

〈特別講演〉

天気予測の現状と将来†

斎藤直輔*

1. 予測の対象

ここで、私は天気予測に従事する者が持つ問題とその分析を試みたいと思います。

まず、われわれの予測の対象とは何かをのべておきます。実は、われわれの予測の対象は漠然としたものであって、それだけにまた誤解されやすいものなのです。もちろん、予測の究極の対象は「天気」ですが、現実において天気そのものが直接的な、あるいは第一的な予測の対象、つまり、われわれが用いる予測方程式のなかに明示されてはいないのです。天気を直接的な対象となしうるほどにわれわれの技術は進歩していないのであって、これは奇異な感じを与えますが、以下の解説でこの「天気」というものがどんな過程を経て予測されているのかがおわかりになると思います。

天気は大別すれば、晴れ、曇り、雨、となりますが、天気そのものの定義は定められてあって、晴れとは全天の雲量が80%以下の場合、曇りとは90%以上の場合、雨とはもちろん、観測時に雨が降った状態というふうに便宜上定めています。

しかし、雲量や雨は時間、空間的に変化するもので、細かい変化をくわしく表現するのは困難であり、ましてそうした細かい変動を予測することはできないので、平均的なもの、あるいは限られた点での状態でもってある領域を代表するほかはないのです。代表点では1日のうち何時間は晴れであったとか、雨はいつからいつまでとか、厳密に定義されていますが、一般の天気予報は、ある広がりをもった地域が対象ですから、個々の人々が自分の場所で体験する天気と、代表点での天気が同一であるというわけではなく、発表の形式も内容もある程度、漠然としたものにならざるをえないのです。

そして、われわれの予測の発表、つまり情報としての天気予報は、晴れ、曇り、雨のいずれか、あるいはその組み合わせとして表現されています。しかし予測を作る過程においては、雲量とか降水量そのものが直接の対象とはなっていないのです。

予測の基礎としてわれわれが取り扱う物理変数は温度と気圧と運動量であって、最近になって水蒸気も取り扱えるようになりました。そして雲量を決定するものは温度と水蒸気量と三次元的

† 1973年1月9日受理。1972年4月、春季研究発表会講演要旨。

* 気象庁予報部。

な運動の複雑な組み合わせと理解してきたのです。雲量そのものは観測量なのですが、それはただちに予測可能な量ではなく、雲自体は水蒸気の相の変化として生ずるもので、その相の変化には、飽和や凝結や蒸発、あるいは過冷却、過飽和というようなさまざまな物理過程が関与してくるのであって、ここにおいて予測の方法論が二つに分かれてくるのです。

2. 予測の方法論

一つはそうした物理過程を忠実にたどってその結論として雲量を決定する立場であります。雲量そのものは前述のような複雑な過程を経ており、現在の知識ではまだ不確定な要素が多過ぎます。そこである簡単なモデルでおきかえ、われわれの基本的な物理変数を用いてパラメタライズをして、雲量と温度と湿度との間にある関係を設定していくのです。ここでも無限に微小な変化があり、究極的にはある種の統計的状態の関係ではありますが、その基本となるものは物理や流体力学の諸方程式を直接積分して将来の状態量を決めていくというやり方があります。

もう一つの立場は、そういう複雑な仕組みを一つ一つたどって予測するのではなくて、観測された雲量自体のみならず、天気そのものを他の概念、たとえば高気圧や低気圧、あるいは不連続線や気団というような一種の総合概念と結びつけて予測するものであります。それはあたかも、ある集団の動向を予測するときに、その集団を動かしている個々の要素の運動を克明にたどる代わりに、集団のふるまいのパターンそのものを観測して、パターンの変化そのものを予測することに似ています。しかしながら気象の場合は、たとえば気圧のパターンが同じであっても同じ天気となるとは限らず、いわば、集団の形態のみでは事は決まらず、形態の質が関与してくるので問題はいつそう複雑化してくるのです。

前にもふれたように、われわれの自然のとらえ方そのものにはさまざまな不確定要素がはいってきます、われわれは自然の状態を空間的にも時間的にも、discreteな状態にとらえる以外はなく、したがってある限られた大きさ以外のものは表現しにくいのです。さて、ここで申しました総合概念は、時間を含めた四次元空間のなかの気象要素と気象現象の分布状態から帰納されたものであって、それは、しばしば組織と名づけられるほどに規則的で特徴的な分布の仕方をとるのであって、まったくでたらめということではなく、一定の大きさと寿命のあるパターンを呈するのです。その一例はもう毎日の新聞などの天気図でおわかりのことと思いますが、そこには、個々の地点の観測値そのものではなく、観測値から、ある秩序だった組織を分析して作った気圧分布や不連続線の分布が示されております。

一般に高気圧や低気圧と呼ばれるものは、単に気圧の高いとか低いとかいうことだけでなく、風や温度、あるいは天気や分布とも関係づけられる総合的な概念となっているのです。前にも述べたように、現在一般に用いられる予測法は個々の天気図上に作りあげた組織で現実の天気構造を秩序づけ、次に組織自体の動きを予測し、それにもとづき、そうした組織分布から最も期待されるべき天気を考察する立場をとっています。

なぜ、かくも組織的な分布をとるのか、あるいは、こうした組織の運動を支配するものは何か

という力学的諸問題を解きつつ予測するにはあまりにも手数がかかるので、その代わりに天気図上で組織分布の変化する様子を見ていくというやり方で、これは毎日のルーチンの手仕事として多くの気象台で採用されてきた方法で、総観法 (synoptic method) と呼んでおります。分布図の解釈、パターンの外挿、あるいは概念のあてはめ方に主観性はいり、物理的概念の適用というよりも不完全な経験的判断や飛躍的な関連づけという欠点はある程度さげられません。このうちで最も原始的なものは、気圧組織に特有な天気を与えてしまうことでした。通俗に知られているのが高気圧は天気がよく、低気圧は悪いという便宜的なものであります。実際はそう簡単なものでなく、気圧分布が与える気流の場と、そうした気流の性質から天気を推測するというように、しだいに洗練された解釈をするようになりました。とくに組織を作りあげるのに用いる要素はしだいに三次元的、力学的なものになりつつあり、どうすれば現実の天気分布をうまく代表できるかが総観法の主要な問題なのです。近年は気象レーダーでとらえる雨の領域とその変化をも総観解析のなかにとり入れる研究も着実な進歩を示しており、組織の構造やその概念も新しい展開がなされておまして、総観法はけっして完成されたものでなく、人々の関心や解析手法の変化とともに常に新しい問題を含みつつあるのです。



講演する斎藤氏

雨についても同じことがいえるのであって、明日は曇りになることは一応わかっても、雲からの降水が地面にまで達して雨になるか、曇りのままなのかを決定的に判断する手がかりはありません。雨のふるメカニズムはおぼろげながらわかってきましたし、その物理的予測モデルは現在作られつつありますが、それは自然の雨が作られていく過程の忠実な表現というよりも、さしあたってわれわれが取り扱える簡単な概念、つまり上昇気流や水蒸気の飽和というような非常に単純化されたモデルによる結果と実際との対比なのであります。

ここでも自然の雨の形成は当分の間、われわれにとって知りえないが、現在手に入れることのできる水蒸気量の分布とか、単純化はされていますが、一応方程式の解として計算し、量的にも予測可能なモデル的な大気の三次元的な流れの状態でもって関連づけをしながら、近似的な表現を試みようというのです。

ここでも自然の雨の形成は当分の間、われわれにとって知りえないが、現在手に入れることのできる水蒸気量の分布とか、単純化はされていますが、一応方程式の解として計算し、量的にも予測可能なモデル的な大気の三次元的な流れの状態でもって関連づけをしながら、近似的な表現を試みようというのです。

3. 気象の組織

われわれの気象の組織にはいくつかの重要な性質があります。一口で申しますと、それはけっして閉じた系でなく開いた系である点が予測をいっそう困難にします。つまりこの組織は生成から発展、衰弱というような過程をとり、組織を形成する空気は常に変わりつつあるのです。同時にまた、それはいくつかのより小さい組織からなる複合体と考えるほうが解釈しやすい場合があ

ります。たとえば、ある天気分布をみると、雨は低気圧の全域に一樣に降っているのではなく、いくつかの小さい区域に分散し、その強さもちがっています。これをどう解釈するかに問題がありますが、大きな低気圧のなかに何個かの活動的な小さな組織があるという解釈もできるのです。

小さな組織は空間スケールが小さいと同時に、その寿命時間も小さく、その生成、消滅が大きな低気圧全体のなかにおきているとみるのが妥当のように思われます。つまり低気圧自体の微細な構造は常に変化しているのであって、小さな組織と大きな組織の特徴がさまざまに組み合わさって多様な天気分布を作るのであります。したがって厳密に申しますと、そうした小スケールの現象を完全に把握しなければ、大きな組織の特性を完全に規定できないのであって、総観法がもつ一つの自己矛盾、あるいは限界があるのです。つまり、その細かい状態が不確実な大きな組織の動向をいかに予測しても、そのなかの細かい変化の予測はできないのであって、それは間接的なあるいは経験的な推測によるものとなり、予測の精度が落ちるのがさげがたいのであります。

ここに、われわれは現象の時間的、空間的スケールの概念に直面します。明日の現象を予測するときには予測の対象が少なくとも24時間以上の寿命を持つものであることが望ましいわけです。それより短い寿命の現象と、長い時間スケールの現象と同じ予測法（たとえば総観法）で同程度の精度で予測することはできないのです。たとえば今日の9時にすでにある低気圧の存在がわかり、しかも昨日の状態もわかっているとしますと、明日のその位置は一応予測できます。ところが今日の午後3時頃に雷雲が低気圧内に発生し夜の9時に消滅したとします。われわれは朝の9時の時点では雷雲の存在を知りませんから、その予測は大きな組織である低気圧自体の予測にくらべれば、確実性の度合は小さくなりますし、それは単に低気圧の位置の予測だけでなく、その構造、特性、あるいは地面との熱作用などさまざまな要因をも考えた、より複雑な過程の予測でありますから、不確実性がつぎつぎとはいつてきます。しかしこの雷雲は明日の9時には存在しませんから、大きな組織自体の明朝の状態の予測そのものを狂わせることはまずありませんし、そうした雷雲を考えなくても低気圧の位置や形態の予測はできます。したがって第一「近似」として、小さい現象は考察の対象から除くか、あるいは大きな組織の特性として別種の予測を試みるのであります。しかしそれだからといって、小さい現象が重要でないという意味ではありません。もし先ほどの雷雨が非常につよい雨をふらせ、川が氾濫したり、雹が降ったりして災害をおこすかもしれません。したがって予報者たるものは、朝の9時において今日の午後にかような大雷雨の発生の有無をある程度予測せねばならぬのです。前述のごとく大きな組織とは、これは異なる性格ですし、大きな組織の動向やマクロな構造が正確に予測できても、それでもって決定的に未だ実在しない雷雨の発生の有無、その強さまでを規定するものは得られないのです。幸い近年は気象用レーダーでもって雷雨の発生がとらえられますから、それをもって、大雷雨となるかどうかの監視はできるようになりました。したがってかような短時間の気象変化の情報の取扱い方は、1日先の予報とは当然変わらねばならぬのです。

4. 気象のスケール

さて、先ほどのスケールの問題に立ちもどりまして、現象、あるいは気象要素は時間的な変動をしますが、もしわれわれがそれらを不連続に観測したため、あるいは測定で得られた変化から比較的長期間の変動をある意図でもって抽出したとします。つまり寿命の長い大きな組織を抽出または定義し、それからのずれは短時間の変動、あるいは乱れとして取り除くことは、その乱れの大きさがより長周期の変化の振幅にくらべて小さい限りは長期間の予測には賢明なやり方なのです。しかし、大きなスケールのもののみを抽出することにはさまざまな問題があります。

第一に、大スケールのもののみを純粹に抽出するにはどうすればよいか。あるいは自然は元来、われわれが考えるような判然たる階級性を都合よくそなえているかどうか疑問です。われわれがある操作により抽出したものは、当然その操作に依存します。天気図上に解析し定義する高・低気圧というような組織は、常にかかる一種の平均操作（つまり小変動を除いて）で作られていますし、何よりも各観測点における観測値の関連づけという操作が大前提になっています。したがって抽出の仕方、考察の対象としての要素や現象のえらび方、つまり総観法における組織の定義の仕方はまったく客観的であるというわけにはゆきません。ここに解析上の見解の差が生まれ、実体のとらえにくさの故におこる概念の不確かさ、混乱があるのです。当然、客観化の要請が生まれますが、客観化とはなんでありましょうか。

ある量を定量化した時系列として取り扱ったとしても、その量自体、つまり、どんな量をえらべば自然をうまく表現できるのでしょうか。仮に、えらんだ量をいくら正しく時系列解析をしても、その量が自然のふるまいを正しく、十分に代表するものでなければ予測はできないのです。昔から太陽の黒点数とか、ある地点の気温や降水量などの長い時系列を取りあげて周期分析をして予測に応用した研究が数多くありますが、それだけでもって、ある地点の天候の満足すべき予測はできないのであります。それぞれの場所のかなりの期間の気温や降水量は当然、地球上の広い地域の流れの状態に依存します。たとえば一つの移動性の高・低気圧の一生を考えてみればわかるのですが、7日から10日の寿命でもって20,000 km から60,000 km の間を移動し、その間の途中の経過が高・低気圧の発達に関与すると同時に、この気圧組織が通る地域はそのじょう乱の強さの度合に応じて異なった性質の気塊の移流を受けるのであって、特定の地点の温度変化や降水変化には広い範囲の多くの要因が介在しているので、ある地点の温度や雨量の時系列解析だけでもってこうした複雑な非線型の結合の結果としての変化を代表するわけにはいかぬのです。これが自然の予測のむずかしい点であって、ある領域だけをいくら考察しても境界条件ともいべきものが変動しており、ある時点では同じように見える現象でも、それ以後もすでに経験されたものと同じパターンで、あるいは、同じ強さでくりかえされることはまずないのであります。つまり、われわれの自然のとらえ方の多くは局所的な限られた情報のみからなっており、これらをもって誤りなく自然の状態を組み立てたり推定することは容易ではないのです。現在では長期予報を本格的に行なうためには、北半球全体にわたる地表面のみならず上空の状態をも基にして

考察しているのです。しかしながら、思考の節約あるいは直観的理解のやさしさという立場から、前述のような特定の地点の気象要素の周期分析という方法は依然として多くの人々をひきつけております。

5. 大スケールと小スケールの関係

次の問題は、大スケールの現象と小スケールの現象間の相互関係はどうかということでありま。その発生が局地的で、地表面の条件が直接的な原因であるような現象も存在しますが、大スケールの組織の流れの場や鉛直構造が小スケールの現象（たとえば二、三百キロの範囲に及ぶ集団的な対流活動）の発生と維持に都合のよい条件を作るという観測事実も理論的考察もあるので。われわれはまだ完全に相互の関係を明確に規定できないが、少なくとも大スケールの組織の持つ物理的諸条件がそのなかに生ずる小さな現象となんらかの関係づけができる——それは完全ではないのですが、少なくとも現象的にはかなりの確率をもって相互関係を帰納できる——という立場を多くの予報者はとっています。そうでなければ、前に例として述べたように、大スケールの現象しか組織づけることができぬ天気図をいくら解析しても小さい短命な現象を予測する手がかりや、予測の可能性に対してポジティブな態度はとることができないのであって、われわれは根本的に方法を変えねばならないのです。

現在われわれは、さまざまな制約のもとで大規模なものしか取り扱いえないのですから、方法論としてそうせざるをえないのでありますし、局地的現象を1日前に予測するとするなら、それはあくまでも第二次的な蓋然性の小さな予測にとどまらざるをえないのです。

6. 物理モデルによる予測法

さて、ある程度の主観性がいりませんが、現象あるいは気象要素のパターンをたどって予測を試みたこれまでの方式と基本的に異なるもう一つの方式として、現象の仕組みを、ともかくも力学的な諸原理でもって記述する方法が近年発展してまいりました。

それは前に述べた二つの方法論のうち第一番目のもので、基本的な物理変数を流体力学と熱力学の式にもとづく5個の連立予測方程式の数値解として予測を求めるとあります。最近はこのを一般に数値予報と呼び、ひろく用いられるようになりました。この原理はまず初期条件として5個の物理変数を与えます。それらは、気圧、気温、水蒸気および運動の2個の水平成分です。運動の鉛直成分は天気現象を論ずるには重大な要素ですが、現在のところそれを直接観測することはできないので、連続の式から求めます。大気はもちろん圧縮流体で連続の式には当然密度の変化がいりま。鉛直座標として気圧一定の面、つまり大気の重さが一定の面を選びますと、このような座標系では連続の式があたかも非圧縮性の場合であるかのごとく簡単になるので、多くの計算は等圧面についておこなわれています。温度と密度の関係も大気の状態方程式で関係づけられます。

次に5個の変数の時間変化を規定する予測方程式を作ります。これは基本的には Navier-Storks

の式と熱力学の第一法則の式です。われわれは、自由大気内の摩擦や大気の系に与えられるエネルギー量に関しては正確な数学的表現を与えるまでになっておりませんので、さまざまな仮定や近似を用いており、そうした仮定の段階に応じていろいろな予測モデルができております。これらの式の計算には、大気内に三次元の格子を設定し、格子点の初期値を観測値から内挿して与えます。その次元は(28, 20, 6)ないし(51, 51, 6)であり、1日の予測をするのに約6,000から8,400 kmの範囲に及ぶ情報を基にしております。そして予測方程式の各項を差分式で計算し、その時刻の各変数の時間変化を各格子点ごとに見積るのです。この変化量を用い、中央差分でもって各変数の有限時間先の変数の予測をします(この時間ステップはモデルの力学的および計算上の条件に応じて1時間から数分の範囲に変わります)。この予測値をもって再び予測方程式にはいり、各項を計算し変化量を求め、再び有限時間先の変数の値を予測する手順をくりかえすのです。

この場合当然のことながら、計算機の演算速度、容量の制約が予測モデルや差分の間隔つまり分解能に影響してきます。そして単に大気の流れを表現するためのモデルの物理的な問題のみならず、計算方式に関する問題や、初期値を作るときに限られた観測値から格子点上の値をいかに定めるか等の多くの開発すべき問題があるのです。

7. Filtered Equation Model

先刻申しましたように、大気内にはいくつかのスケールの現象が共存し、発生・消滅しているのですが、われわれはこのことを、お互いの現象間にエネルギーの変換や散逸があると考えております。この場合、地表面の条件が重大な役割をする現象もありますが、現在のところわれわれの大気モデルは、地表と大気間の熱的および運動学的条件を不十分ながら考えている段階ですから、話を自由大気内の運動に限りませんが、もちろんそこでも初期条件としての大気の状態のなかに先ほど想定した大スケールと小スケールの現象が混在しています。

ここで大きいとか小さいとかは、力学的には何をもって意味づけているかという点、加速度の大きさで目安がつけられます。ある現象の代表的な速さを代表的な時間スケールで割って加速度の代表値とします。この大きさを地球が回転するために起因する見かけの加速度(コリオリ力とも呼ばれるもの)と比較して決めています。この比が1より小さい現象、つまり加速度がコリオリ力より1桁小さい現象とは、実はわれわれがこれまで天気図上でとらえてきた高・低気圧というような水平スケールの波長が数千キロのオーダーの現象にほかならぬのであります。かかる現象のみを記述し、これよりも小さい現象、つまり先に定義した比の値が1より大きいものを除くような数値モデルが作られるのであって、これを *filtered equation model* と呼んでいます。これは時間、空間スケールの大きいものだけが取り扱われ、差分式の空間間隔も約300 km、時間間隔は1時間、上下の差は2,3 kmで十分であり、非常に経済的なモデルです。しかも気圧と風が近似的にバランスする条件が小さい短周期の現象を除いてくれると同時に従属変数を一つへらしてくれます。こうした利点があるのですが、気象現象として重要な対流現象つまり雷雨や集中豪雨などを直接記述することができなくて、こうした現象は先ほどの総観法と同じく、数値的に

予測された大スケールの状態から間接的に推定する以外はありません。小スケールの現象もあわせて記述するためには、元の運動の式になんの制約もつけずに解けばよく、かようなモデルをプリミティブ方程式モデルと呼んでいます。このモデルは、高・低気圧はもちろん、重力波と呼ばれる位相速度の早い現象まで記述します。しかしこの計算を安定に行なうためには、格子点の間隔が100 km前後のときは時間間隔を5ないし7分くらいにしなければならず、容量と計算速度の増大が要求されます。そのかわり、プリミティブ・モデルでは風と気圧の平衡条件がないので、現実の大気内におこる短時間の細かい変動をある程度まで近似することの可能性があります。とくに対流現象を組み込むのに容易であるという利点があります。気象庁においても過去数年間は filtered equation model をテストしてきましたが、今後は大型計算機に切りかえて、プリミティブ・モデルを毎日のデータでテストする計画であります。

最近の研究では、集中豪雨はスケールの小さい気象じょう乱のなかにおこるといふ説もあり、今後、小さいじょう乱の動向を的確に抽出しモデル化する仕事为主要な課題となっています。

8. 数値予報の意義

filtered equation モデルであれ、primitive equation モデルであれ、数値予報の革命的意義は、これまでパターン推移を直観的に外挿する段階にとどまり、さまざまな力学的諸原理を線型的にしか適用できなかった状態からモデル自体にいくつかの仮定はありますが、非線型的に適用して将来の物理変数の分布状態を客観的に提示してくれた点であります。ここでも「量的な計算が質的な進歩をもたらす」好例をみることができます。われわれはここではじめて「予測モデルに基づき予測の基礎を設定し、その上に予測モデルが記述できぬことを補足していく」あるいは、「ある程度完成された力学原理の適用は数値モデルで行ない、これまで予測者がやる余裕がなかった解析や予測の試みを基本的なモデルと併列におこなう」という理想的な方式を得たのであります。今後われわれの予測はしだいにこの方向に進むと思えます。

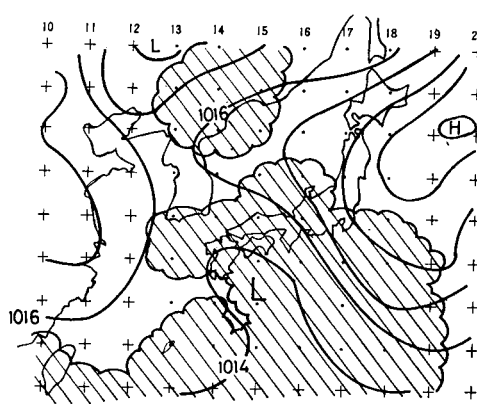


図1 初期値の気圧分布(実線)と雲域(斜線域)を示す

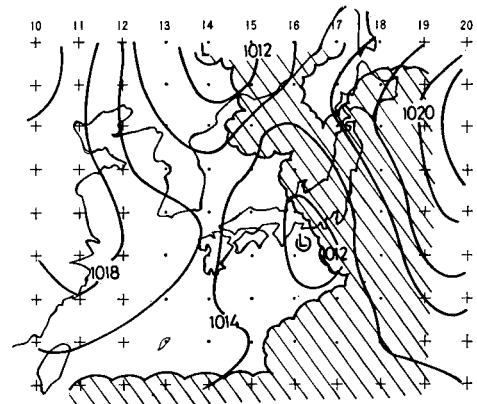


図2 第1図を初期値とした24時間後の気圧分布と雲域の予報値

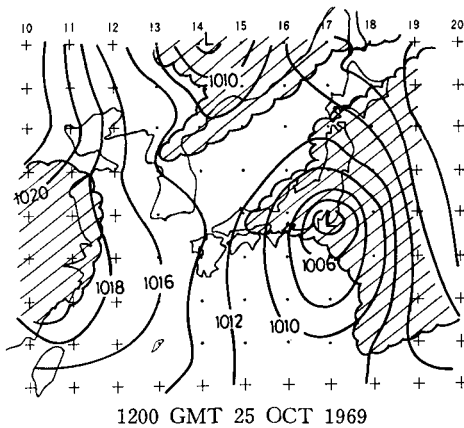


図3 第2図に対応する実況の気圧分布および雲域

とくに近年は水蒸気をモデルに導入し、最初に申しました「天気」という現象自体をも客観的に予測する試みをしております。図1はこの一例で初期状態の気圧と雲の分布を示します。図2は24時間後の気圧と雲の分布の予測図であり、図3はそれに対する実際の状況です。この例は filtered equation model を用いた予測ですから対流現象のような細かい分布は再現できませんが、24時間前に日本のどこで、何時頃から雨になって何時頃極大で、何時におわるかということを経験によらぬ一つの基準的な予測というものを表示できるのです。図4は主要な地点での雨量の3時間ごとの変化を棒グラフで示し、計算された雨量（これは絶対値でなくて一種の指数）の時間変化を折線グラフで示したものです。

これまでの話からおわかりのごとく、数値予報は一種の初期値問題で、初期値のなかに今後おこるであろう現象の条件が含まれていなかったり、モデル自体が短時間スケールの現象を記述する能力がない限りは、ある種の現象は予測されません。たとえば夏の午後山の中にできる雲とか海陸風の交替とともに起こる雲の増減とかはモデルではまだ予測できません。なによりもまず、そういう局地現象を正しく表現する差分システムが用いられていなくて、分解能はいまのところ少なくとも、5ないし600kmのオーダーです。こうした細かい現象は予測者の判断で補わねばならぬのです。とはいっても、予測者も実はこの局地現象に関する情報を毎日、手に入れて予測しているわけではなく、数時間おきに約100kmくらいの間隔での情報しかなく、予測の方法も個人的な判断に依存しています。

当然考えられることは、こうした細かい分布の特性をマクロな分布と関係づけようとする試み

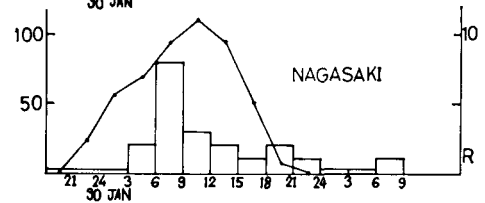
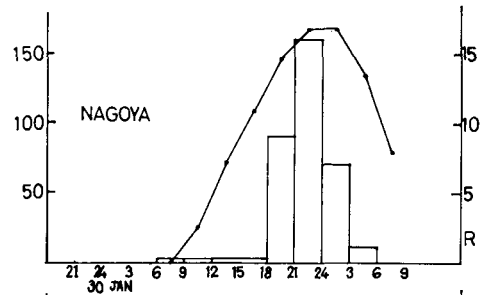
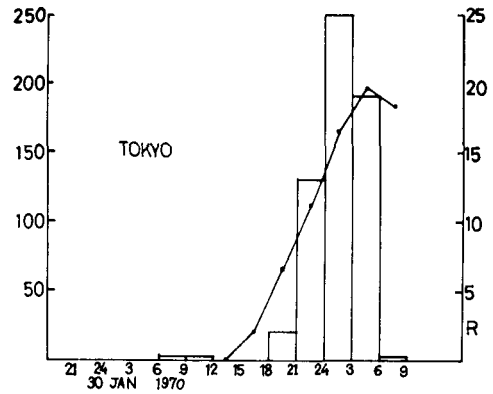


図4 主要地点の実測雨量の時間変化（棒グラフ）と計算された雨量指数（折線グラフ）を示す・右の縦スケールは雨量（mm/hr）を示す



図5 左上の矢印は1.5 kmの高さの風向を示し、それぞれの上層風向に対応する地表面の風系分布を示す(河村 武(1966)による)

の合成図を作りますと図5のようになります。図の上の部分は、関東中部一帯の上層が北風のときを示し、地表風は日本海側、山間部、太平洋側とそれぞれ異なった特有な分布を示し、とくに伊豆半島付近では気流の大規模な収束がみられます。下の部分は、上層の風が西風の場合でやはり各地とも特有な風系があらわれます。このように上層の流れと地表面近くの風の関係が決まると、マクロな上層風分布が予測されたときにさらに細かい下層の風の分布はこの手法で推定できます。大量でかつ手数のかかる層別化も近代の機械統計ではかなり容易ですから、この方式の利用範囲は大きいと思います。従来の統計、または気候学ではとかく平均値のみが論じられましたが、それは基本的な気候概念を与える点で役立つも日々の予測にただちに應用するわけにいかなかったのです。この方法は、平均値を構成する分布状態の相違をいくつかのマクロな気象条件に従って抽出することであり、従来のごとく点の値の統計的分析でなく、分布パターンのそれであるといえます。この方式を用いた研究を synoptic climatology (総観気候学) と名づけております。現段階では、ミクロな地域予測についても大気の境界層(地面近くの摩擦の効果が無視できぬ層)の物理や力学に従って数値予報を試みる研究もありますが、それらはまず、予測を目的

です。マクロ分布はしだいに正しく予測できるようになりましたから、それが与えられたときに、地表面やその他のさまざまな条件を考えて現象や気象要素のミクロ分布を推定する手段があるでしょうか。

この立場でいくつかの解析的なモデルがありますし、統計的手法も應用されていますが、そのうちで最も有望だと思われるのは、地理学または気候学者の開発した手法であります。それは予測領域内の現象や要素の観測値の分布状態をマクロな条件に応じて分類——これは層別化とよべますが——して、マクロな条件がわかったときに予測領域ではそれに対してどんなミクロ分布をするかを整理しておくことです。この分類方式の一例を示してみましょ。地面近くの風は摩擦が障害物としての地形の影響で複雑な局地変化をし、俗にいう土地のくせを知らないとの確な予測ができません。マクロ条件として地上1.5 kmの地衡風、あるいは気圧配置から期待される風が10m/s以上の場合を集めます。さらに1.5kmの地衡風が北風の場合と西風の場合とに分けて、それぞれの場合の地表風

とするよりもマイクロ分布やその変動の機構を理解し数式化するのが主目的で、ここ当分はマクロ条件の差を用いた総観気候の手法を用いるほかはないと思われま

9. 予測システムの設計と今後の問題点

これまでの話ですすでにおわかりのごとく、われわれの仕事は観測から予測までの一連のデータ処理システムとみることが出来ます。したがって「最良の知識と技術をいかに総合してこのシステムを作るか」が一つの主要な問題になるのです。これを分析しますと、当面目ざすものとして次のシステムが考えられます。まずマクロな観測に基づく解析をします。これは数値予報の初期値を与えるとともに総観解析の材料を提供します。ついで数値予報からマクロな予測値の分布が得られ、これに総観気候学の手法を応用し、局地的な気象要素の分布の予測を得ることになります。これらのマクロ・マイクロの予測値を、3時間ないし6時間ごとのより新しい観測値と比較したり、新しく観測された小スケールの現象の今後の動向について全体の気象組織の予測値を考えながら、次の観測時間までの短時間の予測を行ないます。たとえばレーダーにより雨域をとらえたとき、それが今後、どこへ移り雨量強度はどれくらいかというように短時間ではありますが、きめの細かい予測をつくります。これには雨量や風の観測、レーダーの反射強度などの細かい情報を同時に計算機処理する必要があります。また明日は風が強まるとマクロな予測が示すと、どの地域に何時間くらい何メートルの風が吹くか、あるいは逆に風が弱いと予測されたら、どの地域で大気汚染の可能性を高める気象条件が生まれるかなど、現在よりもさらに精度の高い量的なものに発展させたいのです。気温についても最高、最低の地域分布をつくります。これらの情報は高度に工業化、組織化されていく社会の人間環境を考える場合に必要なものであり、オペレーションズ・リサーチの問題としても取り扱われるでありましょう。そしてここでも自然のバランスをいかに理解するかが忘れてならぬ重大な要素です。

これらの予測いっさいを、計算機のなかの予測モデルで自動的に処理することは原理として可能です。つまりマクロな数値予報はさらに長時間の予報を目ざすとともに、マイクロ現象の数値モデルによる予測も将来は可能であります。しかし、地形の影響や摩擦の問題一つをとりあげてもあらゆる場合に適合するような数式化を得るほどにわれわれの知識は進んでおりません。さらに今よりもずっと時間的にも空間的にも密度の高い観測値とその処理が必要です。ここ当分はむしろ、数値モデルの結果と新しい観測値と統計的知識と人間の判断とを同時に用いるシステムを考えるべきものと思います。ここにおいて初めにのべた二つの方法は統合され、数値モデルの結果は常に現実や総観法で組織づけた大気モデルと対比されつつ問題を展開していくことが出来ます。

一方、このような気象要素や天候の予測結果を実社会の種々の問題に応用することや、予測情報をそれぞれの機関に伝達するシステムや利用目的に応じた発表の仕方などの問題があり、これらもオペレーションズ・リサーチの対象となりましょう。われわれにとっても気象災害の予防のための注意報・警報の基準決定には、予測の精度、災害のおこり方、注意報や警報に対処するた

めの公共団体に必要な経費，それによって被害がどれだけ減ずるかの諸問題が関係し，オペレーションズ・リサーチの手法で取り扱うことができます。

しかし気象庁は常に不特定多数の人々を対象にすべきであり，場合によっては人命に関することです。単なる経済コストを最小にするというようには割り切れないのでありまして，いかなる防災システムを作るべきかは別の総合的な機関で検討しているのです。