

- る。
- (5) 北半球の亜熱帯高気圧が、実況とくらべて弱すぎる。
- (6) 熱帯収斂帯 (ITCZ) が北に偏倚しすぎている(計算 $20^{\circ}\text{N}$ 付近・実況 $10^{\circ}\text{N}$ 付近)。
- (7) 冬のシベリア高気圧の位置が南に偏りすぎている(計算の中心の位置 $40^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{E}$ 付近; 実況の中心の位置 $50^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{E}$ 付近)。

4. 大気・海洋の大循環の変動のうち、その季節変化の物理像が、ぼつぼつ創り上げられようとしている。この物理像がしっかり固ってこそ、ノルマルからの偏倚(すなわち、アノマリー)についても、少しずつ理解されていけよう。数値実験が、ひとつの道具として大いに役立つことを期待すると共に、日本でもがっちりした仕事が築かれるよう努力していきたいと思う。

## 成層圏突然昇温について

松野 太郎\*

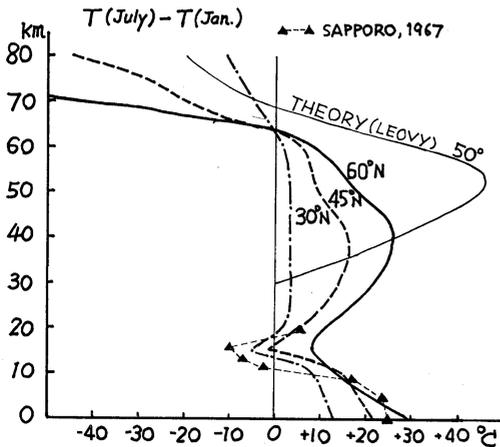
### 1. はじめに

大気大循環の季節変動の一つの側面として成層圏突然昇温を論じるのが与えられた課題である。この小論ではまず背景をなす成層圏循環とその季節変動について知られている事を概観する。次いで突然昇温についての観測事実をまとめ、それを説明し得るような突然昇温発現機構のモデルを提出する。議論の最後の部分ではこのモデルを正しいと仮定してそれから突然昇温に関連した諸問題について何が言えるか考察してみたい。

### 2. 成層圏循環とその季節変動

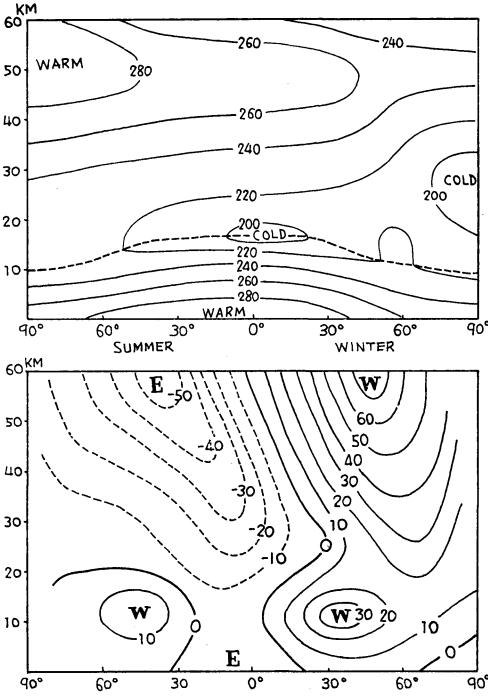
観測事実 大気のいろいろな部分での季節変化の様相を示すめやすとして気温の年変化の大きさ、(7月の平均気温)-(1月の平均気温)を緯度・高さの関数として調べてみる(第1図)。当然の事ながら対流圏では夏の方が冬より気温が高く、年変化の幅は $10\sim 30^{\circ}\text{C}$ である。年較差は高さと共に減って圏界面近くでは $5^{\circ}\text{C}$ 以下になり、又わずかではあるが中緯度の下部成層圏で位相の逆転、すなわち夏に冷く冬に暖い状態がみられる。このあたりでは南北の温度傾度が対流圏と逆になるが季節変化も逆転している。25~60kmの成層圏の主要な部分では温度は「順変化」で年較差は高緯度程大きく極で $40^{\circ}\text{C}$ に達する。中間圏ではふたたび「逆変化」がみられ、しかも変化の幅は著しく大きい。極地方の80km上空では極夜の1月の方が陽があたりつづける7月よりも $60^{\circ}\text{C}$ も暖いのである。この手の不思議な現象が中間圏電離圏にはいろいろあるが当面の主題とは離れているのでここではふれない。

さて次に循環のもようを調べてみると成層圏は対流圏に比べ著しい季節変化を示す。第2図は地上から60kmまでの気温及び平均東西風の分布で、北半球の1月と7月を対にして示したものである。大まかに言って対流圏及び赤道近くの下部成層圏では、温度・風系共夏冬両半球に対称に分布しているがこれは季節による変化が緯度による変化よりも小さい事を意味する。すなわち年を通じて中緯度に西風ジェット、低緯度に貿易風がある事が変りはなく、程度の差はあっても気温は赤道から極に向けて低くなっている。成層圏に目を移すと事情は一変



第1図 (7月の平均気温)-(1月の平均気温) 上層はロケット観測の結果, Kantor and Cole (1965) の資料より。

\* 東大理学部



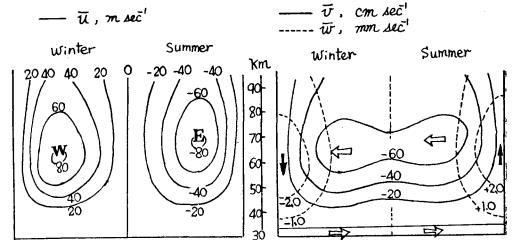
第2図 気温(上)と帯状流(下)の緯度—高度分布. CIRA '65 をはじめいくつかの文献をもとに模型化.

し、風系・温度傾度とも季節によってすっかり入れかわってしまふ。

すなわち夏半球は全域で東風が吹いており一定高度の気温をみると赤道から極に向けて高くなり夏極で最高となる。冬は西風となりその中心はほぼ45°N, 60kmに位置する。この風系の下端は30km以下で60°~65°Nに強風軸(30~50m/s)をもつ幅のせまい流れとなり、しばしばこの部分を指して極夜ジェットの名が使われる。気温は赤道から極に向けて低くなり「極夜」の部分は特に低い。さて第2図をよく見ると完全な反対称ではなく例えば西風は最大80m/s, 東風は50m/s位で僅かな差がある。これは「重ね合わせ」で考えれば季節によって反転する部分の他に定常部分が含まれており、それは西風(温度傾度でみれば赤道を中心に両極が低い)であると解釈される。

**理論的説明** 以上のように成層圏の大気循環は夏と冬で全く様相を異にし、従って対流圏についてしばしばやるように「年平均の状態」を考えることは余り意味をなさない。従って成層圏以上の循環を論じるには必然的に全球にわたる年周振動の問題として扱う事になる。大気

循環の励起源はいうまでもなく日射の吸収であるが、その場所はオゾン層と地表面の二つに分れ、それによってほぼ独立に二つの循環系が生じていると考えられる。成層圏・中間圏での放射熱収支を大気成分ガスの吸収係数をもとに計算する試みはいくつか行なわれているが(Leovy, 1969), その結果によると、加熱・冷却は第2図の温度から推測されるように、夏冬両半球に反対称に分布し、その中心は高さ50km辺のそれぞれの極に位置し、強さは±10°C/dayの程度である。極夜が冷却の中心になるのは当然として、夏極が赤道よく多く加熱されるのは奇異に感じられるかも知れないが、日照時間が長い事と、入射角が低いため光路がのびて吸収が大きくなる効果のせいと考えられる。このような熱冷源分布によって駆動される対流運動を運動方程式の解として求める試みはSawada and Matsushima(1964)とLeovy(1964)によってなされている。現実的な熱冷源分布を用いている後者の結果を第3図に示す。図からわかるように夏半球で暖められた空気は上昇して冬半球に向かって流れる。この流れがコリオリの力によってかたよらされて夏半球の東風・冬半球の西風をつくる。子午面循環を閉じる為の逆の流れは密度の大きい下層にあるため流速は小さくこれによって生じる帯状流は事実上無視される。熱冷源の垂直方向のひろがりスケールハイトの何倍も大きい為で、この点对流圏や回転水槽のハドレー循環と趣を異にしている。



第3図 理論的に計算された成層圏・中間圏循環. Leovy (1964) による.

対流圏の季節進行は太陽高度の変化に40日位おくられているが成層圏循環では15日位だという(第4図参照)。この違いの原因は対流圏大気が海洋という巨大な熱溜に接し、それと上下対流によって短絡されている為、熱源の変動を追いかける時定数が長くなっているせいと考えられる。同じ理由により対流圏大気は輻射加熱のうち1年同期成分に対して余り応答せず、温度分布や循環は主として定常成分によって決められる。成層圏は大気自身

以外の熱容量をもたないからその熱的緩和時間は10~20日の程度と短く、1年周期あるいはもっと短い周期にもよく応答する。低緯度における日射の半年周期変動に対応する対流圏の現象は殆んど聞かないが40~60kmの高さでは帯状流が振幅20m/s位の半年振動を示す。

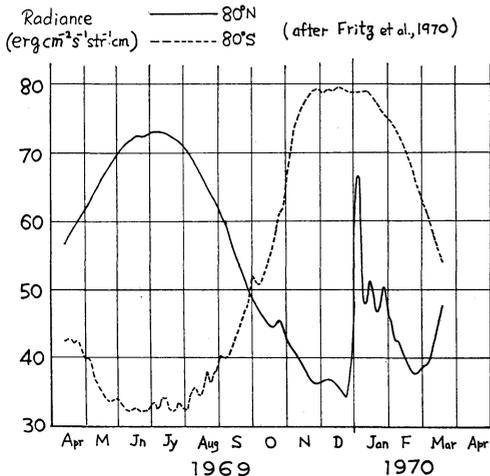
さて季節変動という主題を離れるけれど成層圏循環の理論についての問題点を記しておきたい。成層圏での両極の気温差は40°C程でこれは対流圏の極・赤道間気温差30°Cと殆んど差がない。一方これを生み出す加熱差は成層圏では±10°C day<sup>-1</sup>、対流圏では±0.5~1°C day<sup>-1</sup>と1桁違う。温度差/加熱差という量を考えるとこれは熱冷源を切った時、対流によって温度差が解消する時間であるから対流緩和時間とも呼ぶことができ、熱輸送能のめやすを与える。これを計算すると対流圏は20日、成層圏は2日となる。Leovyの理論では120°C/6°C day<sup>-1</sup>=20日となり実測の「高能率対流」の説明になっていない。あるいは「スケールハイトよりも深い循環」の為の見かけだけかも知れないが興味ある問題だ。

3. 突然昇温——観測事実

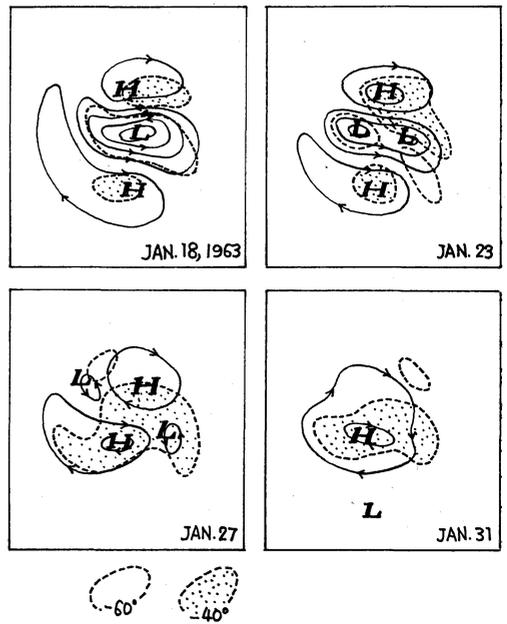
気温変化 第4図に南北両極地方での気温の変化の様子を Nimbus III で測られた CO<sub>2</sub>15μ 帯の放射強度でもって表す。高さ25kmに最大の重みをもつ15~40km層の平均気温で放射強度1の変化がほぼ気温1°Cに相当する。1970年1月に80°Nの気温が1週間位の間に急上昇し真夏のレベルにまで達している。昇温の期間は10日の程度であり、ゾンデ観測の知識によれば昇温層は時と共

に弱まりながら下層に移ってゆき15km 辺りまで及ぶ(第4図が高さ方向の平均気温である事に留意すれば理解できる)。南半球には同じような現象は観測されていない。南半球の昇温と呼ぶのは図の69年10月にみられるようなもので北半球のものとは異っている。さて突然昇温の部分を除けば成層圏の気温は太陽高度に従ってきれいな季節進行を示している。この図は平均操作がかなり入っているが、そうでないゾンデの資料を見てもさ程違わず、対流圏での日々変動が季節変化の1/3程度である事を思えば分滑らかである。成層圏には高低気圧がないからで、もし我々が南半球のみを知っていたら「穏やかな成層圏」という常識が確立したであろう。何年前のシンポジウムで「成層圏で数日間に40°C 気温が上がることがどうして不思議なのか?」という問いが出されたが上記の観点からみてやはり驚くべき事だと思う。

天気図上の現象 突然昇温を総観的にみると単に局地的気温の上昇でなく半球的規模の成層圏循環の激変に伴って起こっている事がわかる。第5図にみられる主要な特徴をまとめると、(i) 極を中心とした西風の渦が変形し崩壊する。平均流と擾乱に分解してみると、波数2の波が増幅し同時に平均西風(極夜ジェット)が弱くなる。(ii) 高緯度・極地方の気温が急上昇し、低緯度より



第4図 気象衛星から測った赤外放射強度の季節変化。1 erg……の変化がほぼ1°Cに相当する。Fritz and Soules(1964)による。

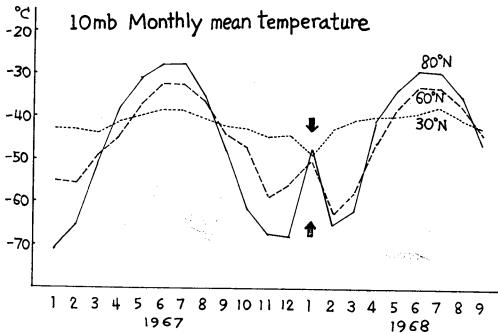


第5図 1963年1月突然昇温時の10mb天気図、実線：等高線 破線：-40°Cと-60°Cの等温線。Finger and Teweles(1964)より。

第 1 表

|                           | 計算の根拠   | エネルギー量又は輸送量   |
|---------------------------|---|---|
| a. 昇温量                    | 厚さ 20 mb が 10°C 昇温  | 48 cal cm <sup>-2</sup> ≒ 2 × 10 <sup>9</sup> erg cm <sup>-2</sup>                                    |
| b. 紫外放射                   | 太陽定数の内 3000Å 以下 × 0.1   | 4 cal cm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ≒ 2 × 10 <sup>3</sup> erg cm <sup>-2</sup> sec <sup>-1</sup> |
| c. O <sub>3</sub> 化学エネルギー | O <sub>3</sub> = 3/2 O <sub>2</sub> + 3eV*, O <sub>3</sub> 量 03. cm STP | 0.1 cal cm <sup>-2</sup> ≒ 4 × 10 <sup>7</sup> erg cm <sup>-2</sup>                                   |
| d. 波動の運動エネルギー             | 厚さ 20mb,  u'  =  v'  = 30m/s  | 0.5 cal cm <sup>-2</sup> ≒ 2 × 10 <sup>8</sup> erg cm <sup>-2</sup>                                   |
| e. 同上エネルギー輸送量             | Nitsa(1967), Matsuno(1970)  | 2 cal cm <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> ≒ 10 <sup>3</sup> erg cm <sup>-2</sup> sec <sup>-1</sup>     |

\* 如何なる反応が可能かわからないがとにかく両状態のエネルギーの差はこれだけあるという意味。



第 6 図 1967年1月～1968年9月の10mb面 30°N, 60°N, 80°Nでの月平均気温の変化。  
Meteorologische Abhandlungen の資料より。

も高温となる。(iii) 平均西風は消失し、かわって極をまわる東風が現われる(極を中心とした高気圧が形成される)。以上が一連の出来事で、ほぼ上の順を追っており、全体の時間は20日位、以後極地方はゆっくり冷却し西風の渦が再び形成される。

**季節変化との関連** 突然昇温期の気圧配置(極に温暖高気圧があり、周極東風が吹く)は夏型循環と同型である。そこで冬型循環が夏型循環に転換する季節変化が突然昇温という形をとるのだという考えがあった。しかし第4図で明らかのように真冬に起つた場合再び冬の状態に戻る所以この考えは成立しない。夏型循環が一時的に生じたもので、それもよく吟味してみると本当の夏とは異っている。第6図は1967～68年の10mbの月平均気温

\* Fritz and Soules (1970) は第4図にみられる昇温の場合について赤道を越え南半球まで降温がある事を示した。

\*\* 逆に先の計算ではd, eに対しては粘性による「熱化」を暗に仮定していた。大規模現象に対してこれは無理である。

の変化を示してあるが、本物の夏の場合には北半球全域の気温が上るのに対し突然昇温期には30°Nの気温はその前後よりかえって低くなっている\*。いわば低緯度の犠牲において高緯度が夏の如く振まっているにすぎない。

#### 4. 突然昇温の発現機構

**エネルギー論** まず「昇温」という事実に注目してそれに相当するエネルギーを計算し可能性のあるエネルギー源と比べてみよう。(第1表)

昇温は普通 10°C/day の割合で数日続くからb, eの補給では1ヶタ足りないし、bの蓋積であるcやeの蓄積であるdもそれを全部消費しても0.1日分の昇温しかまかなえない。太陽からの粒子輻射などUVはよりずっと少ないから見込みがない。……実は突然昇温に必要なエネルギーの計算の仕方に問題がある。ここでは単純に加熱を考えたが第6図でみたように昇温の時には低緯度に必ず降温があり両者は非常によく補償している。(Julian and Labitzke, 1965, Fig. 3; 但し彼らは何もコメントしていない。)従って大気全体でみれば正味の加熱ではなく低温と高温への「分離」がおこっているにすぎない。すなわちマルグレス問題の逆過程である。そうするとaの熱量を分離するに必要な仕事量は断熱効率  $\Delta T/T \approx 1/10$  として  $2 \times 10^8$  erg cm<sup>-2</sup> と計算され、これを1日でする仕事率はeで調達できることがわかる。この場合は「仕事」をしなればいけないのでbはそのままでは使えない\*\*。本物の夏の根本的相違点である。

**従来の研究** 極めてラフな議論でプラネタリー波のする仕事をエネルギー源とし残したが、実はこれは過去の数多い研究の積重ねの中で得られた重要な結論である。1952年に Scherhag が突然昇温を発見した当時は、現象の総観的記述が不可能だったし、対流圏の天気図を見る限りではこれという原因が掴めなかったので太陽面現象

等に原因を求めようとした。これがエネルギー的に無理なことはすでにみた。その後 IGY 等によって高層気象観測が充実し、突然昇温が成層圏循環の激変の一部である事がわかった。天気図上の現象で特に「周極渦の崩壊」という面に着目すれば最も自然な考えは流体力学的不安定と解釈する事であろう。Fleagle (1958), Murray (1960), Charney and Stern (1962) 等が安定性の議論をし、極夜ジェットが不安定になる事を示しているが現象を説明するのに難点がある。すなわち、(i) 不安定解が得られてもその成長率が小さすぎる (Hirota, 1968; 佐藤, 1970; McIntyre, 1970?) (ii) 不安定の条件が殆んどいつも満たされており特定の時期におこる理由にならない (Murakami, 1965) 等。更に「周極渦の崩壊がそれ自体の不安定性によってひとりでおこるものなら、水平・垂直シアー共北半球のそれに優るとも劣らない南半球の極夜ジェットが壊れないのは何故か?」という Wexler (1959) の指摘に答える事は困難である。一方実際昇温の起っている時の観測に基いてエネルギー変換の計算が多数行われた (Reed et al., 1963; Miyakoda, 1963; Sekiguchi, 1963; Julian and Labitzke, 1965; Murakami, 1965; その他)。結論に多少のバラツキはあるが、総じて言えることは、(i) 不安定なら当然卓越すべき平均場からプラネタリー波へのエネルギー変換はわずかで、(ii) 周極渦が崩壊する際のプラネタリー波の増幅は、対流圏からの上向きエネルギー輸送によるのみ説明され得る。の二点であろう。北半球では海陸分布のため南半球に比べてずっと大振幅のプラネタリー波が冬中存在しているから先程の疑問にも答え得る。こうしてエネルギー源の問題は解決したが、対流圏からの波動の侵入がどうして周極渦の崩壊に始まる一連の現象をもたらすのか? という突然昇温のメカニズムを説明することは未解決である。以後 Matsuno (1971) に従ってこの問題を考えてゆこう。尚、近年数値実験の手法によってこの問題がアタックされるようになったが (Byron-Scott, 1967; Manabe and Hunt, 1968; Miyakoda et al., 1970; Clark, 1970), 実験の結果はまだ実際現象をシミュレートしたとは言えない段階にある。

**プラネタリー波・平均流相互作用モデル** 次のように問題を設定する。成層圏・中間圏には 2. に記したよう

に冬の間極をまわる西風が吹いている。一方対流圏では海陸の熱的性質の差や山岳の影響で大規模な停滞性プラネタリー波が形成される\*。成層圏大気がこのような乱れた流れを下方からおしつけられた時、どのような反応を示すであろうか? この問題を解く基本方程式として、地衡風近似をした温度方程式と断熱の式を組合わせて得られるポテンシャル温度保存の式を用いる。われわれの問題に適した方法としてプラネタリー波の部分(1)と平均場(2)にわけ、前者では非線形項を省略する。慣用の記号を用いて書くと、

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x}\right) L(\phi') + \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} \cdot \frac{\partial \phi'}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$L_0 \left( \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} \right) = -\frac{1}{f} \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\partial \phi'}{\partial x} \frac{\partial \phi'}{\partial y} \right] + \frac{f^2}{N^2} \left( \frac{\partial}{\partial z} - \frac{1}{H} \right) \left( \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial x} \frac{\partial \phi'}{\partial z} \right) \quad (2)$$

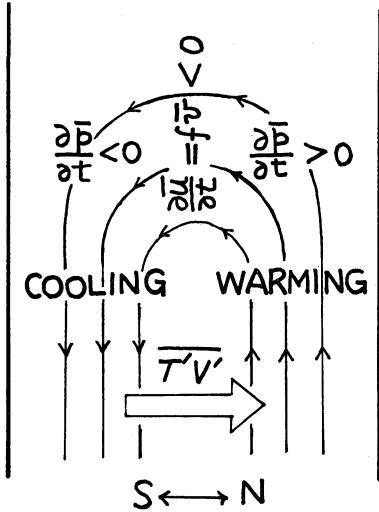
$$L \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{f^2}{N^2} \left( \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial y} \equiv \beta - L_0(\bar{u}) \quad \text{但し } L_0 \text{ は } L \text{ の第 1 項を } 0 \text{ としたもの}$$

となる。(1)は波動の伝達(及び発達・減衰)を記述し、その特性は $\bar{u}$ ,  $\bar{q}$ によって支配される。(2)は波による熱輸送や運動量輸送が平均場の変化を強制することを表わす。こうして波と平均場が相互作用する。尚上の方程式は地衡風近似の傾圧モデルと同等であり、われわれはこれから対流圏にプラネタリー波を含む状態を与えて成層圏の数値予報をするわけである。

**突然昇温のメカニズム**  $\bar{u}$ を与えて(1)の解を求める事はプラネタリー波伝播の問題としてよく調べられている(Charney and Drazin, 1961)。それによると停滞性擾乱は波長10,000km程度以上のものが10~50m/s位の西風の中でよく上方に伝播する。強い西風では波は反射されるし、弱すぎる西風の中では波の群速度が小さくなって実質的に伝播しない。東風の中では全く伝播不可能で、西風から東風に変わるような風速分布があると波はそこで吸収される(松野・重久, 1967, 1968; Dickinson, 1968)。このような場所を臨界レベル(critical level)と呼ぶ。成層圏天気図を見ると夏の東風が極の周りに殆んど完全な円をえがいて吹くのに対し、冬の西風には波数1~2の擾乱を含んでひどく蛇行しているが、これらの事実は理論とよく合っている。次に(2)の解の性質を吟味しよう。われわれの問題の重要な鍵は西風の弱まりと東風への転換を説明する事であるが、これは「成層圏へプラネタリー波が侵入する際、波の非線形効果は平均

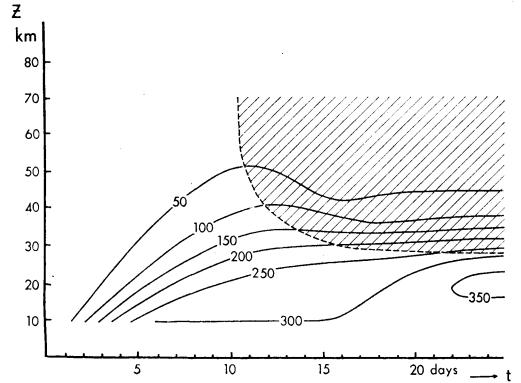
\* この問題は気象力学の重要課題のひとつで Charney and Eliassen (1949), Smagorinsky (1953) 等数多くの人によって論じられてきた。超長波のシノジウムで議論されている。



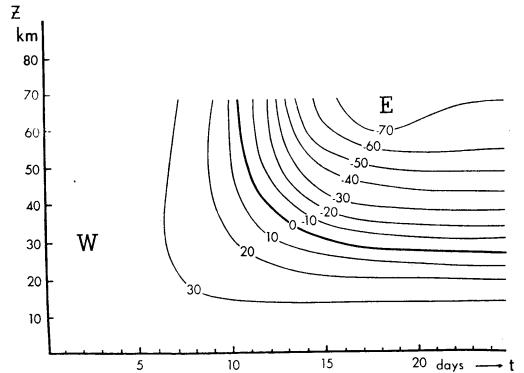
第7図 上向きに伝わるプラネタリー波による平均西風減速機構。

西風を減速するように働く」結果として解釈される。その機構を第7図に示す。子午面断面図で波は下から伝わり図の中程まで侵入した状態にあるとする。上向きに伝わるプラネタリー波は極向き熱輸送を伴う (Eliassen and Palm, 1961) ので丁度極側加熱・低緯度側冷却を与えたと同じになり図示するように平均子午面循環を誘起し平均西風の減速をもたらす。次に急激な昇温のおこる時期。63年1月27日の状況を考えてみよう。この時平均西風は殆んど消失しているから、前記の critical level になっている。この場合も波の非線形効果は第7図の如く作用し極側の昇温と東風加速が critical level 近くに集中しておこることがわかる (Matsuno, 1971?)。

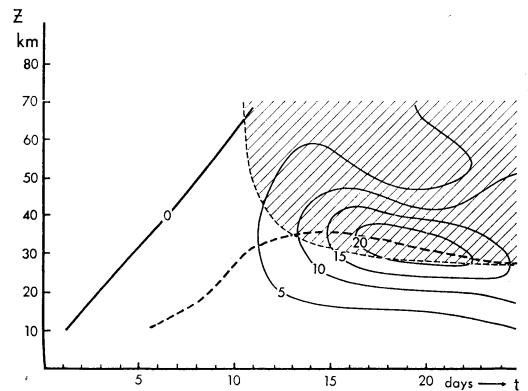
以上の準備を終え、突然昇温を段階ごとに区切つて上の結果を適用すると次のような物語りの筋がつくれる。先ず何らかの理由で対流圏で停滞性プラネタリー波が成長しかつ持続したとしよう。これは全くの仮定であるが突然昇温の前にブロッキングが起ることなどが指摘されている (Miyakoda, 1963) から経験的にはよからう。すると次のような一連の展開が期待される。(i) 擾乱は上方成層圏に伝播する。その際西風を減速するので、全体の場は周極渦の変形そして崩壊という形をとる。この間極側の気温は少し昇り又擾乱に伴う温度変化も大きくなる。(ii) 西風減速効果は密度の小さい上層にゆくにつれ大きくなるので遂には西風が消え東風を生じる。(iii) 一旦東風ができると critical level ができて後続の波はそれ以上への伝達を阻まれ、吸収される。平均場では極側



第8図 突然昇温の数値実験。β面近似，初期風速一定の場合，波動振幅の時間—高度分布。 $|\phi'| = |\phi'| \times e^{-(z-10\text{km})/2H}$ ， $\phi'$  = 波動の geopotential で単位は m。影は東風領域。



第9図 第8図と同じ計算で平均流の変化。



第10図 第8, 9図と同じ場合で極の温度の変化，影をつけた部分東風。

の強い昇温、それに見合う低緯度側の降温そして平均流の東風への転換がおこる。(iv) 東風加速の結果 critical level 及び昇温層は下降する。下層では密度が大きいので昇温の度合いは小さくなる。

**数値実験** (1), (2) 式を差分式に直し, 下端境界条件として 10km の所に仮定したプラネタリー波の振まい (数日間成長しあと一定強度を保つ) を与えて数値積分を行なった。まず最も簡単な  $\beta$ -面近似で初期条件として  $\bar{u} = \text{const} = 33\text{m/s}$  にとった場合の結果を第 8~10 図に示す。

前述の展開の主要点・波動の上方伝播西風の減速と東風への転換, 臨界レベルでの温度上昇をよみとることができよう。この例の場合には初期にシアアが全くなく, 以後は擾乱は熱の逆勾配輸送をつづけておりバロクリニックな発達は全くない。すなわち昇温は純然たる強制によっても生じ得る事が示された。次に地球の曲率を考え又初期の  $\bar{u}$  として第 2 図にみられる如き実際的な分布を与えて積分した。波数として, 1, 2, 3 をとり独立に計算した所 1, 2 の場合は突然昇温が起ったが 3 では見るべき変化を生じなかった。これは経験と合致している。波数 2 の場合の 13mb での高度, 温度の変化を天気図で

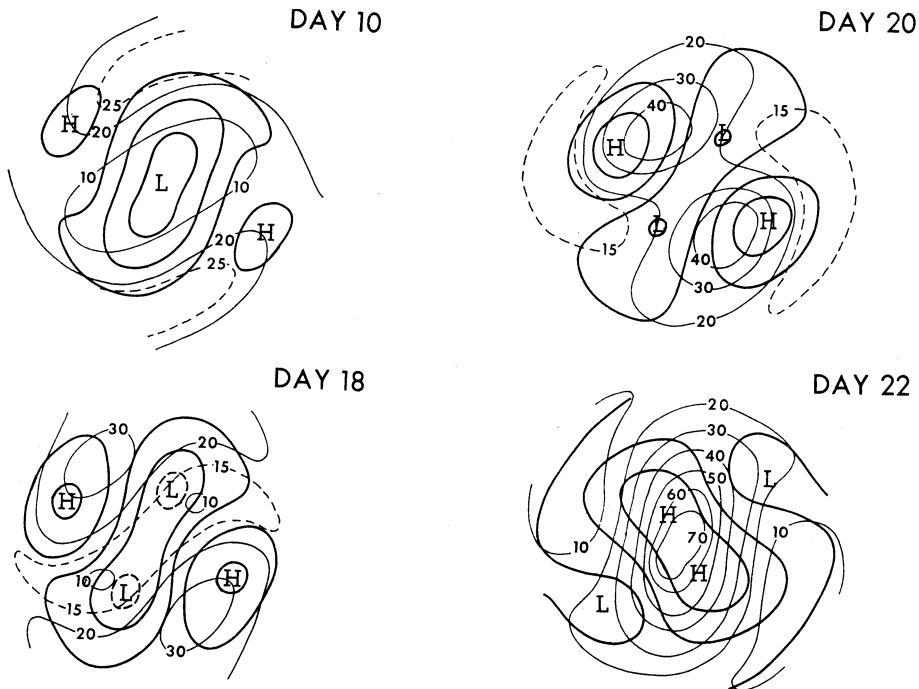
示す (第 11 図)。第 5 図に示した実際ととてもよく似た現象の展開がみられるであろう。Teweles (1963), Murakami (1965), Hirota and Sato (1969) らが突然昇温を含む期間について波と平均流を分離し, 各成分の時空での変化を調べているがその結果と先に記した筋書きは一応一致している。

## 5. 討 論

前述のモデルを正しいと仮定し, それに基いて突然昇温をめぐるいろいろな問題 (その中のいくつかは過去のシンポジウム等で出された) を考えてみよう。

(1) 突然昇温のおこる条件は何か? 対流圏のプラネタリー波が強かつ持続することが必要である。量的に criterion を定める為, 継続時間は無制限のまま擾乱の振幅をいろいろに変えて計算してみた所, 時間がたてばいずれは起るという結果になってしまった。実測の解析によると大振幅の擾乱が 15 日以上も続くのは稀なようなのでむしろそちらの条件の方が大事かも知れない。又各種の減衰効果との兼合いも考える必要がある。

(2) 突然昇温が逆に 対流圏循環に 影響し得るか? Wada (1964) は最終昇温の時期と冬の終りが関係があることを示している。真冬の昇温の場合も 100mb の気温



第 11 図 突然昇温の数値実験, 球面, 初期風速実測の冬の状態。波数 2 の場合, 13mb の高度 (太線) と温度 (細線), 30° より高緯度の部分のみ。8~11 図 Matsuno (1971) による。

はそのまま夏の側になってしまう例が多い。モデルでは突然昇温の際成層圏に於ける critical level によってプラネタリー波が吸収されてしまうが、そのことが対流圏循環に影響を与えることは充分あり得る。この問題に答えるには対流圏の擾乱の振舞を仮定せず全層を含めた計算をする必要があろう。

(3) 突然降温は何故ないか？ 降温の定義による。34節に記したように昇温と同時に低緯度では僅かながら降温がおこっている。β-面近似の計算では高低緯度は同等であるから降温も同じだけ生じる。実際には球面の効果で昇温のみが目立っている。完全な裏返しとして夏から冬になる時又は真夏に極地方に突然降温がおこらないかということであればそれはないと言える。東風の中をプラネタリー波は伝播しないからで、元をたどるとβ-効果が一方にしか働かないことに由来する。

(4) 数値実験で突然昇温が再現されないのは何故か？ (i) 対流圏のプラネタリー波が充分な大きさに計算されていない場合はおこらない。上下の分解能がわるいと西風減速が充分な強さにならない(うすい層に強くおこる筈のものを分散させてしまうおそれがある。)。 (iii) 上端に固定した天井をおくとプラネタリー波が反射され極向け熱輸送が不足するおそれがある。

(5) 突然昇温は低緯度の準2年周期の風の変動に影響されるか？ Labitzke (1965) がそういったことを主張している。一般に低緯度の東風帯は既成の critical level を提供するから、それがあれば、そしてより高緯度迄及んでいけば昇温をおこすのに有利な条件となろう。しかしその影響力は余り大きくはない。

(6) 太陽面現象等は全く関係しないか？ ひき金作用の可能性はない訳ではない。このメカニズムでは上層で critical level ができることがひとつの鍵となっているが、彼自身の非線形効果でなくても何か外因によって東風ができれば後は同じように現象が展開する筈だ。春分以後の最終昇温や南半球の昇温(10月以後)は季節進行によって生じた東風によって出発していると想像される。

(7) 1963年の昇温はかなりよく説明されているが、周極渦の完全な崩壊をともしなわれないような昇温もしばしば観測される。そのような場合にもこのモデルは適用可能であろうか？ 多くの場合「昇温」と観測されるものは極地帯の平均的昇温よりも、プラネタリー波の増幅に伴ってその暖域として生じている。そのような場合にも非線形効果は極側の昇温をもたらす。その分だけ昇温が加

算され強調されるであろう。「有限振幅のプラネタリー波伝播」の結果であるという点で同一である。

## 6. おわりに

このモデルは多くの仮定と簡略化の上に成り立っている。対流圏のプラネタリー波の振舞いを都合のいいように仮定したことなどその最もたるものである。それ故仮にこのメカニズムが正しかったとしても、「突然昇温は何故おこるか？」という疑問に対しては答の半分しか与えられない。春の学会で「今まで突然昇温の話を決山聞いて来たがこれで終りになりますか」という大変光栄な質問をいただいたけれど、残念ながらそうなりそうにない。

「大気大循環の季節変動」というシンポジウムのテーマの包含するものの中で、私が担当した部分はひとつの特殊なできごとのこまかい議論である。他の話題とうまく噛み合うかどうか大変心配である。

謝辞 この予稿は夏休みを九大理学部ですごしている時にまとめたものです。沢田先生はじめ大気物理研究室の方々、中でも討論を下された瓜生さん、製図その他に御助力いただいた佐藤さんに感謝致します。

## 引用文献

- 1) Byron-Scott, 1967; Publication in Meteor. No. 87, McGill Univ.
- 2) Charney and Drazin, 1961; J.G.R., **66**, 83-106.
- 3) Charney and Stern, 1962; J.A.S., **19**, 159-172.
- 4) Clark, 1970; Mon. Wea. Rev., **98**, 443-461.
- 5) Dickinson, 1968; J.A.S., **25**, 984-1002.
- 6) Eliassen and Palm, 1961; Geofys. Pnblikasjoner **12**, No. 3, 1-23.
- 7) Fleagle, 1958; J.G.R., **63**, 137-145.
- 8) Finger and Teweles, 1964; J. Appl. Met., **3**, 1-15.
- 9) Fritz and Soules, 1970; J.A.S., **27**, 1091-1097.
- 10) Hirota, 1968; J. Meteor. Soc. Japan, **46**, 234-249.
- 11) Hirota and Sato, 1969; J. Meteor. Soc. Japan, **47**, 390-402.
- 12) Julian and Labitzke, 1965; J.A.S., **22**, 597-610.
- 13) Kantor and Cole, 1965; J. Appl. Met., **4**, 228-237.
- 14) Labitzke, 1965; 天気, **12**, 33-38.
- 15) Leovy, 1964; J.A.S., **21**, 327-341.
- 16) Leovy, 1969; Advances in Geophysics Vol. 13
- 17) Manabe and Hunt, 1968; Mon. Wea. Rev., **96**, 477-502.
- 18) Matsuno, 1970; J.A.S., **27**, 871-883.
- 19) Matsuno, 1971; J.A.S., 印刷予定.

- 20) 松野・重久, 1967, 1968; 日本気象学会1967年秋, 1968年春.  
 21) Murakami, 1965; J. Meteor. Soc. Japan, **45**, 205-231.  
 22) 村上, 1965; 天気.  
 23) Murray, 1960; J.G., R., **65**, 3273-3305.  
 24) Miyakoda, 1963; Tech. Rep. No. 14, Univ. Chicago.  
 25) Miyakoda et al. 1970; J.A.S., **27**, 139-154.  
 26) Nitta, 1967; Month. Wea. Rev. **95**, 319-339.  
 27) Reed et al., 1963; J.A.S., **20**, 265-275.  
 28) 佐藤, 1970; 日本気象学会1970年春.  
 29) Sawada and Matsushima, 1964.  
 30) Sekiguchi, 1963; Atmos. Res. Lab. Ubiv. Oklahoma.  
 31) Teweles, 1963; Mon. Wea. Rev., **91**, 505-519.  
 32) Wexler, 1959; Quart. J. Roy. Met. Soc., **85**, 196-208.  
 33) Wada, 1964; Geophys. Mag., **32**, 77-106.

## 書評

## 籾山政子著「疾病と地域・季節」

B 5 版 228頁 1971年7月文明堂

山 本 義 一

籾山さんの近著「疾病と地域・季節」は、表題の示す通りの分野について、著者の長年にわたる統計的な研究の成果を縦糸とし、この方面の内外の文献を渉獵して得られた著者の知識を横糸として織りなされたユニークな著作である。著者も自認しているように、疾病と季節の関係を説いた第Ⅲ部がことによくできている。豊富な統計資料によって“人間社会の進展と共に疾病死亡の冬季集中化が形成される”という事実を立証し、さらに一層生活程度の向上したアメリカ合衆国および北欧諸国では死亡の冬季集中の段階はすぐにすぎて、むしろ季節変動が緩慢化していることの説明の部分などは、説得力に富み、大家の論説のおもむきがある。著者が序文で粗雑な内容だと謙遜している疾病と地域について説いた第Ⅱ部も決して悪いできばえではない。そこに数多く示されている統計地図は、私のような門外漢にはいちいち新鮮で興味がある。それらの図の背後にかくされている筈の因果関係の説明について、著者がひかえめな態度をとっているのも、学者として良心的なあり方であると思う。このような多くの分野にまたがり、複雑な機構が予想される問題については、まず統計的に意味のある事実を抽出してその特徴を記述すること自体が大変価値のあることである。このことはその機構の解明という困難な、しかし興味のある問題に対する若い研究者の食欲をそそらな

い筈はないと思う。

ここで評者の希望をのべるならば、本書に述べてあるマラリヤ以外に、もっと多くの疾病のグローバルな分布について資料をあつめてのせてほしかつた。そうしたグローバルな分布図には地域の特性、文化の程度、気候などの総合的影響が見られるだろうという点で興味があるからである。

個人的なことに言及して恐縮であるが、私は地理学が好きで、若い頃地理学を専攻しようかと真剣に考えたこともあった。いろいろの統計的結果が表示されている地図や、同様の趣旨のグラフを眺めていると、自分なりに感想や空想がわいてきて、時のたつのを忘れる。これはいまに至つても私の楽しみの一つである。籾山さんの著書を読むことによって素材が私にとって新鮮であったという点と、私の嗜好を満足させてもらったという意味で二重の楽しみを味わった。

この本は医学、地理学、生態学、気候学の専門家は勿論、広く一般の知識人にも読んでもらい度い本である。

(山本義一)

(付記) 本書の書評は本誌前月号に吉野正敏教授のものが掲載されているので、併せて読まれるよう希望する。  
(天気編集委員会)