

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE NO. 27

**CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION SYSTEMS  
DURING THE BAIU SEASON IN THE OKINAWA AREA**

BY

**TYPHOON RESEARCH DIVISION**

気象研究所技術報告

第 27 号

沖縄地方における  
梅雨期の降水システムの特徴

台風研究部

気 象 研 究 所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

FEBRUARY 1991

# Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. Yasushi Okamura

Forecast Research Division	Head : Mr. Muneharu Kamita
Climate Research Division	Head : Mr. Harushige Koga
Typhoon Research Division	Head : Mr. Shin Ohtsuka
Physical Meteorology Research Division	Head : Dr. Yasushi Okamura
Applied Meteorology Research Division	Head : Dr. Koji Shigehara
Meteorological Satellite and Observation System Research Division	Head : Mr. Akio Kurosaki
Seismology and Volcanology Research Division	Head : Dr. Masaaki Seino
Oceanographical Research Division	Head : Mr. Masatake Kikuchi
Geochemical Research Division	Head : Dr. Yukio Sugimura

1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

## Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Masatake Kikuchi

Editors : Yukio Misumi      Tsugunobu Nagai      Tetsuo Nakazawa  
          Shigeru Chubachi      Junji Sato              Tomohiro Nagai  
          Takashi Yokota      Hiroshi Ishizaki      Hisayuki Yoshikawa

Managing Editors : Yoshitsugu Nagasawa, Yukihiisa Nakajima

The *Technical Reports of the Meteorological Research Institute* has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the Meteorological Research Institute.

The Editing Committee reserves the right of decision on acceptability of manuscripts and is responsible for the final editing.

## 序

梅雨期の降水は台風に伴う降水と共に南西日本の降水の主要な部分を占める。この降水は水資源として重要であるが、一方、浸水、洪水、斜面崩壊などの災害をもたらすことがある。このため、これまでも梅雨前線およびそれに伴う中間規模低気圧の構造を中心に、大規模場の影響、梅雨前線帯の降水の組織化などが調べられてきた。しかしながらこれまでの研究はおもに九州以北の緯度の比較的高いところを対象としていた。このため、亜熱帯の沖縄地方の梅雨期の降水については未知の部分が多く残されていた。また降水系の構造については沖縄地方はもちろん九州以北においてもほとんど未知のまま残されていた。

台風研究部と予報研究部は昭和62年度気象研究所推進調整費により「沖縄における台風と梅雨の観測」を共同で行った。この観測は台風研究部の「台風における対流雲群の構造とその維持機構に関する研究」、「台風に伴う降雨帯に関する研究」、予報研究部の「中小規模降水系の解析的研究」の3研究課題に関連して行われたものである。その目的は「亜熱帯の（台風および梅雨前線に伴う）降水はどのような系に組織化されているか、降水系はどのような構造を持っているのか、他の地域の降水系との差異はどうか」を明らかにすることであった。

1987年5月20日から6月15日の約1ヶ月にわたり沖縄県那覇市において可搬型ドップラーレーダー及びレーウィンゾンデによる観測を行った。この間、台風は沖縄に接近せず台風の観測はできなかった。しかしながら梅雨前線の活動は活発で、梅雨期の降水系に関する多くのデータが得られた。

本報告はこの観測データを中心に静止気象衛星、従来型レーダー、アメダスのデータ、全球モデル用初期値等を解析した結果を取りまとめたものである。以下では、観測の概要、1987年の沖縄地方の梅雨期における大規模場の特徴、降水の特徴と降水システムの分類、前線性及び非前線性の降水系の事例解析および統計的解析についてまとめられている。まだまだ不十分ではあるが、沖縄の梅雨期の降水についての組織的な研究としては初めてのものである。この研究により梅雨期の降水についての理解が深まり、ひいては沖縄地方の気象業務に貢献できれば幸いである。

この研究の実施にあたり沖縄気象台からは全面的な協力を受けた。さらに琉球大学、沖縄開発庁、及び福岡管区気象台から多大な援助を頂いた。心から感謝の意を表する。

平成3年2月

台風研究部長 大塚 伸

# 目 次

序	
要旨 (和文) .....	1
要旨 (英文) .....	3
第1章 はじめに .....	5
第2章 観測とデータ .....	11
第3章 大規模場・総観場の概要 .....	13
3.1 梅雨期の平均的特徴 .....	13
3.2 10日平均場 .....	15
3.3 九州, 本州の梅雨期との比較 .....	15
第4章 降水システムの分類 .....	21
4.1 降水システムの分類 .....	21
4.2 成層状態の時間変化 .....	24
第5章 沖縄地方の梅雨期の寒冷前線に伴う降水系の構造 .....	29
5.1 まえがき .....	29
5.2 解析方法 .....	30
5.3 1987年6月2日の寒冷前線 .....	33
5.3.1 総観場の状況 .....	33
5.3.2 メソ $\alpha$ スケールでの垂直安定度と風の垂直分布 .....	33
5.3.3 クラウドクラスター内の降水, 風, 温度の時間変化 .....	34
5.3.4 エコーの発生・移動と降水系の移動 .....	36
5.3.5 寒冷前線降水系のメソ $\beta$ , $\gamma$ スケール鉛直構造 .....	37
5.3.6 寒冷前線通過時の地上気象要素の変化 .....	40
5.3.7 寒冷前線降水系の模式図 .....	41
5.4 1987年5月23日の寒冷前線 .....	42
5.4.1 総観場の状況 .....	42

5.4.2	メソ $\alpha$ スケールでの垂直安定度と風の垂直分布	43
5.4.3	クラウドクラスター内の降水分布	45
5.4.4	エコーの発生・移動と降水系の移動	46
5.4.5	屈曲点降水系に伴う低気圧性シア	47
5.4.6	屈曲点降水系のメソ $\beta$ , $\gamma$ スケール鉛直構造	49
5.4.7	屈曲点降水系（および寒冷前線降水系）の模式図	56
5.5	考 察	57
5.5.1	寒冷前線通過時の成層の特徴	57
5.5.2	沖縄の梅雨期の寒冷前線降水系	57
5.5.3	かなとこ状エコーの下部で観測される下降流の成因	59
5.6	ま と め	61
	〈付録 5.A〉	62
第 6 章	非前線系降水システムの概要	65
6.1	発生状況	65
6.2	発生環境	65
6.3	形 態	65
6.4	面 積	68
6.5	寿 命	68
6.6	発生場所と移動	69
6.7	他の降水システムとの比較	70
	〈付録 6.1~6.19〉	71
第 7 章	スコールクラスターの内部循環と維持機構	91
7.1	はじめに	91
7.2	スコールクラスターの概要	93
7.2.1	スコールクラスターの生涯	93
7.2.2	総観場とクラスターの周辺の間	96
7.3	スコールクラスターの構造	99
7.3.1	特徴的形態	99
7.3.2	水平構造	102
7.3.3	鉛直構造	105
7.4	議 論	112

7.4.1	鉛直断面内の気流場 .....	112
7.4.2	平均鉛直プロファイル .....	113
7.4.3	スコールクラスターの維持機構 .....	115
7.4.4	他のスコールクラスターとの比較 .....	117
7.5	まとめ .....	120
	〈付録 7.A: 最小二乗法による局所 VAD 法〉 .....	121
	〈付録 7.B: 鉛直面内でのドップラー速度から $u$ , $w$ を求める方法〉 .....	125
第 8 章	発達期から成熟期におけるメソ $\beta$ スケール対流雲群内の循環と 微細構造の時間変化 .....	129
8.1	はじめに .....	129
8.2	一般場の特徴 .....	130
8.3	対流雲群の概観 .....	132
8.4	各ステージの特徴 .....	137
8.4.1	発達期 .....	137
8.4.2	成熟期 .....	141
8.5	ガストフロントの細かい特徴 .....	143
8.6	まとめ .....	145
第 9 章	クラウドクラスターに伴う降水の構造 (1987 年 6 月 5 日沖縄地 方で見られた降水の解析) .....	149
9.1	はじめに .....	149
9.2	解析された降水 .....	149
9.3	解析結果 .....	151
9.4	まとめおよび議論 .....	161

## 要 旨

1987年5月20日から6月15日の25日間、沖縄県那覇市（北緯27°，東経128°）において主に可搬型ドップラーレーダーを用いて降水雲の観測を行った。観測の目的は、

- 1) 亜熱帯海洋上の梅雨前線付近の降水はどのような降水システムに組織化されているのか〈形態〉、
  - 2) それらの降水システムはどのような構造を持っているのか〈構造〉、
  - 3) 他の地域の降水システムとの差異はあるのか〈比較〉、
- を調べることである。

沖縄地方の梅雨は梅雨前線帯の形成初期のステージに属する。この期間、この地方は太平洋高気圧西縁の南～南南西流とインドモンスーン域に源を発する南西流との大規模合流域となる。1987年の梅雨期間（5月13日～6月26日）の前半は熱帯変質気団に、後半はモンスーン気団の勢力圏内にあった。対流圏下層は平均的には条件付不安定の成層であり、本州や九州の梅雨期間の成層と比べ不安定度が大きかった。

1987年のこの地方の梅雨期間の降水を現象別に分類すると約70%の降水が前線にともなってもらされ、30%が前線とは無関係であった。「前線系降水システム」は気団の交替をともなうが「非前線系降水システム」は中層での中緯度からの寒気移流がトリガーとなって太平洋高気圧の圏内で発生した。

寒冷前線に伴う降水システムについては6月2日と5月23日の事例を中心に調べた。その結果南西諸島で暖候期に観測される寒冷前線降水システムではこれまでよく知られている寒候期の強制対流的降水システムとは異なり、(1) 地上近くに相当温位が非常に高い空気が流れ込むため、成層が潜在不安定であり、寒気による持ち上げのある前線付近では自由対流が発生する、(2) 先端付近に自由対流による降水域があり、その前面には厚いかなとこ状の降水域を、後面には幅の広い層状性降水域を伴っている、ことが分かった。また、これまで知られていなかった寒冷前線屈曲点付近の降水システムの構造も明らかになった。そこでは低気圧性シアーの集中があり、その南部には下層の暖気が上昇する対流域があり、北部には南西からの中層暖気が中層から降りてきた寒気の上を上昇する対流域があった。

非前線系の中規模（メソスケール）降水システムはこの地方の梅雨期の降水を特徴づける現象のひとつである。これらは形状と移動によって3つのグループに分類された。すなわち、不定形クラスター、列状クラスター、スコールクラスターである。不定形クラスターは対流性降水域が特定の形に組織化されずシステムは下層風の風向と一致して移動する。列状クラスターはいくつかの線状エコーが列をなすクラスターである。スコールクラスターは対流性降水域が線状に組織

化され、寿命が長く地上付近の風の風上に向かって移動する。これらのクラスターの水平規模は北米の Mesoscale Convective Complex (MCC) より小さく、GATE 期間中に観測された熱帯のクラスターと同程度かそれよりやや大きかった。

期間中、長さ 460 km、寿命 21 時間の大規模なスコールクラスターがドップラーレーダー上空を通過しその微細構造が調べられた。このクラスターは前部層状性領域、対流性領域、遷移領域、後部層状性領域の 4 つの部分から構成されていた。対流性領域は活発な降水セルからの outflow と下層風との収束によって新しいセルが次々と前方に作られ、システムは下層風の風上、下層と中層の風の鉛直シアに直角の方向、に伝播した。遷移領域は下降流が卓越し反射強度が小さかった。後部層状性領域にはごく弱い鉛直流しか存在せず対流性領域の上部から運ばれた降水粒子が層状性降水雲を形成していた。前部層状性領域はこのスコールクラスターに特有な部分であり、上層の anvil からの降水粒子の落下と下層での弱い対流によって維持されていた。

不定形クラスターを構成するメソスケール対流雲群の形成期の循環と微細構造の時間変化を解析した。対流雲群は、形成初期の停滞性のステージ I とその後の移動性のステージ II に分けることができる。ステージ I においては、対流雲群内では対流雲の雲スケールの上昇流、下降流が卓越しているのに対し、ステージ II においてはこのような対流雲スケールの上昇流、下降流に加え、メソスケールの循環が卓越していた。このような内部の循環の変化に伴い、ステージ II においては、地上付近で 25 m/s を越えるガストが形成された。

比較的小規模なスコールクラスターでは弱い降水を長時間もたらず降水雲によって構成されていたが、その中に 10 km 程度のスケールの降水セルを含む構造になっていた。このクラスターには高度 3~4 km 以下では西寄りの風で水蒸気が供給され、その上の 5~6 km には北から乾燥した相当温位の低い大気が侵入し、その境界で対流不安定となっていた。この雲クラスターはこれら性質の異なる大気が高度方向に接することにより形成・維持されていたと考えられる。

## Summary

Doppler radar observation was made in Naha, Okinawa (27°N latitude and 128°E longitude) during the Baiu period, *i.e.* 20 May to 15 June 1987. The objectives of the observation were

- 1) to describe the morphology of convective systems developed over the maritime subtropics during the Baiu period ;
- 2) to understand the structure of these systems ; and
- 3) to compare the structure with that of convective systems occurring in other regions of the world.

The Baiu period of Okinawa is the formative stage of the Baiu (or Mei-Yu in Chinese) front over eastern Asia. Okinawa in the Baiu period is located in a large-scale confluent zone between the south-southwesterly wind at the western edge of the subtropical Pacific high and the southwesterly wind originating in the Indian Monsoon region. The modified tropical airmass was replaced by the Monsoon airmass over Okinawa in the 1987 Baiu period (from 13 May to 26 June 1987). The lower layer of the troposphere was conditionally unstable and the unstable condition was stronger than that of Kyushu and Honshu, Japan, which are located at higher latitudes.

70% of the total rainfall amount during the Okinawa Baiu period was from frontal systems and 30% was not associated with the Baiu front. The frontal convective systems were accompanied by the alternation of the middle-latitude airmass and the subtropical airmass. The nonfrontal mesoscale convective systems occurred within the Pacific high triggered by cold air advection from the mid-latitudes in the middle troposphere.

Two cases of convective systems associated with the Baiu cold fronts are analyzed. The characteristics of these cold frontal systems are 1) the existence of a deep latent unstable layer in the lower troposphere and free convection triggered by cold air, and 2) a leading edge of free convection, an anvil-like precipitation area aloft ahead of the leading edge and a rear stratiform cloud area. The structure of the convective systems around a kink of a cold front is also examined. A cyclonic shear zone was found to exist at the kink. In the southern part of the kink area updrafts originated from low levels. In the northern Part, updrafts started from southwestern middle levels.

Nonfrontal mesoscale convective systems were one of the typical convective systems

characterizing the Okinawa Baiu period. These systems were categorized into three groups based on the structure and the manner of motion: nonsquall cluster, line-type cluster and squall cluster. Non-squall and line-type clusters did not have a distinctively organized convective region and moved in a direction similar to the lower level wind of the troposphere. Squall systems had unique band-shaped convective regions and traveled against the lower level wind. The horizontal dimension of these systems was less than that of the mesoscale convective systems (MCC) of North America and almost the same as that of GATE mesoscale convective systems.

A well-organized squall cluster was observed in the observation period. It had a length of 460 km and a lifetime of 21 hours. The cluster was divided into four parts: forward stratiform region, convective region, transition zone and rear stratiform region. In the convective region, outflow from convective cells converged with the environmental airflow in the lowest level and new cells were successively formed ahead of the old cells. The system traveled against the lower level winds or perpendicular to the shear vector between the middle and lower level winds. The transition zone consisted of relatively intense downdraft and low radar reflectivity. The rear stratiform region made very weak vertical motion and was formed by precipitation particles which originated in the top of the convective region. The forward stratiform region was one of the unique features of this squall cluster. The descending precipitation particles from anvil clouds aloft and weak updrafts in the lower layer produced this region.

The circulation and structure of a nonfrontal squall cluster were examined. The evolution of this system was divided into two stages: Stage I and Stage II. Convective-scale updrafts and downdrafts prevailed and the system was stationary during Stage I. In Stage II, a mesoscale circulation was formed in the system and began to travel. Strong gusts greater than 25 m/s were observed.

The relatively small squall cluster consisted of long-lived cloud with weak precipitation, with convective echo cells embedded in it. Water vapor was supplied to this cluster by the westerly wind below the 3-4 km levels. This potentially warm layer was overlaid by the dry air coming from higher latitudes with low equivalent potential temperature, and a convectively unstable condition was produced. This differential advection of two airmasses played a main role in maintaining the convective system.