

大気大循環の変動と異常気象 (I)

山 元 竜 三 郎

FLUCTUATIONS OF THE ATMOSPHERIC GENERAL CIRCULATION AND ABNORMAL WEATHER (I)

By Ryozauro YAMAMOTO

Synopsis

Distribution of anomaly of monthly mean air temperature in January is discussed, relating with the large-scale feature of circulation in the atmosphere. It is shown that the characteristics of the ultra-long waves which represent the large-scale flow pattern have good relationships with the pattern of temperature anomaly. Year-to-year variation of the ultra-long waves in recent 24 years shows that the amplitude of wave of wavenumber 2 has a tendency of increase at 40°N and that of decrease at 60°N.

I. 緒 言

大気の全球的規模の運動、すなわち大気大循環に関する観測資料がかなり集積されて来た。それと共に、大気大循環の理論的、力学的研究も推進され、特に大型電子計算機を利用した数値実験においては、力学方程式を数値的に解いて、大気大循環のある種の特長については実情に近い結果を得る事が出来るようになった¹⁾。しかし、大気大循環の変動に関するシミュレーションについては、その試みもなされているが²⁾、いくつかの困難な障害を克服しなければならないので³⁾、むしろ将来の問題といわざるを得ない。一方、大気大循環に関し、緯度円に沿う波動として波長が地球半径と同程度の約 10000 km のもの、すなわち緯度円に沿う波数が 1 ないし 4 の波動は、超長波と称せられて注目をあびている。この超長波は、移動性高低気圧に対応する波長が 1000 km のオーダのいわゆる長波と規模が異なるのみならず、停滞性のものが卓越するなどの性質についても長波と異なる⁴⁾。1939 年、Rossby⁵⁾ により、地球が自転している惑星である事に基づく復元力により生じる波動として提案されたが、彼等の研究は、広域の天候を支配するものとして着目されていた大気活動の中心⁶⁾の変動の研究であった。それ以来、超長波について種々の研究がなされて来たが、その多くは、超長波の力学的研究、又は波動としての性質に関する実測的研究である (たとえば、Wiin-Nielsen⁷⁾, Eliassen and Machenhauer⁸⁾, Iwashima and Yamamoto⁹⁾)。この研究では、1939 年の Rossby⁵⁾ の研究の動機に立戻って、この様な超長波と異常天候の関連性を、実測資料に基づいて論ずる。

1 カ月又はそれ以上の期間にわたって、気温、降水量などの気象要素が平年値と著しくずれた値をもつ場合がある事は、古くから知られていた。この様な場合をこの研究では、異常気象ないしは異常天候として、取上げる事とする。異常気象の発現に対しては、大気中の種々のスケールの運動が、多少とも関与している事は疑いのない所である。しかし、1000 km のオーダ又はそれ以下の小規模な運動の時間的变化は激しくて、1 カ月平均のパターンにおいては、平滑化され、見掛上、ほとんど消えてしまう。そして事実上、超長波のパターンのみが残る事となる。この超長波のパターンの発現、維持には、移動性高低気圧やそれより小規模の運動の寄与も無視する事が出来ないが、この研究では、さし当り、その様な相互作用に関する問題には立入らない事とし、1 月の月平均気温の異常の発現と、同じ 1 月の月平均パターン上で認められる超長波の特長との関連性と実測に基づいて調べる事とした。

異常気象の発現と大気循環の種々のパターンとの関連に関する実測的研究は、1カ月予報や季節予報の基礎として、非常に多くの研究がなされて来た(たとえば、気象庁予報部¹⁰⁾、Murray¹¹⁾)。しかし著者の知る限りで、月平均の超長波の変動に着目した系統的な研究は今までの所見当たらない。大気循環のパターンに関する今までの研究では、型の分類が試みられたりされているが¹²⁾、超長波を導入すれば、理論による裏付けも比較的容易であると期待出来、又定量的取扱いもかなり簡単なので、異常気象で発現、維持に関する研究に対して有利であると考えられる。

2. 1月の月平均気温の異常

異常天候の1例として、この論文では、1月の月平均地表気温をとりあげる事とした。Fig. 1は、鹿児島および札幌における1月の月平均気温の経年変化を、それぞれ、1886年、1889年の観測開始以来1969年までの84年間、81年間のデータにより示している。細い実線は、全期間の平均値を示し、破線は、平均値からのずれが、標準偏差およびその2倍であるような範囲を表わしている。これらのデータの頻度分布は図示しないが、ほぼ正規分布に近いとみてよい。正規分布に関する理論によって、偏差が標準偏差の値の範囲内にある確率は約68%であり、標準偏差の2倍の範囲内にある確率は約95%と与えられるので、標準偏差の2倍以上の偏差をもつ値が発現する確率は、大体20年に1回となる。Fig. 1からこの異常気温が、緯度、経度ともに約10度しか異ならない鹿児島と札幌とで、同時には発現していない事が判る。しかし異常気温の発現は、必ずしも局所的なものではなくて、特に東西方向には、かなり広地域にわたってまとまって発現している事は、Fig. 2から明らかである。

30°N以北の北半球の1月の月平均地表気温について、1931年から1960年までの30カ年にわたる平均値からのずれ(平年偏差(単位、°C))を、1963年から1969年までの7カ年について示したのがFig. 2である。これはベルリン自由大学¹³⁾でまとめたものを再録したものである。南北方向には比較的唐突な変化もみられるが、一般に東西方向には、異常低温域、異常高温域がまとまって出現していて、波数1ないし4の

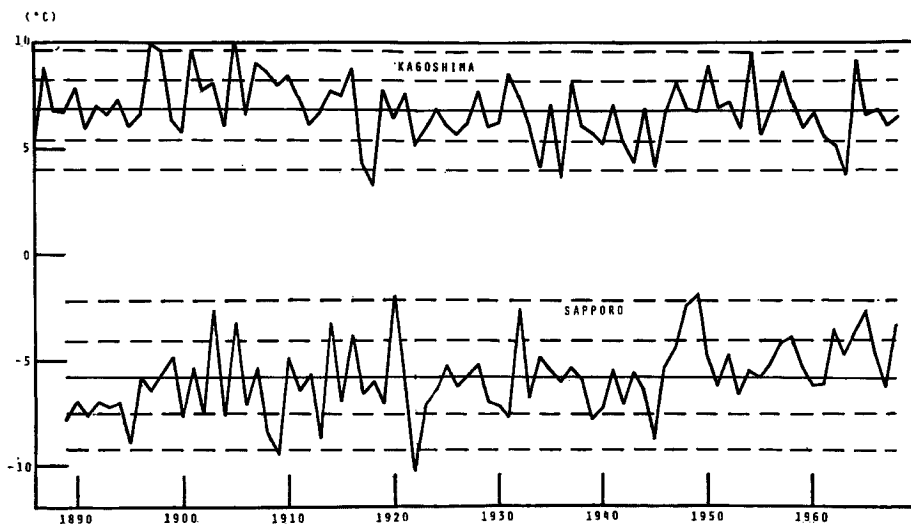


Fig. 1 Monthly mean surface air temperature of January at Kagoshima (31°34'N, 130°33'E) and Sapporo (43°03'N, 141°20'E). Full line parallel to the abscissa is the mean temperature over the whole period of observation, and the broken lines show the ranges of the deviation equal to the standard deviation or the twice, respectively.

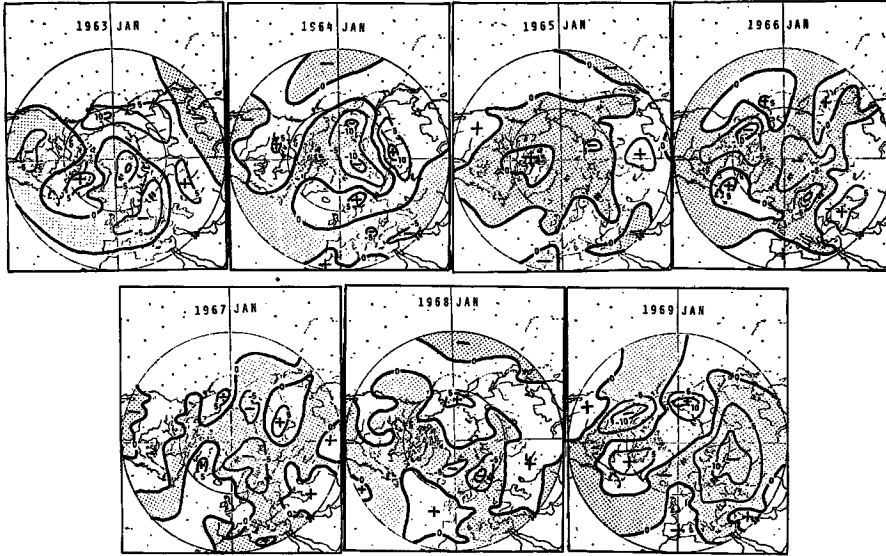


Fig. 2 Hemispheric distribution of the deviation of January surface air temperature from the normal value (1931-1960), in the unit of degree centigrade. Area of negative anomaly is shown by shade. These maps are reproduced from those issued by Berlin Free University¹⁴⁾.

パターンが卓越している事が明らかである。

この分布からも 明らかな様に、殆ど毎年、北半球のどこかで、 10°C 以上の年間偏差が出現しているが、その位置は、ふつう年毎に異なっている。したがって、ある地点での異常気温の発現は、むしろこの様な年間偏差のパターンの発現位置に大きく依存しているとみる事が出来る。

Fig. 3 は、1963 年から 1969 年にわたり、 40°N から 70°N までの北半球全体の 1 月地表気温の分布を緯度円に沿って、それぞれ Fourier 解析して振幅 ($^{\circ}\text{C}$) と位相 ($^{\circ}\text{long}$) を波数 (WN) 1 から 5 について示したものである。 50°N についてみると、波数 1 の振幅は、 5°C 以下の年 (1965 年) もあるが 8°C 以上の年 (1969 年) もある。その位相の年による差異は経度にして、 30 度以上になっている。波数 2 の振幅は、 9°C を下回る年 (1964 年) もあるが、最大は 1969 年の約 13°C である。波数 2 の位相の年によるずれは、たかだか経度 10 度である。波数 3 の振幅は大体 4°C から 6°C の範囲内にあり、位相の差異は、波数 2 と同程度で経度約 10 度の範囲である。波数 4 の振幅は 1969 年に約 2°C の値が出現しているが、他の年は約 4°C から 5.5°C の範囲である。この波数の位相の年によるずれの最大範囲は、やはり経度約 10 度である。波数 5 の振幅は、多くの緯度、年において振幅は 2°C 以下で、その影響は大きくない。かくして、1 月の月平均気温分布は、波数 1 から 4 までによってかなりの程度示し得るものと考えてよい。

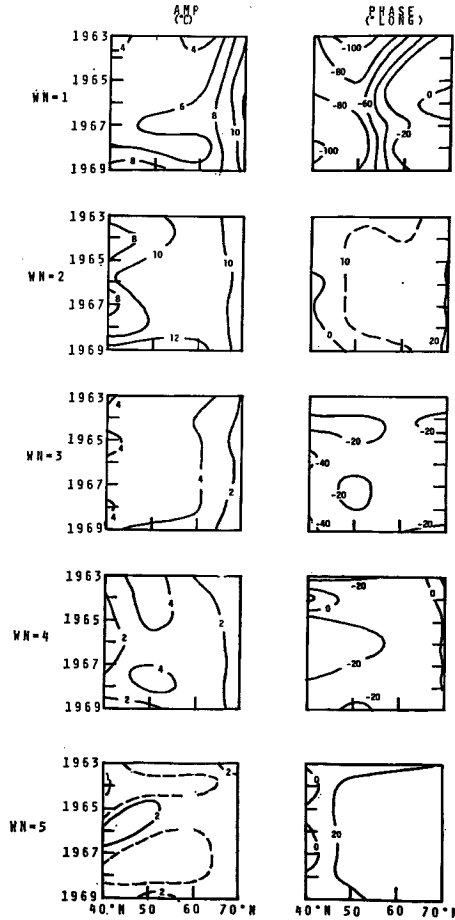


Fig. 3 Year-to-year variation of latitudinal distribution of the amplitude and phase of zonal harmonic components of the surface air temperature in January, in the unit of degree centigrade and degree longitude, respectively.

3. 超長波と気温分布

冬の月平均地表温度が、気圧配置と密接な関連を有する事は、今までにも多くの調査で示されている¹⁴⁾。月平均海面気圧分布を緯度円に沿って Fourier 解析して得た結果は地衡風近似の下では、停滞性の超長波を表わすとしてよい。このようにして得た超長波の振幅および位相が地表気温分布の振幅および位相とどのように対応しているかを調べてみる事とする。

Fig. 4 (a), (b), (c), (d) はそれぞれ波数 WN の 1 から 4 の値に対し、40°N から 70°N にわたって超長波の位相と同じ波数の気温分布の位相との差を、前者の位相についてプロットしたものである。資料は 1963 年から 1969 年までの 7 カ年の 1 月の月平均値である。データの数が多くないのでこれから直ちに決定的な結論を出す事は、差し控える。しかし、多くの緯度、波数について、海面気圧から求めた超長波の位相が東にずれるに従って、気温分布の位相との差が大きくなる傾向が明らかである。緯度が低くなると、この対応

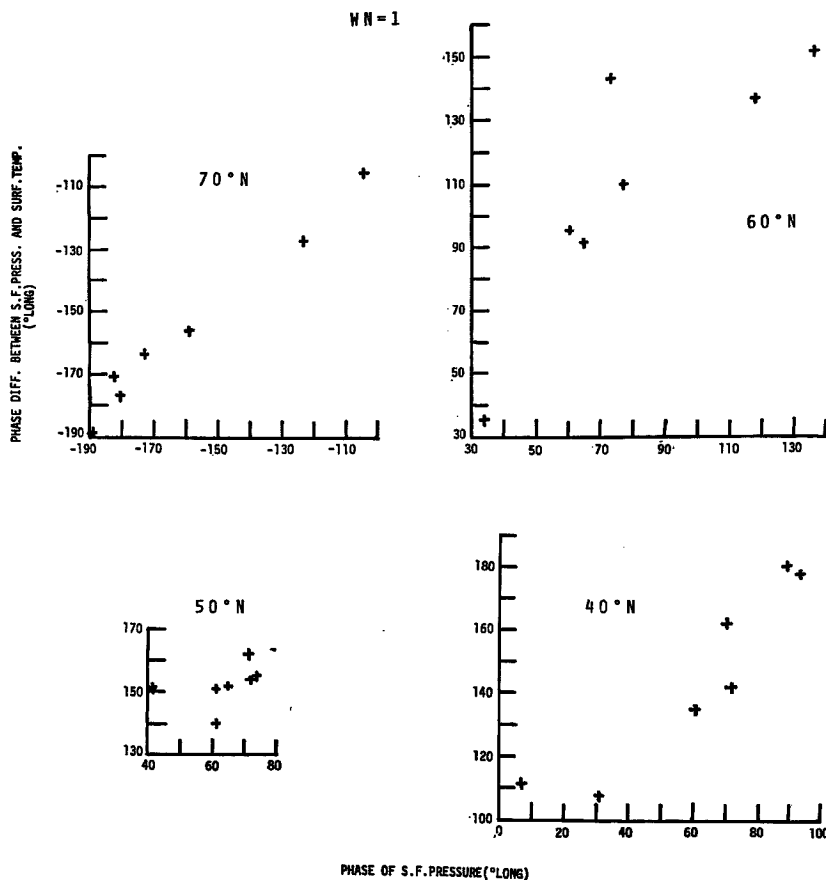


Fig. 4 (a) Relationship of the phase difference between the first harmonic (WN=1) of sea-level pressure and that of surface air temperature to the former, in the unit of degree longitude.

が幾分乱れるようになる事に注目する必要がある。

次に振幅に関する対応をみるようにしたのが Fig. 5 である。40°N から 70°N までの各緯度における超長波の振幅に対する同じ波数の地表温の振幅の比を、その緯度を中心とした緯度 20 度の範囲での超長波の位相のずれについてプロットした。ジェット気流が分流し、又移動性高低気圧の系統的な東進が中断されるという、いわゆるブロッキング現象が、気温分布に大きく貢献する事が予期される¹⁵⁾。この様な現象が発現した月の平均パターンは、気圧の峰や谷の位相が緯度方向に大きくずれる事も知られている。この様な見地から、Fig. 5 を作製した。この図では、超長波の振幅が、7 年平均値の 1/2 以下の場合には除外してある。資料の数が十分でないのでやはり決定的な結果を出す事は無理である。しかし、超長波の位相のずれが大きくなると、振幅比が大きくなる傾向がみとめられる。すなわち、波数 1 については 40°N における 1 例 (位相のずれが約 10 度) や、60°N における位相のずれが約 150 度の例を除くと、上述の対応の傾向は明らかである。波数 2 についても、位相のずれが約 60 度である 40°N 以外については、やはり上述の傾向がみられる。波数 3 については、対応が乱れているようにみえる。位相のずれが 10 度以下にもかかわらず 60°N の

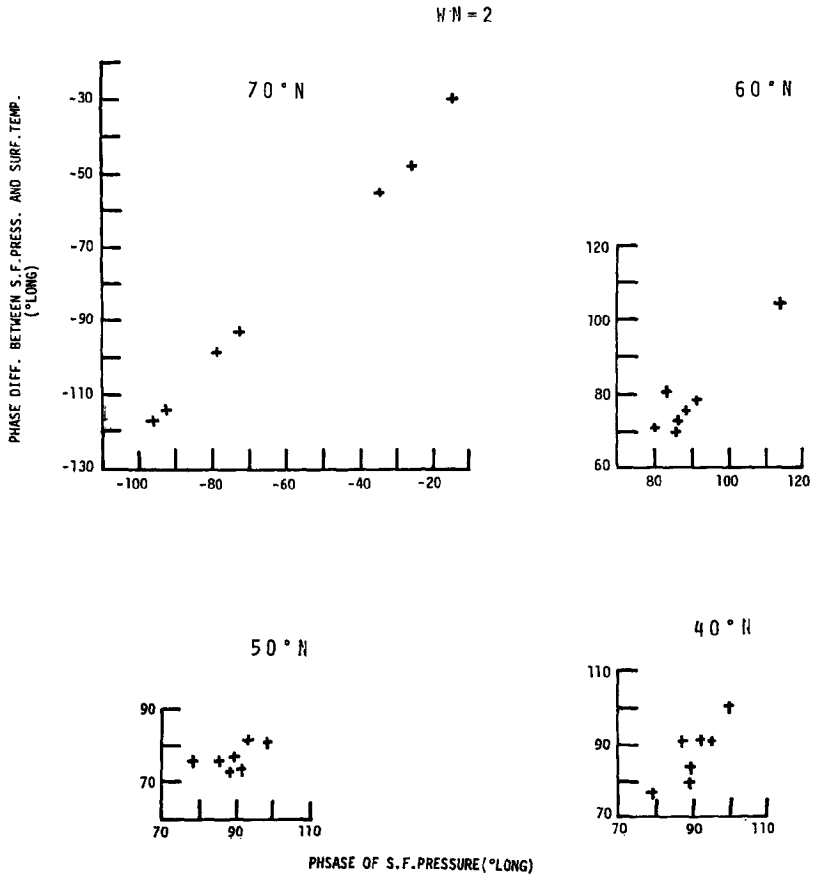


Fig. 4 (b) The same as Fig. 4a, except for the second harmonic (WN=2).

2例では振幅比が $1(^{\circ}\text{C}/\text{mb})$ 以上になっている。又約 20 度以上のずれに対して振幅比が 0.5 以下の例が 70°N で 2 つ、 40°N で 1 つある。これらの例を除くとやはり、上述の対応の傾向があるとしてよい。又波数 4 については、幾分点が分散しているが、同様な対応があるとみられる。

以上、Fig. 4 と Fig. 5 に与えた結果は、超長波の様相と、1 月の異常気温の分布とかなり密接な対応性を示唆するものであり、超長波の立場から、異常気温の発現を論ずる事の有用性を示すものといえよう。

WN=3

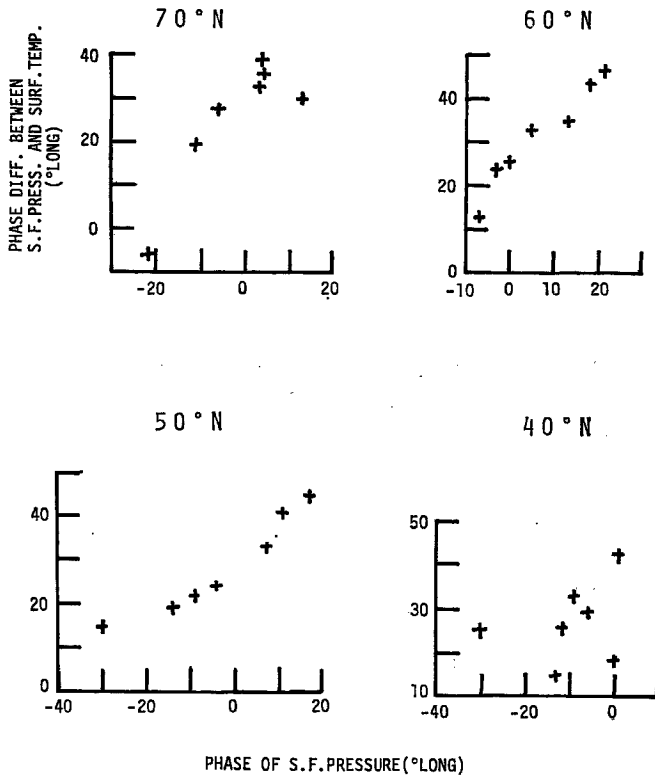


Fig. 4 (c) The same as Fig. 4a, except for the third harmonic (WN=3).

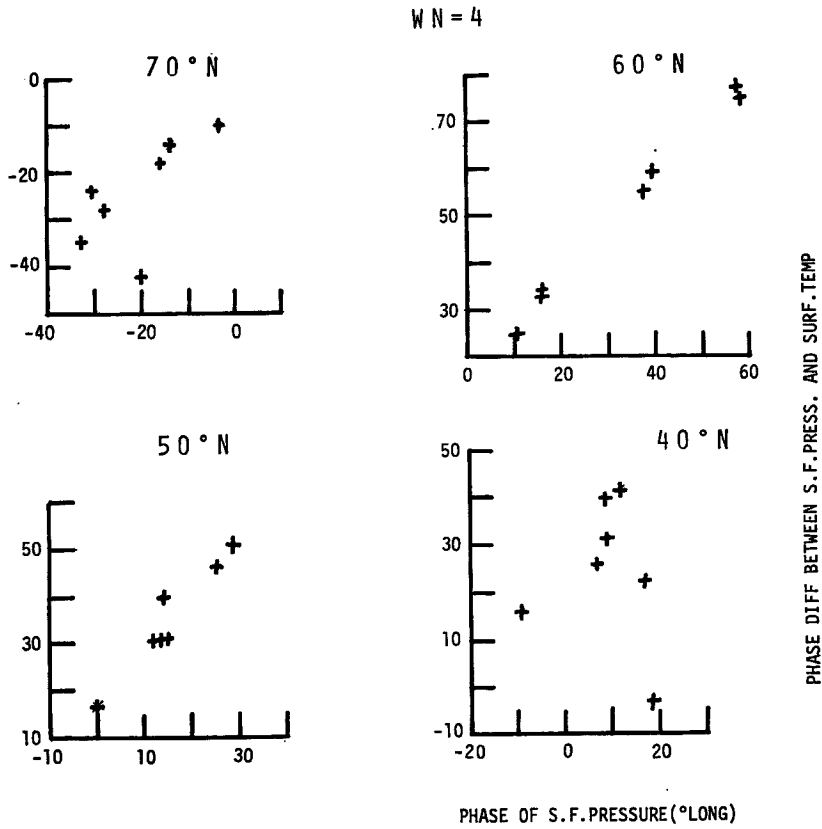


Fig. 4 (d) The same as Fig. 4a, except for the fourth harmonic (WN=4).

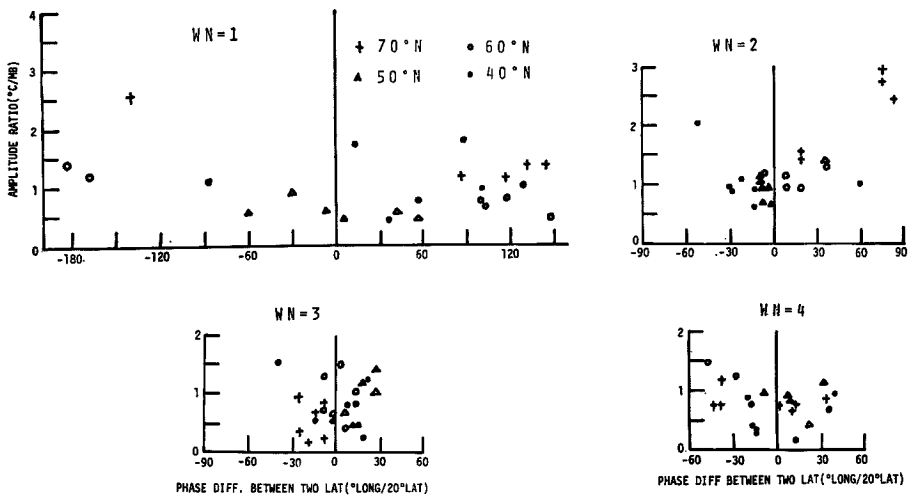


Fig. 5 Relationship of the amplitude ration of surface air temperature to that of sea-level pressure (degree centigrade/mb) with the meridional shift of the phase of sea-level pressure harmonics (degree longitude/20 degree latitude).

4. 超長波の経年変化

大気大循環のパターンの変動を論ずるのに、超長波の立場からすると、定量的取扱いが比較的容易であることは、上述した所である。その具体的実例として、超長波の経年変化を示す。Fig. 6 の細い実線および破線は、1月の月平均 500 mb 等圧面の 海拔高度から求めた 40°N , 60°N における波数 WN が 1 から 4 までの振幅と位相の 1946 年から 1969 年までの 24 年間の値である。太い実線および破線は、5 カ年の移動平均を示している。各波数とも、年によるかなりの変動がみとめられるが、波数 1 の位相、波数 2 および 3 の振幅の変動が顕著である。

5 カ年移動平均についての顕著な変動をみると、波数 1 の振幅は、 40°N にいおて、1951 年頃から波少の傾向にあり、最近では、1951 年頃の値の $2/3$ にまでおちている。しかし、 60°N においては、1953 年頃の極大値の出現以後、1960 年頃の極小期までは減少していたが、最近では増加し、1953 年頃の値を越えている。位相の変化の傾向は、 60°N では、 40°N とは、どちらかといえば逆向きである事が図から明らかである。

波数 2 の振幅が、 40°N と 60°N では、それぞれ増加又は減少の傾向にある事が明瞭に示されている。1950 年頃、 40°N と 60°N でそれぞれ約 50 gpm, 約 120 gpm であったのが、最近では両者とも約 80 gpm となっている。波数 2 の位相の変化は、あまり顕著ではない。

波数 3 の振幅の経年変化は、波数 2 のように著しくはないが、1960 年までは、 60°N と 40°N とで逆向きの傾向があり、それ以後はむしろ同じ向きとみうけられる。波数 3 の位相の変化は、波数 2 と同様あまり変化していない。

5. 結 語

異常気象の 1 例として、1 月の月平均地表温度分布と、海面気圧分布から与えられる超長波との対応について、実測資料に基づいて論じた。その結果、冬の異常気温の発現に関する研究を、超長波の立場から推進するのが有望である事が示された。超長波による研究の有用性の 1 つとして、容易に定量的研究が実施出来るという点があげられるが、その 1 例として、500 mb 等圧面高度から求められた超長波の経年変化を示した。最近の顕著な変化傾向として、波数 2 の振幅が 40°N では増大、 60°N では減少の傾向にある事を示した。

謝 辞

この研究におけるデータの処理について、岩嶋樹也君、木原敦子嬢の援助があった事を附記して謝意を表す。又計算の多くは、京都大学大型計算機センターの FACOM 230-60 によってなされた。この研究は文部省の科学研究費によるものである。

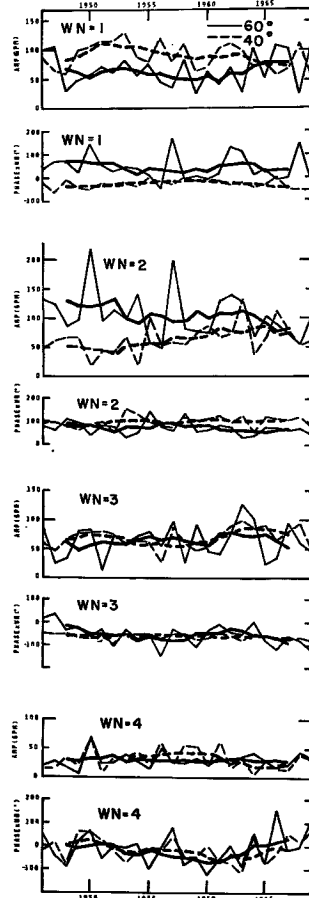


Fig. 6 Year-to-year variation of the zonal harmonics of monthly mean 500 mb geopotential in January at 60°N and 40°N . Thick lines show the 5-year running mean.

参 考 文 献

- 1) Miyakoda, K.: Experimental Extended Predictions with a Nine-level Hemispheric Model, *Monthly Weather Review*, 97, 1969, pp. 1-76.
- 2) Adem, J.: Long-range Numerical Weather Prediction Experiments, *WMO Technical Note*, No. 66, 1965, pp. 138-140.
- 3) Lorenz, E. N.: Three Approaches to Atmospheric Predictability, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 50, 1969, pp. 345-349.
- 4) Burger, A. P.: Scale Consideration of Planetary Motions of the Atmosphere, *Tellus*, 10, 1958, pp. 195-205.
- 5) Rossby, C. G., et. al.: Relation between Variation in the Intensity of the Zonal Circulation of the Atmosphere and the Displacements of the Semi-permanent Centers of Action, *Journal of Marine Research*, 2, 1939, pp. 38-55.
- 6) Teisserenc de Bort: Etude sur l'Hiver de 1879~80 Recherches sur la Position des Centres d'Action de l'Atmosphere dans les Hivers Anormaux, *Annales du Bureau Central Meteorologique de France*, part 4, 1881.
- 7) Winn-Nielsen, A.: Preliminary Study of the Dynamics of Transient Planetary Waves in the Atmosphere, *Tellus*, 13, 1961, pp. 320-333.
- 8) Eliassen, A. and B. Machenhauer: A study of the Fluctuations of the Atmospheric Planetary Flow Patterns Represented by Spherical Harmonics, *Tellus*, 17, 1965, pp. 220-238.
- 9) Iwashima, T. and R. Yamamoto: A Method of Separation of Ultra-long Waves in the Atmosphere into Quasi-stationary and Transient Part by the Time Filters *Journal of Meteorological Society of Japan*, 49, No. 3, June 1971, pp. 158-162.
- 10) 気象庁予報部：季節予報指針（上巻），長期予報テクニカルノート，No. 11, 昭 46. 1.
- 11) Murray, R. and P. R. Benwell: PSCM Indices in Synoptic Climatology and Long-range Forecasting, *Meteorological Magazine*, 99, 1970, pp. 232-245.
- 12) 北原英一：最近の大気環流型とその特性長期予報テクニカルノート，No. 11, 昭 46. 1, pp. 73-94.
- 13) Scherhag, R. et. al.: Ergebnisse des Synoptischen Dienstes, *Meteorologische Abhandlungen*, Band 34, 44, 53, 63, 78, 92 und 101, 1963-1969.
- 14) Murray, R.: A Note on the Large-scale Features of the 1962/63 Winter, *Meteorological Magazine*, 95, pp. 339-348.
- 15) 関根勇八：ブロッキング高気圧について，長期予報テクニカルノート，No. 11, 昭 45. 1, pp. 111-131.