

~~~~~  
長期予報研究  
~~~~~

# グロース ベッター

第 11 卷 第 1 号

—— 目 次 ——

1. 雨と熱帯擾乱

..... 村 上 多喜雄 ..... 1

2. 対流圏循環とジェット気流(その I)

グローバルな風系

..... 松 岡 隆(紹介) ..... 23

---

1972年 11月

L. F. グループ

# 北半球における大規模循環の気候学的研究

## 1. 700mb 高度の東西指数および南北指数

Eberhard W. Wahl

University of Wisconsin, Madison, Wis.

Climatological Studies of the Large-Scale  
Circulation in the Northern Hemisphere

1. Zonal and Meridional Indices

at the 700-Millibar Level

(M. W. R., Vol. 100, No. 7)

### 紹介にあたって

長期予報関係者にとって Zonal index と meridional index とは大気大循環の環流型を表わすパラメーターとして非常になじみ深い示数で、両者には密接な相互関係、たとえば、Zonal index が高ければ meridional index は低く、あるいはその逆というように対応していると一般的には理解され、長期予報的な調査研究はもちろん、現業面でもそのような一般的理解にもとずいて利用されていることが多い。しかし、その使われ方はほとんどの場合現象の説明記述のための一種の道具としての使われ方(冷夏るときには低示数であったとか、寒冬るときには何々というような)であり、ここに紹介するように両示数それぞれ自身が内包している特徴、両者の関係を調べたものはなかったようである。われわれ自身上に述べた両示数の相互関係についてハンドブックなどに書いてあることをそのまま信じてきたきらいがあり、自ら調べてみたいという気持ちがありながらついつい手つかずの事がら、あるいは気のつかなかつた事がらも含まれていることゝ思う。これを機会に今までと違った視点に立って両示数を調べるならば、まだまだ興味ある特徴が現われてくるように思われる。

### 1 まえがき

言うまでもなく、zonal index は Allen (1940) と Rossby (1941, 1947) により、また、meridional index は Willet (1948) により発案されたもので、Willet は5日移動平均値を使って2つの示数の相関も調べており、それによると、地上および3km高度でともに両者の相関は負で、値はほぼ一様であるが、非常に有意であるとは言い難いという結果を報告している。そうであるなら "The Glossary of Meteorology" (Huschke: 1957) や Haltiner and Martin (1957, P. 150) が述べているように zonal index が低い時には偏西風は弱く、南北流は強

いし、一方高い時にほその逆であるという一般論が成り立つと考えてよい。また、Biehl et al (1950) は季節変動を調べているが、冬に最大、夏に最小が現われ、両者は平行して変化していることが述べられている。上述のことを言いかえると、2つの示数の変動は年変化では正相関、日々あるいは5日ぐらいの短周期の変化では負相関ということになり、当然2つの周期の中間のある時間スケールのところには両示数間に相関関係のないところがあるはずであると考えられる。その時間スケールは、おそらく週単位あるいは月単位の周期のところに見つけられるのではないかと想像されるが、もしそのような無相関の示数が得られるならば、2つの示数は統計的に独立な predictor として扱えるし、したがって週単位あるいは月単位に対応する統計的延長予報法を公表させるのに非常な有用性を含む回帰方程式を作ることも可能になってくるであろう。

## 2 資料と計算法

資料の期間は1951年1月1日より1965年12月31日までの15年間で、1200 GMTの700 mb 高度が用いられた。値は20°Nから85°Nをとばして極までの14緯度、東西方向10°ごと、南北方向5°ごとと、20°N, 30°N……の緯度では0°, 10°W……と、25°N, 35°N……の緯度では5°W, 15°W……のように与えられている。これらの高度場をさらに Fourier-Bessel 関数により展開し (Kutzbach and Wahl 1965), 非常に短い波を切捨てている。東西方向の波数として13以上の波が落されたが、落した部分の大きさはもとの高度値の3パーセント以下である。

上述の資料から zonal index を Z, meridional index を M としてつぎのように計算された。

$$Z = \Delta A_0 K(\phi)$$

$$M(\phi) = D(\phi) \left( \sum_{n=1}^k n^2 O_n^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

ここで

$$\Delta A_0 = A_0(55^\circ\text{N}) - A_0(35^\circ\text{N})$$

で 55°N と 35°N の n=0 の Fourier 係数の差を表わす。また

$$K(\phi) = - \frac{g}{f(\phi)} \frac{1}{O}$$

$g$  は重力加速度

$f(\phi)$  は  $45^\circ$  N のコリオリ・パラメーター

$C = 7.29 \times 10^6 \text{ ft}$  で  $35^\circ$  N と  $55^\circ$  N の緯度間の距離

$C^2 n = A_n^2 + B_n^2$   $A_n, B_n$  は Fourier の係数

$$D(\phi) = \frac{3.048}{\sqrt{2}} \frac{g}{f(\phi) r(\phi) \cos \phi}$$

フィート単位からメートル単位への変換と子午線間の距離が極方向に  
まっているための補正係数

Z の緯度と対応させるために M を  $35^\circ$  N ~  $50^\circ$  N の平均値を用いている。

### 3 2つの示数の年変化

任意に取り出した年として、1957年のZとMとの年変化を示したのが第1図である。両方とも3日の移動平均がほどこされている。一目でわかるように、ZとMにはともに冬に最大、夏に最小の年変化があり、そのさに重なって数日から2~3週間の時間スケールに対応する変動がみられ、その変動巾は年変化のそれに匹敵している。したがって、冬にも夏と同じくらい、また夏には冬と同じくらいの大きさになることがわかる。またZの短周期変動の振巾それ自身にも季節変化が顕著であるが、Mにはそれほどはっきりとはみられない。

年変動を明らかに浮きださせるために、ZとMの毎日の値を15年平均し、それらを31日移動平均したものを第2図に示す。日付は平均期間31日の中央日ととり、5日目ごとの値を使って線が描かれている。第2図からZとMには、冬には高い値、夏に低い値をもつ年変動があり、2つの曲線には高い正相関があることが容易に知られる。しかし、平滑化されたZとMとの曲線では、両者の最大と最小の起きる時期は同じではない。Zの最大、最小の日付はそれぞれ12月4日と7月19日であり、Mのそれらは1月13日と8月3日になっている。すなわち、Zの最大、最小の出現日はMのそれぞれより40日、15日早く起っており、もっともよい正相関は24日ずらしのところのみられる。偏西風のもっとも強い時期は冬の最盛期に現われるのが普通であり、12月の前半にZの最大がみられるのは多分Zの定義のしかた、すなわち、緯度のとり方に関係しているためであろう。また、Mについてもその最大緯度は  $50^\circ$  N -  $60^\circ$  N にあり、ZとMとの緯度のとり方によっては24日というずれ巾は変わってくることは考えられる。

### 4 ZとMとの長期変動

1.2か月移動平均操作をほどこすと、それより長い周期の長期変動がみられる。この結果が第3

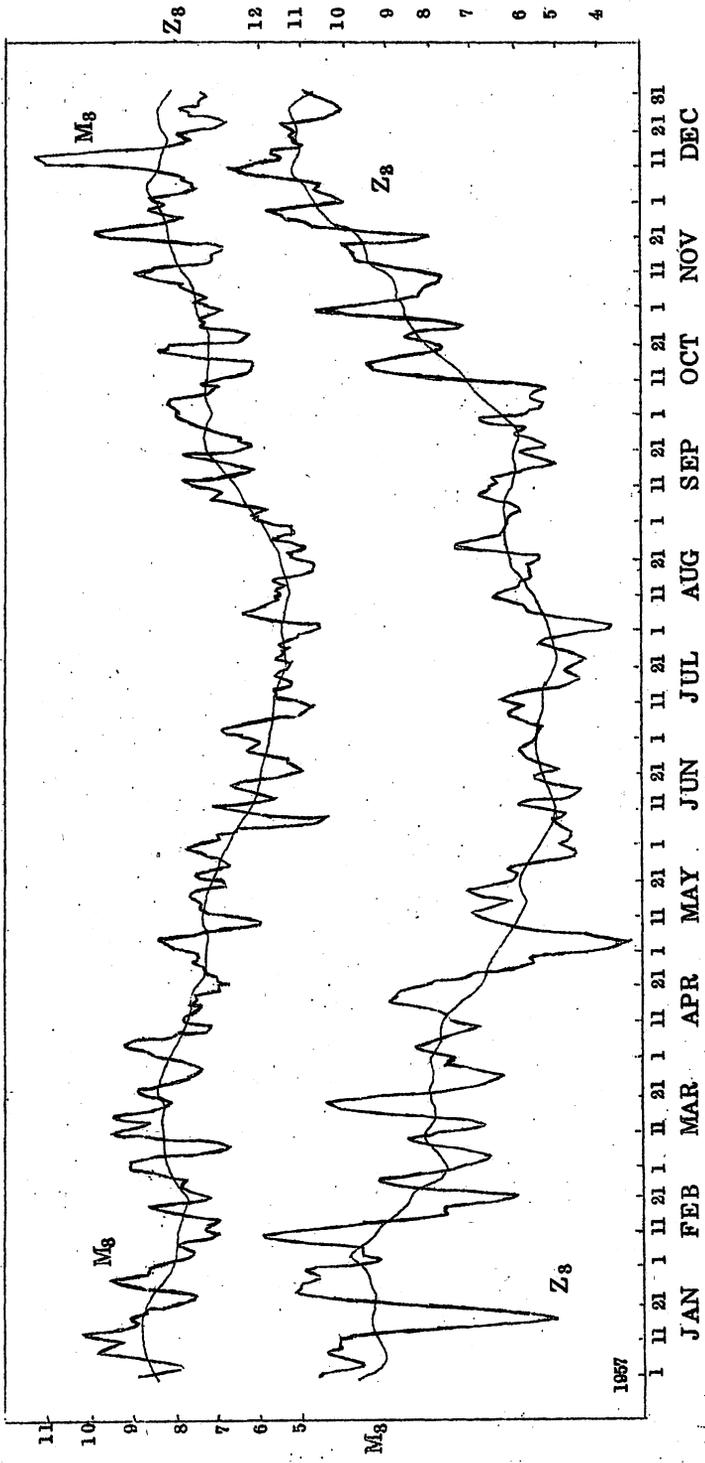


Figure 1—Overlapping 3-day average meridional ( $M_3$ ) and zonal ( $Z_3$ ) hemispheric 700-mb indices ( $35^{\circ}$ – $55^{\circ}$  N) for 1957. Units are m/s.

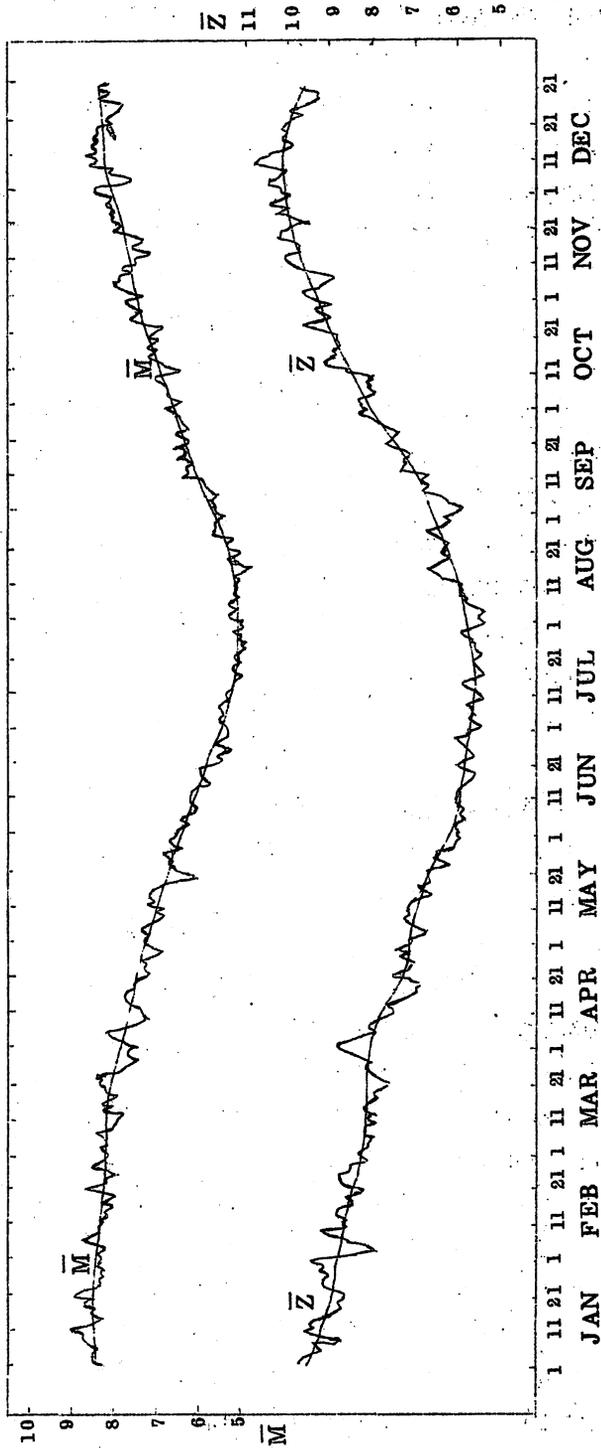


Figure 2.—Same as figure 1 for an average year, 1951—65.

図に示される。時間軸の日付は12か月移動平均の最初の月で表わしている。ZとMとの変動の様相には相違があるのが一目で知られる。Zの変動に準周期的な変動があり、約7.7m/sの平均値に対して0.4~0.6m/sほどの変動巾になっている。一方、Mでは最初の9年間にはきわだった変動はみられないが、1959年に大きく下降しはじめ、2年後に徐々に回復し、1965年には最高値に達している。こゝでの1つの結果として、相関係数を求めるまでもなく、ZとMには1年から15年の間の時間スケールには類似性がないと言えるだろう。

Zの変動にもどって、目算で18年間に9この最低値があるので、23~24か月の周期に相当することになる。しかし、詳細にしてみると、最初の3サイクルは28か月周期になっている。準周期現象として26か月周期がよく知られているが、第3図からはそれに相当するものは検出されなかった。最高値は1965年4月~1966年3月の8.25m/s、最低値は1967年3月~1968年2月の6.98m/sで、時間とともに振巾の増大傾向を示している。

一方、Mの変動で注目されるのは1959年に始まる急激な下降である。このような下降が何を意味しているのか、大規模な異常天候に起因するのかどうか、種々吟味を重ねたが、それを裏付けるようなものは何も得られなかった。結局、資料作成の根源にさかのぼり、この時期にアメリカNM0において、客観解析の手法が取入れられ、初期の客観解析には不十分な点があり、その後改良が加えられ現在に至っている。Mの急激な下降が客観解析の手法によるものかどうか、否定できないものがまだ残されている。

## 5 ZとMの短周期変動と両者の関係

両者の半変動にはっきりした高い正相関があることが知られた。しかし、Willettによれば日々または3日ぐらいいわずかではあるが有意な負の相関があると言われてきた。それが事実であるかどうか、3日平均値から31日平均値を差引いて長周期変動を取除いたもので調べた。さらに、持続性を消去するため、毎日の数値ではなく、5番目、15番目、25番目……の値、すなわち季節にして9こ、年では36この資料を用い、zonal indexが(A)標準以上、(B)標準、(C)標準以下の3階級に層別化して相関係数を求めた。この場合Mの長期変動で急激な下降を示した2年間を除いた13年間で、その結果が第1表に示される。たとえば、1952年の冬はzonal indexは標準以上であって、-0.06の数値は1951年12月の5日、15日、25日、1952年1月の5日、15日、25日、1952年2月の5日、15日、25日のZとMの9組の値から計算されている。各年の相関係数は36組の値で計算され、第1表の右端の数字は117組から得た季節ごとの平均の相関係数である。最後に全体の相関係数468組に対して-0.061という数値を得ている。この大きさは標準偏差( $\sigma$ )=±0.046と考え合わせるとき、短周期のZとMとの変動の間には有意な相関がないということになる。第1表で下線の引いてあるところは95パーセントの信頼限界をこえているものであり、全体では52このうち3例だけが、また年ごとでは12年のうち2例だけが、季節ごとでは4つのうち1例だけが

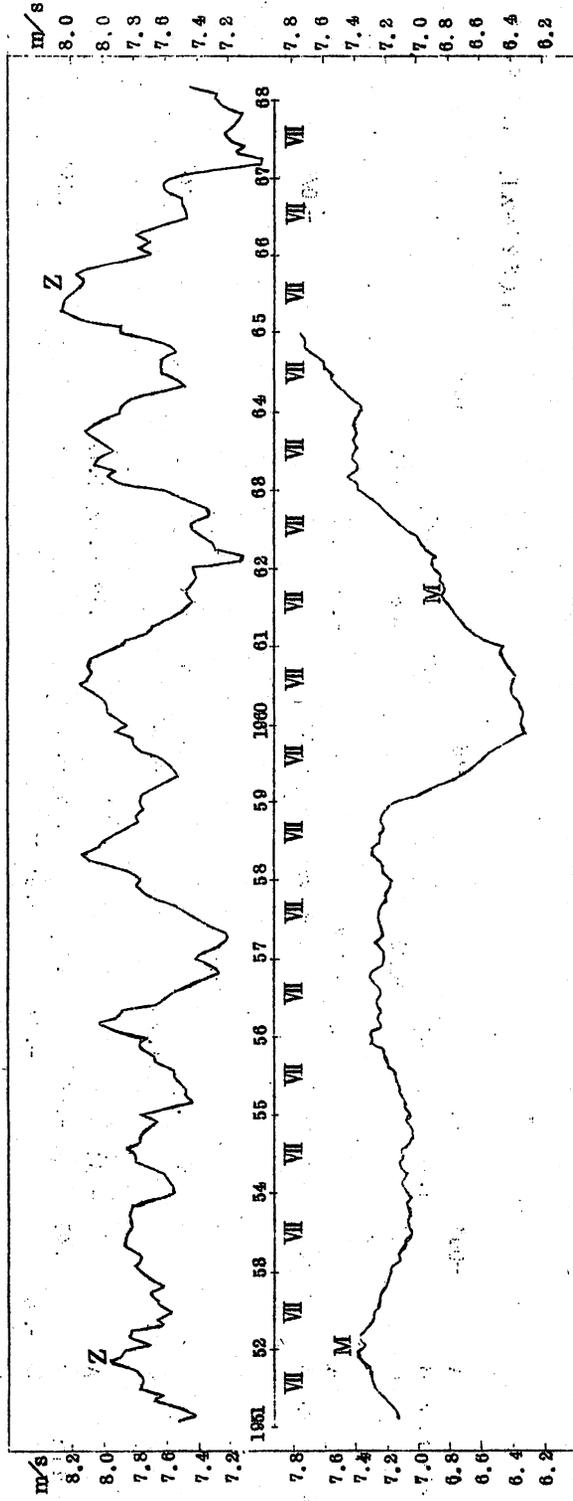


Figure 3—Time history of zonal and meridional indices. Running 12-mo averages are plotted against the first month of "year" (e.g., the value plotted at 1951 I-XII that at 1951 VII is year 1951 VII-1952 VI etc ).

Table 1--Correlations between M and Z (by seasons, yr, and Z-classes). Values exceeding the 95-percent confidence limit are underlined.

	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1962	1963	1964	1965	1966	Season
Winter	A	-006													
	B		+031		-049										
	C				+038		-038				+040	+029			+0115
Spring	A														
	B		-023												
	C	+030													
Summer	A														
	B		+063												
	C	-017													
Fall	A														
	B		-045												
	C	-009													
Yr (XII-XI)															
		-008	-009	-041	-012	-025	-001	-016	-036	+025	+032	+002	+002	+002	All yr and all seasons, -0.061*

[Wi(52)=XII51, I+II52]

\*σ(r)=±0.046 for N=468 pairs

の信頼限界をこえている。

以上の結果から一口に言うと、zonal index の高示数と meridional index の低示数という普通の意味での一致は本質的には存在しないと言える。52この季節相関の中で、21こは正相関、31こは負相関で、全体としてわずかに負である。実用面から考えると、両者の短周期変動は無相関とみた方がよさそうである。しかし、これですべてが調べつくされているとは言えない。なぜならば、以上は同時の関係である。そこで±5日ずらしの相関を調べてみたが、同時相関よりよい結果は現在のところ得られていない。

## 6. 緯度に関するZとM

前節まででは特定の緯度  $35^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$  におけるZとMとの変動について議論してきた。しかし、帯状流の極大の緯度は季節により南北に変位するので、それに伴う両者の示数の変化を調べてみる必要があるだろう。この場合、zonal index と meridional index の記号をそれぞれ  $\bar{U}$ 、 $\bar{V}$  の記号に置きかえ、 $\bar{U}$  は緯度巾  $10^{\circ}$ 、 $\bar{V}$  はUに対応する緯度とそれの南北  $5^{\circ}$  の緯度の3つの平均をとる。このように計算された値が第4図、第5図に示される。1951年～1965年の15年間で計算されているが、 $\bar{V}$  に関しては前に急激な下降を示した1960年と1961年の2年は除外されている。

第4図をざっと見ただけでも興味ある変動していることに気が付く。15年間の平均にもかかわらず、帯状流の極大軸は必ずしも時間とともに滑らかに南北に変位はしていない。ある部分では段階的、ある部分では「ぎくしゃく」という言葉で表わされるような変動をしている。冬の期間には帯状流の極大値が前後の時より強まって  $11\text{ m/s}$  を越える例が間欠的に現われている。 $10\text{ m/s}$  以上の大きさを示す帯状流は11月初めに現われ、3月の終りに消え、一方  $7\text{ m/s}$  以下の弱い帯状流は6月15日から8月10日の期間に現われている。6月20日から9月の終りにかけ低緯度偏東風帯は北上し、7月20日～8月10日の1か月間は  $35^{\circ}\text{N}$  附近まで伸びてきている。

帯状流の極大軸より北の緯度でも面白いことが起っている。 $60^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$  の緯度帯では変動が大きく、特に12月から1月にかけては  $4\text{ m/s}$  以上から  $2\text{ m/s}$  以下にまで弱まる急激な変化がみられる。 $55^{\circ}\text{N}$  以北の全体的なパターンは非常に入り組んでおり、1月の16日の  $50^{\circ}\text{N}$  以北のすべての緯度で著しく増しているが、これはいわゆる“January thaw”という特異日に関係があるようである。 $\bar{U}$  の極小軸は  $60^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$  附近に現われ、7月の中頃には  $75^{\circ}\text{N}$  で  $4\text{ m/s}$ 、 $60^{\circ}\text{N} \sim 65^{\circ}\text{N}$  では1ないし  $2\text{ m/s}$  で、これは15年平均でも“arctic jet”の分流が表現されているものと思われる。

帯状流の極大緯度の南北変位にも興味あることが含まれている。その南端は2月初めに  $34^{\circ}\text{N}$  に達し、3月中頃までは  $35^{\circ}\text{N} \sim 36^{\circ}\text{N}$  に位置し、5月初めには  $42^{\circ}\text{N}$  に達し、7月終りの盛夏の頃には  $47^{\circ}\text{N}$  まで北上する。この時期から極大軸の強さはふたたび増大し始めるが、

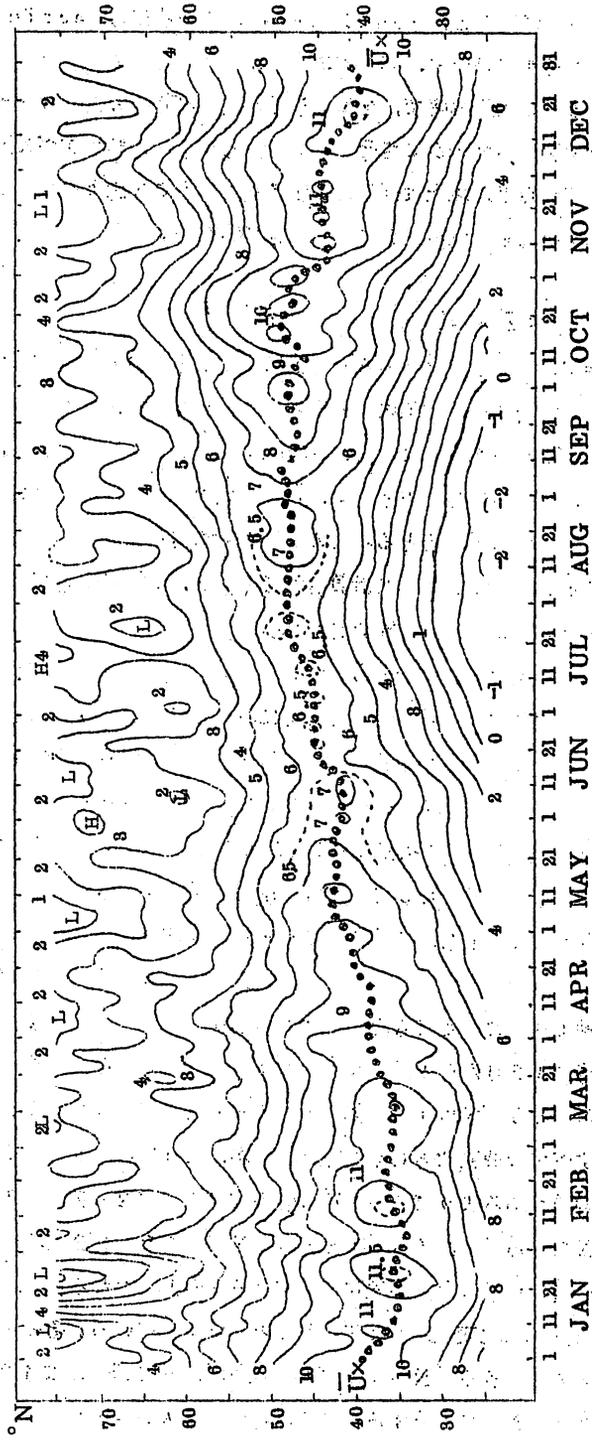


Figure 4—Time vs. latitude isopleths (m/s) for 15-yr averages of  $\bar{u}$  (hemispherically averaged geostrophic zonal wind at 700 mb) for 10° latitude bands.

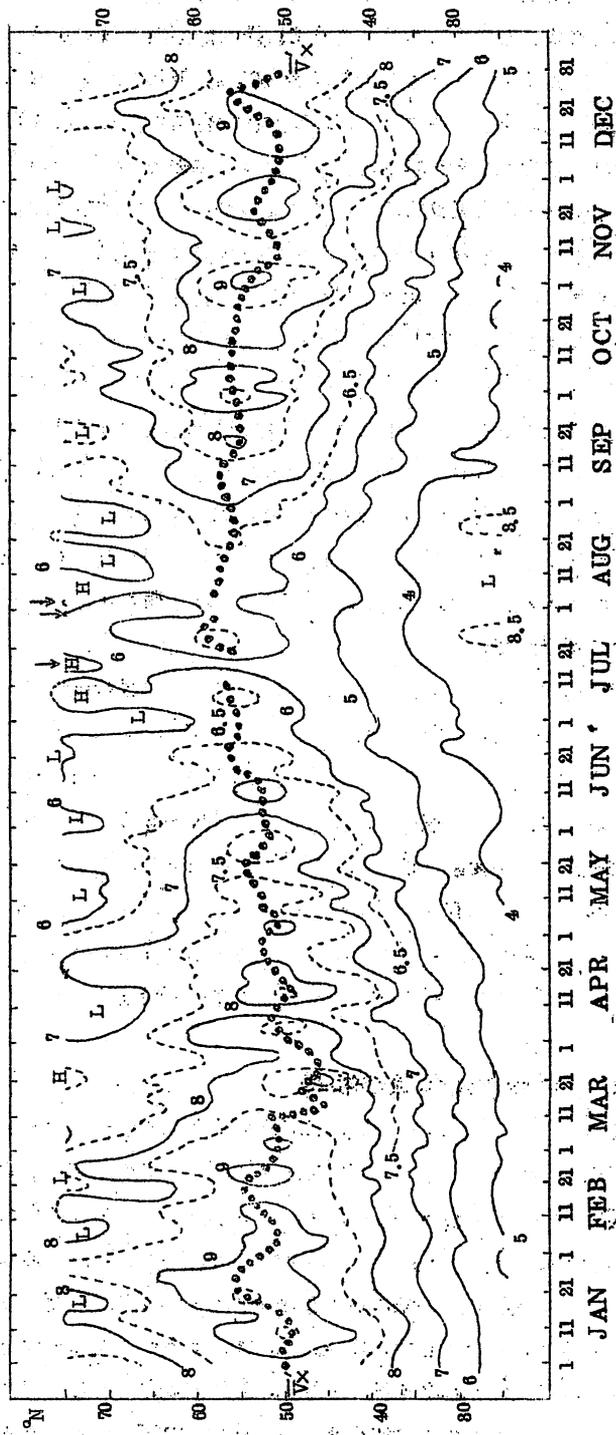


Figure 5—Time vs. latitude isopleths (m/s) for 13-yr averages of  $\bar{v}$  [hemispherically averaged geostrophic meridional (root-mean-square) wind at 700 mb] for 10° latitude bands.

10月の終り頃までは北端緯度の47°Nに止まっている。それを過ぎると1週間に4°ぐらいの急傾斜で南に移動し、その変動は前に述べたように段階的な傾向が強い。12月中旬から1月初旬ごろにかけて真冬の位置34°N~35°Nに落ちつく。帯状流がもっとも強くなるのはその極大軸がもっとも南の緯度に入った時であるが、反対の場合であるもっとも弱まった時はもっとも北の緯度に入った時ではなく、それ以前に起きている。本来帯状流のもっとも弱い7月ごろに最北偏し、その後南に移動すると考えられるはずのものが、アジア地域上にその時期卓越する夏のモンスーン循環による影響が平均操作を通して平均帯状流の上に反映し、10月まで最北の緯度に止まっていると解釈するならば、上述のずれはうまく説明され得る。

第5図に示される $\bar{V}'$ の変動の特徴は $\bar{U}$ のものとはまったく違っている。 $\bar{V}'$ の極大軸の位置は第4図の $\bar{U}$ のそれのようには明らかではなく、季節変動の振巾も小さい。最高値は図から明らかのように、9 m/s を越えており、まず10月の終りに現われ、続いて11月おそく、12月中頃、1月中続き、2月20日前後に終わっている。1年のうちでもっとも低い値は7月中旬に6 m/s よりわずかに低い大きさが見られる。極大軸の南側に比べ北側の値は高く、日々の変動も著しい。冬には70°N~80°Nの高緯度に8 m/s ほど高い値がみられ、夏でも高緯度では極大値がしばしば現われている。また、南北の傾度が小さくなる時があるが、その3か所の部分が第5図の上方に矢印で示されている。

Meridional index の極大軸の位置は、まれには50°Nの南に下がることはあるが、大体は50°N~60°Nの緯度帯に限られている。したがって、先に zonal index の尺度としてZ(35°N~55°N)を採用したが、meridional index との対応をみようとする時にはZは不適當で、むしろ30°N~60°Nを選ぶべきであろう。

$\bar{U}$ 、 $\bar{V}'$ の極大軸に沿った年変動( $\bar{U}_x$ )、( $\bar{V}'_x$ )が第6図に示される。日付は3日移動平均の中央日がつけられている。便宜上曲線の初まりを5月1日にとってあり、図が重なるのを避けるため目盛りは別々に附してある。両方の曲線は先に示した年変動の場合と同様に高い相関があることが知られる。11月から2月の終りにかけ一種の高原帯をなしているのが特徴である。

## 7. 緯度がずれている場合の両示数の相関

さきにZとMの年変動には高い正相関があり、Zに対し25日おくれのMにもっともよい相関が得られることを述べた。この時間おくれの関係をZ-M座標で図的に表わしたのが第7図Aである。見られる通り履歴現象的な曲線を描いており、1年を通して時間おくれがあることがわかる。同様な関係が $\bar{U}_x - M$ 、 $\bar{U}_x - \bar{V}'_x$  について作ることが出来、第7図B、Cにそれぞれ示される。この場合 $\bar{U}_x$ は帯状流の極大軸に沿っての値であり、緯度は固定されていないし、Mおよび $\bar{V}'_x$ との緯度とも必ずしも一致していない。A、B、Cそれぞれの場合の計算結果が第2表に示してある。A、B、Cそれぞれ24日、20日、7日おくれのところにもっとも高い相関があるのがわかる。しかし、これは1年全体を通しての平均的な値であり、第7図A-Cをみる

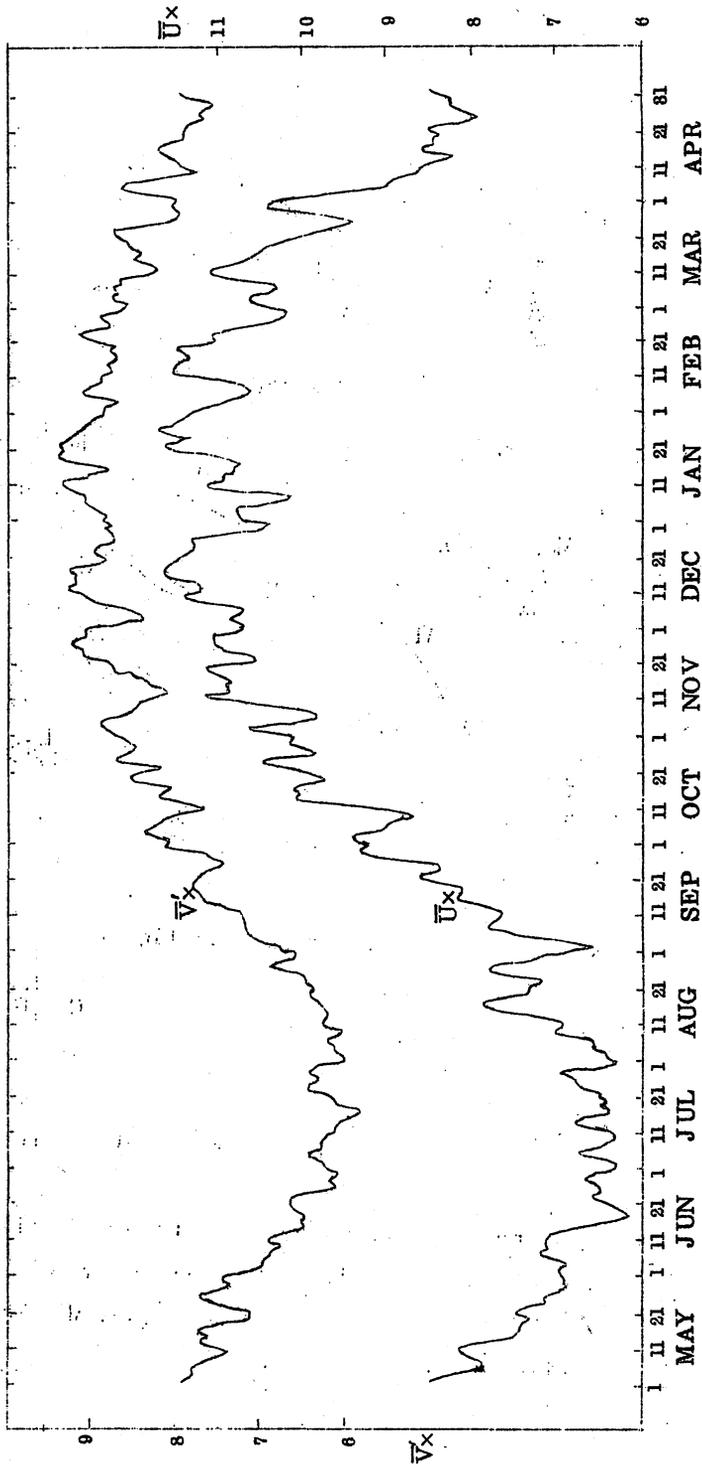


Figure 6—Annual variation (year extends from May 1 to April 30) of  $\bar{u}_x$  and  $\bar{v}_x$  (m/s).

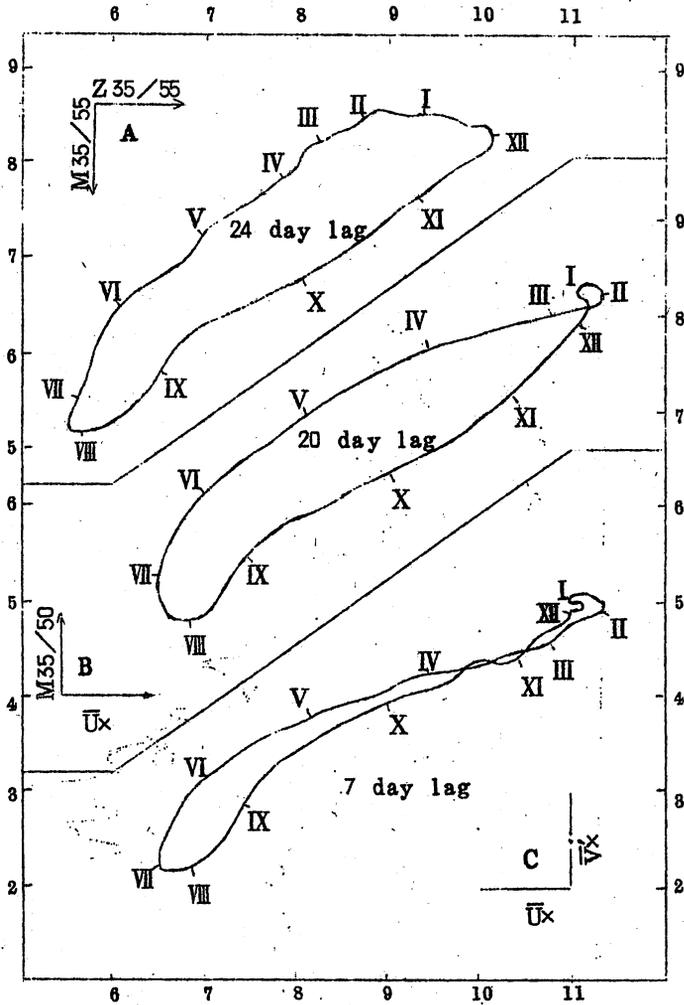


Figure 7.—Relationship between various zonal and meridional indices (m/s) for (A)  $Z(35^\circ/55^\circ)$  vs.  $M(35^\circ/55^\circ)$ , (B)  $\bar{u}_x$  vs.  $M'(35^\circ/50^\circ)$ , and (C)  $\bar{u}_x$  vs.  $\bar{v}_x$ .

Table 2—Lag correlation coefficients. Maximum coefficients for each case are underlined.

Lag (days)	A	B	C	Case
0	0.867	0.928	0.966	A Z(35°/55°) vs. M(35°/55°)
5	.903	.956	<u>.972</u>	
10	.936	.973	.971	B $\bar{u}_x$ vs. M'(35°/50°)
15	.954	.984	.964	
20	.964	<u>.988</u>	.946	C $\bar{u}_x$ vs. $\bar{v}_x$
25	<u>.967</u>	.984	—	
30	.962	.973	—	

と一般におくれは冬には小さく夏には大きいことがわかる。たとえば、第7図Cで10月15日から3月の終りまでにはおくれがなく、夏におくれが著しく、年平均の結果として7日という数字が出てきている。それでは7日という平均的なおくれを表わす物理的な意味は何かという疑問が起きてくるであろう。 $\bar{u}_x$  と  $\bar{v}_x$  との相関の場合、普通明らかに両者の緯度は離れて別々であり、単に統計的手法をかりて数字を組み合わせたにすぎないので前述の疑問に対する考えを述べることは難しい。しかし、Bの場合には、 $\bar{u}_x$  も M もほぼ同じ緯度帯でとられているので、もっとも意味のある関係を示していることになる。Bの場合最適のおくれで +0.988 ともっとも高い値を示していることから推察される。ただし、注意すべきことはこの高い相関値は3日移動平均の資料ではなく、35日移動平均の資料から求められたものであり、本質的には年変動だけを表わしているものと言える。しかし、第6図の作成に用いられた3日移動平均の資料でも高い相関が得られるのではないかという予測はある。たとえば、平滑化した曲線に相当するCの同時相関でも 0.966、移動平均しない3日平均でも 0.936 の値が得られているのがその根拠である。

## 8 緯度と季節による $\bar{U}$ と $\bar{V}$ の標準偏差

第4図の  $\bar{U}$  の変動をみる時、特に短周期の日々の変動は大きく、それを15年間の個々の例ひとつひとつについて説明することはできない。そこで緯度と季節による変動の度合を標準偏差により調べてみる。標準偏差は  $\bar{U}$  については15年間、 $\bar{V}$  については13年間の3日移動平均値を用いて計算された。したがって  $\bar{U}$  については45こ、 $\bar{V}$  については39この標準偏差である。

第8図に  $\sigma(U)$  の変動が示される。一般的に言って極近くで大きく、南の緯度で小さいし、夏より冬の方が大きい。しかし、1年を通して滑らかな変動をしているわけではなく時々大きな変化がみられ、これは大循環の様相の移行傾向の時期を示している。その一つは2月終りから3月初めに起きており、 $\bar{U}$  の極大軸のすぐ南と  $55^\circ\text{N}$  にみられる。この時期は  $\bar{U}$  の極大軸が北方へ変位し始める時に一致している。3月後半には高緯度で  $4\text{ m/s}$  を越える値がみられるが、これは極夜が明けると時期に合致している。つぎの顕著な変化は  $55^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$  附近の4月終りごろに値が小さくなり、ふたたび5月前半に  $2.5\text{ m/s}$  に増加している。同時に  $\bar{U}$  の極大軸の南の緯度でも対称的に同様の変化がみられる。季節が進んで夏になると、 $35^\circ\text{N}$  より南では  $1\text{ m/s}$  以下の値で、このあたりでは弱い偏東風になっている。その後9月終り、11月終りに、また12月15日ごろに高緯度で大きな値がみられる。冬の間中  $\bar{U}$  の極大軸の緯度に沿っては  $2\text{ m/s}$  を越える高い値になっている。

$\bar{V}$  の標準偏差値の変化は第8図の  $\bar{U}$  のそれに比べ複雑で細かい変化をしているので、さらにこれを3日移動平均をしたものが第9図に示してある。極値を示す部分が若干ずれているが全体的なパターンはもとのものと同じである。

もっとも大きい値は冬の高緯度にみられるが、 $35^\circ\text{N} \sim 55^\circ\text{N}$  の緯度帯に比較的多く間欠的に極値が現われている。さきに  $\sigma(U)$  の第8図で大循環の様相の変化期に対してその大きな変化がみられることを述べたが、 $\sigma(V)$  にもまったく同じ時期に顕著な特徴がみられる。すなわち、それらの特徴は3月、5月、7月、10月、12月にみられ、特に7月は中緯度対流圏では気温気圧の南北傾度のもっとも小さい時で、南北輸送が不活発であり、 $\sigma(V)$  にも最小値として表現されている。

$50^\circ\text{N}$  近くでは7月中旬からゆっくりと一様に増していき、10月初めに急激な50%以上の増大に出会いますが、その南のほとんどの緯度でも増大傾向が著しい。第5図の  $\bar{V}$  の変動を参照するとき、この突然の増大は夏から秋への移行期に  $\bar{V}$  それ自身が最初に大きくなる時と一致している。この高い値はすぐもとの水準まで落ちるが、ふたたび冬に向かって増加し、11月終りに2度目の急激な増加に出会う。この時期も  $\bar{V}$  の極大値の出現時と一致している。一般的に言って、 $\bar{V}$  の増減と  $\sigma(V)$  の増減とはよく対応している。

最後に、 $\sigma(V)$  が突然に増大した10月の特異日を13年間の個々の場合について調べてみると、13年間のどの年でも9月25日～10月10日に  $\bar{V}$  の顕著な変化があり、13例中9例が9月30日～10月3日の4日間のいずれかの日に起きている。 $\bar{V}$  の増減がこの4日間に起き

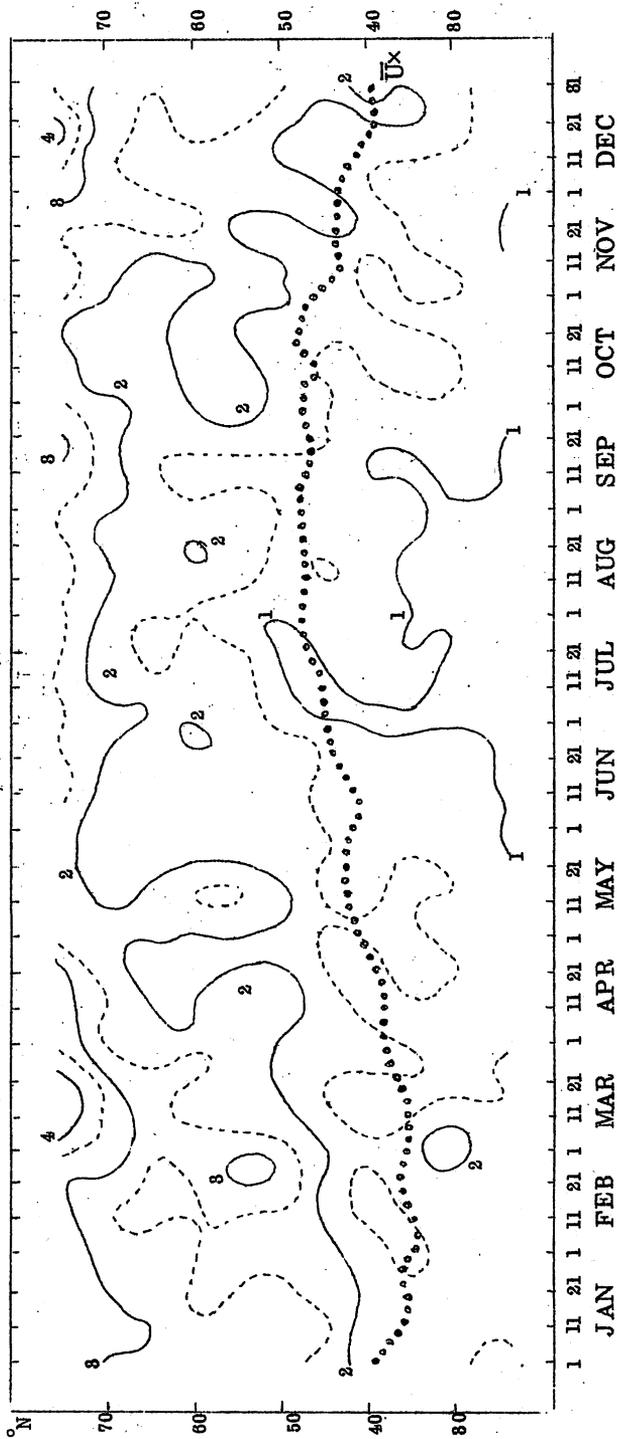


Figure 8.—Time vs. latitude isopleths (m/s) of standard deviation,  $\sigma(u)$ . Location of  $\bar{u}_x$  (dotted curve) is from figure 4.

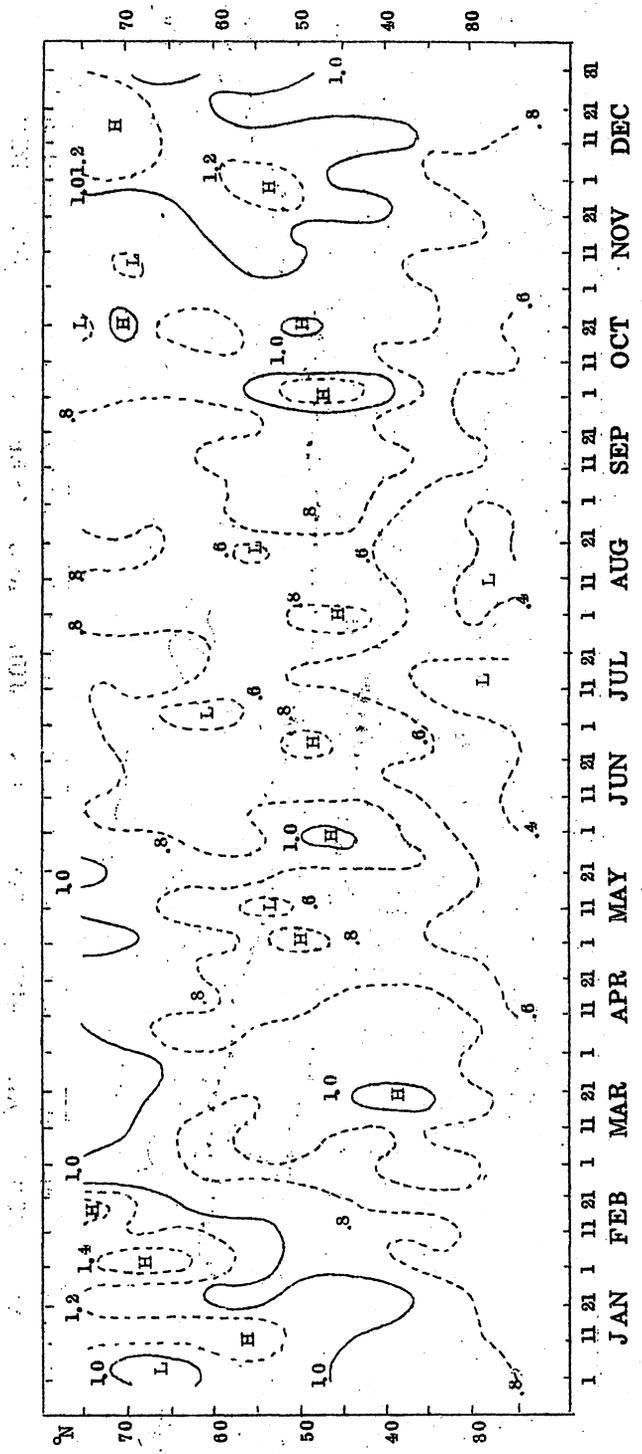


Figure 9. Time vs. latitude isopleths (m/s) of standard deviation,  $\sigma$  (v)

た頻度の多かつたために $\sigma(V)$ の突然の増大として現れている。これを総観的立場でみると、この時期には南北交換が強まる時であり、冬型循環の第1波の前ぶれである“equinoctical storminess”（日本でいう春一番のような秋の暴風雨のことか）に対応づけることもできるし、その後の $\bar{V}$ と $\sigma(V)$ の減少は“Indian Summer.”と呼ばれる静穏日と結びつけられる。また“冬の始り”の対になるものが3月にみられる。（これが日本の春一番に相当するのではないか。）

### 参 照 文 献 ( 一 部 )

- Allen, Roger Aylmer, Statistical Studies of Certain Characteristics of the General Circulation of the Northern Hemisphere, Q. J. R. M. S., Vol. 66, Supplement, London, England, 1940, PP. 88—101.
- Haltiner, George J., and Martin, Frank L., Dynamical and Physical Meteorology, Mc Graw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., 1957, 470PP
- Husckke, Ralph E. (Editor), Glossary of Meteorology, American Meteorology Society, Boston, Mass., 1959, 638PR
- Kutzbach, John E., and Wahl, Eberhard W., The Representation of Scalar Fields With Functions Orthogonal in Polar Coordinates, J. A. M., Vol. 4, No. 4, Aug. 1965, PP. 542—544.
- Riehl, Herbert, Yen, Tu-cheng, and La Seur, Noel E., A Study of Variations of the General Circulation, J. M., Vol. 7, No. 3, June 1950, PP. 181—194.
- Rossby, Carl-Gustav, The Scientific Basis of Modern Meteorology, Climate and Man, Yearbook of Agriculture, U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C., 1941, PP. 599—655.
- Rossby, Carl-Gustav, On the Distribution of Angular Velocity in Gaseous Envelopes Under the Influence of Large

Scale Horizontal Mixing Processes, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 28, No. 2, Feb. 1947, PP. 53—68

Willet, Hurd Curtis, Pattern of World Weather Changes, Transaction of American Geophysical Union, Vol. 29, No. 6, Dec. 1948, PP. 803—809.

[ 後 記 ]

年変動, 日々あるいは3日程度の短周期変動における両示数の相関関係は上述の通りであろうが, zonal index が低いとき, meridional index が高いという関係は2週間から3週間ぐらいの周期をもつじょう乱にみられると記憶してきたが, ちょうどこの周期のものについてはどの程度の相関関係があるのか何も触れられていない。紹介論文を読むかぎりでは, 無相関のカテゴリーに属するのではないかと推測され得るし, はっきりさせる今後のポイントであるだろう。また, 両示数の変動の関係はよく示されているが, それぞれに対応する現象というか半球的な総観的パターンとかの説明が不十分のように思われる。特異日のようなものについては説明があるけれども, 副題にもあるように, 本論文は Part one に相当するものであり, Part two 以下にどんなことがやられているか, 結果がどうか待たれる。

( 森 信 成 )

# 最近の気候変化の研究

張家城・朱明道

1972年には世界的に広範囲の“異常気候”が発生している。気候の異常は世界の基本的な生活資源の供給に波及し、世界各国の経済、貿易等に影響する。これは世界的に重視せざるを得ないものである。

気候は常に変化している。たとえば、上海における5月～8月の総雨量は毎年変化している。その上昇は3～4年を超えることなく下降に転ずるし、下降はこれも3～4年たらずにまた上昇する。このような起伏が相ついで出現する変動を気候学では“波動”あるいは“周期的変化”と称し、波動の長さを周期と呼んでいる。気候の変化は年周期とは限らず、長い年数の比較的長周期があるだけでなく、1年あるいはそれに満たない短い周期もある。

長い周期を発見するために、気候学ではひとつの方法を採用しているが、これが“滑動平均法”である。このような方法を用いて上海における5月～8月の雨量の10年移動平均値を算出したが、その曲線は明確に35年変化周期をあらわしている。この種の状況は揚子江沿岸の5ヶ所の都会（上海、南京、蕪湖、九江、漢口）の5月～8月の総雨量の曲線の上にもあらわれている。北方の5市（天津、北京、保定、石家荘、莒口）の7～8月平均雨量もまた35年前後の周期の波動があるが、状況はいささか複雑で、35年周期の上に17～18年の比較的小さな周期が加わっている。同時に、華北の状況は揚子江に比べて数年おくられている。この曲線をもとにして次のことが容易に考えられる：1972年までに揚子江の5ヶ所の雨量の最低は過ぎ去って、今後は雨量が増加する傾向にある。華北の5地点ではやっと最小に達したばかりである。ところで、これは単なる大まかな傾向で、具体的に1年の雨量の多少を考えるにはもっと短周期的な波動の影響を観察する必要がある、同時に多角的な考慮をしなければならない。

温度の分野にも似た変化が存在する。たとえば、上海の年平均気温は1890年以前の10年については14.9°Cに達しなかった。1890年から1920年にはやや上昇したがその量はきわめて少ない。1920年から1938年には主として上昇の傾向があり、1930年以後にはだいたい15.6°C以上に落ち着き、最近はまだやや下降している。北京の温度変化の状況は上海の場合とは違っていて、40年代と50年代の初期には約11.9°Cであったのが、50年代になって11.6°Cに下降し、60年代の初期と中期にまた上昇し12°Cになっている。以後はまた下降し、1968～1972年の平均値は11°Cになったが、現在の傾向はまた上昇に向っている。

最近の数十年間にわが国の雨量と温度に一定の変化があることがこれではっきりしたが、わが国の有史以来の大規模な変化と比較すると、この種の変化はきわめて小さいものである。竺可楨氏の《中国5000年間の気候変化の初歩的研究》の文中には、気候変動の資料が多数記載され

ている。その中で、北京における17世紀中ごろの冬季を現在と比較すると2°C前後低く、5000年から3000年前の黄河下流と揚子江下流では現在の平均温度よりも2°C前後高いことに言及している。そしてこのような気候の傾向が反映した気候変動は、歴史上の変化に比べるとずっと小さい。

ある気象学者は、今後の気候は“小氷河期”あるいは“氷河期”にはいるといている。彼らは恐れと苦悩を表明しているが、これは十分な根拠を欠いている。いわゆる“小氷河期”と“氷河期”には、実際に気候変化よりももっと長い周期がある。“氷河期”はすべて1万年以上数万年の気候変動の周期であることがわかっている。研究によると、数十万年来地球上にはかつて4回“氷河期”が発生している。氷河期には、氷河は高山からまっすぐに平原に到達する。二つの氷河期の間には相対的に温暖な時期があり“間氷期”といわれている。現在はこの“間氷期”に属し、その時期がはじまってから1万年余が経過した。

“氷河期”と“間氷期”の気候もまた一定不変のものではなく、部分的に数十年ないし100年の変動周期がある。“間氷期”の相対的寒冷段階がいわゆる“小氷河期”といわれる。竺可楨氏の分析した5000年の気候変化にもこのような時期がいくつか見えている。たとえこのような時期にわが国の農業に豊作や不作の傾向があっても、気候もまたゆっくりと悪化の一途をたどったのではない。

世界的に見ると、20世紀の初期は温暖化の時期である。40年代になると、世界の気候は次第に寒冷化し、その最たる区域はヨーロッパと北大西洋であった。1966~1969年にアイスランドは連続4年寒冬になり、厳寒の程度は1902年以来未曾有のものであった。1968年4月下旬にはグリーンランドとアイスランドはついに海水でつながってしまい、50年以上もやって来なかったアイスランドの北極熊がグリーンランドから氷を踏んでアイスランドにやって来た。ある気象学者は大西洋の海水は北緯60度までひろがったと見ている。こうしてヨーロッパの気候はいまやアラスカの気候に接近し、どちらかといえば歴史上の“小氷河期”の気候とあまり差のない状態になった。しかし、変化の最大がヨーロッパと北大西洋にやって来たといっても、これもまた最近100年に発生したことであり、その異常の程度だけでは大きな気候変化のすう勢を証明するには不足している。

上述の気候変化がどのような原因によるものかについては、現在のところ一致した見解はまだ全くない。この問題を解決するためには、一方で各種資料を整理し、過去の気候変化の経歴を入手しなければならない。また、その規則性を分析し、他方で太陽活動や、海洋—大陸—大気の関係、大気汚染を調査し、それらが気候変化に及ぼす影響を研究する必要がある。

歴史上では何回かやや大規模な気候異変があった。そして気候異変は必ずしも災害をもたらしたが人類はよくこれに対処した。1972年には、わが国の広い面積に干ばつを受けたが、全国民は“農業は大業（山西省人民公社生産大隊）に学べ”と、“戦に備え、凶作に備えよう”という毛主席の方針を実行し、豊作であった1970年と同等の状況となり、それどころか大干ばつに

もかかわらず豊作の記録を作った公社と大隊が少なくなかった。これは社会主義制度が巨大な災害的な力を潜在させている証処になり、人為は天に勝るといことができる。しかし、気候異変の問題は農業生産の発展に影響し、全世界の人々の生活と密接な関係があるので、われわれはさらに研究を進めなければならない。毛主席の革命路線の指揮をうけて、われわれは各種の研究調査技術を発展させなければならないし、気候異変の各種要素の変化を監視し、気候異変の規則性をたえず調査し、さらにりっぱな業績をあげたいと考える。

(板倉吉直)

# 世界の気象異変の概況とすう勢

祁 相

今世紀の初めは世界的に気候は温暖化の時期であり、世界的に大きな範囲の気象もやや良好であった。それが40年代に入ると、温暖化の傾向が反転した。高緯度になるほど、気温下降のすう勢は明瞭になった。60年代、とくに1963年以来、北半球極地の変冷地域は北ヨーロッパに偏っている。大西洋地区の大気環流の配置は海水の南限が南下するのに有利になり、欧州に“小氷河期”気候のいくつかの徴候が出現した。極地の高気圧はアイスランドから南に向ってひろがり、アイスランド低気圧及びその南方のアゾルフ亜熱帯性高気圧はあいついで南に移動させられ、北ヨーロッパ地区にあっては60年代以来毎年厳冬に見舞われて、地中海周辺では毎年豪雨が起きている。これは極地寒冷区域の非対称性によるためであって、太平洋区域では、融氷期の終わったあとの海水の南限はそれほど拡大していない。カムチャッカ半島では1963年の冬季の気温は平年より $12^{\circ}\text{C}$ 高く、カナダの1970年2月の気温は平年より $10^{\circ}\text{C}$ 高く、わが国の華北と揚子江下流の1963年の温度は60年代の最高値に達している。

70年代にはいってから、北半球極地の寒冷区域は北アメリカに移り、大気活動の中心のアイスランド低気圧がグリーンランドに移動したため、カナダに寒冬が出現し（北ヨーロッパは反対に高温となった）アメリカ合衆国の中低緯度地帯は毎年豪雨におそわれた。これと同時に、南半球極地の寒冷地区もまた低緯度に向って約 $10$ 度拡大した。両極の寒冷は、中低緯度の気圧配置に影響を及ぼし、中低緯度地区に一連の異常な気候を出現させた。ある地方では厳寒に見まわれ、またある地方では暖冬を迎え、暖かい春になると、ある地方では洪水、そして一方では大干ばつにおそわれる。60年代と70年代には、東西半球の気候変化は全く反対である。60年代のヨーロッパはいわゆる“小氷河期”の10年に入ったところであり、これは1962年から1971年までの10年間はわが国において広範囲の異常気候がやや減少していた。農業は連続10年豊作であった。

今後の気候変化のすう勢については、現在は全世界的に3種の観点が見られる。

## (1) 寒冷説（小氷河期説）：

気候は現在“小氷河期”に突入した、それどころか8000年前に地球上に出現した“氷河期”にはいった。その根拠は、60年代にはいってから、赤道地区の雨量が増加し、中緯度では南北方向の環流が増強し、東西方向の流れの弱化が見られる。そして大西洋北部の極氷は増加している。一説によれば、これの主要な原因は人類の活動による細塵と雲量の増加であり、このため地面における太陽輻射量を減少させたからであるといわれる。

## (2) 温暖説（大気汚染説）：

エネルギーの消費速度が早くなるにしたがって、高層大気は温暖化し、熱汚染がある程度気

候に影響を及ぼすにちがいない。ある人は、西暦2000年になると、アジア、アメリカ及びヨーロッパ北部の気候はいちじるしく温暖化するといっている。

(3) 波動説(気候起伏説)：

50年代の北半球の大気温度は平均して0.5°C下降したにすぎない。現在の気候変化は単なる気候の「短期起伏」である。

わが国の気象技術者は、歴史上の気候変動が何回も発生した事実を根拠にして、これを今世紀の世界的な温度変化にあてはめて、次のように考えている。

(1)歴史上、ヨーロッパがにわかには寒くなったのが、すべて中国気候の異変と対応していない。たとえば、今世紀の60年代にヨーロッパが寒冷化した時期にわが国の気候はかえって穏和であった。

(2)温度の上昇と下降する地域は同時に存在する。たとえば、60年代にヨーロッパ高緯度で温度が下降したと同じ時期に、アジアの東岸では反対に上昇している。また、70年代にアメリカで降温した時期に、ヨーロッパ、アジアでは昇温している。したがって、現在の気候変動は歴史上の気候変動の規則性が、普通に継続されているものである。

(3)歴史的な気候変動には、いろいろな人為的要因がいろいろな範囲で影響している。たとえば、「温室効果」がそれである。すなわち今世紀の工業用燃料の激増が招いた大気-海洋汚染は気候の温暖化を増している。「緑州効果」は、自然環境を大規模に改造し、灌漑を拡大し、河川の水路を改修する等をして気候を湿潤ならしめる。

ただし、全球エネルギー平衡の観点から眺めると、太陽エネルギーの比較的長周期の変動が気候起伏の重要な因子となっている。その具体的な物理関係に至るには、なお一層の研究を待つべきであろう。

(板 倉 吉 直)

# 中国五千年間の気候変せんについて の初歩的研究

竺 可 楨

— 人民日報 1973. 6. 19 —

毛主席は我々に教えている：「生産斗争及び科学実験の領域においては、人類はすべてたえず発展し、自然界もまた発展をやめない。いつもひとつの水準にとどまることはありえない。人によっては人類の歴史の時期には世界の気候変動はないと考えたが、これは唯心主義的な判断であって、我が国の歴史の記録からだけでも否定されるものである。

中国の歴史文獻の中には過去の気象学や物候学（万物が季節に応じて移りかわることを研究する学問）に関する記事が豊富にあるが、惜しむらくはたいへん分散している。そこでここでは手近な資料によって初歩的な分析を進め、5000年間の気候変化の主な趨勢の輪かくを書いてみようとする。

東北季節風の地域内においては、雨量の変動は常に極端であり、温度の変化は冬季と春季に農作物の生長に影響を与える。我が国の冬季の温度は主としてシベリアの冷氣に支配され、昇降は比較的に一定である。そこで、本文においては冬季の温度を気候変動の指標とした。

なお、この5000年間については資料の性質からこれを次のように四つの期間に分けることとした。

## 考古期（西歴前約3000年—1100年）

西安附近の半坡村の遺跡（仰韶文化 yang shao に属す、 $O^{14}$ 同位元素を使用して測定したところ約5000—6080年前と推定）と河南安陽殷墟（西歴前約1400—1100年）の発掘で明らかになったのは、狩猟の獲物の野獣の中に竹鼠や麋（のろ）や水牛など熱帯、亜熱帯の動物がいるが、現在の西安や安陽一帯にはこのような動物はもはや全く生息していない。このほかに、殷の頃から残っている甲骨文に当時の安陽人の田植が現在よりも約1カ月も早い記録を見ることができる。山東の历城県で発掘した龍山文化遺跡の中から炭化した一個の竹の節を見つけた、またみかけが竹の節によく似た陶器もいくつかあった。これで新石器時代の末期には竹類の分布が黄河流域にあり、東部の海岸地帯に及んでいたことが説明される。これらの事実にもとづいて、われわれは、5000年間に竹類の分布の北限は南に向って緯度で約 $1^{\circ}$ — $3^{\circ}$ 後退したと仮説をたてることができる。黄河下流と揚子江下流の各地の温度を対照すると、5000年前の仰韶から3000年前の殷墟の時代は中国にあって温和な気候の時代であって、現在の年平均気温より2前後高く、1月の平均気温は $3^{\circ}$ — $5^{\circ}$ 高い。

## 物候期（西歴前1100—西歴1400年）

人々は一年の中に寒暑が往来し、霜がおり雪が降り、黄河が結氷し、またその氷がとけ、樹木

が芽ぶき葉が茂り、花開き実を結び、渡り鳥が春になるとやって来て秋に去っていくのをいつも観察して、季節の移り変わりを知る。これがすなわち物候である。物候学はまた観測用機器のない頃の気象学と気候学といえることができる。我が国の労働者は西暦前11世紀に早くもこの種の簡単な観測を開始しており、3000年の豊富な資料が蓄積された。

中国の漢字の多くは、表示された形から意味がわかる。周の時代の(西暦前1066年にはじまり、都を西安附近の鎬京に定めた)はじめてのころの文献の中に、たとえば衣服、器物、書籍、家具及び楽器等の名称にすべて「竹」が頭についているが、これらの品物は最初は竹を用いて作られたことをあらわしている。周の初めの頃の黄河の流域には竹類が広く発生していたと考えられるが、現在は反対にそうではない。商周の時代は、黄河流域の労働者はみな農業と牧畜業に従事していた。彼らにとっては、季節の運行はたいへん重要な事柄であった。人々はいろいろな方法を取り入れて春分を定め、農作業開始の時期とした。そのころ山東近海の鄭国(たん)の人たちは、毎年家燕が最初にやって来る日を春分としていたが、現在では家燕は揚子江の下流でも3月22日にやっと到来する。鄭城と揚子江下流の上海との両地の年平均温度の較差は1.5°C、正月の平均温度較差は4.6°Cである。この結果と、竹の分布区域変化の方法によって得た結果とは一致している。

周初期の温暖な気候は長くは続かず、すぐに悪化しており、漢江は西暦前903年と897年の2回結氷している。しかし、春秋時代になると(西暦前770—481年)また暖かくなっている。《左伝》の中からもいつも引用するが、山東の魯国では冬になっても、氷室で水が得られない。とあり、周朝中期には、黄河流域の下流ではいたるところで梅の木が生育できる。《詩経》の中には5回も梅が出て来る。《奏風》の中には「終南何有、有采有梅」の詩句がある、終南山は西安の南にあり、現在は野生ばかりでなく栽培でも無論梅の木は全くない。梅は商周の時代には飲食物の味つけにひろく用いられるようになった。当時は酢の製法を知らなかったからである。これは梅の木の普遍性をはっきりとさせている。戦国秦漢の時期はひきつづき気候は温和であった。清の初期に張標が秦朝《呂氏春秋》の中の物候資料を研究し、秦の時代の春の初めの物候は清のそれよりも三週間早くなければならぬことを認めた。漢朝の司馬遷は《史記》の中でそのころの経済や作物の分布についての描写を行なった。たとえばみかんは江陵(四川)、桑は齊魯(山東)、竹は滑川(陝西)、漆は陳夏(現在の河南南部)としている。これら亜熱帯植物の北限は現在と比べるとすべて北の方にあがっている。西暦前110年、黄河には決壊があり、河南淇園の竹を伐採して蛇籠を編み石を積んで口をふさいでいる。その頃河南の淇園には竹が繁茂していたと考えられる。

東漢の時代という、西暦の初めに当るが、我が国の天気は寒冷化の傾向をとっている。冬には厳寒になることが数回あった。都の洛陽では晩春になってもまだ霜や雪が降ったが、寒い季節はそれほど長くなかった。当時、河南南部の柑橘類はまだ一般的ではなかった。三国時代になると、曹操(西暦155—220年)は銅雀台(現在河南臨漳西南)に橘を植えたが、そのときにはも

う収獲は得られなかった。気候は司馬漢の時代に比べて寒冷化している。曹操の子曹丕は西歴225年に淮河広陵（現在の淮明）に10万余の兵士の演習査察に出かけた。ところが厳寒のために淮河がたちまちに結氷し演習はやむなく中止となっている。これが我々が知っている限りでの淮河結氷についてはじめての記録である。このときの気候は現在と比べて寒冷である。この種の寒冷は断続してやって来ているが、第三世紀後半ころになり、特に西歴280—289年の10年間はこれが頂点に達した。当時は毎年陰歴4月に降霜があったが、平均温度を現在と比べると1°—2° C低いものと推定される。南北朝時代（西歴420—579年）には、南京覆舟山に氷室が建設され、食物の鮮度を保つために使用された。そのころの南京の冬は現在と比べて2° Cは低かったに違なく貯蔵用の氷を提供していた。西歴533—544年ころに出版された《齊民要術》では、六朝以前の中国の農業を全面的に知ることができるが、この本によると、当時黄河以北においては太陽歴の4月中旬に杏の花が満開になり、5月初旬には桑の葉が発生しており現在よりも2週間から4週間遅れている。このほかに、記事中では当時黄河流域の石榴の木の冬の用意にも触れて“蒲や葉をまきつけ”なければいけないとしてあり、六世紀上半のころは現在と比べて寒かったことを裏付けている。

隋唐時代（西歴581—907年）のうち、第七世紀中期には、気候は変って温暖化した。西歴650年669年と678年の冬は都の長安には雪も氷も見られなかった。8世紀初めと9世紀初め及び中期には西安の皇宮内と南郊の曲都にはすっかり梅の花が栽培され、その上柑橘類も植えてあった。西歴751年には皇宮内の柑橘類は結実しており、西歴841—847年にもまた結実したという記録がある。柑橘は—8° Cの低温にも堪えうるとはいえ、現在の西安での絶対最低温度はほとんど毎年—8° C以下である。西歴11世紀の初期になっても華北では梅の木は見られなかった。宗期の詩人蘇軾（西歴1036—1101年）の作に“関中幸無梅”の詩句がある。王安石（西歴1021—1086年）は北方人が梅を杏と間違えたことを嘲笑し、紅梅を詠じた彼の詩の中に“北人初不識，渾作杏花香”の句を残した。この種の物候の常識によって、唐宋兩朝の温寒が不同であったことを知ることができる。12世紀の初期になると、中国の気候は激しい寒気に襲われる。西歴1111年太湖は全面結氷し、水上を車で通行することさえできた。太湖の洞庭山の有名な柑橘類はすべて凍死した。杭州には降雪がひんぱんにあり、晩春までもつづいた。南宋の歴史記録によれば、西歴1131—1260年以來、10年毎の降雪終日の平均は4月9日であり、12世紀以前の10年における最もおそい春雪と比べて約1ヶ月遅れている。西歴1153—1155年蘇州附近の南運河は冬になって結氷した。西歴1170年太陽歴10月には北京の西山ではいたるところで積雪を見た。現在はこの種の現象はまれに見るものである。福州は中国海岸にあって、荔枝（れいし）の生育する北限であるが、過去1000年余りの間に全滅したことが2回あった。1回は西歴1100年で、もう1回は1178年であるが、いずれも12世紀の出来事といえる。

日本では貴族たちが、西京の花園の桜の花が満開になると花見の宴を設けて祝いのが例年の慣

わしになっていた。西歴9世紀から19世紀にかけてその桜の花の開花期についての記録が残されているが、これによると第9世紀が最も早く、第12世紀が最も遅いとされている。

12世紀が終るとすぐ杭州の冬はまた暖かくなって来た。西歴1200年、1213年、1216年及び1220年には杭州では結氷も積雪もなかった。この頃には、北京の杏の花も美しく咲きほこって、今日と同様であった。この種の温暖な気候は13世紀の後半あたりまで継続したようである。なぜかという、随唐のときから河内（現在の河南博展）、西安及び鳳翔（陝西）に設けられた竹園の竹監司の職が、宋と元の代になるとしばしば断続し、明朝（西歴1368—1644年）の末になると完全に廃止されているからである。このとき以来竹は黄河以北においては作られず、経済を助ける目的で植林がなされた。

13世紀の初めと中頃の比較的温暖な期間は短いものであって、まもなく冬季にはまた厳寒に見舞われている。収集した記録によると、西歴1309年には無錫一帯の運河が結氷した。西歴1329年と1353年には太湖の結氷は数尺に達し、橋の木は再び凍死した。1351年太陽歴11月山東国内の黄河には氷塊が流れていた。これが近年では河南と山東では12月になってやっと氷塊が見られる。当時家燕は北京には4月末にやって来て8月の初めには帰っている。これを現在の物候の記録と比べると来るのが1週間遅く、帰るのが1週間早い。14世紀、13世紀を現在と比べると寒冷であることがわかる。日本の桜の花の物候もまた同じ傾向を示している。

西歴1221年に丘処機は北京を出発して成吉思汗に会いに中央アジアに行ったが、新疆の辺境で木湖を通過した。彼はこれを「天池」と称したが、湖の四方は山でかこまれ、山の頂きには雪があって、これが湖水に倒映している、といっている。しかし、現在はこれらの山にはもはや雪は見られない。それらの山の高さは約3500mであるから、そのときの雪線は3500m以下であったといえる。現在の天山ではこの部分の雪線は3700—4200mのところにある、だから13世紀の雪線は現在に比べて200ないし500m低くなっている。ヨーロッパロシアの平原では寒冷期はおよそ1350年にはじまり、ドイツ、オーストリー地区では1429—1465年に気候が明らかに悪化しはじめている。英国グリーンランドでの1430年、1550年及び1590年の凶作もまた天気の寒冷化が関係している。これで、寒冷な潮流が東亜に流れはじめ、漸次西に移動したということがわかる。

### 地方誌期（西歴1400—1900年）

最近になって、曾徑が665種の地方誌を使って、太湖、鄱陽湖、洞庭湖、漢江及び淮河の結氷年の統計を作成し、（13世紀から20世紀まで）、近海平面の熱帯地区における降雪、降霜年数を調べた（16世紀からはじまる）。これらの資料から、我が国で冬季が温暖だったのは1550—1600年及び1720—1830年であり、寒冷であったのは1470—1520年、1620—1720年及び1840—1890年であることがわかる。世紀にすると、17世紀が最も寒く、19世紀がこれに次いでいる。

この結果を日本の諏訪湖(36°N, 138°E)の結氷日数と比較すると一致するところが多い。ただし日本で厳冬が開始し、終わった時期は中国に比べて四分の一世紀くり上っている。

以上で述べたように15世紀までと19世紀までは相対的に寒冷であり、最も寒かったのは17世紀であって、西歴1650—1700年は特にげしかった。たとえば、江西の橘園と柑園は西歴1654年と1676年の2回の変動にあって、完全に全滅した。この50年間にあって、太湖、漢江及び淮河の全面的結氷は4回、洞庭湖もまた結氷2回であった。我が国の熱帯地区にあっては氷雪がきわめてひんぱんに見られた。湖北の沙市には1608—1617年の桃、杏、丁香、海棠等の開花日の記事があるが、これを今日の武昌と比べると7日から10日は遅れているといえる。1653—1655年間の北京の物候記事を現在と比べると、これもまた1、2週間遅れているといえる。ここでそのころの旅行記録を見ると、1653年11月18日天津運河はすでに氷結し、通航できない、やむを得ず車に乗って北京に到着した：1656年の帰路の際は、北京運河は3月5日に解氷していた。このことから当時の結氷期間を107日と推定することができる。そして現在の結氷日数は56日である。こうして物候の遅れや進みから17世紀中頃の北京の冬は現在よりも2°C前後寒冷であったという推算ができる。

### 機械観測期

清代(西歴1644—1910年)には北京、南京、杭州および蘇州の降雨日の記録があるが、秋の初雪から晩秋の終雪までの平均日数を使って、1801—1850年間をその前の1751—1800年間とそのあとの1851—1900年と比べてみると真中の50年間は温暖であったと結論することができる。これと前節の資料とは符合する。

上海の気温のすう勢を見ると、19世紀の最後の25年の気候は寒冷である。1897年前後の冬季の温度は平均値に達しているが、その後、平均値以上が約14年ある。1910年—1928年ごろには温度はまだだんだん下降して平均値以下になった。けれどもその後は上昇し、1945—1950年には平均値を0.6°C超過した。このあと温度は逐次低下して1960年には平均値に戻っている。この期間の、天津の温度は上海と類似しているが、最高と最低は上海に比べると数年早く、温度の中も大きい。また香港のカーブは、最高と最低が上海より遅れ振幅も小さい。上海の80数年の気候の変動は0.5—1°Cくらいである。この種の変動は直接には植物や動物の生長に影響し、間接的には病虫害の発生を抑制し、農業作業と農業生産に影響を及ぼすものである。

中国における最近80年間の温度の変せんは、天山の雪線や氷河の進退に影響が見られる。中国科学院氷河隊の調査によれば、1910—1960年の50年間に、気温が上昇したことにより天山の雪線は40~50m上昇し、西部の氷河舌は500—1000m後退、東部天山氷河舌は200—400m後退したことが証明される。同時に、森林の上限もまた少し高くなった。そして、新しい氷河の堆積物が現われたために、無論風化の程度に差はあるが、土壌や植皮の分野

でさえも地区別に古い氷河の堆積がすべて明らかになり、現在では天山の高所の氷河は歴史時代（1100—1900年寒冷期）の産物であるとする説はくつがえされたと考えてよく、しかも第4氷河期の名残りでもないといえる。

\* \* \*

本文から次のような初歩的結論を導き出した。

- 一) 我が国の最近5000年間のうちの最初の2000年（すなわち、原始氏族の時代で仰韶文化から奴隸社会の安陽殷墟まで）は、大部分の期間の年平均温度が現在よりも $2^{\circ}\text{C}$ 前後高い。1月の温度は現在よりも $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 高い。
- 二) その後、若干のシリーズ的な変動があり、その最低温度は西暦前1000年、西暦400年、1700年及び1700年において、その範囲は $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ である。
- 三) 400年から800年を1期間として、その間に500～1000年の周期的小循環があり、温度の昇降範囲は $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ である。
- 四) 上記の循環中は、どんなに厳寒のときも、それは東亜の太平洋海岸からはじまり、寒冷波はヨーロッパやアフリカの大西洋岸に及び、同時にまた北から南に向かって伝播するすう勢を示す。

われわれは西暦3世紀以来のヨーロッパの温度の昇降を中国のそれとの比較をしたところ、彼我の温度の波乱や起伏に連繋のあることがわかった。同じような波乱とか起伏のうち、ヨーロッパの波動は往々にして中国の現象のあとで起こっている。一地帯の雪線の昇降と温度には一定の関係があるということから、我々の結果とノルウェーの雪線の高低を比較したところだいたい一致している。但し2～3の例外はある。西暦前400年（戦国時代）に、ノルウェーにひとつの氷河が出現したが、これは中国では寒冷期でない時期に当たっている。

最近デンマーク、コペンハーゲン大学物理研究所ではグリーンランド島の氷塊について、 $\text{O}^{18}$ の放射性同位元素を用いる方法によって結氷時の気温を研究したが、1700年間のグリーンランドの気温の昇降は本文の結果と一致している。このほかにも、3000年前の中国に寒冷期があり、グリーンランドの $\text{O}^{18}$ の方法を用いてやはり同じような報告が得られた。

本文の要旨は物候の方法を用いて古気候の変せんを推測することにある。物候は最も古い一種の気候の表示であり、 $\text{O}^{18}$ と $\text{O}^{16}$ を用いて古代の氷と水の古気温を比べるのは近代的方法である。そしてどちらの方法をとっても結果はだいたい一致している。これはまた古文書に記載されている物候資料を用いて古気候の研究をするのもひとつの有効な方法であるということの証明になる。われわれがもし過去の気候変動の規則を掌握していれば、将来の気候の長期予報にも益するところが必ずあると考える。われわれがもしマルクス主義、レーニン主義を解し、毛沢東の思想の指導を帯し、我が国の豊富な古代物候、考方資料を十分に利用するならば古代気候研究から求めた周期性のある長期予報もきっと満足すべき結果が得られるであろう。（板倉吉直）

# 北半球における5年間の気候傾向

Victor p. Starr  
Abraham H. Oort

Five-Year climatic Trend for the Northern Hemisphere  
(Nature Vol. 242 March 30 1973)

北半球における大気の平均気温は1958年5月から1963年4月の間に、約 $0.6^{\circ}\text{C}$ 下降した。この結論を導くに至った資料を本文中に示す

一般に、人間活動が環境変化に影響するものとして、現在実測値による気候変動傾向の研究に多くの関心が払われている<sup>1</sup>。気候傾向は地域的狀態、半球あるいは全球をふまへ大気全体の平均狀態に関連するといつてよい。半球あるいは全球の平均狀態に関連する多くの研究は、大体地上観測資料によってなされてきた。<sup>2,4</sup>

しかし、これらは一般にぬぐいきれない疑問をいだかせる。それは使用する資料が例えば北半球全体の大気を代表するに足らずして鉛直方向について下層に限定されすぎるからであろう。この点を改善するために、我々は1958年5月1日からの5年間について、できる限りの毎日のゾンデ観測資料から、北半球における高度75mb（海面上約18km）までの気温・水蒸気量の月平均値を他の資料を含めて計算した。計算方法は気温や水蒸気量について大気の質量を考慮して平均するような方法をとった。

## 資料処理

資料収集は、いわゆるMIT General Circulation Data Libraryに含まれるものだが、これは主に大気の力学的研究のため数年前に編集されたものである。資料は、現存するものの中ではこの調査目的に好都合な形式であり、北半球の毎日の資料では最も精微を極め、しかも完全に蓄積されていた。資料の準備・チェックおよび実用化には数年の日数を要した。使用した1日1回(OOZ)の高層観測地点総数は約600で、そのうち平均300地点は、毎日少なくとも500mb以上の有効な観測通報をしてきたものである。

観測網は地理的に不均衡なため、一定の緯経度格子点に、正確な値を平面的に内挿する必要があった。この作業はOortおよびRasmussonの案出した型式5にしたがって、各層の北半球資料を電子計算機により客観解析した。気温および湿度場は、1000, 950, 900, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 100および50mbの各層について月毎に解析した。熱帯地域は資料が少ないので更に正確な数値を与えるために、南半球赤道域の数地点を解析に含めた。これらの解析により鉛直方向の平均気温と、気圧に関連する比湿とを、地上から75mbまで各格子点ごとに毎月計算した。大気は静力学的平衡に近いので、これら鉛直方向

の平均値は鉛直方向の質量を考慮して求められている。

次に求められた鉛直方向の平均値を半球全域について地理的に積分した。この場合、地球の各緯度圏の面積を考慮して、半球上各格子点ごとにそれ相当の質量の補正をした。このようにして、75 mb 層以下の大気について、気温60コ、湿度60コ以上の半球平均の月平均値を得た。計算上では75 mb 層まで大気の92%余りが含まれることを意味する。各月平均気温値は、約15万~20万の気温実測値を基礎にしている。

ここで我々の基本的な目的は、この過程で得られた数値を概略的に示すことである。この資料を解析しようとする人々には、彼等が考える適当な方法、例えば統計的に或は他の方法によって気候傾向の存在を解析し、或いはほかの目的達成のために他の情報と組み合わせて解析することが可能だろう。しかし、できるだけ先の論議の基本的なことに役だつように、また我々の資料のある程度細かい状況を明らかにするために、簡単な例として以下に我々の行った解析結果を示した。

## 月平均図

第1表は北半球の平均気温値60個と対応する60個の平均比湿の値を示す。第2表は第1表同様に60個の月平均気温・比湿を示すが、これは赤道と30°Nの帯状平均である。第3表は同様に、残り半球30°N—北極間の平均気温である。

我々の資料解析例では次の方法を使った。第1表の資料は強い季節的周期変化を示すことが明らかである。この特性を調査するために30項のフーリエ解析を60個の値にあてはめた。これを第4表に示す。予期したように1年および半年周期の振巾が最大である。年変化は大きく、4, 3, 2か月周期は小さい。当然これら5要素は5年間の季節変動を大きく表わしているため、実際にはこれから平均季節周期を差し引いた。気温偏差グラフを第1a図に示す。期待通り季節周期の成分は消え、残りの変化は極めて小さい。目で見ても、この曲線は5年間では近年に向かっている低温傾向が明らかである。この傾向を更に客観的に見積もるため、偏差図に最小自乗法による傾向直線を入れた(第1a図の破線)。資料ではこの5年間に北半球で約0.6°C(約1.1°F)低下したという傾向が見られる。同じ方法で計算した北半球の湿度偏差を第1d図に示す。計算による直線傾向線のように、(湿潤)大気1kgに対して約0.08 grの水蒸気の減少を示す。

第1b図は第1a図と同様に、赤道と30°N間帯の気温計算結果を示す。この場合の気温傾向は約0.81°Cの低下を示す。第1c図も第1a図と同様だが、極冠(30°~90°N)の傾向を示す。気温低下は約0.39°Cである。第1e図は0°~30°N間帯の比湿偏差で0.10 gr/kgの減少傾向を示す。最後に第1f図は30°N以北の極冠の比湿偏差で、5年間に、0.07 gr/kgの減少傾向を示す。

計算による直線傾向の有意性を客観的にテストするため、Kendall および Stuart が述べた方法によって95%の信頼限界を計算した。彼等の型式(28.93)を使用して、期間の初め(CI<sub>1</sub>)と中間(CI<sub>30</sub>)の信頼限界値を求めた。その値も第1図に示してあるが、少な

Table 1 Monthly Mean Hemispheric Mass - average Temperatures and Humidities for the Atmosphere between 0°N and 90°N

	1958-1959	1959-1960	1960-1961	1961-1962	1962-1963	Mean seasonal cycle
	Temper- ature, Humidity					
May	-15.58 3.05	-15.74 3.03	-15.79 3.07	-15.70 2.99	-16.53 3.02	-15.82 3.03
June	-13.54 3.53	-13.68 3.44	-13.69 3.46	-13.76 3.42	-14.21 3.34	-13.78 3.44
July	-12.31 3.83	-12.50 3.81	-12.54 3.84	-12.61 3.78	-12.94 3.71	-12.58 3.79
Aug.	-12.67 3.83	-12.64 3.83	-12.40 3.90	-12.79 3.82	-13.22 3.65	-12.74 3.80
Sept.	-14.24 3.51	-14.17 3.55	-14.33 3.54	-14.37 3.46	-14.62 3.44	-14.34 3.50
Oct.	-16.43 3.10	-16.47 3.06	-16.67 3.03	-16.83 3.02	-16.77 3.04	-16.63 3.05
Nov.	-18.66 2.71	-18.57 2.64	-18.86 2.63	-18.96 2.61	-18.96 2.65	-18.80 2.65
Dec.	-20.06 2.39	-20.00 2.37	-19.91 2.37	-20.51 2.31	-20.46 2.39	-20.19 2.37
Jan.	-20.49 2.19	-20.65 2.16	-20.72 2.16	-20.93 2.11	-21.13 2.19	-20.78 2.16
Feb.	-20.80 2.14	-20.50 2.18	-20.81 2.16	-20.71 2.13	-20.96 2.15	-20.76 2.15
March	-19.51 2.26	-20.18 2.32	-19.95 2.31	-20.09 2.33	-20.35 2.21	-20.02 2.28
April	-17.68 2.62	-18.12 2.65	-17.97 2.58	-18.30 2.55	-18.35 2.58	-18.08 2.59
Annual						
mean	-16.81 2.93	-16.94 2.92	-16.97 2.92	-17.13 2.88	-17.36 2.86	-17.04 2.90

The temperatures are in °C and the (specific) humidities are in g of water vapour kg<sup>-1</sup> moist air.

Table 2 Monthly Mean Mass - average Temperatures and Humidities for Atmosphere between 0°N and 30°N.

	1958-1959	1959-1960	1960-1961	1961-1962	1962-1963	Mean seasonal cycle						
	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature						
	Humidity	Humidity	Humidity	Humidity	Humidity	Humidity						
May	-10.33	4.43	-10.82	4.37	-10.80	4.45	-10.91	4.31	-1.132	4.40	-10.84	4.39
June	-10.03	4.77	-10.27	4.59	-10.27	4.62	-10.74	4.54	-11.02	4.45	-10.46	4.59
July	-10.09	4.83	-10.55	4.75	-10.54	4.84	-10.78	4.73	-10.81	4.68	-10.55	4.76
Aug.	-10.27	4.87	-10.44	4.80	-10.03	4.98	-10.43	4.84	-10.96	4.65	-10.43	4.83
Sept.	-10.25	4.76	-10.36	4.81	-10.54	4.83	-10.75	4.68	-10.71	4.73	-10.52	4.76
Oct.	-10.86	4.51	-10.88	4.46	-11.11	4.45	-11.49	4.38	-11.30	4.43	-11.13	4.45
Nov.	-11.60	4.14	-11.57	4.01	-11.69	4.04	-12.19	3.95	-12.15	4.05	-11.84	4.04
Dec.	-12.23	3.71	-12.01	3.69	-12.19	3.73	-12.45	3.59	-12.66	3.75	-12.31	3.68
Jan.	-12.31	3.42	-12.41	3.37	-12.41	3.40	-12.46	3.29	-13.02	3.44	-12.52	3.38
Feb.	-12.46	3.37	-12.27	3.35	-12.69	3.38	-12.54	3.33	-13.17	3.41	-12.65	3.37
March	-11.80	3.49	-12.23	3.64	-12.21	3.62	-12.50	3.65	-12.68	3.47	-12.28	3.57
April	-11.34	3.94	-11.49	4.09	-11.68	3.91	-11.91	3.89	-11.93	3.93	-11.67	3.95
Annual mean	-11.13	4.19	-11.28	4.16	-11.35	4.19	-11.60	4.10	-11.81	4.12	-11.43	4.15

The temperatures are in °C and the (specific) humidities are in g of water vapour kg<sup>-1</sup> moist air.

Table 3 Monthly Mean Mass - average Temperatures and Humidities for the Atmosphere between 30°N and 90°N

	1958—1959		1959—1960		1960—1961		1961—1962		1962—1963		Mean seasonal cycle	
	Temperature	Humidity	Temperature	Humidity								
May	-20.82	1.67	-20.66	1.70	-20.78	1.69	-20.49	1.68	-21.34	1.64	-20.82	1.69
June	-17.06	2.28	-17.10	2.29	-17.10	2.29	-16.77	2.30	-17.40	2.23	-17.08	2.28
July	-14.53	2.84	-14.45	2.87	-14.55	2.84	-14.43	2.83	-15.06	2.74	-14.60	2.82
Aug.	-15.07	2.79	-14.83	2.87	-14.77	2.83	-15.14	2.79	-15.47	2.66	-15.06	2.79
Sept.	-18.24	2.25	-17.98	2.29	-18.12	2.25	-18.00	2.24	-18.54	2.14	-18.16	2.23
Oct.	-22.00	1.69	-22.06	1.67	-22.22	1.60	-22.17	1.66	-22.24	1.65	-22.14	1.65
Nov.	-25.73	1.28	-25.57	1.27	-26.02	1.22	-25.73	1.27	-25.77	1.25	-25.76	1.26
Dec.	-27.89	1.07	-27.98	1.05	-27.62	1.00	-28.57	1.04	-28.26	1.02	-28.06	1.04
Jan.	-28.68	0.96	-28.89	0.95	-29.03	0.92	-29.40	0.92	-29.24	0.94	-29.05	0.94
Feb.	-29.15	0.91	-28.73	1.01	-28.93	0.94	-28.87	0.92	-28.75	0.90	-28.88	0.94
March	-27.22	1.03	-28.14	1.00	-27.68	1.01	-27.67	1.01	-28.02	0.95	-27.75	1.00
April	-24.01	1.29	-24.75	1.22	-24.25	1.26	-24.68	1.21	-24.78	1.23	-24.49	1.24
Annual mean	-22.53	1.67	-22.60	1.68	-22.59	1.65	-22.66	1.66	-22.91	1.61	-22.65	1.65

The temperatures are in °C and the (specific) humidities are in g of water vapour kg<sup>-1</sup> moist air

Table 4 Results of Harmonic Analysis of Series of Monthly Temperature and Specific Humidity Averages over the Entire Northern Hemisphere for the Period May 1958 to April 1963

Period (months)	Temperature		Specific humidity	
	Amplitude (°C)	Phase (months)	Amplitude (10 <sup>-3</sup> g kg <sup>-1</sup> )	Phase (months)
60.0	0.21	17.5	34	16.4
30.0	0.12	6.3	19	1.1
20.0	0.02	2.5	14	2.6
15.0	0.03	2.2	5	-1.6
12.0	4.24	2.3	835	2.6
10.0	0.01	3.2	21	-4.8
8.6	0.10	1.8	9	3.5
7.5	0.05	1.5	16	1.7
6.7	0.04	-0.6	20	0.6
6.0	0.37	2.3	85	2.4
5.5	0.01	0.0	14	0.4
5.0	0.07	0.7	9	1.5
4.6	0.01	-1.6	5	0.9
4.3	0.04	1.6	5	1.2
4.0	0.08	-0.2	23	-1.2
3.8	0.04	0.8	14	0.7
3.5	0.05	-0.1	4	-0.5
3.3	0.05	-0.6	2	-0.5
3.2	0.02	-1.5	6	-1.2
3.0	0.04	-0.6	8	-0.1
2.9	0.02	-1.0	4	-0.7
2.7	0.03	-0.5	2	-0.1
2.6	0.06	0.0	4	0.6
2.5	0.02	-0.0	4	1.0
2.4	0.01	-0.8	13	-0.3
2.3	0.01	1.1	7	-0.6
2.2	0.01	0.3	10	-1.0
2.1	0.04	-0.6	8	0.9
2.1	0.04	0.0	5	0.5
2.0	0.02	—	2	—

Phase is given as the time of nearest maximum in months following (or preceding) May 15, 1958.

くとも5年間に適用した範囲では計算された傾向の有意性を示す。

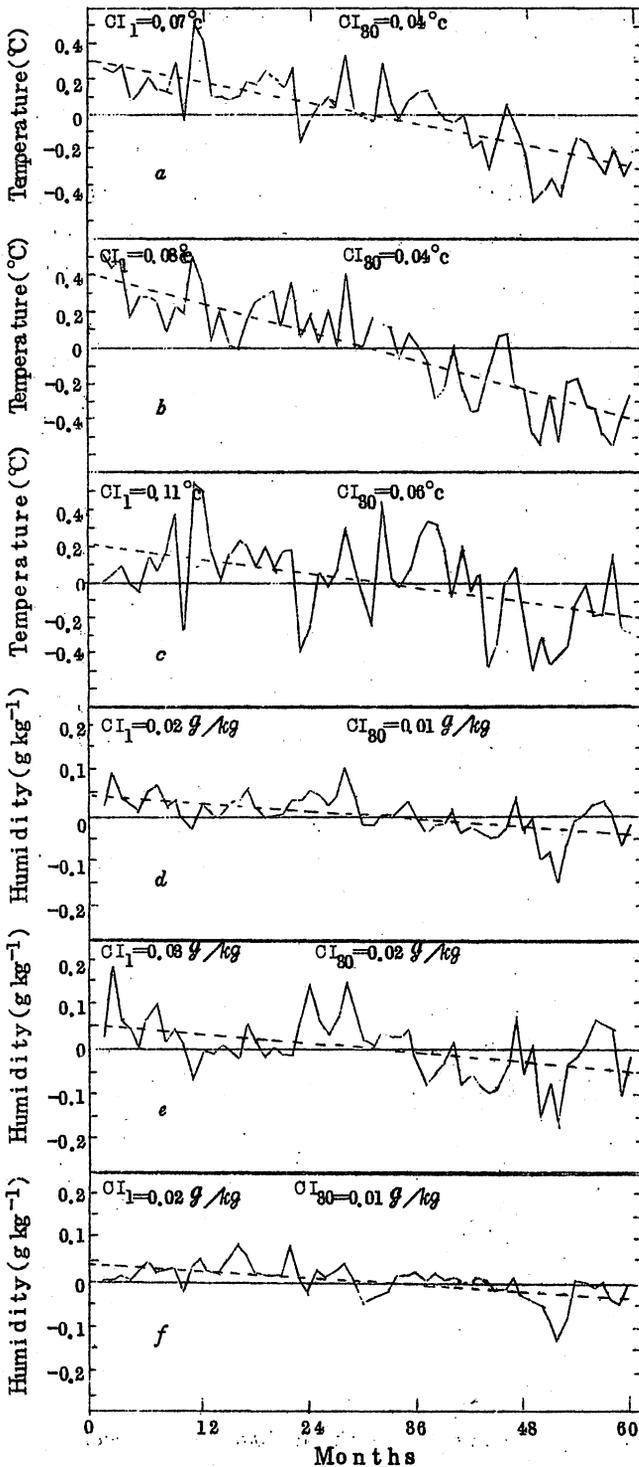


Fig.1 Monthly mean mass-average values for the period May 1958 to April 1963. *a*, Hemispheric mean temperature; *b*, mean temperature 0° N to 30° N; *c*, mean temperature 30° N to 90° N; *d*, hemispheric mean specific humidity; *e*, mean specific humidity 0° N to 30° N; *f*, mean specific humidity 30° N to 90° N. ---, Least-square linear trend lines. As described in the text the annual cycle was removed but otherwise the values are raw and unsmoothed.

他の三つの図は、積分した大気の大域的傾向に対して、大気のそれぞれの部分からの寄与を示す。初めの図(第2図)は各層、各緯度について帯状平均した気温の5年間の傾向である。

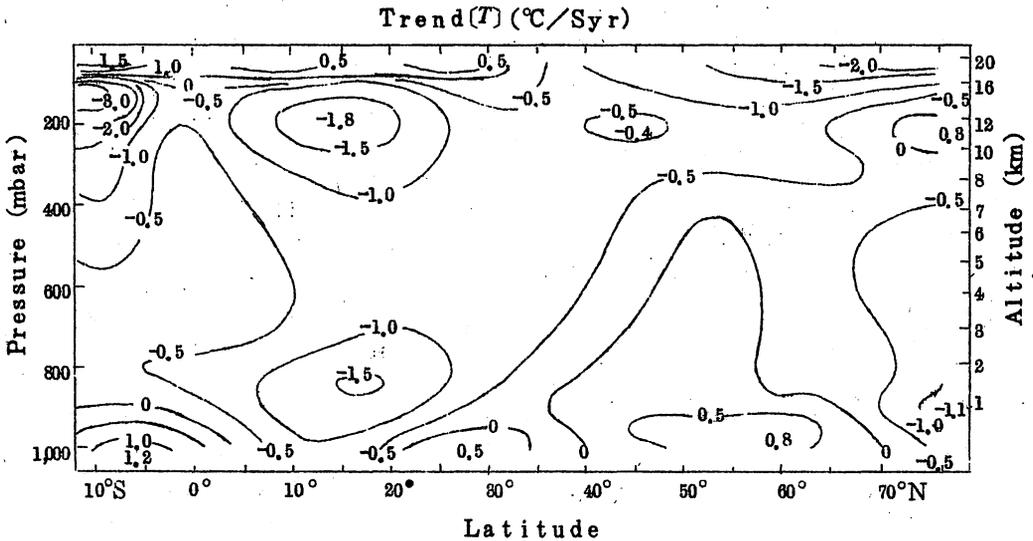


Fig. 2 Latitude-height crosssection of the linear trend in the zonal mean temperature during the period May 1958 to April 1963( $^{\circ}\text{C}/5 \text{ yr}$ ).

これから強い冷却が亜熱帯と極近傍の高緯度にあることがわかる。亜熱帯の冷却は広範囲にわたって典型的な状況を示しているの、半球的大域的傾向を支配している。計算上の温暖域がいくつかあるが、それらは量も広がりも小さい。それらは主に地表近くにあり、そこでは半球的大域的傾向に寄与する比率は事実上無視することができる。

半球的大域的傾向に対するそれぞれの地域の寄与を第3図に示す。この図の構成には、半球をおおむね  $47 \times 51$  の各地点の鉛直平均気温傾向を計算した。最大の冷却率は、再び北アフリカと南アジアに極大をもつ亜熱帯にみられる。この時点で、地球上のラジオゾンデ観測地点分布の不均一性を述べるのが適切である。大部分の観測地点は、陸上のしかも中緯度に集中している。観測網は北太平洋東部および北大西洋の約  $20^{\circ}\text{N}$  以南では大きな空白がある。このように観測網が粗いので、我々の解析でも見のがしているが、熱帯のある海洋地域上での局地点に補償しあう熱の効果を全く無視することはできないかも知れない。しかし、地図上の残りの地域の全般的な冷却傾向を見ると、そこではこのような補償はありそうもない。最後に鉛直平均湿度の5年間傾向の

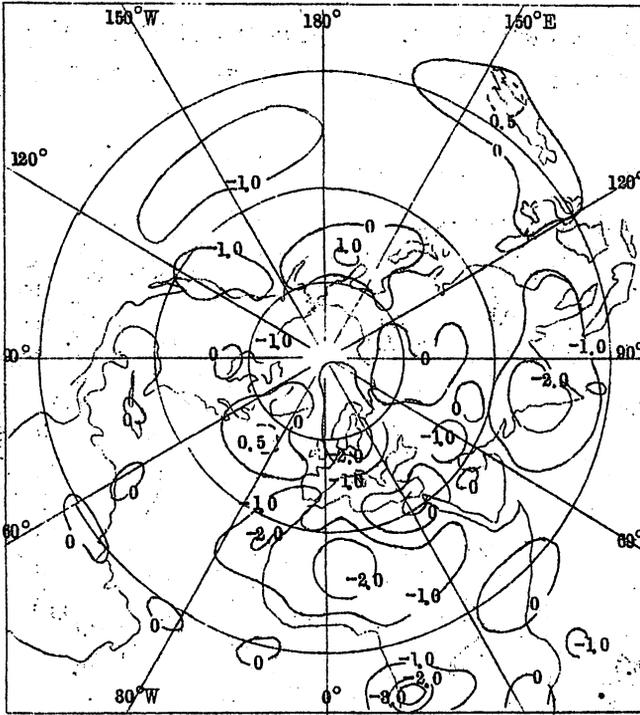


Fig. 3 Geographical distribution of the linear trend in the vertical mean (mass-weighted) temperature during the period May 1958 to April 1963 ( $^{\circ}\text{C}/5\text{yr}$ ).

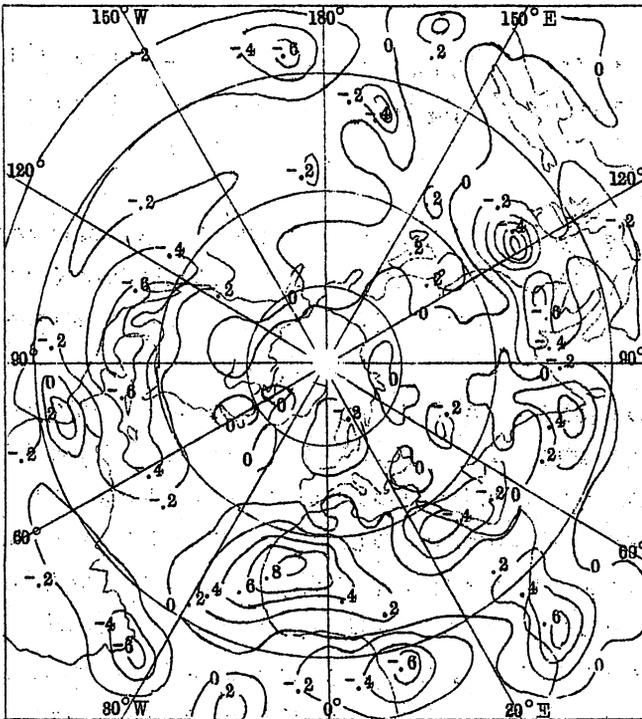


Fig. 4 Geographical distribution of the linear trend in the vertical mean (mass-weighted) specific humidity during the period May 1958 to April 1963 ( $\text{g kg}^{-1}/5\text{yr}$ ).

地理的分布を第4図に示す。分布図は気温の場合より複雑である。半球スケールでは、気温湿度とも平行して下降傾向なのに、地域傾向はいくつかの地域で逆符号である。(例えばアフリカやインド)。これらの特色に限っては意味がありそうで、おそらく力学過程に起こる断熱昇温または断熱冷却の増減が地域的な差異の説明理由であろう。

## 考察と見解

まず最初の関心事は、気温・湿度の下降傾向が、この5年間より先に延長し得るかどうかであろう。このほかの気象学的時間系列についての過去の経験では、このような予想は、多くの場合誤った結論におち入りやすかったように思われる。例えば、もし計算による北半球の冷却が、5年ごとに $-0.6^{\circ}\text{C}$ の割合で10年間続く場合を想定してみよう。すると、平均気温は $12^{\circ}\text{C}$ 減少することになり、これは明らかに非現実的な値となる。

故に、1958~1963年の下降傾向は、ずっと長い期間の自然変動の一部を表わしており、多分1963年以後の10年間までは続かないであろう。この問題は、この研究に使用した資料以上の長期間の資料系列をまとめて、現在以上に地球気候の経過を明らかにする必要性を示している。一地域天候をいろいろな角度から監視しているにもかかわらず一現在、現実には大気的大部分で起きている気候変動の規模や、その変化傾向が増大中か減少中かの符号さえも知らない人がいる。こんなことは全く奇妙である。このような知識は、気候変動の原因となる機構がわかる前に、また、気候による人間活動の打撃を評価する前に、当然知っておかなければいけないことである。Massachusetts Institute of Technology および National Oceanic and Atmospheric Administration projects の Geophysical Fluid Dynamics Laboratory では、共に1963年5月以降についてもひきつづいて調査が進行している。

以上、我々は北半球の状況を論じてきた。南半球については高層観測地点の分布は北半球にくらべて全く貧弱である。しかし、気象衛星からの、鉛直気温断面観測の最近の発達は、全地球の将来の気候監視改良が約束される。

大気中における熱量のゆるやかな変動は別として、地球—大気間の他の要因における熱蓄積変化の観測を進展させることが重要であろう。例えば大洋の海水、氷河および万年雪の氷や雪は莫大な熱の蓄積または放出に関係し、これが地球上の気候に影響している。これに関連して、北大西洋および北太平洋では、1958年ころより地上気温が次第に低い値を示すような一様な傾向をとっていることは、興味深いことであろう。

ここに示したような気候傾向の原因を解明するについては、考察しなければならない分野がいくつかある。まず第一に天文学的要因があり、太陽常数、入射する太陽放射の年変化およびスペクトル分布等が含まれる。加えて、大気—海洋—氷圏体系それ自身の要因によって、その系の中で生ずる変動が考えられる。例えば、大気の化学成分の変動、植物、雪または氷の変化によって生ずる地球のアルベドの変化、および海面水温の変動等が大気の熱平衡に強く影響しているで

あり。

(矢花 槇 雄)

### 参考文献

- 1 Committee Report, Study of Man's Impact on Climate (MIT press, Cambridge, Mass., 1971).
- 2 Budyko, M. L., *Tellus*, 21, 611(1969).
- 3 Mitchell, jun., J. M., Global Effects of Environmental pollution (Proceedings AAAS Air Pollution Session, Dallas, Texas, 1968).
- 4 Reitan, C. H., thesis, University of Wisconsin(1971).
- 5 Oort, A. H., and Rasmusson, E. M., Atmospheric Circulation Statistics (Government Printing Office, Washington, DC, 1971).
- 6 Kendall, M. G., and Stuart, A., The Advanced Theory of Statistics, 2(Hafner Publishing Co., New York, 1966).
- 7 Dickson, R. R., and Lamb, H. H., A Review of Recent Hydrometeorological Trends in the North Atlantic Sector (Int. Comm Northwest Atl. Fish., Spec. publ., 8, 35;1972).
- 8 Rodewald, M., Temperature Conditions in the North and Northwest Atlantic (Int. Comm NW Atl. Fish., Spec. Publ., 8, 1972).
- 9 Namias, J., *J. Geophys. Res.*, 75, 565(1970).