

31. ユーラシア大陸における近年の温暖化と大気循環の変動

Warming over the Eurasia continent and Variations of the Atmospheric Circulation in Recent

日下博幸*・安成哲三**

Hiroyuki KUSAKA and Tetsuzo YASUNARI

Abstract; The singular value decomposition (SVD) analysis is applied to examine relationship between lower-tropospheric temperature over the Eurasia continent and atmospheric circulation in the Northern Hemisphere for 30 years from 1967-1996. The cluster analysis using 5-days mean data is applied to detect the change of regime transition. The first mode of the temperature (SVD1) has amplitude in East Asia, the Scandinavian Peninsula and Polar region. The first mode of the atmospheric circulation is closely related to the teleconnection pattern known as PEA with decadal scale. The score time series of this mode shows climatic jump in winters of 1976/77, 1988/89. Similar interannual and interdecadal variabilities are appeared in the regime of 5-days mean as well. On the other hand, the second mode of temperature (SVD2) shows recent warming in the Eurasia continent. This atmospheric circulation mode is similar to the NA and NAO of the teleconnection pattern and seems to be connected strongly with the variability of the Iceland low than the Siberian high. Consequently, fluctuation of the recent lower-tropospheric temperature over the Eurasia continent is probably related with Polar low and atmospheric circulation in the North Atlantic Ocean region. It is found that NAO might play a role for the warming over the Eurasian continent by the isolating to two components; decadal-scale jump and increasing trend with different processes.

KEYWORDS; Atmospheric Circulation, Stationary Wave, Teleconnection, Climatic Jump, Regime Transition, SVD analysis

1. はじめに

地球温暖化などの現象に対して研究を進めることは、自然科学的にも社会科学的にも重要である。しかしながら、気候の変化、変動には様々な時空間スケールが混在するため、その解明は非常に困難である。このような状況の中、Yasunari et al. (1998) は、過去30年間の北半球対流圏下層における気温の3次元的な時空間構造を調べた。その結果、温暖化の極大域であるアラスカ地域を含む北米大陸と、もう一つの温暖化の極大域であるシベリア地域を含むユーラシア大陸において、気温の時空間構造が異なることが明らかとなった。アラスカ地域を中心とする北米大陸における気温変動と大気循環変動の関係については、Trenberth and Hurrell (1994) や Nitta and Yamada (1989) などが10年/数10年スケール変動を中心として研究を行っている。また、より大きな空間スケールについては、近年の半球規模の気候変化を対象として、Kodera et. al (1996) などが、いくつかの興味深い研究をおこなっている。そこで、本稿では研究例が比較的少ない冬季のユーラシア大陸における気温変動の時空間構造をより詳細に調べるとともに、大気循環変動との関係について報告する。

* (財) 電力中央研究所環境科学部 Environmental Science Department, Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko 1646, Abiko-shi, Chiba-ken, Japan, 270-1194.

** 筑波大学地球科学系 Institute of Geoscience, Univ. of Tsukuba.

2. 解析方法

Yasunari et.al (1998) の結果、ユーラシア大陸上の昇温域の中心は水平方向に北緯55度、東経90度付近、鉛直方向には850hPa高度付近であることが分かった。本研究では明瞭な昇温域であるユーラシア大陸上の850hPa気温の詳細な時空間構造（統計的に特徴的なパターン）を調べるために、主成分分析（経験的直交関数展開:EOF）を行った。データ行列には、ユーラシア大陸上の30度以北における43格子点の850hPa気温を変量とし、解析期間である1966年から1996年までの12、1、2月の90カ月がサンプルとした。850hPa面の気温は、気象庁長期予報課編集の半球解析データの月平均値を用いた。この結果得られたスコア時系列から12、1、2月の各年の冬平均値を求め、これを年々変動成分とした。スコア時系列はそのモードの強さを意味する。次に、気温変動と大気循環変動の関係を調べるために、気温のパターンと結合の強い大気循環パターンを抽出できる特異値分解分析（Singular Value Decomposition analysis; SVD）を行った。さらに、定常波の変化と850hPa気温の変化の関係を熱収支の視点から検討するために、定常波による顕熱渦フラックスの年々変動を調べた。気温に関するデータ行列は、主成分分析で用いたものと同じである。ただし、大気に関するデータ行列の変量は、北半球の30度以北における81格子点の500hPa高度である。500hPa高度は850hPa気温と同じく気象庁長期予報課編集の半球解析データの月平均値を用いた。

最後に天候レジームの遷移過程の変化を調べた。レジームの遷移過程を調べる場合、大気循環の時間発展が位相空間内の軌道(trajecory)として表すことができると仮定して、以下の二つの手法が用いられる。一つは、Kimoto and Gill (1993) のように主成分分析の各モードで張られる位相空間内のノンパラメトリックな分布関数として、確率密度関数を調べ、現実大気のモードを同定し、得られた主要なモードに投影されるデータをマルコフ過程により調る方法であり、もう一つはCheng and Wallace (1993) のようにクラスター分析によってモードを確定する方法である。本研究では、対象としているユーラシアの気温に影響を及ぼしていると考えられるレジームの遷移過程を調べるために、気象庁長期予報課編集の半月平均データをSVD解析を行い、得られたスコアではられる軸で、クラスター分析を行った。クラスター分析によって確定したモードの遷移過程の変化は、Kimoto and Gill (1993) にならい、マルコフ過程により推定した。

3. 結果

図1a,bはそれぞれ気温および大気循環場に関する特異値分解の第1モード(SVD1)の空間パターンである。等値線は結合の強さを表す因子負荷量と考えて良い。このモードの寄与率（全特異値の2乗和に対する割合）は36.3%である。気温のモードは、東アジアとスカンジナビア半島付近に正のアノマリーを持ち、東シベリア海からカスピ海付近の北東から南西方向に負のアノマリーを持つ。この結果は、東アジアやスカンジナビア半島で気温が平年より高いと、中央アジアやカスピ海付近では気温が平年より低くなる傾向が、過去30年間に於いて統計的に見られるという意味を持つ。実際、過去30年間の地上気温のステーションデータからも、同様な傾向が見られた（図省略）。大気循環のモードは、上記のアノマリーに加えて、グリーンランド付近に負のアノマリー、太平洋に正のアノマリーを持つ。グリーンランドから東アジアにかけてユーラシア上の波列パターンである。図2の実線は、このモードのスコア時系列の年々変動成分を表している。スコア時系列には71/72, 81/82, 88/89年の不連続が見られる。つまり、70年代前半および80年代末以降94年までこのモードが強かったことを意味している。以上の結果から、この気温のモードは近年の半球スケールでの大気循環の10年スケール変動と最も結合の強いモードであると考えられる。図3は東アジア

領域平均の北向きの顕熱渦輸送の時系列である。定常プラネタリー波の年々から10年規模の変動が、北大西洋域および東アジア域における顕熱の北向き輸送に大きく寄与していることが分かる。図4aは気温の特異値分解の第2モード(SVD2)の空間パターンを表している(寄与率は19%)。この気温のモードはユーラシア大陸全体に正のアノマリーを持ち、中心は北緯60度、東経90度の中央シベリア付近であり、ユーラシアにおける過去100年間の地上気温の正のトレンドの中心と一致する。一方、近年のユーラシアの温暖化を表しているSVD2の強かった冬と弱かった冬の海面気圧を比べると、シベリア高気圧の中心気圧には大きな差は見られなかった。むしろ、シベリア高気圧の西への張り出しおよび、北大西洋上のアイスランド低気圧とその北側のグリーンランド高気圧の強弱に明瞭な差が見られた(図4b)。図2の破線はこの第2モードのスコア時系列の年々変動成分を表している。スコア時系列には正のトレンドが見られるのと同時に、80年代前半に正の極大が見られる。また、76/77年、88/89年にも若干の不連続が見られる。しかしながら、気温のモードのスコアは、よりトレンド成分が強く、大気スコアのような明瞭な不連続は見られなかった。以上のことから、このモードはユーラシア大陸の地上から対流圏下層における近年の温暖化、特に80年代の暖冬を表したモードであると考えられる。ただし、このモードと結合する大気モードには10年スケールの変動が存在していると考えられる。また、80年代後半から現在においては、上記の二つの大気モードが卓越している。このことを考えると、90年代のユーラシアの気温変動は、両モードの影響を極めて強く受けており、混在したパターンとして現れている可能性がある。

図5を見ると、1978/79-1988/89年の11年間で年平均2回の第2クラスターが1971/72-75/76年および、1988/89-1992/93年の5年間では年平均6回以上の割合で出現していることが分かる。1993/94年以降現在まで、また出現回数は減少している。この逆パターンである第5クラスターは、1980年代の方が1970年代および1990年代より出現回数は数倍多い。この結果は、第2クラスターの減少と対応している。一方、第3クラスターは過去30年間で出現率は増加傾向が明瞭に見られる。また、第3章、第4章のSVD、EOFの結果から定義したシベリアの暖冬年には、第3クラスターが持続して出現する傾向が見られる。しかしながら、(図6)のマルコフ遷移の結果とも合わせて見ると、1988/89年以前はその後第1クラスターが出現して第3クラスターの持続が断たれる傾向であったのに対し、1989年以降は第2クラスターの出現により持続が絶たれる傾向となっていることがわかる。これらの結果は、1988/89年に明らかにレジームの遷移過程が変化したことを意味する。

4. まとめ

特異値分解の結果得られた気温の第1モード(SVD1)は、先に行われた気温の主成分分析の結果において、第3モードとして現れている。逆に、気温の主成分分析の結果得られた第1モードは、特異値分解においては気温の第2モードとして現れた。このことから、ユーラシアの対流圏下層における気温の年々変動に対しては、ユーラシア上の波列パターンの10年スケール変動と密接な関係があると言えるが、しかしながら近年の温暖化傾向に対してはそれほど強い関係があるとは言えない。むしろ、近年の温暖化傾向は、北大西洋上の気圧の振動の変化と結合している可能性がある。一方、特異値分解の第3モードとして現れたシベリアの南北で気温が振動するモードのスコアは年々変動成分が卓越しており、このモードの強かった冬と弱かった冬を比べると、シベリア高気圧に大きな差が見られた(図省略)。したがって、ユーラシアの気温の年々変動とシベリア高気圧の年々変動には関係があると考えられるものの、温暖化や10年/数10年スケール変動に対する直接的な関係の有無については、この解析からは断定することはできない。

以上の結果から、過去30年間の冬季ユーラシアにおける対流圏下層気温の変動を、近年の半球規模の10年スケールの気候変動に関する成分とトレンドとしての温暖化に関する成分に分離することができた。ただし、温暖化の成分が二酸化炭素などの温室効果ガスの増加によるものかどうかについては、さらなる詳しい解析が必要である。

参考文献

- [1] Cheng, X. and J.M.Wallace: Cluster analysis of the northern hemisphere wintertime 500hPa height field: spatial patterns., J.Atmos.Sci., 50, 2674-2696 (1993).
- [2] Kimoto, M. and M.Gill : Multiple flow regimes in the Northern Hemisphere winter, part 2: Sectorial regimes and preferred transitions., J.Atmos.Sci., 50, 2645-2673 (1993).
- [3] Kodera, K. , M.Chiba, H.Koide, A.Kitoh and Y.Nikaidou : Interannual variability of the winter stratosphere and troposphere in the Northern Hemisphere., J.Meteor.Soc.Japan., 74, 365-382 (1996).
- [4] Nitta, T. and S.Yamada : Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation., J.Meteor.Soc.Japan, 67, 375-382 (1989).
- [5] Trenberth, K.E. and J.W. Hurrell : Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific., Clim. Dyn., 9, 303-319 (1994).
- [6] Yasunari, M., Nishimori and T., T. Mito : Trends and decadal-scale variations of the surface and lower-tropospheric temperature in the Northern Hemisphere from 1964-93. J.Meteor.Soc.Japan, 76, 517-531 (1998).

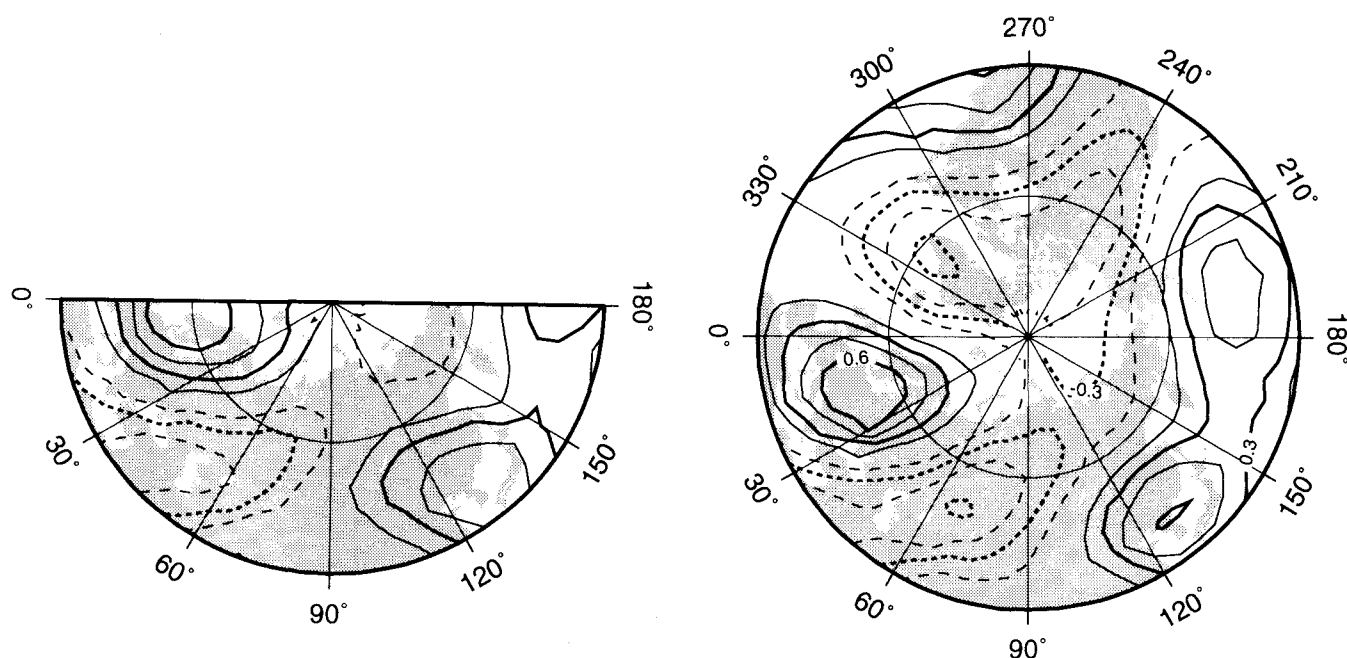


図1 SVD1の空間パターン (heterogeneous regression map). (a) 850hPa気温, (b) 500hPa高度
実線が正の相関、破線が負の相関を意味する。等値線間隔は0.15。

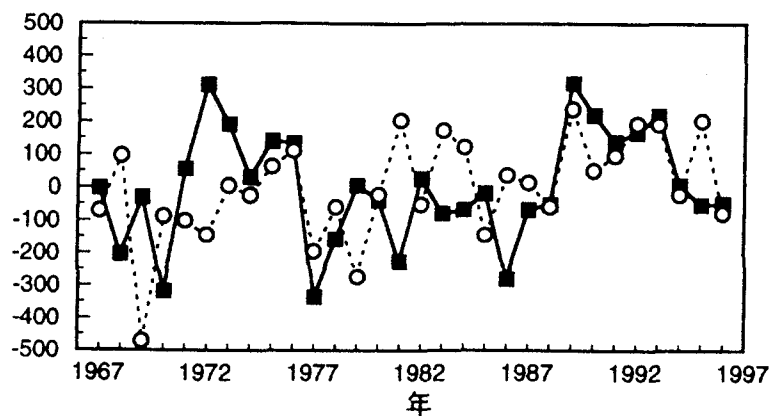


図2 SVD1およびSVD2の展開係数（スコア時系列）の年々変動成分。実線がSVD1,破線がSVD2.

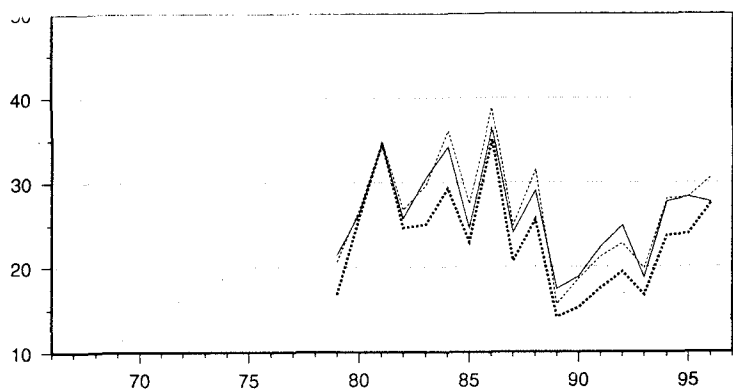


図3 北向きの顕熱渦輸送量（standing eddy heat flux）。SVD1の正の極大域である東アジア平均値。

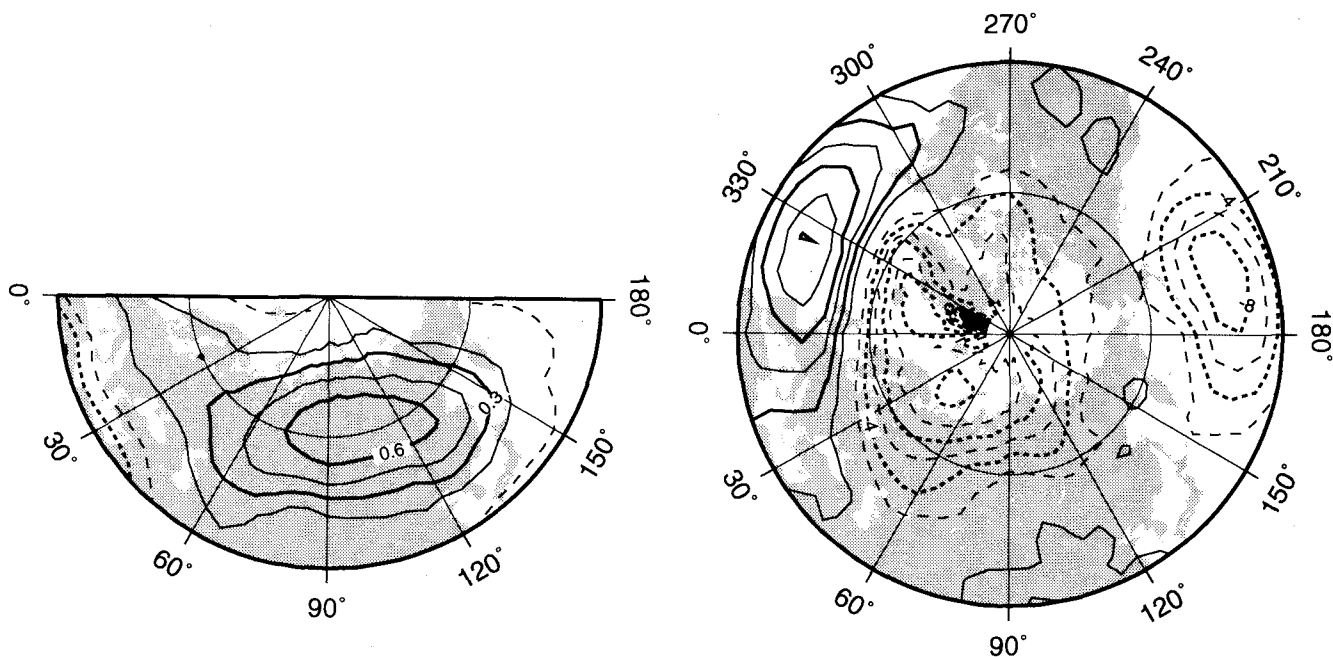


図4a SVD2の空間パターン(heterogeneous regression map).実線が正の相関、破線が負の相関を意味する。等値線間隔は0.15。850hPa気温。

図4b SVD2の強かった冬の海面気圧から弱かった冬の海面気圧の差を表した合成図。実線は正偏差で破線は負の偏差を意味する。等値線間隔は2hPa。

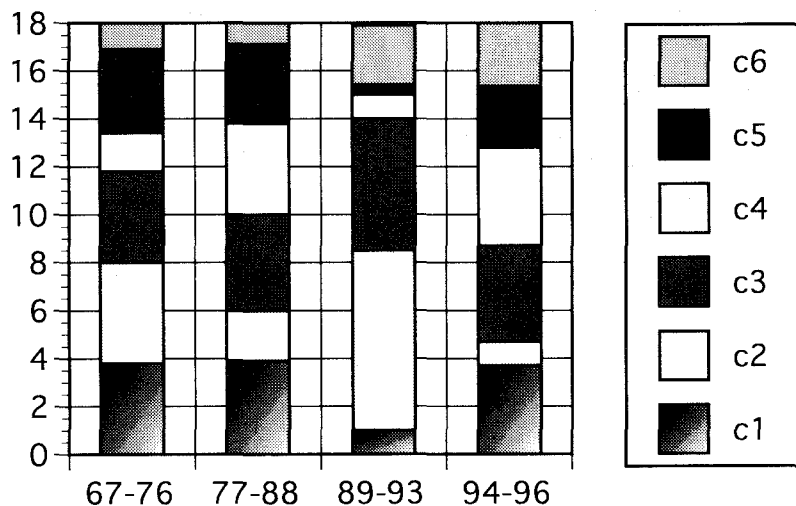


図5 各期間におけるクラスターの出現頻度（出現回数/年）

c1 Northern Asian (NA) pattern

c2 Polar Eastern Asia (PEA) pattern

c3 NA+North Atlantic Oscillation (NAO) pattern

c4 Reverse NAO pattern (NAO の逆偏差)

c5 Reverse PEA pattern (PEA の逆偏差)

c6 その他

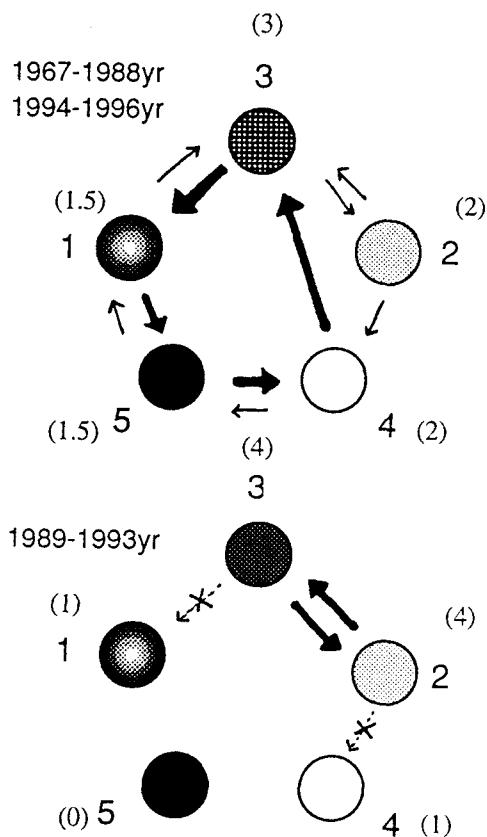


図6 天候レジームの遷移過程の変化

c1～c6は図5のクラスター番号に相当。