

東アジア地域における海面気圧分布パターンの客観分類

——寒候期のパターン——

加藤央之*・永野良紀*・田中誠二**

(*日本大学文理学部, **日本大学文理学部自然科学研究所)

将来の地域気候予測に用いる統計ダウンスケーリング手法に利用するため、東アジア地域における海面気圧分布パターンの客観分類を行い、寒候期を対象として、平均分布型、出現の卓越季節、従来手法による分類結果などを参照し、得られた各パターンの特徴を明らかにした。本手法は、分布パターンを主成分スコアという客観指標に置き換え、主成分空間内でクラスター分析によりこれを分類するものである。対象領域における30年間(1979～2008年:10958日)の午前9時の海面気圧分布パターン分類を行った結果、寒候期のパターンは強い冬型(3グループ)、弱い冬型(3)、低気圧型(1)、移動性高気圧型(2)、移動性高気圧・低気圧型(2)、その他(1)の12のグループに分類された。各グループの継続性、グループ間の移行特性(特定のグループから特定のグループへの移行しやすさ、しにくさ)について、確率を用いて定量的に明らかにした。

キーワード: 気象パターン分類, 主成分分析, クラスター分析, 海面気圧, 統計ダウンスケーリング

I はじめに

日々の地上天気図は一見複雑であるが、これらは高気圧や低気圧の特徴的な位置に基づき類型化することができる。こうした類型化(以下、パターン分類)については、これまでYoshino and Kai (1974), 吉野・甲斐(1977), Yoshino and Yamakawa (1985), 山川(1988), 気候影響・利用研究会(2002)などによって行われ、その結果は気象・気候研究において有用な指標となってきた(以下、YK分類)。具体的にいえば、パターン分類の結果は、以下のような用途に用いられてきた。

- 1) ある年、ある季節の天候が平年と比べて同じであったか、違っていたかを示す指標になる。すなわち、ある天気図型の頻度が、その年に多かったのか少なかったかを通じて各年の季節の特徴を明らかにする。
- 2) より長期的な観点で、気候の変動を天気図型の頻度の推移で明らかにする。
- 3) 局地的あるいは地域スケールの気象現象が起

こった場合、その時のバックグラウンド(総観場)はどうであったか、すなわち、現象が生じる原因を明らかにする際の手掛かりとして利用する。

最近、地球温暖化に伴う気候変化を明らかにするために、上記3)の内容をより発展させた結果として、地域の平均降水量や極端な現象、あるいは局地現象を説明するための統計ダウンスケーリングの研究が行われている(Oshima et al. 2004)。すなわち、地球温暖化の影響評価を行う上で、地域レベルでの気象・気候予測が必要であるが、現在の段階で予測に用いられる全球気候モデルの空間解像度はまだ粗いため、物理手法または統計手法により細かい解像度の地域情報を得る(ダウンスケール)ものである(たとえばKato et al. 2001; Oshima et al. 2002; 加藤 2007; 飯泉ほか 2010; 稲津・佐藤 2010)。IPCC (2007)では、統計手法について、回帰モデルによる方法(von Storch et al. 1993; Murphy 1999など)、weather generatorによる方法(Kats 1996; 小林ほか 2008など)と並んで気象パターン分類(weather classification)を用いる方

法が示され、その詳しい内容は Wilby et al. (2004) などにまとめられている。たとえば海面気圧（以下、SLP）分布パターン（あるいは上空の高度場の分布や循環パターン）を客観分類で求め、これと地域降水量との関連をダウンスケーリングで明らかにし、その関係から将来の地域降水量の変動を予測する研究などが代表としてあげられる（たとえば、Bardossy and Caspary 1990; Huth 1996, 2000; Enke and Spekat 1997; Corte-Real et al. 1999; Bardossy and van Mierlo 2000; Kidson 2000; Hewitson and Crane 2002; Palutikof et al. 2002; Esteban et al. 2005; 小林ほか 2008）。このような研究によって示されるように、SLP 分布パターンが客観指標として示されれば、全球気候モデルの結果から地球温暖化が進行した場合に、ある地域の気象要素（降水量・温度など）がどうなるのかがダウンスケーリングによって定量的に明らかにされるのと同時に、関連して地域の気象現象がどのように変化するかをより定量的に示すことが期待できる。

しかし、こうしたダウンスケーリングにおいて、SLP 分布パターンのかわりにこれまでの経験的な方法である天気図分類を用いるとすると、1) 複雑なパターンの分類には主観が入る可能性があり、また、2) 地球温暖化が進行した時の予測結果に対しては同等な天気図が準備されないため、現在と将来の定量的な比較を行うことは難しい。そこで、本研究を含む一連の解析において、SLP 分布パターンを多変量解析を通じて客観指標に置き換え、これを分類することにより、現在と将来の気象場の定量的な比較を行うことを試みる。具体的には、SLP 場のデータを主成分分析にかけ、上位数主成分のスコアで張った空間内において日々の分布パターンの類似性に基づいてクラスター分析で分類を行う。この方法は Corte-Real et al. (1999) や Kidson (2000) などと解析の流れは同じである。この手法を通じて得られる結果は、生のデータを用いて「メッシュ数の次

元数を持つ空間内」でそのままクラスター分析にかけた場合、すなわち全地点データで張られた空間内においてクラスター分析を行った場合に比べて、局地的な変動あるいは誤差を取り除き、より大きな空間パターンすなわち広域場（総観場という用語は複数要素を含む概念であるため、以下はこの用語を用いる）の類似性に基づいて分類を行うことを意味する。

本研究の目的は weather classification を用いたダウンスケーリングに必要な客観的な指標を得るため、多変量解析を用いて SLP 分布パターンの客観分類を行い各パターンの特徴を示すことにあり、汎用的な「天気分類」を行う、またはそのための手法を構築するものではない。本研究では、東アジア地域を対象とし、同地域における 30 年間の午前 9 時 (00UTC) の SLP 分布データ (10958 日) に対する解析のうち、寒候期を対象とした結果についてまとめる。

以下、II でデータおよび手法について述べた後、III で結果を示す。III では、まず III の 1、III の 2 でそれぞれ基本となる主成分分析、クラスター分析の実際の適用結果を示し、III の 3 では得られた個々のパターンについて、平均的な分布型や卓越季節のもとにその特徴を示す。ここで、個々のパターンの特徴については、従来からよく知られている YK 分類のどのパターンと対応しているのかを示せば、よりわかりやすくなると考え、III の 4 では各分類パターンとの 1 対 1 対応を行い、その対応結果をまとめて記述した。ただし、本結果の分類と YK 分類とは分類の目的も異なり（本手法では統計ダウンスケーリングに必要な分類を行うのに対し、YK 分類は前線なども加えて汎用的な天気分類に用いる）、また用いているデータも異なる（本手法では NCEP/NCAR の客観解析データを用い、YK 分類では日々の天気図を用いる）ことから最終的な分類結果が異なるのは当然であり、この対応によって分類手法の

優劣などを検討するものではない。以下、Ⅲの5では、個々のパターンの特徴をさらに明らかにするため、パターンの連続性とパターン間の移行特性を調べた。この操作は分類パターン間の境界面が客観的な数値により定められるため、結果は客観性を持つと考えられる。Ⅲの6で得られたパターンの年々出現傾向を調べた後、Ⅳでまとめを行う。

Ⅱ データおよび手法

解析には1979～2008年（30年間）の東アジア地域（北緯20～52.5度，東経110～160度）における午前9時のSLPデータ（NCEP/NCARの再解析データ：Kalnay et al. 1996）を用いた。水平解像度は緯度2.5度×経度2.5度である。SLPデータに主成分分析を行い、得られた第1～第6主成分までの主成分スコアに対する6次元空間内で10958日のクラスター分析を行った。ここで高次の主成分を多く含むと、先に示したように局地的な変動成分が効いて生データを直接用いたクラスター分析と同じになり、グループがばらばらになってしまう。本手法において、はじめに主成分分析をかけて有限の主成分を選択し、そこに投影されたデータについてクラスター分析を行うのはこれを避けるためである。

解析にあたっては、まず選択した各主成分のパターンの分布型（因子負荷量分布）と累積寄与率が30年間の解析対象期間を通じて変わらずに（安定して）出現するものかどうか検討する必要がある。たとえば一部のデータ（ある年のデータ）が全体の母集団から離れているような場合、その当該データを含む全体のデータに主成分分析を行うと、その当該データが主成分軸を引っ張り、本来の結果と異なってしまうことがある（たとえば、奥野ほか1976）。そこで、1年ごとのデータを用いた解析（1994, 1995, 1996年の00UTCのデータ365日分を用いた3カ年それぞれの年の主成分分析）と、10年間の連

続データ（1991～2000年）を用いた解析の結果を予備解析で検討したところ、1）第1～第6主成分の分布型（因子負荷量分布図）は年による差が小さく安定して出現するが、第7主成分はやや異なった分布を持つ年がみられ、また第7主成分と第8主成分は寄与率が近いためそれぞれが必ずしも安定したパターンとして出現しない可能性があること、2）第6主成分までの累積寄与率は各年87～89%、10年間データで87%とほぼ一定であり、さらに90%に近い値であったので、ここまでで全変動のうちの主要な変動を説明できるものとしてこれを採用した。緯度・経度グリッドデータを主成分分析に用いる場合、高緯度のデータの地域代表性が相対的に大きくなる（いわゆるコサイン誤差）影響が考えられるが、この点についても予備解析を通じて因子負荷量の分布型、寄与率ともにほとんど差のないことを確認した。クラスター分析では第6主成分までで合成される「広域場」の分類を行うが、各クラスターの群としての類似度に着目するため、群平均法（たとえば、河口1978）を用いた。なお、本手法では主成分空間において日々のSLP分布パターンの類似度（空間内の2点間の距離の近さ）を調べるのが目的なので、必ずしも一つの主成分が一つの現象に対応する必要はなく、その組合せの空間位置が示されていればよい（Kato et al. 2007）。

分類したグループの連続性や各グループ間の移行の特徴をより詳しく調べるため、NCEP/NCARの6時間データを用いて以下の方法で各時間帯（06UTC, 12UTC, 18UTC）での主成分スコアの計算を行い、このスコアに基づいて6時間ごとのSLP分布パターン（グループ）を求めた。すなわち、30年間のパターンの分類には00UTCを用いたが、各グループは24時間継続するという保証はなく、より短時間に移行している可能性があることから、ここでは6時間データでの解析を行った。

00UTCのデータを用いた解析では、その第*i*主成

分の t 日目のデータのスコア Z_{it} は

$$Z_{it}^{00} = e_{i1}^{00}(\overline{x_{it}^{00} - x_1^{00}}) + e_{i2}^{00}(\overline{x_{it}^{00} - x_2^{00}}) + \dots + e_{ip}^{00}(\overline{x_{it}^{00} - x_p^{00}}) \quad (1)$$

で計算される。ここで x は SLP のデータ、バーはその地点の長期平均、 e は主成分の固有ベクトルの係数、 p は主成分分析に用いたデータの全メッシュ数を表す。また、添え字の 00 は 00UTC のデータを用いていることを示す。ここでこのベクトル係数を用い、たとえば 06UTC の主成分は

$$Z_{it}^{06} = e_{i1}^{00}(\overline{x_{it}^{06} - x_1^{00}}) + e_{i2}^{00}(\overline{x_{it}^{06} - x_2^{00}}) + \dots + e_{ip}^{00}(\overline{x_{it}^{06} - x_p^{00}}) \quad (2)$$

と計算して求めた。この方法は、00UTC のデータで張られた主成分空間内への 06UTC などの各データを投影することを意味する (Kato et al. 2007)。ここで得られた各時間帯の第 1～第 6 主成分スコアを用いて 6 次元空間において、各データが 00UTC で求めた 10958 日のうち、どの日のパターンに一番近いかを計算し、その日と同じグループに分類した。この結果を時間順に並べ直し、10958×4 データに対する連続性の検討を行った。

この方法によれば各 6 時間データを用いてそれぞれ主成分分析を行った場合に生じる「厳密な意味での」主成分軸の不整合の問題はなくなる。本研究の目的はダウンスケーリングのための SLP 分布パターンを定めることにあるため、どの時刻を基準とした分類結果でもその目的は果たせる（たとえば 00UTC の SLP 分布パターンが A パターンなら、どの地域での降水の確率密度関数はどうなるという問題に帰着する）が、従来の「天気図」分類との対応を見るため、YK 分類と同じく 00UTC (09JST) を選択した。なお、時間的な代表性 (00UTC) については、たとえば夜間の陸上の放射冷却が気圧に影響する (SLP 分布パターンに影響を与える) ことは当然考えられる。しかし、今回の解析は年間を通じた

SLP の主成分分析を行うため、年間を通じた広域場の変動成分の方がこれを上回るとみられる。別の時刻のデータで主成分分析を行ったとしても各主成分パターンがそれほど大きく変わることはなく、すなわちクラスター分析を行う空間の基軸 (多変量空間内における各軸のベクトル) にそれほど差はないとみられる。ここで、各時刻のデータには日変化成分が含まれているため、パターンの連続性の解析において 6 時間データを用いれば日変化により特定のパターンが中断される可能性もあるが、それらの中断の詳しい原因 (パターンの移行原因) については今後のダウンスケーリングの構築の過程で明らかにする。

III 結果と考察

1. 海面気圧の主成分分析

図 1 に対象領域内の SLP の 30 年平均および標準偏差を示す。30 年平均ではおおむね西高東低であるが、日本の南岸には東西方向に相対的に気圧が高い領域が広がっている。標準偏差は対象領域の北西側の大陸とカムチャツカ方面で大きく、領域南東側の太平洋で小さい。主成分はこの 30 年平均の場に対する変動で示される。図 2 に SLP の第 6 主成分までの因子負荷量の分布図を示す。第 6 主成分までの累積寄与率は 87.1% でこの地域の気圧変動の大部分を説明でき、また、連続する主成分の寄与率の値が近接することはないので、個々の主成分を分離できない、いわゆる縮退問題は生じていないと考えられる。

第 1 主成分は主として大陸と海洋のコントラストを示すパターン (図 2) で、この地域の気圧変動の約半分を説明している。図 3 に各主成分スコアの年変化を示す。これによれば、第 1 主成分の主成分スコアは夏季に正、冬季に負の明瞭な年変化を示していることから、大陸で相対的に夏季に低圧部、冬季に高圧部となる季節パターンを表しているといえ

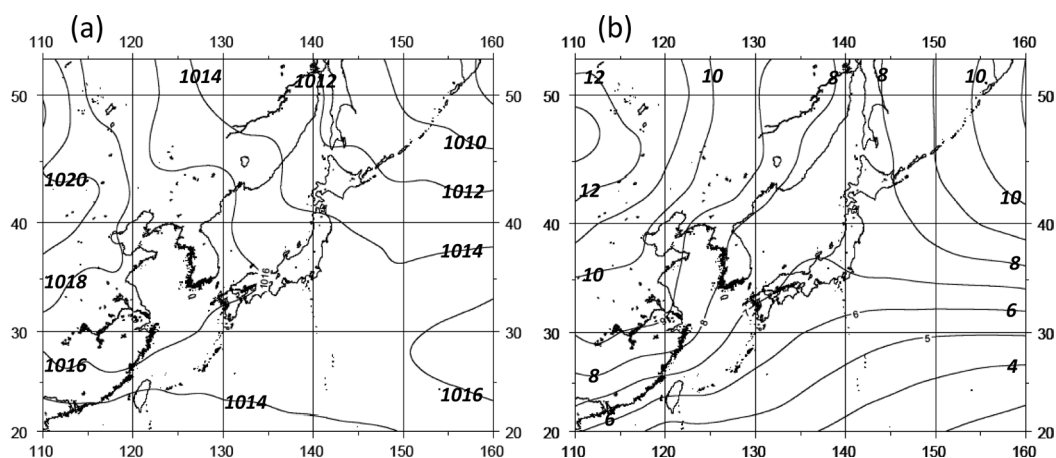


図1 研究対象地域における SLP の (a) 30 年 (1979-2008) 平均, および (b) 標準偏差の分布
単位 hPa.

Fig. 1 (a) Mean and (b) standard deviation of sea level pressure (SLP) at 00UTC for 30 years (1979-2008) over the study area

Unit: hPa.

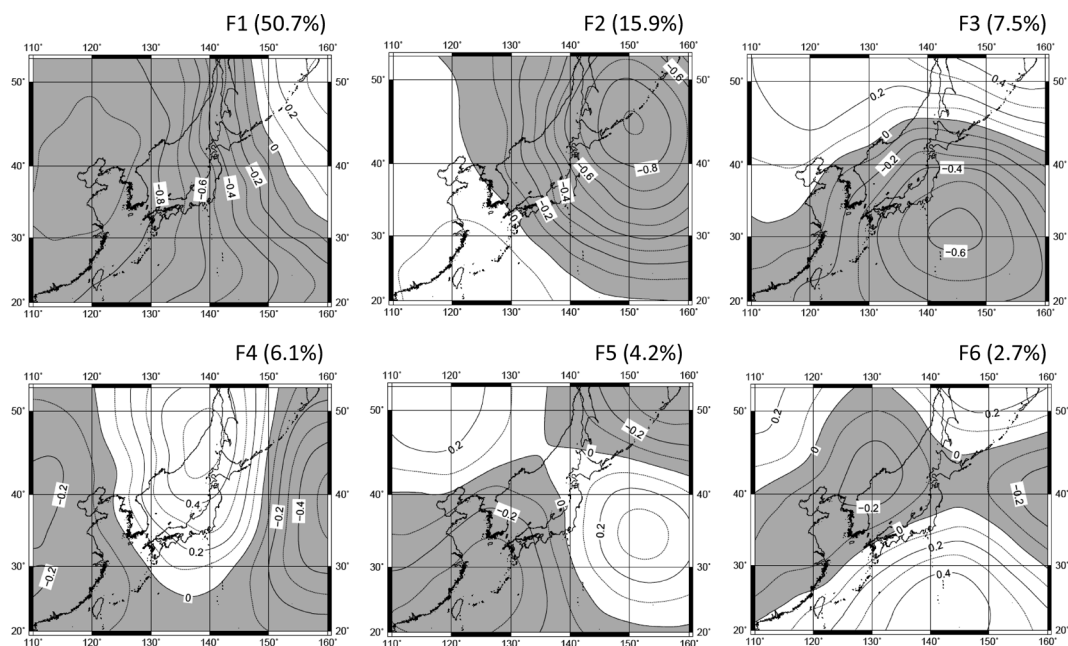


図2 30 年間 (1979-2008 年) の 00UTC の再解析データを用いた SLP の主成分分析結果. 上位 6 主成分の因子負荷量分布.

負の因子負荷量をハッチで示す. カッコ内の数字は各主成分の寄与率を示す.

Fig. 2 First six factor loadings of principal components (PCs) for 30 years (1979-2008) in SLP reanalysis data (NCEP/NCAR) at 00UTC

Negative values are hatched. Numbers in parentheses denotes the proportion of each PC.

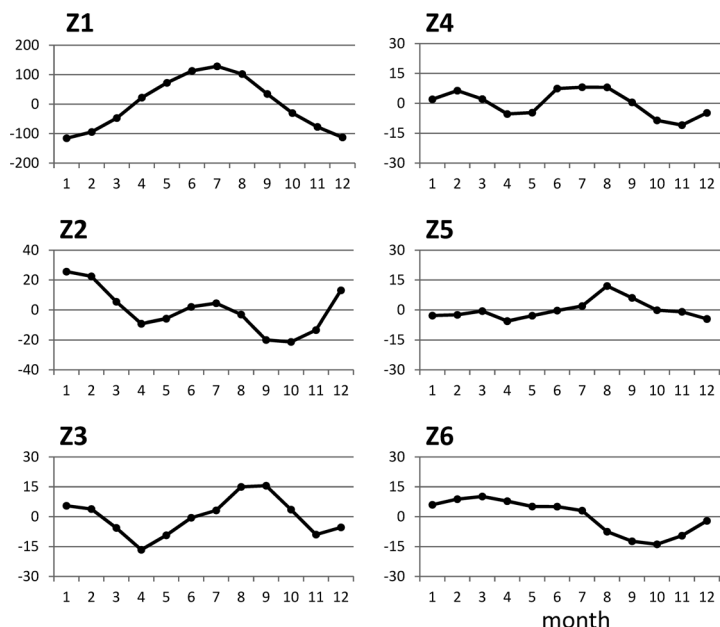


図3 SLP 主成分スコアの年変化
Fig. 3 Annual variation in Z-component scores of the principal components for SLP

る。なお、大陸から日本南岸も因子負荷量が同符号となっていることから、この海域の気圧変動は大陸の変動の影響を強く受けていることが示唆される。一方、第2主成分は千島列島方面で負の因子負荷量が卓越するパターン（図2）で、冬季に主成分スコアが正に卓越する（図3）ことから、この地域での低気圧の発達を示すパターンと考えられる。第3主成分以下のパターンについては、特定の季節における物理現象が対応している部分もあると考えられるが、寄与率が10%以下と小さいことから、たとえば移動性高気圧や低気圧の位置（移動）を示すパターンで、上記の第1、第2主成分で構成される場の上に重なったものととらえられる。本解析は六つの主成分スコアで張った空間内での位置の類似性を求めること、すなわちある時間断面におけるSLP分布パターンの類似度を調べるのが目的なので下位の主成分に関しては特に物理的な現象としての意味は特定しない。しかし、今回採用した第6主成分

までのパターンについては予備解析の結果、いずれのパターンも因子負荷量の分布や寄与率が各年ではほぼ定常的に生じていることから、ある程度確率的に生じやすいパターンであることがわかり、解析の基礎となる現象再現の安定性が確認される。

2. クラスター分析によるパターン分類

クラスター分析の結果によれば、30年間の全10958日から、まず4日間の特異パターンが分割されたが、これらは今回の解析からは外すこととする。残りの10954日は図4の樹状図のグループ間距離 4.74×10^4 の点で**Group I** (4306日)と**Group II** (6648日)に大きく分割された（全体の樹状図は省略）。第1～第6主成分のスコアにより合成されたグループごとの平均気圧分布パターン（図5-a）で見ると、**Group I**が西高東低、**Group II**が逆の東高西低の分布をしており、主として第1主成分が正か負かで相対的に分けられている（図5-b）。これ

らの出現頻度（図5-c）を見ると，**Group I**は寒候期に**Group II**は暖候期に出現しやすいことがわかる。

ここで，主成分空間内で両グループの境界領域近くにあるサブグループは便宜上寒候期，暖候期に分類しているが，境界領域のグループが厳密にどち

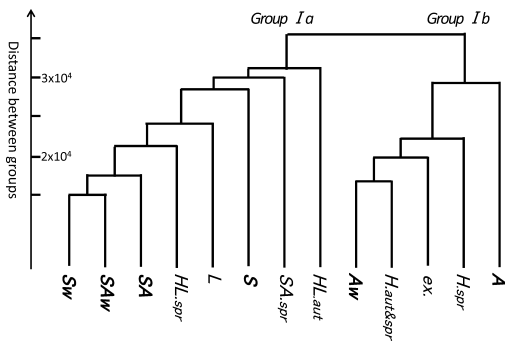


図4 寒候期のSLP分布パターンのクラスター構造
Fig. 4 Dendrogram of clusters (SLP distribution patterns) for the cold season

らの期に属するのか（あるいは遷移期として扱うのか）についてはここでは議論しない。本研究では，ある程度均一な特性を持ったグループの出現頻度について議論するのが目的であり，その結果として，各グループの季節的な位置づけがなされる。実際，**Group I**と**Group II**を細分化した後，出現頻度を調べると，それぞれのグループの出現ピークが**Group II**に属するグループでは主に暖候期（4月～9月），**Group I**に属するグループでは主に寒候期（10月～3月）にみられるので，おおまかな暖候期・寒候期の分類としては利用できると考えられる。本研究では，解析の第一段階として寒候期における**Group I**のパターンについて詳細に調べ，**Group II**については次報で詳しく検討する。

3. 寒候期の海面気圧場の分類

クラスターの樹状図（図4）によれば**Group I**

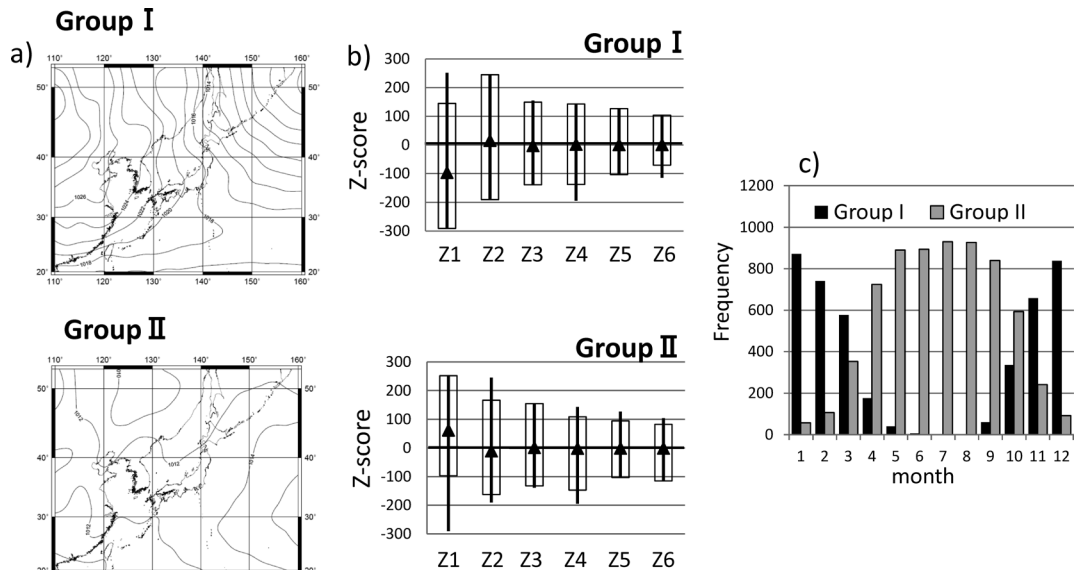


図5 Group I と Group II の比較

a) 平均分布パターン．Z1～Z6のグループ平均をもとに合成．b) 主成分特性．▲はグループ平均，ボックスはグループ内の最大，最小，縦線は全データの最大，最小を示す．c) 30年合計した月別出現日数．

Fig. 5 Comparison between group I and group II

a) Group mean SLP patterns synthesized from the first six Z-components, b) group mean Z-component scores for the first six PCs (▲) with the maximum and minimum value within groups (box plot) and data range for all data (bar), and c) seasonal variation in the frequency.

(4306日)は、さらに**Group Ia** (3251日)と**Group Ib** (1055日)の二つに分離される。図5-b)と同様に各グループ内での主成分の値を調べると(図省略)、**Group Ia**は平均的にはZ1が負でシベリア高気圧が発達するパターンを中心とするのに対し、**Group Ib**は平均的にZ2が正の値でアリューシャン低気圧が発達するパターンを中心としたグループである。図4によれば**Group Ia**は大きく分割されずにそれぞれに特徴を持った小グループ(*Gp.HL_{aut}*, *Gp.SA_{spr}*, *Gp.S*, *Gp.L*, *Gp.HL_{spr}*)が分離される。その後ある程度の大きさを持った*Gp.SA*が分離され、さらに大きく二つ(*Gp.SA_w*と*Gp.S_w*)に分割される。ここで各グループの名称は以下で行う解析の結果をもとに、それぞれ卓越する気象要素と卓越季節によって命名したものである。また、名称の接頭につく*Gp*はグループ名であるこ

とを意味する。S=シベリア高気圧、A=アリューシャン低気圧、H=移動性高気圧、L=低気圧で、並列表記されているときは両者の特徴を持つことを示す。また、添え字のaut, sprはそれぞれ秋、春に卓越すること、添え字のwはS, Aなどのそれぞれの特徴を持つものの、「相対的に」やや弱いことを意味する。各グループの特徴として平均気圧分布(第1～第6主成分までで合成された各メンバーのグループ平均)を図6に、また、Z1-Z2平面上に投影した各グループの平均位置を図7に示す。

図4ではそれぞれの分離段階で、メンバー数の多いグループが左側にくるようにして図化されている。この樹状図によれば、全データのクラスター構造は、空間の中心に大きなコアがあり、その周りに特徴的なグループが分布してこれが次々に分離していくかたちになっていることがわかる。本研究では

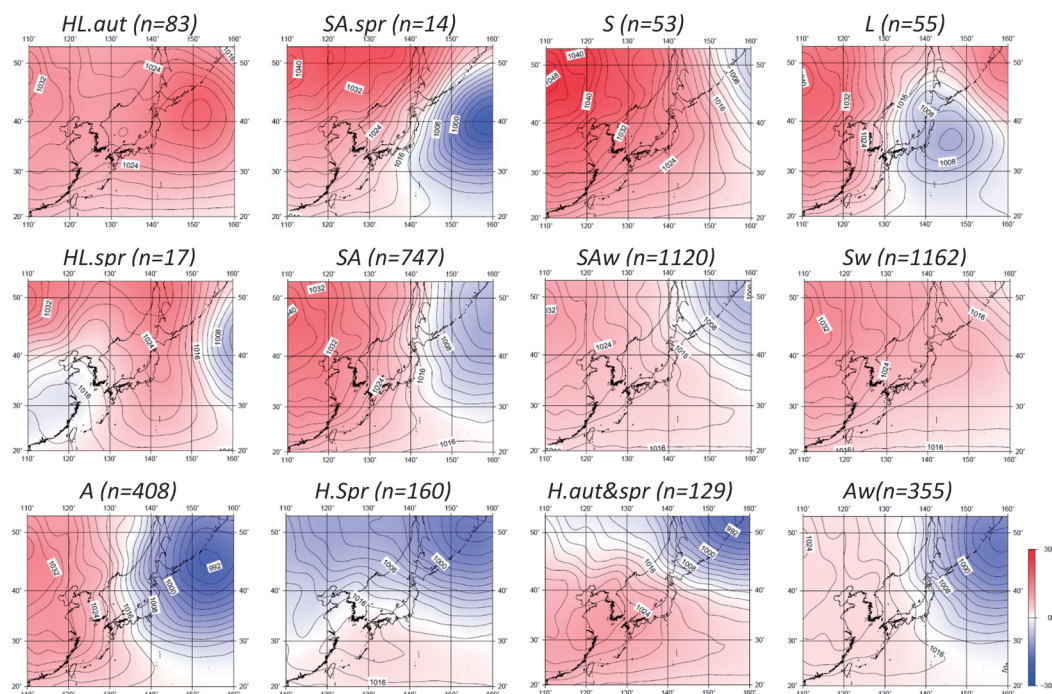


図6 各グループの平均SLP分布図

n は30年間の出現日数。コンターは4 hPa ごと、カラーは30年平均場からの偏差を示す。

Fig. 6 Mean SLP distribution pattern of each group synthesized from the first six Z-components
Contour interval, 4 hPa. Color represents deviation from the 30-year mean.

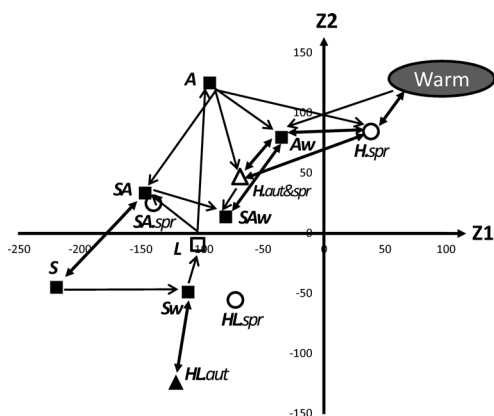


図7 Z1-Z2平面上に投影した各グループの中心位置

□印は冬季、○印は春季、△印は秋季に卓越することを示す。白抜き記号はZ3以下の成分が卓越することを示す。矢印は移行特性を示し(本文IIIの5参照)、一方向矢印、太い双方向矢印に分けている。

Fig. 7 Central position of each group projected on the Z1-Z2 plane

Symbols correspond to the groups prevailing in winter (□), spring (○), and autumn (△). Open symbols denote that higher-order PCs (>Z3) dominate in the group. Arrows and thick two-way arrows indicate a tendency for transition between groups. See the text (Section III-5) for details.

中心に位置するグループが大きく二つに分割されるまで分離を続けた。はじめの段階で分離された **Group 1a** と **Group 1b** については後の分離段階で以下のルールを設ける。すなわち、一つの分離段階でメンバー数の少ない方(マイナー)のグループは、それ以下で再度分離しない。これは、図5-b)に示すような各主成分スコアの範囲から判断して、マイナーなグループはすでに得られているそのグループの特徴がさらに細分化しても定性的にはあまり差がなく、グループ数だけ増えて煩雑になってしまうことから定めたルールである。この結果、クラスタリングの段階で異なったオーダー(加藤1983)のグループを比較することになるが、これは通常の段階までは一定のクラスタリングを進めた後、一部の特定のグループのみを、より詳細な特徴を調べるために再分割する操作と同じである(たとえば、鈴木・河村1987; Huth 1996)。これらの操作の結果、

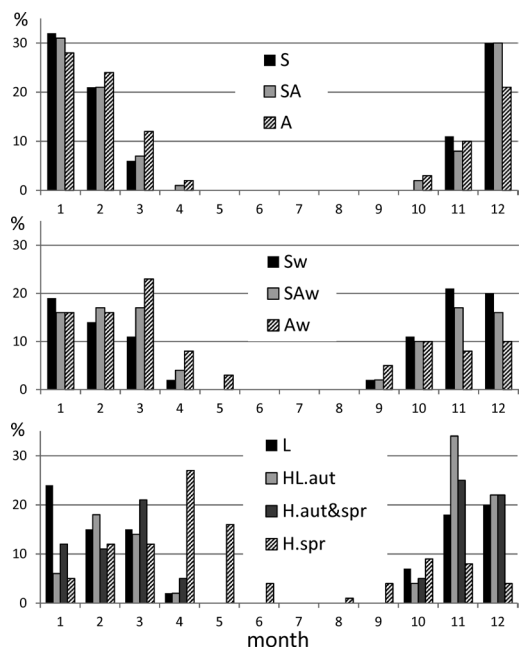


図8 各グループの月別出現頻度

Fig. 8 Monthly frequency of each group

Group 1a については8個のグループに分離されたが、メンバー数が30以上(平均的に1年に1回以上出現するパターン)は6グループであった。各グループの特徴は以下の通りである。

Gp.HL_{aut} (出現日数83日): Z1が負である(シベリア高気圧が発達する)と同時にZ2が負(図7)で日本の東方海上に高気圧が存在する(図6)、領域全体で気圧が高いパターンである。11~12月に出現数が多く、また、春先の2~3月にも第2の出現ピークを持つ(図8)。

Gp.SA_{spr} (14日): 西高東低で日本の東方海上で低気圧が発達するパターンである。Z1がすべて負でシベリア高気圧は発達しているが、Z2の正傾向は弱く、むしろZ3, Z4がすべて正となり、低気圧の位置がアリューシャン列島よりも南に位置していることを表している。ここで、図7では他のグループと重なって見えるが、第3主成分以下の高次の主成分が特徴的な値を持っているため、6次元空間内

では離れたグループであることに注意を要する。出現季節は2～3月が主であり、春先の現象とみられる（図は省略）。

Gp.S (53日): Z1の負の値が顕著であり、シベリア高気圧が非常に発達しているが、Z2はむしろ弱い正でアリューシャン低気圧はそれほど発達していない。12月、1月を中心として出現することから、シベリア高気圧発達型の冬型気圧配置といえる。

Gp.L (55日): **Gp.SA_{spr}**と同様、Z1がすべて負でシベリア高気圧はやや発達しているがより弱い。また、Z2の正傾向はなく、Z3は正傾向であるが、Z4は逆に負傾向である。この結果として、**Gp.SA_{spr}**より冬型の特徴は弱く、日本の東に低気圧がみられるパターンである。出現時期も11～3月を中心とした寒候期である。

Gp.HL_{spr} (17日): Z1が負でシベリア高気圧はやや発達しているが、Z2は負でZ4とZ6がそれぞれ顕著な正の値を持っており、日本付近が南北に延びる気圧の尾根、台湾付近が低圧部となるパターンである。出現季節が3月に卓越することから、南岸低気圧の発生時期にあたる気圧配置とみられる。

Gp.SA (747日): 全メンバーともZ1が顕著な負の値を持ち、シベリア高気圧が発達するパターンであるが、Z2は全体的に正となる傾向がみられる程度であり、アリューシャン低気圧はやや発達している程度である。このグループは**Gp.S**と以下で示す**Gp.A**の中間の特徴を持ったグループといえる。1月を中心として12～2月に多く出現する冬型の典型的なパターンである。

Gp.SA_w (1120日): Z1が負の傾向にあるものの、それほど顕著ではなく、Z2は**Gp.SA**と同程度に弱い正の傾向である。したがって、**Gp.SA**よりシベリア高気圧が弱い冬型といえる。寒候期に一樣に出現するものの、11月と2月にピークを持っていることから、特に真冬で冬型が弱まった場合と真冬の前後に出現する弱い冬型を示すと考えられる。

Gp.S_w (1162日): Z1が負の傾向、Z2が弱い負の傾向で**Gp.S**と類似したパターンであるが、特にZ1の負の値がより弱い傾向にある。出現する季節は11～1月を中心とすることから、**Gp.S**の弱まった場合や、11月の場合を含めて**Gp.S**ほどシベリア高気圧が発達しないパターンを示す。

図4でアリューシャン低気圧が相対的に発達するパターンとして分離された**Group Ib** (1055日)から、はじめに大きく**Gp.A**が分離され、さらに**Gp.H_{spr}**が分離される（図4）。このあと、特異的なグループ（ex.）が分離され、最終的に**Gp.A_w**と**Gp.H_{aut&spr}**に分割される。これらの解析の結果、**Group Ib**については5個のグループに分離されたが、メンバー数が30以下のグループを除くと4グループである。各グループの特徴は以下の通りである。

Gp.A (408日): Z2がすべて正であるグループ（図7）で、アリューシャン低気圧が発達しているグループと特徴づけることができる（図6）。さらに平均的にはZ1が負で、同時にシベリア高気圧がやや発達しているメンバーが多いことを表している。その出現頻度は1月を中心とした冬季である（図8）。

Gp.H_{spr} (160日): Z1が正でシベリア高気圧が弱く、Z2は正でアリューシャン低気圧が強いパターンで、南部で気圧が高い。出現も4月が中心となる。したがって、寒候期の特徴パターンとはやや異なり春季のパターンといえる。

Gp.H_{aut&spr} (129日): Z1がすべて負の値を持ち、西側で気圧が高いが、これと同時にZ3すべてが負の値を持ち、日本南岸への高気圧の張り出しが特徴となる。これはむしろ11月や3月といった寒候期の始まりや終わりに出現するパターンである。

Gp.A_w (355日): 西高東低の冬型であるがZ2がすべて正で東低が強く、**Gp.A**の特徴をやや弱くしたグループで寒候期全般に出現する。寒候期の後半、特に3月に多い。

図7に示した各グループの特徴は図2を参照すればわかるように、横軸で左にあるほどシベリア高気圧が強いパターンで、また、縦軸で上にあるほどアリューシャン低気圧が発達しているパターンであることを示す。平均パターン図で見た場合 **Gp.S** や **Gp.S_w** ではアリューシャン低気圧の影響はほとんど見えない。ここで分類したグループの中で特に冬型が顕著なグループは **Gp.S**, **Gp.SA**, **Gp.A** であるが、この中でも **Gp.S** はシベリア高気圧が強い冬型, **Gp.A** はアリューシャン低気圧が強い冬型, **Gp.SA** は両者が同時に特徴的にみられる冬型といえる。

4. 従来の分類結果との対応関係

前節までで、得られた個々のパターンについて、平均的な分布型や卓越季節をもとにその特徴を示した。本節ではさらにその特徴を明らかにするため、従来からよく知られている YK 分類との 1 対 1 対応を行い、その対応結果をまとめて記述した。YK 分類についての研究結果として 20 年間（1981～2000 年）のデータ（気候影響・利用研究会 2002）が得られているので、同期間における 7305 日（事例）を対応させた。結果を図9に示す。ここでは本研究の各グループメンバーが YK 分類の中のどの型に対応するかを調べた後、冬型+低気圧型のような、複合

型、移行型（I+n, I-n: n は IIa 型などの他の型）を含めた事例数を「冬型関連」として再集計し、メンバーの何 % が YK 分類の冬型関連と判定されているかを調べた。ここで、複合型や移行型については含まれる二つの型を 2 回カウントするため、図9の各パターンの棒グラフの合計は 100% を超えている。同様に YK 分類の「移動性高気圧関連」「低気圧関連」「前線関連」の事例についても調べた。各グループの特徴は以下のようにまとめられる。

1) 冬型と関連したパターン

Gp.A（20 年間での事例数：261 例）：YK 分類では I 型（冬型）と判定される例が 68% である。また、冬型+低気圧型など、複合型、移行型を含めると冬型関連は 92% となり、アリューシャン低気圧の発達するこの型は YK 分類で冬型と認識される傾向にある。なお、この型については YK 分類で冬型+低気圧型に分類される例が 17%（45 例）があるが、このうち半分以上（26 例）が YK 分類の IIa 型（低気圧が北海道またはサハリン付近を東に進む）を含む。すなわち、この型ではアリューシャン低気圧発達前の状況も含むものとみられる。

Gp.SA（522 例）：YK 分類では I 型と判定される例が 57% である。また、冬型関連は 84% となり、シベリア高気圧とアリューシャン低気圧の双方が発達

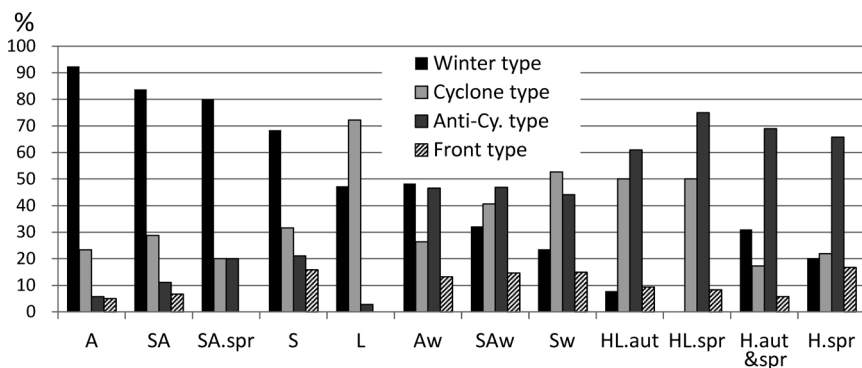


図9 各グループと『吉野・甲斐』天気図分類との対応関係
Fig. 9 Correspondence between groups with those of the traditional Yoshino-Kai classification

するこの型は YK 分類で冬型と認識される。YK 分類で冬型+低気圧型に分類される例は 17% (89 例) があるが、このうち約半分 (42 例) が YK 分類の IIa 型を含む。これは **Gp.A** と同じくアリューシャン低気圧発達前の状況を含むものとみられる。

Gp.SA_{spr} (10 例): **Gp.SA** と平均分布は類似しているがアリューシャン低気圧の位置がより南よりであるこのグループは事例数が少ないものの、10 例中 8 例は YK 分類で冬型の I 型と判定されている。

Gp.S (38 例): クラスタ分析のグループ分けでシベリア高気圧が「かなり」強いという特性をもったグループに限定されているため、メンバー数は少ない。YK 分類では I 型と判定される例が 42%、冬型関連は 68% となるが、**Gp.A** よりは冬型と認識される割合がやや少ない。このグループでは低気圧や前線、移動性高気圧に関連する例が約 1/3 あることから、大陸では高気圧は強いものの、海洋側ではアリューシャン低気圧が弱く、日本付近では、前線や低気圧などが出現しやすくなっており、顕著な冬型とは判断されにくい例があるためと考えられる。

Gp.A_w (228 例): アリューシャン低気圧で特徴づけられるものの YK 分類では I 型と判定される例が 26% (60 例) である。また、冬型関連は 48% となる。一方で、YK 分類では III 型 (移動性高気圧型) と判定される例が 27% (62 例)、また移動性高気圧関連は 46% となり、冬型と同じ程度に分類される。すなわち、シベリア高気圧が弱まり、移動性高気圧に覆われるようなパターンであると判断できる。一方、YK 分類では低気圧関連に分類される例が 26% あることから、広域場としては、移動性高気圧と同時に低気圧も出現する複雑な場ともいえる。移動性高気圧型 62 例のうち、ほぼ 2/3 の 41 例が IIIb 型 (日本列島上、主として本州の上を東に進む) であり **Gp.H_{aut&spr}** と同じ傾向を示す。

2) 移動性高気圧と関連したパターン

Gp.H_{aut&spr} (87 例): YK 分類では III 型と判定さ

れる例が 51% (44 例) であり、また移動性高気圧関連は 69% となる。III 型 44 例のうち、高気圧が本州の上を東に進む IIIb 型が 27 例、带状高気圧 IIIc 型が 10 例、日本の太平洋岸または南方を進む IIId 型が 6 例である。一方、冬型関連に分類される例は約 31% と少ないことから、この型は冬型がくずれて日本または日本の南岸に移動性高気圧が覆うパターンと見ることができる。ただし、このパターンの時はまだ、気圧配置に冬型の特徴がみられるため、YK 分類では弱い冬型と判断されることもあるとみられる。このパターンは **Gp.A_w** と異なり春季・秋季に出現しやすく、南岸への高気圧の張り出しがより顕著である (図 6)。

Gp.H_{spr} (114 例): YK 分類では III 型と判定される例が 43% (49 例) であり、また移動性高気圧関連は 66% となる。III 型のうち、日本列島上、主として本州上を東に進む IIIb 型が 22 例、带状高気圧 IIIc 型が 9 例、日本の太平洋岸または南方を進む IIId 型が 17 例である。一方、冬型関連に分類される例は約 20% と少ないことから、この型は **Gp.H_{aut&spr}** と同じく、冬型がくずれたパターンとみることができるが、これよりも移動性の高気圧は南にあり、図 7 では Z1 が平均で正であることから大陸の高気圧の影響がみられないことも特徴である。

3) 低気圧・移動性高気圧と関連したパターン

Gp.L (36 例): YK 分類では II 型 (低気圧型) と判定される例が 42% (16 例) であり、また、低気圧関連は 72% (26 例) になる。一方、冬型と判定される例は 19% (7 例) であるが、冬型関連は 47% (17 例) と冬型と関連づけられる例も少なくない。なお、低気圧関連 26 例のうち、半分以上の 14 例は IIa 型に関連しており、次に IIc 型関連の 7 例が続く。このパターンは日本付近に低気圧があることは共通であるが、YK 分類では、その背後の冬型をどの程度認識するかで判断していると考えられる。

Gp.S_w (807 例): YK 分類では、II 型と判定される

例が27% (216例)であり、また低気圧関連は53%となる。一方、III型と判定される例が23% (182例)であり、また移動性高気圧関連は44%となる。冬型関連と判定される例は24%であり、弱い冬型とみられる場合もあるが、純粋なI型は9%と少ない。アリューシャン低気圧が相対的に弱く、領域全体で気圧が高いパターンであるため、広域場としての気圧傾度はそれほど大きくなく、地域的に高気圧や低気圧が存在しやすいパターンである。低気圧型216例の中では太平洋岸低気圧のIIc型関連と二つ玉低気圧のIId型関連がそれぞれ1/3程度である。一方、移動性高気圧型182例のうち、67%の122例がIIIb型関連であり、移動性高気圧が日本列島を東に通過するパターンを示す。

Gp.HL_{aut} (64例): YK分類ではIII型と判定される例が39% (25例)であり、また移動性高気圧関連は61%となる。一方、II型と判定される例が30% (19例)であり、また低気圧関連は50%となる。冬型関連と判定される例は8%と少ない。移動性高気圧型25例中17例はIIIb型である。一方、低気圧型では、19例中10例がIIb型関連であり、低気圧が日本海を進むパターンである。グループの平均的な気圧分布 (図6) では日本東方の移動性高気圧型が顕著であるが、日本海を中心とした弱い低圧部も存在することから、YK分類では顕著な方の特徴をとって低気圧あるいは移動性高気圧型と分類されているものと考えられる。

Gp.HL_{spr} (12例): 例数は少ないが、YK分類のI型はなく、このうち9例が移動性高気圧関連のパターンである。このパターンは後に示すように過渡的に現れるパターン (30年の17例中、2日以上連続したのは3例) で南北に延びた移動性高気圧が日本の上空を通過するパターンである。

Gp.SA_w (753例): YK分類では、II型と判定される例が19% (144例)であり、また低気圧関連は41%となる。一方、III型と判定される例が27%

(201日)であり、また移動性高気圧関連は47%となる。**Gp.S_w**と比べて、低気圧型が少なく、移動性高気圧型が多い。また、YK分類のI型関連と判定される例は32%であり、純粋なI型と判定される例も16%と**Gp.S_w**よりも冬型に近い。このパターンは**Gp.S_w**よりアリューシャン低気圧が相対的にやや強いパターンであるが、気圧傾度は典型的な冬型 (**Gp.S**, **Gp.SA**, **Gp.A**) ほど大きくなく、地域的に高気圧や低気圧が存在しやすいパターンである。低気圧型144例の分類は**Gp.S_w**とほとんど差はないが、日本海低気圧IIb型は太平洋岸低気圧より比率が多くなっている。一方、移動性高気圧型201例のうち、72%の145例がIIIb型関連であり、移動性高気圧が日本列島を東に通過するパターンを示す。ここで、主成分Z1, Z2の値について**Gp.S_w**と比べれば (図7), 相対的にシベリア高気圧が弱く、アリューシャン低気圧が強い**Gp.SA_w**の方が、移動性高気圧関連と判定される例が多く、また冬型関連の割合も高い。逆に、相対的にシベリア高気圧が発達し、アリューシャン低気圧が弱い**Gp.S_w**の方が低気圧関連となる割合が多く冬型関連になる比率が低い。

以上、本節ではYK分類との対応を調べたが、ここで明らかにされた特徴と、前節で明らかにされた特徴を参照すると、本解析で得られた12のグループについては大きく以下のようにまとめられる。すなわち、強い冬型 (シベリア高気圧卓越型**Gp.S**, アリューシャン低気圧卓越型**Gp.A**, 混合型**Gp.SA**), 弱い冬型 (**Gp.SA_w**, **Gp.S_w**, **Gp.A_w**), 低気圧型 (**Gp.L**), 移動性高気圧型 (**Gp.H_{spr}**, **Gp.H_{aut&spr}**), 移動性高気圧・低気圧型 (**Gp.HL_{aut}**, **Gp.HL_{spr}**), その他 (**Gp.SA_{spr}**) である。

本分類の強い冬型 (**Gp.S**, **Gp.A**, **Gp.SA**) はYK分類のI型とよく対応することがわかった。すなわち、本手法による分類では冬型が、シベリア高気圧、アリューシャン低気圧といった気象要因によってさ

らに分類されているという特徴を持つ。一方、弱い冬型 ($Gp.SA_w$, $Gp.S_w$, $Gp.A_w$) については冬型と並んで移動性高気圧 (III 型) や低気圧 (II 型) 関連のパターンとみなされる例も多く、YK 分類ではいずれの気象要因 (高気圧, 低気圧) に強く着目するかで結果が左右されているものとみられる。また、本研究の弱い冬型の各グループをさらに細分することにより、中心的な気象要因が明らかになる可能性も考えられる。

$Gp.L$ についてはほとんどが YK 分類の II 型か I 型に対応していた。このことは、低気圧の背景にある冬型をどの程度認識するかによって YK 分類の結果が分かれているとみられる。移動性高気圧型 ($Gp.H_{spr}$, $Gp.H_{aut&spr}$) については YK 分類の III 型と関連性が強く、本研究の各グループをさらに細分することにより高気圧の位置による分類も可能になると考えられる。最後に移動性高気圧・低気圧型 ($Gp.HL_{aut}$, $Gp.HL_{spr}$) については YK 分類の II 型・III 型のいずれとも関連が深く、YK 分類ではいずれの気象要因に強く着目するかで結果が左右されるものと考えられる。また、非常に多く存在している「複合型」についても、その中心的な気象要因のとらえ方に依存していると考えられる。

本分類では直接前線で関連づけられるパターンというのは出現しない。これは冬季であることも関連するが、前線は低気圧との関連で出現している例が多く、本手法では気圧配置 (低気圧の位置や気圧の谷の位置) の中に暗に含まれていると考えられる。

5. パターンの連続性・パターン間の移行特性

各パターンが連続して出現しやすいか、あるいは短時間で別のパターンに変化する傾向にあるかを調べるため、6 時間データを用いた連続 (継続) 回数別の頻度を求めた。図 10 は横軸に個々のグループが連続して出現した回数、縦軸にそれぞれの連続回数の事象が 30 年間に何回出現したかの頻度を示す。

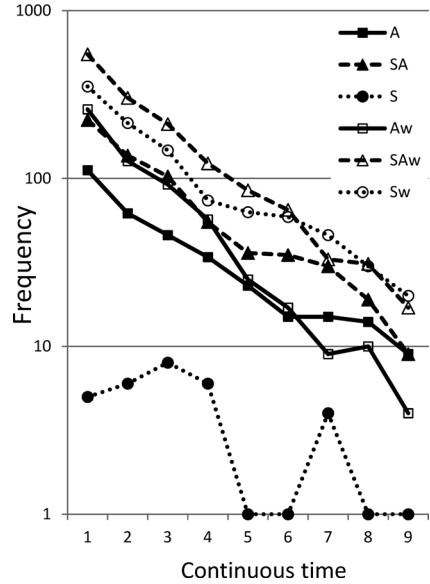


図 10 連続日数別の出現回数からみた各グループの連続特性

Fig. 10 Continuity of each group depending on the frequency for any continuous days

ここで、各パターンは相対的なグループ分けの結果であることから絶対数には差がある。このため、同じ連続回数での頻度の絶対数についての比較はできないが、頻度図はいずれのグループも $y = \exp(-ax)$ の式で指数近似され、この傾き a は頻度の絶対数に関係なく、連続しやすいグループは小さく、連続しにくいグループは大きな値となると期待される。ここで連続回数 9 回までのデータを用いて計算したところ、冬型と分類される $Gp.S$, $Gp.SA$, $Gp.A$ は連続しやすい傾向にあった。一方、春季・秋季に出現しやすい $Gp.A_w$ などの移動性高気圧型は連続性が相対的に小さい。また、低気圧・移動性高気圧に関連する $Gp.SA_w$ は連続性が相対的に小さいものの、 $Gp.S_w$ は連続性が大きい。これは $Gp.S_w$ は大陸の高気圧が相対的に強いパターンであるため、急に変化することはなく持続しているためと考えられる。

次に、この 6 時間データを用いてグループ間の移行特性を調べた。ここでは同じグループが連続した

場合はカウントせず、一つのグループから別のグループに移行した例数のみを集計した。この場合、単純に考えれば絶対数（各グループのメンバー数）が多いグループほど移行先となる確率が高くなる。そこで、便宜的ではあるが、寒候期（10～3月）の出現パターンだけに限り、ランダムに移行した場合の確率を、該当グループを除いた各グループのメンバーの絶対数に比例して計算し（以下、確率移行数）、これと実際の移行数とを比較して、その移行の生じやすさについて検討した（表1）。この結果、特定のグループから特定のグループへの移行の特徴がいくつか明らかになった。以下では、典型的な冬型のグループに関する結果を示す。ここでは一つのグループを中心としてそこに移行してきた事例数（先行事例数）を〈in〉、一つのグループから移行していった事例数（後追い事例数）を〈out〉で表記することにする。なお、グループ“A”からグループ“B”への確率移行数について“A”の〈out〉で計算した同じ値を“B”の〈in〉にも用いることとした。
Gp.S：移行事例数は37例と例数が少ないものの、

〈in〉の51%にあたる19例が **Gp.SA** から、〈in〉の30%にあたる11例が **Gp.S_w** から移行している（表1）。ここで、確率移行数はそれぞれ8例、13例であるから **Gp.SA** が生じたときにはさらにシベリア高気圧が発達して **Gp.S** に変化しやすい傾向にあるが、**Gp.S_w** すなわち、弱いシベリア高気圧型が生じたとき、これが発達して **Gp.S** に移行しやすいとはいえない。一方、〈out〉については、**Gp.S_w** へ21例（57%）、**Gp.SA** へ12例（32%）となっている。これらは表1のように確率を上回って移行しやすいといえる。すなわち、シベリア高気圧が弱まり **Gp.S_w** になるパターンへも、またアリューシャン低気圧が発達して **Gp.SA** に変化するパターンへも、そのどちらへの変化も起こりやすいといえる。

Gp.SA：全移行事例713例のうち、〈in〉については **Gp.SA_w**（36%）、**Gp.S_w**（30%）、**Gp.A**（16%）が多いが、確率移行数を顕著に上回っているのは **Gp.A** のみであり（約2倍）、その他は明確ではない（表1）。一方、事例数は12例、22例と少ないものの、**Gp.S**、**Gp.L** からの確率移行数を大きく

表1 寒候期の典型的な3グループの移行特性
Table 1 Characteristics of transition between patterns for the three typical winter patterns

in	Gp.S	out	in	Gp.SA	out	in	Gp.A	out
0/20	Group II	0/10	60/276	Group II	28/218	132/147	Group II	7/106
11/13	S_w	21/8	211/185	S_w	226/168	8/99	S_w	1/82
4/17	SA_w	1/7	257/244	SA_w	299/159	56/131	SA_w	65/78
19/8	SA	12/5	—	SA	—	72/60	SA	111/55
0/0	HL_{spr}	0/0	0/3	HL_{spr}	0/3	0/2	HL_{spr}	0/1
0/1	L	0/0	22/11	L	11/8	27/6	L	1/4
—	S	—	12/5	S	19/8	1/3	S	0/4
2/0	SA_{spr}	0/0	4/1	SA_{spr}	3/2	0/1	SA_{spr}	1/1
1/1	HL_{aut}	2/1	2/12	HL_{aut}	1/12	0/6	HL_{aut}	0/6
0/6	A_w	0/2	31/88	A_w	41/45	61/47	A_w	121/22
0/2	H_{aut&spr}	0/1	3/27	H_{aut&spr}	13/18	7/14	H_{aut&spr}	34/9
0/2	H_{spr}	0/1	0/32	H_{spr}	0/12	4/17	H_{spr}	30/6
0/4	A	1/3	111/55	A	72/60	—	A	—

分子、分母は先行グループ〈in〉と後追いグループ〈out〉の移行実数、確率移行数。
Numerator and denominator correspond to observed and probabilistic mean number for the preceding <in> and subsequent pattern <out>, respectively.

上回っており、これらのパターンが生じたときには $Gp.SA$ へ移行する可能性が高い。次に〈out〉については $Gp.SA_w$ (42%), $Gp.S_w$ (32%), $Gp.A$ (10%) などへ移行しているが、顕著に確率移行数を上回っているのは $Gp.SA_w$ で、 $Gp.SA$ が弱まって生じやすい傾向を示す。ただし、 $Gp.S$ の弱い型である $Gp.S_w$ への移行もみられる。ここでやはり事例数は少ないものの、 $Gp.S$ についても確率移行数 8 例の倍以上となる 19 例が生じていることから移行しやすいといえる。この結果から、強い冬型である $Gp.A$, $Gp.S$, または低気圧型 $Gp.L$ からは $Gp.SA$ に移行しやすく、このパターンが生じた後にはシベリア高気圧が強まって $Gp.S$ になる場合もあるがそのまま弱まって $Gp.SA_w$ に移行しやすいことがわかる。ここで 3 パターンでの連続移行を調べてみても、たとえば $Gp.A \rightarrow Gp.SA \rightarrow Gp.SA_w$ は確率的には 12 例生じるところ 49 例生じており、上記の結論を裏づけている。なお、ここでは $Gp.A \rightarrow Gp.SA$ への実際の移行数は確率移行数のほぼ倍にあたり、生じやすいといえるが逆の $Gp.SA \rightarrow Gp.A$ は確率移行数をそれほど超えているわけではなく、この方向の移行は生じやすいとはいえないことがわかる。一方、弱い冬型である $Gp.S_w$ や $Gp.SA_w$ が生じたときについてさらに詳細に調べてみると、2 パターンの移行でははっきりしなかったが 3 パターンでの連続移行で見た場合、 $Gp.S_w \rightarrow Gp.SA \rightarrow Gp.S_w$ は確率的に 43 例生じるところ、実際には 102 例と確率移行数を大きく超えて生じている。また、 $Gp.SA_w \rightarrow Gp.SA \rightarrow Gp.SA_w$ は確率移行数 54 例のところ 130 例でやはり多くなっている。すなわち、 $Gp.SA$ については弱い冬型である $Gp.S_w$, $Gp.SA_w$ から生じた場合、また同じ弱い冬型になる確率が高いことがわかる。

$Gp.A$: 全移行事例 374 例のうち、〈in〉については寒候期のグループ以外の *Group II* からの移行が 132 例と多いが、これは確率移行数とほぼ同等であ

る (表 1)。残りは冬型の $Gp.SA$ (19%), $Gp.A_w$ (16%), $Gp.SA_w$ (15%) から移行しているが、いずれも確率移行数を顕著に上回るものではない。むしろ $Gp.SA_w$ からは移行しにくいことがわかる。また、 $Gp.L$ については確率移行数 6 例に対して 27 例が存在しているので、この低気圧型が出現したときには $Gp.A$ に移行しやすいといえる。〈out〉については $Gp.A_w$ (32%), $Gp.SA$ (30%), $Gp.SA_w$ (17%) へ移行しているが、確率移行数と比較すれば、 $Gp.A_w$, $Gp.SA$ へは顕著に移行しやすいといえる。また、例数は少ないものの、 $Gp.H_{out&spr}$, $Gp.H_{spr}$ への移行数は確率移行数を大きく上回るもので、春・秋には $Gp.A$ が出現したときにはこれらの高気圧型へ移行しやすい傾向を示す。ここで低気圧型の $Gp.L$ を除けば、移行前の型が必ずしも $Gp.SA$ などのはっきりした冬型ではないことは、日本付近を進んだ低気圧がアリューシャン海域で急速に発達して $Gp.A$ になることを示している。一方でこの型が終了するときには $Gp.SA$ といった冬型に移行する傾向と、そのまま低気圧が弱まり $Gp.A_w$ に変化する傾向がある。ちなみに 3 パターンでの移行で見た場合、 $Gp.A_w \rightarrow Gp.A \rightarrow Gp.A_w$ の確率移行数は 3 例であるが、実際には 31 例生じている。 $Gp.A_w \rightarrow Gp.A$ の移行例は 61 例であるので、 $Gp.A_w \rightarrow Gp.A$ の移行事例に限ってみればその半分が $Gp.A_w$ に移行していることになる。一方 $Gp.SA \rightarrow Gp.A \rightarrow Gp.SA$ の確率移行数は 9 例であるが、実際には 37 例生じている。 $Gp.SA \rightarrow Gp.A$ の移行数は 72 例であるから、 $Gp.SA \rightarrow Gp.A$ の移行事例に限ってみればその半分が $Gp.SA$ に再度移行していることになる。

これらの移行特性の結果を、その他のグループの結果とともに図 7 にまとめて示す。この図からは弱い冬型や低気圧型 ($Gp.L$) などの移行特性も明らかである。

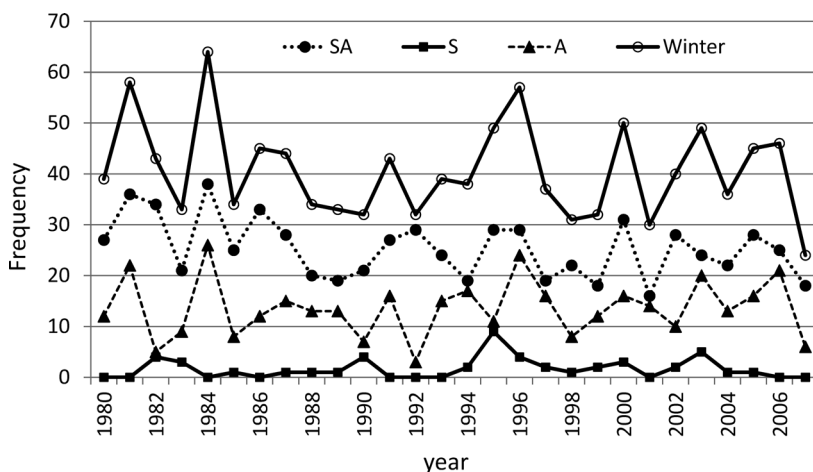


図 11 冬型の典型的な 3 グループの寒候期出現日数の年々変動
Fig. 11 Interannual variation in the frequency of three typical winter groups

6. パターンの年々出現傾向

客観的に分類したグループにおいて、各パターンの出現数を各年の寒候期（6 月から翌年の 5 月までを 1 期間として集計）ごとに集計してその年々変化を調べた。この結果、今回の解析で寒候期として分類したグループ全体の出現数は 2000 年代にやや少ない傾向はみられたが、30 年間で明確なトレンドはみられなかった。また、冬型の主要な 3 パターン（ $Gp.S$, $Gp.SA$, $Gp.A$ ）やその合計についてもそれほど顕著なトレンドはみられなかった（図 11）。この解析については今後のデータの蓄積を待って検討する予定である。

IV 結 論

東アジア地域における 30 年間の午前 9 時の海面気圧の分布パターンを、多変量解析を通じて客観指標に置き換え、これらの分類を行った。本研究では寒候期を対象とし、平均的な分布型、出現の卓越季節や、従来の手法による結果との対応を調べ、得られた各パターンの特徴を明らかにした。また、パターンの時間的な推移に着目して、同一パターンの継続性や移行特性についても検討を行った。

この結果、東アジア地域における寒候期の海面気圧の分布パターンを 12 のグループに分類した。12 のグループは、強い冬型（シベリア高気圧卓越型 $Gp.S$ 、アリューシャン低気圧卓越型 $Gp.A$ 、混合型 $Gp.SA$ ）、弱い冬型（ $Gp.SA_w$, $Gp.S_w$, $Gp.A_w$ ）、低気圧型（ $Gp.L$ ）、移動性高気圧型（ $Gp.H_{spr}$, $Gp.H_{aut&spr}$ ）、移動性高気圧・低気圧型（ $Gp.HL_{aut}$, $Gp.HL_{spr}$ ）、その他（ $Gp.SA_{spr}$ ）にまとめられ、その特徴をもとに名前がつけられた。

6 時間ごとのデータで調べたグループ間の移行特性については、基本的にはそれぞれのグループからその季節に存在しうるさまざまなグループへ出現比率に応じて確率的に移行している（さまざまなパターンへ変化する）と考えられるが、たとえば $Gp.A \rightarrow Gp.SA \rightarrow Gp.SA_w$ や $Gp.SA \rightarrow Gp.A \rightarrow Gp.SA$ など、特定のパターンから特定のパターンへ移行しやすい、あるいは移行しにくいという特徴が確率によって定量的に明らかになった。

客観的に分類したグループにおいて、各パターンの出現数を各年の寒候期ごとに集計してその年々変化を調べたが、冬型の主要な 3 パターンやその合計にはそれほど顕著なトレンドはみられなかった。

本研究で得られた各グループについては、さらに細分化して、個々のグループの特性を詳細に調べることで、たとえばアリューシャン低気圧の盛衰に関する統計的な解析が期待される。また、本結果（またはその細分結果）は寒候期に生じる特定の気象現象のバックグラウンドの解析に利用できるだけでなく、手法を地球温暖化予測結果の気象場（パターン）の特定に用いれば、現在から将来への気象場の頻度や強度の変化の推定に用いることができる。今後は、ここで得られたパターンを用いて降水量等に関するダウンスケーリングを行う予定であるが、今回扱っていない暖候期のパターンに対する解析を進めると同時に、将来的には海面気圧のみではなく、他の気象要素（温度、水蒸気、風など）を上空のパターン（上空の指定気圧面の高度場や温度場の主成分・クラスター分析、あるいは複数の高度の同時主成分分析）とあわせて複合的に分類し、3次元的な気象場の分類を行い、さらに高度なダウンスケーリングを目指す。

本研究を遂行するにあたり、筑波大学名誉教授・吉野正敏先生、日本大学文理学部・山川修治先生には貴重な資料を利用させていただくと同時に有益なコメントをいただいた。記して謝意を表する。

本稿は2009年度および2010年度日本地理学会秋季学術大会において発表した内容をまとめたものである。

（投稿 2012年2月14日）

（受理 2012年12月8日）

文 献

飯泉仁之直・西森基貴・石郷岡康史・横沢正幸 2010. 統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門. 農業気象 66: 131-143.
 稲津 将・佐藤友徳 2010. 大は小を兼ねるのか: ダウンスケーリング. 天気 57: 195-199.
 奥野忠一, 芳賀敏郎, 矢島敬二, 奥野千恵子, 橋本茂司, 古賀陽子 1976. 『続多変量解析法』日科技連.
 加藤央之 1983. 日照時間・日平均気温の変動形態から見た北海道の地域特性. 地理学評論 56: 1-16.
 加藤央之 2007. IPCC 第4次報告書の要点・解説. 地学雑誌 116: 798-810.

河口至商 1978. 『多変量解析入門Ⅱ. 数学ライブラリー46』森北出版.
 気候影響・利用研究会 2002. 『日本の気候Ⅰ』二宮書店.
 小林 孝・小尻利治・野沢 徹 2008. 全球大気海洋結合モデル MIROC 出力のダウンスケールと流域内降水量の推定. 水文・水資源学会誌 21: 423-438.
 鈴木力英・河村 武 1987. 夏型気圧配置時の中部日本における地上風系の特徴. 天気 34: 715-722.
 山川修治 1988. 東アジアにおける卓越気圧配置型の季節推移からみた近年の気候変動. 地理学評論 61A: 381-403.
 吉野正敏・甲斐啓子 1977. 日本の季節区分と各季節の特徴. 地理学評論 50: 635-651.
 Bardossy, A. and Caspary, H. J. 1990. Detection of climate change in Europe by analyzing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989. *Theoretical and Applied Climatology* 42: 155-167.
 Bardossy, A. and van Mierlo, J. M. C. 2000. Regional precipitation and temperature scenarios for climate change. *Hydrological Sciences Journal* 45: 559-575.
 Corte-Real J., Qian, B. and Xu, H. 1999. Circulation patterns, daily precipitation in Portugal and implications for climate change simulated by the second Hadley Centre GCM. *Climate Dynamics* 15: 921-935.
 Enke, W. and Spekat, A. 1997. Downscaling climate model outputs into local and regional weather elements by classification and regression. *Climate Research* 8: 195-207.
 Esteban, P., Jones, P. D., Martin-Vide, J. and Mases, M. 2005. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *International Journal of Climatology* 25: 319-329.
 Hewitson, B. C. and Crane, R. G. 2002. Self-organizing maps: Applications to synoptic climatology. *Climate Research* 22: 13-26.
 Huth, R. 1996. An intercomparison of computer-assisted circulation classification methods. *International Journal of Climatology* 16: 893-922.
 Huth, R. 2000. A circulation classification scheme applicable in GCM studies. *Theoretical and Applied Climatology* 67: 1-18.
 IPCC 2007. Climate change 2007: The Physical Science, Intergovernmental Panel on Climate Change.
 <<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>> [cited 2007/08/29]
 Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W.,

- Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, A., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. and Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77: 437–471.
- Kato, H., Hirakuchi, H., Kadokura, S., Oshima, N., Nishizawa, K. and Giorgi, F. 2001. Performance of RegCM2.5/NCAR-CSM nested system for the simulation of climate change in east Asia caused by global warming. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 79: 99–121.
- Kato, H., Oshima, N. and Kadokura, S. 2007. Performance of global climate model for reproducing present SLP field over eastern Asian region in the CO₂ transient run. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 83: 169–188.
- Kats, R. W. 1996. Use of conditional stochastic models to generate climate change scenarios. *Climatic Change* 32: 237–255.
- Kidson, J. W. 2000. An analysis of New Zealand synoptic types and their use in defending weather regimes. *International Journal of Climatology* 20: 299–316.
- Murphy, J. 1999. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of Climate* 12: 2256–2284.
- Oshima, N., Kato, H. and Kadokura, S. 2002. An application of statistical downscaling to estimate surface air temperature in Japan. *Journal of Geophysical Research* 107: 10.1029/2001JD000762.
- Oshima, N., Kadokura, S. and Kato, H. 2004. Statistical downscaling estimates of high temperature in summer in Japan. *Geographical Review of Japan* 77: 336–351.
- Palutikof, J. P., Goodess, C. M., Watkins, S. J. and Holt, T. 2002. Generating rainfall and temperature scenarios at multiple sites: Examples from the Mediterranean. *Journal of Climate* 15: 3529–3548.
- Von Storch, H., Zorita, E. and Cubash, U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *Journal of Climate* 6: 1161–1171.
- Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L. O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. *Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 1–27.
http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf (最終閲覧日 2010 年 5 月 6 日)
- Yoshino, M. M. and Kai, K. 1974. Pressure pattern calendar of East Asia, 1941–1970, and its climatological summary. *Climatological Notes* 16: 71.
- Yoshino, M. M. and Yamakawa, S. 1985. Pressure pattern calendar of East Asia, 1971–1980, and its climatological discussion. *Climatological Notes* 34: 37.

**Objective Classification of the Sea Level Pressure Distribution Pattern in East Asia:
Analysis of the Cold Half of the Year**

KATO Hisashi*, NAGANO Yoshinori* and TANAKA Seiji**

(*Department of Geosystem Sciences, Nihon University, **Institute of Natural Science, Nihon University)

As the first step in a series of statistical downscaling studies, an objective classification of the sea level pressure (SLP) distribution pattern in the East Asian region was conducted. Patterns classified by this method for the cold half of the year were characterized by referring to their group mean distribution patterns, prevailing seasons, and those obtained by traditional weather classification methods. On the basis of the time series of patterns obtained, the continuity of each pattern and transition between patterns were also investigated quantitatively depending on the probability. This method is based on multivariate analysis, in which a large number of parameters from the SLP field (distribution pattern) are integrated into a limited number of objective indices, and the distribution patterns are classified depending on the indices. First, SLP data at 00UTC for a period of 30 years (1979–2008) from the NCEP/NCAR dataset were analyzed using principal component analysis (PCA). Then, 10,958 days (distribution patterns) were classified into groups by cluster analysis in the six-dimensional space with the axes of the first six component scores of the PCA. Winter SLP distribution patterns in the East Asian region were classified into 12 groups (patterns). Each pattern was named according to the feature clarified. These patterns were mainly characterized as a strong winter pattern (three groups: Siberian high type, Aleutian low type, mixed type), weak winter pattern (three groups), cyclone pattern, anticyclone/cyclone pattern (two groups), anticyclone pattern (two groups), and others. Our method classified the strong winter pattern into three groups from the meteorological point of view. Through the use of the additionally calculated six-hourly time series of the patterns, the temporal continuity of each group was investigated. The group to which specific groups tend to shift was also clarified quantitatively. In the interannual variation of the frequency of each group, no increasing or decreasing trend was found, especially in those of the strong winter patterns. Our method enables the objective classification of the SLP distribution patterns according to the quantitative value. This will be helpful in evaluating climate change quantitatively from the frequency and intensity of each pattern when our method is applied to future SLP distribution patterns in the globally warming world.

Key words: weather classification, principal component analysis, cluster analysis, sea level pressure, statistical downscaling