

前線分布でみた日本の季節進行とその近年における傾向

高 橋 信 人*

要 旨

29年間 (1979~2007年) の第19~67半旬 (4/1-12/1) における日本付近の半旬前線存在頻度分布を用いて、8つの前線分布型を定め、日本の季節進行の平均的な特徴と近年の傾向を調査した。各前線分布型は出現の極大時期が互いに分離しており、特に梅雨期など前線が頻出する季節を細かく表すことができる。そして、前線が頻出する時期では、季節進行に伴った前線帯の移動に対応する降水特性の変化がみられた。また、1990年代後半以降は、①晩春の一時的な前線帯の北上はみられず、②初夏から梅雨期前半の季節進行は2半旬ほど早まり、③梅雨期後半は対馬から三陸沖にかけて前線の出現頻度が高くなり、④初秋には梅雨期後半と類似した雨期がみられ、⑤秋雨の始まりは2~3半旬ほど遅れる、などの傾向が明らかとなった。このうち、③と④は日本の多くの地域の降水特性に変化をもたらすため、今後、特に注意して監視していく必要がある。

1. はじめに

近年は、地球温暖化などの気候変動に対する社会の関心が高まっており、日本の気候の長期傾向に関する研究が盛んにおこなわれている。例えば、日本の雨の降り方に関しては、過去約100年をみると、各地で日降水量100 mm以上の日数が単調ではないものの増加しており (Fujibe *et al.* 2006)、特に1990年代以降は大雨の頻度が高くなっている (鈴木 2004) ことなどが指摘されている。また、中国の長江下流域で、近年は強雨が増加しているという報告もある (Endo *et al.* 2005)。一方、日本の季節進行に変化がみられるという報告もある。例えば Sato and Takahashi (2001) は、1986年から1995年の10年と1959年から1968年までの10年の8月上旬の天候を比較し、中部日本で雲量の増加と日照時間の減少がみられ、これが梅雨前線の北上の遅れに伴うものであることを指摘した。近年の梅雨明けの遅れは、Inoue and Matsumoto (2003) や

井上・松本 (2006) なども指摘している。このような季節進行の変化は他の季節でも起こり得ることであり、それらを整理することは日本の気候の長期傾向を明らかにする上で非常に重要であるといえる。

長期間にわたる日本の季節進行を調査した研究の例として、山川 (1988) が挙げられる。山川 (1988) は、吉野・甲斐 (1977) で提案された気圧配置型について、1941年から1985年までの45年間の出現傾向を調べ、日本の季節進行の特徴とその経年変化を示した。この研究は、特定の気象要素や気象現象からだけでは捉えることが困難な、大気の状態の季節進行を示したものといえ、このような観点は、特定地域の季節進行を調査する上では非常に有効であると考えられる。

しかし、吉野・甲斐 (1977) や山川 (1988) が用いた気圧配置型は、日本の季節推移を1年を通して明らかにすることを目指したものであるため、前線帯が段階的に日本を北上・南下する梅雨期や秋雨期は、一つの季節として区分されている。一方、梅雨期は吉野 (1965) が、秋雨期は高橋 (2003) が明らかにしているように、前線帯の段階的な北上や南下に伴って、日本国内の降水分布は大きく変化する。したがって、日本国内の季節進行を降水量などの気象要素の変化とと

* 東京大学空間情報科学研究センター (現所属: 宮城大学食産業学部). nobuto@myu.ac.jp

—2008年5月19日受領—

—2009年6月5日受理—

もに捉えるには、雨期を細分してみていく必要がある。そして、そのためには、前線帯の位置を考慮した大気の状態を表現する指標を設定する必要がある。

そこで本研究では、日本周辺における前線分布型を指標に用いて、近年の日本の季節進行の特徴を明らかにすることを旨とする。ここで用いる前線分布型とは、天気図上の前線位置をある一定期間で集計して作成した、前線存在頻度の分布パターンを指すこととする。したがって、本研究では個々の前線の種別や性質の違いは考慮せず、すべての前線は均一のものとして扱う。また、本研究では冬期を調査期間から除外した。この理由は二つある。一つは、冬期は寒帯前線帯が日本の南にある時期であり、前線が解析されない日が多く、前線分布型を用いて季節の特徴を捉えることが困難なためである。もう一つは、例えば冬期に西高東低型の天気図が続くことと、夏期に夏型の天気図が続くことは、共に前線が天気図上に少ない時期として同等に評価されてしまう可能性があるからである。

2. データと方法

本研究の調査期間は、1979～2007年（29年間）の第19～67半旬（4/1-12/1）とする。前線データは、1日2回（09 JST と21 JST）の気象庁地上天気図の北緯15-55度、東経110-160度の領域における前線の出現位置をもとに作成する。具体的には、経線10度ごとに前線（寒冷前線、温暖前線、停滞前線の3種）が交差する位置を1度の緯度間隔で読み取り、経度10度間隔、緯度1度間隔の計246個の格子点で前線の出現の有無を調べる。集計の際に経線の間隔を10度としたのは、温帯低気圧が1枚の天気図上にある時に、たいていの場合、低気圧に伴う前線を1ヶ所以上で捉えることができるからである。また、集計の時間単位は半旬とし、各半旬で前後の半旬と合わせた出現頻度の3半旬移動平均値を算出して解析に用いることにする。前線データを3半旬移動平均の半旬値に加工するのは、データが疎らにならないように前線の集計回数を増やすためと、隣接する半旬の時間的なつながりを良くするためである。このようにして得られた前線存在頻度のデータは、1枚の天気図上の各格子点で前線が解析される確率（百分率）として表現する。

以下に本研究の解析の手順を示す。

- ① 第3章で総数1,363枚（29年×47半旬）の半旬前線存在頻度分布図を分類し、前線分布型を定める。

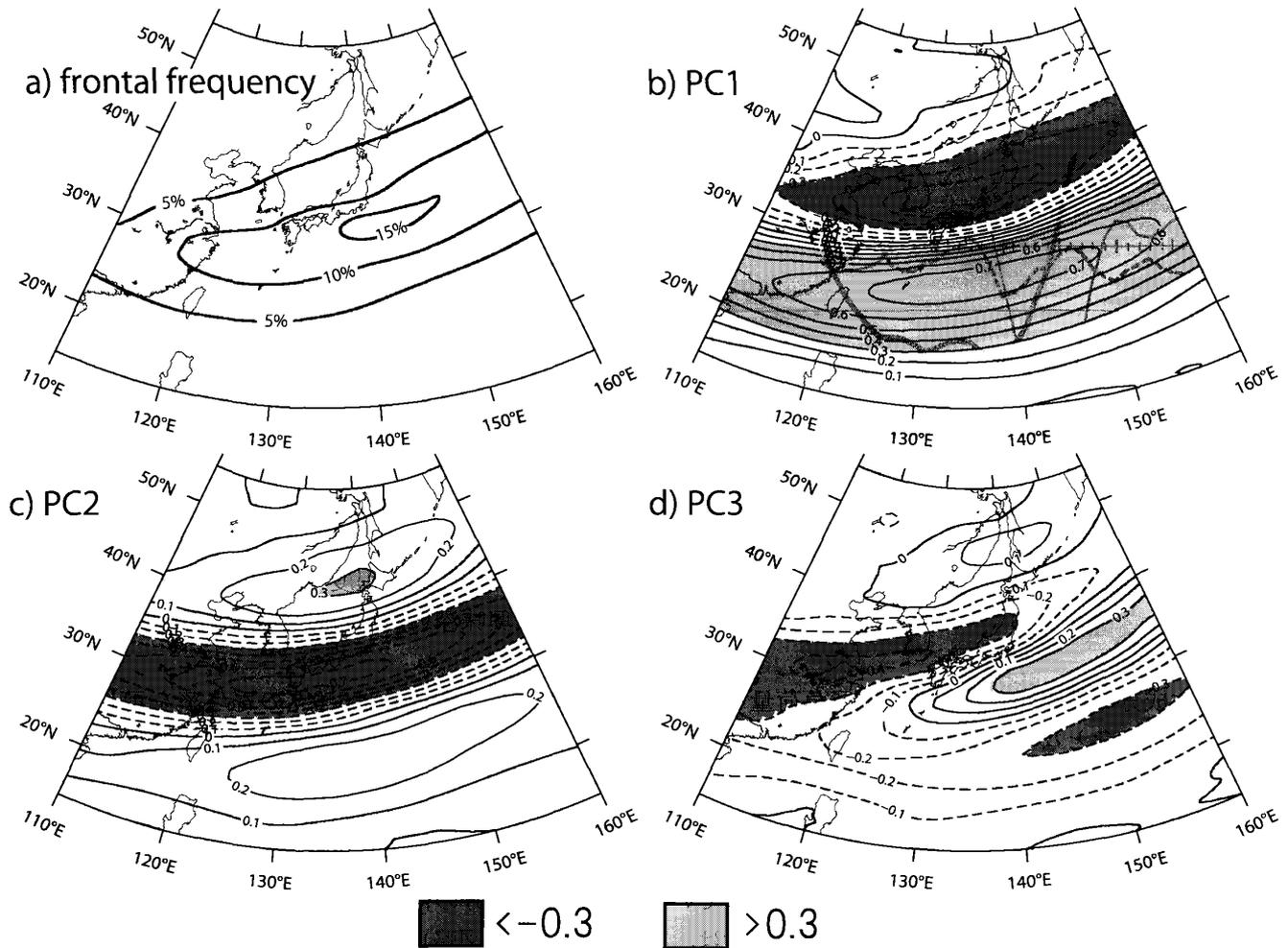
そのために、まず、246個の格子点における各年各半旬の前線存在頻度から1,363×246の分散共分散行列を求めて、主成分分析をおこなう。そして、得られた上位の主成分の得点を利用してクラスター分析をおこない、得られたクラスターを前線分布型とする。このように、クラスター分析をおこなう前に、まず主成分分析をおこなうことにより、季節進行に深く関わる領域の前線存在頻度の重みを大きくすることができ、季節進行を表すのに適したクラスターを得ることができると期待される。

- ② 第4章で各前線分布型の特徴を明らかにする。各型の平均的な（本研究では、調査期間の29年平均値を指すこととする）前線存在頻度分布の特徴を示して、それぞれの降水特性を整理する。その際、降水量データは、全国の気象官署156地点の日データを用いる。
- ③ 第5章で各年各半旬の前線分布型の出現傾向をもとに、近年の日本の季節進行の特徴を明らかにする。特徴がみられた時期については、季節進行の変化に伴う降水特性の変化を示す。なお、気象庁の天気図解析手法は、1996年3月より、人間のみによるものからコンピューターによる客観解析を取り入れたものに変更された（鈴木ほか 1997）。しかし、後述の各年各半旬の前線分布型からは、この時期を境に急激に傾向が変化している様子は認められなかったため、本研究では、天気図解析手法の変更による前線分布の長期傾向への影響は無視することとする。

3. 前線分布型の定義

3.1 主成分分析による前線分布の変動パターンの抽出

まず、解析期間で平均した前線存在頻度分布を第1図aに示す。この図からは、平均的に日本の南岸の北緯32-34度、東経140-150度付近を中心に、高い前線存在頻度が分布していることを確認できる。次に、第1図b～dに前線存在頻度分布に対する主成分分析で得られた、第1主成分（寄与率21.0%）、第2主成分（寄与率17.2%）、第3主成分（寄与率6.7%）の因子負荷量分布を示す。また、それらの主成分得点の半旬推移（29年平均値）を第2図に示す。これらの因子負荷量分布と得点の関係からは、第2図の主成分得点が正（負）の値を示す時期に、第1図の因子負荷量が正



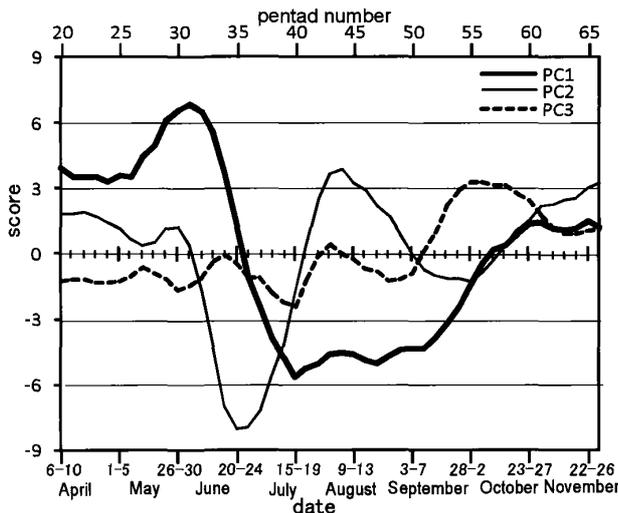
第1図 平均前線存在頻度分布図と因子負荷量分布図. a) 全調査期間(1979~2007年, 第19~67半旬(4/1-12/1))で平均した前線存在頻度分布図(単位:%), b) 第1主成分の因子負荷量分布図, c) 第2主成分の因子負荷量分布図, d) 第3主成分の因子負荷量分布図. a)において, 頻度は南北方向に3度の移動合計値で示している. またb~dにおいて, 薄い灰色域は因子負荷量が+0.3以上, 濃い灰色域は-0.3以下の領域を示す.

(負)の値を示す領域で前線存在頻度が高く, 負(正)の値を示す領域で低くなることが読み取れる.

まず, 第1主成分に注目する. 第1図bをみると, -0.5以下の負の因子負荷量が, 北緯34-38度, 東経124-145度の領域を西南西から東北東の方向に分布している. そして, この負の因子負荷量の南側に平行して, 北緯25-28度, 東経124-150度の領域に+0.7以上の正の因子負荷量がみられる. 第1図aと比較すると, これらの正と負の因子負荷量は, 平均的に前線存在頻度が高い領域の南北に位置する. また, 第2図の第1主成分の得点からは, 負の因子負荷量を示す領域では, 得点が負の値となる第36~56半旬(6/25-10/7)に前線存在頻度が高くなり, 正の因子負荷量を示す領域では, 得点が正の値となる第20~35半旬(4/6-6/24)と第57~66半旬(10/8-11/26)に前線存在頻度

が高くなるのがわかる. このような高い前線存在頻度の時間変化は, 寒帯前線帯の春から夏にかけての北上と, 夏から秋にかけての南下の動きに対応すると考えられる.

次に, 第2主成分に着目する. 第1図cをみると, -0.7以下の非常に小さな負の因子負荷量を示す領域が, 北緯30-34度, 東経123-142度の領域を日本の南岸に沿って西南西から東北東の方向に伸びている. また, 北緯42-44度, 東経134-142度の領域には, 面積は小さいものの, +0.3以上の正の因子負荷量を示す領域がみられる. 第1図aと比較すると, このうち-0.7以下の負の因子負荷量を示す領域は, 10%以上の高い平均前線存在頻度を示す領域に対応している. 一方, +0.3以上の正の因子負荷量を示す領域に対応する平均前線存在頻度は5%以下と小さい. 第2



第2図 第1主成分(PC1), 第2主成分(PC2), 第3主成分(PC3)の得点の半月推移(1979~2007年の平均).

図の第2主成分の得点からは、負の因子負荷量を示す領域で、得点が負となる第32~40半月(6/5-7/19)や第51~57半月(9/8-10/12)に前線存在頻度が高くなることが読み取れる。これらの時期は、前者は日本の梅雨期に、後者は秋雨期にほぼ対応しており、第2主成分の負の得点を示す時期は、日本の雨期を表しているといえる。一方、正の因子負荷量を示す領域では、得点が正となる第20~31半月(4/6-6/4), 第41~49半月(7/20-9/2), 第58~66半月(10/13-11/26)に前線存在頻度が高くなる。これらの時期に、+0.3以上の因子負荷量を示す領域で前線存在頻度が高くなる原因としては、第41~49半月(7/20-9/2)は梅雨後の前線帯、第20~31半月(4/6-6/4)と第58~66半月(10/13-11/26)は、春や秋における深い気圧の谷を伴う擾乱の通過などが考えられる。

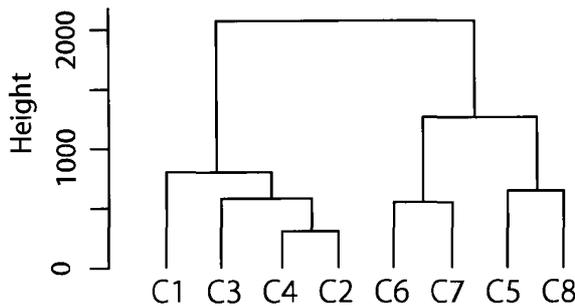
最後に第3主成分の特徴をみる。第1図dをみると、-0.4以下の負の因子負荷量を示す領域が、北緯29-35度、東経113-130度の領域を西南西から東北東の方向に伸びている。一方で、+0.3以上の正の因子負荷量を示す領域が北緯30-38度、東経138-160度の領域に西南西から東北東の方向に広がっている。そして、これらの正と負の因子負荷量を示す領域は、ほぼ東西方向に並んでいることがわかる。また、北緯25-28度、東経140-160度の領域にも-0.3以下の負の因子負荷量がみられる。しかし、因子負荷量分布を第1図aと比較すると、平均前線存在頻度は東西方向に並んだ正と負の因子負荷量を示す領域で5%以上を示す一方

で、北緯25-28度、東経140-160度の負の因子負荷量を示す領域では5%以下と小さい。第2図の第3主成分の得点からは、正の因子負荷量を示す領域で、第51-66半月(9/8-11/26)に、第55半月(9/28-10/2)頃を中心として前線存在頻度が高くなることがわかる。このような、第51半月(9/8-12)頃からの関東の南東海上における前線存在頻度の増加は、高橋(2003)で示されているように、時間の経過に伴う秋雨前線の東偏と、10月中旬以降の低気圧の通過とともにしばしば現れる前線に対応していると考えられる。一方、負の因子負荷量を示す領域では、得点が負となる第20~50半月(4/6-9/7)において、特に第30半月(5/26-30), 第40半月(7/15-19), 第48半月(8/24-28)に前線存在頻度が高くなる。このように、4月から9月上旬において、約40~50日程度の周期の変動がみられることは非常に興味深いだが、ここではその事実を述べるに留める。

なお、第4主成分は5.9%の寄与率を示した。しかし、因子負荷量分布図では絶対値が0.3を超える領域が小さい上、その領域も第1図aと照らし合わせると、平均前線存在頻度が小さい領域であった(図略)。また主成分得点の半月推移(29年平均値)では、第1~第3主成分の得点と比べて絶対値が小さい値で推移していた(図略)。これらのことから、前線存在頻度の季節進行における第4主成分の影響は小さいものとみなし、以降は第1, 第2, 第3主成分のみに注目して議論を進める。

3.2 クラスタ分析を用いた前線分布型の定義

各年各半月の前線分布型を定めるために、3.1で得られた主成分分析の結果をもとにして、クラスタ分析をおこなう。クラスタ分析では、第1から第3主成分の得点からユークリッド距離を算出して距離行列を作り、1,363(29年×47半月)の初期クラスタから出発して、ワード法を用いてクラスタの結合をおこなった。ところでクラスタ分析においては、通常、クラスタ数をいくつにするかが問題となる。ここでは「第20~66半月(4/6-11/26)内に、クラスタの出現頻度が他のどのクラスタよりも高くなる半月が存在する」という基準を設けた。そして、この基準を満たした8つのクラスタに分かれたところまででクラスタの結合を止め、結果として第3図のデンドログラムに示したように、C1~C8のクラスタを得た。各クラスタの事例数は、C1~C8の順に321, 169, 128, 82, 129, 129, 226, 179であった。



第3図 クラスタ分析で得られたデンドログラム。C1～C8は分類した前線分布型を示す。

以下、これらのクラスターを前線分布型として定める。

4. 前線分布型の平均的な特徴

この章では、第3章で得られた8つの前線分布型の特徴を三つの図を用いて整理する。まず、各型の前線分布の特徴を明らかにするために、各型で事例平均した前線存在頻度の分布図を第4図に示す（分布図上での連続性を保つため、値は南北方向に3度の移動合計値で示している）。次に、各型が出現しやすい時期を明らかにするために、各型の29年平均出現率（半旬ごとに、各型が出現した年数を29年で除し、百分率で表したもの）の半旬推移を第5図に示した。この図をみると、分類した各型の出現頻度は特定の時期に極大を持ち、その出現時期がお互いにほぼ分離していることが読み取れる。このことから、各季節には特有の前線分布型が存在し、前線分布型で日本の季節を表現することが可能であると判断できる。そこで、第5図には吉野・甲斐（1977）の気圧配置型による季節区分を掲載し、各型の出現率が他の型よりも平均的に高い時期（以下、卓越時期と表記する）との対比をおこなう。また、5月から7月については、吉野（1965）の前線頻度と降水量分布をもとにした梅雨期の季節区分との時間的な対応関係についても言及する。さらに、各型の降水特性を明らかにするために、気象官署の各地点で日降水量1mm以上（降雨日の目安として用いた）、および日降水量50mm以上（大雨日の目安として用いた）の日の出現率（分子は各型で生じた降雨日および大雨日の総日数、分母は各型の総日数）が最も高くなる前線分布型の分布図を第6図に示した。この図からは、各地点で降雨日や大雨日が最も生じやすい前線分布型を読み取ることができる。ただし、第6図では

各地点の個々の降水要因は追究せず、前線帯と降雨日率や大雨日率が最も高い地点の位置関係を言及するに留める。そのため、第6図には各型の20%以上の前線存在頻度の軸（波線）を載せている。

以下に、これらの三つの図からわかる前線分布型の特徴を型ごとにまとめる。ここで、各項目の右には、第5図から読み取れる各型の卓越時期を示した。

① C1型：第20～25半旬（4/6-5/5），第59～66半旬（10/18-11/26）

- ・第4図aをみると、前線存在頻度は全体的に低く、10%以上の領域の軸（以下、前線帯と表記する）は、北緯26度、東経130度と北緯29度、東経140度を通って日本の南の海域を東北東に伸びる。このように、この型は日本の南の海域を中心とした前線活動（前線存在頻度は低い）を示している。

- ・第5図をみると、卓越時期は二つあり、吉野・甲斐（1977）の季節区分の「春」と、「秋」および「晩秋」にそれぞれほぼ対応する。

- ・第6図をみると、降雨日率がC1型時に最も高くなる地域は北海道の日本海側地域に集中しているが、前線帯の位置（第4図aを参照）からは離れている。この地域の春や秋の降水には、冬型や日本海低気圧などが関わっていると考えられる。また、大雨日率がC1型時に最も高くなる地点はみられない。

② C2型：第26～28半旬（5/6-20）

- ・第4図bをみると、前線帯は華中から北緯29度、東経130度と北緯31度、東経140度を通って関東の南東海上を東北東に伸びるが、頻度が20%を超える領域は奄美大島周辺に限られる。このように、この型は華中から関東の南東海上に至る領域での前線活動（前線存在頻度は低い）を示している。

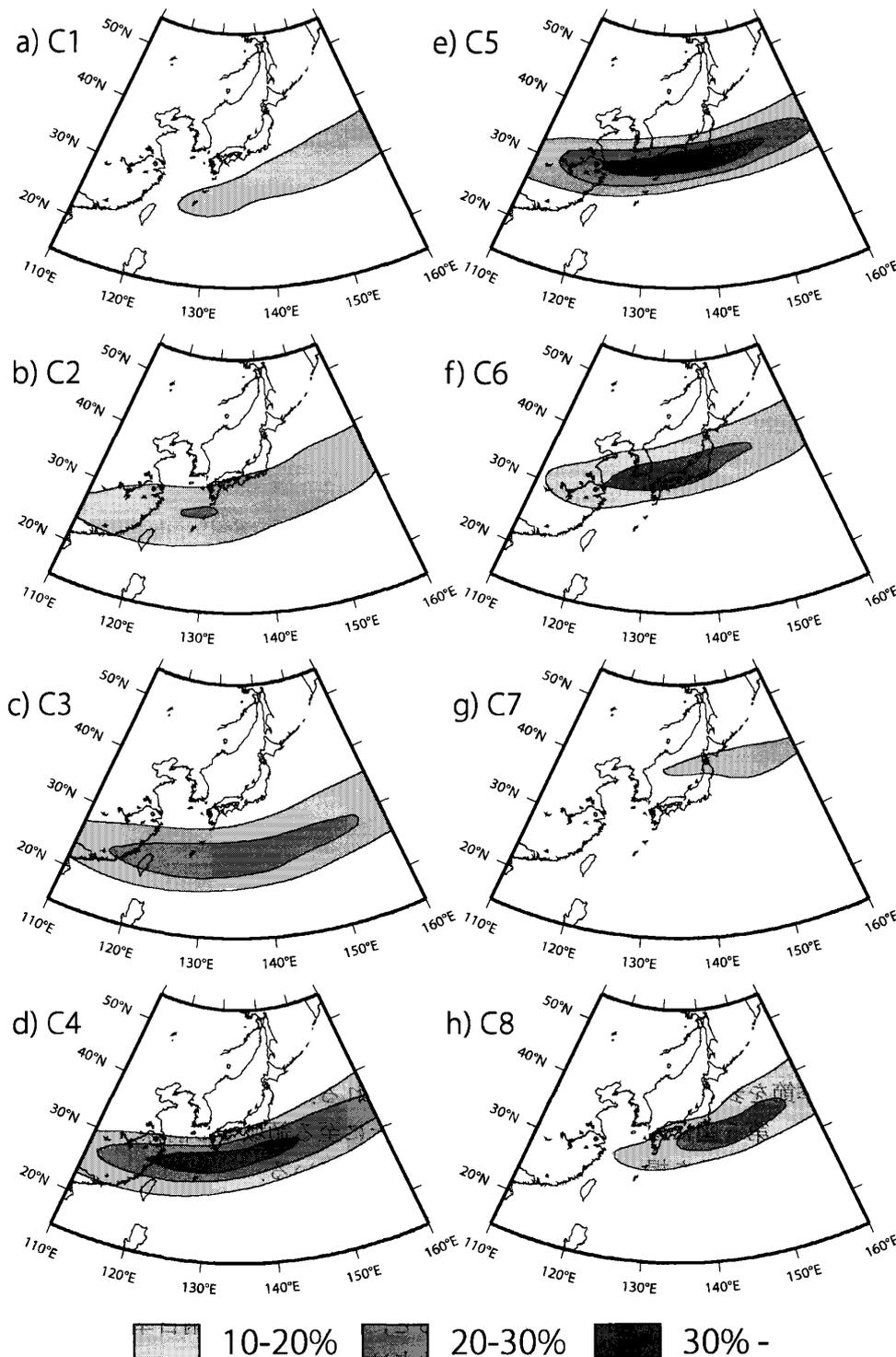
- ・第5図をみると、卓越時期は吉野・甲斐（1977）の季節区分の「晩春」にあたる。また、吉野（1965）の「華南に中国の雨期の走りが現れる時期」に対応する。

- ・第6図をみると、降雨日率や大雨日率がC2型時に最も高くなる地点はみられない。

③ C3型：第29～32半旬（5/21-6/9）

- ・第4図cをみると、前線帯は華南から北緯26度、東経130度と北緯27度、東経140度を通って日本の南を東北東へ伸び、前線帯付近は20%以上の高頻度が広域にみられる。このように、この型は華南から日本の南における前線活動を示している。

- ・第5図をみると、卓越時期は吉野・甲斐（1977）の季節区分の「初夏」にあたる。また、吉野（1965）の



第4図 前線分布型別の平均前線存在頻度分布図。a) C1型, b) C2型, c) C3型, d) C4型, e) C5型, f) C6型, g) C7型, h) C8型。等値線の間隔は10%, 頻度は南北方向に3度の移動合計値で示している。

域は、降雨日率と類似しているものの、前線帯の南側の石垣島と宮古島では、C3型時以上にC8型時の大雨日率が高い。

④ C4型：第33～34半旬(6/10-19)

・第4図dでは、前線帯は華中から北緯29度、東経130度と北緯31度、東経140度を通して、関東の南東海上を東北東に伸び、前線帯の位置はC2型と類似している。しかし、東シナ海から関東の南東海上では30%以上の高頻度が広がり、C2型に比べて全体的に頻度が高い。このように、この型は東シナ海から関東の南東海上に至る領域を中心とした前線活動を示す。

・第5図をみると、卓越時期は吉野・甲斐(1977)の季節区分の「梅雨」に含まれる。また、吉野(1965)の「揚子江流域から日本に至る東アジアの明瞭な雨期の始まり」に対応する。

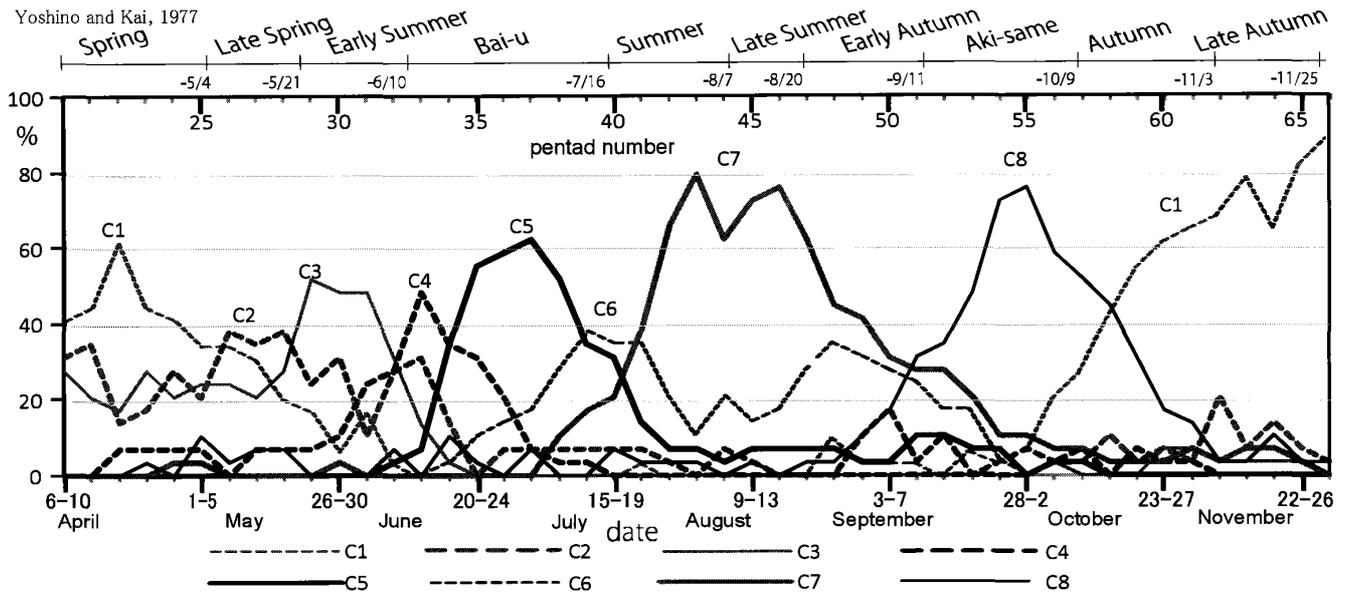
・第6図をみると、降雨日率や大雨日率がC4型時に最も高い地点は、伊豆諸島や種子島などの奄美諸島以北の日本の南の島々に多くみられる。これらの地点は東経130度付近では前線帯の近くにあるが、東経140度付近では前線帯の北側に位置している。

⑤ C5型：第34～38半旬(6/15-7/9)

・第4図eをみると、前線帯は華中から北緯33度、東経130度と北緯34度、東経140度を通して、関東の東海上を東に伸びる。特に長江下流域から関東の東海上にかけて30%以上の高頻度が広くみられる。このよう

「日本の梅雨の走りがみられる時期」に対応する。

・第6図をみると、降雨日率がC3型時に最も高い地点は沖縄本島以南に多くあり、これらは前線帯が通る領域にほぼ一致する。一方、大雨日率のC3型の分布



第5図 前線分布型の平均出現頻度の半旬推移. 図中では, 各前線分布型の卓越時期 (他の型に比べてその型の頻度が高い時期) に記号 C1~C8を付している. 図の上部には, 比較のために吉野・甲斐 (1977) の季節区分とその期間を掲載した.

に, この型は長江下流域から関東の東海上に至る領域を中心とした前線活動を示している.

- ・第5図をみると, 卓越時期はC4型と同様に吉野・甲斐 (1977) の季節区分の「梅雨」に含まれる. また, 吉野 (1965) の「雨期の最盛期」に対応する.

- ・第6図をみると, 降雨日率がC5型時に最も高い地点は, 東日本と西日本に広域に分布している. 一方, 大雨日率のC5型の分布は, 降雨日率と類似しているものの, 関東地方はC5型からC8型に, 北陸地方はC5型からC6型に変わっている地点が多くあり, C5型の分布域は縮小している. また, 降雨日率や大雨日率がC5型時に最も高くなる地点は, 東経130度付近では前線帯付近にあるが, 東経140度付近では前線帯の北側に多く分布している.

⑥ C6型: 第39~40半旬 (7/10-19)

- ・第4図fをみると, 前線帯は華中から北緯35度, 東経130度と北緯37度, 東経140度を通って, 日本の東を東北東に伸びる. 特に対馬から三陸沖に至る領域で頻度が高い. このように, この型は対馬から三陸沖に至る領域を中心とした前線活動を示す.

- ・第5図をみると, 卓越時期はC4型やC5型と同様に吉野・甲斐 (1977) の季節区分の「梅雨」に含まれる. また, 吉野 (1965) の「雨期の後期」に対応する. そして, この型はこの時期の他に第48半旬 (8/24-28) 頃にも頻度の極大を持ち, 二つの時期に極大

がある.

- ・第6図をみると, 降雨日率がC6型時に最も高くなる地域は, 東北北部から北海道の南部を中心にみられる. 一方で, 大雨日率の分布では, これらの地域に加えて中国地方から近畿地方の日本海側や, 北陸地方の一部にもC6型がみられ, 降雨日率に比べてC6型の領域が広い. また, 降雨日率や大雨日率がC6型時に最も高くなる地点は, 東日本の東経140度付近に多く, 前線帯の北側に位置している.

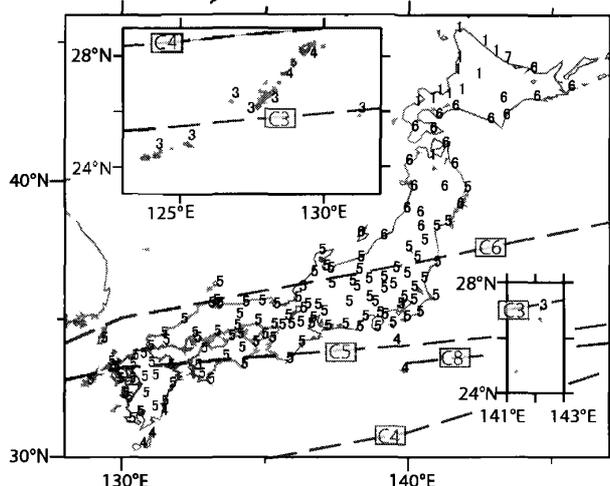
⑦ C7型: 第41~50半旬 (7/20-9/7)

- ・第4図gをみると, 前線帯は日本海中部から北緯41度, 東経140度を通って, 北海道の東海上に伸びるが, 頻度は20%以下で全体的に低い. このように, この型は日本海中部から北海道の東海上における前線活動 (前線存在頻度は低い) を示している.

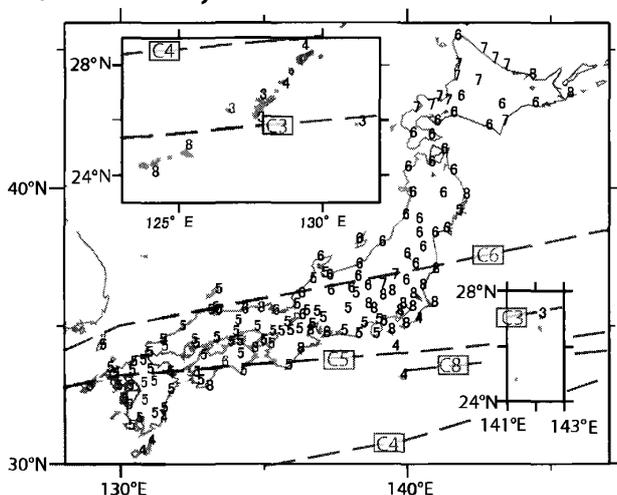
- ・第5図をみると, 卓越時期は吉野・甲斐 (1977) の季節区分の「夏」, 「晩夏」, 「初秋」の三つの季節を合わせた期間にほぼ対応する.

- ・第6図をみると, 降雨日率がC7型時に最も高い地点は北海道の紋別のみである. 一方, 大雨日率がC7型時に最も高くなる地点は, 北海道日本海側と, 関東地方の日光と前橋にみられる. 前者はC7型の前線帯の北側にあたるが, 後者は前線帯とは離れており (第4図gを参照), 対流性降水や台風活動などの別の降水要因に伴うものと考えられる.

a) 1mm/day



b) 50mm/day



1:C1, 2:C2, 3:C3, 4:C4, 5:C5, 6:C6, 7:C7, 8:C8

第6図 a) 降雨日 (1mm/day以上の日), b) 大雨日 (50mm/day以上の日) の出現率が最も高い前線分布型の分布。1~8の数字は、それぞれC1~C8型の前線分布型を示す。また、図中の破線はC3, C4, C5, C6, C8型の20%以上の前線存在頻度分布の軸を示す。

⑧ C8型：第51~58半旬 (9/8-10/17)

- ・第4図hでは、前線帯は北緯30度、東経130度と北緯33度、東経140度を通して、日本の東を東北東に伸び、20%以上の高頻度が東海道沖から関東の東海上にみられる。このように、この型は東海道沖から関東の東海上に至る領域を中心とする前線活動を示す。
- ・第5図をみると、卓越時期は吉野・甲斐 (1977) の「秋雨」にほぼ対応する。
- ・第6図をみると、降雨日率がC8型時に最も高くなる地点はみられないが、大雨日率がC8型時に最も高

くなる地点は、関東地方や太平洋側沿岸域の一部、宮古島、石垣島などにみられる。このうち、関東地方や太平洋側沿岸の地点は、前線帯の北側に位置するが、秋雨期は東日本を中心として台風活動による降水量が多い時期でもあり (関口・田宮 1968)、前線活動や台風活動、そしてその両者の影響を強く受けていると考えられる。また、宮古島と石垣島については、前線帯の位置からは離れており、台風活動などの別の降水要因に伴うものと考えられる。

以上のことから、前線分布型でみた日本の平均的な季節進行は次のようにまとめられる。まず、吉野・甲斐 (1977) で「梅雨」に区分されている時期は、本研究ではC4, C5, C6型に細分される。また、吉野・甲斐 (1977) で「夏」, 「晩夏」, 「初秋」に区分されている時期は、本研究ではC7型の一つにまとまって現れる。このような一部の季節区分の不一致は、指標の違いによるものと考えられる。すなわち、気圧配置型ではなく前線分布型を用いたことにより、前線存在頻度が低い夏や晩夏などは粗く区分され、頻度が高い梅雨期は細かく区分されたのであろう。また、梅雨期については、前線頻度や降水量分布の変化をもとに梅雨期を細分した吉野 (1965) の季節区分と時間的に非常に良い対応関係を示している。これらのことから、本研究の前線分布型による季節区分は、吉野・甲斐 (1977) や吉野 (1965) などの先行研究と概ね合致した結果が得られたといえる。

各前線分布型の降水特性については、全体的に前線存在頻度が高いC3~C6型とC8型時には、降雨日率や大雨日率が最も高くなる地点が多いことがわかった。このような地点は、東経130度付近では前線帯付近に多く、東経140度付近では前線帯の北側に多く分布する。これは、東経130度に比べ、東経140度では低気圧の閉塞過程で前線の波動が強まり、前線の北側に降水域を伴った低気圧の中心が位置することが多いためであると考えられる。また、降雨日率と大雨日率が最も高くなる型の分布を比較すると、C6, C7, C8型は大雨日率の方が広く分布する。このことは、これらの型の出現時に、降雨日に占める大雨日の割合が高い地点が多いことを意味する。その原因は、前線活動に加え、台風活動、地形性降水、対流性降水などの大雨をもたらす大気場が生じやすいためであると考えられる。本研究では個々の降水事例を調査していないため、これ以上、降水要因に関する議論はできない。しかし、前線存在頻度が高い時期には、多くの地点で、

前線帯の位置に対応した降雨日や大雨日の極大がみられるなど、前線帯の移動に伴う降水特性の季節変化やその地域性が明らかとなったといえる。

5. 前線分布型でみた近年の日本の季節進行の傾向

最後に、前線分布型の出現傾向をもとに、近年の日本の季節進行の特徴を明らかにする。第7図aは各年各半旬の前線分布型のカレンダーである。この図をみると、例えば1980年、1993年、2003年などの全国的な冷夏年は、夏から初秋に平均出現頻度が高いC7型(第5図を参照)が少ないことがわかる。また、2～7年の周期をもつエルニーニョ現象(気象庁2005)の影響などにより、日本の季節進行は年による違いが大きい。ここでは長期傾向を見出すために、次のような年々変動の影響を軽減するための操作をおこなった。すなわち、第7図aをもとにして、各年各半旬の前線分布型に、その年と前後の3年を加えた計7年間で最も多く現れた前線分布型をおき、第7図bを作成した。ただし、最も多く現れた前線分布型が複数存在する場合は、その時期の前線分布型の平均出現頻度(第5図を参照)がより高い型をおいた。

また、第8図には1979年から1994年まで(以降、期間Aと表記する)と1995年から2007年まで(以降、期間Bと表記する)の二つの期間における主成分得点の平均値の半旬推移を示して、両者の比較をおこなう。この期間AとBは、後述のとおり、第7図bにおいて、1995年頃を境に前線分布型の出現傾向に変化がみられる時期が多いことに基づいて設定した。

さらに、第7図や第8図でみられた季節進行の変化に伴う降水特性の変化を検討する。第9図には、前線分布型の出現傾向に特徴的な変化がみられた三つの時期を取り上げ、近年、実際にその特徴ある前線分布型が現れた時の降雨日率と大雨日率を、同時期の29年平均値との比で示した。ただし、降雨日や大雨日の頻度が小さい地点では、わずかな降雨日や大雨日の出現だけで全体の傾向が決まるため、これを防ぐ必要がある。そこでこの計算は、観測期間が調査期間の80%以上あり、かつ、調査対象時期の降雨日率、大雨日率の29年平均値が1%以上の観測地点のみでおこなった。そして、降雨日率については統計的に有意な差(有意水準5%)を示すものを黒色、示さないものを灰色で表した(大雨日率は平均的に値が小さく、統計的に有意な差が現れにくいいため、この演算はおこなわない)。

以下に、第7図b、第8図、第9図から読み取れる

近年の日本の季節進行の特徴を、特徴がみられた季節ごと(吉野・甲斐(1977)の季節の表現を用いた)にまとめる。ただし、第7図bでは7年の平滑化の操作をおこなっているため、変化傾向を読み取る際には、その変化が始まる(終わる)年は必ずしも厳密ではないことに注意する必要がある。

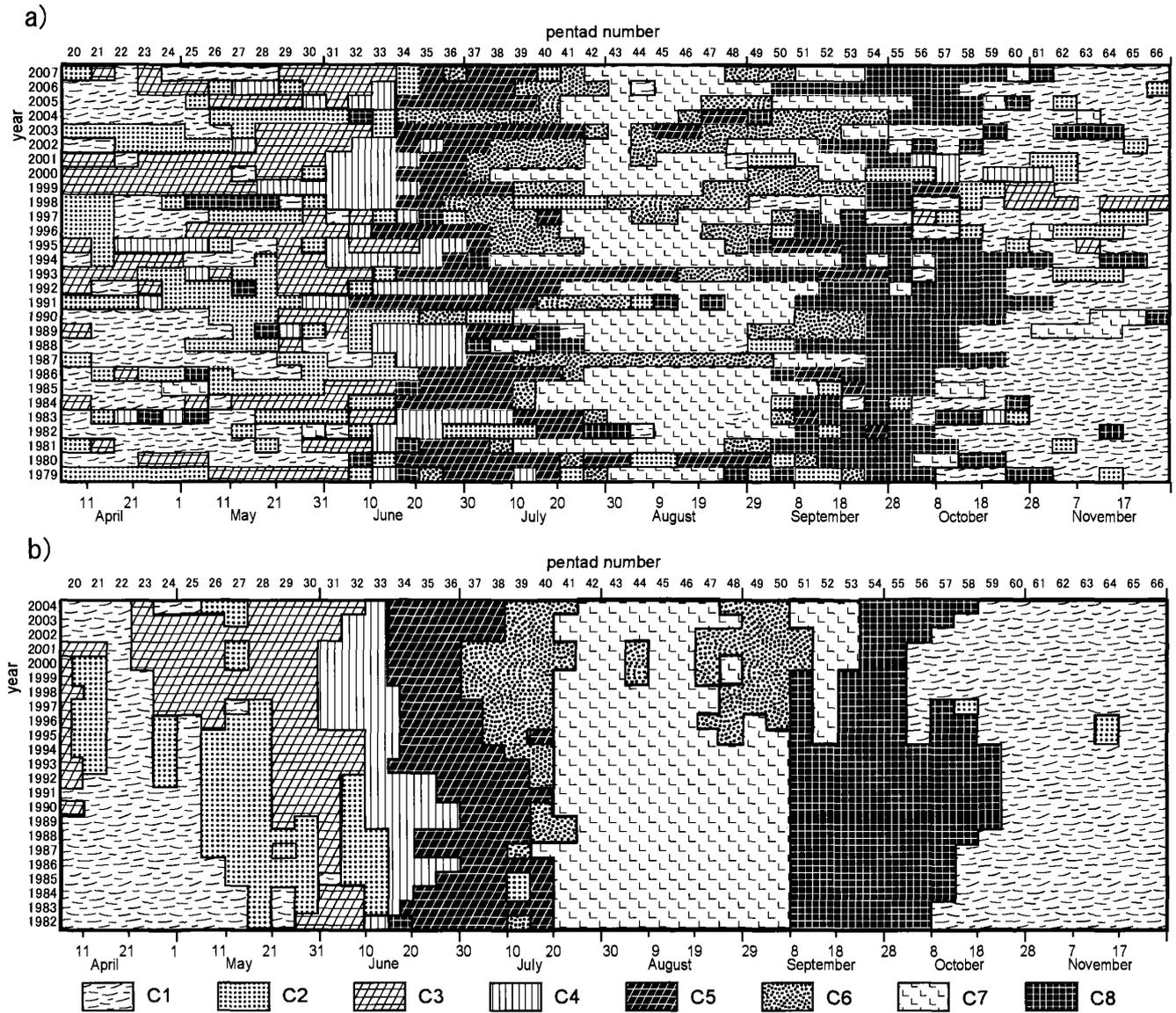
① 晩春：第26～28半旬(5/6-20)

第7図bをみると、平均的には5月下旬から6月上旬に現れるC3型が、1997年以降は4月下旬から現れるようになり、それに代わってC1型やC2型の頻度が減少している。このうち、晩春の第26～28半旬(5/6-20)のC2型からC3型への変化は、29年平均値にみられる、晩春の前線帯の一時的な北上が近年はみられず、日本の南で前線帯が維持される傾向があることを意味する(第4図b, cを参照)。この傾向は、晩春の第1主成分の得点(第8図a)が、第28半旬(5/16-20)を中心に、期間Aよりも期間Bの方が大きいこと(日本の南の海域で前線存在頻度が高いことを示す)からも読み取ることができる。

第9図a, bは、第26～28半旬(5/6-20)において1997年以降にC3型が現れた際の降雨日率と大雨日率の平均値を、同時期の29年平均値との比で示している。この図をみると、近年頻出するC3型時に、降雨日率や大雨日率が沖縄本島以南の多くの地点で上昇し、東日本や西日本の多くの地点で下降している(ただし、降雨日率の変化において、東日本の多くの地点で有意水準を満たしていない)。このうち前者の上昇域は第6図のC3型の分布域に一致し、第6図のC2型とC3型の比較から予想される降水特性の変化に合致する。一方、前線帯の北上がみられないことに対応し、本州の多くの地点で降雨日率や大雨日率は低下している。

② 初夏・梅雨期前半：第29～36半旬(5/21-6/29)

第7図bをみると、卓越時期が第33～34半旬(6/10-19)にあるC4型が、1996年頃以降は第31～34半旬(5/31-6/19)に、1992年頃以前は第33～36半旬(6/10-29)に多く現れ、1993～1995年を境に出現時期が2半旬ほど早まっているように見える。また、梅雨期の前線活動に対応するこの時期の第2主成分の得点の極小への推移(第8図b)をみても、第30～40半旬(5/26-7/19)において期間Bの推移が期間Aに先行していることがわかる。ただし、期間AとBの値に統計的に有意な差があるのは、期間Aの極小期にあたる第35半旬(6/20-24)のみである。その他、この



第7図 前線分布型の季節推移と経年変化. a) 各年各半旬の前線分布型, b) 年々変動を取り除いた前線分布型の出現傾向. bはaをもとに, 前後3年を合わせた計7年間で, 最も多く現れた前線分布型をおいている. ただし, 最も多く現れた前線分布型が複数存在する場合は, その時期の前線分布型の平均出現頻度がより高い型をおいた. また, 第34半旬(6/15-19)は, C4型とC5型の平均出現頻度が等しいため, 両者の出現が同時に最も多くなる場合は, 該当する時期を2分割し, 期間の前半にC4型を, 後半にC5型をおいた.

時期は, 1992年まではC2型→C3型→C2型→C4型という順に推移していたが, 1992年以降はC3型→C4型の順に推移していることも大きな特徴である.

③ 梅雨期後半: 第37~40半旬(6/30-7/19)

第7図bをみると, 梅雨期後半では1994年以前にはC5型が多いが, それ以降はC6型の頻度が高い. この傾向は, C6型の卓越時期にあたる第39~40半旬(7/10-19)に顕著にみられる. そしてこの変化は, 以前にも増して梅雨期後半に対馬から三陸沖を通る前線

が多くなっていることを意味する. このことは, 第1主成分の得点(第8図a)と第3主成分の得点(第8図c)が, 共に期間Aよりも期間Bの方が小さく, 日本海を中心に前線存在頻度が高くなる傾向を示していることからわかる.

第9図c, dは, 第37~40半旬(6/30-7/19)の1995年以降にC6型が現れた際の降雨日率と大雨日率の平均値を, 同時期の29年平均値との比で示している. これらの図から, 近年頻出するC6型時に, 降雨

日率は東北以北，大雨日率は関東以北で上昇し，共に西日本で下降していることがわかる（ただし，東北以北で降雨日率が上昇する地域は，北海道西部を除いて有意水準を満たしていない）．この変化は，第6図のC5型とC6型の分布の比較によっても解釈できる．

④ 初秋：第47～50半旬（8/19-9/7）

第7図bのこの時期は，1994年頃を境にC6型の出現が多くなっている．すなわち，平均的には初秋に前線活動があまりみられないが，近年は対馬から三陸沖を通る前線が多くみられ，新たに梅雨期後半と類似した期間がみられるようになったといえる．この変化は，梅雨期の後半と同様に，この時期の第1主成分の得点（第8図a）と第3主成分の得点（第8図c）が，共に期間Aよりも期間Bの方が小さいことからわかる．

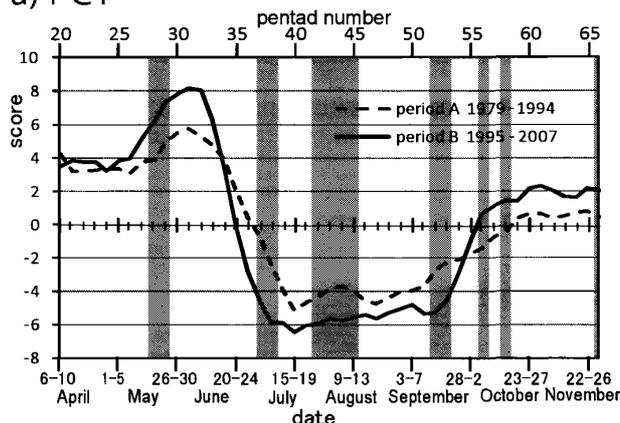
第9図e, fは，1993年以降の第47～50半旬（8/19-9/7）にC6型が現れた際の降雨日率および大雨日率とそれぞれの29年平均値との比を示す．降雨日率（第9図e）をみると，近年頻出するC6型時に東北北部から北海道南部に加え，九州から中部の日本海側でも上昇しており，これは第6図aのC7型とC6型の分布の比較から予想される降水特性の変化と合致する．一方，大雨日率（第9図f）については，第6図bからは上昇することが予想される北海道南部や，下降することが予想される北海道日本海側地域で符号の不一致がみられるものの，これらの地域以外は概ね第6図から予想される降水特性の変化を示している．

⑤ 秋雨：第51～58半旬（9/8-10/17）

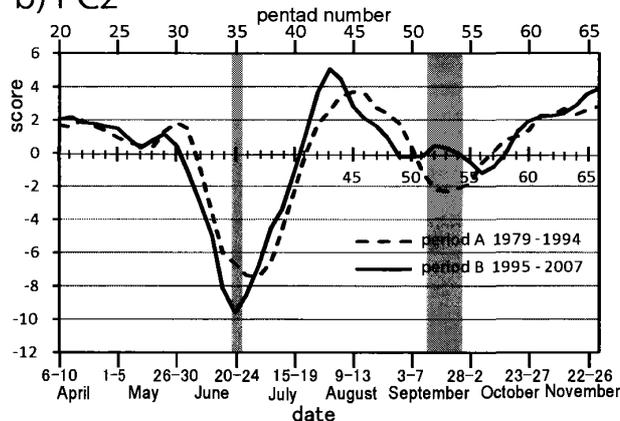
第7図bをみると，秋雨の初期の第51～53半旬（9/8-22）では，1995年頃以降にC7型が多くみられ，それに伴ってC8型の出現時期が2～3半旬ほど遅れている．この傾向は，この時期の第2主成分の得点（第8図b）で，期間Aよりも期間Bの方が値は低く，日本南岸の前線存在頻度が低いことを示していることからわかる．

これらの①～⑤のうち，②と③は梅雨期の傾向である．そして，調査期間内でみると近年は，明瞭ではないものの，梅雨期前半までは2半旬程度季節進行が早く，梅雨期後半は対馬から三陸沖を通る前線が多い傾向がみられた．このような傾向は，1980年から2000年代前半において，梅雨期前半に東京の日照時間や全天日射量の極小を示す時期が早まり，梅雨期後半に真夏日が増加傾向にあることを示した三澤（2006）の結果

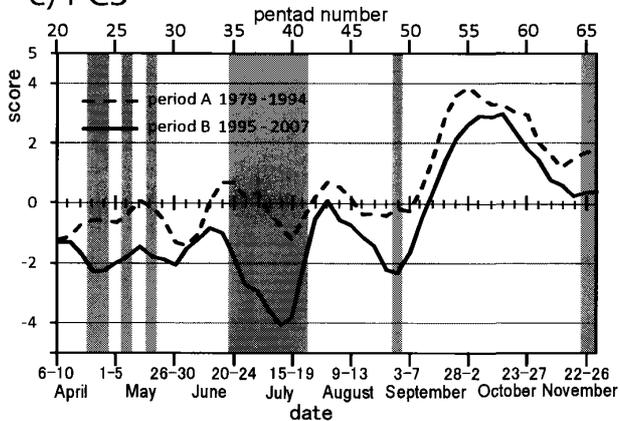
a) PC1



b) PC2

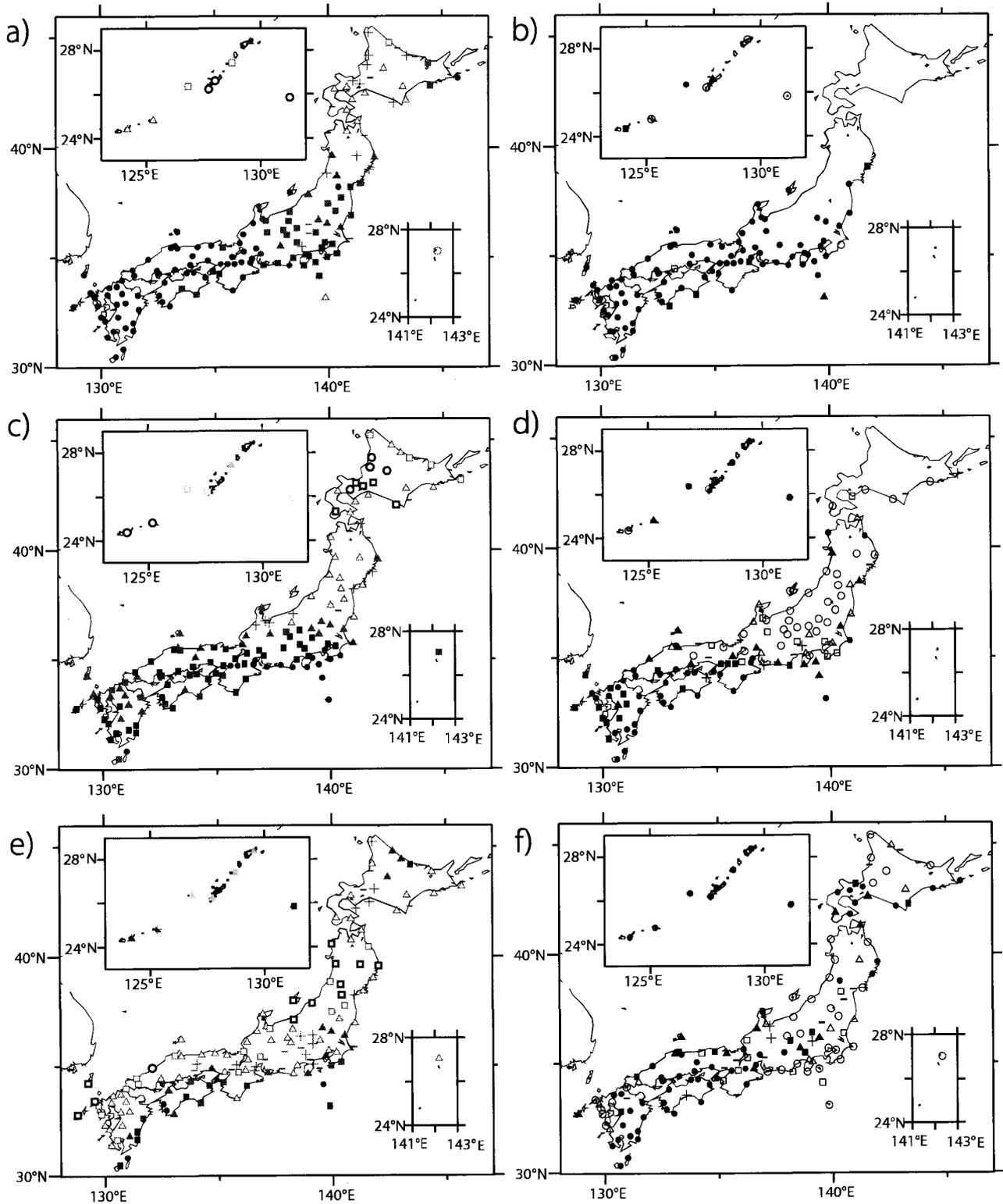


c) PC3



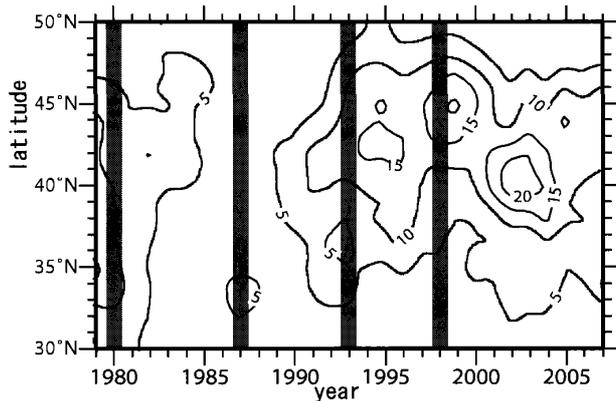
第8図 期間A（1979～1994年）と期間B（1995～2007年）における主成分得点の平均値の半旬推移の比較．a) 第1主成分，b) 第2主成分，c) 第3主成分．灰色域は期間AとBの差が統計的に有意（有意水準5%）である半旬を示す．

に一致している．一方，先行研究のSato and Takahashi（2001）や井上・松本（2006）が示した，過去50年間の日照時間の変化からみた近年の梅雨明けの遅れについては，本研究の過去29年間の解析からは確認



● < 0.70 < ■ < 0.85 < ▲ < 0.95 < - < 1.00
 1.00 < + < 1.05 < △ < 1.15 < □ < 1.30 < ○

第9図 降雨日率および大雨日率の変化(各時期の29年平均値との比). a) 第26~28半旬(5/6-20)における1997年以降のC3型出現時の降雨日率の変化, b) a)と同じ(ただし,大雨日率), c) 第37~40半旬(6/30-7/19)における1995年以降のC6型出現時の降雨日率の変化, d) c)と同じ(ただし,大雨日率), e) 第47~50半旬(8/19-9/7)における1993年以降のC6型出現時の降雨日率の変化, f) e)と同じ(ただし,大雨日率). 降雨日率については統計的に有意な差(有意水準5%)を示す地点を黒色,示さない地点を灰色で表した.



第10図 C7型時における東経140度に沿った平均前線存在頻度の時間(年) — 緯度断面図。ただし、第41～46半旬(7/20-8/18)に現れたC7型の前線存在頻度のみで平均している。灰色域はC7型が調査期間に出現しなかった年を示す。単位は%。等値線は5%間隔で引いている。

できなかった。しかし、第41～46半旬(7/20-8/18)に現れたC7型時の事例を各年で平均した、東経140度に沿った前線存在頻度の時間(年) — 緯度断面図(第10図)をみると、1990年まではみられなかった10%以上の前線存在頻度が、それ以降は北緯37-48度の領域でみられるなど、同じ前線分布型でも北日本の前線存在頻度の増加傾向が認められる。このことは、梅雨明け後の日本各地の日照時間等に影響を与えていると考えられる。

この他、①の「晩春」と④⑤の「初秋」から「秋雨」の季節進行の傾向については、あまりこれまでに指摘されてこなかったことである。このような29年間でみられた傾向が、より長い期間でもみられるのか、今後も続くのか、という見極めは、今後、多様な視点からの解析により明らかにしていく必要がある。いずれにしても、本研究の結果は、気候変化の調査をおこなう際における、季節進行を踏まえてみていくことの重要性を示しているといえる。

6. おわりに

本研究では、29年間(1979～2007年)の第19～67半旬(4/1-12/1)において、気象庁地上天気図から作成した半旬前線存在頻度分布をもとに前線分布型を定め、それらの特徴と近年の日本の季節進行の傾向を明らかにした。得られた結果は以下のとおりである。

- ・日本付近の前線分布は、C1～C8型の8つの前線分布型に分類できる。そして、29年平均値でみた各型の

出現の極大時期は、吉野・甲斐(1977)の気圧配置型による季節区分と良い対応関係を示す。このうち、梅雨期については、前線分布型を用いることで、より細かくC4、C5、C6型の三つに分けることができる。

- ・高い前線存在頻度がみられるC3～C6、C8型では、前線帯(前線存在頻度の極大軸)の位置と降水域の対応関係が良い。そして、東経130度では前線帯付近で、東経140度では前線帯の北側の地域で、日降水量1mm以上の降雨日や日降水量50mm以上の大雨日が現れやすい。

- ・過去29年間をみると、近年、①晩春(5月上旬から中旬)に通常はみられる前線帯の日本南岸への一時的な北上がみられない、②初夏から梅雨期前半(5月下旬から6月下旬)は季節進行が2半旬ほど早まる、③梅雨期後半(7月上旬から中旬)は対馬から三陸沖を通る前線が多い、④初秋(8月下旬)は対馬から三陸沖を通る前線が多く、梅雨期後半と類似した雨期がみられる、⑤秋雨(9月上旬から10月中旬)は開始が2～3半旬ほど遅くなっている、などの傾向がある。

- ・日本の多くの地点はC5型やC6型の時に降雨日や大雨日が生じやすいため、特に③の梅雨期後半のC5型からC6型への変化傾向と④の初秋のC7型からC6型への変化傾向は、日本の多くの地域の降水特性に大きな変化をもたらす。

本研究の前線分布型でみた日本の季節進行は、前線に着目したことにより、天気図をある程度イメージしつつ、天候の季節進行や経年変化を理解できるという長所がある。一方、前線解析には若干の主観性が含まれるため、今後は、本研究でみられた傾向が、日本周辺の循環場にどのように現れているかを確認する必要がある。また、本研究では季節進行を捉えるにあたり、前線の出現と位置の情報のみを用いており、個々の前線の種別や活動度などの性質は解析の際に考慮していない。本研究の結果にこれらの情報を加え、さらにジェット気流や熱帯の対流活動など、大規模な循環場との関連性を明らかにして、日本の季節進行を捉えていくことが今後の大きな課題である。そして、本研究でみられた近年の日本の季節進行の傾向が、より長期間でもみられるか、今後も続くのか、あるいは周期性をもつのかなど、変化や変動の時間スケールに注意しながら監視していく必要がある。

謝辞

担当編集委員や査読者の方々には、多大な労力を割

いていただくとともに、重要なご指摘や貴重なコメントをいただき、大変お世話になりました。また、東北大学環境科学研究科の境田清隆教授、吉野正敏筑波大学名誉教授をはじめ、学会等ではさまざまな方にご助言をいただきました。そして、気象庁の天気相談所からは資料に関する有益な情報をいただきました。皆様に感謝いたします。

なお、本稿は2007年度の日本気象学会秋季大会と2008年日本地理学会春季大会にて発表した内容を骨子としたものである。

参 考 文 献

- Endo, N., B. Ailikun and T. Yasunari, 2005: Trends in precipitation amounts and the number of rainy days and heavy rainfall events during summer in China from 1961 to 2000. *J. Meteor. Soc. Japan*, **83**, 621-631.
- Fujibe, F., N. Yamazaki and K. Kobayashi, 2006: Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **84**, 1033-1046.
- Inoue, T. and J. Matsumoto, 2003: Seasonal and secular variations of sunshine duration and natural seasons in Japan. *Int. J. Climatol.*, **23**, 1219-1234.
- 井上知栄, 松本 淳, 2006: 近年の東アジア夏季季節進行にみられる数十年規模変動. *月刊海洋*, 号外 (44), 169-175.
- 気象庁, 2005: 異常気象レポート2005. 383 pp.
- 三澤 正, 2006: 東京の梅雨期における真夏日の増加について. *地理学研究報告*, **17**, 21-29.
- Sato, N. and M. Takahashi, 2001: Long-term variations of the Baiu frontal zone and midsummer weather in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 759-770.
- 関口 武, 田宮兵衛, 1968: 秋雨の気候学. *地理学評論*, **41**, 258-275.
- 鈴木博人, 2004: 日本での最近の半世紀における大雨の出現頻度の経年変化. *天気*, **51**, 805-816.
- 鈴木和史, 三浦信男, 白川栄一, 根津康洋, 矢田綱三, 1997: 天気図解析システム—新しい天気図とその関連業務の概要—. *測候時報*, **64**, 105-128.
- 高橋信人, 2003: 日本における秋雨期の季節推移の特徴と年々変動. *地理学評論*, **76**, 935-956.
- 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*, **61**, 381-403.
- 吉野正敏, 1965: 東アジアにおける梅雨期の前線帯と降水量分布. *地理学評論*, **38**, 14-28.
- 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.

Recent Trends in the Seasonal Evolution in Japan Using Frontal Distribution Data

Nobuto TAKAHASHI*

* *Center for Spatial Information Science (CSIS), University of Tokyo, 5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa-shi, 277-8568, Japan. (Present affiliation: School of Food, Agricultural and Environmental Sciences, Miyagi University, 2-2-1, Hatatate, Taihaku-ku, Sendai, 982-0215, Japan)*

(Received 19 May 2008 ; Accepted 5 June 2009)
