

梅雨最盛期における東日本の大雨日の降水特性や 総観場に関する気候学的解析（序報）

Preliminary analyses on the climatological features of precipitation characteristics and large-scale atmospheric fields on the heavy rainfall days in the eastern part of Japan during the mature stage of the Baiu season

松本健吾 (Kengo MATSUMOTO) *, 加藤内藏進 (Kuranoshin KATO) **, 大谷和男 (Kazuo OTANI) ***

Rainfall characteristics and large-scale atmospheric fields on the “heavy rainfall days” (with more than 50 mm/day) in the mature stage of the Baiu season (16 June ~ 15 July) at Tokyo in the eastern part of the Japan Islands were examined, based on the daily and the hourly precipitation data from 1971 to 2010.

Appearance frequency of the “heavy rainfall days” at Tokyo attained only about 1/3 of that at Nagasaki in the western Japan. Furthermore, it is noted that about half of the “heavy rainfall days” at Tokyo were related to the typhoon. In detail, about half of the typhoon cases were associated with the direct approach of a typhoon (referred to as Pattern A, hereafter), the other half corresponded to the situation when the Baiu front also stagnated around Kanto District with a typhoon to the southwest of Kanto (Pattern B).

Although the contribution of the intense rainfall with more than 10 mm/h to the total precipitation was large in Pattern A, that with less than 10 mm/h was dominant in Patterns B and C (Pattern C: meso- α -scale cyclone on the Baiu front approaching to the Kanto District). It is noted that about half of the “heavy rainfall days” corresponded to these pattern. In other words, unlike the localized torrential rain in western Japan, the “heavy rainfall days” due to the duration of “not-so-intense-rain” appeared rather frequently in the eastern part of Japan even in the Baiu season.

In both Patterns B and C, relatively strong low-level southerly wind associated with the disturbance (a typhoon or a meso- α -scale cyclone) invades into the baroclinic zone in the basic field sustained as the southwestern edge of the cool Okhotsk air mass. It is interesting that the “heavy rainfall days” there due to the contribution of the persistent “not-so-intense-rain” occur just in such situation.

Keywords: rainfall characteristics in eastern Japan, heavy rainfall in eastern Japan in Baiu season, rainfall climatology

I. はじめに

東アジアの暖候期には、顕著な亜熱帯前線帯の一種として準定常的な雲帯である梅雨前線が出現する。そこでの多量の降水は、北太平洋高気圧の北西縁での下層の強い南風成分による多量の水蒸気輸送に伴って賄われている。また、その際に、高相当温位の気塊が下層から流入することに伴う成層の不安定化により積乱雲の活動が活発化し、豪雨が頻出しやすい状況が維持される (Ninomiya 1984; Kodama 1992, 1993; Ninomiya and Tatsumi 1980)。しかも、Ninomiya et al. (1981, 1988a, 1988b), Ninomiya and Akiyama (1992)らが指摘したように、西日本の梅雨前線付近に出現する豪雨システムは、メソ α , β , γ のマルチスケール構造に

組織化された積乱雲の集団からなり、時空間的に集中した降雨が脈動を繰り返しながらある程度持続しやすいことが指摘されている。

また、日降水量に基づく気候学的解析によれば、日本列島の梅雨期における大雨日（本稿では、50 mm/日以上の日を「大雨日」と呼ぶことにする）の出現頻度は、西日本（特に九州）の方が東日本よりも高い。また、それを反映して梅雨期の総降水量も西日本側が大変大きくなるという (Ninomiya and Mizuno 1987; 加藤 1989a, 1997; 加藤・加藤 2006; 加藤・東 2013)。

ところで、東日本側の梅雨前線は、西日本側と違って冷涼なオホーツク海気団の南西縁に位置し、平均場としては比較的安定な成層で傾圧性も強い (Akiyama

* 岡山大学教育学部(理科) (Faculty of Education, Okayama University),

** 岡山大学大学院教育学研究科自然教育学系(理科) (Graduate School of Education, Okayama University)

*** 岡山大学大学院自然科学研究科 (Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University)
いずれも、〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1

** Corresponding author. Kita-ku Tsushima-naka, Okayama, 700-8530, Japan

1973; Kato 1985, 1987, 1989b; Ninomiya and Muraki 1986; Ninomiya 1989, 2000)。このような場の中で、大陸からメソ α スケールの積乱雲群 (クラウド・クラスター) が東日本まで長続きして東進した際に、東日本側では傾圧不安定波としての低気圧に似た雲の特徴に変化した事例の報告もある (Ninomiya et al. 1981, 1988a, 1988b)。一方、Ninomiya (1989)は、メソ α ~ 総観規模の擾乱に組織化された雲システムの中での積乱雲群の出現頻度が、まさに上述の西日本側と東日本側の特徴の重なった梅雨最盛期の日本列島付近で大きくなることを指摘した (“Monthly Report of Meteorological Satellite Center”のデータ集に掲載された雲解析図 (ネフアナリシス) において “Major Cloud System” と呼ばれるシステム)。また、梅雨前線上の総観規模低気圧の前線~暖域付近における九州での豪雨の事例解析によれば、その付近での対流性降水に伴う集中豪雨だけでなく、温暖前線前面 (東日本も含めた本州側) での層状性降水に伴う寄与も、時空間的に積分すると決して小さくないことも報告されている (Ninomiya 1978; Ninomiya and Yamazaki 1979)。

但し、西日本の梅雨前線付近での集中豪雨に関する研究は数多いものの、梅雨期の東日本での大雨時の降水特性や関連した大気過程に関する系統的な記述は不十分である。ところで、例えば地球温暖化に伴って、梅雨前線の影響の受け方の変化に伴う日本列島付近における夏の降水の変化の可能性も指摘されているが (例えば、気象庁『異常気象レポート 2005』, Kanada et al. 2012, 木本 2005, 等), その具体的な変化の特徴や過程を提示するためには、「現在のどのような基本的状況にどのような変化の要因が加わることで、こういった応答を示すのか。」を明確に理解する必要がある。

しかし、梅雨期の西日本側と東日本側との基本的な大気場や降水特性の差異は大変大きい。従って、前述のように東日本での「大雨日」の出現頻度は西日本に比べて小さいものの、東日本での大雨の特徴や関連する大気過程に関する知見の体系化も必要である。つまり、東日本での大雨は、例えば西日本で見られるような特徴が一時的に東日本でも生じるためなのか、あるいは、西日本の大雨とはかなり異なる状況のもとで生じるのか、等の現況に関する知見が将来予測・理解の上でも重要な基礎的知見の一つになりうる。

また、加藤他(2012)が「降水と季節感」に関連した学際的取り組みの中で問題提起したように、暖候期の中でも日本列島での降水特性の差異は小さくない。従って、暖候期を通して、かつ、東西の地域性にも注目した解析が必要ではある。そのような背景のもとで、本稿では、序報として梅雨最盛期における東日本の「大雨日」の降水に注目した。今後、地域的な代表性に関する吟味も必要になるが、気候学的な解析のため

には、日々の「大雨日」の特徴を逐一概観する必要もある。そこで、本稿では、まず東京の日降水量 50 mm 以上の日を「大雨日」として抽出し解析を行った。

II. データ

本研究で用いた主なデータは次の通りである。

①日々の 09JST (00UTC) における地上天気図のミニチュア版

それぞれの期間についてのデータソースは次の通り。なお、いずれも、気象庁監修。

1971~1995 年: 『天気図集成』 (日本気象協会刊行)

1996~2001 年: 『気象』 (日本気象協会刊行)

2002~2010 年: 『気象年鑑』 (気象業務支援センター刊行)

②気象庁天気図 CD-ROM

気象庁作成、気象業務支援センター提供で、各マップタイムの地上や各等圧面での高層天気図等が収録されている。本稿での図表自体では引用していないが、個々の事例の特徴の検討の際に参照した。

③NCEP/NCAR 再解析データ

(<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>)

National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) によって全球 4 次元同化の再解析データとして作成されたデータ (2.5°×2.5°緯度経度格子で 1 日 4 回)。抽出した「大雨日」における広域大気場の合成に利用した。

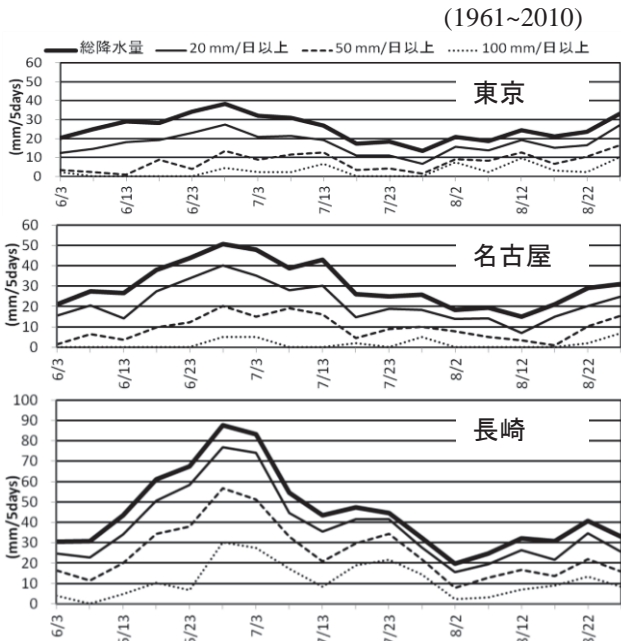
なお、V. の総観場の解析において、水平温度移流 ($-\nabla \cdot \nabla T$, 正値が暖気移流) の計算は、球面座標で表現した式

$$-\nabla \cdot \nabla T = -\frac{1}{a} \left[\frac{u}{\cos \varphi} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right] \text{より,}$$

緯度・経度グリッド上の値を用いて中央差分により算定した。なお、 T , u , v はそれぞれ気温、西風成分、南風成分を表し、 φ , λ はそれぞれ緯度、経度、 a は地球半径である (∇ は風のベクトル、 ∇ は 2 次元のナブラ演算子)。

第 1 表 各パターン毎の東京での大雨日における地上天気図の特徴と、それぞれの事例数 (1971~2010 年の 6 月 16 日~7 月 15 日)。

パターン	天気図の特徴	回数
A	台風もしくは熱帯低気圧が東京から 700 km 以内に位置する (梅雨前線が存在する場合も、ほぼ東北かそれ以北)	6
B	A と同様だが、梅雨前線も東京付近もしくはそれ以南に位置する	7
C	4 hPa 毎の閉じた等圧線を 2 本以上持つ梅雨前線上の小低気圧が、東京付近に接近中もしくは位置する	7
D	梅雨前線が 140 °E において 30 °N 以北に位置する場合で、パターン C 以外	8
E	その他	3



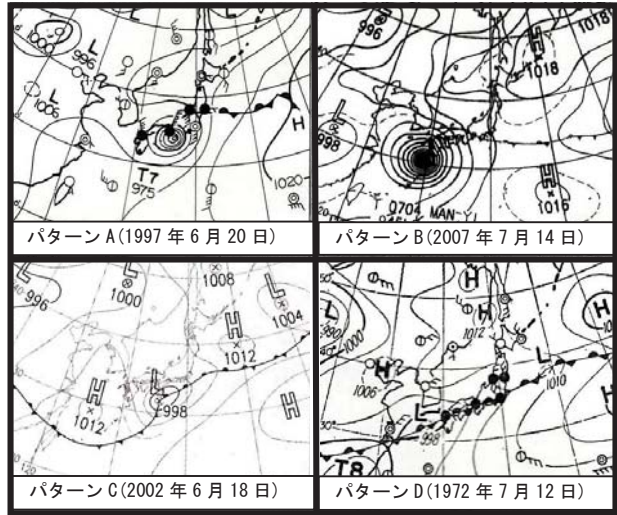
第1図 東京(上段), 名古屋(中段), 長崎(下段)における半月総降水量と各日降水量階級の範囲に入る日の降水の, 総降水量への寄与の季節経過(1961~2010年の平均)。凡例は図の上端を参照。

III. 東日本の大雨日の出現状況の特徴

第1図は, 1961~2010年で平均した東京, 名古屋, 長崎における半月降水量及び, それに対する階級別日降水量の寄与の季節経過を6~8月について示したものである。それぞれ, 関東, 中部日本, 九州の代表として例示した。Ninomiya and Mizuno(1987)も指摘しているように, 東日本, 中日本では, 50 mm/日以上寄与の割合の違いを反映して, 梅雨最盛期の総降水量が西日本に比べてかなり少ない。なお, 本稿ではこれ以上立ち入らないが, 総降水量のピークはいずれの地点でも6月下旬~7月上旬頃にみられる。しかし, 50 mm/日以上寄与のピークも長崎では総降水量のピークと一致しているものの, 東京, 名古屋では総降水量のピークよりも若干遅れている点も興味深い。また, 盛夏期には, 総降水量こそ梅雨期よりかなり小さいが, 「大雨日」の寄与の絶対値はさほど減少してない点も興味深い。

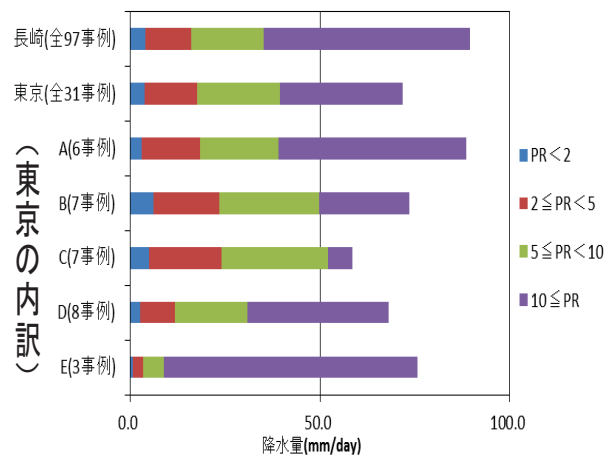
そこで, 梅雨最盛期における東日本での「大雨日」における降水の特徴を吟味するために, II.で述べたミニチュア版天気図が手元にある1971~2010年の6月16日~7月15日における東京での「大雨日」を全て抽出した(名古屋は, 東西双方の特徴の遷移的な地域にあたり, より複雑な様相が予想されるので, 本研究では, まず, 東京での「大雨日」に注目した。)。その結果, 該当する日数は, 計31日であった(長崎では計97日あり, これよりかなり少なかった。)。更に, これらの当該事例の日々の天気図を全て参照した結果,

第2図の天気図例に示すように, 大きく4つの異なるパターンに伴ったものであることがわかった(主観的要素も入るが)。そのパターンの天気図でみた特徴と事例数は, 第1表に示す通りである。



第2図 各パターンにおける大雨日の地上天気図の例。全て00UTC。パターンA~Dに対応する例の日付は図中を参照のこと。

パターンCのようなメソ α 低気圧の接近や, 東西に伸びる梅雨前線(パターンD)に対応した大雨日は, それぞれ全体の1/4ほどであった。一方, 台風に関連すると考えられる状況での大雨日(パターンA,B)が, 梅雨最盛期にも関わらず, 合わせて東京の大雨日全体の半分程度を占めていた点が注目される。



第3図 6月16日~7月15日に出現したパターンA~Eでそれぞれ平均した大雨日の日降水量に対する1時間雨量の階級別寄与(mm/日)。2 mm/h未満の寄与を青, 2 mm/h以上5 mm/h未満の寄与を赤, 5 mm/h以上10 mm/h未満の寄与を緑, 10 mm/h以上の寄与を紫で示す。なお, 比較のため, 長崎と東京の全事例における統計結果も示した。

第2表 大雨日の日降水量に対する 10 mm/h 以上の降水量の寄与とその割合。

		日降水量(mm/day)		Ratio to the total PR(%)
		(a)Total	(b)10 mm/h \leq PRの寄与	(b) \times 100/(a)
長崎 (全事例)		89.5	54.4	60.7
東京 (全事例)		71.9	32.5	45.2
内訳	パターン A	88.7	49.6	55.9
	パターン B	73.5	23.8	32.4
	パターン C	58.5	6.4	11.0
	パターン D	68.1	37.1	54.5

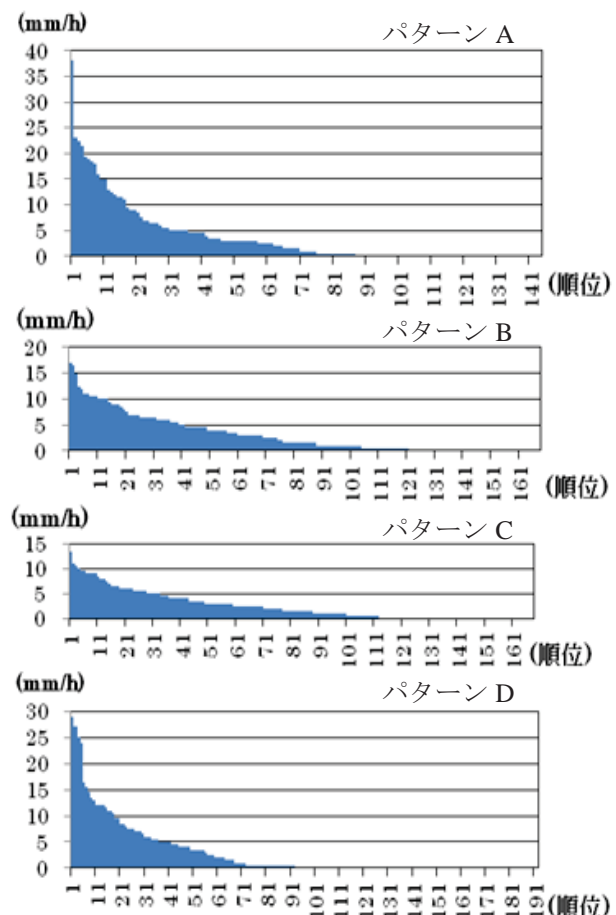
IV. 各天気図パターン毎の東京での大雨日における降水の特徴 (1時間雨量に注目して)

第3図は、A~Dの大雨日の日降水量の平均に対して、どの程度の降水強度が寄与していたかを前1時間降水量データに基づき統計したものである。長崎での大雨日には10 mm/h以上の強度の降水が日降水量の60%ほどを占めているが、東京では45%ほどしかなく、10 mm/h未満の寄与も全体としては小さくないことがわかる。興味深いことに、前述の台風事例で梅雨前線も東京付近にみられるパターンBや、梅雨前線上のメソ α 低気圧が西方から接近している事例(パターンC)においては(そのような擾乱の東側に東京が位置)、5~10 mm/hの降水の寄与が相対的に大きい。同時に、若干ではあるが、2~5 mm/hの寄与も、やや大きい。これらを反映して、第2表で示されるように、パターンB,Cでは、10 mm/h以上の寄与は小さく(従って、逆に)、10 mm/h未満のいわば、「普通の雨」の寄与がかなり大きいことがわかる。

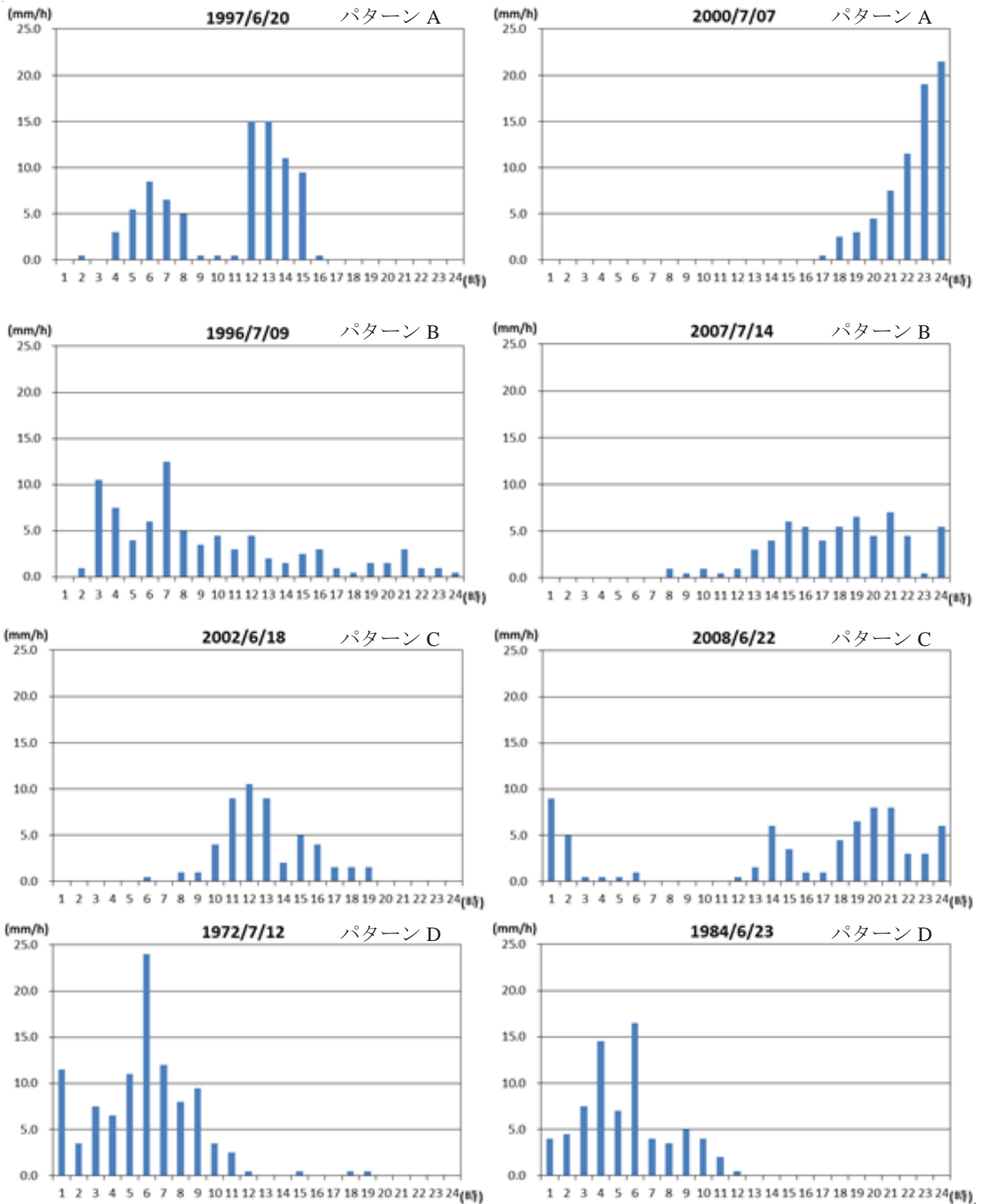
第4図は各パターンについて、全ての事例の時間降水量の値の大きい方から順に第1位、第2位、...と並べ、各順位(横軸)に対応する降水量の値を縦軸に示したものである。横軸は時間数になるが、グラフの表示の際に、24時間 \times 事例数(日数)の値を最大値にとることにより、異なる事例間でも比較がしやすいように表示した。また、各パターンにおける前1時間降水量の時系列を2例ずつ、第5図に示した。

パターンA,Dにおいては10 mm/h以上の降水の時間数が、他のパターンに比べて多い。確かに第5図の例によると、10 mm/hを超える時間帯が短時間続くが、無降水、あるいは大変弱い降水の時間帯とのコントラストも大きい。一方パターンB,Cでは、10 mm/h以上の出現時間数は相対的に大変少ないが、2~10 mm/h程度の降水の時間の割合はパターンA,Dよりも多いことがわかる。つまり、短時間に集中して降る降水の寄与が大きいパターンA,Dと違い、パターンB,Cでは、いわば普通の雨でも、総雨量としては50 mm/日を超えることになる。但し、パターンAについては、

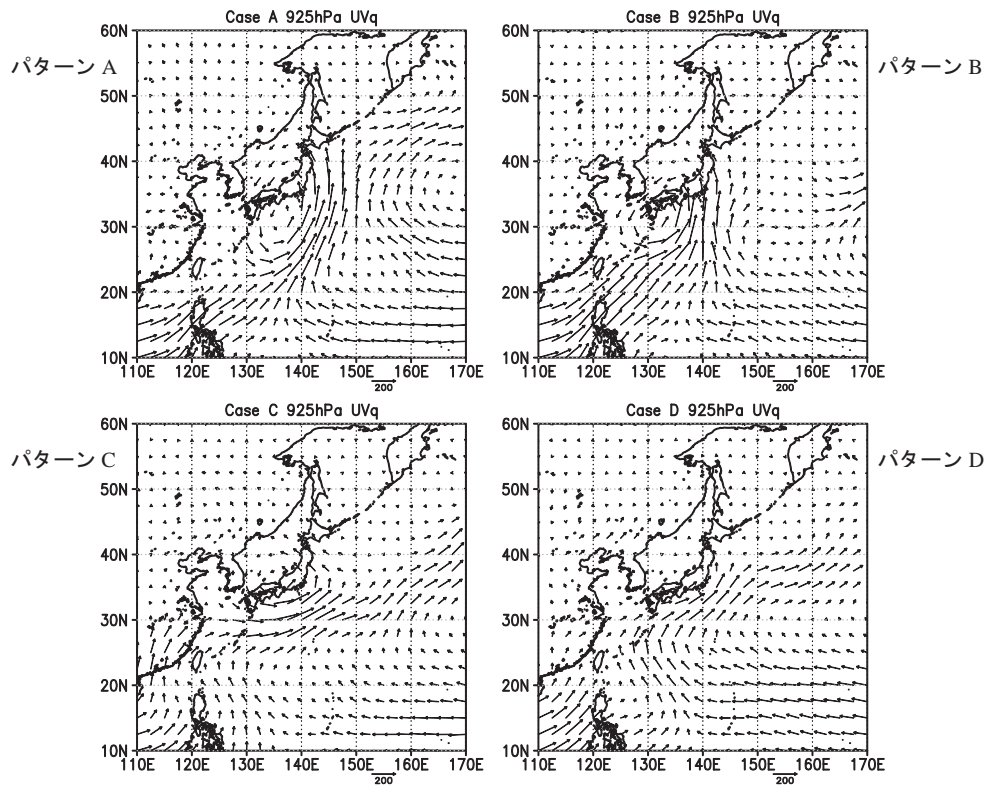
2~10 mm/h程度の降水の時間数はB,Cに比べると相対的に少ないが、Dと比べるとそれほど少なくはない。従って、「パターンB,C以外における『普通の雨』の寄与は大きくない」とまでは言えないものの、気候学的には梅雨最盛期にあたる時期に、パターンB,Cのような『普通の雨』の寄与がかなり大きな大雨日が全体の約半分を占めている点は、西日本の梅雨と大きく異なる非常に興味深い特徴であると考えられる。しかも、梅雨前線が停滞している時に、台風の影響も併せて直接受ける際でも、メソ α 低気圧が梅雨前線上を西方から接近する際にも、東京では、このような降水強度が卓越する大雨になりやすいことが注目される。但し、本研究で取り上げた期間の大半は、気象庁HPには10分降水量や、時々刻々の大気現象の記録は掲載されていなかったため、上述の時間雨量でみた『普通の雨』が、継続時間の大変短い対流性降水なのか、継続性のある層状性降水なのか等の判断は出来なかった。これは今後に残された課題の1つである。



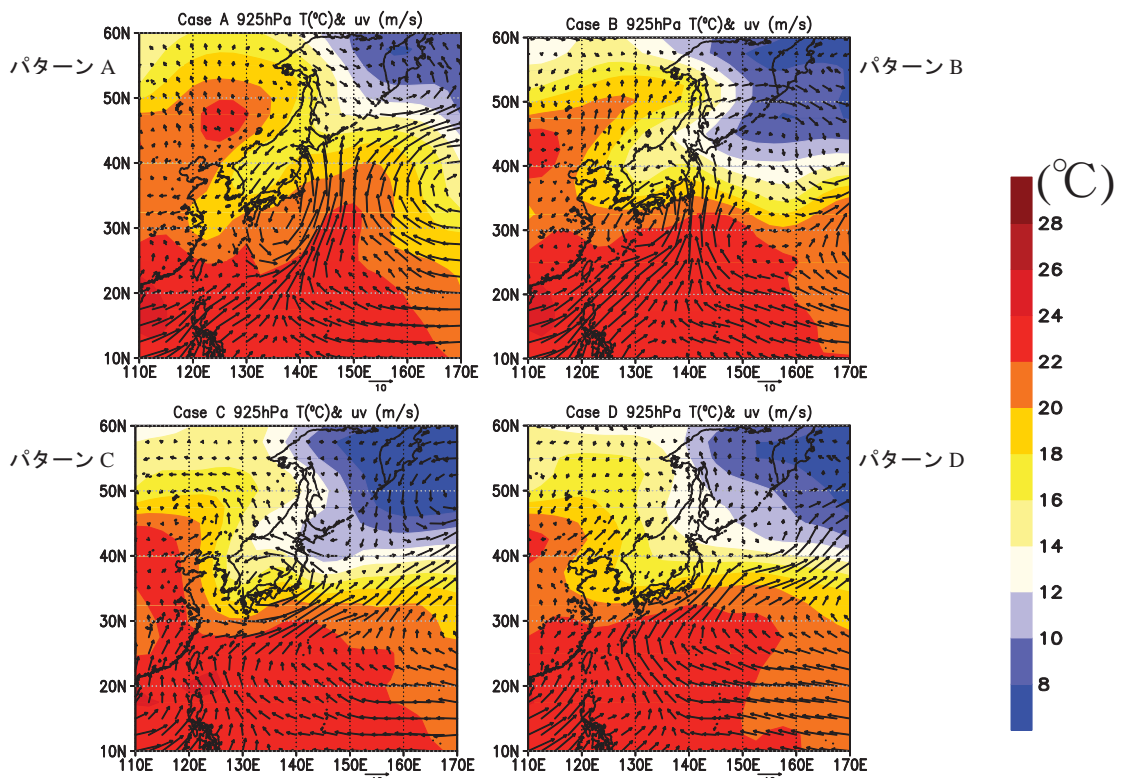
第4図 各事例の時間降水量の強度順位。上からパターンA,B,C,D。詳細は本文を参照のこと。



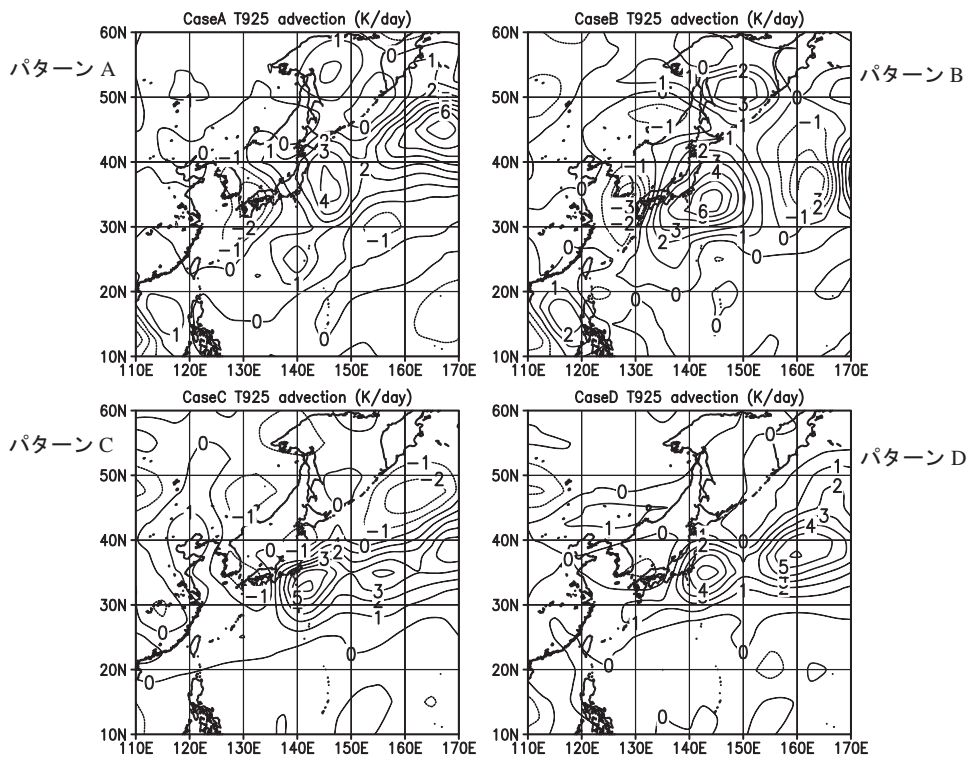
第5図 各パターンにおける前1時間降水量の時系列の例。上から順にパターンA(左:1997年6月20日, 右:2000年7月7日), パターンB(左:1996年7月9日, 右:2007年7月14日), パターンC(左:2002年6月18日, 右:2008年6月22日), パターンD(左:1972年7月12日, 右:1984年6月23日)。



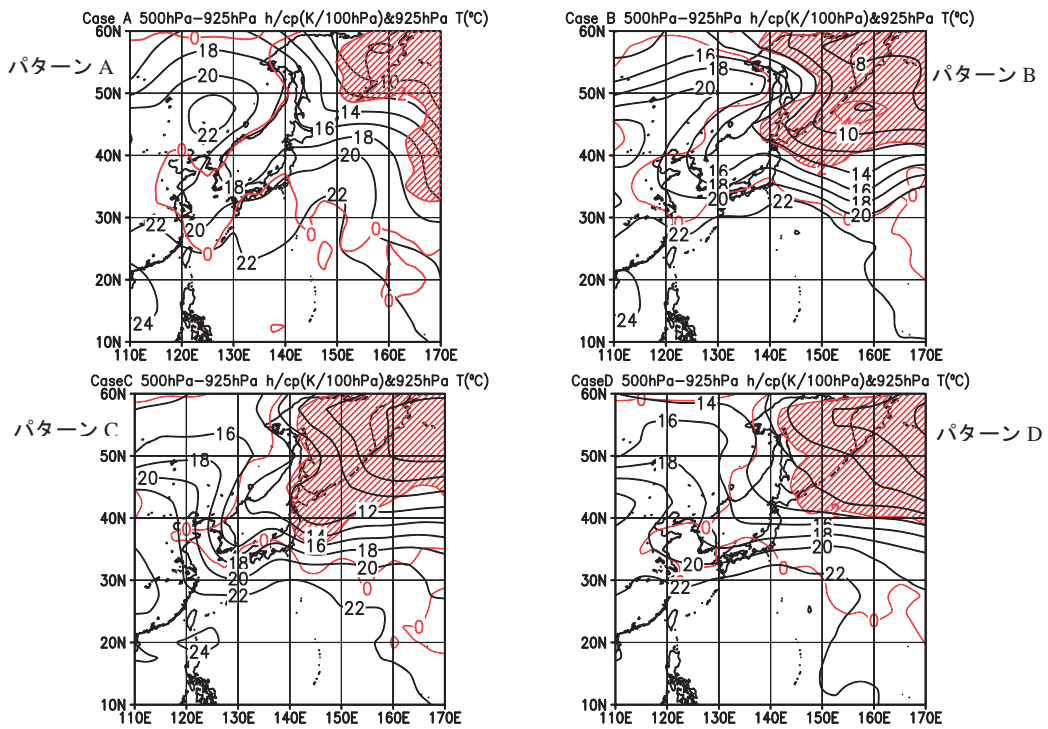
第 6 図 各パターン毎に合成した 925 hPa 水蒸気フラックスの分布 ($\text{kg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{ms}^{-1}$)。ベクトルの大きさの凡例は、各図右下を参照。



第 7 図 各パターン毎に合成した 925 hPa における気温($^{\circ}\text{C}$)と風ベクトル(ms^{-1})の分布。凡例は図中を参照。



第 8 図 各パターン毎に合成した 925 hPa における温度の水平移流 (単位は $Kday^{-1}$ で、プラスの値が暖気移流を示す)。



第 9 図 各パターン毎に合成した 925 hPa における気温 ($^{\circ}C$, 黒線) と、500 hPa から 925 hPa を引いた相当温位の差 ($K/100 hPa$, 赤線)。ハッチ域は相当温位差 (プラスが安定) が $2K/100 hPa$ 以上の領域。

V. 各パターンにおける大気場の特徴

良く知られているように、梅雨前線帯は高温多湿な海洋性熱帯気団の北縁に位置し、比湿の大きな南北傾度で特徴づけられている。また、この時期には、東シベリアに北上している寒帯前線帯とは異なり、特に西日本～中国大陸付近における、梅雨前線帯付近での平均場の南北の温度差は小さい。但し、東日本側の傾圧性は比較的大きい。梅雨前線帯（特に西日本以西）での多量の降水活動は、北太平洋の亜熱帯高気圧の北西縁付近での強い下層南風による多量の水蒸気輸送により維持されている。しかも、多量の水蒸気収束だけでなく、成層の不安定化ももたらすことで、組織化された積乱雲群に伴う集中豪雨として多量の降水が起きやすい気象学的背景を形成しているという（例えば、Akiyama 1973 ; Ninomiya 1984, 1989, 2000 ; Ninomiya and Muraki 1986 ; Ninomiya and Mizuno 1987 ; Kato 1985, 1987, 1989b）。

本稿では、これらの基本場とも比較しながら、東日本での大雨日における広域の大気場の特徴について、若干の吟味を行った。

各パターン毎に合成した 925 hPa 水蒸気フラックスの分布を第 6 図に示す。II. で述べた NCEP/NCAR 再解析データに基づく（以下、第 9 図まで）。パターン C, D については上述の梅雨最盛期の平均的な水蒸気輸送場をベースとし、東日本側まで北向きフラックスの大きい領域が広がっているように見える。一方、パターン A, B はパターン C, D と違い太平洋高気圧が 140E 以西には張り出していない状況であった。パターン B, C とも、関東付近へ向かう下層の水蒸気フラックスの大きい領域が、台風（パターン B）あるいはメソ α 低気圧（パターン C）の東方で関東付近からさらに北に伸びていた（以上、第 7 図も併せて参照）。

第 7 図の 925 hPa の気温と風の場の合成図で示されるように、パターン B, C における関東から更に北に向かう水蒸気フラックスの大きい領域は、そこでの傾圧性の比較的強い部分を更に北方へ抜けているように見える。第 8 図の 925 hPa での水平温度移流（正値が暖気移流）の合成図も併せてみると、北へ抜ける大きな水蒸気フラックスは、このような傾圧帯を大きな暖気移流を伴って通過していることがわかる。準地衡風理論によれば、暖気移流は上昇流をもたらすことがわかるので、パターン B, C では水蒸気フラックスが、下層の傾圧帯を北上しながら、同時に準地衡風のな上昇流により水蒸気の一部を消費することで大雨日をもたらされている可能性もありうる（現段階では、あくまでも「1つのありうる過程」の推測に過ぎないが）。

なお、パターン D でも、傾圧性の強い部分は存在するが、関東では風の水平シアも明瞭であった。いずれにせよ、気候学的平均場の梅雨前線帯の特徴である東日本側での傾圧性は、パターン A 以外では比較的大

きかった。

また、相当温位差^{*}でみた安定度も重ねた第 9 図で示されるように、どのパターンにおいても、安定度のよい低温な気団、いわばオホーツク海気団が、気候学的平均場と同様に関東の北東方に位置していた。しかも、パターン A 以外では、そのような冷涼で安定な領域が東北か北海道まで侵入している状況での現象であることもわかる（このオホーツク海気団の侵入は、比較的大きい温度傾度にも関係）。但し、このような気団との位置関係が、関東付近でのローカルな傾圧性（例えばメソ α スケールでの）や安定度にどのような役割を果たしている、それらが各パターンの大雨日の降水特性をどのようなプロセスで特徴づけているのかについては、今後、より地域規模での解析も含めて詳しく検討する必要がある。

VI. まとめ

1971～2010 年における日降水量データに基づき、梅雨最盛期（ここでは、便宜的に 6 月 16 日～7 月 15 日で解析）における東京での「大雨日」（日降水量 50 mm 以上の日）の降水特性や広域大気場の特徴について解析した。主な結果は次の通りである。

- (1) 東京での「大雨日」の出現頻度は長崎の 1/3 程度しかなかったが、梅雨最盛期であるにも関わらず、「大雨日」の約半分は台風が直接関連した事例であった（パターン A と B。但し、パターン B では、梅雨前線も関東付近に存在していた事例）。
- (2) 台風本体が接近しているパターン A では、総降水量に対する 10 mm/h 以上の強雨の時間帯の寄与が大きかったが、東京での「大雨日」の約半分の事例に対応するパターン B と C では（パターン B：台風接近時で梅雨前線も関東に停滞、パターン C：梅雨前線上をやや強めのメソ α 低気圧が接近中）、10 mm/h 未満の降水による寄与が大きかった。つまり、梅雨最盛期でも、西日本の集中豪雨と違い、「普通の雨」が持続することにより大雨となる事例が東日本では少なくないことが明らかになった。
- (3) パターン B も C も、基本場のオホーツク海気団の南西縁として保たれている傾圧場を下層南風が横切って北上するような環境場であった。このような下層の大気場は、東日本の梅雨期の基本場特徴である。つまり、そのような基本場としての梅雨前線の西方から、台風があるいはメソ α 低気圧が接近する時に、東日本で「普通の雨」の寄与による「大雨」が見られた点は興味深い。

今後、各パターンにおける、具体的な降水の特徴や

^{*} 相当温位の代わりに、それにほぼ対応する「湿潤静的エネルギーを空気の定圧比熱で割った値」を計算したが、本研究では、便宜的にそれを相当温位として表現している。

その空間分布について、10分降水量や気象衛星データ、レーダーアメダス合成データ等が利用可能な期間の事例などに注目して調べる必要がある(利用できる期間は限られるが)。特に、パターンBやCの時間降水量で見た「普通の雨」について、本当に、持続性の大変短い対流性降水ではなく層状性降水と断言しているのか、逆に、パターンAやCの10mm/hを超える降水の中には、安定成層下での層状性降水としての強雨も一部混じっている可能性はないのか、等の確認が必要であろう。

また、それらに関連した前線帯付近のメソ α スケールの解像度でみた水蒸気の再分配過程や、基本場と擾乱とのカップルの仕方、等に関する大気過程も明らかにする必要がある。更には、それぞれのパターンが、梅雨最盛期の基本場のどのような因子の変動に関連したものかの考察も必要と考える。

一方、よく知られているように、秋雨期の平均場の梅雨最盛期との差異も小さくない(Matsumoto 1988; 高橋 2003; 加藤他 2004)。そのような平均場の季節遷移の中で、加藤他(2012)は日本列島付近での「大雨」の特徴の、暖候期の中でみた差異を提示したが、それに関するより詳細なかつ系統的な記述が必要である。そこで今後は、東西の違いだけでなく、暖候期の中での季節的違いにも併せて注目した、体系的記述も行いたい。

以上のような今後の課題はあるものの、本研究結果は、東日本側の梅雨前線帯での大雨に関する台風絡みのイベントの寄与の大きさや(梅雨前線に伴う大雨の頻度の少なさの反映でもあるが)、「普通の雨」の寄与の大きさ等、西日本での梅雨期の集中豪雨との興味深い違いを提示している。

謝辞

本研究は、科研費(挑戦的萌芽研究)「東アジア気候環境の成り立ちと多彩な季節感を軸とするESD学習プラン開発の学際研究」(H23~25年度、代表者:加藤内蔵進、課題番号:23650510)、及び、連合研究科共同研究プロジェクト(O)「持続可能な社会を構築する学校安全、防災教育・防災管理の実践的研究」(H24~26年度、代表者:藤岡達也)の補助を一部受けて実施されたものである。

引用文献

Akaeda, K., K. Ninomiya and T. Takeda, 1987: Case of a long-lived cloud cluster. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 129-144.
 Akiyama, T., 1973: The large-scale aspects of the characteristic features of the Baiu front (With special emphasis on the relation among the ageostrophic low-level jet stream, moist tongue, convective warming, convergence zone within Baiu front and heavy rainfall). *Pap. Met. Geophys.*, 24, 157-188.
 Kanada, S., M. Nakano and T. Kato, 2012: Projections of future changes in precipitation and the vertical structure of the

frontal zone during the Baiu season in the vicinity of Japan using a 5-km-mesh regional climate model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 65-86.
 加藤晴子・加藤内蔵進, 2006: 日本の春の季節進行と童謡・唱歌, 芸術歌曲にみられる春の表現—気象と音楽の総合的な学習の開発に向けて—。岡山大学教育実践総合センター紀要, 6, 39-54。
 Kato, K., 1985: On the abrupt change in the structure of the Baiu front over the China continent in late May of 1979. *J. Meteor. Soc. Japan*, 63, 20-36.
 Kato, K. 1987: Airmass transformation over the semiarid region around North China and abrupt change in the structure of the Baiu front in early summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 737-750.
 加藤内蔵進, 1989a: 日本近海域の多雲量帯付近の大気状態の季節変化(南北システムの接点)。月刊海洋, 21, 462-467。
 Kato, K., 1989b: Seasonal transition of the lower-level circulation systems around the Baiu front in China in 1979 and its relation to the Northern Summer Monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 249-265.
 加藤内蔵進, 1997: 日本の降水環境—モンスーンアジアの中の日本—。環境制御, 19, 5-20。
 加藤内蔵進・赤木里香子・加藤晴子・大谷和男・西村奈那子・光畑俊輝・森塚望・佐藤紗里, 2012: 多彩な季節感を育む日本の気候環境に関する大学での学際的授業(暖候期の降水の季節変化に注目して)。環境制御, 34, 25-35。
 加藤内蔵進・福田維子・平沢尚彦・東(趙) 蓉・武田喬男・松本淳, 2004: 東アジアの季節進行の中で見た梅雨と秋雨について。月刊海洋(号外, 第38号)「流体力学から見た大気と海洋」, 235-242。
 加藤内蔵進・東伸彦, 2013: 豪雨の出現頻度に注目した梅雨降水の気候学的特徴に関する探究的授業の開発(日降水量データを用いた附属中学校での実践)。岡山大学教師教育開発センター紀要, 3, 17-26。
 木本昌秀, 2005: 欧州熱波と日本の冷夏 2003。2004年度春季大会シンポジウム「2003年の日本の冷夏-異常気象をどこまで理解予測できるか-」の報告, 天気, 52, 608-612。
 気象庁, 2005: 異常気象レポート 2005-近年における世界の異常気象と気候変動~その実態と見通し~(VII), 全382頁。
 Kodama, Y., 1992: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 813-836.
 Kodama, Y., 1993: Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. *J. Meteor. Soc. Japan*, 71, 581-610.
 蔵田美希・加藤内蔵進・大谷和男, 2012: 顕著な大雨日の出現状況に注目した20世紀の梅雨降水変動に関する探究的授業の開発(九州の長崎を例に)。岡山大学教師教育開発センター紀要, 2, 1-13。
 Matsumoto, J., 1988: Large-scale features associated with the frontal zone Over East Asia from late summer to autumn. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 565-579.
 Ninomiya, K., 1978: Heavy rainfalls associated with frontal

- depression in Asian subtropical humid region. (I) Synoptic-scale features. *J. Meteor. Soc. Japan*, 56, 253-266.
- Ninomiya, K., 1980: Enhancement of Asian subtropical front due to thermodynamic effect of cumulus convection. *J. Meteor. Soc. Japan*, 58, 1-15.
- Ninomiya, K., 1984: Characteristics of Baiu front as a predominant subtropical front in the summer Northern Hemisphere. *J. Meteor. Soc. Japan*, 62, 880-894.
- Ninomiya, K., 1989: Cloud distribution over East Asia during Baiu period in 1979. *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 639-658, 1989.
- Ninomiya, K., 2000: Large- and meso- α -scale characteristics of Meiyu front associated with intense rainfalls in 1-10 July 1991. *J. Meteor. Soc. Japan*, 78, 141-157.
- Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1992: Multi-scale features of the Baiu, the summer monsoon over Japan and the East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 467-495.
- Ninomiya, K., T. Akiyama and M. Ikawa, 1988a: Evolution and fine structure of a long-lived meso- α -scale convective system in Baiu frontal zone. Part I: Evolution and meso- β -scale characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 331-350.
- Ninomiya, K., T. Akiyama, and M. Ikawa, 1988b: Evolution and fine structure of a long-lived meso- α -scale convective system in Baiu frontal zone. Part II: Meso- γ -scale characteristics of precipitation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 351-371.
- Ninomiya, K., M. Ikawa, and T. Akiyama, 1981: Long-lived medium-scale cumulonimbus cluster in Asian subtropical humid region. *J. Meteor. Soc. Japan*, 59, 564-577.
- Ninomiya, K. and H. Mizuno, 1987: Variations of Baiu precipitation over Japan in 1951-1980 and large-scale characteristics of wet and dry Baiu. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 115-127.
- Ninomiya, K. and H. Muraki, 1986: Large-scale circulations over East Asia during Baiu period of 1979. *J. Meteor. Soc. Japan*, 59, 409-429.
- Ninomiya, K. and Y. Tatsumi, 1980: Front with heavy rainfalls in the Asian subtropical humid region in a 6-Level 77km-mesh primitive equation model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 58, 172-186.
- Ninomiya, K. and K. Yamazaki, 1979: Heavy rainfalls associated with frontal depression in Asian subtropical humid region. (II) Mesoscale features of precipitation, radar echo and stratification. *J. Meteor. Soc. Japan*, 57, 399-413.
- 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。