

最近の長期予報の進歩*

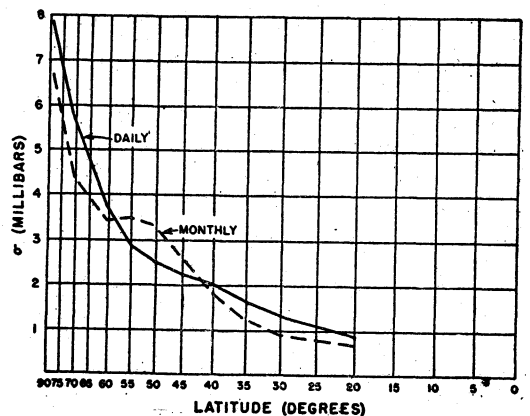
J・ナマイアス

須田 健紹介

日本の気象学者に御話する機会を得たことをうれしく思います。私が最初に日本の気象学について知ったのは1930年代で、その頃世界中の気象資料を集めていたところ実りっぱな天気図が神戸海洋気象台から発行されていることを発見しました。その後日本の気象学者の業績を通じ優秀な研究を行っておられることを知り、皆さんの御努力に対して心から感服して居るしだいでありませぬ。

今日は長期予報の一般的問題について御話することになります。小規模な気象現象、たとえば雨・雲・視程などについてはその予報の研究は最近長足の進歩をとげました。では長期予報の方はどうなっているでしょうか。昔からたくさんの人たちがこの方面の研究に努力して来ましたが、たとえば Walker 等は1900年頃大気活動の中心を決定し、その動静によって一カ月先の予報を出そうと試みましたがその結果は悲観的で、大気活動の中心と天気との相関は低いという結論になりました。これは Walker 等が小範囲の気象状態しか考へなかつたからです。すなわち、将来の東京の天気は東京付近の気象状態のみならず、遙か遠く離れた、たとえばノヴァヤゼムリヤの気象状態にも左右されるからであります。ですから東京付近の気象状態だけに基き1日先、2日先きというように短期予報をおしひろげて長期予報に達することは不可能で、長期予報を出すには少なくとも北半球全体の気象状態に着目しなければならないのです。いやそればかりではない、結局は太陽の状態までさかのぼって考慮しなければなりません。しかし太陽の気象に対する影響については人によって考えがまちまちで、ある学者はこれを否定しています。ですからここでは太陽のことは一応考へないことにして、地球上の大気の状態が与えられれば将来の天気が予想できるものと仮定して話を進めることにします。

ある日の天気と翌日の天気は全然独立ではなく、両者の間には相関関係があります。気象の素人でも明日の天気をあてることのできるのはこれによるもので、この人は天気の持続性という簡単な法則に基いて予報を行っているのです。そればかりでなく天気にはもう一つの持続性があります。それは回帰性といって、ある気象要素の値が1週間とか2週間おきに繰返すという傾向で、この傾向は遷期的のことも非遷期的のこともあります。



第1図 1899年から1939年までの1月の平均海面気圧標準偏差の緯度分布。実線は日平均値、破線は月平均値に対するもの。G.W. Brier 作製の資料による。

このような持続性が存在することは第1図を見ればわかります。この図に示したのは各緯度圏(横軸)における海面気圧の標準偏差(縦軸、mb)で、実線は毎日の気圧、点線は月平均気圧の標準偏差です。もし気圧に持続性がないものとすれば後者は前者の $1/\sqrt{31}$ となるはずですが図からわかる様に両方とも大体同じ値を示し、45°N から 55°N にかけてはかえって月平均気圧の標準偏差の方が大きく出ています。このことから天気には持続性があることが結論され、長期予報の可能性に対する希望が生まれてくるのであります。

予報を行うには高層の気象状態を把握することが必要です。われわれは基本高度として700mb面を選びまし

* 本稿は台風シンポジウムに出席のため来朝した米国気象局長期予報課長 Jerome Namias 氏が11月1日中央気象台で行った講演を紹介者により筆記整理したものである。

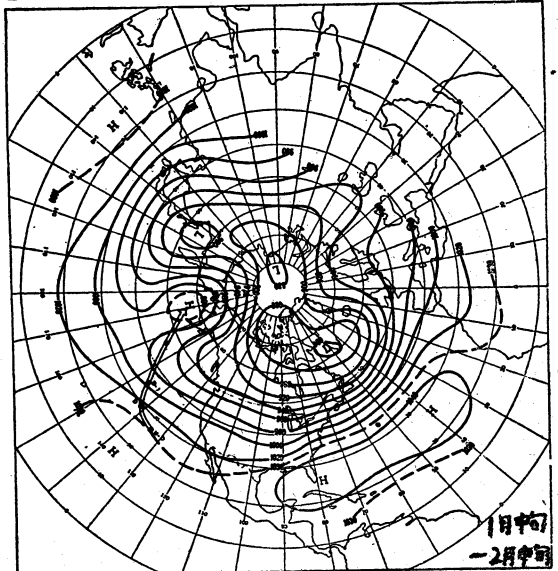
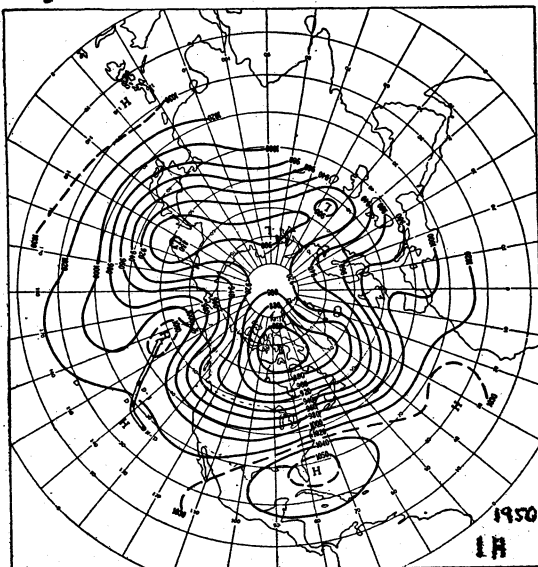
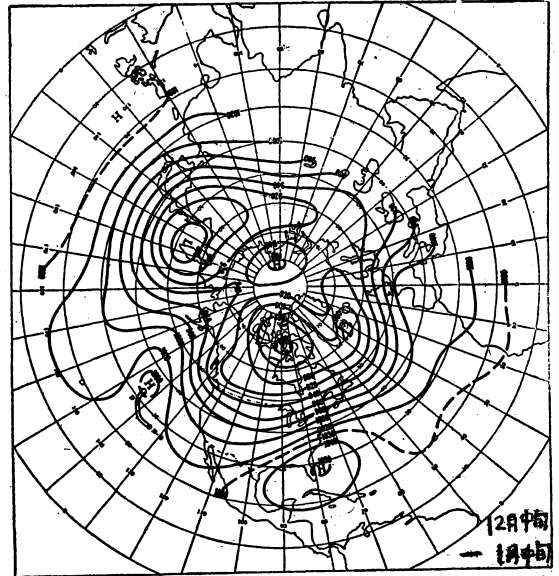
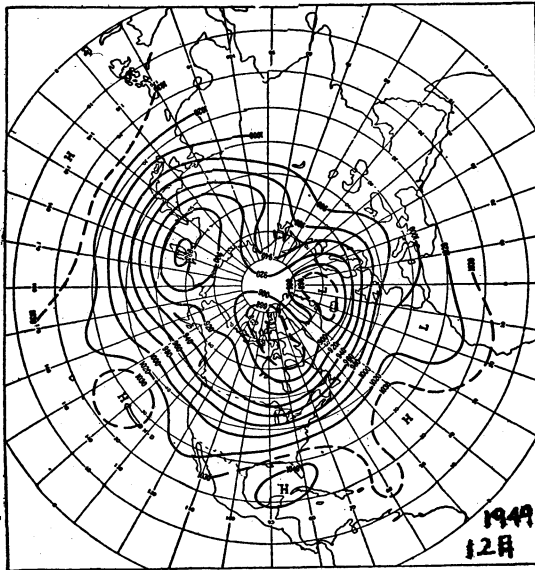
た. その理由は

1. 対流圏の中・下部の特性がこの図でよく現わされること.
2. この高度では観測が正確であること.
3. この高度ではデータが比較的豊富に得られるから図を描くの以外挿が容易であること.
4. 等圧面高度と地上気温との相関が良好であること (相関が最も高いのは 500mb であるが気団の移流を考えるためには 700mb の方が好都合である. なお相関係数の値そのものには両者の間に大きな差はない).

さて, このようにして描いた 700mb 天気図から各経緯線の交点 (格子点) で等圧面高度と気温とを読みと

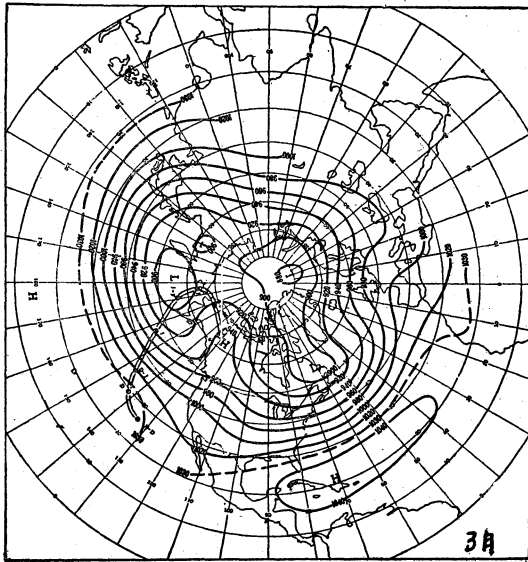
* ハワイに來襲するあらしで強い南風または南西風と豪雨を伴う。

り, パンチカードを用いて 30 日平均天気図を作ります. このような平均天気図上ではこまかい変化は平滑化され大規模な変動だけが現われて来ますが, ここに御目にかける第 2 図は, このような変動がゆっくり図上を動いて行くさまを現わす一例であります. この図は 1949 年 12 月から 1950 年 3 月までの 30 日平均の 700mb 天気図を半月ずつ重複させて描いたものですが, これを見ますと 12 月にははっきりした高気圧がハワイとカリフォルニアの中間の太平洋上に現われ, これが 2 月にはベーリング海にはいり, その後東進してアラスカに達したことがわかります. この高気圧ができるとともに共振の現象がおこってアメリカ東岸には高気圧が発生し, カムチツカの低気圧は発達して付近に暴風雨が多くなり, ハワイでは Kona storm* が頻発して雨が多くなりました, 2 月には高気圧はアラスカに達するとともに今まで北太平洋高

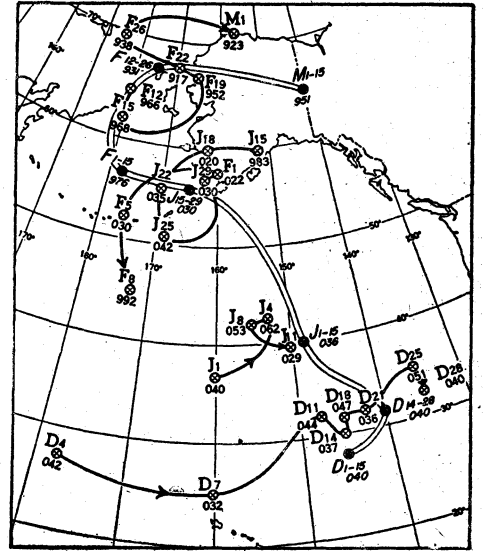


気圧の一部だったのが今度はアメリカのリッジの一部となりました。このような推移にともない北米の天気は一変し、12月末と1月には米国土のトラフの西側に供給されていた寒気が2月末から3月にかけては米国東岸に吹き下りようになり、それまで続いた暖冬が解消して東部諸州は寒気に襲われるようになったのです。

このような気圧系の運動は確かめるのが容易ではありませんが私の考えでは偶然のものではなく実在するものと思います。もし15日平均図でこの高気圧の動きを追ってみますと第3図の二重線で示したような経路となり、さらに5日平均で追跡しますと太い実線のようになります。このように平均期間を短かくすればするほど経路は



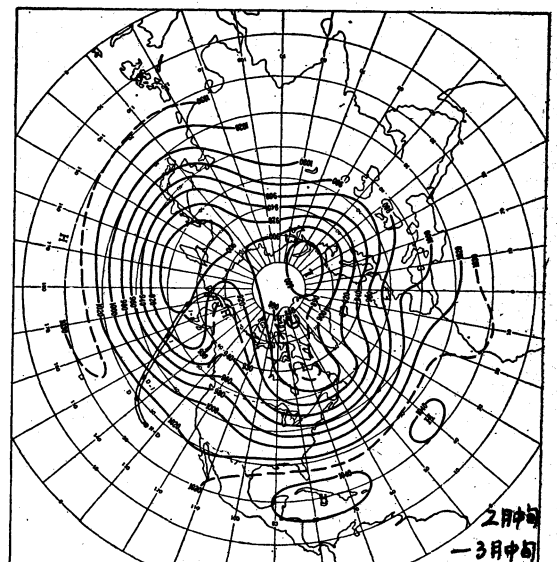
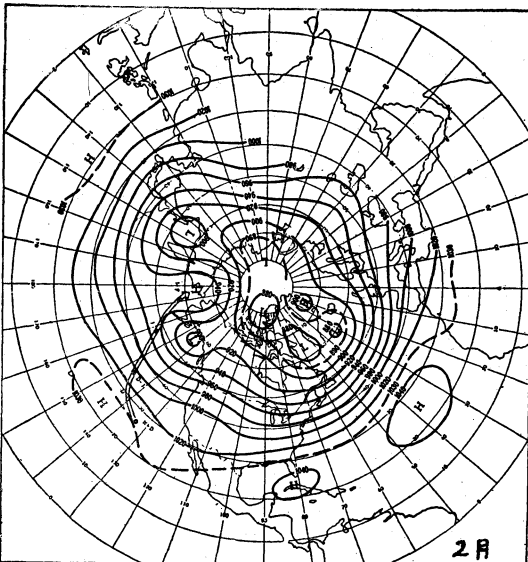
第2図 1949年12月から1950年3月までの各30日間に於ける700mb平均等圧面図。重線の矢は平均高気圧中心の運動の連続性を示し、中心の位置は12月はD、11月なかばから12月なかばまではN-D等と記してある。

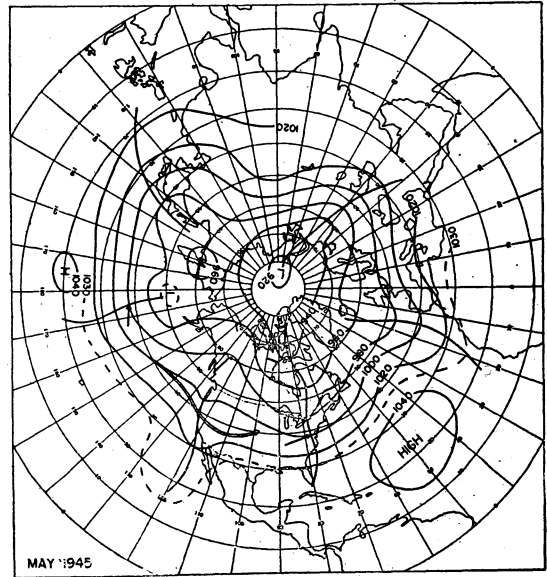
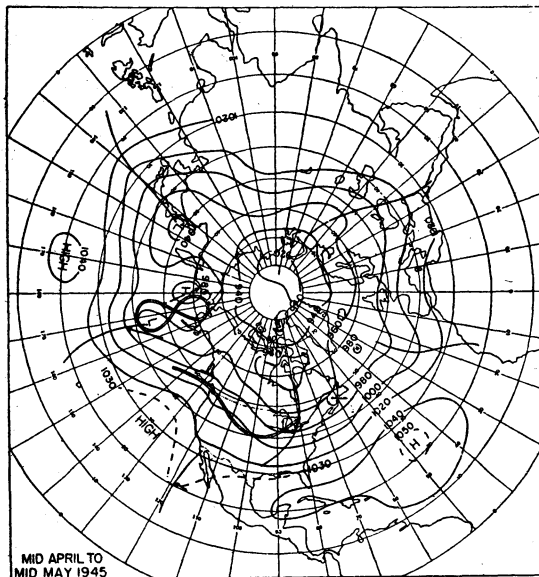
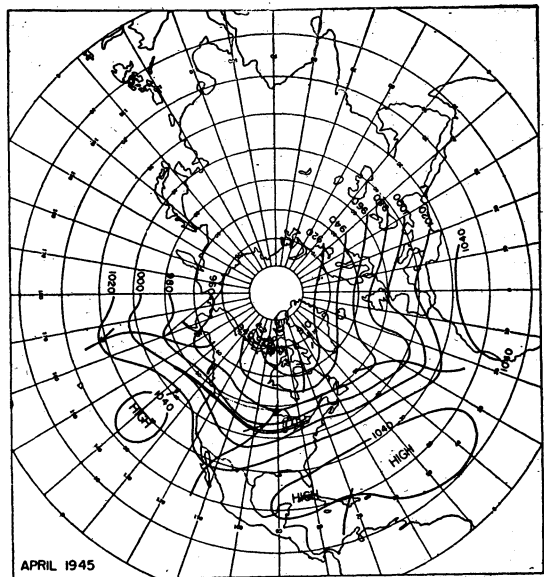
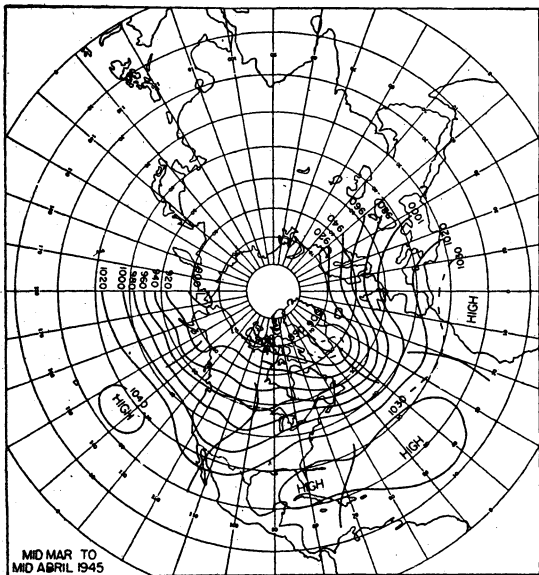


第3図 700mb面上の東部太平洋高気圧の5日平均(⊗)および15日平均(●)の位置。J1は1月1日までの5日間、J1-15は1月1~15日の期間をあらわす。以下同様。中心示度は小円下方に最初の桁を省いた10呎単位の数字で示してある。

不規則となる傾向が認められますが、もし日々の動きを描いてみれば不規則の度は更に増大して個々の高気圧の中には南下するものさえ現われて来ます。

更に別の例として1945年3~7月の状態を御話しましょう。米国では春から初夏にかけて土地が乾いていないとトウモロコシの植付けができません。ところがこの年の春は雨が頻繁に降りました。これは第4図の始めの二つに見られるような米国土のトラフに伴って降ったも



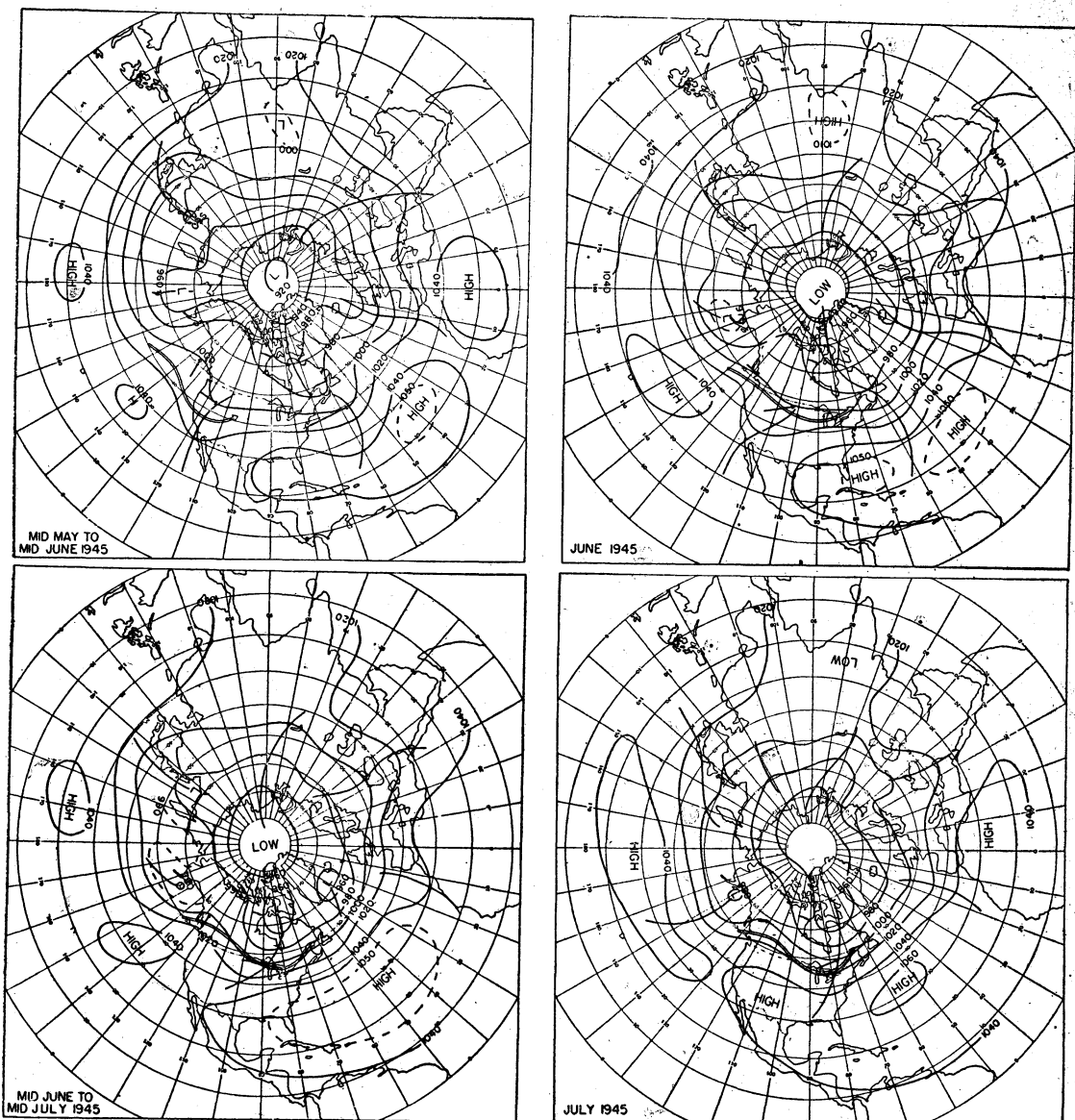


のです。図上でこの谷の動きを見ますとその後トラフは東進して大西洋に達したことがわかります。ところがこのように大陸上でトラフが東進しているのに中部太平洋にあるトラフはほとんど動かずむしろ西進しています。これはベーリング海方面の渦度の分布がトラフの進行を引きとめていたからだと考えられます。さてこのようにして二つのトラフの間の波長が増大したわけですが、これは Rossby の理論によれば偏西風の長波が不安定となることを意味し、その際波の逆行が起るかまたは新しい谷ができるといわれています。この場合には5月に米国西岸に新しく谷が発生し米国上を東に進みました。このようにして米国中西部の雨は二つのトラフによって起ったものであることがわかります。農務省は春の天候推移を心配して今後の見込を聞いて来ましたので、われわれは上のような解析結果に基づき中西部の天気が初夏には

ずっとよくなるし、またこれと同時に今度は東海岸地方に雨の多い天候が始まるだろうという回答を出しておきました。この予報はさいわい適中しました。

上の例からお分りのことと思いますが、平均天気図上でトラフやリッジを追跡することにより長期にわたる天気推移を予知することができるわけです。このためには30日、15日、5日等の平均天気図を描く必要がありますがこれはなかなか大変な仕事です。

それではこのような平均図が長期予報にとってどの程度有効に使えるでしょうか。これを調べるためにまず700mb面の高度を、ある日を起点として1日、2日、3日というように次々に加え合わせ、それぞれの平均をとって見たところ第5図のような曲線が得られました。この図を見ればすぐわかるように平均値はある期間後には安定しますが、安定に達する期間は季節や場所而异なり



第4図 1945年3月なかばから7月までの各月2回ずつ作った30日平均700mb等圧面図。定渦度流跡は重線で示す。実線の矢はリッジトラフの連続性を表わす。

ます。しかし2週間以上の平均をとればどの場合にも変動が少なくなることがわかりましたから、30日間の予報

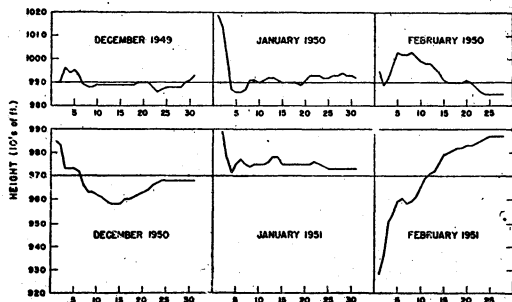
には半月または1か月の平均図が使えることとなります。

つぎに平均図上ではトラフやリッジがどのような速度で運動するかを統計してみましたところ次表のような結果が得られました。数字は700mb面上の経度の度数で表わした1日の速度、括弧内の数字はそれぞれの期間の

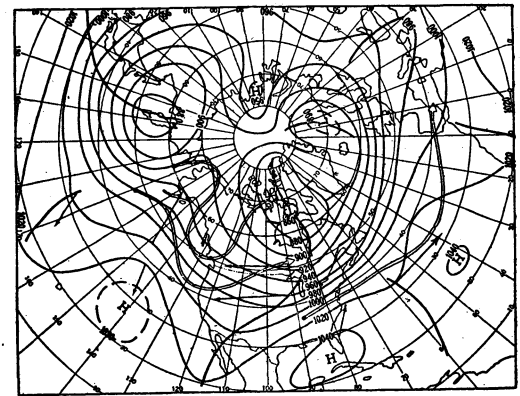
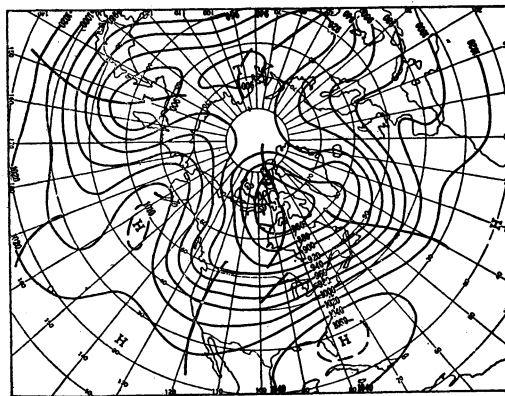
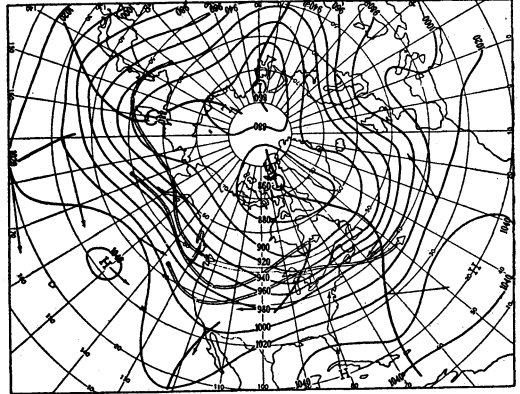
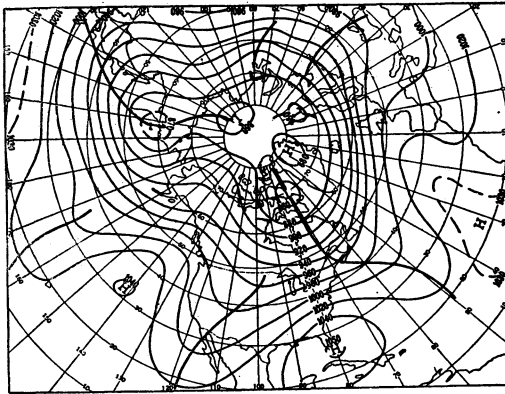
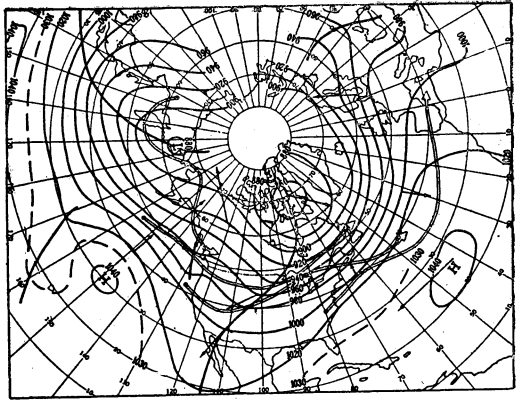
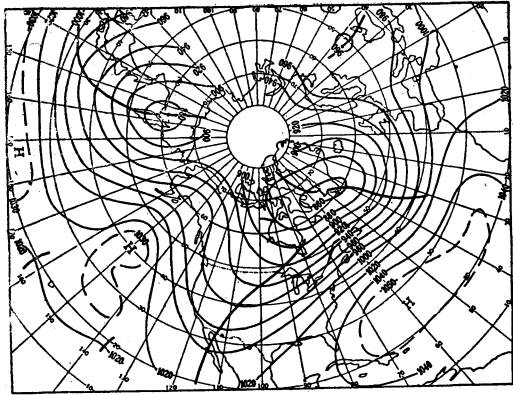
第1表

	算術平均速度	絶対平均速度	対標準偏差
日々の天気図(40°N)	12.0(12)	13.0(13)	16.0(16)
5日平均図(45°N)	0.86(6)	1.7(12)	2.1(15)
30日平均図(40°N)	0.07(2)	0.3(10)	0.4(12)

速度であります。この表から平均期間を長くすればするほど波の進行速度がおそくなること、すなわち平均をと



第5図 6個の冬の月について計算した700mb面高度の1, 2, 3, ...30日累加平均。



第6図 1937年1月(上), 1949年1月(中), 1950年1月(下)の700mb平均等圧面図。

第7図 1937年(上), 1949年(中), 1950年(下)の1月に対する「第一近似」。重線の矢は定渦度流跡線。直線の矢はリッジヤトラフの等高線を正しい位置に持つて行くのに必要な移動を示す。

ることによりゆっくり進行する波が現われて来ることがわかります。また括弧内の絶対平均速度および標準偏差が大体同じ大きさであることは興味のある事実です。このような結果はすでに1939年にBrooksが大気活動の中心の研究によって結論したところですが、われわれはそれを高層のデータを使って確かめたことになります。

ではどうしてこのように平均天気図上のトラフやリッジが動くのでしょうか。われわれには今のところその理由はわかりません。しかし、ある程度の推測はできます。ここに示す第6図は1937, 1949, 1950年のそれぞ

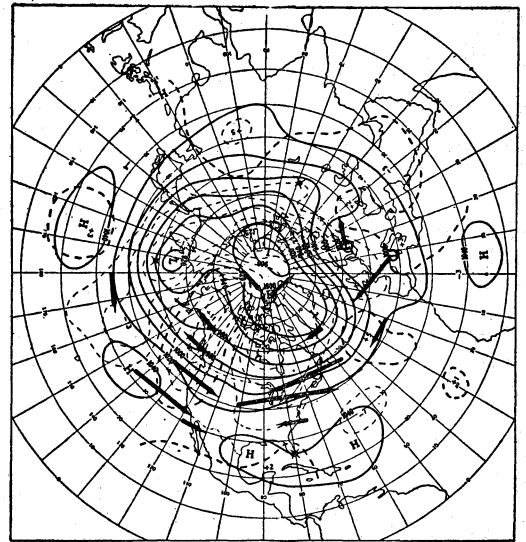
れ1月の700mb30日平均天気図ですが、とくにこの3年をえらんだのはそれらがお互によく似ているからです。すなわちこの三枚の図はいずれも偏西風の波の振幅が大きくてトラフやリッジが大体同じ位置にあることを示しています。またこのような等高線形式に応じて気温分布もよく似ており、どの年にも米国東部は温暖、西部は寒冷でした。そこでもし12月における700mb等圧面高度の平均偏差がそのまま1月まで持続するものと仮定すれば、12月の偏差図を1月の平均図に重ね合わせられることにより第6図と同じものが得られるはずで

実際にそれをやって見た結果が第6図の右に示した第7図です。両方を比較してみれば偏西風波動の大勢は良く似ており、この仮定が大体正しかったことがわかるでしょう。また第7図のトラフやリッジが第6図のものといちじるしく違っているところはそれに合わせるように実線で矢を描いてありますが、その矢の方向と12月から1月にかけての等圧面高度変化図（ここには示しません）を比べてみるとトラフやリッジは1月の気候学的平均状態に近づくように移動する傾向があることがわかります。こういう傾向はどの季節にもあって実際の予報に使えるほどははっきりしています。このようにトラフやリッジが動くときには互につりあいとれるように動きますが、いつでも調和が保たれるわけではありませんから相互に干渉しあいます。この干渉の結果が月平均天気図上の図形として現われて来るのです。このさい渦度の保存性がトラフやリッジの移動に効いて来て、流跡を変えようとするからこれを考慮すれば予想の精度はさらに良くなります。第7図に二重線の矢で示したのが渦度保存を仮定した流跡ですが、第6図と比較すればこのことがお分かりになると思います。

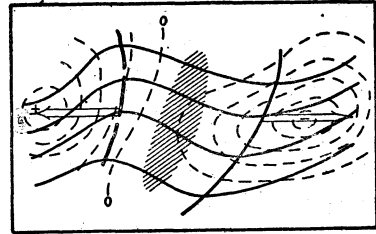
われわれはこれまでに述べたような方法でいつかは正確な季節予想法に到達できるものと信じていますが、現在のところは大気の環流に作用するいろいろな要素、とくに輻射のことがまだよく分っていないため完全に物理的基礎に立った予報はできません。この意味で今お話した方法はなお主観的であります。

しかしある程度客観的な予報を出すのに有効な簡単化された方法があります。それは Petterssen による外挿法であります。この方法は短期予報によく用いられることは御承知のとおりですが、同じことが平均天気図に適用できないという理由はありません。それではこの方法を30日予報のために用いるとして、変化傾向には何を選べばよいでしょうか。われわれは10日平均を作ってこれをその10日間の中央における瞬間値と考え、30日離れた二つの10日平均値の差を変化傾向としました。ただし予報日から先の値は分らないのですから、予報日を中心とした10日平均値を計算するには予報日の観測値とその季節の平年値とを使用します。こうして計算した変化傾向と観測された変化傾向との相関は良好で、0.93 という高い値を示すことがわかりました。

きて計算で出した変化傾向を30日平均図に記入して等値線を描けば Petterssen の方法が使えますからこれによってトラフやリッジの移動を算出することができます。第8図はこのようにして行なった予想の一例で、太い矢はトラフやリッジの30日間の移動の計算値です。一番難かしいのはトラフやリッジが互に調和を保った運動をしない場合の予想で、たとえばもし第9図のようにリッジとトラフが離れる傾向が続くと偏西風波動は波長



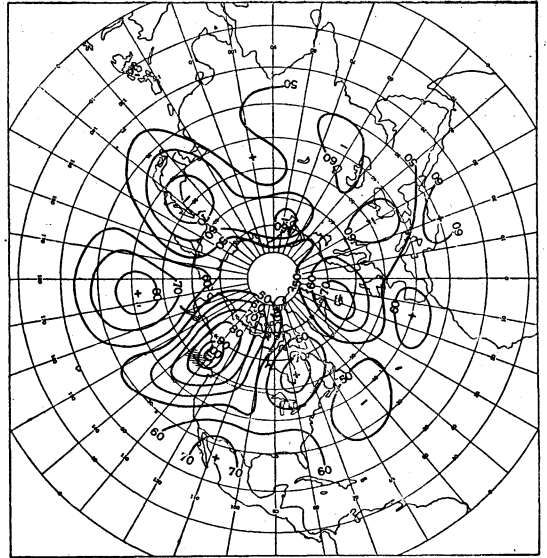
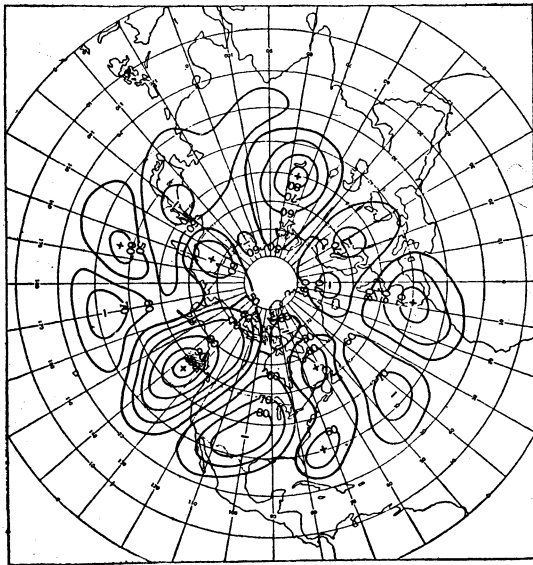
第8図 1951年10月の30日平均700 mb等圧面図上に重ね合わせた等圧面高度変化傾向(破線)。矢は30日間の移動距離の計算値。



第9図 現在あるリッジとトラフが反対方向に動いて過大な波長を形成する傾向があるときには平均の流れの形と等圧面変化傾向は(斜線を施した部分に)新しいトラフの発生を暗示する(模型図)。

が過大となり不安定化するため、影を施した部分に新しいトラフを生ずることがあります。このような場合には Petterssen のキネマチカル・アナリシスだけに頼るわけに行かず、季節や地理的環境に応じてトラフのできやすい地域に着目する必要があります。米国東岸にはこのようにしてトラフのできることがよくありますが、その際の等圧面天気図上の変動は一般に非常に急激です。

さらにまた地球上には地域的にはほぼ一定の定常的な波長があり、たとえばアジアの東部ではそれが比較的長いことなどがわかっています。しかしこれも決して正確に一定したものではありませんから、その局地的な変動も考慮に入れなければなりません。この点を明らかにするため Martin は5日平均天気図からある地域の700 mb面高度の平年差をとり、それが他の地域の高度の平年差とどのような関係にあるかを調べました。第10図はその結果の一部で、影を施した地域に強い正または負の偏差があった場合北半球全域で偏差の符号の分布がどのよ

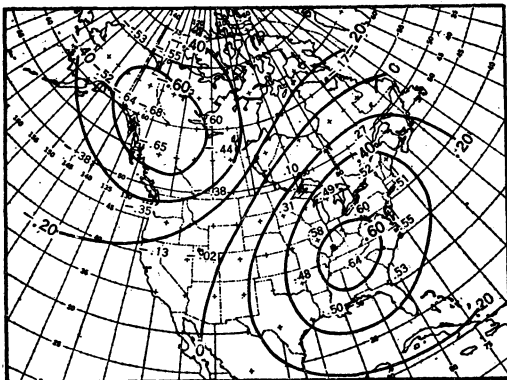


第10図 5日平均700mb等圧面図上で偏差の極大(左),極小(右)が斜線を施した地域にあるときの全冬季についてとつた偏差符号頻度百分率分布。

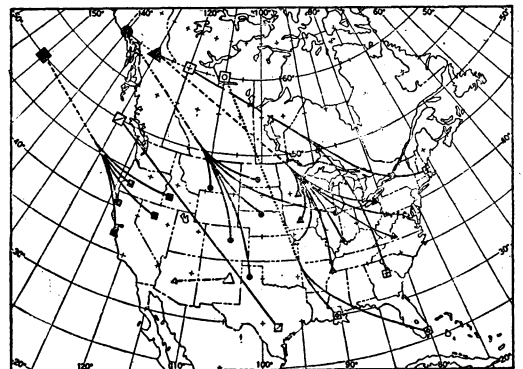
らになっていたかを百分率で示したものです。これによってみると各地点はそれぞれ key (anchor) area とでも称すべき地域をもっていることがわかります。ただし key area は一つではなく、たくさんありますから予報に当ってはその選定に十分注意する必要があります。このような key area を利用して予報することによりかなり高い適中率が得られることがわかりました。

これまででは平均図上の図型をどうして予想するかについてお話しましたが、次には予想された図型からどうして天気予報を出すかを述べましょう。世間で一番関心を持たれている気象要素は気温と降水量ですから、われわれはその月平均値を予報要素に選び、それが月平均700mb. 等圧面天気図上の図形とどのような関係があるかを調べました。一例としてエヴァンスヴィルの気温と北

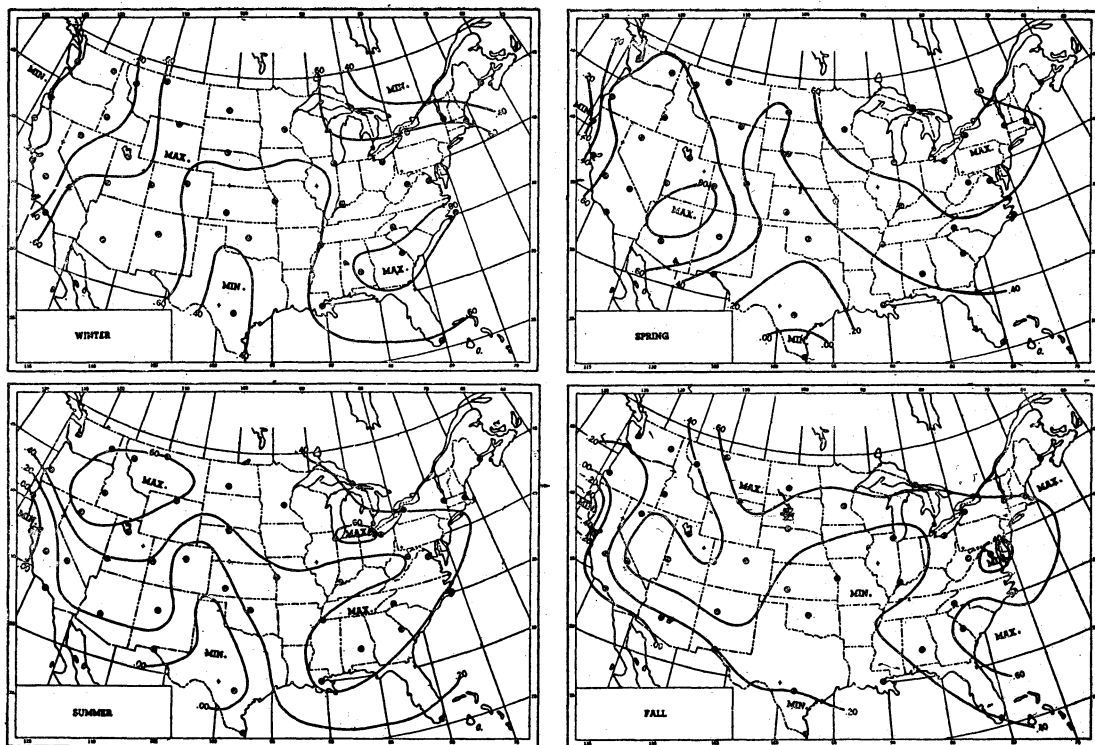
米大陸上の各地の700mb等圧面高度との相関をとってみますと相関係数の分布は第11図のようになります。この図でエヴァンスヴィルを中心として正の相関域が現れたことは別に不思議ではありませんが、驚くべきはアラスカにきわめてはっきりした負の相関域が存在することです。この事実はアラスカとエヴァンスヴィルの経度差がちょうど長波の波長の半分になっている場合が多いことによって説明されます。同様にしているいろいろな地点について負相関域の中心を調べた結果が第12図で、気温偏差が遠く離れた場所の等圧面高度偏差によって支配される状況をよく示しています。また700mb面の高度偏差と気温偏差の相関をとったのが第13図で、こういう資料を作っておけば等圧面上の図型を予想することによりある程度客観的に気温を予想することができます。予報を発表する場合には気温、降水量をそれぞれいくつかの階級に分け、それによって表現することにしてい



第11図 インディアナ州エヴァンスヴィル(星で表す)における地上気温偏差と他の場所の700mb高度偏差との相関係数分布図。相関は1945年12月から48年3月までの各5日平均についてとつてある。



第12図 客観的気温推定がなされた測候所(小さい印)とそれぞれに最も密接な関連のある遠距離の地点(大きい印)。



第13図 地上気温と10,000 呎気圧偏差の相関係数分布図。

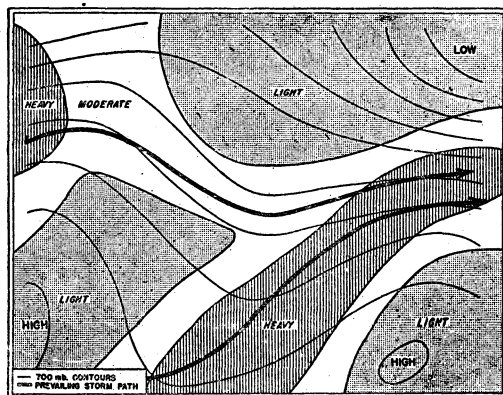
ます。すなわち、各地点について従来の観測値の頻度図を作り、気温については両端から 12.5% をそれぞれ「いちじるしく高い」または「いちじるしく低い」とし、その間は 25% ずつに区分してそれぞれ「高い」、「平年並」、「低い」とします。また降水量については同じ要領で全頻度域を 33.3% ずつに区分し、それらを「多い」、「平年並」、「少ない」と各づけます。

降水量の予想は気温の予想に比べてずっと困難です。それは降水が高層天気図の図形によるだけでなくまた対流によっても大きく左右されるからです。Smagolinsky は温暖前線と降水量の関係を調べた結果、意外なことに関係はあまり密接でないことを発見しました。これは降水が前面上の Convection cell によって起ることによるものと思われます。しかし冬期は対流が活発でないため雨域が数百マイルの広さに亘ることが多いから夏季に比べれば予報は比較的容易です。

中緯度では水分は大てい南方から供給されます。Klein の調査によると 700 mb 面上の図形と降水量との間には第 14 図に示すような一定の関係があり、冬期には流線の合流する場所に降水が多くなっています。西方のリッジの東で降水が少なくなっているのは下降と発散によるものでしょう。山岳の影響を受ける場所では降水量分布は必ずしもこの模型のとおりにはならず、風上側では多くなり風下側では少なくなります。さらに水分の供給源いかんによっても分布状態は変って来ますから降

水量予想は非常に困難な問題であります。

最後にわれわれの長期予報がどの位適中するかについてお話しします。それには 20 年前の状態と現状を比較するのが良いでしょう。米国気象局の長期予報は 1930 年代初頭の早稲づを契機として 1935、~6 年頃に始められましたが、この当時は長期予報の可能性を信ずる人はありませんでした。しかるに 1954 年の早稲づに際しては、ここにお目にかかる予想図と実況図(図省略)を対比して見ればすぐおわかりになるとおり等圧面図上の図形の予想はよく適中しております。すなわち北米大陸上には大きな高気圧があり、これがメキシコ湾からの水分の供給を阻害していました。一方太平洋東部と大西洋西



第14図 700mb 等圧面の等高線分布に伴う冬季の降水分布模型図。

部には大きなトラフがあり、低気圧はこれにそって北上しましたが、距離が遠いため内陸には影響しませんでした。この二つのトラフは相互に調和を保ちつつ持続したもので、同じ期間に欧州で雨勝ちの天候が持続したのもこのようなトラフの性質によるものと考えられます。以上の状況が予想図によって予知されたので気象局は米国東部に平年以上の高温、西部に平年以下の低温を予報したのですがその結果は満足なものでした。これは一例に過ぎませんが、現在ではわれわれの長期予報は産業方面に利用されて十分な成果を収めているということができ



書 評

積雪シリーズ (1), (2), (3), (4)

—積雪科学館発行
各 70 円

1. 雪とは何か 3. 雪国の住居 3. 雪国の話
(以上勝谷稔著) 4. 雪譜物語 (松岡讓著)

本シリーズは毎年一冊ずつ刊行され現在上記冊が出ています。高校生程度に解り易く書かれてあるが、専門の気象技術者にとっても結構楽しい読物である。

(1). は雪についての簡単な解説 (2). は著者が深雪地の農家を主に歩き廻り、そのすまいの様子を調査された汗の結晶の成ったものである。特殊な型体の住居の夫々に科学的な理由が付けられているのは、全く成程とらなづかせられる。写真と口絵が豊富である。(3). は雪国の傳説等をあげ、それが如何に雪国の人々の生活の中から湧き出たものかに思いを到し、深雪地の生活様式についても述べられている。蛙の積雪量予想のインチキな話、銀山平の雪女の話は面白い。

以上積雪科学館が長岡市にある関係上、その例が主に新潟県内の場合を多くとっている。館長勝谷稔氏の深雪地の人々の生活を合理化し向上させるために、自身奮闘されておられる尊い努力の一片である。

(4). は鈴木牧之の“北越雪譜”が如何にして成ったか、云わばその縁起について書かれたものである。

(村山信彦)

長期の天候推移においては地域と時間の相互依存性が長期予報を非常に困難な問題にしていることは私の話でおわかりになったと思いますが、人間社会の問題についても同じことが言えるでしょう。しかしこのようにむずかしい長期予報の問題も研究の結果だんだん解決されて来て居り、最近では電子計算機の予報への導入も始められておりますから私は将来さらに大きな発展がなされるものと信じておるしだいであります。

これで私の講演を終ります。

(中央気象台予報課)

Physical Meteorology. John C. Johnson

A 5—Ⅻ+398 頁, 3000 円, 1954 年

MIT and John Wiley of Sons, New York

Massachusetts Institute of Technology で過去数年間物理気象学の大学本科に講義したものをもとにしてできた本である。内容は教科書風でいいねいに説明を進めている。章を 11 にかけてある。第 1 章：大気屈折、第 2 章：大気の散乱、第 3 章：大気視程の理論、第 4 章：地球大気の輻射過程、第 5 章：輻射研究及び地球熱経済、第 6 章：大気濁濁による屈折と回折、気象光学、第 7 章：雲粒子形成の物理条件、第 8 章：天然及び人工励起降水飛行機着氷及びレーダー気象学、第 9 章：空中電気、第 10 章：電雑層とオゾン層、第 11 章：高層の気温、密度、気圧及び湿度、付録：常数その他となっている。説明はたとえば第 1 章を見ると序、屈折現象の一般考察、地球屈折の理論、屈折係数の阻害効果、気象光学へ地球屈折理論の応用、浮島現象、沈降明滅、しん気楼、ラジオダクト、天文屈折、大気の散乱と 11 節にわけて説明し、文献 19 をあげさらに練習問題 7 つを示すという調子である。文献は 1952 年までのものがあげられている。日進月歩の物理気象学全般についてくわしい説明を求めてもむりであるが、とにかくこれだけにまとめられたものはコンペンデラム以外になく、そういう意味で楽に読める。物理気象学を専門としない人が読んで理解するのにつごうがよいし、専攻する者にとってはふりかえて全般的な理解を新にするのによい。いろいろな意味でアメリカの大学の教科書のスタイルをそなえている点は各頁の裏に読み取られる。アメリカの物理気象が実用貢献しているかどうかについて大きな反省を要求されている時にやはりもう一度広い目で物理気象学をその方法論と歴史的な目で全般的にふりかえて見るのはおもしろいことであるが、そういうところまで本書に期待するのはむりである。

(伊東蘆白)