

長期予報研究

# グロースベッター

第5巻 第1号

目次

最近90年の大気環流の変動 ..... 1

王 紹 武

1963年1月~2月成層圏昇温期間のエネルギー的研究 ..... 28

P.R.Julian & K.B.Labitzke

地球と金星大気の化学成分の進化 ..... 45

H.D.Holland

1966年 10月

L. F. グループ

# 最近90年の大気環流の変動<sup>※</sup>

王 紹 武 (北京大学地球物理系)

紹介 田 辺 三 郎 (東京管区気象台)

## 1. 摘 要

この研究は1871~1960年の90年間の1月および7月の南北両半球の海面平均気圧分布図(7°N~5°S)によつて大気環流の変動を解析したものである。主たる結果は次のとおりである。

### 1.1 1月について

- a) 10年・30年・90年の平均図を作ると、90年平均と30年平均では、著しい差がある。ただし本世紀の初めは長期変動の中間にあたるため、1901~1930年の30年平均図は90年平均図とあまり差がない。
- b) 大気環流の長期変動は非常に明らかである。主な点は90年来の傾向として、帯状指数が降下していることであり、亜極低圧帯と亜熱帯高圧帯が赤道方向に移り、また南北両半球の傾向が同一であることである。また南方地域の大気活動中心位置は、90年内に完全な波動をしている。
- c) 大気環流には著しい22年周期の振動がある。緯度圏の平均帯状指数から見ると、特別に明らかで、太陽活動の第一次極大年は偏西風弱く、第二次極大年は偏西風強い。
- d) 大気環流の変動と太陽活動11年周期とは密接な関係がある。ただしこれは長期変動に従つて変化している。1879~1900年と1934~1960年は一致しており1901~1933年は非常に違つている。始めに示した2時期は11年周期が比較的明瞭であるが、1901~1933年は2波周期が明らかにあらわれている。
- e) 最近20年の大気環流の変化から、中国のこの時期の気候変動を解明することができる。

---

※ 近90年大気環流的振動(上)、気象学報第34巻第4期

1964年11月

および

近90年大気環流的振動(下)、気象学報第35巻第2期

1965年5月

## 1.2 7月について

- a) 大気環流の長期変動について、30年平均図を作ると、それぞれ相当の差がある。すなわち、最近30年(1931~1960年)の特徴は、北半球大洋上の亜熱帯気圧上昇し、ヨーロッパ大陸・北アフリカおよび亜極地帯気圧下降している。南半球では南大西洋と太平洋南西部気圧上昇、その他は著しい下降がある。
- b) 大気環流の変動は、大気活動中心の位置と、帯状指数(40~70°Nおよび30~50°S)によつて判断出来る。この10年移動平均曲線を作ると、明らかな周期変動がわかる。主な周期は長期変動・22年周期さらにはブリュクナー周期がある。
- c) 東亜の大気活動中心位置の変化と気圧偏差図は、最近60年(1901~1960年)の中国の気候変動をよく説明している。30年代は北太平洋高気圧が最も強く、この時期は印度低気圧も深く、その上この両者の活動中心位置は西に偏っていた。これが中国の大部分の気候を暑く少雨にした。

## 2. 1月の大気環流の変動

### 2.1 はじめに

大気環流の永年変化に関する研究は、最近10年来、観測資料の整理刊行に伴つて、活発になつている。しかし過去の多くの研究は北半球あるいは南半球の個々に止まり、また期間もあまり長くなかつた。ただH・H・Lamb<sup>(1-2)</sup>は最近200年の世界気候変動と大気環流の関連を研究している。著者らは太陽活動の長期変動との関係をしらべており、特に大気環流と太陽活動11年周期との関係については、目下のところ統一的な研究がないので、分析の重点をここに置いた。

まず1871~1960年にわたる連続90年の南北両半球の海面平均気圧図を作つた。資料はA・Serra<sup>(3)</sup>の海面平均気圧図、World Weather Record, Monthly Weather Review, NOTOSその他によつている。

作製した図は種々の観点から、基本的には信用してよいものと考えられる。

### 2.2 30年および90年平均図

図1は1871年~1960年の90年平均1月気圧分布図である。これは過去に刊行された30年あるいは40年平均図と大差ない。ただしこれは、30年あるいは40年平均図が代表性を示しているというわけではない。過去の平均図はすべて本世紀始の30年あるいは40年の記録によつて作成されたものであり、またこの時期は長期変動の過渡期に當つていて、このため始めのべた結果が得られたわけである。このことは図2から証明できる。図2 a-cからはつきり分ることは、1901~1930年は90年平均と最も似ていることである。またそれぞれの30年平均図を比較するとその差が非常に明らかになつている。

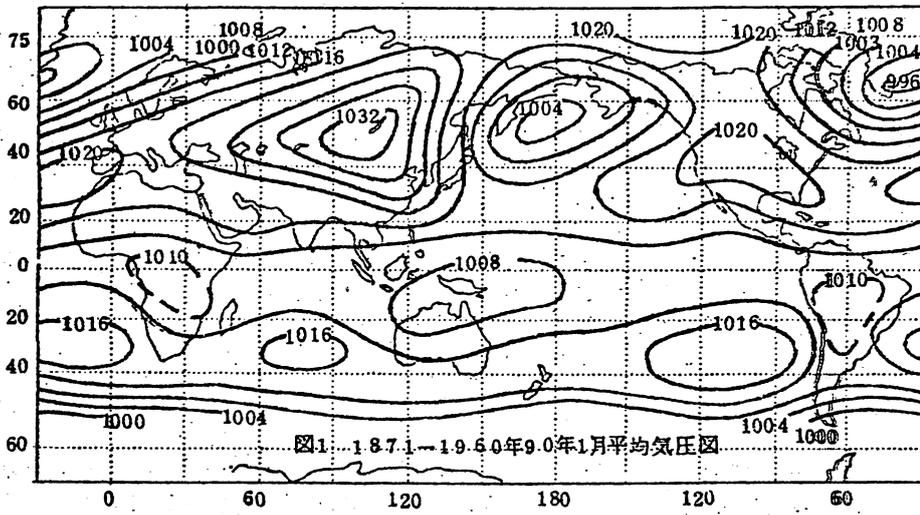


图1 1871-1950年9.0月平均气压图

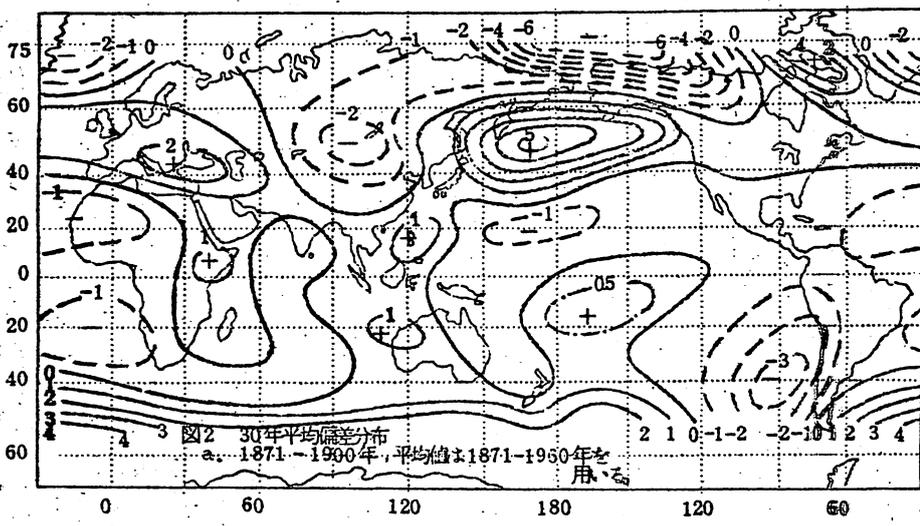


图2 30年平均偏差分布  
a. 1871-1900年, 平均值为1871-1950年之用

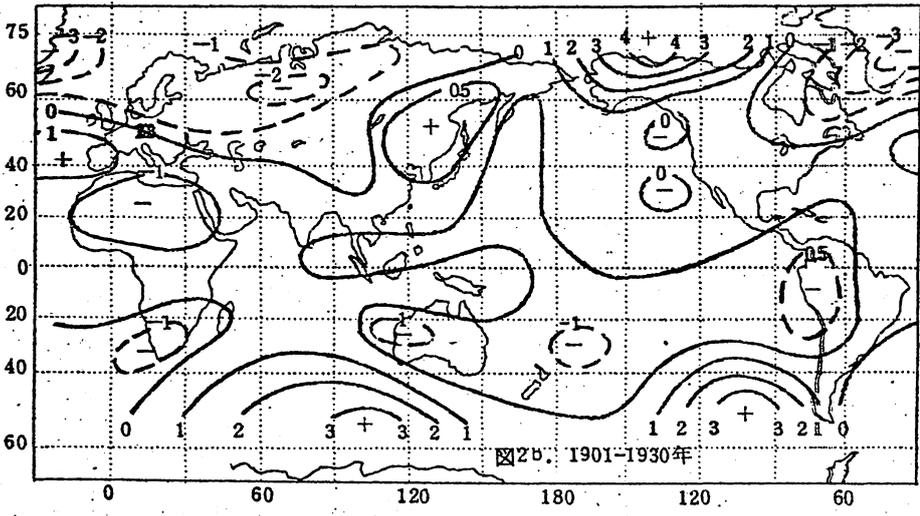
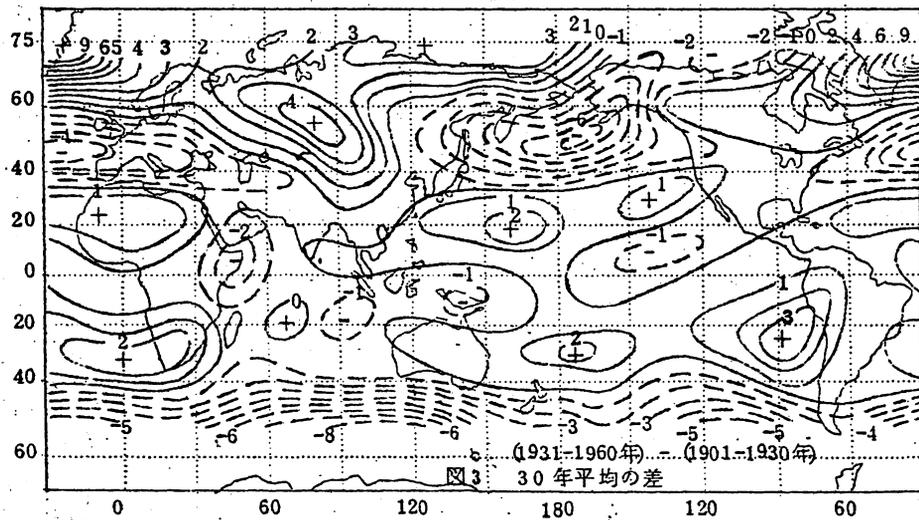
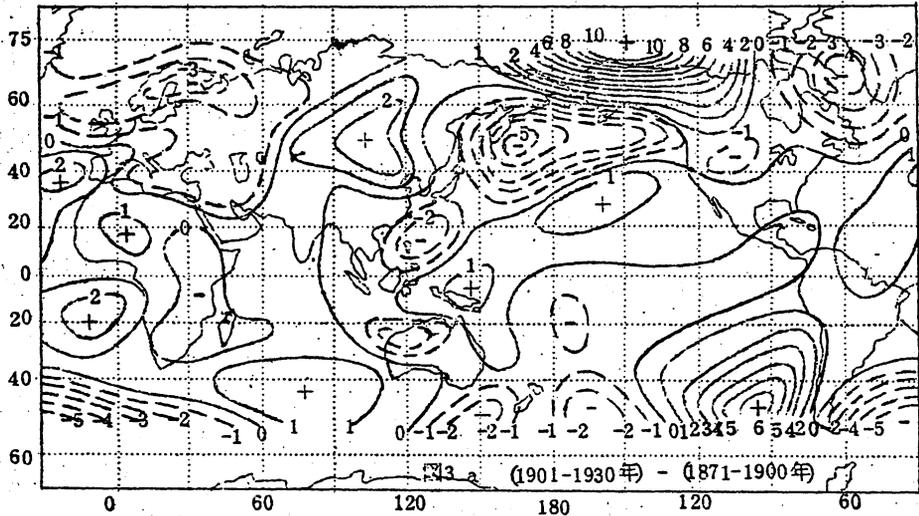
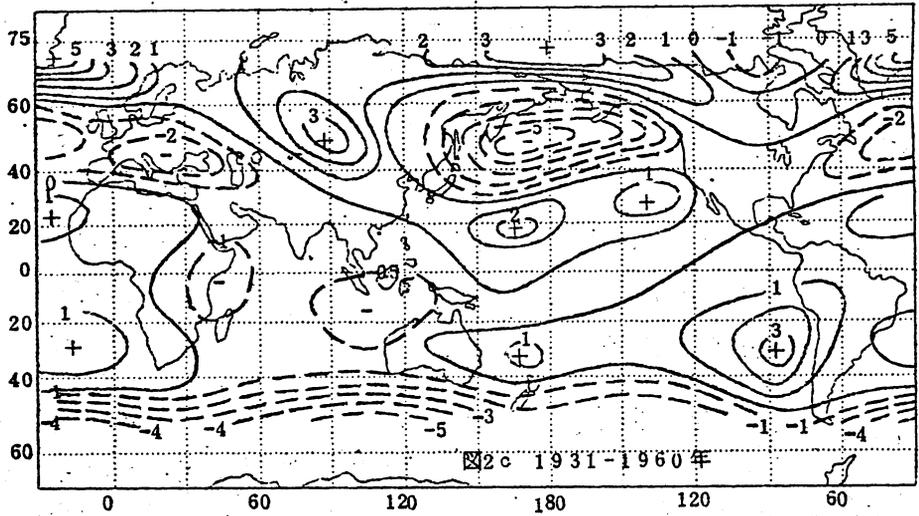


图2b. 1901-1930年



まず図3に示すように、前世紀末の30年から本世紀始の30年までは大循環が強まっている。すなわち高気圧地域は気圧上昇し、低気圧地域は気圧下降している。アリューシアン<sup>(4)</sup>の北方は10mb上昇し、アイスランド低気圧帯は深まっている。またアゾレス高気圧部は強まり、シベリア高気圧部も強まっている。

過去において多くの著者はこの事実を示している（例えば、D. A. Wagner, R. Scherhag<sup>(5)</sup>およびL. Lysgaard<sup>(6)</sup>）。

また外<sup>(4)</sup>の多くの大循環に関する研究も、この時期の北大西洋ヨーロッパの緯度方向の気流が盛んであるとしている。

一方、南半球では太平洋と印度洋の亜熱帯高気圧が極方向に移り、南大西洋高気圧は反つて赤道方向に偏つている。

次に本世紀始の30年から最近までの30年の変化傾向は異つた状況を示している。

特に大西洋では変化が著しい。すなわち図3bによれば、アイスランドとグリーンランド<sup>(5)</sup>は気圧上昇して中心部は+9mbとなつており、アゾレス高気圧帯は気圧下降して最多は-4mbとなつている。

このことは当然偏西風強度に影響があり、例えば30°Eに沿う50°~70°Nの気圧差<sup>(6)</sup>は1901~1930年は15.6mbあつたものが、1931~1960年では2.3mbとなつている。この外アジア高気圧帯は引つづき強まつており、アリューシアン低気圧は更に深まつている。

以上の分析の結果、次のように見られる。すなわち、30年平均図を作ると、それぞれ大きな変化がある。1901~1930年は変動の過渡期に当つていて、このために、この30年平均の90年平均に対する偏差は比較的小さい。これから考えると、90年平均を利用することが出来ないときは、1901~1930年は長期平均を示す代表的な30年と見て良い。

## 2.3 大気環流の長期変動

大気環流の長期変動については多くの著者の討論があり、一般には太陽活動の長期変動周期すなわち80~90年周期と関係があると見られる。

著者の扱つた時期は、太陽活動が強から弱に向い、さらに再び増強した時である。

図4はそれぞれの大気活動中心位置の30年移動平均図である。非常にはっきり分ることは90年間に於いて、アリューシアン低気圧とアイスランド低気圧が全株傾向として南西方向に移り、南大西洋と南印度洋の高気圧が北に動いている。このため総体的には気圧中心がすべて赤道方向に動いたことになる。

ところがシベリア高気圧・南太平洋高気圧および赤道低気圧帯は反対の動きがあり、また

※ 紹介者註、後述の帯状指数についての註を参照されたい。

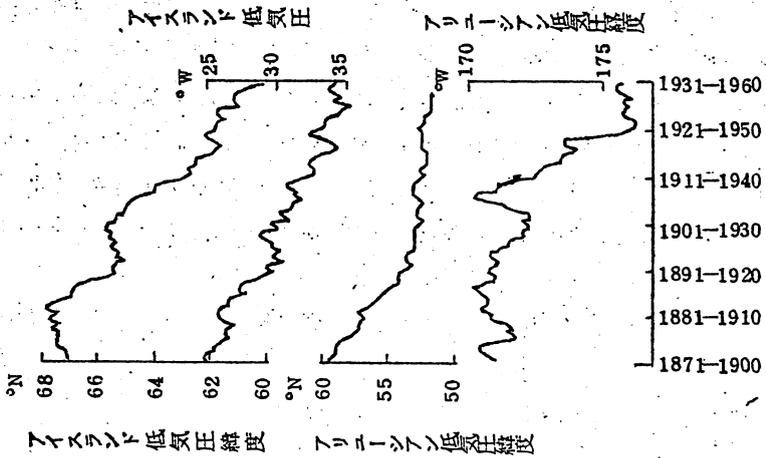
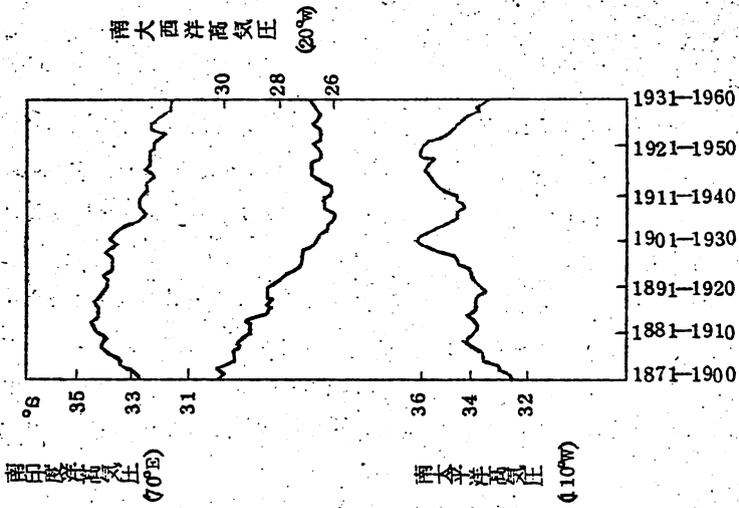
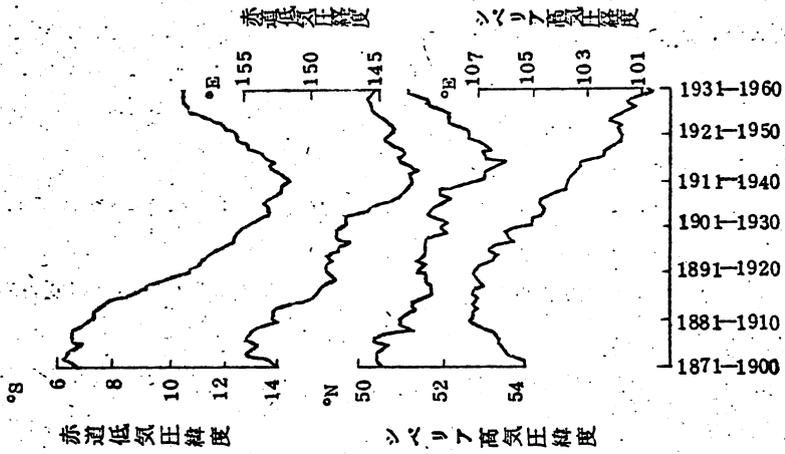


図4 大気活動中心位置 (30年移動平均)

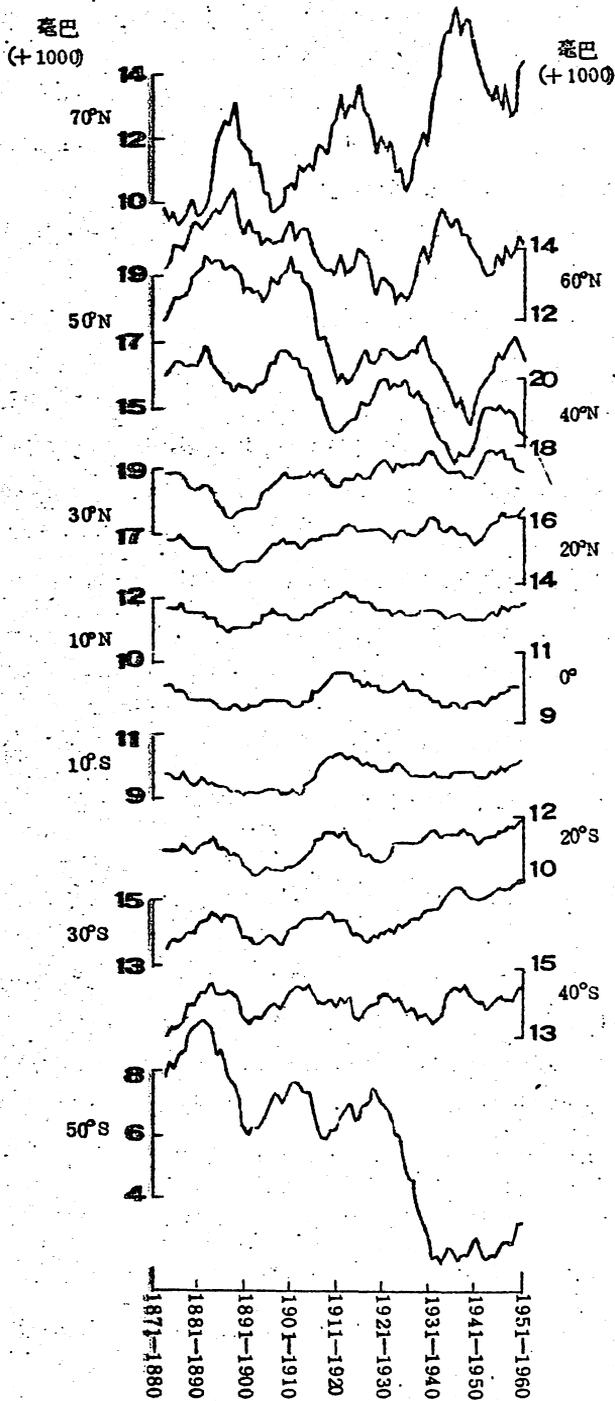


图5 纬度圈平均气压 (10年移动平均)

前世紀末から現在までの90年間に一周期を形成したように見える。

例えば赤道低圧帯は1871~1900年には平均として $6.8^{\circ}\text{S}$ にあつたが、1911~1940年には $14.3^{\circ}\text{S}$ に移り、1981~1960年には北上して $10.5^{\circ}\text{S}$ となつている。非常に興味あることは、赤道低圧帯と南太平洋高圧帯が南方波動の主な成因となつていることで、東亜は南方波動と最も関係の深い区域である。<sup>\*</sup>

これから見て、大気環流の長期変動は次のように分けられる、すなわち、

第一種は、南北両半球の中高緯度系統の変動であり

第二種は、南方波動範囲とその直接の影響を受ける東亜地区の変動である

#### 2.4. 南北両半球大気環流変動の対称性

大気環流の変動について緯度に関して見るために、緯度10度毎の平均気圧を求める。

図5は $70^{\circ}\text{N}$ から $50^{\circ}\text{S}$ に至る各緯度平均気圧の10年移動平均曲線である。

図5によると、 $40^{\circ}\text{N}$ と $70^{\circ}\text{N}$ は変化が相反した傾向を示しており、10年移動平均値の相関係数は $-0.90$ である。さらに興味あることは南半球の中緯度と北半球の変化が相似していることであり、相関係数を示すと、 $50^{\circ}\text{S}$ と $40^{\circ}\text{N}$ は $+0.79$ であり、 $50^{\circ}\text{S}$ と $70^{\circ}\text{N}$ は $-0.78$ となつている。

一方 $10^{\circ}\text{N}$ から $20\sim 30^{\circ}\text{S}$ までの変化は異つていて、90年内に2回の波動、すなわち40~45年周期の変動があるように見える( $10^{\circ}\text{N}$ と $10^{\circ}\text{S}$ の相関係数は $+0.78$ を示している)。

北半球中高緯度の中間は地上偏西風帯であつて、中高緯度の気圧差は偏西風の強度をあ<sup>※※</sup>らわす。このため $40\sim 70^{\circ}\text{N}$ の気圧差を帯状指数とする。

また南半球については十分な資料がないため $30\sim 50^{\circ}\text{S}$ の気圧差を以て示すこととする。

この帯状指数の30年移動平均(図6)からすぐ分ることは、北半球では90年来偏西風が一直線に減少していることである。1871~1900年の $+30\%$ から1981~1960年の $-40\%$ となつている。

ところで図5から分ることは、 $50\sim 70^{\circ}\text{N}$ の気圧差が大きいときには $30\sim 50^{\circ}\text{N}$ の気圧差は小さく、この反対も同様である。もしも南半球の中高緯度の間にも、この傾向と類似性があるならば、 $30\sim 50^{\circ}\text{S}$ の気圧差の不断の増加は、 $50^{\circ}\text{S}$ 以南の偏西風の減衰を示す

※ 紹介者註、くわしい説明がないのでよく分らない。

※※ 紹介者註、気象庁においては、帯状指数(東西指数)として500mbについて $40\sim 60^{\circ}\text{N}$ の間を用い、アメリカ気象局では700mbについて $35\sim 55^{\circ}\text{N}$ を用いている。また南半球では例えば南アのE. Vowinkelによれば、地上気圧によつて $30\sim 55^{\circ}\text{S}$ の間を用いている。使用する緯度帯によつて差のある時がある。

ことになり、当然のこととして両半球の状況に差があることになるのだが。この南北両半球の気圧変化の対称性を説明するために図7を作ったわけである。図中最下段の曲線は90年平均気圧の南北プロフィールであり、この

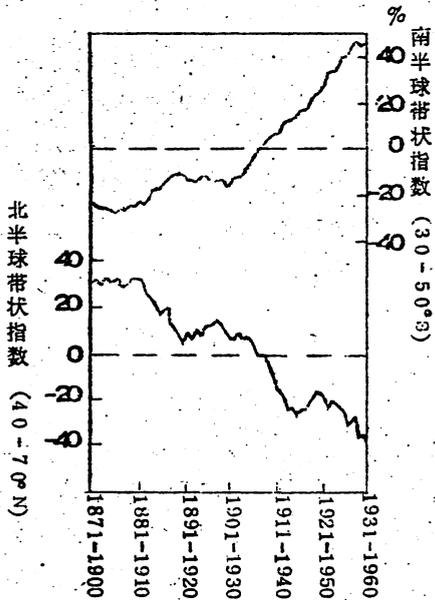


図6 帯状指数 (30年移動平均)

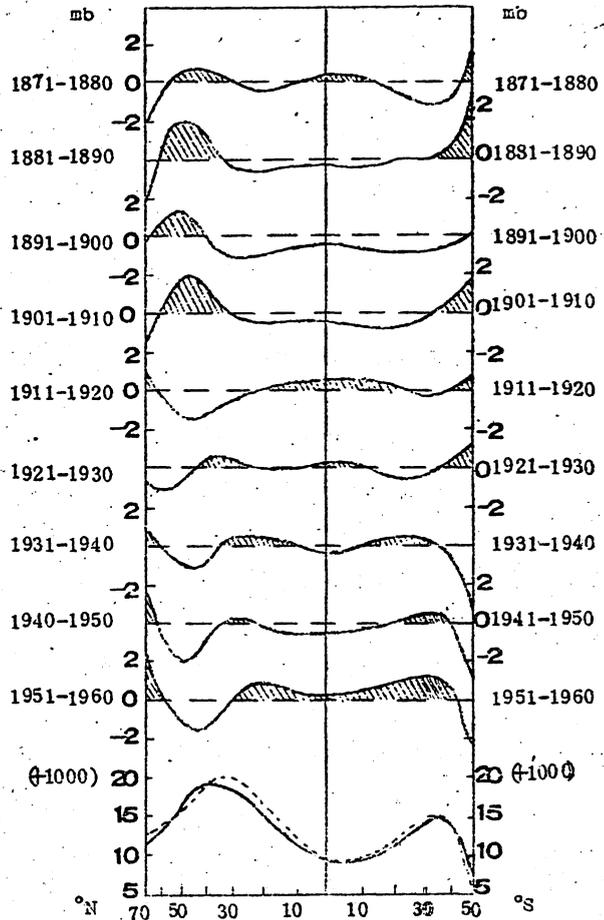


図7 毎10年緯度帯平均気圧偏差南北プロフィール (平均値は1871-1960による)

(7) プロファイルは他の多くの著者の計算とはほぼ同一であつて、図7の点線はシチエノフスキーの平均値である。

さて図7からはつきり分ることは、最初の30年の正偏差は、主として両半球の高圧帯の極側、すなわち緯度40~50°前後にあつて、高圧帯の赤道側(緯度30~20°)は気圧が比較的低下した。これは高圧帯が高緯度に偏つたことを示すわけであつて、本世紀の始は正偏差域は赤道方向に移つている。

(8) D. J. Shove によると、北大西洋およびヨーロッパでは、いわゆる『南移現象』があり30年平均気圧偏差は次第に南に移つている。図7から分ることは、北半球では確実に南移現象があり、南半球では逆に北に移つている。すなわち南北両半球では赤道方向に移つ

34  
ているわけである。実際にこの種の現象は、環極気流の拡張によつて可能である (H. C. Willett<sup>(9-1)</sup>)。

第1の30年は環極気流の収縮期であり、第3の30年は環極気流の拡張期で、本世紀始の30年は両者の中間に当っている。

興味あることは、D. J. Schoveは19世紀中葉に環極気流の拡張期があつたとして  
いる。

H. H. Lambの図から見ても、この時期には北大西洋亜極低圧帯と亜熱帯高気圧はとも  
に南に偏り、これは太陽活動の長期変動と基本的に一致する。

すなわち太陽活動が強から弱に向うと、環極気流は収縮し、弱から強に向つては環極気  
流が発展する。そして両半球の傾向は同一である。

ここで長期変動を長期周期と見ることに  
ついて疑問が残る。なぜなら90年来帯状指数  
は一直線に下降しているからである。ところがこの種の長期の大気環流の変化の特徴は循  
環性のものであつて、表面上の可逆過程というわけのものでもないことである。正偏差域  
が南下して低緯度に達したとき、高緯度に別の正偏差域が現われても良い。これは太陽黒  
点11年周期の過程と似ており、実際に図7では、北半球高緯度に、近年確実に新しい  
正偏差の区域が現われており、これは新しい長期週期の開始を意味するものかも知れな  
い。

## 2.5 大気環流22年周期

著者は、過去の大気環流22年周期の研究について、詳しく討論したことがある。<sup>(12)</sup> 図8  
は各大気活動中心の位置と帯状指数の10年移動平均曲線である。図8から分ることは、  
大気活動中心の少なからざるものに22年周期があることである。最も明らかなのは帯状  
指数であつて、太陽活動の第二次極大年には偏西風強く、第一次極大年には偏西風が弱い。  
偏西風が強い時はアイスランド低圧部は北偏し、シベリア高気圧は南偏する。赤道低圧  
部は東偏し、その他の大気活動の中心にもそれぞれ反映している。一方南太平洋高気圧に  
も明らかに22年周期があり、帯状指数と太陽活動22年周期との関係は図9によつて十  
分見られるところである。

## 2.6 大気環流変動と太陽活動11年周期との関係

これについての研究は非常に多いが、<sup>(12)</sup> 全面的な研究の行なわれたものがなく、著者は90  
年の資料を使つて検討した。そしてF. Baurの考<sup>(13)</sup>えに従い、またMuller-Ann<sup>(14)</sup>  
の研究を参考にした。

目下のところは1月のみであつて、全面的ではないので、1月の太陽黒点を使用してい  
るが、3年の加重平均を使つている (例えば、 $a \cdot b \cdot c$ が3年連続の太陽黒点であるとす  
ると、 $\frac{a+2b+c}{4}$ を以てb年を代表するものとする)。

このようにして平均したあとで、11年周期の平均との偏差を求め、偏差に従つて配列

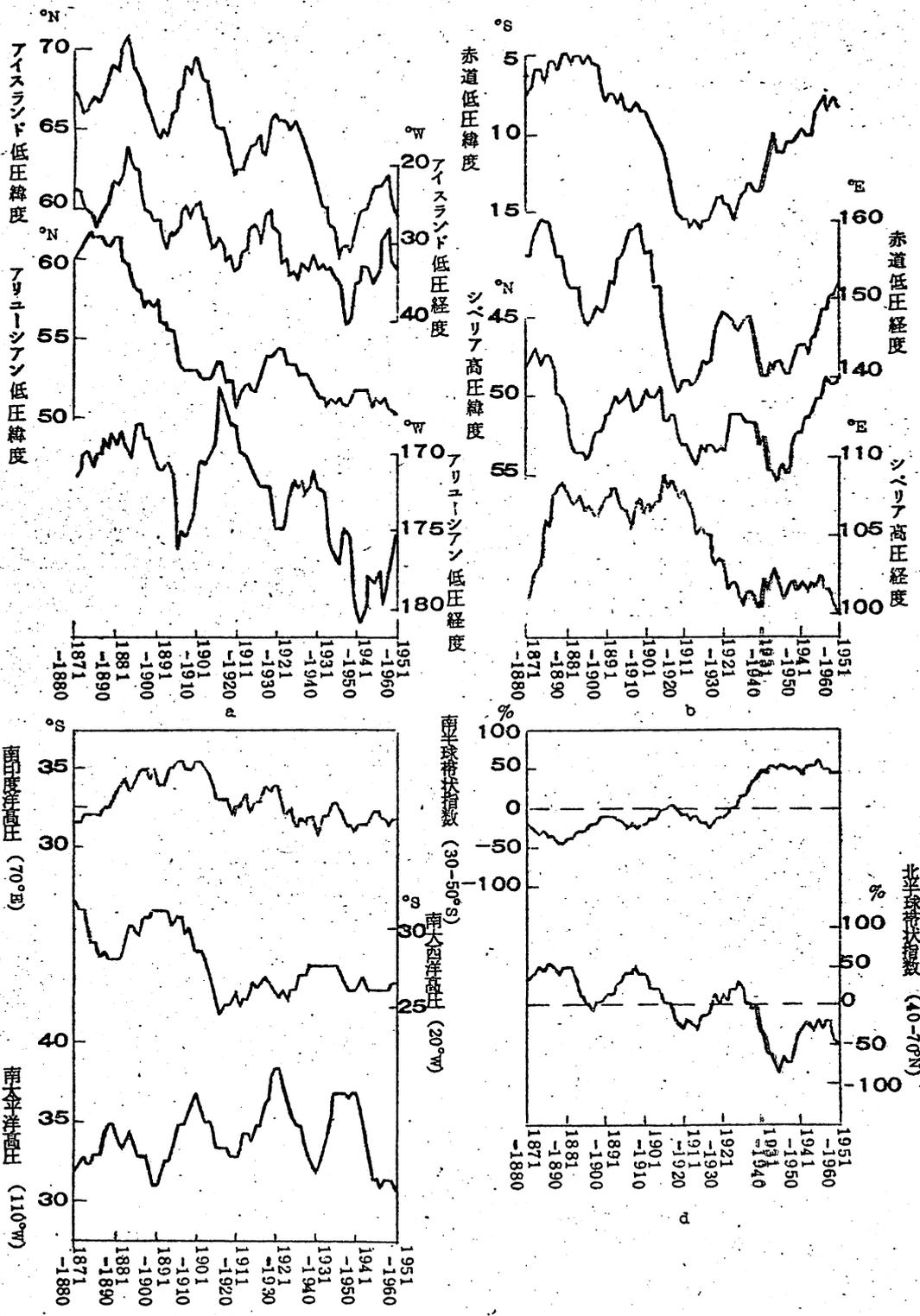


図8 大気活動中心位置と帯状指数 (10年移動平均)

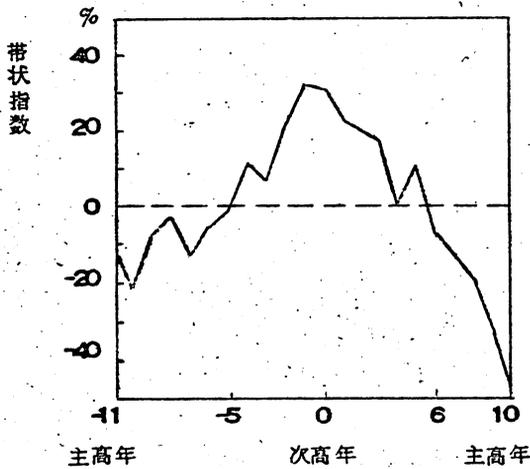


図9 帯状指数の22年周期

すると表1のようになる。この中で正偏差最大年をMとし、負偏差最大年をmとし、正偏差年はMの左右に、負偏差年はmの前後に示してある。

次に帯状指数と各大気活動中心位置をこの表1に従つて配列すると、これらと太陽活動11年周期との関係がよく分る。これらは1879~1900年、1901~1933年および1934~1960年の3段階に分けることが出来、それぞれ2~3コの11年周期を包含している。

そこで各大気活動中心位置3段階の年次に分けて、それぞれについて加重平均して、11周期平均との偏差を求めて配

表1 11年周期年代配列

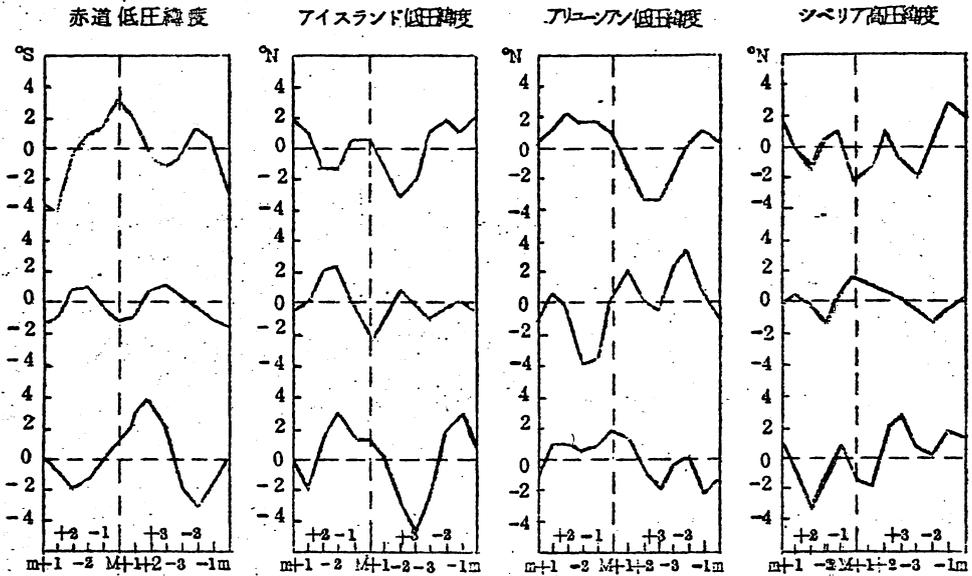
m	+1	+2	-2	-1	M	+1	+2	+3	-3	-2	-1
1879	80	81	82	83	1884	85			86	87	88
1889	90	91	92	93	1894	95	96	97	98	99	00
1901	02	03/04	05	06	1907	08	09			10	11
1912	13	14/15	16	17	1918	19	20		21	22	23
1924	25			26	1927	28	29	30	31	32	33
1934	35			36	1937	38	39	40	41	42	43
1944	45	46		47	1948	49	50	51		52	53
1954	55	56		57	1958	59	60		61	62	63

列したのが図10である。同様にして図11は帯状指数の状況を示している。

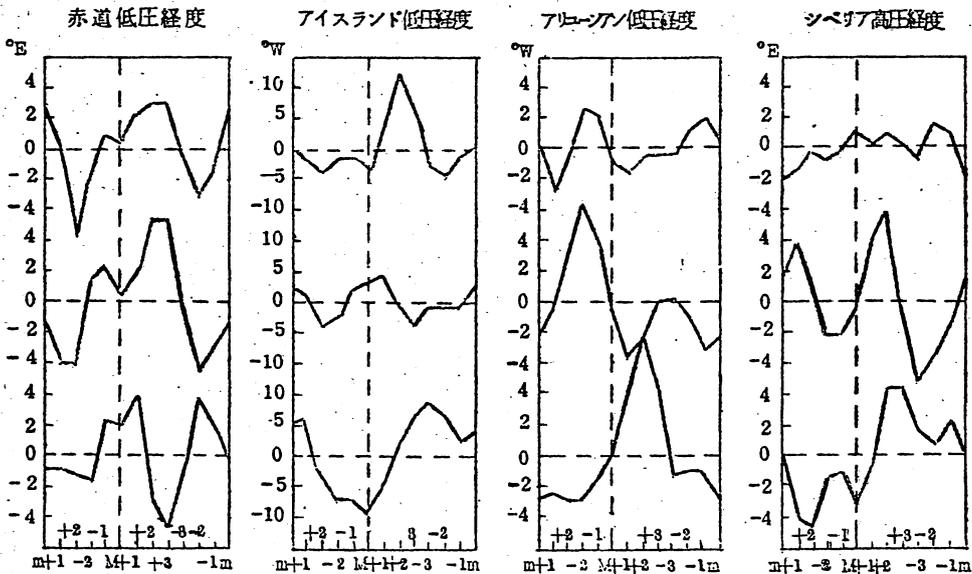
これらから分ることは、1901~1933年(図11)では2波振動が特に明らから偏西風の最も強い時はm+2、M-2とM+3、m-3年であり、これは太陽黒点極値年の中間にあつており、弱い偏西風はM-1、Mおよびm-1、mにあらわれている。

更に図11で第1段(1879~1900年)と第3段(1934~1960年)を見ると、ある程度似ているが、第2段の時期とはかなり異つているのが分る。また特別興味

あるのは1934年以後で、偏西風の最も弱いのはM+3とm-3年に現われ、同時にm+2年にも比較的弱いところがある。そしてM年とm年はいずれも正偏差を示している。また11年周期(波数1)の位相は第2段目の期間と逆になっている。総体的に、第3段目の時期は11年周期内で、対比の最大はM対M+3年であつて、M年は偏西風強く、アイスランド低気圧は北東に偏り、シベリア高気圧は南西に偏り、赤道低気帯は南偏し、M



a



b

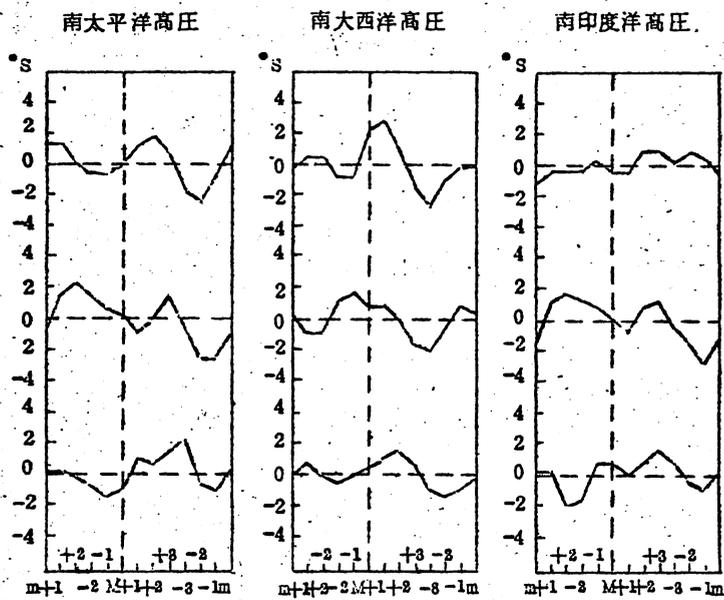


図 10 大気活動中心位置の太陽活動 11 年周期内の分布

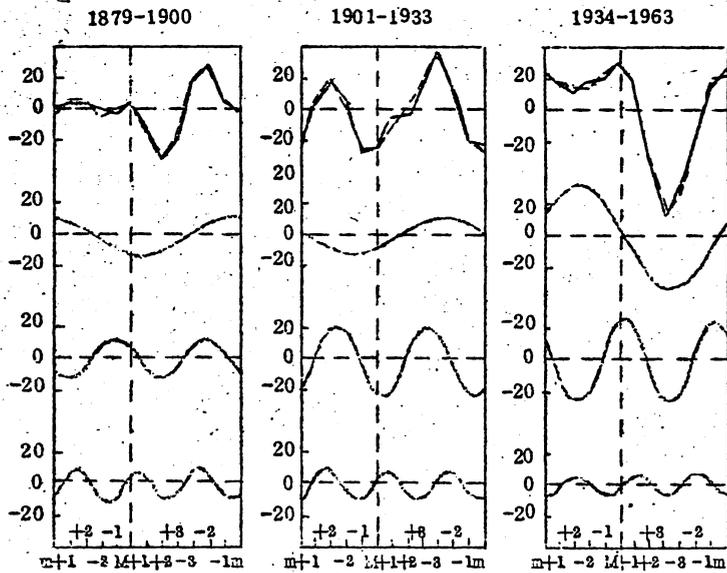


図 11 帯状指数の太陽活動 11 年周期内の分布

( - - - - 調和分析値, ——— 実況 )

+3 年は情況が相反している。また第 1 段目の時期である 1878~1900 年は第 3 段目の時期に比べて波動が 1~2 年先行しているように見える。

このように見てくると、大気環流と太陽活動 11 年周期とは密接な関係があり、ただ長

期周期変動の影響を受けて、振動の位相が変化しているものもある。

## 2.7 最近20年の大気環流の変化と中国の1月の気候変動

著者の研究によれば、最近10年の中国の1月の気温は40年代に比較して著しく下降している。図12によると、40年代は満洲を除いて、大陸東部の気候は50年代に比べて暖乾であり、気温最大偏差は2℃以上に達し、降水量も40%以上少なかった。図13は40年代と50年代の気圧分布差である。はつきり分ることは、シベリア高気圧は1940年代は1950年代に比べて6 mb も低く、その位置はまた北東に偏っていた(図8参照)。須田建によれば、日本の最近10年の気温は、40年代に比べて高いが、これは最近10年の極東のmajor trough が西に偏っているためとしている。著者の研究によれば40年代は北アメリカの冷空気の活動が特別に強く、これは図13でも分る。そして1940年代は北アメリカでは1020mb等圧線が带状に拡っているが、最近10年分は断続的な小中心があるだけで、これが両大陸の冬季環流と天気に差のあることを示している。

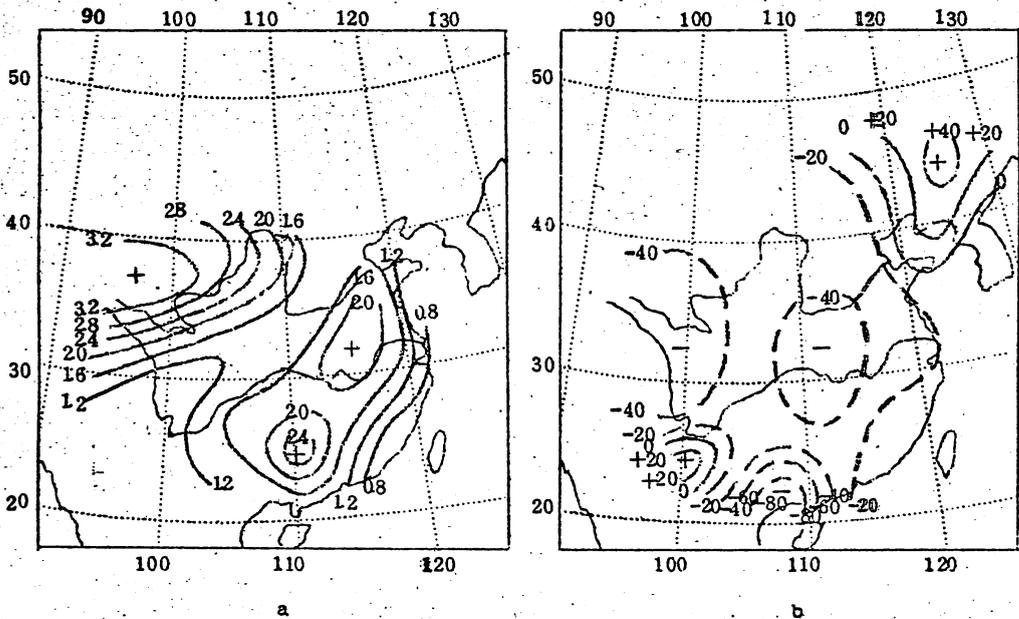


図12 (1941-1950年) - (1951-1960年) 1月気温 (a) および降水量 (b)

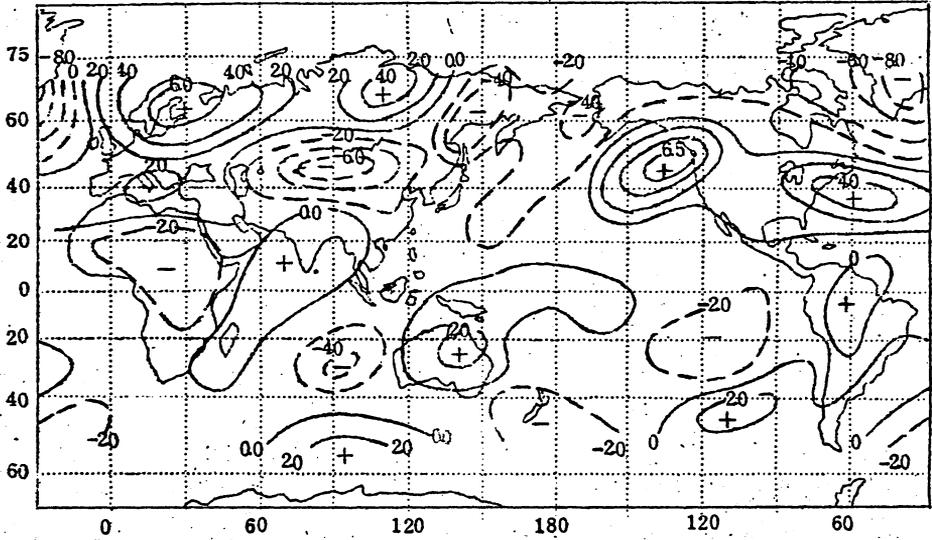


図13 近20年(1941-1950年) - (1951-1960年) 1月大気 流的变化

### 3. 7月の大気環流の変動

#### 3.1 長期平均図

まず図1に示すものは1871~1960年の7月平均気圧分布図である。これは90枚の経緯度格子点の平均をとったものである。次に30年ごとの平均気圧の90年平均に対する偏差を求めたのが図2である。

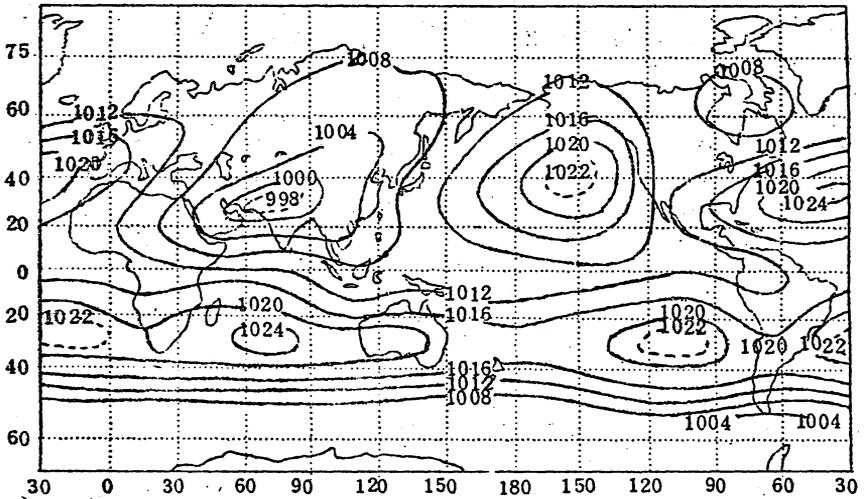


図1 1871-1960年90年7月平均気圧図

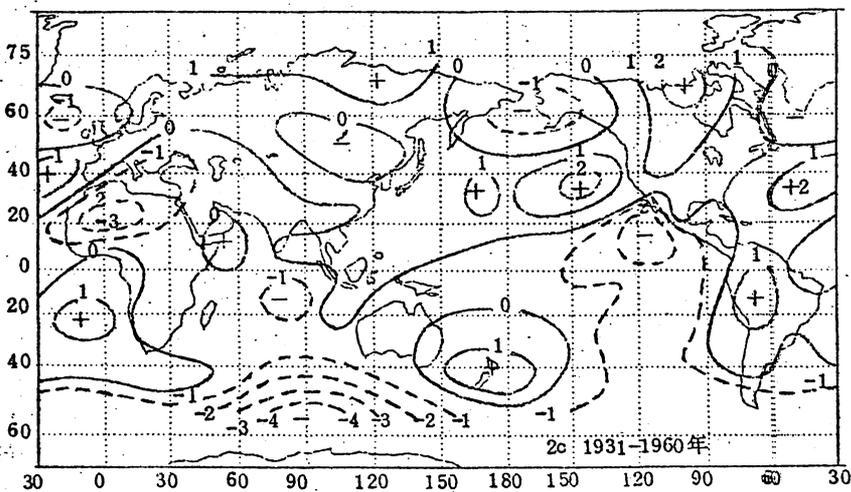
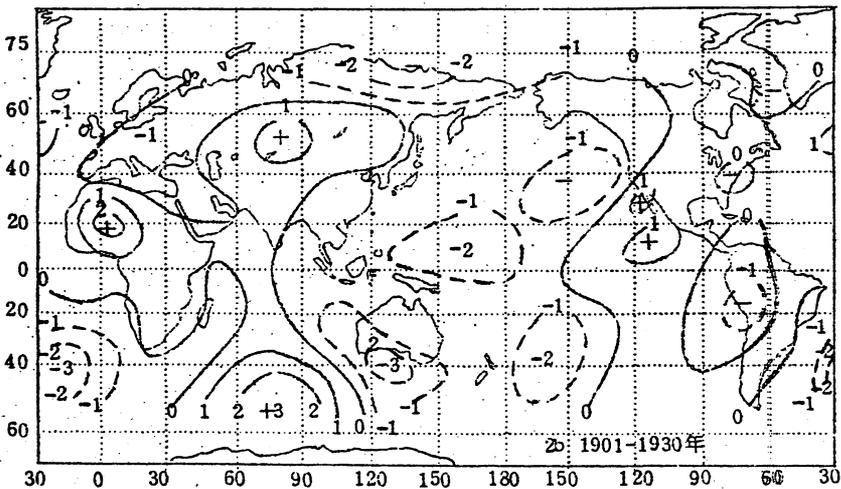
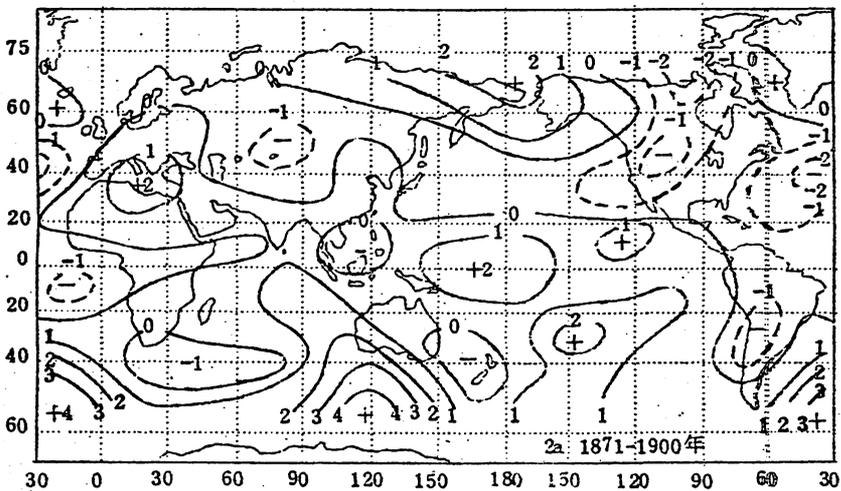
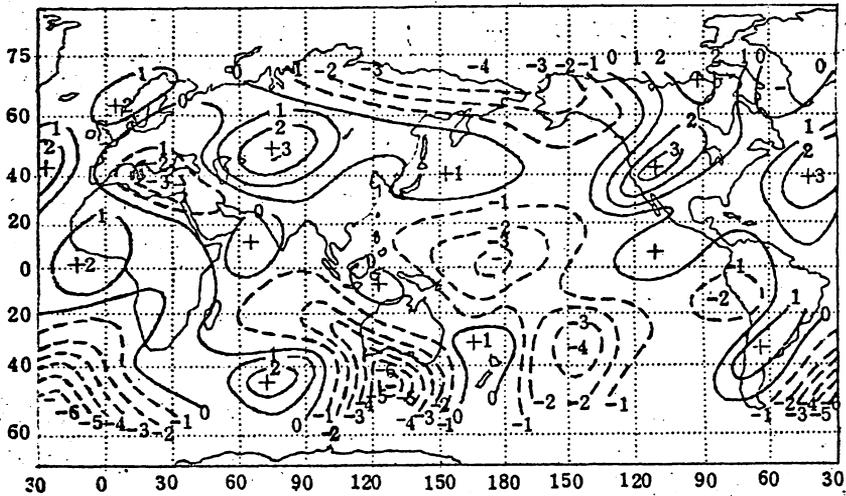
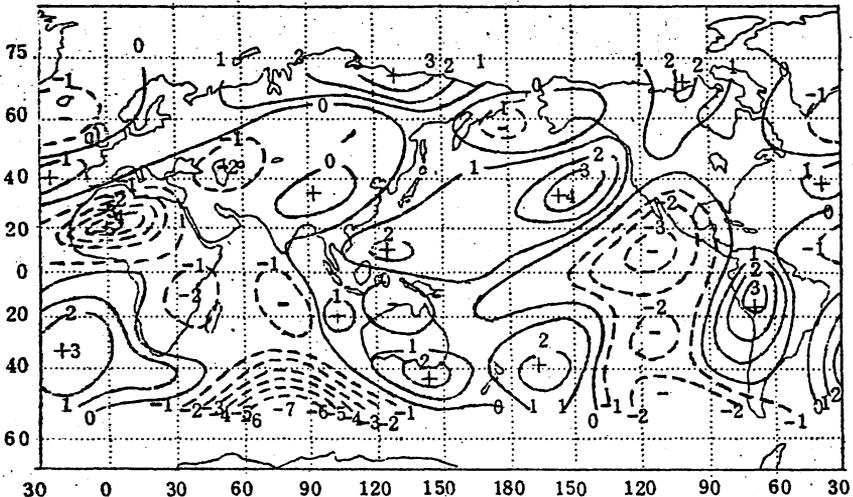


图2 30年平均偏差图(单位mm, 平均は1871-1960年による)



3a (1901-1930年) - (1871-1900年)



3b (1931-1960年) - (1901-1930年)

図3 相次ぐ30年平均の差

この図2については、第1の1871~1900年の30年は、北太平洋高気圧強度は90年平均と大差なく、大西洋高気圧は非常に弱い。またヨーロッパ南部・北アフリカは正偏差域となっている。北アメリカは全域にわたって気圧低く、南半球では亜熱帯高気圧が強く、特に南太平洋では著しい。

次に前世紀末から本世紀始めまでは大循環に大きな変化が起つている。

図3aによると、アジア大陸中部バルハン湖付近は気圧の上昇が2~3 mbに達しており、北大西洋も気圧上昇している。南半球では亜熱帯と中緯度の気圧は総じて下降しており、特に南大西洋では6 mbにも達している。

第3に最近の30年を見ると、図3bによれば北太平洋と北大西洋の高気圧は著しく強くなっている。北アフリカは前30年に比べて5 mbも下降しており、北アメリカは引きつづいて気圧上昇している。

以上示した変化が、すべて環流の変化であると説明することは出来ない。というのは明らかに記録の少ない地域では、特に大洋上では、解析の不正確なことから誤差を生ずるおそれがあるが、ただ最近の60年間は、北半球については比較的正確と考えられる。これは色々の著者の論文と比較して分ることで、例えば1901~1930年と1931~1960年の差はK. Wegeの計算と一致するし、その他多くの例がある。このような結果、以上のべたような環流の差は記録の誤差のためではないということが分つたと思ふ。

### 3.2 緯度圏平均気圧

図4は1871~1960年の90年を10年ずつに区切つた、各10年毎の緯度圏平均気圧の、90年平均に対する偏差の南北プロフィールである。範囲は75°Nから5°Sまでとつてあり(70°Nは85~75°Nを示してある)、緯度座標は緯度圏の含む面積に比例するようにしてある。このため、この偏差のプロフィールと基線の含む面積は、大気質量の増減を示すことになる。著者はこのプロフィールの資料の信頼度を調査するため、Hann その他の計算値と比較し、特に信頼度の高い1931~1960年平均値と比較すると、似たような結果を示して、各著者の緯度圏平均気圧の1931~1960年平均値に対する偏差は北半球では1 mbにも達していなかつた。ただし、40~50°Sでは、最近30年平均値は高い傾向にあつた。資料を取扱つた90年間の最初の20年の記録の信頼度は簡単には結論を出せないが、それ以後は、特に北半球については信頼度が高いと考える。

次に各緯度圏平均気圧の長期変動を見よう。図5は緯度圏10年移動平均気圧である。

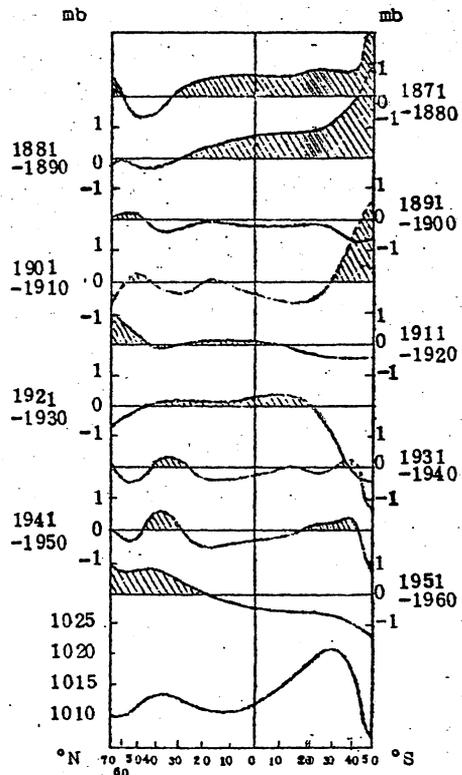


図4 毎10年緯度圏平均気圧偏差南北プロフィール

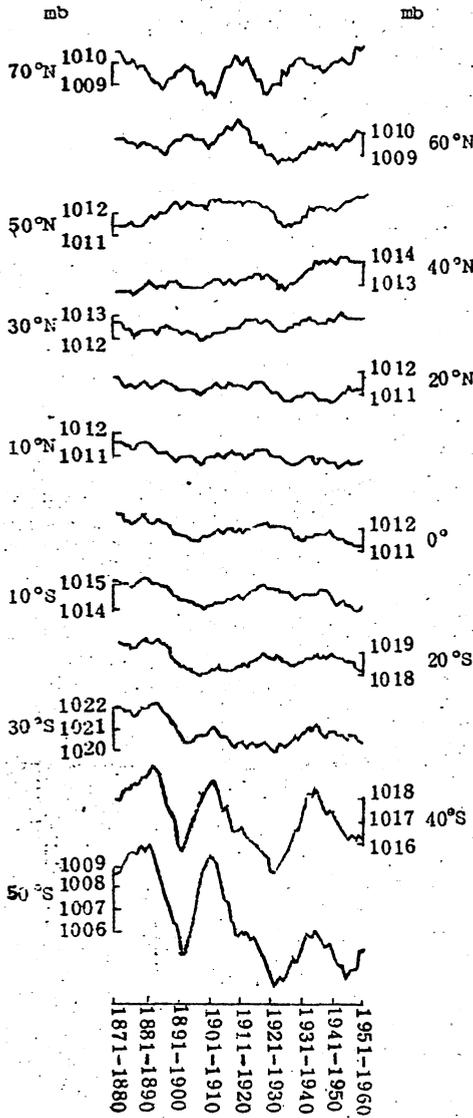


図5 緯度圏平均気圧10年移動平均値

### 3.3 大気活動中心の長期変動

大気活動中心の位置は、大気環流状況の良い指標となつている。そこで簡単に長期変動を論じたい。

70°Nの長期変動は、前世紀末は気圧が比較的高く、以後下降し、最後にまた上昇している。そして全体として20年前後の周期変動がある。

60°Nもほぼ同様であり、30~50°Nは傾向としては上昇的である。20°N~30°Sの広い熱帯地方は全般的に長期傾向は下降的であり、50°Sまでは下降傾向は非常に著しい。また40~50°Sには30年前後の波動があるように見られる。各緯度圏の長期変動はそれぞれ異つた様相を示している。

次に40~70°Nおよび30~50°Sの気圧差を以て北半球および南半球の帯状指数(InおよびIs)として、毎年7月の帯状指数を求め、この10年移動平均値をとると図6が得られる。

図中InおよびIsともに、90年平均値に対する偏差の百分比で示してある。

容易に分ることは、InおよびIsともに総体的に上昇している。さらにこれに加えてInは特に明らかに規則的に20年前後の週期変動がある。Isは1920年以前はInと完全に相反した変動をしている。

次に図7に示すように、帯状指数を太陽活動の22年週期<sup>\*</sup>にあわせて配列すると、非常に明らかな関係が見られる。ただしIsを2段に分けて示してありまた図7の数値は5年移動平均値の90年平均値に対する偏差の百分比で示してある。Isの前後2期の相反した状況は亜熱帯高気圧の位置と関係があると思われる。

\* 中心0は1883年、1906年、1928年、1948年としてある。

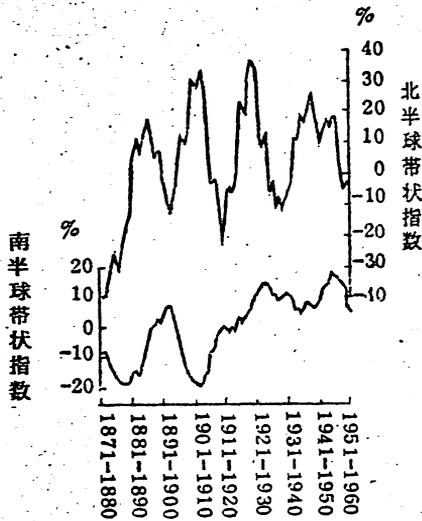


図6 帯状指数10年移動平均値  
(偏差の百分比で示す)

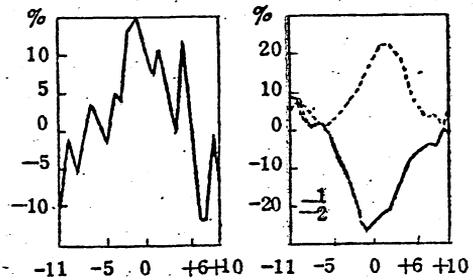


図7 北半球(左)および南半球(右)の  
帯状指数と太陽活動2年周期との  
関係(右側, 1は1873-1916,  
2は1917-1960)

図8 aは7月の北半球の3主要活動中心, すなわち太平洋高気圧, 印度低圧帯, および大西洋高気圧の中心の経緯度の10年移動平均曲線を示してある。これらの変化は一致していないが, ただ1月のように活動中心が終始一方向に<sup>(7)</sup>移っているというわけではない。例えば太平洋高気圧は本世紀の最初から, 総体的傾向は南に移っていることであるが, 前世紀末は反って北に移りつつあった。また全般的に比較的短い周期変動があつて20年~30年と不同である。

次に図8 bは南半球の3亜熱帯高気圧緯度の10年移動平均曲線である。過去の著者の研究によつて,  $110^{\circ}W$ ,  $20^{\circ}W$  および  $70^{\circ}E$  を以て, 南太平洋・南大西洋および印度洋高気圧の代表となし, これによつて前2者は明らかに, 太陽活動の長期変動周期と一定の類似が見られる。そして太陽活動の強い時は高気圧南偏し, 弱い時は北偏している。

次に東亜の大気活動中心の境界の位置は, 中国の気候変動に重要な意味を持つている。

図8 cは太平洋高気圧の西端・南端と印度低圧帯の東端・北端の10年移動平均曲線を示している。

多くを説明しないが, 長期変動が明らかで, 特に太平洋高気圧の南端の変動は最も著しい。

※ 紹介者註 大気活動中心の境界をどう定義しているのか, この論文には紹介されていないが, 次の文献によると思われる。すなわち王紹武, 気象学報, 32 (1962), 19~36。

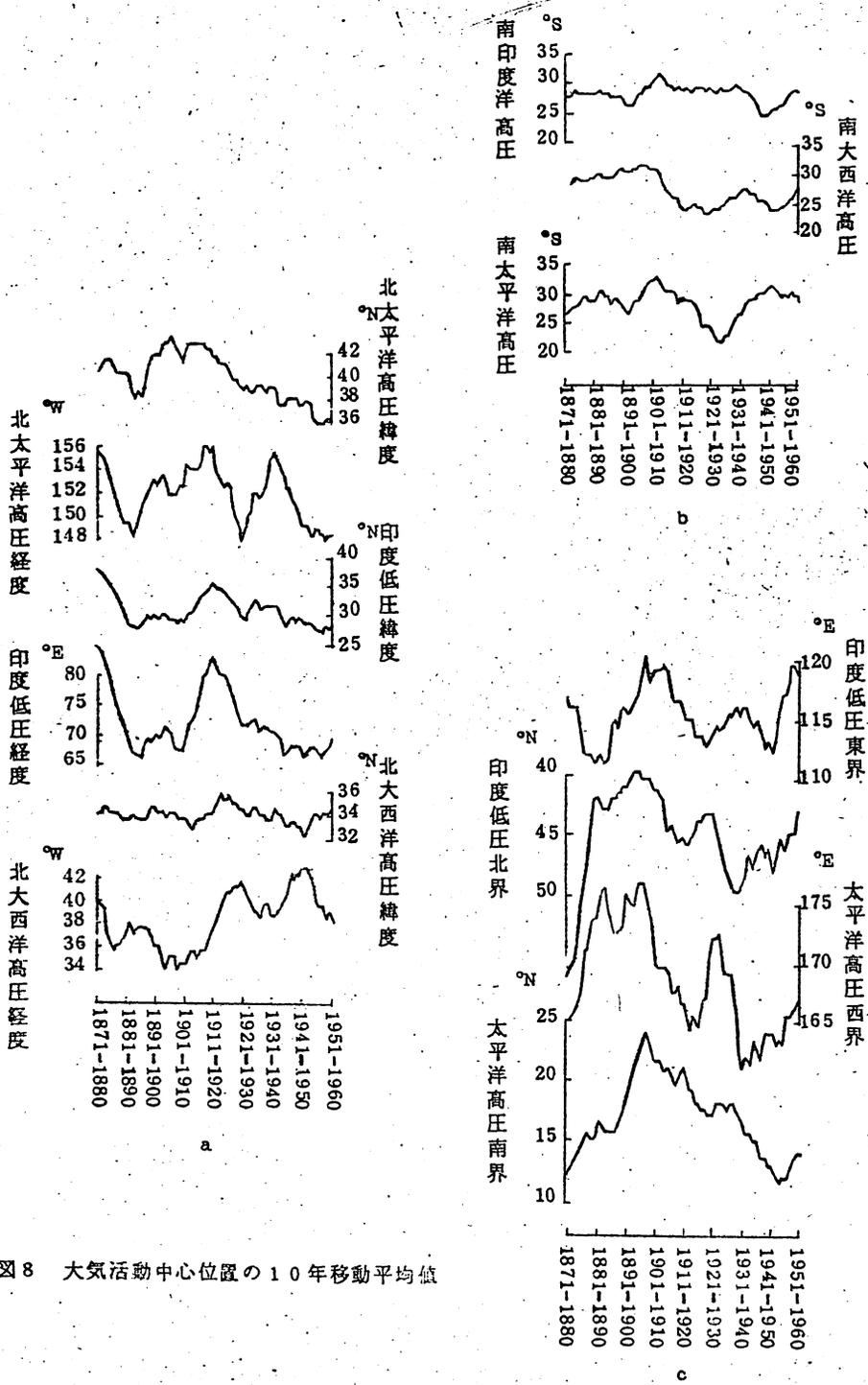


図8 大気活動中心位置の10年移動平均値

### 3.4 最近60年の東亜気流と中国の気候変動

中国の気候変動を知るために、まず1901~1960年の東亜気流の変化を研究した。

このため気候変動の類似研究のために、1901~1910年・1911~1920年  
 ..... 1941~1950年の毎10年平均海面気圧の1951~1960年平均に對す

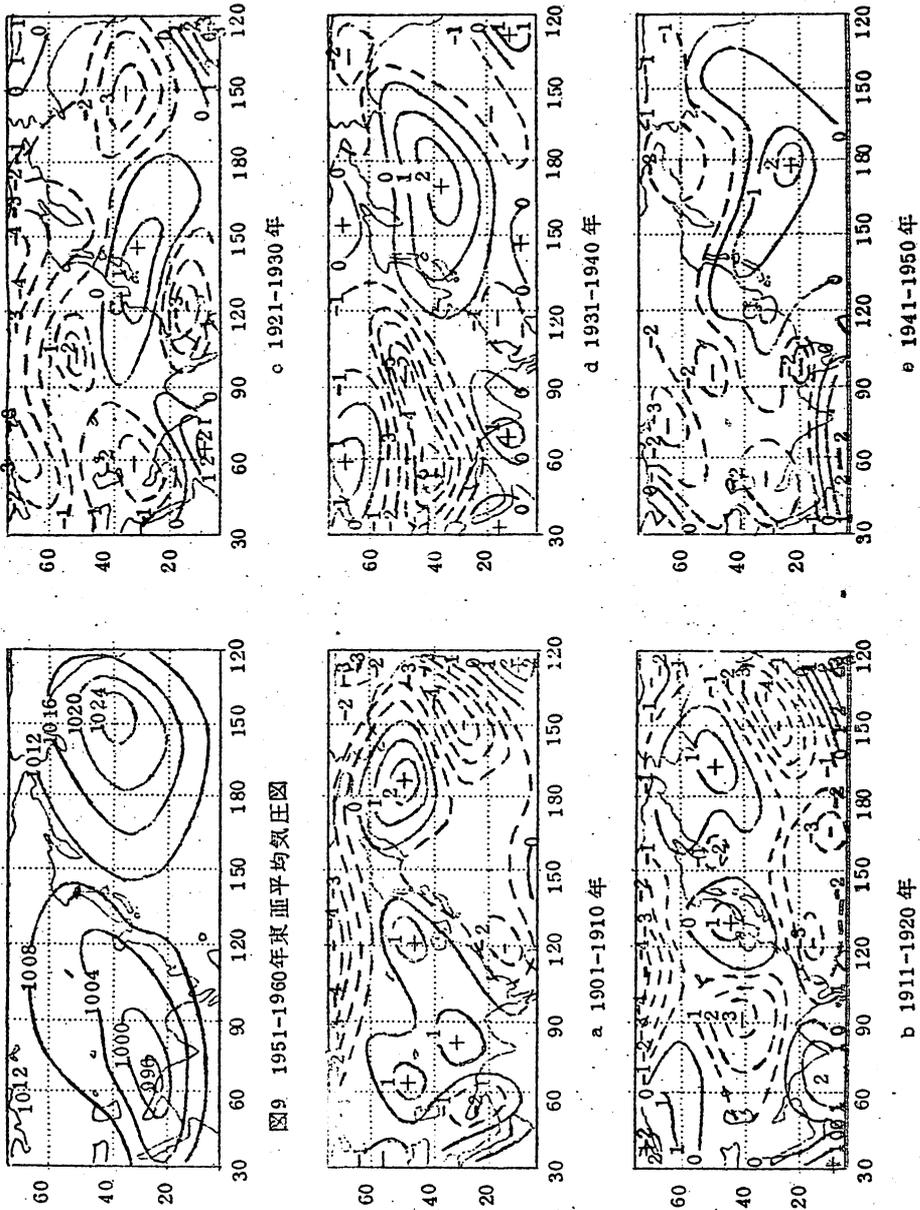
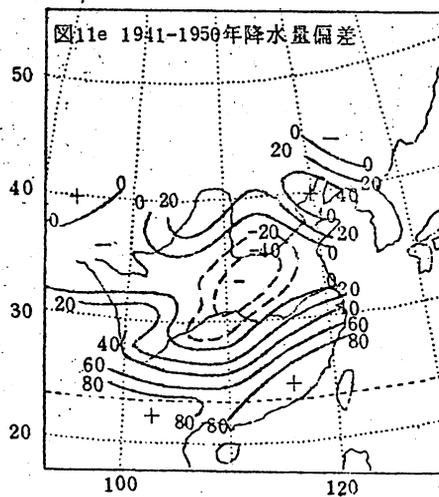
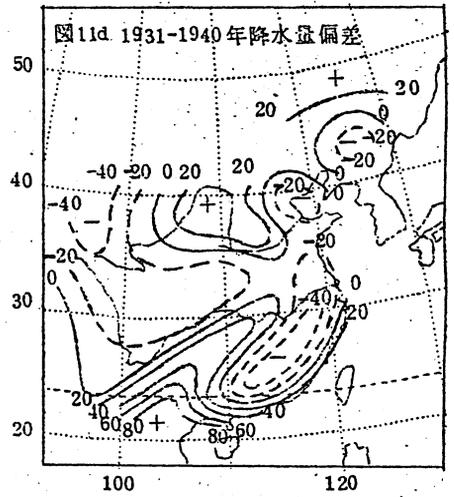
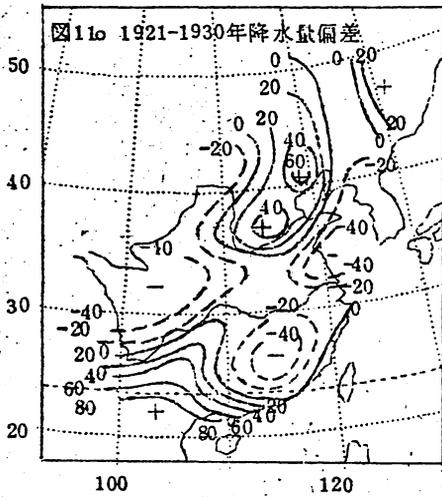
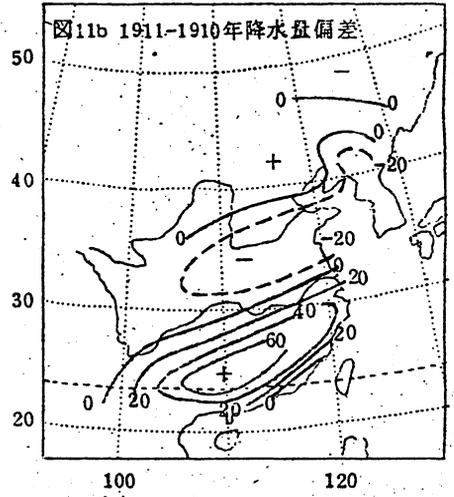
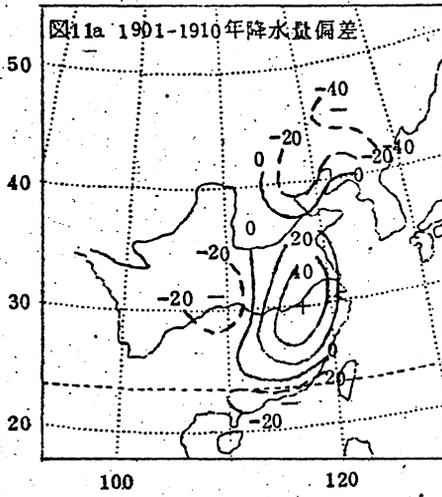


図10 毎10年平均気圧偏差図

図9 1951-1960年東亜平均気圧図



る偏差図を作った(図10)。なお図9には1951~1960年平均気圧分布を示した。さらに図11は同時期の降水量偏差を示した。

#### 1901~1910年

この10年間の気候の特徴は、図11aの示すように、長江中・下流域は多雨、長江上流・華南および華北は少雨であり、また多雨地帯は一般に気温が低い。この10年間は太平洋高気圧の南端は北上しており(1901~1910年の太平洋高気圧の南端は21.5°Nであり、1901~1960年の各10年間で最も北に在る)。図10aで見ても、太平洋地区の気圧は総じて負偏差で、アリューシアン地区の気圧が高く、太平洋高気圧は弱くて北偏していたことを示している。

#### 1911~1920年

この時期は、淮河流域および長江上・中流域は少雨で、華南は多雨であり、多雨区の偏差は60%以上に達している(図11b)。この10年間の太平洋高気圧の南端は依然として北に偏り、殆んど前10年と同一で、海上の気圧偏差分布もまた前10年と類似している。

#### 1921~1930年

この10年間の特徴は、中国華北の高温多雨であり、長江下流の冷少雨、南西中国の多雨である。

気圧偏差から見ると(図10c)、明らかに西太平洋において、東西方向の正偏差帯があり、この偏差域は中国東岸において20~40°Nの間を占め、北太平洋中部・北部および東部の気圧はすべて負偏差となつている。大気活動中心の境界から見ると、40°N以南では西端は西に偏っている。

#### 1931~1940年

この時期の著しい点は、気温が全国的に高いことと降水量の少ないことで、降雨については、僅かに黄河中流域の湾曲部と中国南西部が多雨である(図11d)。

気圧偏差図から見ると(図10d)、太平洋高気圧は特別に強く、印度低気圧帯もまた深い。

ただ印度低気圧帯の北端が、特別に北に偏っていることから見て(印度低気圧帯の北端は1931~1940年では49.5°Nであつて、1901~1960年の各10年間で最も北偏している)、当然華南・華北は多雨であり、淮河流域は少雨である。

また実際の偏差においても、東部沿海地区は少雨帯となつていて、これはすべて太平洋高気圧の強大と異常に西に偏っていることから説明できる。

#### 1941~1950年

この10年は中国では最も暖い10年であり、7月の気温もまた一般に高く、僅かに長

江下流に小さい負偏差域があるだけである。

降水量は長江・淮河流域すべて少なく、華南と中国南西部および華北が多雨となっている(図11e)。

気圧偏差分布および大気活動中心位置から見ると、特徴の基本は前10年と大体似ている。はつきりしていることは、降水量偏差分布は、すべて印度低圧帯の北端が北に偏っていることから説明できる。

以上の分析から分ることは、大気環流の変化と中国の気候の変動が一致していることであり、これは気候変動を合理的に説明しただけでなく、少なくとも東亜の大気環流の差が観測と解析の誤差から来ているものでないことを説明していると言える。

## 文 献

- (1) Lamb, H. H. and Johnson, A. I., Geogr. Ann., 41 (1959), 94-134.
- (2) Lamb, H. H. and Johnson, A. I., Geogr. Ann., 43 (1961), 363-400.
- (3) Serra, A., Atlas de Meteorologia, 1873-1909 (1946),  
1910-1934 (1948).
- (4) Wagner, D. A., Geogr. Ann., 11 (1929), 33-38.
- (5) Scherhag, R., Ann. Hydrogr., 64 (1936), 397-407.
- (6) Lysgaard, L., Recent climatic fluctuations,  
Folia Geogn. Donica V (1949), 215.
- (7) Стехновский, Д. И., Вавицеское поле земного шара.  
Гидрометеопиздат, 1962.
- (8) Shove, D. J., Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 76 (1950), 147-165.
- (9) Willett, H. C., Trans. Am. Geophys. Union, 29 (1948), 803-809.
- (10) Willett, H. C., Geogr. Ann., 31 (1949), 295-315.
- (11) Craig, R. A. and H. C. Willett,  
Compendium of Meteorology (1951), 379-390.
- (12) 王紹武, 大気環流振動周期與太陽活動的關係, 近代気象学若干問題的進展, 科学出版社,  
1963, 48-67.
- (13) Baur, F., Physikalisch-statische Regeln als Grundlage  
für Wetter und Witterungs vorhersagen, Frankfurt, I  
(1956).

- (14) Müller - Annen, H., Meteorol. Rdsch. 13 (1960), 172-178.
- (15) 須田建, 研究時報, 13 (1961), 671-687.
- (16) Wege, K., Meteor. Rdsch, 14 (1961), 138-142.
- (17) 王紹武, 氣象學報, 31 (1961), 304-318.

# 1963年1月-2月成層圏昇温期間の エネルギー的研究

中村 則行 紹介

A Study of Atmospheric Energetics During the  
January-February 1963 Stratospheric Warming

Paul R. Julian and Karin B. Labitzke

J. Atmos. Sci., 22, 597-610

- 1 はしがき
- 2 資料と解析
- 3 結果 成層圏
- 4 結果 対流圏
- 5 垂直方向のエネルギーテックスの変動
- 6 対流圏ブロッキングと成層圏昇温の関係
- 7 大気の平均子午面循環
- 8 結論と集約

## 1. はしがき

1963年1、2月に亘つて、30km (10mb) 以下のAz, AE, Kz, KE間のやりとりを、spectral energy equationを用いて考察した。大規模な成層圏昇温(南北の温度勾配が逆になり、極夜vortexが破壊された)が1月中央に起つた。

850mbから10mbに亘る8層の5日毎のDataが用いられた。水平の風の場合は、地衡風近似

---

成層圏昇温現象の解析例が未だ少い現在、本論文はケース・スタディの意味を持ち、また豊富な資料を用いて可成り詳細なエネルギー解析が出来たことも貴重である。(紹介者)

と modify した流線函数を用いて求め、垂直運動場 ( $dp/dt$ ) は断熱法と  $\omega - \sigma q$  を用いて求めた。

エネルギー変換の変動を高度別に見ると昇温の前と期間中、下部、中部対流圏ならびに中部成層圏は傾圧的な活動領域である。この領域でのエネルギーの主要な流れは  $AZ \rightarrow AE \rightarrow KE \rightarrow KZ$  である。しかしながら、温度の南北傾度が逆になると、成層圏のこの部分では  $KE$  は急速に失われて他の形のエネルギーになる。全期間中  $KE$  は  $K$  の上方への flux によつて対流圏から成層圏へ補給される。

上部対流圏と下部成層圏は全体として昇温の前後を通じ net なエネルギー変換に殆ど効力ないが、こゝでのエネルギー変換が  $KZ \rightarrow KE$  であるので傾圧効果があるらしい。対流圏から成層圏へのエネルギー flux は成層圏中で起きているエネルギー変換過程に比して大きいから、成層圏のエネルギー収支に重要な項と考えられる。

対流圏中の高緯度プロッキングと成層圏昇温開始の関係が、500mb 帯状風の緯度ならびに時間による変動と中部対流圏および中部成層圏の平均垂直流 ( $dp/dt$ ) を比較することによつて示されている。垂直運動場の活動が増加すると、対流圏のプロッキングの開始と成層圏の昇温が伴つて起きている。成層圏昇温の原因にあてはまるようなこの関係についての解釈を若干提供してみた。

1963年1月中央の成層圏昇温は1957年および1958年1月のそれとよく似ている。すなわち極成層圏全般に亘る異常昇温の突然の出現と極夜周極渦の完全破壊である。1962-63年冬の昇温は非常な広範囲に起つており、この解析については Finger and Teleels (1964) を参照されたい。

個々のケースについては Reed, Wolfe and Nishimoto (1963), Latsef (1964), Miyakoda (1964), Sekiguchi (1963) 等の研究がある。これらを集約して第1表にかゝげる。

第1表 成層圏昇温現象の研究に用いられた資料の集約

Dates	Levels	Vertical motion	Wind field
R-E-N 25Jan-9Feb 1957	50mb, 5-day interval	adiabatic *	geostrophic
M 1-32Jan 1958	189-9mb, 5-day interval	omega-equation *	divergent *
S 1-31Jan 1958	50mb, daily	adiabatic *	geostrophic
L 17Jan-14Feb 1957	100, 50, 25mb, daily	adiabatic *	geostrophic
J-L 2Jan-26Feb 1963	100, 30, 10mb, 5-day interval	omega-equation adiabatic	stream function geostrophic

\* Adiabatic refers to technique utilizing the difference between the actual and the horizontally advected temperature tendency.

\* Equation of continuity and omega equation solved simultaneously.

これらの結果を第2表にのせる。

第2表 Table 1における研究の結果：エネルギー流の昇温期間の平均値

	単位: $\text{erg cm}^{-2} \text{mb}^{-1}$			
	RWN <sup>1</sup>	M <sup>2</sup>	S <sup>3</sup>	J-L <sup>4</sup>
$\langle AZ \cdot AE \rangle$	+ 8.9	+ 2.4	+ 4.0	+ 3.5
$\langle AE \cdot KE \rangle$	+ 8.3	+ 0.2	+ 3.0	+ 4.0
$\tau E$	+19.3	+ 5.2	—	+ 9.1
$\langle KE \cdot KZ \rangle$	+ 5.8	- 2.2 <sup>5</sup>	+ 0.6	+ 4.0
$\langle KZ \cdot AZ \rangle$	+ 6.5	+ 1.0	—	+ 6.0
$\tau Z$	-10.7	—	—	- 7.7

<sup>1</sup> 25J-4F 1957, 50mb.

<sup>2</sup> 15J-23J 1958, 189-9mb.

<sup>3</sup> 15J-25J 1958, 50mb.

<sup>4</sup> 17J-27J 1963, 100-30mb.

<sup>5</sup> Includes terms involving meridional circulations.

<sup>6</sup> The author's attention was called in review to a paper by Muench (J. Atmos. Sci. 22, 349-360). Although not included in the discussion here and in Tables 1 and 2, Muench's results are essentially in agreement with our discussion.

#### M1

こゝで記号は

AZ and AE = zonal and eddy available potential energy

KZ and KE = zonal and eddy kinetic energy

$\tau Z$  and  $\tau E$  = upward propagation of zonal and eddy energy

$\langle AZ \cdot AE \rangle$  =  $AZ \rightarrow AE$  (正のとき),  $AZ \leftarrow AE$  (負のとき)

第2表からわかるように、成層圏昇温に際しての主要なエネルギー流の動きは  $AZ \rightarrow AE \rightarrow KE \rightarrow KZ$  である。さらに、 $\tau E$  が他の変換量に較べて相当大きい。

昇温期間中成層圏でのエネルギー流の径路は温帯対流圏のそれと同じであるが、昇温後のエネルギー流は変化して、 $AZ \leftarrow AE \leftarrow KE \leftarrow KZ$  となる。したがって成層圏はKEのsinkとして働き、Kは対流圏から上方へ大量に補給される。Oort (1964)によると、これは成層圏の長期に亘る平均状態の特長のようなものである。したがって、昇温開始前と期間中の少くとも2、3週間は、成層圏はKのsinkであるという通常の状態にはないようである。その間はむしろ長波の擾乱がAをKに変えて自身の循環を維持するようである。

## 2. 資料および解析

ベルリン自由大学で解析された天気図を用いたが、30mbおよび10mb面の資料は少いから外挿を余儀なくされ、この際昇温期間中も保存性を重視するので、いきおい昇温現象を特長づけるエネルギー変化の計算も過少評価している恐れはある。

成層圏の基礎資料として1月2日から2月26日に亘る5日毎のOGMTの100-, 30-, 10-mb面のゼオポテンシアルと気温を用いた。データは10°Nから極まで緯度、経度とも10°毎に読みとつた。対流圏のデータはNational Meteorological Centerでobjectiveに解析した天気図を用いた。但し必要に応じて他のデータも加味してある。

風に関しては、添字 $g$ を持つものは普通の地衡風近似による水平風、添字 $S$ を持つものはmodifiedした流線函數より求めた水平風である。すなわち

$$\nabla^2 S = \nabla \cdot (f^{-1} \nabla Z) \quad (1)$$

また境界では厳密に地衡風を仮定する。

一方、垂直流については、添字 $a$ を持つものは断熱法によるもの、すなわち

$$\omega_a = \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) / \left( \frac{\alpha}{c_p} - \frac{\partial T}{\partial p} \right) \quad (2)$$

$\frac{\partial T}{\partial t}$  は考える時刻を中心に前後48時間の変化より求めた。

また添字 $0$ を持つものは、 $\omega - \epsilon_q$ より求めたもの、すなわち

$$\nabla^2 \omega + \frac{f^2}{\sigma} \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = \frac{f}{\sigma} \left[ \frac{\partial}{\partial p} \mathbf{v} \cdot \nabla \eta - \nabla^2 \mathbf{v} \cdot \nabla \cdot \nabla \frac{\partial S}{\partial p} \right] \quad (3)$$

$f$ ,  $\sigma(p)$  はともに標準値を用いた。

境界条件としては

$$\text{地上で} \quad \omega = \mathbf{v}_0 \cdot \nabla P_g \quad P_g : \text{地上気圧}$$

$$P=0 \text{で} \quad \omega = 0$$

(3)式による $\omega$ は各気圧面間で求められ、(2)式による $\omega$ は100, 30, 10mb面のみで求められた。

Wiin-Nielsen (1964) の示唆により、成層圏におけるAZ, AEの非断熱効果による生成が求められる。すなわち

$$G(AZ) = \langle AZ \cdot K_Z \rangle_0 - \langle AZ \cdot K_Z \rangle_a \quad (4)$$

$$G(AE) = \langle AE \cdot K_E \rangle_0 - \langle AE \cdot K_E \rangle_a \quad (5)$$

ただし、 $G(AZ)$ ,  $G(AE)$  はそれぞれAZ, AEの非断熱生成量。

第3表に計算範囲等をかゝげる。

$\nabla$  : 水平微分演算子,  $S$  : modified stream function,  $Z$  : geopotential

第3表 研究に用いた領域と全波数の集約

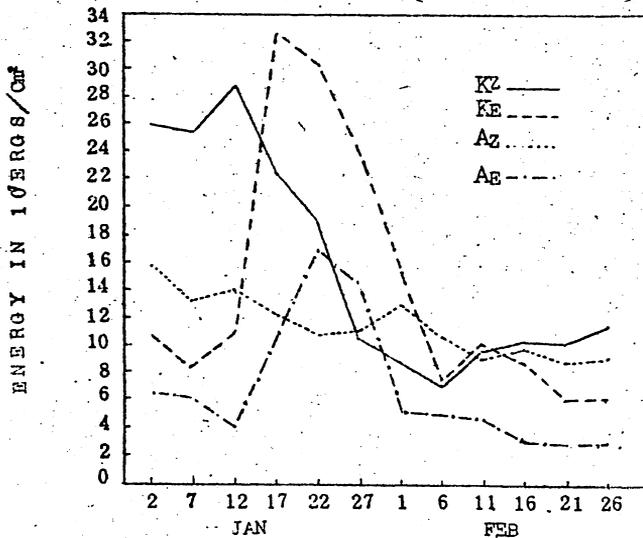
Troposphere			Stratosphere		
Latitudes included		Total wave Interval numbers used	Latitudes included	Interval numbers used	Total wave
KZ	} 20-85°x	} 2.5°x	25-85°	10°	—
KE			25-80°	10°	4
AZ			20-80°	10°	—
AE			20-80°	10°	4
<AZ-AE>			25-75°*	10°	4
<KZ-KE>			25-75°*	10°	4
<AE-KE> and $\tau_E$ 30-80°	10°	8	30-80°	10°	8
<AZ-KZ> and $\tau_Z$ 30-80°	10°	—	30-80°	10°	—

x Data computed by Wein-Nielsen et al. (1964).

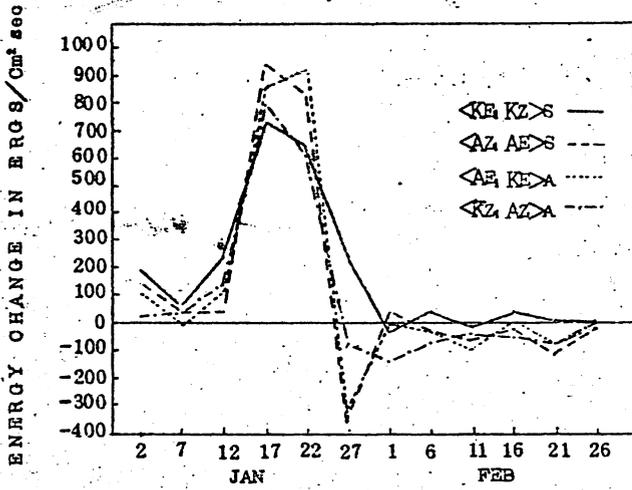
\* Horizontal shear of zonal mean wind and temperature calculated from hand drawn graphs of  $T$  and  $U / \cos\phi$  vs. latitude.

### 3. 結果—成層圏

Fig. 1および2に種々の形のエネルギーおよびそれらの変換量を示す。成層圏の範囲は100mbから10mbまでに限定した。

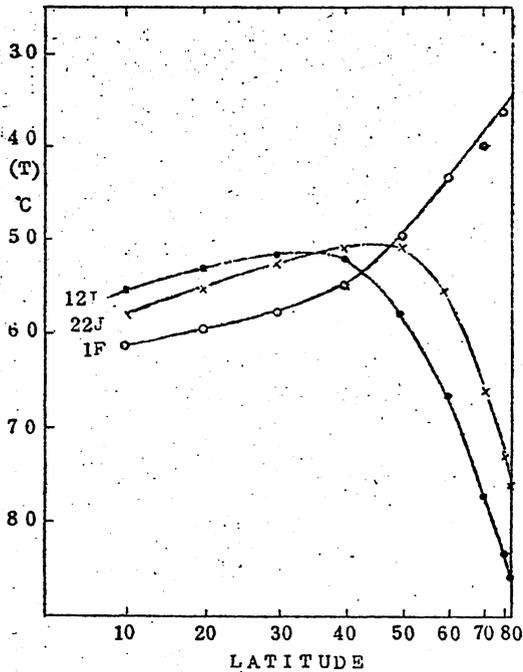


第1図 1963年1月—2月に亘る成層圏のKZ, KE, AZ, AEの時間変動



第2図 1963年1月-2月に亘る成層圏のエネルギー  
変換過程の時間移動

また、Fig 3に昇温前後の南北温度分布を示す。



第3図 3つの日を選んで、東西に平均した30mb  
の気温を緯度の函数として示した。

Fig 1からわかるように KZ は昇温の初めと1月末では半に減っている。KE は1月17日と22日に最大になり、AEのピークはKEのそれより5-10日あとになつている。AZが次第に減っていることから zonal な強い温度対比が破壊されたことがわかる。しかし、その減り方はKZの75%に比しては±30%にしか過ぎない。

Fig 2を見ると1月27日 ( Fig 3を見ると南北の温度勾配が逆になつた日) を境にして2つの期間に分けられる。1月27日以前は各量は正で大きいが、その日以後では非常に小さくなつており符号を変えるものが多い。

1月27日を分割日として時間積分し、模式的に示したのが Fig 4および Fig 5である。

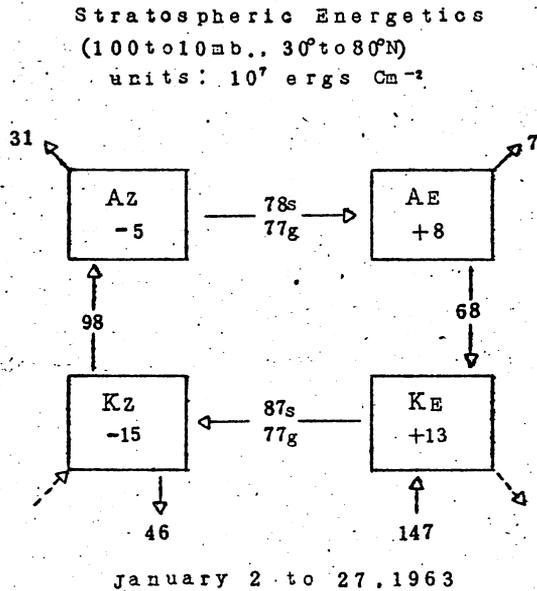


Fig. 4 成層圏のエネルギー流ダイアグラム

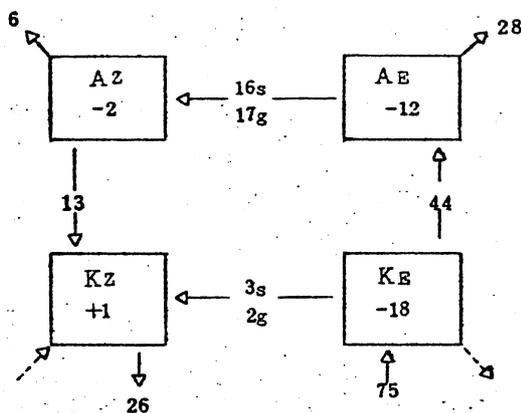
各量間の変換の量と向きはエネルギー変換率の時間積分により求めた。

箱中の数字は1月2日と27日との間の実際の変化量。箱の上隅から出ている矢印は発生または消費量。箱の下辺の矢印は運動エネルギーの垂直flux。破線矢印は平衡から求めた摩擦による推定値。

# Stratospheric Energetics

(100 to 10 mb., 30° to 80°N)

units:  $10^7$  ergs  $\text{Cm}^2$



January 27 to February 26, 1963

Fig. 5. Same as Fig. 4 except from 27 January to 26 February.

両図ともRWNによる1957年1月の同種の図と非常によく似ている。しかし、我々の結果について2, 3付言すると、先ずeddyからzonalへの変換量について地衡風近似による風を使って出した量と、所謂地衡風の流線函数(1)による風を用いて出した量との間に僅少の差しかみとめられない。この差が小さいことからエネルギー交換の計算に当つて地衡風場の収斂はそれ程重要ではないが、と云つても、準地衡風仮定によつて生ずる変換量の不正確さについては何等情報を提供しない。水平風速場を求めるために改善された方法が当然必要である。

第2に、断熱法と $\omega - \sigma_q$ を用いて出した有効ポテンシャルエネルギーの非断熱発生は放射の考えから予想される方向と一致している。RWNはAEの発生を見積つたが、その結果は、こゝに計算したものと本質的には一致している。彼等はAEの非断熱消失を推定したが、それも我々の計算と一致している。25-30Km以上ではAの発生があるが、より低い質量の大きな成層圏には中緯度に暖域があるため、100mbから10mbの間では消失になつている。

第3に、方程式中で $rE$ の項で表わされている100mb面を通してのエネルギーの上方へのfluxは成層圏中で起つているエネルギー交換と較べて大きな量である。この量は境界での仕事と考えられ、その大きさの推定が妥当だと考えられる限りでは、対流圏から上方への渦エネルギーfluxは成層圏エネルギー収支に重要な項であることが明白である。

第4に、1月27日から2月末にかけては $\approx 30 \times 10^7$  エルグの損失があることは、考えている成層圏部分のnetなエネルギー変化の重要性を示している。根本には推定値そのものの精度という問題もあるが、それを別にしても、この損失については3つの説明が可能である。(1)定義によつて、