

## 成層圏のジェット気流と温暖化に関する諸報告のメモ\*

今 田 克\*\*

### 1. はしがき

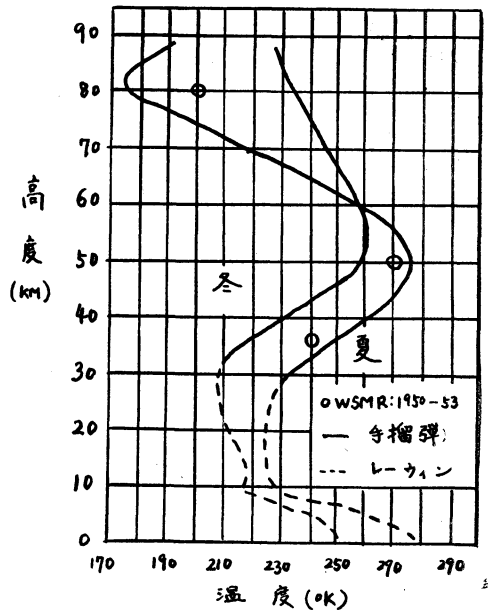
最近アメリカ合衆国では、高層気象観測の精度向上と、成層圏の高いところまで達するラジオゾンデの数の増大によって、成層圏ジェット気流とこれに関連した成層圏の温暖化現象に関する論文が続きつぎと発表されている。こそでこれらの論文から重要と思われることがらを集め、大勢を知っておく上のメモ的なものにしたいたいと考え、原論文中からの抜き書き程度にしてみた。ここに用いた図は、主として原論文中から選出してある。

### 2. 成層圏から上の平均温度分布

#### 1. ロケット弾による北極の大気昇温の観測

W.G. Stroud, W. Nordberg, W.B. Bandeen (1959) は合衆国 IGY ロケット予定表の一部として、カナダの Fort Churchill (59°N) で行われた10個の大気ロケット観測の資料から、つぎのように述べている。10個のうち5個は冬(1956年11月, 1957年12月, 1958年1月), 5個は夏(1957年7月8月)の資料である。第1図に平均した夏と冬の温度を記入してある。個々の飛行では夏に50kmに非常に顕著な温度の極大がみられ、265°Kから285°Kまで変動している。極大の下の温度傾度は2.5°C/kmであり、上の温度減率は-3.5°C/kmである。これに比べて、冬では55kmに温度の極大があって、255°Kから275°Kまでの変動があり、夏よりもはるかに低いことが明らかである。50kmから下の温度傾度は、夏とほとんど同じであるが、極大の上は冬の北極大気が非常に変動しやすいことを示している幅の広い温度分布が得られている。若干の飛行は二次的極大極小のあるこ

とを示しており、これを含めて平均をとると、温度減率は-1°C/kmになる。またこれらの新しい測定による結果の概略はつぎのようである。



第1図 Fort Churchill のロケット手榴弾による温度資料、曲線は夏と冬に発射したものの粗雑な平均、および一致したレーウイン資料である。1950~1953年に実験した若干の White Sand Missile Range の資料も示してある。

(1) 夏の間、80kmで極めて低い温度が測定された。この低い温度は、北極の夏の初めに観測される夜光雲、すなわちこの高さでの少量の有効水蒸気の凝結の形成に関する説明を暗示している。

(2) 低い夏の温度は、冬の月の間に、観測された相対的に高い温度と著しい差がある。2年間の冬で、80kmのところ観測された約250°Kの温度は、夏の温度の

\* Jet Stream and the Rise of the Temperature in the Stratosphere

\*\* Masaru Imada, 広島地方気象台

—1960年9月5日受理—

ものより約 75°C 高い。これらの測定の際に重要な点は、オゾンの相対的な役割と、冬の北極大気の沈下に重要な推察を与えることであろう。

(3) 1958年1月27日の発射は、その発射のときに起ったレーヴェン飛揚によって発見された 20km 層の「爆発的昇温」〔Teweles and Finger, 1958〕と一致していた。この日のロケットと気球の測定によると、昇温は 25 km から下の高度にかぎられていた。気球とロケットからの風の資料は、Teweles と Finger が支持している冬季のこの爆発的昇温は「主帯状流の大規模な南北流になっての吹き出し」のために起るとの見方を一層強くする。

2. 20—100km の平均温度場

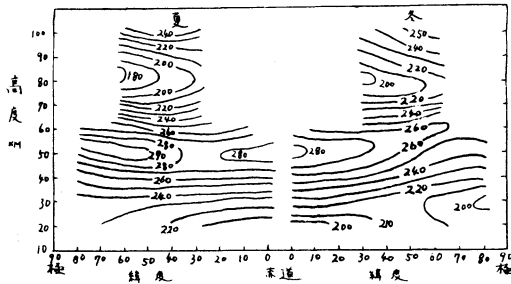
温度および帯状（東西方向）運動の首尾一貫した観測値の決定は、平均は地衝風似で運動し、その高度の変化は子午線方向の温度傾度に比例する ( $1\text{ m sec}^{-1}\text{ km}^{-1}$  が中緯度で約  $0.2^\circ\text{K/km}$  に相当する) という温度風方程式によって成し遂げられる。現在までの最もよい数値は Murgatroyd (1957) に従っており、第 2 図に写しを示してある。また、P.A. Sheppard (1959) は Murgatroyd

の表から引用した若干の等圧面での子午線方向の温度傾度を示した。これらの図の主な特徴はつぎのようである。

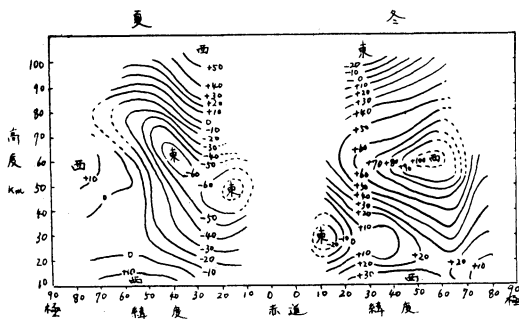
- (1) 温度は Strttopause の下で冬の極から夏の極へ増加している：Stratopause は 50—55km で温度極大を示し、Mesopause は約 80km で温度の極小を示している。中間圏は Stratopause と Mesopause との間である。
- (2) 温度は中間圏で夏の極から冬の極へ増加している。
- (3) 最低温度は mesopause の夏の極に現われている。
- (4) 中間圏の温度減率は  $3.5\sim 5^\circ\text{K/km}$  (夏の極付近で  $6^\circ\text{K/km}$ ) で逆転が上と下とにある。
- (5) 年間の温度変化の幅の極大が stratopause と mesopause の極にある。
- (6) 冬の偏西風ジェット気流が緯度約  $55^\circ$  の strato-pause 付近にあり、夏の偏東風ジェット気流が緯度約  $40^\circ$  の strotopause 付近にある。
- (7) 冬の偏東風は熱圏にあって、高さとともに急速に増大しており、夏の偏西風は熱圏にあって、高さとともに急速に増大していない。

(8) 中間圏および下部熱圏での鉛直シア率は約  $3\text{ m sec}^{-1}\text{ km}^{-1}$  である。

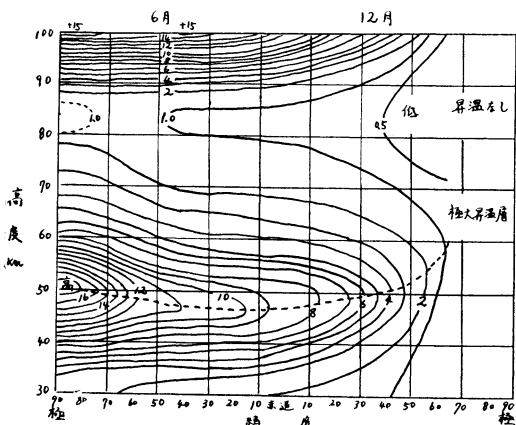
また、Murgatroyd と Goody (1958) は、 $\text{O}_2$  と  $\text{O}_3$  による太陽光線の吸収、および、 $\text{CO}_2$  と  $\text{O}_3$  による大気への放射から、20km から 90km までの放射の熱源、冷源の分布を計算した。50km から上は夏の極の上で  $\sim 5^\circ\text{K/day}$  の熱源であり、上部中間圏では、大気はもっとも冷たく、冬の極の上で  $\sim 15^\circ\text{K/day}$  の冷源であるということがわかった。低緯度を通じて放射平衡から少し差がある。もしこの図が正しければ、熱は夏の極から冬の極へ移らなければならない。(移流が赤道から両季節の極へ向う対流圏に似ていない)。熱の移動は冬半球の高緯度で期待される。高温から低温への熱輸送の必要条件は、力学的運動の場では満足されない。1日に上昇した温度で表わされた太陽放射吸収による加熱 ( $^\circ\text{K/day}$ ) の大きさは、Murgatroyd (1957) によって数値を求められており、これを第 3 図に示してある。これによると、高緯度で著しい季節変化が見られ、その水平傾度は夏半球より冬半球に向かって同一方向を持ち、加熱極大層は赤道付近で低く両極で高めになっている。大気放射による冷却が未確定ではあるが、観測資料を総合する際の目安としては有用な結果を与えている。



第 2 a 図 緯度と高度 Z の関数としての夏と冬の温度 ( $^\circ\text{K}$ )



第 2 b 図 緯度と高度 Z の関数としての夏と冬の帯状風 U (m/sec 西からの風を正)



第3図 緯度、高度、および季節の関数としての太陽放射の吸収による昇温 (°K/day)

### 3. 冬の成層圏極渦動

冬は、極成層圏の空気は地球の影にはいり、約 10km の高度から少なくとも 50km に達する強力な「寒冷低気圧」の軸を形成し、おそらく電離層の底面にまで延びているであろう。対流圏の大循環と比較して、この渦動は特に南半球において非常に安定であるように思われる。両半球とも小さい乱れに対しては極渦動は安定であり、普通の季節的破壊は春分の日以後に起る。北半球においては地形の影響で成層圏下部に「爆発的昇温」が起り、つづいて極付近の高い所の渦動が破壊して、その破壊は数日間にわたり上から下方へ広がっている。

#### 1. 中間圏の大循環の特徴

1945年以来、多くの研究者によって中間圏の大循環が研究され、その結果現在ではこれに関する多くの論文が出されている。この循環の最も顕著な特徴は、夏と冬で帯状風の風向に非常に大きな差があるということである。夏には両半球とも極のまわりの循環は主として帯状で高気圧性である。すなわち、偏東風は夏の半球全体にわたって卓越し、だいたい緯度25度、高度55kmで最大風速になる。冬には、極は低気圧渦動性の中心に非常に近く、半球の大部分では西風が卓越する。しかしながら、真冬でさえも熱帯の中間圏の循環は東よりの風が残り、かつ偏西風は緯度40度、高度60kmと、他の1つはこれより弱い地球の影の端に現われる2つの極大が出る傾向のあることは注目すべきである。第2の、すなわち寒帯に出る極大の高度は明瞭でないが、30km以上に現われるという証拠があるし、Murgatroydの解析によれば50km以上に達しているらしい。GodsonとLee

(1958)によれば、この西風の第2の極大は、影の中を回っている大気が強い放射冷却によって冷却するために生ずると考えられる。夏と冬の両極付近の熱的構造の差は、ある子午線方向の鉛直断面図によって理解できる。成層圏で温度の最も高いところは夏の極付近であり、ここでは傾圧度が小さく、温度は気圧の減少と共に普通はゆっくり増加する。一方冬の極では傾圧度が強く等温ではあるが低温である。少なくとも中、高緯度に関する限りでは、どの経度を通る断面を取ってみても同じような熱的構造を持っていることは注目に値する〔Godson and Lee, 1958; Murgatroyd, 1957〕。

中間圏の循環の第2の顕著な特性(対流圏の季節による風の変化と比較して)は、夏と冬の循環の交代が急速に行われることである。Palmer (1959) はそれらの結果を要約し McMurdo Sound (78°S) における季節による温度変化の主な特徴をまとめ、極を含むすべての南極の観測所では次のようなだいたい同様な傾向をしているとのべた。すなわち、(a)季節による温度変化の振幅は(地表の逆転層より下の冷たい層を除いて)対流圏よりも成層圏で大きく、探測された高度のうち最も高い所で最大である。(b)成層圏の温度は秋分以後急速に下降し始めるが、春分以後の温度上昇は、もっと急激で、後者の温度変化率の最高は前者に比べて3倍以上である。(c)成層圏は圏界面の高さがしだいに上昇するのに伴って冷却する。10月と11月の間の温度上昇を伴う圏界面の下降は一層急速で、日々の観測によれば、この変化は1週間以内に起っている。事実、成層圏の温暖化は北半球で「爆発的昇温」といわれている型に属する。半球間の差異を考慮して、上述の諸点は南極の観測網がよかった1957年と1958年の結果であることを強調しておかねばならない。

#### 2. 渦動軸における密度変化

また、Palmer は渦動の軸における密度の変化を調べた。信頼できる観測値の多い周極渦動の中心 (Alert) に近い、かつ、成層圏高度 (15km) の固定点で温度、気圧および密度\*の変化を示すと、第4図のようになる。こ

\* (気圧と気温から密度を求める計算例)

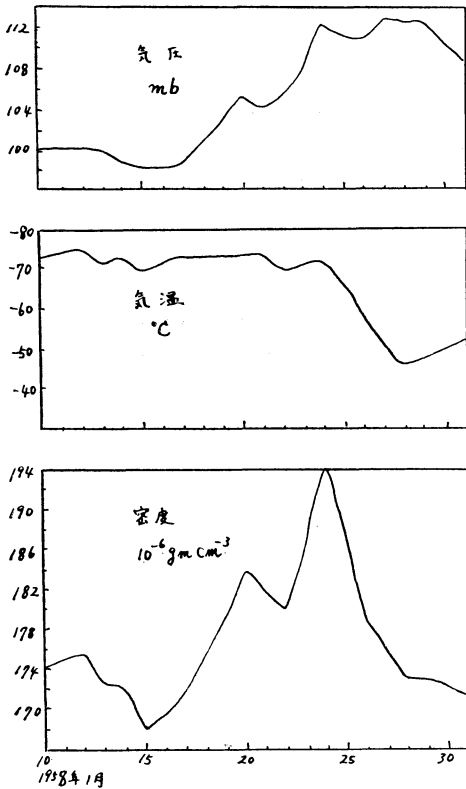
$$\text{気圧: } P_d = 100\text{mb, 気温: } T = -60^\circ\text{C} = -60 + 273 = 213^\circ\text{A}$$

[常数:  $R_a = 0.28704 \times 10^4 \text{erg}^\circ\text{A}^{-1}\text{gram}^{-1}$ ] のとき

$$\text{密度: } \rho_a = \frac{P_d}{R_a T} = \frac{100 \times 1000}{0.28704 \times 10^7 \times 213}$$

$$= \frac{1}{28.704 \times 213} = \frac{1}{6113.952} = 0.0001635 = 163.5 \times 10^{-6} \text{gm cm}^{-3}$$

単位



第4図 1958年1月の Alert (82°30'N) 上空 15km における気圧、気温、および密度の時間変化

この図から、1958年に Alert が暖くなる前9日間(1958年1月15-24日)は、成層圏下部では、気圧と密度は共に上昇しているが、温度は比較的定常状態を保っている。暖くなる間に密度は前の値に帰っているが気圧は高いままである。渦動の軸はだいたい上昇運動の結果大きな温度変化を生ずる。したがって、1月15日から24日までの密度に変化の起っている地上 15km のところでは実際には空気の鉛直運動はなかったと推断することができる。1月24日におそらく鉛直運動が始まり、その結果 15km のところで暖くなり、渦動の軸では気圧は高いままである。

### 3. 渦動の説明の不備

現在のところ、どの説も渦動についての次の驚くべき様相を説明することはできない。

(a) 南極の渦動は、地球の影にあるときは安定である。北極では安定の年もあり不安定のときもある。これは、渦動を乱すような乱は地形に影響されることも暗示

している。もしそうなら、小じよう動の方法は誤りで、乱れは有限になる。(b) 高い面における加熱は、両半球とも普通の季節的な破壊と関連している。この「普通」の破壊は、影の中にあるとき北極の回りで起る力学的な乱れと同様な特性を示していることは重要なことである。(c) 大気の圧縮性を考慮しなければならない。降下の際の断熱的加熱は渦動を埋積させ、このため極成層圏の運動エネルギーに大きな変化が起る。非圧縮性モデルではおそらく最初の運動量以外かかる変化を表わすことはできないであろう。

### 4. 太陽活動との関係

ペンシルバニア州立大学における研究グループ[Lethbridge and others, 1958]は北極渦の破壊の始まりの日付(Godson の資料による)と磁気活動との間には統計的な重要な次の関係のあることを最近発見した。すなわち、成層圏下部の気温上昇が始まる5日前磁気活動がピークに達するということである。温度波が 15km の所へ達するのに数日要するが、その高度の気圧変化は推定した破壊の始まりから見つけることができるということはずで知られている。太陽活動と北極成層圏における循環の変化との間の可能な関係は、1958年に打ち上げられたいくつかの人工衛星と太陽コロナからの 10cm 放射との間の相関から確認され、成層圏下部の密度変化は太陽活動と関係あるらしいことを示した。

### 4. 成層圏ジェット気流の観測

#### 1. Kochonski (1955) の 80°W に沿う風と気温の平均断面図。

Kochonski は 8°58'N (Panama) から 82°29'N (Alert) までに17の高層観測所のある 80°W について、30km まで四季にわたって調査している。風の資料は、月平均の contour map から求めた地衡風である。温度の資料は、80°W に沿う17の観測所のもので、主に1948~1951年の資料である(図は省略、要点は次のようである)。

- (1) 1月(12月、2月にもまた)には、20km 以上の高度で65~75°N (極夜の縁に)強い偏西風がある。
- (2) 7月(6月、8月にもまた)には、上と同じ所(70~75°N)に偏東風の極大域がある。
- (3) 亜熱帯偏東風の極大域は、4季を通じて、20km 以上の 20~25°N に現われている。
- (4) 1948~1951年の平均では、中緯度偏西風極大域は時々2~3の極大域に分裂することがある。
- (5) 熱帯および寒帯圏界面の重なりは、35~45°N でおこり、分離した圏界面葉が高さ 16~19km の40~50°N

に見られる。

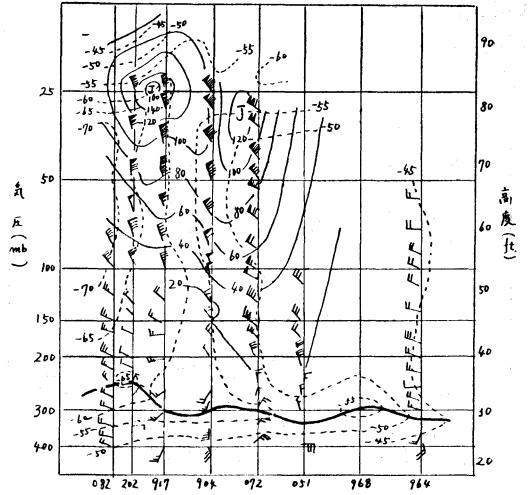
(6) 14~26km 層で0~70°N 帯に子午線方向に逆の気温傾度が起っている。最強は30~50°N、高さ14~20kmの層で、緯度1度につき1°C になり得る。0~60°N 帯で26~28kmの所に等密度面がある。この層から上の方では子午線方向の気温傾度は北の方へ向えているように見える。

Kochanski の平均断面図は北緯70度と80度の間の、20km 層についての顕著なジェット気流を現わしており、それは7月は偏東風の芯に置きかわっている。4月と10月に相当する平均断面図は、この期間非常に弱い平均偏西風が極付近に存続しているけれども、これらの層と緯度(70~80°N 20km 層)においてはまた東の成分をもった弱い風を示している。Kochanski は平均高層資料と天気図の解析からこの最大値の存在を指摘しているけれども、この付近の16km 以上の風の報告がほとんど欠乏していることを明記している。

2. 1955-1956年の冬期間中の北極成層圏ジェット気流

偏西風ジェット気流は冬期間中においてのみ成層圏循環の一つの特徴であるということは、Kochanski の平均断面図から明瞭である。このジェット気流に伴う温度上の構造は、北極夜の限界を横切る高層で北方に向って気温が急激に下っている必要がある。平均のジェット気流を緯度と高度に結びつけて考えてみると、初期にこのジェット気流を研究した人達は、このような温度場に伴ったジェット気流の理論的な構造は、太陽光線の紫外線放射を吸収し、それを種々な赤外線帯で再び放射しているオゾン層の中に存在しているという仮説をみちびいた。北極夜の限界は最初に極の近くで発達し、冬至まで南に進み、冬の終りに北の方へ後退するので、いくつかの観測点を横切る経路は、ジェット気流の下の強い傾圧帯内の温度場の中で、観測点の値が変化するときに見つけ出せる。さらに、傾圧帯の初期の発達は、北極夜の限界を横切ったときの気温低下の割合に関係するであろう。

Lee と Godson (1957) は1955年10月16日から1956年4月30日にわたる西経60度と140度の間の北極および亜熱帯におけるすべての観測所の高度40,000ft 以上の実測風と気温を用いて、冬季の高緯度に成層圏ジェット気流が存在することを示した。第5図は1956年2月26日1500Z の鉛直断面図を示したものであり、ジェット気流が最も強かったのはこの時間の近傍である。この断面図の配置は NE-SW であり、成層圏における強い北西風



第5図 1956年2月26日1500Z のほぼ NE-SW に配置した鉛直断面図：図界面は大実線、等温線(°C)は破線、成層圏の実測北西風の等風速線は細実線(ノット)で示す。

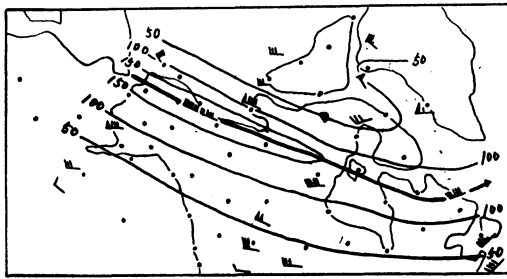
が断面図の面にほとんど直角になっている。この断面図の中の最大実測風は Eureka (917) における80,000ft. 以近の16kt である。ジェット気流の下の強い気温傾度は非常にはっきりしており、800マイルの距離で-70°C から-50°C に気温が増している。Resolute (924) の南の成層圏は、垂直方向にも水平方向にもほとんど気温が等しい。断面図の配置と不規則性により、2つの極大が実在していることについてはいくらか疑問である。

またさらに、600mb の気温の10日間移動平均および20日間移動平均分散の変化によって、成層圏ジェット気流の蛇行性を説明している。

5. 成層圏ジェット気流を横切る鉛直断面図

Krishnamurti (1959) は、1957年12月31日から1958年1月3日までの4日間で、緯度50°と80°N および経度60°と170°W の間の49地点からの約200回の上層観測資料を用いて、極夜の成層圏ジェット気流軸を横切る鉛直断面図を作成した。高さとともに観測密度の減少が非常に大きく、300-mb にくらべ25-mb 面以上の観測回数は20%以下になっている。この観測回数数の貧弱さは、行われる計算に誤まりを導き入れているかも知れない。第6図は4日間の25-mb の風をあつめて描いた風速分布およびジェット軸である。50ノット以上の風が緯度20度の広さの帯をおおっており、軸に沿って180ノット近くの極大風速が西方の気圧の尾根に位置しており、120ノット近くの極小風速がカナダ東方上の気圧の谷に位置して

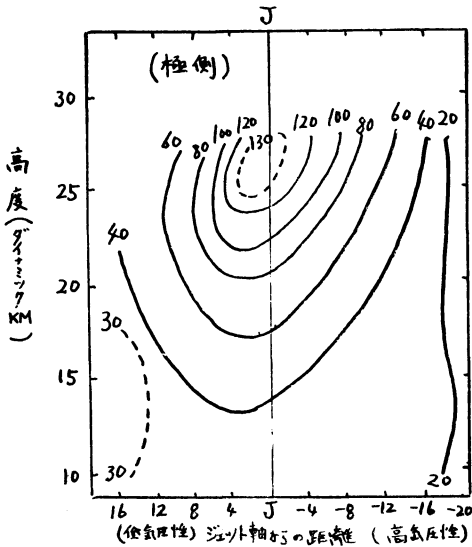
いる。角度で、気圧の尾根から谷までの距離は経度で約90度であり、もし周極流が仮定できれば、2つの波動場を暗示している。



第6図 1957年12月31日から1958年1月3日までの25-mbの風の分布(ノット)

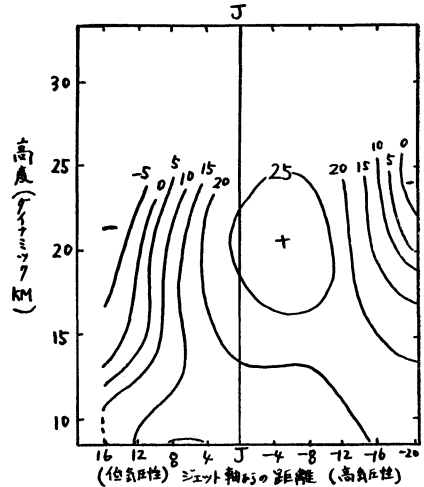
1. 風の断面図

風をS-N座標系によって成分( $C_s$ ,  $C_n$ )に分けた。そしてS軸はジェット軸に平行、nはsに直角で左へ正として取った。 $C_s$ 断面図(第7図)は、26ダイナミックkmに135ノットの平均風速をもったジェット核が現わ



第7図 ジェット軸に平行な風速成分 $C_s$ (ノット)の鉛直断面図

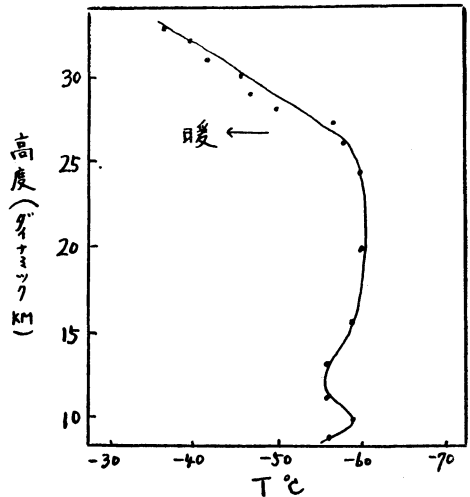
れて壮观である。一般にジェット気流の中で観測されるように、水平シアーは軸の右よりも左の方が約1/3大きい。 $C_n$ 断面図(第8図)は低緯度から高緯度を通じて10ないし20ノットの軸を横切る流れが顕著である。



第8図 ジェット軸に垂直な風速成分 $C_n$ (ノット)の鉛直断面図

2. 温度場

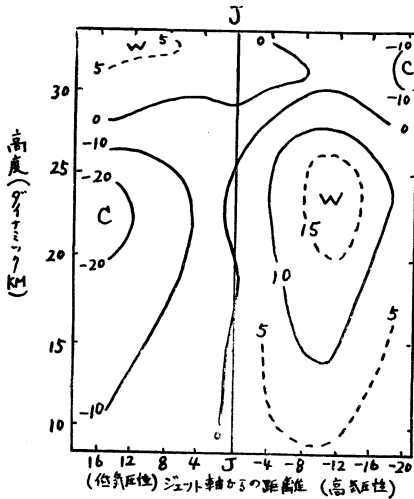
1957年12月31日から1958年1月3日までの4日間で、すべての有用な観測値から平均状態曲線を計算すると、第9図のようになる。これを見ると、平均状態曲線の温



第9図 1957年12月31日から1958年1月3日までの4日間のすべての観測値を平均した鉛直温度分布

度は、26ゼオポテンシャル km, 正確には極大風の層まで一定である。この層から上では、上のオゾン層まで増加が起っている。かくて、低高度ジェット気流に関係した圏界面付近と比べて、ジェット核の高さのところ到大

気の安定度の顕著な増大がある。第9図の状態曲線から温度偏差図を作ると第10図のようになり、最強風層の下にはほぼ等温の深い層があり、軸を横切って右から左の方へ大きく温度が下がっていることがわかる。また核の上には反対の温度場が弱いながら示されている。



第10図 第9図の状態曲線から温度偏差(°C)を出した鉛直断面図

6. 成層圏の温暖化

1. 観測事実

成層圏は圏界面から上 stratopause までの層として考える。中緯度ではこの層はほとんど等温である。成層圏は、ほぼ35kmから下20kmまでの上部成層圏と、20kmから下、圏界面までの下部成層圏に分けられる。上部成層圏とは反対に、下部成層圏には対流圏の特性を示すたくさんの強い小さい谷や尾根が現われる。上部成層圏の気圧の谷や尾根は一般に等高線と等温線の位相があっているが、下部成層圏では等高線と等温線は一般に位相がずれている。

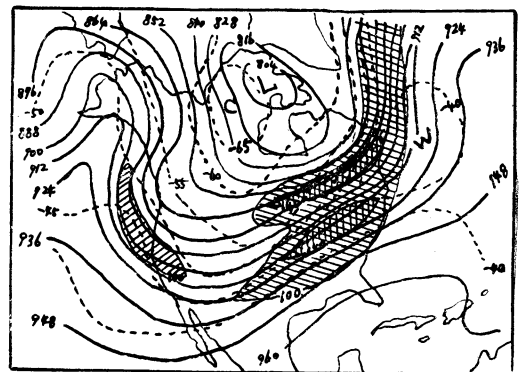
温度が赤道から極へ増加している夏の間、高さとともに増している東風は、下部成層圏および対流圏の活動からほとんど完全に孤立して吹いている。9月10日には西の成分をもった風がまず高緯度に現われ、それからしだいに南の方、亜熱帯に現われるようになる。上部成層圏の偏西風の気圧の谷や尾根は一般に対流圏の大きい気圧の谷や尾根と合っており、対流圏の短かい波によってはほとんど影響を受けない。北極圏内で、長い極夜の初めの月に温度がしだいに下降しており、冷たい北極中核と中緯度の高い圏界面の上のほとんど完全に地球を取りま

く温暖帯との間の傾圧帯で、北極成層圏ジェット気流の形成と強化を伴っている。このジェット気流の速度はきまったように100ノットに達し、ときどき200ノットを越えている。このジェット気流内の波の拡大に結びついた壮観な現象は、上部成層圏の異常な温暖化が起ることである。Scherhag (1952) は1952年のこの型の異常な温暖化の実例を報じ、これを「爆発性」の温暖化と言った。

北極夜の成層圏ジェット気流と、毎年極から外に流れるつらなった寒気の芯およびその強さを失う状態は、つい最近、25-mbおよびそれ以上の資料の数が増加したので、観測可能になったばかりである。各年の吹き出しは異なった日に異なった場所で起る傾向があるけれども、それは一般に壮観な連続した変化を伴っている。1958年 [Teweles and Finger] は寒気がグリーンランドからカナダ東部を経て合衆国中部に南下し、アラスカの高気圧が非常に発達して北大西洋の高気圧と一緒にになり、カナダ上をおおようになった。また1957年 [Craig and Hering] は寒気が西カナダを通して合衆国にはいっており、ニューファンドランド上の25-mbを暖める「爆発物」が出現し、それら異常な暖気がグリーンランドを横切って北方へ動いた。1956年3月には温暖化がアラスカ地域からカナダ中南部へ動いたが、周極低気圧の急速な吹き出しによって変化がばらばらになった。

2. 1957年について解析例 [Teweles, 1958]

1957年1月24日に、突然あるいは「爆発性」の温暖化の開始で、成層圏ジェット気流は300-mb図(第11図)で見られるように異常に強くなった。カナダ上には

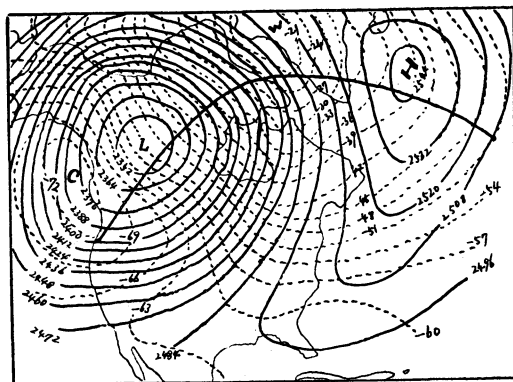


第11図 1957年1月24日1500Zの300-mb図。等高線(実線)は10m単位、等温線(破線)は°C、等風速線(細実線)はkt.単位、100kt.以上の風の地域は斜線をほどこし、極大の地域は二重にほどこしてある。

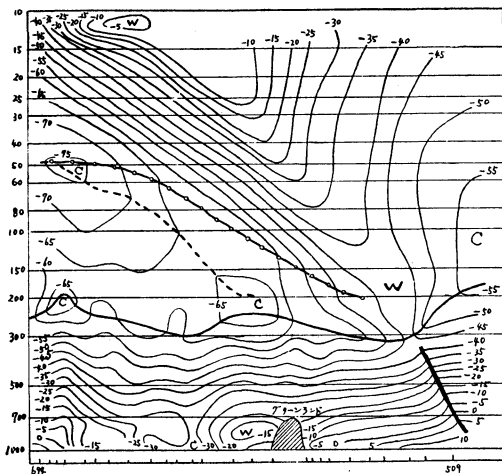
Riehl (1950) によって述べられたような、成層圏を通じて上の方に高さとともに強くなっている型の非常に冷たい低気圧があった。暖かい尾根がアラスカ湾から北極に向かって北の方へ伸びている。カナダの低気圧とアラスカの尾根との間の北よりの風の広範囲の流れによる寒気の移流が、南から北への温度傾度、および合衆国を横切る高層の異常な強さの偏西風の持続に重要な因子であった。これらの風は、カナダの低気圧とフロリダ上の尾根との、強い等高線の傾度の地域に入っている合流帯を通過するときに加齢されている。100 ノットの等風速線は 35°N の北の合衆国の東部をおおい、140 ノットを越える風が、五大湖から海岸地方の上の鋭い気圧の谷にかけて2つの帯になって伸びている。この風の運動エネルギーの可能な源は、流れ込んでいる寒気がゆっくり沈下するために放出される位置のエネルギーである。鋭い気圧の谷付近で、100 ノット以上の風の帯が狭くなっている。空気は等風速線よりも早く動いているので、速度を減じ、等高線を横切って右に吹いていなければならない。減速しつつあるジェット気流によって放出された運動のエネルギーは、流れの右に水平収束と左に水平発散を伴った鉛直運動を通じて位置のエネルギーにもどされている。発散の地域で、位置のエネルギーの蓄積は、鉛直運動が0の面があって、下よりも潜在的に冷たい空気のもち上がり、あるいは上よりも潜在的に暖かい空気の降下による、2つの方法のどちらかで完成され得る。収束の地域においても同様に、位置のエネルギーの蓄積は、下よりも潜在的に暖かい空気、あるいは上よりも潜在的に冷たい空気の力によって行なわれる。他の層に働く力によって、これらのうちどちらかによる違った組合せが優位を占める。さらに、収束あるいは発散の極大の地域、したがってまた温暖化あるいは冷涼化の極大の地域は、鉛直的に著しい傾斜をしているため、一つの面での最も暖かい点は、上に行くにしたがって1,000 マイルあるいはそれ以上も位置が変わっている。

最盛期間中の北アメリカ上の温暖域の概観が2月6日の25-mb図(第12図)で得られる。大陸西海岸沖の寒気は完全にその北極源域から締め出されているが、25-mbでの最低温度は、低気圧の他の象限で温度が大きく増しているにもかかわらず、ほとんど変わらなくなっている。大西洋上の連続した高気圧発生は、北西方に動きながら閉じた高気圧になっている。アイスランドのKeflavik上での等圧面高度変化は高い所ほど早く大きく、10mbでは1月23日以後2週間に3,300m(10,800 ft)を越え

ている。大西洋高気圧とカナダの低気圧をつらぬく2月6日の鉛直温度分布の外観は、アゾレスからオレゴン州までの曲線(第12図)に沿って取った断面図(第13図)でわかる。-5°Cの等温線が、12時間前のChurchillの



第12図 1957年2月6日の25-mb図。等高線(10m単位)は実線、等温線(°C)は破線。第13図の断面図の線を付記してある。



第13図 第12図でひかれたアゾレス諸島のLajes(509)から、オレゴン州Salem(694)までの1957年2月6日に対する断面図。極太線は前線、太線は圏界面、白丸つき太線はStratopause、太破線はとぎれた温度減率を示し、等温線は°Cである。

11mbで-3.4°Cの実測と同時にひける。この非常に高い層での温暖化の効果が、中部成層圏の最も冷たい空気の上にほとんど完全に広がってしまう状態が見られ、また下や上より暖かい空気を持った同じ大気の柱の中のこの50-mb付近の低温の維持は注目すべきであり、等温線はどこでも風よりも非常にゆっくり変化しているの

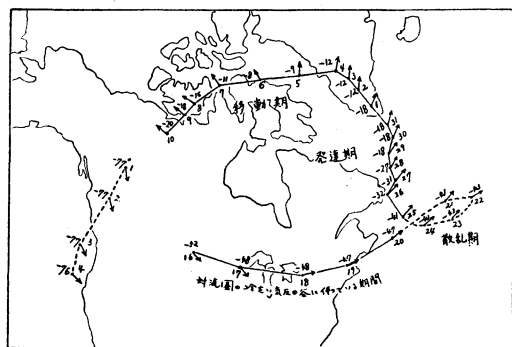


で、力学的過程を通じての説明が必要のようである。

極夜期間中の放射をうける北極地域は完全な円形であり、そのため円周に沿って外面の水平方向の温度傾度を知ることが期待できる。鉛直風シアや高層ジェット気流の分布は帯状であるべきである。しかし、観測されたジェット気流は、アリューシアン—アラスカ地域上で高気圧性の流れを示し、東カナダとグリーンランド上で低気圧性の流れを示す傾向がある。使える資料から、そんなに顕著な強制的なじょう乱は、大西洋では存在しないということがわかる。かくて、地形が高い成層圏の循環に影響を与えているというおもしろい現象が考えられるわけである。

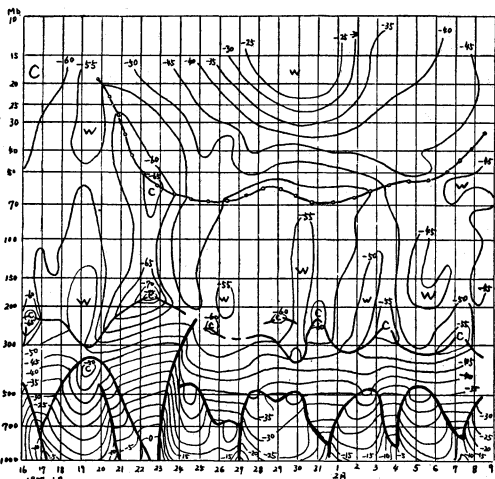
3. 対流圏との関係

1957年の温暖化現象の他の見方を説明するために、25-mb における温暖および寒冷中心の経路を第14図



第14図 1957年1月16日～2月10日の温暖中心と、1957年2月1日～3日の寒冷中心との25mb面の経路、日々の1500Zの中心位置を示し、極の温度を上、日を下、および風を中心から矢印で示してある。

し、風の流れにさからって逆行し始めた。その中心温度は、初めはゆっくりだがだんだん早く、1月25日の始めの発達期の最初の24時間で、 $-41^{\circ}\text{C}$  から  $-32^{\circ}\text{C}$  まで昇り、1月29日には  $-18^{\circ}\text{C}$  になった。中心の運動はこの段階の間、少なくとも2月10日までは、風の左へほとんど直角の方向であった。



第15図 ニューファンドランドの Stephen ville の1957年1月16日から2月8日までの時間断面。記号は第13図と同じ。

大陸の西側で、温暖中心よりも  $60^{\circ}\text{C}$  も低い温度をもった寒気を中心位置を、2月1日から4日までの4日間だけ、はっきりと示すことができる。それはまた、風に対して、しかも右の方へほとんど直角に動いた。時間間隔の25-mb 図で調べると、寒冷中心、低気圧中心、温暖中心、および高気圧の中心の経路というものは、寒冷中心、および高気圧を伴った他の経路にほとんどしたがっているという、おもしろい平行性が現われている。

Teweles はまた第15図と同じような他の数カ所の断面図を作り、その類似点をあげている。それによると、まず初めに冷たい対流圏気塊と結びついた暖気の深い柱が中部成層圏の中を動いており、つづいて北極成層圏気塊の短時間の襲来を伴った冷たい高層界面(20mb面の真上に)が出現し、この上に寒気の柱がコロラド州 Denver で約25km (25-mb)、イリノイ州 Peoria 22km (40-mb)、ニューヨーク州 Albany で18km (60-mb)の高さにまで登っている。この顕著な圏界面と寒気の登りは、下部対流圏での暖かい南よりの力強い押しと同時に現われている。100-mb から上の冷たい成層圏気塊の一部は北極成層圏気塊の広がりであり、その到達後その

[Thompson, 1957] に示す。1月16日に、温暖中心が合衆国—カナダ境界で明らかに示し得るようになり、4日間そこを吹いている風とほとんど同じ方向へ、しかも非常にゆっくりした速度で東の方へ動いた。この初期の間、非常に深い層にわたって鉛直に連続してはっきりしている25-mbの温度中心は、中部対流圏の非常に冷たい強い気圧の谷の上に沿ってまっすぐ動いた。これは Stephenville (第15図) の時間断面図によって説明され、1月19日と20日の温暖な成層圏気塊の通過が、非常に冷たい対流圏気塊が卓越している低い圏界面と結びついている。1月20日から25日までの散乱期の間は、25-mbの温暖気塊は東大西洋の一部分上に不安定形に広がり、中心の位置は確かでない。1月22日に、中心は停止

地域にとどまって、圏界面およびその下の活動にわずかに関与している。下層における日々変化からのこの隔離はまた、stratopause の上の温暖域の特徴である。

この期間中の鉛直運動は、Denver から Albany までの経路に対してざっと見積ることができる。上部成層圏の風は Denver から Peoria を経て Albany まで、50 kt. から 100 kt. の速さで吹いていた。Stratopause から上の 25-mb の温度は、1400海里上流の Denver よりも Albany で約 20°C 高い。この条件が続いた1週間以上は、この経路に沿って 1~3 cm/sec の平均下降率をもった 5°C/km の逆転が必要である。高比率が短期間起って、しだいに弱まっていった〔Craig and Hering, 1957〕。

Craig と Hering (1957) は1957年1月2月の 200-mb の高度変化と 50-mb の高度変化との相関係数は 0.56 であり、700-mb と 50-mb では 0.77 であることを示した。また同じ期間の対流圏循環 (700-mb で観測されたもので) は、西半球で寒帯偏西風 (55°N~70°N) の一様な減少および中緯度東西指数 (35°N~55°N) の極小から極大を経て極小への波動を含んでいる。しかし、2つの極小のときの循環の場は非常に違っており、その違いは成層圏の最も高度の増加の大きい地域で、大きな高度上昇を示していることである。寒帯渦の回りを回っている空気は、渦循環の強さがしだいに弱まっている間の、2~3週間続いた顕著な波動に伴って、交互に上昇および下降をしている。そしてこの 700-mb における西半球の中緯度偏西風の顕著な指数サイクルは Stark (1957) および Woffinden (1957) によっても指摘されているが、1月半ばの指数の極小と、2月半ばの極小とが、大きな成層圏変化の期間の初めと終りとに対応しているのは奇妙なことである。

#### 参考文献

- 1) W.G. Stroud, W. Nordberg, W.R. Bandeen, 1959: Rocket-Grenade Observation of Atmospheric Heating in the Arctic. *Journal of Geophysical Research*, 64, 9, 1342—1343.
- 2) S. Teweles and F.G. Finger, 1958: An abrupt change in stratospheric circulation beginning in mid-January 1958. *Monthly Weather Rev.*, 86, 1, 23—28.
- 3) R.J. Murgatroyd, 1957: Winds and temperatures between 20km and 100km—a review. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 83, 417—458. [図書月報 4, 3, 16—19 堀内剛二抄訳]

- 4) R.J. Murgatroyd and R.M. Goody, 1958: Sources and sinks of radiative energy 30 to 90km. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 84, 225—234.
- 5) P. A. Sheppard, 1959: Dynamics of the Upper Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 64, 12, 2116—2121.
- 6) Clarence, E. Palmer, 1959: The Stratospheric Polar Vortex in Winter. *Journal of Geophysical Research*, 64, 7, 749—764. [気象学文献抄 (広島地方気象台) 第17号 (1959) 706—725, 丸本一雄紹介]
- 7) Godson, W.L. and R. Lee, 1958: High level fields of wind and temperature over the Canadian Arctic, *Beitr. Phys. Atm.*, 31, 40—68.
- 8) Lethbridge, M.D., H.A. Panofsky, and H. Neuberger, 1958: Research directed toward the study of the relation of solar energy variations to changes of the tropospheric circulations, U.S.A.F. Cambridge Research Center, Bedford, Mass, Final report under contract No. Af 19 (604) —2251.
- 9) T.N. Krishnamurti, 1959: A vertical cross section through the "Polar-Night" jet stream. *Journal of Geophysical Research*, 64, 11, 1835—1844.
- 10) S. Petterssen, 1950: Some Aspects of the General Circulation of the Atmosphere. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.*, 76, 120—155. [地球物理学文献抄 4 集 4, 221—269. 中村則行紹]
- 11) Lee, Roy and Godson, Warren, L., 1957: The arctic stratospheric jet stream during the winter of 1955—1956. *Journ. Met.*, 14, 2, 126—136. [航空気象学文献抄 1, 5, 122—138, 佐々木幸紹介; 図書月報 3, 7, p. 75, 佐々木幸抄訳]
- 12) Adam Kochanski, 1955: Cross sections of the mean zonal flow and temperature along 80°W, *Journ. Met.*, 12, 2, 95—106. [航空気象学文献抄 2, 1, 25—43. 新井重男紹介]
- 13) Richard, A. Craig and Wayne, S. Hering, 1959: The stratospheric warming of January-February 1957. *Journal of Meteorology*, 16, 2, 91—107. [航空気象学文献抄 4, 2, 36—61. 早川太一郎紹介; 気象学文献抄 (広島地方気象台 1960) 25, 1013—1043, 今田克紹介]
- 14) Sidney Teweles, 1958: Anomalous Warming of the Stratosphere over North America in Early 1957. *Monthly Weather Review*, 86, 10, 377—396.

- 15) R. Scherhag, 1952: Die Explosionsartigen Stratosphärenwärmungen des Spätwinters 1951/1952, Berichte des Deutschen Wetterdienst in der U.S.-Zone, 38, 51—63.
- 16) H. Riehl, 1950: Variations in the Structure of High-Level Cyclones. Bulletin of the American Meteorological Society, 31, 8, 291—294.
- 18) J.C. Thompson, 1957: Analysis of Lower Stratospheric Pressure Maps in the United States, Paper presented to Meeting of Committee for Aerology/WMO, Paris, June 18—July 9.
- 18) R.A. Craig and W.S. Hering, 1957: Technical Memorandum to the Director, Geophysics Research Directorate, GRD-TM-57-17, Air Force Cambridge Research Center.
- 19) Stark, P., 1957: The weather and circulation of January 1957—a month with a persistent block in the Gulf of Alaska. Mon. Wea. Rev., 85, 19—27.
- 20) Woffinden, C.M., 1957: The weather and circulation of February 1957—another February with a pronounced index cycle and temperature reversal over the United States. Mon. Wea. Rev., 85, 53—61.

## 神山恵三氏の訪中について

日本気象学会 国際学術交流委員会

気象学会々員神山恵三氏は、日中友好協会学術代表団の一員として、さる11月26日に羽田空港を出発し、約1か月にわたり中国各地を訪問されました。このことは、日中両国民の友好を深め、学術的な交流を盛んにする上に極めて大きな意義を持つものと考えられます。

今回の学術代表団は、中国科学院から日中友好協会に約10名の招待があったことに基いて結成されたもので、日中の学術交流を進めるための基本的な討論折衝を行って今後の活動の中核となることが、その最大の使命となっています。気象学会では、会員神山恵三氏をその適任者として推薦し、幸いに自然科学部門の代表5名中の一員に加えられました。さきに日本気象学会理事長より中国気象学会々長あてに、学術交流についての2、3の提案をしたことは本紙第11号に掲載されている通りであります。神山氏はその具体的折衝を進めるという任務のほか、会員各位から寄せられた希望などを背負って広汎な活動をして居られるものと期待されます。

国際学術交流委員会では、神山氏の中国訪門を実現させ、より多くの成果がえられるように、訪中募金を行いましたところ、多数の会員をはじめ各種団体などからご賛同をえ、現在までのところ下記のような多額に達しました。ご賛同下さいました各位には、紙上を以て厚く感謝の意を表わします。なお下記総額のうち、32,000円は日中友好協会の連絡活動資金として上納し、残額を神山恵三氏へ訪中準備金、中国滞在中の各種活動資金および訪中期間の賃金不払分補てんなどの諸出費の一部として差上げました。なお、最終的な明細は追って御報告致します。

1960年12月

ますのでご了承下さい。

記

神山氏訪中募金(12月15日現在、申込順、カッコ内の数字は口数) 合計金額 52,600円也

1,200円 気象庁電子計算室有志 荒川昭夫(1) 藤原滋水(0.5) 寺内栄一(1) 鍋島泰夫(1) 伊藤宏(1) 斎藤直輔(1) 岸保勘三郎(2) 新田尙(1) 磯野良徳(0.5) 大河内芳雄(0.5) 鷺坂恭一(0.5) 増田善信(2)

1,500円 気象研予報研究部有志 千秋鋭夫(1) 栗原宜夫(1) 浅井富雄(1) 窪田正八(2) 片山昭(1) 竹内衛夫(3) 相原正彦(1) 松本誠一(3) 堤敬一郎(2)

100円 三崎方郎(1) 100円 小林正治(1) 100円 内藤恵吉(1) 100円 当舍万寿夫(1)

1,700円 レーダー気象談話会有志 今井一郎(2) 小平信彦(2) 渡辺和夫(2) 戸矢啓吉(2) 当舍万寿夫(2) 青柳次郎(2) 市村市太郎(2) 柳沢善次(2) 藤原美幸(1)

200円 レーダー気象談話会有志 東管レーダー係(2)

1,200円 気象研高層物理研究部有志 石井千尋(3) 鈴木正(1) 北村正亟(1) 小林寿太郎(1) 外山芳男(1) 経塚貢(1) 石川業六(1) 関原疆(1) 村井潔三(1) 小川芳雄(1)

3,600円 気象研応用気象研究部有志 粗山政子(3) 増山元三郎(5) 佐藤純次(1) 伊東疆自(5) 丸山晴久(2) 成瀬弘(2) 浜呉一(2) 森口実(2) 矢野直

—以下25頁へつづく—