

1901～2000年における北太平洋高気圧西縁部の長期変動と日本の夏季気温との関係

永田玲奈*・三上岳彦**

(*日本大学研究員, **帝京大学文学部)

本研究では、1901～2000年の100年において北太平洋高気圧西縁部の東西・南北変動を示す指数を定義し、その長期変動について明らかにするとともに、日本の17地点における夏季気温変動との関係について解析を行った。その結果、北太平洋高気圧の西縁部は過去100年に南西方向にシフトしていることがわかった。また100年を前半50年と後半50年に分けて比較したところ、前半50年と比べて後半50年には、高気圧西縁部が北(南)にシフトすると気温が上昇(低下)するという有意な正相関を示す地点が多く見られた。1951年以降、Pacific-Japan (PJ) パターンの励起と関係が深い、南シナ海と熱帯太平洋西部との間の夏季海面水温の東西傾度と、高気圧西縁部の南北変動との関係が強まっており、PJパターンが多く発生することで、高気圧西縁部の南北変動と日本の気温との関係が強まったと考えられる。

キーワード：北太平洋高気圧、長期変動、気温、PJパターン、海面水温

I はじめに

日本は北太平洋高気圧の西の端に位置するため、高気圧西縁部の東西・南北変動は日本の夏季天候を決める上で重要な役割を果たす。特に北太平洋高気圧の南北変動は日本の気温を大きく左右することが知られている。Nitta (1987) は熱帯太平洋西部における高い海面水温 (sea surface temperature: SST) に伴う対流活動の活発化によりロスビー波が励起され、日本付近で高気圧が強まり暑夏となることを指摘している。これはPJ (Pacific-Japan) パターンと呼ばれている。PJパターンと日本における夏季気温変動との関係については多くの報告がなされており (Wakabayashi and Kawamura 2004; Yasunaka and Hanawa 2006 など)、Kawamura et al. (1998) は熱帯 SST の変化に伴うPJパターンの励起により、1970年代後半以降に日本で極端な冷夏・暑夏が頻発したとしている。北太平洋高気圧西縁部の東西変動についても850hPaにおける高度データを用いてLu (2001) やLu and Dong (2001)

が明らかにしており、熱帯太平洋西部における対流活動が夏季北太平洋高気圧の東西変動に関係していることを指摘している。

Nagata and Mikami (2010) では1958～2000年の期間で500hPaにおける5,880gpm線西縁部のグリッドを定義することで北太平洋高気圧の東西・南北方向の年々変動を解析し、夏季北太平洋高気圧は1980年以降南西に拡張していることを示した。さらに、永田・三上 (2010) は北太平洋高気圧西縁部にあたる4領域の地上気圧平均値を用いて夏季北太平洋高気圧の長期変化傾向を解析し、高気圧は過去100年において南西に拡張しておりこの傾向は特に1951年以降に強まっていることを示した。

北太平洋高気圧西縁部の変動を示す指数は850hPaや500hPaの高度データを用いたものがほとんどであり (Lu 2001; Lu and Dong 2001; Sui et al. 2007; Nagata and Mikami 2010 など)、そのため変動が解明されている期間は長くても40年程度である。日本の夏季気温・降水量に大きな影響を与える北太平洋高気圧西縁部の変動を長期的に明ら

かにすることは、将来の日本における気候変動解明に大きな意味を持つ。

そこで、本研究では長期に使用可能な地上気圧データを用いて、日本の夏季天候に大きな影響を与える北太平洋高気圧西縁部の東西・南北変動を示す指数を1901～2000年の期間で作成しその変動を明らかにするとともに、日本の夏季気温と高気圧との長期的な関係についても解明を行うことを目的とする。

II データと解析方法

地上気圧データは英国ハドレーセンターのHadSLP2 (Allan and Ansell 2006) を使用する。HadSLP2は海洋・地上観測の合計2,228地点のデータをもとに入念な品質管理とエラーデータや疑わしいデータの修正・削除を行い全球5度グリッドに内挿したデータであり、他の地上気圧データ (Smith and Reynolds 2004 など) との比較と、気候システムの中で重要な現象 (Southern Oscillation index: SOI, Arctic Oscillation: AO など) がHadSLP2データでうまく表されていることからデータの妥当性が示されている (詳しくはAllan and Ansell 2006 参照)。海面水温データについてはERSST (Extended reconstructed SST; Smith and Reynolds 2003) を使用した。ERSSTデータは海洋観測データをもとに、観測データが不十分な場合に適した解析手法を用いて作成された全球2度グリッドのデータであり、他の長期SSTデータ (the Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature; HadISST, Rayner et al. 2003) とSST変動がほぼ一致していること、ERSSTの回転EOF (Empirical Orthogonal Function; 経験的直行関数) 解析により先行研究と一致するモードが見られることが確認されている (詳しくはSmith and Reynolds 2003 参照)。

日本の気温については、図1に示した気象庁が

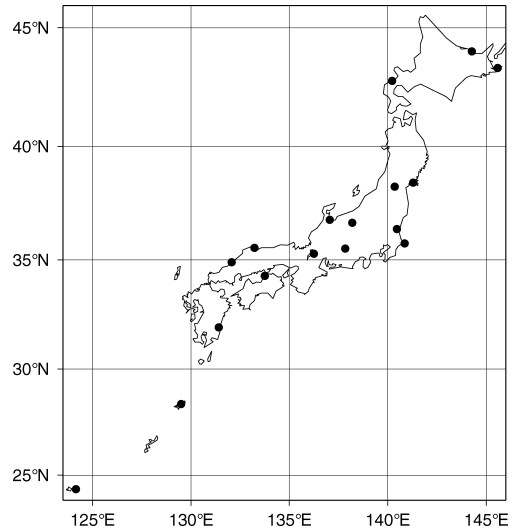


図1 解析に使用した17地点の気象官署
Fig. 1 Locations of 17 weather stations in Japan

日本の年平均気温を算出するのに使用している17地点の気象官署のデータを用いた (気象庁 2002)。データはいずれも1901～2000年の6～8月を使用した。

永田・三上 (2010) では北太平洋高気圧西縁部に四つの領域を設定することでその変動について解析を行ったが、本研究ではNagata and Mikami (2010) と同様に西端部のグリッドを定義することで北太平洋高気圧西縁部の位置を定量的に示す。ここでは地上気圧データを用いるため、Nagata and Mikami (2010) とは異なる定義を用いる。地上気圧データを用いて以下の通りに北太平洋高気圧指数 (North Pacific subtropical high index; NPSHI) を定義した (図2左)。

- 1) 120°-160°E, 10°-35°N (図中の太線で示した領域) で値が1,011hPa以上でその5度西のグリッドが1,011hPaより小さいグリッドを選ぶ (丸で示したグリッド)。
- 2) 1) で選んだグリッドのうち一番西の経度にあたるものを高気圧西縁部の経度 (NPSHI-Zonal¹⁾;

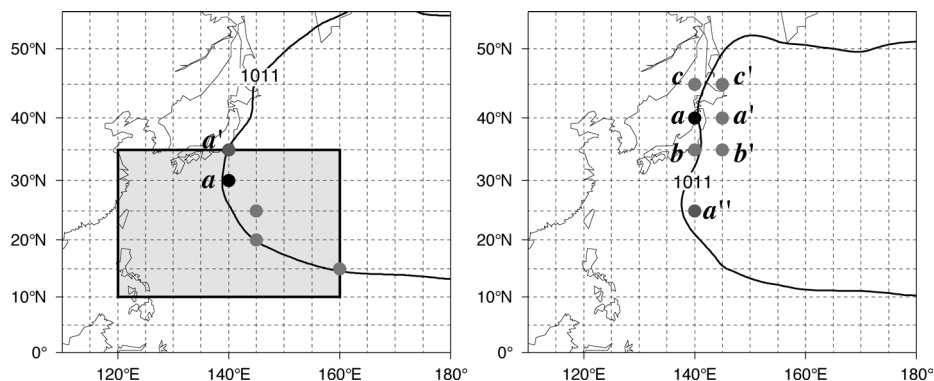


図2 北太平洋高気圧指数 (North Pacific subtropical high index: NPSHI) 定義の例
 左図: 丸は太枠で示した領域において値が1,011hPa以上でその5度西のグリッドが1,011hPa未満のグリッドを示す。一番西で値が大きい a をNPSHIと定義 (図は1928年7月)。
 右図: b' , a' , c' が1,011hPa以上で a'' (左図の定義で選ばれたNPSHI) よりも大きく、 b , a , c が1,011hPa未満の場合、値が一番大きい a をNPSHIと定義 (図は1999年8月)。

Fig. 2 Examples of the definition of the NPSHI

Left panel: July 1928. The circles indicate the grids that are 1,011 hPa or greater and 5 degrees to the west the grids are less than 1,011 hPa in the thick framed region. The westernmost grid point a is selected as the NPSHI ($a > a'$).

Right panel: August 1999. If the following cases are fitted, grid point a is defined as the NPSHI. 1) If b' , a' , and c' are 1,011 hPa or greater and higher than a'' , which is fitted to the preceding NPSHI definition (see the left panel), 2) b , a , and c are less than 1,011 hPa, 3) $a > b$, $a > c$.

NPSHI-Z) とする (図左の a , a' の経度)。

- 3) 2) で取り出した一番西の経度に二つ以上の西縁部候補が存在する場合は、気圧の値が一番大きい緯度²⁾ (図左の a) を選び高気圧西縁部の緯度 (NPSHI-Meridional; NPSHI-M) と定義する。この定義により、図左の NPSHI-Z は 140°E, NPSHI-M は 30°N となる。

本論文では北太平洋高気圧が日本の夏季気温に与える影響について考察を行うため、高気圧が北と南に張り出す場合、南寄りに NPSHI を取ることを防ぐために以下の条件を入れた (図2右)。

- 1) 高気圧の西縁部と定義したグリッド (a'') よりも東に5度で北に 10・15・20度のグリッド (b' , a' , c') が 1,011 hPa 以上であり a'' よりも大きい。
- 2) b' , a' , c' それぞれの5度西のグリッド (b , a , c) が 1,011 hPa よりも小さい。
- 3) $a > b$ および $a > c$ の場合グリッド a を高気圧の西縁部と定義する。

この方法で 1901～2000 年における 6～8 月の各月について NPSHI-Z と NPSHI-M を定義した。

定義に際しては、1,011 hPa 以外の値を用いたり図2左において太枠で示した NPSHI を定義する領域を変えたりなどしたが、上記の定義が一番北太平洋高気圧西縁部の変動をよく表していた。

III NPSHI の長期変動と日本の気温との関係

図3に NPSHI-Z および NPSHI-M の夏季 (6～8月) 平均時系列を示した。NPSHI-Z・NPSHI-M ともに負のトレンドを示しており、北太平洋高気圧は近年南西方向にシフトしていることがわかる。

次に、1901～2000 年における 17 地点の夏季気温と NPSHI-Z・NPSHI-M との関係性を明らかにするために地点ごとに相関係数を算出した (図4)。NPSHI-Z では有意な相関は見られないが、NPSHI-M は北日本を中心に気温と有意な正相関を示す地点が確認できる (高気圧が北上すると気温が

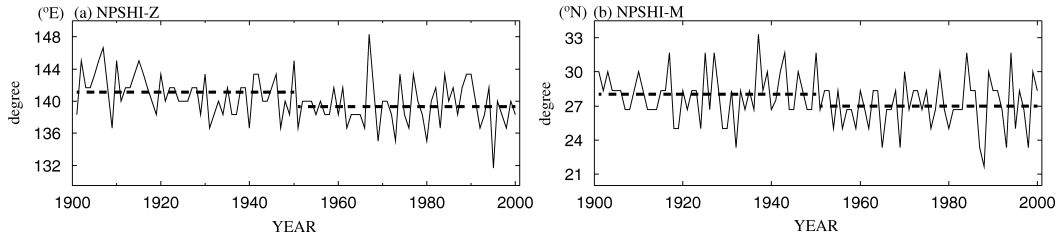


図3 北太平洋高気圧西縁部の (a) 東西変動を示す指数 (NPSHI-Z) と (b) 南北変動を示す指数 (NPSHI-M) の夏季 (6~8月) 平均値の時系列

太破線は1901~1950年と1951~2000年の平均値を示す。

Fig. 3 Time series of summer (June, July, and August) averaged indices that describe (a) the zonal (NPSHI-Z) and (b) meridional (NPSHI-M) variability of the western edge of the NPSH. The heavy dotted lines in (a) and (b) denote the average index for 1901-1950 and 1951-2000.

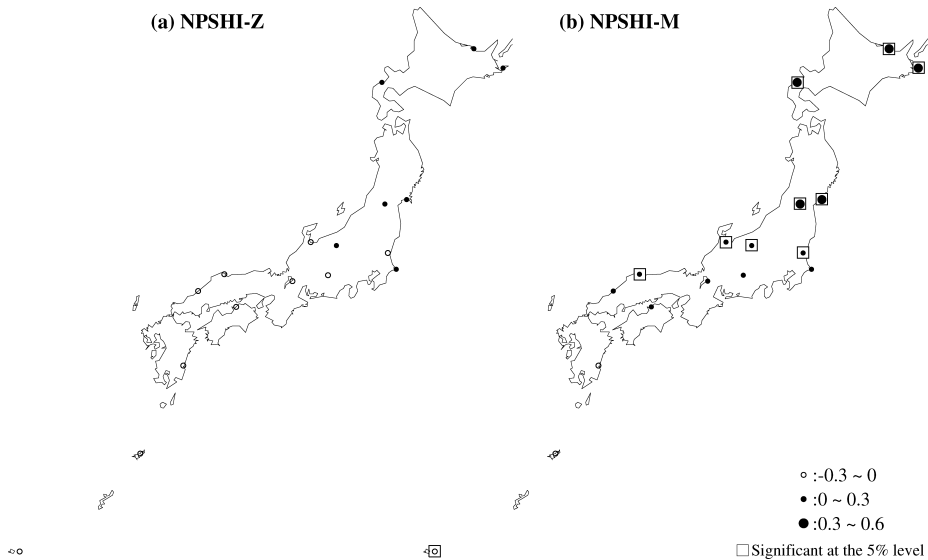


図4 1901~2000年におけるNPSHIと日本の夏季気温との相関係数

(a) NPSHI-Z, (b) NPSHI-M. 四角は5%水準で有意な相関がある地点を示す。

Fig. 4 Correlation coefficients between the NPSHI and summer temperature in Japan from 1901 to 2000

(a) NPSHI-Z, (b) NPSHI-M. Squares indicate stations with a significant correlation at the 5% level.

上がり南下すると気温が下がる)。このことから、日本の夏季気温は北太平洋高気圧の南北変動に大きな影響を受けていることがわかる。この結果は、高気圧の南北変動が日本の夏季気温を大きく左右することを示した Nitta (1987) と一致する。

Yamamoto et al. (1986) は1950年ごろに日本における気温・地上気圧・降水量などの気象要素に

急激な変化が生じていることを指摘しており、この現象は“気候ジャンプ”と呼ばれている。そこで、対象期間の1901~2000年の100年を前半50年(1901~1950年; pre50)と後半50年(1951~2000年; post50)の二つの期間に分けてNPSHI-ZおよびNPSHI-Mの特徴を考察し、日本の気温との関係について比較を行う。図3にpre50とpost50の

NPSHI-Z・NPSHI-Mの平均値を示した(図中の破線). この図より, pre50よりもpost50の方が高気圧の西縁部は西および南にシフトしていることがわ

かる. pre50とpost50の平均値の差は t -検定によりNPSHI-Zは危険率1%で,NPSHI-Mは危険率5%で有意である.

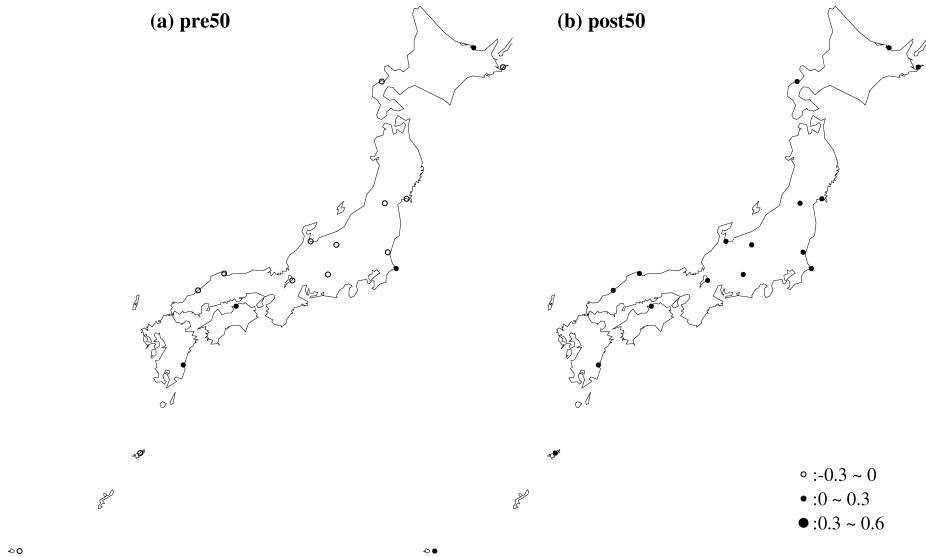


図5 NPSHI-Zと日本の夏季気温との相関係数
(a) 1901~1950年 (pre50), (b) 1951~2000年 (post50).

Fig. 5 Correlation coefficients between the NPSHI-Z and summer temperature in Japan
(a) 1901-1950 (pre50), (b) 1951-2000 (post50).

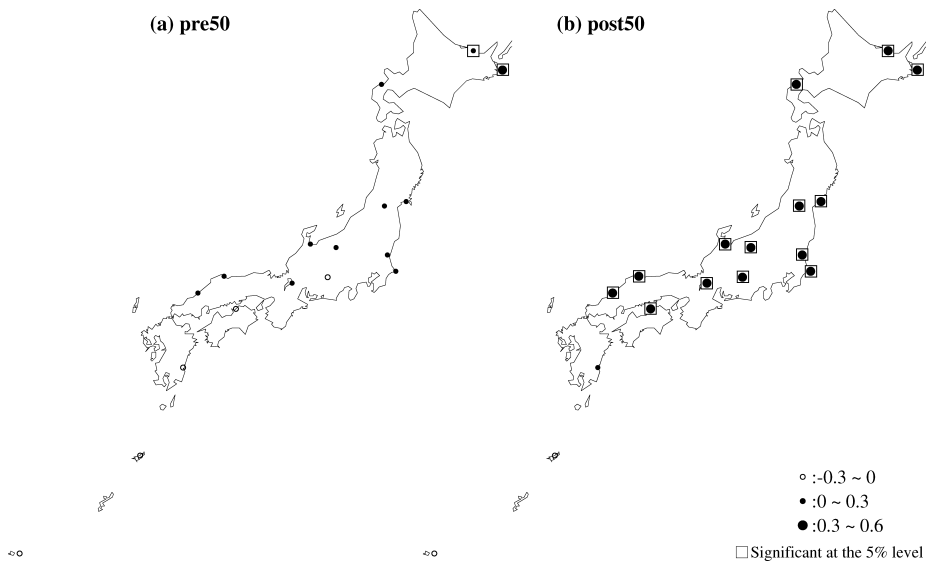


図6 図5と同じ(ただしNPSHI-M)
四角は5%水準で有意な相関がある地点を示す.

Fig. 6 Same as in Fig. 5 except that it shows the NPSHI-M
Squares indicate stations with a significant correlation at the 5% level.

夏季気温とNPSHIとの関係については、図5・図6に気温とNPSHI-Z・NPSHI-Mとの相関係数をpre50とpost50についてそれぞれ示した。NPSHI-Zでは二つの期間で相関係数が逆になる地点もあるが、pre50・post50の両期間において有意な相関を示す地点は見られない。一方、NPSHI-Mではpre50には有意な相関を示す地点は2地点のみであるがpost50には14地点に増えており、100年間の相関係数よりも有意な正相関を示す地点が増加している。このことから、post50にはpre50に比べて北太平洋高気圧の南北変動が日本の夏季気温に与える影響が強くなったといえる。

IV NPSHI と熱帯における SST 変動

前節において北太平洋高気圧の南北変動と日本の夏季気温との関係はpre50よりもpost50の方が強いことを示した。北太平洋高気圧の南北変動を大きく左右するのは熱帯太平洋西部のSSTであることが指摘されている(Nitta 1987など)。Kawamura et al. (1998)は熱帯太平洋西部(領域D: 5°-15°N, 140°-160°E)と南シナ海(領域C: 5°-15°N, 110°-130°E)における夏季SSTの東西傾度(領域D-C)の変動がPJパターンを励起し、日本の夏季天候を大きく左右していることを示している。

表1に1901~2000年における熱帯太平洋西部

表1 1901~1950年(pre50)と1951~2000年(post50)におけるNPSHIとSST東西差との相関係数
Table 1 Correlation coefficients between the NPSHI and SST east-west difference for 1901-1950 (pre50) and 1951-2000 (post50)

	NPSHI-Z	NPSHI-M
pre50	-0.12	-0.03
post50	0.37**	0.36*

アスタリスク一つ(二つ)は5%(1%)で有意な相関があることを示す。

One and two asterisks indicate a significant correlation at the 5% and 1% level, respectively.

と南シナ海のSST東西傾度とNPSHI-ZおよびNPSHI-Mとの相関係数をpre50とpost50について示した。NPSHI-Mとの相関係数では、pre50には有意な相関は認められないがpost50に有意な正相関が確認でき、post50では熱帯太平洋西部(領域D)のSSTが高い(低い)と高気圧は北(南)にシフトすることがわかる。一方、NPSHI-ZとSST東西傾度との相関についてはNPSHI-Mと同様にpre50には有意な相関は見られないがpost50において有意な正相関を示している。このことは、領域DのSSTが高い(低い)と高気圧は東(西)にシフトすることを意味する。

以上の結果から、熱帯太平洋西部と南シナ海におけるSSTの東西傾度はpost50における北太平洋高気圧西縁部の東西・南北変動に大きな影響を与えていることがわかった。

V 議 論

IVで述べたように、北太平洋高気圧の南北変動に対する南シナ海と熱帯太平洋西部のSST東西傾度の影響は、pre50よりもpost50に明瞭になっていることがわかった。図7に1901~2000年における南シナ海と熱帯太平洋西部のSST東西傾度と

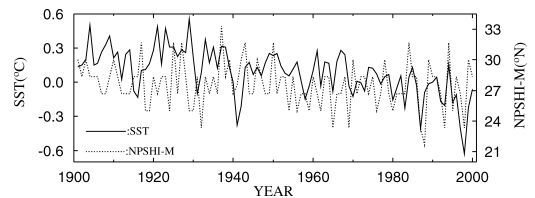


図7 領域C(5°-15°N, 110°-130°E)と領域D(5°-15°N, 140°-160°E)の夏季SST差(領域D-C)とNPSHI-Mの時系列

実線がSST、破線がNPSHI-Mを示す。

Fig. 7 Time series of the difference of the summer SST between regions C (5°-15°N, 110°-130°E) and D (5°-15°N, 140°-160°E; region D minus C), and NPSHI-M

The solid line indicates the SST, and the dotted line denotes the NPSHI-M.

NPSHI-Mの時系列を示した。この図から pre50 には両者の変動は一致していないが、post50 には SST 東西傾度と NPSHI-M の変動が一致する年が多いことが確認できる。

pre50 と比較して post50 に NPSHI-M と日本の気温との関係が強まった原因については、以下のように考えられる。

- ① SST 東西傾度は PJ パターンの励起と深く関わっていることが Kawamura et al. (1998) により指摘されており、領域 D の SST が高い（低い）と熱帯太平洋西部で対流が活発（不活発）となり、日本付近が高気圧（低気圧）偏差となることを示している。pre50 についてはデータが存在しないため post50 の対流活動と比較検討することは難しいが、SST 東西傾度と NPSHI-M は正相関なので、領域 D の SST が高い（低い）と高気圧が北に張り出す（南下する）こととなり、Kawamura et al. (1998) と一致する。
- ② SST 東西傾度と高気圧の南北変動を示す指数である NPSHI-M の相関が pre50 よりも post50 に強いということは、pre50 よりも post50 に PJ パターンが発生しやすかったことが考えられる。PJ パターンは北太平洋高気圧の南北変動に大きな影響を与えていることが知られている (Nitta 1987)。
- ③ 以上のことから、pre50 よりも post50 に PJ パターンが多く発生することで、高気圧西縁部が北（南）にシフトすると気温が上昇（低下）するという日本の気温と高気圧の南北変動との関係が強まったと考えられる。

VI 結 論

本研究では 1901～2000 年の 100 年において北太平洋高気圧の東西・南北変動を示す指数を定義しその長期変動について明らかにするとともに、日本の 17 地点における夏季気温変動との関係について解

明を行った。以下に得られた結果を示す。

- ① 北太平洋高気圧の西縁部は 1901～2000 年の 100 年に南西方向にシフトしている。
- ② 100 年を 1901～1950 年 (pre50) と 1951～2000 年 (post50) の 50 年に分けて検討したところ、post50 には北太平洋高気圧西縁部の南北変動を示す指数と夏季気温に有意な正相関を示す地点が多く見られた。これは、北太平洋高気圧西縁部が北（南）にシフトすると日本の夏季気温が上昇（低下）することを示す。
- ③ 1951 年以降、PJ パターンの励起と深く関係している南シナ海と熱帯太平洋西部との間における夏季 SST の東西傾度と、高気圧西縁部の南北変動との関係が強くなっており、PJ パターンが多く発生することで、北太平洋高気圧西縁部の南北変動と日本の夏季気温との関係が強まったと考えられる。

今後は、北太平洋高気圧の変動と日本の降水量との関係について解明を進めたい。

作図には GMT (The Generic Mapping Tools) を使用した。貴重な御意見をいただいた気象研究所の石原幸司主任研究官（現在は国土交通省総合政策局環境政策課）に深く感謝の意を表します。なお、本稿の一部は 2008 年 5 月と 2009 年 5 月の日本気象学会春季大会において発表した。

(投稿 2011 年 2 月 4 日)

(受理 2012 年 6 月 9 日)

注

- 1) 北太平洋高気圧西縁部の東西方向の変動を表す指数であるため zonal という表現を用いた。Nagata and Mikami (2010) においても高気圧西縁部の東西方向の変動を示す指数を SHI (subtropical high index) の zonal component としている。
- 2) 図 2 に 1,011 hPa コンターを示しているが、 a' と a を比較すると地上気圧の値が大きい a の緯度の付近でコンターが西に延びていることがわかる。高気圧西縁部と定義された経度に二つ以上の西縁部候補が存在する場合、一番大きい緯度を選んだ方が北太平洋高気圧西縁部、つまり一番西の端を定義することを目的としている本定義

にあっていると判断した。

文 献

- 気象庁編 2002. 『20 世紀の日本の気候』 財務省印刷局.
- 永田玲奈・三上岳彦 2010. 東アジアにおける北太平洋高気圧の長期変動と熱帯太平洋海面水温との関係. お茶の水地理 50: 99-105.
- Allan, R. and Ansell, T. 2006. A new globally complete monthly historical gridded mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850-2004. *J. Climate* 19: 5816-5842.
- Kawamura, R., Sugi, M., Kayahara, T. and Sato, N. 1998. Recent extraordinary cool and hot summers in East Asia simulated by an ensemble climate experiment. *J. Meteor. Soc. Japan* 76: 597-617.
- Lu, R. 2001. Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool. *J. Meteor. Soc. Japan* 79: 771-783.
- Lu, R. and Dong, B. 2001. Westward extension of North Pacific subtropical high in summer. *J. Meteor. Soc. Japan* 79: 1229-1241.
- Nagata, R. and Mikami, T. 2010. Response of the summer atmospheric circulation over East Asia to SST variability in the tropical Pacific. *Intl. J. Climatol.* 30: 813-826.
- Nitta, T. 1987. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan* 65: 373-390.
- Rayner, N. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., Kent, E. C. and Kaplan, A. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.* 108: 4407, doi:10.1029/2002JD002670.
- Smith, T. M. and Reynolds, R. W. 2003. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS Data (1854-1997). *J. Climate* 16: 1495-1510.
- Smith, T. M. and Reynolds, R. W. 2004. Reconstruction of monthly mean oceanic sea level pressure based on COADS and station data (1854-1997). *J. Atmos. Oceanic Technol.* 21: 1272-1282.
- Sui, C.-H., Chung, P.-H. and Li, T. 2007. Interannual and interdecadal variability of the summertime western North Pacific subtropical high. *Geophys. Res. Lett.* 34: L11701, doi:10.1029/2006GL029204.
- Wakabayashi, S. and Kawamura, R. 2004. Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with the anomalous summer climate in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan* 82: 1577-1588.
- Yamamoto, R., Iwashima, T., Sanga N. K. and Hoshiiai, M. 1986. An analysis of climatic jump. *J. Meteor. Soc. Japan* 64: 273-281.
- Yasunaka, S. and Hanawa, K. 2006. Interannual summer temperature variations over Japan and their relation to large-scale atmospheric circulation filed. *J. Meteor. Soc. Japan* 84: 641-652.

**Long-Term Variability of the Western Edge of the North Pacific Subtropical High and
Its Relation to Summer Temperatures over Japan, 1901-2000**

NAGATA Rena* and MIKAMI Takehiko**

(*Nihon University, **Faculty of Liberal Arts, Teikyo University)

The long-term variability of the western edge of the North Pacific subtropical high (NPSH) and its relationship to summer temperature variability at 17 weather stations in Japan were investigated for the period from 1901 to 2000. Using the Hadley Center sea level pressure dataset (HadSLP2), we developed NPSH indices (NPSHIs) to describe both the zonal and meridional variability of the western edge of the NPSH. The NPSHIs revealed that the western edge of the NPSH had shifted southwestward over the past 100 years. This study contrasts the correlation of temperatures over Japan with NPSHIs between 1901-1950 (pre50) and 1951-2000 (post50). In the post50, a significant positive correlation between temperature and the meridional displacement of the western edge of the NPSH was observed at the most stations, which indicates that temperatures over Japan increase (decrease) when the western edge of the NPSH shifts northward (southward). In the pre50, in contrast, a significant positive correlation between temperature and the meridional displacement of the western edge of the NPSH was found at only two stations. In the post50, a strong relationship between the meridional displacement of the western edge of the NPSH and the east-west gradient of summertime sea surface temperature (SST) between the South China Sea and the tropical western Pacific east of the Philippines was observed, while there was no significant connection between them in the pre50. The Pacific-Japan (PJ) pattern, which affects meridional displacement of the western edge of the NPSH, is closely related to the east-west gradient of summertime SST across the Philippines. It is thus considered that the PJ pattern is excited frequently in the post50, which may affect the relationship between the meridional displacement of the western edge of the NPSH and summer temperatures over Japan.

Key words: North Pacific subtropical high, long-term variability, temperature, Pacific-Japan pattern, sea surface temperature