

## 第4章 降水システムの分類\*

ここでは、1987年の沖縄地方における梅雨期間中の降水の日日変化、発生した降水システムの種類、降水システムに伴う成層状態の変化について述べる。

### 4.1 降水システムの分類

表4.1は期間中、那覇（沖縄気象台）、宮古島（宮古島地方気象台）、石垣島（石垣島地方気象台）における日降水量と、降水がどのような現象によってもたらされたのかを表している。現象の特定には気象庁発行地上天気図と沖縄気象台作製のレーダー合成図を使用した。レーダー合成図の占める範囲はおおよそ北緯22~29°、東経122~131°の面積 $3.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ の領域である。3地点での期間中の総降水量はそれぞれ701, 425, 613 mmであり、それらの総量（以後、これを「期間全降水量」と呼ぶ）は1,739 mmであった。

期間中、沖縄地方には合計8回の前線の通過または停滞があった。寒冷前線の通過は5月13, 17, 23, 27日、6月2, 9日の6回であり、停滞前線による降雨は5月28~30日、6月17~18日、6月20~24日の3回である。これらの前線によってもたらされた総降水量は那覇において501 mm、宮古島において341 mm、石垣島において388 mmであり、これらは各地点での期間中の総降水量のそれぞれ71%, 80%, 63%であった。また、これらの総降水量1,230 mmは期間全降水量に対して71%を占めた。

ただし今回行った現象の分類では、前線にともなう降水システムは広義に解釈されている。すなわちレーダー合成図で見ると、前線帯付近では地上における気温の急変と風向の変化で定義される前線上またはそのすぐ後面（北側）に位置する降水システム（前線本体）と、前線の前方（南側）のいわゆる「暖域」に発生する降水システムに分けられる。後者は必ずしも前線のすぐ近傍にあるとは限らないが、形成や維持において、前線の影響を受けていると考えられている。Nozumi and Arakawa (1968) が種子島レーダーのデータを用いて報告した低気圧の暖域内に観測される prefrontal rainband はその1例である。今回はこの両者をまとめて「前線系降水システム」と分類した。

一方、梅雨前線が沖縄地方付近に存在しないような総観場においても降水が観測された。これらの降水は、

- ① 水平規模が数10 km以下の小規模な対流雲が孤立して存在するもの（Cu），
- ② ①のCuがある領域に散在するもの（Cu群），

\* 担当：石原正仁・田畑 明

表4.1 1987年の沖縄地方の梅雨期間における那覇、宮古島、石垣島での日降水量と、降水をもたらした現象。

日付	那 覇		宮 古 島		石 垣 島	
	R (mm)	現 象	R (mm)	現 象	R (mm)	現 象
May 13	11	cold front	10	cold front		
14	1	Cu	3	Cu	2	Cu
15	32	Cu群				
16						
17	55	cold front	6	cold front	15	cold front
18	38	St front	32	St front	14	St front
19						
20	16	Cu群	3	cluster (2)	63	cluster (2)
21	51	squall cluster (4)	27	squall cluster (4)	19	squall cluster (4)
22	22	Cu群	3	Cu群	3	Cu群
23	24	cold front	11	cold front	52	cold front
24					21	cluster
25			2	cluster (7)		
26			5	Cu	2	cluster (9,10)
27	2	cold front			32	cold front
28	1	cold front	8	cold front	1	cold front
29			6	St front	49	St front
30	21	St front	8	St front		
31						
June 1	1	Cu	1	Cu群		
2	52	cold front	59	cold front	16	cold front
3	6	cold front			22	cluster (11)
4					5	cluster (12)
5	13	squall cluster (13)	30	cluster (14)	22	cluster (14)
6	54	cluster (18)	10	Cu群	4	cluster (17)
7					30	cluster (19,20)
8	2	cold front	39	cold front	32	cold front
9	4	cold front	23	cold front		
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17	49	St front	36	St front	1	St front
18	5	熱帯低気圧	40	熱帯低気圧	116	熱帯低気圧
19					62	熱帯低気圧
20	5	St front	4	St front		
21	160	St front	7	St front	30	St front
22	5	St front	19	St front		
23	33	St front	27	St front		
24	38	St front	6	St front		
25						
26						

③ 水平規模が数10 km～数100 kmに組織化された中規模降水システム (cluster), の3種類の降水システムによってもたらされた。これらをまとめて「非前線系降水システム」と呼ぶことにする。これらはおもに梅雨前線から遠く離れているか、太平洋高気圧の南西～西の縁辺の温度や気圧の水平傾度が比較的一様な場 (傾圧性の小さな場) において発生する。したがって総観天気図上にはこの種の降水システムは表現されない。

非前線系降水システムがもたらした那覇、宮古島、石垣島での総降水量はそれぞれ200 mm, 84 mm, 225 mmであり、この総降水量509 mmは期間全降水量の29%を占めていた。内訳は、①と②は1回に1 mm～32 mmの降水をもたらし、これらによる期間中の総降水量は那覇では50 mm, 宮古島では7 mm, 石垣島では5 mmであった。したがって①と②による総降水量62 mmは期間全降水量の4%であった。一方、③は1回に2 mm～63 mmの降水量をもたらし、これによる総降水量は那覇で150 mm, 宮古島で77 mm, 石垣島で220 mmであった。したがって③による総降水量447 mmは期間全降水量の26%を占めた。図4.1は前線系と非前線系降水システムがもたらした総降水量のまとめである。

前線系降水システムについては、比較的高緯度に位置する英国 (Browning and Harrold, 1970) や米国北西沿岸 (Houze and Hobbs, 1982) において多くの観測と解析が行われ概念的なモデルが作られている。しかし、沖縄地方が亜熱帯に位置するという気候的要因と降水システムが海洋上に発生・発達するという地形的要因が作用して、この前線系降水システムは英国や米国のものとは異なった形態や構造を持っている可能性が十分にあり、その場合には新しい概念モデルの導入が必要となるだろう。さらに九州地方で見られる前線系降水システムと比較しても、成層状態の差異や地形の有無を考慮すると、両者の間には相違点があるかも知れない。第5章では前線系

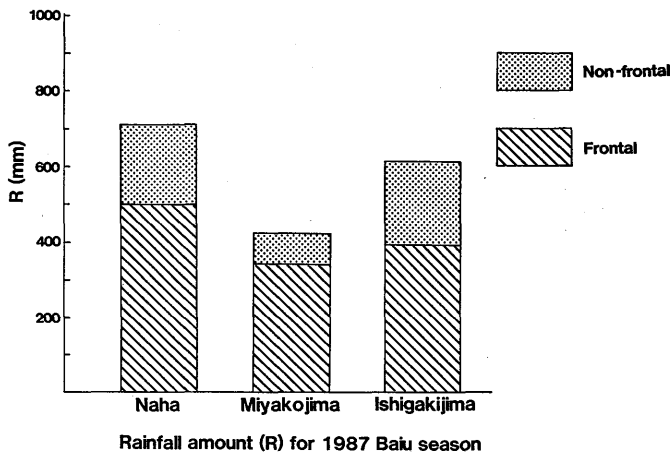


図4.1 1987年の沖縄地方の梅雨期間における那覇、宮古島、石垣島での前線系と非前線系降水システムによる総降水量の比較。

降水システムについて考察する。

梅雨期間の降水について考えているのであるから、期間中の総降水量に対する寄与率が前線系降水システムにおいて最も高いのは当然としても、非前線系降水システムの中でも特に中規模降水システムの寄与率が約26%であることは次の3つの点から注目される。

- ・同じ梅雨期であっても九州や本州ではこの種の降水システムが観測されたという報告が少ないこと。
- ・この種の降水システムがまとまった降水量をもたらすにもかかわらずその実態がほとんど明らかにされていないこと。
- ・この種のシステムが比較的一様な傾圧性の小さい大気の中場で発生・発達するので、発生・発達予測が困難であること。

この非前線系降水システムについて第6章以降で詳しく議論する。

#### 4.2 成層状態の時間変化

図4.2は1987年の梅雨期間中の那覇における、(a)日降水量( $R$ )、(b)気象庁全球客観解析データから求めた850 mbでの温度傾度( $\nabla T_{850}$ )、(c)対流有効ポテンシャルエネルギー (convective available potential energy 略して  $CAPE$ )、(d)相当温位 ( $\theta_e$ ) の鉛直分布、(e)気温の梅雨期間中の平均値からの偏差 ( $T'$ )、(f)風の東西成分 ( $u$ )、(g)風速、の時間変化である。さらに各降水システムの通過時刻が記入されている。

$CAPE$  は上昇する気塊が周囲の場から得る浮力の総量であり、場が持っている熱的不安定度を表現する示標である。Weisman and Klemp (1982) によると、

$$CAPE = -R_d \int_{p_2}^{p_1} (T_p - T_e) d(\ln p) \quad (1)$$

である。このとき  $p_1, p_2$  はそれぞれ自由対流高度と正の浮力がゼロとなる高度の気圧、 $T_p$  は地上の気塊が持ち上げ凝結高度から湿潤断熱的に上昇したときの温度、 $T_e$  は周囲の気温、 $R_d$  は乾燥空気の気体定数である。 $CAPE$  のすべてが鉛直方向の運動エネルギーに転換され周囲からのエントレインメント、雨滴の loading や蒸発がないとすると  $p_2$  での上昇流  $w$  は

$$w = [2(CAPE)]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

で与えられる。

4.1節で述べたように沖縄地方の1987年梅雨期の総降水量の29%が非前線系システムによってもたらされた。非前線系降水システムは3つの期間に集中して発生し、それらを cluster period I (5/20~5/22)、同II (5/24~5/26)、同III (6/3~6/7) と呼ぶことにする。

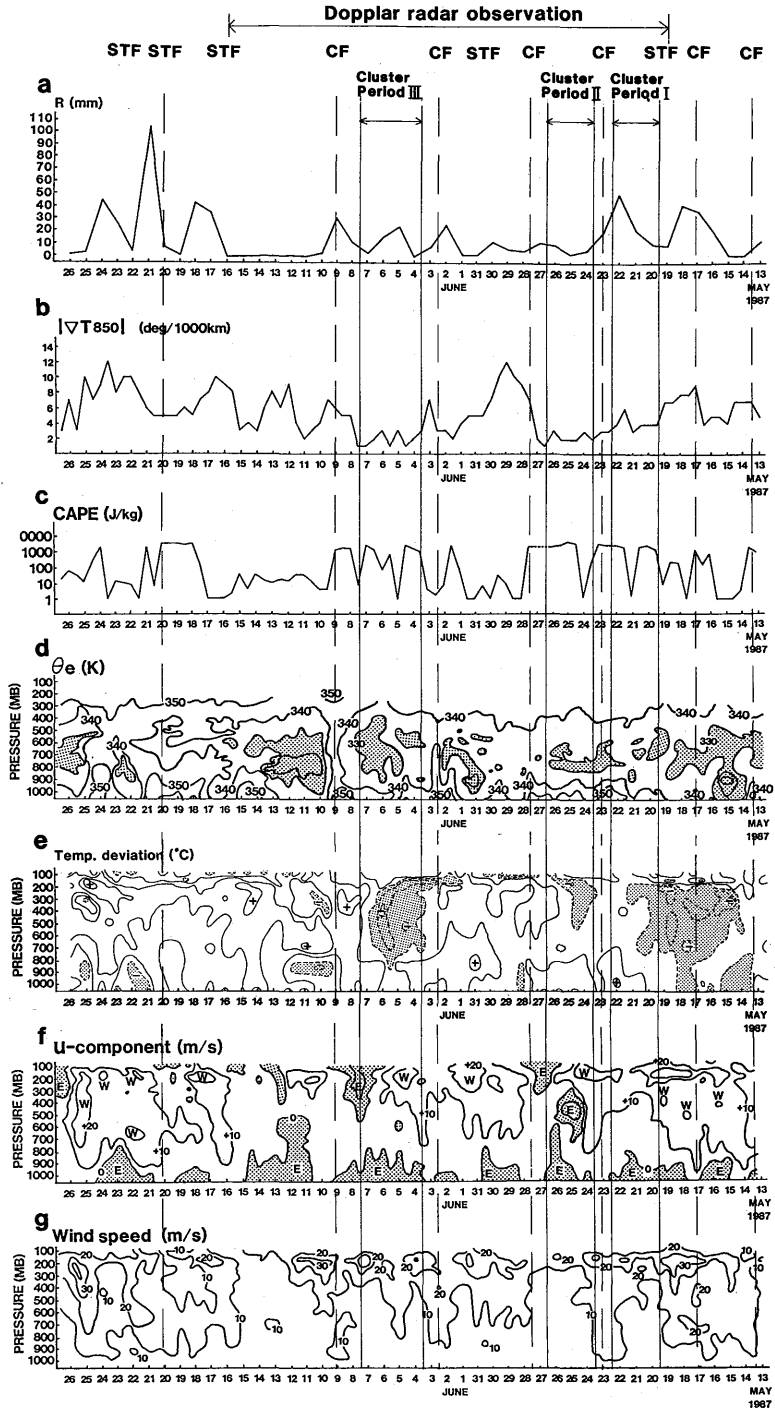


図4.2 1987年の沖縄地方の梅雨期間における那覇での降水量 ( $R$ ), 850mb温度傾度 ( $|\nabla T_{850}|$ ), 対流有効ポテンシャルエネルギー ( $CAPE$ ), 相当温位 ( $\theta_e$ ), 梅雨期間中の平均気温からの偏差, 風の東西成分 ( $u$ -component), 風速 (Wind speed), の時間変化。

図4.2bの  $\nabla T_{850}$  は、cluster periodと前線通過時に特徴的变化を示す。前線通過前後には  $\nabla T_{850}$  は一般に大きくなり6~12deg/1,000kmの値となり前線接近に伴う傾圧性の増加を示している。ところが3つの cluster period ではこの値は小さく1~5 deg/1,000 kmである。これから非前線系降水システムは比較的傾圧性の小さい太平洋高気圧の縁辺で発生していることが分かる。

図4.2cの CAPE の変化を見ると、3つの cluster period では CAPE の値はほぼ2,000 J/kg 以上であり、成層不安定度が大きい。5月21日、6月5日には CAPE が減少しているが、これは降水システム通過直後の降水によって不安定が一時的に解消された結果である。一方、前線の通過にも CAPE は大きくなるが、その値は1,000 J/kg 程度で cluster period における値よりも小さい。

一方、 $\theta_e$  の鉛直分布の時間変化(図4.2d)を見ると、前線の通過直前に850~900 mbより下で  $\theta_e$  が増加し  $\theta_e > 350K$  になることが多く、これはモンスーン気団の侵入によるものである。中層の  $\theta_e$  に変化はなく下層の  $\theta_e$  の増加によって成層の不安定化が起きている。前線通過後下層の  $\theta_e$  は減少し、前線通過による気団の交替があったことを示している。前線の通過直後には  $\theta_e$  の鉛直傾度が小さくなる傾向があり、5月27日、6月2日、6月9日においてこれが顕著である。これは前線に伴う対流による対流圏中下層の鉛直混合の結果であろう。

cluster period には中規模降水システムが特によく発達する。この期間には最下層の  $\theta_e$  の増大は明瞭ではなく成層の不安定化は中層の  $\theta_e$  が低下することによって起こっている。 $T'$ (図4.2e)の分布から cluster period には中~上層に寒気域が現れることが分かる。cluster period I ではそれ以前の5月17日の寒冷前線の通過とともに現れた中上層の寒気がその通過後も上空に残っていた。cluster period II では500 mbより上空に  $T' \sim -2^\circ C$  の比較的規模の小さい寒気が見える。cluster period III は非前線系降水システムに関する対流活動がこの梅雨期間中最も活発な期間である。この期間東風をとまなう寒気が700 mb~400 mbに現れ、6月6日の400 mbには  $T' = -6^\circ C$  の期間中最低の低温域が出現した。この寒気は6月3日に朝鮮半島北部付近にあったトラフから切り離された寒気渦に源を発している。この寒気渦は正の渦度を伴って沖縄地方付近まで移流し、6月4~8日に沖縄地方上空にとどまりこの期間の成層の不安定化に大きく寄与した。cluster period 期間中の大きな CAPE の値の出現はこのような中下層の不安定化に対応している。

非前線系降水システムの通過時には、前線の通過時に見られたような明瞭な鉛直混合( $\theta_e$  の鉛直方向の均一化で表される)は現れない。この種の降水システムは均一な気団の中で発生・消滅し、システムの通過が周囲の場に大きな変化を与えないこと、システムの水平規模が比較的小さく対流による鉛直混合があっても12時間間隔の高層観測ではそれらが見落とされやすいことの2点その原因としてあげられる。

6月18, 19日には熱帯低気圧が東シナ海にあり, これを取り巻く下層の南西風によってモンスーン気団が沖縄地方の下層に侵入し, 梅雨期間中最高の  $\theta_e \sim 360\text{K}$  の値が現れた。

このように梅雨期間中の沖縄地方では梅雨前線が支配的な期間と, 太平洋高気圧におおわれて非前線系降水システムが発生する期間では総観場の成層状態には特徴的な差異があることが分かった。

### 参 考 文 献

- Browning, K. A. and T. W. Harrold, 1970: Air motion and precipitation growth at a cold front. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **96**, 369-389.
- Houze, R. A. Jr. and P. V. Hobbs, 1982: Organization and structure of precipitating cloud systems. *Advances in Geophysics*, **24**, 225-305.
- Nozumi, Y. and H. Arakawa, 1968: Prefrontal rain bands located in the warm sector of subtropical cyclones over the ocean. *J. Meteor. Soc. Japan*, **73**, 487-492.
- Weisman, M. L. and J. B. Klemp, 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 504-520.