

大気大循環の年々変動と異常天候 (Ⅲ)

岩 嶋 樹 也・山 元 龍 三 郎

INTERANNUAL VARIATIONS OF ATMOSPHERIC GENERAL CIRCULATION AND ABNORMAL WEATHER (III)

By *Tatsuya IWASHIMA* and *Ryozaburo YAMAMOTO*

Synopsis

By using 500 hPa JMA monthly mean height data for the period 1946-85 and NMC monthly mean height and temperature data for the period 1964-82, we made one-dimensional Fourier analyses along latitudinal circles, and spectral analyses based on the Maximum Entropy Method (MEM). Taking account of the results of the spectral analyses, we applied four bandpass time filters to the Southern Oscillation Index (SOI), zonal mean height and Fourier coefficients of height with zonal wavenumbers 1 to 3, zonal mean wind, and zonal mean temperature. The band-pass filtered time-series of zonal mean quantities show clear periodic fluctuations, especially for the 2-3 and 3-5 year bands in the high latitudes. Their characteristic features in the latitude-time section are closely related to the variation of SOI.

1. 序

熱帯東部太平洋の海面水温異常は、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) 現象と密接な関係がある。この影響は、中・高緯度まで及び遠隔作用 (テレコネクション) と称されている。異常天候の発現とも関連があり、その予測可能性に注目されている。このような熱帯東部太平洋海面水温の変動と南方振動指数 (SOI) は極めて良く対応しており、これを指標にして北半球高度場の解析を進めてきた (岩嶋・山元¹²⁾)。すなわち、熱帯東部太平洋の海面水温が平常に比べて異常に高い (SOI が極小となる) 場合や逆に低い (SOI が極大となる) 場合の合成高度場を各季節毎に求め、平常値からの偏差分布パターンやそこで卓越する (定常性) 超長波や東西平均場の特徴について明らかにした。ここでは、熱帯海面水温の異常 (SOI の極値出現) 時に限らず、熱帯海面水温を外的強制力と考え、それに相当する SOI の変動が、東西平均場や超長波の変動とどう対応しているのか、またその変動にはどのような周期帯成分が寄与しているのか、スペクトル解析をまず行い、そこで卓越する周期帯についてバンドパスフィルターを適用して、全期間を通してみた場合の特徴について明らかにする。

2. 東西平均高度場・定常性超長波のスペクトル解析

前報²⁾では、1946~81年の SOI と中・高緯度の高度場を示す帯状指数 (ZI) や極渦指数 (PVI) を使って予備的なスペクトル解析をした。それによって2~3年, 3~4年, 4~6年の周期帯に卓越がみられた (前報²⁾ Fig. 8)。このような卓越周期が、東西平均風や高度場、超長波に見出されるかどうかまず検討する。ここでは次のような2種類のデータを用いて解析を進める。

- (1) 気象庁長期予報課の季節予報資料による、1946~85年, 500 hPa; 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°N; 月平

均高度(経度 10° 毎)。

(2) 米国 NMC による, 1964~82年; 850, 700, 500, 300, 200, 150, 100, 50 hPa; $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, \dots, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ\text{N}$; 月平均高度, 温度(経度 5° 毎)。

それぞれ全期間の各月の平年値を求め, それからの偏差を計算する。さらに各緯度で1次元のフーリエ解析を行い, その係数 $[H(0), H(1), H(2), H(3)]$ や東西平均風 $U(0)$ を求める。

東西平均風 $[U(0)]$ ・等圧面高度偏差のフーリエ係数 $[H(0), H(1), H(2), H(3)]$ を Hayashi¹⁾の方法でスペクトル解析すると Fig. 1 が得られる。ここで, MEM のスペクトル解析フィルターの長さはデータ総数 ($12\text{月} \times 40\text{年} = 480$) の $1/3$ (160) とし, 東西波数 1, 2, 3 の超長波は cosine, sine 係数成分をそれぞれ実数・虚数部とする複素数データとして計算し, 東進・西進成分パワーを合わせたものである。波数によって卓越周期や卓越緯度帯が少しずつ異なっている。すなわち, 波数 0 の東西平均高度偏差場では, 2.5~3年, 10年前後の周期帯が高緯度帯で顕著で, 4~5年にやや小さなピークが見られる。波数 1 では, 2.5~3年, 8~9年周期帯の高緯度や一部の中緯度帯で顕著であり, 6年, 11年周期に小さなスペクトルピークがある。波数 2 では, 中緯度帯に 3.3年のやや大きなピークが認められる以外は小さい。波数 3 は, 波数 1, 2 の場合と比べるとスペクトルパワーが小さく, 中緯度帯のやや低緯度側で卓越している。ここでは, 2年以下の短周期およびデータの長さから考えて20年以上の周期について除外することにした。

対流圏全層についても期間は短いが高緯度 5° 毎の NMC データから略同様のことを確認した。東西平均(地衡)風のスペクトル解析結果を Fig. 2 に示す。幾つかの卓越周期帯・緯度帯が見出せる。いずれも上層程大きなスペクトルパワー値を示している。中・高緯度の対流圏全層にわたって大きく卓越している4年前後の周期帯や高緯度の8~10年周期帯が目目される。3年以下の周期帯にも幾つかのスペクトルピークが見られる。Fig. 1 の 500 hPa の結果と比べると, 約15カ月の周期では略対応している。Fig. 1 の約30カ月周期に相当するものが中緯度を認められるが, 上方で明瞭なものは少し短い26~27カ月程度の周期である。SOI のスペクトルでは, 約26カ月, 32カ月前後の周期が卓越し, ZI では約30カ月周期が卓越していた。これらの SOI, 東西平均風 $U(0)$ の26カ月周期, SOI の32カ月周期, ZI と $U(0)$ の30カ月周期が, いわゆる赤道成層圏の平均東西風の準2年振動とどのような関係にあるのか興味ある問題であるが, ここでは触れないこととして, 2~3年, 3~5年, 5~8年, 8~20年の4つの周期帯に分けて, バンドパスフィルターを適用する。

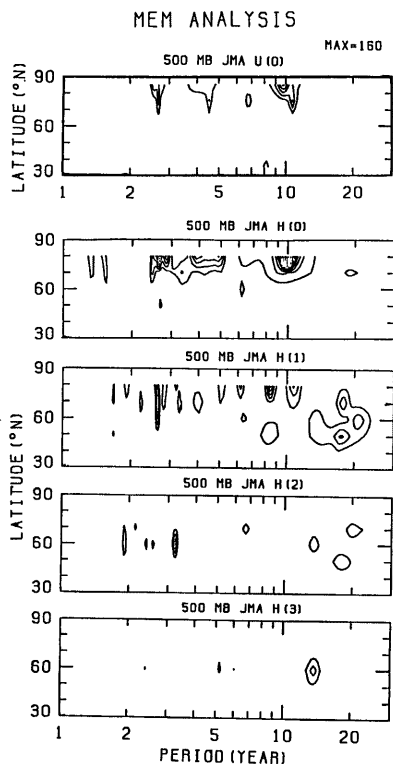


Fig. 1 Latitude-period section of the power spectral density of zonal mean height, wave components $[H(0), H(1), H(2), \text{ and } H(3)]$, and zonal mean wind $[U(0)]$ based on the 500 hPa monthly mean height anomaly data during the period 1946-85. Contour intervals are in an arbitrary unit.

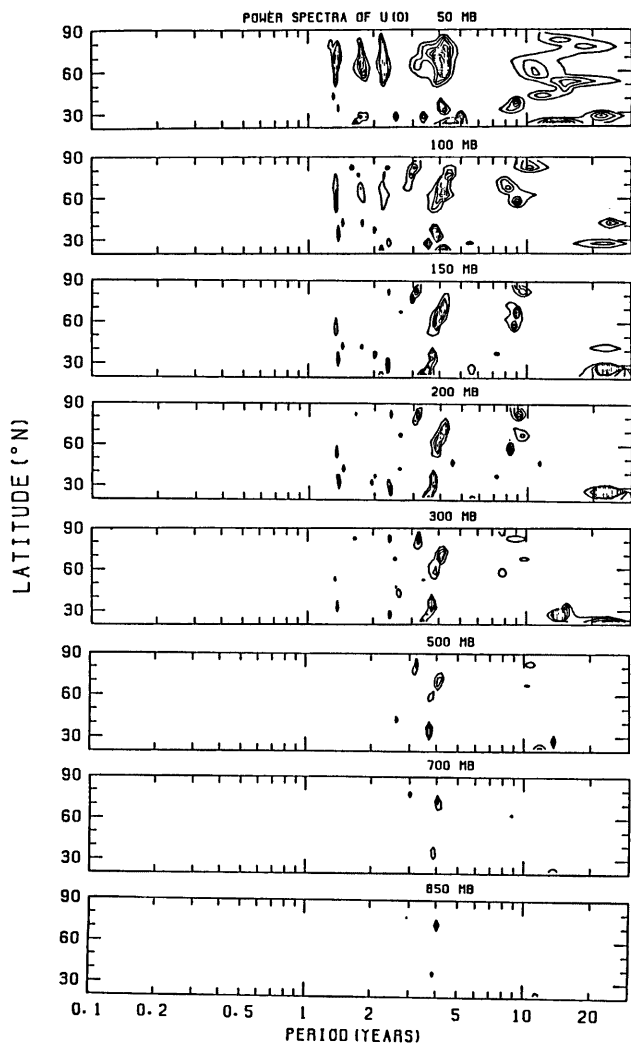


Fig. 2 Latitude-period section of zonal mean wind $U(0)$ at 850, 700, 500, 200, 150, 100 and 50 hPa levels during the period 1964-82. Contour intervals are in an arbitrary unit.

3. 時間フィルター解析

前章のスペクトル解析から設定した4つの周期帯のフィルターを **SOI**, 東西平均高度偏差, 東西平均風, 東西波数 **1, 2, 3** の月平均 (準定常性) 超長波に適用する。ここで用いるバンドパスフィルターは, Mura-kami⁴⁾ による方法で作成したもので, **Fig. 3** の応答特性を持っている。得られた結果は **Fig. 4** に示され, 主な特徴は次の通りである。

- (i) 東西平均場は, 60°N 以北の高緯度で大きな変動を示している (変動の卓越する緯度帯が, 波数 **1, 2, 3** と東西スケールが小さくなるにつれ赤道よりへ移っている)。
- (ii) 東西平均高度場は, 時期や周期帯によって多少南北に変化しているが, 大体 60°N 辺りに「節 (node)」を持ち, これにより南北の緯度帯に分けられる。それぞれの緯度帯の変動は略逆位相である。卓越時期があるが, これは, **SOI** の変動に略対応しており, **SOI** の 0 → 極大 → 0 → 極小 → 0 の時間変化に対して, 中緯度の東西平均高度偏差も同様な推移を示している。低緯度側の変動は, 詳細にみるとより低緯度側で位相がやや早い時と遅い時がある。例えば, 3~5 年周期帯の 30°N, 50°N, 80°N の東西平均高度偏差 $H(0)$ を **SOI** と比較してみると **Fig. 5** に点線で示されるような位相関係が見られる。
- (iii) 前記の東西平均高度偏差 $H(0)$ の緯度-時間断面図に見られる「節」の位置は時間的にゆるやかに変わっており, 1960~65 年以前には, 60°N より少し南の緯度から, 70°N 辺りまで, それ以後では逆に 60°N まで移っている。これに伴って, 1955~75 年には, 40°N 付近にもう一つの「節」が現われ, 3 つの緯度差に分けられる。
- (iv) 超長波 $H(1)$, $H(2)$, $H(3)$ のフィルター適用後の振幅変動は, それぞれの周期帯毎に異なる卓越時期がある。 $H(1)$ の振幅増大後に $H(0)$ の変動も卓越しているようである。 $H(2)$, $H(3)$ は振幅が小さく, 卓越緯度帯が前記のように, より緯度の低い側へ移っている。このような振幅増大時期と **SOI** との対応関係は, この図からはそれ程明瞭ではない。それぞれの波数の卓越する緯度で **SOI** とのクロススペクトル解析してみると **Fig. 6** のようになり, それぞれの卓越周期では略 **SOI** と逆位相に近いことが知られる。しかし, もう少し詳細な検討が必要であろう。

1965~80 年の 500 hPa の東西平均高度偏差場や超長波には, 上記のような特徴を持った顕著な変動が見出されたが, 対流圏・成層圏の他の等圧面についてはどうか, 1964 年以降の上記 **NMC** (緯度 5° 毎; 20°N 以北) のデータを使って検討してみよう。

まず東西平均高度偏差 $H(0)$ に前記の 4 つのバンドパスフィルターを適用すると **Fig. 7** の緯度-時間断面図が得られる。**Fig. 4** で見られた 500 hPa の (ii) の特徴のうち, 時間変動の位相が緯度方向に少しずつずれていることが明確になっている。すなわち, 緯度が低い程やや早く, 「緯度-時間断面図」の変動パターン

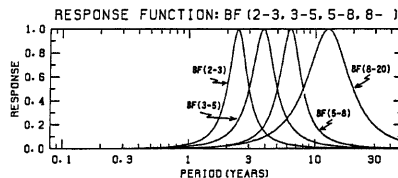


Fig. 3 Response functions of the band-pass filters: The periods of the band are 2-3, 3-5, 5-8 and 8-20 years; BF(2-3), BF(3-5), BF(5-8) and BF(8-20).

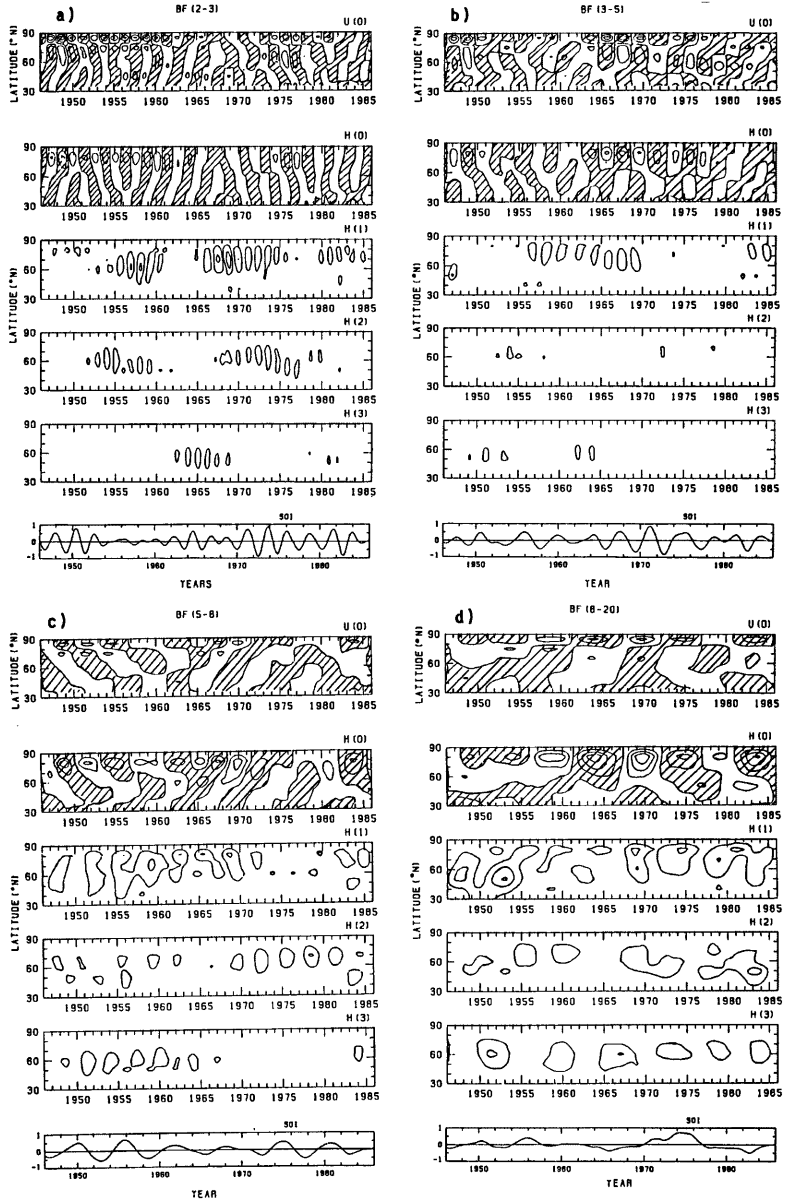


Fig. 4 Latitude-time sections of band-pass filtered U(0), H(0), H(1), H(2) and H(3), and time series of band-pass filtered SOI. Contour intervals are 10 m/s for U(0); 10 m for H(0) of BF(2-3) and BF(3-5); 5 m for H(0) of BF(5-8) and BF(8-20) and for H(1), H(2) and H(3) of BF(2-3) and BF(3-5); 2.5 m for H(1), H(2), and H(3) of BF(5-8) and BF(8-20). The shaded area denotes negative values.
a) BF(2-3), b) BF(3-5), c) BF(5-8), d) BF(8-20).

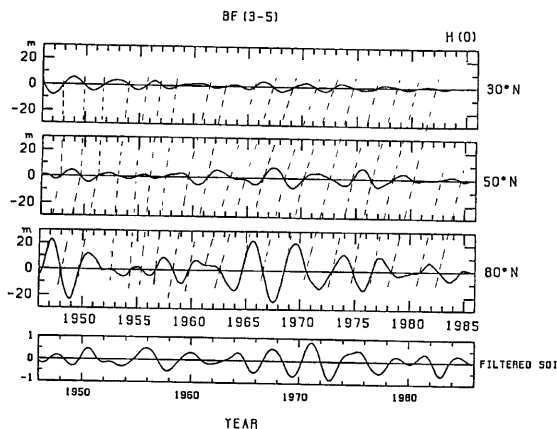


Fig. 5 Time variation of the BF(3-5) filtered zonal mean height $H(0)$ along 30°N , 50°N and 80°N , and SOI.

では、緯度が高くなれば右へ傾いた分布をしている。東西平均高度偏差 $H(0)$ は、 $[20^{\circ}\text{N}$ 以南についてはわからないが] $\sim 30^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\text{N}\sim$ の緯度帯に分けられ、このような分布は各周期帯とも全層にわたって略同位相である。振幅は 100 hPa の対流圏上層で極大で、それより上方・下方に向かって減少している。このように、 $H(0)$ [あるいは $U(0)$] は、南北・鉛直方向にみて極めて系統的な変動をしている〔特に、2～3 年、3～5 年周期帯〕。

次に、このような鉛直方向の関係が超長波について見られるかどうか検討してみよう。 $H(1)$, $H(2)$, $H(3)$ の cosine, sine 係数にバンドパスフィルターを適用して求めた振幅の緯度—時間断面図がそれぞれ、Fig. 8, 9, 10 である。特徴は、

(i) $H(0)$ と同様に対流圏上層での振幅が大きい。

(ii) 振幅が卓越する時期は、全体的には上下で略同位相だが、100 hPa レベルでは、上方・下方に比べて前や後にずれたり、長期間にわたったりする時期もあり、必ずしも全く同じではない。例えば、 $H(1)$ の場合、100 hPa 以外のレベルでは 1975 年以前の高緯度で卓越しているのに対して、100 hPa レベルでは、それ以降 1978 年頃まで卓越している。これ以外に波数によって異なった特徴も幾つか見られるが、500 hPa レベルでの特徴が全層にみられる。

以上のように、SOI の変動に対して、東西平均高度 $H(0)$ [あるいは $U(0)$]、超長波 $H(1)$, $H(2)$, $H(3)$ は、対流圏全層にわたって系統的に対応している。それぞれの周期帯の振動の卓越時期があることも注目される。しかし、この振動の卓越は必ずしもエルニーニョ現象の強弱と対応しているとはいえないようである。すなわち、1982/83 年には、今世紀最大といわれる程顕著なものが発生し、東西平均高度偏差や超長波の 5～8 年、8～20 年の各周期帯に卓越が見出されるが、逆に各周期帯の卓越時に顕著なエルニーニョが発生しているとはいえない。SOI の 3～5 年、5～8 年周期帯で同時に極小値が出現した時期に割合顕著なエルニーニョ現象が発生していることからすると二つの広い周期帯で考えるべきかもしれない。

東西平均高度 $H(0)$ の顕著な 2～3 年、3～5 年周期変動が 2～3 の南北緯度帯に分れて変動しており、これ

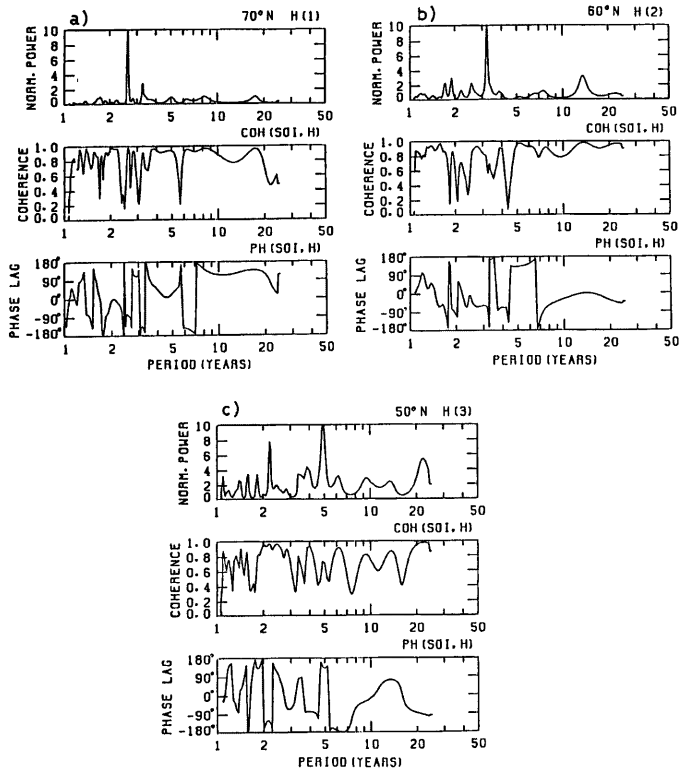


Fig. 6 Spectra of height Fourier coefficients $H(1)$, $H(2)$ and $H(3)$, and their cospectra and phase spectra to SOI: a) $H(1)$ at 70°N , b) $H(2)$ at 60°N , c) $H(3)$ at 50°N .

が鉛直方向に略同位相であることは極めて興味ある問題である。このような変動と、Hasebe⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾が1962～77年のオゾン全量東西平均の変動を解析して示した準2年，4年振動が対応するものかどうか，今後検討すべき問題である。ただし，Hasebeの結果では，4年振動の「節」が 20°N であるのに対して，オゾン変動に，より影響があると考えられる東西平均温度の緯度－時間断面図 (Fig. 11) でも2～3年周期帯と略同様に， $\sim 30^\circ\text{N}$ ， $\sim 60^\circ\text{N}$ の2緯度に「節」が見られる。 20°N 以南のデータも加えた解析が期待されるところである。

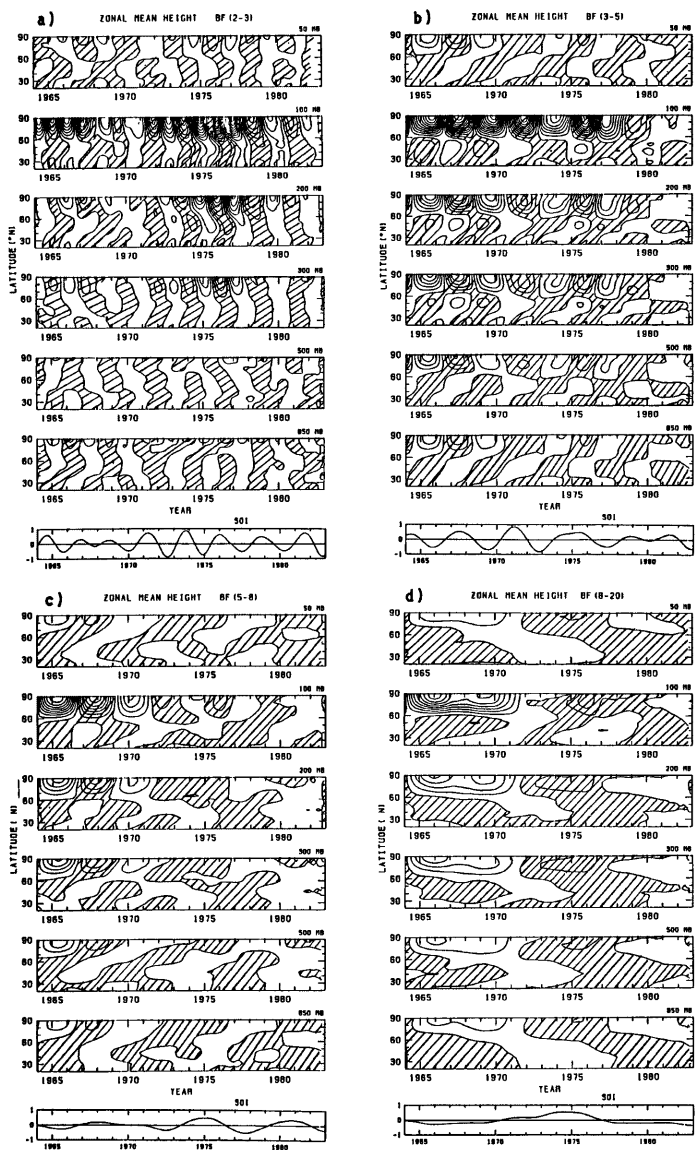


Fig. 7 Latitude-time section of the band-pass filtered zonal mean height $H(0)$ at 850, 500, 300, 200, 100 and 50 hPa levels during the period 1964-82: a) BF(2-3), b) BF(3-5), c) BF(5-8), d) BF(8-20). Contour intervals are 10 m.

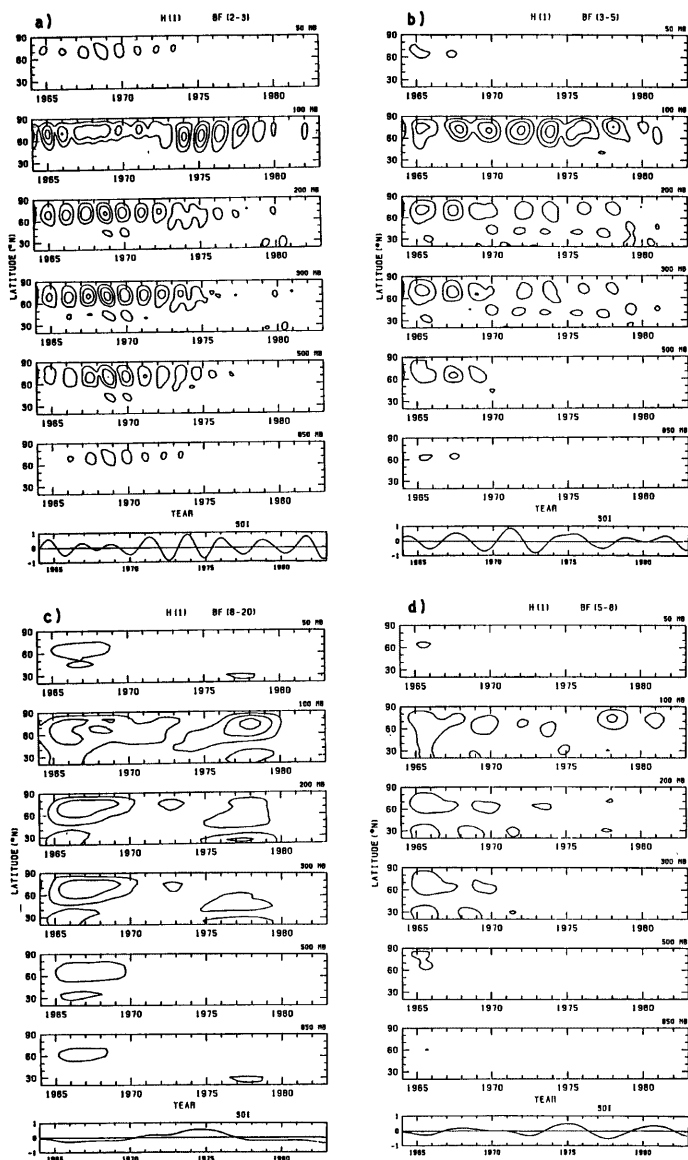


Fig. 8 Latitude-time section of the band-pass filtered H(1) at 850, 500, 300, 200, 100 and 50 hPa levels during the period 1964-82: a) BF(2-3), b) BF(3-5), c) BF(5-8), d) BF(8-20). Contour intervals are 10 m.

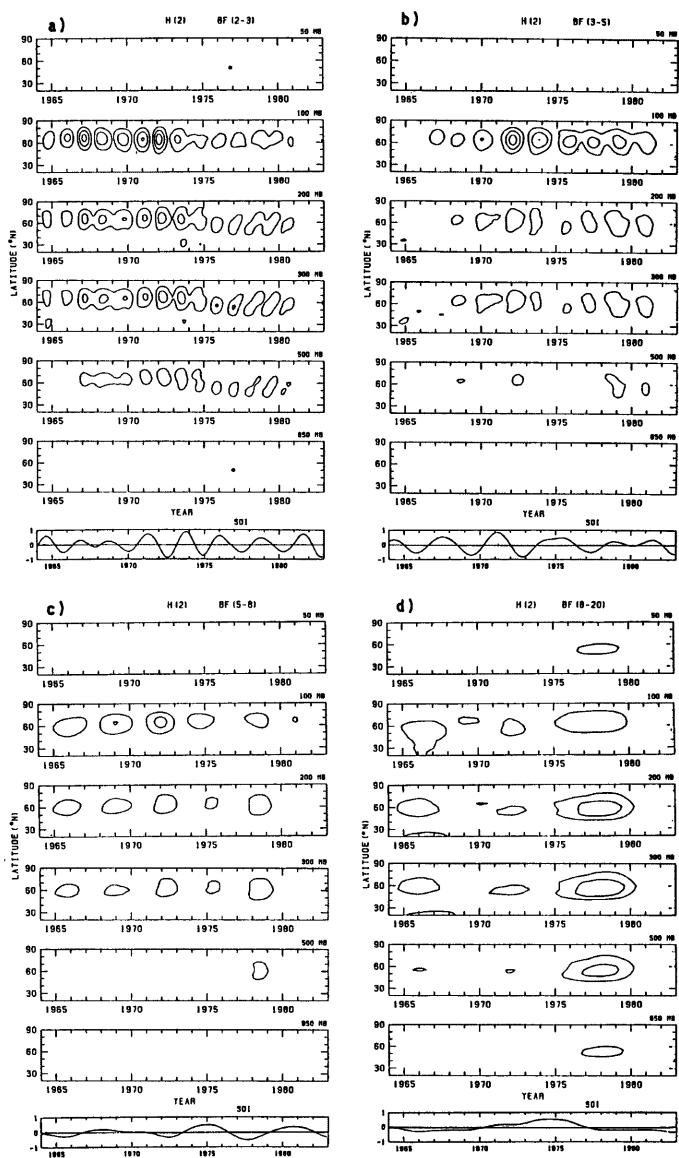


Fig. 9 The same as Fig. 8, except for H(2).

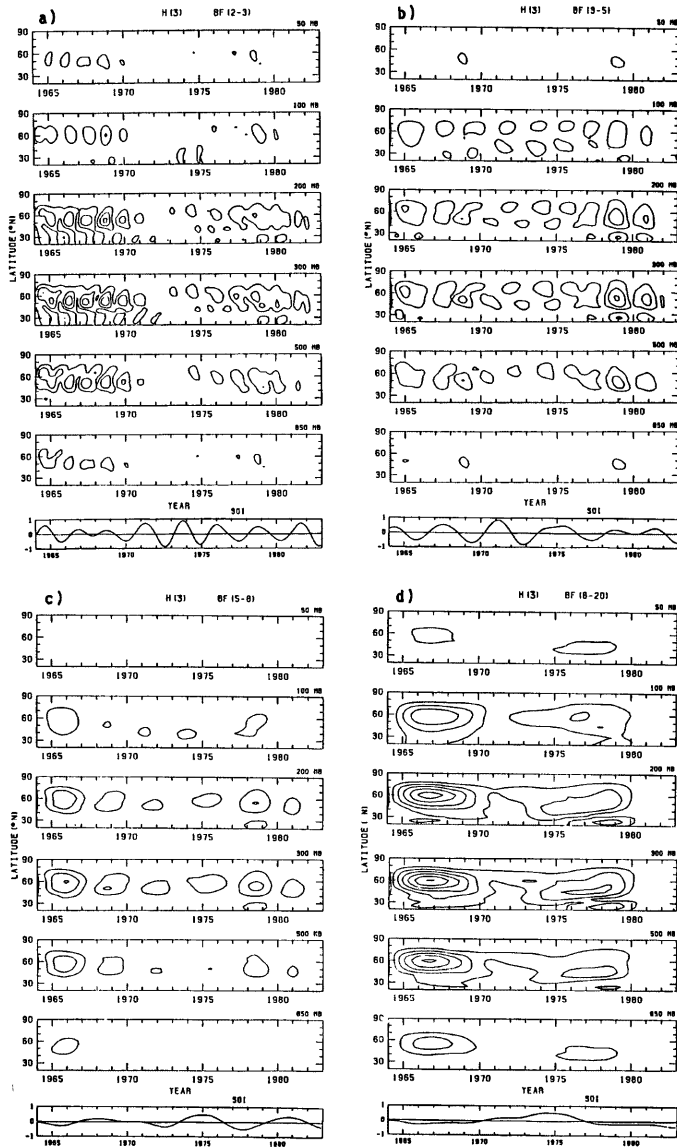


Fig. 10 The same as Fig. 8, except for H(3) and contour intervals of 5m.

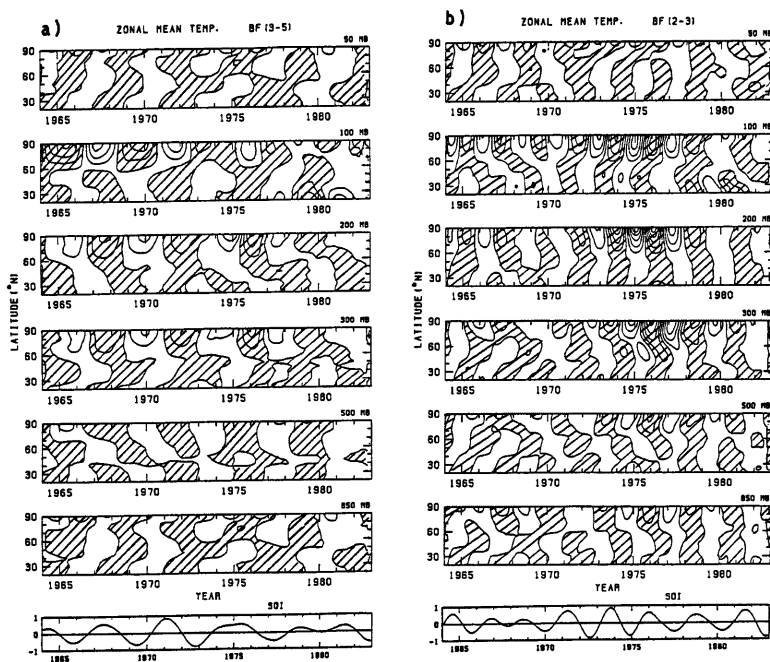


Fig. 11 Latitude-time section of the band-pass filtered zonal mean temperature $T(0)$ at 850, 500, 300, 200, 100 and 50 hPa levels during the period 1964-82: a) BF(3-5). b) BF(2-3). The contour intervals are 0.5K.

4. 結 語

500 hPa の1946～85年月平均高度データおよび対流圏から下部成層圏にかけての1964～82年月平均高度・温度データを用いて、南方振動指数 SOI を指標にした解析を行なった。前報 I, II では、季節毎に SOI 極値に対応する合成場を求めたのに対し、ここでは SOI の時間推移に対して月平均高度場がどのような変動をしているのか検討した。まず、スペクトル解析によって卓越周期を求め、さらに各々の卓越周期を含むバンドパスフィルターを適用して SOI との対応関係、変動特性を調べた。

東西平均高度場や超長波 $[H(0), H(1), H(2), H(3)]$ のスペクトル解析結果には、2.5 年、4 年前後、8～11 年の卓越周期が見出され、この中の約 4 年周期は対流圏から下部成層圏まで卓越しており、極めて顕著であった。続いて、スペクトル解析結果から、2～3 年、3～5 年、5～8 年、8～20 年の 4 バンドパスフィルターを作成し、SOI と $H(0), H(1), H(2), H(3)$ の各緯度の時系列データに適用した。各周期帯の東西平均場の変動は、2～3 の緯度帯に分けられ、特に 2～3 年、3～5 年周期帯の高緯度における変動が顕著であった。これらは、SOI と良く対応していた。超長波の変動には卓越時期が認められたが、これと SOI の対応は必ずしも明確ではなかった。また、極めて顕著な 1982/83 年のエルニーニョ現象の発生時には、東西波数 1 の超長波 $H(1)$ の各周期帯、東西波数 2, 3 の超長波 $H(2), H(3)$ の 5～8 年、8～20 年周期帯に卓越が見られ、それぞれ規則的な周期変動がくずれた時に相当していたようである。超長波の卓越とは関係があるのかわかないか

個々のエルニーニョ現象発生時の差異はどうしてもたらされるのか、上記の東西平均場の規則的な変動がもたらされる過程とともに今後検討すべき課題である。

謝 辞

気象庁長期予報課の季節予報資料からのデータ追加処理にご協力を得た森二郎技官に謝意を表す。計算、作図には京都大学理学部附属気候変動実験施設の計算機システム (FACOM M340R) を利用した。

参 考 文 献

- 1) 岩嶋樹也・山元龍三郎：大気大循環の年々変動と異常天候(Ⅰ)，京大防災研年報，第27号 B-1, 1984, pp. 339-352.
- 2) 岩嶋樹也・山元龍三郎：大気大循環の年々変動と異常天候(Ⅱ)，京大防災研年報，第28号 B-1, 1985, pp. 437-452.
- 3) Hayashi, Y.: Space-Time Cross Spectral Analysis Using the Maximum Entropy Method, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 59, pp. 620-624.
- 4) Murakami, M.: Large-Scale Aspects of Deep Convective Activity over the GATE Area, Mon. Wea. Rev., Vol. 107, 1979, pp. 994-1013.
- 5) Hasebe, F.: Interannual Variation of Global Total Ozone Revealed from Nimbus 4 BUUV and Ground-based Observations, J. Geophys. Res., Vol. 88, C11, 1983, pp. 6819-6834.
- 6) Hasebe, F.: The interannual Variations of the Global Total Ozone as a Reflection of the General Circulation Changes in the Stratosphere, Atmospheric Ozone, Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium held in Halkidiki, Greece, 3-7 Sept. 1984, edited by C.S. Zerefos and A. Ghazi, D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, pp. 553-557.
- 7) Hasebe, F.: The Global Structure of the Total Ozone Fluctuations Observed on the Time Scales of Two to Several Years, Dynamics of the Middle Atmosphere, edited by J.R. Holton and T. Matsuno, Terra Scientific Publ. Comp., 1984, pp. 445-464.