

大気大循環の変動と異常気象 (Ⅱ)

山元龍三郎・岩嶋 樹也・星合 誠

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

By Ryozauro YAMAMOTO, Tatsuya IWASHIMA
and Makoto HOSHIAI

Synopsis

Daily behaviours of the ultra-long waves at 500 mb during February-March 1968 are analyzed with the new method proposed by some of the present authors, and the relation between appearances of remarkable blocking action and quasi-stationary ultra-long waves in that period is discussed. It is shown that the development of the quasi-stationary ultra-long waves of wave-number 4 at middle latitude and that of wave-number 3 at higher latitude have a close relation with appearances of blocking action.

1. 緒 言

準停滞性高気圧や気圧の峯の唐突な出現に伴う南北流の局地的強化によって、中高緯度の帯状西風が1週間以上にわたってせき止められ、移動性低気圧の東進が阻害されることが時々起る。このような現象は、ブロッキングと称せられ、天気予報の際の問題点として今世紀当初から注目されて来た¹⁾。

ブロッキング高気圧は東大西洋と東太平洋で最も頻繁に出現し、前者では、50°N から60°N に集中している。ブロッキングの発現は、夏・秋よりも冬・春に多く、その持続期間は、40日以上にも及ぶこともあるが、平均すると約2週間である^{2), 3)}。

このようなブロッキング現象は、特定地域に高気圧が長期間にわたって停留し、移動性低気圧の通過をさまたげるので、異常天候の発生が予期される。事実、Namias⁴⁾ は、1958年から1960年にかけて、北部ヨーロッパでのブロッキングの頻繁な発現に伴って、西部スカンディナビアでの降水量の著しく少なかったことを論じており、また、Perry⁵⁾ は、英国における高温の発現とブロッキングとの関係を示している。このように、ブロッキングは、異常気象発現の最も重要な形態の一つである。また、他方、大気大循環の変動との密接な関連も認められている^{6), 7), 8), 9)}。

大気大循環の変動は超長波の変動によって表現することができる。超長波は、準停滞性で比較的振幅の大きいモードと、振幅の小さい移動性モードとに分けられる¹⁰⁾。準停滞性超長波は、ヒマラヤ山脈などの大規模な山岳¹¹⁾、海陸分布による熱的コントラスト¹²⁾や移動性擾乱¹³⁾に支配されて発現していると考えられている。実際の解析では、月平均場などで表現されて来たが¹⁴⁾、準停滞性モードの振幅変動に関し、最近、関心が向けられ、平均的変動に関する統計解析がすすめられるようになった^{15), 16)}。これらの方法では、ブロッキングの発現など比較的唐突な現象に伴う超長波の準停滞性モードの日々の変動を追求することはできない。これに対して、著者等¹⁷⁾は、タイム・フィルターを用いて、その振幅変動を日を追って解析する方法を提案した。この方法を用いて、1968年2月から同3月にわたり、超長波を解析して、この3月上旬の大西洋における顕著なブロッキングの発現との関連を研究するのが、この論文の目的である。

2. 1968年3月のブロッキング

1968年3月7日から同11日までの5日平均の500 mb 天気図 (Fig. 1) を見ると、 30°N 以北 60°N にわたって、 20°W 付近に極めて顕著な気圧の峯のあることが注目される。Fig. 2 は同年3月2～6日、7～11日、12～16日の相続く半旬の5日平均500 mb 高度の平年偏差であるが、いずれにおいても、 $40\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $30\sim 40^{\circ}\text{W}$ 付近に $+200\text{ gpm}$ 以上の正偏差が認められる。700 mb 面でも同様な正偏差が、より明瞭に現われている¹⁸⁾。3月の5日平均500 mb 高度場において、3半旬にわたって継続して $+200\text{ gpm}$ 以上の偏差が、一つの地域で起った例は、最近4ケ年間 (1968～71) では他に認められなかった。

日々の300 mb 天気図¹⁹⁾によると、明らかにカット・オフされた高気圧が、3月4日から同13日までの10日間、東大西洋上でほぼ停滞しており、そして、その南または南東に、カット・オフされた低圧部が停留していた。したがって、偏西風は高気圧の西側では南風に変って高気圧の周りを廻り、東側では北東風となっている。1例として、Fig. 3 に3月8日の天気図を示す。

この年の1月1日から4月30日までの期間について、緯度円に沿って平均した500 mb 面の西風分値 (地衡風) の日々の値を 25°N から 80°N にわたって調べてみた (Fig. 4)。全期間を通じて $30\sim 45^{\circ}\text{N}$ に西風の極大がみとめられるが、この極大の他に、2月から3月にかけて、 $65\sim 70^{\circ}\text{N}$ にも西風の極大が現われている。これはブロッキング高気圧のための西風強風帯の分流によるものが主原因であろう。次に、Fig. 5 はいわゆる南北指数の変化を与えるものであるが、これは、南風分値 v の自乗の緯度円にそっての平均の平方根 ($\sqrt{v^2}$) であり、擾乱の程度を示すものと考えてよい。この図を見ると、1月中旬のほかに、2月下旬から3月上旬にかけて 15 m/s 以上の値が $45\sim 65^{\circ}\text{N}$ にみとめられる。このことは、ブロッキングに伴う擾乱の強化を示している。

海面天気図上では²⁰⁾、移動性低気圧の東進が明らかに大西洋上で阻害されている。そのために、ポルトガルやスペインでは1968年3月の月降水量が平年値の50%以下にとどまった。例えば、Penhas Douradas ($40^{\circ}25'\text{N}$, $7^{\circ}33'\text{W}$) では、 238 mm の平年値に対して、 101 mm であった。

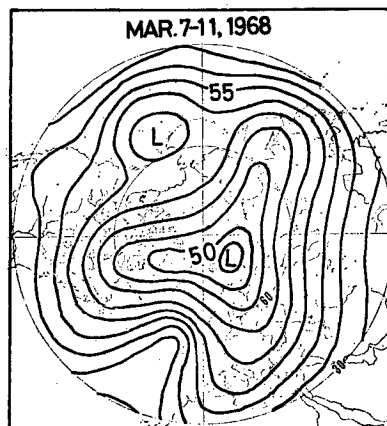


Fig. 1 5-day mean 500-mb contours in hectometers
Mar. 7-11, 1968.

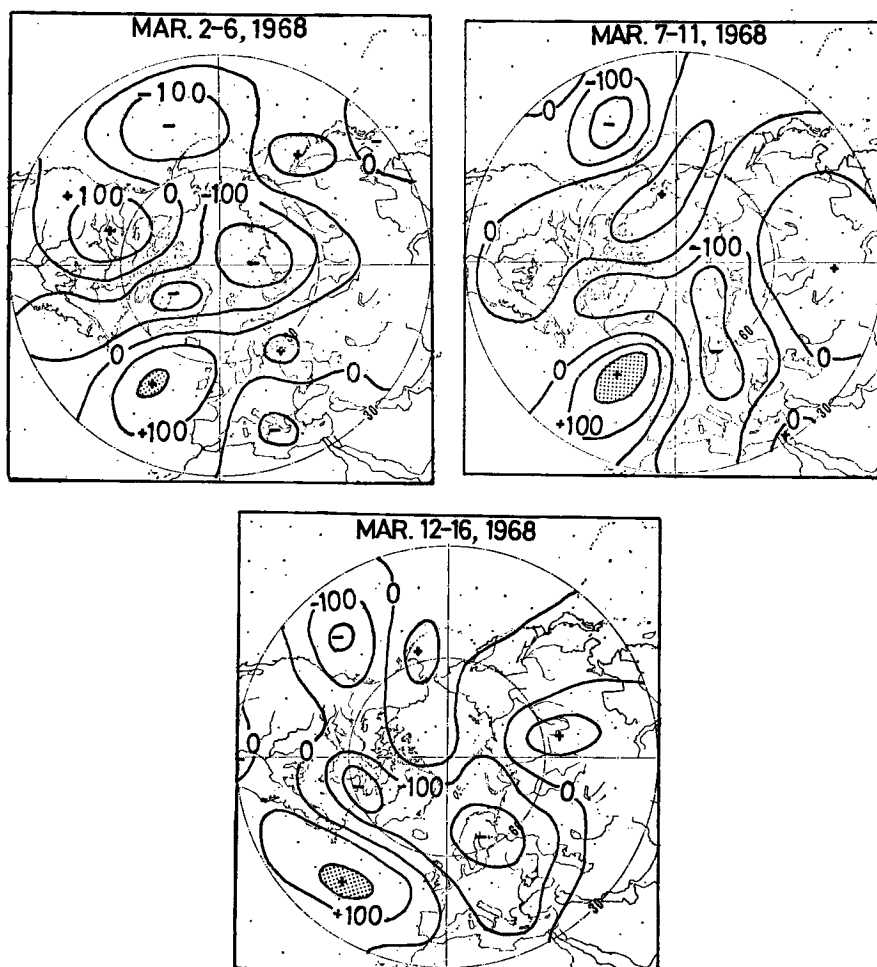


Fig. 2 Departures from normal of 5-day mean 500-mb height in meters for 2-6, 7-11 and 12-16 March 1968.

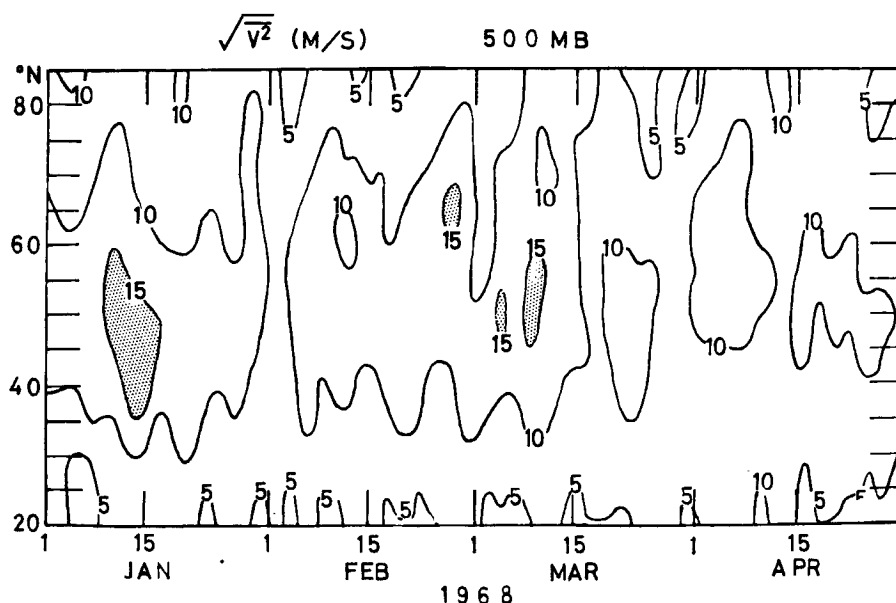


Fig. 5 Meridional index $\sqrt{v^2}$, which is the square root zonal mean of the meridional velocity, at 500-mb in meters per second.

3. 超長波解析の方法

1967年12月1日から1968年6月30日までの7カ月間の日々の500 mb 面高度場を用いて、超長波の解析を行なった。20°N以北の緯度5°毎の各緯度円に沿う経度5°毎の高度データを、各緯度円に沿って72項フーリエ解析し、それによって、緯度円に沿う波数が1, 2, 3及び4の各超長波を抽出した。これらのcosine及びsineの日々の係数から成る時系列 C 及び S を周期別に分けるために、Fig. 6に示すようなレスポンス関数をもつタイム・フィルター9コを適用した。これらは8コのバンド・パス・フィルターと1コのロウ・パス・フィルターである。バンド・パス・フィルターの周期帯は比較的狭いので、そのフィルターを通ったものは、準停滞性モードの振幅変動部分と、多くとも一つの移動性モードとから成ると考えてよい。準停滞性モードの位相（経度） λ_0 は、ロウ・パス・フィルターを通ったものの位相で示されるものとする。かくして、 C 及び S に一つのバンド・パス・フィルターを適用した結果得られる時系列 CA 及び SA は、次の関係をもつ。

$$\left. \begin{aligned} CA &= M \cos n(ct + \lambda_1) + Q \cos n\lambda_0 \\ SA &= \sin n(ct + \lambda_1) + Q \sin n\lambda_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 t は時間、 c は位相速度で、周期 $T(=2\pi/n|c|)$ がそのバンド・パス・フィルターの範囲に入っているものである。また、 n は波数、 M は移動性モードの振幅、 Q は準停滞性モードの振幅の変動部分、 λ_1 は移動性モードの初相である。

CA と SA から M と Q を分離するために、次のような方法を採用する。即ち、時間 t の関数 α を次のように定義する、

$$\alpha(t) \equiv (CA) \sin n\lambda_0 - (SA) \cos n\lambda_0 \dots\dots\dots (2)$$

これに(1)を代入すると

$$\alpha(t) = M \sin n(\lambda_0 - \lambda_1 - ct) \dots\dots\dots (3)$$

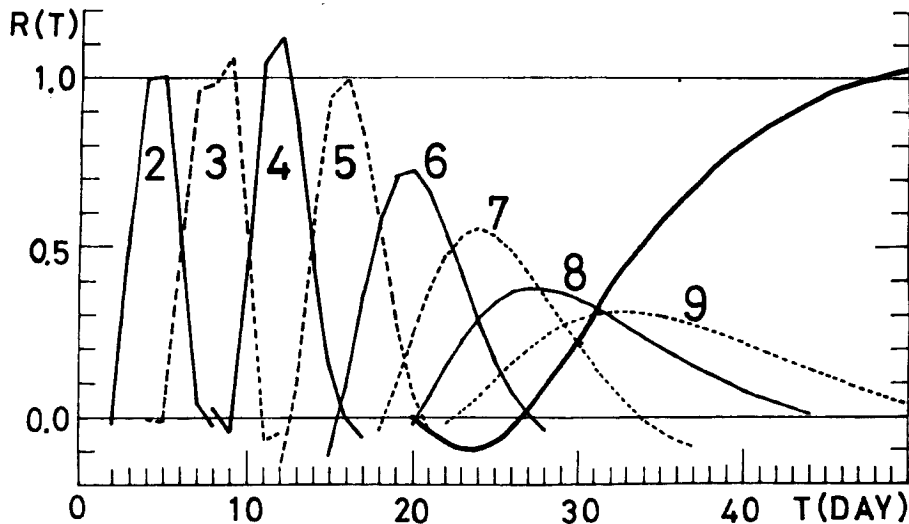


Fig. 6 Response function $R(T)$ of band-pass filters (No. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 & 9) and a low-pass filter (thick solid line). T is the period.

となり、 $\alpha(t)$ は Q を含まないことが知られる。このバンド・パス・フィルターの中心周期を T_0 とすると、位相速度の大きさ $|c|$ は、近似的に

$$|c| \cong 2\pi/nT_0 \quad (4)$$

で与えられる。 c の符号、即ち西進波か東進波かは、 CA と SA から決定される日々の位相の変化傾向から決められる。

新しく、次のように $\beta(t)$ を定義する、

$$\beta(t) \equiv \frac{\alpha\left(t + \frac{T_0}{4}\right) - \alpha\left(t - \frac{T_0}{4}\right)}{2} \quad (5)$$

この式に、(3)を代入すると、

$$\beta(t) = -M \cos n(\lambda_0 - \lambda_1 - ct) \quad (c > 0) \quad (6)$$

$$= +M \cos n(\lambda_0 - \lambda_1 - ct) \quad (c < 0) \quad (6')$$

移動性モードの振幅 M については、 c の符号の如何にかかわらず、(3) と (6) または (6') より、

$$M = \sqrt{\alpha^2(t) + \beta^2(t)} \quad (7)$$

なる関係が導かれる。この式によって得られる値は、Fig. 6 で与えられるレスポンス関数の値に従って歪んでいるので補正する必要がある。

移動性モードの位相 $n(\lambda_1 + ct)$ は、

$$n(\lambda_1 + ct) = n\lambda_0 + \tan^{-1}(\alpha(t)/\beta(t)) \quad (c > 0) \quad (8)$$

$$n(\lambda_1 + ct) = n\lambda_0 - \tan^{-1}(\alpha(t)/\beta(t)) \quad (c < 0) \quad (8')$$

によって与えられる。以上のようにして、各バンド・パス・フィルターに関してそれぞれ一つの移動性モードが計算されるが、データの精度に関連して、振幅のあまりに小さいものは有意であるとは見なさない。

準停滯性モードそのものについては、 C 及び S から、各バンド・パス・フィルターを通った $M \cos n(\lambda_1 + ct)$ と $M \sin n(\lambda_1 + ct)$ を全てそれぞれ減ずることによって、その cosine 及び sine の係数が得られる。上述の手続きによって解析した1例を Fig. 7 に示す。この図は、 $50^\circ N$, 500 mb における波数3のもので、1967年12月20日から翌年1月10日までの間で、振幅が 50 gpm 又はそれ以上になったもののみを選んである。図

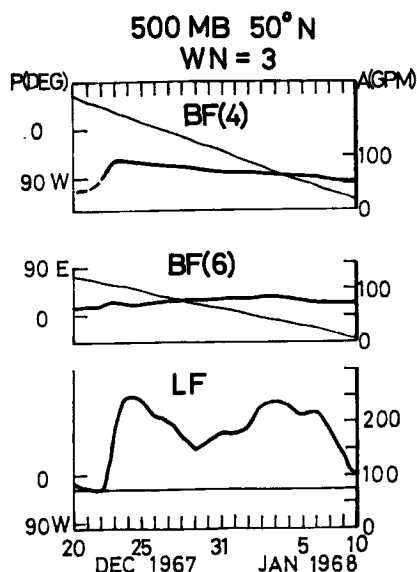


Fig. 7 An example of separating the ultra-long waves into the travelling and quasi-stationary modes at 500-mb, 50°N for wavenumber 3. The upper two are travelling waves passing through band-pass filter BF(4) or BF(6), respectively. The bottom is the quasi-stationary wave. Thick line is amplitude (A), thin line argument (P).

の上の2つは移動性モードで、それぞれ約 90°long/day , 6°long/day の位相速度で西進している。準停滞性モード（下の図）は、位相がほぼ 30°W (90°E , 150°W) で、振幅は12月22日から24日にかけて、約 70 gpm から 250 gpm に急増するという注目すべき著しい変化が見られる。

4. 準停滞性超長波とブロッキングの関連

準停滞性超長波が、移動性のそれと比べて一般に卓越している。それで、このことに着目し、前述のブロッキング現象の起きた時期と場所を考慮して、1968年2月10日から3月31日までの 50°N と 60°N における波数1から4までの準停滞性モードの振幅と位相を示したのが Fig. 8 である。振幅が 50 gpm 以下の場合、有意性に欠けるおそれがあるので、図中、破線をもって示してある。位相は、全般的に一定であるが、振幅の極めて小さい時期には、比較的唐突にずれていることもある。一方、振幅は極めて顕著な変化を示している。

ブロッキングの活発な3月上旬において、 50°N における波数4の振幅が特に大きく、100 gpm 以上になっていることが注目される。同様の傾向は、 60°N でもみとめられるが、この緯度では、さらに波数3がその時期に発達している。これらの位相については Table 1 に掲げられている。このことから、 50°N の波数4と 60°N の波数3の位相が地理的に一致した経度 ($5^\circ\text{W}\sim 10^\circ\text{W}$) でブロッキングが発現しているということになる。

50°N で波数4が2月15日から22日にかけて、100 gpm を越えるやや大きい振幅を示している。また、 60°N の波数3の振幅が2月15日から17日にかけて約 80 gpm 又はそれ以上に達している。この期間の位相は Table 1 に示されているが、両者の位相の一致した経度の 120°W 付近で、15、16日の 300 mb 天気

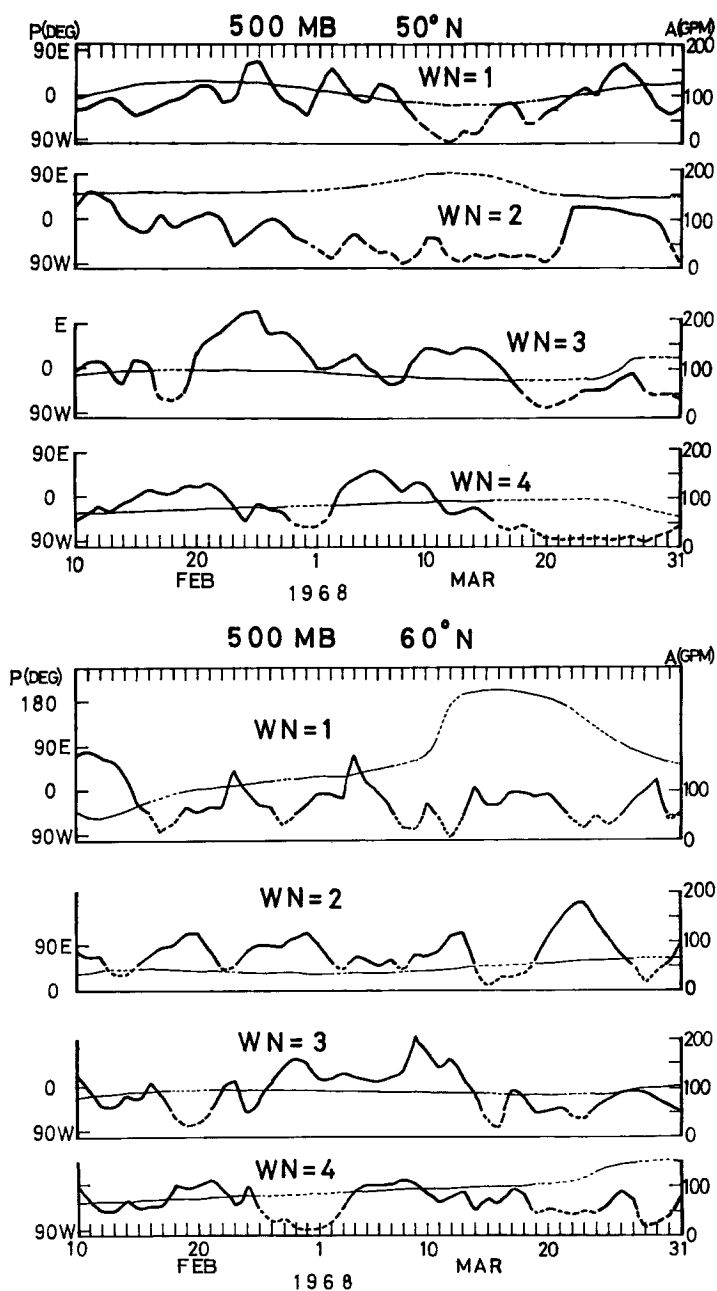


Fig. 8 Day-to-day behaviours of the quasi-stationary part of the ultra-long waves for wavenumbers WN=1, 2, 3 & 4 at 500-mb, 50°N and 60°N. Thick line is amplitude, thin one argument. Less reliability should be noted for the period of small amplitude when the line is broken.

Table 1 Longitudes of crest of the quasi-stationary ultra-long waves at 500-mb.

Date	Latitude	Wave-number	
Mar. 1-10	50°N	4	75-85°E 165-175°E 95-105°W 5-15°W
Mar. 1-10	60°N	3	110-115°E 125-130°W 5-10°W
Feb. 15-17	50°N	4	60-70°E 150-160°E 110-120°W 20-30°W
Feb. 15-17	60°N	3	115°E 125°W 5°W

図を見ると、北にカット・オフ高気圧、南に低気圧という典型的なブロッキング・パターンが見られる。

5. 結 語

1968年2月から3月にかけての約1.5カ月の500 mb面での超長波の解析により、中緯度での波数4の準停滞性超長波と、高緯度での波数3のそのの発達、ブロッキング現象の発現に密接な関連のあることが認められた。今までの研究では（例えば、Murakami & Tomatsu⁷⁾）、波数2及び3のものに注目されていたが、この研究では、準停滞性超長波の振幅変動をも抽出する新しい方法を適用することによって、波数4の重要性を新たに示唆することができた。著者の一人は、10年以上の資料によって、上述の結果を確かめるべく研究をすすめており、近くその成果が報告できる見込みである。また、準停滞性超長波の比較的唐突な発達の機構についても研究がすすめられている。

謝 辞

この研究における計算の多くは、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。また、この研究は文部省の科学研究費によったものである。

参 考 文 献

- 1) Garriot, E. B.: Long range forecasts, U. S. Weather Bureau Bulletin, No. 35, 1904.
- 2) Rex, D. F.: Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate, Tellus, 2, 1950, pp. 275-301.
- 3) 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.
- 4) Namias, J.: Seasonal persistence and recurrence of European blocking during 1958-1960, Tellus, 16, 1964, pp. 394-407.
- 5) Perry, A.: Blocking patterns during hot weather in Britain, Weather, 22, 1967, pp. 420-422.
- 6) Elliot, R. D. and T. B. Smith: A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the northern hemisphere westerlies, J. Met., 6, 1949, pp. 67-85.
- 7) Murakami T. and K. Tomatsu: Energy cycle in the lower atmosphere, J. Meteor. Soc. Japan, 43, 1965, pp. 73-89.
- 8) Kikuchi, Y.: Numerical simulation of the blocking process, Atmospheric Science Paper, No. 125, Rept. Atmos. Sci., Colorado State Univ., Fort Collins, Col., 1968, 56 pp.
- 9) Sawyer, J. S.: Observational characteristics of atmospheric fluctuations with a time scale of a month, Q. J. Roy. Meteor. Soc., 96, 1970, pp. 610-625.
- 10) Deland, R. J.: Traveling planetary waves, Tellus, 16, 1964, pp. 271-273.
- 11) Bolin, B.: On the influence of the earth's orography on the general character of the westerlies, Tellus, 2, 1950, pp. 184-195.

- 12) Döös, B. R.: The influence of the large-scale heat sources on the dynamics of the ultra-long waves, *Tellus*, 21, 1969, pp. 25-39.
- 13) Saltzman, B.: A general solution for the large-scale time-averaged perturbations in the atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, 20, 1963, pp. 226-235.
- 14) 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.
- 15) ———: On the observed large-scale atmospheric wave motions, *Tellus*, 21, 1969, pp. 149-166.
- 16) Hayashi, Y.: A generalized method of resolving disturbances into progressive and retrogressive waves by space Fourier and time cross-spectral analyses, *J. Meteor. Soc. Japan*, 49, 1971, pp. 125-128.
- 17) 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.
- 18) Dickson, R. R.: The weather and circulation of March 1968, *Mon. Wea. Rev.*, 96, 1968, pp. 399-404.
- 19) Scherhag, R. et al.: Ergebnisse des synoptischen Dienstes im Jahre 1968, *Meteorologische Abhandlungen*, Bd. 92, Ht. 3, 1968.
- 20) ———: Tägliche Boden- und 850-mb Karten der Nordhemisphäre im Jahre 1968, *Meteorologische Abhandlungen*, Bd. 93, Ht.1, 1968.