

## 成層圏に関するシンポジウム\*

気象学会春季大会2日目に成層圏に関するシンポジウムが開催された。成層圏の気象の研究は、気象学の諸分野の中でも最近の進歩がとくに著しく、長期予報など関連分野が広いところから、会場には多数の出席者があり、次のような興味深い話題提供があった。しかし、せっかく盛り上がったところで時間切れとなり、十分な討論ができず残念であった。そこで、引き続き2回目のシンポジウムを12月に行ない、(秋季大会での開催の可能性を検討中)、前に不十分だった点を併せて核心にふれた討論を計画している。詳細は本誌に予告するので会員多数の参加を希望する。なお、今回のシンポジウムの取りまとめは今田克氏をはじめ大阪管区気象台の方々をお願いした。ここに厚く御礼を申し上げる。

日本気象学会講演企画委員会

1. 会 期 昭和40年5月12日 15:40~17:10
2. 会 場 大阪府厚生会館
3. 座 長 須田 建 (大阪管区気象台)
4. 話題提供

- (1) 成層圏における観測事実
- (2) 下部成層圏における擾乱の理論的研究の展望
- (3) 成層圏と長期予報

朝倉 正 (気象庁長期予報管理官室)  
 村上多喜雄 (気象研究所予報研究部)  
 根山 芳晴 (広島地方気象台)

## I. 司 会

須田 建 (大阪管区気象台)

最近高層観測のネットワークが整備されて、成層圏下部にジェット気流が発見されたり、突然昇温が毎年のように認められるようになってきました。また、低緯度では熱帯の26か月周期がとり上げられて、いま強力に研究が進められています。そこで最近の長期予報に関する研究の傾向としては、成層圏の変動がゆっくりしていること、昇温が上から下へと波及してくることなどから、成層圏の変動が先駆現象として対流圏の変動の予想や、長期予報に役立てられるのではないかと考えから、この方面の調査研究が盛んになってきています。そこで3名の方をお願いして、(1)成層圏における観測事実、(2)理論的な研究の現状、(3)長期予報に対する考え、について話題を提供していただき、そのあとで総合的なご討論をお願いします。

## II. 成層圏における観測事実

朝倉 正 (気象庁長期予報管理官室)

私が、ここに述べることは、あとの2人の方々の話を

\* Symposium on Stratosphere

—1965年6月20日受理—

理解するための導入部である。したがってきわめてやさしい事柄ではあるが、基礎的に重要なことを報告したい。

## 1. 気温分布

第1図に示した1, 7月の気温分布図からわかるように、つぎの特徴があげられよう。

1月 (1) 高度23~25kmには、南北に温度差のない層がある。この層の上では南高北低の気温分布になるが、これより下では南低北高となり、対流圏とは逆になる。しかし熱輸送は温度傾度に逆らって、南の低温域から北の高温域に向かって流れる。25km以上では Summer poleから Winter poleに熱輸送される。

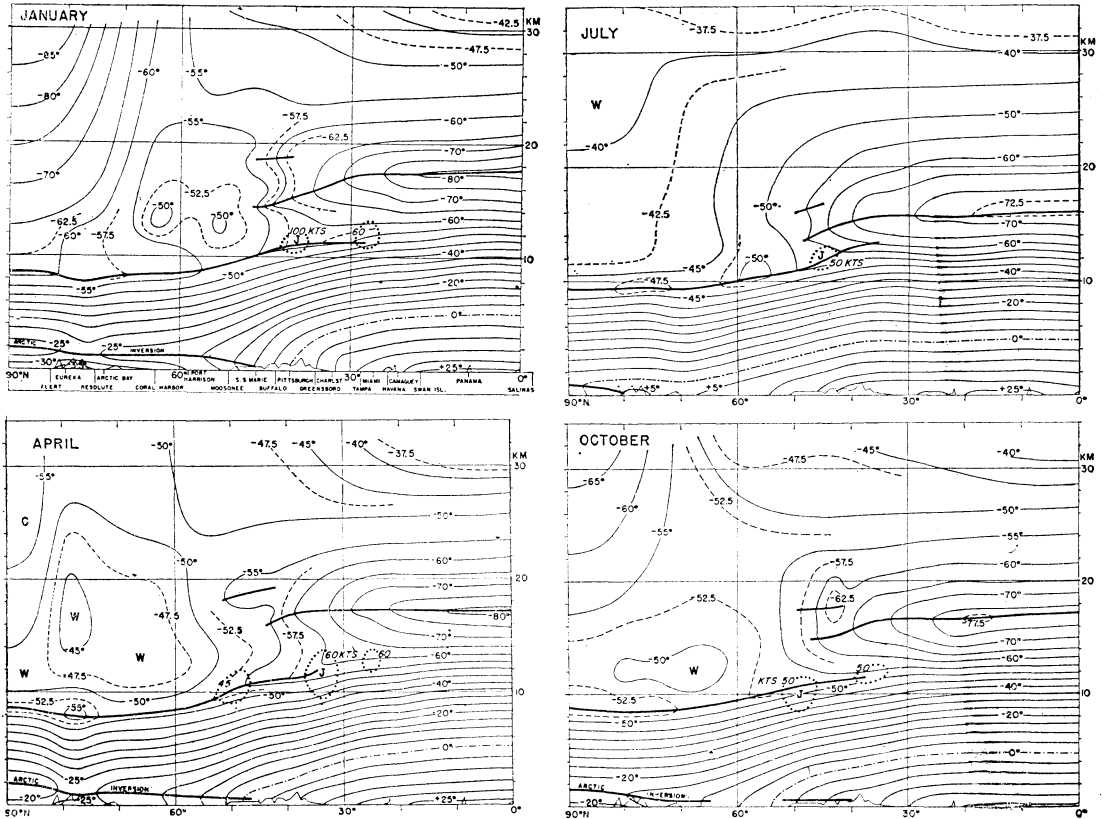
(2) 北極付近には $-80^{\circ}$ ~ $-85^{\circ}$ Cの低温域があり、これが極夜渦を形成している。

(3)  $60^{\circ}$ Nふきんに $-50^{\circ}$ C程度の温暖域があり、北極との間に著しい温度傾度が形成される。この温暖域がアリューシャン高気圧を形成している。温暖域は季節が進むと次第に北上し、北極をおおうようになる。

7月 (1) 北極は $-40^{\circ}$ Cの温暖域の中心になる。温度傾度は北から南にむかう。

(2) 高度30km付近はほぼ等温層になっている。

(3) 赤道付近の気温は冬季と比較して $10^{\circ}$ C位しか上昇しないが、北極では $40^{\circ}$ Cも上昇し、季節変化が大きい。



第1図 1月、4月、7月、10月の気温断面図

2. 風の分布

第2図は、夏と冬の風速分布である。図中実線は等風速線を示す。

- (1) 夏は10°Nふきんのストラトポーズに中心をもつ偏東風におおわれる。
- (2) 赤道付近の風系はときに西風が吹くことがある。
- (3) 冬は40°Nふきんのストラトポーズに偏西風の中心がある。高度25kmにある等温層によって分離されているので対流圏のジェット流とはちがう。
- (4) 60~70°Nふきんの中部成層圏に別な偏西風がある。これはアリューシャンの温暖域と北極の低温域との間の著しい温度傾度域を吹走する極夜偏西風である。

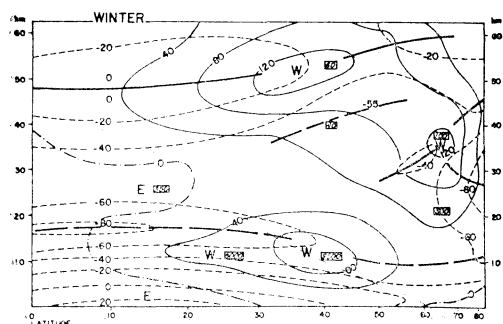
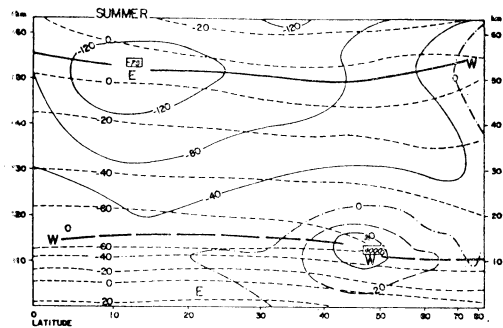
3. 放射分布

Murgatroyd と Goody は日射吸収による加熱、CO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>による赤外放射を計算した。冷源は各半球60°以北の高度65km、熱源は夏半球の60°以北の高度、55kmと80kmとにある。最近真鍋—Möller が放射平衡と温度平衡の条件の下で第3図のような結果を得た。これは

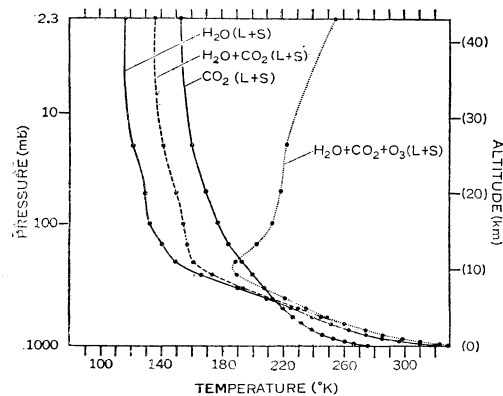
35°Nの4月について計算したもので、図中Lは長波放射、Sは短波吸収を示す。水蒸気と炭酸ガスだけでは成層圏の温度分布にならないが、オゾンを入れることによってトロポポーズから上層にゆくにつれて温度が上昇している。これを温度平衡の条件にすると、第4図に示すように10数km上空から等温層になり、高度やく25kmより上空では気温がじょじょに上昇している。すなわち成層圏の垂直温度分布はオゾンが大きな役割りを果たしていることがわかる。

極夜のように日射のあたらない時は、この分布はちがってくる。地表面温度が289°Kと263°Kのときの温度分布を放射平衡と温度平衡の条件の下に求めると、第5図のようになる。放射平衡で求めると高度10kmに温度の逆転が生ずるが、温度平衡の条件の下では逆転がなく気温はじょじょに減少する。これは、極夜渦の温度分布の特徴をよくとらえている。

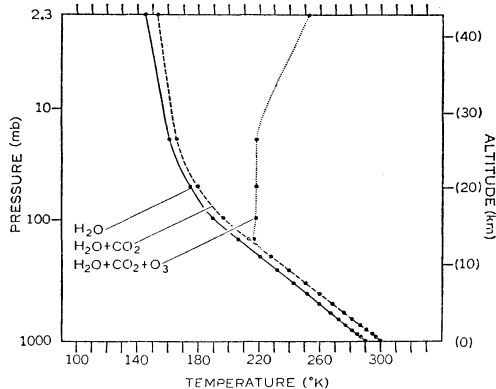
このように、成層圏の温度分布に放射は重要な役目を果たしているが、真鍋が指摘しているように量的には不



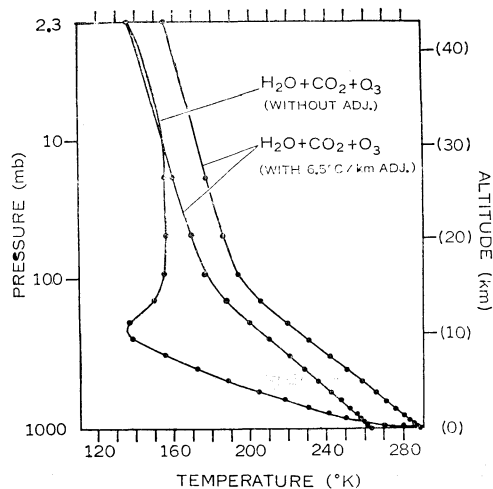
第2図 1月, 7月の風速断面図



第3図 真鍋-Möller が計算した35°Nにおける4月の放射平衡から求めた温度分布



第4図 第3図の結果を温度平衡によって求めた温度分布



第5図 極夜の場合の放射平衡と温度平衡の場合の温度分布

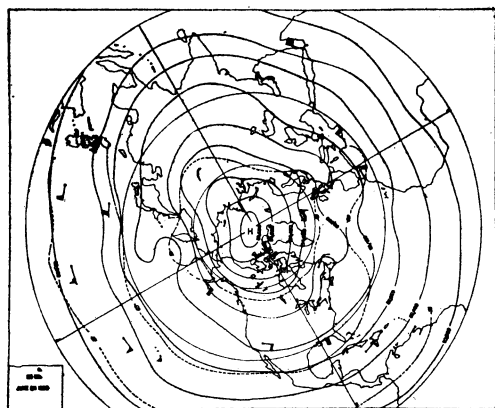
十分で、北極の気温が低すぎるのは力学的な効果も重要であることを示すものであろう。

4. 夏と冬の成層圏天気図の特徴

(1) 夏型

下部成層圏と中部成層圏とは性質がちがう。

(i) 下部成層圏……極付近は低圧部になっているが、等温線は極を中心にとりまいている。高気圧はシベリア大陸～アフリカ大陸の低緯度を東西に分布してい



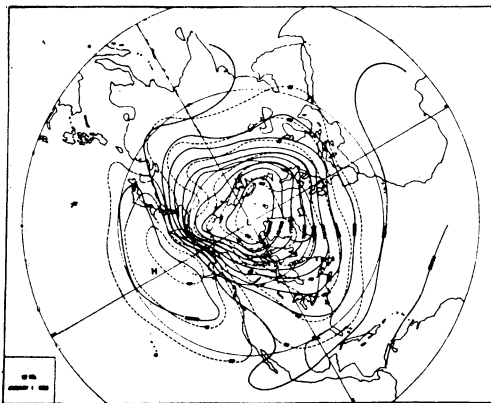
第6図 夏型の中部成層圏天気図 (25mb)

て、その中心はほぼチベット高原上にある。その南側を強い Easterly Jet が吹走している。

(ii) 中部成層圏……極付近に高温 ( $-25^{\circ}\sim-30^{\circ}\text{C}$ ) の中心があり、同時に高気圧の中心がある。ほぼ同心円状に等温線と等高線が分布し、全全球的に偏東風が吹走している。(第6図参照)

## (2) 冬型

第7図に示されているように、極に中心をもち、 $-80^{\circ}\sim-85^{\circ}\text{C}$  の寒冷な空気からできている極夜渦と、アリューシャンに中心をもつアリューシャン高気圧とからできている。アリューシャン高気圧は温暖な空気 ( $-50^{\circ}\text{C}$ )



第7図 冬型の中部成層圏天気図 (25mb)

できている。極夜渦との間にいちじるしく大きな温度傾度が形成され、強い極夜偏西風が吹走している。

対流圏では  $K_E$  は A.P.E. の 1/10 の大きさであるが、成層圏では逆に  $K_E$  は A.P.E. の 10 倍の大きさである。これは成層圏の安定度が大きいと考えられる。

## 5. アリューシャン高気圧の形成

何故アリューシャン高気圧が形成されるか、まだよくわかっていない。北岡と Boville の説がある。その何れも、中緯度以南の対流圏擾乱に初期の原因を求めている点は興味がある。佐藤の 10mb 解析によると、はじめ台湾付近にあった低緯度の高気圧が、日本を通過して北上し、11月にアリューシャンに定着したという。

何れにしても、この成因は熱的に直接作られるのではなく、力学的原因によることは確かである。発生の中心近くで、強い下降流があって温度が上昇し、それが水平方向に移流していき、やがてアリューシャン高気圧が発生している。

## 6. 季節変化……突然温暖化

夏から冬……下部成層圏では偏西風が強弱する程度であるが、中部成層圏以上では偏東風から偏西風に完全にかわる。この変化は 8 月の  $55^{\circ}\text{N}$  付近からはじまり、20 km から上空にむかって進む。9 月中頃には  $55^{\circ}$  以北は西風になり、極渦が形成される。はじめ極低気圧は高温の中心になっているが、10月に入ると低温の中心になる。その時期は年によって大変にちがう。

冬から夏……冬から夏への季節変化はかなり急激におこることが多い。これを突然温暖化とよび、1日に約  $10^{\circ}\text{C}$  の割合で昇温し、約 1 週間ぐらいつづく。すなわち  $70\sim 80^{\circ}\text{C}$  も昇温する。極夜渦のまわりで発生すると冬型の温度分布は破壊され、極から赤道に向かう温度傾度が形成される。そのために、エネルギーの交換項の符号が逆になる。

突然温暖化は、一冬の間に 1 回ないし数回おこる。初期の発生場所は極夜渦の周辺と、低緯度に限られている。また、発生高度はストラトポーズ近くと推定され、それが下に伝わってくることもある。これらの季節変化を大別するとつぎのようになる。

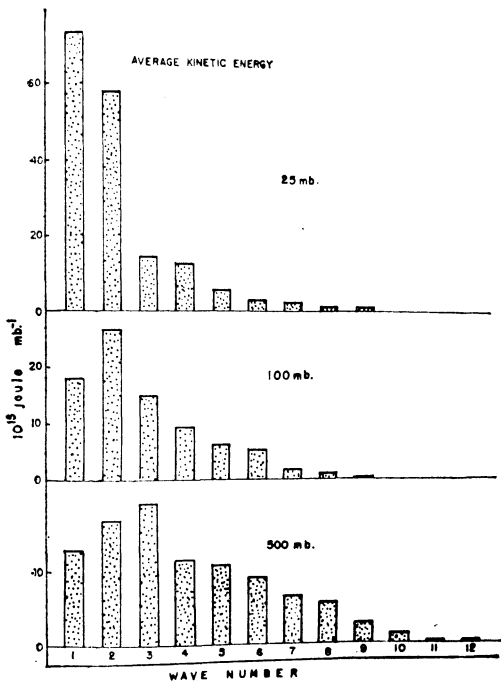
- |      |                 |                         |
|------|-----------------|-------------------------|
|      | 春               | 夏型循環                    |
| I 型  | Major Warming…… | Non event …… 4 月末       |
|      | 1 月中旬～2 月       |                         |
| II 型 | Minor Warming…… | Spring Final …… 3 月末～   |
|      | 数回発生            | Warming 月はじめ            |
|      | ↓               |                         |
|      | {ヨーロッパ型}        | ……主に低緯度で発生する。           |
|      | {アメリカ型}         | 低緯度の風に流される。             |
|      | {アリューシャン型}      | したがって 26 か月ごとに進行方向がかわる。 |

何回かの突然温暖化のうち、最後に発生して極夜渦を崩壊させ、そのまま夏型循環に変換した場合を最終温暖化という。

## 7. 成層圏のじょう乱

夏……Synoptic scale のじょう乱は余り観測されていない。現在興味をひくような現象はまだわかっていない。

冬……第8図を一見してわかるように、小規模なじょう乱はなく、対流圏でいう超長波 1 と 2 しかない。それ以下の波の振幅は小さすぎて問題にならない。第9図は 25mb の毎日の運動エネルギースペクトルの平均値であるが、波数 1, 2 に集中していることがわかっていこう。このような性質は、熱輸送にもエネルギー交換量にもいえることである。すなわち、成層圏では超長波がすべての変動の主役を果たしていることで、対流圏とは大変にちがう。



第8図 25mb, 100mb, 500mbにおける運動エネルギーのスペクトル分布

8. 26か月周期

赤道地方の成層圏ではほぼ26か月毎に風が変化し、西風の吹くときと東風の吹くときとがある。風の26か月周期の振幅は赤道地方で大きく、緯度が高くなるにつれて減少し、緯度30°ではほとんど観測されなくなる。

風の変化は30kmより上空から始まり、1か月に1kmよりやや早い速度で下降している。(第9図)

このような変化にともなってオゾン量も変動し、東風るときオゾン量は増加し、西風るとき減少する。これは鉛直循環を考えると重要な手がかりを提供する。

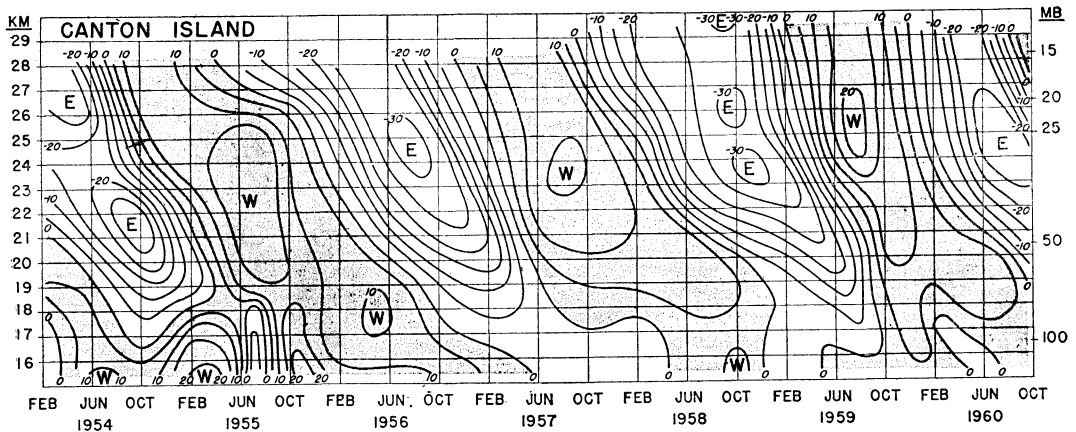
一方、気温も26か月ごとに変動している。風の変化とはやや位相がちがっている。大まかにいうと、緯度30°ふきんが低温になるときは、赤道地方ふきんは高温になり逆な振動的変化を26か月毎にくりかえしている。風は温度風の関係为满足させるように吹く。たとえば30°ふきんが低温、赤道付近が高温になると西風、逆の温度分布のとき東風が吹く。これとオゾンとを結びつけて考えると、低緯度地方の子午面循環は26か月毎に鉛直運動のむきが逆になっていると考えると都合がよい。成層圏の運動エネルギーは対流圏にその源を求めざるを得ない以上、このような26か月周期の変動の主因は対流圏にあるのであろう。一方、太陽活動にも26か月ぐらゐの周期変動があるのは面白い。

III. 下部成層圏における擾乱の理論的研究の展望

村上多喜雄 (気象研究所)

成層圏擾乱に関する理論的研究の歴史はきわめて浅い。現象自身に未知のことがあまりに多いので理論的研究の面でもその方向づけにとまどいがみうけられる。しかし突然昇温という興味深い現象が発見されている。理論的研究はその発生を説明しようとする方向に指向されたようである。反面実際の成層圏天気図を用いた学術的予報の問題に発展していないので研究内容は抽象的な色彩が濃いうらみがある。

ここでは問題を(1)成層圏の存在が対流圏の運動にどの



第9図 カントン島で観測された成層圏における風の26か月周期変化

ような影響をもたらすか、(2)対流圏から成層圏へのエネルギー伝播はいかにして起っているか、(3)成層圏で発生、存続する擾乱の成因を何に求めるか(不安定理論)の三つに大別して展望してみよう。

### 1. 対流圏の運動におよぼす成層圏の影響

中国地球物理研究所の人達は圏界面付近の寒気の動向がブロッキングの発達衰弱の過程に大きな影響をおよぼしていることを見出した。そこで朱は成層圏を考慮した3層モデルを作ってブロッキング高気圧の発達を予報してみた。成層圏を考慮しない場合よりも発達がよくでるといふ。新田は圏界面は実質面であると仮定し( $\theta = \text{一定}$ )、 $\phi$ 座標を用いて成層圏の影響を論じた。圏界面の高度を $\phi_r$ 、気圧を $P_r$ とすると圏界面を通して $[\phi_r \partial P_r / \partial t]$ なる形のインタラクションが生ずる。このインタラクションにより超長波の極端な西進はさけられ、また対流圏における擾乱の傾圧不安定度があたかも $\beta$ -効果を減ずるように変わる。一方 Charney や Gatis は成層圏の存在が対流圏の偏西風内の擾乱の傾圧不安定にどのような影響をもたらすかについて研究した。成層圏内で偏西風が上空ほど弱くなっていることを考慮に入れると、偏西風が大气の上限まで一様に強くなっているとした場合よりも擾乱の発達は多少おさえられる。すなわち成層圏が安定化作用をもたらすわけである。しかし擾乱の発達、衰弱をきめる基準は定性的に殆んど変わらないので、成層圏の影響は大きくないと結論した。また直接成層圏の影響を論じたものではないが、王と叶によると上層に安定層が存在する場合には超長波でも不安定になりうるといふ。このことについては後述する。

### 2. 擾乱の垂直伝播

近年いろいろの解析により対流圏と成層圏環流の間に相互関係があることが明かになった (Scherhag, Labitzke, 叶, 都田, 村上)。一方下部成層圏で $[\omega\alpha]$ を測定してみると運動エネルギーから有効ポテンシャルエネルギーへの転換がある、すなわち成層圏循環を維持する為には外部からエネルギー補給を必要としている (White and Saltzman, Reed, 村上)。また Craig and Hering によると突然昇温は上から下へ伝わるという。擾乱の垂直伝播の理論的研究は Charney and Drazin (準地衡風方程式系)、孫、陳、叶 (準地衡風層モデル)、および陳 (基礎方程式系) などにより行われた。数式の運用に多少問題のところのみうけられるが物理的内容がつかみ易いので、陳の論文を中心にして紹介しよう\*。波長1000km以上の大規模擾乱については非地衡風の影響は小さいので

Charney and Drazin と陳の理論には大きな相違はないはずである。線型の渦度方程式と熱力学の式から上昇速度 $\omega$ を消去して、風の南北成分 $V$ だけの式を求めると

$$\frac{\partial^2 V}{\partial \eta^2} + \mu^2 V = 0 \quad (1)$$

の形が導かれる。ここで $\eta$ は垂直座標である。(1)式は電磁波方程式に似ており、一次元波動の垂直伝播の式とみなせる。 $\mu$ は波動エネルギーの屈折係数である。ある点における入射波と反射波、透過波の強度の比は $\mu^2$ の値によってきまる。 $\mu^2$ が負ならば波動のエネルギーはすべて反射される。すなわち擾乱のエネルギーは垂直方向に伝播されない。 $\mu^2$ が正だと透過波が大きくなり波動エネルギーは自由に伝播できる。そこで実際の大气中における $\mu^2$ の符号をしらべればよいことになる。 $\mu^2$ は一般流の垂直構造と擾乱の波数 $m$ に関係する。

$$\mu^2 = \mu^2 \left( U, \frac{\partial U}{\partial \eta}, \frac{\partial^2 U}{\partial \eta^2}, \frac{\partial \ln c^2}{\partial \eta}, m^2 \right) \quad (2)$$

$c$ は音速で一般場の温度分布によりきまる。これらのパラメータは大气中で特徴的な分布をしている。そこで大气をいくつかの領域に分けて $\mu^2$ の値をしらべてみる。観測によると対流圏、成層圏、中間圏の内部では $\partial U / \partial \eta$ の変化は小さく(シア一定)また $c$ の変化は他の項にくらべて小さい。したがってこれらの領域では $\partial U / \partial \eta^2$ や $\partial \ln c^2 / \partial \eta$ は無視できるので $\mu^2$ の形はつぎのように簡単になる。

$$\mu^2 = \frac{c^2 U}{\eta^2} \frac{\beta - m^2 U \left[ 1 + \frac{6\eta^2}{c^2} \left( \frac{\partial U}{\partial \eta} \right)^2 \right]}{f^2 - m^2 U^2} \quad (3)$$

$U > 0$  (西風)とすると、 $\mu^2$ が負になる範囲は

$$L_S \left[ 1 + \frac{6\eta^2}{c^2} \left( \frac{\partial U}{\partial \eta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} > L > \frac{2\pi U}{f} = L_f \quad (4)$$

このような波長をもつ擾乱は垂直方向に伝播しえない。ここで $L_S$ はロスビーの定常波長ある。 $L_f$ は500~600 kmであるので500km以下の小さい擾乱は自由に伝播できる。 $\left[ 1 + \frac{6\eta^2}{c^2} \left( \frac{\partial U}{\partial \eta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ は実測はよると1.05ぐらだからシアを無視しても大きな影響はない。(4)式によると波長が $L_S$ より大きな超長波は対流圏、成層圏、中間圏の内部を自由に伝播するが、 $L = 1000 \sim 6000$  kmの擾乱では垂直伝播は起りえない。

対流圏ジェットを中心(ほぼ圏界面に一致)や成層圏ジェットを中心(成層圏と中間圏の境)では $\partial U / \partial \eta$ は

\* グロスベッター第3巻3号に伊藤宏氏の紹介がのっている。

は零となるが  $\partial^2 U / \partial \eta^2$  は極値をとる。そこで  $\partial U / \partial \eta$  を無視して  $\mu^2$  が負になる波長を求めてみると

$$\sqrt{K} L_S > L > L_f \quad (5)$$

ここで

$$K = \frac{1 + \frac{3\eta^2 U}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \eta^2}}{1 + \frac{\eta^2 f^2}{c^2 \beta} \frac{\partial^2 U}{\partial \eta^2}} \quad (6)$$

ジェット中心では  $\partial^2 U / \partial \eta^2$  は一般に負であるから  $\sqrt{K}$  は虚数になることもある。対流圏ジェットについて  $\sqrt{K}$  を計算すると、中緯度では虚値（ときには極端に大きな値）になってしまうが、高緯度では  $\partial^2 U / \partial \eta^2$  が小さいので 1.5~2.0 ぐらいの値となる。いいかえると冬期には中緯度地域では超長波といえどもジェットの所で遮断されてしまうが高緯度地域では 1.5~2.0  $K_S$  以上の波長をもつ超長波は対流圏と成層圏の間を自由に伝播しうる。実際圏界面において対流圏からの入射波に対する反射波と成層圏への透過波の強度を計算してみると、入射波と透過波の振巾の比は中緯度では 0.08 であるが高緯度では 0.81 になる。すなわち中緯度では超長波も折過されてしまうが高緯度では圏界面を通してエネルギー輸送が行われる。このエネルギー輸送は摩擦層で消費される運動エネルギーと同じオーダーになる。

つぎに極夜ジェットに着目しよう。極夜ジェットは北緯約 65 度、高度約 30 km に中心をもち、中心ではもちろん (5) や (6) が適用される。実測によると中心での  $\sqrt{K}$  の値は 1.5 ぐらいである。であるから超長波を極夜ジェットの中心を通して、あるいは上方へあるいは下方へと伝播しうる。以上の結果は冬期成層圏では高緯度地域のみを超音波擾乱が卓越しているという観測事実をよく説明している。一方 Charney and Drazin は中緯度のみについて  $\mu^2$  の値を計算したから、冬期には圏界面を通過してのエネルギー伝播は期待できないと結論したわけである。また Charney and Drazin によるとエネルギー伝播が可能なのは西風があまり強くない（したがって  $L_S$  が小さい）春や秋に限られ、夏季には成層圏は東風になってエネルギー伝播は起りえないという。これらの結論は (3), (5), (6) を見れば容易に理解されよう。たとえば (6) 式で  $U$  や  $\partial^2 U / \partial \eta^2$  が小さいと  $K$  は適当に小さい正の値となる。

エネルギーの垂直伝播には一般流の垂直構造、とくに  $\partial^2 U / \partial \eta^2$  がきわめて重要であることが判った。 $\partial^2 U / \partial \eta^2$  はジェット中心で極値をとるが、このことは垂直安定度の南北傾度がジェットの高度で最大（水平温度傾度最小）

になることと対応している。Charney and Drazin も陳も垂直安定度が  $P$  だけの函数と仮定し、 $(x-P)$  面について理論を展開している。垂直安定度の南北傾度を考慮すると三次元解析を行なうことになり  $\mu^2$  の緯度分布が正確に論ぜられる。また垂直安定度を  $P$  だけの函数と仮定するとエネルギーの垂直輸送は  $[\omega\phi]$  の形でしか起りえない。私は顕熱の垂直輸送に関係する量も大きいのではないかと思っている。もっともこの効果を取り入れるためには非線形項を考慮しなければならぬので理論的展開はきわめて困難となろう。

Charney and Drazin や陳の理論によると超長波がエネルギーの垂直伝播に重要な役割をはたしていることがわかった。どこかで超長波が発生すれば、そこから上方にも下方にも自由に伝播しうるわけである。従来超長波は地形や熱によってできると考えられているので超長波によるエネルギー伝播は対流圏から成層圏へ向って行われると考えるのが順当であろう。圏界面では超長波以外の波は折過されてしまうので成層圏の運動はきわめて単純であり、またその運動は対流圏の運動を綺麗な形で反映しているわけである\*。ところで超長波の発生が上層大気（とくに成層圏）でまったく起らないものかどうか。この問題が次の不安定理論のところでの焦点の一つである。

### 3. 不安定理論

成層圏では垂直安定度がきわめて大きく（対流圏の約 100 倍）バロトロピックに状態にある (Sawyer)。したがって擾乱は発生しにくいはずである。ところが突然昇温のような顕著な変動が毎年起っている。不安定理論の主なねらいは突然昇温の発生を説明することである。しかし決定的な結論はまだえられていないようである。まずモデルの設定が難しい。成層圏は元表閉じた系ではないので、えられた結果が用いたモデルに大きく支配される。また従来理論では一般流  $U$  の成因にはふれず、与えられたものとして出発している。冬期の下部成層圏では中緯度では  $U$  は上空ほど弱いが高緯度では極夜ジェットの存在のために正のシアをもつ。すなわち一般流のシアが緯度により符号がちがう。従来理論は正のシアがある極夜ジェットの周りについてのみ展開されている。この意味で成層圏における不安定論というよりも極夜ジェットの周りにおける不安定論というべきである

\* 延長予報では超長波の動向がもっとも問題になる。この意味で成層圏天気図を用いることは超長波をつかみ易いという利点がある。

う。

Fleagle は下の境界条件として固定壁をおいた。波数 1, 2 の超長波が傾圧不安定になりうるとした。しかしその amplification rate はきわめて小さい。Murray は成層圏では一定の垂直シアアをもち対流圏でシアアのないう一般流をあたえ、圏界面は free boundary の場合をとり扱った。このモデルでは成層圏に有効ポテンシャルエネルギーが存在するにもかかわらず傾圧不安定の可能性はないという。彼はまた一般流の水平シアアによる傾圧不安定についてしらべた。25mb 面のジェット分布から絶対温度の南北傾度を計算してみると、傾度が零になるところがある。すなわち Rayleigh の意味での不安定の必要条件がみたされていることを見出した。成層圏の不安定には垂直シアアよりもむしろ水平シアアが重要であることを力説したわけである。ついで Charney and Stern は “Internal Jet” について研究した。Internal Jet というのは下の境界条件として温位一定を仮定し（温度の南北傾度がない）、考える領域では一般流が水平にも垂直にもシアアをもっている場合である。極夜ジェットは地表における南北の温度傾度により生じたものとも思えないし、また成層圏下部では等温位面がほぼ水平になっていることなどが “Internal Jet” というモデルを設定した理由であろうと想像する。いずれにしてもこのようなモデルでは固有値問題として処理することは困難であるので拡張された意味での Rayleigh の必要条件が満たされているかどうかをしらべることになる。線型化された渦度方程式と熱力学の式から渦位方程式を導く。この式を用いて

$$\psi' = \psi(\varphi, z) e^{i(m\lambda + \nu t)} \quad (7)$$

のような擾乱に対するエネルギー方程式をつくる。下の境界で  $\partial\bar{\theta}/\partial\varphi=0$  であることを利用すると

$$\nu_i \iint \frac{\rho_s^*}{|\nu + m\bar{\omega}|^2} \frac{\partial \bar{q}}{\partial \varphi} |\psi|^2 d\varphi dz = 0 \quad (8)$$

がえられる。ここで  $\nu_i$  は  $\nu$  の虚数部分、 $\rho_s$  は平均の密度、 $\bar{\omega}$  は一般流の角速度、 $\bar{q}$  は一般流の渦位であり、その他の記号の意味は(7)に示されている。(8)式において  $|\nu + m\bar{\omega}|^2$  や  $|\psi|^2$  は常に正であるから、もし  $\partial \bar{q} / \partial \varphi \neq 0$  ならば  $\nu_i$  は常に零でなければならないことになる。いかえると擾乱は常に安定であって発達も衰弱もしない。 $\bar{q}$  がある緯度で極値をとり  $\partial \bar{q} / \partial \varphi = 0$  になる場合には  $\nu_i$  は零でなくともよい。(7)でわかるように  $\nu_i$  が零でなければ擾乱は不安定になりうる。かくて “渦位の南北傾度が零になる所がある” が不安定のための必要条件

であることになる。

Murgatroyd の作った資料を用いてあたってみると、ジェットの強い真冬には上記の必要条件は満たされているという。また成層圏ジェットの中心である 60km の高度でもっともよく満たされていることから、突然昇温はそこで発生し上下に伝わるのではなからうかと推論した。前に述べたように Charney and Drazin の研究では冬期には対流圏から成層圏へのエネルギー補給が期待できず、したがって成層圏の擾乱発生も期待できなかったのであるが、この論文で不安定の可能性を見出して Charney 自身大いに喜んだようである。しかし Leovy によると成層圏で偏東風が卓越し、擾乱がほとんど現れない夏季にも  $\partial \bar{q} / \partial \varphi = 0$  の条件が満たされているという。また真冬の南半球においてもこの条件が成り立っている。南半球では突然昇温は真冬には起らず太陽が極を照らし始めてから起るといふ。このような矛盾があるので Charney and Stern の理論をそのまま信用するわけにはいかないようである。

ここで話が変わるが超長波の傾圧不安定性について言及しておく。従来の理論では（主として対流圏を対象にしている）安定作用をもつ  $\beta$ -効果のために超長波は常に安定であるとされていた。しかし最近王と叶は別の結論を出しているようである。原文を読んでいないのであるが “天気” 11巻4号に磯野氏の紹介による “中国における大規模な天気過程に関する諸研究” の中で彼等の仕事に言及されている。Burger の求めた方程式\*を用いると上層に安定層があると超長波は傾圧不安定を起しうるとした。成層圏の存在はまさにこの条件をみたしているわけであり、彼等の結論はきわめて重大であると思ふ。

以上簡単に成層圏における不安定理論を展望したが、いずれも決定的なものはないようである。傾圧不安定度をもっとも強いと思われる真冬に何故突然昇温が起らず春先に発生するのか、また毎年アリューシャン、アラスカ、ヨーロッパ上空などの特定の地域に発生する理由はなにかといった点についてはなんらの解答も与えていない。その上朝倉によると成層圏での卓越波数は1であったり2であったりして年によって違ふ。（対流圏ではス

\* スケールアナリシスによる超長波に適応した運動方程式を導くと渦度方程式は上昇気流  $\omega$  を与える診断方程式になってしまい予報式は熱力学の式だけになる。この方程式系についての傾圧不安定性はNielsenがしらべたことがある。



ベクトルの形そのものが年によって変ることはないであろう)。また著者の解析によると成層圏でのエネルギー変換の特徴の一つは非線型効果による変換が帯状流との諸変換量よりもむしろ大きいことである。このことは成層圏における超長波の変動が他の波との非線型相互作用により起っていることを暗示しており、線型方程式を用いて行われる不安定理論に疑問を投げかけている。

IV. 成層圏と長期予報

根山 芳晴 (広島地方気象台)

成層圏での pattern は対流圏の気圧配置に較べて非常に単純であり、特に冬と夏の pattern は特徴的で、しかもそれらの季節転移が極めて明瞭に現われており、さらに転移時期は対流圏より先行している。500mb 面での平均場は下部成層圏の daily pattern にかなり類似しており、また trough の追跡も明瞭に行えるといったような予報的には有利な事実や、時間的にずれのある好い相関や半球的規模で現われるような世界的な異常天候とか、極端に発達する低、高気圧の現象に対応しても対流圏より顕著に現われること等がわかってきた。

現在までの成層圏を導入した実際的な長期予報法の研究調査を大別すると、

1. 対流圏での pattern または気候に先行して対応した成層圏での特異現象や pattern による方法
2. 成層圏での気象要素と対流圏のそれとの間における time lag のあるよい相関による方法

とがある。

まず突然暖化に基づく長期予報法について述べる。冬の寒気の蓄積規模が平年に比較して大きくかつその解消が遅いか早いか、すなわち最終暖化の遅速によって中緯度地方への寒気の流出が夏まで及ぶか否かの観点に立って、和田は最終暖化が例年の2月より1か月遅れて3月にも出現した1954年は東北は冷夏であったが、1か月早く1月に現われた1955年は東北は暑夏であったと報告している。第1表にその数例を示すが1950年はよくない。またアリューシャン・アラスカ付近での最終暖化の遅速だ

第1表 最終暖化出現の遅速と東北夏の気候

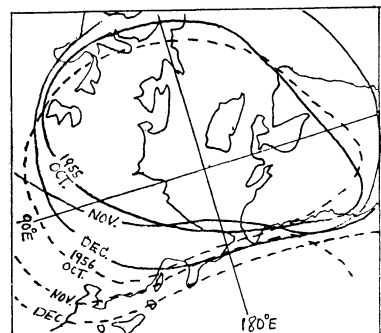
最終暖化出現月	遅速	東北の夏の気候
1955, 1月	早い	暑夏
1951, 2月始め	やや早い	平年並 (7月低温 8月高温)
1954, 3月	遅い	冷夏
1950, 4月始め	遅い	暑夏

けが極東の夏の気候に関与して他の地域例えばヨーロッパでおきた時の最終暖化の遅速には関係ないのかが今後の課題であろう。Labitzkeはドイツでの夏の気候予想について、暖化を発現地と進行方向によりヨーロッパ型とアメリカ型に分け前者の突然暖化は約10日以内に永続的な blocking pattern を導くことをあげ第2表のような結果を得ているが、1961年の夏はよいとは言えない。次に成層圏での先行する pattern に基づく長期予報法に入ろう。まず極夜低気圧の形成と日本の寒候期の

第2表 成層圏暖化とドイツの天候

	冬			夏	
	熱帯成層圏の風向	成層圏暖化の方向	寒候期の寒波の吹き出し	最終暖化の開始期	ドイツにおける天候
1959	西	東	無	早い	暑夏
1961	西	東	無	早い	春秋好天気
1958	東	西	有	かなり遅く弱い	雨多く冷たい
1960	東	西	有	かなり遅い	雨多く冷たい

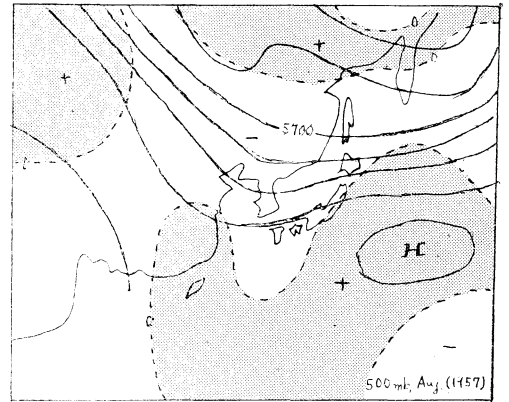
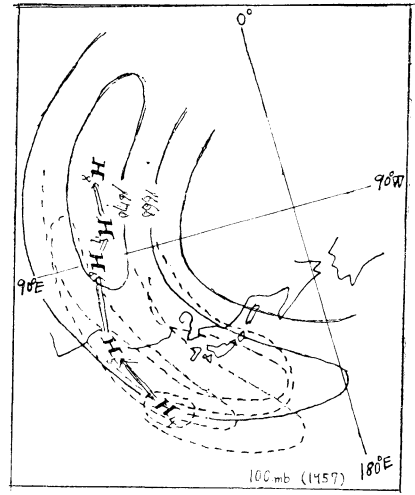
動向との関連性において、朝倉は秋(10・11月)に成層圏極夜低気圧が100mb面上で早く形成された年には冬(12・1・2月)の気温は低く、遅い年には暖冬になると述べている。その様子を25mb天気図上で見ると、アリューシャン〜ユーラシア間に温度傾度が早く(遅く)確立した年は極夜低気圧は北極近く(遠く)にあってその勢力範囲は広く(狭く)シベリア大陸とアメリカ大陸をおおう。このような年の来るべき冬季の気温は低い(高い)ということになる。第10図のように25mb面上の-55℃の等温線の囲む面積の消長を見て、例えば1956



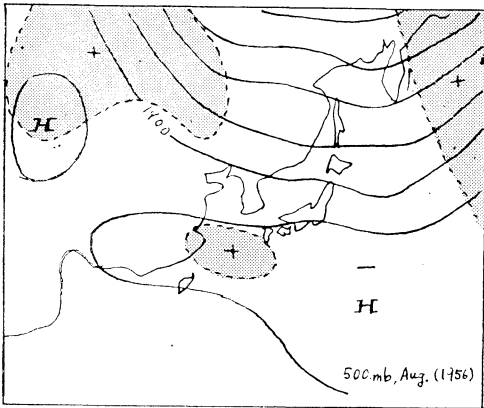
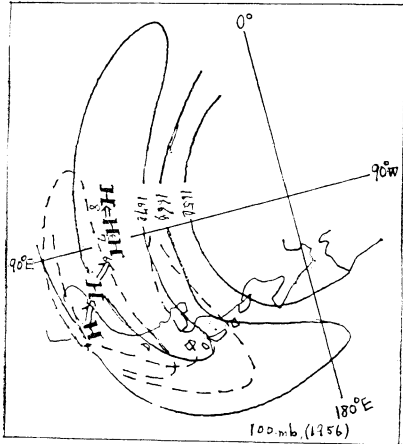
第10図 寒冬・暖冬の成層圏極夜低気圧の領域(25mb面上の-55℃の等温線の変動)

年のように10月にアジア大陸中部まで広くおおっているような年は、いかえると極夜低気圧の発達する年は来るべき冬の東日本の気温は0℃以下にさがっている。さらに来るべき夏の小笠原高気圧の動静を春の pattern から予想するものとして、根山は100mb 月平均天気図上で特定等高度線で囲まれた高気圧が4月に南シナ海付近に現われて西進した場合は第11図に示されている1956年のようにその年の8月の500mb 面上での小笠原高気圧領域内は平年偏差が広く負となり、4月に日本のはるか南海上に現われた1957年のような年は第12図に1例として示されているように平年偏差は正となるという結果を得ている。

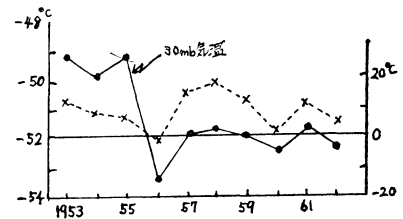
次に、成層圏での気象要素と対流圏のそれとの間に time lag のある良い相関を求めて行う方法について述べる。まず朝倉は秋の極夜低気圧の動向が来るべき寒候期



第12図 第11図と同じ

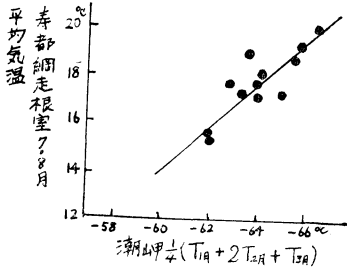


第11図 100mb 月平均天気図上での高圧の出現経路図と8月平均天気図と同偏差図

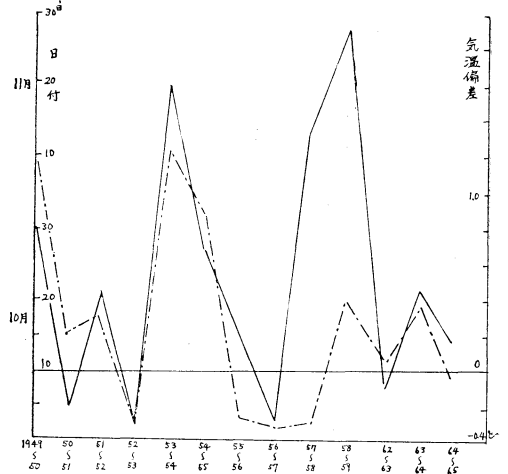


第13図 10月の箱野 30mb 気温と冬季東日本の気温変化図

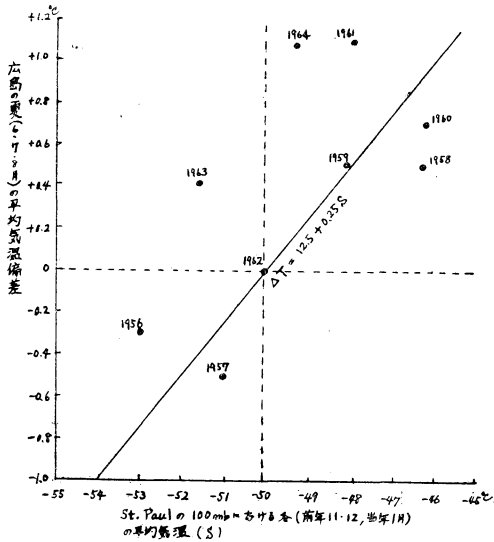
の寒気の動向を示す示標になるとの立場をとって、第13図に示してあるよ)に箱野の10月の30mb 気温と冬期東日本の気温との関係が非常によく対応していることを指適している。また第14図のように、斎藤は潮岬の冬季の100mb平均気温1/4 ( $T_{1月} + 2T_{2月} + T_{3月}$ )と寿都、網走、根室の7・8月平均気温とに成可りよい負相関を見



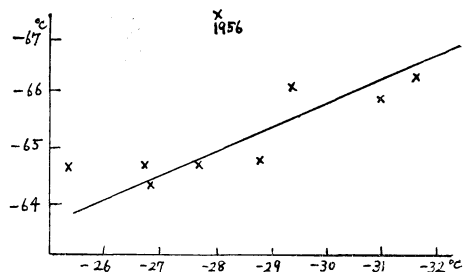
第14図 潮岬の100mb面冬季気温と北海道夏季気温との関係



第16図 100mb面で極夜低気圧の形成された日付(実線)と本邦冬季気温偏差(点線)との関係



第15図 St. Paul の冬の 100mb 気温と広島 の来るべき夏の気温偏差との関係



第17図 輪島の夏季100mb気温と冬季500mb気温との関係

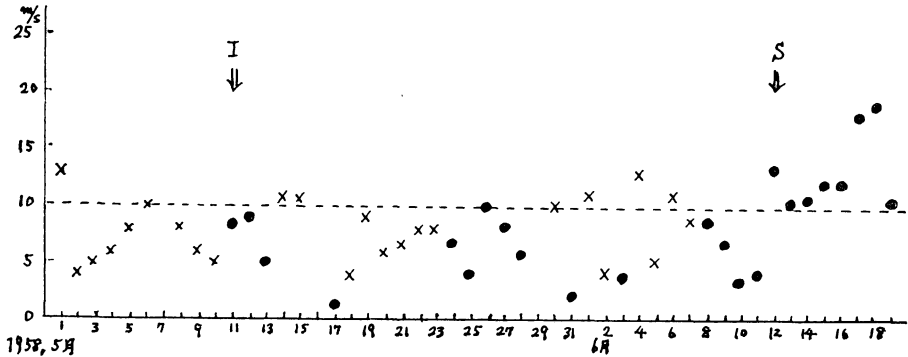
つけ、また今田は第15図に見られるように St. Paul 島の11・12・1月の 100mb 平均気温と広島(6・7・8月)の平均気温偏差とに 0.69 の正相関があり、100 mb 面で $-50^{\circ}\text{C}$ より暖かい夏季気温は高く逆も成り立つ傾向があると言っている。さらに朝倉は Wilson・Godson が記述している 100mb 面上でのアリュージョンとユーラシア間に温度傾度が確立された各年の 10・11 月中の日付、すなわち極夜低気圧が形成された日付と本邦の 6 地点の冬期(12・1・2月)の平均気温偏差を対応させて第16図に図示してあるようなよい相関を得ている。杉本は輪島における 1 月の気温の平均偏差について 500mb と 100mb の間に  $-0.76$  の相関があることを見つけ、冬季の成層圏気温と各季節毎の成層圏気温との関係を求めた結果、冬季の 100mb 気温と相関のよさそうな季節は夏

南風吹く	中	中	大	大	大	小	大
前風吹く	大	中	大	大	小	小	大
梅雨量の平均比	少	並	少	少	多	多	少
	冬	冬	冬	冬	冬	冬	冬
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964

第3表 福岡の下部成層圏のS(南風)(秋から冬)と梅雨量(6・7月合計雨量)との関係

東風の大きさ	大	大	中	大	小	大	中
冬の寒さ	暖	暖	寒	暖	寒	寒	暖
	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964

第4表 名瀬の200mb—10mbにおける東風(6~8月)と福岡の次の冬(12~2月)の寒さとの関係



第18図 Marcus 島での 18km 高度の風の転移

I (偏東風の初めて出現した日), S (少なくとも 5 日間以上 10m/s 以上が連続した最初の出現日)

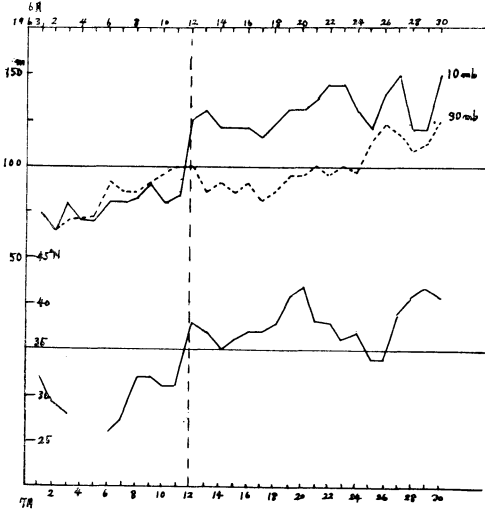
第 5 表 Marcus の “I” と入梅, “S” と出梅との関係

年	入梅	I (差)	年	出梅	S (差)
1951	VI 15	V 15 (31)	1951	VII 21	VI 20 (31)
52	15	16 (30)	52	21	17 (34)
53	15	15 (31)	53	24	21 (33)
54	2	2 (31)	54	11	11 (30)
55	2	2 (31)	55	10	17 (23)
56	V 22	VI 22 (30)	56	12	12 (30)
57	VI 5	V 6 (30)	57	31	VII 1 (30)
58	11	11 (31)	58	15	VI 12 (33)
59	23	23 (31)	59	20	19 (31)
60	11	6 (36)	60	18	15 (33)
61	9	10 (30)	61	13	11 (32)
平均		31	平均		31

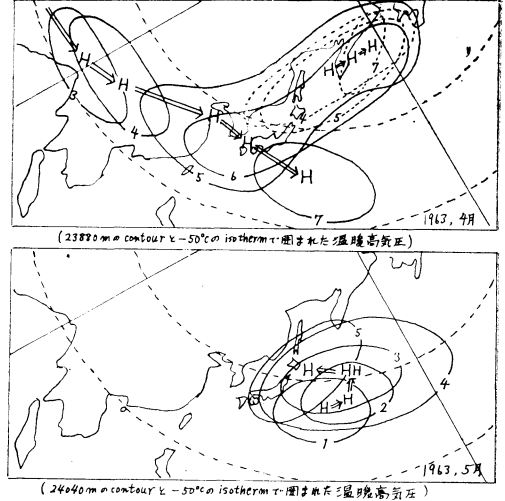
であることがわかった。そこで同じ季節については 100 mb と 500mb 気温とにより逆相関があるから、夏季(6・7・8月)の 100mb 気温が冬季(12・1・2月)の 500mb 気温と正相関のあることが推論されるとした。そこで輪島、館野、米子 6 他地点について両者の関係を調べ、ある程度有意な可能性を得た。第17図はその 1 例として輪島について図示してある。深谷は第 3 表の如く福岡の秋から冬にかけての下部成層圏(100—15mb)での月平均風の component の平均  $\bar{S}$  の値が大きいと(断面図上で 20m/s ぐらい)の梅雨量(6・7月合計雨量)は少なく、小さいときは多いという関係を示している。また第 4 表には名瀬の夏(6・7・8月)の下部成層圏(200—100mb)の  $-\bar{W}$ (東風)の強い(30m/s ぐらい)年の次の福岡の冬は暖かいという関係が示してある。また根山は第18図にその一例を示しているように、その年

にはじめて Marcus 島上 18km 高度で東風の出現した日から 1 カ月後に西日本は入梅になり、5・6 月中の同島上 18km 高度の偏東風が飛躍的に強まり、10m/s 以上が少なくとも 5 日以上連続した最初の日から 1 カ月後に西日本は梅雨が明けて夏になると述べている。(第 5 表は 11 年間の結果を示す)。さらに根山は 5・6 月中の 30—20°N 間の 10mb 高度での全球の東西示数が急激に増大し高度差が 100m 以上にも飛躍する日から 1 カ月後に 50 mb 面での特定等高度線 5880m が 135°E 子午線上で 35°N 以北に連続して存在するようになり、いわゆる日本の夏型気圧配置に移行するという事例の一端を第19図に示している。

次に長期予報というよりむしろ旬日子報程度に使える例をあげよう。まず異常発達した低気圧に対する例であるが、和田等は第 20 図に示すように 1962 年 2 月 16 日に

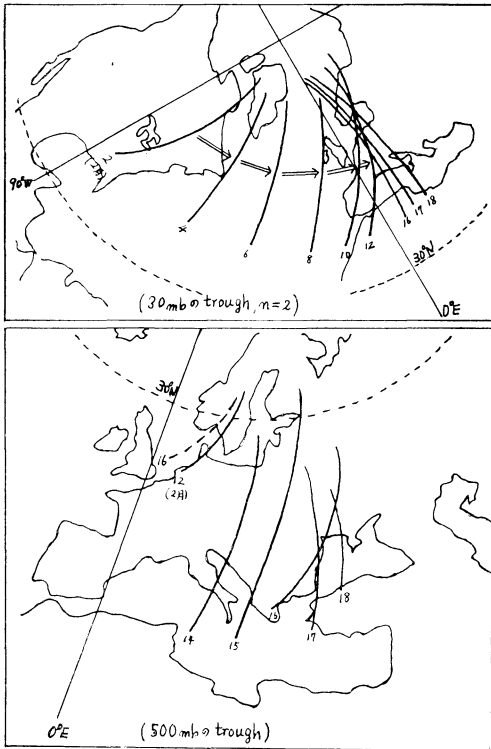


第19図 中部成層圏の東西示数と500mb面5880mの特定等高度線の135°E線上における変動



第21図 30mb面での高気圧の変動

上図は移動性高気圧の発達に、下図は順調に移動した場合に対応



第20図 1962年2月16日の異常発達したハンブルグ低気圧に伴うtroughの状態

950mbまで発達したハンブルグ低気圧を解析し、500mb面では対応する顕著なtroughの存在も追跡も不明なのに30mbでは少なくとも北米大陸方面から2週間以上も前から明瞭に追跡できる顕著なtroughの存在を指摘している。また根山は第21図に示しているように日本付近での移動性高気圧が140°Eを過ぎて急速に地上での高気圧性領域を増大するという発達例で、30mb面上での少なくとも10日以上前から明瞭に追跡できる温暖型の成層圏高気圧がcouplingしておきていることを見つけ、発達することなしに順調に東進している場合には30mb面での対応した移動性の高気圧のないという事例をあげている。

以上現在までに報告されてきた成層圏を導入した実際の長期予報法に関して述べたが、総括的に言えることは短い期間についての特定の事例についての結論が多く、しかもそれらが成層圏対流圏の相互関係を含めて理論的に十分立証できないうらみがあり、またtime lagのあるよい相関についても求めた期間が短かく、不十分のそりはまぬがれない。したがって現段階で直ちに実際面への利用ということになれば一部を除いてかなり限定されるであろう。しかし成層圏の循環が対流圏のそれとの間でさらに関連性が明らかになるにつれて、季節変動に新しい機構のモデルが与えられ、大気の三次元の完全な姿が解析できるようになって大循環の新しい知識も得られるであろうから、近い将来必ず長期予報に

として有力な武器になることは間違いない。現在成層圏の data や map が期間的に少ない上にそれらが一部の大学、研究所とか限られた気象官署にだけしかないため研究調査が非常に限定された分野だけでしか行われていなく、かつその研究歴史の新しいこと等が隘路となっているので、対流圏の等圧面天気図と同じように十分駆使できるよう、成層圏天気図や資料を整備するよう希望したい。

## V. 討 論

広田 (東大) : Charney and Stern は不安定の必要条件しか与えていない。したがって昇温発生を充分説明できないのは止むをえない。やはり擾乱の構造の議論にまで立ち入る必要があるのではないか。

村上: Internal Jet というモデルでは一般流  $U$  は水平にも垂直にもシアをもち  $\phi$  と  $P$  の函数である。このような場合には固有値問題として取り扱うことは困難である。固有値の符号がきまるだけである。固有値がきまらないから擾乱の構造もきめられない。  $U$  が  $\phi$  と  $P$  の函数の場合は初期値問題として取り扱う方が簡単である。

大内 (大阪学芸大) : Sudden Warming の原因は太陽活動にあるのか。

朝倉: かつて Scherhag は1952年の突然温暖化が太陽面爆発があった時期と合うことから、太陽活動に関連さ

せて考えたが、同じ現象を Wexler が 50mb 天気図で解析し、Labitzke は近東の温暖域がベルリン上を通過したことを確かめた。また、太陽面爆発がないときでも突然暖化がおきていることから、太陽活動説はその支持を失ないつつある。Scherhag 自身さへ、主張していないという。しかし、ロケット観測によると突然温暖化は 50km 前後のストラトポーズ付近にはじめにおこり、それが次第に下層に及んできている。これは太陽活動説に有利なように考えられるが、量的に説明するにはエネルギーがたりない。Wexler は「引き金作用として流れの中に下降気流をおこさせることは可能」であると主張している。成層圏中の運動エネルギーは対流圏から補給されているのが平均状態である。ストラトポーズに温暖化をひきおこす下降気流の原因が対流圏にないとはいえないのでなからうか。

藤田 (気研) : 中国では 2 年周期を用いて、長期予報ができるかといっていたが、これは 26 カ月周期とどういう関係か。

朝倉: 中国の例は 1953~58 年について述べたことで、その後は 2 年周期がくずれている。しかし、26 カ月周期はその後も持続しているので別なものと思われる。26 カ月周期は低緯度に源をもつ周期変動で、中緯度以北では卓越していない。突然温暖化の高温域が東進したり西進したりするのは低緯度地方に源をもった温暖化のときだけであって、高緯度地方にまでは及ばない。

## 北京科学シンポジウム募金会計報告

1964年北京にて開催された北京科学シンポジウムには、日本代表団の団員として日本気象学会から会員小平信彦、増田善信両氏が派遣されました。また会員久保田靖之氏も日本代表団通訳として参加し多大の成果をあげることができました。上記両氏の派遣については会員の皆さんから募金その他について物心両面の御協力を戴き、また帰国後は、日本気象学会の各支部、各関係気象官署、および全気象労働組合の御協力を得て、各地で報告会を開くことができました。

現在まで報告会のもたれた場所は気象研究所、気象庁、東京航空気象台、気象大学校、仙台、札幌、函館、大阪、下関、福岡、彦根、京都、舞鶴の各地です。また去秋福岡で開かれた日本気象学会秋季大会では小平、増田両会員により詳細な報告が行われました。

ここに募金の会計報告をかね、その後の簡単な経過と

## 日本気象学会国際学術交流委員会

お礼の言葉を述べたいと思います。

### 会 計 報 告

取 入		支 出		
	口数	金額(円)	金額(円)	
関東地区	838	83,800	渡 航 費	360,000
東北地区	85	8,500	日連協加盟費	1,000
九州地区	20	2,000	通 信 費	840
北海道地区	41	4,100	行 動 費	1,895
関西地区	271.3	27,130	書籍購入代	300
学 会		50,000	印 刷 費	3,200
大口寄附		209,000	報告集会旅費	87,000
全気象寄附		70,642	維 持 費	465
書籍販売		780	雑 費	1,252
計		455,952	計	455,952