

~~~~~  
長期予報研究  
~~~~~

グロース ベッター

第 7 卷 第 3 号

—— 目 次 ——

寒候期における太陽活動の極東 500 mb 高度場に対する影響

について 王 煥 徳 1

北半球の成層圏中下部における大気環流の季節変化について

陶 詩 言 8

以上 広島地方气象台 太田盛三紹介

成層圏と中間圏の関係について A. H. Sharpley 24

高松地方气象台 松岡 隆紹介

1969年 7月

L F グループ

寒候期における太陽活動の極東500 mb 高度場に対する影響について (冬半年太陽活動対東亜500毫巴等圧面高度場の影響)

王 煥 徳

中国科学院地球物理研究所、平流層大気環流及太陽活動対大気環流影響の研究、科学出版社、
1964、 広島地方気象台 太田盛三 紹介

概 要

本論文は1957~1962年1~4月および1957~1961年10~12月の89か月内に起つた68回の強烈な地磁気擾乱日に対し、同種時刻別に天気図を重ね合せて合成平均図を求める方法を用いて行なつた研究を示すものである。すなわち地磁気擾乱日の2日前、当日、2~5日後などに対し、極東($90^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\sim 65^{\circ}\text{N}$)における500 mb 高度の変化をStudent tの検定方法を用いて調べると擾乱日に対し2日前および4日後の図では、すべて高度変化量がかなり広範囲な区域において0.05危険率の信頼限界を越える有意性を示し、いちじるしくはつきりした傾向を示した。また地磁気静穏日の2日前から6日後に至るまでの2地点(180°E , 40°N ; 180°E , 55°N)における500 mb 高度についても調べて見たが、この場合には、あまりはつきりした傾向はあらわれなかつた。結論としては、強烈な太陽粒子流が地球に侵入すると冬季では極東における定常的な長波の谷の区域では等圧面が先づ上昇し、その後下降をつづけ、3、4日後にはさらにいちじるしく下降することが認められる。そのほかでは太陽活動の影響による緯度圏に沿う大気輸送強度の変化傾向は中緯度と高低緯度とで相反している。また太陽活動の影響程度は定常的谷の部分と定常的尾根の部分とでも傾向が相反しており、地磁気擾乱日以前と以後とを比べても相反している。

1 は し が き

対流圏中上部に及ぼす太陽活動の影響については、すでに最近10数年来各国で少なからぬ研究が行なわれている。例えばB. Duell と G. Duellは西ヨーロッパの海面気圧に及ぼす太陽活動の影響を研究したが、500 mb 高度についても調べ、強烈な太陽彩層爆発の24時間後西ヨーロッパでは500 mb 等圧面高度場が、いちじるしく変化することを発見している。B. Valnicšek もまた北欧における500 mb 高度に及ぼす太陽彩層爆発の影響について研究した。また米国コロラドの高山観象台地日研究所 (Institute for Solar Terrestrial Research) では寒候期の800 mb と500 mb におけるアラスカ、アリユーション方面の低気圧や気圧の谷の移動、発達に及ぼす太陽活動の影響のいちじるしいことが発見されている。また対流圏の大気に及ぼす太陽活動の影響は各地域

によつてかなり異なるということも指摘されている。

しかし一方では太陽活動と大気環流の特徴をあらわす各種指数との間に、はつきりした関係がないという説もある。したがつて対流圏中層の等圧面高度場やその大気環流系の移動および発達に対し、太陽活動のはつきりした影響がないのかどうかということは研究するだけの価値のある問題である。本論文では研究資料の期間内に現れた68回の強烈な地磁気擾乱の前後における極東500mb高度場の変化を重ね合せによつて合成平均図を求める作図法を用い若干の初歩的な問題を調べた。東半球における環流系の移動や発達に対する影響については、また別の機会に討論するつもりである。

2 資料と方法

研究対象の期間は1957~1962年1~4月と1957~1961年10~12月の39か月で、地域は $90^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\sim 65^{\circ}\text{N}$ とした。さてわれわれは地磁気擾乱をあらわすものとしてはKp 指数を用い、地球に達した太陽微粒子の量の程度を示した。そこで毎日のKp の値に対し、3日間連続の移動合計値を求め不規則変化を除くと、これらは非常に明瞭な周期性を示した。

次にKp の3日移動合計の変化を示す平滑曲線の極大点の値を b_{kp} 、その両隣りの極小点の値をそれぞれ a_{kp} および c_{kp} とし、さらに

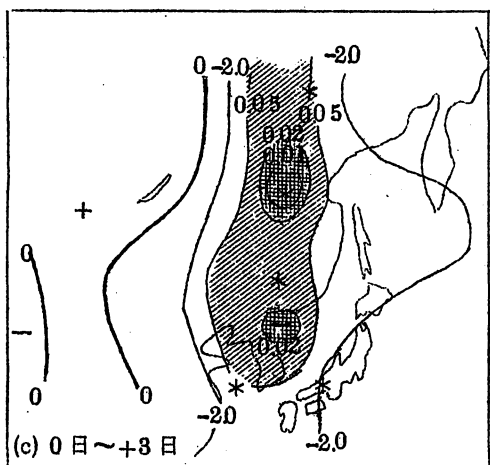
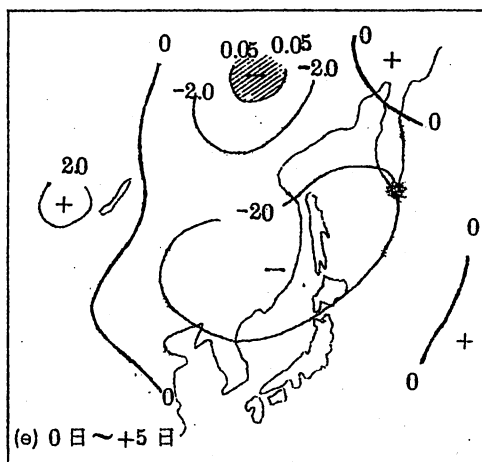
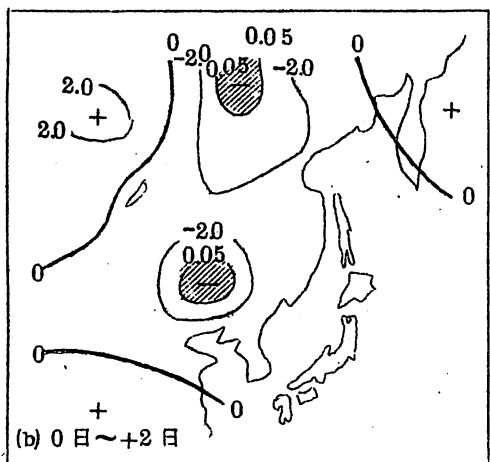
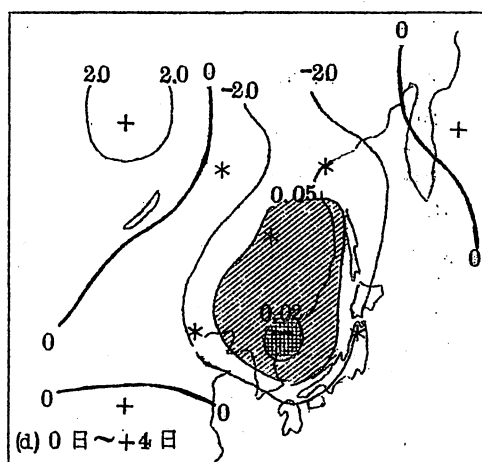
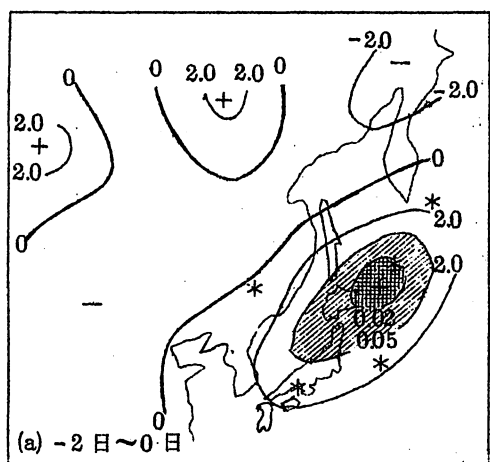
$$2b_{kp} - (a_{kp} + c_{kp}) \geq 80$$

となるような極大点を取り、この極大点に対応する8日間における中央の日を特に地磁気擾乱日として選んだ。そしてこのような方法で39か月中68回の地磁気擾乱日を選び出し、これらに対し1日後、2日後、3日後……を、それぞれ+1日、+2日、+3日……とし、1日前、2日前、3日前……を-1日、-2日、-3日……とした。そして更に極小値 c_{kp} の両隣りの極大値をそれぞれ b_{kp} , d_{kp} とし

$$2c_{kp} - (b_{kp} + d_{kp}) \leq 80$$

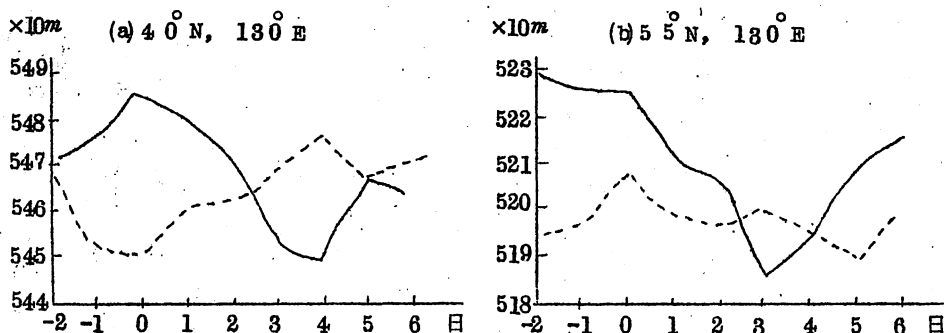
になるような場合から、前と同様な方法で地磁気静穏日を決定すると、このような日は67日であつた。本文はこれらから大気及ぼす太陽活動の影響を研究した結果を示している。

そこでまず、緯度 5° 、経度 10° ごとの格子点を取り、68この地磁気擾乱日に対する500mb 高度変化の分布図を作つた。第1図(a) は地磁気擾乱日の2日前から当日まで、すなわち-2日から0日に至るまでの500mb 平均高度変化場を示すものであり、(b)~(e)図はそれぞれ0日から+2 +3 +4 +5日に至る平均高度変化場を示している。(たゞし単位は10m) としてさらに地磁気静穏日と擾乱日に対し2日前から6日後に到る期間の2地点(40°N , 130°E ; 55°N , 130°E)における500mb 平均高度変化曲線を作ると第2図のようになつた。



第1図 各期間における高度変化

(注) 実線は500mb高度変化の等値線で単位は10m、陰影部分は危険率0.05, 0.02, 0.01の信頼限界に対し有意性を示す区域、(a), (c), (d)図における*印は、いちじるしい有意性の検定に用いるために選んだ地点を示す。



第2図 地磁気静穏日(破線)と地磁気擾乱日(実線)に対し2日前から6日後までの
(a) 40°N, 130°E, (b) 55°N, 130°Eにおける平均500mb高度変化

3. 結果と統計的検定

第1図(a)より擾乱日の2日前から当日に至るまでの間では冬季極東に現れる長波の定常的な気圧の谷の区域(110°E以东)の南部と北部では正の変化領域があり、中部では負の領域となっており、シベリアにおける長波の定常的尾根の区域(110°E以西)とは符号が相反している。しかし(b)~(e)図では定常的谷の区域はすべて負の変化領域となり、シベリアの定常的尾根の区域では正の場であり、160°Eの線上でも小さい値ではあるが、正の変化場となっており、しかしながら最大の負変化場はやはり平均谷線の付近(130°~140°E前後)となつてゐる。

次に、このような現象を統計的に確かめるために、Student t の検定方法を用い、第1図における各点の高度変化量の有意性を調べた。すなわち

$$\left| \frac{\bar{\zeta}_i - \mu_0}{\frac{1}{\sqrt{n}} S} \right| \geq t\alpha \quad \text{なるとき}$$

$\bar{\zeta}_i$ と μ_0 の間には統計的有意差が認められ、はつきりした影響があるものとした。ただし $\bar{\zeta}_i$ は標本平均値で

$$\bar{\zeta}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \zeta_i, \quad \text{ここでは } n=68 :$$

μ_0 は母平均値であるが、検定の対象になつてゐるのは高度変化場であるから、ここでは

$$\mu_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \zeta_i \rightarrow 0 \quad (N \text{ が十分大なるとき})$$

したがつて、ここでは近似的に $\mu_0 = 0$ とおく。また S は標本標準偏差をあらわす。すなわ

ち

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\zeta_i - \bar{\zeta})^2}{n-1}}$$

また ta は危険率 α (ここでは $\alpha = 0.05, 0.02, 0.01$ とした。) に対応する信頼限界を示す。したがって

$$|\bar{\zeta}| \geq \frac{ta \cdot s}{\sqrt{n}} \quad \text{なるとき}$$

統計的に太陽活動の影響がいちじるしいと認めることができる。

以上の方法により統計的検定を行なった結果、第1図の一部では $\alpha = 0.05, 0.02, 0.01$ に対する信頼限界の値を越える区域が現れ、この部分では統計的に著しい有意性があるものと認められた。ことに第1図(a), (c), (d) は著しい有意性の区域の面積が比較的大きいが、われわれはこれらの図において有意性区域の付近に、それぞれ5点をえらび、それらの $ta \cdot s / \sqrt{n}$ の平均値を求めると、5点の平均値でさえも著しい有意性を示しているものがあつた。図において、これらの点は*の印で示しておいた。一方地磁気静穏日では両地点 ($40^\circ\text{N}, 130^\circ\text{E}; 55^\circ\text{N}, 130^\circ\text{E}$; 第2図参照) ともに+3 +4日において最もいちじるしい傾向を示し、第1表は両地点における地磁気擾乱日と静穏日前後の毎日と当日(0日)との間の高度変化に対する有意性の程度を示したもので×印は $\alpha = 0.05$ の場合でも有意性が認められなかつたものである。これより地磁気静穏日の高度変化はあまり著しいものではないことがわかる。

第1表 地磁気擾乱日と静穏日前後の当日に対する高度変化の有意性

時 期		前		後				
		-2日	-1日	+1日	+2日	+3日	+4日	+5日
40°N	地磁気擾乱	×	×	×	×	0.02	0.02	×
130°E	地磁気静穏	×	×	×	×	×	×	×
55°N	地磁気擾乱	×	×	×	×	0.01	0.05	×
130°E	地磁気静穏	×	×	×	×	×	×	×

(注) ×印は危険率 0.05 に対し有意性が認められなかつたものであるが、その他はそれぞれ 0.01, 0.02, 0.05 の危険率に対し高度差の有意性が認められる。

4. 若干の討論

さて地磁気擾乱日に対し-2日より0日までの高度変化場では第1図(a)より緯度方向に沿

う大気輸送強度の変化もいちじるしい地域的特性をもっていることがわかる。第2表は各緯度に沿って緯度5度ごとの高度変化の差が計算されているが、緯度に沿う大気輸送強度が正の値では強まり、負の値では減衰することを示している。したがって、この表によれば第1図(a)の期間中、定常的谷の区域(110°E以東)では中緯度で緯度に沿う大気輸送が強まっており、高低緯度では弱まっているが、一方定常的尾根の区域(110°E以西)ではこれとは逆の傾向を示しており、各地域によつて異なつた傾向を示していることがわかる。

第2表 各緯度沿つてとつた緯度5°ごとの第1図(a)における高度変化の差

緯度\経度	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°
60°-65°	+1.5	+0.5	-0.8	-0.7	-1.0	-0.1	-0.1	+0.2
55°-60°	+1.2	+0.5	+0.8	-1.3	-0.8	-1.1	+1.6	+1.7
50°-55°	-0.7	-1.0	0.0	-0.8	-0.4	+1.9	+2.5	+1.9
45°-50°	-1.1	-0.4	-0.2	+1.0	+0.9	+2.3	+1.2	+0.6
40°-45°	-0.6	-0.2	-0.7	+0.4	+1.8	+0.2	-0.7	-0.5
35°-40°	+0.3	+0.2	0.0	+0.3	+0.2	-0.6	-0.9	-0.4

(注) 高度変化の差に対する引き算の順序は60°Nから65°N, 55°Nから60°N, ……というようにとられている。

このような地域的な差異は第1図(a)においても見る事ができる。すなわち0日から+5日までの緯度に沿う大気輸送強度の変化傾向は、中緯度と高低緯度とで相反しており、尾根の区域と谷の区域に対しても相反した傾向を示している。そして第1図(a)と同(a)図とを比較すると、地磁気擾乱日の前と後においても相反した傾向になっていることがわかる。また陳烈庭は地磁気擾乱後における高緯度と中緯度とでは東西指数の変化傾向が相反していることを指摘したが、以上の結果は彼の研究ともよく一致している。第1図(b)-(e)の高度変化の分布を見ても強烈な太陽粒子流の大気突入後5日以内は冬季の平均谷の地域で等圧面高度が下降し、平均尾根の地域では上昇していることがわかる。ことに+3日と+4日では、その傾向が最もいちじるしく、これらは結局極東の大きな定常的谷が深まり大気の子午線に沿う大気輸送が強化されていることを意味している。そしてこれらもまた陳烈庭の指摘している結論とよく一致している。

一方第2図を見ると、地磁気静穏日以後では両地点(40°N, 130°E; 55°N, 130°E)ともに高度変化(破線)の傾向は、どちらもあまりはつきりしていない。これによつても太陽粒子の放射がいちじるしくないときには、それに対する-2日から+6日に至るまでの等圧面高度の変化もはつきりした傾向を示さないことがわかる。そしてこれらを地磁気擾乱日の変化(実線)と比較すると第2図の(a), (b)ともに0日では実線の方が破線よりも高く、+3日や+4日の所では実線の方が破線よりも低くなっている。

これらにより強烈な太陽粒子流が大気に突入するとき、冬季の極東平均谷地域では、まず、等圧面が上昇し、その後下降するということが認められる。そしてその下降は+3日、+4日において最もいちじるしいことがわかる。これらは第1図(a)と同(b)~(e)図の比較によつてもわかることである。さて文献によれば地磁気擾乱後では、アラスカにおける大きな谷が深まり西半球における大気擾乱が発達することが指摘されている。また別の文献でもヨーロッパと大西洋東岸地域において類似の結論が指摘されている。

結論として、われわれは太陽爆発後は対流圏中層部の大気擾乱が広大な範囲で強まっていることを認めたが、これは北半球全体についても、このようなことが可能ではなからうかと推察している。なお太陽活動のこの種の短期の影響や長期の影響には非常に類似した所があり、これに関しては多数の資料を用い信頼し得る結論を出した研究が、すでに発表されている。しかしながら何故強い地磁気擾乱が起きたときに大きな谷の区域で等圧面が上昇したり下降したりするのであろうか？ $\Gamma . A . B u r t o n$ は大きな磁気嵐のとき、これをあらわす指数と大気環流の状態をあらわす指数との関係を調べ、 $\Gamma . P . R a k i t o v a$ の理論を引用し、彼の調査結果を説明しようとした。しかし $R a k i t o v a$ の理論はまだ物理的に不完全な部分が多く、まだ単なる仮設に過ぎないので、満足な解釈を与えることはむずかしい。したがって今のところこの種の問題は未だ解決されていないようである。

5 結 論

以上述べた分析結果や討論により次のようないくつかの結論を得ることができる。

- (1) 強烈な太陽微粒子の放射が大気に侵入する際、冬季の極東における大規模な500mb平均谷の区域では、まず等圧面が上昇し、その後5日以内は等圧面が下降する。そして最もいちじるしく下降するのは3日または4日目ぐらいである。
- (2) 緯度に沿う大気輸送強度の変化は500mb面では中緯度と高緯度において相反した傾向を示す。また平均谷区域と平均尾根区域との間や、地磁気擾乱の前後などでも相反した傾向が見られる。
- (3) 地磁気静穏日前後における大規模な平均谷区域の500mb等圧高度の変化はそれほどはつきりした傾向は見られない。

本論文では楊鑑初先生からは懇切な御指導をいただき、陳烈庭、林学椿、梁幼林などの名諸兄からは非常に有益な討論をしていただいた。また本論文の作成にあたり、いろいろな人達から資料の整理や作図に協力していただいた。これらの方々に対して厚く謝意を表する。(参考文献省略)

(訳者 注)

恒星社発行の「新天文学講座第5巻、地球の物理」(p.184)によればKp 指数は次の

ように解説されている。”世界各地の地磁気観測所では、その地点の特定時間範囲における地磁気活動度を測定し、それを階級的にあらわしたK 指数を決定しており、さらにK の値の全世界にわたる平均を適当な方法でつくり、それをKp であらわしている。K 指数は地磁気活動が最も静穏な時を0とし、大きな磁気嵐のように最も荒れている時を9とし、0から9までの整数による階級で示されている。これに対しKp 指数の方は28階級に分れている。地球上には100か所を超える数の地磁気観測所があり、常時連続的に地磁気の各種要素を測定している。”なお本論文で扱われているKp 指数の値は原論文の文献〔8〕「Geomagnetic and solar data. *J. of Geophys. Res.*, 1957-62」によるものである。

北半球の成層圏中下部における大気環流の季節変化について（北半球平流層中下部大気環流の季節変化）

陶 詩 言

中国科学院地球物理研究所、平流層大気環流及太陽活動对大気環流影響的研究、科学出版社、1964

広島地方気象台 太田盛三紹介

概 要

1958～1962年の500、300、10mbの天気図を見ると北半球成層圏中下部における大気環流の冬から夏への季節転換期には、1958、1960、1962年では比較的小さく、1959、1961年では比較的小さく現れていることがわかった。おそい場合には、まず北極方面の低気圧部に高気圧が現れ、高緯度で西風が東風に変わり、このような区域が次第に南にひろがる。一方は同時に低緯度でも亜熱帯高気圧が北に向つて拡張し西風が東風になる。そして両高気圧が中緯度において合併し、結局最後には北極付近に中心をもつ大きな高気圧の気流系が北半球を支配し、冬型から完全な夏型の大気環流に転換する。

1959、1961年の早い場合には、北極方面における高気圧の出現に伴う西風から東風への転換は早くから現れ、そのような区域の南への拡張もいちじるしかったが、亜熱帯高気圧の北への拡張はあまりはつきりせず、兩年ともに熱帯方面における西風から東風への転換はあまりいちじるしくなかった。

一方夏から冬に向う場合には各年ともに変化過程がほぼ一致した傾向をもち、季節転換の時期もすべて大体同じくらいであり、その出現時期は8月の末頃から9月の初め頃であつた。その変化過程としては、まず北極方面に低気圧が現れ、この方面にあつた高気圧部は中緯度まで撤退し、低気圧の方はその後絶えず勢力を拡張し、中緯度まで南下した高気圧部も更に南への退却を継続する。このようにして北極区域に出現した西風域は容易に南へ拡張して行き最後に冬

型の大気環流が完成する。

次に 30 mb 温度場の季節変化を分析した結果を見ると、気圧場（あるいは風の場合）の転換時期と温度場の転換時期とはよく一致していた。なお筆者の討論は、最後には成層圏と対流圏との大気環流季節変化の时期的差異から成層圏大気環流の 2 年周期現象の存在にまで及んでいる。

1 は し が き

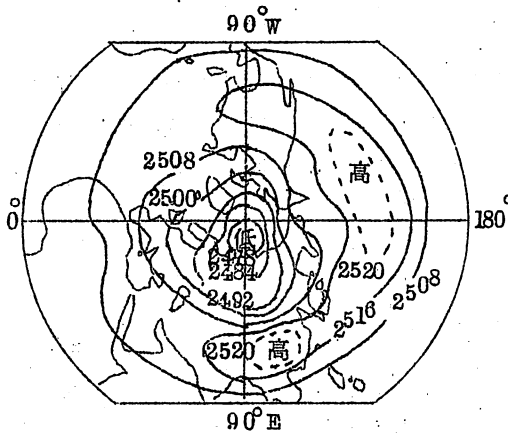
近年 Wege [1] などの成層圏天気図の開発以来いろいろな人達の努力により成層圏の大気環流に関する知識が急速に普及してきた。その結果、北半球成層圏では冬季は強大な北極低気圧性渦が全体を支配し偏西風が卓越するが一方夏季は逆に北極高気圧性渦の支配により偏東風が卓越し、温度傾度の方向も冬と夏とは相反しているという事実が明らかにされた。そしてこれらに関連する波及的課題も興味ある問題としていろいろ研究されるようになった。例えば Belmont [2] [5], Heise [4] の研究や、北米大陸におけるロケット観測網によつて作成された 1 mb と 0.5 mb の天気図の解析 [3] などであるが、まだ当時の討論の範囲は局部的区域に限定されたものが大部分であり、北半球全体に及んでいるものは非常に少なかった。しかし 1958 年以後西ベルリン自由大学の地球物理研究所では 50, 30, 10 mb の毎日の北半球天気図 [6] が出版されるようになり広域解析が可能になった。本文はこれらの資料の一部を用いて行なつた実験的研究である。

本研究の内容は各月の北半球の各緯度における 5 日平均地衡風東西成分の時間断面図、観測点として北極に最も近いアラート (60°W, 85°N) における 30 mb 温度の時間変化、45°N 緯度圏に沿う 30 mb 平均温度の時間変化、30 mb 15 日平均図による成層圏大気環流の季節変化の解析などである。なお討論の内容は 10 mb にまで達しているので成層圏の中下部に対するものであるといえる。

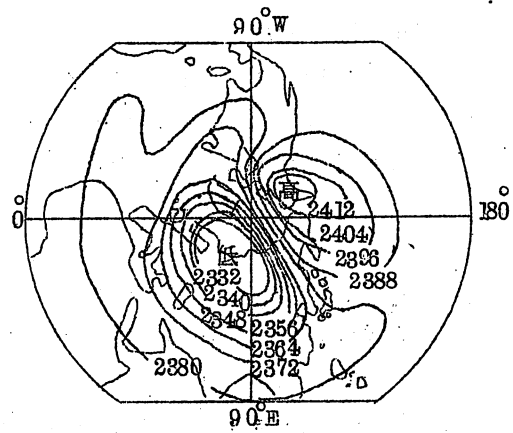
2 成層圏の大気環流における冬から夏への季節変化

8 月以降の成層圏では極夜ジェットの消滅と北極低気圧の急速な衰弱に伴い、北極圏内の温度も急速に上昇する。そして季節変化の開始時期には、まずアリューシャン（または北米大陸）上空に高気圧性気流系が形成され、以後それは北極に向つて移動し、北極付近にあつた低圧部はシベリヤ西部に向つて撤退する。一方北極方面で次第に高気圧が発達するに従い、中緯度にまで撤退した低圧部は、その後絶えず衰弱し埋没していく。そして同時に成層圏の亜熱帯高圧帯は北の方に拡張していき、最後に南北の両高気圧系は中緯度で合併し、結局北極付近に中心をもつ一つの大きな高気圧が出現し、北半球全体に偏東風が卓越するようになる。

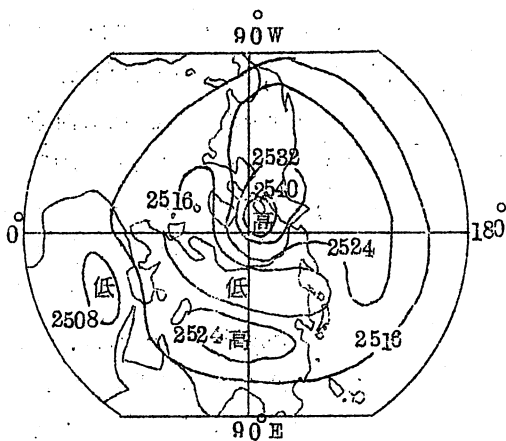
さて第 1 図 a、b、c は 1958 年における冬から夏への季節変化前後に対する北半球



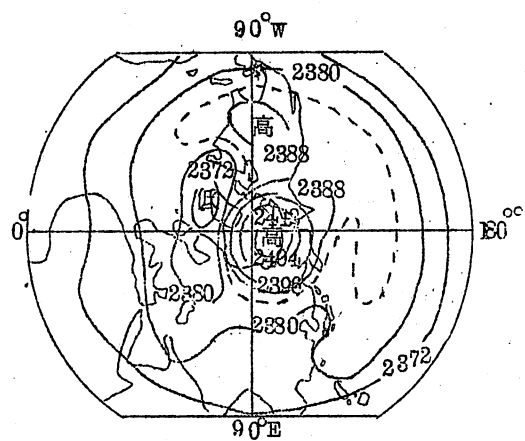
(a) 4月21日~5月5日



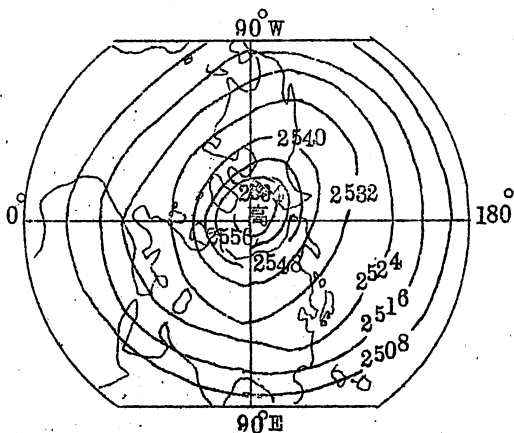
(a) 4月1日~15日



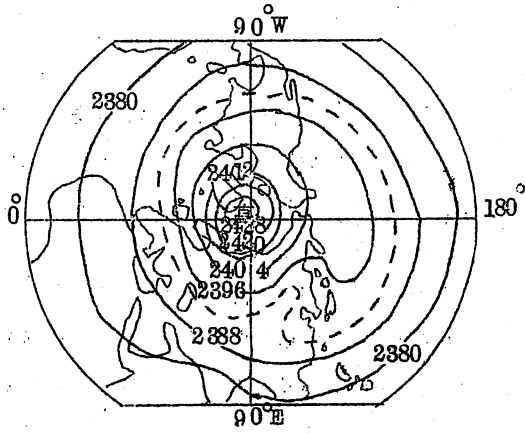
(b) 5月6日~5月20日



(b) 4月16日~30日



(c) 5月21日~6月5日

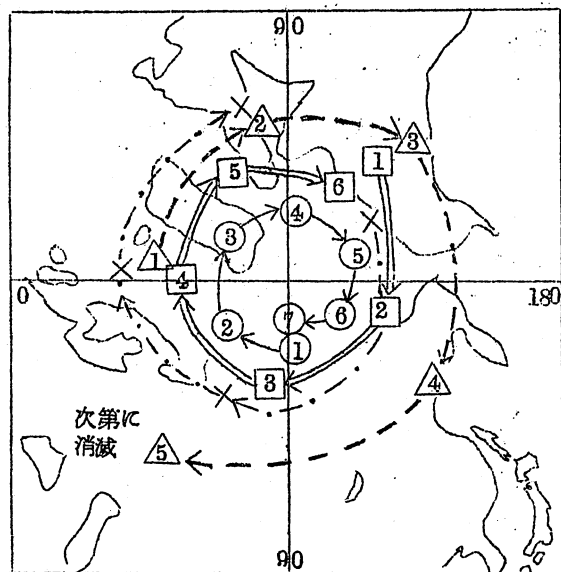


(c) 5月1日~15日

第1图 1958年北半球25mb 15日
平均图 (单位: 1.0 m)

第2图 1960年北半球30mb 15日
平均图 (单位: 1.0 m)

25 mb の15日平均図であり、これらにより季節変化の期間における25 mb の状態変化の過程を説明することができる。すなわち1958年はアリューシャン高気圧の形成がおそく、これが北米大陸をへて北極に向つて移動している。従つてこの年は冬から夏への転換期が比較のおそかつたといえる。第2図a、b、cは1960年における80 mb の冬から夏への変化を示しているが、この場合もほぼ同じような経過をたどっており、1960年の冬から夏への転換期もやはり比較のおそかつた。なお両者ともに初期ではまだいぢりしい冬型傾向が残っているが、最後には中緯度低圧部が埋没し、アリューシャン方面から北極付近に到達した高気圧と北に上っている亜熱帯高気圧とが中緯度で合併していることがよくわかる。また北半球の大部分がほぼ偏東風域となるのは、1958年では5月21日ごろより以後であり、1960年では5月10日ごろより以後であつた。(第2図cの段階では、まだ中緯度の一部に弱い低圧部が残つており季節転換は未完である。)



第3図 1960年4月30日～6月5日の 30 500 700 mb における5日平均図上の高低気圧中心の代表的経路

(注) ○←○ 30 mb 高気圧中心経路、△←△ 500 mb 低気圧中心経路、□←□ 500 mb 高気圧中心経路、×←× 700 mb 高気圧中心経路、たゞし経路上の数字1 2 3……は4月26～30日、5月1～5日、5月6～10日、……を示している。

第8図は1960年4月30日～6月5日の30 500 700 mb における5日平均図上の高低気圧中心の代表的経路を示す。これによると30 mb 上の高緯度では一対の高低気圧系が東から西に向つて、らせん状に回転するような動き方をしていることがわかる。しかも高気圧は発達しながら北極に近づいていくが、低圧部は埋没しながら中緯度に向つて動いている。そして700 mb や500 mb でも高低気圧系の動きは、この期間では同じような傾向を示していた。(ただし第3図では700 mb と500 mb については高気圧系だけが示されており低気圧系は省略されている。)なお成層圏、対流圏ともに高低気圧系の移動速度は非常に接近しており、平均としては1日約10～15経度であつた。

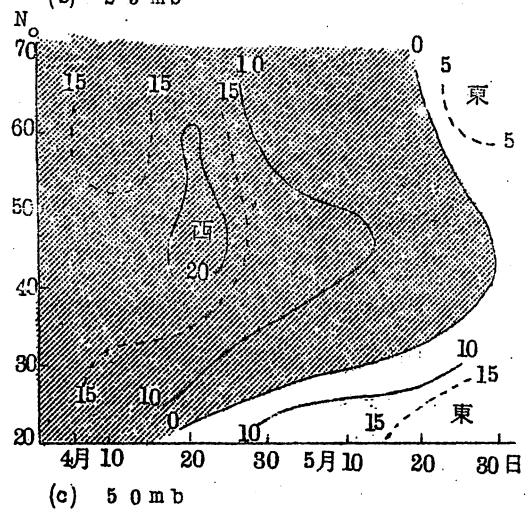
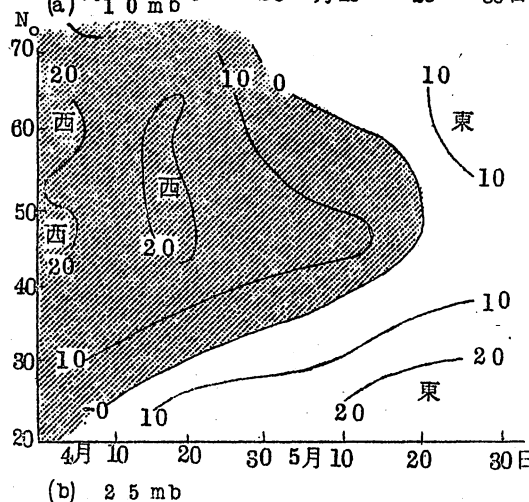
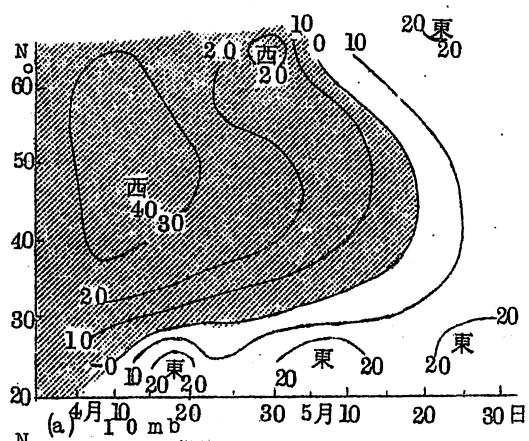
さてわれわれはかつて1960年4月～5月における80 mb 5日平均高度とHaney〔7〕の計算結果による500 mb、

5日平均高度の70°N緯度圏に沿う分布を調和分解し、両者ともに第1波が傾向的によく一致し、どちらもいちじるしい後退現象（西進傾向）を示していることを発見した。そして成層圏における冬から夏への季節転換が開始すると、対流圏の長波の型も同時に対応的な調整が行なわれていることがわかった。その他の年も大体よく似た現象が現われている。

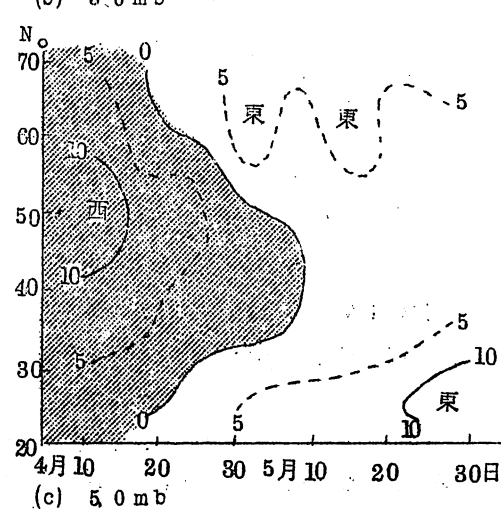
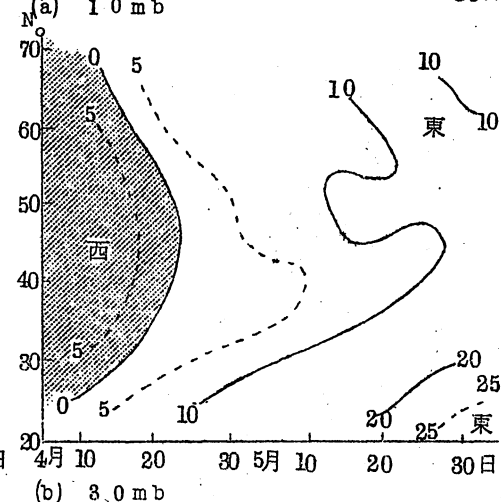
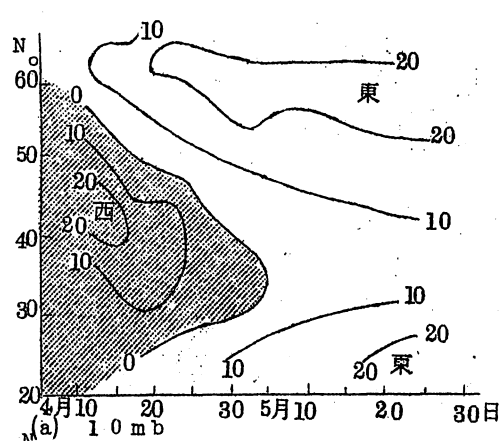
さて第4、5、6、7図はそれぞれ1958、1960～1962年の冬から夏への季節的転換前後における50mb、80mb、10mb上の北半球の各緯度に対する5日平均地衡風東西成分の時間断面図を示すものである。これらを比較すると1958、1960、1962年の場合は、それぞれかなり似ているが、1961年だけは様子が異なっていることがわかる。すなわち第4、5、7図より、前者の場合では北極方面に東風域が出現するのは4月の中ごろから5月の中ごろまでであり、この区域が次第に南に拡張し、低緯度における東風域の北への拡張と中緯度で合併し、全半球が偏東風となるのは4月末ごろから5月の末ごろとなっており、季節転換が比較的小さかったといえる。

一方後者の1961年の場合では第6図を見てもわかるように、3月の中ごろからすでに北極方面で東風域が出現しており、これが次第に低緯度にまで拡張している。したがってこの年は季節転換が早かったといえるが、他の場合とは異なり、北に向って拡張していくような東風域が熱帯方面に現れず、この年の10mb上では盛夏の時期でさえも熱帯方面に偏西風が残っていたということとはとくに注目を要する。（第6図a参照）。またこの年のアリューシャン高気圧は3月はじめごろからすでに北へ張り出しており、3月の中ごろには高気圧の中心が北極付近にのすわるようになる。そして亜熱帯高気圧の北への拡張現象は最後まで見られなかった。なお1959年の場合も北極高気圧の早期出現、熱帯方面における偏西風の持続など1961年の場合とよく似ている。（1959年は資料不足のため図示することができなかった。）以上冬から夏への季節転換は奇数年では早く偶数年ではおそくなっているため、これらからも成層圏における2年周期の卓越性を裏付けることができるであろう。

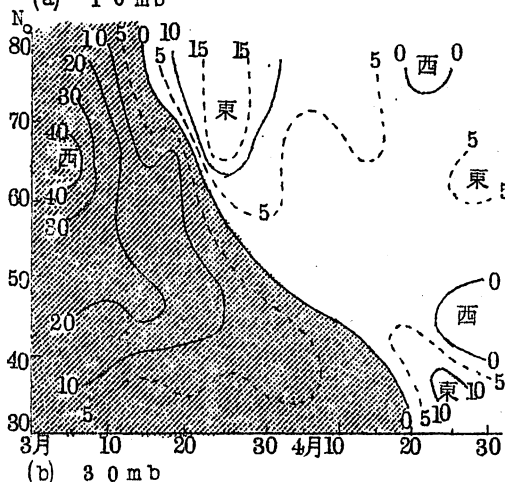
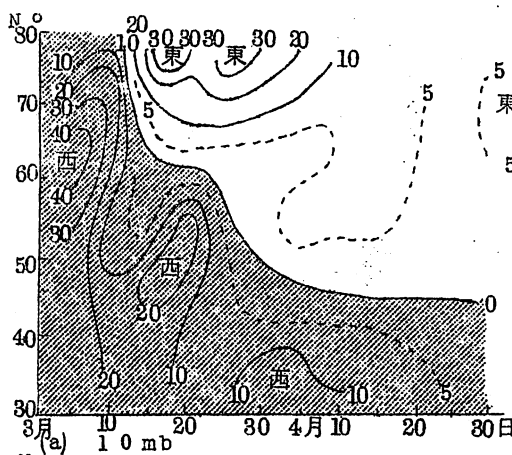
さて第8図は冬から夏への転換期における80mb上の気温変化の実例を示すものである。ここで破線は北極方面の代表地点アラート（カナダ北部）の気温、実線は45°Nに沿う15地点の平均気温を示しているが、これらより80mb気温の南北傾度が季節転換とともに逆転していることがよくわかる。1961年はその時期が早く、逆転がすでに2月末ごろから3月の初めごろに現れていることはとくに注目を要する。近年の研究〔8〕では、成層圏の突然温暖化現象が3月～4月ごろにも出現得ることが指摘されており、これらは最終突然温暖化とよばれている。そして多くの場合、アリューシャン高気圧の発達と北極への移動が季節転換への過渡現象となつている。このような現象が出現する時期は年によつておそく（例えば1958年と1962年）最終突然温暖化がはやけてはつきりしないこともある。（第8図(a)、(d)のアラートの曲線参照）。しかし1961年では、アラートにおける最終突然温暖化は非常にはつきりしており、出現も非常に早かつた。1960年の場合も1958



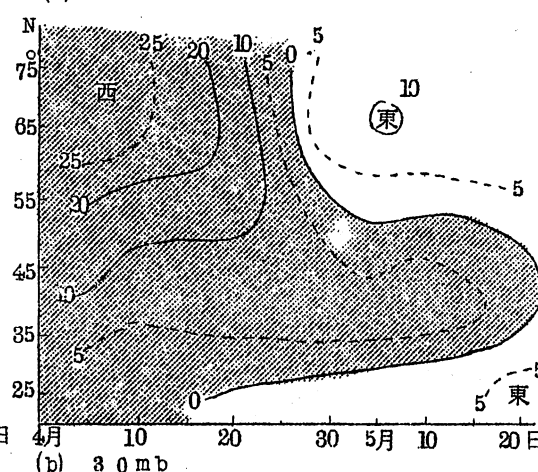
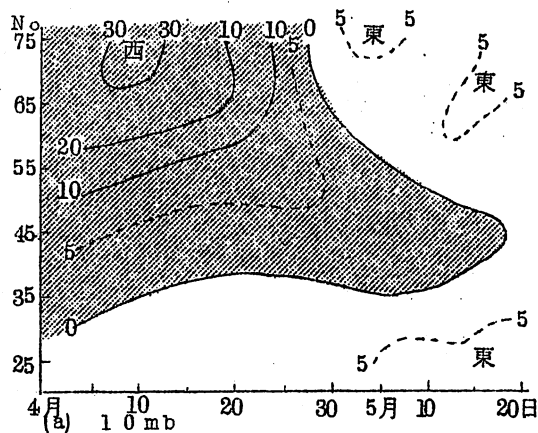
第4図 1958年4月～5月の5日平均
地衡風東西成分 (単位: m/sec)



第5図 1960年4月～5月の5日平均
地衡風東西成分 (単位: m/sec)



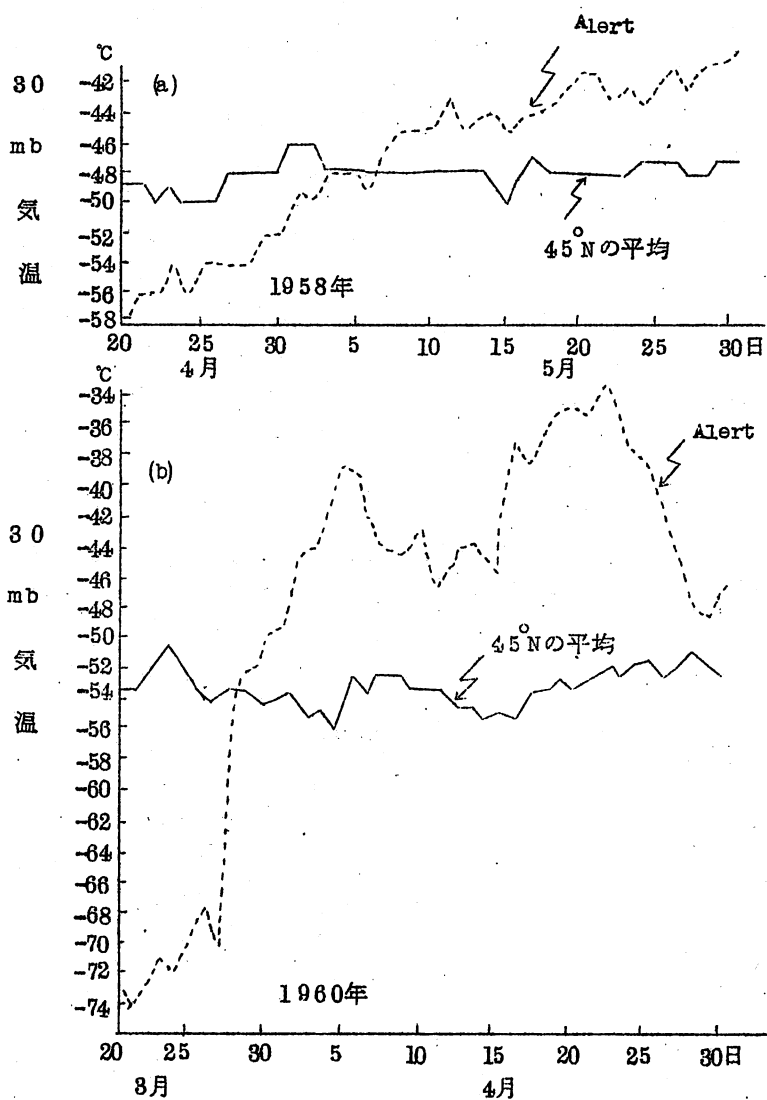
第6図 1961年3月～4月の5日平均
地衡風東西成分(単位: m/sec)



第7図 1962年4月～5月の5日平均
地衡風東西成分(単位: m/sec)

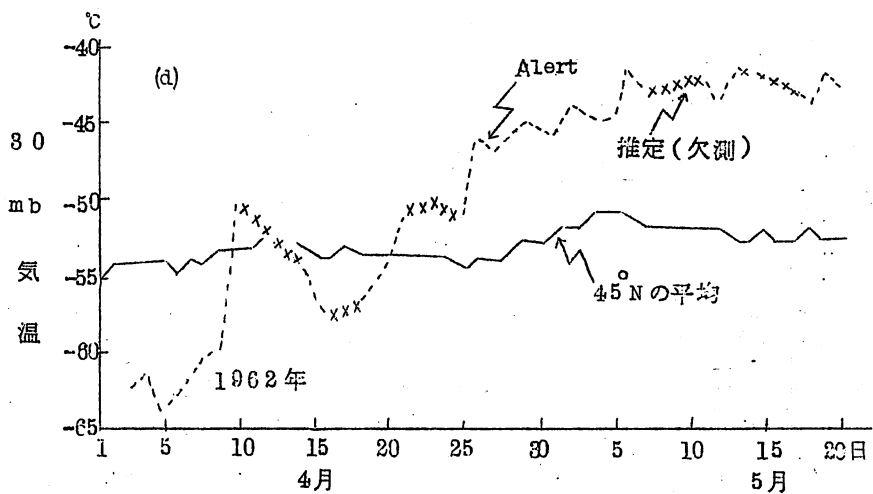
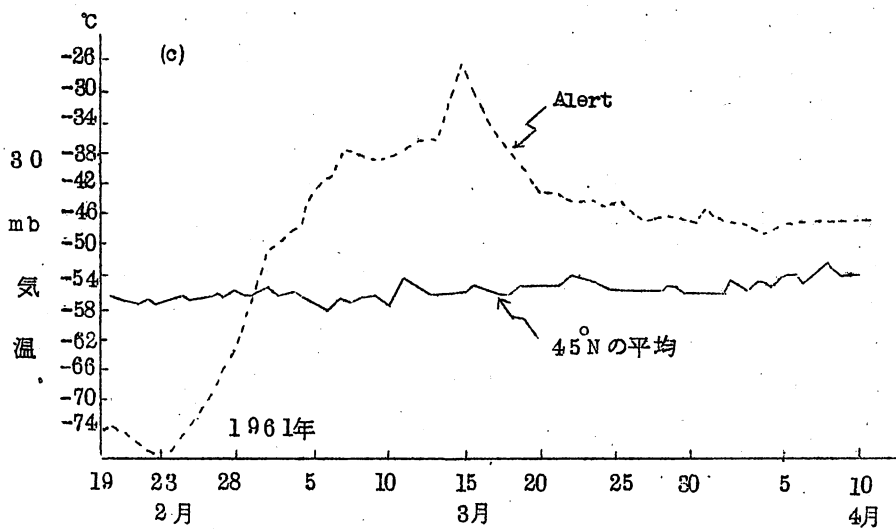
年や1962年の場合に比べれば、かなりいちじるしいが、1961年の場合に比べれば約8週間ほどおそく出現している。(30 mb上の最終突然温暖化は1961年では3月15日、1960年では4月5日ぐらいに現れている。)

次に1958年25 mbと1961年30 mbとの季節転換期における北半球亜熱帯高気圧の尾根線の平均緯度に対する時間変化を求めると、第9図a、bのようになつた。ここで1958年では25 mb 亜熱帯高気圧の尾根線の北上は最後まで緩慢であり、5月20日ごろやつと38°N以北に到達し、その後極高気圧と中緯度で合併している。1961年では緩慢な北上をつづけていた30 mb 亜熱帯高気圧の尾根線が4月20日以後急激に北上し、25日にけ32°N以北にまで跳躍する。もちろんこれは極高気圧の南への張り出しによる結果であるが、この年の10 mbでは亜熱帯高気圧尾根線の北上が現れず、熱帯方面の低緯度では真夏になつても偏西風が残っていた。

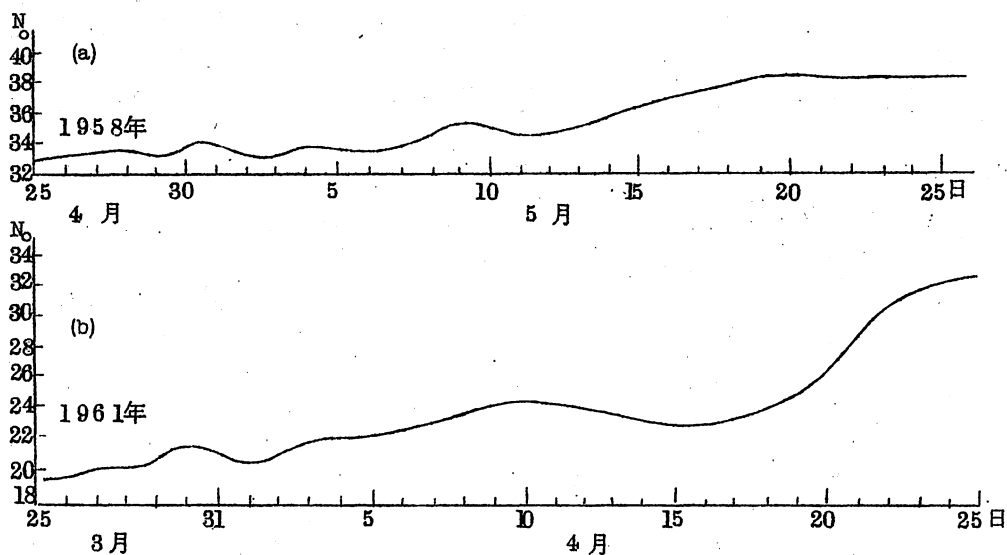


第8図 (a)1958年4月～5月、(b)1960年3月～4月における観測
地点Alertの30 mb気温の時間変化曲線と北半球の45°Nに
沿う15地点の観測による30 mb平均気温の時間変化曲線

(注) Alertの国際地点番号は74082で、その位置は82°30'
N, 62°20'Wである。



第8図 (c)1961年2~3~4月、(d)1962年4~5月における
Alert と 45°N に沿う平均の 30 mb 気温に対する時間
変化曲線 (図の意味は(a)、(b)と同じ。)



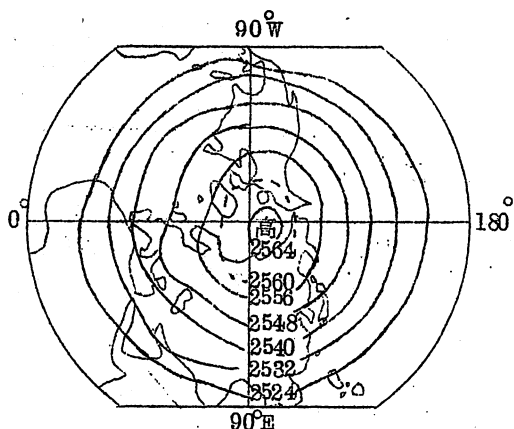
第9図 (a)1958年4月～5月の25mb、(b)1961年3月～4月の30mbにおける北半球亜熱帯高気圧の尾根線の平均緯度に対する時間変化曲線

3 成層圏の大気環流における夏から冬への季節変化

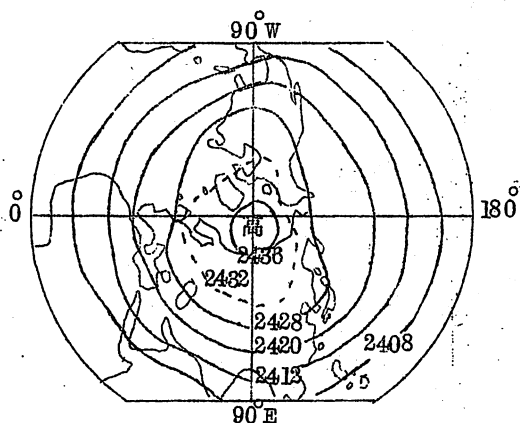
さて第10図a, b, cは1958年8月～9月における季節転換前後の25mb 15日平均図を示す。まず8月11日～25日(第10図a)ではまだ夏型で極高気圧による偏東風場が全半球を支配している。次に8月26日～9月10日(第10図b)では北極圏内に低気圧が出現し高気圧は帯状となり中緯度にて南下する。9月11日～25日(第10図c)では極低気圧は更に発達し、高圧帯は一層南下し、偏西風帯も南に拡張している。第11図a, b, cは1960年8月～9月における30mb上の季節転換の状態を示すものであるが、その過程は1958年の場合とよく似ている。

次に第12図～14図は1958、1960、1961年の50、30(または25)、10mbに対する季節転換の状態変化を示すものである。これらはすべて西風領域の南への拡張など傾向的によく似ており、その時期も同じぐらいになっている。また東西風の転換時期は高度別に比較すると、まず50mbにおいて先行して現れ、その後30mbや10mb上に出て現れているが、このような現象は冬から夏への季節転換では認められないことである。冬から夏へ移る場合は、季節転換は高空の方から先行すると言われているが、われわれの解析にはそのような先行現象はあまりけつきり現れなかつた。

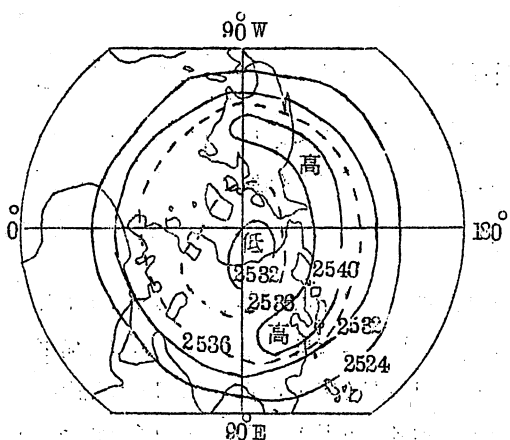
さて第15図a, b, cは30mb上の季節転換期における北極と中緯度との間の南北温度傾度の変化を示すものである。これによると夏から冬への季節転換以前では北極の方が中緯度より高温であるが、その後南北温度傾度は次第に弱まり8月末ごろから9月のはじめで



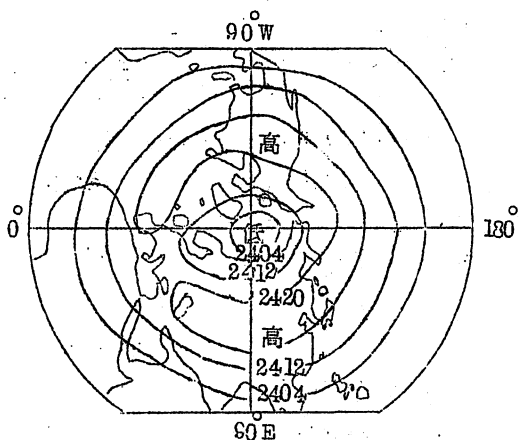
(a) 8月11日~25日



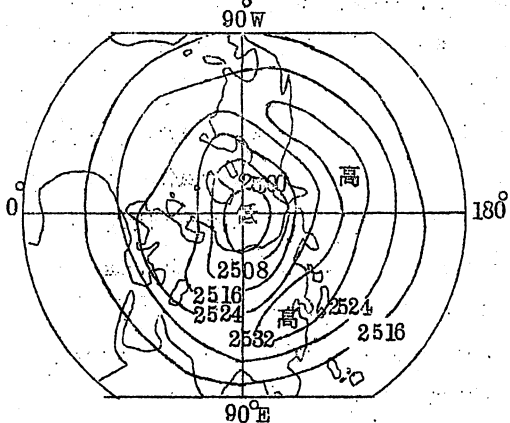
(a) 8月14日~28日



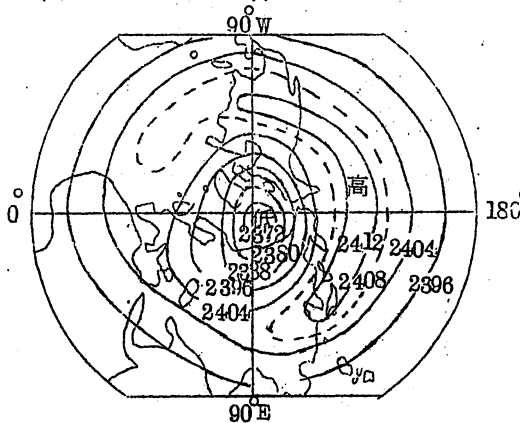
(b) 8月26日~9月10日



(b) 8月29日~9月12日



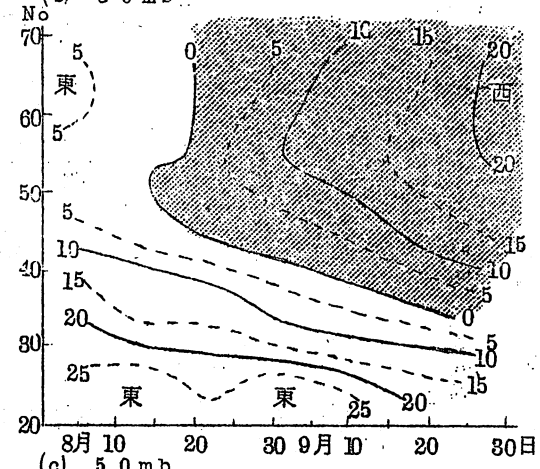
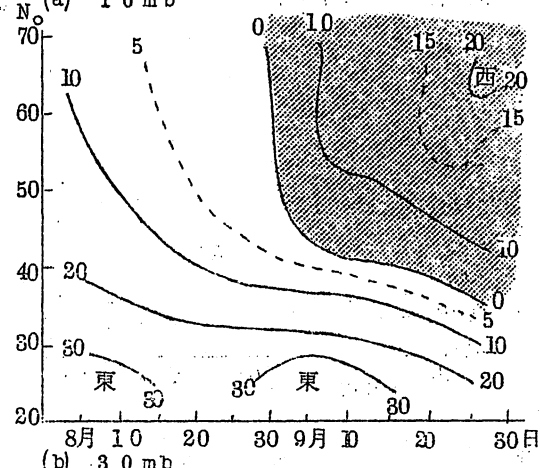
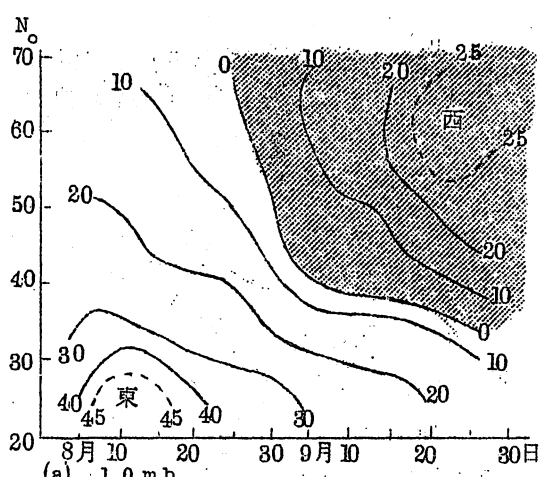
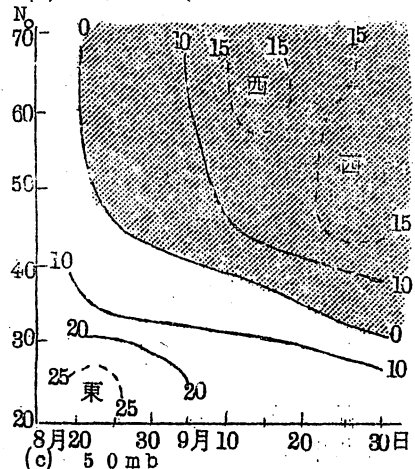
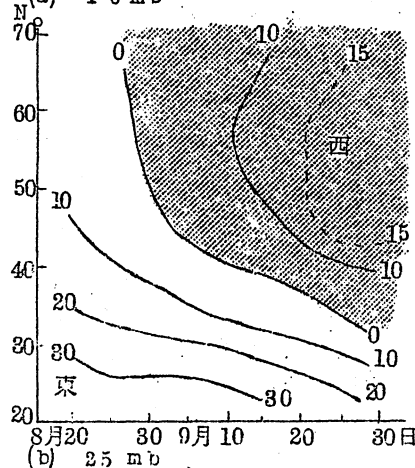
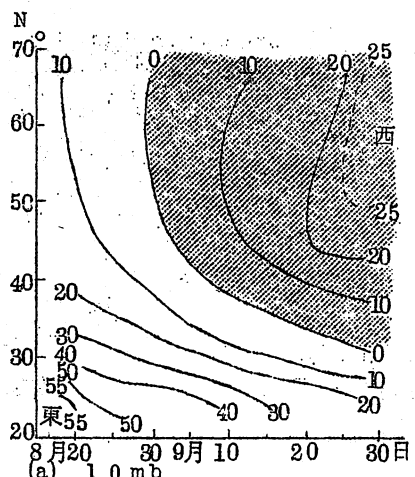
(c) 9月11日~25日



(c) 9月18日~27日

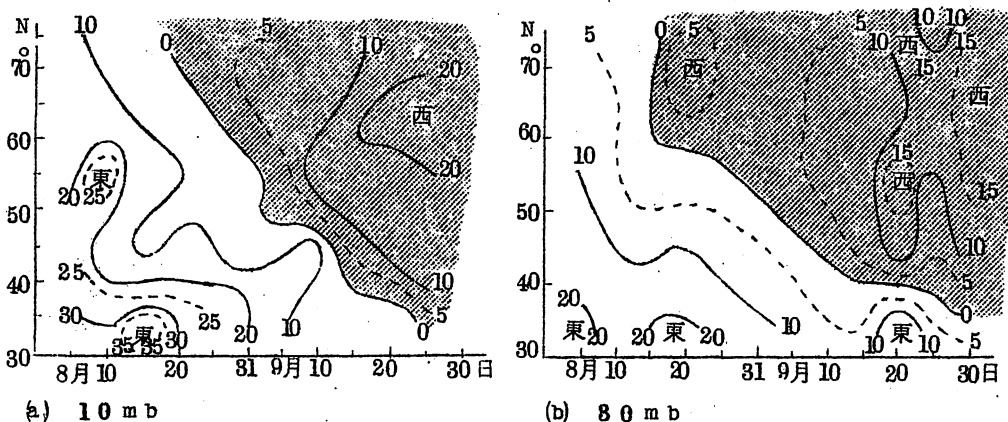
第10图 1958年北半球25mb 15日
平均图(单位:10m)

第11图 1960年北半球30mb 15日
日平均图(单位:10m)

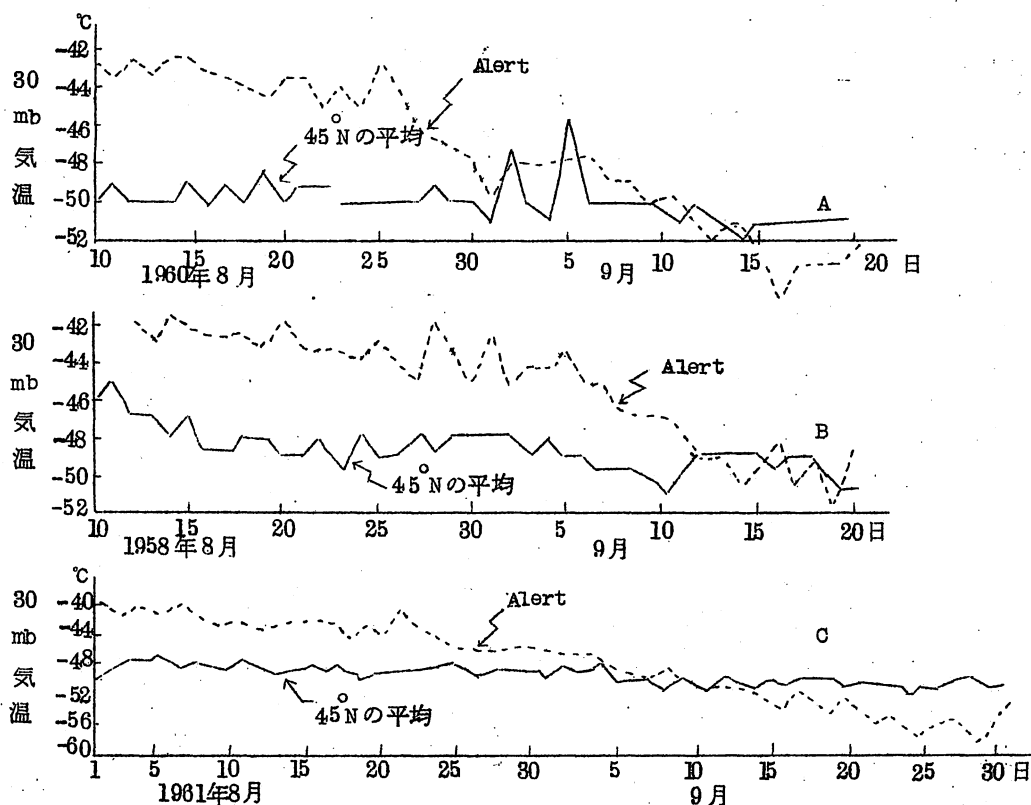


第12図 1958年8~9月の5日平均
地衡風東西成分
(単位: m/sec)

第13図 1960年8~9月の5日平均
地衡風東西成分
(単位: m/sec)



第14図 1961年8月～9月の5日平均地衡風東西成分 (単位: m/sec)



第15図 A) 1960年8月～9月、B) 1958年8月～9月、C) 1961年8月～9月に対する80mb気温のAlertにおける時間変化曲線(点線)と北半球45°Nに沿う15地点の観測から求めた80mb平均気温の時間変化曲線(実線)

ろにかけて北極と中緯度との間にはほぼ順圧の場となる。このような時期は季節転換の開始時期であり、9月中旬以後は南北温度傾度が逆向きとなり北極の方が中緯度より低温となる。そして風場の方もこれと対応した変化を示している。

4. 成層圏における大気環流の季節変化に対する討論

以上より成層圏における季節転換はどちらの場合でも風場と気温場の変化が非常にいちじるしく、しかも両者の傾向がよく一致していることがわかる。平均的には4月中旬と9月のはじめごろに季節転換の時期が現れ、その変化の持続期間は2~3週間程度である。また冬型大気環流の期間は非常に長く約8か月にも達するが、夏型の期間はわずかに4か月程度ではるかに短い。そして冬から夏への転換時期は年によつて異なり平年に比べ1か月ぐらいの差は起り得るが、夏から冬への転換時期は毎年ほぼ一致している。

また8~4月の間の変化は毎年必ずしも同様ではない。例えば1961年では冬から夏への転換期において成層圏亜熱帯高気圧が北へ拡張せず、しかも10mb上では低緯度において西風が持続していた。しかし8~9月の間の変化は毎年よく似た経過を示している。

次に大気環流の季節転換の時期を成層圏と対流圏との間で比較すると両者は一致しないことが葉篤正らの研究〔9〕などによつて指摘されている。しかも変化の型式についても両者はかなり異なっている。すなわち対流圏では年間を通じて常に中緯度の方が北極よりも高温であり、中緯度と高緯度における大気環流の季節変化は偏西風ジェットなどの変動に大きく支配される。また対流圏中上部では惑星風帯の季節変動による東西風の方向逆転が低緯度に現れるが、成層圏では東西風や温度傾度の方向逆転が季節転換とともに全全球的な規模で行なわれる。(対流圏の場合は局部的な規模に過ぎない。)

さて高度20~50kmのオゾン層は大気中で太陽紫外線を最もいちじるしく吸収し、これが熱に変化し気温を高める作用をしている。しかも太陽放射の季節変化は太陽高度の変化によつて決定されるので、結局は成層圏大気環流の季節変化も黄道上における太陽の運行と直接関連しているといえるだろう。すなわち春分以後では太陽は天の北半球を運行するようになり北極方面では暗夜の季節から常昼の季節に転換するので、その後は北極圏内の成層圏大気は急激に昇温する。この場合中緯度では高緯度ほど急激な昇温は起らないが、温度場の大きな変化に伴つて気流場も大きく変化するというような過程を示す。したがつてまず温度場の激しい変化が促進され、そのために気流場も激しく変化していくと考えるべきである。そして秋季には太陽が天の南半球を運行するようになるので、北極方面は急速に冷却していき南北温度傾度は逆向きに転換し、そのため気流場もこれに対応するように変化していく。一方対流圏では大気を受ける太陽放射の影響は間接的であり、直接的には地表面から熱作用を受けるといことになるので、その状態は一樣ではなく複雑である。すなわち春と秋とでは日射の影響が本質的に異なつており、したがつて両者を比較すると季節転換に要する期間

やその変化の様相などかなり異なっている。

われわれはかつて1958年と1960年の4～5月と8～9月の成層圏環流の季節転換期間における北半球300mb上(対流圏上部)の5日平均地衡風東西成分について調査(未出版)したことがあるが、成層圏の場合のような激しい変化は見られず、300mb上では東西風帯の強度や位置的関係はほとんど変わらなかつた。したがって成層圏と対流圏とでは大気環流の季節変化はかなり異なつた形で経過するということが推察される。たゞし成層圏環流の季節転換の期間中に、対流圏の長波の型が大きく調整されるというような現象がよく起つている。例えば8～9月は、対流圏で大陸東岸における長波の谷が再建される時期に対応しており、3～4月の変化期間では成層圏の擾乱が北極のまわりを東から西に向つて回転しながら移動し、これに従つて対流圏の長波もまた調節的变化をしていることがわかる。

さて成層圏における冬から夏への季節転換では、成層圏の極夜ジェットの消失と北極圏の急速な温暖化とが密接に関連しているといわれているが、具体的にはアリューシャンまたは北米大陸の上空における成層圏で高気圧性気流が発達し、それが北極に向つて移動することに対応している。しかし成層圏におけるアリューシャン高気圧の発達機構やそれと最終突然温暖化との関係など未解決の問題が多く、これらは今後も更に深く研究するだけの価値があるだろう。

また最近の熱帯成層圏の大気環流の研究で〔10 11〕、すでにいろいろな人達により約2年の周期をもつ現象の卓越性が発見されているが、われわれの研究でも成層圏環流における冬から夏への季節転換期が1958 1960 1962の各年においては比較的小さく、1961年と1959年では比較的小さかつたことが認められた。また季節変化の型も一様ではなく1958 1960 1962の各年は互によく似ているが、1961年だけは異なっており全く別の型の変化を示している。(第4 5 6 7図とその説明参照)これらから成層圏大気環流の冬から夏への季節転換の型には2年ぐらゐの周期があるらしいということが推察されるが、このような事実は熱帯成層圏大気環流における2年周期の現象にもよく適応しているように思われる。

また1959年と1961年の両年では極東大陸上で亜熱帯高気圧の持続期間が非常に長く、その勢力も強かつたので、中国大陸上では夏季の干天をひき起したが、一方1962 1960 1958年の各年ではこのような現象は見られなかつた。したがって極東上空の対流圏における亜熱帯高気圧の活動にも2年周期が認められるかどうかということは興味ある問題である。ただしこの問題の解決には更に多くの資料を集めて立証することが必要であろう。一方夏から冬への成層圏大気環流の季節転換では、毎年ほとんど同じような形式をとつていたので、2年周期現象はほとんど見られなかつた。

さてわれわれが調査に用いた資料はわずか4ないし5年程度の乏しいものであつたので、成層圏大気環流の季節変化の研究としては初歩的な段階にとどまつた。しかし一応成層圏大

気環流の季節変化は日射の季節変化によつて支配され、ことに3~4月の季節転換では2年ぐらいの周期があるらしいということがわかつた。このような結論が果して妥当であるかどうかということに対しては、今後更に資料を集め再検討して研究する必要があるだろう。

なお本論文の研究では曾希孝、李王蘭、楊蕙蒼などいろいろな人達に協力していただいた。筆者はここで、これらの人達に深く謝意を表する次第である。

(紹介者注) 原論文の「副熱帯高気圧」という用語は「亜熱帯高気圧」と訳した。また重複部分を省略したり、簡略を意識をした所もあるが、要所は原文に忠実に訳したつもりである。なお第4, 5, 6, 7図と第12, 13, 14図は原論文では格子点ごとに数値が記入されているがこれを省略し、その代りに5m/secまたは10m/sec などの等値線を引いた。

参 考 文 献

- [1] Wege, K., Druck, Temperatur und Strömungsverhältnisse in der Stratosphäre über der Nordhalbkugel. Meteorol. Abhandl. d. Freien Universität Berlin, Bd. V. Heft 4, 1957
- [2] Belmont, A. D., Arctic Meteorology, *Advances in Geophysics*, No. 7 1961, pp. 249-301
- [3] Joint scientific advisory group to the Meteorological rocket network, The Meteorological rocket network an analysis of the first year of operation. *J. Geophys. Res.*, 66 (1961), pp. 2821-2842
- [4] Heise, J., Die Allgemeine Zirkulation der Stratosphäre. Meteorol. Abhandl. d. Freien Universität Berlin, Bd. 27 Heft 4, 1962
- [5] Belmont, A. D., The reversal of Stratospheric Winds over North America during 1957 1958 and 1959 *Beiträge zur Physik der Atmosphäre*, Bd. 10 Heft 1-2, 1962
- [6] 見 Meteorologische Abhandlungen der Freien Universität Berlin Bd. 10 12 13 15 16 17 19 20 25 26
- [7] Haney, Robert, L., Behavior of the principal harmonics of the selected 5-day mean 500mb Charts. *Monthly Weather Review*, 89 (1961), No. 10 pp. 391-396
- [8] Labitzke, K., Beiträge zur Synoptik der Hochstratosphäre. Meteorol. Abhandl. d. Freien Universität Berlin, Bd.

28 Heft 1, 1962

- [9] 葉篤正等、在六月和十月大気環流の突変現象、気象学報、29(1958), 第4期、pp. 249-268
- [10] Ebdon, R. A., Notes on the wind flow at 50 mb in tropical and subtropical regions in Jan. 1957 and Jan. 1958 *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 86(1960).
- [11] Reed, R. J. etc., Evidence of a downward propagating annual wind reversal in the equatorial Stratosphere, *Journal of Geophysical Research*, 66 (1961), No. 3

(1)

成層圏と中間圏の関係について

Relations between Stratosphere and Mesosphere⁽²⁾ A. H. Sharpley

Environmental Science Service Administration,
Boulder, Colorado, USA

Winds and Turbulence in Stratosphere Mesosphere, and Ionosphere, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, Lindau, Federal Republic of Germany, 18 Sept.-1 Oct. 1966
pp 128-142

高松气象台 松岡隆紹介

アブストラクト

成層圏と中間圏の関係の有無を確かめるための方法について述べる。成層圏の現象を定義しこの現象を比較することによつて成層圏と電離圏の関係を研究する方法をくわしく例をあげて紹介する。

紹介者注1:(1),(2): 標題は成層圏・中間圏関係ですが、内容は成層圏・電離圏関係が主です。原文に従つて、Stratosphere(成層圏), mesosphere(中間圏), ionosphere(電離圏)と訳しました。

同2: 紹介者は高いところの知識がありませんので、内容を理解できないところがありました。このような部分は省きました。

同3: 間違つて紹介しているところがありましたら御教示下さるようお願いいたします。

1. は し が き

ここでは下層大気と上層大気の関係について調べる。下層大気については気球観測データが豊富にあるので解析結果や理論がたくさん見出されている。上層大気についても電波観測データが十分にあり、解析結果や理論が下層大気におけると同様たくさんある。では、これらのデータを結びつけることが可能であろうか？ また上層大気と下層大気はどのような過程の下に関連しあっているのでしょうか？ 観測データに関しては、上にのべたシンノプティック・データのはかに多くの実験観測データがある；これらは時間的、空間的に限られており、特定の現象だけに理論的解明を与える。

電離圏の電波観測データが豊富に得られるようになったのは1980年ごろからで、太陽活動と地球物理学的現象の相関がさかんに調査されている。すなわち、太陽黒点数と磁気嵐やオーロラの関係が明らかにされた。これは電離圏の変動とSolar flareやMagnetic bayに密接な関係があることを示すものである。また同時に地上の現象との関係も調査された；これらの調査結果のなかで公刊されたものも多いが、未発表のものもかなりある。

成層圏、中間圏の関係の研究は1985年から数年まえまでは衰微していた。しかし、1966年以降は、大気の成層全般にわたる観測データが豊富に得られるようになり、理論的研究も進展し、この問題の研究はさかに行なわれている。その証拠に、最近18か月間にこの問題に関するシンポジウムが少なくとも6回開催された。Mal del Plata, Brussels, Illinois, Ottawa, Vienna, Munichと今回のLindauにおいて――。

現在では、成層圏、中間圏の関係があるかないかということは問題ではなくて、どのような関係がどのような理由で起っているかが問題である。そこで本報ではこれらの関係を見つける方法を述べ、見出された関係について解析してみよう。

2. 利用できる観測データ

成層圏については気球観測による気圧・気温・風速データが豊富にある。世界的規模でデーリーのデータが得られるので、これらのデータを使つて北半球解析や地域的な解析が可能である；80 km まではデータが豊富で、25 Km までは精度が良く、80 Km～35 Kmのデータは少ない。

気象ロケットは60 Km ぐらいまで観測できる；現在観測例数は少ないが増加している。

成層圏で重要なのはオゾンである。オゾンに関して入手しやすいデータは、地上からのスペクトル法による気柱のオゾン総量のデータである；このほかに気球観測やロケット観測によるデータが数少ないが利用できる。波長ごとの太陽放射データも成層圏、中間圏関係を調べるのに有用なデータである。

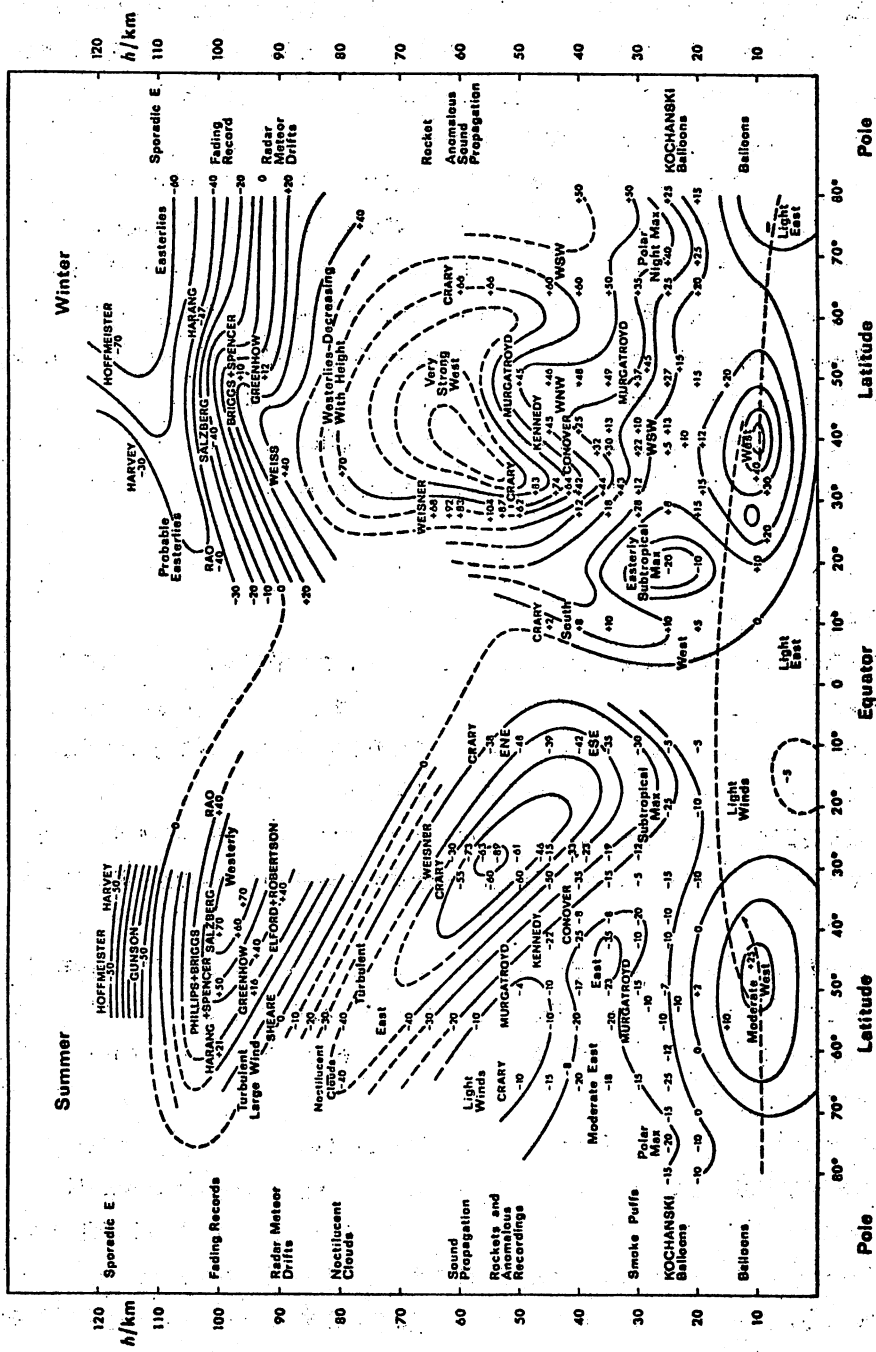


図 Murgatroyd による気温 (°K) と風速 (m/sec) の高度プロファイル

中間圏のおもなデータは電波観測から得られる。中間圏の特性や現象は、微量のエレクトロンやイオンから推論せざるを得ない。中性大気を地上から間接的に測定する方法はない；雲の最高は普通 14 Km であるが、夜光雲は 80 Km ぐらい、光の散乱や発光現象は 100 Km である——これらのデータは非常に少ない——。

ロケット観測は最近しばしば行なわれている；気象ロケット観測は“準シノプティック”といわれるほど多くなっているが、宇宙ロケットは数が少なくて時間的・空間的に限られた観測データしか得られないのが現状である。しかし電波観測による中間圏データは種類も多いし量も多い。おもな電波観測による方法は；(a) 電離圏吸収 A_1 (pulse echo), (b) 電離圏吸収 A_2 (cosmic noise), (c) 電離圏吸収 A_3 (CW refraction), (d) ionosonde による電離吸収・f-minimum, (e) low echo at HF, (f) partial reflection, (g) cross modulation, (h) LF and MF oblique propagation, (i) VHF forward scatter, (j) drift by radiotechniques.

8. 成層圏の平年状態

最近公開された“標準大気表”は季節毎の P、T、 ρ 、Z の平年値を知るために便利である。オゾン の量も記載されている。Murgatroyd (1 図) は高度に対する気温、風速分布の平年状態を夏と冬について示した。この図から 1 年間の変化を知ることはできないが、高度による諸要素の変化を知ることができるので有用である。

成層圏天気図もまた有用である；ベルリン自由大学が IGY 観測を契機として始めたデーリーの成層圏天気図が資料期間が一番長い。2 図は典型的な夏・冬の成層圏天気図を選んだものである。

デーリーの成層圏天気図から月平均天気図を作ることはできるが、筆者は、“平年状態”はそれからのアノマリーを見つける基準として使うので“メディアン (median)”の方が良いと思う。しかし“メディアン”を計算した例はない。オゾンについても“メディアン”の方が“平均値”より優れている。

電離圏の状態を分類して“静穏 (quiet)”と“乱れ (disturbed)”に分ける。分類の基準は地磁気活動と太陽活動による。強い polar cap absorption は“quiet”から除く。こうして残った“quiet”データを平均して、標準成層圏天気図とその理論をつくつた。100 Km 以下の電離圏では、地磁気場の歪け小さいが（オーロラ吸収を除いて）、無視することはできない。かくして、成層圏については地理的内挿が機械的に行なわれる。“quiet”からの偏差は非常に大きくなり、それは“アノマリー”という名のカーベットに覆われてしまう。しかしこの“アノマリー”の中には非常に多くの電離圏の振舞いが隠されている。成層圏、電離圏の研究が進むにつれ、このアノマリーのうちのあ

るものは明らかにされるだろう。

4 成層圏・電離圏関係の研究手法

成層圏・電離圏関係を調査する方法はいろいろある；今までに行なわれた方法について述べる。

Beynon と Owen-Jones (1965) は、簡単な理論からの偏差を解析することによつて成層圏・電離圏関係を研究した。彼らは天頂角 (Sun's Zenith angle) x の cosine に対してパラメーターの月平均値 (月半ばから翌月半ばまで) をプロットした。もしパラメーターが $\cos^n x$ 則に従うならば、結果は直線になる。太陽週期は数年間の期間をとれば平均化される。したがつて、E 層から D 層および成層圏を通じて、これらの図は 8 図のようなパターンになる。この方法は単なる time graph にすぎないが、アノマリーの発現時期・意味および大いさを明らかにすることができる。たとえば、電離圏吸収の冬のアノマリーの発生地域はこの方法で追跡することができる。

Beynon と Owen-Jones (1965) は電離圏・中間圏・成層圏の季節変化にカップリングがあるかどうか調べた；変動が E 層から成層圏をへて対流圏へ下降してゆくことを見つけたが、この理由はわからなかつた。この種の研究について、データの不足が悩みの種であるが、利用できるデータだけからでも多くのカップリングが発見されている。

現象の発生地域はカップリングを見つけるための一つのツールになる。オーロラは電離圏吸収に関連のある現象の一つで、地磁気の極の周囲の対称的な狭いバンドに発生する。同様に 40°以南でも電離圏吸収の冬のアノマリーが小さいことは、成層圏との関係が低緯度で規則的であることを示している。このほかにも現象の地域的特性からカップリングが見つけられている。成層圏については 10mb のデリー天気図が使える；電離圏については一握りの観測所と地磁気活動および同時現象のデータしか利用できないが、Thomas (1962) は観測所間の Cross Correlation を解析してカップリングを見つけた；たゞし彼は月平均データを使った。

Bossolasco と Elena (1968) は成層圏と電離圏の特定の事象の対応を調べた；これは有力な方法である。彼らは特定地点における冬の 10mb 気温と電離圏の HF 吸収を時間に対してプロットした。二つの要素とも季節変動からのデビエーションが大きく、かつ同位相で変動している。したがつて、Bossolasco と Elena はやらなかつたが相関係数を計算すれば有意な値が得られるはずである。Jones et al (1959) も同じ方法で、IGY のロケット観測による気温と気球観測データを比較した。

Gregory (1965) はかも同じ方法で調査した。

特定地点において成層圏と電離圏の均質なデータが連続的に得られるならば、上にのべた方法によつて信頼できる相関関係を調べることができる。しかし現時点ではデータは不完全

である。季節変動も含めた変動について相関を計算すると相関係数は大きくすぎる；一要素は季節変動が大きく他の一要素は季節変動がない（たとえば地磁気活動）ときは相関係数は小さくすぎる。日別に相関係数を計算した例はいままでにない。

もう一つの統計的方法是、成層圏と電離圏の特定の事象（event）を比較する方法である。このためには事象の基準を決めておかねばならない。この方法（Method of superimposed epochs）は地磁気活動と太陽活動の関係を調べるために考案されたもので、太陽活動・地上現象および太陽活動・電離圏関係を解析するために広く用いられてきている。この報文ではデーリーの成層圏気温の顕著な変動と電離圏吸収の対応を調べる。この方法は相関関係が強ければ、ノイズがあつてもずらしの相関関係を見つけることができる。しかしサンプルが小さいときおよび相関係数が小さいときには満足できる結果が得られない。

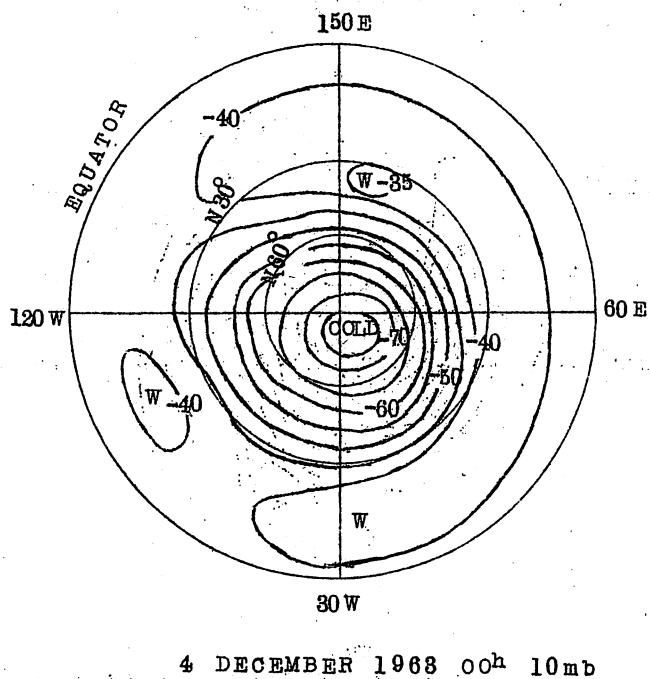
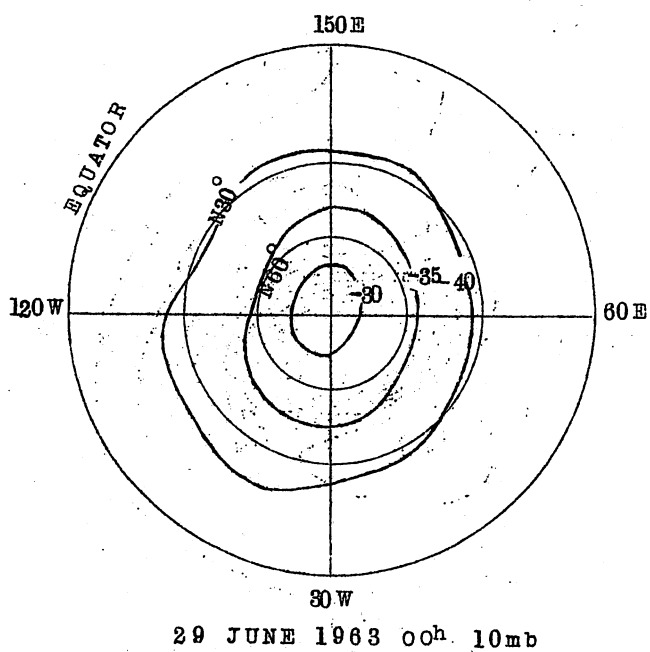
最後にロケット観測のような臨時観測データによる臨時的な研究方法（Snapshot approach）について述べる。これらのデータは物理的に意義があるので、長期間の観測データが得られるならば、成層圏・電離圏関係を解明するのに有用である。しかし観測期間は短い；問題は宇宙ロケット・電離圏ロケット、気象ロケットによる実験観測データを定常的な気象観測データと関連づけることができるかどうかにかかっている。そこでロケット観測成果が最も効果的であるような場所を調整することが重要である。しかしロケット観測は高いところの新しい知見が得られ、定常観測をするには経費がかかりすぎてできないような高いところのシノプティック・データの指標として有効に利用できる。

5 成層圏の事象（Stratospheric events）

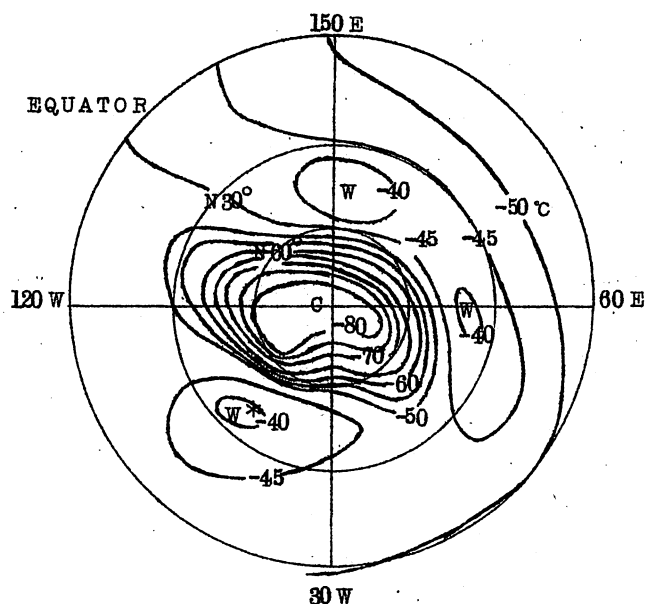
気球観測で精度のよいデータが得られる最高高度は 30 Km（10 mb）である；この高度は常にトロポポーズの上にある。低緯度成層圏では気温と風速の季節変化と日変化は極めて小さい。高緯度成層圏と polar cap の上では、夏の変動が小さく冬の変動が大きい。成層圏の変動のなかで最も顕著なものは Scherhag（1952）が発見した“成層圏昇温”である。1958 年からは十分な気温データがあり、30 Km の高度におけるデーリーの気温分布図が描かれている。

2 図は 10 mb（30 Km）の北半球の平年気温場をあらわしている。冬には寒気を中心は北極にあり、規則的な気温分布をしている。

3 図は成層圏循環の初期である。昇温の中心は発達・移動するが、極の寒気はまだ残っている。4 図は成層圏昇温の最盛期である。気温場（気圧場も同様に）はわずか 10 日の間に冬の循環から夏の循環に変わる。昇温域中心では数日間に約 80 昇温する。この突然昇温は 1 週間ないし 1 か月の間に全半球に拡がる。Jones et al（1959）はちょうど、成層圏昇温の時期にロケット観測を行ない、中間圏が成層圏昇温の影響を受けることを見出し

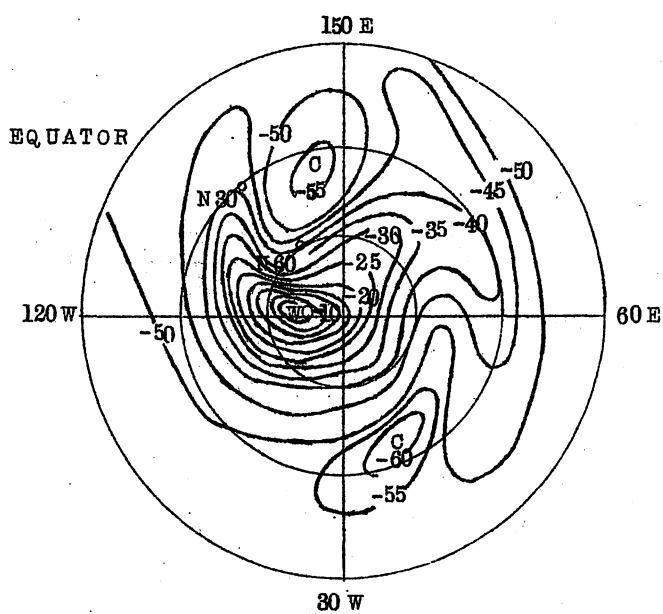


2図 テイビカルな夏と冬の 10mb 等温線, 北半球



17 JANUARY 1963 00h 10mb

3図 顕著な成層圏昇温初期の 10mb 気温分布



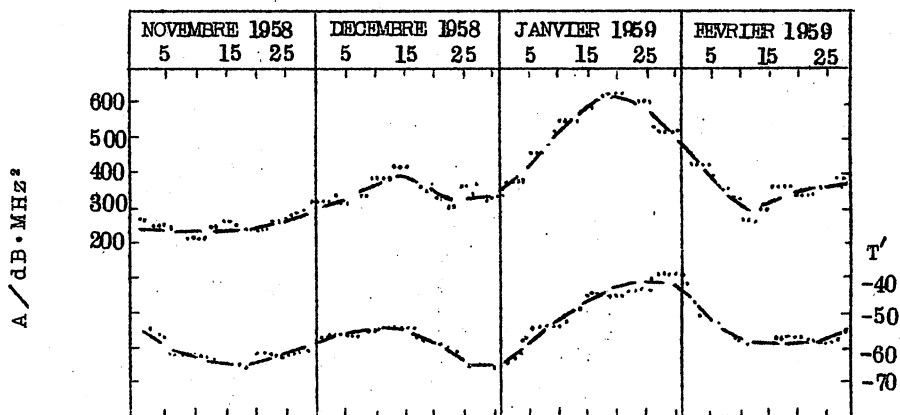
27 JANUARY 1963 00h 10mb

4図 顕著な成層圏昇温のときの 10mb 気温分布

た。

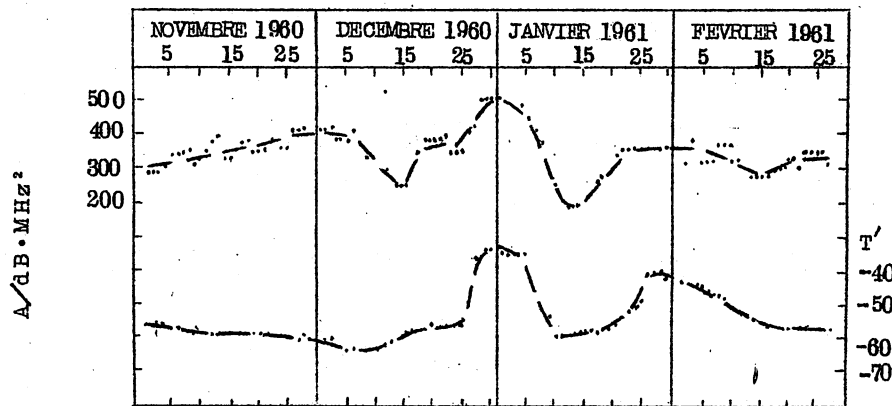
6 電離圏の影響 (ionospheric effect)

1952年の冬ヨーロッパで起つた成層圏昇温に対応して、同じ位相で電離圏の変動が起つているという事実をRawerのグループが発見した。その後1968年まではこのテーマについての文献は発表されていない。5図はBossolascoとMena(1968)の短報から引用したものである；下側のカーブは80Km(10mb)気温を上側のカーブは電離圏



5図 上のカーブ 1958年11月から1959年2月の成層圏吸収(左側の目盛)

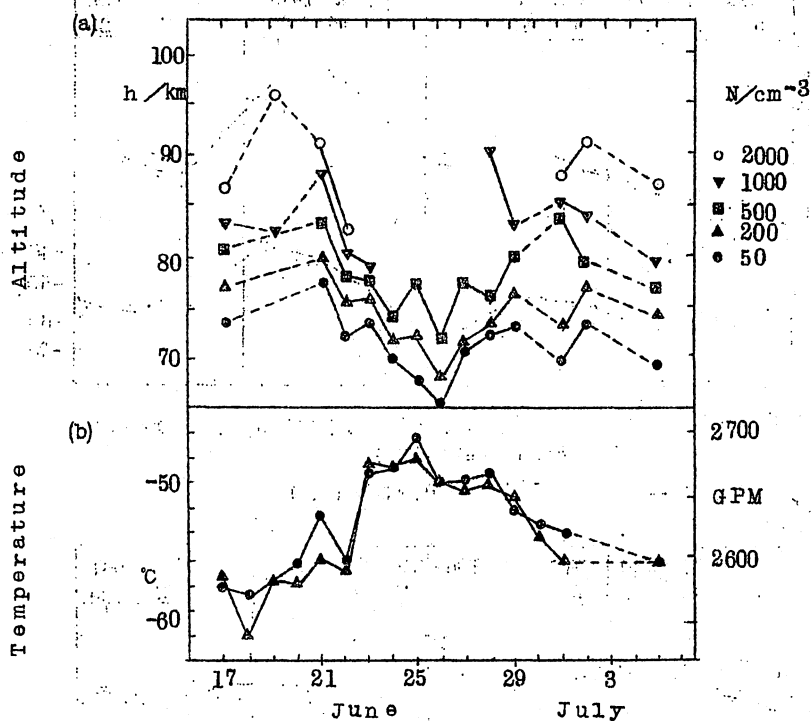
下のカーブ 同じ期間の80km気温(°C)



6図 上のカーブ 1960年11月から1961年2月の電離圏吸収

下のカーブ 同じ期間の80km気温(°C)

吸収インデックスをとともに平滑化して示している。二つの変数の変動がよく対応していることは注目すべきである。6図は他の冬期における例である。東独のLauter は電離圏と成層圏昇温の関係を研究し、両者に相関があることを見つけたが、発表論文はほとんどない。Gregory (1965) はこのテーマについて広範囲を研究を行なった；その結果を7図に示す。上図のカーブは、電離圏のエレクトロン密度で partial reflection experiment から得られたデータである。下図は成層圏の (20-25 Km) の気温である。この図は今までに発表された成層圏・電離圏・同時関係の唯一の例である；しかしこの図は南半球のデータであつて、北半球にこのような解析結果はない。



7図 (a)エレクトロン密度, (b)20-30 mb層の成層圏昇温, 1963年6月~7月

7 事象 (events) の比較による成層圏・電離圏関係の研究

この節では変数のトレンドを解析するのではなくて、成層圏と電離圏の“事象”を見つけ両者の関連を解析する。ここで問題は、相関解析に十分なデーリーの電離圏のデータが得られるかどうかにある。われわれは実験をするわけにいかないで、既往のデータを利用しなければならない。この意味で、電離圏吸収データはこの問題に有用である。電離圏吸収

(ionospheric absorption) は鉛直方向の電波の減衰で、電波の通過した全行程におけるエレクトロン密度と衝突回数によつてきまる。電離圏吸収の観測方法については詳細は省くが、標準観測法のなかの A_1 型と A_3 型は $85-105 \text{ Km}$ の N^* および ν に感度がよい；しかしこの方法は下層のイオン化に影響される。電離圏吸収観測所は世界各地に存在し、とくにヨーロッパに多いので、この種のデータは豊富にある。これらのデータを解析した結果、つぎの事実がわかつた；冬期の中、高緯度を除けば、電離圏吸収の季節および地域による変動は小さい。この冬の吸収アノマリーは他の季節および低緯度にくらべて大きい。Shapley の研究 (1965) によれば、冬は電離圏吸収のアノマリーが大きいだけでなく、他の季節に較べ日々の変動も大きい。

8図はこのテーマの予備調査の結果である。実線は5月-8月の 80 Km (10 mb) 気温を平滑して描いた。破線は電離圏吸収である。8図が示すように、 10 mb 気温と電離圏吸収に気温に劇的な変化が何回も起つている。

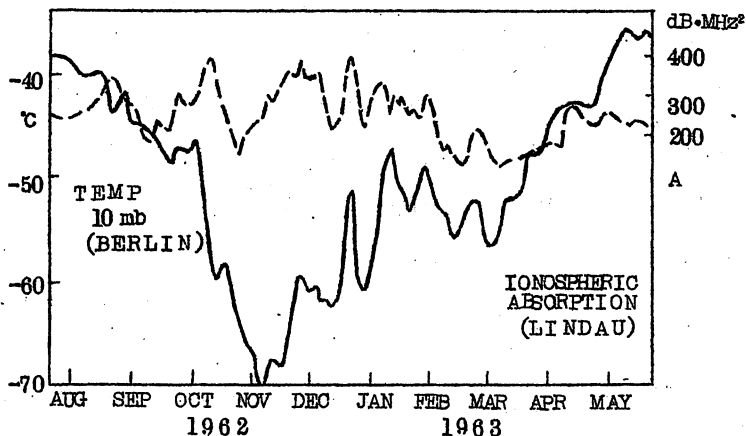
この大きい気温変化が電離圏吸収とどういう関係を持つているかを調べなければならない。事象を“数日間の気温変化が 1.0° 以上”と定義して、事象を選び出した。解析方法は Superposed epoch analysis である。

解析結果は9図の Superposed epoch diagram のとおりで、5年間の観測データから選んだ16例の解析結果をあらわしている。横軸は 10 mb の昇温期 (1.0 以上) からの time lag をあらわし、この time lag に対して縦軸に 10 mb 気温 (破線) と電離圏吸収 (実線) を示している。time lag は非常に小さい。

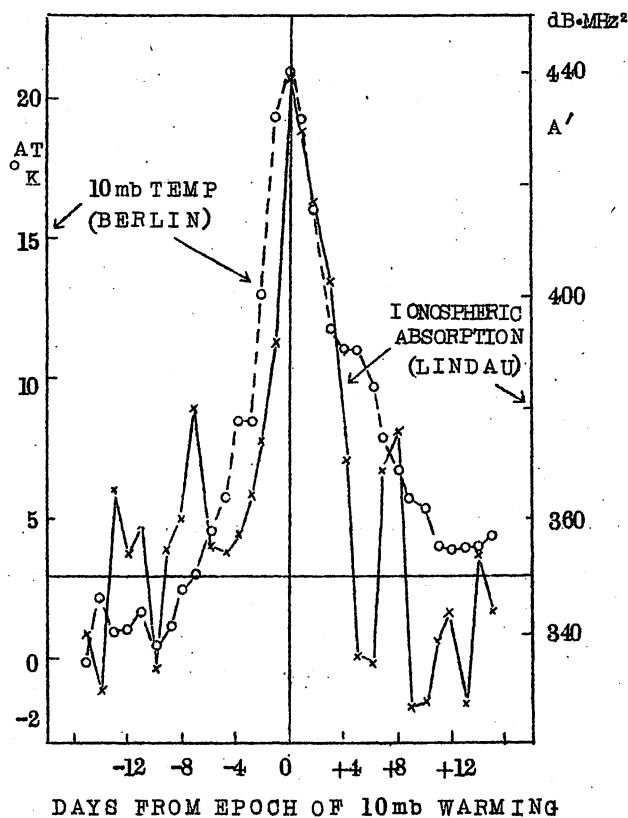
10図は成層圏昇温を $\Delta T > 2.0^\circ$ と $1.0^\circ < \Delta T < 2.0^\circ$ に分けて解析した結果である。両者ともピークは time lag がゼロのところにある。

上にのべた結果は示唆するところが大きいが、補足的な説明が必要である。第一に、アノマリー日のすべてを解析したわけではない。9図の解析に使つたサンプルは顕著な成層圏昇温だけである。事象を成層圏昇温で定義したので電離圏吸収の変動が大きい場合でもサンプルに入つてないときがある。したがつて小変動をあつかうときはこのことを考慮に入れなければならないが、普通は無視してよい。顕著な成層圏昇温は遠くまで影響するので、アラスカやカナダで起つた成層圏昇温を西ヨーロッパたとえば Berlin および Lindau で観測

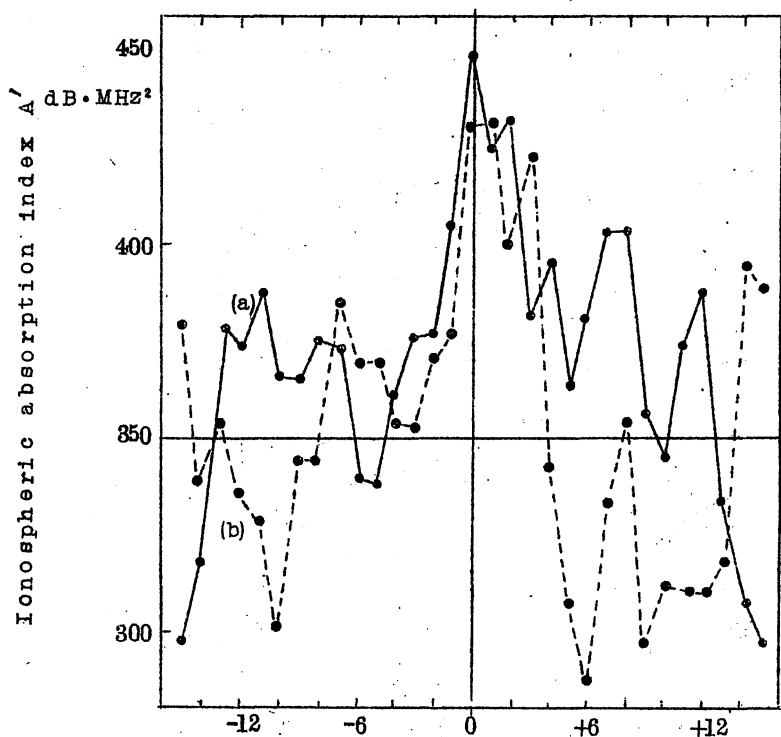
* N はエレクトロン密度 (1 m^3 あたりのエレクトロン数)。 ν は 1 sec あたりの有効衝突回数；これは気体の衝突回数に等しくない (オーダーは同じである)。



8図 10mb気温 (Berlin, 実線) と電離圏吸収 A (Lindau, 破線), 1962年8月 1963年5月



9図 10 mb 気温 (Berlin) と電離圏吸収 (Lindau),
横軸は 10mb の突然昇温のはじまりからの経過日数

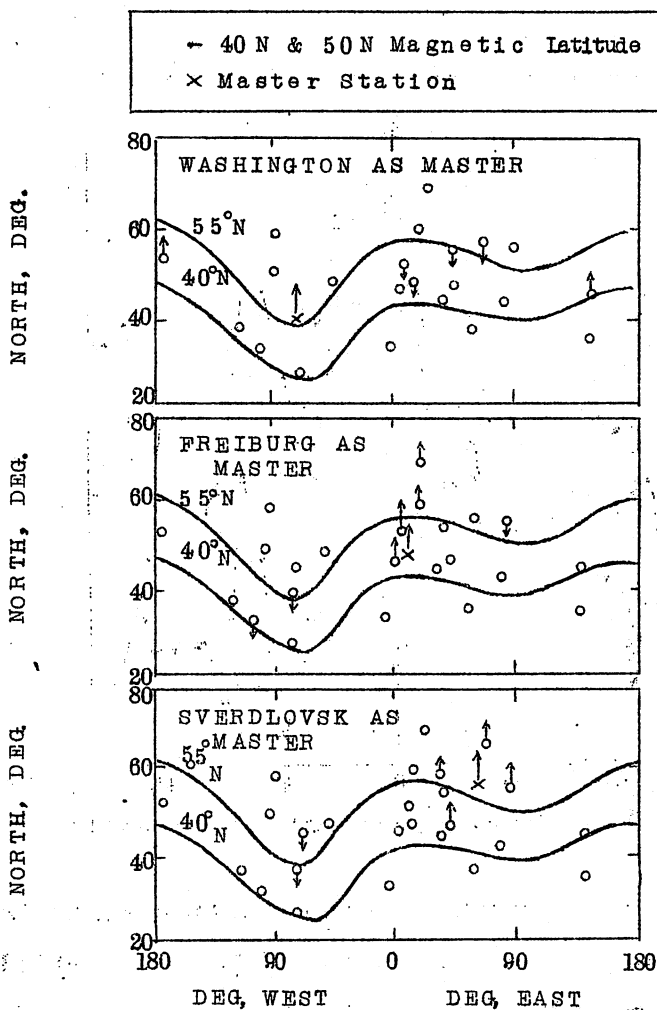


10図 電離圏吸収の変動; (a) $\Delta T > 20^\circ$, (b) $10^\circ < \Delta T < 20^\circ$

することができる。サンプルのなかにはこのような遠方の成層圏昇温も含まれている。またサンプルのいくつかは基準 (10° 以上の変動) よりも大きい、比較的小さい変動である。

このように “30 Km ~ 90 Km の大気はカップリングをしている。time lag はないか、あつても一兩日である。”

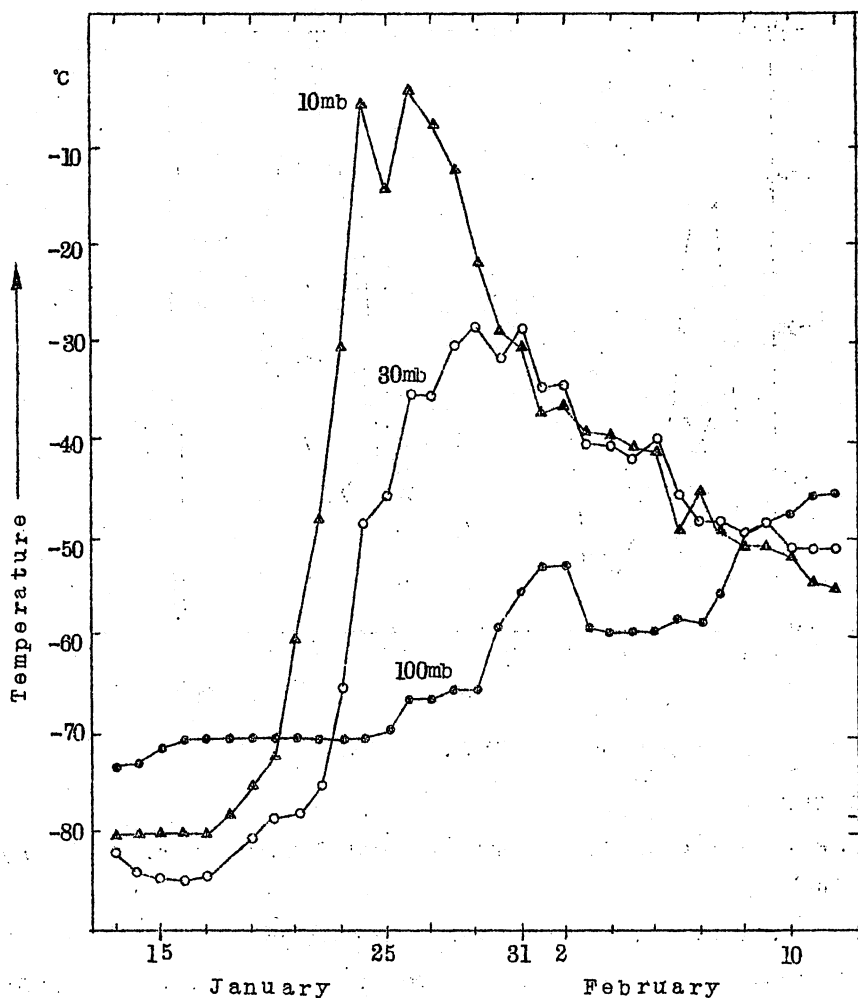
冬のアノマリーにはもう一つ特徴がある (11図); 緯度が同じでも、距離が大きいときにはアノマリー日が異なっている。Thomas (1982) は顕著なウインター・アノマリーを Washington のデータから選び出し、他の観測所で顕著な電離圏吸収が起つているかどうか調べた。この図からわかるように、相関は広い地域に及んでいない。Freisburg を master station に選んだ場合には、ヨーロッパとは正相関があるが、アメリカとは負相関になつている。このように winter anomaly は地域的な現象でその規模は数千キロメートルのオーダーである。電離圏吸収のウインター・アノマリーも成層圏気温のウインター・アノマリーと同じオーダーの規模である。



11図 master station と他の観測所のアノマリー日の関係

このような相関は他の地域——たとえば西ヨーロッパでも成立する。しかしオーロラ地帯 (Tromsø と Oslo) では相関が小さいので他の地域と比較できない。

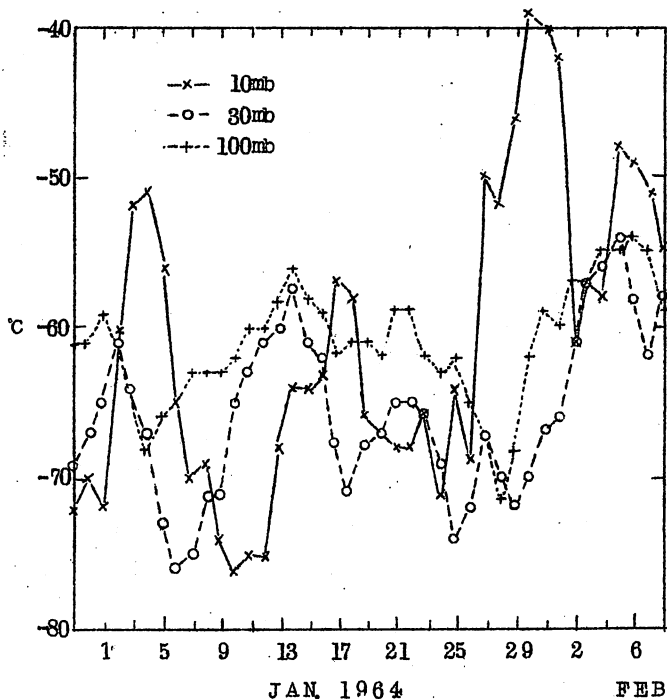
12図は1968年冬の10mb、30mb、100mb面の気温の変化をあらわしている；この図から30Km高度と電離圏の事象のtime lagがあるかないか調べてみよう。顕著な成層圏昇温が10mb—100mb (30Km—16Km)へ伝わるにはtime lagがある。しかし、さらに高度へ外挿できるかどうかは、データがないのでわからない。数は少ないがロケット観測データによれば10mbより上層でもtime lagは存在するようである。このtime lagは擾乱中心が傾斜している (tilt) ことによつて説明される。一



12図 75°N, 90°W の成層圏気温, 1968年1月~2月

点観測では tilt は time lag となつて現われる。

しかし、この time lag は顕著な成層圏昇温だけに存在し、小さな事象には存在しない。13図は10mb、30mb、100mb、の日別気温をあらわしたものである。80 Km (10mb) レベルと下層の事象にはずらしの関係はない。



13図 成層圏気温の変動, Berlin

REFERENCES

- Beynon, W. J. G. and E. S. Owen-Jones, 1965 J. Atmosph. Terr. Phys. 27 761.
- Bossolasco, M. and A. Fléna, 1963 Absorption de la couche D et température de la mésosphère. Comp. Rend. (Paris) 256 4491.
- Gregory, J. B., 1965 The influence of atmospheric circulation on mesospheric electron densities in winter. J. Atmos. Sci. 22 18.
- Jones, L. M., J. W. Peterson, E. J. Schaefer and H. F. Schulte, 1959 J. Geophys. Res. 64, 1831.
- Scherhag, R., 1952 Die explosionsartigen Stratosphären-Erwärmerungen des Spätwinters. Ber. Deut. Wetterdienst (US Zone) 6 51.
- Shapley, A. H. and W. J. G. Beynon, 1965 Winter anomaly in iono-

spheric absorption and stratospheric warmings. Nature
206 1242

Thomas. L., 1962 J. Atmos. Terr. Phys. 24 301

討 論

Robert : 80 Km の気温測定法は？ またその精度は？

Maenhaal : 高層観測には各種のラジオ・ゾンデを使っている。Berlin では、気温測定には thermister を、気圧測定には hypsometer を使っている。この二つとも精度が良く、気温測定には放射の影響はない。（放射による誤差は 1°K 未満）。

紹介者のまとめ

- 1 電離圏の現象と成層圏の現象（突然昇温）にはカップリングが存在する。タイム・ラグなし。
 - 2 成層圏の顕著な突然昇温は、上から下へ（10 mb $\rightarrow$ 100 mb）伝わる。タイム・ラグがある。
- ただし、小さい突然昇温については関係はない。（伝わらない）。

あ と が き

◇本号は海外論文特集として数編の掲載を予定しておりましたが、諸般の事情で太田さん、松岡さんの紹介による8編となりました。お二人のご投稿に厚くお礼を申しあげます。

◇本年度もかなりの会員の方が移動され、本号は新しい名簿でご送付しますが、万一転勤された方が届きましたらその旨ご連絡下さい。なお本誌はお手数でも転送或いは管理官室へ返送下さいますようお願いいたします。

◇昭和48年度(第7巻1～8号)分の会費未納の方は請求書を同封いたしましたので、できるだけ早く会費(年800円)をお送り下さい。なお44年度の会費も据置き(年800円)ですので、事務局も大分苦しくなりました。今年末までには44年度の会費も納入下さいますようお願いいたします。

◇昭和48年度の会計報告は下記のとおりです。

収 入 の 部		支 出 の 部	
会 費	104,500	クロスベッター印刷費	
バックナンバー売却代	1,200	(6-3, 7-1, 7-2)	106,400
前年度繰越金	56,997	郵送費・発送費	3,595
		バックナンバー買取代	2,300
		会 議 費	500
		事務局用品代	470
		次年度繰越金	49,432
計	162,697	計	162,697

◇本号で43年度(第7巻)がおわり、新幹事に檜山国雄・田代茂夫(長期)、荒井康(気研)の3氏がなられました。事務局の会費納入、会誌発送等の事務は田代さんが担当いたします。今後とも宜しくお願いします。

(飯田・百瀬・時田)

