



# 米国気象局の長期予報

須 田 健

戦後、米国で発達した新しい気象理論や予報技術が続々導入せられ、現業にもとり入れられて活潑な研究の対照となっているが、それは主として短期予報の面に限られ、長期予報、とくに季節予報の分野では、米国でどんな長期予報法が採用されているかということすらあまり知られていないように見受けられる。われわれ予報にたずさわる者として、わが国で発達した方法の発展をはかるべきはもちろんであるが、それと同時に外国の長期予報について知ることも必要と思われるので Namias と Light による最近の報文〔1〕にもとづき、それに乏しいながら筆者の見聞をつけ加えて紹介を試みることにする。

## 1. 米国における長期予報の沿革〔2〕

1930年代の始めころから米国政府の長期予報に対する関心が高まって来たので、これに応ずるため気象局は1935年いらい農業経済庁(Bureau of Agricultural Economics)とマサチューセッツ工業大学(Massachusetts Institute of Technology または M.I.T)の協力を得て長期予報の研究にのりだすことになった。まず長期予報に関するあらゆる文献の系統的調査が行われたが、この結果偶然の適中以上の精度をもっているのは Baur の指導で発表されているドイツの長期予報だけで

あることが明かにされた。他の方法が黒点や月の位置のような一変数によって天気を予想しようとしているのにたいし、Baur の方法は、地上10,000ないし30,000呎の高層観測を利用し多くのデータの相関を考慮することを特徴とするものである。

このような基礎的調査の結果と米国の高層観測から得られた経験則をもとにして米国気象局と M.I.T. の共同研究計画が樹立され、長期予報の実用化を目指して活動を開始したが、研究をすすめるに当っては理論と経験則とを密接に調和させることにとくに考慮が拂われた。

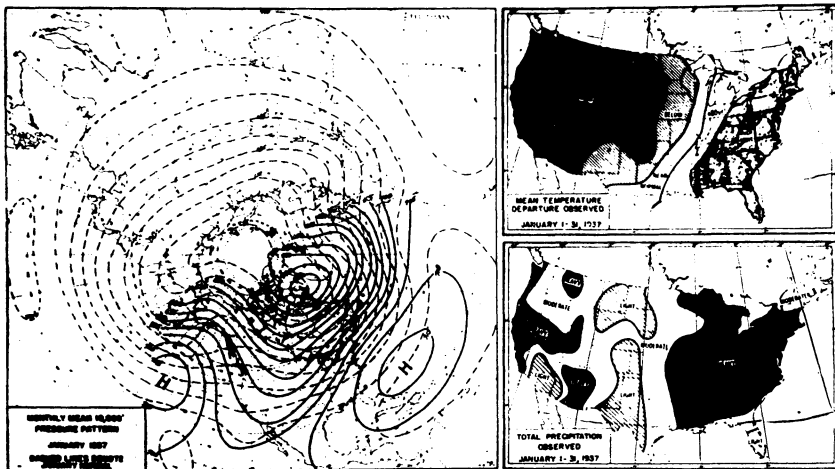
1941年にはこの研究計画はワシントンに移され、気象局で長期予報の現業班と研究班が充足し現在まで活動を続けているが、その当面の目標は週に二回づつ半旬予報を発表することであった。翌1942年には予報期間が一ヶ月に延長され、現在では毎月二回づつ一ヶ月予報が3000の利用者に配布され、またその概況は新聞やラジオを通じて一般に報道されている。

## 2. 原理

米国気象局の長期予報は、ある地域の気象状態が遠くはなれた所の気象状態によって決定されるという考えに立脚し、全世界にわたる大気環流の特徴を理解することをもってその基礎としている。そこで気象報によって世界

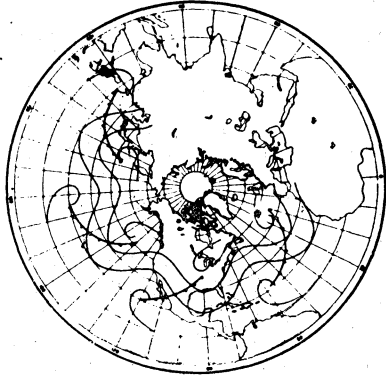
中からできるだけ多くの高層および地上の観測結果を集め、これによって地上から30,000呎にいたる各層の等圧面天気図を作り大規模な流れの模様を明らかにすることが長期予報の第一歩となる。

毎日の北半球天気図をある月について長い期間にわたり平均すればその月の標準状態を知ることができる。第1図の点線はこのようにして得られた一月の1000呎の標準気圧分布であるが、図からわかるよう



第1図 左図は1937年1月の1,000呎月平均気圧分布図(実線、ミリバール単位)標準値は点線(ミリバール単位)で示してある。右の二枚の図は同年同月の地上気温偏差、降水総量の実況。

に大規模な偏西流が極をとりまいて存在し、それに正絛曲線に類似の波動がかさなっている。この偏西風中の波動は地表の海陸分布によってできたものである。第2図は上層の偏西風を示す模型図でいくつかの波動が現れているが、そのうちアジャ東洋沖のトラフは非常に寒冷な



第2図 偏西風中の長波の模型図。

気団がシベリヤから温暖な黒潮の上に流出してじょう乱が起った結果生じたものであろう。偏西風がじょう乱を受けると下流にいくつかの波が形成される。たとえば第2図では太平洋東部、北米東岸およびアゾレスにトラフが現れている。トラフの背後に寒気団が北西気流となって南方に運ばれ、前面では暖気団が北上するから、偏西風の波動は天気と重大な影響を与える。すなわちこのような異質気団の収斂の結果、強い前線が形成され、中緯度の低気圧の大部分がその上に発生することになる。第2図左の実線は 1000 呎の高度における 1937 年1月の気圧分布であるが、その右に掲げた同期間の米国の降水総量および気温偏差図と比較すれば上記トラフの重要性をうかがうことができるであろう。この月にはオハイオ谷地に大洪水が、米国西部に厳寒がおこっているが、前者の発生位置はトラフの東方で亜熱帯気団と亜寒帯気団の境界が停滞していた場所にあたっており、また後者はトラフの背後の強い北西風による寒帯気団の流入が原因となっている。

トラフがこのように顕著な異常気象を起すことがわかった以上、その仕置の予想法が要求されるのは当然である。そこで、短週期または小規模の変動を消すために5

しかし実際には、トラフはほとんど常に運動状態にあり、たえず平衡に達しようとしている。

(1) 式から、トラフの東進速度は西風の速度が大きく波長が短いときに大きな値をとることがわかる。一方波長が十分長ければ  $c < 0$  となり、波は逆行して西進することになる。これは実際に天気図上で確かめられることで、ここに示した第3図の例

日平均または一月平均の気圧分布図を作製し、その上に現われる偏西風中のトラフを追跡してみた結果、上層の波動は進行性のものであり統計または物理的にその運動を予想することがあるていど可能であることがわかった。まず冬季における  $40^{\circ}N$  のトラフの東進速度の平均をとってみると次のようになる。〔3〕

空気粒子	日日天気図	5日平均天気	30日平均天気
上のトラフ	上のトラフ	図上のトラフ	図上のトラフ
12°/日	12°/日	8°/週	2°/週
		1.1°/日	0.07°/日

これからわかるように平均図上のトラフは空気粒子自身よりずっとゆっくり運動しており、空気粒子および日日のトラフの速度が1日12°であるのに5日および月平均のトラフの速度はそれぞれ約1°および1/10°にすぎず、空気粒子や日日天気図上の気圧系はそれぞれ10倍、100倍も速く東進している。注意すべきは長期予報にとって重要なのはこのように速く動く空気粒子や日日天気図上の気圧系の運動ではなく、むしろ大規模なトラフやリッジのゆっくりした動きであって、5日または1ヶ月平均をとるのはこのような大規模な気流系を追跡するためにほかならない。

さて、上記のような偏西風中のトラフの運動は何によって支配されているかという点、それは絶対温度の鉛直成分が保存されるという原理である。1939年 Rossby はこの原理に基き、水平に運動している摩擦のない非圧縮流体中の正弦波の傳わる速度は次の式で現わされることを示した。〔4〕

$$c = U - \frac{\beta L^2}{4\pi^2} \quad (1)$$

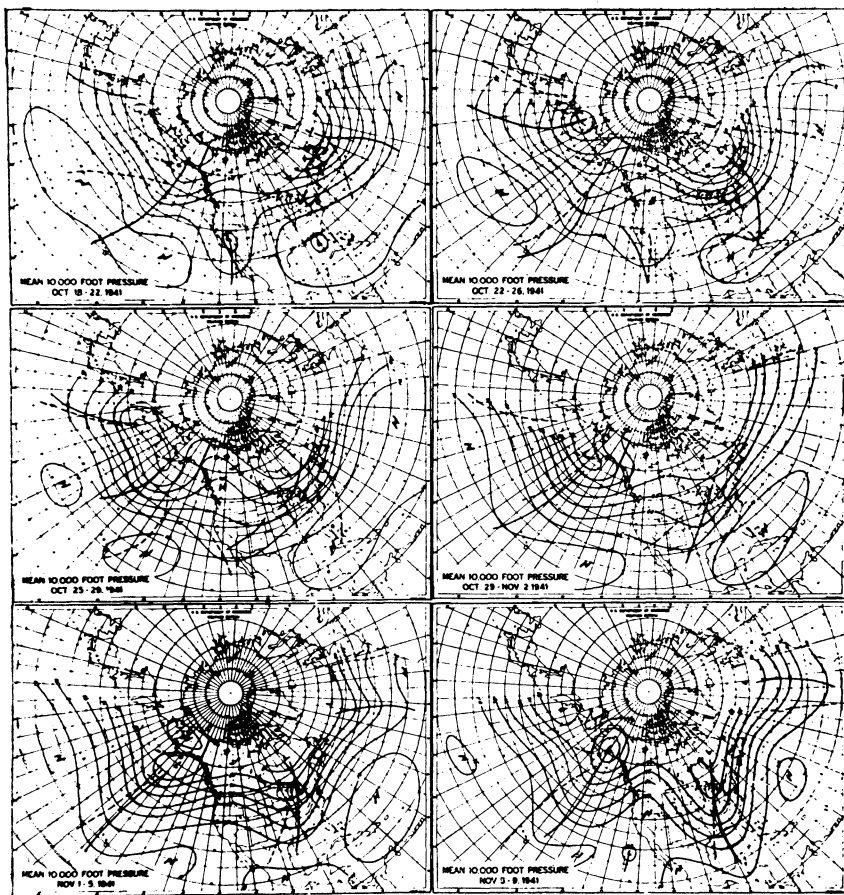
ここに  $c$  は波の速度、 $U$  は偏西風の速度で、いずれも東向きを正にとってある。また  $\beta$  は Coriolis のパラメーターの緯度による変化率、 $L$  は隣りあつたトラフの間の距離すなわち正弦波の波長である。(1)式で  $c=0$  とおけば定常状態のときの波長  $L_s$  が得られる。

$$L_s = 2\pi \sqrt{\frac{U}{\beta}} \quad (2)$$

異った緯度および偏西風の速度に対する定常波の波長の値を示せば次のとおりである。

緯度 $\phi$ / 速度 $U$	4 m/sec	8 m/sec	12 m/sec	16 m/sec	20 m/sec
$30^{\circ}$	2322 km	3990 km	4888 km	5644 km	6310 km
$45^{\circ}$	3120	4412	5405	6241	6978
$70^{\circ}$	3713	5252	6432	7428	8304

では、始め異った緯度にあつた二つのトラフが、高緯度で逆行がおこり低緯度の波は東進したため遂には合一している有様がよく示されている。図は 1941 年 10 月 18



第3図 1941年10月18日—11月9日の10,000呎5日平均気圧分布実況  
 谷線は(実線)各緯度圈上の気圧の極小を結んだ線、破線および点  
 線はそれぞれ半週間前および一週間前の位置である。

日—11月9日の期間の10,000呎5日平均気圧分布図で、左上の図からわかるように10月18—22日には大西洋中部に平均トラフがあった。このトラフと太平洋東部のトラフによって形成された波長が長いために、次の図では大西洋のトラフは北米東岸に向かって逆行し、25—29日にはさらに西進して五大湖地方に達している。一方カリフォルニアにあった低緯度のトラフはゆっくり東進し25—29日は五大湖上のトラフに合一する気配を示している。かくして、次の数枚の図に見られるとおり、これら二つのトラフは融合して一つの巨大なトラフとなり11月5—9日にはハドソン湾からユカタン半島に連なっている。この結果、寒風気団のいちぢるしい南進がおり、メキシコ湾沿岸の諸州は強い寒波が襲来した。

### 3. 方法と実例

高層の偏西風の谷を追跡し予想することが長期予報上いかに重要であるかは上の例をみても明らかであるが、そのためには偏西風の速度を予報しなければならない。それには、偏西風の有する大きな慣性にかんがみ、上層気流の傾向の持続性を利用する統計的方法が主としてと

られている。また同時にConfluence (温度の異なる流の合流)のような物理的な概念も利用される。

高層の気圧分布は主にトラフの速度を与える(1)式に基いて予想されるが、緯度や季節に応じて適当な補正を施す必要があり、更に各種の統計的物理的方法も併用される。とくに、将来の等圧面高度やその変化傾向の予想は相関法によって得られ、それらに応じた平均気圧系の運動は運動学的解析により計算される。

このようにして将来の上層気圧分布が決定されるとこれに基いて降水量や気温の年偏差が予報されるのであるが、この際、天気図解析によって得られた知識を活用し、予報を首尾一貫したものにしなければならない。

たとえばジェット・ストリームが高緯度で寒気を閉塞した場合、これに伴って帯状示数(Zonal index)が下降し、北極気団がトラフの背後から米国に南下してくるとこや、降水がトラフの前方におこりやすくその量はトラフの強さや南方からの水分供給によってきまるという事実を考慮する。

気温の予想は日本と同様年からの偏差で表現されるが、用語は「年並」、年より「高い」または「低い」および年より「いちじるしく高い」または「いちじるしく低い」の五段階が用いられ、それぞれ予報地区によって異なる数値の限界が対応させてある。すなわち過去の気温観測記録のうち平均値をはさむ25%の頻度の限界内にある値を「年並」とし、その両側25%づつを「高い」および「低い」に、更にその両側12.5%づつを「いちじるしく高い」および「いちじるしく低い」に割当ててある。降水量も同様にして各予報域について客観的に限界が定められているが、段階は弱、中、強の三つで、それぞれ33.5%の頻度が対応させてある。

気温偏差は上層気流の方向、速度に依存しているから上層気流を予想することにより地上の気温偏差を予報す

ることができる。この方法で出された気温予報の精度は第4図によって知ることができよう。図は1946年2月、1947年2月の予想図と実況図を比較したものであるが一カ月予報としてはよく適中しているといえる。

適中していることがわかる。下段は降水分布の予想と実況で、降水量の多い地域がワシントン、オレゴン州から中部平野地方、五大湖東部をへてニューイングランドに連なるだろうという予想は大体的中している。ただし南

東部では少いと予報したのが実際は多く出ており予報がはずれた。なお、これは予報のよく当たった例でももちろん適中度の悪いこともあるのであろうが、Namiasの記述に従えば、このように大気環流全部の大勢を把握することにより作製した長期予報は局地のデータのみに頼って出した予報に比べてはるかに良い成績をあげているとのことである。

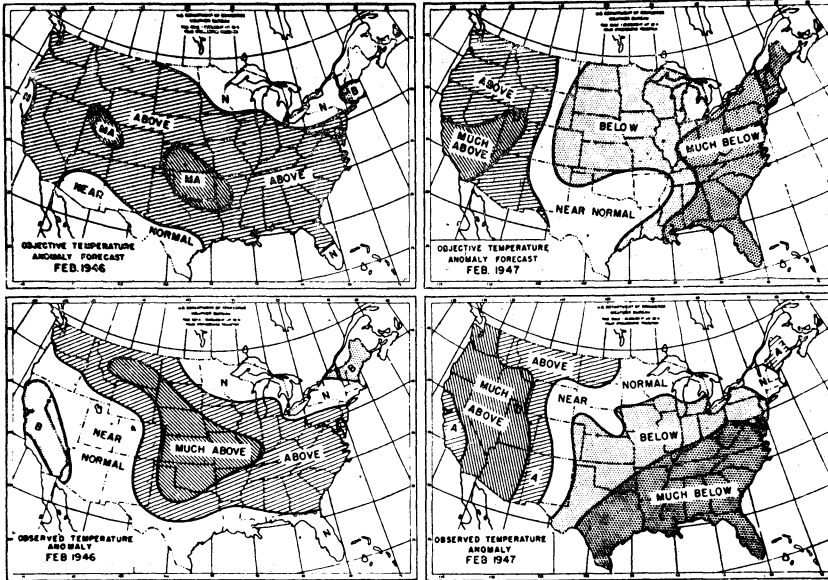
また、一定期間の気温、降水の分布状態のほか、半月の長期予報に基いて短期予報をつぎつぎにのびして行くという方法で同じ期間中の毎日の高低気圧、前

線、気圧のうごきも予想され、半月予報にたいしては6枚の予想図が作られているが適中率は十分でない。

この方法で更に長期間の予想図を作っても今のところ成功する見込みは少く、Willlettが指摘しているようにおそらく5日位が限度なのであろう。従って、ある特定日の天候が知りたい場合の、長期予報にあまり多くを期待することはできない。しかし農業、水理、石炭輸送等の業務に従事する人にとっては、日々の天気は大して問題でなく、ある期間の気温や降水量の大勢を知ることの方が重要なのであるから、既にのべたような形の半月または一カ月予報は大きな価値を有するといふべきである。

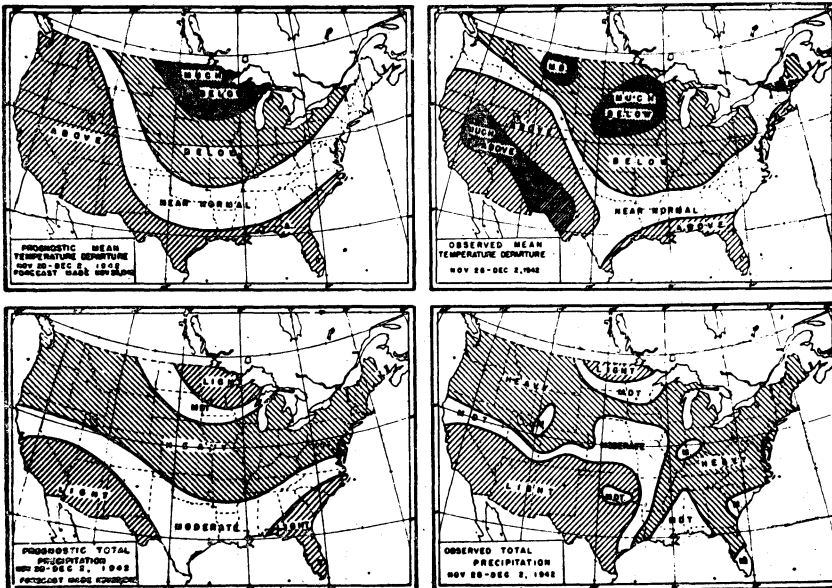
4. 結論

以上の述べてきたことからわかるように、米国の長期予報は大気環流の理論に基き大規模な環流の異常を北半球全域から集められ



第4図 上段は1946年2月および1947年2月の上層大気環流実況に客観的方法を適用して判断した地上気温の平年偏差。下段は同年同月の実況。

同じ方法で作製した半月の気温および降水量の予想図とそれに応ずる実況図を第5図に示す。上段は最新の観測時刻から36時間後に始まる5日間の気温偏差の予想および実況図で、五大湖地方の低温平野地方北中部いちじるしい低温、西部と南部の高温が予想され、それぞれ



第5図 左は1942年11月28日—12月2日の期間にたいする地上気温平年偏差および総降水量を1942年11月26日に予想したもので、右は同期間の実況。

たデータによって把握することを前提としている。現在のところ一カ月以上の長期予報は出ていないが、将来北半球全域にわたる高層観測網が充実されるならば、方法の合理性からみて予報期間を三カ月または半年に延長することも不可能ではあるまい。

ひるがえって我が国の長期予報の現況を見るとその方法にかなり大きな差違があることがわかる。すなわち、日本の長期予報、とくに季節予報では、各気象要素の週期の分析と卓越週期の外挿に重点が置かれ、基礎となる資料も主として極東域のものに限られている。このような週期の外挿による方法は週期の安定度が良いときは有効で、昨年の暖候期予想のように良好な成績をおさめることができるが、一度週期に変動がおこればその原因がつかめない以上、将来の予想が非常に困難となるという弱点をもっている。この弱点を克服するためにはどうしても週期分析のみならず米国で行われているような広域の天気図による方法を併用し、天候異常の原因を大気環流の変動と結びつけて考察して行かねばなるまい。

この様にすることによつて卓越週期も、もし実在するものならば、平均天気図上のパターンの動きと関連して把握することができるであろうし、それが突然現れたり消滅したりする機構を理解することもいづれは可能になるであろう。米国と我が国とでは国情に大きな異差があり長期予報の方法や重点を置くべき部門にも違いがある

のは当然であるが、明らかにすぐれていると思われる点は事情の許す限りとり入れて、近來とみに高まって来た予報精度向上の要望に答えるための一助としなければならぬまい。

(中央气象台)

#### 参考文献

- [1] The Current Long Range Forecasting Program of the U.S. Weather Bureau, The Scientific Monthly, Vol. 74 No. 1, Jan., 1952.
- [2] 長期予報開始時の事情については下記に詳しい。  
H. C. Willet & others: Report on an Experiment in Five-Day Weather Forecasting. Published By M.I.T., Cambridge, Mass., Apr., 1940.  
H.C. Willet & others: Report of the Five-Day Forecasting Procedure, Verification and Research as Conducted Between July 1940 and August 1941., Published by M.I.T., Cambridge, Mass., Nov., 1941.
- [3] J. Namias: The great Pacific anticyclone of winter 1949—50 etc., J. Met. Vol. 8, no. 4, 1951.
- [4] C-G. Rossby: Relation between Variations in the Intensity of the Zonal Circulation of the Atmosphere etc., J. of Mar. Res. 2. 1. 1939.

#### (質疑応答)

“ビキニの灰、いらい限度(許容量)にいろいろの値が出てきますが、どれが正しい値ですか。(長野 M生)

(答)

限度とはもともと労働衛生方面で使われている言葉です。高熱工場内の輻射温度とか生産の過程で発生するいろいろの毒物などがどの程度以上になったら人間に有害となるかという限界の量をいいます。ここで“人間に有害、”という規準をどうきめるかが一番問題になります。例えば“生体組織の中に極く僅かに吸収された物質の慢性的な影響によって健康を害する、”(ソヴェト)という所に基準をおくのと“明瞭な臨床的症狀の出現、(アメリカ)という所に基準をおくのではいづれいふ限度の値が違はずです。すなわち同じ限度といっても“少しでも害がみとめられれば、”というきめ方と“ここまでは大丈夫、”というきめ方では設定の規準に格段の差が出てきます。

ですから同じ毒物に対してもソヴェトで規定された限度量を10倍から20倍も越えるような高い値でアメリカでは規定されているような例がいくつもあります。

このように限度をきめる立場によってその値に違いが出てきますが、“ビキニの灰、”の限度もその例にもれません。この原子核分裂の生成物の限度も同じ米国の中ですらいろいろと異った値が出ています。アメリカの標準局では1ccあたり1,000万分の1マイクロキュリ

(1マイクロキュリはほぼ22万カウントに相当)をその限度としているのに対して、原子力委員会で1cc中1,000分の5マイクロキュリが限度といっています。どうしてこんな5万倍からの違いが出てくるのでしょうか。原子爆弾の使用、実験に対する全人類の反対をおし切ろうとする立場と少なくとも科学的な考えを持っている人々の立場のちがいがこのようなひらきをもたらしたのでないでしょうか。

日本の学者の中にも“危険の可能性だけで余りさわぐな、”という学者もいますし、これと反対の人々もいます。これはその可能性の確率がたとえ100万分の1でも数年後に原子病でたおれるという(現に今でも広島ではぼつぼつと白血病でたおれていく人がある)悲惨事に目をおおるか、あるいはそういうことを無くそうとして原子力兵器の禁止を叫ぶかという二つの違いなのです。

ですから限度にいくつかの値が発表されているとき、どのような人達によって限度が決められたかをよく見抜かなければなりません。

ビキニの灰の中には空気1cc中に1兆分の2マイクロキュリあっても肺臓ガンや造血機能に大きな害をおこすプロトニウムが既に発見されています。こうしたとき限度をアマク設定して日本人を“さわがせない”ようにする人々は一体どおいう人間なのでしょいか。

(編集部。神山恵三)