

## 20世紀半ば以降における日本付近の前線帯の季節進行

高橋 信人\*

Seasonal march of the frontal zone around Japan since late 20th century

Nobuto TAKAHASHI\*

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the seasonal march around Japan for pentads 19-67 (April 1 – December 1) since late 20th century using the frontal zone data. The frontal data were derived by the objective method using the Thermal Front Parameter (TFP) of the potential temperature and the equivalent-potential temperature at 850 hPa, which are calculated from the 6-hourly temperature and relative humidity data of the NCEP-NCAR reanalysis. We first classified the pentad frontal distributions into ten patterns (T1-T10) by principal component analysis and cluster analysis. Each of the frontal distribution patterns had a dominant period. Analyzing the spatial and temporal characteristics of the frontal distribution patterns, we cleared the recent trends of the seasonal march in Japan. The main findings of this study were as follows. 1) The frontal frequencies increase around Japan during late July to middle August since the 1990s. 2) The rainy season like the late Baiu season tends to appear during middle to late August since 1990s. 3) The increasing trends from 1990s of the frontal distribution patterns of T1 in May, the frontal zone of which is located southward compared to the average year, and those of T7 in early September which usually appear in the summer are also seen, though these frontal distribution patterns don't dominate in each season.

(Received October 4, 2010 ; Accepted February 4, 2011)

**Key words** : 前線帯, 季節進行, Thermal Front Parameter (TFP), 気候変動, 日本

**キーワード** : frontal zone, seasonal march, Thermal Front Parameter (TFP), climate change, Japan

### 1. はじめに

温帯地域では、寒帯前線帯の南北移動に伴って季節進行が明瞭に現れる。その中でも、大陸東岸に位置する東アジア域には、春夏秋冬に加えて、前線帯上の前線活動が活発となる梅雨期や秋雨期を含めた六つの季節があり、段階的に季節が推移していく（加藤ほか、2004）。このため、日本の各地で毎年の梅雨入りや梅雨明けの期日が変動するように、この地域の気候変動はしばしば季節進行の遅速として現れる。このような

季節進行の遅速は、特に農業などの一次産業に対して大きな影響を及ぼすものであり、その実態や遅速をもたらす大気場の解明が望まれている。

高橋（2009）は、地上天気図上に現れる前線分布の半旬変化を8つの型に分類し、1979年～2007年の29年間にわたる日本の季節進行の実態を、前線帯の振る舞いに注目して明らかにした。前線帯は天気図上で前線が現れやすい場所であり、大気場の一つの特徴を表すものであるとともに、気温の急変域や降水域に対応す

\* E-mail : nobuto@myu.ac.jp

る。このため、前線帯の季節進行に注目すると、日本の広域にわたる天候の変化や長期傾向を大気場の変化と関連づけながら把握することができる。しかし、高橋(2009)で解析に用いられた地上天気図上の前線は、客観的手法で求めたNP前線をもとにして最終的には予報官の手で描かれているものであり(気象庁, 1988)、若干の主観が含まれている。また、高橋(2009)では1979年~2007年を調査対象としているが、より長期間を解析しようとする、前線データの作成に用いる地上天気図の品質の違いが解析結果に影響を与えることが予想される。

ところで、Hewson(1998)は、Renard and Clarke(1965)が考案した以下の式で表されるThermal Front Parameter (TFP)を用いた客観的手法によって、再解析データをもとに前線を引くアルゴリズムを提案した。

$$TFP = -\nabla|\nabla\tau| \cdot \frac{\nabla\tau}{|\nabla\tau|} \quad (\tau: \text{温度変数})$$

この式は、温度傾度の変化量を表しており、TFPが最大となるところに前線があると判断するものである。この手法は、例えばSerreze *et. al.* (2001)によって北極前線の解析などに利用されている。

そこで、本研究ではHewson(1998)の手法を用いて、再解析データをもとに日本付近の前線データを作成し、20世紀半ば以降の日本付近における前線帯の振る舞いを明らかにすることを目的とする。さらにその中で、特に近年特有の季節進行に注目していく。ところで、Hewson(1998)の手法では、前線位置の特定に用いる温度変数やその閾値を、各地域の前線解析の結果に合うように設定することを推奨している。そこで本研究では、前線の有無の判別に用いる温度変数とその閾値を、地上天気図の前線位置を読み取って作成した高橋(2009)の前線データと最も類似する前線データが得られるように設定する。

## 2. データと方法

### 2.1. 前線データの作成手法

天気図上の前線の大きな特徴の一つは、温度の水平傾度の極大が存在することである。しかし、日本の梅雨前線は、温度よりもむしろ水蒸気の水平傾度の極大が顕著に現れる(加藤, 1985)。このため、梅雨期の前線解析の際には、しばしば850hPa面の相当温位の分布図が利用されている。そこで本研究では、気塊の温度

のみを考慮した温度変数として850hPa面の温位 $\theta$ を、気塊の温度および気塊に含まれる水蒸気の両方を考慮した温度変数として850hPa面の相当温位 $\theta_e$ を、TFPの算出および前線位置の特定の際に利用することとする。これらの算出には米国国立環境予報センター/国立大気科学研究センター(NCEP/NCAR)の再解析値の温度 $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )と相対湿度 $R$ (%)のデータ(6時間ごとの経度2.5度×緯度2.5度のグリッド値)を用いる。対象期間はNCEP/NCARの再解析値が整備され始めた1948年から2009年までの62年間とし、時期は前線帯が日本付近を南北に移動する第19-67半旬(4/1-12/1)とする。また、調査領域は日本列島とその周辺域を含む北緯15-55度、東経110-160度とする。

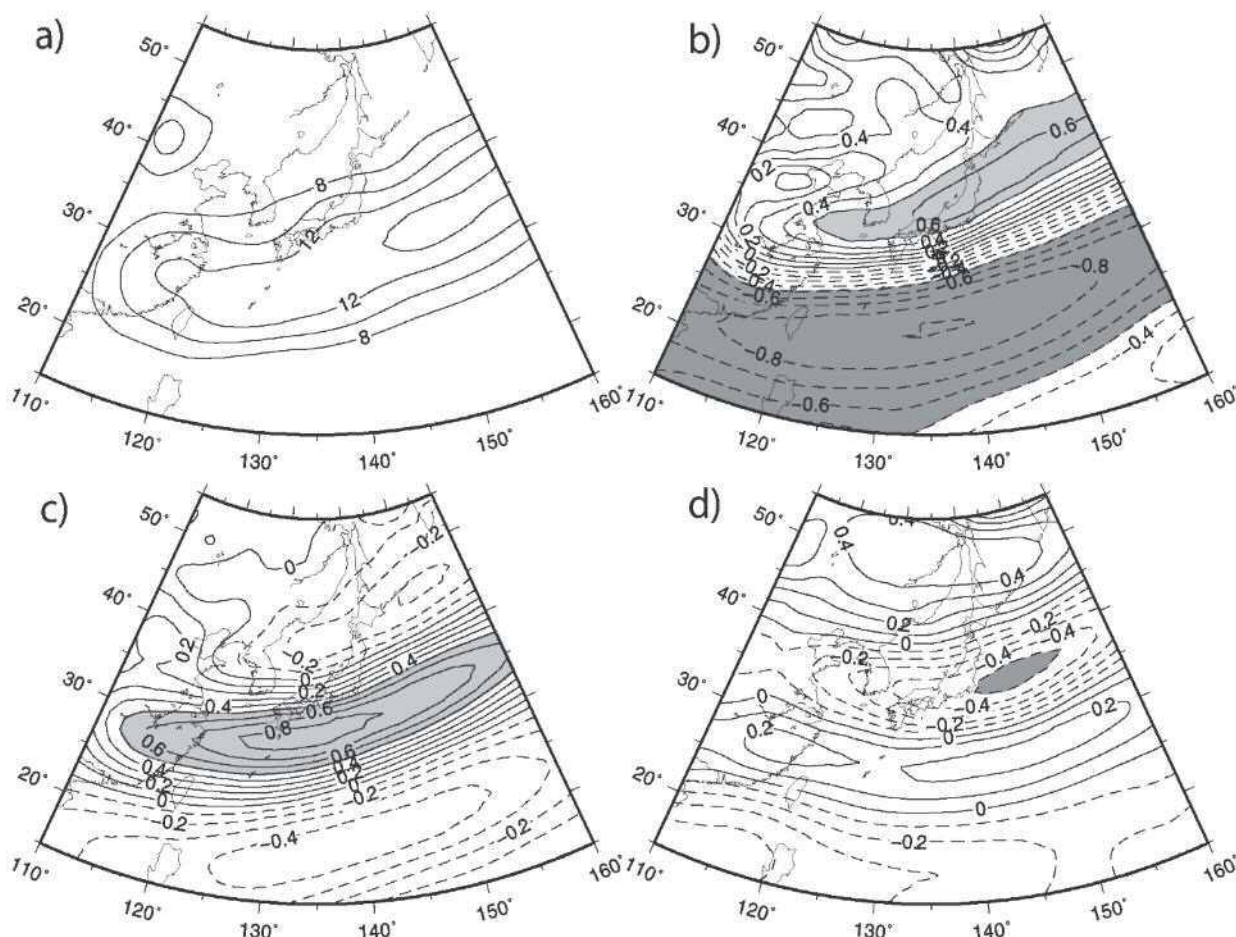
まずはこれらのデータを用いて、Hewson(1998)にならひ、 $\theta$ と $\theta_e$ のそれぞれの $-\nabla|\nabla\tau|$ および $\nabla\tau$ を算出し、各経線に沿った南北断面における極大値が一定の閾値を超えるグリッドに前線が存在するものと判断する。そして、温度変数の組み合わせや閾値を変えつつ、複数の前線データを作成していく。次に、作成した各前線データを高橋(2009)の前線データと比較する。高橋(2009)の前線データは、領域が北緯15-55度、東経110-160度、空間分解能が経度10度×緯度1度、期間が1979年~2007年(29年間)の第19-67半旬(4/1~12/1)、時間分解能が12時間のデータである。本研究で作成した前線データからこの領域と期間に合う部分を抽出し、次式で表されるJaccard係数 $J(X,Y)$ を両データ間の類似度とみなして算出していく。

$$J(X,Y) = \frac{|X \cap Y|}{|X \cup Y|}$$

Jaccard係数は、0から+1までの値をとり、値が大きいほど2つの集合が類似していることを表す。その結果、「 $-\nabla|\nabla\theta| > 0.05\text{K}/(100\text{km})^2$ かつ $-\nabla|\nabla\theta_e| > 0.70\text{K}/(100\text{km})^2$ ( $\nabla\theta, \nabla\theta_e$ の条件式は無し)」という条件を満たすグリッドに前線が存在すると判断した際に、最も高い類似度0.453の値が得られた。そこで、本研究ではこの条件式を用いて作成した前線データを解析に利用する。

### 2.2. 解析の手順

本研究における前線帯の季節進行の調査手法は高橋(2009)にならひ、半旬ごとの前線分布型を定めてその出現傾向を明らかにする。そのために、まず、1948年~2009年の62年間において第19-67半旬(4/1-12/



第1図 平均前線存在頻度分布図と因子負荷量分布図

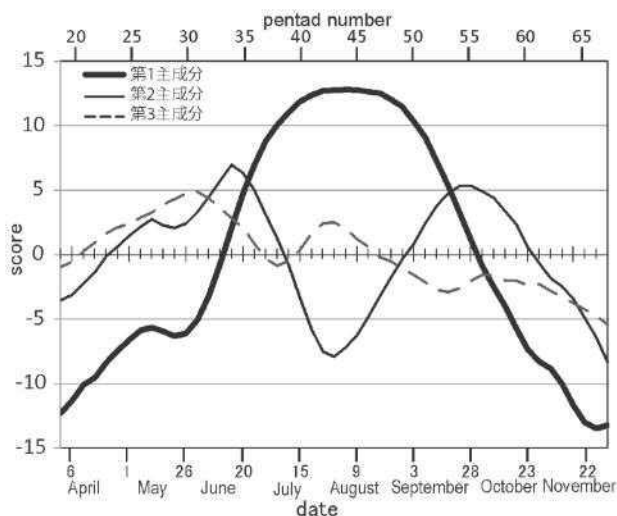
a) 全調査期間 (1948年～2009年, 第19-67半旬 (4/1-12/1)) で平均した前線存在頻度分布図 (単位は%, 等値線の間隔は2%), b) 第1主成分の因子負荷量分布図, c) 第2主成分の因子負荷量分布図, d) 第3主成分の因子負荷量分布図。aでは, 頻度を緯度1度あたりの値で表している。また, b～dにおいて, 等値線の間隔は0.1で, 因子負荷量が+0.5以上領域に薄い灰色, -0.5以下の領域に濃い灰色を施している。

1)の半旬ごとの前線存在頻度分布図を作成する。次に, そのデータに対して主成分分析をおこない, 前線存在頻度の主要な空間変動パターンを抽出する。さらに, 主要な主成分の得点を用いてクラスター分析をおこない, 前線分布型を定める。そして, このようにして得た各前線分布型の特徴と出現傾向を示し, 近年における季節進行の傾向を明らかにする。

### 3. 結果

#### 3.1. 主成分分析による前線分布の空間変動パターンの抽出

第1図aは, 解析期間 (第19-67半旬 (4/1-12/1), 1948年～2009年) で平均した前線存在頻度分布図である。また, 第1図b-dには第1～第3主成分の因子負荷量分布を, 第2図には第1～第3主成分の主成分



第2図 第1～第3主成分の得点の半旬推移 (1948年～2009年の平均)



得点の半旬推移（1948年～2009年の平均値）を示す。第1図aからは、解析期間における日本付近の平均的な前線存在頻度の軸（以下、前線帯と表記する）が、日本の南沖の北緯27.5度、東経130度から北緯32.5度、東経150度にかけて東北東に伸びていることが確認できる。

まず第1主成分（寄与率36.9%）に注目すると、因子負荷量分布図（第1図b）では、第1図aでみた平均的な前線帯を境にして、北側に正、南側に負の因子負荷量が分布していることがわかる。また、主成分得点の半旬推移（第2図）をみると、第1主成分は第33-56半旬（6/10-10/7）で正、それ以外で負の値を示している。因子負荷量と主成分得点の正負の符号が同じ時（異なる時）に前線存在頻度が高い（低い）という統計的関係を踏まえると、このような前線存在頻度分布の時間推移は、寒帯前線帯の春から夏にかけての北上（日本付近での前線存在頻度の増加）と夏から冬にかけての南下（日本の南沖での前線存在頻度の増加）の動きに対応しており、その両時期を判別する成分であると考えられる。

次に第2主成分（寄与率14.9%）に注目する。因子負荷量分布図（第1図C）では、日本の南岸に沿って+0.8以上の高い正の因子負荷量がみられる。また、第2図の第2主成分の得点をみると、梅雨期の第34半旬（6/15-6/19）と秋雨期の第54-55半旬（9/23-10/2）に正の極大値がある。これらのことから、第2主成分は日本の雨期であるか否かを判別する成分であると考えられる。

最後に、第3主成分（寄与率6.6%）に注目する。因子負荷量分布図（第1図d）をみると、-0.5以下の負の因子負荷量の中心が北緯35度付近の日本の東沖にあり、そこから負の値が東西に広がっている。第2図の第3主成分の得点は、第46-47半旬（8/14-8/23）にかけて正から負の値に変わり、それ以降、秋雨期を含めて負の値を示している。秋雨期およびそれ以降は、東経140度以東の前線活動は維持される一方で、シベリア高気圧の張り出しに伴って130度以西の前線活動は抑制される（高橋、2003）ことを考慮すると、第3主成分は日本の東側を中心とする前線帯の活動の活発・不活発を判別する成分であると考えられる。

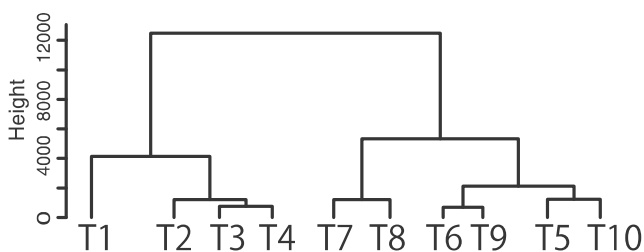
また、第4主成分は寄与率が5.0%を示したが、絶対値が0.5を超える領域は小さく、第1図aにおける前線存在頻度が小さい領域にあった（図略）。これらのことから、次節のクラスター分析による前線分布型の分類

においては、第4主成分以下は考慮に入れず、第1～第3主成分のみを利用することにする。

なお、本研究で得られた第1～第3の各主成分の特徴を高橋（2009）と比較すると、第1主成分、第2主成分の特徴はほぼ両結果で合致している。一方、第3主成分は、本研究では日本の東沖を中心とした前線活動に対応しているが、高橋（2009）では、日本付近の前線活動の東西非対称性を表すものであり、両者の特徴の一部に違いがみられた。

### 3.2. クラスター分析を用いた前線分布型の定義

3.1 で得た総計3,038半旬（49半旬×62年）の第1から第3主成分の得点をもとに、クラスター分析によって前線分布型を定める。まず、第1～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、3,038の初期クラスターから出発し、ウォード法を用いてクラスターの結合をおこなった。次に、すべてのクラスターが20%以上の出現率を示す半旬（1948年～2009年の平均値）を持つまでクラスターの結合を繰り返す。12のクラスターまで減らした。さらに、クラスターの中で最も出現率が高くなる半旬（以下、卓越時期と表記する）を2半旬以上連続して持たないクラスターについては、隣接するクラスターの卓越時期および前線帯の位置が近い場合には、隣接クラスターと結合し、結果として第3図のデンドログラムに示すようにT1～T10の10個のクラスターを得た。各クラスターの事例数は、T1～T10の順に586, 201, 388, 169, 399, 344, 280, 330, 143, 258であった。以下、これらのクラスターを前線分布型として定め、出現傾向を調べる。



第3図 クラスター分析で得られたデンドログラム  
T1～T10は分類した前線分布型を示す。

### 3.3. 前線分布型の平均的特徴と出現傾向

第4図に各前線分布型で平均した前線存在頻度分布を示す。また、第5図には各クラスターの出現率の時間推移を示した。第5図では、気候の年々変動をもたらす大きな要因である、2～7年の周期で発生するエルニーニョ現象（気象庁、2005）の影響を取り除くために7年の移動平均値で表している。また、同図において卓越時期は灰色域で表している。これらの図から読み取れる各前線分布型の特徴は以下のとおりである。

なお、以下の各項目の前線分布型の横には、その前線分布型の卓越時期を記載している。

① T 1 型：第19–23半旬(4/1–4/25)、第60–67半旬(10/23–12/1)

第4図aをみると、前線帯は日本の南沖の北緯22.5度、東経130度から北緯27.5度、東経150度を通って東北東に伸びる。第5図aをみると、1990年代以降において、卓越時期とは別に第25–31半旬(5/1–5/26)でもT1型の出現率が高くなっていることが読み取れる。

② T 2 型：第24半旬(4/26–4/30)

第4図bをみると、前線帯は日本の南沖の北緯25度、東経130度から北緯27.5度、東経150度を通って東北東に伸び、T1型より北に位置する。卓越時期は第24半旬(4/26–4/30)のみだが、第5図bをみると、1960年代後半から1970年代には第28半旬(5/16–5/20)頃に、それ以降は第30半旬(5/26–5/30)頃に出現率の極大が認められる。

③ T 3 型：第25–32半旬(5/1–6/9)

第4図cをみると、前線帯は日本の南沖の北緯27.5度、東経130度から北緯30度、東経150度を通って東北東に伸び、T2型より北に位置している。第5図cをみると、1960年代以降において第30半旬(5/26–5/30)頃を境として、その前後の時期に出現率の極大が分かれて現れていることが読み取れる。

④ T 4 型：なし

第4図dをみると、前線帯は日本の南沖の北緯27.5度、東経130度から北緯32.5度、東経150度を通って東北東に伸びており、前線帯の位置はT3型と類似している。しかし、T3型と比べると、前線存在頻度が20%以上の領域が広がっており、全体的に前線存在頻度が高い。卓越時期は持たないが、第5図dをみると、1960年代後半から1990年代前半には第33–35半旬(6/9–6/24)頃に出現率の極大がある。さらに1990年代後半には、極大時期が第31–32半旬(5/31–6/9)頃に早まっ

ている。

⑤ T 5 型：第33–36半旬(6/9–6/29)、第55–56半旬(9/28–10/7)

第4図eをみると、前線帯は九州南岸の北緯30度、東経130度から北緯32.5度、東経150度を通って東北東に伸び、T3型やT4型よりも北に位置している。しかし、卓越時期が梅雨期の前半や秋雨期にあるにも関わらず、20%以上の前線存在頻度の領域がみられないなど、T3型やT4型に比べて全体的に前線存在頻度は低くなっている。第5図eの梅雨期前半に注目すると、この前線分布型の出現率の極大は、1960年代後半から1990年代前半までは第35–36半旬(6/20–6/29)頃にあるのに対し、1960年代前半までと1990年代後半以降は第34半旬(6/15–6/19)頃にあることがわかる。一方、秋雨期の方に注目すると、出現率の極大時期は、1950年代までは第55–56半旬(9/28–10/7)にあるが、1960年代後半から1990年代までは第53–54半旬(9/18–9/27)に移っている。

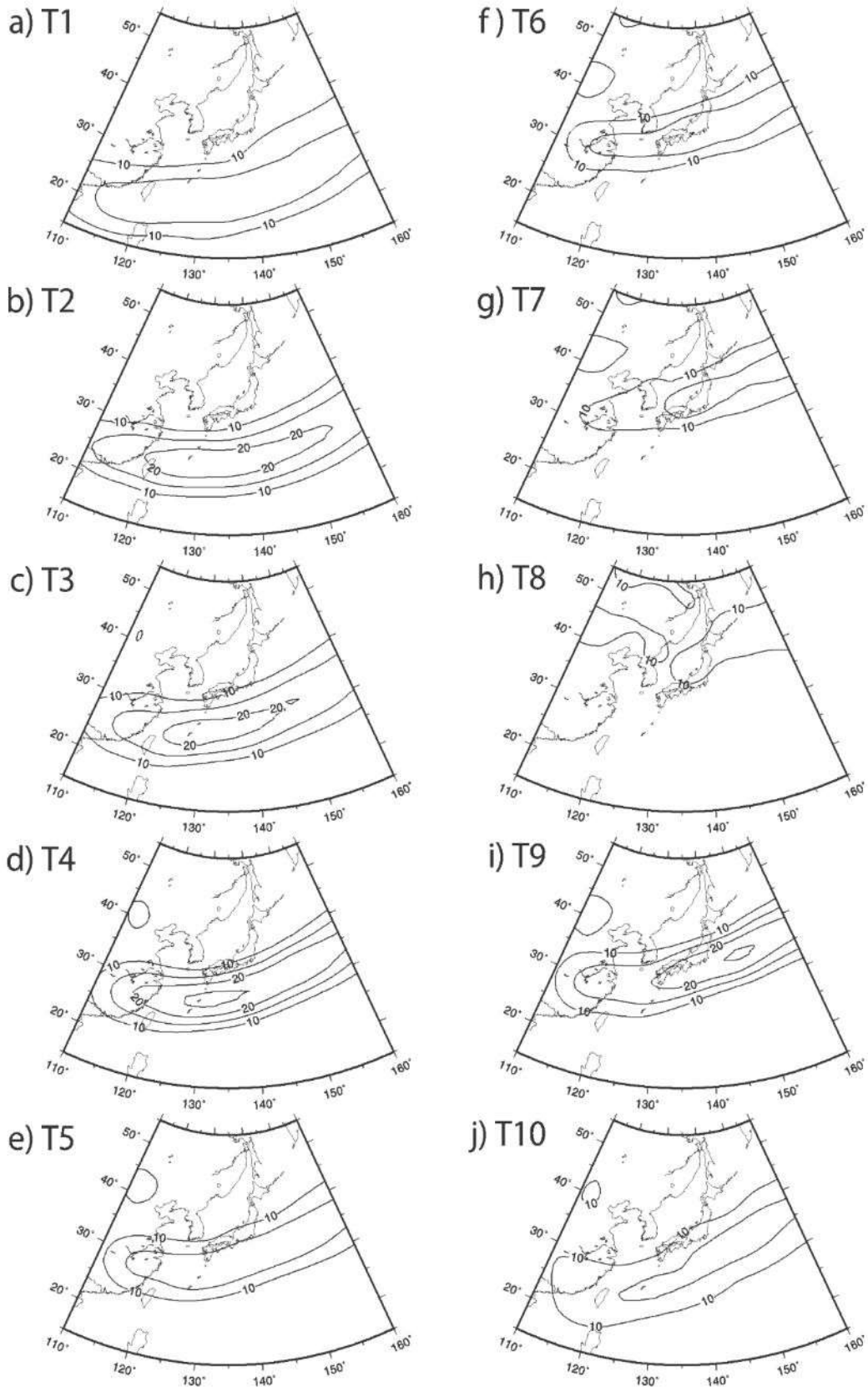
⑥ T 6 型：第37–38半旬(6/30–7/9)、第48–52半旬(8/24–9/17)

第4図fをみると、前線帯は九州北岸から日本の東沖にかけて北緯32.5度、東経130度から北緯35度、東経150度を通って東北東に伸び、T5型よりも北に位置する。第5図fにおいて、梅雨期後半にあたる第37–38半旬(6/30–7/9)の卓越時期に注目すると、1990年代以降に出現率が高くなっているが、1960年代にも同様に出現率の高い時期が認められる。一方、第48–52半旬(8/24–9/17)の卓越時期に注目すると、第46–47半旬(8/14–8/23)頃の出現率が1990年代以降に高くなっていることがわかる。

⑦ T 7 型：第39半旬(7/10–7/14)

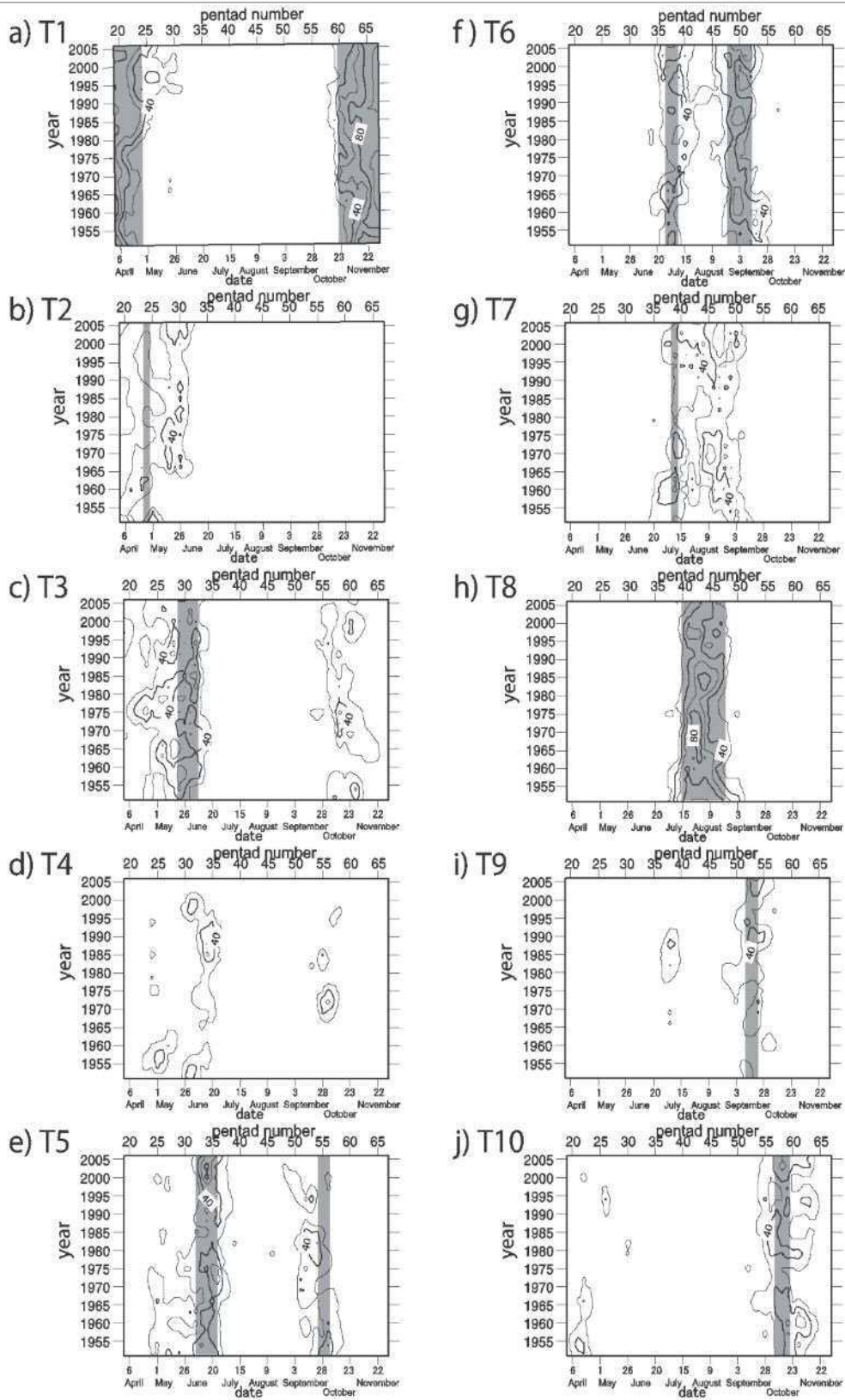
第4図gをみると、前線帯は日本海から日本の東沖にかけて、北緯35度、東経130度から北緯37.5度、東経150度を通って東北東に伸び、T6型よりも北に位置する。卓越時期は第39半旬(7/10–7/14)のみだが、第5図gをみると、全体的に第37–50半旬(6/30–9/7)までの夏期に出現率が高い前線分布型であることがわかる。また、出現率の高い時期は、1970年代前半までは第35–40半旬(6/20–7/19)頃と第44–49半旬頃(8/4–9/2)にあるが、1990年代以降は第40–45半旬(7/15–8/13)頃と第50半旬(9/3–9/7)頃にあり、近年になってこの前線分布型の出現時期は大きく変化している。

⑧ T 8 型：第40–47半旬(7/15–8/23)



第4図 前線分布型別の平均前線存在頻度分布図

a～jはそれぞれT1型からT10型の図に対応する。単位は%，等値線の間隔は5%。



第5図 前線分布型別に応じた出現率（7年移動平均値）の時間推移

他の前線分布型に比べて当該前線分布型の平均出現率（1948年～2009年）が最も高い時期（卓越時期）に灰色を施している。等値線の間隔は20%。



第4図hをみると、前線帯は北緯40度、東経140度を通るが、15%以上の前線存在頻度域がみられなくなっており、T8型は盛夏期に現れやすい前線活動が不活発な前線分布型であるといえる。第5図hをみると、1990年代以降は、1980年代までにみられた80%以上の出現率がみられず、近年はこの前線分布型が現れにくくなっている。

⑨ T9型：第53-54半旬（9/18-9/27）

第4図iをみると、前線帯は九州南岸の北緯30度、東経130度から北緯35度、東経150度を通して東北東に伸びている。前線帯の位置はT5型やT6型と似ているが、T9型では前線存在頻度の極大が東経145-150度付近にあり、日本付近では分布が東に偏っている。第5図iをみると、卓越時期における出現率は、1960年代後半から1970年代前半、1980年代後半、2000年代以降に高く、年代による出現率の変動は大きい。

⑩ T10型：第57-59半旬（10/8-10/22）

第4図jをみると、前線帯は北緯27.5度、東経130度から北緯35度、東経150度を通して東北東に伸びており、卓越時期は秋雨期の後期に対応している。この前線分布型の出現率が低くなる時期が秋雨期の終わりに対応するが、第5図jの第59-64半旬（10/18-11/16）頃をみると、年代による出現率の変動が非常に大きいことが読み取れる。

4. 考 察

前章で得られた結果をもとに、高橋（2009）の結果と比較しつつ、日本付近における近年の季節進行の傾向を考察する。

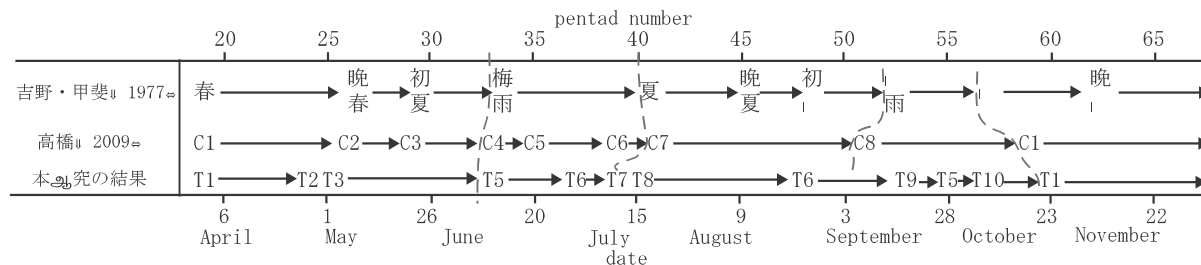
まず、本研究で得られた前線分布型と高橋（2009）の前線分布型との比較をおこなう。高橋（2009）では、前線分布型をC1～C8型の8つに分類し、吉野・甲斐（1977）の気圧配置による季節区分との対応関係を示している。その結果と本研究で得たT1～T10型の特徴を比較し、対応付けをしたものが第6図である。

図をもとに本研究と高橋（2009）の結果を比較すると、梅雨期の始まり、夏期の始まり（梅雨期の終わり）、秋雨期の終わりなど、秋雨期の始まり（夏期の終わり）を除く大きな季節変化を示す時期については、2半旬以下のずれに収まっており、対応関係は良い。しかし、特に梅雨期や秋雨期の期間中において、前線分布型の卓越時期の推移は必ずしも良い対応を示しているとはいえない。これは、データの作成手法、空間分解能、解析期間など、解析に利用したデータの質の違いが主な原因であると考えられる。例えば、高橋（2009）では、梅雨期の前線分布型は梅雨期前よりも高い極大を持つが、本研究では梅雨期よりも梅雨期前の前線分布型の極大値の方が高い頻度を示した。このような違いが、3.1で示したような主成分分析で得た第3主成分の特徴の違いや、クラスター分析で定めた前線分布型の分類結果に若干の違いをもたらしているといえる。

次に、以上のような前線分布型による季節進行の対応関係の違いを念頭におきつつ、近年における季節進行の特徴を見出す。高橋（2009）では、1979年～2007年の29年間でみると、1990年代以降の日本付近の前線帯に以下の傾向があることを明らかにしている。

- ①晩春（第26-28半旬（5/6-5/20））において、前線帯の一時的な北上がみられない。
- ②初夏から梅雨期前半（第29-36半旬（5/21-6/29））において、季節進行が2半旬ほど早い。
- ③梅雨期後半（第37-40半旬（6/30-7/19））に、対馬から三陸沖にかけての前線存在頻度が高い。
- ④盛夏期（第41-46半旬（7/20-8/18））に、東経140度付近では37度以北で前線存在頻度が高い。
- ⑤初秋（第47-50半旬（8/19-9/7））において、対馬から三陸沖にかけての前線存在頻度が高く、梅雨期後半と類似した雨期が現れる。
- ⑥秋雨の始まり（第51半旬（9/8-9/12）頃）が2～3半旬ほど遅い。

ここでは、これらの傾向が1948年～2009年の62年間



第6図 本研究と吉野・甲斐（1977）および高橋（2009）で示された季節推移の比較



でみた場合にも認められるか、および近年特有の特徴であるか否かを確認する。

まず、①の晩春の傾向を確認する。T 3型の出現率（第5図c）をみると、第4章で述べたとおり、1960年代以降において、第30半句（5/26-5/30）の前後に出現率の極大が二つに分かれて存在していることがわかる。このうち、第26-28半句（5/6-5/20）頃の極大が①の一時的な前線帯の北上の時期に対応する。そして、この時期におけるT 3型の出現率は、2000年代に減少し、その代わりにT 2型の出現率（第5図b）が増しており、これが①の傾向に対応していると考えられる。しかし、これらのT 2型とT 3型の傾向は1960年代後半から1970年代前半にもみられ、近年のみにみられる特徴とはいえない。ただし、1990年代以降の第25-30半句（5/1-5/26）頃において、T 1型の出現率（第5図a）が増加しており、これは他の年代にはみられない特徴である。

次に、②の梅雨期前半の傾向を確認する。梅雨期前半に卓越時期を持つT 4型とT 5型の出現率（第5図d, e）をみると、②の傾向は、1990年代頃において、T 4型の出現率の極大を示す時期が第33-35半句（6/9-6/24）から第31-32半句（5/31-6/9）頃に早まっていること、および、T 5型の出現率の極大を示す時期が1990年代後半以降、それまでの第35-36半句（6/20-6/29）頃から第34半句（6/15-6/19）頃に早まっていることに対応していると考えられる。しかし、これらT 4型およびT 5型の出現率の極大時期の早まりは、T 4型では1950年代前半に、T 5型では1950年代から1960年代前半にもみられる特徴であり、近年のみにみられる特徴ではない。

③の梅雨期後半の傾向については、第37-40半句（6/30-7/19）のT 6型の出現率（第5図f）に注目する。第5図fをみると、T 6型の出現率は、第40半句（7/15-7/19）では1980年代後半から、第37-39半句（6/30-7/4）では1990年代から高くなっていることがわかるが、この特徴が③に対応すると考えられる。しかし、このような梅雨期後半におけるT 6型の出現率の高まりは、1960年代にも認められ、近年のみにみられる特徴ではない。

④の盛夏期の傾向については、前線存在頻度が全体的に小さいT 8型の出現率（第5図h）が、第41-45半句（7/20-8/13）頃において、1990年代以降に小さくなり、一方で、T 8型よりも前線存在頻度が高いT 7型の出現率（第5図g）が同時期に高くなっている

ことに対応していると考えられる。これらは、近年にみられる特徴的な傾向であるといえる。

次に、⑤の初秋の傾向を確認する。T 7型の出現率（第5図g）をみると、第46-48半句（8/14-8/28）頃において、1990年代後半以降に低くなっている。一方、T 6型の出現率（第5図f）をみると、この時期の出現率は高く、出現率が高くなる時期が早まっていることがわかる。T 7型は卓越時期を第39半句（7/9-7/14）に持つものの、特に1970年代以降は夏期に現れやすく、T 6型は梅雨期後半に現れやすい前線分布型であることを考慮すると、このT 6型とT 7型の特徴は⑤の傾向に対応していると考えられる。このようなT 6型の出現時期の早まりは、近年のみに認められる特徴である。

最後に、⑥の秋雨期の始まりの時期を確認する。本研究では、秋雨期の始まりはT 6型およびT 9型の出現率の高まりに対応する。T 9型の出現率（第5図i）をみると、1990年代後半以降の第50-52半句（9/3-9/17）頃は出現率が小さく、また、同時期のT 6型の出現率（第5図f）は1990年代において低い（ただし、2000年代になって再び高くなっている）。一方で、1990年代以降の同時期はT 7型の出現率（第5図g）が徐々に高くなっている。そして、これらの特徴が⑥の傾向に対応すると考えられる。このうち、T 9型の出現率が低い年代は、近年だけでなく1960年代にも認められる。また、T 6型の出現率が低い時期についても、近年だけではなく1970年代に存在する。一方、T 7型の出現率の極大が第50半句（9/3-9/7）頃にあるのは、近年のみにみられる特徴である。

このように、本研究と高橋（2009）の結果を比較すると、分類される前線分布型には違いがあるものの、そこから得られた近年の季節進行の特徴は、両者でほぼ一致したものが得られたといえる。そして、1948年以降の長い期間の季節進行を調査した結果、高橋（2009）で挙げられている季節進行の傾向のうち、②の初夏から梅雨期前半において季節進行が2半句程度早まっていること、および③の梅雨期後半に、対馬から三陸沖にかけての前線存在頻度が高くなる傾向にあることは、1990年代以降のみにみられる現象ではないことがわかった。また、①の晩春における前線帯の一時的な北上がみられないという傾向や、⑥の秋雨期の始まりが2-3半句ほど遅くなるという傾向についても、近年以外にこのような特徴が現れる年代があることを確認した。しかし、前者は日本の南沖における前

線活動を表すT1型の増加, 後者は日本海から日本の東沖にかけての前線活動を表すT7型の増加という近年において特徴的な傾向がみられたため, これらの前線分布型に注目して, それぞれの時期の気候変動をみていく必要があるといえる。そして, ④の盛夏期に東経140度付近で北緯37度以北の前線存在頻度が高くなる傾向や, ⑤の初秋に対馬から三陸沖にかけての前線存在頻度が高くなり, 梅雨期後半と類似した雨期が存在するという傾向は, 20世紀半ば以降でみると, 近年のみに認められる季節進行の特徴であり, 今後も特にこの時期の天候に注目していく必要があるだろう。

## 5. おわりに

NCEP/NCARの再解析値から, 客観的手法を用いて1948年~2009年の62年間にわたって第19-67半句(4/1-12/1)における前線データを作成し, 日本付近の前線帯の出現傾向を示し, 近年における季節進行の傾向を明らかにした。本研究で明らかになったことを以下にまとめる。

1. 作成した前線データをもとに, 日本付近の前線分布をT1~T10の前線分布型に分類した。得られた前線分布型は, 地上天気図の前線位置をもとにして作成した前線データ(高橋, 2009)を用いた場合と比べて, 分布の違いや前線分布型が変わる時期にずれがあるなど, 特徴の一部に違いがみられた。しかし, 同じ年代で季節進行の長期傾向を比較すると, 両者の傾向の違いは認められなかった。
2. 20世紀半ば以降の前線帯の季節進行をみたところ, 近年は, 第41-45半句(7/20-8/13)頃の日本付近における前線存在頻度の増加傾向と, 第46-48半句(8/14-8/28)頃において, 九州北部から日本の東沖へ伸びる前線が現れやすくなっている傾向が認められた。
3. 季節進行の変化として明瞭に表れているわけではないが, 近年は, 第25-31半句(5/1-5/26)において, 日本の南沖の北緯22.5度, 東経130度から北緯27.5度, 東経150度を通して東北東に伸びる前線(通常は4月や11月に現れやすい)が現れやすくなっている。また, 第50半句(9/3-9/7)頃には日本海から日本の東沖へ伸びる前線(1970年代以降は夏期に現れることが多い)が現れやすくなっている。

今後は, 本研究でみられた傾向が, 実際の降水量, 気温などの気象要素の変化として各地でどのように現れているのかを示すとともに, このような傾向の原因

をより大きな大気場の変遷から明らかにしていく必要がある。一方で, 近年の地球温暖化やヒートアイランド現象などの日本各地への影響を調査する際には, 本研究で明らかとなった前線帯の長期傾向を踏まえた上で傾向を読み取っていく必要があるだろう。

## 謝 辞

本研究は, 科学研究費補助金・若手B(研究課題番号:22700856)「前線帯の振る舞いからみた日本の気候変動に関する研究」の助成により実施されました。

また, 本研究の一部は, 財団法人福武学術文化振興財団・歴史学地理学助成の支援を受けました。

## 引用文献

- 加藤内藏進, 1985. 極東における梅雨現象について—春から夏の梅雨各時期における中国大陸や日本列島付近の梅雨前線帯の特徴の比較. 天気, 32, 343-356.
- 加藤内藏進, 福田維子, 平沢尚彦, 東(趙) 荅, 武田 喬男, 松本淳, 2004. 東アジアの季節進行の中でみた梅雨と秋雨について. 月刊海洋, 号外(38), 235-242.
- 気象庁, 1988. 国際航空用悪天予想図について. 測候時報, 55, 1-16.
- 気象庁編, 2005. 『異常気象レポート2005』, 気象庁.
- 高橋信人, 2003. 日本における秋雨期の季節進行の特徴と年々変動. 地理学評論, 76, 935-956.
- 高橋信人, 2009. 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. 天気, 56, 713-726.
- 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.
- Hewson, T.D., 1998. Objective fronts. *Meteorol. Appl.*, 5, 37-65.
- Renard, R.J. and Clarke, L.C., 1965. Experiments in numerical objective frontal analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 93, 547-556.
- Serreze, M.C., Lynch, A. H., and Clark, M.P., 2001. The arctic frontal zone as seen in the NCEP-NCAR Reanalysis. *Journal of Climate*, 14, 1550-1567.