

大規模な天気過程に関する諸研究*

中国地球物理研究所気象研究室**

最も特徴のある大規模な天気過程は、東西方向から南北方向へ、或はその逆向きの大規模な流れの場の変動である。子午面循環のもつとも典型な型は、ブロッキングである。ブロッキングの流れの場の崩壊や成立は、通常半球的な循環の大きな変動に附随して起る。またその長い持続性のため大規模な気候異常が生ずる。従ってブロッキングの形成や崩壊に関する研究は、中間予報の一助ともなる。また対流圏のある種の大規模な天気過程は、対流圏のみの現象として説明し難いことが知られている。これらの過程は成層圏の活動や地面附近の下層大気の状態と関連がある。従って旬程度或は長期の循環の変動を理解し、中間或は長期の良い予報を出すためには、成層圏における循環や対流圏下層の熱源分布及びその分布について研究しなければならない。

野の研究はこれ以上議論しないことにする。

1. ブロッキング循環の形成と崩壊に関する綜観的研究

1955年から1960年の冬季に起きた典型的な85例を基礎にわれわれ³⁾は形成から崩壊に到るブロッキング高気圧の構造と、綜観的な過程について詳細な解析を行った。こゝでブロッキングの場は次のように定義している。

(1) 中心が北緯50度以北にあり、移動速度が経度にして1日7°以下であること。

(2) この状態が少くとも3日継続すること。

これらの85例の研究を通じて、綜観的な過程では地域差がある場合にも、ブロッキングの場の形成や崩壊には共通の性質があることがわかった。われわれはこれらの共通の特性を、新形成型、再形成型、逆行型、および消

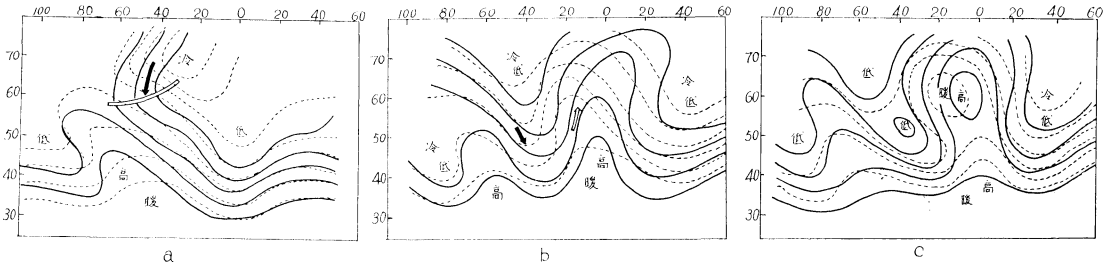


Fig. 1 (a)–(c) 阻塞形勢新生第一型的天気学模型図 (実線：等高線；虚線：等温線)

われわれはこゝ数年、この線に沿った大規模な天気過程についての研究を行ってきた。北半球の対流圏下層における熱源や冷源の年変化（月平均をもとにした）や、大気大循環の年変化との関連性についての調査は1961年にすでに発表されているので^{1),2)}、この報告ではこの分

減型の綜観モデルに簡略分類した。

新形成型のモデルの重要な特性は、不安定な発達である。(Fig. 1) は直線的な偏西風帯に、トラフの発達を導く寒気の溢出がある。このトラフの前面に北向きの暖気移流があると強大な高気圧がつくれ、ブロッキング性の気圧配置が形成される。寒気が十分に強い場合には一回の寒気の溢出でこのような場が形成される。しかしながら寒気の溢出が強くない場合は、何回かの寒気の溢出が必要である。それぞれの寒気の溢出に伴い、トラフの前面には暖波が生ずる。すべてこれらの暖波はそ

* Some Studies On the Large-Scale-weather processes

** 1963年12月4日東京大学地球物理学教室での顯震潮博士の講演会で、本文の内容は紹介された。原文をもとに磯野良徳（気象庁電子計算室）が日本語に直し、一部手を加えてみた。

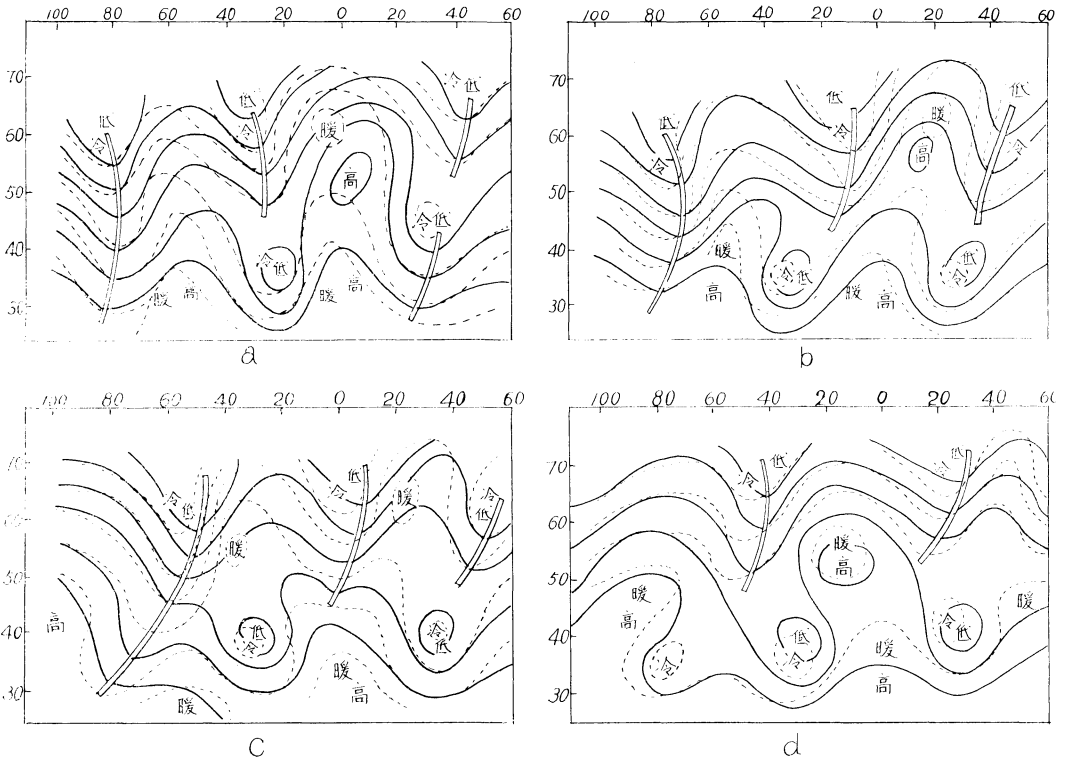


Fig. 2 (a)–(b) 阻塞形勢重建第一型の天気学模型図

の場所に存在していたリッジに吸収されてしまい数回の強化によりブロッキング高気圧にまで発達する。明らかにこの型の過程は Defant⁴⁾ が議論したものと同一である。

再生型モデルの主な特性は、ブロッキングの 50°N 以北にある波束が突然東に移動し、南側の波束が殆んど定常状態にあるか、緩慢に動いている場合である。(Fig. 2) この二つの波束の相対的運動が、始めのブロッキングを崩壊させる。しかし相対的運動が持続すると再び位相は等しくなる。そしてブロッキングは再び形成される。

逆行型モデルには二つの型、即ち連続型 (Fig. 3A) と不連続型 (Fig. 3B) がある。暖気移流がブロッキング高気圧の北西に出現し、寒気が東側に継続的に溢出すると、ブロッキング高気圧は西方に逆行する。これが連続型の場合である。しかしながら新しいトラフが寒気の吹き出しによってもともとあるトラフの西方に発生すると、新しいブロッキング高気圧がこれらの二つのトラフの間に形成される。この現象が起きると古いトラフは東に移動しもとのブロッキングと共に消滅する。結果

的には流れの場は逆行したように見える。これがいわゆる不連続型の逆行である。

消滅型の主な特徴は、全波が突然東に移動することである。(Fig. 4) 流れの上流即ち西方の大きなトラフから分れて出来た小さなトラフはブロッキング高気圧と重なりブロッキングを崩壊する。この小さなトラフの構造には二つの型があり、一つは、温度波の振幅が気圧波のものより大きく二つの波の位相はほぼ等しい場合、いま一つは二つの波の振幅が殆んど同じで、気圧波の位相が温度波よりも遅れている場合である。どちらの型もトラフの前面に比較的強い寒気移流を生ぜしめ、ブロッキング高気圧を崩壊する原因となる。

綜観過程の研究と共にブロッキング場の立体的構造の研究も行われている。Fig. 5A と Fig. 5B はそれぞれブロッキングの形成期と崩壊期のモデルである。これらの図は次のことを表わしている。

1) 形成段階では、対流圏上層および下部成層圏のリッジの附近を動く寒気の冷域 (cold dome) がある。この寒気がリッジ線に接近すると、高気圧は急速に発達する。この寒気がリッジ線の東に去ると高気圧は衰弱し始

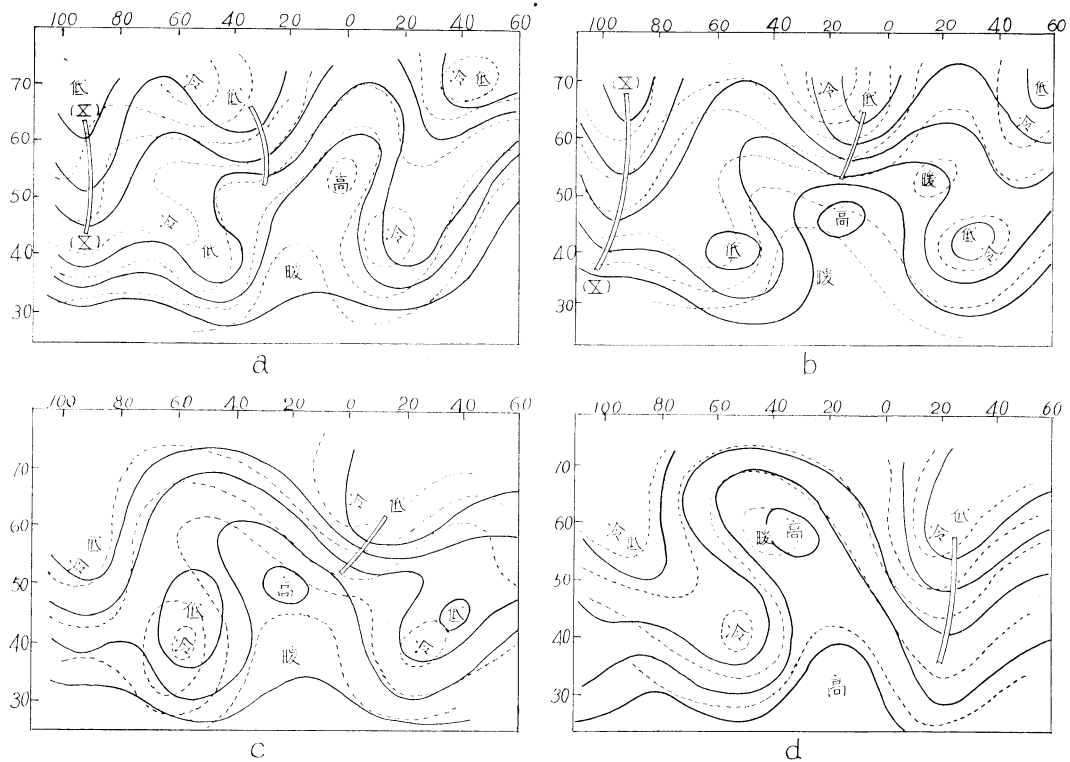


Fig. 3 A (a)–(d) 阻塞形勢連續後退型的天气学模型图

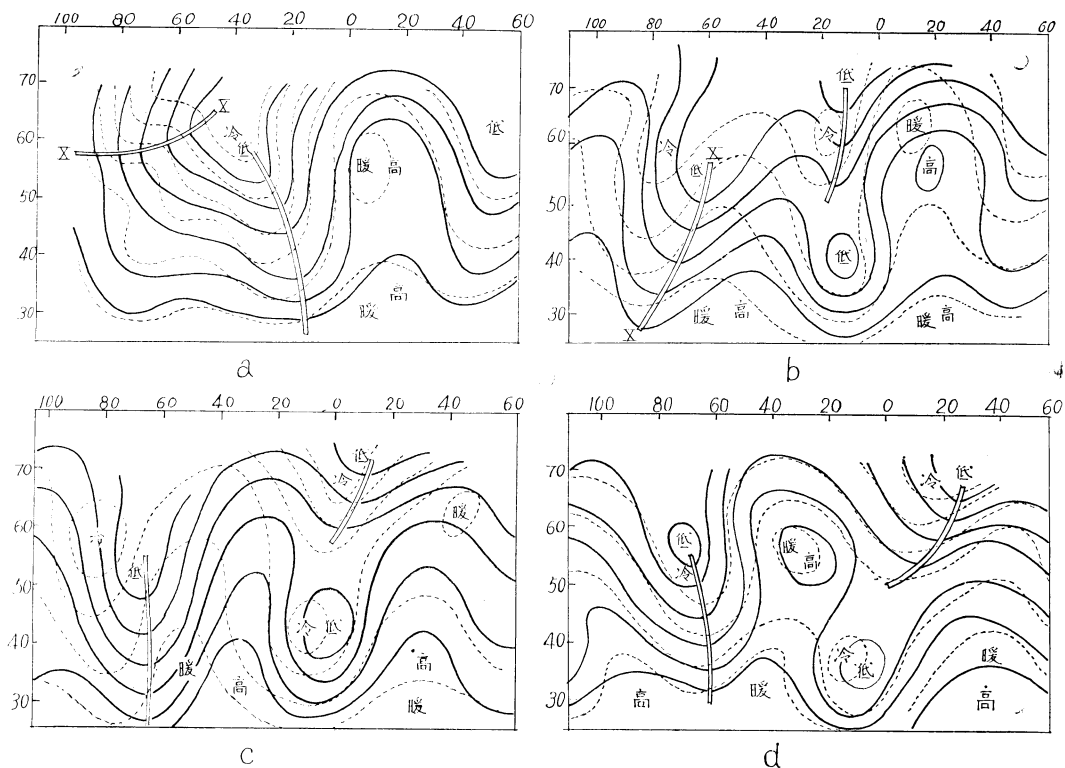


Fig. 4 B (a)–(d) 阻塞形勢不連續後退型的天气学模型图

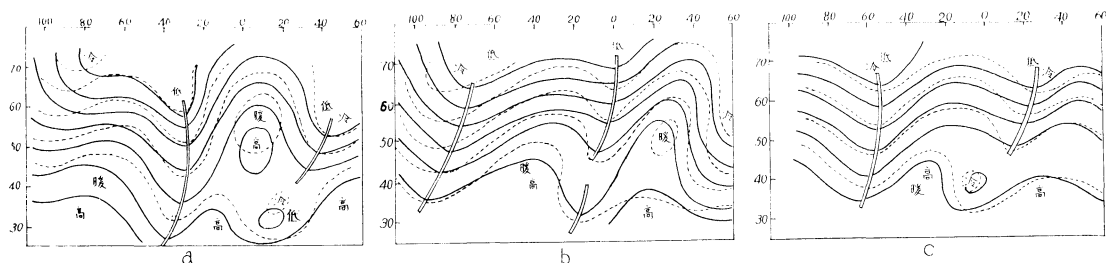
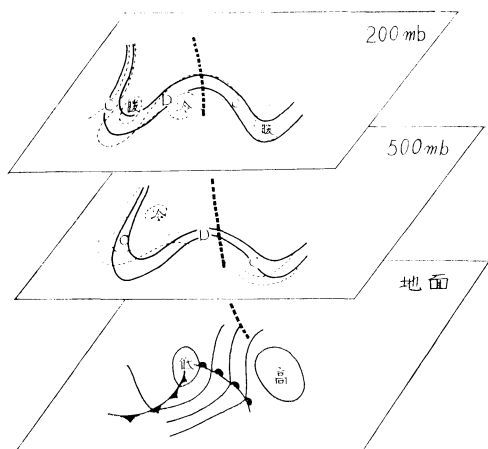
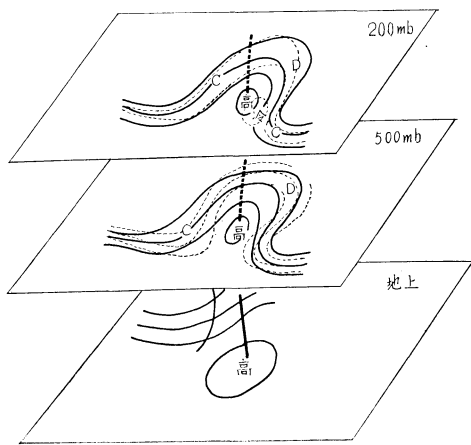


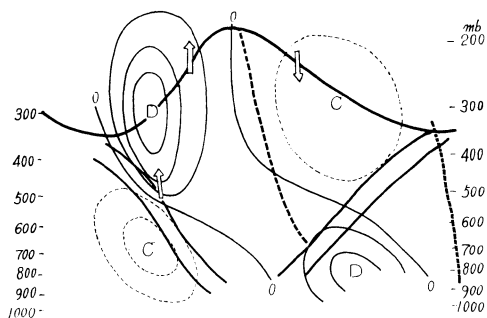
Fig. 4 (a)–(c) 阻塞形勢消弱型の天気学模型図



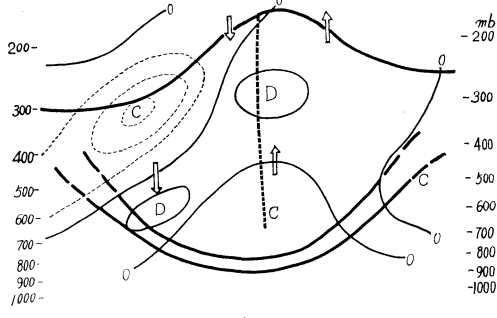
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 5A (a)–(b) 阻塞高圧建立階段, 各等圧面 (a) 及垂直断面模式図 (b) (図(a)の中で実線は等高線, 破線は等温線, 太い破線は高気圧のリッジ線, 図(b)の中の太い実線は圏界面と上下の前線面, Cは収斂域, Dは発散域, 太い破線は高気圧の軸)

める。この寒気の冷域が南下すればする程、高気圧は急速に衰弱する。さらに発達段階では暖気移流の強度は、高さとともに減少する。一方減衰段階では、寒気移流の強度は高さとともに減少する。しかし崩壊期間には移流は比較的弱く、高さについての変動は形成期間ほど明瞭

Fig. 5B (a)–(b) 阻塞高圧崩潰階段, 各等圧面 (a) 及垂直断面 (b) 模式図 (モデルの説明は Fig. 5A と同じ表示)

ではない。

2) 形成段階には、リッジの後方に対流圏全層と下部成層圏に上昇運動、また前方に下降運動がある。しかし上昇速度零の線はリッジの西側にある。この零線がリッジに近づく、高気圧は最盛期に入る。零線がリッジを越えると高気圧は減衰し始める。上昇運動に対応して形成段階のリッジの後方では対流圏上層に発散があり前面

では収斂がある。この場合発散零の線はリッジの後面にある。発散零の線がリッジ線の上に移動すると、高気圧は、普通それ以上発達せず衰弱し始める。対流圏上層ではこれと反対の傾向が存在する。

ブロッキング高気圧の発生および崩壊を通じて、北半球上の大規模な流れの場は一般に激しい変動を伴う。種々の大気の物理的な性質(角運動量や熱のような)の輸送量の変動やエネルギー変換の周期についての研究は、この大規模な変動の機構を理解するために必要である。叶(yeh), 陳(Chen)と孫(Sun)は、東西循環の形成や崩壊の期間についてこれらの点について研究した。その結果を集約すると、

(1) 南北循環の発達している期間には、角運動量や熱の北向きの急速な輸送は増強され、一方東西循環の形成期間では、輸送量は減少し角運動量の輸送の向は丁度逆向きになる(即ち大規模なじょう乱は減衰する)。

(2) 南北循環の発達期には、エネルギー変換のサイクルは平均的な向きと同じである。(Fig. 6b, c, d) しながら東西循環の形成期にはエネルギー変換の循環は平均的な向きと大部異って来る*(Fig. 6a) 計算結果

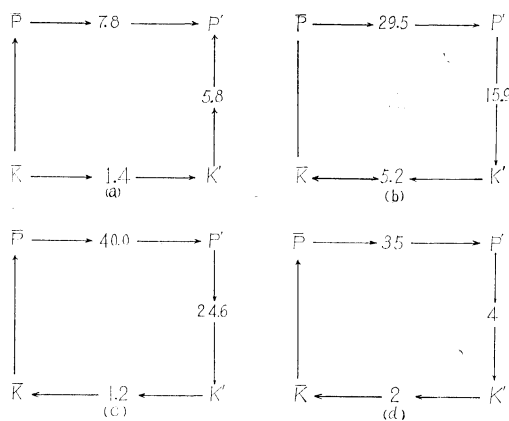


Fig. 6

から、南北循環の形成期における変換量は他の期間の量よりも遥かに大きい。

(3) ブロッキングの場の形成と崩壊に関する数値実験 線観的な研究とは別に、われわれはまたブロッキングについて数値実験を行った。これらの実験に用いた数値モデルは6つある。順圧準地衡風モデルによる予報と、順圧プリミティブ方程式^{3), 6)}による予報と比較した結

果、非地衡風効果は、ブロッキングの場の形成、特にブロッキングの中心を形成する段階では重要であるという結論を得た。大規模な循環における激変動の過程は、本質的に傾圧的であるから、張(Chang)と刘(Liu)⁷⁾は中国中央気象局の3パラメーターモデルで実験した。このモデルでは風の鉛直分布は、次のように仮定している。

$$V_i(x, y, p, t) = \bar{V}(x, y, t) + A_i(p)V_{T_i}(x, y, t) \quad (i=I, II) \quad \dots(1)$$

ここで \bar{V} は、中間層の風である。また

$$A_{II}(P) = \frac{\bar{P}-P}{\bar{P}-P_3} \quad P_2 \leq P \leq \bar{P} \quad \dots(2)$$

$$A_I(P) = \frac{\bar{P}-P}{\bar{P}-P_f} \quad \bar{P} \leq P \leq P_0$$

$\bar{P}=500\text{mb}$, $P_2=200\text{mb}$, $P_3=300\text{mb}$, $P_f=850\text{mb}$, $P_0=1000\text{mb}$ とした。また鉛直速度 ω の上, 下の境界条件として $\omega_{P_2} = \omega_{P_0} = 0$ を定えし、さらに準地衡風の条件を採用し、うず度方程式と断熱の式から次のような方程式を導いた。

$$\begin{aligned} \nabla^2 \frac{\partial \bar{z}}{\partial t} = & J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 \bar{z} + f, \bar{z}\right) + (\bar{A}_I^2) J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_I, h_I\right) \\ & + (\bar{A}_{II}^2) J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_{II}, h_{II}\right) \\ (\nabla^2 - \lambda_I^2) \frac{\partial h_I}{\partial t} = & J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_I, \bar{z}\right) \\ & + J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 \bar{z} + f, h_I\right) + a_I J(h_I \bar{z}) + \\ & + b_I J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_I, h_I\right) + C_I J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_{II}, h_{II}\right) \\ (\nabla^2 - \lambda_{II}^2) \frac{\partial h_{II}}{\partial t} = & J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_{II}, \bar{z}\right) \\ & + J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 \bar{z} + f, h_{II}\right) + a_{II} J(h_{II}, \bar{z}) + \\ & + b_{II} J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_I, h_I\right) + C_{II} J\left(\frac{gm^2}{f} \nabla^2 h_{II}, h_{II}\right) \end{aligned} \quad \dots(3)$$

この式で、 (\bar{A}_I^2) , (\bar{A}_{II}^2) , b_I , b_{II} , C_I , C_{II} は $A(P)$ の関数である。また λ_I^2 , λ_{II}^2 , a_I , a_{II} は $A(P)$ と静力学的成層に従属である、 z は \bar{P} の高度、 h_I と h_{II} はそれぞれ $P_3 - \bar{P}$ と $\bar{P} - P_f$ の層厚である。また m は地図の投影拡大係数である。ここで \bar{A}_I^2 , \bar{A}_{II}^2 は座標に独立な定数である。標準大気から計算した \bar{A}_I^2 , \bar{A}_{II}^2 を用いブロッキングの場について数値実験を試みた。その結果は順圧予報と比較すると良い。しかし、数例では、特に高気圧域の中心地域では傾圧予報でも結果は余り良くなかった。Fig. 7a-c は1958年(00GCT)の1月27, 28, 29日の00zの500mb面の実況である。Fig. 7aを

* Fig. 6a はブロッキングがおとろえる時のエネルギー交換 ($P' \leftarrow K' \leftarrow K$ の弱い流れ), Fig. 6b, c, d はブロッキングが発達する時の交換。

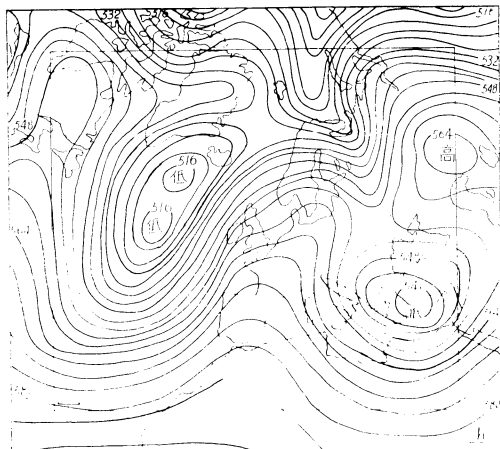


Fig. 7a 1958年1月27日00時(世界時)500毫巴(mb)等圧面形勢図

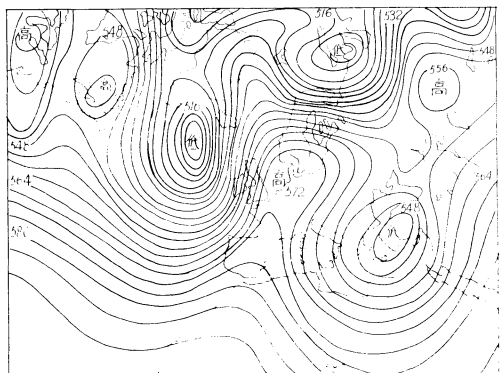


Fig. 7b 1958年1月28日00時(世界時)500毫巴形勢図

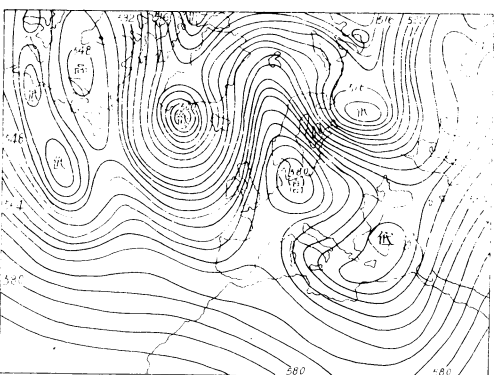


Fig. 7c 1958年1月29日00時(世界時)500毫巴形勢図

初期条件とした24時間, 48時間 500mb 予報の結果が, Fig. 8a-b である。実況では28日, 29日とも高気圧は閉ちているが, (Fig. 7b-c) 予報では閉じていない。うまく行

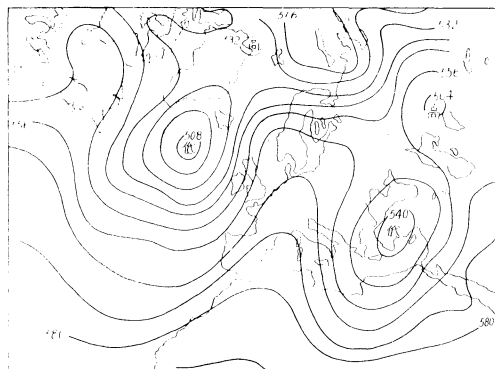


Fig. 8a 1958年1月27日00時(世界時)報28日00時(世界時)500毫巴予報図

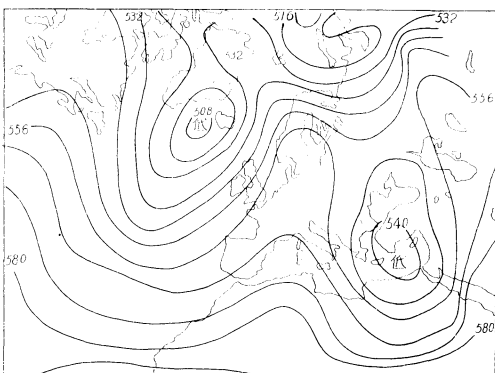


Fig. 8b 1958年1月27日00時(世界時)報29日00時(世界時)500毫巴予報図

かなかつた原因を(2)の代りに実際の観測から \bar{A}_I^2 と \bar{A}_{II}^2 を解析して調査した。この結果 \bar{A}_I^2 と \bar{A}_{II}^2 の値は, 大きな偏差があることが判った。リッジの地域では \bar{A}_I^2 の値は, 平均値よりも1オーダー大きい。リッジ地域の観測値から求めた \bar{A}_I^2 の値を(3)式に用いて再び予報した。その結果が Fig. 9a-b である。新しい予想では, 高気圧の地域では, 前の予報 (Fig. 8a-b) よりも良い結果を得た。高気圧域の中心は24時間予報には閉ちていなかったが, 新しい予報では48時間予報 (Fig. 9b) に現われている。しかし新しい \bar{A}_I^2 , \bar{A}_{II}^2 の値を採用した予報では, 地域的に歪曲されてしまうことがあるので注意しなければならない。

上述の議論から非地衡風効果と傾圧成層の非等方性*が, ブロッキングの形成の予報に重要なことがわかる。この点に注意し, 且つブロッキング高気圧の発達過程

* 訳者註: 例えばうず度方程式で ζ の正負により, 発散項 $((f+\zeta) \operatorname{div} \mathbf{V})$ の役割がちがってくることを指す。

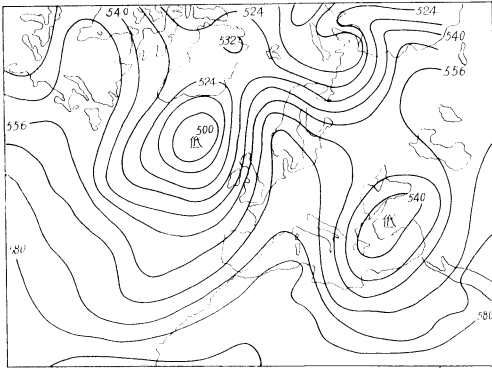


Fig. 9a 1958年1月27日00時(世界時)報28日00時(世界時)500毫巴預報図

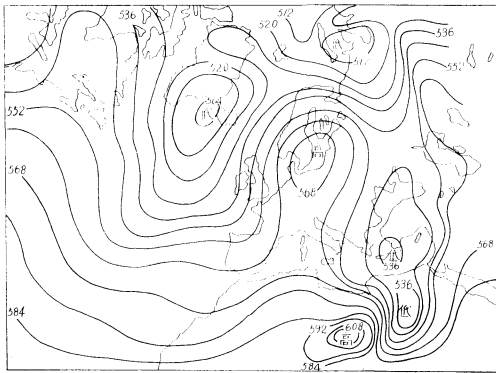


Fig. 9b 1958年1月27日00時(世界時)報29日00時(世界時)500毫巴預報図

では圏界層に存在する寒気の冷域の重要性を考慮して、朱(Chu)⁸⁾は傾圧成層が空間と時間の関数として3層準非発散モデルをつかった。最上層は下部成層圏に置いた。成層圏と対流圏ではそれぞれ次のような3次元の予報式を解いた。

$$\frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\sigma^2 \frac{\partial^2 \bar{\psi}}{\partial \sigma \partial t} \right) + \frac{1}{\alpha l} \nabla^2 \left(\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} \right) = J(L, \bar{\psi}) \equiv F \dots (4)$$

ここで $\bar{\psi}$ は流線関数, $\sigma = \frac{P}{P_0}$ ($P_0=1000\text{mb}$), α は静安定度係数, α は対流圏, 成層圏の各 σ に独立にとる。また $L = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\sigma^2 \frac{\partial^2 \bar{\psi}}{\partial \sigma \partial t} \right) + \frac{1}{\alpha l} \nabla^2 (\Delta^2 \bar{\psi} + l)$ は, うず位を表わす。

(4) のラプラシアンを微差形式で書くと, 一連の $\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t}$ に関する常微分方程式を得る。 $\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t}$ に対する解は,

$$\left(\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} \right)^{(m)} = \sum_{n=0}^2 \left\{ \int_0^{\sigma_T} M_n^{(m)} F_n^{(1)} d\sigma' + \int_{\sigma_T}^1 N_n^{(m)} F_n^{(2)} d\sigma' + Q_n^{(m)} \cdot f_n \right\}$$

$M_n^{(m)}, N_n^{(m)}, Q_n^{(m)}$ は影響関数である, また f_n は地表面における温度移流である。 $m=1$ と $m=2$ はそれぞれ成層圏と対流圏を表わし, $n=0$ は任意の格子点を示し, $n=1$ は4つの隣接点の方程式の関数の和で, $n=2$ は Fig. 10 の8つの隣接点の関数の和である*。 σ_T は

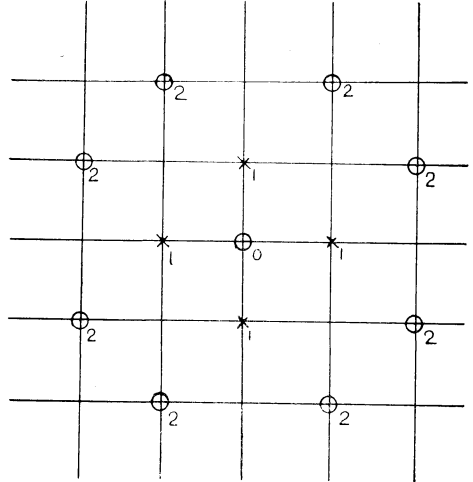


Fig. 10

対流圏の σ である。初期傾圧大気 の構造を正確に表現するため, 7層の観測値 (100, 200, 300, 500, 700, 850, 1000mb) を用い3層 (200, 500, 850mb) 面上の初期の渦位 L を計算し, その面上の循環を予報した。初期の $\bar{\psi}$ の場合は, 非常に速く収斂する王(Wang)⁹⁾の方法により釣合方程式を解いて求めた。温位保存の仮定から予報式は

$$\left. \begin{aligned} \bar{\psi}^{t+\delta t} &= \bar{\psi}^t + \left(\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial t} \right)^t \delta t \\ L^{t+\delta t} &= L^t + F^t \delta t \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

このモデルにより, 1958年1月27日の資料を初期条件として24時間予報を行った結果が Fig. 11 である。これをみてもわかるように, 閉じた高気圧の中心の位置および高度が良く予報されている。しかしその両側の二つの低気圧は余りよく予報されていない。

2. 成層圏循環と超長波に関する研究

近年成層圏の観測が高度に拡充され, 多くの成層圏に関する調査が現われ始めた。われわれはこの分野でも, また幾つかの仕事を進めてきた。われわれの興味は,

- 1) 成層圏循環の変動の特性と機構
- 2) 成層圏循環と対流圏循環の相互関係

* 訳者註: ここではグリーン関数の関数で(4)をとしている。

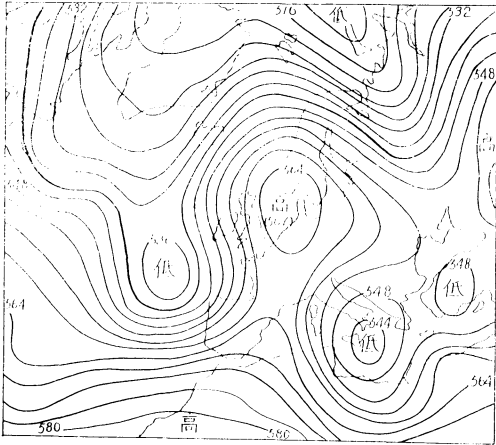


Fig. 11 1958年1月28日00時(世界時)500 毫巴 絶対形勢予報図

のような点である。

すでに第1章で指摘したようにブロッキング高気圧はしばしば連続的に、或る時は不連続的に逆行する。この事実は現象発見以来十分な説明がなされていない。これは普通の長波の場合よりも、大規模の運動系を連想させる。この系については特に成層圏で主張されている。成層圏や対流圏の波動系の間に相互の影響があるかないか、またこれはどのような機構で相互に影響し合うかが判れば、上述の事実は説明できる可能性もある。またさらに大規模の対流圏循環の変動のあるものは同様に理解

できるかも知れない。陶 (Dao)¹⁰⁾ は、1960年の4月5月の成層圏循環の季節変化の際に、成層圏と対流圏で北極を中心に廻る一対の高気圧と低気圧があることを指摘した。(Fig. 12) この事実は成層圏と対流圏で別々な運動系があるように見えるが実際には全大気の一つの深い運動系に属しており、これらの系は非常に密接にカップルしている。陶 (Dao) と陳 (Chen)¹¹⁾ はさらに、1958, 1960, 1961年の各1月2月の北半球 500mb と25 (ないし30) mb の等高度線の調和分析の成分を計算すると共に5日間高度変化量の変動を解析し、成層圏と対流圏の間の相互関係を調査した。これらの結果 500mb と 30mb の5日間高度変化量の動きは勿論、その強度と位置が非常に対応性があることがわかった。正と負の中心は、全北半球上で1つないし2つのペアとして出現している。これらの中心の大部分は西に向って移動し約30日間で地球を一週する。これらの運動系は超長波に反映する。成層圏の西向きに移動する正の中心に対応して、対流圏で連続的に或は不連続的に西に逆行するリッチ或はブロッキング高気圧が対応している場合が多い。Fig. 13 はこ

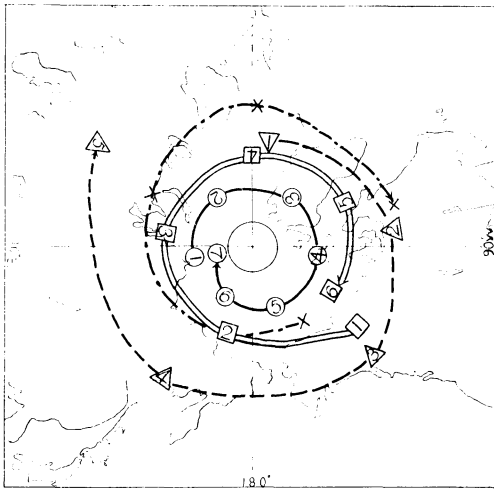


Fig. 12

△.....30mb の低気圧中心
 □.....30mb の高気圧中心
 ○.....700mb の正の高度変化中心(5日平均図による)
 ×.....500mb の正の高度変化中心
 図の数字は1960年5月1日からの5日毎の位置

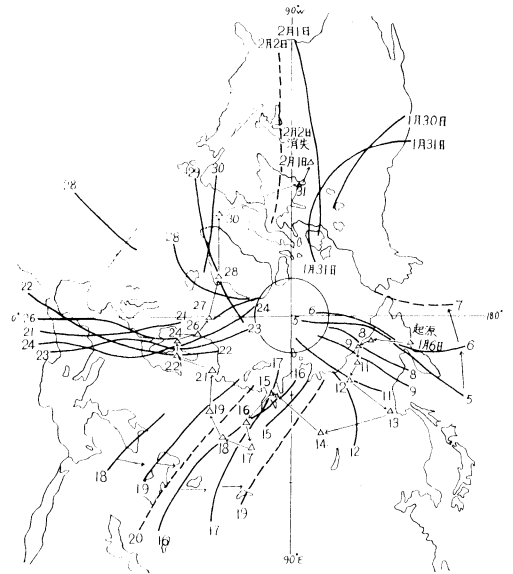
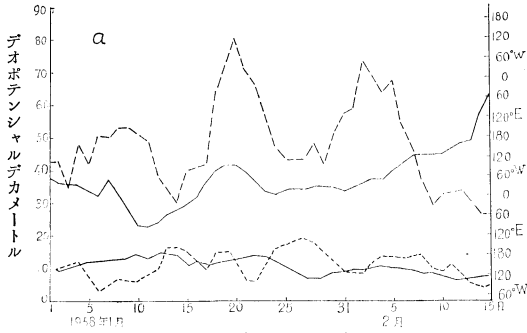


Fig. 13

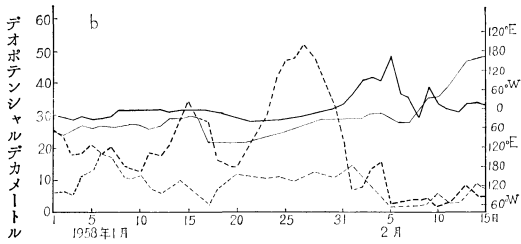
実点線は超長波の動き、△印は対流圏の高気圧の動き、

のような例で1960年1月の場合である。また調和分析の結果は、成層圏と対流圏における波数1-2の超長波の位相および振幅の変動が一致していることを示している。

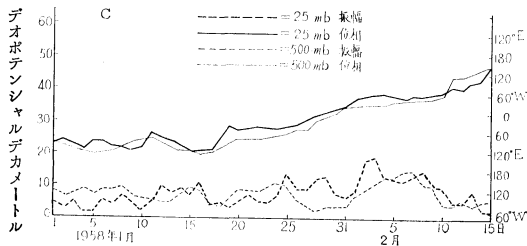
Fig. 14a-c は、1958年の結果である。すべてこれら



第一波的振幅位相
Fig. 14 a



第二波的振幅位相
Fig. 14 b



第三波的振幅位相
Fig. 14 c

の発見は、成層圏と対流圏の超長波が実際には一つの深い波であり互に密接にカップルしていることを明らかにしていると考えられる。

成層圏と対流圏循環の相互干渉について幾つかの理論的基礎を与えるため理論的な研究を行った。5層(10, 208, 406, 604, 802 mb)の準地衡風モデルを用い孫(Sun), 陳(Chen), 叶(Ych)¹²⁾は、種々の基本流、静力学的成層をもつ大気構造を設定し、604mb(或は10mb)におけるじょう乱の影響の上方(或は下方)への伝播について調査をした。この結果超長波の影響は圏界面を通して上方或は下方に伝播し得るが、長波の影響は大部分減衰してしまふことがわかった*。(Fig. 15 と、

* 訳者註: ここで超長波は波長 15000km 位のもの、また長波は波長 5000km 位のもの。

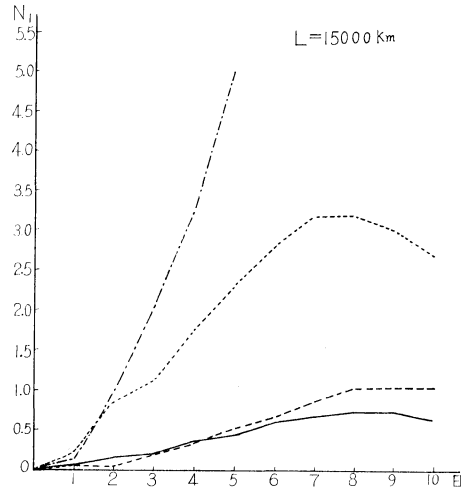


Fig. 15 a
($N_i = \frac{10\text{mbの振幅}}{604\text{mbの振幅}}$)

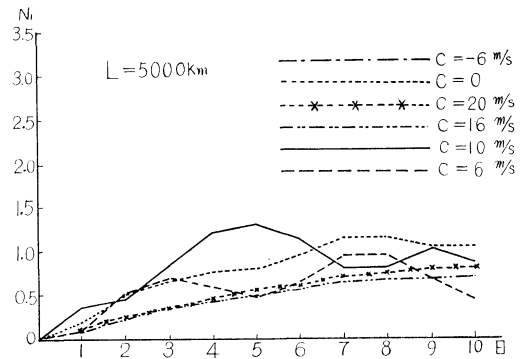


Fig. 15 b

Table 1. The downward influence of the disturbance at 10mb

長波の減衰例で $N_i = \frac{\text{各レベルの振幅}}{10\text{mbの振幅}}$

date Ni	1	2	3	4	5	6	7	8
level								
50mb	0.24	0.51	0.12	1.11	1.50	2.73	5.67	11.11
100mb	0.13	0.12	0.08	0.02	0.12	0.54	1.26	2.27
500mb	0.08	0.13	0.11	0.21	0.38	0.48	0.47	0.49

table. 1), 圏界面を通すじょう乱の影響の程度は、またじょう乱の位相速度と大気構造に関連している。Fig. 15から逆行のじょう乱が圏界面に浸透する最大の力を持ち定時的なじょう乱をつくる、そして東進するじょう乱はもっとも浸透力が弱い。さらに鉛直温度遞減率が大きい

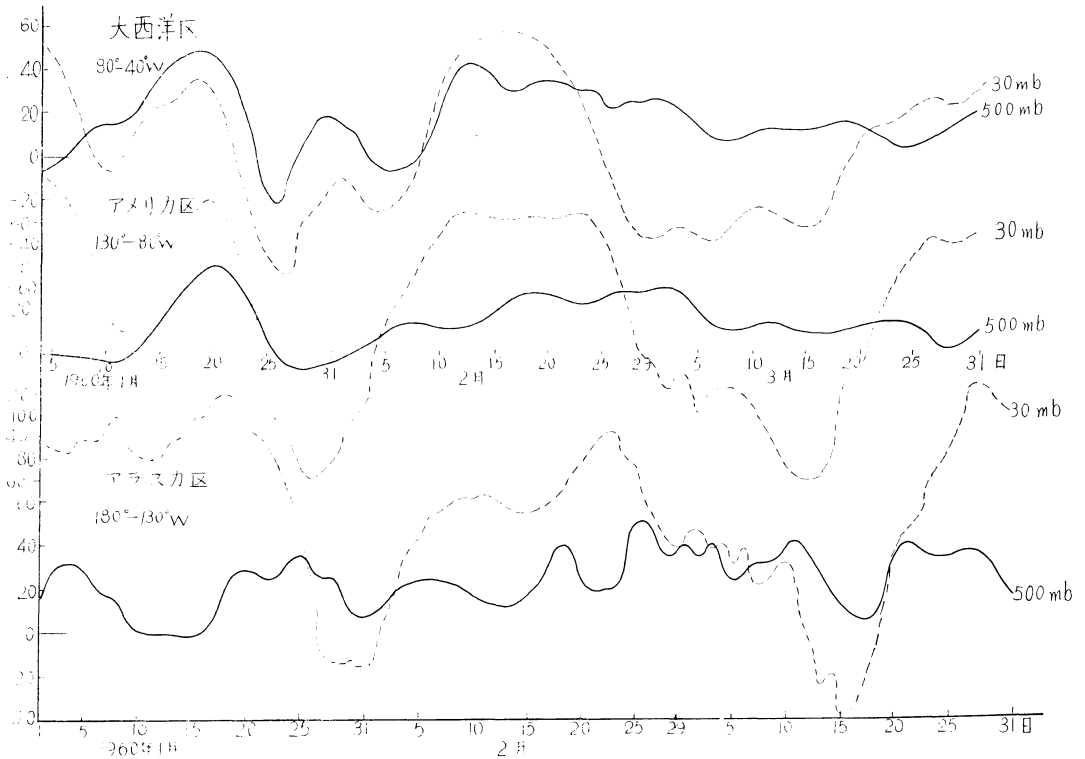


Fig. 16

程, また基本流のシアが大きくなればなる程, 対流圏循環の影響は圏界面を通し成層圏に及ぶ, しかし対流圏に浸透する成層圏のじょう乱の能率は, 殆んど成層圏に関係しない. Charney, Drazin¹³⁾が試みたように陳 (Chen)¹⁴⁾は成層圏に与える対流圏の影響を調べるため非地衡風モデルを作った. このモデルでは, 二つの波, すなわち超長波と圏界面を浸透できるような (400km より短い波長をもつ) 短波を与えた. すべてこれらの理論的結果は, 超長波の役割に関して前に議論した観測結果と一致した.

極めて少数の人々が^{15), 16)}, 冬のヨーロッパと北アメリカの高緯度成層圏に, 約15日位の周期で温度の準周期的変動があることを見出している. 同様の準周期的変動を陳 (Chen)¹⁷⁾は, 東アジアでも見出している. 陶 (Dao) と陳 (Chen)¹¹⁾はさらに成層圏と対流圏の気圧に殆んど同時性をもつ, 大規模な準周期的変動があることを発見した. 周期は同様に約15日である. 従って温度と気圧の準周期変動は, 一つ或はそれ以上の現象に影響を及ぼす. またこの約15日の変動は成層圏におけるアリューシャン高気圧の西への移動と関係があり, また前に議

論した約30日間で高度変化量の中心が極を一周する高度の5日高度変化量と関連性がある. それ故この準周期変動は波数1ないし2の超長波の運動の反映すると考えられる. この成層圏と対流圏との間の関連性は年間を通じては成立しないようである. 成層圏高気圧がその年の始めに発生してからこの関連性は始まり¹⁸⁾, 2月ないし3月の成層圏の突然昇温があって終止する¹¹⁾. Fig. 16はこれを図示したものである. 突然昇温は成層圏に特有の現象である. 陳 (Chen)¹⁷⁾は1957年以来このような突然昇温について解析した. そしてこの昇温は極めて頻繁に成層圏高気圧, 特にアリューシャン高気圧の北東と北西部から始まることを見出した. 陶 (Dao)¹⁹⁾は1958年1月末の異常昇温を解析した, そして対流圏循環に影響を及ぼすことを示した.

成層圏循環の季節変動はまた重要な課題である. 陶 (Dao) は, 1958—1960年の成層圏の東西風系の季節的交代の時間変化について研究した. この結果交代は非常に短期間で行なわれることがわかった. 中, 高緯度では, この変化はより高緯度で起きてから二週間経て行われる. この季節変動の始まりは年により差がある. 発生

の時期の差は約1ヶ月である*。この研究において筆者はさらにこの季節変動の間に、対応する対流圏の変動であることを明らかにした。10月のアリューシャン高気圧の形成の研究で、陳(Chen)と李(Li)¹⁸⁾はこの高気圧が、叶(Yeh)、陶(Dao)、李(Li)の三者によって調査された矢張りこの月の対流圏循環の大規模な季節変動と附随して形成されることを指摘した。

前述の研究からわれわれは大規模な成層圏と対流圏の大循環の間に良いカップルがあるという結論に達した。従って、大規模な対流圏循環の激しい変動を良く予報するには、超長波の機構の役割について研究が必要である。スケールの解析から Burger²¹⁾が求めたこれらの波に対する簡単なうず度方程式を使って、王(Wang)と叶(Yeh)²²⁾は超長波の不安定基準について検討した。そして偏西風の鉛直シアが不安定性に影響する唯一の要素でないことを明らかにした。もっと重要な要素は、静安定度の鉛直分布である。超長波の不安定は、通常上層大気における安定層を必要とするが、成層圏の存在はまさにこの条件を満足するものである。

冷熱源の大規模の分布や地形は、超長波の働きに重要な役割を演ずるのであるということには想像に難くない。鉛直方向の静力学的成層における不均等性を考慮して、朱(Chu)は定常的な大気の冷熱源と地形に起因する ω ($= \frac{dp}{dt}$) の垂直分布を ω -方程式から計算した。P の関数として ω を求めれば、1パラメーターモデルによって任意の層の大気運動の冷熱源と地形による役割を検討することが出来る。このモデルの線型化したうず度方程式は、次のようになる。

$$\nabla^2 \frac{\partial z}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 z + \beta \frac{\partial z}{\partial x} = A_i \bar{Q} - B_i u_i \frac{\partial \eta_i}{\partial x} - C_i \nabla^2 z_i \quad \dots (7)$$

$i=1, 2, \dots$ は大気層を表わす。特に朱(Chu)は(7)を 100mb ($i=1$) と 600mb ($i=2$) として解を求めた。 A_i, B_i, C_i は、摩擦や他の要素に関する係数である。 \bar{Q} は下層大気に加わる平均の熱量、 η は地形を表わす。(7) から位相速度は、

$$C_{ik} = U_i - \frac{\beta}{k^2 + m^2} - \frac{A_i}{k(k^2 + m^2)} \frac{\bar{Q}_k}{Z_{ik}} \sin(\delta q_k - \delta_{ik}) - \frac{B_i u_i}{k^2 + m^2} \frac{\eta_k}{z_i} \cos(\delta \eta_k - \delta_{ik})$$

ここで k と m はそれぞれ南北および方向の波数であ

る。 Z_{ik} と δ_{ik} はそれぞれ波数 k のじょう乱波の位相角である。 δq_k と $\delta \eta_k$ は熱源および地形の位相で \bar{Q}_k と η_k はこれらの振幅を示す。上式は地形と同様に熱源の効果が超長波に関して最も効果をもつことを表し、しかも短波 (k と m の大きさ) に対して効果がないことを表現している。(8) 式による計算結果は、熱源分布や地形が超長波を、ある地理上の地点で継続振動させ、普通の長波は東進させる傾向を示す。これは部分的ではあるが、大きなトラフやブロッキング高気圧がある地理上の特定域に出現する傾向があることを説明していよう。

じょう乱の振動の変動がまた朱(Chu)によって計算された。超長波の強度の変動期間は10~30日であり、この結果は観測と一致する。

朱(Chu)はまた固有解からじょう乱が超長波の範囲では上への強度の増加があることを見出した。このことから、成層圏の非常に大規模な定常的じょう乱は、熱源分布と地形から説明できよう。

われわれの議論を結論づける前に、成層圏循環と同じように対流圏循環の過程が太陽活動と関連をもつことを指摘する必要がある。このような意味で揚(Yang)と二三の人達^{24), 25)}は、地球大気に太陽からの強い微粒子放射が浸透した後の成層圏の温度変化と共にユーラシアにおける大循環の変動について研究した。強い地磁気のじょう乱があって三日以内に成層圏の温度は普通高緯度で高まり、中、低緯度では下り、さらにアジア地区の南北循環が強化されることを見出した。また強大な磁気嵐があると、普通約27日の週期で中国の気温の変動が激しくなると云う興味深い事実がある。

この章で前に述べた議論を総括すると、少くとも冬の間、高緯度では対流圏循環の大規模な変動は成層圏の大規模な活動とかなり関連がある。それ故、ある対流圏の流れの場を良く予報するには成層圏循環の状態に注意を払わなければならない。ある対流圏循環の評価は、成層圏と結びつきがあるだけでなく、太陽活動にも関連がある。従って、この線に沿ってさらに以上以上の調査研究を行う必要がある。

最後にすべて上述の議論は、中国地球物理研究所の調査研究の一端を述べたに過ぎないことを付け加えたい。大規模の天気過程に関する研究はまた中国気象局や中国の諸大学でも研究されているのである。

文 献

- 1) Chu, B. -C. and Others: The annual variation

* 訳者註: 1958年西風が東風に変わった時期は5月10日、1960年は4月10日、東風より西風にかわつたのは1958年8月25日で1960年は9月1日。

- of the mean heat sources and sinks over the northern hemisphere and its relation to the general circulation. Collected papers on Dynamic Meteorology, (I) Institute of Geophy. and Met., 1961.
- 2) Chi, J. -C. and Liu, R. -C.: The distribution of heat sources and sinks over northern hemisphere for winters of 1956 and 1957 and its relation to the mean flow pattern. *ibid.*
 - 3) Yeh, T. -C. and Others: Studies on the blocking situations of Northern Hemisphere in winter. Institute Geophy. and Met., Academia Sinica, 1962.
 - 4) Defant, F.H. and Taba, H.: The strong index change period from January 1 to January 7 1956. *Tellus*. 10 (1958), 225-242.
 - 5) Yeh, T. -C. and Others: The variation of various transfers of the atmospheric physical quantities and energy transformations during the breakdown and formation of Zonal circulation. *Acta Meteorological Sinica*. vol. 31, (1962) No. 3-4, 245-266, 289-303 pp.
 - 6) Yeh, T.-c., and Others: Numerical experiment for the formation of blocking highs. (to be published).
 - 7) Chang, H. -f. & Liu, R.C.: Numerical experiment for the formation and breakdown of brocking highs in winter. Collected Papers on Dynamic Meteorology (11), Institute of Geophy. & Met., 1963.
 - 8) Chu, Y-T: A quasi-nondivergent model including the non-uniformity of baroclinic stratification. *ibid.*
 - 9) Wang C. -H. & Chang, Y-K.: A schema of the numerical solution for the balance equation and its numerical result. *ibid.*
 - 10) Dao, S-Y, etc: On the seasonal variation of the general circulation of the lower statosp here. To be appeared in "collected papers on the general circulation of the stratosphere." Institute of Geophy. and Met.
 - 11) Dao, S. -Y. & Chen, L. -S.: Some aspects about the interaction between the stratospheric and the tropospheric circulation in middle and high latitudes during the winter. *ibid.*
 - 12) Sun, S.C. & Others: The interaction between the stratospheric and the tropospheric circulation. *ibid.*
 - 13) Charney, J.G.: and Drazin, P.G.: Propagation of planetary-scale disturbances from the lower into the upper atmosphere. *J. of Geophy. Research*, v. 66, (1961) 83-109.
 - 14) Chen, L. -S.: The vertical propagation of disturbances of various scale in atmosphere in a non-geostrophic model. To appear in "collected papers on the general circulation in stratosphere." Institute of Geophy. and Met.
 - 15) Hare, F.K.: The disturbed circulation of the arctic stratosphere. *J. Met.* 17 (1960), No. 1.
 - 16) Teweles, S., Rothenbery, L. & Finger, F.G.: The circulation at the 10-millibar constant pressure surface over North America and adjacent ocean areas, July 1957, Through June, 1958. *Mon. Weath. Rev.* 88 (1960), No. 4.
 - 17) Chen, L.S.: The variation of general circulation and the explosive warming in the middle straosphere during winter. *Acta Meteorological Sinica*. v. 32 (1960), 44-62.
 - 18) Chen, L.S. & Li, W.L.: Analysis for several process of the formation of the stratospheric Aleutian High. (unpublished).
 - 19) Dao, S.Y. and Others: Harmonic Analysis during the period of explosive warming in the stratosphere. To appear in "collected papers on the gneral circulation in stratosphere" Institute of Geophysics and Meteorology.
 - 20) Yeh, T.C. & Others. The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October. The Rossby Memorial volume (1959), 249-267.
 - 21) Burger, A.P.: Scale consideration of planetary motions of the atmosphere. *Tellus*. 10 (1958), p. 195-205.
 - 22) Wang, S.L. and T.C. Yeh: Some aspects on the dynamics of ultra-long waves. To be published.
 - 23) Chu, P.C.: A preliminary study on the activitites of ultra-long waves in relation to the dynamic controll of large-scale heat sources and orography. (To be published).
 - 24) Yang, C.C. and Others: The solar activity and the general circulation of atmosphere. (To be published).
 - 25) Yang, C.C.: The temperature variation in China after the great geomagnetic storms. *Acta Geophy. Sinica*. v. 10 (1961), No. 2.