

気象現象のスケールとその予見性について

—天気予報はなぜ当たらないか—

倉 嶋

厚**

1. はしがき

「天気」編集部から最近の総観気象学(synoptic meteorology)の進歩について概観するよにとのすすめがありひきうけたのであるが、考えてみると一口にわれわれが総観気象学といっている学問の対象は広く、その最近の進歩を概観することは、大気大循環、季節風、気団、前線、高・低気圧、熱帯気象、極地気象、ジェット気流、偏西風波動、ブロッキングなど中緯度偏西風帯の諸現象の諸分野の近年の成果を総合することに相応し、一人の筆者に限られた紙面でよくなし得ることではない。それらは、それぞれのモノグラフ(monograph: 特定事項専攻論文)としてまとめられるべきものである。別のいい方をすれば、総観気象学は、いまや、気象学の各分野の底流として発散し、近代気象学の土台の中に「埋没」しつつある、といえるのである。ただし、ここにいる埋没とは消極的な意味ではなく、総観気象学が、他の近接分野に對置されてその独立性を主張される必要のないほどに、多くの研究分野の中に、その研究の出発点となる事実の整理方法あるいは表現方法として受けいられていることを意味しているのである。このようにして、総観気象学が広範囲に発散し稀釈されることによって、かつての総観気象学の中心部に露呈して濃縮化されてくるのは総観的予報(synoptic forecasting)の問題である。そして、今日、狭義の総観気象学は「天気図解析にもとづく天気予報学」として理解されるのである。本文においては、この天気予報学としての総観気象学の

方法論的側面を、気象現象の規模(scale)との関連において論じることとする。

2. 総観(synoptic)の意味

このことについては、これまでに何回か論じられており(倉嶋1955, 奥田1955), ここにふたたび詳説する必要は認められない。ここでは、数種の気象学辞典に述べられている「総観(synoptic)」の冠せられた言葉のいくつかとその解説の数例をあげてみよう。それは、現在われわれが「総観」という語で表現している内容が、実に多様であることを知らせてくれるからである。

総観的(synoptic): 「一般には、全体的な展望に属すること、あるいは全体的展望の可能なこと、を意味する。気象学においては、この言葉は、大気の状態を包括的に、かつ、ほとんど同時に描き出すために、広い領域上で同時に得られた気象資料を利用することに関連して、いくぶん特殊な意味をもつ言葉になっている。したがって、気象学者はとって「総観」とは、同時性の上になにかしらの言外の意味が附加されたものとなっている」(アメリカ気象学会編気象辞典)

「シノプシス(Synopsis)から作られた形容詞。シノプシスとは「ある物事の総合的あるいは全体的な展望を与えるような簡略な濃縮された記述」という意味である。気象学ではこの言葉は一般に地図や有線・無線通信と結びつけて用いられている。すなわち総観図(synoptic chart)とは、ある時刻の広い範囲の天気状態を示すもので、天気図(weather map)である。……」(イギリス気象局編気象学辞典 1939年版)

総観気象学(synoptic meteorology): 「総観的天気情報(synoptic weather information)についての研究と解析」(アメリカ気象学会編: 気象学辞典 1959)

「19世紀後半およびとくに20世紀において定式化された

* The scale and predictability of meteorological phenomena — Why we miss so many weather forecast? —

**A. Kurashima 気象予報部
—1968年3月6日受理—

気象学の一部門。大規模な大気現象と、その研究を基礎とした天気予報についての学問。ここにいう大規模な大気現象とは、高・低気圧の発生・発達・移動・消滅であり、それは気団とその境界面としての前線の発生・発達・移動・消滅と密接に結びついている。そして、このような総観的過程の研究は地上及び高層の総観図、大気の断面図、高層気象ダイアグラム、その他の補助図の体系的な解析によって達成される。地球表面上の広域上の循環の総観的解析から、その循環そのものの予測、あるいは循環に結びついた天気現象の予測への移行は、これまでは、かなりの程度、外挿に基いていた。しかし今日では、総観予報の現業において、定性的な物理法則の利用が著しい地位を占めており、また数値予報の多くの成果が取入れられつつある。総観気象学は気象力学と密接な関係があり、気象力学の基本法則は総観的過程の解明と予測に利用されている。また総観気象学は気候学とも密接な関係がある。なんとすれば、総観気象学で研究される大気現象は、気候を形成する現象でもあるからである」(フロモフ 気象学辞典 1963)

「気象観測の結果を分析・総合して、大気の物理的状態を明らかにし、その変動を予知することを目的とする気象学の一部門で、気団・前線・高(低)気圧などがその主なる対象である。主として理論気象学に対していう」(沢田竜吉：東京堂版 気象の事典 1954)

このように規程された総観気象学や総観技術は、とりもなおさず、天気図の作成・解析を主軸とする現在の予報サービスの体系的な内容そのものともいえるのである。したがって「総観的」(synoptic)の冠せられた言葉の中には、きわめて特殊な現業的な意味をもつものが多い。たとえば、synoptic chartは天気図、および補助図類を意味し、synoptic codeは気象観測の結果を気象電報に組む時の組み方であり、synoptic observationは気象観測の中でとくに天気図作成を目的とした観測を指す。またsynoptic reportとはsynoptic observationが気象電報に組まれて送られてきたものである。さらにsynoptic objectとは高・低気圧、前線、気団、偏西(東)風波動の短波・長波・超長波、ジェット気流などsynoptic chartの上で表現され発見された実体をいい、そしてsynoptic objectによって気候を記述したり、気候の形成過程を考察するのがsynoptic climatologyということになる。種々のsynoptic objectに伴う天気分布の特徴を典型化したものがsynoptic modelである。またロシア語では、天気図の型などから区分された季節が総観季

節(synoptic season)となり、日本の予報技術者が天気のベースと呼んでいる自然期間は総観期間(synoptic period)と呼ばれている。また、大規模な気圧場に対応するような風を総観風(synoptic wind)といい、強い局地風から総観風の成分を分離して、地形の影響などを考察することもある。

3. 総観規模 (synoptic scale) について

前節で述べたように、総観気象学の方法の本質は総観図に総観の実体を描き出して研究することである。しかし、総観図の上に描き出される総観の実体は、種々の規模(scale)の諸現象の複合的総体である気象現象の中の一部であり、主として総観的規模(synoptic scale)に属する現象である。このことは古くから認識されていたことであるが、総観気象学や総観予報の方法論において規模(scale)の問題が重視され強調され論じられ始めたのは、この10年ほどの間のことである(Sutcliffe 1954, 奥田1955, 中山1966, 倉嶋1966など)。

総観的規模(synoptic scale)は低気圧規模(cyclonic scale)とはほとんど同義語であり、それは1000~2000km巾の大きさと、数日の寿命(life time)をもち、その動きは100~300kmの間隔の観測点における数時間間隔の観測によってとらえられ、しかもそれは予報作業に便利な大きさの地図の上に手軽な大きさで描き出され、外挿というもっとも単純な手段によってもかなりの程度にその動きが予測され、そのことによって1~3日の短期予報に実用性を与え、そして気象事業(weather service)の発足をうながした。そして現在でも、総観規模の実体の追跡が天気予報の主要な方法となっているのである。総観的方法是、しばしば数値予報法と対置されることがある。しかし数値予報で取扱う現象の規模はやはり同じ総観規模であり、現象は300kmの間隔の格子点でとらえられているのである。総観規模の現象を支配する力学が、準地衡風近似などの単純化が可能であったことは、数値予報の出発にとって幸運であったといえる。そして、そのようになりかなり単純化された方程式にもとづく計算さえも、気象学においては電子計算機の利用によってのみ実用化が可能であったのである。現象の規模(scale)にまつわる予報の方法論的問題は、総観的方法においても、数値予報の方法においても、同じように存在している。

4. 気象の規模 (scale) と、その特性

気象現象の規模の分類は、すでに多くの人々によって行なわれている(Sutcliffe 1954, 渡辺和夫 1960, 渡辺次雄 1960, 吉野正敏 1961など)。これらの分類は、細か

表1 現象のスケール

規模	例	空間スケール	時間スケール	予見性 (predictability) について
微細気象スケール (Micrometeorological scale)	個々の雲の変化, 小気塊の不規則な動き, 地面附近の乱流	数 100 m 以下	数分以下	個々の詳細な予報は不可能であり, また非実用的である。しかし, 予報が不可能なのは, われわれがその現象の物理を知らないから不可能だというわけではない。知っているも, 現象そのもののスケール性から不可能なのである。統計的表現。
準総観気象スケール (Subsynoptic scale)	しゅう雨, 雷雨, 局地風	数 km ~ 200km	数時間	これらの現象の予報は, 実用的であり, 日々の天気予報の重要な部分を占める。しかし, 空間的, 時間的スケールの特殊性から, ふつうの天気図にその詳細を描き出すことは不可能。また, その現象が実際に顕在化する過程は, 突発的であり, 顕在過程についての観測資料を得たとしても, 予見はできそうもない。これよりも一段階スケールの大きな総観気象スケールの現象との関連がわかった場合に, それをもとにして, 1~5日前から, 潜在可能性は統計的表現で予報され, 具体的な予報は, 顕在化した現象の発見, 追跡によって, 数10分または数時間の範囲で行われる。
小総観気象スケール (Small synoptic scale)	ふつうの移動性の高, 低気圧, 前線, 台風	200~2000km	数日	1日程度の予報は, 主としてこのスケールの現象の追跡(単純外挿から数値予報まで)によって行なわれる。発生の予報は, 準総観気象スケールの現象と同様に困難だが, その克服の見通しは, 準総観スケールにおけるよりも, 明るい。
大総観気象スケール (Large synoptic scale)	長波, 作用中心となるような高気圧, 低気圧	2000km ~ 10000 km	数日 ~ 数週	とくに「開いた系(open system)」としての性格が強い。発生は突発的であるが, その「突発性」は, 寿命に対しての比較でいえることであり, たとえば, 10日程度継続する「ブロッキング現象」の発生が1~2日で行なわれる。という意味で「突発的」である。この「突発性」が予報を著しく困難にしている。
大気全体 (Atmospheric system as a whole)	大気環流	地球規模	数カ月	宇宙空間に対して「開いた系」であり, 太陽現象その他の影響を受ける。このスケールの現象の変化によって地球全体の季節現象がおこされるが, その変化の大きな推移は, すでに気候学, 動気候学(synoptic climatology)によって記述されており, 「冬は寒い」「春の後に夏がくる」という式の予報は, カレンダーにまかせられる。予報として要求されるものは「平年からのズレ」であるところに, 新しい困難が生じている。

(規模の名称は Sutcliffe 1954による)

くみると境界, 名称, 特徴づけなどに多少の相違があるが, 大綱はほとんど同じである。それらの詳細の比較検討を行なうのは, 本文の本来の目的ではない。ここでは気象現象の規模を表1の気象系に分け, それにもとづいて論を進めることにする。

これらの気象系には, 共通して次のような特徴がある。

(i) それぞれの系は, 特有の寿命(life span: 発生, 発達, 衰弱, 消滅)と, 特有の活動空間(space)をもつ。

(ii) それぞれの系の発生は, その寿命の時間にくらべると突発的である。現象の発生の時点は, 詳細に調べ

ると、見方によって一義的に定まらぬことがあるが、一般に気象現象の特性として、現象内に潜在的に内在するある量が、臨界値を越える時に、初めてその現象が顕在化することが多い。この問題は気象学においては多くは、広い意味での「安定度とその臨界値」の問題として、取扱われてきた。

例 層流から乱流への転換、降水の始まり(コロイド不安定)、台風の突然の深化(台風中心の上空寒気核の暖気核への転化→周囲にむかう気温傾度の臨界値の突破→ハドレー循環の活発化)、長波の不安定化等

(iii) それぞれの系は「閉じた系(closed system)」ではなく「開かれた系(open system)」である。その境界でつねに外界から影響を受けている。すなわち、それぞれの現象は、それを包含する「環境(environment)」をもっている。

(iv) それぞれの系は、それよりも小スケールの系の複合体(complex)である。

(v) 前2項に関連するが、あるスケールの現象を考える時、それよりも大スケールの現象は当該現象の環境となり、「場」とか「ベース」と呼ぶもの、また当該現象を構成する小スケール現象は、当該現象を主として考える時は、「温度」に対する「分子運動」のように統計的にしか把握できぬ場合が多い。

5. 気象現象の規模と予見性(predictability)

現象のスケールとその予見性の間には、つきに述べるような関係がある。

(i) ある程度「具体的」な予報の可能の最大期間はその現象の寿命(life span)の範囲である。

「ものみな総て原因あり」としてレトリックだけの因果論を押しすすめるならば、来年×月×日の××地方の霜の原因が、現在でも進行しつつあるかもしれない。しかし、その現象の進行が広い意味での物理的考察(定性的考察、追跡、外挿などを含む)の対象となる時期は、その現象が顕在化した初期である。

多くの場合、気象現象の発生の不連続性(突発性)から見て、当該現象の発生以前にその「動き(behaviour)」を予報するのは、発生後にそれを追跡してその「動き」を予報するのにくらべて質的な困難がある。

(ii) 当該現象の活動空間が、既存の観測網と観測回数にくらべて極端に小さい場合、またはケタはずれに大きい場合には具体的な予見性はいちじるしく減じられる。

(iii) ある現象の予報期間を、その現象の寿命よりも長い期間に延長する場合には、その環境となる大スケールの気象系の予見性が関係してくる。ある現象の発生の予想は、多くの場合、その現象よりも大きなスケールの現象の予想によって行なれるからである。小スケール現象の発生の場所と時刻は、大スケール現象中に現われる「発生の場」の予想によって定められる。この操作では、「発生の場」が現われるかどうかという蓋然性と、「発生の場」が予想通りに現われた場合にも、当該現象が発生するかどうかという蓋然性が重なる。日々の天気現象を、より大きなスケールの現象に関連させることによって、予報期間を延長する場合には、この種の蓋然性は幾重にも重なってくる。つまり予報は大スケールの場における「潜在可能性」の追跡と、当該スケールの「顕在現象」の追跡の二段階に大別される。

(iv) 気象予報の中には当該現象の予報を、それとは別のスケールの現象の予報に代置している場合が多い。たとえばナダレの予報は、積雪状況、地面の傾斜、地面と積雪との間の摩擦係数の変化、積雪層内の歪の状況などの調査なしに、ナダレが起こり易い気圧配置の予報と代置される。この場合実際にナダレが起こるかどうかはこれまでの統計的關係に依存している。

したがって、これは正確に言えば、ナダレの予報ではなくて、ナダレの潜在可能性(potentiality)の予報である。天気予報は、「はずれるかもしれない」という点では、つねに可能性の予報であるが、上記の潜在可能性は、天気予報の一般蓋然性とは全く異なり、方法そのものに結びついたものである。

別の例をあげると、大気汚染の予報は、汚染源の具体的な情報(工場がその日に実際に煙を出すかどうか)を知ることをなしに、接地大気の流れと安定度の予報で代置している。アメリカなどで行なわれている大気汚染の予報が、Air Pollution Potential(気象的汚染危険度とでも訳すべきか)の予報と呼ばれているのは、言葉を正確に使った例といえる。

(v) 潜在可能性の予報を最大限に延長すると、季節解説、気候解説に到達する。予報とは言えぬかもしれないが、「この季節にはこういう現象が起こり易い」という情報が情報価値をもつことがある。極端な例をあげると「夏には台風がくる」という情報は日本人には不必要なものだが、日本について全然予備知識のない外国人が新たに日本に住む場合には、情報価値がでてくる。季節予報を実用的にするために、季節解説を大巾に併用する

手法がとられることのあるものこのためである。

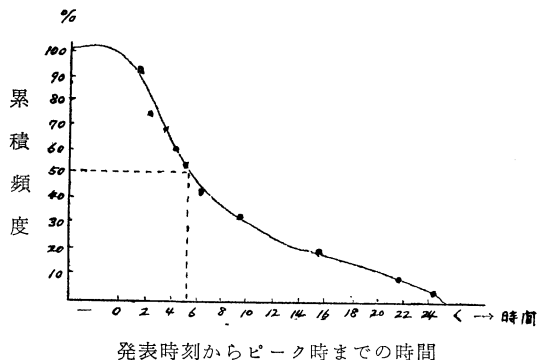
(vi) 地域に結びついた気候学、季節学の知識は予報官の現象に対する「問題意識」の背景となる点で重要である。ここに問題意識とは、たとえば、低気圧の発生が予想される場合、その位置での、その季節における、そのような低気圧の出現が、結果としてどのような天気(風雨)をみちびき、どのような災害と結びつき易いか、そしてその情報を、いつ、どのような形で、どの程度に強調して公衆に伝えるべきか、という問題にとりかかる姿勢の積極度に関係するものである。問題意識が適切に発動しない場合には、「予想していたけれども適切に予報しなかった」という結果さえ生ずる。これまで予報技術において「経験」とか「カン」と呼ばれているもの多くは、上述のような「問題意識」の背景となる総合的・実践的知識であり、それは決して軽視されるべきではない。むしろ、それは普遍化されるべきではある。それは数多くの患者を取扱った臨床医の経験によく似ている。

(vii) 小スケール現象の潜在可能性が顕在化すると、それまでは十分に作動しなかった細かい観測網が効果的に作動し始めることがある(雷雨観測網、水理水害施設からの雨電報、消防庁からの濃霧の情報、レーダー観測など)。また、観測網とはいえないが、晩霜時の農家からの電話、港湾事務所からの強風の間合わせ、一般市民や報道関係から得られる局地的天気現象についての逆情報が、予報に大きく役立つことがある。これらの細かい観測網を利用して予報する場合の期間は、その現象の寿命よりもはるかに短い。

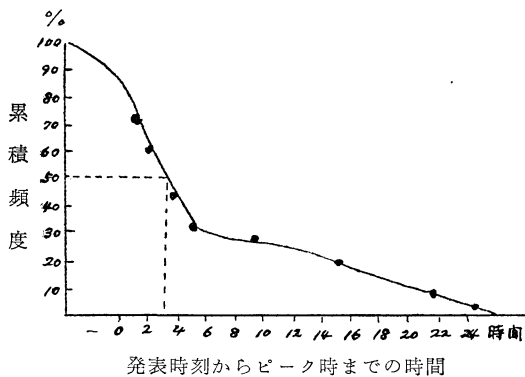
(viii) 前項の細かい観測網による予報は、発表手段が十分でない時は実効がない場合がある。

雷雲の現象が高さ10kmのレーダーエコーとして顕在化した場合、その1時間前にエコーが全然なかったか、あるいは存在不明の場合が全体の46%もある。また発生から最高高度(10km以上)に達するまでの時間が0~2時間の場合がやはり46%、最高高度から衰弱までの時間が2時間以下の場合が全体の50%を占めている(予報作業指針その10, 1967)。これが移動するのであるから、一地点の雷雨は、発雷から終雷まで40分以下が75%、50~90分が20%である。

このような短いライフ・タイムの現象は、その顕在が確認され追跡が行なわれても、その情報を適時に利用者(公衆)に伝達する手段がない時には、その効果が現われない。たとえば、正午と18時しか天気予報の発表機会がない時は、正午には雷雨の潜在可能性が予報され



南寄りの強風
日本海低気圧に対する強風注意報発表時刻と風速のピーク出現時刻との時間差、平均約5時間



北寄りの強風
南岸低気圧、季節風、二つ玉低気圧等に対する強風注意報発表時刻と風速のピーク出現時刻の時間差、平均約3時間

図1 強風注意報は何時間前に出せるか
(横浜地方気象台調査)

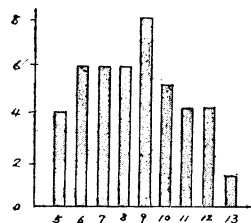


図2 ΔP(気圧差)の
最大が現われてから最大風速が出現するまでの時間分布

て、夕刻には雷雨の事後情報が伝えられるだけで、その間の雷雨の変動の詳細は、気象庁はこれを知っていたが伝えられなかった、という結果になる（電力会社などの特殊利用者は別として）。すなわち、小スケールの観測手段を開発する場合には、それによって得られる情報の発表手段も同時に考える必要がある、ということになる。

(ix) 多くの注意報はすこし離れた場所における現象の「顕在化」を確認して行なわれる場合が多い。強風、大雨などの潜在可能性の予報はかなり延長することができるが、注意報として発表されるのは顕在化の見通しがある程度確定した時である。

たとえば東京の北西季節風の強まりは、前橋で強風を確認してから3時間後に起こる、などという経験則が用いられる。南よりの強風の場合には、箱根の大涌谷の風や、南岸の観測地点の強風が先行する。また、強風に先行して現われる強い気圧傾度の出現を確認してから注意報が出される場合が多い。

このような、顕在化を確認した後に出される注意報は、多くの場合、現象がその地域に起こる6時間前に発令されればよい方といえる。（図1、図2、横浜地方気象台1965）

(x) 日々の晴れくもり雨などの天気は別として、強風、晩霜、大雨その他、国民経済に関係のある顕著な気象現象の潜在可能性を、時間的にさかのぼれる限りさかのぼるのは、実際的にも意義のあることといえる。というのは、たとえば「晩霜害は××日から××日ごとに起こりやすい」とか「晩霜害が起こるとすれば、今年は×月××日ごろから××日ごろの間であろう」という情報提供を、必要に応じて行なうことができるからである。むろん、潜在可能性による予報は、「時」と「場所」にかなりの巾を必要とする。

潜在可能性を天気図の上で最大限にさかのぼった試みとしては、ソ連のマルチノフスキー学派の段階論がある。これは広範囲の地物着氷(大きな災害を起こす)や寒波の時の自然期間を多数選び出し、先行する自然期間の中に現われる類似性が、どの程度までさかのぼれるかを調べたものである。それによると、現象が起こった時の自然期間に先行する5～6自然期間の中に類似性を認めることができた。一つの自然期間の長さは5～6日だから、現象の前兆が現われるのは30～35日前ということになる。

(xi) 潜在可能性が大スケールから小スケールにむかって、時間的に段階を追って顕在化する場合に、それぞれの段階でその情報をどのように発表するかは、別に研

究する必要がある。注意報や警報が行なわれる前に発表される気象情報の一部は、潜在可能性の存在を公衆に知らせる機能を果たしている。

6. 総観的モデルについて

現在の予報作成過程において程度の差はあるが天気系(Weather System)のモデル(Model)に基づく思考があることは否定できぬところである。この種のモデルには(i)形式的モデル (ii)構造的モデル (iii)地域的モデルに分類される。

(i) 形式的モデル

気圧場など物理量の場と天気要素の分布の関係を形式的に結びつけたものである。その際、数多くの事例による統計を用いている点で「統計的モデル」ということもできる。この種のモデルのもっとも古い形には Abercromby と Marriott のものがある。

形式的モデルは、新しい物理量の場を得るたびに現われる。たとえば、高層天気図が作られるようになると、トラフと天気分布などのモデルができ、渦度分布図が作られるようになると、それを使ったモデル化が行なわれる。これは実際の予報作業に必要なものであるが、しかし一方では、本質的には既知の古いモデルが新しい表現で再登場してきたことが気象学の歴史においては何回かある

(ii) 構造的モデル

場と天気分布との形式的対応ではなくて、前線、気団、ジェット気流その他の構造上の要素を重視したもので、形式的モデルにくらべると天気現象が立体的に把握され、天気の原因推移を、定性的ではあるが物理的に考えることを可能にしたものである。この種のモデルの原始的なものは、Fitz-RoyやShowとLemptertの低気圧モデルといえる。前項の形式的モデルがオイラーの見方にかたよっているのにくらべて、構造的モデルにはラグランジュの見方が取入れられている。これまでの、構造的モデルの変せんを一覧表にしてみた。(表2)。

(iii) 地域気象モデル

その地方に特有の気象現象のしくみを、すでに得られた気象学一般の知見をもとにモデル化したものである。この種のモデルの典型的なものとして「北陸豪雪モデル」がある。地域気象モデルは、背景となる気象学の発展とともに深化する。気象学の一般的発展段階で不連続線が重視された時に不連続線が地域気象モデルに導入され、不安定線が重視されると地域気象がそれによって解釈され、広域気象の解析がすすむと偏西風波動や成層圏循環との結びつきが地域モデルに組入れられる、という

表2 シノプティック、モデルの発達 (左欄の Ley W.C. 1878からシカゴ学派1947までは主として Bergeron 1959による)

総観的モデル (構造的)	著者	年代	備考
低気圧域内の局地的な強風線 低気圧の圏内の上層気流モデル	Ley W.C.	1878	<p>シノプティック・スケール (一日程度の予報) の現象のモデル化から始まって、次第に立体化され、気団、前線、ジェット気流などの実体が導入され (新現象の発見)、いくつかのモデルの時間的系列によつて変化が示され、広域化されて延長予報のモデルに進んだ。</p> <p>↑ 地域的モデル</p> <p>↑ 地域的モデル</p> <p>↑ 地域的モデル</p> <p>↑ 数値予報</p> <p>↑ 定性的な物理的思考が計算されるようになった。同時に、垂直流など、従来は容易に計算されなかつた物理量の実況値の分布が、簡単に得られるようになった。これらの物理量の分布をもとにして、従来のシノプティック・モデルが、みなおされ、別の表現で現わされ始めた。</p>
「はやて」の構造	Köppen	1882	
寒冷前線の移動	Duran-Créville	1892	
低気圧を形成する主要な大気の流れ (地表気流の生涯: life history)	Shaw and Lempert	1906	
低気圧モデル (とくに温暖前線の附加, 寒冷前線に先行するスロウ・ライソンの存在)	Bjerknes Solberg	1918	
寒帯前線上の低気圧の生涯 (発生, 発達, 衰弱, 消滅)	ベルゲン学派 (Bergeron 等)	1919	
低気圧家族, (主要気団, 主要前線)	ベルゲン学派	1920~28	
上空偏西風の波動	Rosby	1939	
ジェット気流, 長波 (プラネタリ波), 低気圧家族の相互関係	シカゴ学派	1947	
インデックス・サイクル, ジェット気流の南進傾向, 北進傾向, 長波と短波の相互関係, 予報作業への定性的思考への大幅な導入	Riehl	1950年代	

メソ系の研究

雷雲に関する Suckstorff のモデル

Byers の雷雲モデル (1947)

前線近傍のメソ系

スコール, ラインなど (藤田 1955)

予報作業へのリーダー導入

雷雨域の早期発見と追跡

台風のレイレンバント

北陸豪雪のリーダー観測など

気象衛星の観測への導入

1967

WWWの発展

1968

ように、年々すこしずつ内容が発展する。また逆に気象現象の新概念は、すべて地域気象の研究から発見されているといえる。

7. 総観予報技術の標準化について

総観予報技術の発展のために必要なこととして多くの人が指摘していることに、標準化、単純化、表現の統一の3項目がある。この3項目についての方法論的問題を考察してみよう。

(i) 標準化

標準化は、すべての技術に要求される資質であるから、これについては多言を要しない。標準化、規格化できるものはできるだけ行なうべきである。

しかし、気象における技術は、未知のものを多く含む複雑な現象を対象としている点で、機関車の運転要領とか、配電工事規則などのような、整然とした規格化が行なえない面がある。機関車や配電工事、対象そのもののしくみが既知であり、しくみの論理が完全にわかっているからである。予報官の技術が、臨床医師や現場教師と似ているといわれるのは、ともに、技術の機械的適用だけでは職務を行なうことができず、実践の中で未知のものを解明しなければならぬ任務をもつためである。

Bergeron (1959) の述べている教訓は想起に値する。

彼は、もしも、すぐれた観察力があるならば、Abercromby が形式的モデルを作った時 (1878) と同じ資料から、近年のモデルであるメソ系までも描き出すことができることを示している。同じように現在でも、将来、重視される現象が気づかれないうちに天気図の中に眠っているかも知れない。

標準化、規格化は、未知のものを解明しようとする創造的方向と対立するものであつてはならない。

晴れ、くもり、雨、強風、その他一般の天気予報の対象とする現象の定性的予想方法を規格化する場合は、つぎの順序を踏むことが多い。

(a) 予想対象となる現象が起こっている時の地域気象モデルの詳細な表現。

当該現象が起こっている時の各種天気図(電計による各種物理量の実況値(初期値)分布図を含む)の特徴を整理し、当該現象の生起に関係している諸要因を図示し列記する。これらの諸要因は、低気圧、高気圧、前線の位置と強さ、等圧線の形などの形式的要因から、渦度、垂直気流の分布と強さなどに表われた特徴にいたるまでの一切が含まれる。記述の都合上、これをA要因と名づける。当該現象とA要因は同時現象である。

(b) 当該現象の予想をA要因の予想に代置する。その際、代置によって生ずる誤差を%で表わしておく。

この誤差は、A要因が現われた時に、当該現象が現われる生起率である(例:300ミリバル面に $\times\times^{\circ}\text{C}$ の寒気が現われた時に、 $\times\times$ 地域に雷雨が生起する生起率は $\times\times\%$ というようなこと)。A要因と当該現象の関係は、グラフなどで図示されることが多い。

(c) A要因が天気図上に顕在化する時期が調べられる。それによって、数時間前から追跡される要因とか、数日前から追跡される要因などのように時間別に分けられる。たとえば、晩霜の予想を、上空寒気舌の到着の予想に代置した場合には、晩霜の潜在可能性は数日前から追跡可能となる。ただし予報の精度は、追跡の過程で生じる誤差が(b)項の生起率に重なる。

(d) A要因の追跡方法は単純外挿から物理学的外挿へ、定性的外挿から定量的外挿へ高められる。

(e) A要因の顕在化よりも前にA要因の出現を予想し、さらにそれによって当該現象の生起を予想しようとする場合には、A要因の予想について(a)→(d)の過程が行なわれる。あさって以後の予想には、このような操作が幾重にも重なっている。

(f) A要因の顕在化の過程で、予想の一部が発表され予報となる。この発表の内容は、顕在化したA要因の数が多くなるほど具体的となる。予報方法の規格には、発表の基準も含まれる必要がある。

(ii) 単純化

現在の予報作業においては、数多くの資料が、どのように使ったらどの程度に有効か、はっきりされないままに、状況に応じて選択的に使われるだけで、そのまま棄てられているという状況がある。一方、本質的には全く同じ内容を、表現の異なったさまざまな補助図で現わし、貴重な時間が補助図作りに使われるという状況が他方にある。思いきった単純化が必要であり、新しい補助図の採用に当たっては、「試行導入」の手続きが必要のように思われる。

(iii) 共通の表現

同じ思想内容を異なった言葉で表現しているため、互に相手のいうことを理解するのに時間がかかることがある。同じ気象現象のしくみを表現するのに予報中枢によ

註 ソ連気象局の予報部には、「試行導入課」というのがあり、新たに提案された予報法は、この課で、過去の資料に基いて確度がチェックされ、一定の標準をこえるものだけが現場に採用されるしくみになっている。

って言葉がちがうことは否定できぬところであろう。直通電話で全国会報が行なわれるようになると「共通の言葉」はますます必要になる。言葉の統一については、つぎのことがいえそうである。

a. もしも、同じ現象、同じ考え方に対して言葉が異なる場合は、適切な表現を「標準語」とした方がよい。標準語として採用される言葉は、気象学の発展の方向に即したもので、物理的思考にかなったものの方がよい。

b. 言葉の相違が、それぞれが抱いている天気モデルの相違に帰せられる場合には、言葉の統一を考えるよりは、その相違を明らかにし、互に理解しあった方がよい。そのために常時不断の意見の交換ができる場を作るのが望ましい。

c. 言葉の相違が地域モデルに関係している場合には、言葉の統一をはかるよりは、地域モデルをなるべく明快な形で普及した方がよい。

d. 言葉の相違が新しい現象を萌芽の形態で見出していることから起こったものであるならば、その現象の解明に努力すべきである。

(iv) 常時修正について

大スケールの場にはほかに現われた潜在可能性が小スケール現象として顕在化して消滅するまでの各段階に応じて、当該現象の予報はつねにチェックされ、修正されなければならないことは言をまたない。この常時修正は、現在では、1カ月予報は週間予報、週間予報は短期予報によって自動的（相互に話し合いはあるにしても）行なわれている。つまり修正の責任は、つねに小スケールを支持する予報官の側にある。したがって、たとえば週間予報が発表された翌日に出されたあさっての予報が、週間予報の三日めの予報を大中に修正した場合でも、四日め以後の予報は無修正のまま通用するという矛盾がでてくる。同じことが1カ月予報と週間予報の間でもいえる。常時修正の合理的運営を考える必要がある。

8. むすびに代えて

1968年2月、気象庁において行なわれた昭和42年度全国予報検討会では、いわゆるメソ・スケールの気象現象としてもつとも典型的な集中豪雨の予報について検討された。この予報検討会の特徴は、昭和42年の各地の集中豪雨の予報がどのように行なわれたかの実際の分析を討論の出発点としてことであり、討論の間に、現在の総観予報技術の問題点が浮彫りにされた。注意報や警報の対象となるような激しい天気現象は、ほとんどすべて、総観規模の現象に重畳されたメソ・スケールの現象を通じて

具現しており、その予報を総観予報技術によって行なわなければならないところに困難性がある。たとえば沼田(1968)によれば、仙台管区内の各気象台の大雨注意報の発表時刻から、予報対象域内の最多雨地点の雨量が50mmに達するまでの時間は、その雨が総観規模の低気圧と直接に関係している場合には平均8時間であるが、前線が停滞している場合の集中豪雨については2時間、雷雨性については1時間弱となっており、また地点雨量が100mmに達するまでの時間は、それぞれ12時間、4時間、2時間となっている。しかし、前線性、雷雨性の集中豪雨について、総観予報技術の立場でどの程度予想できたかを、実際に行なわれた地方指示報によって調べると、東北地方(約 $65 \times 10^3 \text{km}^2$)のどこかに大雨と予想した場合、前線性、雷雨性ともに1967年の夏は100%の適中率で予想できた。さらに東北地方を北部・中部・南部および日本海側・太平洋側に分けた場合には、前線性は適65%、半適35%、雷雨性は適55%、半適45%の適中率であった。しかし県内のどこに降るかとなると不可能に近い、という結果を得ている。このような調査は、総観予報技術の特性をよく表わしているといえよう。

最後に総観技術者の心構えを述べた斎藤・小倉(1968)の文を引用して、この報告を終えたい。

“1. 注意報警報についての基本的態度

一般に、注意報・警報を発表する場合、二つの方法がある。一つは風とか雨とかの対象がある地点ではつきりしてから追跡する方法で、たとえば低気圧や季節風の吹き出しなどについては数時間前に発令されることが多い。他の一つは、集中豪雨や突風など小スケールの現象がより大スケールの総観的現象を環境として発生しやすいことに着目して、小スケールの現象が発生しないうち(潜在中)に大スケールの現象の変化や特性から予想する方法である。これは、小スケールの現象の寿命を上まわる長時間前に発生を予想し得る利点があるが不確実になる欠点もある。

したがって、集中豪雨などでは、発生する恐れのある大スケールの状況を的確にするとともに発生を早期に把握することがきわめて重要であり、レーダー観測や航空機による探索、降雨の速報網の重要さがここにある。

大勢として警報の発表がほとんど現象と同時にならざるを得ない現状では、国民に災害の不意打ちを与えないためには、現象の潜在段階で注意報や情報を出す必要がある。とくに警報基準の現象や災害が起る可能性が大きく、夜間にわたるおそれがある場合には、少なくとも夜

半までに詳しい情報を出して防災機関や住民に警戒をうながすべきであろう。情報や注意報は出さぬより出す方がよいと判断したら、時期を失せず出すべきである。情報は、現象の程度を時間的、地域的に明示し難い場合でも、状況を自由に解説できる利点がある。

2. 予報官の心構えと姿勢

現行の不備な施設と不十分な資料のもとで、集中豪雨などの小スケール現象に対応して予警報業務を実施していくためには、予報者は実践力をもたねばならない。これら小スケールの現象の予報にはシノプティックな天気図解析だけに頼ってはいだめである。小スケールの現象はシノプティック・スケールの天気図には十分に表現されていないし、全く突発的に発現することもあるから、発現前の天気図ではよくわからないことが多い。集中豪雨のような小スケールの現象の発現は細域観測にまづ現われる。

したがって、強い雨など異常性を発見したら、レーダー観測をきき、管内の気象官署はもちろん、部外機関（警察、国鉄、開発など）に状況を問い合わせなど積極的に状況の把握につとめることが必要である。あらかじめわかれば必要地域の「アメカイン」や農観の臨時通報を手配しておく。

また北海道は温帯の北限にあり年による気候の変動が大きいので、台風や集中豪雨などの異常気象も地域的に年のくせが大きい。したがって、自分の担当地域だけでなく隣接地域の過去の極値を分析するとともに、担当地域の災害危険箇所をよく把握しておかねばならない。

従来われわれは気象警報の発表に際し、「重大な災害の発生」を台風級の災害の発生と考えがちであった。しかし、地域開発と都市の発展につれて、集中豪雨のような場合の災害も局地的に大きな災害を起すことがあって重視される傾向にある。もし、予報担当区域内に気象官署や信頼できる外部機関の資料により警報基準に達する現象が発生したり、発生するおそれがあると予想される場合には、十分に状況を確かめたあと、現象が局地的であってもちゅうちよなく警報に地域名をつけて出した方がよい。”（斎藤、小倉 1968）。

参 考 文 献

- 1) Bergeron, T., 1959: Method in scientific weather analysis and forecasting, an outline in the history of ideas and hints at a program, The atmosphere and the sea in motion, The Rockefeller Institute Press in association with

Oxford University Press, 440—474.

- 2) Khromov, S. P. and Mamontova, L. I., 1963: Meteorologicheskii slovar, Gidrometigdachelstvo Leningrad,.
- 3) 気象庁予報部, 1967: レーダー資料の予報への利用, 予報作業指針その10, 114.
- 4) 倉嶋 厚, 1955: 気象学における綜観的方法の意義, 測候時報第22巻第12号, 371—376.
- 5) 倉嶋 厚, 1963: 「メソ気象学」, 気象の事典, 東京堂, 553—557.
- 6) 倉嶋 厚, 1966: 気象現象のスケールと予見性, 昭和40年度全国予報技術検討会資料 (気象庁予報部), 165—182.
- 7) Meteorological office, 1939: The meteorological glossary, Her Majesty's Stationery Office, 188.
- 8) 中山 章, 1966: 短時間予報の方法と実際上の問題, 昭和40年度全国予報技術検討会資料 (東京航空気象台), 1—36.
- 9) 沼田富雄, 1968: 集中豪雨の予・警報実施面の検討, 昭和42年度全国予報技術検討会資料 (仙台管区気象台), 1—13.
- 10) 奥田 穰, 1955: Synoptics について——その方法と問題点について——, 天気, 2巻, 8号, 215—218.
- 11) Palph E. Huschke, 1959: Glossary of meteorology, American Meteorological Society, 562
- 12) 沢田竜吉, 1959: 「総観気象学」, 気象の事典, 東京堂
- 13) 斉藤勉, 小倉士郎, 1968: 北海道地方の大雨の特徴と注意報・警報の実施状況およびその問題点のまとめ, 昭和42年度全国予報技術検討会資料(札幌管区気象台), 1—24.
- 14) Sutcliffe, R.C. 1954: Predictability in meteorology, Arch. f. Meteorol., Geophys. u. Biokl., Ser. A, 7, 3.
- 15) 渡辺和夫, 1960: 中小スケールの領域, 気研ノート, 11, 76—77.
- 16) 渡辺次雄, 1960: 中小スケール気象の研究の歴史的展望, 気研ノート, 11・78—98.
- 17) 吉野正敏, 1961: 小気候. 地人書館, 1—7.
- 18) 横浜地方気象台, 1965: 短時間予報について, 昭和40年度予報技術検討会資料(横浜気象台), 1—10.