

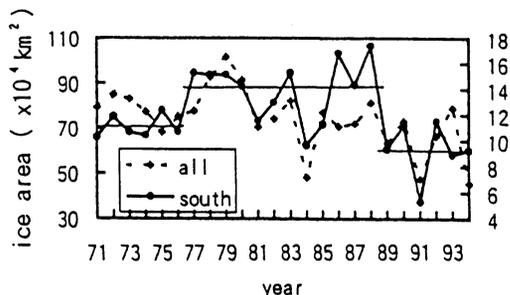
冬季北半球における近年の気候変化と10年規模変動*

渡部 雅浩**・新田 勅***

1. はじめに

ここ数年、太平洋で卓越する10年規模の気候変動に対する関心は高まりを見せている。Nitta and Yamada (1989)をはじめとするいくつかの観測的研究 (Trenberth, 1990; Tanimoto *et al.*, 1993; Trenberth and Hurrell, 1994) によって、1977年頃を境とする中東部熱帯太平洋の海面水温 (Sea Surface Temperature, SST) の高温化と中部北太平洋の低温化、いわゆる Pacific/North American (PNA) によく似た大気のテレコネクション・パターンとそれともなうアリューシャン低気圧の強化など、いくつかの特徴は既に確認されている。

一方、ごく最近になって、1980年代後半の北半球中高緯度に何やら変化が生じていたという話が囁かれはじめている。最初の報告は Walsh *et al.* (1996) で、1989年以降極渦が強い状態が持続していることを示しており、その結果は別の研究によっても確認されている (Tanaka *et al.*, 1996)。また、それとは独立に、Tachibana *et al.* (1996) はオホーツク海南部の海水量が1989年を境に激減していることを報告した (第1図)。日本では、この数年暖冬傾向が続いていることからこの変化が注目を集めており、これに関する研究がいくつかの側面から既に始められている (小出・小寺, 1996; 小寺ほか, 1996; 渡部・新田, 1996; 川村ほか, 1997)。本稿では、この変化がどのようなもので、どの程度の時空間スケールをもっているのか、なにが原因なのか、また太平洋の10年規模変動との関係はどうなのかなど、これから発展すべき議論の端緒を見い



第1図 12~3月のオホーツク海 (破線) およびオホーツク海南部 (50N以南, 実線) の海水面積の年々変動 (Tachibana *et al.*, 1996より)。

出すことを目的としている。

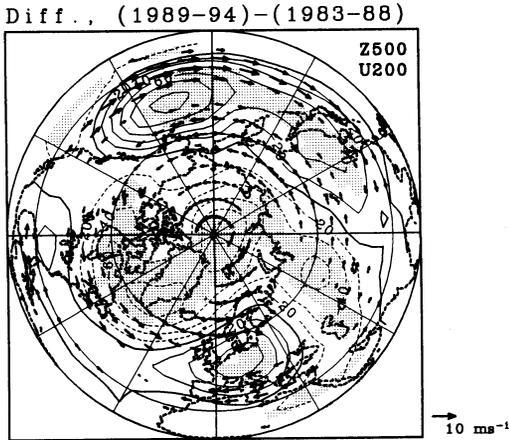
2. 1989年の変化

第2図は、12~2月の500 hPaにおけるジオポテンシャル高度と、200 hPa東西風の1989~94年と1983~88年の差の分布である。高度の差を一見して分かることは、この変化が半球スケールで極域と中緯度の双極 (dipole) 構造をしていることである。帯状性が卓越するこのパターンは等価順圧的であり、温度場の変化もほぼこれに重なっている。当然これに対応して、対流圏上層の亜熱帯ジェットは弱まり (第2図)、成層圏極夜ジェットは強化されている。従って、北半球循環場の変動としては、1989年以降、対流圏から下部成層圏を通して中緯度のユーラシア東部~北太平洋、アメリカ東岸~ヨーロッパでは高気圧性傾向 (高温化) に、極域~ユーラシア中部では低気圧性傾向 (低温化) にあるということになる。これは前節で触れた過去の知見と一致している。また、帯状性が強いといっても東西の非一様は存在し、すでに知られている North Atlantic Oscillation (NAO) や Eurasian Pattern (EU) といったテレコネクション・パターンが大西洋とユーラシアそれぞれに見られる。統計的検定の結果から、1989年を境とするこの変化は、概ね半球スケ-

* Recent climate changes and associated decadal variations in the Northern Hemisphere winter.

** Masahiro Watanabe, 東京大学気候システム研究センター。

*** Tsuyoshi Nitta, 東京大学気候システム研究センター。

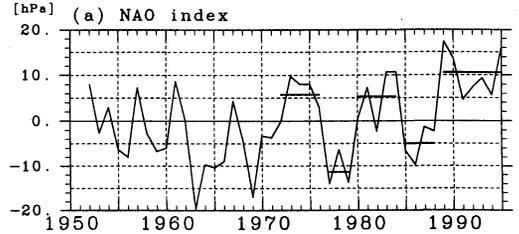


第2図 冬の500 hPaジオポテンシャル高度(等値線)と200 hPa東西風(ベクトル)の、1989年前後6年の差。等値線は20 mごと、破線は負のアノマリを示す。ハッチは高度の差が5%で有意である領域、東西風の差は5%で有意なもののみプロットしてある。

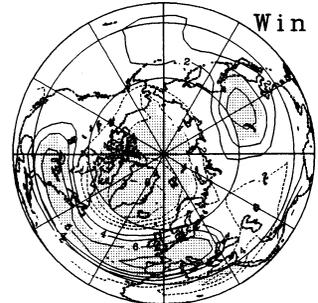
ルの有意な不連続あるいは'ジャンプ'と呼ぶことができる。因みに、第2図のt検定では、5%で有意な不連続がある領域は20°N以北の47.13%に及んでいる。

3. 中高緯度の10年規模変動

では、1989年の変化はそれまでの北半球大気循環に見られなかったタイプの変動なのだろうか？第2図に見られる空間構造にNAOパターンが存在することは述べたが、しばしば使われるNAOのインデックス(Hurrell, 1995)を見ると(第3図a)、確かに1989年冬に大きな変化がある。しかし、興味深いのは、それ以前にも同様の急激な変化が何度か生じており、結果としてかどうかは不明だが、それらが周期10年前後の長周期変動を形作っていることである。実際、1989年以前にNAOインデックスが急変した1977, 1980, 1985年を中心として第2図のような差をとってみると、1989年と類似した、あるいは逆センスのパターンが見られる。また、NMC客観解析データによる1946~1994年の冬平均500 hPa高度場にフィルタをかけずにEOF解析を施すと、残念ながら統計的には独立ではないものの、21%を占める第1成分として第2図および第3図aに非常に良く似たモードが得られる。こうしたことは、1989年の変化が北半球中高緯度に卓越する10年規模変動のあらわれである可能性を示唆してい



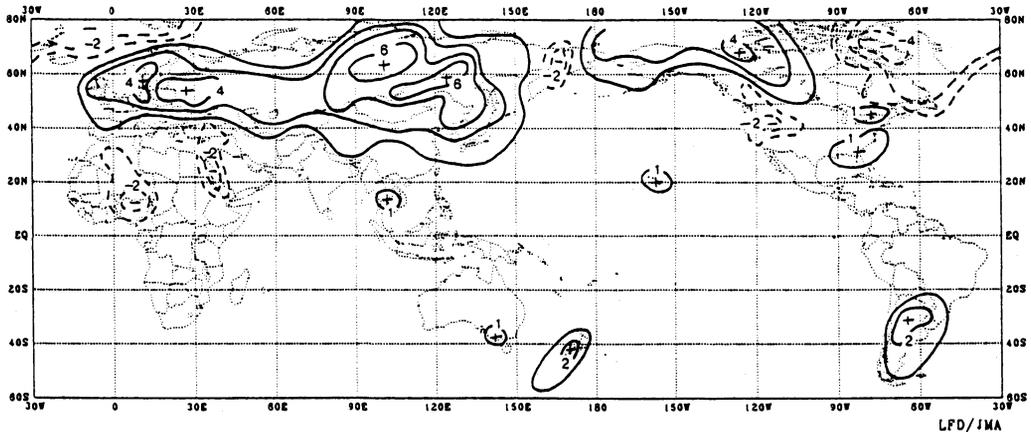
(b) Z500 vs NAO index after 1970



第3図 (a) 冬平均のNAOインデックス(アイスランドとポルトガルにおけるSLPの差)の時系列、および(b) 1970~1995年のNAOインデックスと500 hPa高度場との同時相関。(a)の単位はhPa、(b)の等値線は0.2ごと、ただし0の等値線は除く。破線は負相関を、またハッチは5%で有意な領域を示す。

る。

しかしながら、1989年の変化で大きなアノマリの見られた領域の全てにおいてNAOインデックスと高い相関のある変動が卓越しているかという点、必ずしもそうではない。NAOインデックスと500 hPa高度の同時相関分布(第3図b)では、第2図で北太平洋にあったアノマリに対応する相関が現れない。このことは、北太平洋では第3図aのような10年規模変動のS/N比が高くないことを示唆している。実際に、北太平洋での海面気圧(Sea Level Pressure, SLP)の変動指標となるPNAインデックス(Wallace and Gutzler, 1981)やNPインデックス(Trenberth and Hurrell, 1994)は、NAOインデックスとはかなり違った変動をしているように見える。もっとも大きな相違点は、北太平洋では年々変動の振幅が大きいこと、冒頭で触れた太平洋の10年規模変動のシグナルが強いこと、の2点であろう。第2図の北太平洋に見られる正の高度偏差は、他の領域の変動とはどのような関係にあるのか。Trenberth and Hurrell (1994)はこのシグナルを太平洋の10年規模変動の一部として捉えているが、議論の



第4図 観測された1989年冬の地表気温偏差(気象庁, 1989). 等値線は ± 1 , ± 2 , ± 4 Kで, 破線は負偏差を示す.

余地が残るところである.

第3図aに代表される北半球中高緯度の10年規模変動は, 太平洋の10年規模変動とは独立なのだろうか. どちらも1977年に急激な変化が見られるが, これは偶然だろうか? 1977年に生じた10年規模の大気の変化を捉えるのに, 今までは前後10年ずつの平均状態の差を見ることが多かった. その場合, 確かに太平洋にPNAのようなテレコネクションが卓越する (Nitta and Yamada, 1989). しかし, 前節で述べたように5年ずつの差をとると, アノマリの中心は大西洋に移り, PNAのようなパターンは卓越しなくなる. これは第3図aからも推察できることで, 要するに2つの変動は時間スケールがやや異なっており, 中高緯度の10年規模変動は従来言われている太平洋のものよりも変動の周期が短いことが示唆される. そのことは, 2つの現象が物理的に独立であることを必ずしも意味しないが, 例えば大気-海洋間の関係も各々の変動において違っている. すなわち, 太平洋のモードは熱帯SSTと大気の強い結合を示すが, 中高緯度のモードは熱帯SSTとは直接的な結合が見られず, 中緯度海洋の比較的狭い緯度帯のSSTと関係している (小出・小寺, 1997).

4. 何が変化を引き起こしたのか?

第2節で見たような気候変化は, 季節平均の場に現われている. このことは, 何らかの強制が大気の変化を促していることを強く示唆しているが, 何が最も重要であるかは議論が分かれている.

極渦の変化に注目していた Walsh *et al.* (1996) は,

その原因の可能性として Mysak *et al.* (1990) の提唱する極域気候の数十年規模のサイクルあるいは極域の海水変動を挙げている. 一方, Tachibana *et al.* (1996) は, オホーツクの海水減少にはユーラシアから北太平洋の大気循環の変化が影響しているとしながら, 海水の大気へのフィードバックもあり得ると考えている (本田ほか, 1996).

1989年冬には, 地表気温にも非常に大きな偏差が見られていること (第4図) と関連して, 積雪が重要だと考えるものもある. 渡部・新田 (1996) は, 最大の昇温が見られたユーラシア東部で, ジャンプの前の秋の積雪面積が激減したことを観測データから見出し, 大気大循環モデル (AGCM) を用いた応答実験で観測のアノマリに似た大気および地表気温の応答を得た. すなわち, 彼らはユーラシアの積雪偏差がアルbedo・フィードバックを通して大気への強制として働くという可能性を考えている. また, 小出・小寺 (1996) は, 海水・SST・積雪などの気候システムの内部変数のみならず, 火山噴火のような外力に対しても第2図に似たパターンが得られることから, 1989年の変化が大気の内変動に関係していると解釈している.

5. 議論

第3図bに見られる中高緯度10年規模変動は今まで誰も検出していないのだろうか. 実はそうではない. 注目していないだけで, 過去の文献にはよく似た変動が現れているのである. 例えば Wallace *et al.* (1993) では, 500 hPa 高度, SLP などの EOF 解析から同様のモードを取り出している (彼らの Fig. 2a や Fig. 8 に

は、PNAのパターンとともに、大西洋側にもしっかりシグナルが出ている)。しかしWallace *et al.* はそのモードを太平洋に中心があるPNAの変動であると規定している。また、Lau and Nath (1994) では、大気変動に対する熱帯・中緯度SSTの相対的な役割を調べるためのAGCMによる長期積分を行なっているが、中緯度のSSTにのみ観測値を与えた場合には、やはり第2図によく似た変動が現れている。しかし、彼らはそれについては深く議論していない。この着目点の違いは、彼らの論文の焦点が主に熱帯太平洋SSTと結合した年々あるいは10年規模変動であったこと、またWallace *et al.* の場合、解析に1989年以降のデータが含まれていなかった点などに起因すると思われる。この変動が最近になって騒がれ始めたのは、1989年の大きな変化以来数年のデータの蓄積があって、ようやくその実像が見え始めたためであると言っていると思う。

中高緯度の10年規模変動は、大西洋に強いシグナルをもっている。では大西洋の10年規模変動を調べた過去の研究とはどうつながるのだろうか。よく知られたものは、Deser and Blackmon (1993) と Kushnir (1994) の2つである。ただし、ともにSSTおよび海洋表層の大気変動について解析した研究であり、解析領域も大西洋のみである。Kushnir (1994) の方は期間が1980年までで、対象としている変動も時間スケールがやや長いために、直接対応づけるのは難しいが、Deser and Blackmon (1993) の見出した10年規模変動はおそらくここで言う中高緯度の10年規模変動の一部ではないかと考えられる。その根拠として、彼らの見出した変動の周期は約12年で、ラブラドル海の海水変動と強く結び付いているが、我々の解析でも（ここでは示さないが）同じ結果が得られていることが挙げられる。

第2図に見られる極と中緯度のdipoleパターンは、SLPの差をとると地域的なテレコネクションが消えてよりはっきりしてくる。このdipole構造は実は古くから知られており、Wallace and Gutzler (1981) は、SLPのdipoleが対流圏中層でのPNA、NAOとともに月平均以上の大気場の変動の中で最も起こりやすいパターンであると位置付けている。また、第2図の偏差は成層圏の50 hPa付近の、非常に強い南北のシーソーパターンとも密接に結び付いているが、この成層圏でのdipoleは、熱帯の準2年周期振動(Quasi-Biennial Oscillation, QBO)との関係でも現れることが知られている(Holton and Tan, 1980)。これら

のことはdipole構造が大気のとりにやすいモードであることを示唆するのだろうか。実際、季節以下の時間スケールでは、東西非一様な順圧大気循環のノーマルモードとして(Simmons *et al.*, 1983)、あるいは自由大気中の長周期変動として(Branstator, 1992)、第2図に似たdipoleパターンが取り出されている。それらがここで見ている準定常なアノマリとどのような関係にあるかは、興味深い問題ではないだろうか。おそらくこのことは、中高緯度の10年規模変動が、周期10年前後であることに必然性—物理的理由—があるのかどうかという疑問にも関わってくるだろう。残念ながら、この疑問に答える用意はまだできていない。

1989年の変化および中高緯度10年規模変動に対して、中緯度のSSTはどのような役割を果たすのだろうか。中村ほか(1996)は、中緯度太平洋の比較的狭い領域のSSTに、熱帯のSSTとは連動しない10年規模変動が存在すると報告しており、中高緯度大気の10年規模変動との関係が興味深い。しかし、中緯度SSTの大気に対する重要性という問題に解答を与えるのはそれほど簡単ではない。というのは、この問題が長い間議論されながら未だに決定的な結論に到っておらず、最近ではPalmer and Sun (1985)を始めとしてモデル研究が盛んに行なわれているが(Lau and Nath, 1990ほか多数)、かならずしも一致した結果が得られていないという背景があるためである。Kushnir and Held (1996) はこれら数値実験の結果をレビューした上で、中緯度SSTが中高緯度大気に有意なインパクトをもつ結果が得られた研究では、その大気応答が共通して等価順圧であったと述べている。いずれにせよ、中緯度SSTがどういったメカニズムで大気の応答を引き出すのか、あるいはそうでないのかという問題の解明にはまだしばらく時間がかかりそうである。

6. おわりに

以上、議論すべき問題は多いものの、本稿で述べた事柄を簡潔にまとめると次のようになる。1989年冬季に北半球で生じた変化は、半球規模の気候のシフトあるいはジャンプであり、大気の場合は中緯度—極域のdipole、亜熱帯ジェットの弱化、極域の冷却化、等価順圧の構造などいくつかの特徴を示す。こうした変化は、中高緯度気候システムの10年規模変動の一部と見られる。また、SST・海水・積雪などジャンプに対して重要であると思われるファクターがいくつかあるが、未

だ決定的なことが言える段階ではない。さらに、10年規模変動を深く議論するには観測データの有効期間は短く、今後はGCMによる長期積分の結果なども有効に使って解析を行なう必要があるだろう。冒頭で述べたように、本稿で取り上げた問題は各所で研究が始められたばかりであり、依然 open question である点が多い。本稿が議論の糸口にもなれば幸いである。

謝 辞

本稿の執筆を勧めて下さった東京大学気候システム研究センターの住明正先生に感謝します。また、東京大学の木本昌秀・中村尚両先生には、草稿の段階でアドバイスをいただきました。お礼申し上げます。

参 考 文 献

Branstator, G., 1992: The maintenance of low-frequency atmospheric anomalies, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 1924-1945.

Deser, C. and M. Blackmon, 1993: Surface climate variations over the north Atlantic ocean during winter: 1900-1989, *J. Climate*, **6**, 1743-1753.

Holton, J. R. and H. C. Tan, 1980: The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb, *J. Atmos. Sci.*, **37**, 2200-2208.

本田明治, 山崎孝治, 立花義裕, 竹内謙介, 1996: オホーツク海の海水の存在に伴う大気場への力学的影響について, *日本気象学会予稿集*, **69**, 19.

Hurrell, J. W., 1995: Decadal trends in the north Atlantic oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, **269**, 676-679.

川村隆一, 杉 正人, 栢原孝浩, 佐藤信夫, 1996: 最近の熱帯海水温の変化は温暖化の兆候か?—JMAモデルのアンサンブル気候実験(39年積分)一. *日本気象学会予稿集*, **70**, 40.

気象庁, 1989: 気候系監視報告, **2**, 41.

小寺邦彦, 杉 正人, 川村隆一, 小出 寛, 佐藤信夫, 1996: 近年の冬季北半球循環場の急変とその特徴: モデルとの比較. *日本気象学会予稿集*, **70**, 44.

小出 寛, 小寺邦彦, 1997: 冬季における最近の数十年規模の大気・海洋の変動の特徴について. *天気*, (投稿中).

Kushnir, Y., 1994: Interdecadal variations in north Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions, *J. Climate*, **7**, 141-157.

Kushnir, Y. and I. M. Held, 1996: Equilibrium atmospheric response to north Atlantic SST anomalies,

J. Climate, **9**, 1208-1220.

Lau, N. C. and M. J. Nath, 1990: A general circulation model study of the atmospheric response to extratropical SST anomalies observed in 1950-79, *J. Climate*, **3**, 965-989.

Lau, N. C. and M. J. Nath, 1994: A modeling study of the relative roles of tropical and extratropical SST anomalies in the variability of the global atmosphere-ocean system, *J. Climate*, **7**, 1184-1207.

Mysak, L., D. Manak and R. Marsden, 1990: Sea-ice anomalies observed in the Greenland and Labrador seas during 1901-1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle. *Clim. Dyn.*, **5**, 111-133.

中村 尚, 林 国尧, 山形俊男, 1996: 北太平洋海面水温の長周期変動に卓越する2つのモード. *日本気象学会予稿集*, **70**, 45.

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.

Palmer, T. N. and Z. Sun, 1985: A modeling and observational study of the relationship between sea surface temperatures in the north-west Atlantic and the atmospheric general circulation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 947-975.

Simmons, A. J., J. M. Wallace and G. Branstator, 1983: Barotropic wave propagation and instability, and atmospheric teleconnection patterns, *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1363-1392.

Tachibana, Y., M. Honda and K. Takeuchi, 1996: The abrupt decrease of the sea ice over the southern part of the sea of Okhotsk in 1989 and its relation to the recent weakening of the Aleutian low, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 579-584.

Tanaka, H. L., R. Kanohgi and T. Yasunari, 1996: Recent abrupt intensification of the northern polar vortex since 1988, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 947-954.

Tanimoto, Y., N. Iwasaka, K. Hanawa 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., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the northern hemisphere, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988-993.

Thenberth, K. E. and J. W. Hurrell, 1994: Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Clim. Dyn.*, **9**, 303-319.

Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784-812.

Wallace, J. M., Y. Zhang and K. H. Lau, 1993: Structure and seasonality of interannual and interdecadal variability of the geopotential height and

temperature fields in the northern hemisphere troposphere, *J. Climate*, **6**, 2063-2082.

Walsh, J., W. Chapman and T. Shy, 1996: Recent decrease of sea level pressure in the central Arctic, *J. Climate*, **9**, 480-486.

渡部雅浩, 新田 勲, 1996: 1989年の気候ジャンプとその変動過程. *日本気象学会予稿集*, **70**, 34.

春季大会予稿集の申し込みについて

1997年春季大会(つくば)の予稿集(71号)の予約希望者は下記を記入のうえ葉書またはFAXで学会事務局宛にお申し込みください。すでに定期購読されている会員は不要です。

記

- 1) 氏名(会員番号がわかる場合は会員番号も)
- 2) 送付先または所属(会員番号を記入した場合は省略してもよい)
- 3) 71号(春季大会予稿集)のみの場合;71号のみ.
71号以降定期購読の場合;71号以降定期と記してください。

〒100 東京都千代田区大手町1-3-4 気象庁内

日本気象学会 事務局

TEL 03-3212-8341 内線 2546

FAX 03-3216-4401

E-mail: J90245@sinet.ad.jp

注. *印刷部数が限られているので、購読希望の方は定期購読をお勧めします。大会当日は売り切れとなることがあります。

頒布価格(円)	個人会員	団体会員
71号のみ	2,300	2,500
定期購読	2,000	2,200

予稿集の申込締切りは1997年5月9日(金)です。