

九州南部における4月頃の大雨日の降水の特徴と 大気場に関する総観気候学的解析

Synoptic climatological analyses on the rainfall features in southern Kyushu and the atmospheric fields around April

加藤 内 藏 進 (Kuranoshin KATO)*
森 塚 望 (Nozomi MORIZUKA)**
松 本 健 吾 (Kengo MATSUMOTO)*
大 谷 和 男 (Kazuo OTANI)***

Abstract

Around April, total precipitation in southern Kyushu already attains rather large value due to the increase in contribution of the "heavy rainfall days" (with daily precipitation more than 50 mm/day, referred to as HRD). The present study examined the rainfall features and atmospheric conditions on the HRDs at Kagoshima in southern Kyushu, based on the operational observation data from 1990 to 2009. The HRDs there in April appeared mainly associated with the extratropical cyclone passage, together with tentative appearance of the stationary front. The mean daily precipitation on the HRDs was 82 mm and contribution of the intense rainfall more than 10 mm/h attained up to 38 mm, which accounted for 46 % of the daily total precipitation. In April, the high specific humidity area in the time mean field was still located far to the south of the Japan Islands and the stratification around the Japan Islands was very stable for deep moist convection. However, the zone with rather strong seasonal mean baroclinicity extended to rather southern area near 20°N. This would provide a favorable condition for the long-distance moisture transport toward southern Kyushu in association with the cyclone passage to bring the heavy rainfall there.

Keywords: heavy rainfall around April in southern Kyushu, rainfall associated with extratropical cyclones around the Japan Islands, seasonal cycle around Japan

I. はじめに

日本付近では、暖候期を通じて平均雲量極大ゾーンとして降水量も多いが(Kodama and Asai 1988 ; 加藤 1989), とりわけ西日本の梅雨最盛期には、集中豪雨が頻出し、総降水量も多くなる。これは、南アジアのモンスーン開始後の、亜熱帯高気圧域から梅雨前線に向かう強い下層南風による水蒸気輸送の季節的強化にも関連している(Ninomiya 1984 ; Ninomiya and Mizuno 1987; Kato 1989 ; 加藤他 2012)。

しかし、日本の気候環境と多彩な季節感に関する美術や音楽との連携の切り口として加藤他 (2012), 加藤・加藤 (2014a, b) も注目したように、日本列島付近の暖候期の降水の多様性は大きい。例えば東日本の秋雨期には、梅雨最盛期の西日本のような集中豪雨タイプの大雨ばかりでなく、安定な成層下での

地雨タイプの降水による大雨も少なくないという。なお、そのようなタイプの関東での大雨は、盛夏期には多くないが、梅雨最盛期にもしばしばみられる(松本他 2013, 2014)。一方、加藤他 (2012) によれば、preliminary study ではあるが、九州南部では4月頃の温帯低気圧通過時の一時的な強雨に伴う大雨の事例も起きるといふ。

ところで、4月頃の日本列島付近では、他の中緯度地域と同様な南北の大きな温度差に伴う傾圧不安定波の通り道にもあたる(大和田 1994 ; 吉野・甲斐 1977)。日本列島付近の暖候期には、温帯低気圧の暖域などでの積乱雲群(クラウドクラスター)の出現も報告されているが(Akaeda et al. 1987 等)、温帯低気圧域内での降水は広範囲でほぼ一様に降る地雨性のものである。

* 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),
(〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1, Kita-ku Tsushima-naka, Okayama, 700-8530, Japan)

** 岡山大学教育学部(理科) (Faculty 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),
(現在, テレビせとうち株式会社)

Corresponding author: Kuranoshin Kato

一方、6月後半～7月前半頃の梅雨最盛期への移行の中で、準定常性や積乱雲群の出現頻度の増大など、前線帯付近での降水系の特徴は大きく季節変化する(加藤他 2012; 加藤・加藤 2014b; Kato and Kodama 1992; Hirasawa et al. 1995; Kato 1985, 1987, 1989; Ninomiya 1989; Ninomiya and Muraki 1986 等)。しかし、上述の4月頃の大雨時の降水や関連する大気システムの特徴、及び、それがどのような季節的背景により可能になるのか、などへの理解は不十分と考える。

そこで本研究では、1990～2009年における4月頃の九州南部付近での大雨の各事例について、1時間降水量でみた降水やその時の総観場の特徴、季節進行の中での位置づけの解析を行った。なお本研究では、日降水量50mm以上の日を「大雨日」と呼ぶことにする。

II. 用いたデータ

本研究で用いたデータは次の通りである。

(1)各気象官署における地上気象データ(主に、日降水量や前1時間降水量(その時刻までの1時間における降水量)等を使用。気象庁本庁のHPより)

(2)NCEP/NCAR再解析データ(2.5°×2.5°緯度経度格子。広域大気場の解析に使用)(Kalnay et al. 1996)

(3)高層気象観測データ(気象庁本庁のHPより)

(4)気象庁天気図CD-ROM(地上や高層の天気図)

なお、日降水量の日界は日本標準時の00時(00JST)である。また、特に断らない限り、時刻は日本標準時(JST)を用いる(09JSTが世界協定時の00UTCに対応する)。

III. 4月頃の降水量の季節的增加

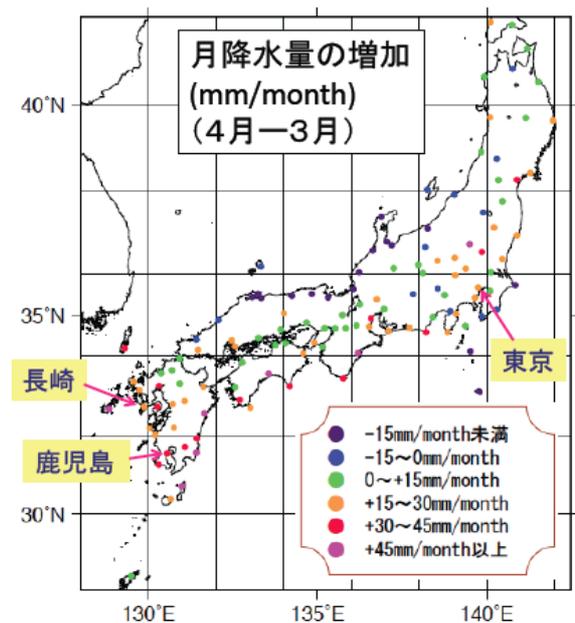
第1図は、各気象官署における月降水量の平年値(1981～2010年平均)の、3月から4月への増加量を示す。3月に比べて4月には、北陸の日本海側で月降水量が15mm以上減少する一方、関東から九州の太平洋側で15～45mm、あるいはそれ以上増加していた。特に九州南部と四国南岸では、月降水量が45mm以上増加した地点が多かった。

ところで、四国や紀伊半島の太平洋側では、南寄りの風が卓越する際に山の風下側との降水量のコントラストが生じる。例えば、加藤(2007)は、高知と岡山の日降水量の統計より、4～5月頃にも両地点での降水日の降水量差が系統的に生じていることを指摘した。一方、九州南部の4月の降水量増加は、九州山地の西部・東部に関係なく南部一帯でみられる現象であることが示されており、四国や紀伊半島の太平洋岸付近の降水量増加とは異なる過程も反映した可能性が示唆される。そこで本研究では、まず九州南部の降水に注目した。

第1表に示されるように(加藤他 2012より再掲)。

1901～2009年で統計)、4月の平均降水量は東京で130mm程度であるのに対し、鹿児島では220mm程度と大きい。これは、東京の6月と同程度である。しかも、鹿児島と東京の90mm程度の降水量差のうち、60mm程度は、「大雨日」(日降水量50mm以上の日)による降水の寄与の差を反映している。なお、長崎でも、4月の「大雨日」の寄与や月降水量は東京よりも大きい。南九州の鹿児島の方がより顕著である点が注目される。

また、月降水量の年々変動も鹿児島で特に大きい(標準偏差が110mm程度もある)、このような月降水量の年々の違いが、「大雨日」の降水量の寄与の大きな年々の違いをかなり反映していることも興味深い。「大雨日」の月降水量への寄与の標準偏差も、100mm近くある。このように、九州南部の鹿児島では、4月でも比較的多量の降水がある年は決して珍しくなく、しかも、それが月降水量の平均的な大きさや年々の違いを特徴づける大きな要因の一つであるこ



第1図 3月から4月にかけての月降水量の増加量(mm/month)。4月の値から3月の値を引いた差で示す。気象庁による1981～2010年の平年値に基づく。各地点の位置に、凡例の色をつけた丸印で値を表示した。

第1表 1901～2009年で統計した4月の月降水量の平均と年々の標準偏差(mm)。値は「平均±標準偏差」の形で示す。加藤他(2012)より再掲。地点は第1図を参照。なお、「大雨日」は、日降水量50mm以上の日とした。

地点	月降水量 (mm)	「大雨日」の寄与 (mm)
東京	128±44	17±32
長崎	178±74	40±50
鹿児島	222±109	81±97

とが分かる(もちろん、鹿児島県の1901~2000年で平均した6月の月降水量は400mm程度、「大雨日」の寄与は250mm程度あり、梅雨期に比べると4月の降水量や「大雨日」の寄与は小さいが)。

IV. 鹿児島県での大雨日の特徴

4.1 大雨日の抽出

1990~2009年の4月における鹿児島県での日降水量データに基づき「大雨日」を抽出した。その結果、全21事例が抽出された。それらの事例に関連した総観規模の大気システムについて、主観的ではあるが、09JSTもしくは21JSTでの地上天気図に基づき(ピークの降水の時間帯よりは前で、かつそれに最も近い時間帯)、第2表に記載した。

「大雨日」の内訳として、加藤他(2012)で例示したような温帯低気圧が九州付近を通過した際の事例が多かったが、九州付近での前線の停滞に関連した事例も全体の約1/3見られた(以下、後者を「前線停滞」のパターンと呼ぶことにする)。また、低気圧通過に関連した事例について個々の地上天気図を参照

第2表 鹿児島県における大雨日のリスト。当該日の鹿児島県での日降水量や(日界00JST)、地上天気図で見る関連システムも示す。なお事例13と13'の扱い、及び、低気圧通過(1)、(2)の違いについては本文を参照のこと。また、事例1での日降水量は99.0mmであったが、表の数値は、対象イベントの降水開始以前に降った0.5mmを除外して示した。

事例番号	年月日	降水量(mm/日)	関連システム
1	1990.4.12	98.5	低気圧通過(1)
2	1992.4.9	62.5	低気圧通過(1)
3	1992.4.15	51.0	低気圧通過(2)
4	1994.4.6	66.0	低気圧通過(2)
5	1994.4.12	63.5	低気圧通過(1)
6	1994.4.18	89.0	低気圧通過(1)
7	1994.4.20	97.0	前線停滞
8	1995.4.14	114.0	低気圧通過(2)
9	1995.4.22	145.0	低気圧通過(1)
10	1996.4.14	61.0	低気圧通過(2)
11	1996.4.30	90.5	低気圧通過(1)
12	1997.4.4	78.0	前線停滞
13	1998.4.23	115.0	前線停滞
13'	1998.4.24	164.0	前線停滞
14	2001.4.21	61.5	前線停滞
15	2002.4.20	57.0	前線停滞
16	2003.4.1	70.5	前線停滞
17	2004.4.27	59.5	低気圧通過(2)
18	2008.4.9	55.5	低気圧通過(1)
19	2008.4.23	67.0	低気圧通過(1)
20	2009.4.25	50.0	低気圧通過(1)

した結果、九州の南方での地衡風の南風成分に関連した東西の気圧傾度のかなり異なる事例が見られた。

そこで、各事例において鹿児島で強雨のピーク、あるいは強雨が持続した時間帯に最も近い時刻の地上天気図(09JSTもしくは21JST)から、九州南方の25°Nについて、120、125、130、135°Eにおける海面気圧を読み取って、九州付近へ向かう地衡風の南風成分に強さに対応する指標を求めた。強雨の時間帯が両時刻のほぼ中間にある場合には、当該現象の起きる直前に近い状況を吟味する方が適切と考えて、前の時刻の天気図を参照した。

低気圧通過の事例のうち、今述べた隣接する経度5°の間隔での気圧差の最大値が2.5hPa以上(地衡風の南風成分が約5m/s以上)のものを「低気圧通過(1)」のパターン、2.5hPa未満のものを「低気圧通過(2)」のパターンと呼ぶことにする。「低気圧通過(1)」、「低気圧通過(2)」、「前線停滞」の各パターンにおける地上天気図例を第2図に示す。第2表の関連システムの記載は、以上の分類に基づく。なお、1998年4月23日(事例13)と24日(事例13')については、停滞前線に伴う降雨が持続したので、同一の事例番号を付した(「ダッシュ」をつけて区別)。

4.2 時間降水量でみた鹿児島県での大雨日の降水の統計的特徴

第3表は、第2表で抽出した大雨日における日降水量、及び、その日降水量に対する階級別1時間降水量の寄与を、各パターンにおいて平均したものである。つまり、「降水量寄与」の行の数値は、それぞれの範囲の降水量となった時間帯で積算した日降水量への寄与である。また、階級別1時間降水量の、日降水量に対する寄与の割合(%)も示した。なお、この集計では、事例13と13'とを別事例とした。

「大雨日」の日降水量の平均は80mm/日程度であるが、どのパターンにおいても、その約45%が10mm/hを超える強い雨によるものであった。但し、10mm/hを超える降水による「大雨日」の総降水量への寄与は、標準偏差で示される事例ごとのばらつきも決して小さくはなかった。特に、前線が停滞するパターンでの標準偏差は大きかった。

ところで、梅雨最盛期の九州では、発達した積乱雲の集団からなるクラウドクラスターの出現に伴って、集中豪雨が頻繁に起きる。そのため、「大雨日」の寄与に伴って梅雨期の総降水量が東日本に比べて大変多くなるだけでなく(Ninomiya and Mizuno 1987)、「大雨日」の平均日降水量に対する10mm/h以上の時間帯の寄与が6割程度にもなるという(松本他 2013)。それに比べると、4月頃の九州南部での「大雨日」については出現頻度もかなり低く、しかも、「大雨日」に

おける 10mm/h を超える激しい降水の時間帯の寄与も相対的には大きくない。しかし、4 月には既に、鹿児島における「大雨日」の約 80mm の日降水量のうち、10mm/h を超える強い降水に伴って 45%前後をも稼ぐようになる点が注目される。

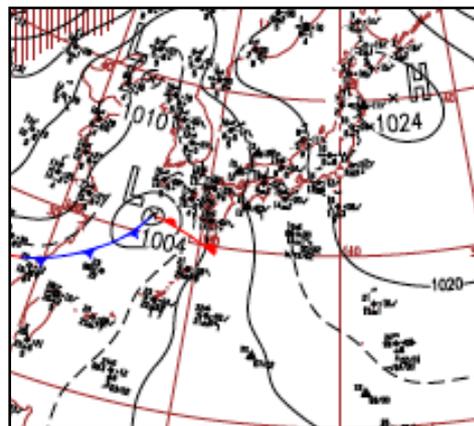
次に、前 1 時間降水量の時系列やその地点による違いを幾つかの事例について例示し、4 月の鹿児島での「大雨日」の降水の経過の時空間分布の特徴を記述する。「前線停滞」のパターンでは、第 3 図の 1998 年 4 月 23～24 日の例に示されるように（事例 No. 13 と 13'）、南九州では（鹿児島、阿久根、宮崎の例を参照）、10mm/h を超える降水の時間帯がこの期間に何度も現れた。なお、第 4 表に示されるように、この事例では、それぞれの日の鹿児島での日降水量が 100mm を超えるなど、かなり多量の降水となった。

しかし、九州中部～北部では（熊本、長崎、大分、福岡の例を参照）、一時的に 10mm/h を超える時間帯が見られる地点もあったが、地上前線に近い九州南部に比べると、強い降水の出現頻度は大変低かった（第 2 図(c)も参照）。つまり、高頻度で現れる強い降水に伴って日降水量も多くなったのは、九州南部に限定されていたことになる。

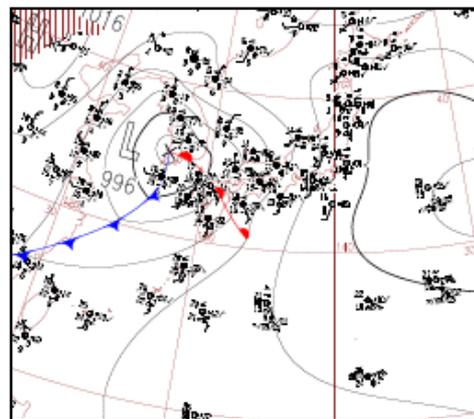
一方、低気圧通過(1)のパターンである 2008 年 4 月 24 日や 2009 年 4 月 25 日の事例において（それぞれ、第 4 図(a)（事例 No. 19）、(b)（事例 No. 20））、鹿児島では数 mm/h 程度の比較的弱い降水が全体として続く中で、特定の数時間のみで 10mm/h を超えるような激しい降水が集中していた。しかも、事例 No. 19 においては、九州中部・北部の各地点では 10mm/h を超える降水は観測されず、数 mm/h 程度の比較的弱い降水が半日程度持続していた。この事例における低気圧の中心も南九州付近を東進しており（図は略）、低気圧やそれに伴う地上前線の北方で比較的弱い降水が継続する中で、低気圧中心もしくは暖域付近で、一時的な強雨が生じたことになる。

なお、事例 No. 20 では、鹿児島以外で 10mm/h を超える降水が観測された地点も少なくなかった。しかし、強雨の時間帯はいずれの地点でも 02～07JST 頃の中の数時間のみ限定されており、東西に 1000km 程度の広がりを持つ温帯低気圧の中の特定の領域のみで強雨が生じたことが示唆される（気象衛星画像やレーダーアメダス合成データに基づく降水の特徴の微細構造に関しては、今後の研究で解析する必要がある）。

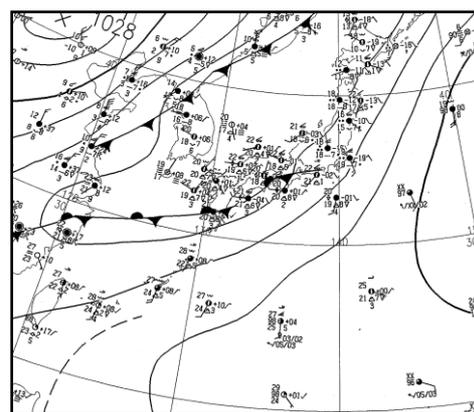
他の事例における前 1 時間降水量の時系列は略すが、第 3 表に示されるように、「低気圧通過」の事例における 10mm/h 以上の降水の日降水量への寄与の平均は 35mm/h 程度であり、強雨の時間帯は、平均的にも数時間程度以下であった。



(a) 2009 年 4 月 24 日 21JST（低気圧通過(1)）（事例 No. 20）



(b) 2004 年 4 月 26 日 21JST（低気圧通過(2)）（事例 No. 17）

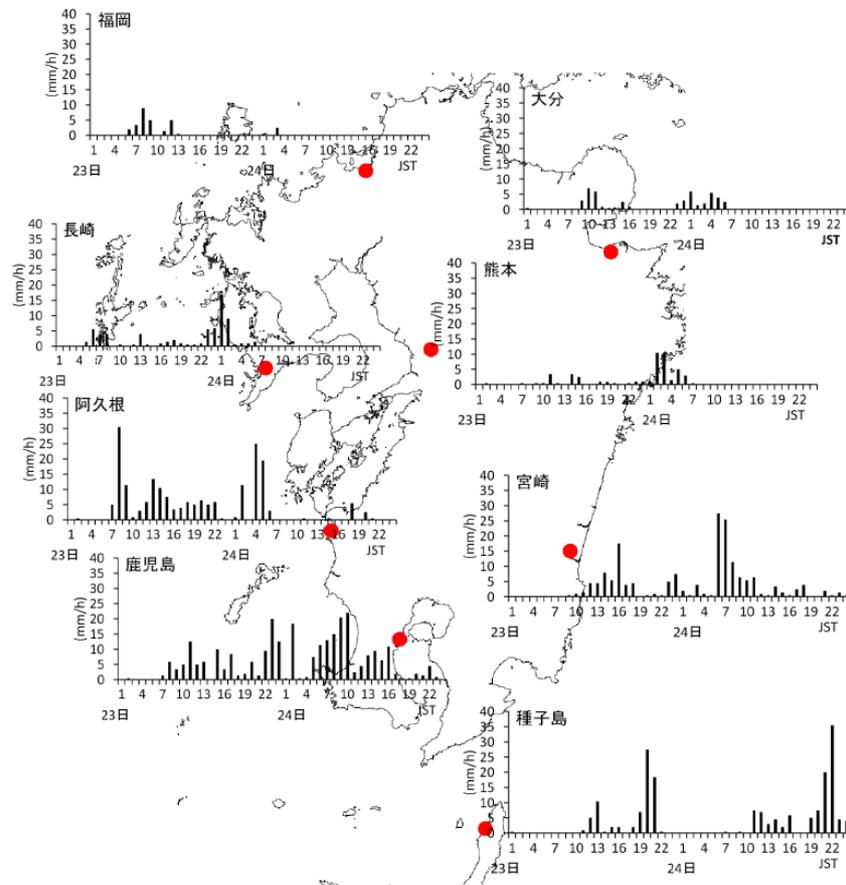


(c) 1998 年 4 月 24 日 09JST（前線停滞）（事例 No. 13'）

第 2 図 各パターンの上天気図例。(a)は「低気圧通過(1)」、(b)は「低気圧通過(2)」、(c)は「前線停滞」のパターンの例。なお本文に記した理由により、(a)、(b)は、第 2 表の日付の前日の 21JST のものである点に注意。気象庁作成、気象業務支援センター提供の CD-ROM に基づく。

第3表 「大雨日」における日降水量と、階級別1時間降水量の日降水量への寄与 (mm/day)。第2表の「大雨日」における日降水量と、各階級別1時間降水量による日降水量への寄与を、各パターンで平均したもの。例えば、 $2\text{mm} < \text{PR} \leq 5\text{mm/h}$ の列(「降水量寄与」)は、その大雨日の総降水量(日降水量)の平均に対して(「総降水量」の列)、 $2\text{mm} < \text{PR} \leq 5\text{mm/h}$ の降水の時間帯で稼ぐ降水量を示す。±以下の数値は、事例間の標準偏差。なお、日降水量に対する割合(%)も示した。

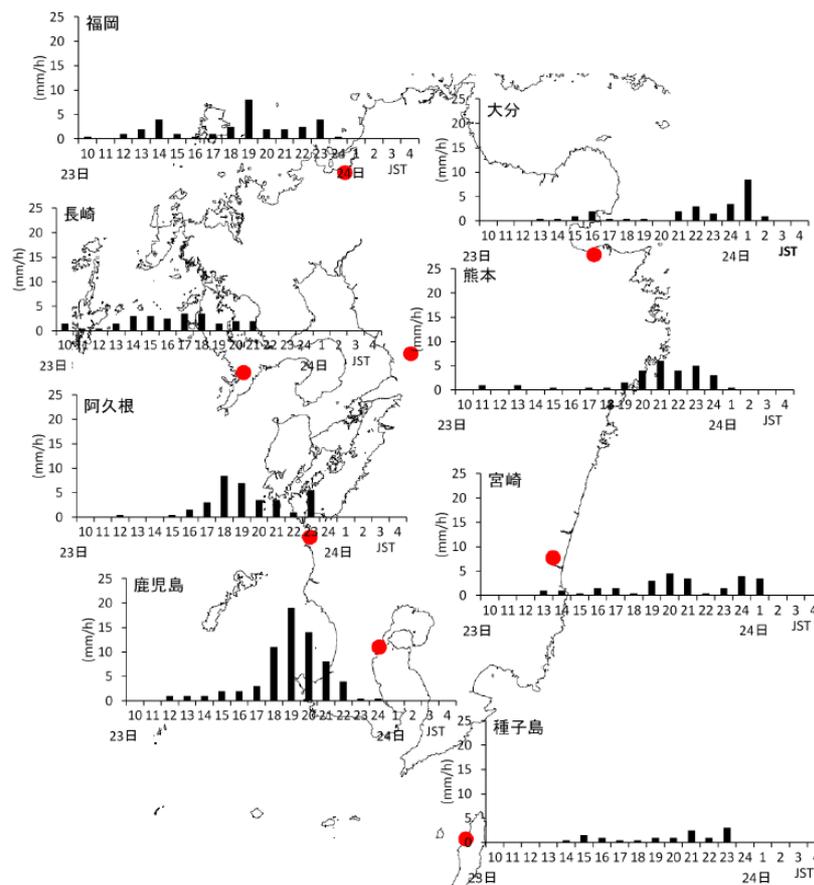
パターン		総降水量	$\text{PR} \leq 2\text{mm/h}$	$2\text{mm/h} < \text{PR} \leq 5\text{mm/h}$	$5\text{mm/h} < \text{PR} \leq 10\text{mm/h}$	$10\text{mm/h} < \text{PR}$
低気圧通過(1)	降水量寄与 (mm)	80.2 ± 27.9	3.4 ± 2.2	11.6 ± 7.4	28.5 ± 19.5	36.7 ± 17.8
	割合(%)		4.2	14.4	35.6	45.8
低気圧通過(2)	降水量寄与 (mm)	70.3 ± 22.4	5.1 ± 3.5	10.6 ± 7.8	19.9 ± 11.0	34.7 ± 22.5
	割合(%)		7.3	15.1	28.3	49.4
前線停滞	降水量寄与 (mm)	91.9 ± 35.0	7.9 ± 3.0	12.9 ± 3.9	30.1 ± 12.2	41.0 ± 35.0
	割合(%)		8.6	14.0	32.8	44.6
全事例	降水量寄与 (mm)	81.7 ± 30.4	5.3 ± 3.5	11.8 ± 6.6	27.0 ± 16.0	37.7 ± 25.9
	割合(%)		6.5	14.4	33.0	46.1



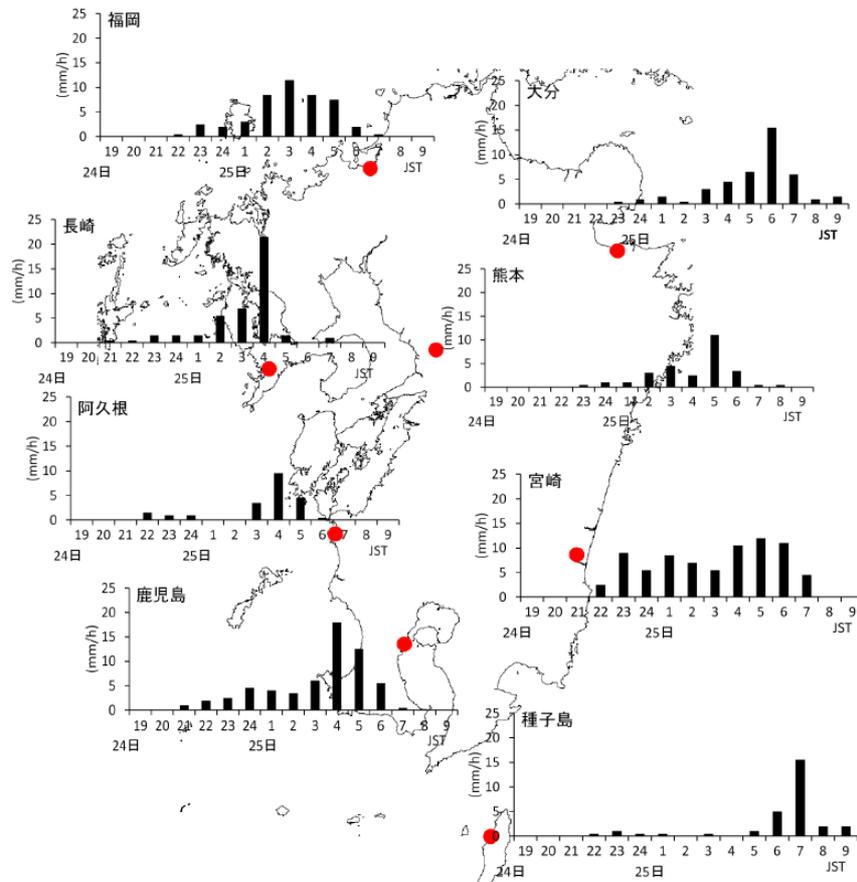
第3図 「前線停滞」のパターンにおける前1時間降水量時系列の例(1998年4月23~24日)。第2表の事例No.13(23日)と事例No.13'(24日)に対応。地点の位置を丸印で示す。横軸は時刻である(JST)。

第4表 第3表と同様。但し、各パターンの例を幾つか示す。

事例番号	日付とパターン		総降水量	PR ≤ 2mm/h	2mm/h < PR ≤ 5mm/h	5mm/h < PR ≤ 10mm/h	10mm/h < PR
19	23 Apr. 2008 低気圧通過(1)	降水量寄与 (mm)	67.0	8.0	7.0	8.0	44.0
		割合(%)		11.9	10.4	11.9	65.7
20	25 Apr. 2009 低気圧通過(1)	降水量寄与 (mm)	50.0	0.5	7.5	11.5	30.5
		割合(%)		1.0	15.0	23.0	61.0
3	15 Apr. 1992 低気圧通過(2)	降水量寄与 (mm)	51.0	1.5	5.0	0.0	44.5
		割合(%)		2.9	9.8	0.0	87.3
17	27 Apr. 2004 低気圧通過(2)	降水量寄与 (mm)	59.5	3.5	4.0	23.5	28.5
		割合(%)		5.9	6.7	39.5	47.9
13	23 Apr. 1998 前線停滞	降水量寄与 (mm)	115.0	7.0	17.0	46.0	45.0
		割合(%)		6.1	14.8	40.0	39.1
13'	24 Apr. 1998 前線停滞	降水量寄与 (mm)	164.0	9.5	11.5	31.5	111.5
		割合(%)		5.8	7.0	19.2	68.0



第4図(a) 第3図と同様。但し、「低気圧通過(1)」のパターンにおける例で、第2表の事例No. 19 (2008年4月23日) に対応する。なお、時系列は翌日(24日)の途中まで示した。また、図全体のレイアウトの都合により、前1時間降水量に関するスケールが、第3図と異なる点に注意。



第4図(b) 第3図と同様。但し、「低気圧通過(1)」のパターンにおける例で、事例 No. 20 (2009年4月25日) に対応する。なお、前日(24日)の途中から示した。また、図全体のレイアウトの都合により、個々の地点の前1時間降水量に関するスケールが、第3図と異なる点に注意。

4.3 大雨日のパターン毎の総観場の合成

次に、鹿児島での大雨日における総観規模の大気場の特徴を解析するために、NCEP/NCAR 再解析データ ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 緯度経度格子) に基づき、第2表の「低気圧通過(1)」、「低気圧通過(2)」、「前線停滞」の3つのパターンについて、それぞれ合成解析を行った。大気場の合成に用いた各事例の日付・時刻を、第5表に示す(強雨の持続する時間帯に基づく第2表作成時と同様な考察に基づき、1日4回(03, 09, 15, 21JST)のマップタイムの中から選択)。なお、用いた格子点データの水平分解能の制約から、低気圧域内での降水分布の微細構造と大気場との関連については議論出来ないので、本研究での解析では、大雨日の広域場の特徴のみについて記述する。

「低気圧通過(1)」で合成した 925hPa 面での気温 (T_{925} と略す。地上1km足らずの高度にほぼ対応)、925hPa 面での比湿 (Q_{925})、500hPa 面での等圧面高度 (Z_{500}) の分布に 500hPa での相対渦度 $\geq +2 \times 10^{-5} s^{-1}$ の領域を重ねたものを、それぞれ、第5図(a), (b), (c)に示す。「低気圧通過(2)」、「前線停滞」のパターン

に関する同様な図を、第6図、第7図にそれぞれ示す。また、1990~2009年4月で平均した 925hPa 面での気温 (T_{925})、 Q_{925} 、 Z_{500} の分布を、それぞれ(a), (b), (c)に示す。

(1) 「低気圧通過(1)」

「低気圧通過(1)」のパターンにおいては、九州西方から接近する低気圧と東方の高気圧との間で、九州~本州の南方まで南北に走る等圧線が混み合っていた(第5図(a))。つまり、下層の地衡風成分としての南風が強いと考えられる領域が、北緯 25° 以南まで広がっていたことになる。これに対応して、下層の水蒸気量の特に関与する大きな領域(例えば 925hPa における比湿 $Q_{925} \geq 11g/kg$) が、九州南部まで北上している(第5図(b))。4月の平均場では(第8図(b))、 $130^\circ E$ 付近での $Q_{925} \geq 11g/kg$ の領域の北限は沖縄南方の $\sim 24^\circ N$ である。第9図の、925hPa における比湿の合成値から 1990~2009年4月の平均値を引いた偏差 (Δq) の分布によれば、九州からその西方にかけて、このパターンにおける Δq の大きな領域がみられた((a)を参

照)。つまり、このパターンにおける温帯低気圧接近時には、気候学的にはまだかなり南方に位置する大変水蒸気量の多い気団が、低気圧の前面で南九州付近まで侵入し得ることを示唆している。

一方、500hPa 等圧面高度の合成場では(第 5 図(c)), 偏西風帯のトラフが中国東北部から東シナ海南部付近まで南北に長く伸びており(45~27°N/122°E 付近), 500hPa での相対渦度 $\zeta_{500} \geq 2 \times 10^{-5} s^{-1}$ の領域もほぼ対応して南北に幅広く伸びていた。地上の低気圧中心は(第 5 図(a)), その 500km ほど東方に位置していた。また、500hPa 面でのトラフの東方には、沿海州~本州南方へと南北に長く伸びるリッジも明瞭であった(47°N/135°E~28°N/142°E 付近)。地上の高気圧中心(~30°N/150°E)は、その 500hPa リッジの東方に位置していた。

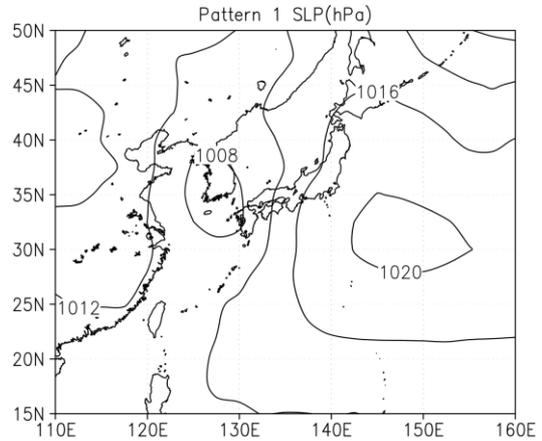
つまり、このパターンは、第 2 図(b)の地上天気図でも例示したように、上空の偏西風帯(傾圧帯)を南北に幅広く伸びるトラフに関連した地上低気圧が、九州付近へ接近する状況に対応する。その際には、地上付近の東西の気圧傾度の大きい領域、つまり地衡風としては九州への強い南風が卓越しうる領域が、

第 5 表 鹿児島島の 4 月の大雨日各事例における総観場の合成に用いた時刻。表には、事例番号毎に、用いた日付・時刻(JST)を記した。各事例がどのパターン該当するは、第 2 表を参照。

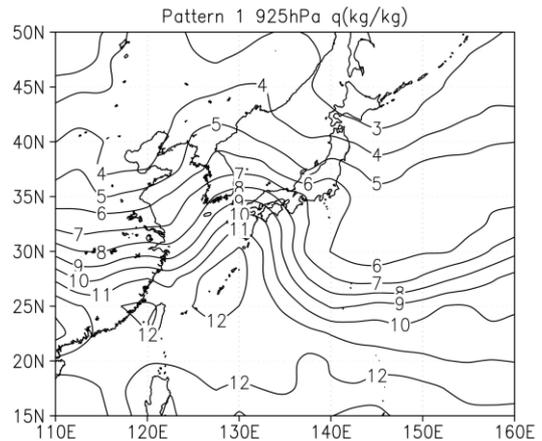
事例番号	当該大雨日(年月日)	大気場の合成に用いた時刻(JST)と日付
1	1990.4.12	21JST 12
2	1992.4.9	21JST 09
3	1992.4.15	15JST 15
4	1994.4.6	21JST 06
5	1994.4.12	09JST 12
6	1994.4.18	09JST 18
7	1994.4.20	21JST 20
8	1995.4.14	09JST 14
9	1995.4.22	09JST 22
10	1996.4.14	21JST 14
11	1996.4.30	09JST 30
12	1997.4.4	21JST 04
13	1998.4.23	21JST 23
13'	1998.4.24	09JST 24
14	2001.4.21	09JST 21
15	2002.4.20	21JST 20
16	2003.4.1	09JST 01
17	2004.4.27	03JST 27
18	2008.4.9	21JST 09
19	2008.4.23	21JST 23
20	2009.4.25	03JST 25

25°N 以南まで広がったことになる。

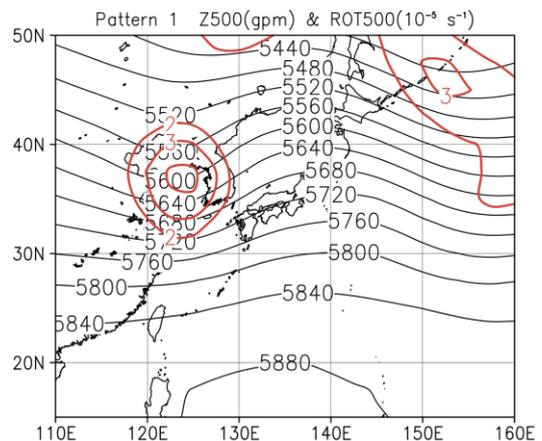
なお、4 月の気候学的な平均場では、Kato and



(a)



(b)



(c)

第 5 図 「低気圧通過(1)」のパターンで合成した海面気圧 (SLP, hPa), 925hPa 面での比湿 (Q925, gkg⁻¹), 500hPa 面での等圧面高度 (Z500, gpm) の分布に 500hPa での相対渦度 $\zeta_{500} \geq 2 \times 10^{-5} s^{-1}$ の領域(赤線, $1 \times 10^{-5} s^{-1}$ 間隔)を重ねたものを、それぞれ(a), (b), (c)に示す。

Kodama (1992)が述べたように、大陸東岸以東でZ500の南北傾度の大きな領域(500hPa 偏西風の強い領域)が25°N~45°Nと南北に広い幅を持ち、九州北部から朝鮮半島南部付近に位置している(下層の水平温度傾度も20°N付近以北で大きい)(以上、第8図(a), (c)を参照)。このため、4月頃には、九州より更に南方まで大きな振幅を持つ傾圧不安定波としての低気圧が、九州に東進して来てもおかしくない環境場であると考えられる。

従って、4月の季節平均場での高比湿域はかなり南方に位置するものの、低気圧通過時には九州南部まで高比湿域(気温も高い)が侵入し得たものと考えられる。このことが、低気圧通過時に限っては九州付近で下層の相当温位が大きくなり、一時的であっても一部の地域で深い湿潤対流による強雨を生じさせた重要な背景の一つと考えられる。但し、低気圧の詳細な構造やその中での対流の生成過程の議論のためには、時空間的な解像度の細かい解析データやモデルによる検討が必要である。

(2) 「低気圧通過(2)」

この事例では、本州付近での地上の東西気圧傾度は大きかったものの、九州への下層南風の強い領域の南方への広がりを示唆する南西諸島付近での東西の気圧傾度は、「低気圧通過(1)」に比べて顕著ではなかった。しかし、比湿極大域は、やはり南西諸島域から九州南部にかけて明瞭に見られた(第6図(a), (b))。但し、この比湿極大域でのQ925の値は、「低気圧通過(1)」の合成値に比べて1~2g/kgほど小さかった(第9図(b)の比湿偏差 Δq も同様)。

一方、500hPaにおける東シナ海西部のトラフやその東方のリッジの南方への広がりは「低気圧通過(1)」よりも弱かったが、東シナ海北部での500hPaトラフ自体は、「低気圧通過(1)」より浅いわけではなかった(第6図(c))。例えば、Z500=5640gpmの等値線は、「低気圧通過(1)」よりも300kmほど南方まで侵入しており、 $\zeta_{500} \geq 2 \times 10^{-5} s^{-1}$ の領域も同様な南北の広がりを示した。なお、東西の広がりに関しては、この事例の方が広がった。以上のように、この事例では、九州南部への下層南風に伴う特に水蒸気量の多い空気の侵入は特に顕著ではないが、東シナ海北部~黄海付近に中心を持つ対流圏中層の深いトラフの前面に位置していた点は注目される。

(3) 「前線停滞」

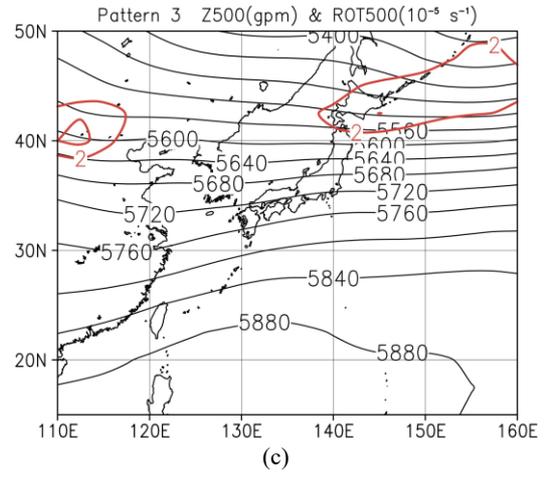
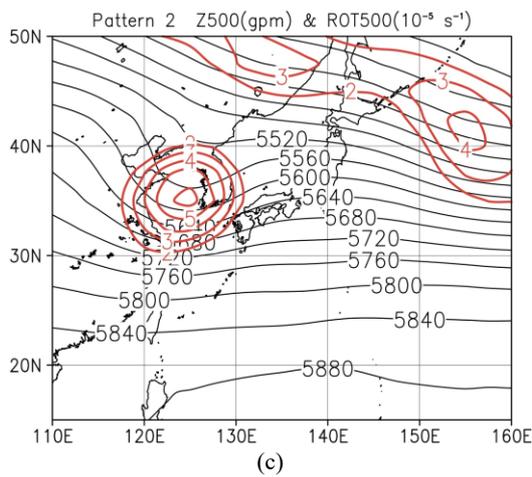
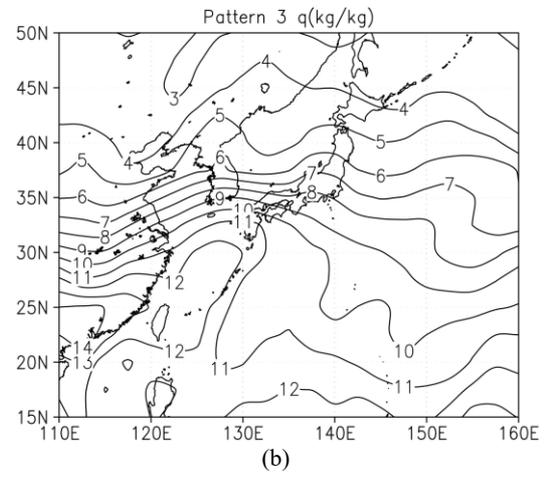
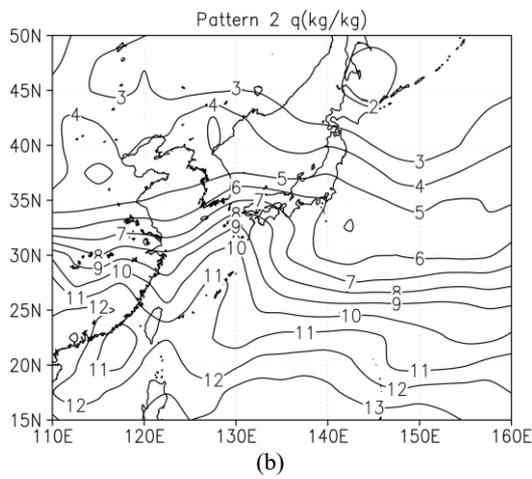
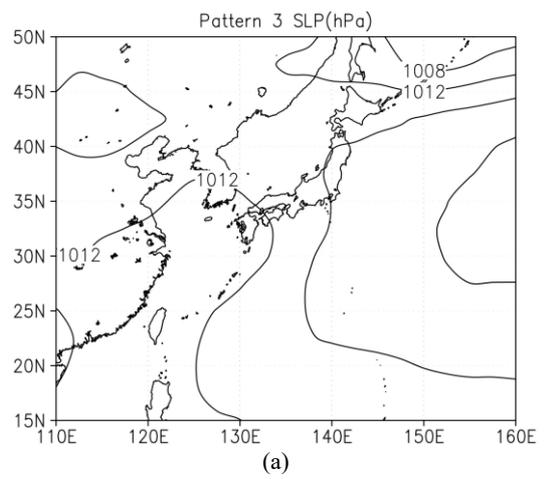
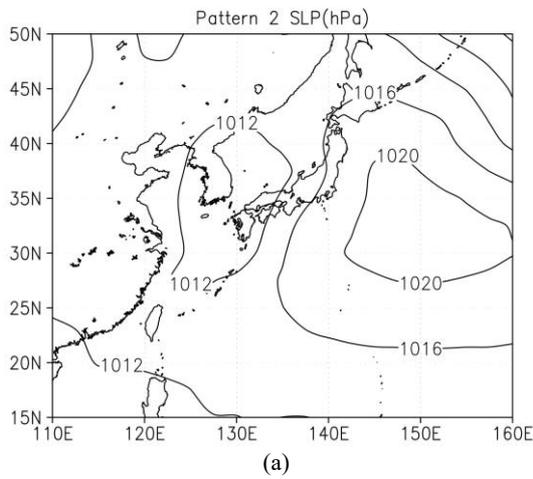
「前線停滞」のパターンでは、「低気圧通過(1), (2)」に比べて九州~その南方での上空の偏西風は弱く、その強風軸は九州より北方の37°N付近に位置することが示唆されるZ500のパターンであった(第7図(c))。一方、九州付近かその南方に停滞する日々の天

気図上の前線(図は略)に対応して東西に伸びる低圧域がSLPの合成場でも見られる(第7図(a))。しかも、その低圧域の中心は合成場では九州西方に位置し、本州東方の高気圧との間で、九州南方から九州付近にかけては広範囲で東西の気圧傾度も小さくなかった(「低気圧通過(1)」のパターンに比べれば、かなり小さいが)。つまり、SLPの分布から、地衡風的には比較的強い下層南風領域の南方への広がりも小さくなかった可能性が示唆される。

このような下層の気圧配置に対応して、東シナ海から九州にかけて、「低気圧通過(1)」のパターンと同様な高比湿域が見られた(第7図(b))。なお、九州からその西方にかけての高 Δq 域は、「低気圧通過(1)」のパターンでは南北に長軸を持つような分布であったが、「前線停滞」のパターンでは、中国大陸東岸から近畿地方南部に東西に伸びるという違いも見られた(第9図(c))。

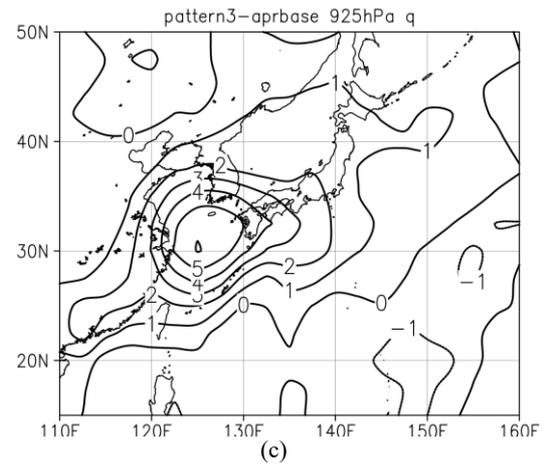
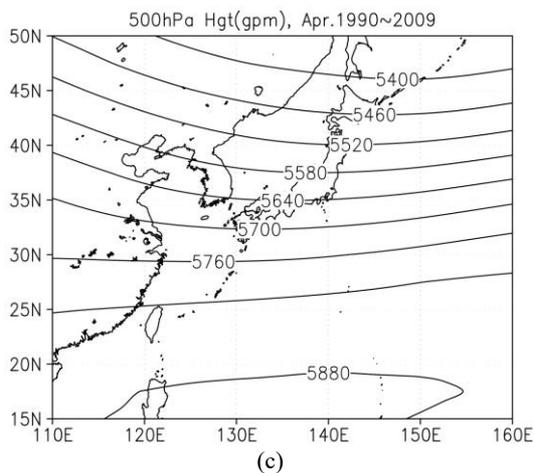
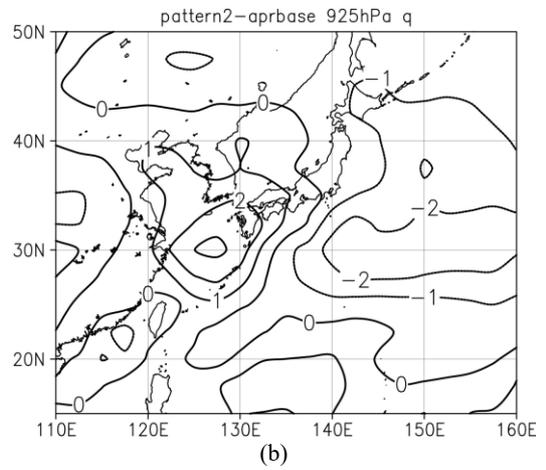
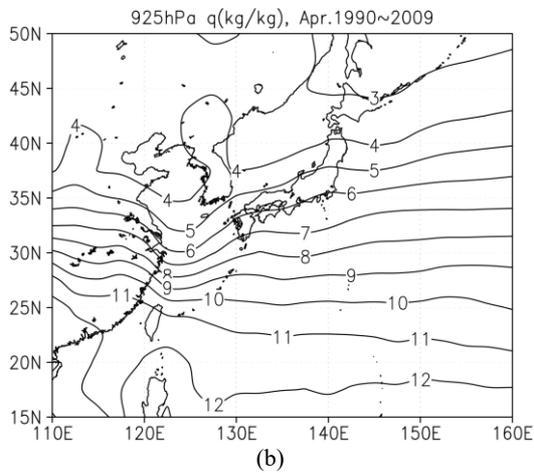
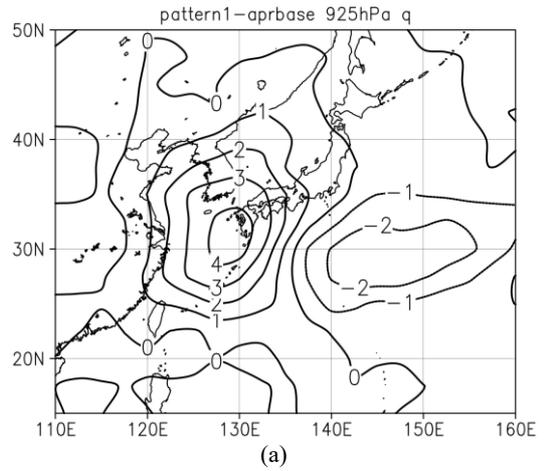
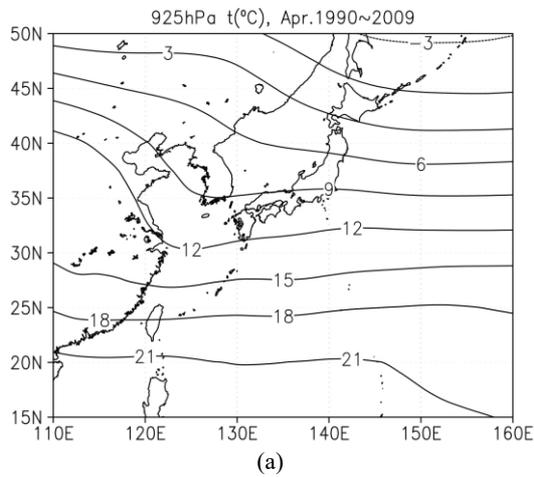
ところでKato and Kodama (1992)は、1979年の事例解析に基づき、5月になると九州付近を通過した低気圧の後面の前線が南西諸島付近まで南下して停滞するというサイクルを繰り返す、全体として、日本付近の前線帯が準定常的な性格へと変化する点を指摘した(南西諸島付近での梅雨入りに対応)。5月頃には、チベット高原の北側を回る偏西風の極大域が季節的に北上し、華南~南西諸島付近の梅雨前線帯にあたる傾圧帯(チベット高原の南回りの対流圏中層の偏西風に対応)が、チベット高原北回りの偏西風帯・傾圧帯と分離している。このため、南西諸島付近に停滞前線は形成されても、傾圧不安定波としての温帯低気圧・移動性高気圧の発生・発達を起しにくくなるためであるという。しかも、Kato and Kodama (1992)は、日々のサイクルの中で前線が南西諸島付近に南下した際には、前線に沿う下層の水平シアもしくは合流場を形成しつつも、前線に吹き込む南風成分自体はあまり強くない点について、事例の提示により指摘した。

しかし、本研究で抽出した4月頃の九州南部での大雨の事例では、「低気圧通過(1)」のパターンだけでなく「前線停滞」のパターンにおいても、前線への下層南風の一次的強化をもたらす気圧配置に伴い、月平均場より数g/kg以上も大きな比湿を持つ下層の空気が九州付近に侵入していた。一方、4月頃の「前線停滞」のパターンでの500hPaの偏西風の強風軸は、少なくとも日本列島付近では南北に大きく分離しているわけではなく、九州付近の地上前線よりも500kmほど北方に東西に伸びて単独で存在していた点も、5月頃の季節進行の一環として南西諸島付近に出現する準定常的な前線帯と特徴が異なっていた点などが注目される。



第6図 第5図と同様。但し、「低気圧通過(2)」のパターンでの合成。

第7図 第5図と同様。但し、「前線停滞」のパターンでの合成。



第8図 1990~2009年の4月で平均した、925hPa面での気温 (T_{925} , °C)、925hPaでの比湿 (Q_{925} , gkg^{-1})、500hPa面での等圧面高度 (Z_{500} , gpm) の分布を、それぞれ(a), (b), (c)に示す。

第9図 各パターンで合成した925hPaにおける比湿から1990~2009年4月の平均値を引いた偏差 Δq (gkg^{-1}) の分布。(a)「低気圧通過(1)」, (b)「低気圧通過(2)」, (c)「前線停滞」。

V. 広域環境場の季節経過と考察

5.1 広域環境場の季節経過の解析結果

NCEP/NCAR再解析データに基づき作成した135°Eに沿う15日移動平均の500hPaでの西風成分U500 (m s^{-1} , 実線)と、125°Eに沿う925hPaでの比湿Q925 (g kg^{-1} , 破線)の時間緯度断面図について、2008年を例に第10図に示す。九州はほぼ両者の中間の経度に位置する。なお、2008年には、鹿児島における大雨日が2回現れた(事例No.18, 19。いずれも、「低気圧通過(1)」のパターン)。

なお、Q925は、 10 g kg^{-1} 及び 12 g kg^{-1} の等値線のみを示した。これらの等値線よりも南方は、平均場の水蒸気量が大変多い領域に対応する。一方、地上付近の平均的な風速を勘案すれば、一般に、対流圏下半層の南北の温度差が大きい領域でU500も大きい。

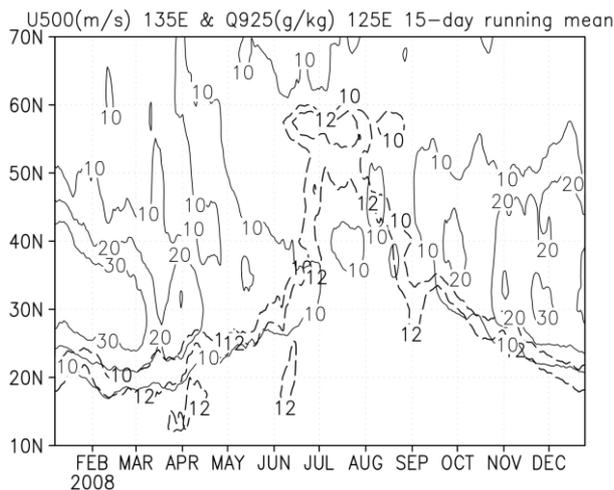
4.3(2)で述べたように、気候学的には、4月頃の季節平均場の水蒸気量が多い領域の北縁は(例えば第8図の $Q925=11 \text{ g kg}^{-1}$ の等値線付近)、九州より1000km足らず南方の20°N付近に位置する。一方、対流圏下層の南北の温度差は20~30°Nでもかなり大きい(Z500の南北傾度も25°N以北では大)。2008年の例では、九州付近にピークを持つU500が、2,3月に比べて4月頃には次第に弱まる(第10図)。しかし、 $Q925=10, 12 \text{ g kg}^{-1}$ の等値線はゆっくりだが北上する。また、U500(下層の南北温度傾度を反映)が10~20 ms^{-1} 前後、あるいはそれ以上となる領域は、九州南部より1000km足らず北方の40°Nから、上述の24°N付近まで南北に幅広く伸びていた。従って、まだ4月

までは、九州を中心にそのような南北スケールを持つ傾圧不安定波としての低気圧が出現してもおかしくない時期であると考えられる。

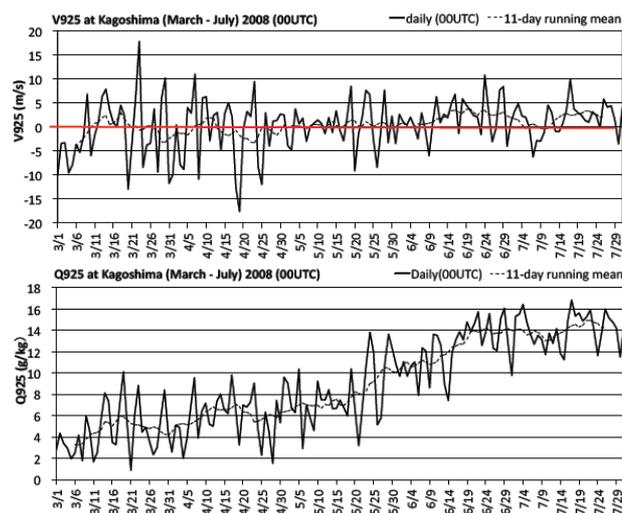
第11図は、2008年についての鹿児島での925hPaにおける日々の南風成分V925(上段)と比湿Q925(下段)の時系列である。それぞれに、11日移動平均も重ねた。また、第12図には、鹿児島における日々のV925とQ925との散布図を、第13図にはV925と θ_{e925} (925hPaでの相当温位)との散布図を示す。なお、鹿児島での大雨日に関して、21JSTの方が強雨の時間帯により近い事例も少なくはなかった。しかし、日々の変動を含む3月~7月の季節経過を簡単に記述するため、以降も含めて本章で提示する鹿児島における高層データの散布図や時系列においては、09JST(00UTC)のみのデータを用いた。

前述のような傾圧性が九州を中心に南北に幅広い範囲で強かった3月から4月にかけては、鹿児島での南北風成分の日々の変動の振幅が5月以降に比べてかなり大きかった。しかも、それが、日々の比湿の大きな変動も伴っていた。

なお、時系列や散布図から分かるように、梅雨最盛期を含む期間である6,7月には、鹿児島でも下層の大きな南風成分を示す日が多くなり、下層の比湿や相当温位は梅雨以前の季節に比べてかなり大きくなった。一方、4月頃には、まだ気温が6,7月に比べて低く(図略)、それも反映して比湿は平均的には大きくなかった(相当温位も大きくなかった)。また、V925が大きな絶対値の北風成分となり、比湿や相当温位

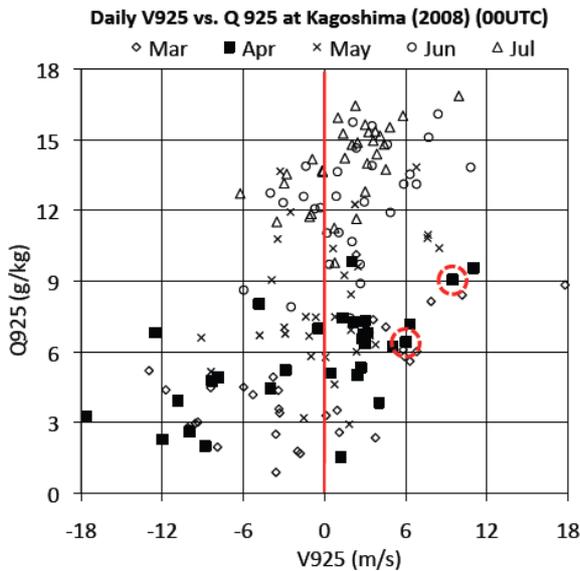


第10図 2008年における15日移動平均した500hPaでの西風成分U500(m s^{-1} , 実線, 135°Eに沿う)と925hPaでの比湿Q925(g kg^{-1} , 破線, 125°Eに沿う)の時間緯度断面図。U500は10, 20, 30 m s^{-1} の等値線のみを表示した。また、Q925は、10, 12 g kg^{-1} の等値線のみを示した。横軸の目盛りと月名は、当該月の初日の位置を示す。加藤他(2012)による2009年における同様な図も参照。

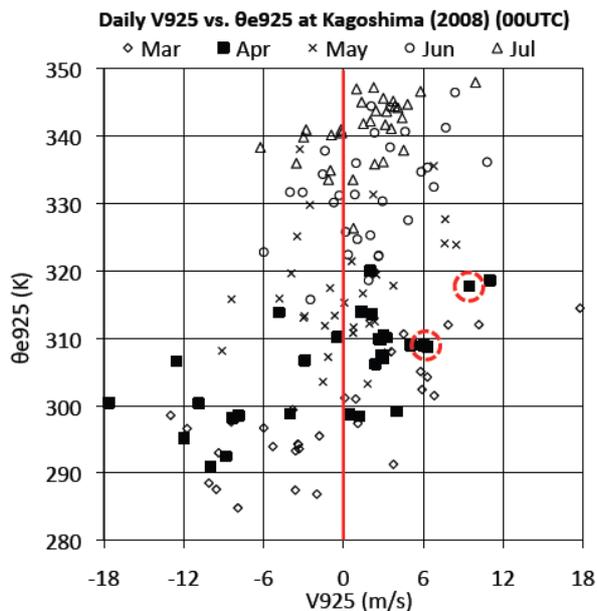


第11図 鹿児島での2008年3月~7月の各日09JST(00UTC)における925hPaでの南風成分V925 (m s^{-1}) (上段)、比湿Q925 (g kg^{-1}) (下段)の時系列を太い実線で示す。気象庁による高層気象観測データに基づく(気象庁HPより)。11日移動平均値の時系列も、細い破線で重ねて示す。

がかなり小さくなる日も少なくなかった。しかも、4月頃でも、日々の変動として南風成分が6、7月と同様に大きくなる日はしばしば現れていた。そして、そのような状況の日に限っては、比湿や相当温位は、6、7月ほどの大きさには及ばないものの、かなり増加した(3月の同様な状況よりも平均的には大きめ。なお、



第12図 鹿児島の日々09JST (00UTC)における925hPaでの南風成分V925 (m/s) と比湿Q925 (gkg⁻¹)との散布図。いずれも、2008年3月~7月(凡例に示すように、月毎にマーカーの種類を変えて表示した)。なお、2008年4月における大雨事例に該当する日(事例No. 18と19)を太い破線の丸印で囲んだ。



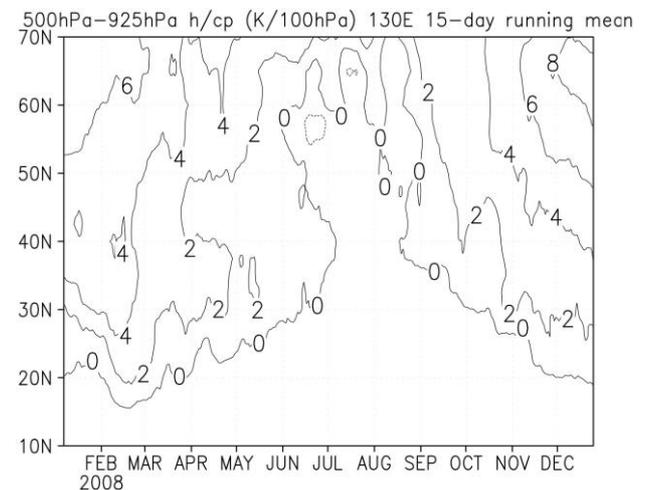
第13図 第12図と同様。但し、V925と相当温位 θe_{925} (K)との散布図。

4月の比湿や相当温位のピーク時でも、6月頃の平均値にやっと届くかどうか、という程度ではある)。

次に、九州付近の経度である130°Eに沿った湿潤対流に対する安定度の時間緯度断面を、2008年を例に第14図に示す。なお、安定度は、湿潤静的エネルギー(moist static energy)を空気の定圧比熱で割った値(h/C_p)の、500hPaにおけるものから925hPaにおけるものを減じた差で示した。 h/C_p は相当温位にほぼ対応するので、客観解析データに基づくものに関しては、計算の簡便さから相当温位の代わりに h/C_p を評価した。また、毎日09JSTの鹿児島における相当温位 θe の、500hPaでの値から925hPaの値を引いた差 $\theta e(500-925)$ の時系列を第15図に示す。更に、2008年の鹿児島における925hPaでの比湿や相当温位、及び $\theta e(500-925)$ の月平均値の季節経過を第6表に示す。

鹿児島では、前述のような下層南風の強まりや比湿、相当温位の日々の増大も時々見られるものの、4月頃にはまだ、約25°N以北における季節平均場での湿潤対流に対する安定度はかなり良い(第14, 15図, 第6表)。

例えば鹿児島では、4月にはまだ、500hPaと925hPaとの相当温位差が15K程度もあり、かなり安定度が高い。第14図の2K/100hPaという値は、500hPaと925hPaとの相当温位差が $2 \times 4.25 = 8.5K$ もあることに対応する。従って4月頃には、500hPaと925hPaとの



第14図 湿潤静的エネルギー(moist static energy)を空気の定圧比熱で割った値(h/C_p)の、500hPaと925hPaとの差でみた安定度の、130°Eに沿った時間緯度断面図(K/100hPa)。2008年について、15日移動平均値で示す。なお、 h/C_p は相当温位に対応する。等値線は2K/100hPa間隔(2.5°×2.5°の空間解像度では、負値は殆ど0~2K/100hPaの範囲の値だったので、負値を表す-2K/100以下の等値線は殆どない)。横軸の目盛りと月名は、当該月の初日の位置を示す。

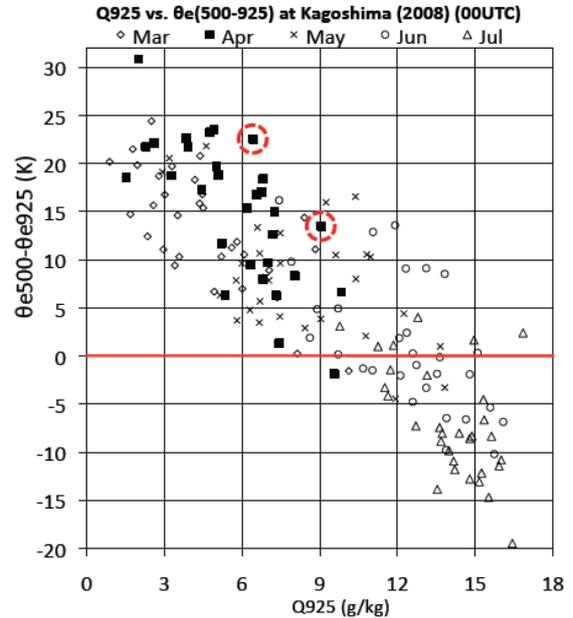
相当温位差が+10K 程度かそれ以上の安定度の良い領域が、25°N 以北に広範囲に広がっていることになる。鹿児島での安定度の日々の変動も大きい、成層がほぼ中立あるいは不安定となる状況（例えば、 $\theta_e(500-925)$ が数 K 以下となる状況）の頻度は、4 月頃にはまだ大変低い。

第 16 図は、第 12 図と同様に、鹿児島での日々の 925hPa での比湿 Q925 と相当温位差 $\theta_e(500-925)$ との関係を表す散布図である。図中に破線の丸印をつけた鹿児島での大雨日の事例では (No. 18, 19. いずれも「低気圧通過(1)」)、いずれも 21JST の方が強雨の時間帯には近かったが、09JST のデータに基づく図でも（これらの事例では、強雨の時間帯の半日少々前）、V925 の増大に伴って、4 月の中では Q925 や θ_e925 がかなり増大していた（第 12 図、第 13 図）。しかし、まだその時間帯の安定度はかなり良かった（第 16 図）。

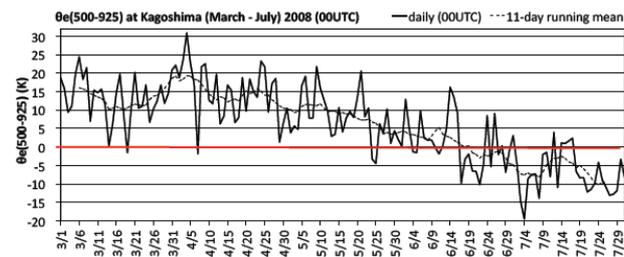
但し、それらの事例における鹿児島での温位、相当温位、飽和相当温位の鉛直分布によれば（第 17 図）、2 つの事例とも、09JST では下層の相当温位が上層よりもかなり低い、大変安定な成層であった。しかし、強雨のピークに近い時間帯では（いずれも 21JST）、少なくとも地上近くから 500hPa か 400hPa 面までは、ほぼ飽和して中立に近い状態になっていたものと考えられる（事例 No. 18 では最下層は安定であるが）。

つまり、実際に激しい降水が起きている時間帯付近は、背の高い対流が生じた結果、中立に近い成層が

見られる（梅雨最盛期に比べると、中立な成層の及ぶ高度は少し低いようであるが）。以上のように、4 月頃には、南から暖湿な空気が流入を始めても、必ずしも容易に不安定な状態には移行せず、種々の条件が



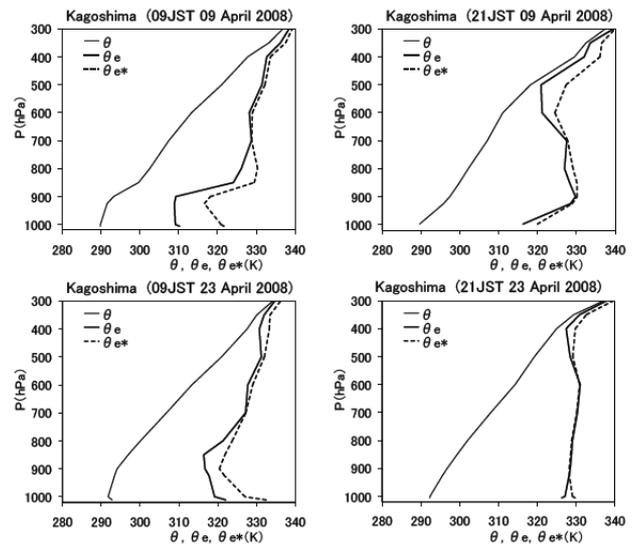
第 16 図 第 12 図と同様。但し、鹿児島の 925hPa での比湿 Q925 (gkg^{-1}) と、500hPa から 925hPa を引いた相当温位差 $\theta_e(500-925)$ (K) との関係を示す。



第 15 図 第 11 図と同様。但し、鹿児島における相当温位の 500hPa での値から 925hPa の値を引いた差 $\theta_e(500-925)$ (K)。

第 6 表 2008 年 3 月～7 月の鹿児島における月平均の 925hPa での比湿 Q925 (gkg^{-1})、相当温位 θ_e925 (K)、及び、500hPa と 925hPa との相当温位の差 $\theta_e(500-925)$ (K)。毎日の 09JST (00UTC) のデータに基づく。

	Q925 (g/kg)	θ_e925 (K)	$\theta_e500 - \theta_e925$ (K)
March	4.6	298.8	13.3
April	5.8	306.0	15.2
May	8.1	317.3	8.2
June	12.4	331.9	1.1
July	14.0	341.0	-6.9



第 17 図 鹿児島の高層気象観測データ（気象庁）に基づく温位 θ （細い実線）、相当温位 θ_e （太い実線）、飽和相当温位 θ_{e^*} （太い破線）の鉛直分布 (K)。上段が事例 No. 18 (2008 年 4 月 9 日)、下段が No. 19 (2008 年 4 月 23 日) で、09JST を左、21JST を右に示す。これら 2 つの事例では、いずれも 21JST が強雨の時間帯に近かった。事例 No. 19 における 1 時間降水量の時系列については第 4 図(a)を参照。

整って初めて、背の高い対流に伴う強雨が数時間程度ではあるが生じ得るようである。

5.2 考察と今後の展望

4月頃には、平均場の下層の気温も比湿も日本列島付近ではまだ十分には高くなく、かなり安定な状況にあるので、基本的に梅雨最盛期の西日本で頻繁に生じるような激しい対流に伴う強雨は生じにくい。だからこそ、そのような季節でも強雨が起きるためには、一時的にでも、南風強風域が九州の遙か南方まで広く伸び、その空気が持つ多量の水蒸気が九州付近まで侵入出来るような独特な「仕掛け」が必要と考えられる。その仕掛けに関連して、鹿児島での4月の大雨日として最も事例数が多かったのが「低気圧通過(1)」のパターンであった点は興味深い。

4月には、平均場として九州から更に南方の緯度帯での傾圧性がまだ比較的強い(第8図, 第10図)。従って、低気圧が九州付近へ接近・東進する際には、かなり南方まで擾乱の振幅の大きい領域が広がりうる。このことが、上述の「仕掛け」をもたらす重要な季節的因子の一つであると考えられる。但し、鹿児島の日々の高層観測データに基づく議論でも分かるように、このような状況下でも、必ずしも不安定な状況を生じて強雨をもたらすとは限らない。それは更にもどのような条件が加わったからなのかについては、今後の更なる研究が必要と考える。

また、「低気圧通過(2)」では、九州南方での下層南風は「低気圧通過(1)」の状況ほど強くはないが(ある程度の高比湿域は九州まで伸びている)、他のどのような因子が加わったためなのか、また、「前線停滞」のパターンでの広範囲での南風がどのように維持されているのか等も、今後に残された検討課題である。

ところで、第III章で触れたように、4月頃の大雨日の出現やそれによる総降水量の大きな増加は、南寄りの風が吹く際の山の風上側にあたる地域を除き、九州南部を中心に明瞭であった。第8図(b)に示した4月のQ925の平均場によれば、 $Q925=6\text{gkg}^{-1}$ の値の等値線は九州側よりも関東側がより北偏しているが、より大きな値の $Q925=11\text{gkg}^{-1}$ の等値線は、大陸側の方が東日本側南方よりも500km程度北側にある。従って、南方の高比湿域の空気を日本列島付近へ北上させるためには、南風領域が、東日本側ほど日本列島からより南方まで伸びるシステムが必要となる。従って、より大陸に近い九州の方が、低気圧通過時により高い比湿を持つ空気が流入しやすくなり得るのかも知れない。

Tian and Yasunari (1998)は、2月末～4月末頃まで華中～華南で現れる、「春雨」と呼ばれる雨季(5月頃からの華南の梅雨に先行して)に関わる広域大気過程について解析した。春雨に入る頃に、インドシナ半島付近の地面加熱に伴う下層の昇温と熱的低気圧が

形成される。それに対応するインドシナ半島北東部～華南中部で下層の南西風の強化による水蒸気フラックスの増加に伴い、華南～華中の降水量が季節的に増加することを明らかにした(Hirasawa et al., (1995)が指摘したインドシナ半島を中心とする雨季の開始よりも更に前の季節)。従って、本研究の第8図(b)で指摘したような、九州より南方の緯度帯での平均場で水蒸気量が大陸側で多いのは、Tian and Yasunari (1998)が述べたような「春雨」の形成に関連した過程も反映しているように考えられる。今後は、このような冬から春にかけての広域の季節進行の影響に関しても、更なる検討が必要と考える。

VI. まとめ

4月頃の九州南部では、「大雨日」(日降水量50mm以上の日)の寄与の増加を反映して、月降水量も季節的に比較的多くなる(梅雨最盛期よりは、かなり小さいが)。そこで本研究では、南九州の鹿児島を例に、1990年～2009年4月における日降水量データから大雨日を抽出し、時間降水量に基づく大雨日の降水の特徴を解析した。更に、NCEP/NCAR再解析データや鹿児島の高層観測データにより、総観場の特徴や季節進行の中での位置づけについて解析を行った。主な結果は次の通りである。

(1) 南九州の鹿児島では、4月頃の降水量は梅雨最盛期に比べるとまだかなり少ないが、「大雨日」の寄与の大きさを反映して東京の梅雨期と同程度にまで達していた。

(2) 鹿児島での「大雨日」が、1990～2009年の4月の期間に全部で21事例あった。そのうち、九州付近を低気圧が通過しその前面の下層南風が比較的強いパターン(「低気圧通過(1)」)が9事例、低気圧が通過しているが前面の下層南風はあまり強くないパターン(「低気圧通過(2)」)が5事例、前線が東西に停滞するパターン(「前線停滞」)が7事例あった。つまり、全体として、低気圧が九州に接近・通過するパターンが多かったことになる。それらの事例では、恐らく対流性で10mm/hを超える強雨が数時間程度みられ、その強雨の時間帯の総降水量は、全大雨日で平均した日降水量82mmのうちの38mm(46%)を占めていた。

(3) 4月の平均場で下層の比湿が大変大きな領域の北縁は、九州から約700km南方の約24°Nであったが、3つのパターンの大雨日に共通して、九州南部～その西方海上では、月平均場よりも下層の比湿がかなり大きくなっていった。平均場の傾圧性が強い緯度帯が24°N以南まで広がり、「低気圧通過(1)」のパターンのように、低気圧に伴う下層南風の強い領域がより南方に伸びるのに好都合な基本場であったことが分かる。「低気圧通過(2)」のパターンでは、東シ

ナ海北部～黄海付近に中心を持つ、対流圏中層の深いトラフの前面に位置していたことも注目される。なお、「前線停滞」のパターンにおいても、前線への下層南風の一時的強化をもたらす気圧配置に伴い、下層の高比湿域が九州～西方海上に侵入していた点が注目される。

(4) 4月頃の九州付近での下層の水蒸気量や相当温位は平均的にはまだ小さいが、下層南風の侵入に伴って増大するという日々の大きな変動を伴っていた。また、平均的には、4月頃の湿潤対流に対する安定度は大変良い。従って、上述のような下層南風の侵入に伴う下層の相当温位の増大などがあって初めて、深い湿潤対流が生じうるといった季節的背景があった。しかも、平均場の水蒸気量が大変多い南方の領域まで、そのような下層南風が伸びるような低気圧が九州に東進出来るのは、4月頃には日本列島付近で平均場の傾圧性の強い領域が南方まで伸びていることも、重要な因子であることが分かった。

但し、鹿児島での4月の大雨日の中には、「低気圧通過(2)」のような、低気圧前面での下層南風領域の南方への広がりにはあまり顕著でない事例、「前線停滞」のように傾圧不安定波的な擾乱とは別の状況で生じた事例も少なからずあった。これらのパターンも、4月の日本列島付近で見られる平均場の特徴のある側面を反映している可能性も指摘したが、具体的な検討は今後の課題である。

謝辞

本研究は、科研費(基盤研究(B))「日本付近の気候系の広域季節サイクルの中でみた日々の降水コントラストと年々の変動」(平成21～23年度、研究代表者:加藤内蔵進、課題番号:21300336)の補助により森塚望が研究協力者として行った卒業研究を踏み台として、科研費(基盤研究(S))「過去120年間におけるアジアモンスーン変動の解明」(H26～30年度、代表者:松本淳、課題番号:26220202)の補助により、更に研究を進展させた成果である。

引用文献

Akaeda, K., K. Ninomiya and T. Takeda, 1987: Case study of a long-lived cloud cluster. *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 129-144.
 Hirasawa, N., K. Kato and T. Takeda, 1995: Abrupt change in characteristics of the cloud zone in the subtropical East Asia around the middle of May. *J. Meteor. Soc. Japan*, 73, 221-239.
 Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, Roy Jenne, and Dennis Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

加藤晴子・加藤内蔵進, 2014a: 多彩な気候環境と音楽表現に関する大学での学際的授業の取り組み —「雨」の多様性を例に—. 岐阜聖徳学園大学紀要, 53, 55-67.
 加藤晴子・加藤内蔵進, 2014b: 『気候と音楽—日本やドイツの春と歌—』。協同出版, 全168頁。
 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: Air mass 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, 1989: 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 (No. 8), 462-467.
 Kato, K., 1989: 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, 2007: 岡山と高知の日降水量差の季節進行の気候学的特性—瀬戸内型気候と降水に関連して—. 地域地理研究, 12, 1-16.
 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.
 Kato, K. and Y. Kodama, 1992: Formation of the quasi-stationary Baiu front to the south of the Japan Islands in early May of 1979. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70, 631-647.
 Kodama, Y. and T. Asai, 1988: Large-scale cloud distributions and their seasonal variations as derived from GMS-IR observations. *J. Meteor. Soc. Japan*, 66, 87-101.
 松本健吾・加藤内蔵進・大谷和男, 2013: 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)。岡山大学地球科学研究報告, 20, 25-34.
 松本健吾・加藤内蔵進・大谷和男, 2014: 東日本の盛夏期における大雨日の降水の特徴と大気場に関する気候学的解析。岡山大学地球科学研究報告, 21, 33-43.
 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.
 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.
 大和田道雄, 1994: 伊勢湾岸の大気環境。名古屋大学出版会, pp. 219.
 Tian, S. F. and T. Yasunari, 1998: Climatological aspects and mechanism of Spring Persistent Rains over Central China. *J. Meteor. Soc. Japan*, 76, 57-71.
 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.