

# ロケット観測に現われた温暖域の消長と下部成層圏におけるプラネタリー波の活動について\*

迎 正 秋\*\*

## 要 旨

1971~73年各冬季の綾里での上部成層圏の温暖域の消長と下部成層圏におけるプラネタリー波の動向とが如何ように関連するものか、また対流圏と成層圏との Interaction について、これらを明らかにするため調査した。

先ずフーリエ解析により波数解析を北半球の 500mb, 100mb, 30mb, 10mb, の各高度面の 70°N, 60°N, 50°N, 40°N の各緯度について行なった。その結果によると、1970年~71年の各冬季では波の運動エネルギーは 30mb 面まではプラネタリー波のうち波数 2 が卓越したが、10mb 面では減衰し、代わって波数 1 の波が増加している。このことは波数 1 の上部成層圏への波動伝播が卓越していることを示唆している。さらにその時期は上部成層圏の温暖域出現時期と一致している。従って温暖域の消長はプラネタリー波 1 と密接な関係があり、さらに同時現象として、対流圏にも現われている。他方力学的根拠としてこの温暖域は上昇、下降気流に関連し、上部成層圏温暖域 40km~43km 面は突然昇温の結果であろうと考えられる。

## 1. ま え が き

プラネタリー波に関してこれまで多くの研究により対流圏に励起源をもつプラネタリー波動の対流圏より成層圏への垂直波動伝播についての興味ある研究がなされている。筆者は日本のラジオゾンデおよびロケットのデータを用い、1971年~73年の各冬季間の成層圏におけるプラネタリー波の活動についての解析を行なった。

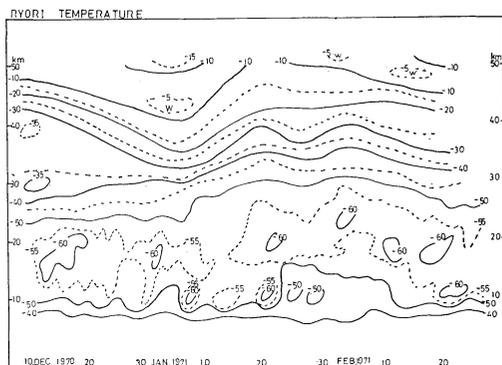
## 2. 1971年~73年冬季のロケット観測事実

第1図(a),(b)はそれぞれ綾里上層の1971年, 1973年冬季の温度, および E-W wind シーケンスである。1971年1月初旬に上部成層圏の 40km から 43km 面に  $-5^{\circ}\text{C}$  の温暖域の極値があらわれ、また偏東風が吹いている。他方1月末日より2月中旬までに下部成層圏 (25 km) に寒冷域が現われ、その上層の上部成層圏の 43km 面に  $-5^{\circ}\text{C}$  の温暖域の出現がみられる。

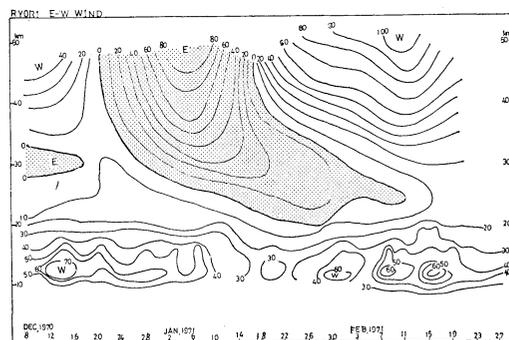
1973年第2図(a),(b)は1月初旬と下旬には上部成層圏に1971年と同じ温暖域が現われ、初旬には偏東風が卓越しているが、下旬には偏西風に代った。これに関連して Hirota et al (1973) は次の事を示唆してい

\* Rise and fall of warm region as revealed by Rocket observations and Activity of planetary wave in the lower stratosphere.

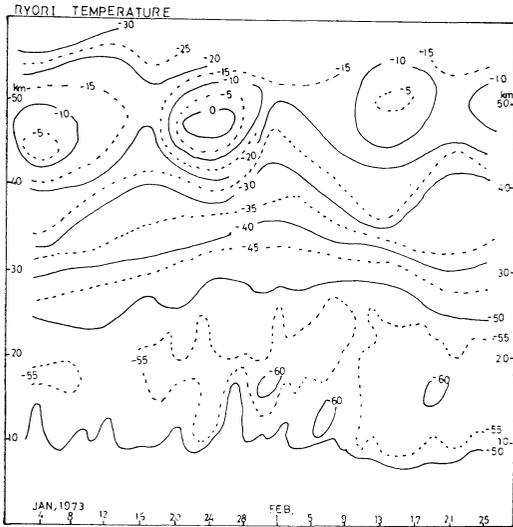
\*\* M.Mukai. 気象庁観測部高層課  
—1973年12月10日受理—



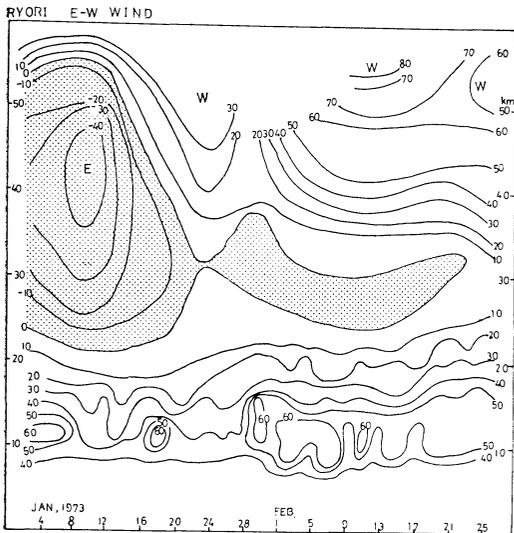
第1図a) 綾里上層の1971年1月の気温シーケンス



第1図b) 綾里上層の1971年1月の東西風シーケンス



第2図 a) 綾里上層の1973年1月の気温シーケンス



第2図 b) 綾里上層の1973年1月の東西風シーケンス

る。すなわち前項で明らかのように、第1図(a), (b), 第2図(a), (b)に示すロケット観測による綾里上層40km~45kmにあらわれた温暖域はアリュージョン高気圧の中心の東西方向への移動と密接に関連し、偏東風が綾里上層に卓越したとき、アリュージョン高気圧の中心は西側に移動して、温暖域とも関連している。然し北半球の中、高緯度における上部成層圏および中間圏のプラネタリー波の波数解析については明確に示されていない。さらに1971年冬季1月初旬の温暖域は、移流および

下降気流に関連し突然昇温の結果であろうことなど、これらを明らかにするため次の解析を行なった。

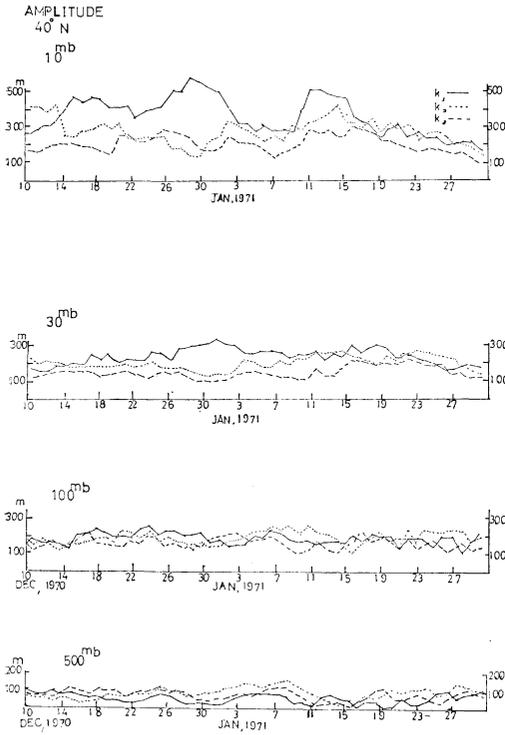
### 3. 波数解析

解析の手法は北半球における各緯度における等圧面高度データについての東西一次元のフーリエ解析である。1971年冬季1月について対流圏の500mb, 成層圏では100mb, 30mb, 10mb各面の各格子点のデータを用い、 $40^{\circ}\text{N}$ ,  $60^{\circ}\text{N}$ の各緯度についての日々の解析を行なった(第3図(a), (b))。

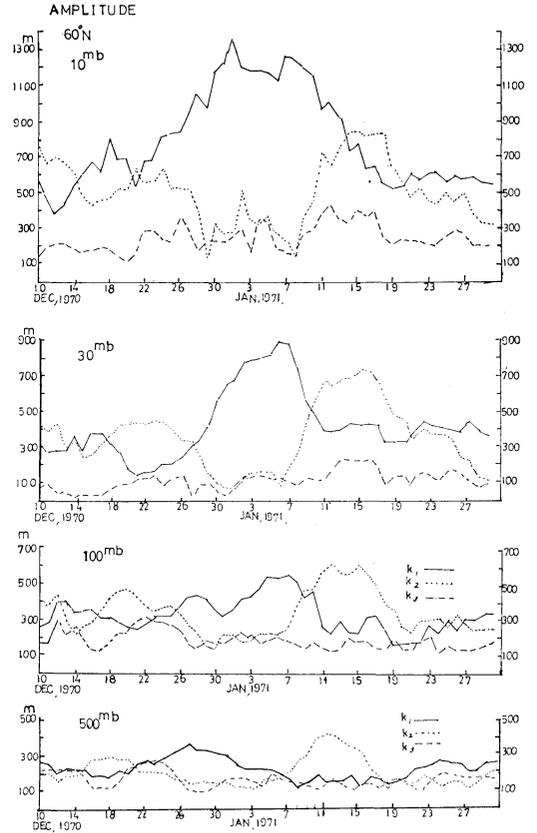
1971年1月前半には $60^{\circ}\text{N}$ 面および $40^{\circ}\text{N}$ 面の両者とも波数1の波が波数2, 3より卓越し、対流圏より上部成層圏と高度が高くなるに従い、その振幅が増大していることは、対流圏より成層圏への運動エネルギーの垂直波動伝播理論の見地より良く説明出来る。しかし1月後半では $40^{\circ}\text{N}$ 面では全期間を通じて、その振幅は減衰し、極小を示している。また第3図(c)に示している位相も第3図(a)(b)にみられるように、1971年1月初旬における振幅増大期間には成層圏では東進し、1月下旬の振幅減衰期間には西進している。さらに次項に述べる带状流でも当期間には、 $65^{\circ}\text{N}$ 面、 $45^{\circ}\text{N}$ 面で全期間を通じて減衰し、極小を示しているのであり、これらを通じて上方波動伝播は説明困難である。というのは、プラネタリー波の東進の際には下層よりエネルギーを受取り、上方波動伝播するに対し、西進部分は波として伝播できずに減衰している。また带状流は適当な西風の強さのときのみ上方伝播すると指摘した Charney and Drazin (1961) 等を基礎として、最近佐藤 (1973) が具体化した計算と一致している。なお带状流については次項に詳述したい。一方1972年、73年の1月の30mb面を対象に同様な解析を行なった結果を第4図(a), (b)に示す。振幅は72年では全期間とも波数2の波が卓越し、他の年に比較してその振幅が大きい。また位相を見てもこの期間には各波数1, 2, 3とも東進している。73年では波数1の振幅が1月初旬と下旬に極大を示し、位相については前年と同じく東進している。

### 4. 带状流について

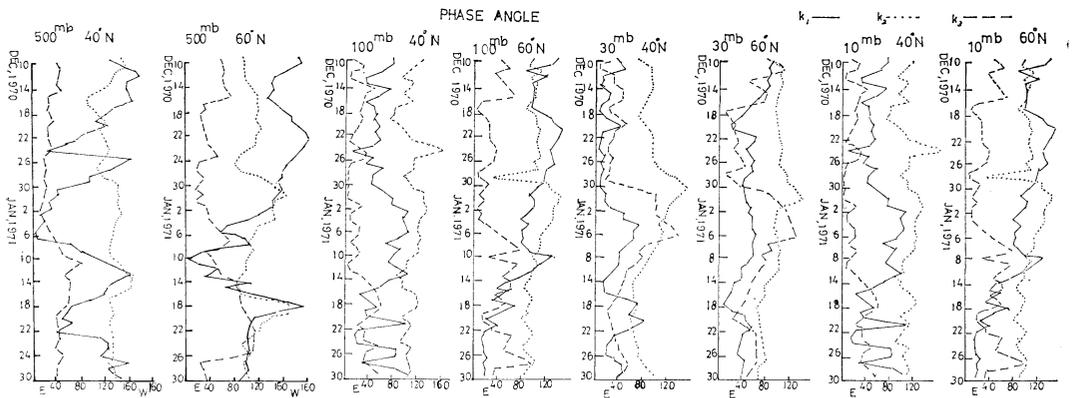
これまで Chaney and Drazin (1961) 等によって指摘されて来たように、対流圏で生成された波動が上方に波動伝播するのは、平均带状流が適当な強さの西風の時である。然るにこの場合にはどうであろう。筆者は1971年より73年までの冬季(1月)における带状流の時間変動を調べるため1971年では30mbおよび10mb面、72年、73年は30mb面について次のような差分式により求めた



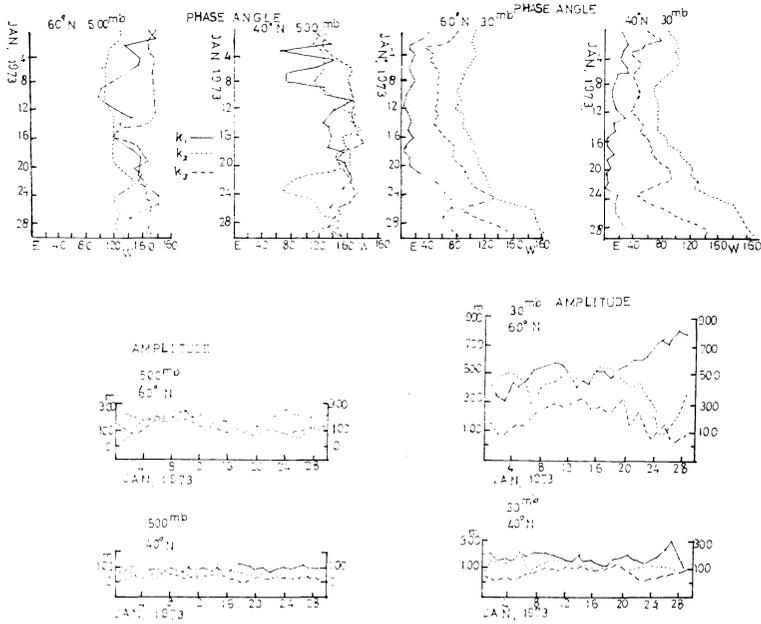
第3図a) 1971年1月の対流圏, 成層圏の超長波数1, 2, 3振幅の変動 (40°N).



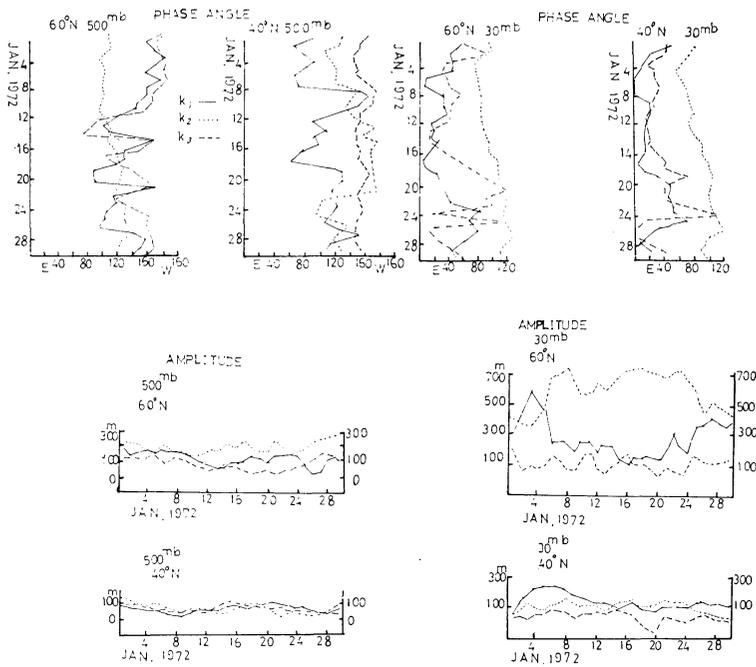
第3図b) 1971年1月の対流圏, 成層圏の超長波数1, 2, 3の振幅の変動 (60°N).



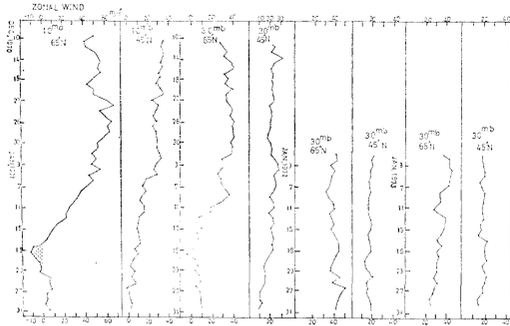
第3図c) 1971年1月の対流圏, 成層圏の超長波数1, 2, 3の位相の変動 (40°N, 60°N).



第4図a) 1972年1月の対流圏, 成層圏の超長波数1, 2, 3の振幅の変動 (40°N, 60°N).



第4図b) 1973年1月の対流圏, 成層圏の超長波数1, 2, 3の振幅の変動 (40°N, 60°N).



第5図 1971年～73年の1月の帯状流の時間変動 (45°N, 65°N).

$$\bar{u}_{65^\circ} = \frac{g}{f} \frac{\bar{z}(60^\circ N) - \bar{z}(70^\circ N)}{\Delta y}$$

ここに  $f = 2\Omega \sin\phi$

$$\Delta y = 10^\circ = 10^3 \text{ (km)}$$

各式に使われている記号, 文字は一般に用いられているとおりである. 1971年1月上旬から1971年1月中旬にかけて帯状流は減衰し, 1月下旬には風速は非常に弱い傾向があらわれている. これは前述した第1図(a)の1月下旬より2月上旬にかけて, 高度40km~43km面付近に温暖域があらわれず, またその下部成層圏も寒冷域であること, さらに第3図(a)(b)で1月初旬には波数1の波の振幅も増大しているが下旬には減衰していることに対応している.

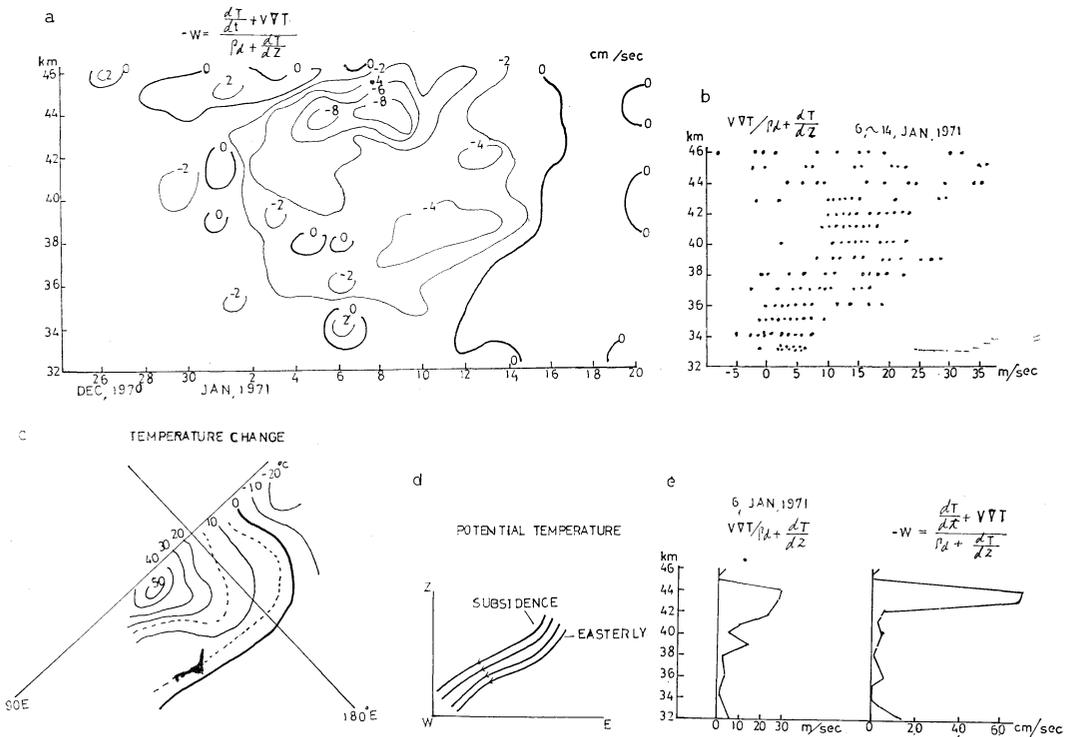
### 5. 温暖域, 寒冷域の上昇, 下降気流について

前項で述べて来たように1月初旬に40km~43km面に温暖域の中心があり, 1月下旬には寒冷域がみられるその理由として, 次のような力学的根拠が考えられる. 即

$$\bar{z} = A_0$$

$$\bar{u} = -\frac{g}{f} \frac{d\bar{z}}{dy}$$

その結果を第5図に示した.



第6図 a) 1971年冬季1月における下降, 上昇気流. b) 1971年冬季1月4日より14日までの移流分布. c) 1971年1月1日, 6日の10mb面における気温変化. d) 1971年1月1日, 6日の10mb面における温位分布(モデル). e) 1971年1月6日における下降量に対する移流量の割合.

ち、当期間における断熱を仮定した下降、上昇気流を次式により算出し、これを定量的に示したのが第6図(a), (b), (c)である。

$$-W = \frac{\frac{dT}{dt} + V \cdot \nabla T}{\Gamma d + \frac{dT}{dz}}$$

ここで  $V \cdot \nabla T$  は  $u \frac{dT}{dx} + v \frac{dT}{dy}$

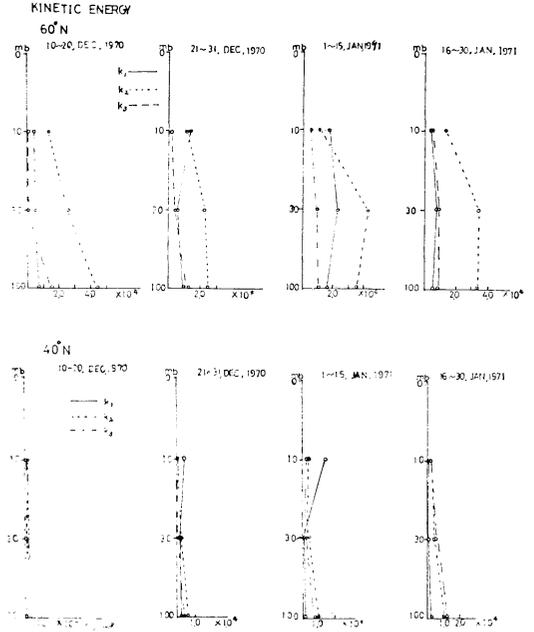
となり、これより  $(u \frac{dv}{dz} - v \frac{du}{dz}) \frac{fT}{g}$  が導かれる。

第6図(a)で負数は下降気流、正数は上昇気流を示すが、12末日より1月半ばまでの成層圏上部ほど下降気流が卓越し、それ以後は上昇気流に代わっている。一方第6図(b)の「 $V \cdot \nabla T$ 」の移流の項では、下降気流が最も卓越したとみられる1971年1月4日より14日では、極めて顕著な移流があり、第6図(c)の1日と6日の気温変化では中央シベリアより東部にかけて高温、アリューシャン域は低温を示す。一方第6図(d)は(c)のモデルを示したが、この温位分布ではこの時期には東風が吹き、下降気流が卓越している。また移流の軌道は矢印で示す。

第6図(E)は1月6日における降水量に対する移流量の割合を示したもので、38km 以上は移流量が降水量より多い。以上の事実から1月初旬の温暖域の形成は下降気流と関連し、43km 面に3°C/dayの昇温、と東風が吹き、加えて1974年の同期間の場合も上部成層圏の40km 41km 面に10°C/day それ以上の昇温と東風が吹いていることから顕著な突然昇温の存在を期待してもよいと考えられる。

6. 運動エネルギーの考察

対流圏より成層圏に伝播する波の運動エネルギーはどうか、筆者はこれを定量的に示すため下部成層圏(100mb)および中部成層圏(30, 10mb)における擾乱の運動エネルギーを次式により求め第7図を得た。



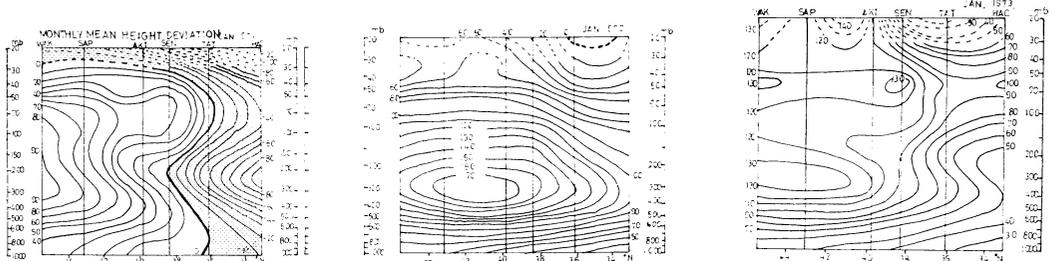
第7図 1971年1月の下部、中部成層圏の超長波数1, 2, 3の運動エネルギー。

$$V_k^2 = \frac{1}{2} \frac{g^2}{f^2} A^2 k^2$$

$$\frac{1}{u^2 k} = \frac{1}{2} \frac{g^2}{f^2} \left( \frac{dAk}{dy} \right)^2 + \frac{1}{2} \frac{g^2}{f^2} A^2 k \cdot \left( \frac{d\delta k}{dy} \right)^2$$

$$\frac{1}{2} \rho (\bar{u}_1^2 + \bar{v}_1^2) \div \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2 \div \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2 \div \frac{1}{2} \rho \frac{g^2}{f^2} A^2 k^2$$

ここで先づ気が付くことは60°N, 40°N面において、下部および中部成層圏までは全期間を通じて、波数2の波の運動エネルギーが他の波長に比較して卓越しているが、10mbに至って1970年12月下旬より71年1月初旬の



第8図 1971年, 72年, 73年1月の140°E線に沿う高層観測地の20mb面までの月平均高度偏差図。

期間には波数1の波が卓越し、他の波数は減衰していることから、明らかに1月初旬の期間には波数1の波が上部成層圏まで垂直波動伝播したものと考えられる。なお72年、73年はデータ不足の理由で30mb面のみの解析に止めたが、前述した結果より推論して、72年および73年においては、前項に述べたように対流圏より中部成層圏までは波数1、2の振幅が全期間を通じて、増大しているので上部成層圏への波動伝播を期待してもよいと考えられる。従ってその結果兩年とも上部成層圏に温暖域の出現をみたものと考えられる。

### 7. 対流圏と成層圏との相互作用

これまで Hirota (1971) は運動エネルギーは対流圏と成層圏の力学的カップリングを通して、下層から成層圏に供給されると指適した。筆者はこれまでの結果の上に立って、次のように解析を行なった。第8図は1971年～73年各冬季1月の140°Eに沿う日本の高層観測地における地上より20mbまでの月平均高度偏差図である。1971年1月では下部成層圏全域は等圧面高度が低く、北暖南冷を示した。一方72年および73年は等圧面高度が高く、いわゆる暖冬である。第1図(a)に見られるように1971年1月下旬より2月初旬に上部成層圏に温暖域の現われない理由は既述したように、第1図(a)の中部成層圏(30mb)面では、当期間には40°N面では振幅は波数1、2、3とも著しく減少し、500mb面および100mb面でも同じく減少の傾向を示している。一方1972年(第4図(a))、73年(第4図(b))の中部成層圏(30mb)面においては71年に比較して各波数とも増大の傾向を示すことから、第8図に示す各年の月平均高度偏差図にその結果があらわれ、対流圏および中部成層圏とも等圧面高度が高いことがわかる。これまでのことから上部成層圏の暖域と対流圏の暖域とは同時にあらわれていると考えられる。

### むすび

以上述べた事実を要約すると次のようになる。

1. 1970年～71年冬季では波の運動エネルギーは30mb面までは超長波数2の波が卓越するが10mb面では減衰し、超長波数1の波が増大する。換言すれば中部成層圏

までは波数2の波が伝播するが、上部成層圏には波数1の波が伝播する。

2. ロケット観測による上部成層圏にあらわれた温暖域の消長は、超長波1の波と関連し、同時現象として対流圏にもあらわれる。

3. 力学的原因として上部成層圏の温暖域の消長は、移流および下降気流と上昇気流に関連する。

4. 上部成層圏(40km～43km)に顕著な突然昇温の存在を確認出来る。

5. 超長波数1はアリューシャン高気圧である。

今回は成層圏の超長波伝播および上部成層圏温暖域の力学的解析を行なったが、多くの問題もあり、これについては改善するところは改めていきたいので、大方の御批判を期待したい。なお次回は中間圏の循環について進めてみたい。終りに御指導頂いた鈴木茂高層課長、討論頂いた東京大学の佐藤康雄氏、杉本予報官、また資料を提供して頂いた野本予報官に厚く御礼申し上げます。

### 文 献

- Chasney, J.G. and P.G. Dragin, 1961: Propagation of planetary-scale disturbances from the Lower into the Upper Atmosphere, *J. Geophys. Res.*, **66**, 83—110.
- Hirota, I. and K. Saotome, T. Suzuki, 1973: Structure and Behavior of the Aleutian Anticyclone as Revealed by Meteorological Rocket and Satellite observation, *J. Met. Soc. Japan*, **51**.
- Hirota, I. 1971: Excitation of planetary Rossby waves in the winter Stratosphere by periodic Forcing, *J. Met. Soc. Japan*, **49**, 439—449.
- 佐藤康雄, 1973: 成層圏, 対流圏におけるプラネタリー波の構造と振舞, 全国長期予報技術検討会資料(昭和47年度), 123—141.

### 追記

第6図c, dは、10mb面について解析をした。然し原稿提出後、上部成層圏(44km)面について調査をなし、移流の源は高緯度にあつて、当調査とはほぼ同様な結果を得た。