



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北太平洋・北米における数十年スケール気候変動
Author(s)	見延, 庄士郎; MINOBE, Shoshiro
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 59, 99-106
Issue Date	1996-03-25
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.59.99">https://doi.org/10.14943/gbhu.59.99</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14233">https://hdl.handle.net/2115/14233</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	59_p99-106.pdf



## 北太平洋・北米における数十年スケール気候変動

見 延 庄士郎

北海道大学理学部地球物理学教室

(1995年12月20日受理)

### **Interdecadal Climate Variability over the North Pacific and North America**

Shoshiro MINOBE

Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University

(Received December 20, 1995)

Interdecadal variations over the North Pacific and North America are examined in terms of the sea-level pressure (SLP), sea surface temperature (SST), and air-temperature, precipitation and river runoff. These variables obtained by in-situ observations are analyzed from 1900 to the present, and temperature records reconstructed from tree-ring data provide the information of the climatic variations from the 17th century to the mid 20th century over the North America.

The SLP in the central North Pacific exhibits high anomaly for 1900–1925, low anomaly for 1926–1947, high anomaly 1948–1976, and low anomaly 1977–1993. The SLP variations are associated with the strength of Aleutian Low, with the maximum of the long-term SLP variabilities locating to the east of climatological center of the Aleutian Low. The MEM spectrum analysis indicates that the SLP over the North Pacific characterized by a period of 51 years.

The above four periods are defined as period I to period IV. The winter SST in the North Pacific exhibits variations consistent with the SLP changes between the periods II and III, and between III and IV, though the SST change between I and II can not be examined because of the small coverage of observations. The spring air-temperature in the north western United State shows long-term variations consistent with the SLP variations between all successive two periods. Between periods II and III, and between III and IV, the winter precipitation and annual river runoff exhibits consistent interdecadal variations, whereas a significant shift in these parameters is not observed from the period I to II.

The first mode of empirical orthogonal function (EOF) for the spring temperature reconstructed from the tree-rings have maximum in the north western United State, where the aforementioned long-term variations are observed. The low pass filtered time series of the EOF 1 shows that the EOF 1 have a period of 50 to 60 years, with a MEM spectrum peak at 58 years. This long-term variation is strongly suggested to be associated with the Aleutian Low variability from the above analyses of the climatic variations in the present century.

## I. は じ め に

太平洋上およびその周辺の気候が一定の状態から他の状態に急激に遷移することは、Kutzbach (1970) および山本ら (1986, 1987) などによって記述されてきた。このような変化は気候ジャンプもしくは気候シフトと呼ばれている。近年、北太平洋および熱帯の大気・海洋に 1970 年代中頃に気候シフトが生じたことは、柏原(1987)および Nitta and Yamada (1989) をはじめとして、様々な論文によって取り上げられており、多くの注目を集めて来た。しかし、そのような変化は繰り返し生じているのか、また繰り返し生じているのであればどのような周期で変動しているのか等、数十年スケールの変動に関して未知の点は多い。本研究ではそれらの疑問に答えることを目的としてデータ解析を行った。

## II. デ ー タ

用いたデータは、Trenberth and Paolino (1980) が作成した海面気圧 (SLP), Jones et al. (1986) の表面温度、Washington 大学編集の World Weather Disc に収録されている長期観測点での地上気温・降水量、UNESCO によって作成された河川流量データ、木の年輪から再構成された地上気温である (Fritts, 1991)。Trenberth and Paolino (1980) の気圧データは、地上観測および船舶の観測を統合したものである。Jones et al. (1986) の表面温度データは、海上では海洋表面温度 (SST) を陸上では気温を表している。海洋表面温度の測定方法は時代とともに変化しているが、Jones et al. (1986) は SST の経年変化を陸岸付近での気温変化を基準として補正することで、測定方法の変化に伴う人為的な SST 変動を除いている。Fritts (1991) は合衆国西部の木の年輪データと合衆国全域での気温変動との関連を、経験的直交関数 (EOF) および重回帰を用いて求めることによって、気温の再構成を行っている。アメリカ西部のみの年輪データを用いているので、東部の気温変動は西部の変動との相関のみから求められていることに注意が必要である。解析に用いた期間は、木の年輪から得られた地上気温データについては 1602~1962 年、他のデータは 1900 年から現在までである。

## III. 結 果

1970 年代中頃を境とした SLP 変動の中心である  $170^{\circ}\text{W}$ ,  $55^{\circ}\text{N}$  においては、1920 年代中頃には 1970 年代中頃と同様の冬季 (12 月~2 月) の SLP 低下が、1940 年代後半には上昇が見られる (Fig. 1)。この長期変動に着目して、1900~1925, 1926~1947, 1948~1976, 1977~1993 を期間 I~IV と定義する。隣接する期間の間での SLP の期間平均の差は、 $t$ -検定によって 95% 有意水準で有意である。また、この時系列の MEM スペクトルを取ると、周期 51 年にピークを持つ (Fig. 2)。この 50 年程度の周期変動は、期間 I~IV の長さが 20 年~30 年程度であることと矛盾しないものである。この変動の空間分布を抽出するために、各々の期間の平均 SLP と隣接する期間平均との差を求めた (Fig. 3)。1920 年代中頃および 1940 年代後半を境として北太平洋中高緯度に有意な変化が見られ、それらの変化は 1970 年代中頃の変化とほぼ等しい空間分布を持っている。この空間分布から、SLP 変動はアリューシャン低気圧の勢力の変化を伴っていることが示される。ただし SLP 変動の中心は、気候値の冬季の最低 SLP で示されるアリューシャン低気圧の中心よりも経度にして  $15\sim 20^{\circ}$  程度やや東に位置している。

また、同様の操作を表面温度データについて行うと、1970 年代中頃の北太平洋での SST 低下とは逆に、1940 年代後半には SST 上昇が生じていることが示される (Fig. 4)。しかし、1920 年代中頃を境として有意な SST 変化が生じているかどうかは、それ以前のデータが少ないために明らかではない。

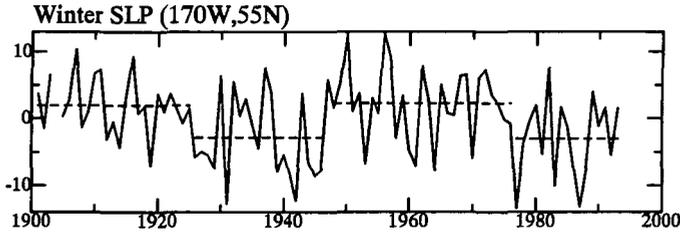


Fig. 1. SLP anomaly at 170°W, 55°N (real curve) and the averages of the anomaly for the periods 1900~1925, 1926~1947, 1948~1976 and 1977~1993 (periods I~IV) (dashed lines). All differences in average between the successive two periods are significant at 95% significant level by a student t-test.

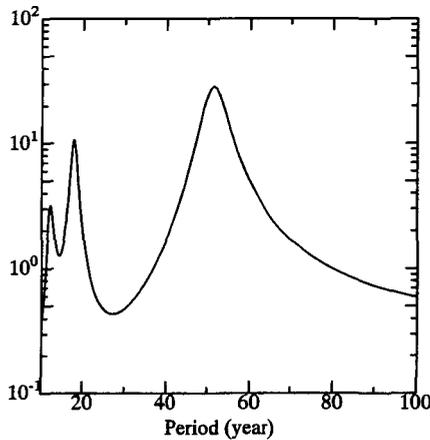


Fig. 2. MEM spectrum of the SLP anomaly shown in Fig. 1 with a filter length of 31.

1970年代中頃のSST変化に関してはいくつかの研究がなされており、中央太平洋でのSST低下は強いアリューシャン低気圧に伴う偏西風の強化が、南向きのエクマン輸送を生じかつ潜熱放出を強めたためと考えられている(e.g., Tanimoto et al., 1993)。また、アラスカ付近で北太平洋中央部と逆符号の偏差が生じているのは、アリューシャン低気圧の勢力が強い際には南西からの暖気の流入が強まり、低気圧の勢力が弱い際にはそれが弱まるためと考えられる。

長期観測点での気温データによっても、気圧変動と矛盾の無い数十年スケール変動が存在することが示される。地上気温に最も顕著な変化が見られるのは春期(3~5月)の北米西部である。北太平洋の気圧場同様に、この領域の気温変化は期間毎にその符号を変え、1920年代中頃・1940年代後半・1970年代中頃を境として、各々昇温・降温・昇温を示す(Fig. 5)。この気温変動はアラスカ付近の冬季の気温変動と同符号であり、同じようにアリューシャン低気圧によって南西から移流される暖気の影響であろう。

降水量変動は冬季に最も有意な変化を示す。冬季の降水は積雪として山岳部に蓄えられ、かならずしも冬季の河川流量には反映しない。従って、冬季の降水量と年平均河川流量を対応させて考える。1920年代中頃を境としては明瞭な変化は認められないが、1940年代後半・1970年代中頃を境としては各々降水量・河川流量ともに北米中央部で増加・減少が生じている(Fig. 6)。

SLPはFig. 1に示されるように、ある期間の値から他の期間の値へと急激にシフトする。他の変数

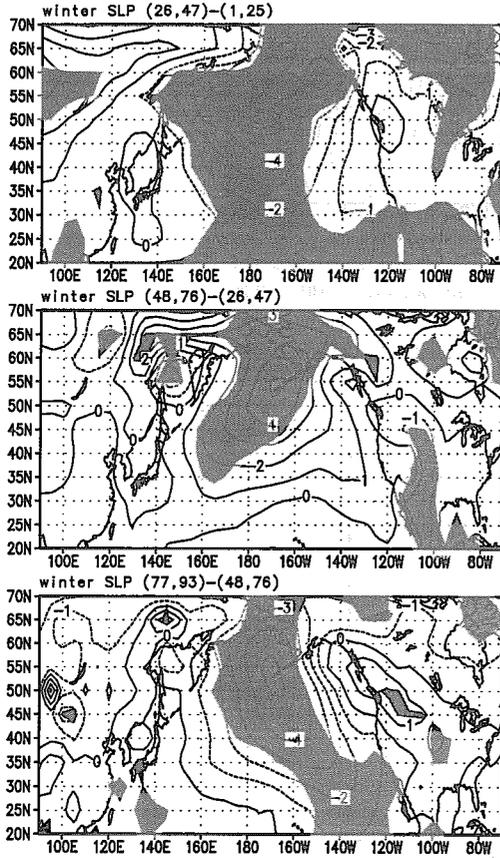


Fig. 3. Winter SLP differences for the periods (upper) II minus I, (middle) III minus II, and (lower) VI minus III. The shaded areas are the regions where the difference is significant at 95% significant level. Contour interval is 1 mb, and dashed contours indicate negative values.

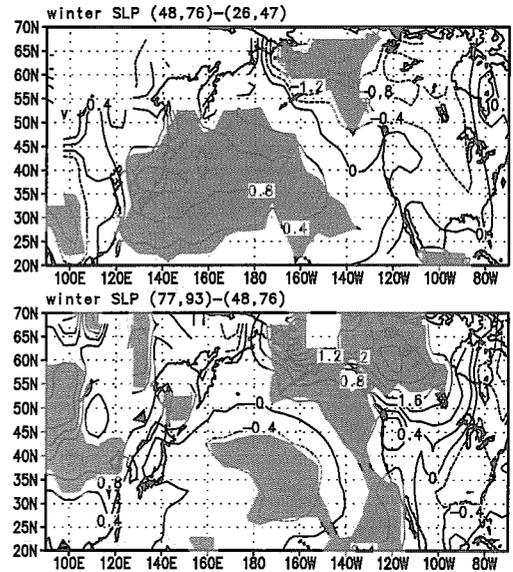
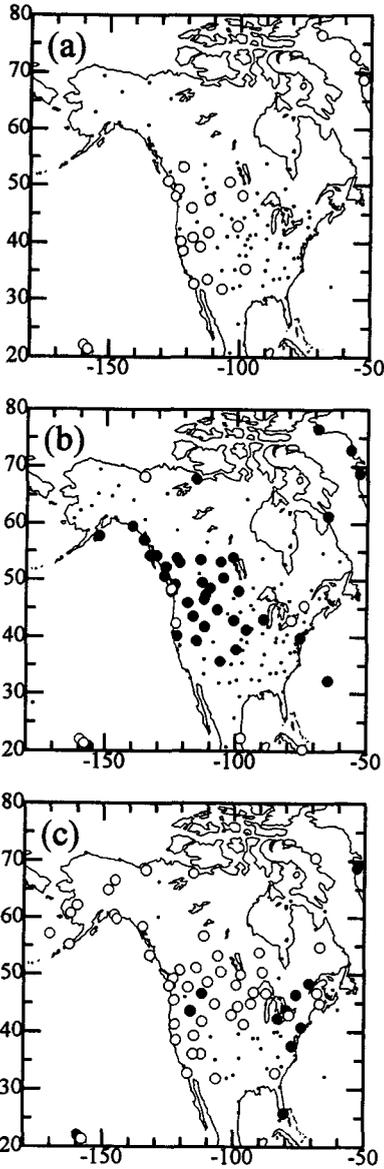


Fig. 4. Same as Fig. 3, but for winter surface temperature and for the periods (upper) III minus II, and (lower) VI minus III. Contour interval is 0.4°C.

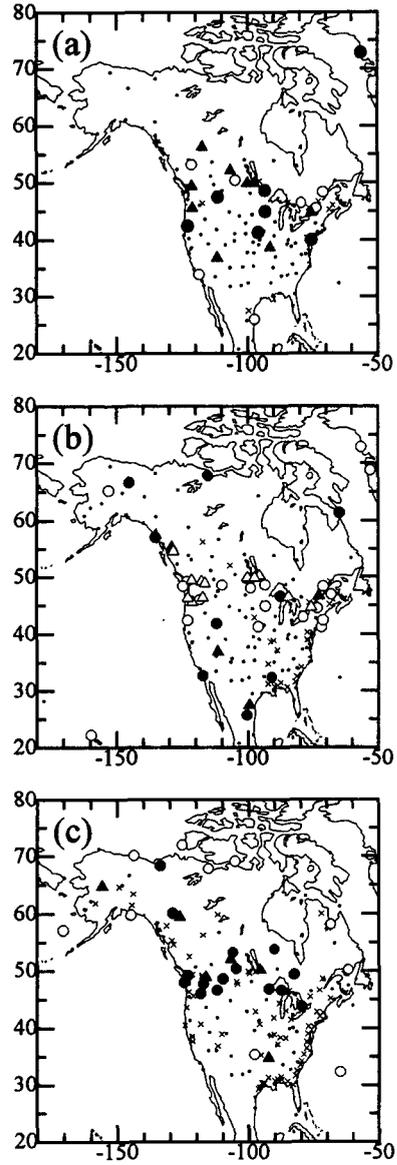
に関しても SLP 場同様に急激なシフトを示すかどうかは、気候変化の本質を探る上で重要である。Figure 7 に、太平洋中央部での SST、春季のアメリカ北西部での地上気温、冬季のアメリカ中央部での降水量について、各々変動の中心領域での時系列を示す。すでに述べたように、1920 年代半ばを境とする変動は、SST についてはデータ数の少なから検証することができず、また降水量には有意な変動が見られないが、地上気温変動は気圧変動と同様急激な変化を示している。また、1940 年代後半・1970 年代半ばには、全ての時系列に関して、急なシフトが認められる。

また、1970 年代半ばの変化については、赤道域の SST および南方指数 (SOI) にも有意な変化が見られることが知られており (e.g., Nitta and Yamada, 1989; Trenberth, 1990), この気候変化は熱帯域に起源を持つと考えられてきた。しかし、1920 年代半ばおよび 1940 年代後半には、熱帯域の変動を代表する SOI には有意な変化は見られない (Fig. 7e)。従って、北太平洋中高緯度の気候シフトに関して、熱帯域の変化は十分条件であるとしても、必要条件ではないことが強く示唆される。

上で述べてきた結果は、周期 50 年程度の気候変化が北太平洋・北米域に今世紀を通じて存在するこ



**Fig. 5.** Spring air-temperature differences at the long-term observation stations for the periods (a) II minus I, (b) III minus II, and (c) VI minus III. The white (black) circles indicate that a significant temperature increase (decrease) was observed at those stations at 95% significant level. The dots indicate that a significant temperature difference was not observed.



**Fig. 6.** Same as Fig. 5, but for the differences of winter precipitation and annual river runoff. The white (black) circles indicate that a significant precipitation increase (decrease) was observed at those stations at 95% significant level. The dots indicate that significant precipitation differences was not observed. The white (black) triangles indicate that a significant river runoff increase (decrease) was observed at those stations at 95% significant level. The crosses indicate that a significant differences in river runoff was not observed.

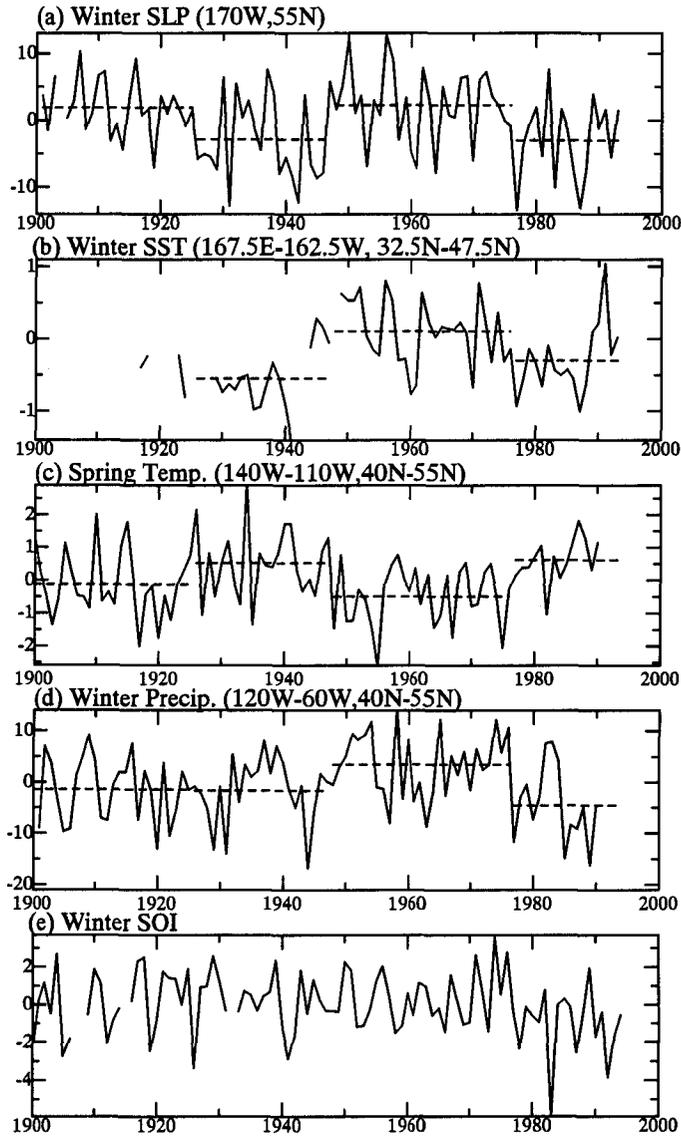


Fig. 7. Time series of anomalies of (a) the spring SLP at  $170^{\circ}\text{W}$ ,  $55^{\circ}\text{N}$  (same as Fig. 2), (b) the winter SST averaged over  $167.5^{\circ}\text{E}$ – $162.5^{\circ}\text{W}$ ,  $32.5^{\circ}\text{N}$ – $47.5^{\circ}\text{N}$ , (c) the spring air temperature averaged over  $140^{\circ}\text{W}$ – $110^{\circ}\text{W}$ ,  $40^{\circ}\text{N}$ – $55^{\circ}\text{N}$ , (d) the winter precipitation averaged over  $120^{\circ}\text{W}$ – $60^{\circ}\text{W}$ ,  $40^{\circ}\text{N}$ – $55^{\circ}\text{N}$ , and (e) winter SOI.

とを示している。次に、このような変動が今世紀以前にも存在したかを、木の年輪から再構成された気温データによって検討しよう。今世紀の解析から合衆国北西部で地上気温変動が顕著な春期について、再構成された気温の EOF 第一モードの空間・時間分布を Fig. 8 に示す。第一モードの空間分布は前述の春季気温における長期変動の中心である合衆国北西部に中心を持つ。この第一モードの時系列にカットオフ周期が 30 年であるロー・パス・フィルターをかけると、振幅のピークからピークまでの期間がおおむね 50～60 年となる。さらに、EOF 第一モードの時系列の MEM スペクトルは周期 58 年

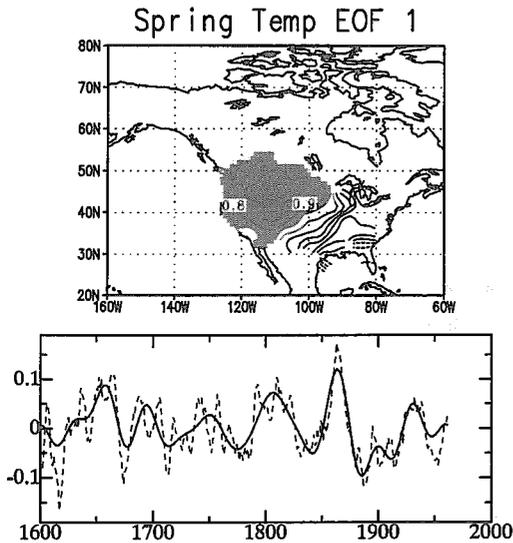


Fig. 8. (upper) Spatial distribution of the EOF 1 of the reconstructed temperature from tree rings, and (lower) its time evolution. In the lower panel, the thin dashed curve is the time series filtered by a five-years running mean, and the thick real curve is the time series smoothed by a low pass filter with 30 years cut-off period. EOF 1 explains 37.2% of total variance.

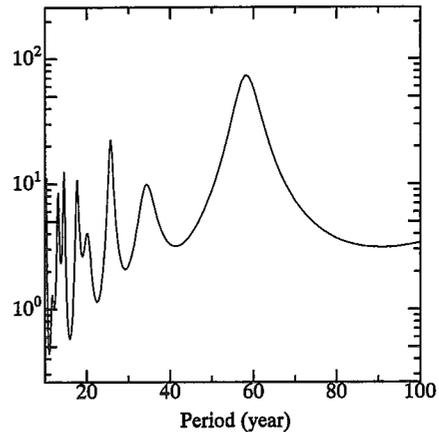


Fig. 9. MEM spectrum of the time series of EOF 1 for the spring temperature, shown in Fig. 8b. Filter length is 120.

にピークを持つ (Fig. 9)。従って、周期 50~60 年の変動は北米大陸上においては、17 世紀以降現在までおおむね継続して存在していると言える。また、今世紀の解析結果と照らし合わせるとその変動は北太平洋上でのアリューシャン低気圧の変動と関連していることが強く示唆される。

#### IV. まとめと議論

北太平洋の気圧および北米大陸上での気温・降水量変動から、1920 年代中頃と 1940 年代後半にも、1970 年代中頃と同様の振幅と空間分布を持つ気候変化が存在したことが示された。この長期変動は 50~60 年の時間スケールで特徴づけられる。SOI の時系列には、1920 年代中頃と 1940 年代後半には有意な変化が見られないことから、熱帯域の変動は中高緯度の 50~60 年スケールの気候変動に対して、十分条件であるとしても必要条件ではないと考えられる。しかし、これらの長期変動が生ずるメカニズムを解明するには、将来の研究を待たなくてはならない。

最近 Latif and Barnett (1994) は大気海洋結合モデルによって、十年~数十年スケール変動を研究し、彼らのモデルでは熱帯域ではなく北太平洋中高緯度での大気海洋相互作用によって十年から数十年スケール変動が生じることを示した。しかし、そのメカニズムに関して十分な解析はなされておらず、また積分時間がいまだ 70 年程度と短いことから、現時点では、なぜこのような数十年変動が生じ得るのかについて十分な説明がなされているとは言えない。さらに、データ解析およびモデルの両面から一層の研究を行うことが必要である。

また、アリューシャン低気圧の長期変動は、北太平洋の亜熱帯・亜寒帯域のプランクトンの量に支

配的な影響を与えると考えられており (Vernrick et al., 1987 ; Brodeur and Ware, 1992), 生態系および水産資源の変動を通じて人間活動にも大きな影響を与えることが予想され, その面からも北太平洋上での長期気候変動の研究は重要である。

今世紀の3回の気候シフトは大局的にはおおむね似通った空間分布を示しているが, 特定の地域に着目すると個々の気候シフトの影響は大きく異なっている。たとえば非常に興味深いことに, 1940年代後半の冬季の表面温度変化の振幅極大は日本に位置しているが, 日本付近では1970年代中頃には有為な変化が見られない (Fig. 4)。1940年代後半と1970年代中頃の冬季のSLP変化の空間的な相違は小さく (Fig. 3), SLP分布の違いからこの日本付近の気温変動がなぜ1940年代後半にのみ見られるのかを説明することは出来ない。北太平洋・北米域での最も顕著な長期変動がアリューシャン低気圧の変動に付随するものであることが本研究から強く示唆されるが, その変動がわが国の気候にどのような影響を及ぼすかは, 今後の重要な課題である。

**謝辞** 本研究に関して有益な助言を頂きました, ワシントン大学のMike Wallace教授, Todd P. Mitchell博士, 地球惑星流体科学講座の金成誠一教授に感謝致します。

#### 文 献

- Brodeur, R. D., and D. M. Ware, 1992. Long-term variability in zooplankton biomass in the subarctic Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*, **1**, 32–38.
- Fritts, H. C., 1991. Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data, The University of Arizona Press, pp. 286.
- Jones, P. D., S. C. B. Raper, R. S. Bradley, H. F. Diaz, P. M. Kelly, and T. M. L. Wigley, 1986. Northern Hemisphere surface air temperature variations, 1851–1984. *J. Clim. Appl. Met.*, **25**, 161–179.
- 柏原 辰吉, 1987. 北太平洋を中心とした最近の冬季の冷化について, *天気*, **34**, 777–781.
- Latif, M. and T. P. Barnett, 1994. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. *Science*, **266**, 634–637.
- Kutzbach J. E., 1970. Large-scale features of monthly mean northern hemisphere anomaly maps of sea-level pressure, *Mon. Wea. Rev.*, **98**, 708–717.
- Mitchell T. P. and M. Wallace, 1995. An observational study of ENSO variability in 1950–78 and 1979–92. *J. Climate*, submitted.
- Nitta, T., and S. Yamada. 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 375–383.
- Tanimoto, Y., Iwasaka, N., Hanawa, K., and Y. Toba, 1993. Characteristic variations of sea surface temperature with multiple time scales in the North Pacific, *J. Climate*, **6**, 1153–1160.
- Trenberth, K.E. and D. A. Paolino. 1980. The Northern Hemisphere sea-level pressure data set : Trends, errors, and discontinuities. *Mon. Wea. Rev.* **108**, 855–872.
- Trenberth, K. E. 1990. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **71**, 988–993.
- Vernick, E. L., J.A. McGowan, D.R. Cayan and T.L. Hayward, 1987. Climate and chlorophyll a : Long-term trends in the central North Pacific Ocean. *Science*, **238**, 70–72.
- 山本龍三郎, 岩嶋樹也, サンガ N. K, 星合誠, 1986 ; 気候ジャンプ, 京都大学防災研究所年報, 第 29 号 B-1, 297–313
- 山本龍三郎, 岩嶋樹也, サンガ N. K, 星合誠, 1987. 大気循環における気候ジャンプ, 京都大学防災研究所年報, 第 30 号 B-1, 309–325