

1980年代後半の全国的な冬季昇温に伴う 降水量分布の変化と気圧配置型の影響

伊藤陽晃* 上野健一**

Changes in Precipitation Distribution Associated with Abrupt Warming in Winter at the End of the 1980s and the Effects of Surface Pressure Patterns

Teruaki ITO* and Kenichi UENO**

[Received 20 August, 2014; Accepted 10 August, 2015]

Abstract

Changes in precipitation distribution associated with a surface temperature rise in the late 1980s, which accompanied a climatic regime shift, are investigated using Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) data of the Japan Meteorological Agency, and their relations with the variability of surface pressure patterns are revealed. After the temperature rise, the frequency of winter monsoon pressure patterns did not decrease. According to the classification of pressure patterns, long-term variations of surface pressure pattern frequencies showed negative relations between the winter monsoon and high-pressure patterns before 1992, which subsequently changed to the negative relations between the winter monsoon and traveling low-pressure systems. After the temperature rise, in years when low-pressure patterns prevailed, precipitation increases were observed in western Japan due to low-pressure systems traveling over the Pacific coast, and in wider areas from central Japan to Kyusyu areas due to low-pressure systems traveling over the Sea of Japan. Recently, the frequency of stationary front patterns has been increasing with precipitation increasing in the Setouchi area of western Japan. In years with a warm winter, precipitation increased in wider areas of the Pacific coast to inland areas of central Japan. In cold winters, low-pressure systems traveling over the Pacific coast decreased precipitation in central to western Japan. However, after a temperature rise, low-pressure systems traveling over the Sea of Japan decreased precipitation at the coast of the sea of Japan from central Japan to Hokkaido.

Key words : distribution of winter precipitation, synoptic pressure pattern, regime shift, AMeDAS
キーワード : 冬季降水量分布, 気圧配置型, レジーム・シフト, アメダスデータ

I. はじめに

日本列島における冬季降水量分布は季節風に対

する脊梁山脈の影響で地域性に富み、気圧配置や標高・緯度帯に応じて降水形態も変化する。北日本や日本海側の地域では多量の降雪量が水資源や

* 元・筑波大学生命環境科学研究科

** 筑波大学生命環境系

* Graduated of Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan

** Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan

スキー場などの観光資源として活用される反面、雪崩などの雪害をもたらす。一方、太平洋側の地域は夏季に比べて降水量は少ないが、南岸を通過する温帯低気圧による大雪は、大都市での交通障害や農作物被害を引き起こす。長期的な温暖化に伴い、降水量分布が数十年程度の時間スケールでどのように変化しているかを明らかにすることは、地域の気候変化を理解し将来の水資源管理を計画する上で重要と考える。

総観規模の観点から、日本列島付近に冬季降水をもたらす主要因を季節風と温帯低気圧に分けて考えることができる。季節風卓越時にユーラシア大陸から移流する寒冷で乾燥した気団は、日本海上で気団変質を起こして湿潤化し、海洋上で北西季節風により収束帯を形成したり、脊梁山脈で地形性降水を発生させる（吉崎・加藤, 2007; 二宮, 2008）。これは冬型降水と呼ばれ、おもに日本海側に降水をもたらす。北西季節風の強度はシベリア高気圧やアリューシャン低気圧の強さに対応し、この年々変動は日本列島も含む東アジア地域全体の気温、降水量にも影響を及ぼしている（松村・謝, 1998; 中村ほか, 2002; 本田・高谷, 2007）。一方、冬季の日本列島付近は温帯低気圧の発生・通過域でもある（上野, 1991; Adachi and Kimura, 2007）。温帯低気圧による降水は、おもに日本海南西部で発生し日本海を北東に進む経路をとる日本海低気圧と、東シナ海で発生して日本列島の南海上を東進し東方海上へ進む経路をとる南岸低気圧によってもたらされる（田坂, 1980）。日本海上と南岸に中心をもつ2つの低気圧がほぼ同時に東進する、いわゆる二つ玉低気圧によって悪天候がもたらされることもある（小倉ほか, 2006; 櫃間, 2006）。温帯低気圧の活動の年々変動は半球規模のテレコネクションパターンと連動し、太平洋側の降水量変動と有意な相関がある（Ueno, 1993）。本州内陸で発生する極端な大雪の分布が、南岸低気圧の発達段階と関係していることを安藤・上野（2015）は明らかにしている。

総観規模擾乱の種類は気圧配置型で把握されることが多く、気圧配置型の出現頻度と冬季降水量

分布の変動との関係が多くの研究により論じられてきた。例えば、田坂（1988）は1971～1976年の冬季（前年12～2月）を対象として、総降水量に対する冬型、日本海低気圧、南岸低気圧、二つ玉低気圧の各要因での降水量の寄与率を分析し、本州以西の太平洋側では南岸低気圧、東北日本海側では日本海低気圧、北陸や北海道西部では冬型による寄与が大きいことを示した。一方で、冬季を全国的な平均地上気温の相対的な変動から暖冬・寒冬に分類し、両者での降水量分布傾向の違いを論じた研究もある。仁科（1992）は1951～1990年の1月における月降水量、積算降雪深を分析し、寒冬時は日本海寒帯気団収束帯（Japan-Sea Polar-Airmass Convergence Zone; JPCZ）の上陸域を除いて降水量が少ないが降雪量は日本海側で増加する傾向となり、暖冬時には太平洋側で降水量が多く降雪量は山間部などを除き少なくなることを指摘した。

暖冬・寒冬の際に卓越する総観規模擾乱の頻度を分析し、降水量分布変動との関係を明らかにした研究に梅本（1991）がある。この研究では、1954～1980年の冬季における全国121地点の気象官署データと地上天気図を分析し、寒冬年には冬型、暖冬年には低気圧による降水が起こる頻度が高くなることや、それぞれの気圧配置型による降水量が冬季積算降水量に占める割合が大きくなることを指摘した。降水量分布に着目すると、とくに寒冬年には北海道西部と北陸で平年より多降水量となり、暖冬年においては北陸と東北日本海側で平年より少降水量となることなどが示されている。すなわち、暖冬年と寒冬年では出現する気圧配置型の頻度が異なり、その結果、日本海側と太平洋側や内陸地域における降水量の増減を生むことが述べられている。

暖冬年・寒冬年の出現傾向は数十年スケールで大きく変動しており、最近30年間でもその変動の一端がみられる。図1aに気象官署のなかから都市の温暖化の影響が少なく特定の地域に偏らないとされる15地点¹⁾における1901～2014年の冬季平均気温の1981～2010年の平均値からの偏差（気象庁, 2014a）の時系列を示す。気温

偏差の長期変化をみると、期間の後半になるにつれて上昇傾向にある。しかし、そのなかでも1904～1913年、1917～1929年、1942～1947年、1961～1968年、1974～1978年、1980～1986年の期間では低温傾向、1949～1960年、1969～1973年、1989～2010年の期間では高温傾向がみられる。1945～1949年と1987～1989年に生じた昇温は顕著で、とくに1987～1989年の昇温に伴い、日本海沿岸における積雪量が急激に減少している（鈴木、2006）。その結果、2011年以降は気象庁が公表する全国の気温平年値（過去30年平均値）が高温側に大きく修正されることとなった。しかし、降水量変動と気圧配置型の関係に関する従来の研究の多くは1980年代以前の期間を対象としており、1990年以降の気温が高温にシフトした期間で両者の関係がどのように変化したかを分析した研究は少ない。

気候の数十年スケールの変動を示す指標のひとつに太平洋十年規模振動（PDO）指数がある。図1bにMantua *et al.* (1997)により北太平洋の北緯20度以北における海面水温偏差の経験的直交関数（EOF）の第一モードの時間係数で定義されたPDO指数を示す。ここでは、地球温暖化の影響をとり去るため、EOF計算を行う前にそれぞれの地点の月平均海面水温偏差から全球平均の月平均海面水温偏差を除いている（気象庁、2014b）。冬季平均気温とPDO指数との相関係数は -0.223 で、危険率5%で有意となり、とくに1987～1989年にみられる顕著な昇温はPDO指数の顕著な低下と一致している。このような急激な気候系の変化は海洋生態系の活動でも検出されており、「レジーム・シフト」と呼ばれている。Hare and Mantua (2000)によればレジーム・シフトは近年では1977年前後と1989年前後に発生しているとされ（図1b、破線）、大気の高周波変動による海洋の低周波応答によるもの、大気海洋相互作用によるもの、気候システムに対する外力の変動によるものなど諸説のメカニズムがあげられている（例えば、花輪、1996）。

気候の数十年スケールの変動に関連して、低気圧通過に伴う中部山岳域での積雪への影響にも

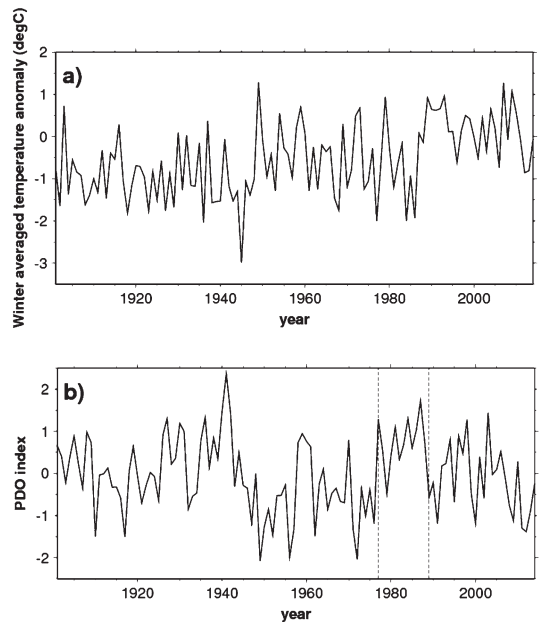


図1 a) 気象官署15地点の平均気温の1980～2014年の平均値からの偏差の時系列。b) PDO指数の長期変動。破線はHare and Mantua (2000)が指摘するレジーム・シフト発生年。

Fig. 1 a) Long-term variability of surface temperature averaged at 15 stations of the Japan Meteorological Agency (JMA), and b) the same for PDO index. Broken lines indicate the “Regime Shift” identified by Hare and Mantua (2000).

変化が生じているという報告もある。上野ほか(2010)は低気圧通過に伴う山岳部での急激な雪面低下を観測し、1980年代以降の発生頻度増加とPNA (Pacific-North American pattern)・WP (Western Pacific) といったテレコネクションパターンの変調に伴い低気圧経路が北進成分を強めていることの関連性を指摘している。また、佐藤ほか(2012)は温帯低気圧通過時に発生する冬季降雨発生頻度もPDO指数の年々変動と有意な関係があることを示している。つまり1980年代後半のレジーム・シフトに伴う昇温によって、暖冬年・寒冬年に卓越する総観規模擾乱の種類や経路に変化が生じ、従来指摘されてきた冬季降水量分布と気圧配置型の関係が大きく変化している可能性が考えられる。

従来の降水量分布の変動解析は、長期間の解析を優先するために気象官署のデータを利用し、1980年代以前を対象としたものが多い（気象官署と、それが無人化された特別地域気象観測所は2014年4月1日現在、全国で156か所ある）。しかし、例えば冬型の気圧配置に伴う降水分布が山脈に依存した著しい天気界を伴うように（須田・上野, 2013）、列島内の地形分布は冬季の降水擾乱に大きな影響を及ぼすため、気象官署のデータのみでは総観規模擾乱の種類や経路変化に応じた降水分布変動を議論することが難しい。気象庁の地域気象観測システム（通称アメダス）は1974年から稼働し、全国約1300地点で30年以上のデータが蓄積されつつある。そこで、本研究では1980年代後半に発生したレジーム・シフトを伴う昇温に着目し、この前後で気圧配置型の発生頻度とそれに伴う降水量分布がどのように変化したかを明らかにした。さらに、この昇温に伴い平年値が変化したなかで定義される寒冬時の降水量分布と気圧配置型の関係が、従来の研究結果（例えば、梅本, 1991）とどのように異なるかを考察した。

II. データおよび解析手法

アメダスは1974年に観測が開始され、現在では全国に約1300地点で展開し、約30年分のデータが蓄積されている。気象官署や特別地域気象観測所の多くは平野部、都市部に位置しているが、アメダスのデータを活用することで山間部も含むより小さな空間スケールの現象解析が可能となる。本研究の解析期間は1980～2012年の冬季とした。ここで、冬季とは前年12月から当年2月までとし、例えば2012年冬季とは2011年12月1日～2012年2月29日となる。データの精度は気温が0.1℃、降水量が1 mm/dayである²⁾。降水量解析にあたっては、一冬季の欠測日数が冬季90日間（閏年は91日間）で年6日以上（6.5%）発生した年を欠測年とし、北緯30度以北で欠測年が3年以下の地点を選出した。その結果、全国901地点のデータ（図2）を使って降水量分布を把握した。気温に関しても、同じ基準で欠測年が

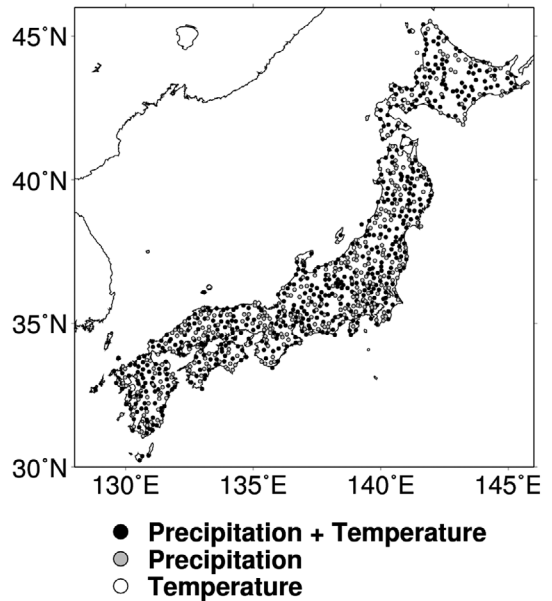


図2 解析対象地点。黒丸は気温と降水量観測地点、灰色丸は降水量、白丸は気温観測地点。

Fig. 2 Distribution of analysis points. Black, gray and white circles indicate precipitation with temperature, precipitation only, and temperature only observation points, respectively.

ある地点を削除したところ全国544地点が選出され、そのデータを使って全国冬季平均気温を算出した。

図3に解析期間中の全国冬季平均気温の年々変動を示す。期間中で、下位4年の1981, 1984, 1986, 2012年を寒冬年とし（図中で、黒丸）、上位4年の1989, 1993, 2007, 2009年を暖冬年とした（図中で、黒四角）。1986年から1989年にかけて急激に気温が上昇し、それ以降は高温を維持している。その結果、寒冬年は期間の前半、暖冬年は期間の後半に集中した。本研究では1980年代後半に発生した昇温以降の高温期間に平年値の変更に伴い再定義される寒冬年・暖冬年での降水量分布が、昇温以前に比べてどのように変化したかも把握するために、1989～2010年を高温期と定義し、この期間中で相対的に寒冷な1996, 2001, 2003, 2006年の4年間（図中で、黒三角）を“高温期寒冬年”として定義し、“寒

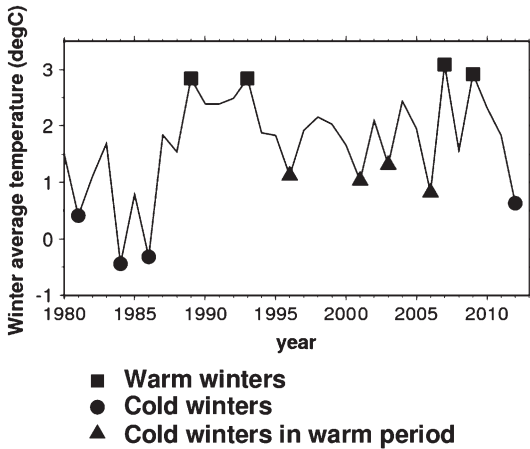


図 3 全国 544 地点で平均した冬季平均気温の年々変動。黒四角は暖冬年，黒丸は寒冬年，黒三角は高温期寒冬年を示す。

Fig. 3 Year-to-year variability of winter temperatures averaged at 544 of AMeDAS from 1980 to 2012. Black square, black circle and black triangle indicate Warm winters, Cold winters, and Cold winters in warm period, respectively.

冬年”と区別した。

次に気圧配置型の分類方法を説明する。一年間を通した気圧配置型は西高東低型，気圧の谷型，移動性高気圧型，前線型，南高北低型，台風型，その他，結合型のように分類されることが多い(吉野・福岡, 1967; 吉野・甲斐, 1975)。冬季に限定した場合，梅本(1991)は降水要因を寒波によるもの(M型)，低気圧によるもの(L型)，両者が混合しているもの(ML型)，その他(O型)に分類している。田坂(1980)は，地上天気図から低気圧の経路を求め，太平洋岸を通る場合と，日本海を通る場合とで降水分布が異なることを示した。つまり，温帯低気圧については，経路の違いを気圧配置型に反映する必要がある。さらに，冬季であっても移動性高気圧や前線による天候が発生する場合もあり，これらの気圧配置も捉えるような分類をする必要があると考えられる。そこで，本研究では当日の降水量分布にもっとも影響を与えた総観規模擾乱を反映させる気圧配置型の分類を以下に従って行った。

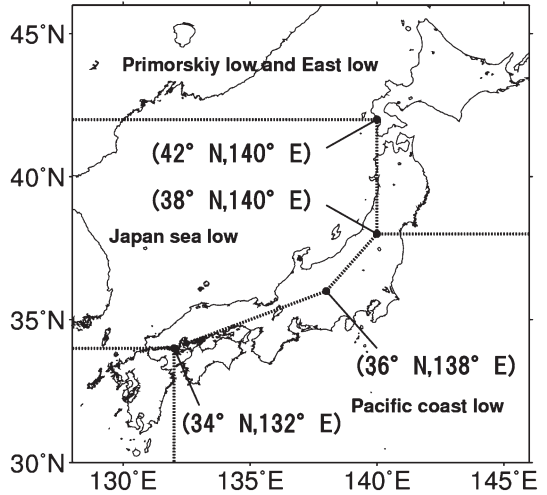


図 4 低気圧の分類に用いた判定領域。

Fig. 4 Area map used to define types of extratropical cyclone.

まず，全国の日降水量分布を大観し，その日にもっとも降水量が多く出現した地域に影響を及ぼした総観規模擾乱を気象庁発表の9時と21時(JST)の地上天気図を用いて判定した。降水をもたらした擾乱が低気圧の場合，低気圧の中心が図4に示した領域のいずれを通過したかも加味し，各日の気圧配置を冬型，二つ玉低気圧型，南岸低気圧型，日本海低気圧型，高気圧型，停滞前線型，沿海州・東岸低気圧型，その他型の8つに分類した。日本海から南岸，日本海から沿海州，南岸から日本海という経路で各領域を通過した低気圧は最初に通過した領域のものと判定した。南岸低気圧(日本海低気圧)型と判定された日に，日本海低気圧(南岸低気圧)による降水量が存在する場合を二つ玉低気圧型とした。本論文では二つ玉低気圧型，南岸低気圧型，日本海低気圧型，沿海州・東岸低気圧型をあわせて低気圧型と呼ぶ。西高東低の気圧配置で，寒波の流入に伴い脊梁山脈に沿って地形性降水の発現が生じたとみられた日については冬型とした。低気圧の通過後に発生する寒気移流に伴う(いわゆる引きの冬型)の場合，降水が生じた時間と低気圧の中心位置との関係から，降水により影響が大きいとみら

れる擾乱によって冬型か低気圧型かを判定した。高気圧型とは、全国的には移動性高気圧に覆われているが、その後方や縁辺部で降水が確認された場合とした。停滞前線による降水が主降水要因の場合は停滞前線型とし、気圧の谷など、これまでの分類に該当しない擾乱による降水が主降水要因の場合はその他型とした。このなかには1例のみ判定された台風による降水も含まれている。なお、期間中に全地点で降水をまったく観測しなかった日はなかった。

そのほか、昇温に伴う日本列島付近の気圧傾度の変化を解析するために、気象庁と電力中央研究所より提供されているJRA-25 (Japanese Re-Analysis 25 years) 長期再解析データ (Onogi *et al.*, 2007), および気象庁より提供されているJCDAS (JMA Climate Data Assimilation System) データを用いた。

III. 気圧配置型および降水量分布の経年変化

1) 気圧配置型の経年変化傾向

一冬季に出現した各気圧配置型の日数の年々変動を図5に示す。冬季にもっとも出現頻度が多い気圧配置は冬型で、頻度に年々変動が大きく、1985～1993年付近でやや低下するものの長期的な増減傾向はみられない。低気圧型の頻度は1986年頃までは冬中に30日間程度と一定に推移したが、その後は数年スケールで大きな変動を示している。一方、高気圧型は1992年までは出現頻度が大きかったが、それ以降は多くても20日間程度に収まる振幅となった。興味深いことに、この1992年以前までの高気圧型頻度の年々変動は冬型の変動と逆位相の関係がみられ(図5で白丸と白四角)、それ以降は低気圧型頻度の年々変動と冬型の変動に逆位相の関係が明瞭となった(図5で黒丸と白四角)。1980～1992年の冬型-高気圧型の相関係数は -0.90 で危険率1%で有意であり、1993～2012年の冬型-低気圧型の相関係数は -0.84 で危険率1%で有意である。これは1990年代前半までは冬型の頻度が少ない年には移動性高気圧が卓越する日が増加したが、1990年代後半からは冬型が弱化するると低

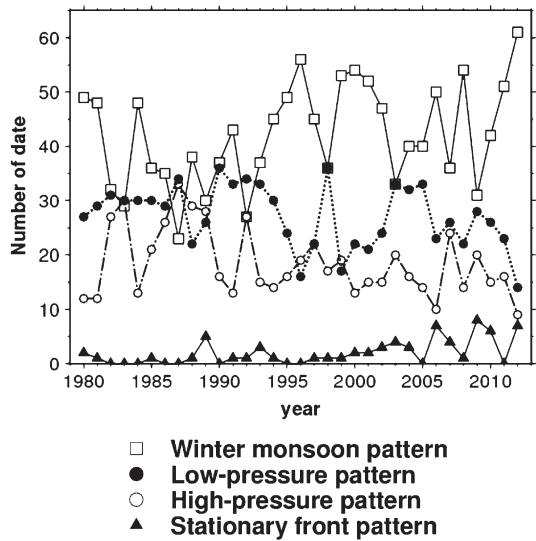


図5 各気圧配置型の出現日数の経年変化。

Fig. 5 Year-to-year variability of surface pressure pattern frequencies.

気圧が到来する日が増える年が増加したことを意味している。一方で、頻度は少ないが停滞前線型の出現日数が2000年代後半から大きな年々変動を示しつつも増加傾向を示した。

1980年代後半に発生した昇温の前後で、気圧配置型の出現頻度に違いがあるかを調べた。今回の解析はアメダスデータに準拠しているために、統計期間が1980年以降となり、それ以前の比較的低温な期間が短い。そこで、昇温以降の統計サンプル数を昇温前と同等にするために1989年を境界としてその前後9年間とし、両期間の頻度の差を調べた。表1に気圧配置の出現頻度を1980～2012年(以後、平年と呼ぶ)、1980～1988年(低温期)、1989～1997年(高温期)に分けて示す。その結果、高温期は低温期に比べて高気圧型頻度の割合が低下する一方で、冬型頻度の割合は増加傾向を示した。両期間中の北東アジアから太平洋西岸にかけての冬季地上気圧の平均分布を作成し、その差を調べたところ、シベリア付近の気圧が低下し、北東太平洋上では気圧が増加し、平均的には西高東低の気圧配置が緩む傾向を示した(図6)。これは、個々の冬型の強度が弱化した

表 1 異なる3つの期間における気圧配置型の冬季平均出現頻度. 括弧内は割合(%) .

Table 1 Numbers and appearance ratios of each pressure pattern in the periods 1980-2012, 1980-1988 and 1989-1997. Number in parentheses indicates the percentage (%).

	1980-2012	1980-1988	1989-1997
Winter monsoon pattern	42.12 (46.7)	37.56 (41.6)	41.00 (45.4)
Low-pressure pattern	27.15 (30.1)	29.11 (32.2)	28.22 (31.3)
Pacific coast low pattern	9.30 (10.3)	8.78 (9.7)	8.22 (9.1)
Japan sea low pattern	8.55 (9.5)	11.56 (12.8)	9.33 (10.3)
Coupled lows pattern	7.15 (7.9)	7.56 (8.4)	7.67 (8.5)
Primorskiy low and East low pattern	2.15 (2.4)	1.22 (1.4)	3.00 (3.3)
High-pressure pattern	18.48 (20.5)	22.56 (25.0)	18.89 (20.9)
Other	2.52 (2.8)	1.11 (1.2)	2.11 (2.3)

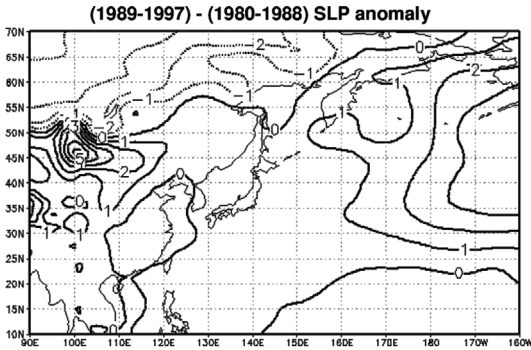
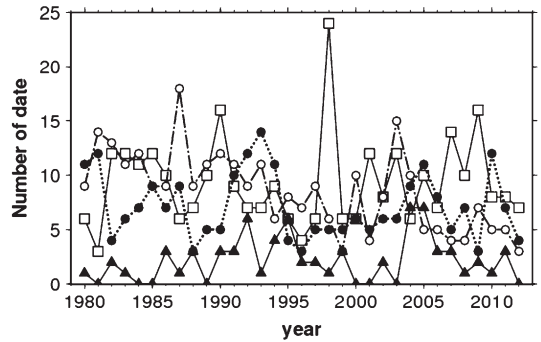


図 6 高温期(1989~1997年)から低温期(1980~1988年)を差し引いた海面更正気圧の差.

Fig. 6 Differences in sea-level pressures between 1980-1988 (cold period) and 1989-1997 (warm period).

ことを示唆している。一方で低気圧型全体の頻度は若干減少しているもののあまり差がなく、図5でみられるように統計期間の1997年以前が低気圧頻度の大きな減少期間を含むことが原因と考えられる。経路別にみると日本海低気圧の頻度が高温期になると減少する傾向がみられた。

図7に経路別に分類された低気圧型の頻度に関する経年変化を示す。南岸低気圧型は1991~1997年にかけて少なくなる傾向を示したあと、1998年には急増した。2001年から2010年にかけて大きく変動しながらも高い値を示し、頻度についての変動は増幅した。日本海低気圧型は1990年代に減少傾向を示し、2000年から2004年に



□ Pacific coast low pattern
○ Japan sea coast low pattern
● Coupled lows pattern
▲ Primorskiy low and East low pattern

図 7 各低気圧型の出現日数の経年変化.

Fig. 7 Year-to-year variability of low-pressure pattern frequencies.

かけて若干高い値を示したが、2005年以降は大きく低下した。1990年代前半以前に一定の頻度であったのが10年スケールでの変動を示すようになった。二つ玉低気圧型は1991年から1994年まで高い値を示した。その後は2004年から2006年にかけてと2010年には増加したが、それらの年以外は低い値を示した。沿海州・東岸低気圧型では1992年、1995年、2004年、2005年に若干増加を示したものの、全体的には低くなった。図5で示された低気圧全体の頻度変化は特定の低気圧型に依存しているわけではなく、1990年

後半から冬型に代わり到来するようになった低気圧には、日本海低気圧および南岸低気圧の活動が寄与していることがわかった。冬季に通過する低気圧は山岳高標高域で降雪を伴い積雪水量の増加に寄与する。実際、鈴木（2013）や清水（2005）らは高標高地点での冬季降水量の増加傾向を指摘しており、上野ほか（2010）は長野県菅平高原（標高 1300 m）中部山岳域での冬季降水量の年々変動が日本海低気圧の中心気圧と逆位相の関係にあることを明らかにしている。長期的な降水量変化傾向を議論する場合、とくに季節風が卓越しない日における降水量変動が顕著な領域の詳細を長期的な経年変化傾向を冬型の発生頻度と対比しつつ注視していく必要がある。

2) 昇温後の低気圧の年々変動、停滞前線の頻出傾向に伴う降水量分布の特徴

図 5 より、1980 年代後半に出現した昇温後に、冬型と低気圧型は有意な負の相関を示すようになったことがわかった。また、2000 年代には停滞前線型の頻度が急増したことも示された。これらの傾向は、昇温を経て出現した近年の気圧配置型の変化として注目されるものである。そこで、本項では低気圧の年々変動、また停滞前線型の気圧配置の増加に伴って降水量分布がどのように変化したかについて解析した。

まず、低気圧型気圧配置について、今回は低気圧頻度が 1989～2012 年の平均値よりも $+1\sigma$ （標準偏差）以上となった年を低気圧型頻度増加年とし、これらの年の平均降水量（各年の降水量についての図は省略）と 1989～2012 年の平均降水量との差を求めることで降水量の変化を示す。1989～2012 年の期間の低気圧型気圧配置の出現頻度の平均は 26.42 日となり、標準偏差は 6.38 日となった。そのため、低気圧型頻度増加年は 33 日以上出現した年となる。結果として、1990～1993 年、1998 年、2003 年、2005 年が低気圧型頻度増加年として抽出された。図 8a～d に、低気圧型頻度増加年における南岸低気圧型、日本海低気圧型、二つ玉低気圧型、沿海州・東岸低気圧型別にみた降水量偏差の分布を示す。ほとんどが正偏差で、南岸低気圧型による偏差分布（図 8a）

では関東・北陸地方以西のほぼすべての地点で増加傾向がみられた。これは、1990 年と 1998 年に出現頻度が極端に増えた影響が大きい。また、2005 年にも九州から中部地方にかけてと東北北部で顕著な増加となった影響もある。日本海低気圧型による偏差分布（図 8b）では東海から九州にかけての太平洋沿岸と中国地方西部、九州北部で増加する傾向がみられた。これは、1990 年と 2003 年にも西日本太平洋側で顕著な増加がみられたこと、とくに 1990 年には山口県付近でも顕著な増加となった影響が大きい。二つ玉低気圧型の偏差分布（図 8c）では九州北部や山陰から東北地方にかけての日本海側、四国太平洋側や紀伊半島南部、静岡県付近、そして北関東から東北地方にかけての太平洋側と内陸の一部で増加する傾向がみられた。これは、1993 年に本州と四国の広い範囲で顕著な降水となったことが最大の要因とみられる。また 1991 年に九州から北陸までの日本海側の山間部と四国、紀伊半島南部で、1992 年には山陰と四国で、2005 年には山陰から北陸にかけての日本海側と、北関東や東北南部で局地的に顕著な降水となったことの影響が大きい。沿海州・東岸低気圧型の偏差分布（図 8d）では東北日本海側に一部増加がみられた。いずれの低気圧型も、それぞれの出現頻度が多くなった年に多降水量がもたらされた地域で増加していることがわかる。

図 5 で示された停滞前線の出現頻度の 2000 年代以降の増加する傾向について解析した。この寄与が冬季降水量分布のパターンに影響を及ぼしているかを調べるために、冬季降水量に対する停滞前線型で発生した降水量の割合を 1980～2012 年の期間と、2003～2012 年の期間で比較した（図 9）。これをみると 1980～2012 年の期間には九州で 10～15%の増加がみられる地点が出現したが、ほとんどの地域で偏差はみられなかった。しかし、2003 年以降には明瞭な正の偏差が東海以西の太平洋沿岸から西日本にかけて出現するようになった。降水量の正偏差が 15%を超える地点は九州西側から瀬戸内海および紀伊半島南端に出現した。とくに瀬戸内沿岸で増加する傾向

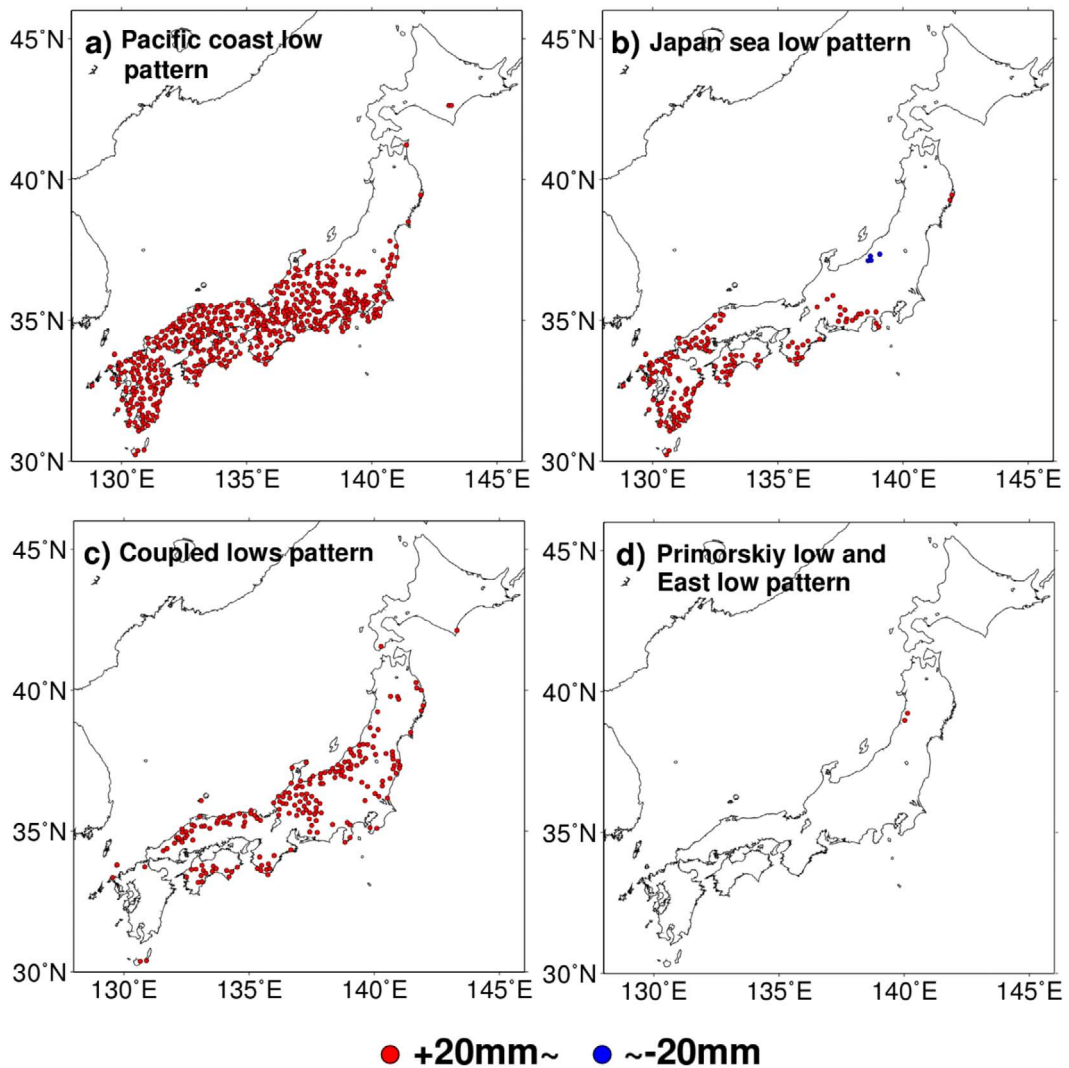


図 8 低気圧型頻度増加年における a) 南岸低気圧型, b) 日本海低気圧型, c) 二つ玉低気圧型, d) 沿海州・東岸低気圧型別に見た冬季降水量の 1980～2012 年の平均値からの偏差.

Fig. 8 Winter precipitation anomaly from the winter precipitation average during 1980–2012 in cases of a) Pacific coast low pattern, b) Japan sea low pattern, c) Coupled lows pattern, and d) Primorskiy low and East low pattern in the years of prevailing low-pressure pattern.

が明瞭となった。一般に同地域は太平洋側と日本海側の山岳域に囲まれて降水量は少なく、図 7 に示されたいずれの気圧配置型でも増加傾向はみられなかった。冬季の停滞前線発生に伴う降水量増加域として、今後注目していく一地域であると考え。

IV. 暖冬・寒冬年における降水量分布の差異

前章では気圧配置型出現頻度の長期変化傾向と、1980 年代後半に発生した昇温前後での降水量分布変化にどのような気圧配置型が関与したかを明らかにした。本章では、暖冬年と寒冬年にお

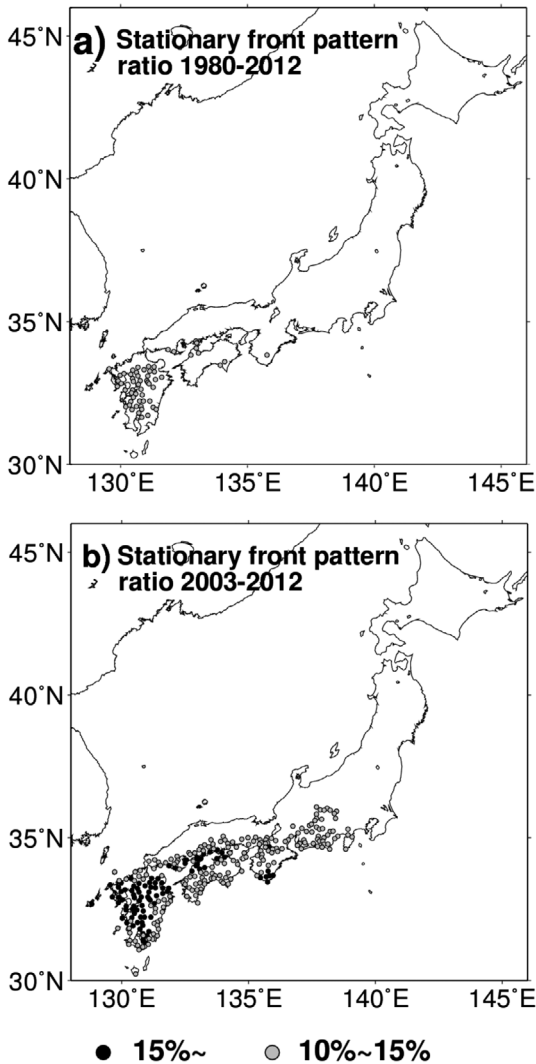


図9 停滞前線型と判定された日の積算降水量が冬季降水量に占める割合。a)は1980～2012年、b)は2003～2012年が対象期間。

Fig. 9 Percentages of accumulated precipitation on days with a stationary front pattern to winter precipitation for the periods in a) 1980-2012 and b) 2003-2012.

ける降水量分布の差異と、それをもたらし気圧配置型との関係を明らかにする。寒冬年に関しては、II章で設定したように全期間で定義される寒冬年と高温期間中に定義される高温期寒冬年に分けて議論する。

図10に平年(1980～2012年)に対する暖冬年、寒冬年、高温期寒冬年それぞれ4年間の冬季平均降水量の平年値に対する増減を20%を閾値とした割合で示した。まず、暖冬年(図10a)をみると、本州の太平洋沿岸から中部地方の内陸にかけての広範囲で降水量の増加傾向がみられた。梅本(1991)は降水量平年比から、暖冬年は島根県東部から青森県にかけてと北海道西部の一部で少降水量傾向となり、太平洋側の広範囲で多降水量傾向となることを示しているが、図10aでは、九州東部や四国西部の一部を除く太平洋側と中部地方の内陸部で多降水量傾向となった。これは、本論文で示された傾向とおおむね同様となった。一方、寒冬年(図10b)をみると、日本海沿岸を除く中部日本以西の太平洋側で降水量は減少した。梅本(1991)も同様に、寒冬年には太平洋側や内陸など全国的にほとんどの地域で少降水量傾向となることを指摘しており、本論文で示された京都府北部から新潟県にかけてと北海道西部で多降水量となる傾向は一致した。次に高温期寒冬年(図10c)をみると、降水量の減少域は東北地域の太平洋沿岸および道東沿岸の一部に限られ、西日本のほとんどの地域では顕著な増減傾向はみられなかった。つまり、高温期には寒冬年でも西日本の太平洋側で降水量が減少しないことが特徴的である。

表2に暖冬年・寒冬年・高温期寒冬年における気圧配置型の発生頻度を示す。寒冬年、高温期寒冬年には冬型の日数が多く、暖冬年には少ないことがわかる。これは梅本(1991)が言及する寒冬年に冬型の日数が多く、暖冬年に低気圧型の日数が増える傾向と一致する。低気圧型の頻度は若干暖冬年が増加し、その多くは南岸低気圧型の増加に起因している。同時に、暖冬年には高気圧型の日が増加することも特徴的である。一方、寒冬年と高温期寒冬年の頻度を比較すると、高温期寒冬年の方が低気圧型の頻度が若干減少し、とくに日本海低気圧と二つ玉低気圧の頻度の低下が寄与している。

図11に、寒冬年と高温期に入ってから定義される高温期寒冬年での降水量分布の違いを気圧配

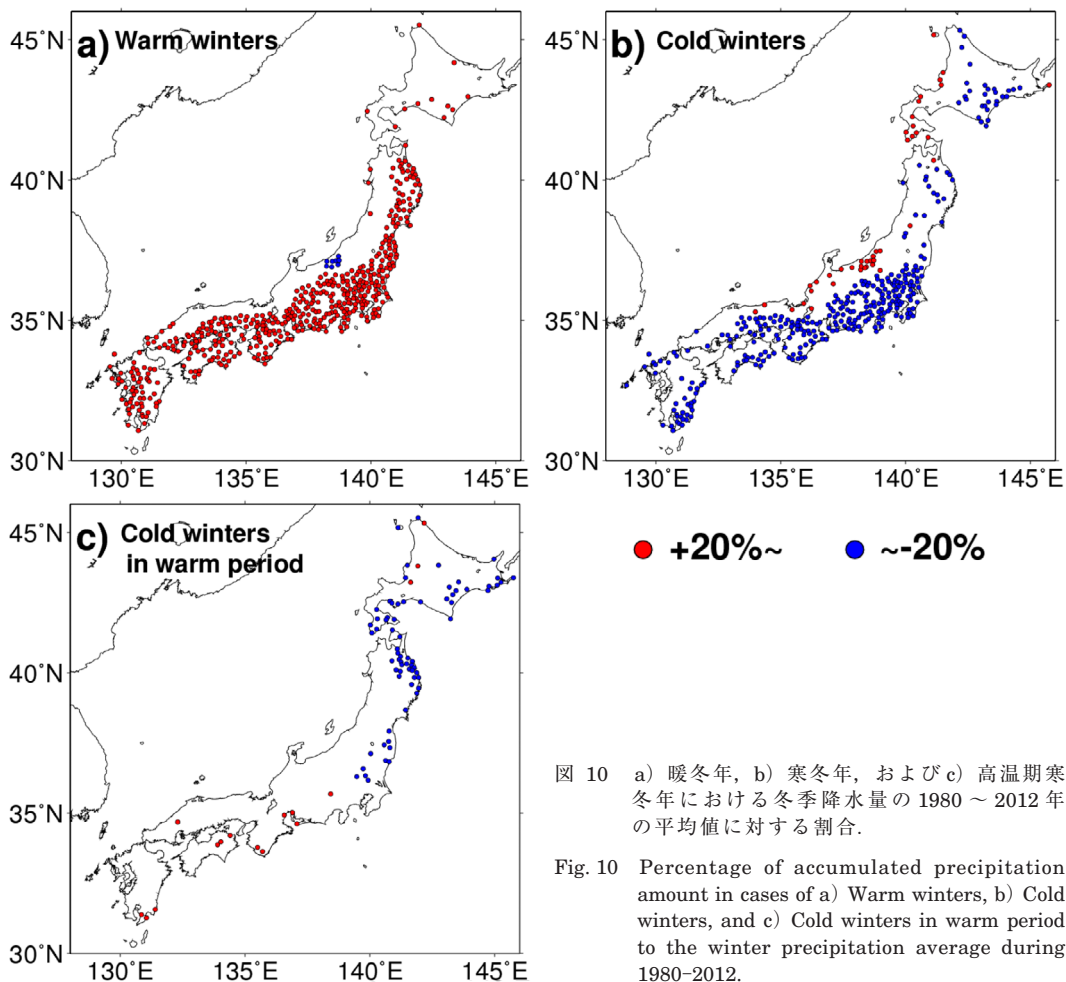


図 10 a) 暖冬年, b) 寒冬年, および c) 高温期寒冬年における冬季降水量の1980~2012年の平均値に対する割合.

Fig. 10 Percentage of accumulated precipitation amount in cases of a) Warm winters, b) Cold winters, and c) Cold winters in warm period to the winter precipitation average during 1980-2012.

表 2 平年 (1980-2012 年), 暖冬年, 寒冬年, 高温期寒冬年における各気圧配置型の冬季平均出現頻度. 括弧内は割合 (%).

Table 2 Numbers and appearance ratios of each pressure pattern in normal years (1980-2012), warm winters, cold winters, and cold winters in warm periods. Number in parentheses indicates the percentage (%).

	1980-2012	Warm winters	Cold winters	Cold winters in warm period
Winter monsoon pattern	42.12 (46.7)	33.50 (37.2)	48.00 (53.0)	47.75 (52.9)
Low-pressure pattern	27.15 (30.1)	28.25 (31.4)	25.50 (28.2)	23.25 (25.8)
Pacific coast low pattern	9.30 (10.3)	11.75 (13.1)	7.75 (8.6)	8.75 (9.7)
Japan sea low pattern	8.55 (9.5)	8.25 (9.2)	9.50 (10.5)	7.75 (8.6)
Coupled lows pattern	7.15 (7.9)	6.75 (7.5)	7.50 (8.3)	5.50 (6.1)
Primorskiy low and East low pattern	2.15 (2.4)	1.50 (1.7)	0.75 (0.8)	1.25 (1.4)
High-pressure pattern	18.48 (20.5)	21.75 (24.2)	15.00 (16.6)	16.00 (17.7)
Other	2.52 (2.8)	6.50 (7.2)	2.00 (2.2)	3.25 (3.6)

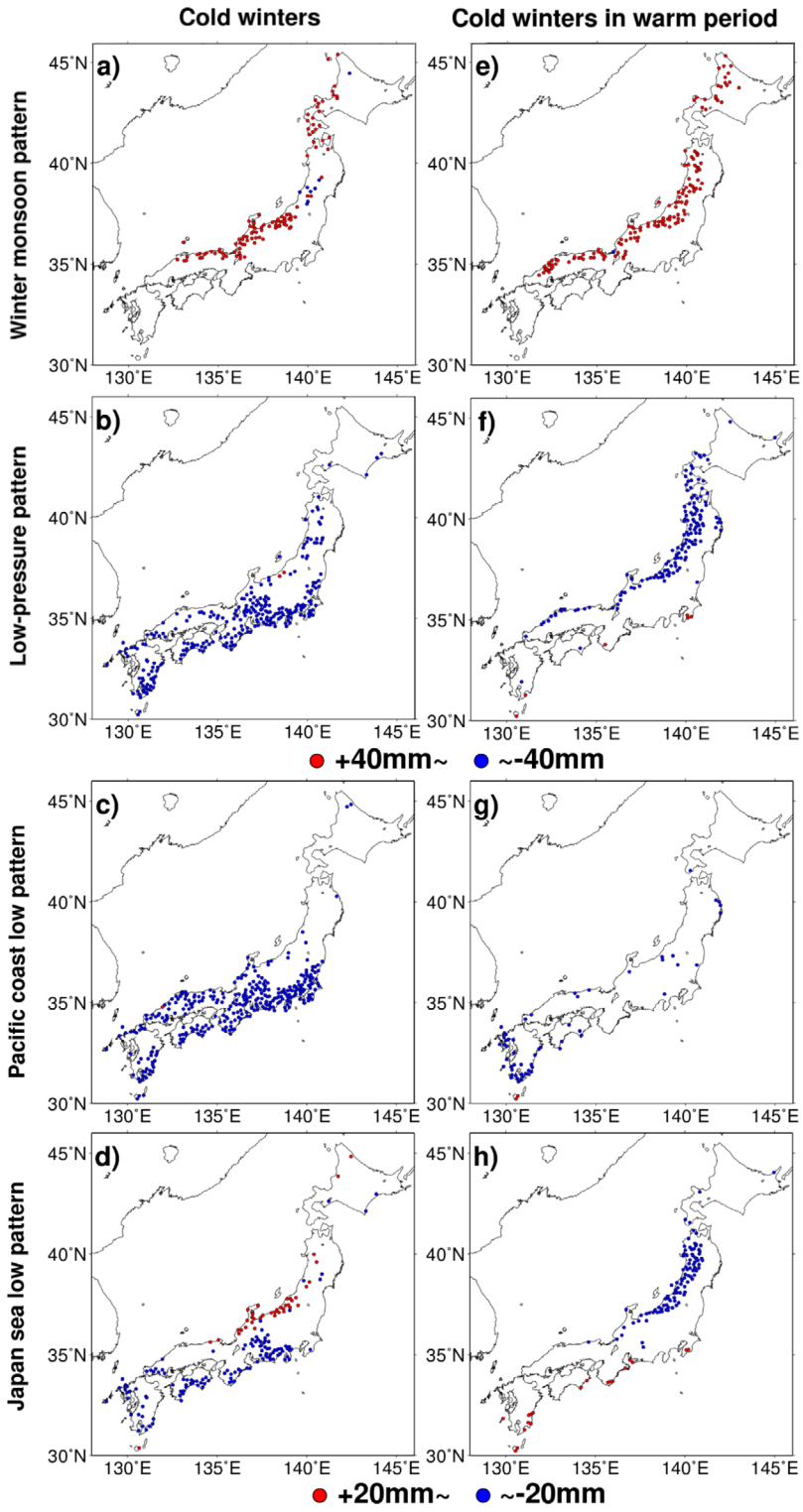


图 11
Fig. 11

置型別に示す。高気圧型、停滞前線型、および二つ玉低気圧型に関しては明瞭な偏差分布がみられなかったために提示しない。冬型（図 11a, e）では両者とも日本海沿岸で降水量が増加しており、高温期寒冬年では増加域がより南北に広がり秋田県沿岸でも増加地点が出現している。一方、低気圧型（図 11b, f）をみると、両者とも降水量の減少域が出現しているが、その分布は大きく異なる。寒冬年では関東以西の太平洋沿岸および近畿内陸で降水量が減少し、この偏差は南岸低気圧型により発生している（図 11c, g）。しかし、高温期寒冬年では北陸から北海道南西部にかけて日本海沿岸で減少し、この偏差は日本海低気圧型により発生している（図 11d, h）。これを表 2 と比べると、寒冬年は南岸低気圧の頻度は若干少ないが大差はなく、それでも西日本を中心とする降水量が減少した要因として低気圧の中心位置がより南であったり発達が弱かったことが推定される。一方、日本海低気圧の頻度は表 2 によると高温期寒冬年に減少しており、その通過経路に近い東北の日本海側で顕著な降水量減少が発生したと考えられる。ちなみに、寒冬年には日本海低気圧型時に北陸で正偏差、中部から西日本の太平洋側で負偏差が生じており、前者は頻度の増加で説明がつくが後者に関しては別途解析が必要と考えられる。

V. まとめ

本研究は、長期に蓄積されたアメダス日降水量データを用いて 1980 年代後半に発生した全国的な昇温に伴う全国規模の地上降水量分布の変化を明らかにし、地上天気図と対応させることで降水量分布の偏差に寄与した気圧配置型を明らかにした。1989 年を境界とした前後 9 年の気圧配置型

の出現頻度でみる限り、昇温後も必ずしも冬型気圧配置の出現頻度は低下しておらず、個々の冬型の強さが弱まったことが地上気圧偏差より唆された。

1980 年代後半における昇温に伴い、気圧配置型の出現頻度には特徴的な長期変動がみられた。一つは、1992 年付近を境界として、冬型の出現と高気圧型の出現頻度に逆相関がみられていた傾向が、冬型の出現と低気圧型の出現頻度が逆相関をみせる様相に変化したことである。これは、冬季モンスーンが弱まった期間に南岸・日本海低気圧が到来する日が増えたことを意味する。昇温後に低気圧型が卓越するようになった年には、南岸低気圧型で関東・北陸地方以西のほぼすべての地点で、日本海低気圧型で東海から九州にかけての太平洋沿岸と中国地方西部、九州北部で、二つ玉低気圧型で九州北部、山陰から東北地方にかけての日本海側、四国太平洋側や紀伊半島南部や静岡県付近、そして北関東から東北地方にかけての太平洋側と内陸の一部で、それぞれ増加する傾向がみられた。いずれの低気圧型も、それぞれの出現頻度が多くなった年に多降水量がもたらされた地域で増加する傾向がみられた。また、出現頻度そのものは少ないが、近年に停滞前線が天気図上で解析される頻度が増える傾向を示した。この影響は、九州の一部・瀬戸内海および紀伊半島南端の降水量増加に寄与した。

また、昇温に伴って、新たに高温期に発生する寒冬年も定義し、それ以前の寒冬年との降水量分布および気圧配置型の違いを明らかにした。まず全期間における暖冬年と寒冬年の降水量および気圧配置頻度をみると、暖冬年では太平洋沿岸から中部地方の内陸に向けた広範囲は多降水量傾向となった。寒冬年では、中部日本以西の太平洋側で

図 11 寒冬年（左列）および高温期寒冬年（右列）における気圧配置型別にみた冬季降水量の 1980～2012 年の平均値に対する偏差。上段から順に）冬型（a, e）、低気圧型（b, f）、南岸低気圧型（c, g）、日本海低気圧型（d, h）を示す。

Fig. 11 Precipitation anomaly from the winter precipitation average for the 1980–2012 in cases of cold winters (left) and cold winters in warm periods (right) in each pressure patterns, such as Winter monsoon (a, e), Low-pressure (b, f), Pacific coast low (c, g), and Japan sea low pattern (d, h).

降水量は減少した。従来示されていた京都府北部から新潟県にかけてと北海道西部で多降水量となる傾向は一致した。次に、高温期に注目して寒冬の降水量偏差をみると、高温期寒冬年は東北地域の太平洋沿岸および道東沿岸の一部で従来の寒冬年と異なり減少傾向を示し、西日本では減少傾向がみられなかった。高温期には寒冬年でも西日本の太平洋側で降水量が減少しないことが特徴的である。

寒冬年と高温期寒冬年での降水量分布の違いを気圧配置型別に解析したところ、冬型においては降水量の増加域が南北に広がったという傾向がみられた。低気圧型については、寒冬年では関東以西の太平洋沿岸および近畿内陸で降水量が減少し、高温期寒冬年では北陸から北海道西部にかけて日本海沿岸で減少したが、前者は南岸低気圧、後者は日本海低気圧型により発生している。その要因として南岸低気圧の中心位置が日本列島から南に離れていたり、発達が弱かったりしたことや、日本海低気圧の頻度減少により通過経路に近い東北の日本海側で顕著な降水量減少となったことが推定されるが、別途解析が必要である。

謝 辞

本稿は2013年に筑波大学生命環境科学研究科に提出した修士論文の一部を改訂したものである。一部の図の作成にはGMT (The Generic Mapping Tools), GrADS (The Grid Analysis and Display System) を用いた。本研究を開始するにあたり、明治大学文学部の梅本 亨教授には多くの助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。

注

- 1) 網走, 根室, 寿都, 山形, 石巻, 伏木, 飯田, 銚子, 境, 浜田, 彦根, 宮崎, 多度津, 名瀬, 石垣島の15地点である。
- 2) 現在では, 0.5 mm/day 単位でデータが提供されている。

文 献

Adachi, S. and Kimura, F. (2007): A 36-year climatology of surface cyclogenesis in East Asia using high-resolution reanalysis data. *SOLA*, **3**, 113-116.
安藤直貴・上野健一 (2015): 温帯低気圧による本州中部内陸域での多降水・多降雪の発現傾向. *雪氷*, **77**,

397-410. [Ando, N. and Ueno, K. (2015): Occurrence tendency of heavy rainfall of snowfall in the inland district of Japan in winter. *Seppyo*, **77**, 397-410. (in Japanese with English abstract)]
花輪公雄 (1996): 約10年/数十年 (decadal-to-interdecadal) スケール変動. *天気*, **43**, 487-489. [Hanawa, K. (1996): Decadal-to-interdecadal scale change. *Tenki*, **43**, 487-489. (in Japanese)*]
Hare, S.R. and Mantua, N.J. (2000): Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, **47**, 103-145.
櫃間道夫 (2006): 二つ玉低気圧. *天気*, **53**, 519-523. [Hitsuma, M. (2006): A pair of extratropical cyclones near the Japan islands. *Tenki*, **53**, 519-523. (in Japanese)]
本田明治・高谷康太郎 (2007): 中高緯度の季節内循環変動と異常天候—極東付近の冬季気候に関連して—. *天気*, **54**, 589-592. [Honda, M. and Takaya, K. (2007): Intraseasonal variability and anomalous weather conditions in mid-latitudes: Winter climate over the Far East. *Tenki*, **54**, 589-592. (in Japanese)]
気象庁 (2014a): 日本の季節平均気温偏差 (°C). [Japan Meteorological Agency (2014a): Seasonal average temperature anomaly in Japan (°C). (in Japanese)*]
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/ssn_jpn.html [Cited 2014/8/8].
気象庁 (2014b): 海洋の健康診断表 太平洋十年規模振動指数 (PDO) の変動. [Japan Meteorological Agency (2014b): A checkup list of ocean. Variation of Pacific Decadal Oscillation (PDO). (in Japanese)*]
http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/b_1/pdo/winpdo.txt [Cited 2014/8/8].
Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. and Francis, R.C. (1997): A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 1069-1079.
松村伸治・謝 尚平 (1998): 日本列島および日本海上の経年気候変動に及ぼす冬季季節風の影響. *天気*, **45**, 781-791. [Matsumura, S. and Xie, S.P. (1998): Response of temperature and precipitation over Japan and the Japan Sea to variability of winter monsoon. *Tenki*, **45**, 781-791. (in Japanese with English abstract)]
中村 尚・本田明治・山根省三・大淵 濟 (2002): アリューシャン・アイスランド両低気圧間のシーソー現象. *天気*, **49**, 701-709. [Nakamura, H., Honda, M., Yamane, S. and Ohfuchi, W. (2002): Interannual seesaw between the Aleutian and Icelandic lows. *Tenki*, **49**, 701-709. (in Japanese)]
二宮洗三 (2008): 日本海の気象と降雪. 成山堂. [Ninomiya, K. (2008): *Meteorology and Snowfall in Japan Sea (Nihonkai No Kisho To Kosetsu)*. Seizando. (in Japanese)*]
仁科淳司 (1992): 寒冬と暖冬における日本の1月の

- 降水量・降雪量分布の比較. 地学雑誌, **101**, 358-371. [Nishina, J. (1992): The distribution of precipitation and snowfall in Japan: Comparison of colder and warmer Januaries. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **101**, 358-371. (in Japanese with English abstract)]
- 小倉義光・西村修司・隈部良司 (2006): お天気の見方・楽しみ方 (7) 二つ玉低気圧 (その1). 天気, **53**, 889-894. [Ogura, Y., Nishimura, S. and Kumabe, R. (2006): How to see and have fun the weather (7) Coupled lows (Part1). *Tenki*, **53**, 889-894. (in Japanese)*]
- Onogi, K., Tsutsui, J., Koide, H., Sakamoto, M., Kobayashi, S., Hatsushika, H., Matsumoto, T., Yamazaki, N., Kamahori, H., Takahashi, K., Kado-kura, S., Wada, K., Kato, K., Oyama, R., Ose, T., Mannoji, N. and Taira, R. (2007): The JRA-25 re-analysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **85**, 369-432.
- 佐藤香枝・上野健一・南光一樹・清水 悟 (2012): 長野県菅平高原における冬季降雨の発生傾向. 水文・水資源学会誌, **25**, 271-289. [Sato, K., Ueno, K., Nanko, K. and Shimizu, S. (2012): Rainfall tendency in winter Sugadairakogen Highlands, Nagano Prefecture. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, **25**, 271-289. (in Japanese with English abstract)]
- 清水 悟 (2005): 筑波大学菅平高原実験センターにおける過去35年間の気象観測からみた菅平の気象の傾向. 筑波大学技術報告, **25**, 76-82. [Shimizu, S. (2005): Tendency of meteorology in Sugadaira based on meteorological observation past 35 years in Sugadaira Montane Research Center, University of Tsukuba. *University of Tsukuba Technical Report*, **25**, 76-82. (in Japanese)*]
- 須田耕樹・上野健一 (2013): AMeDAS (地域気象観測システム) データを用いた冬季天気界の抽出. 地学雑誌, **123**, 35-47. [Suda, K. and Ueno, K. (2013): Weather divide in winter season in Japan analyzed by AMeDAS data. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **123**, 35-47. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木博人 (2006): 新潟県とその周辺における降積雪量の1927~2005年の経年変化—鉄道駅構内の露場で観測された降積雪量データを用いた解析—. 天気, **53**, 185-196. [Suzuki, H. (2006): Long-term changes in snowfall depth and snowcover depth in and around Niigata prefecture from 1927 to 2005: Analysis using data observed at railway stations. *Tenki*, **53**, 185-196. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木啓助 (2013): 中部山岳地域における気象観測の現状とその意義. 地学雑誌, **122**, 553-570. [Suzuki, K. (2013): Importance of meteorological observation in the Japanese Alps region. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **122**, 553-570. (in Japanese with English abstract)]
- 田坂郁夫 (1980): 冬季の低気圧通過に伴う日本の降水分布について. 地理学評論, **53**, 18-28. [Tasaka, I. (1980): Distribution of winter precipitation brought about by the passage of depressions over the Japanese islands. *Geographical Review of Japan*, **53**, 18-28. (in Japanese with English abstract)]
- 田坂郁夫 (1988): 冬季降水量変動の地域性について. 地理学評論, **61**, 485-495. [Tasaka, I. (1988): Regional difference of year-to-year changes of winter precipitation in Japan. *Geographical Review of Japan*, **61**, 485-495. (in Japanese with English abstract)]
- 上野健一 (1991): 北半球中緯度における温帯低気圧の活動分布. 地理学評論, **64A**, 801-817. [Ueno, K. (1991): Distribution of extratropical cyclone activity in the middle latitudes of the northern hemisphere. *Geographical Review of Japan*, **64A**, 801-817. (in Japanese with English abstract)]
- Ueno, K. (1993): Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns in winter. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **71**, 655-671.
- 上野健一・大門亮太・足立幸穂・清水 悟 (2010): 菅平高原で観測された低気圧活動に伴う凹型積雪深変動. 雪氷, **72**, 237-253. [Ueno, K., Daimon, R., Adachi, S. and Shimizu, S. (2010): Abrupt decrease in the snow depth variability due to traveling extratropical cyclone observed in Sugadaira, central Japan. *Journal of the Japanese Society of Snow and Ice*, **72**, 237-253. (in Japanese with English abstract)]
- 梅本 亨 (1991): 暖冬年と寒冬年における日本の降水量分布の比較. 地理学評論, **64A**, 779-790. [Umamoto, T. (1991): Differences in distribution of precipitation between warm and cold winters in Japan. *Geographical Review of Japan*, **64A**, 779-790. (in Japanese with English abstract)]
- 吉野正敏・福岡義隆 (1967): 半旬別の気圧配置ごよみ. 天気, **14**, 250-255. [Yoshino, M. and Fukuoka, Y. (1967): Pressure pattern calendar of East Asia. *Tenki*, **14**, 250-255. (in Japanese)]
- 吉野正敏・甲斐啓子 (1975): 気圧配置ごよみの気候学1941-1970. 天気, **22**, 204-209. [Yoshino, M. and Kai, K. (1975): Pressure pattern calendar, 1941-1970. *Tenki*, **22**, 204-209. (in Japanese)]
- 吉崎正憲・加藤輝之 (2007): 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店. [Yoshizaki, M. and Kato, T. (2007): *Meteorology of Heavy Rainfall and Heavy Snowfall (Gou Gosetsu No Kishougaku)*. Asakura Publishing. (in Japanese)*]

* Title etc. translated by T.I.