

大気大循環の変動と異常気象 (Ⅲ)

山元龍三郎・岩嶋 樹也・星合 誠

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

By Ryozaaburo YAMAMOTO, Tatsuya IWASHIMA and Makoto HOSHIAI

Synopsis

Daily behaviours of the quasi-stationary part and travelling one of the ultra-long waves are analyzed at 300 mb in the latitudinal zone from 30° N to 85° N for period of February-March 1968, in which a significant blocking action occurs in the North Atlantic. Remarkable amplification of the quasi-stationary waves of wavenumbers 1 and 4, the phases of which agree approximately with the location of the blocking high, is noticed during the period of the blocking action. Corresponding to this amplification, the amplitudes of travelling waves of wavenumbers 1 and 3 and of the quasi-stationary waves of wavenumbers 2 and 3 decrease. This fact suggests that exchange of the energy may take place between travelling wave and quasi-stationary one of each wavenumber.

1. 緒 言

対流圏中部および上部において、温暖な切離高気圧が形成されると、中緯度の移動性低気圧の東進が阻害されて、低気圧はその切離高気圧の南または北を迂回する。この状態が10日間以上継続する事は珍しくない。このような現象はブロッキングと呼ばれ、大気大循環の特徴的変動の一例である^{1), 2)}。移動性低気圧の経路などが10日間以上にわたって異常であるために、月降水量などが平年値とは、かなりずれた値となり、異常天候をもたらす^{3), 4)}。

このようなブロッキングの機構を解明するために、著者⁵⁾は、ブロッキング発現前後における超長波解析を行ない、準停滞性波動の変動がブロッキング発現に密接な関連をもつことを示した。本論文はその続報である。

2. 準停滞性・移動性超長波

地球の半径と同程度の波長を持つ超長波は、等圧面高度の、緯度円に沿うフーリエ解析によって抽出できる。それにより抽出された超長波は、一般に、準停滞性波動と移動性のそれとが重なったものと見られる(Deland⁶⁾)。これまで、1カ月あるいはそれ以上の期間について時間平均のなされたパターンにおいては、移動性波動が消去されていると考え、それを準停滞性波動とし、それからの日々のパターンの偏差が移動性波動であるとして解析を行ってきた⁷⁾。その結果、準停滞性波動は移動性のものに比べて、一般に、振幅が大きいということが示されてきた。

準停滞性波動の位置は変わらずに、その振幅が変化するときには、上記の方法で、偏差部分を移動性波動とすることに問題がある。このような準停滞性波動の振幅変化を識別し、超長波の日々の振舞を抽出できる時間フィルター法を著者らが提案した^{8), 9)}。超長波の準停滞性部分、移動性部分などを分析するため、波数・周波数領域でのフーリエ解析法¹⁰⁾やキャラクターリスティックパターンによる方法¹¹⁾が提案されているが、いずれも3カ月またはそれ以上の期間にわたる平均的様相を与えるものであり、ブロッキングの発現などに

関連して、日々の変動を解析する事はできない。我々の時間フィルター法⁸⁾は、超長波を各部分に分解して、日々の変動を追跡する事が可能な全く独創的なものである。

100日またはそれ以上の期間にわたって、緯度円に沿う日々のフーリエ解析により、波数1, 2, 3および4の余弦の係数 $C(t)$ および正弦の係数 $S(t)$ の時系列を得る。それぞれの時系列に、ある周波数帯のバンドパスフィルターを適用して得られるものを、 $BC(t)$, $BS(t)$ とする。ここで用いたフィルターの各レスポンス曲線を Fig. 1 に示す。 $BC(t)$, $BS(t)$ は、一般に移動性波動の効果と、準停滯性波動の振幅変化の効果とか

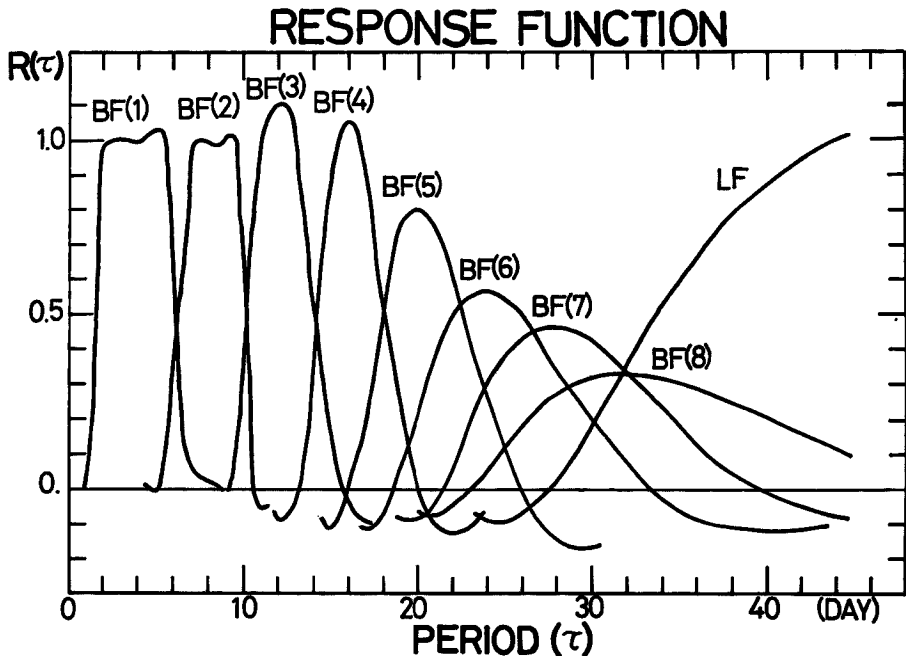


Fig. 1 Response function $R(\tau)$ of the band-pass filters $BF(1)$, $BF(2)$, $BF(3)$, $BF(4)$, $BF(5)$, $BF(6)$, $BF(7)$, $BF(8)$, and low-pass filter LF, which are used in this work.

ら成り立っていると考えるべきである。波数 n の超長波の移動性波動の振幅を A_t 、その位相速度を c とし、準停滯性波動の位相を λ_0 、振幅の変動部分を $A_g \cos \sigma(t-t_0)$ とすると

$$BC(t) = A_t \cos[nc(t-t_1)] + A_g \cos \sigma(t-t_0) \cos(n\lambda_0)$$

$$BS(t) = A_t \sin[nc(t-t_1)] + A_g \cos \sigma(t-t_0) \sin(n\lambda_0)$$

と表わせる。ここで、 t は時間、 λ は経度である。また $|nc| \div \sigma > 0$ としてよい。

時系列 $BC(t)$ と $BS(t)$ は、いずれも、正弦的に振動するが、もし準停滯性波動の振幅変動 $|A_g \cos \sigma(t-t_0)|$ が著しく小さい時には、2つの時系列はいずれも移動性波動の効果のみから成り、両者の位相は1/4周期だけずれる事が明らかである。一方、 A_g が A_t に比して遙かに大きい時には、 $BC(t)$ と $BS(t)$ は、事実上準停滯性波動の振動変動によって支配され、両者の位相は一致するか、また逆位相となる。300mb, 55°N の波数3の $BC(t)$ と $BS(t)$ の一例を Fig. 2 に示す。中心周期が20日のバンドパスフィルター $BF(5)$ を通ったものでは1/4周期に近い位相差が認められ移動性波動が卓越していると考えられる。中心周期が24日の $BF(6)$ を通ったものの後半では位相がほぼ一致していて、準停滯性波動の振幅変動が著しく大きかった事を示している。

このような事実は、我々が提案した時間フィルター法の必要性を例示するものである。

この方法では、移動性波動の振幅が一定として取扱っている。しかし、大気大循環の比較的唐突な変化に伴って、移動性波動の振幅が変化する場合も考えられるので、それに関する考察を行う。移動性波動の振幅 A_i が時間的に変化している時、それは、一般に次のように表現できる。

$$A_i = A_0 + \sum_k A_k \cos [\sigma_k(t - t_k')]$$

ここで、 A_0 は時間について一定であり、 k は frequency σ_k を与える parameter で、 A_k は k によって定まった値をもつ。 σ_k は $|nc|$ より大きくないと仮定する事は、不自然ではない。このような振幅変化をする移動性波動の正弦および余弦の係数は

$$\begin{aligned} TC(t) &= A_0 \cos nc(t - t_1) \\ &+ \frac{1}{2} \sum_k A_k [\cos \{(nc + \sigma_k)t - nct_1 - \sigma_k t_k'\} \\ &\quad + \cos \{(nc - \sigma_k)t - nct_1 + \sigma_k t_k'\}] \\ TS(t) &= A_0 \sin nc(t - t_1) \\ &+ \frac{1}{2} \sum_k A_k [\sin \{(nc + \sigma_k)t - nct_1 - \sigma_k t_k'\} \\ &\quad + \sin \{(nc - \sigma_k)t - nct_1 + \sigma_k t_k'\}] \end{aligned}$$

これらに、振動数 $|nc|$ のみを通し、 $|nc \pm \sigma_k|$ のものを通さないようなバンドパスフィルターを適用した場合、 A_0 の振幅をもつ移動性波動が得られる。次に $|nc|$ のものを通さないが、 $|nc + \sigma_k|$ または $|nc - \sigma_k|$ のものを通すフィルターを適用すると、いずれも振幅 A_k のものが得られる。かくして移動性波動が振幅一定の場合には、一つのパンドパスフィルターにのみ現われるが振幅が変化する時には、2つ以上のものに現われ、その振幅は周波数 $|nc|$ に関して対称に分布する。Fig. 3 は、300 mb における波数3の各バンドパスフィルター毎の移動性波動の15日間の平均振幅を示す。周期 T および周波数 nc の正、負で、それぞれ東進、西進を示している。影をつけた部分は、我々の採用したフィルターでは、識別出来ない周波数領域を示す。周期が16日またはそれ以上の東進波および西進波に、振幅変化があった事が判る。

3. 1968年3月上旬のブロッキングと超長波

1968年3月4日から13日までの期間、大西洋北部でかなり顕著なブロッキングが発現した。3月8日の300 mb 天気図¹²⁾ (Fig. 4) から明らかなように、50°N, 30°W 付近に、顕著な切離高気圧が存在している。同様な様相は、500 mb 天気図でも認められる。また、海面天気図上では、移動性低気圧の東進が一時阻害され、後、その切離高気圧の北を迂回している。

1967年11月から1968年4月までの6カ月間の北半球気象資料の収集とカード化を完了したので、このブロッキングを取り上げて、その発現頃の超長波の様相を調べる事にした。

Figs. 5a~5d は、1968年2月下旬から約1カ月間の300 mb における波動1, 2, 3および4の超長波の振幅と位相を、30°N から75°N にわたって示したものである。これは、日々の、緯度円に沿うフーリエ解析によって得られたもので停滯性部分、移動性部分などに分離していないものである。波数1の波は、3月上旬に、ブロッキングの発現した緯度付近で発達して200 gpm 以上の振幅を有し、気圧の峰の位置がブロッキングの発現位置とほぼ一致している事に注目される。波数2の波は、3月上旬に高緯度地方において発達

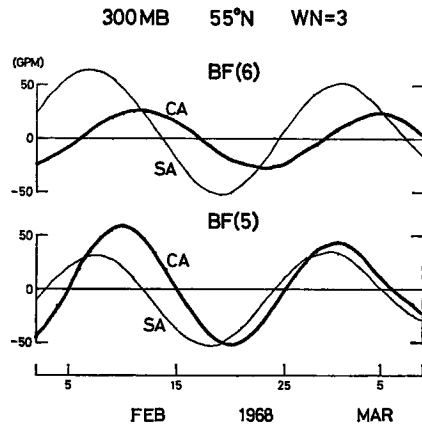


Fig. 2 Time series of cosine coefficient (CA) and sine one (SA) which are obtained by band-pass filter BF(6) or BF(5) for the wave of wavenumber 3 at 55°N, 300 mb.

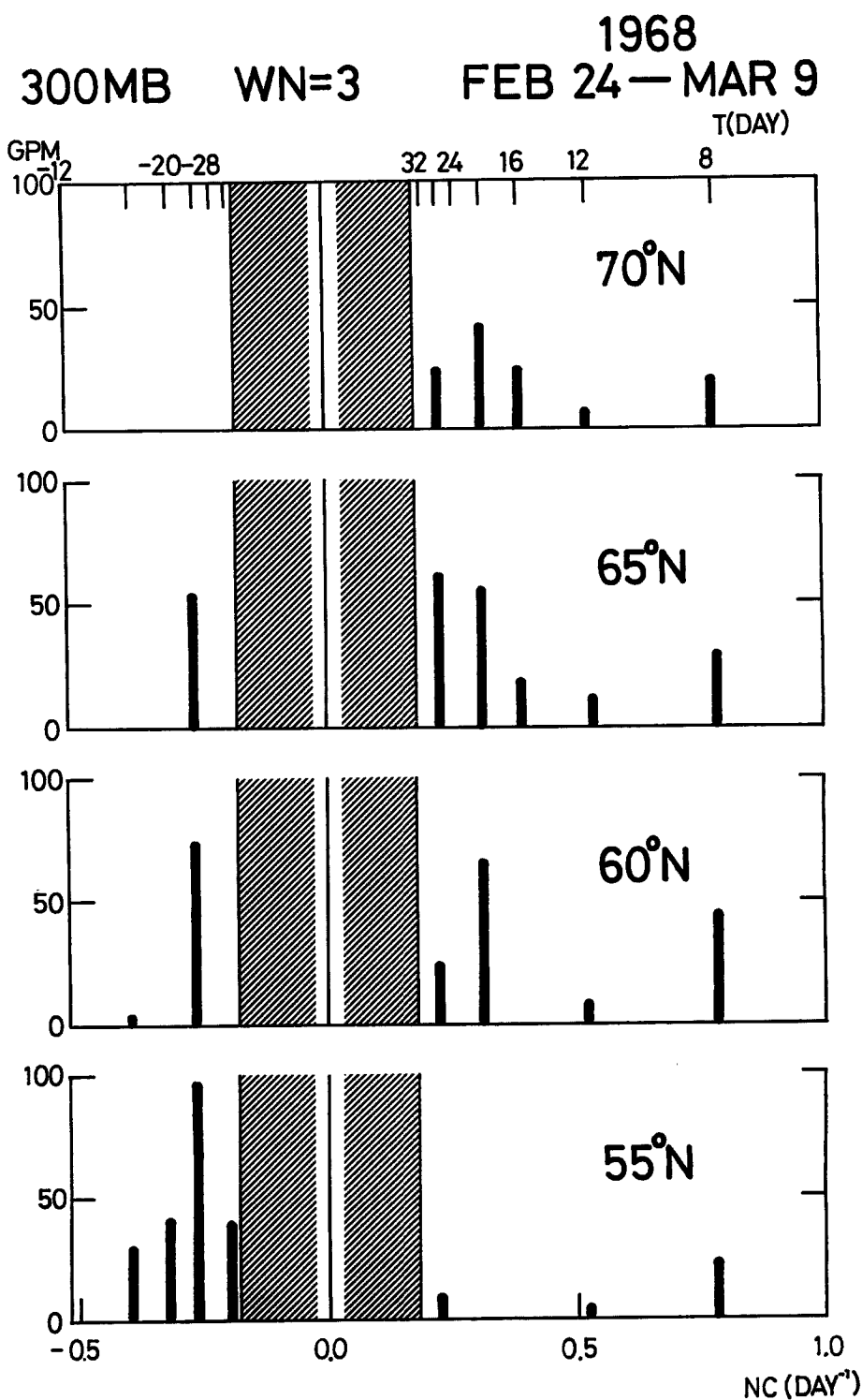


Fig. 3 15-day mean amplitude of band-pass filter travelling waves of wavenumber 3 at 300 mb. The frequency range which is not covered by the system of the band-pass filters adopted here is shown by shading.

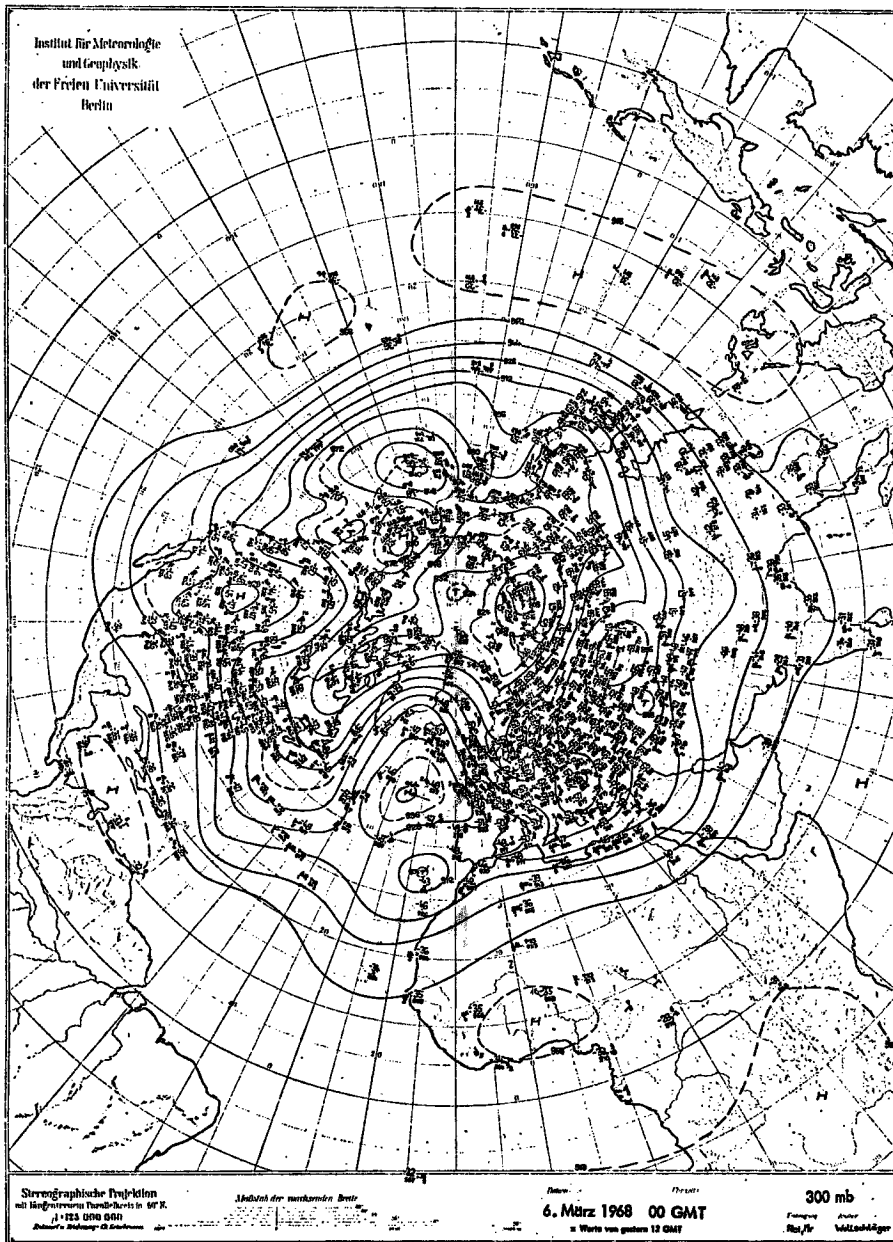


Fig. 4 Synoptic map of 300 mb on March 8, 1968 reproduced from *Meteorologische Abhandlungen*¹²⁾.

しているが、ブロッキングの発生した緯度では、むしろ勢力を弱めている。波数3の波は、ブロッキング発現前と後にかなり大きな振幅をもつが、ブロッキング発現時には、むしろ弱まっている。波数4の波は、ブロッキングの発現した3月上旬には、発達して振幅が200 gpm を越え、その気圧の峰の位置はブロッキング発現位置とほぼ一致している。

このように 300 mb における波数1と4の超長波の発達がブロッキングの発現と密接な関連をもつことが示唆される。

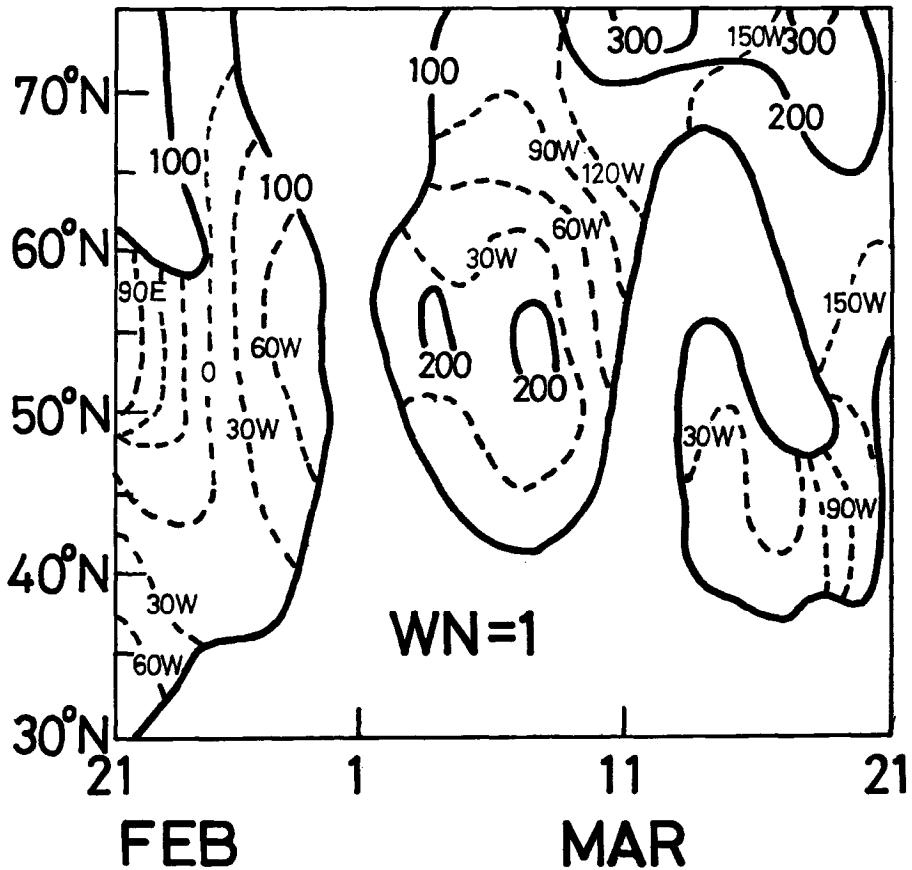


Fig. 5a Time-meridional section of the amplitude (solid line in the unit of gpm) and the phase (broken line in the unit of degree longitude) of the ultra-long wave of wavenumber 1 at 300 mb. These are not yet separated into quasi-stationary part and travelling one.

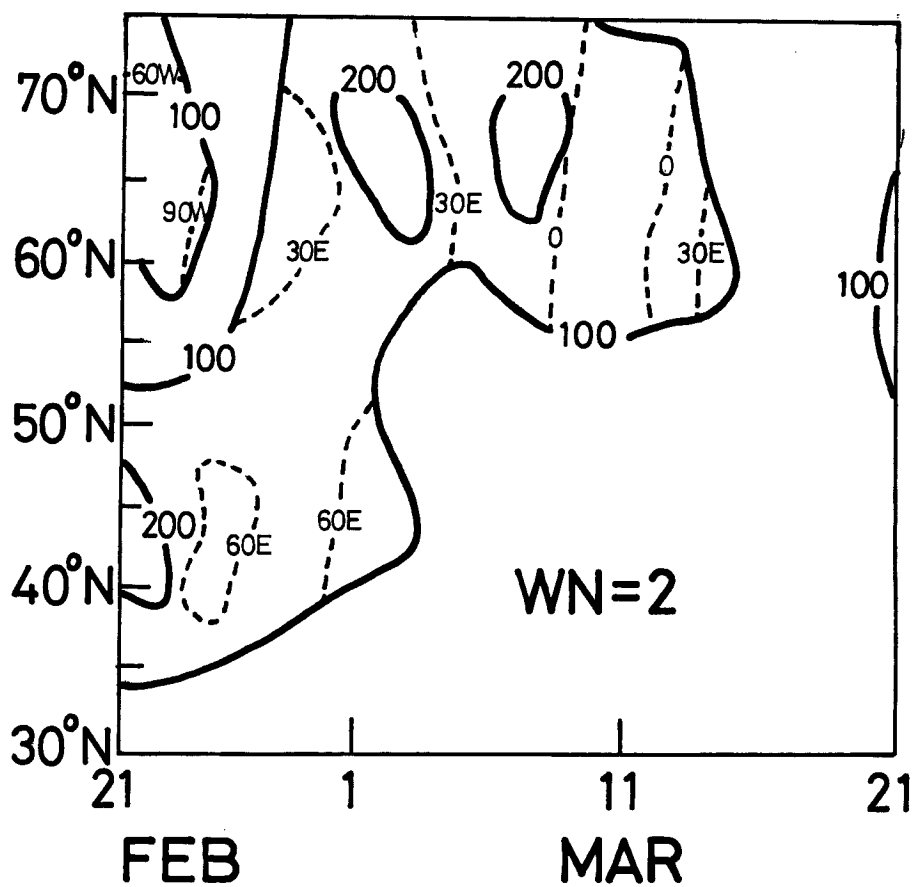


Fig. 5b The same as Fig. 5a, except for wavenumber 2.

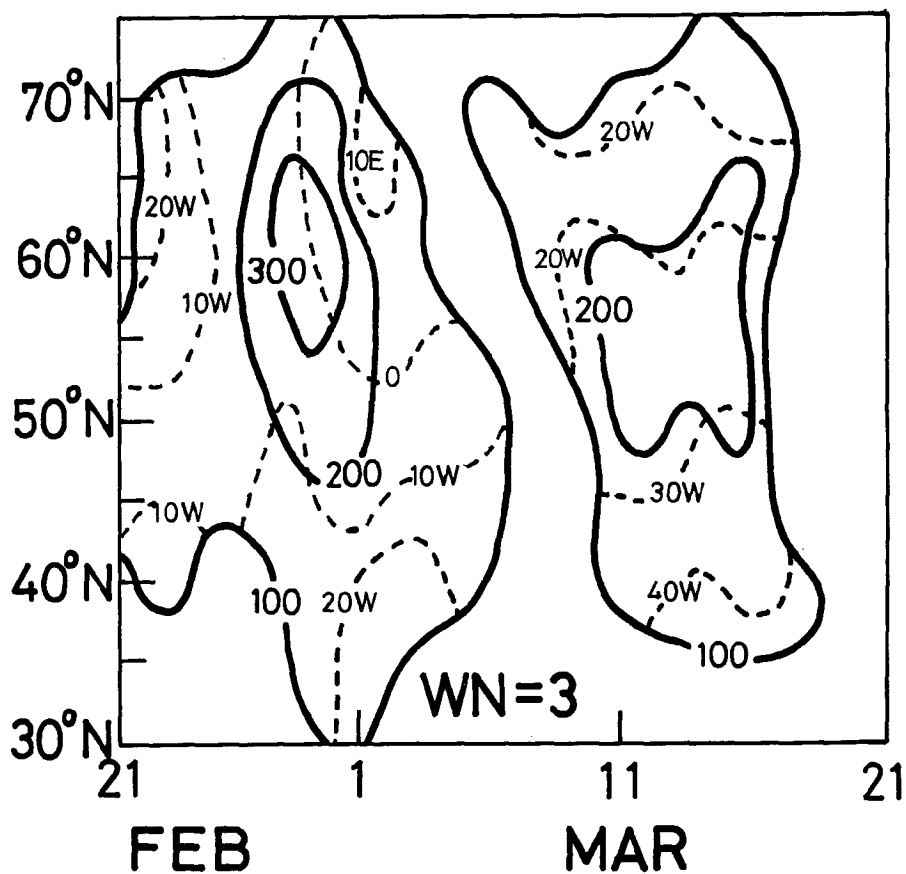


Fig. 5c The same as Fig. 5a, except for wavenumber 3.

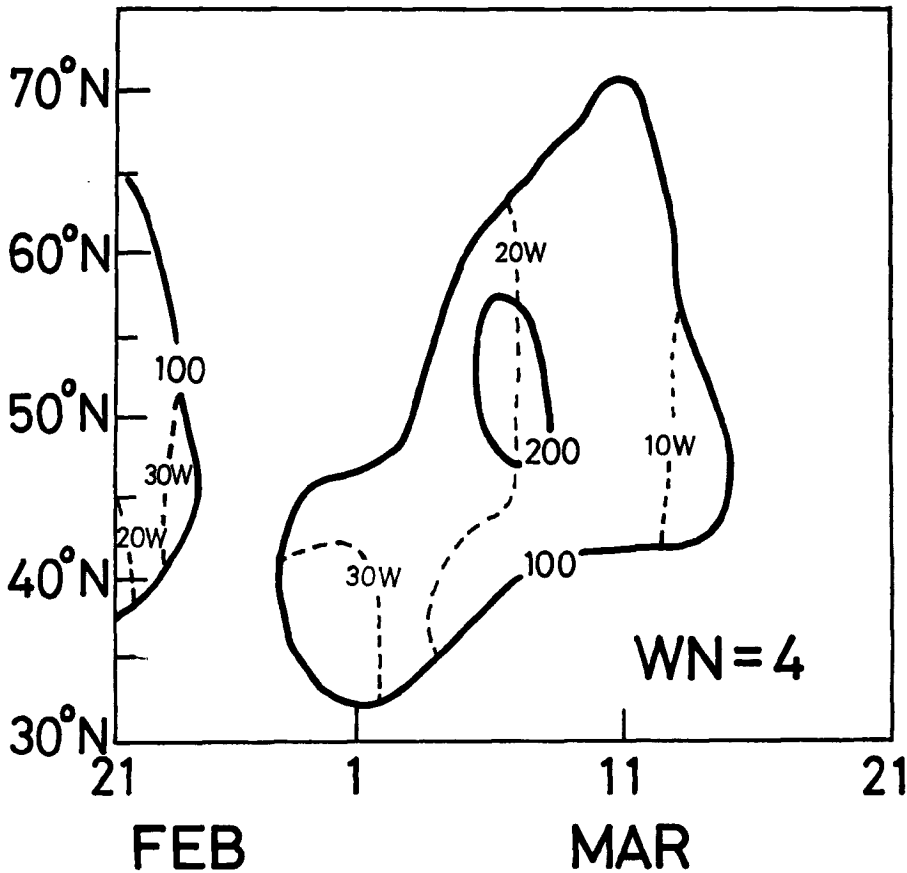


Fig. 5d The same as Fig. 5a, except for wavenumber 4.

4. 1968年2月下旬から3月上旬にかけての準停滞性超長波および移動性超長波の変動

超長波の日々の様相を、我々の時間フィルター法により、準停滞性部分と移動性部分とに分離して考察する事にする。振幅変化をも考慮した上での準停滞性部分の解析結果を Fig. 6a~6d に示す。Fig. 5a~5d において、注目された特徴が、やはり認められる。波数1および4の準停滞性部分は、ブロッキング発現時には、発達しており、位置も大体一致している。波数2および3の波の振幅については、ブロッキング発現前に極大値が認められ、ブロッキング発現と共に減衰している。

移動性超長波には、2, 3のモードがある事が、統計的に示されている¹¹⁾。今回の解析でも、顕著な振幅をもつ2ないし3種のモードがそれぞれの波数の波動に認められる。2月24日から3月9日まで15日間の、各バンドパスフィルターを通過した移動性部分の平均振幅が、緯度15°にわたって50 gpm 以上であるモードに着目する事にする。

55°N から 80°N にかけての波数1の移動性波動の15日平均を、フィルター別に示したのが Fig. 7a である。西進波で、BF(5)を通ったものと、BF(6)および(7)を通ったものが顕著である。2で記述したように、各バンドパスフィルターを通ったものを組合せてみる必要がある。その組合せには、多少の任意性があるが、BF(3), (4), (5)を通ったものを1つの波動とし、別の波動としてBF(6), (7)を通ったものの組合せ

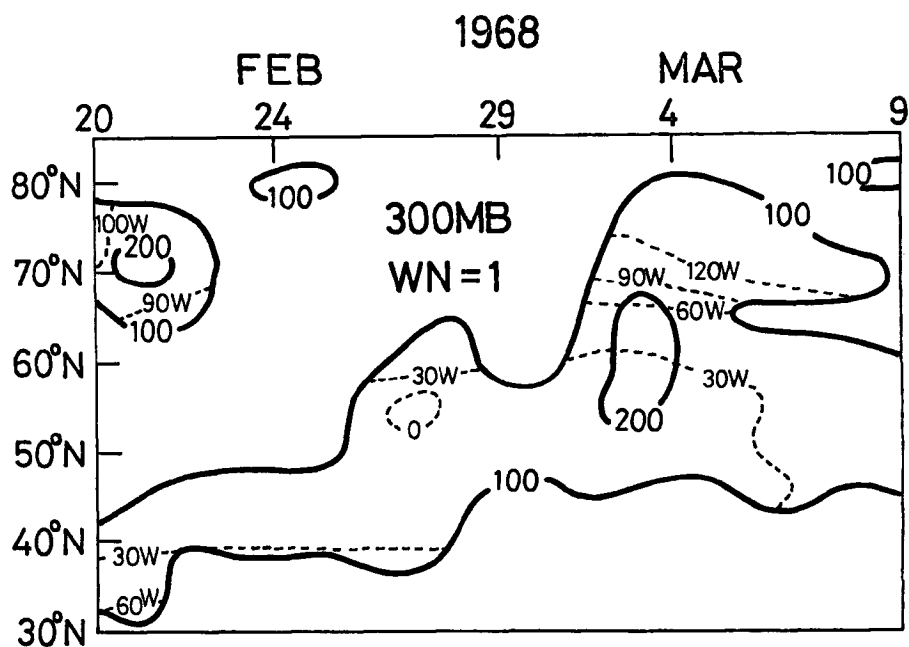


Fig. 6a Time-meridional section of the amplitude (solid line in the unit of gpm) and the phase (broken line in the unit of degree longitude) of the quasi-stationary ultra-long wave of wavenumber 1 at 300 mb.

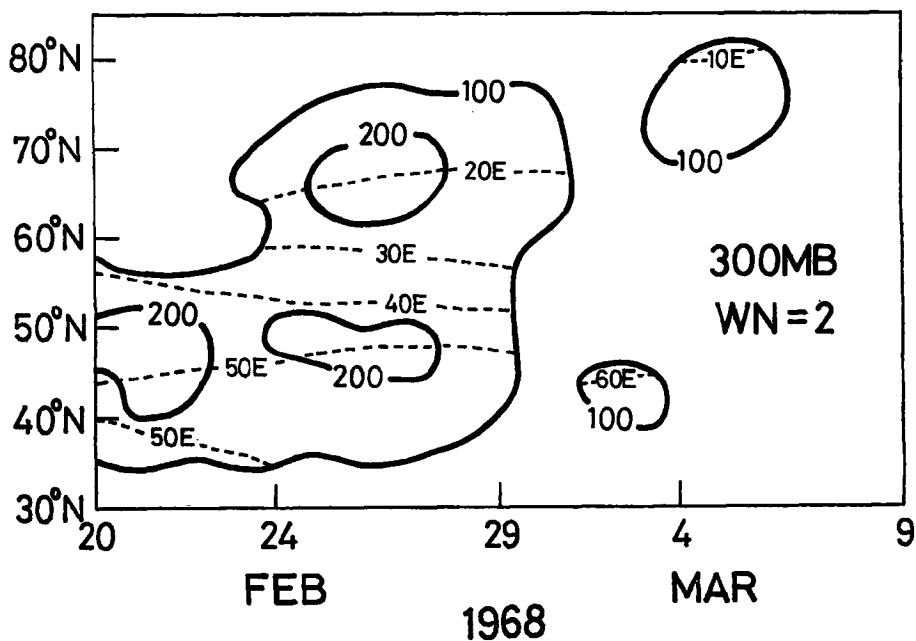


Fig. 6b The same as Fig. 6a, except for wavenumber 2.

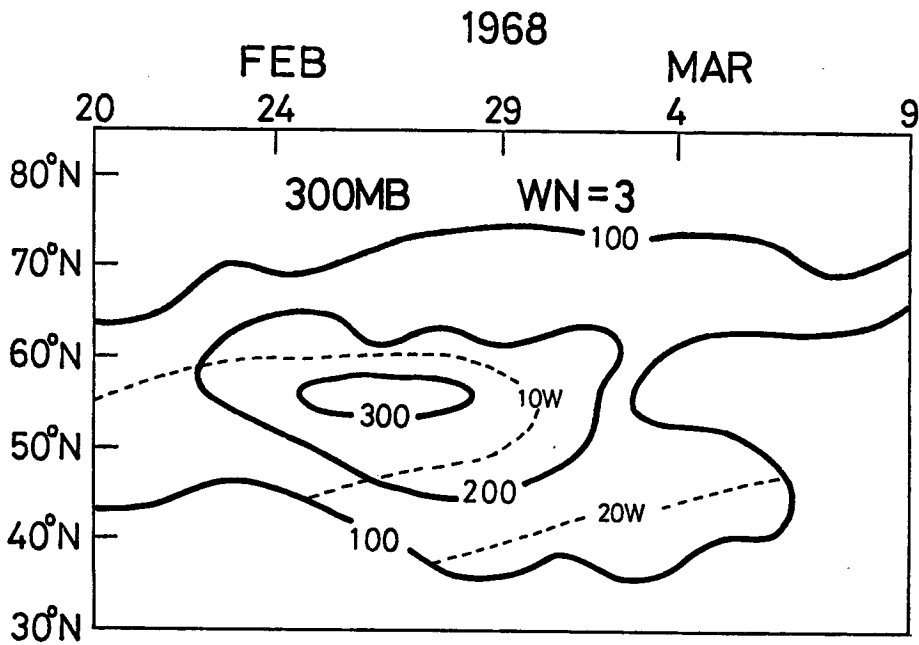


Fig. 6c The same as Fig. 6a, except for wavenumber 3.

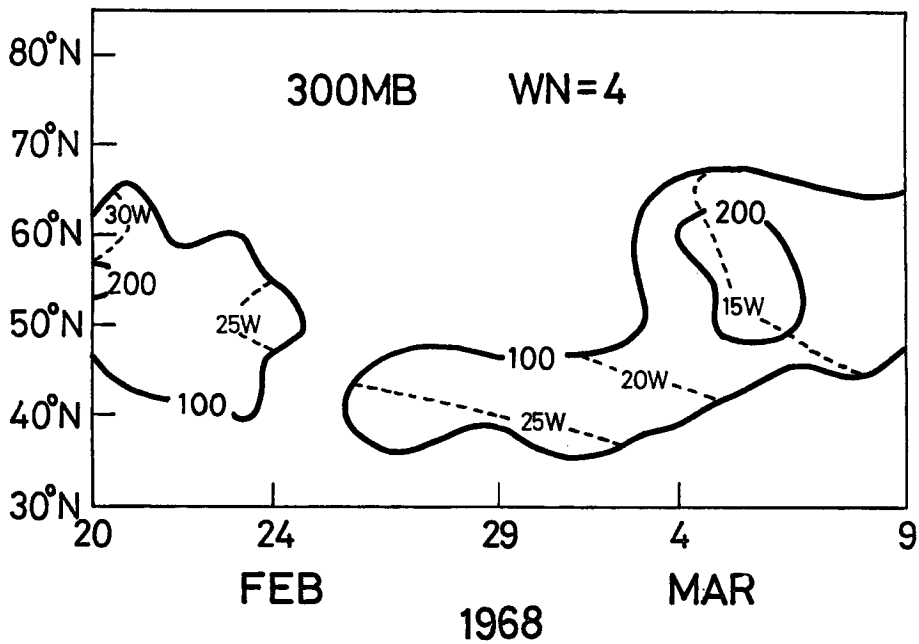


Fig. 6d The same as Fig. 6a, except for wavenumber 4.

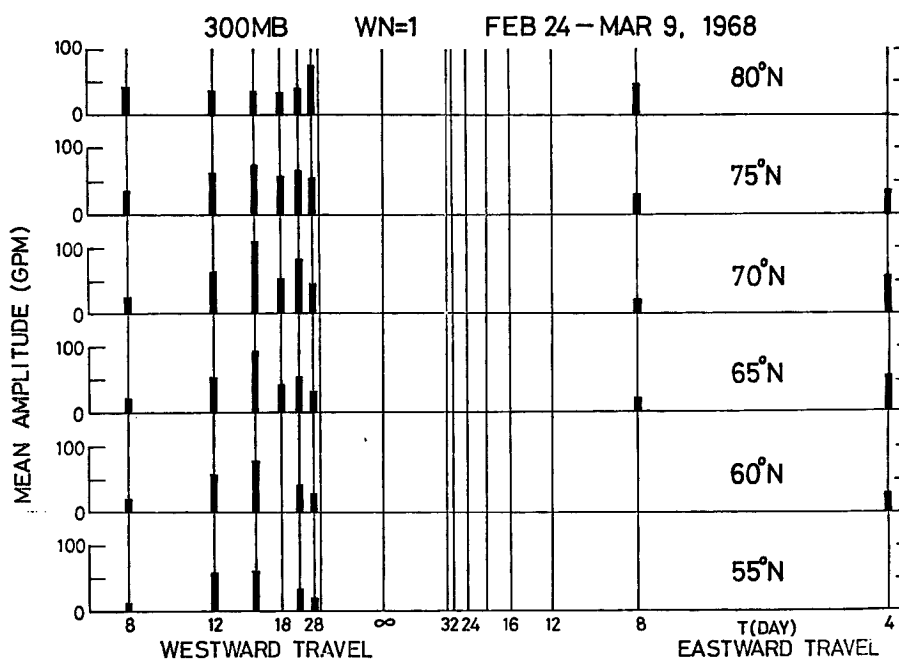
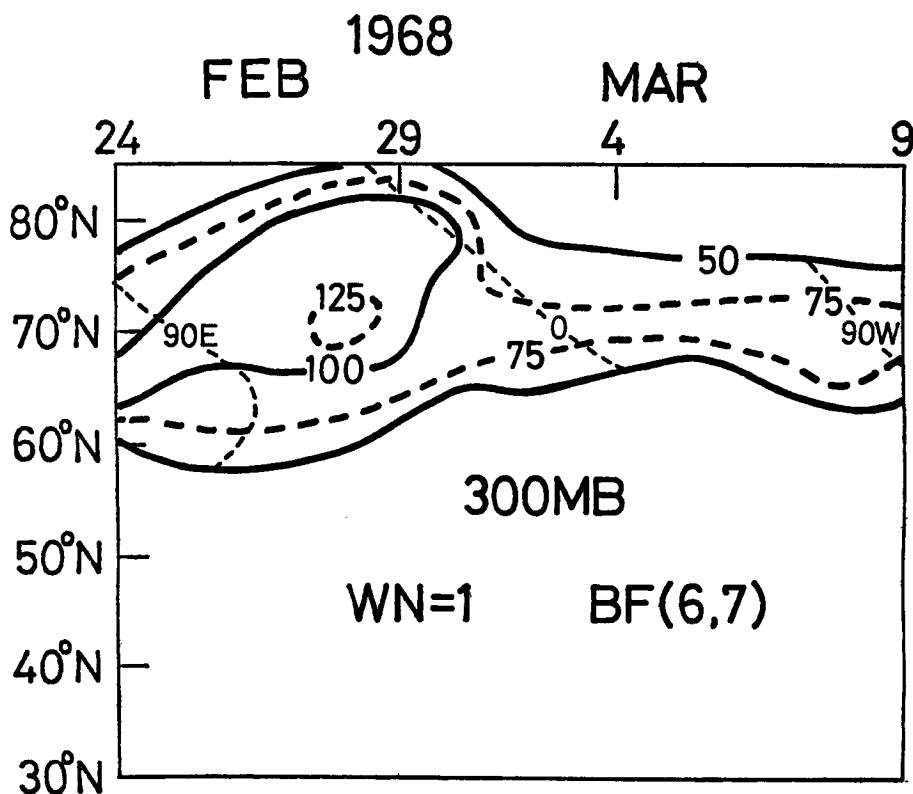


Fig. 7a The same as Fig. 3, except for wavenumber 1.

Fig. 7b The same as Fig. 6a, except for travelling wave of wavenumber 1 filtered by $BF(6)$ and (7) .

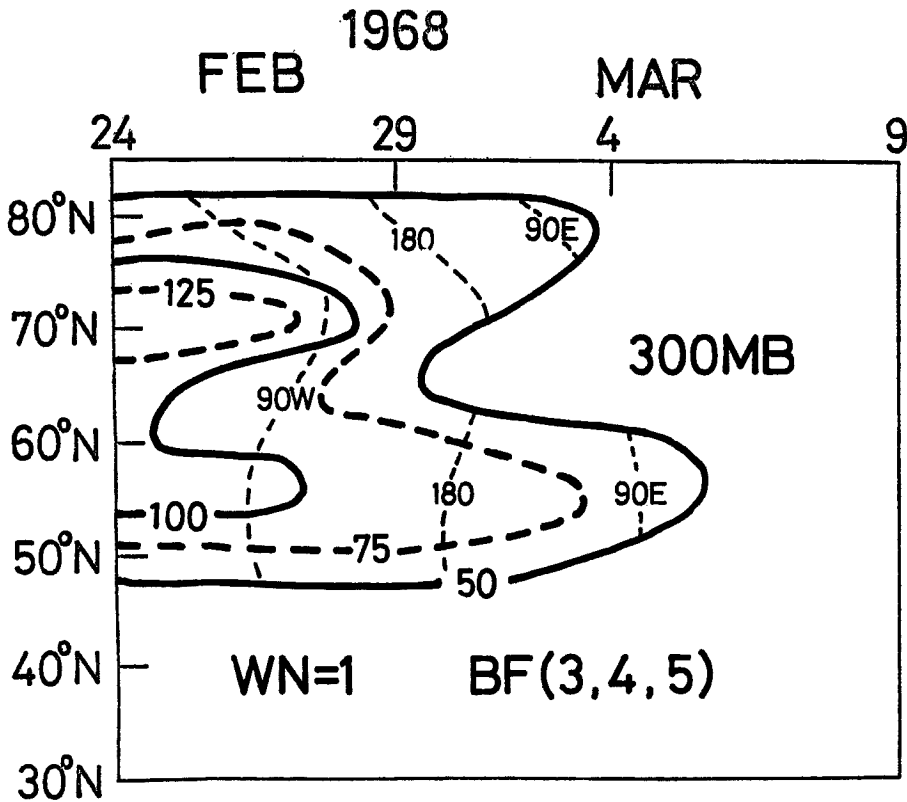


Fig. 7c The same as Fig. 7b, except for BF(3), (4) and (5).

を取り上げる。その結果を Figs. 7b, 7c に示す。波数2に関する同様な結果を Figs. 8a, 8b に示す。この場合、顕著な振幅をもつものは、BF(4), (5), (6) および (7) を組合せた西進波1つだけである。波数3については、BF(4), (5), (6) を通った西進波と BF(5), (6), (7) を通った東進波とが顕著である。これらを Figs. 3, 9a, 9b に示す。Figs. 10a, 10b は波数4に関する結果である。振幅は余り大きくないが、比較的顕著なものは、BF(5), (6), (7) を通った東進波である。

こうして抽出された準停滯性波動および移動性波動の実測結果は、超長波の力学的特性、特に構造や移動速度に関して重要な資料となる。しかし、このような問題に関しては別に報告する予定である。ここでは、ブロッキング発現前後における波動の運動エネルギーの変化に着目する事にする。運動エネルギーの変化は、振幅の変化により概観出来る。波数1の準停滯性波動は、ブロッキング発現の3月上旬に振幅が60°Nで200 gpm 以上の増大となった。2種の移動性波動は、いずれも、2月下旬から3月にかけて振幅が減衰している。波数2の準停滯性波動や移動性波動の振幅についても同様な減衰が見られる。波数3の波動の振幅はいずれも2月下旬から3月上旬にかけて減衰している。波数4の波動の振幅はブロッキング発現前から増大している事が注目される。特に、振幅増大が著しい波数1と4の準停滯性波動の位相がブロッキング発現地と一致している事は、両者の密接な関連を示すものである。またこのような様相は、各波数の準停滯性波動および移動性波動の間の運動エネルギーの授受がある事を示唆する。著者の一人（岩嶋¹³⁾）は、このような見地でのエネルギー過程の量的研究を、成層圏突然昇温に関して行なっている。ブロッキング発現時の対流圏に關しても、同様な研究を行なうべく準備中である。

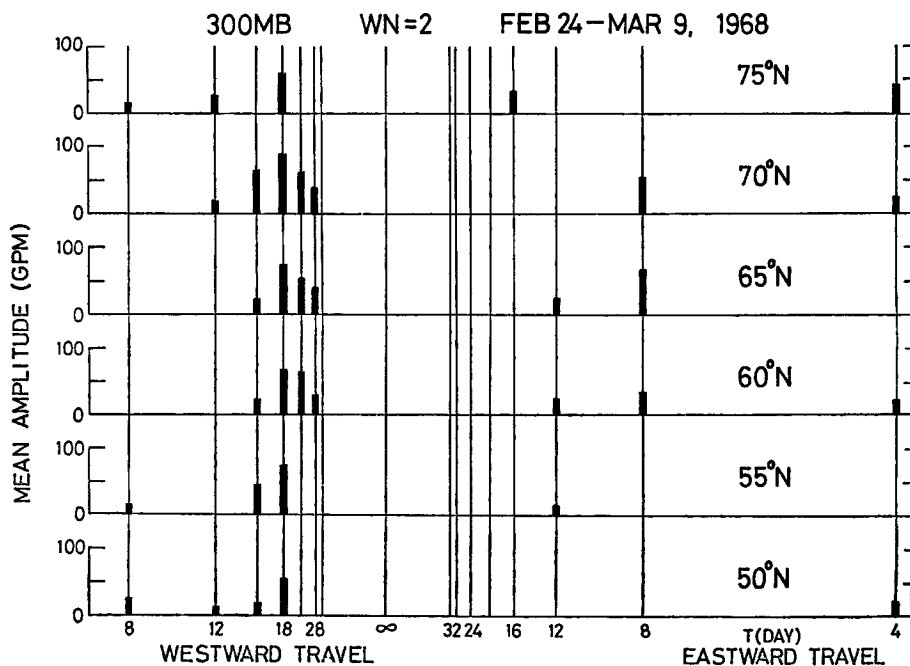


Fig. 8a The same as Fig. 7a, except for wavenumber 2.

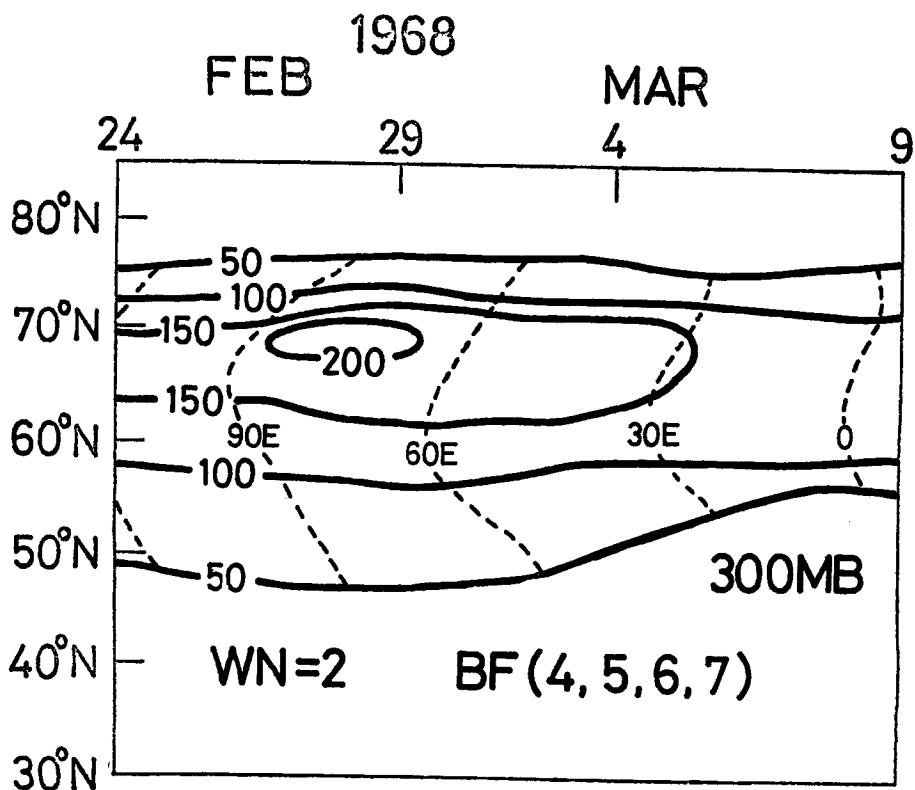


Fig. 8b The same as Fig. 7b, except for wavenumber 2 filtered by BF(4), (5), (6) and (7).

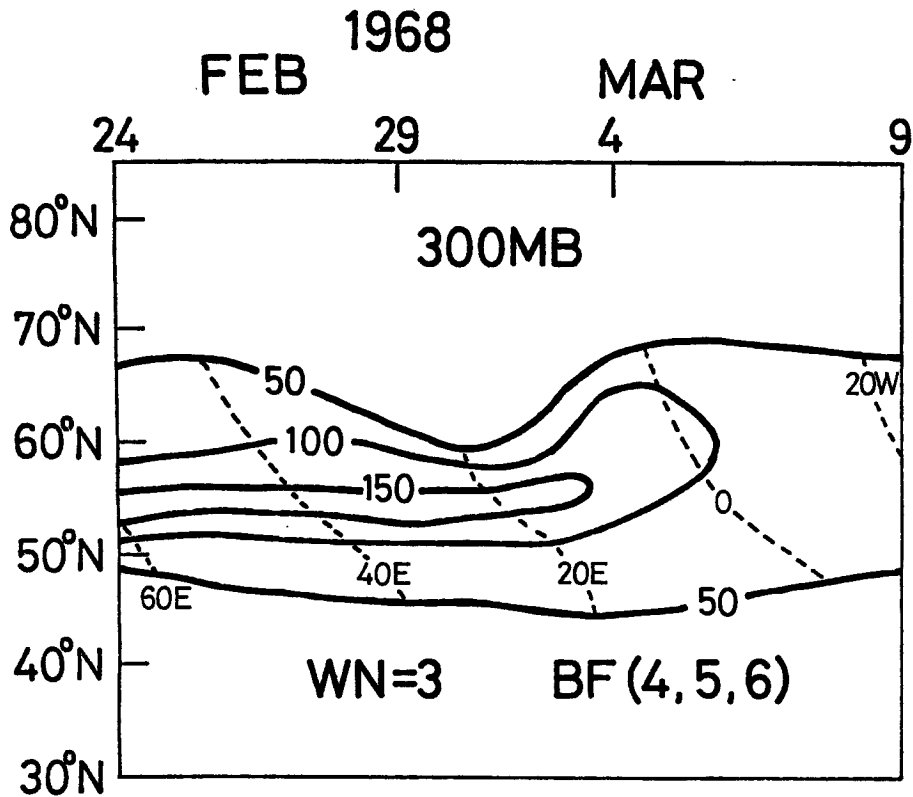


Fig. 9a The same as Fig. 7b, except for wavenumber 3 filtered by $BF(4)$, (5) and (6) .

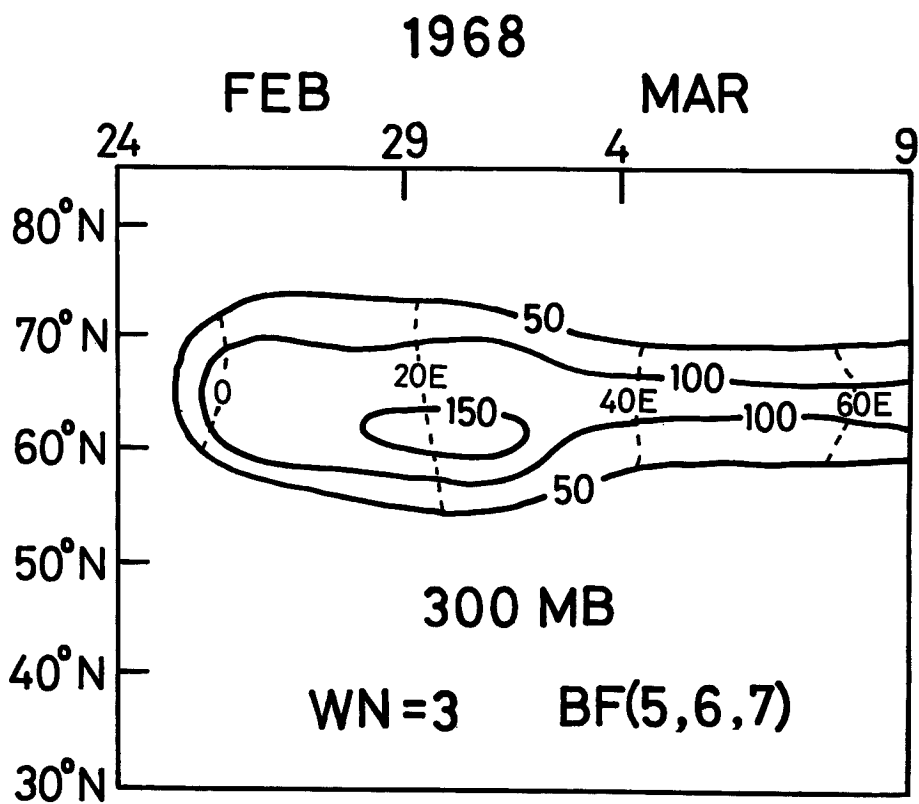


Fig. 9b The same as Fig. 9a, except for BF(5), (6) and (7).

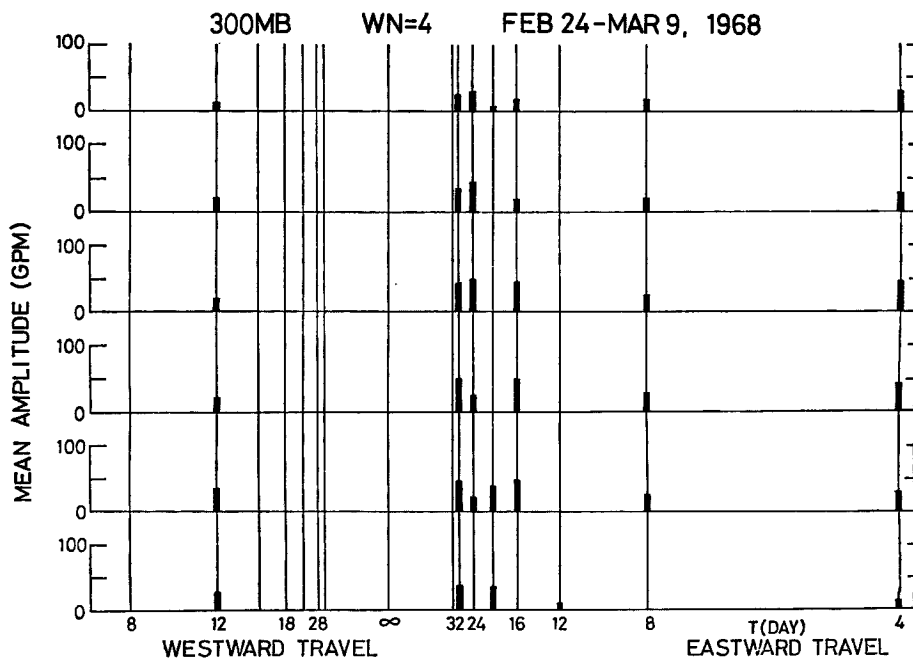


Fig. 10a The same as Fig. 8a, except for wavenumber 4.

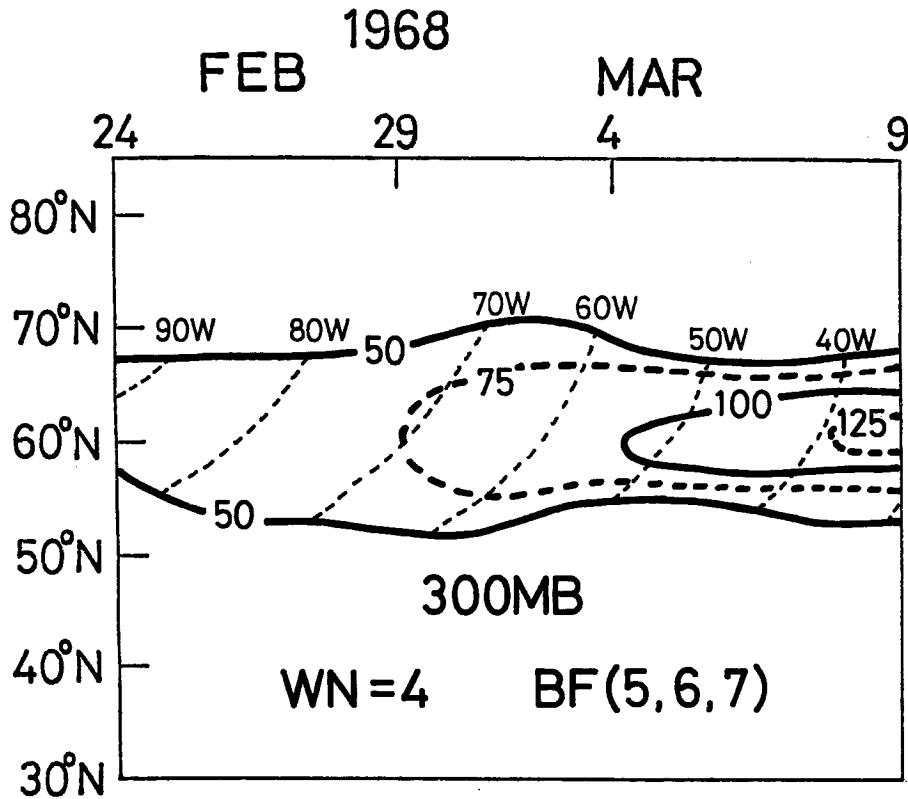


Fig. 10b The same as Fig. 9a, except for wavenumber 4 filtered by BF(5), (6) and (7).

5. 結 語

1968年3月上旬の北大西洋でのブロッキング発現に際する300mbの超長波解析を、岩嶋・山元の開発した時間フィルター法により実施した。その結果、波数1と4の準停滞性波動の著しい発達ブロッキング発現に対応している事が判った。それに対応して、波数1の移動性波動、波数2の準停滞性波動、波数3の準停滞性および移動性波動の振幅の減少が見られた。これは、波数間、モード間の波動のエネルギー交換を示唆するものである。この種の研究を、詳細にまた定量的に進める事がブロッキングの解明、予測には必要である。

謝 辞

この研究における計算の大部分は、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。大部分の図の作製は、大嶋和世夫人によるものであり、謝意を表する。また、この研究は、文部省の科学研究費により行なった。

参 考 文 献

- 1) Rex, D. F.: Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, Tellus, 2, 1950, pp. 275-301.
- 2) Sumner, E. J.: A study of blocking in the Atlantic-European sector of the northern hemisphere,

- Q. J. Roy. Meteor. Soc., 80, 1954, pp. 402-416.
- 3) Namias, J.: Seasonal persistence and recurrence of European blocking during 1958-1960, *Tellus*, 16, 1964, pp. 394-407.
 - 4) Namias, J.: Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil, *Tellus*, 24, 1972, pp. 336-343.
 - 5) 山元龍三郎・岩嶋樹也・星合 誠: 大気大循環の変動と異常気象(II), 京都大学防災研究所年報, 第 15号B, 1972, pp. 265-274.
 - 6) Deland, J.: Traveling planetary waves, *Tellus*, 16, 1964, pp. 271-273.
 - 7) Eliassen, E. and B. Machenhauer: A study of the fluctuations of the atmospheric planetary flow patterns represented by spherical harmonics, *Tellus*, 17, 1965, pp. 220-238.
 - 8) Iwashima, T. and R. Yamamoto: A method for separation of the ultra-long waves in the atmosphere into the quasi-stationary and transient parts by the time-filters, *J. Meteor. Soc. Japan*, 49, 1971, pp. 158-162.
 - 9) Iwashima, T.: Observational studies of the ultra-long waves in the atmosphere (I), *J. Meteor. Soc. Japan*, 51, 1973, pp. 209-229.
 - 10) Kao, S.-H.: Governing equations and spectra for atmospheric motion and transports in frequency-wavenumber space, *J. Atmos. Sci.*, 25, 1968, pp. 32-38.
 - 11) Bradley, J. H. S. and A. Wiin-Nielsen: On the transient part of the atmospheric planetary waves, *Tellus*, 20, 1968, pp. 535-543.
 - 12) Scherhag, R. et al.: Ergebnisse des synoptischen Dienstes im Jahre 1968, *Meteor. Abhandl.*, Bd. 92, Ht. 3, 1969.
 - 13) Iwashima, T.: Observational studies of the ultra-long waves in the atmosphere (II), 1973, to be published.