

種々のパターン抽出手法による日本周辺冬季 500hPa日平均温度場のパターン抽出

PATTERN EXTRACTION OF 500 HPA DAILY TEMPERATURE FIELD SURROUNDING JAPAN USING VARIOUS PATTERN RECOGNITION METHODS

井芹慶彦¹・西山浩司²・神野健二³・河村明⁴

Yoshihiko ISERI, Koji NISHIYAMA, Kenji JINNO and Akira KAWAMURA

¹正会員 修士 (工学) 特任助教 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

²正会員 博士 (工学) 助教 九州大学大学院 工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)

³正会員 工博 教授 九州大学大学院 工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)

⁴正会員 工博 教授 首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

The EOF analysis has been extensively utilized for the analysis of meteorological field. However, some pitfalls of EOF have been also pointed out. Recently, The SOM has been suggested as a nonlinear classification method. This study compares the pattern extraction capability of the SOM and the EOF by applying both methods for 500 hPa daily temperature field surrounding Japan. The extracted field patterns are compared with heavy snowfall events which mainly occurred in the area along the Japan sea. Both the SOM and the EOF with cluster analysis succeeded in extracting the synoptic fields which seem to be related to the occurrence of heavy snowfall. Moreover, similar synoptic fields were identified by both methods as the patterns related to the heavy snowfall events. The combining use of the SOM and the EOF is likely to provide more reliable identification of synoptic patterns.

Key Words : SOM, EOF, pattern extraction, pattern variations, 500hPa temperature field, snowfall

1. 研究背景と目的

気象場を解析する際には、気象場のパターン抽出がしばしば行われる。気象場の変動パターン抽出にはEOF (Empirical Orthogonal Functions) 解析が従来より用いられてきた¹⁾。しかし、EOF解析は優れた変動パターン抽出能力を持つ一方で問題点も指摘されており、例えば実際には存在しない見かけ上のパターンを抽出する危険性などが指摘されている^{2),3)}。一方近年では、SOM (Self-Organizing Maps) というパターン認識手法が気象データ解析に適用され始めている^{4),5),6)}。しかし、SOMの気象データ解析への適用は近年導入されたものであるため、気象データ解析におけるSOMの利用方法は未だ試行錯誤の段階にあるといえる。従って、EOFとSOMの相違を明確にし、気象データ解析におけるSOMの利用方法の方向性を検討することは重要である。

EOFは多変量解析手法として非常に有効であるため気象分野では、格子点データなどの空間分布データに対してEOFはしばしば用いられてきた。従って本研究ではまず、日本周辺領域 (東経120度～東経

150度、北緯30度～北緯50度) における冬期500hPa日平均気温場の格子点データを解析対象とした。次に同データに対し、SOM、EOF、EEOF (Extended Empirical Orthogonal Functions) をそれぞれ適用し、各手法で抽出された気温場を比較した。500hPa高度の気温は大雪の発生と関わりが深く、実際、輪島における500hPa高度の気温は大雪発生の目安として広く用いられている^{7),8)}。従って、各手法が物理的に意味のある場を抽出しているのであれば、各手法で得られた500hPa日平均気温場のパターンは、大雪の発生と強く関連していると考えられる。

そこで本研究では次に、得られたパターンと実際の現象との対応を検討するため、日本海側を中心とした32気象官署における日降水量を基に大雪発生日を定めた。そして、大雪発生と関連のある気温場がSOM、EOFの両手法でそれぞれ適切に抽出されているかを比較検討した。

2. 用いたデータ

本研究では、NCEP/NCAR再解析データを解析に

用いた。解析に用いた変数は、東西2.5度間隔の格子点における、500hPa高度日平均気温である。解析対象領域は東経120度～東経150度、北緯30度～北緯50度であり、同領域上の計117格子点を用いた。解析対象期間は、1979年12月1日～2007年2月28日における冬季（12月～2月）であり、計2527日のデータを用いた。本研究では、これら117格子点で表される、計2527日分の日本周辺の冬季500hPa気温場に対して、SOM, EOF, EEOFを適用し、得られたパターンを比較した。

3. 用いた手法

本研究では、パターン抽出手法としてSOM, EOF, EEOFの3手法を用いた。

(1) SOM

SOMとはT. コホネンによって提案されたパターン認識手法であり工学、医学、農学等の幅広い分野で用いられている⁹⁾。SOMは近年では気象分野でも用いられており、気象場のパターン認識等に利用されている^{4),5),6)}。

通常SOMは入力層と競合層から成る2層構造のニューラルネットワークである。SOMアルゴリズムでは、入力層から取り出した入力ベクトル（分類したいデータ）を基に反復学習することで、入力ベクトルのパターンを学習する。抽出されたパターンは低次元上（通常は二次元平面）に敷き詰められているノード上に配置されている。各ノード上に配置されたパターンは、参照ベクトルという多次元ベクトルで表現されており、各ノードには一つの参照ベクトルが対応している。参照ベクトルは、SOMマップ上での距離が互いに近いもの程似ており、距離が遠いもの程互いに異なるという性質がある。また、反復学習により入力データのパターンが参照ベクトルへと学習された後、各入力ベクトルは自分と最もよく似た参照ベクトル（ユークリッド距離の最も小さな参照ベクトル）の属するノードへと分類される。

以上のように、SOMアルゴリズムを適用すると、①反復学習による一般化されたパターンの抽出、②抽出されたパターンの二次元平面上での相互比較、③抽出されたパターンをもとにした入力データの分類、等を行うことができる。

(2) EOF

主成分分析 (PCA; Principal Component Analysis) は、気象分野では経験的直交関数展開 (EOF) として、気象場の空間変動パターン抽出等に広く用いられている¹⁾。

EOFでは、互いに直交する空間パターンがEOFモードとして抽出される。各EOFモードと入力データの積を取ることで、各EOFモードの強さを表す新しい変数 (EOFスコア) を作成することができ、作成された変数の時系列は、EOF時系列と呼ばれる。EOF時系列同士も互いに直交する性質があり、その

ため、各EOFモードおよびEOF時系列は互いに（統計的には）独立して元のデータの変動を表すとみなせる。故に、EOFは元のデータの変動を効率的に、少数の空間モードおよび変数へと要約できる手法として、気象データ解析に広く用いられてきた。

(3) EEOF

EOF解析は効率的なデータ圧縮手法である一方で、気象データ解析を行う上で欠点があることも指摘されている^{1),2)}。例えば、変動場が進行波によって支配されている場合、波の位相が90°移動した場を、EOFは互いに異なる変動場として抽出してしまう¹⁾。そこで、進行波に伴う変動パターンを抽出する手法として、EEOFが提案されている¹⁾。EEOFでは、時間的遅れを伴うデータを入力とすることで、進行波に伴う変動場を抽出できる。本研究では、2日分までの遅れ時間を考慮したデータをEEOFの入力とした（下記を参照）。



4. 500hPa日平均気温場のパターン抽出

解析対象領域（東経120度～東経150度、北緯30度～北緯50度）における、1979年12月1日～2007年2月28日の冬季（12月～2月）500hPa日平均気温場に対し、3つの手法 (SOM, EOF, EEOF) をそれぞれ適用し、抽出されたパターンを調べた。

まず、図-1には、500hPa日平均気温場に対してSOMを適用して得たSOM-map（以降マップとよぶ）における、ノード1, 5, 10, 51, 55, 60, 91, 95, 100の参照ベクトルを等値線で示す。まずマップに抽出されたパターンの全体的な傾向を見ると、マップ中段～上段は解析対象領域内に寒気が南下しており、特にマップ最上部では、強い寒気が南下している。マップの左上隅（ノード91）と右上隅（ノード100）は、-40° 近くの非常に強い寒気が北海道の北部まで南下している。しかしマップ左上のパターンは、九州の南端が-10°程度、マップの右上のパターンは、九州の南端が-19°程度である。即ち、マップ右上のパターンはマップ左上のパターンと比べ、日本全域が寒気に覆われているといえる。

また、マップ最上段中央部では、シベリアに寒気が見られ、サーマルトラフ（等温線の谷）が北西から南東を向いている。マップ中段でも寒気の南下は見られるが、上段に比べると南下は弱い。マップの中段左、中段右ともに北海道上空への寒気の流入が見られるが、マップの中段左では九州南端で-12°、

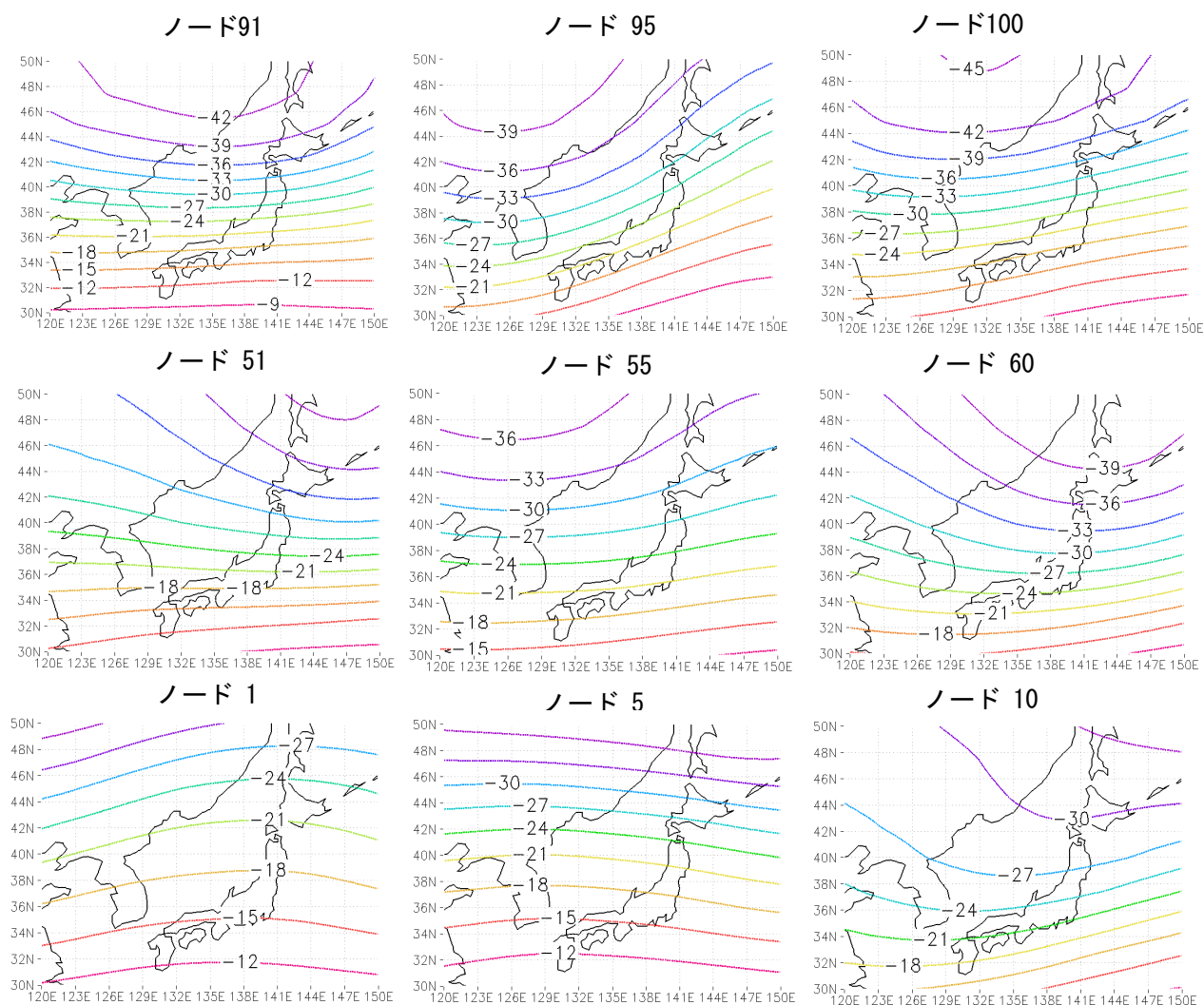


図-1 SOMを用いて得た500hPa日平均気温場の等温線図。等温線は3度間隔で描いている。SOM-マップ上におけるノード1, 5, 10, 51, 55, 60, 91, 95, 100の参照ベクトルを示している。なおマップ上で、ノード番号はマップ左下隅を1, 右下を10, 左上を91, 右上を100とし、左から右に、下から上に増加するように定めている。

中段右では九州南端で -18° となっており、マップ右側は、寒気が日本により深く流入している。一方マップ下段では、寒気の顕著な南下は見られない。但し下段右には、領域右上に寒気がやや流入している。

図-2には、500hPa日平均気温場に対してEOFを適用して得た、EOF1, 2, 3の主成分係数を示す。EOF1 (寄与率46%)は、変動の中心が札幌よりやや西の日本海上に見られる。EOF2 (寄与率19%)では、領域左上のシベリア側に変動の中心がある。また、シベリア側の変動と逆符号の変動が、東北地方の東方海上に見られる。EOF3 (寄与率は12.8%)は、九州西方の海上に変動の中心が見られ、それと逆符号の変動が領域右上に見られる。

得られたEOFをEOF2, EOF1, EOF3の順に見ると、それぞれ変動の中心が、左上, 中央やや上, 右上と変動中心が西から東へ変化している。従って、EOF1, 2, 3は寒気の西から東への移動を、それぞれ異なる空間モードとして抽出している可能性が考えられる。このように変動の時間的変化を考慮すべき

時には、次に示すEEOFにより変動中心の時間的な移動が抽出されることが期待される。

図-3は、500hPa日平均気温に対してEEOFを適用して得た、EEOF1の主成分係数である。図-3より、おおよそ北緯 42° ～北緯 45° に存在する変動の中心が西から東へ移動していることがわかる。即ち、3日間規模で対象領域内の変動を調べた場合、対象領域やや左上から東進する変動が最も支配的であるといえる。

以上のように、日本周辺の500hPa高度気温場に対して、3つのパターン抽出手法を適用したところ、SOMは実際に出現した500hPa高度場そのものと考えられる空間パターンを抽出し、EOFは最も変動の大きな領域を抽出し、EEOFは、おおよそ北緯 42° ～ 45° を中心として東進する変動場を抽出した。

5. 大雪発生日における、各手法が同定した気温場の比較

第5章では、主に日本海側を中心とした大雪発生

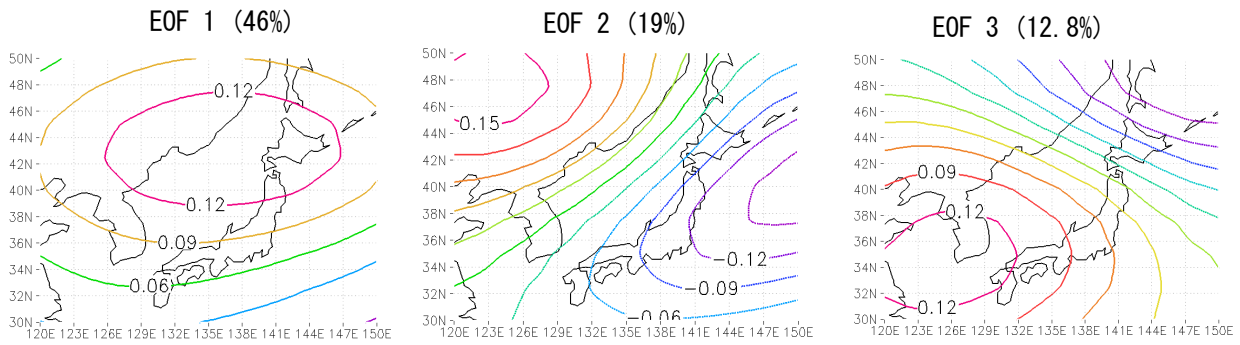


図-2 EOF1, 2, 3の主成分係数. 括弧内の数字は寄与率を表す. 等値線は全て0.03間隔である.

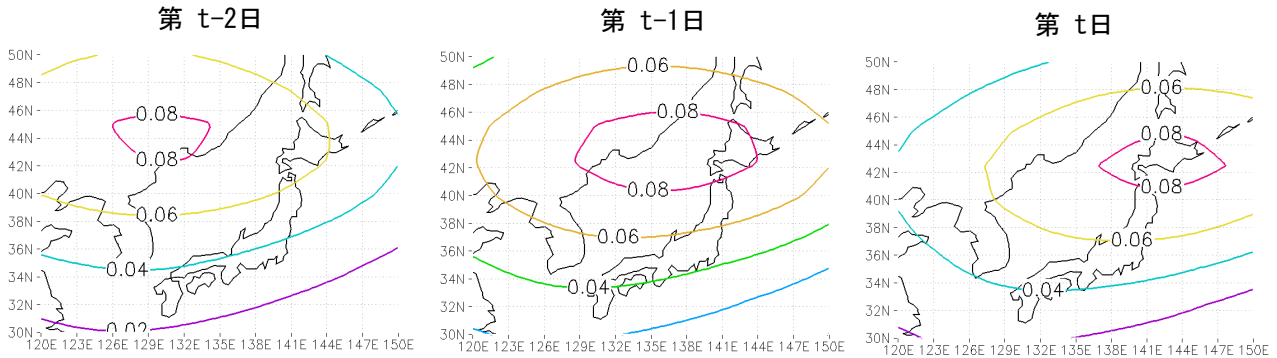


図-3 EEOF1の主成分係数. 等値線は全て0.02間隔である.

と対応する500hPa日平均気温場（以降は単に気温場とよぶ）の抽出能力を、SOMとEOFで比較する。なおここでは、大雪が発生したその日における気温場の特徴を調べるため、遅れ時間を伴う変動場を抽出するEEOFは、比較対象から除外する。

本章の解析は以下の手順で行った。まず日本海側を中心とした計32気象官署を選出した（図-4）。次に、対象とした32気象官署のうち、5地点以上が日降水量15 [cm/day]以上となった日を、大雪発生日と定めた。

次にSOMマップ上で、大雪発生日が数多く分類されたノードの参照ベクトル（即ち気温場）を、SOMによって同定された大雪発生日の500hPa日平均気温場と判断した。一方EOFでは、まずEOF解析の結果をクラスター分析し、解析対象の2527日を100個のクラスターに分類した。更に、各クラスターに分類された全ての日の気温場を各グリッド毎に平均することで、100個の各クラスターが表す気温場を求めた。そして、大雪発生日が数多く分類されたクラスターが示す気温場を、大雪発生日の気温場と判断した。このようにして得た、SOMによって同定された大雪発生日の気温場、EOF解析の結果をクラスター分析することで得られた大雪発生日の気温場、を第5章では比較した。

(1) SOMで同定された大雪発生日の気温場

ここではまず、SOMによって同定された、大雪発生日の500hPa日平均気温場を調べる。図-5には、SOMの入力とした2527日分の気温場が、マップの各ノードにそれぞれ分類された個数を表す。図-6に

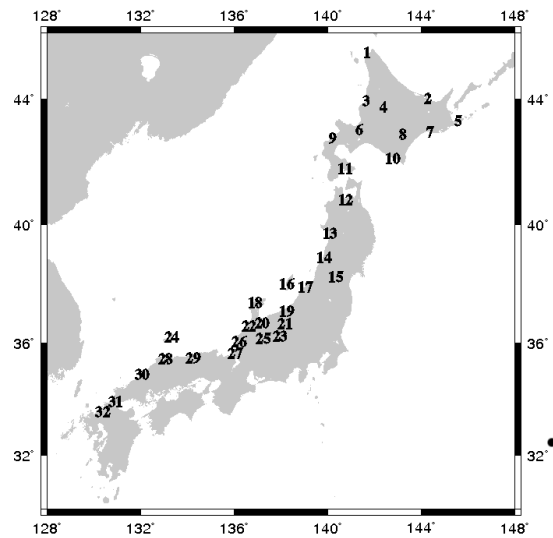


図-4 解析対象とした32気象官署

は、計211日の大雪発生日がマップの各ノードに分類された個数を示す。まず、図-6より大雪発生日には、マップ左上隅、右上部のパターンに相当する気温場が現れることが多いことが分かる。一方、その他のノードの気温場が出現している日は、大雪の発生回数が非常に少ないことが分かる。次に、大雪発生日にそれぞれ17回出現している、ノード69とノード97のパターンを図-7に示す。ノード69、97ともに、-36度の等温線が青森の北端に位置しており、強い寒気が南下していることが分かる。特にノード69の気温場は、出現回数23回中17回が大雪発生となっており、大雪発生と非常に関連の強い気温場であることが推察される。また、大雪発生日にはノー

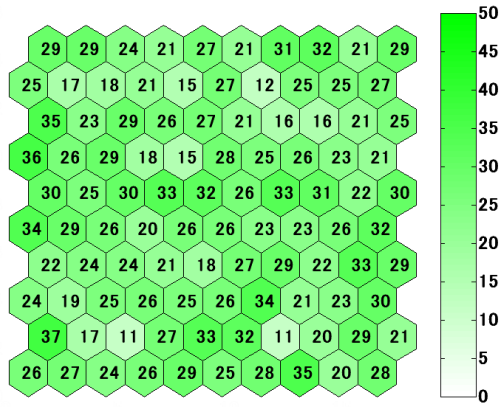


図-5 SOMマップの各ノードに分類された入力ベクトルの数. ノード内の数字はそのノードに分類された入力ベクトルの数を表す.

ド69周辺のノードの発生回数も高いが, SOMマップの性質より, それら気温場はノード69の気温場と基本的には似ていることが容易に分かる. 以上のようにSOMを用いた場合, 大雪と発生に関連が強い気温場を感覚的に容易に把握できた.

(2) EOF解析の結果をクラスター分析して得た大雪発生日の気温場

ここでは, EOF解析の結果をクラスター分析して得た, 大雪発生日の500hPa日平均気温場を調べる. 具体的にはまず, 解析対象とした2527日の各日におけるEOF1, 2, 3のスコア値を計算した(下記を参照).

$$\begin{pmatrix} EOF1_{スコア_{t=1}} & EOF2_{スコア_{t=1}} & EOF3_{スコア_{t=1}} \\ EOF1_{スコア_{t=2}} & EOF2_{スコア_{t=2}} & EOF3_{スコア_{t=2}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ EOF1_{スコア_{t=2527}} & EOF2_{スコア_{t=2527}} & EOF3_{スコア_{t=2527}} \end{pmatrix}$$

上記の行列の各行を各インプットとみなしてウォード法¹⁰⁾を適用し, 2527日を100個のクラスターへと分類した(図-8). なお, 100個のクラスターとしたのは, SOMで抽出したパターン数と一致させるためである. 図-9には, 各クラスターに分類された日数を, 大雪発生日とそれ以外に分けて棒グラフで示した. 図-9より, クラスター16, クラスター51で示される気温場が発生した場合は大雪発生となる場合が多いように見える. クラスター16, クラスター51が示す気温場を図-10に示す. 図-10より, クラスター16の気温場はノード97と, クラスター51の気温場はノード69と似ており, 両手法ともに大雪に関連した場として抽出された場に大きな違いは見られなかった. しかし, 大雪に関連したパターンを直感的に把握したい場合, SOMではマップ上でほぼ連続的にパターンが変化するため, マップ上部のパターンは領域北側から強い寒気が南下しているパターンであることが容易に分かる. しかしEOFクラスター解析から得られたパターンは, 1次元上(図-8を参照)に並べられているため, 結局どういったパターンが大雪に関連しており, 逆にど

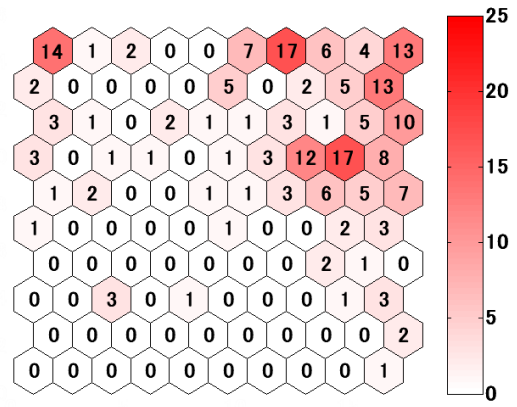


図-6 大雪発生日の入力ベクトルが, SOMマップの各ノードに分類された数. ノード内の数字はそのノードに分類された入力ベクトルの数を表す.

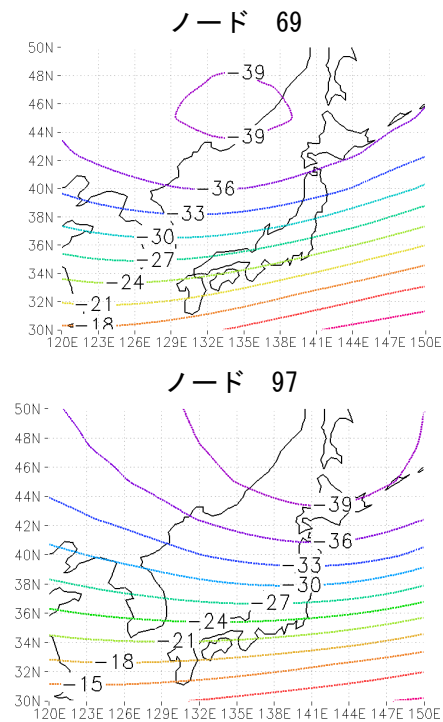


図-7 ノード69, ノード97の参照ベクトル.

ういったパターンが関連はないのかといった判断を容易には行えなかった. また, EOF解析の結果を基にクラスター分析を行う場合, いくつかのEOFモードを取り出してクラスター分析にかけるか, どのクラスター分析手法を用いるか, といった点について任意性が生じる.

なお, 以上のようにノード97(クラスター16), ノード69(クラスター51)で表される気温場はSOM, EOFの双方で大雪発生と関連が強い気温場として抽出されており, これら気温場は実際に大雪発生との関連が強い可能性が高い. 実際, SOMはEOFで得られた空間モードの実存性の検討にも用いられており⁶⁾, SOMとEOFを併用して空間パターンを抽出することで, より信頼性の高い空間パターンの抽出を行えると考えられる.

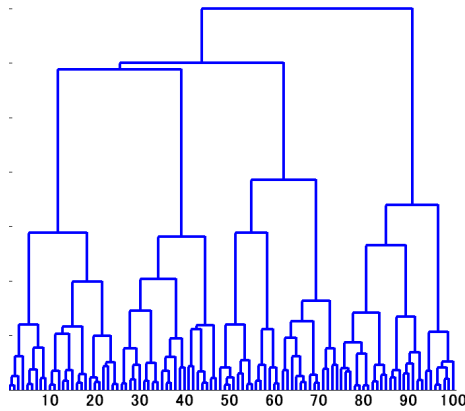


図-8 EOFスコアに対してウォード法を適用して得た樹形図

7. 結論

本研究では、日本周辺の500hPa日平均気温場に対して、SOM, EOF, EEOFを適用し、得られたパターンを比較した。その結果、SOMは出現する気温場そのものと考えられる気象場を、EOFは日単位で見た場合の変動の大きな領域を、EEOFは数日規模(この例では3日規模)で見た場合の変動の大きな領域を抽出した。また、大雪発生日に対して、SOMで得られた気温場、EOF解析の結果をクラスター分析して得た気温場、を比較した。その結果、両手法ともに大雪との関連が示唆される気温場が抽出されており、更にそれら抽出された気温場は互いに良く似ていた。なお、SOMではデータ中に存在する空間パターンの全体的な傾向をより直感的に容易に比較できた。SOMで得られたパターンとEOF解析で得られたパターンを比較することで、より信頼性のある空間パターンを抽出できると考えられる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、富山大学川村隆一教授には大変有益なご助言を頂きました。ここに謝意を表します。また、査読者の方々からは示唆に富むコメントを頂き深く感謝します。

参考文献

- 1) Hannachi, A., Jolliffe, I.T., et al.: Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review, *International Journal of Climatology*, Vol.27, No.9, pp.1119-1152, 2007.
- 2) Dommengat, D., and Latif, M.: A cautionary note on the interpretation of EOFs, *Journal of Climate*, Vol.15, No.2, pp.216-225, 2002.
- 3) Reush, D.B., Alley, R.B., et al.: Relative performance of self-organizing maps and principal component analysis in pattern extraction from synthetic climatological data, *Polar Geography*, Vol.29, No.3, pp.188-212, 2005.
- 4) Cavazos, T.: Using self-organizing maps to investigate extreme climate events: an application to wintertime precipitation in Balkans, *Journal of Climate*, Vol.13, No.10, pp.1718-1732, 2000.
- 5) Nishiyama, K., Endo, S. et al.: Identification of typical

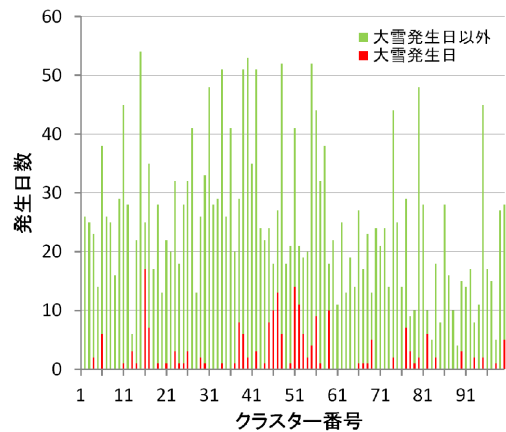


図-9 各クラスターの発生日数と大雪発生日数。横軸はクラスター番号、縦軸は対応するクラスターに分類された気温場の発生日数を表す。

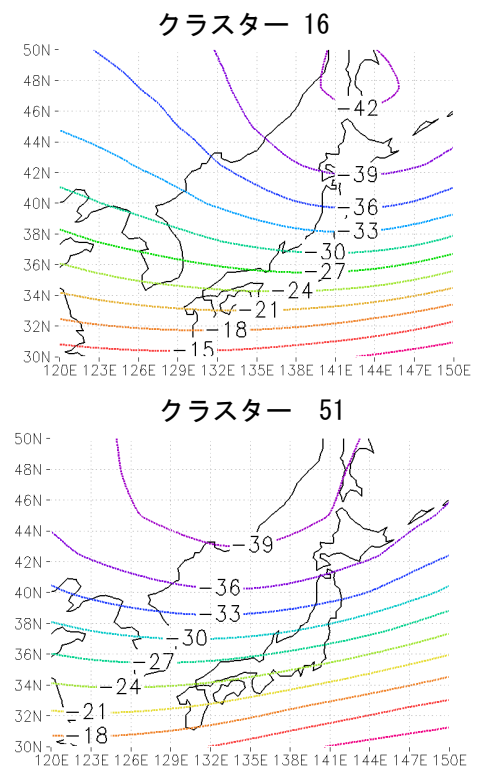


図-10 クラスタ-16, クラスタ-51が示す気温場

- synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a self-organizing map, *Atmospheric Research*, Vol.83, No.2-4, pp.185-200, 2007.
- 6) Tozuka, T., Luo, J.-J., et al.: Tropical Indian ocean variability revealed by self-organizing maps, *Climate Dynamics*, Vol.31, No.2-3, pp.333-343, 2008.
- 7) 石瀬宗弘：実況との対応から見た56豪雪と38豪雪の特徴, *天気*, Vol. 29, No. 10, pp.1044-1049, 1982.
- 8) 二宮浩三：日本海の気象と降雪, 190pp, 成山堂,
- 9) Kohonen, T.: Self-organizing maps, *Springer-Verlag*, Heidelberg, 501pp, 2001.
- 10) Kalkstein, L.S., Tan, G., et al.: An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 26, pp. 717-730, 1987.

(2009. 9. 30受付)