

1964年の冬期末における成層圏の昇温について*

杉 本 豊**

まえがき

対流圏と成層圏における気象学的関連については古くから論じられているが、1950年頃よりラジオゾンデ測器の発達により 30km 以上に達する観測資料がかなり多く集積されるようになって来た。これらの資料を用い Scherhag(1952), および Teweles および Finger(1958) Godson(1959), Craig および Hering(1959), Boville(1960) 等は、冬期末に生起する高緯度域の成層圏で観測される異常昇温について調査している。

東京航空地方気象台では IQSY 業務のためと近い将来採用されるスーパーソニック機の巡航高度たる 50 および 100mb 附近の気象現象の予備的調査を行なうため、これらの面の天気図の解析を1964年2月1日より開始した。その間2月下旬よりアリューシャン地域に最終昇温が起り、次第に温暖域は北東進して3月中旬には成層圏の温暖核が極地域をおよぶようになり、完全な夏型の気圧配置に転換した。

この間の成層圏の昇温について調査したので、あらましを報告したい。

1. 30mb 等圧面図から見た循環の変化

1964年冬季の成層圏の昇温は大きく分けて3つの段階に分けて発生したと見ることが出来る。

- 1) 1月11日～15日 (アリューシャン・アラスカ地域)
- 2) 2月3日～4日 (アリューシャン・アラスカ地域)
- 3) 2月20日以降 (アリューシャン・アラスカ地域より北東進し極に向う)

以上大きく3段階に分けて成層圏の昇温が観測されたがこれらはいずれもアリューシャン・アラスカ地域で発生した。第3)の場合は、いわゆる最終昇温に相当するもので、系統的に極に入るまでの昇温域を追跡すること

が出来る。

昇温域の発生地とその進行方向は年によりかなり変動があることは多くの著者により調べられている。たとえば、1958年の昇温は1月20日にヨーロッパ南部で発生し北西に進みアメリカ大陸北部を通過し、偏西風の流れに逆行しつつ西進し、2月上旬北大平洋で消滅した(Scherhag)。この期間の昇温については Teweles および Finger が主としてアメリカ大陸での資料を基にして調査している。また、1957年の昇温は1月下旬アメリカ大陸の東岸で発生し、北上してグリンドを通過し、その後月上旬より西進してカナダ北部を西方に進行した。

(Teweles) しかしながら今年の場合は発生域はいずれもアリューシャン・アラスカ地域に起り、前の2つの case では追跡は困難であるが、最後の最終昇温の場合にははっきり東進していることを追跡によりたしかめられた。

第1～8図は2月5日より3月5日までの5日毎の30mb 等圧面高度天気図および 5°C 毎の等温線の分布図を示したものである。

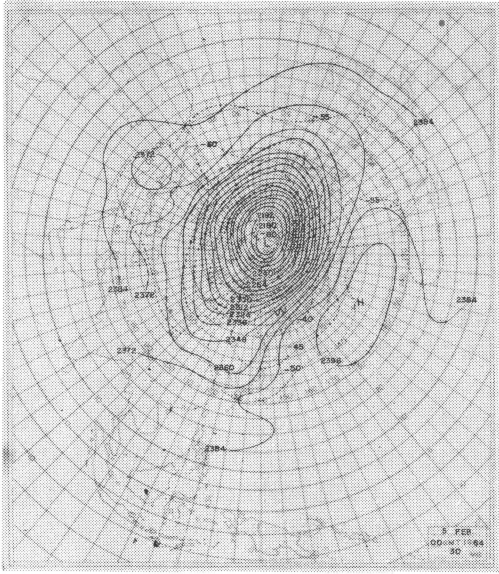
まず、極をとりまく大きな周極渦は極からやゝ西半球側に片寄り、波数2のパターンが卓越し、30mb 天気図においてアラスカ湾の南方を高気圧が東進している。このため極から南にのび、アジア大陸にのびる深い気圧の谷とアラスカ湾南方の高気圧の間には温暖域があり、シベリア東部よりアラスカ地域をおおっている(第1図)。

その後10日にはアラスカ湾の高気圧は稍々南偏し、同時に周極渦に伴う気圧の谷はオホーツク海より本州の東方に位置し、そのためアラスカ地方の昇温域は消滅した。一方、ソ連地区の資料が不足で正確なことは言いえないが、-80°C の寒冷域は極渦とは分離し、東経90度、北緯度附近に位置し、この寒冷域は5日の天気図を参照すれば移流によって生じたものとは考えられない(第2図)。

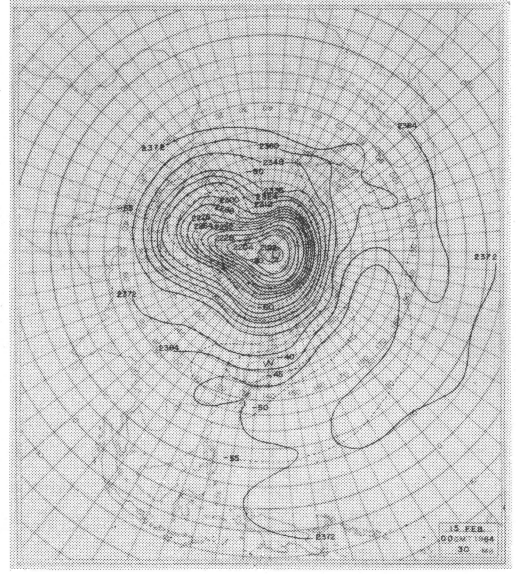
その後5日を経過した15日には、2月においては周極渦は最も発達し、冬季の平均的にいって北緯55度線に沿

* On the Sudden Warming in the Stratosphere, at the End of Winter, 1964.

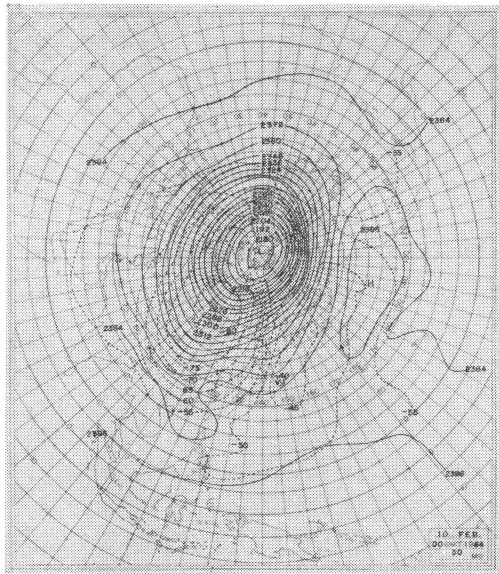
** Yutaka Sugimoto, 東京航空地方気象台
—1964年7月11日受理—



第1図 1964年2月5日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図, 実線は 120m 毎の等高線, 破線は 5°C 毎の等温線を示す。

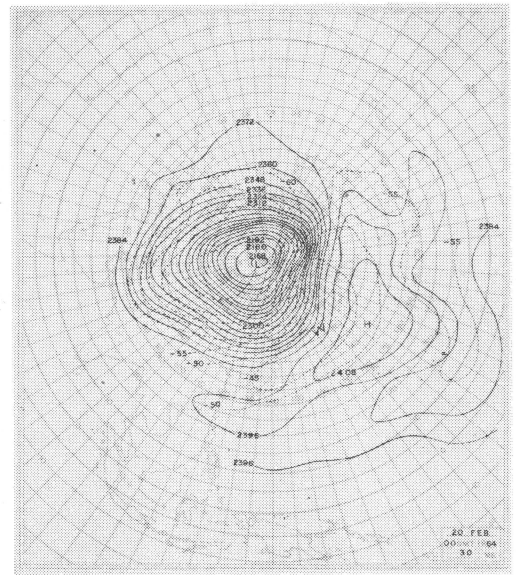


第3図 1964年2月15日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図



第2図 1964年2月10日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図

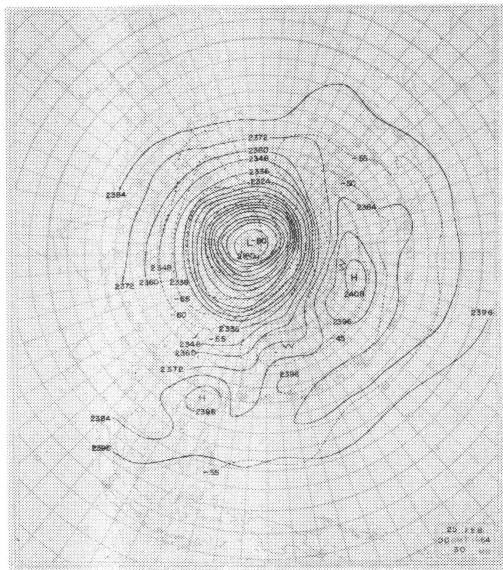
って地球をとりまく成層圏の温暖域は南下し、日本付近では北緯40~45度に位置することになる。この場合のアラスカの Ballou(026)における 20mb 気温は -65.6°C で、2月における最低気温を示した(第3図)。



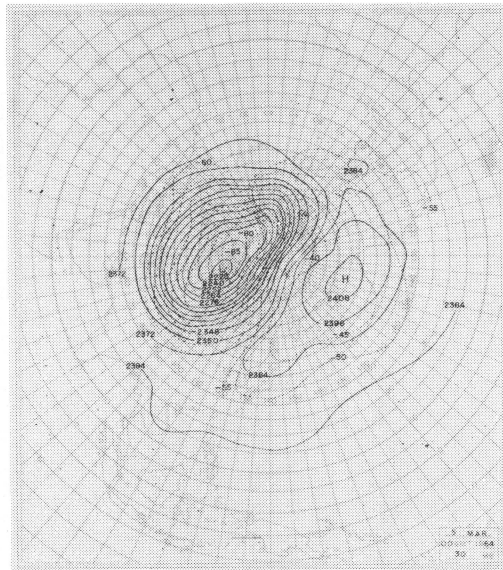
第4図 1964年2月20日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図

第3図に示した周極渦の発達は18日まで経続し、19日以降再びアリューシャン高気圧は発達し、そのため周極渦は分裂し始める(第4図)。

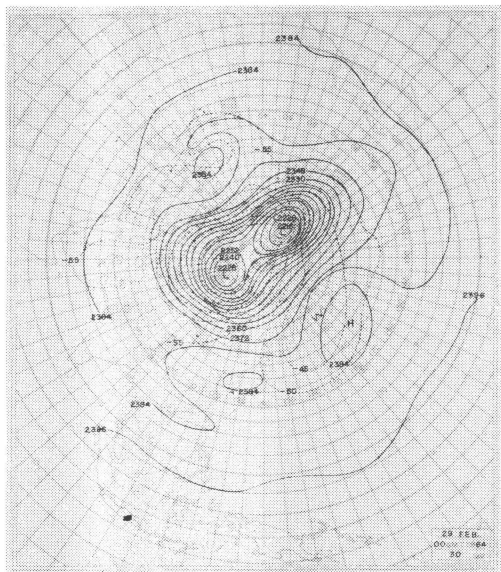
25日にはさらにアリューシャン高気圧の位置は北上し同時に温暖域、たとえば、 -45°C の等温線はさらに東



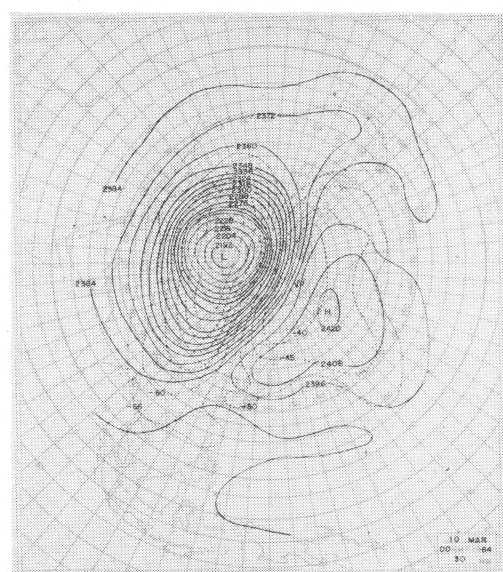
第 5 図 1964年 2月25日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図



第 7 図 1964年 3月5日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図



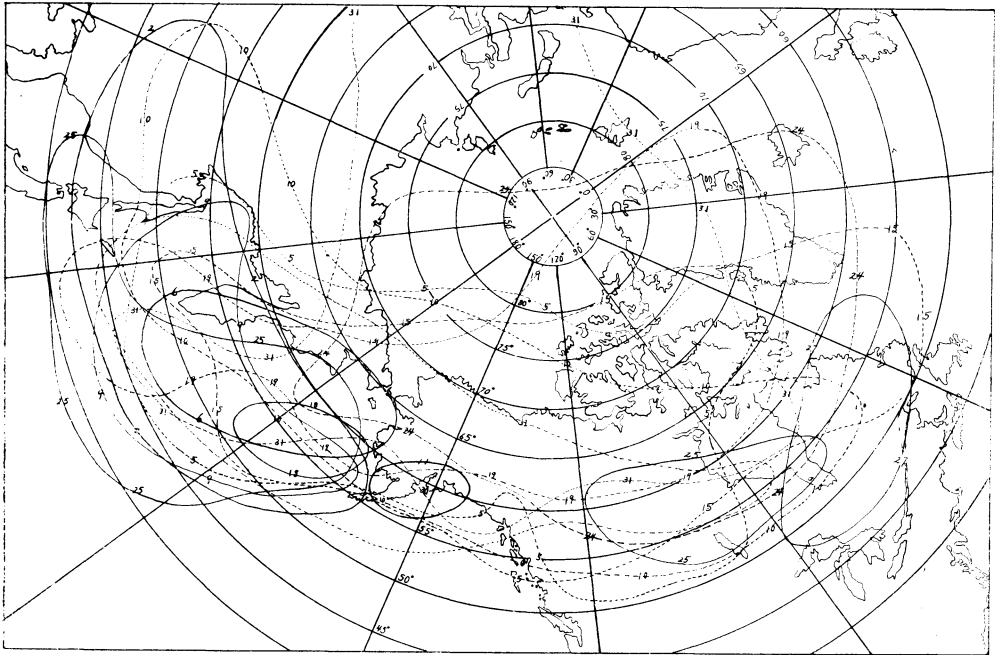
第 6 図 1964年 2月29日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図



第 8 図 1964年 3月10日 00 GMT 30mb 等圧面高度天気図

にひろがり (第 5 図), 29日には北アメリカの東部まで達した。一方、周極渦は次第に勢力を弱わめ、29日には主たる勢力はタイミール半島附近に移った。一方今一つの低気圧はバフィン海峽にあるが、この低気圧は最早強い寒気から切離され、低気圧をおおう上空の寒気は次第に沈降し昇温化している様子がわかる (第 6 図)。

さらにその 5 日後の 3 月 5 日には極低気圧は依然としてタイミール半島にあり、中心附近の気温は 30mb でなおかつ -85°C の低温域を保存しているが、バフィン湾の低圧部に伴って存在していた寒気は強い沈降により完全に消滅し、 -30°C の高温域を形成するようになった。



第9図 1964年2と3月の5日毎の50mb面における -45°C の等温線の追跡図。実線は2月, 3月は破線で示してある。

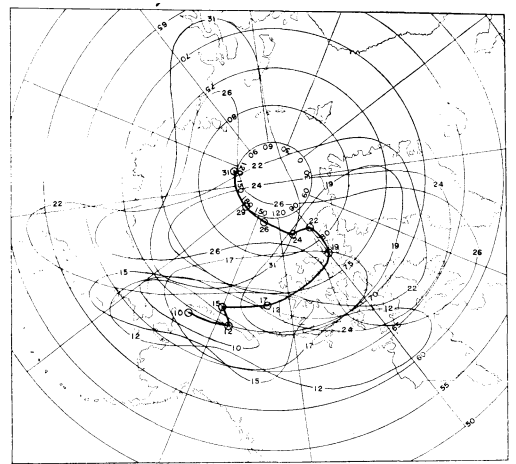
この間における2月から3月にかけてのはゞ5日毎の50mb面における -45°C の等温線を追跡すると第9図のようになる。図中温暖域の移動を見易くするため、2月の分については実線、3月の分については破線で示している。

第9図からわかる様に2月中は主たる温暖域はアリューシャンに位置していたが、20日以降の最終昇温期以降温暖域は次第にその面積を拡大しつつ、アメリカ大陸北部をおおうようになった。続いて3月10日以降温暖域の北上が始まり次第に極地域をおおうようになり、3月24日頃その先端は極に達し、31日には完全に極地をおおう状態になった。

なお、暖気が極地に侵入した3月10日より31日までの50mb面における -40°C の等温線によって囲まれる中心を追跡したものが第10図であり、19日以降温暖域は急速に北上し極地をおおうようになった。

2. 2月下旬のアラスカ地域における昇温

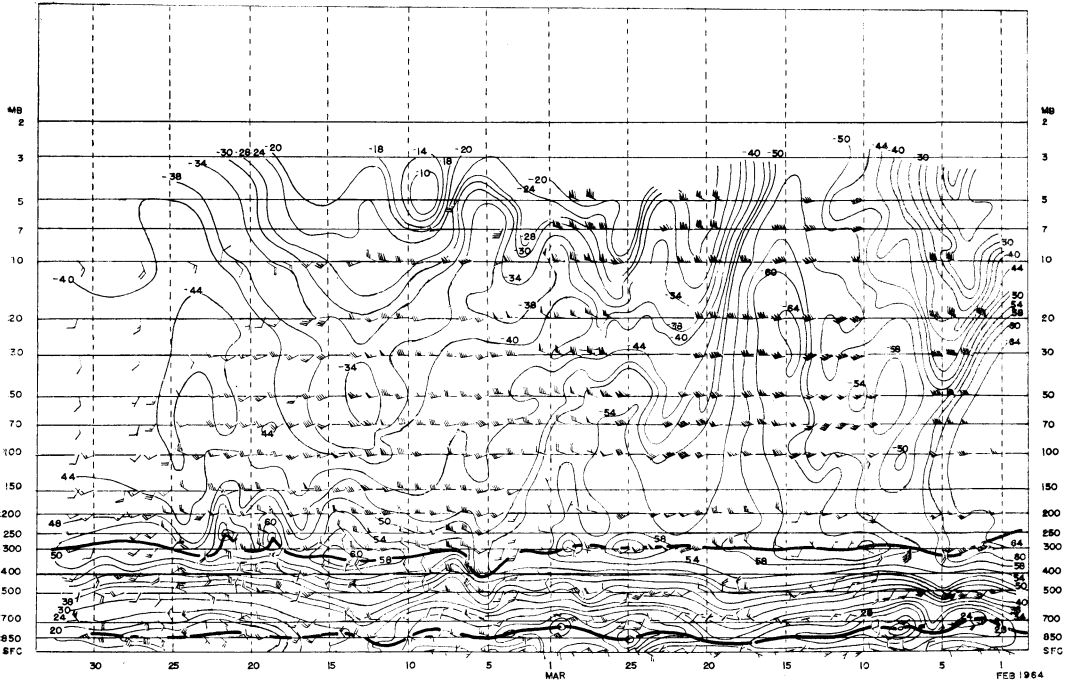
昇温域の鉛直構造を知るためには多くの地点の time-sequence や断面図を解析しなければならないが、上部成層圏の資料は対流圏に比し相当に少ないので、今のところ限られた地域のものしか作成出来ない。今年の昇温域の中心は主としてアリューシャン-アラスカ地区に卓



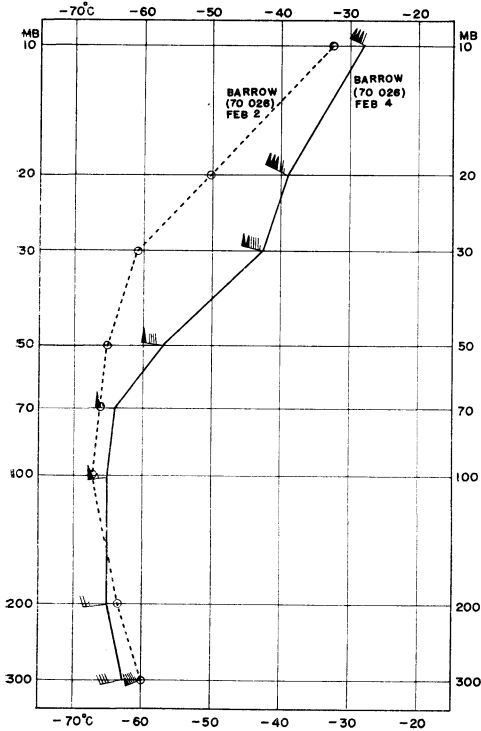
第10図 1964年3月10日から31日までの50mb面における -40°C の等温線の中心域の追跡。10日以降温暖域は急速に北上して極地をおおう。

越したので、この観点より先ずアラスカの Barrow (70.026) における2月から3月に到る気温を風速の time sequence を作成した(第11図)。

第11図を見ると Barrow における昇温は2月初旬の30mb面より高い高度において先ず出現し、4日の4mb



第11図 1964年2月1日から3月31日までのアラスカの Barrow (70.026) における気温と風速の断面図。実線は等温線、太い実線は圏界面を示す。



第12図 1964年2月1日と2月4日の Barrow (70.026) における気温対高度曲線。

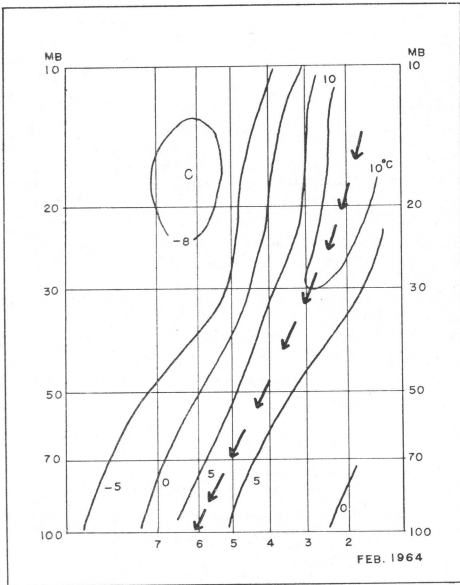
で -22°C の気温が観測された。しかし、このように成層圏上部において顕著な昇温が発生したにもかかわらず、対流圏と成層圏の下部では気温の上昇率は成層圏の上部に比してはるかに小さい。

第12図は2月1日と同4日の Barrow における気温対高度曲線を示したものであるが、70mb あたりまでの変化率は成層圏の中部、上部に比較して非常に小さい。

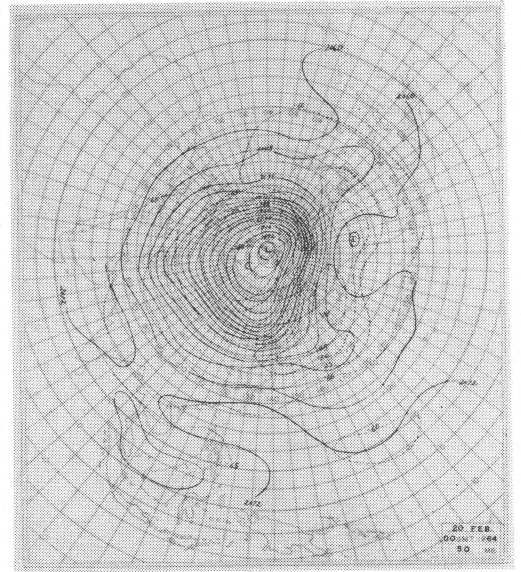
しかし、sequence からわかるように高い層の高温部は次第に下層におよび、この場合の例では10および20mb 面の高温部は約4日後に100mb に達している。

第13図は2月2日より7日までの各高度の気温の24時間変化率を示したものである。この傾向は2月2日~同6日までの昇温期間のみならず、この他の昇温期、たとえば2月22日を中心とする2月下旬の昇温期についてもいえる。成層圏上部の温暖域がいかなる機構によって下層に伝播するかについては或る程度の推測的考察は行なわれているが、今のところ定説はないようである。この間2月14日~18日には一時極の vortex の活動が盛んとなり、対流圏から成層圏におよぶ非常に冷たい気団に一時おおわれた。最終昇温は15~18日にわたる寒気の氾濫に引続いて20日から現われた。

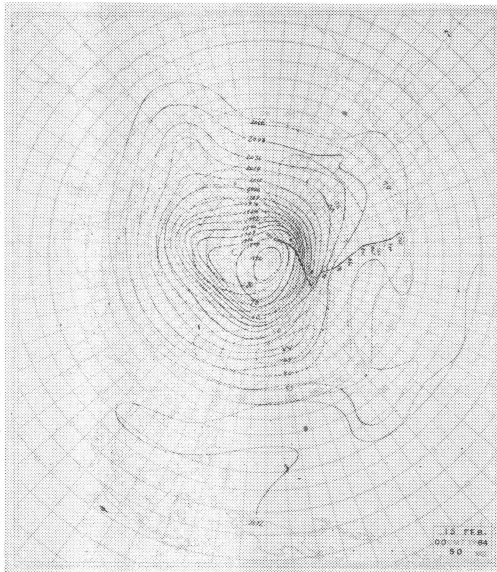
ここで15日と20日の 50mb 等圧面高度および等温線



第13図 1964年2月2日から7日までの各高度の気温の24時間変化率。



第15図 1964年2月20日 00z の 50mb の等圧面高度天気図。実線は 120m 毎の等高線、破線は5°C 毎の等温線。第14図と比較するとアリューシャンに位置する暖域の北上は非常に顕著である。



第14図 1964年2月15日 00z の 50mb の等圧面高度天気図。実線は 120m 毎の等高線、破線は5°C 毎の等温線。

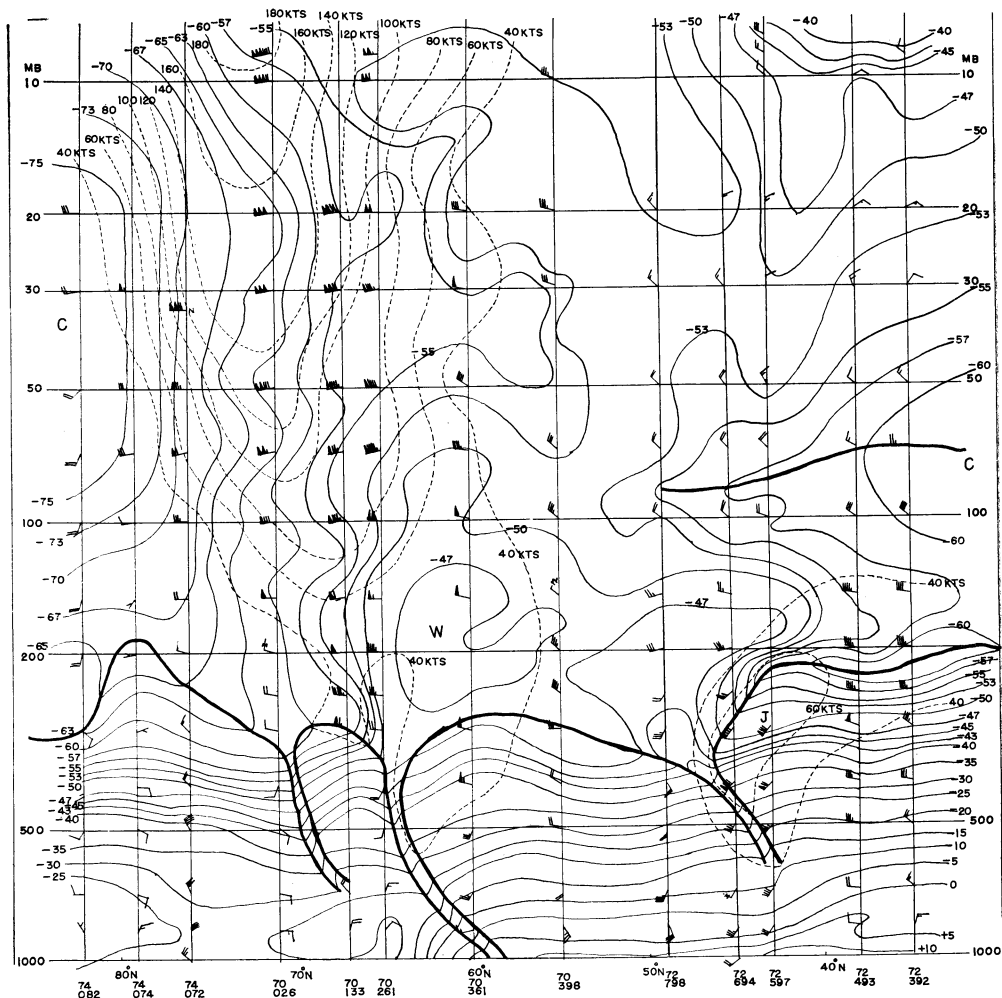
図を第14図および第15図に示した。両日の気圧場と温度場の相異については前にのべたので省略するが、20日のアリューシャンに位置する暖域の北上は15日と比較すると非常に顕著である。

両日の大気鉛直構造を比較するために、第14図に太い実線で示してある。切口に沿う断面図を解析すると第16図および第17図のようになる。

15日の場合は極の寒冷渦の活動がきわめて活発であり、そのため北緯60に冷たい気団によって支配され、バロクリニシティの強い区域は68度附近から以北の地域をおおっている。しかるに、20日には成層圏で昇温が起きたため、強いバロクリニシティの地域はかなり比上し、対流圏の上部では70度附近から以北の地域を占めてはいるが、成層圏の中部および上部ではかなり北の方に傾斜している様子が見られる。

両日の各高度の気温変化を計算すると第17図でドット線で示されているように成層圏昇温の中心部では、実に5日間で気温の上昇量は30度に達し、昇温域の中心は対流圏の上部から成層圏下部にわたり保存する warm belt の切口に連続し、北側に斜傾している。

一方、最も冷却率の大きい地域は北緯50度を中心とする地域の対流圏上部にあり、200mb 面で5日間に20度におよぶ冷却が観測された。これは第16図と第17図を参照してみれば分かるように、亜熱帯気団の北上に伴う中緯度圏界面の北上への転位に伴うものであることは明らかである。



第16図 第14図の太い実線で示してある切口に沿う断面図。実線は等温線、破線は等風速線、太い実線は前線および圏界面。

以上の現象は同時に warm belt の北上をも伴っている。

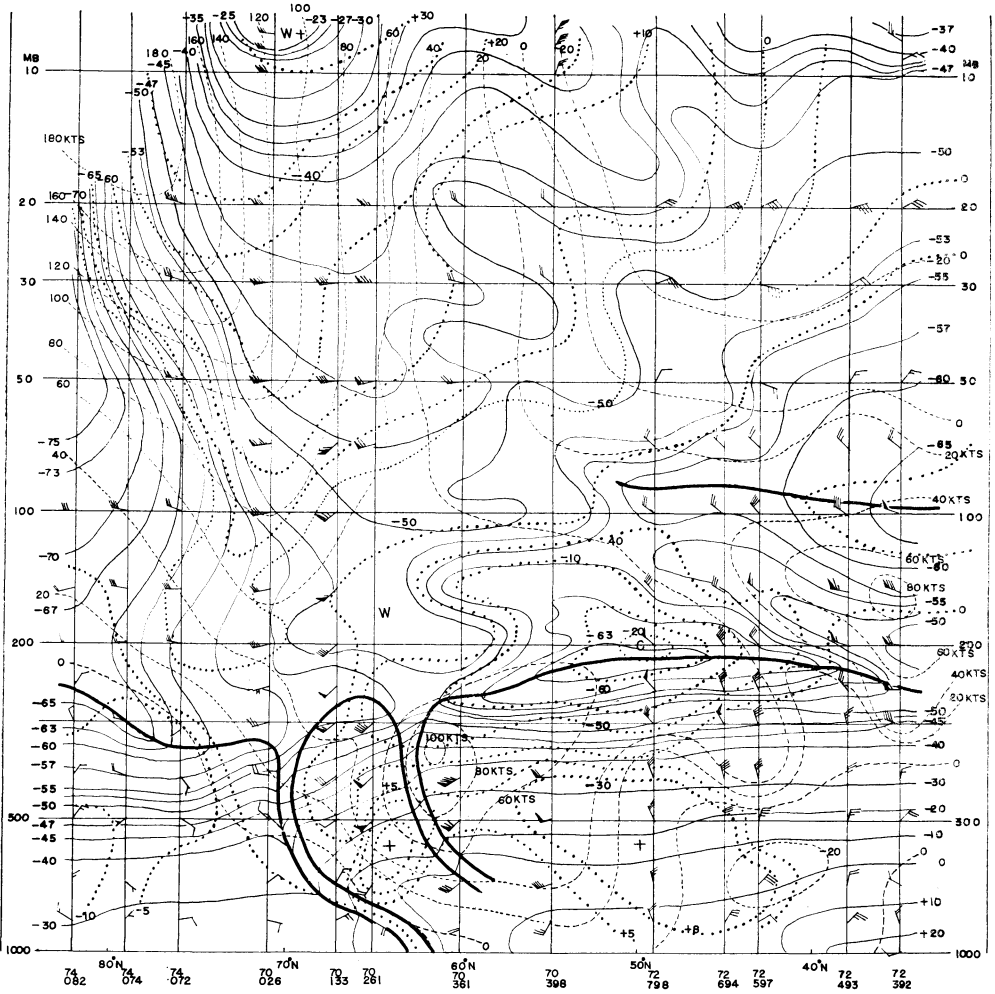
第18図は Barrow(026) と Tatoosh 島(798) における2月15日および20日両日の気温対高度曲線を示したもので、Barrow では昇温の程度は上層に行く程強くなっているが、両日の比較では対流圏より成層圏を通じての昇温があったにもかかわらず、Tatoosh 島での観測値はアラスカ北部での昇温期には対流圏上部より成層圏下部にかけての冷却が顕著で、しかも圏界面高度は15日の360mb より20日には220mb に上昇していることがわかる。これは後にのべるように米国西海岸の温暖高気圧の発達に伴う中緩度圏界面の北上に原因するものであ

る。したがって、此の期間のアラスカにおける昇温は亜熱帯高気圧の発達と密接な関係を有していることは疑えない。

しかし、昇温はすべて高気圧の発達に伴って起るものとは限らない。後にのべるように3月上旬および中旬のBaffin 島(カナダ大西洋側) 附近で生じた昇温は気圧の谷に伴う寒気の沈降によって起きたものである。

この期間(2月下旬)における成層圏高気圧と昇温の関係を知るために Barrow の2月1日より3月19日までの10, 20, 50および100mb 面の気温および等圧面高度の変化図を作った。その結果は19図に示されている。

第19図をみると昇温期に当る2月上旬と2月下旬では



第17図 第16図と同じ場所の1964年2月20日の断面図。実線は等温線，破線は等風速線，太い実線は前線および圏界面，両日の各高度の気温変化を点線で示す。

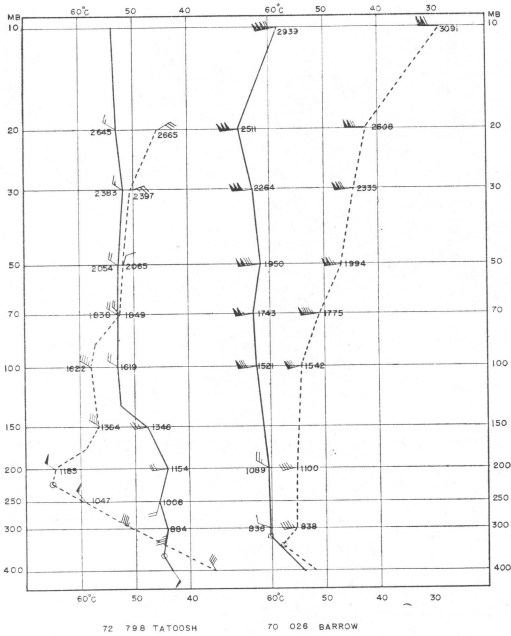
いずれも等圧面高度の上昇と昇温とは密接な関係があり、2月上旬の場合では多少温度波の方が先行しており、高気圧の軸は上層に行く程北側にずれていることを示している。これとは反対に強い冷却期間であった2月15日を中心とする数日間には強い等圧面高度の下降を伴っている。しかし、今のべた冷却期間は等圧面高度の大きな変動を伴っているが、これは極低気圧の発達と中心位置の東半球側への片寄と関連しており、東西に移動する進行性の気圧波動に伴ったものでないことは第14図第15図から明らかである。

今、16日と20日を比較するために 30mb 面の5日間

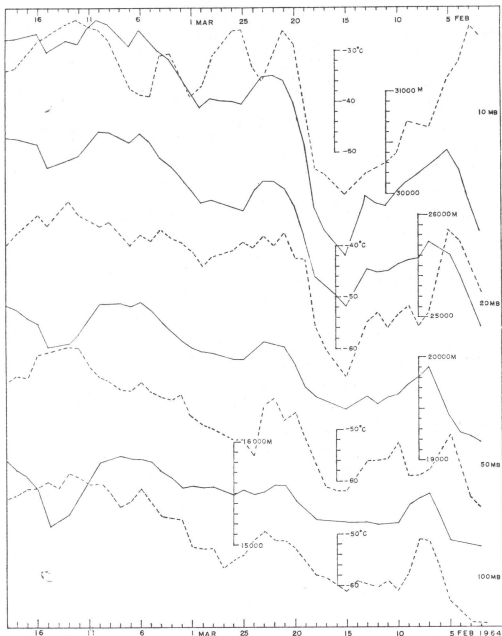
の等圧面高度と気温の偏差を計算すると第20図、第21図の如くなる。即ち、アラスカ地域は北極海に中心を有する大きな正の偏差域におおわれ、最大の偏差域は -20°C 以上に達している。一方、等圧面高度の偏差図をみると、正の偏差の最大はカナダの北極海諸島にあり、東西に拡がってカナダおよびアラスカ地域をおおい、最大域では偏差量 $+800$ メートルに達している。

一方、負の偏差の域が北極島のノヴァゼムリヤ方面に偏していることからアラスカ地域をおおっていた極の寒冷 vortex がかなり後退したことを示している。

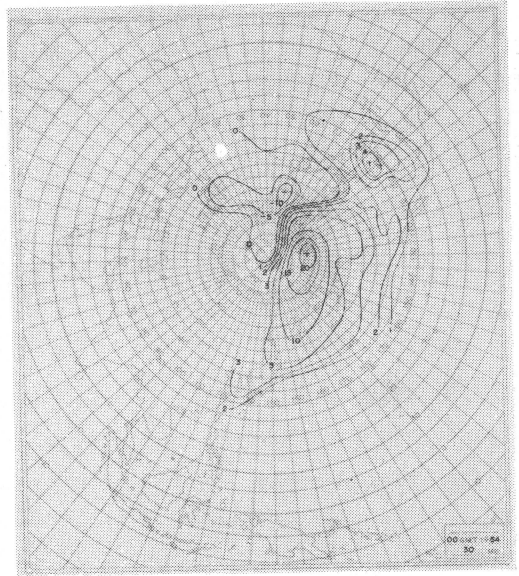
ここでのべた2月初旬と下旬のアラスカ地域の昇温は



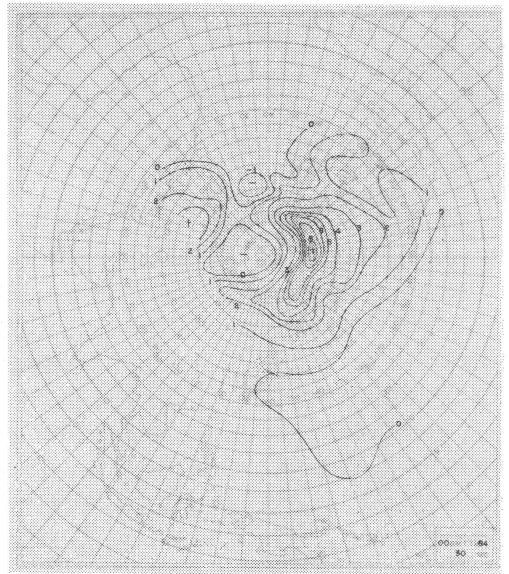
第18図 Barrow(70.026) と Tatoosh 島 (72.798) における1964年2月15日および2月20日の気温対高度曲線図



第19図 1964年2月1日より3月19日までのBarrow(70.026)における10, 20, 50 および 100mb 面の気温および等圧面高度の変化図。



第20図 1964年2月16日と20日を比較するための30mb面の5日間の気温偏差を示す。

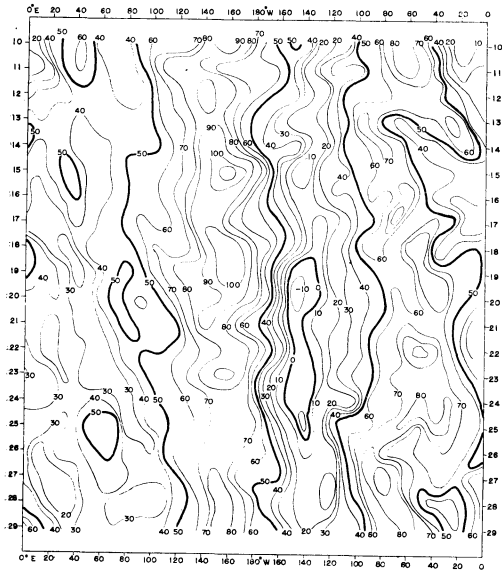


第21図 1964年2月16日と20日を比較するための30mb面の5日間の等圧面高度偏差を示す。

亜熱帯高気圧の消長と大きな関係を有することがわかったが、さらにこの関係を index を用いて調べてみた。

ここでは採用した高度は2月10日より同29日までの300mb 等圧面天気で、半球を一周する北緯30度と45度

の等圧面高度の差を求めた。その結果は第22図に示されている。図中に記入されている数字は2つの緯度間の高度差であり、10mの単位で示されている。なお、同図において縦軸には2月10日より同29日までの日付、横軸には経度の値が記入されている。



第22図 1964年2月10日より20月までの300mb等圧面高度天気図で半球を一周する北緯30度と45度の等圧面高度の差を示す。図中の数字は10m単位。

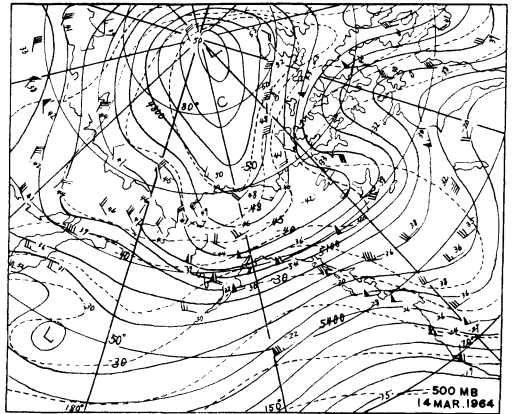
第22図より全般にいえることは東経120度より180度に至る極東域では全般に zonal index の値が大きく、特に極の vortex 活動が盛んであった月の中旬には高度差は約1000メートルに達し、風速に換算すると毎秒約60メートルの西風分力を有していたことになる。

一方, zonal index の値の小さい区域は、西経160度より西経100度の区間であるが、この地域では19日以降アラスカ地域に昇温が起きた期間は急速に index の値は小さくなり、19日より25日までの間は負の値を示している。

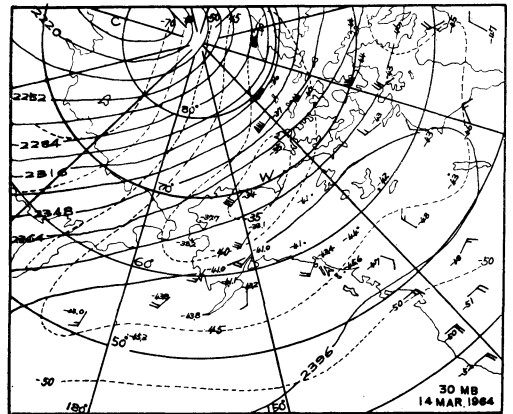
以上示したように、アラスカ地区の今年の最終昇温は亜熱帯高気圧に連なるアリュージョン高気圧の強化に伴っていたことがわかる。

3. 3月上旬におけるカナダ東部の昇温

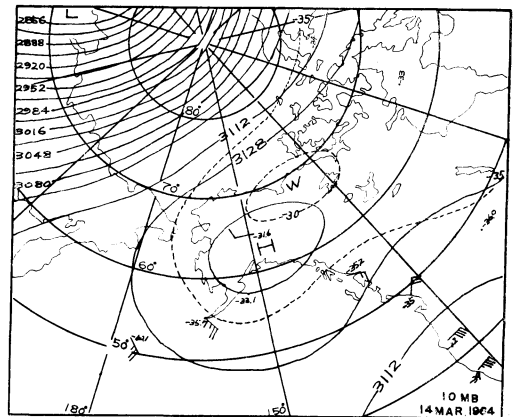
前にもふれたように、成層圏における昇温は必ずしも ridge の発達に伴うもののみではなく、今一つの場合として下層大気中の寒冷気団に附随するひくい圏界面の上



第23図 a) 1964年3月14日 00 GMT 500mb 天気図。



第23図 b) 1964年3月14日 00GMT 30mb 天気図。



第23図 c) 1964年3月14日 00 GMT 10mb 天気図。

方に生起することがある。これは、いわゆる補償の原理と呼ばれるものに属する。たとえば、第19図の Barrow の seence においては3月中旬がこの場合に相当し、第11図を参照すると圏界面の高さは14日には360mbまで下降し、対流圏の下層には非常に冷たい空気の流入が観測されている。このため100mb以上の高い層ではかなりの高温となり、10mbより高い層では -20°C 以上に昇温した。

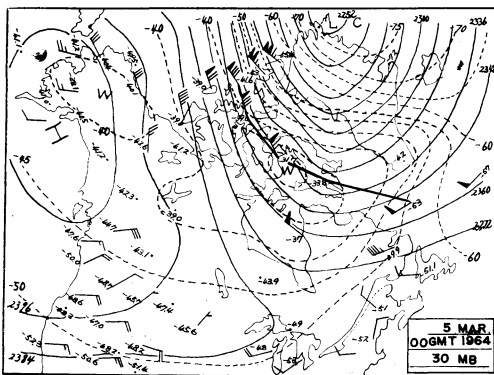
この時の500mb天気図の一部を示したものが第23図aであり、北極附近にはかなり発達した寒冷低気圧がある。この低気圧より低気圧より南にのびる気圧の谷は、アラスカ中部に達し強い寒気におおわれている。

この型に属する成層圏の昇温は、高緯度地方では polar vortex の発達 が最盛期に達する冬期には殆んど現われず、むしろ冬期末(成層圏での)の2月下旬より3月にかけて多く発生する。

第23図bは同じ日の30mb天気図で、500mb天気図に対応した気圧の谷は極的低気圧より南にのび、アラスカに達しているが、気圧の谷をおおう温暖域はかなり強く、極冠に伴う成層圏の寒気はヨーロッパ側に片寄っている。このため30mb(第23図b)と10mb(第23図c)の間で気圧場は急速に変化し、10mb面ではアラスカよりカナダにかけ、帯状にのびる大きな高圧帯が発達している。

この型に属する大気の構造は、下層は強い寒気の吹出しが卓越しているので発散に伴う下降流が上層において盛んなことが想像出来る。下降流の強さを見積るために同じようなパターンでデータが豊富に利用出来た3月5日の場合の断面図を解析した。

第24図はこの日の30mb天気図を示し、断面図を作成するに際し、利用した切口(第24図中の太線)では50



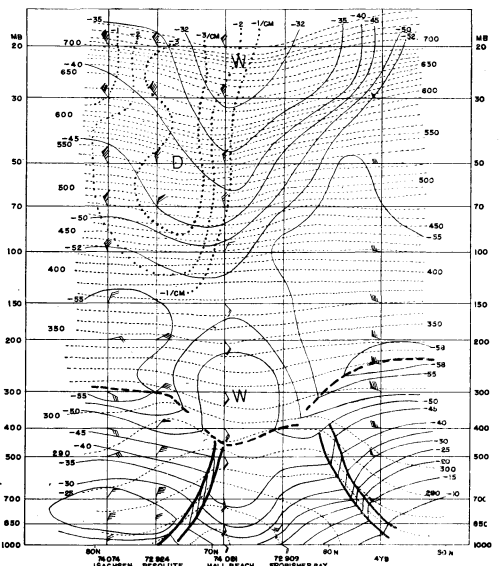
第24図 1964年3月5日 00 GMT 30mb 天気図.

ないし80ノットの北西風が卓越しているが、切口は polar night jet の稍南側の地点に沿って存在している。

この場合の30mb面の温度場は、切口に添って高温部が存在し、カナダの Hall Beach (081) では -31.8°C が観測されている。

この時の Isachsen (074) より定点 4YB に到るほぼ風向に平行な切口の断面図を解析すると第25図のようになる。

切断面の下層では寒気を伴った深い低気圧が存在するため Hall Beach(081), Frobisher Bay 等では圏界面の高度は400mb附近まで下降し、そのため300mb面ではこれらの地点の真上に warm core が位置することになる。成層圏の昇温域はこの warm core の上方に存在し、Hall Beach では20mbの気温は -31.5°C を示した。



第25図 第25図における ISACHSEN(74.074) から定点 4 Y B にいたるほぼ風向に平行な切口の断面図。
実線は等温線、破線は 10°C 毎の等温線、点線は平在下降速度の大きさを示す。

第25図においては破線は 10°C 毎の等温位線を示しているが、切口はほぼ南東より北西にのびているので、断面図に示されている Isachsen, Resolute, Hall Beach 等の上空では下降気流が存在していることがわかる。

今、断熱を仮定すると上昇速度を与える式は

$$w(\Gamma_d - \Gamma) = - \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_p - \frac{fT}{g} \left(u \frac{\partial v_g}{\partial z} - v \frac{\partial u_g}{\partial z} \right)$$

となる。

$$\text{ここで} \begin{cases} w = \text{上昇速度,} & \Gamma_d = \text{乾燥断熱減率,} \\ \Gamma = \text{気温減率,} \\ u, v = \text{風速の西風および南風の分速を示す} \end{cases}$$

以上の式は単独の観測点において地衡風速の鉛直シアと気温、および気温の変化量が求まると計算出来るので便利である。この式より昇温の中心域の2, 3の地点につき100mb面以上の各区間毎の上昇速度を計算した結果は第25図のドットで示されているように平均下速度は大きいところで3cm/位となった。

むすび

以上1964年の冬期末における昇温についてのべたが、成層圏の昇温には2つの型が観測された。すなわち、1つはアリューシャン、アラスカ地区に現われる成層圏高気圧の発達に伴う昇温であり、今1つはカナダの東部に現われた下層の寒冷低気圧の上空の下降気流中で観測された断熱変化を仮定するとき、後者の場合にはかなり明瞭に下降気流を伴っていることが分るが、前者の場合については昇温期においても必ずしも下降気流は観測されないで、原因は力学的なもののみとは断定出来ない点がある。この点については後報において改めて論じた。

従来、天気予報をするに当っては高い層までの資料が

得られなかった点もあるが、主として対流圏内での空気の運動を考えていた。しかし、最近の研究によれば、成層圏での変化は、地表附近の天気状態にかなり良く関連するようで、特に長期予報を行なう場合には不可欠の要素となりつゝあり今後この方面での研究の飛躍的發展が期待される。

参 考 文 献

- Richard Scherhag: Stratospheric Temperature Changes and the Associated Changes in Pressure Distribution, Journal of Met. Vol 17, No.6
- Sidneg Teweles: Anomalous Warming of the Stratosphere over North America in Early 1957. Monthly Weather Review October 1958.
- S. Teweles and F.G. Finger: An Abrupt Change in Stratospheric Circulation in Mid-January 1958. Monthly Weather Review January 1958.
- Warren L. Godson and Roy Lee: High-Level Fields of Wind and Temperature over the Canadian Arctic. Beitrage Zur Physik der Atmosphäre. Bd 31, S40-68 (1958)
- Richard A Craig and Wayne S Hering: The Stratospheric Warming of January-February 1957. Journal of Meteorology Vol 16. No. 2. April 1959.
- A. Arnold and M. J. Jowenthal: A Sixteen-Monthly Series of Mid-Stratospheric Temperature Measurements. Journal of Meteorology Vol. 16. No.6. 1959 Dec.

理 事 会 だ よ り

第5回常任理事会議事録

日 時：昭和39年10月5日(月) 17.00~21.30

場 所：気象庁第3会議室

出席者：正野, 北岡, 桜庭, 今井, 岸保, 吉野, 大田, 須田, 増田, 小平, 今井各理事(順序不同)

決 議

1. 細則を改正して、A・B会員の項を変更し、気象集誌だけの配布を受けている会員には、天気を必ずとることに変更する。この改正趣旨は、福岡の秋季大会で開催される全国理事会に報告する。総会の定員数については、次期に検討する。
2. 関西支部の要望の第項については、「研究体制」については、長期計画の一環として検討することとし、「観測網の再編成」については、事後の防災の基礎資料の保存措置が講じられているかどうかを本庁に確かめた上で回答をだす。
3. 月例会のあり方については、各研究グループのアンケートにもとずき、連合して例会をもってもよいグループは適当に組み合わせて行なうが、異論もあるので来年の3月くらいまで試験的に行なっ

てみる。従来の第1部の講演については、例会から除くが、発表の機会を与えるために春秋の大会のほか、開催の希望があれば関東地区では年2回くらい講演会を催す。

4. 福岡の秋季大会の全国理事会は、大会第1日(11月18日)の12.00~13.00に開催する。報告事項は気象学の長期計画の経過報告と定款改正の趣旨説明の2点とする。
5. 気象学の長期計画については、第2次草案を福岡の秋季大会までにまとめ、会場で討論会を行なう時に会員に配布する。このため草案とりまとめの費用を3,000円ほど支出する。なお秋季大会の討論会の議長は大田理事が当る。
6. ベルリン大学のラビッケ教授が来日されるので、11月下旬に東管の例会(気象学会との共催)の機に講演を依頼する。
7. 海洋学会から申し入れている“Air-Sea Interaction”の講演会は、共催を承認する。