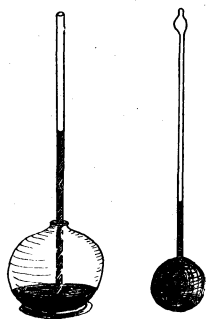


## 天 気 予 報 の 歴 史

## —その方法と技術の変遷—

渡 辺 和 夫



古代の人々は空や雲を注意深く観察して天気変化を予想しようとし、中世の人々も天気現象を研究し測器を持たなかったが空・雲・鳥・動物の動きや、植物の様子などを観察した。ことにたえず風雨にさらされる遊牧の民や船乗りは天気の変化に注意深く、今の世に天気についての沢山なことわざ(weather proverb, weather prognostics, weather lore, weather wisdom)を傳えている。また中国や日本には観天望氣の法が古くから傳えられて風雷雨雪を占って来たがここでは17世紀以後に発達した科学的な天気予想法ことに19世紀の中頃に始まった天気図を使う天気予想法について主にのべよう。

そもそも科学の価値はその法則性にあり、法則の価値は予想の確からしさにある。しかし気象のように複雑な現象ではその支配する法則も複雑であり、この法則を見出すことにわれわれの先人はたゆまない努力を拂って来た。この苦難の跡を方法と技術の面からたどることにしよう。

われわれの先輩達は天気そのものを力学系として体系作りそれをもって将来を予知しようという直接戦法をさけ、久米氏<sup>(1)</sup>が指摘されるように連続量である気圧や気温・水蒸気と結びつけて将来を予想しようとした。そこで流れのもつ乱れの現象を調べる方法としては一点における現象の変動を見る方法と全体の場の刻々の変化を追って調べる方法が考えられるのでまず前者について見ることにしよう。

## 1. 一点における現象の変動を調べる方法

17世紀に入って寒暖計や気圧計が使われるようになってやがてこれらの器械が天気変化を示すことがわかってきた。そこでこれらの測器を使って天気変化の前兆をつかもうとする努力がなされ、ドイツのGuerickeは自宅に備えて観測していた水気圧計を使って1660年12月6日にその気圧のいちじるしい下降から強い暴風の襲来

を予言した<sup>(2)</sup>。また1670年頃に作られた水銀気圧計には28インチ(ストーム)・28.5インチ(多雨)・29インチ(雨)・30インチ(晴)、30.5インチ(晴続く)、31インチ(非常に乾燥)という目盛が刻まれたものもあり<sup>(3)</sup>、気圧計が天気を予知する器械として使われるようになっていたことを物語っている。

またイギリスのBoyleが書いた“Experimental History of Cold”(1683)の中に第1図のようなopen weather glassとsealed weather glass(thermoscope)が示されており、この名称が物語るように寒暖計も当時は天気を知る道具として使われていたようである。

そのほかに湿度計やcamphor glassもこの目的に使われ、降って1846年頃にアネロイドの空盒気圧計が発明されると共にそれが特運びや取扱に便利であるために一般の人々ことに海上生活をする人々にとっては欠くことのできないストームの予知器として重宝がられ今日に至っている。

## 2. 全体の場の刻々の変化を追って調べる方法

19世紀に入るとまずドイツのBrandesが雨の研究をするために1783年における毎日の天気図を1820年に作り、次には1830年頃からしばらく流行したストームの法則を研究するためにアメリカのRedfield(1831)やEspy(1841)、Loomis(1843)等によって船の航海日誌や郵便で集めた毎日の観測資料をもとにした幾つかの天気図が作られた。このようにして沢山の天気図が作られまたストームの研究が集積されてゆくうちに——刻々の新しい天気図を作ることが出来ればストームの来襲を予知することが出来そうだ——ということがわかってきた。しかしこのような天気図を作るためには多くの観測者による同時観測とその観測資料の迅速な集収が必要であり、この方法としてはまず1780年頃にフランスでRommeが光線通信を発明した際にLavoisierと共にその気象事業への使用を皇帝に進言し、後に電信が発明され実用段階に近づく1842年にドイツのCarl Kr-

カット説明 左が Open Weather-glass で右が Sealed Weather-glass (または Thermoscope) (第1図)

eil はプラグの予報をするために電信を利用して観測資料を集めることを提唱し、1848年には同じような提議をイギリスの John Ball が王立協会に行っている<sup>(2)</sup>。このようにして社会の気運は次第に熟し、まずイギリスでは J. Glaisher が 1849 年 6 月 14 日から国内 30 ケ所の風向・風力・天気を電信で集めて Daily News 紙に掲載し<sup>(3)</sup>、アメリカでも同じ年に Smithsonian Institution の Henry 教授が電信社と交渉して各電信局が毎朝“OK”を出して故障のないことを知らせる代りに当日の天気を晴、くもり等として送ってもらうこととし各地の天気を集めだした<sup>(4)</sup>。またこれらの資料で天気図を作る試みは 1851 年 9 月 11 日から 11 月 11 日までイギリスで開かれた大博覧会のおりに Electric Telegraph Company が毎朝 9 時の観測資料を国内 24 カ所から集めて図に記入しそれをリトグラフ印刷にして一部一ペニーで売ったのが最初であろう<sup>(2)(3)</sup>。これに刺戟されたオランダのユトレヒト大学の教授 Buys Ballot は 1852 に欧州 24 カ所の観測にもとづいた彼独特の天気図を作っている。

このようにして気象観測網からの資料を電信で集めることによってストームの来襲を予知し各港に警告を発しようとする仕事はまず 1860 年にオランダでは Buys Ballot によりフランスでは Le Verrier によって始められ、イギリスでは翌 1861 年に Fitz Roy によって着手され、これに続いて他の多くの国々も海難防止のために気象事業をおこすことになった。

さて天気図を使った天気予報については 1853 年に Henry 教授がアメリカン・アカデミーの席上で——朝の天気図でシンシナティー市が雨になっている時はその夕刻にワシントンが雨になるということを充分な信頼度で言うことができる——とのべたのが最初であろう<sup>(5)</sup>。このようにして綜観気象学の先頭を進んでいたアメリカも 1861 年に南北戦争が起ったために残念にも約 10 年間の空白時代を持つことになり指導的立場からは落ち、やっと 1869 年 9 月になって Cleveland Abbe がシンシナティーで州のための予報業務を始め、1871 年 1 月からは通信隊に移って国家としての予報警報サービスを始めている<sup>(6)</sup>。他方イギリスでは Fitz Roy 提督が 1859 年にローヤル・チャーター号を難破させたストームの天気図を作って研究している間にストームの予想や天気予報を行うことを決心し、周囲の反対を押切って予報警報サービスを始めた。しかし彼が 1865 年に亡くなるとすぐにこれは中止されてしまったが王立協会は世論の激しい反撃にあって暴風警報は 2 年後の 1867 年 12 月にまた予報は 1879 年になってやっと再開された。またフランスでは 1854 年に黒海で軍艦アンリー四世を失わせたバラクラバ・ストームの調査に端を発して 1856 年には観測通報業務が始められ、1863 年 8 月からは翌日の予報

が出されるようになった。

この予報の名称として Fitz Roy は当初にラテン系の prognostic という言葉も考えたようであるがそれには予言という意味も幾分含まれているので科学的方法による予想であることを強調するために probable または forecast というアングロ・サクソンの言葉を使い、forecast とは prophecies や predictions でなくて科学的な操作や計算の結果出てくる意見であると定義を考えている<sup>(6)(7)</sup>。アメリカでも 1871 年の当初には daily probability と称し後になって indication から forecast へと変ってきた<sup>(8)</sup>。

Fitz Roy は天気図についても定義を与え、空間から北大西洋を見下すごとく同じ眺めを一定の時間間隔で見ることににより場の状態の連続変化を知ることができるように、大気の連続した同時状態を表わそうとしたものが synoptic chart であるとした。また彼はこの言葉を採用した後に synchronousの方が synoptic より適語だという意見もありそれをしばらく採用してみたが地磁気の方では世界中の同一地方時に行う観測に synchronousという言葉を使っているのもとの混同をさけて再びもとの synoptic を採用したという話である<sup>(7)</sup>。

ところで今一度考えなおしてみると気圧分布や擾乱系を示す天気図を使ってストームの接近を予知し暴風警報を発することは等圧線と風の関係が理論的に成立つために問題はないが、天気予報にあっては天気図から将来の気圧配置を予想する第一の過程とその結果に伴う最も可能性の多い天気状態を予想する第二の過程をえなければならず、この第二の段階において予報者は一つの考察の飛躍と冒険をしなければならなかった。はたして低気圧の付近で雨が降るかまた高気圧の中で雲がないか——この判断は天気図からだけでは得られない複雑な色々の要素を含んだ問題である。また高度に進歩した社会機能は漠然とした天気の可能性を知らされることで満足せず、刻々の天気変化についての適確な予想を強く要求するようになっている——たとえそれが理論的には困難であろうともとにかく彼等が必要とするために。

このようにして予報技術者は一般の人々や学者にはとうてい理解されないであろう苦難の十字架を担う運命となり、予報が当ればそれは当然な職務の履行であると思なされ、はずれば月給泥棒とののしられる不遇を耐えなければならず、また暴風警報の失敗から世の無責任な批判と攻撃をうけて死を覚悟した純良な予報者もかなりあったであろう。これらの間において予報技術の精度を向上させるのに拂われた幾多の気象技術者や学者の努力の跡を訪ねることにしよう。

## 1. 1860 年代 (万延元年—明治 2 年) の予報技術 (暴風警報業務の発足)

天気図を作ることによって何とか実用になる程度のス



通過する時の産物である」という考え<sup>(11)</sup>から出発して気圧系と天気の関係調べ、第2図a~dのような等圧線型とそれらに伴う天気分布の関係を発表し<sup>(12)</sup>、またイギリスを中心とした四つの主な気圧配置を選定してそれに特有な天気変化の性質を記述した。この気圧配置は南風型(第3図)・西風型・北風型・東風型で、それぞれの風が卓越するような気圧配置であり、われわれが今日も使っている東高西低・南高北低・西高東低・北高南低の気圧配置にそれぞれ相当する。この論文が発表された時に Archibald 教授は「これまで小生が聞いた論文のうちで最も優れたものであり、気象学の正しい方向への目ざましい躍進であり、かつ将来の気象学があるべき姿を示すものである」と絶賛した。

Fitz Roy の時代に気圧波として認められたものはこの頃にトラフの概念となり、第2図aや第4図のように気圧の読みの最低値を結んだ線として規定され「低気圧のトラフが通過すると気圧は昇りだし、風は俄雨を伴って突風のであり、空気が冷たくなり、雲の切れ目が現われてやがて晴れる」と Abercromby はのべている<sup>(12)</sup>。

1889年すでにスウェーデンでは番号をつけた天気図114枚を一組として各鉄道駅や港に配布し、電信でその番号を送ることによって毎日の天気状態を知らせていたことは類似天気図の実用という点で興味がある<sup>(13)</sup>。

#### 4. 1890年代(明治23~32年)の新予報技術 (地上天気図による予報技術の一応の完成)

1873年のウィーン国際気象会議で高山観測所の建設が勧告されて1870年から80年にかけては沢山の高山観測所が作られ、1880年代には Blue Hill で雲の運動と天気や気圧系との関係が調べられた結果として1891年のミュンヘン国際気象会議では世界各地での上層雲の観

測が決議されている。パイロットバルーンは1890年頃から各国で使われるようになり、夙は1896年のパリ国際気象会議でその研究が勧告され、sounding balloon は1894年から仏・独・露の各国で一定日毎の国際観測を行うようになった。このようにして研究の大勢は自由大気へと向けられ、この結果として上層気流の状態を予報の資料として使うようになった。また Möller や Köppen は地上の気圧と気温から高層の気圧を計算して高層の等圧線を描くことにより推定された上層気流を予報に使おうとしたことも意義が深い<sup>(14)</sup>。

早ばつなどの農業対策として長期予報がアメリカやイタリーでとりあげられるようになったのもこの頃である。

まずこの頃の主な新しい予報技術を短期予報からのべよう<sup>(14)(15)</sup>。

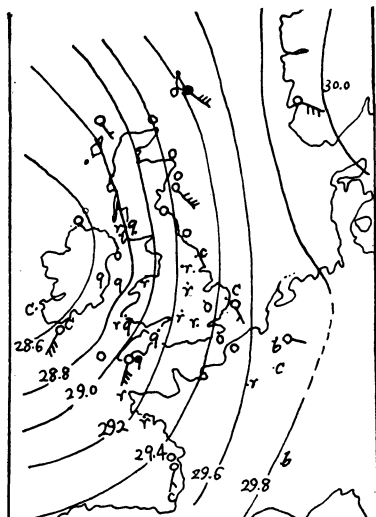
- (1) ストームの進行についての運動学的な外挿法。
- (2) ストームは低温域のまわりを左に見ながら進み、それよりわずかに内側へと入りこむ傾向がある。
- (3) ストームの北や東側に高気圧があればストームの動きは遅くなり、反対に南や南東側に高気圧がある時は最も早く東へ進む。
- (4) ストームは上層雲の一般方向に流される傾向があり、上層雲はストーム周辺に卓越する大気の一般方向を示す。(指向流の概念)
- (5) 異常な速さで上層雲が流れる時には天気の変化が激しく、ストームの進行速度も早く、また雨や天気・寒暖の变りが頻繁である。(ジェット流の経験的認識)
- (6) 12時間と24時間の気圧変化図を使ってストームの発達や進路を予想した。(現在でも発達を見る

にはイサロバルが主に使われている) 24時間の気圧変化量が12時間の変化量の2倍より大きい時に低気圧は衰弱する。

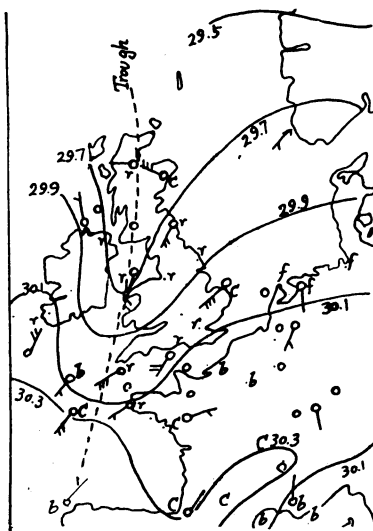
- (7) 南西から近づく低気圧は確実に雨をもたらす、北西から近づく低気圧はほとんど雨を伴わないかあっても少量である。またトラフ状の低気圧は確実に雨を伴う。

次に長期予報についての方法は

- (1) 気圧の7日週期。その山や谷はシカゴから経度にして10度東にあるワシントンや17度東にあるボス



第3図 南風型気圧配置 Feb. 26th, 1874.  
(日本の東高西低型と同じ)



第4図 トラフ Feb. 26th, 1865.

第1表 天気を支配する乱れとその取扱ひ方法

| 擾乱の大きさ        | $5 \times 10^8 \text{cm}$       | $10^8 \text{cm}$  | $10^7 \text{cm}$         | $10^6 \text{cm}$    |
|---------------|---------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|
| その主な種類        | 惑星波                             | 高気圧<br>低気圧<br>台 風 | 前線<br>地形性<br>高低気圧<br>豆台風 | 積乱雲<br>大積雲<br>トルネード |
| 検出方法          | 天 気 図                           |                   |                          | レーダー                |
| 発達と移動の<br>予想法 | シノプティック・メソッド<br>と運動学的方法<br>数値予報 |                   | 運動学的方法<br>?              |                     |

トンではシカゴよりもそれぞれ1日2日後に起こる<sup>(16)</sup>。

- (2) 気圧や気温の30日週期<sup>(17)</sup>, その他の長週期<sup>(18)</sup>。
- (3) 異常な気象状態は見かけ上一所から他へとゆっくり移ってゆく<sup>(18)</sup>。
- (4) 高低気圧の permanent area の調査<sup>(18)</sup>。

#### 5. 1900年代1910年代(明治33~大正8年)の 新予報技術(無線電信の利用開始)

1897年にマルコニーが発明した無線電信が実用化され、1905年から1910年頃にかけて洋上の船舶が観測した気象資料も天気図の作成に使うことができるようになり、従来予報や警報技術の進歩をさまたげてきた洋上の空白を満たすことができるようになった。しかしこの結果として地上観測に関する限りではいくら観測所の数を増しても予報や警報の精度はあまり改善されないだろうことがわかったので残された分野である自由大気気象変化と高低気圧の構造を明かにすることに望みを抱くようになった。また1914年に火蓋が切られた欧州大戦と飛行機や飛行船の実用は高層気象の研究に拍車をかけた。

1904年にはV. Bierknesが「大気の初期条件をできる限り完全に近く表現し、大気運動を表わす動力学的・熱力学的方程式を積分することによって天気予報は数学的決定の問題となる」とする見解から動気象学のパログラムを発表したことはこれに続くノールレー学派を中心とした理論気象の発展と第2次大戦後の数値予報と関連させて注目すべき第一歩である。

また1910年前後には低気圧波動論のもととなる低気圧の発達と温度場の関係もわかってきた。その主なものは<sup>(20)</sup>

- (1) 発達するストームは顕著な水平温度傾度を伴いストームの前面における急速な温度上昇は発達を意味し、しかも北西側で気温が急速にさがる時には発達が激しい。
- (2) ストームの東側で気温がシャープに昇るのはストームが北東に進み発達しつつあることを示す。

この時期において熱力学そのうちでも大気の垂直安定度や最大可能降水量の考えが予報にとりいれられるようになり、雲や降水の物理現象もすこしずつわかってきて予報技術への大きなバックボーンとなった。

#### 6. 1920年代・1930年代(大正9~昭和13年)の 新予報技術(前線理論の予報技術としての吸収)

ビヤークネス派が作りあげた極前線理論はこの20年間に世界各国から色々と批判されながら次第に天気図解析技術ならびに予報技術へと吸収されていった。

#### 7. 1940年代以後(昭和14年以来)の新予報技術

第二次世界大戦を通じて電子工学と航空機の目ざましい発達によってラジオゾンデの精度は向上し観測網の充実と共に高層天気図の解析が予報技術に欠くことのできないものとなり、レーダーの気象目的への使用は数時間以内におけるある種の予報技術に決定的な武器となり、またレーダーやローランならびに電波高度計を備えた長距離用飛行機による洋上や極圏への天候偵察と台風偵察ならびに世界的規模による定点気象観測船の運用は予報技術をかなりの程度に向上させたことはたしかである。また1922年にRichardsonが試みて成功しえなかった数値予報の問題も改良された高層天気図と電子計算機の使用によって可能となり、順圧モデルから傾圧モデルへと成功裡に進み、予報技術としての実用段階に入りつつある。このようにして予報の精度は飛躍的に向上するはずであるがはたして天気予報も天文暦や潮汐表にわれわれが対する時に近いような期待を将来において抱くことができるであろうか? ストーム警報の信頼度は飛躍的に増大し、天気予報についてもあまり予期しなかったような見込みは激減され、全体としての予報精度も数パーセントは良くなるであろう。そしてその時に再びある壁に突き当たり、無線電信が実用化されて洋上の気圧配置がわかるようになった頃の予報者が味わったであろうような落胆と当惑を感じるのではないであろうか?

まず大気中に存在する天気を左右するような色々な大きさの乱れを考えてみるとおおよそ第1表のように分れる。さて問題とすべき点は雨を降らせたりくもらせたりする乱れが $10^6 \sim 10^7 \text{cm}$ の大きさであるために寿命時間もわれわれが必要とする予報期間に比して遙かに短かく、またその乱れの発生・移動・消滅を表現しうる力学をまだ持たないことである。突風やトルネードならびに降雹のような現象の予報はいつになったら可能になるだろうか? 高気圧の中で雲が無いことを予想し低気圧の中心付近で雨を予想するのはただ高気圧の中心付近では広範囲の下降気流のためにこの大きさの乱れの存在する可能性が少く、低気圧付近では一様な強い上昇気流のためにこの大きさの乱れが最も多く集中しているからである。ところが不活潑な前線付近の天気とか均一気団内で気流が稍収斂している時の天気を予想する場合はどうであろうか? 予報技術者は恐らくしぶい顔をしながら彼等がよく使う「晴たりくもったり所により俄雨」と予報を書くであろう。もうすこしはっきりいえば適確な判断が下せないというところであろう。これが天気予想の技

術がもつ本質的な問題点なのである。気圧配置も平均的渦度場も平均的上昇流分布も連続的に変っているが雲や雨は不連続に分布している、降水の予想は all or nothing であり、一般の予報利用者が行動を決定する時も多くの場合に決行するか中止するか二つに一つの選択である。

ここにわれわれが再び Abercromby の昔にかえて天気図とは何かを再検討、予報技術のありかたを考えなおそうとする理由がある。

#### 参 考 文 献

- (1) 久米庸孝：天気の当り外れ。科学 24. No. 10.
- (2) G. V. Elsner：天気図及び天気予報の発達。科学 5. No. 67
- (3) Encyclopedia Britanica
- (4) The Meteorological Work of the Smithsonian Institution. Amer. Met. Jour. 10. No. 9
- (5) W.A. Glassford：Synoptical Sketch of the Progress of Meteorology in the U. S. Amer. Met. Jour. 9. No. 4
- (6) Napier Shaw：Forecasting Weather (1923)
- (7) Fitz Roy：Weather Book (1863)
- (8) J. W. Smith：The Weather Bureau in its Relation to Agriculture. Amer. Met. Jour. 9. No. 1
- (9) Amer. Met. Jour. 6. No. 6
- (10) Amer. Met. Jour. 6. No. 3
- (11) R. Abercromby：On the Application of Harmonic Analysis to the reduction of

Meteorological Observations, and on the General method of Meteorology. Q. J. Roy. Met. Soc., 6. No. 27

- (12) R. Abercromby and W. Marriott：Popular Weather Prognostics. Q. J. Roy. Met. Soc., 9. No. 45
- (12)' R. Abercromby：On Certain Types of British Weather. Q. J. Roy. Met. Soc., 9. No. 45
- (13) International Meteorological Congress at Paris. Amer. Met. Jour., 6. No. 10
- (14) H. Clayton：Recent Efforts towards the Improvement of Daily Weather Forecast. Amer. Met. Jour. 9. No. 3
- (15) W. L. Moore：Rules for Weather Forecasting. Amer. Met. Jour. 10. No. 2
- (16) H. Clayton：A Seven-day Weather Period. Amer. Met. Jour. 2. No. 4
- (17) H. Clayton：An Experiment in Long Range Prediction. Amer. Met. Jour. 2. No. 4
- (18) H. Clayton：Long Range Weather Predictions. Amer. Met. Jour. 8. No. 2
- (19) J. G. Charney：Progress in Dynamic Meteorology. Bull. Amer. Met. Soc., 31. No. 7
- (20) Mc Adie：The Principles of Aerography (1917)

(中央気象台予報課)

(8頁よりつづく)

追記：その後大正11年には銚子測候所長大村信之助君数度の海難に痛心甚しく投水自殺し、昭和29年には輪島測候所長深瀬克己君海難の責を負って水死を遂げたことあり、また昭和9年9月の室戸台風には阪神地方の災害殊に著しく政府は臨時議會を召集して災害の復旧と気象事業の拡張を講じた程であったが大坂支台は警報を発する機会を逸した。また海上関係で昭和8年10月屋島丸沈没事件と近くは昨年9月26日の青函連絡船沈没また本年5月81日紫雲丸霧中衝突の惨事あり後2者はまだ海事審判に附せられておるが、災害の責務を論ずるときは予報技術者の職責論となり予報から退いて情報に留めようとする議論も起ってくる。しかし現行法規上には予報は気象官署の重大責務で、予報官の名目まで存在するから罵と検討を要する事柄である。本文を草する所以もまた、そこに存する。

\* \* \* \* \*

(18頁よりつづく) 山系の北側を通るようになると風下に当る九州から上海にかけてトラフが発生し、日本は梅雨に入り、同時に印度はモンスーンに入った。これはあたかもジェット流がヒマラヤ山系にそって流される地形の影響のために高気圧性の渦度が与えられ、渦度保存則からも期待されるように日本ふきんにトラフが発生し、高緯度の擾乱と位相が逆になる。しかしもう一つの重要な問題であるオホーツク海高気圧との関係については、ジェットの分流、ヨーロッパのブロッキング高気圧との相互作用がこの問題を解明するかぎとなる。

#### 参 考 文 献

- (1) Maung. Tun. Yin, 1949：A synoptic-aerological study of the onset of the summer monsoon over India and Burma. Jour. Met. 6, 393~400.
- (2) 須田建, 朝倉正：1954年梅雨期の北半球上層平均天気図の解拆(昭和30年2月気象学会発表)
- (3) L. A. Ramadas, 1954：Prediction of the date of establishment of southwest monsoon along the West Coast of India, Indian Jour. Met. & Geo. 5, 4, 305~314.

(気象研究所)