べましたように、空気の温度は太陽からの熱や雲が出来る時の凝結熱によって変化します。このことを物理学では熱力学の第1法則といいますが、これを表した式を解く事によって温

度の変化を知る事が出来ます。太陽からの熱がどの程度来るかは知られているのですが、雲によって生ずる凝結熱を知るためには、どこでどれだけの雲が出来るかを知らねばなりません。そのためには空気の湿り具合を知り、それがどのように変化するかを知らねばなりません。そのために空気中の水蒸気の変化を表す式を使います。空気中の水蒸気は海面等からの蒸発によって増え、降水(雨、雪)によって減りますが、さらに風に流されて変化します。この事を表現する水蒸気の保存の式を解く事によって、水蒸気の変化を知る事が出来ます。以上の流体力学の式、熱力学の第1法則、水蒸気保存の式は、相互に関係していますので、それらの式を連立させて解く事により、将来の風、気圧、温度、水蒸気の分布を求める事が出来るのです。気象観測から得られる現在の状態(初期値)と地球の海陸分布や山の分布(境界値)を与えてこれらの式を解きます。しかしそれらの

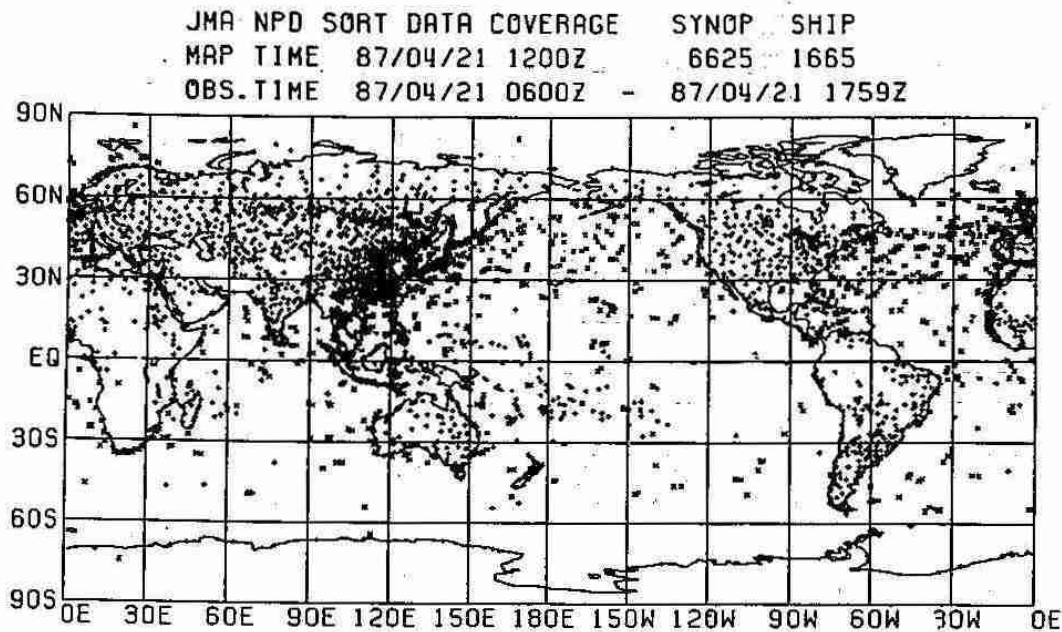
式はとても複雑なので、実際に解くためには超高速のスーパーコンピュータを使い、数値的に解いています。

以上が数値予報の原理です。これを模式的に表したのが図2-1です。このように数値予報は物理学の基本的な法則に基づいていますのでとても

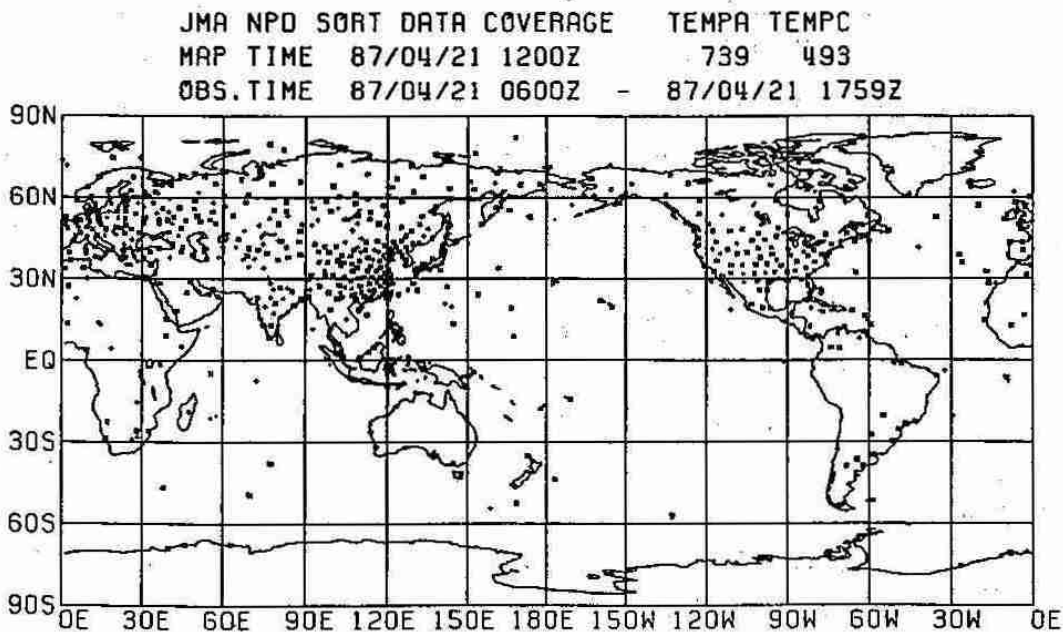
正確なのです。このように科学的な方法によって予想天気図が作れるようになったため、天気予報の精度は飛躍的に良くなったのです。

### 数値予報の実際

#### (1) 現在の天気図（初期値）の作り方



(a) 地上観測点及び船舶により観測された場所



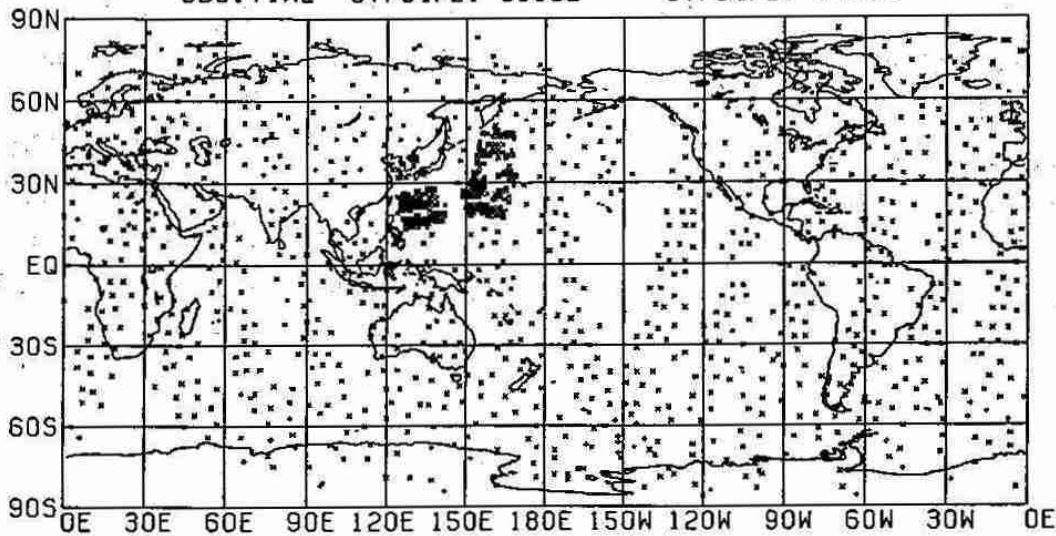
(b) 高層ゾンデ観測点

図2-2 1987年4月21日午後9時に気象観測が行われた場所

予想をするためにはまず現在の状態を知らねばなりません。これは気象観測によって得られます。風向、風速、気圧、温度、湿度等の要素を数値予報では使います。天気図を描くためには色々な場所の観測が同時に行われなければなりません。国連の世界気象機関では、世界の色々な国の気象観測が一斉に行われるように勧告しています。グリニッジ時刻の0時と12時（日本

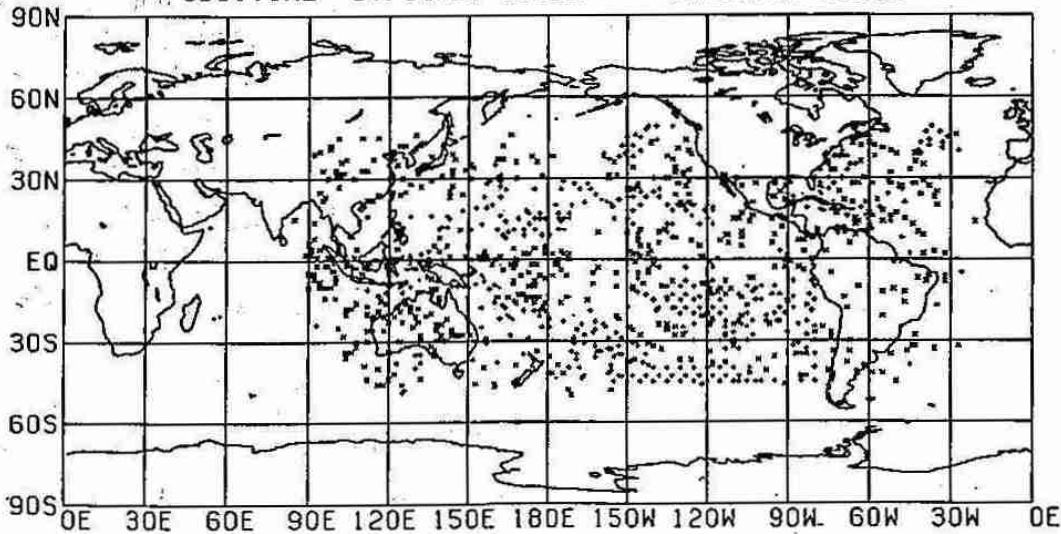
時間で午前9時と午後9時）が、標準的な観測時刻です。図2-2(a)は1987年4月21日午後9時頃に地上または船で観測が行われた場所を示したものです。数値予報を行うには地上だけではなく上空の観測が必要です。図2-2(b)はゾンデによる高層観測が行われた場所を示しています。そのほかに人工衛星による温度や風の観測値がえられた場所が図2-2(c)

JMA NPD SORT DATA COVERAGE SATEM  
 MAP TIME 87/04/21 1200Z 1238  
 OBS. TIME 87/04/21 0600Z - 87/04/21 1759Z



(c) 衛星により温度のデータが得られた場所

JMA NPD SORT DATA COVERAGE SATOB  
 MAP TIME 87/04/21 1200Z 981  
 OBS. TIME 87/04/21 0600Z - 87/04/21 1759Z



(d) 衛星により風のデータが得られた場所

図2-2 (続)

(d) に示されています。これらの観測値は全世界から東京にある気象庁に全球気象通信網を通して集められています。それらのデータは観測してから約2～6時間で集ります。これらのデータから全世界の天気図を作る事が出来ますが、それは現在では人手で行うのではなくコンピュータで描かせています。図2-2で示したように観測する場所は規則正しく並んでいるわけではありません。それを図2-3が示すような規則正しい格子上の値に内挿して、コンピュータで取扱い易くします。地球全体を規則正しい水平の格子で覆うばかりではなく、鉛直方向にもたくさんの層をとり、大気の鉛直の構造を表現します。このような規則正しい格子点上の値が与えられれば、それから等値線を描き天気図を作る事はコンピュータにはお手のものです。この操作を客観解析とよんでいます。これが現在の天気図を作る話ですが、次はいよいよ予想天気図を作る話に入りましょう。

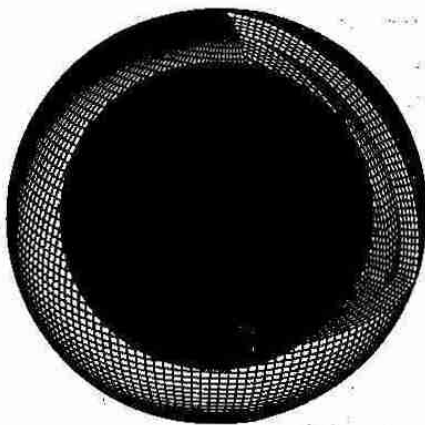


図2-3 数値予報に使われる格子点の例。水平及び鉛直方向にそれぞれ格子及び層をとる。この例では水平には約110km毎に格子がとられ、層の数は21とってある。格子の総数は約100万個である。

(2) 予報天気図の作り方

数値予報の原理のところでも述べたように将来の風速、風向、気圧、温度、湿度を物理学の基本法則を解く事によって求める事が出来ます。これは図2-3に示した格子の1点1点で方程式を解く事によって行われます。この格子点の数は約100万個ありますが、その点の数だけ方程式を解くと、現在から約10分後の各気象要素の値を求める事が出来ます。さらにその後の状態を求めるために同じ様な計算を繰返し、144回繰返せば1日後の状態を求める事が出来ます。このように1日後の予想値を得るためには数億の方程式を解く計算が必要なので、非常に高速な計算機が必要なのです。このようにして得られた1日後の格子点の値をもとに1日後の予想天気図を描く事が出来るのです。現在気象庁では1日後どころか8日先までの全世界の予想天気図を作り、毎日の天気予報や週間天気予報のために使っているのです。

数値予報の実例

(1) 地上気圧の予想

図2-4は1988年3月11日朝9時の地上気圧

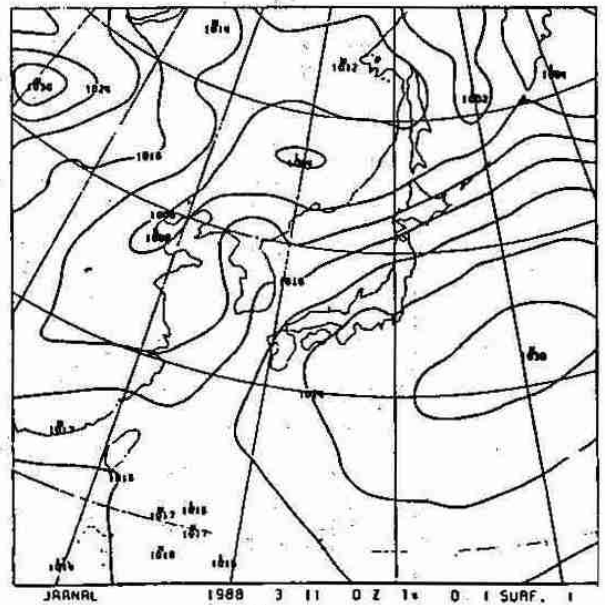


図2-4 1988年3月11日午前9時の地上気圧天気図

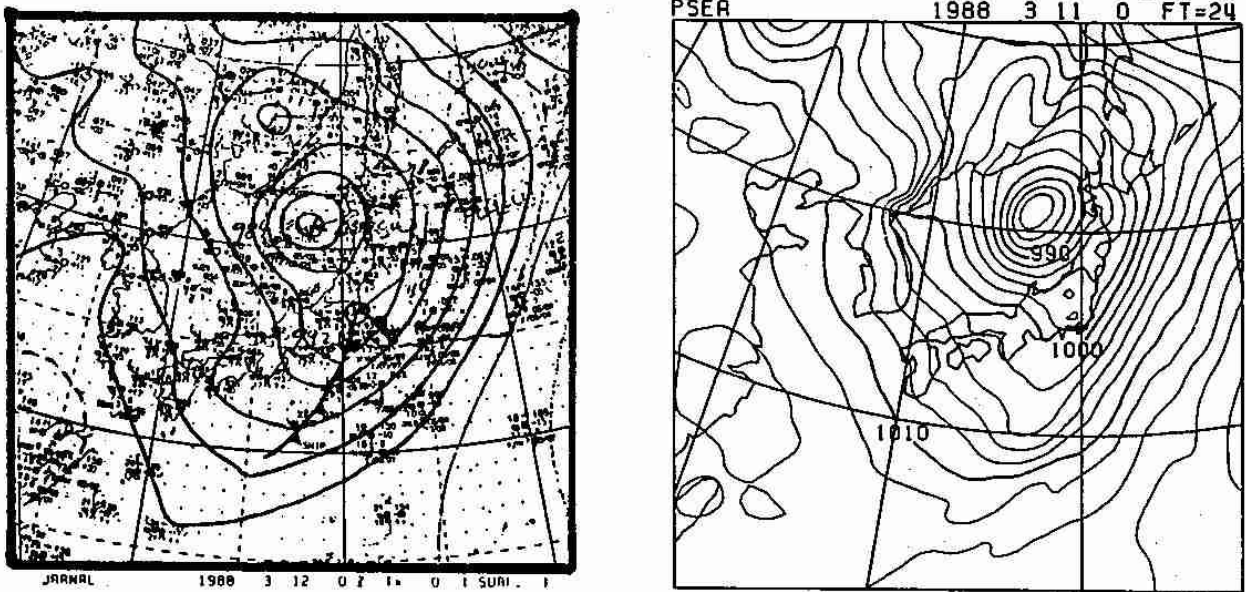


図2-5 1988年3月12日午前9時の地上天気図と1日前の初期値からの24時間予想図

天気図を示しています。中国大陸に1004mbの弱い低気圧があります。その後この低気圧はどのように変化したでしょうか。1日後の実際の地上天気図とそれに対する予想天気図を図2-5(a)(b)に示します。図2-5(a)から分かるように低気圧は日本海で急激に984mbにまで発達して日本列島に悪天をもたらしました。これに対する予想天気図は図2-5(b)に示されています。この急激な低気圧の発達が予想天気図でかなり正確に予測されているのが分かります。低気圧の位置や深さがかなりの精度で予測されています。このような急激な発達の予測は昔は殆ど不可能でした。気圧の分布だけでなく、気温や風の予想値が数値としてあらゆる場所で得られますので、天気だけではなく強風や温度の予想も数値予報によって得る事が出来ます。

(2)上層の予想

「数値予報の実際」のところ述べたように、数値予報では水平にも鉛直にも格子や層をとって、そのあらゆる点での風、気圧、温度、湿度を計算しますので、地上だけではなく上層の予

想天気図を作る事が出来ます。上層の風や気圧、温度の予想値は上空を飛ぶ航空機にとってとても役に立つ情報なのです。航空の安全のためには上空の悪天域を予想してパイロットに知らせます。また上空の風の分布を予想する事は航空機の飛行コースの決定に重要な情報になります。このように数値予報のプロダクトは天気予報だけではなく航空機のための重要な情報となっているのです。

(3) 雨の予想

数値予報では風、気圧、温度、湿度だけではなく、その計算の過程で雲がどこで発生し、どの程度雨を降らせるかを計算で求めます。予想された雨と実際に降った雨量を対比して示したのが図2-6です。左側の図はアメダスで観測された6時間雨量の分布を6時間毎に示しています。海上には雨量計はないのですが、海の上にも値が示してあるのはレーダー観測から推測したものです。右側の図は数値予報によって予想した6時間雨量の分布を示しています。九州にあった強雨域が四国、東海と進んでいるのがよく予想されているのが分かります。

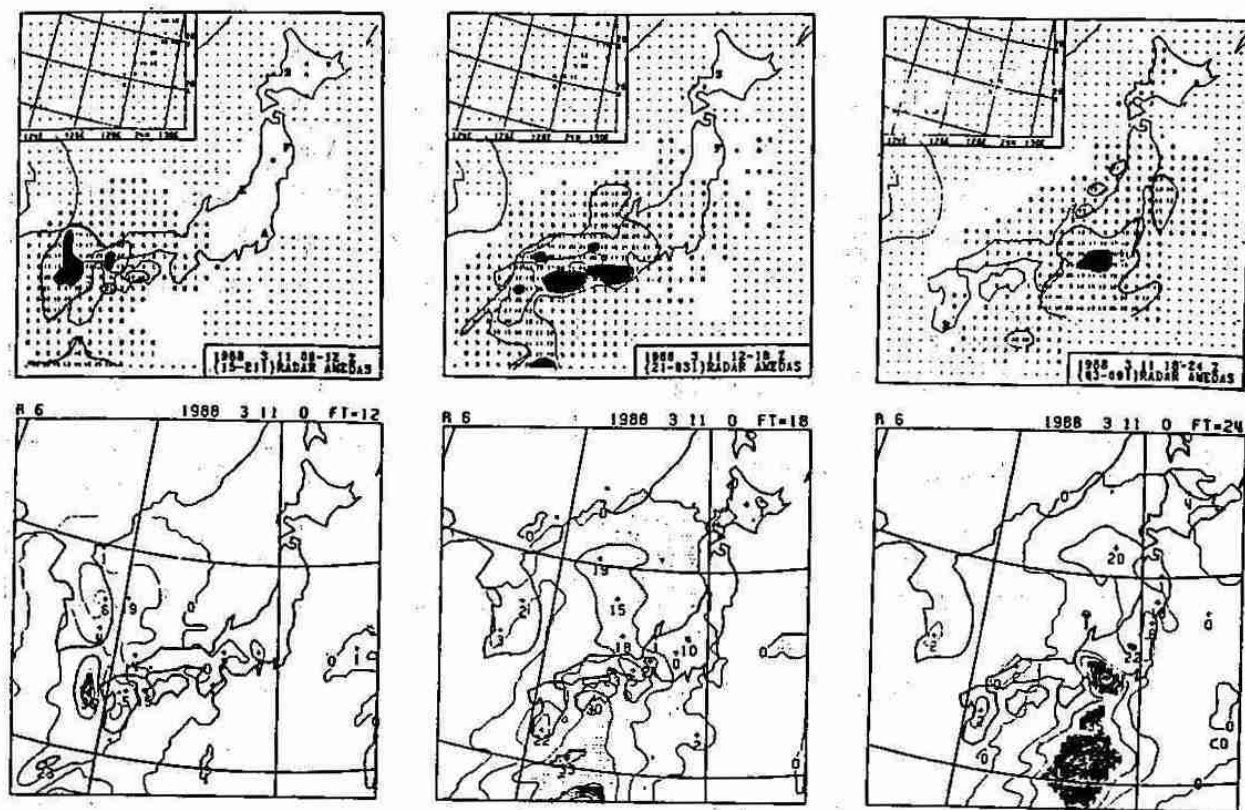


図2-6 1988年3月11日午後3時から3月12日午前9時までの6時間毎の6時間積算降水量(上側)とそれに対する数値予報による予想降水量(下側)

#### (4) 台風の影響

台風は熱帯地方に発生するとともに強い低気圧です。夏や秋には日本に近付き、大きな被害をもたらす事があります。このような台風がどのように移動し、どこで強風や大雨を降らせるかを数値予報で予想する事が出来ます。このように数値予報は防災にも、とても役に立っているのです。

#### まとめ

数値予報の技術のアイデアは1922年に既に考えられていましたが、実用化されたのは、1960年代以降の事です。世界的な気象観測網の充実と最近の電子計算機の発達とともに急速に発展してきた最新の技術です。数値予報の精度は用いる格子の間隔が小さくなればなるほど良くな

ります。しかし格子の間隔を小さくすると格子の数が増えて、必要な計算量や記憶容量が増えます。そこで数値予報を行うためには超高速の大型スーパーコンピュータが必要なのです。最近の電子計算機の技術は5、6年で計算機のスピードが1桁速くなるほどの速さで進歩しています。従って数値予報の精度もこれからますます良くなって、よりきめの細かい正確な天気予報が出せるようになっていくでしょう。

#### 【参考文献】

- 岸保勘三郎 1968：数値予報新講、地人書館、180ページ
- 増田 善信 1981：数値予報—その理論と実際(気象学のプロムナード3)、東京堂出版、278ページ