

1989年6月の日本周辺の梅雨の雨量分布について

謝 平平・光田 寧

RAINFALL DISTRIBUTION OF BAIU FRONT SURROUNDING JAPANESE ISLANDS DURING JUNE 1989

By *Pingping XIE* and *Yasushi MITSUTA*

Synopsis

The method developed for estimating rainfall over several sample areas over the main islands of Japan from IR imagery data of GMS is extended to estimate rainfall over a wider region including the Japanese islands and their adjacent ocean. In extended method, the proportional coefficients between rainfall and cold cloud fractional coverage, FC are assumed to be linear functions of latitudes and calculated for the 3 types of rainy clouds by using IR and rainfall data of AIP/1. The extended method gives a relatively good estimation of rainfall in applying to the whole AIP/1 data, with relative errors of 73% and 17% for daily and monthly estimation, respectively. Rainfall features of the Baiu season are then investigated through IR estimation for June 1989. The total monthly rainfall for the period is distributed in a band-like shape extending from west to east, showing its maximum on 35°N in the latitudinal section and a sudden decrease to the west of 130°E in the longitudinal section. The latitudinal distributions of rainfall relative to the Baiu front show almost the same shape with their maximum at 1.25° north of the front at the surface over both land and ocean, but the peak amount is larger over the island than that over the ocean.

1. はじめに

日本周辺における梅雨による雨量分布の研究は梅雨前線メカニズムの解明のみならず東アジアにおける水・エネルギー平衡機構の理解にも大変重要であり、今まで日本や中国の研究者などによって広く研究されてきた。しかし、降水データは主にレーダーや雨量計によって観測されているため海洋上のデータが不足し、大陸上や日本列島と比べ海上における梅雨前線による雨量分布がまだよく調べられていない。

1970年代まで降水に関する研究は主に雨量計のデータを用いて行ったものであった。その代表的な一例として Yoshino¹⁾ が上げられるが、彼は中国大陸及び日本列島における雨量計データを解析し梅雨前線による雨量が東西にバンド状に分布していることを示した。しかし、東シナ海においては雨量データが得られなかったため、主観的に等雨量線を引くことにした。その後、気象レーダーの普及が梅雨降水の研究に革命的な変化をもたらした。中でも特に二宮・秋山らのグループがレーダーや雨量計データを衛星の雲写真などほかのデータと併せて使い、梅雨前線降水機構の理解に大きく貢献してきた(二宮・秋山²⁾)。彼らの研究結果は多くの論文に公表されているが次のようにまとめられる；(1)meso- α scale の低気圧が発達しながら前線を東進する；(2)強い降水はこれらの低気圧によってもたらされる；(3)多くの場合、一つの降水システムが幾つかの meso- β scale の降水システムによって構成される。しかし、彼らの研究もまた海洋上のデータが

ないため、陸上における降水を対象を制限され、東シナ海や太平洋上における梅雨前線による降水については研究できなかった。東アジアの広域において東西に広く分布し季節と共に除々に北進する梅雨前線を一つのシステムとして研究するためには海洋上における降水のデータが必要である。

最近、衛星観測技術の発展に伴い、気象衛星データより海洋上を含めた全球における降水を推定できるようになってきた。中でも昼夜とも同じ時間空間分解能で観測できる赤外データが気候スケールにおける降水量の推定に最も適当と思われる、赤外データを用いて対流性雲による降水が主である熱帯域について降水を推定する方法が多く開発されてきた (e.g. Griffith et al.³⁾, Arkin and Ardanuy⁴⁾)。しかし、中緯度地域では対流性雲のほか層状性雲も雨をもたらす一方、雲頂が高く雨の降らない上層雲もあるため雲形を分けて降水を推定する必要がある (謝・光田⁵⁾)。

このため著者らが GMS の赤外データによる雲量推定法と雲形判別法を開発し (謝・光田^{6),7)}、さらに雲形情報を利用した降水推定法を確立した (謝・光田⁸⁾)。しかしこれらの推定法は日本の平野部に位置する気象条件がよく似た5つの地域のデータを用いて開発したものであり、方法を広域の降水の推定に適用するためにはさらに拡張し検証する必要がある。

本論文ではこのように気象条件が似ている地域について開発した推定法を、気象条件が違い、しかもより広い地域における降水を推定できるように拡張し、この拡張した方法を用いて1989年6月日本周辺の降水量を推定し、梅雨期における降水の気候学的特徴について調べる。

2. 降水推定法

GMS 赤外データによる中緯度における降水推定法は謝・光田⁵⁾⁻⁸⁾によって詳述されているが、その概要は次に示す通りである；

- 1) 謝・光田⁵⁾が開発した TTM 手法を用いて推定領域内の T_{BB} 頻度分布から全雲量 CA を推定する。雲量 CA が 0.3 より小さい、0.3 と 0.7 の間にあるケースをそれぞれ快晴 (Type S) と晴れ (Type F) とし、また雲量 CA が 0.7 に等しいかそれより大きいケースを曇とする。
- 2) 曇ケースについて判別解析法を用いて、予め選んだ4つの赤外パラメータから雲形を積雲 (Type A)、積乱雲 (Type B)、中層雲 (Type C) 及び上層雲 (Type D) の何れかに判別する。
- 3) 上述した手法で判別した雲形の中で Type S (快晴)、F (晴れ) と D (上層雲) は雨なしとし、Type A (積雲)、B (積乱雲) 及び C (中層雲) については雨あり、しかもその降水量が領域内冷たい雲の占める割合 FC と正比例すると仮定する。ただし、雲形によって降水機構が違うので FC を定義する数居値温度と降水量・FC 比例係数は雲形別に設定する。日本の平野部に位置する5つの面積約 10^4 km^2 における暖候期18日間のデータを用いて求めた結果3雲形の数居値温度と比例係数が **Table 1** に示す通りとなった。

Table 1. Thresholds and Regression Equations

TYPE	THRESHOLD	REGRESSIONAL EQUATIONS
A	245 K	$E_1 = 2.527 \cdot FC_A$
B	235 K	$E_1 = 2.820 \cdot FC_B$
C	255 K	$E_1 = 1.238 \cdot FC_C$

E_1 : IR estimation of hourly rainfall in mm

FC: cold cloud fractional coverage

3. データ

本研究に用いたデータは全球降水気候計画 (Global Precipitation Climate Project, GPCP) 第一回降水推定法

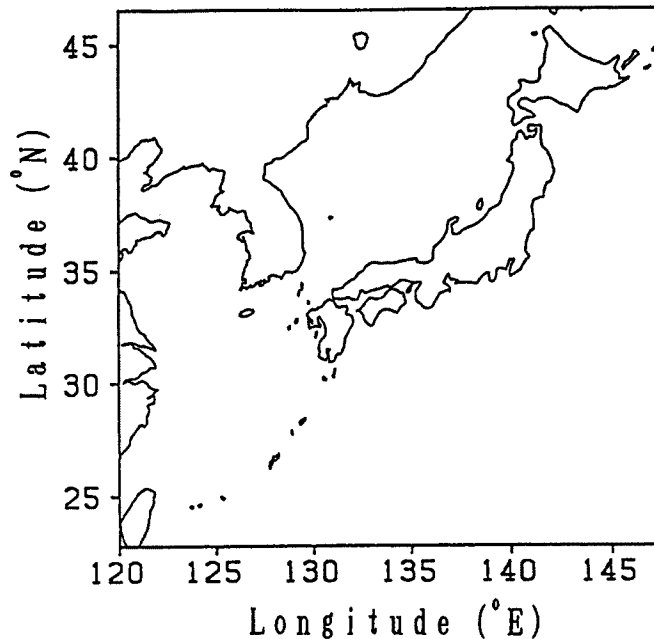


Fig. 1. The investigation area of GPCP-AIP/1.

相互比較計画 (First Algorithm Intercomparison Program, AIP/1) の GMS 赤外画像データとレーダー・AMeDAS 合成雨量データである。GPCP-AIP/1 の調査地域範囲は Fig. 1 に示す通り 120°E-147.5°E; 22.5°N-46.25°N で、調査期間は1989年6月1日から30日までの30日間である。調査期間中に地域における降水は主に梅雨前線と熱帯低気圧によるものである。

ここで改良し適用しようとする降水推定法がもともと日本における面積約 10^4 km^2 の地域について開発されたので、Fig. 1 に示している AIP/1 の全調査地域を 22×19 個の経緯度 1.25 度四方の格子に分け、各格子について降水量を推定し、推定結果を用いて期間中全地域における降水の気候学的特徴を調べることにした。

用いた衛星データは1989年6月1日 00Z から30日 23Z まで一時間毎に観測された GMS 赤外画像データで計720回分である。GMS はもともと約 5 km の分解能で赤外チャンネルで観測しているがここで用いたデータはオリジナル画像データから内挿したもので1ピクセルが経度 0.065 度・緯度 0.05 度となっている。データは 0 から 255 までの数字で示されているがこれはデータ・セット先頭に格納されているキャリブレーション・テーブルを用いて T_{BB} に変換してから使う。雲量を推定し、雲形を判別しそして雨量を推定するために各格子について T_{BB} 頻度分布を作成し、雲形判別に必要な 4 つの赤外パラメータ (謝・光田⁷⁾ Table 2 参照) を計算した。

地上降水量のトルースには期間中日本におけるレーダー・アメダス合成時間雨量計720回分を使用した。地上雨量データももともと 1 ピクセル経度 0.065 度×緯度 0.05 度となっているが、ここでは経緯度 1.25 四方の格子について平均を求め、衛星赤外データによる推定法の拡張及び検証に使った。

4. 降水推定法の拡張

赤外データから降水量を推定するには雲量推定、雲形判別と雨量推定との三つのステップがあるが、この中で地域による気象状況の差に最も敏感で降水推定の精度により大きく影響を与えるのが雲形判別と雨量推定である。そこでまず予備的研究として今回のデータについて雲形を判別し判別結果を日本気象衛星セン

ターが公表した同時の主観解析による雲形とを比較した。その結果全域にわたって平均70%の割合で判別結果が主観雲形と一致した地域によって判別正確率にあまり大きな差がないことが分かった。

雨量推定法の中で使われるパラメーターには **Table 1** に示す通りに数居値温度と比例係数との二つがあるが、予備研究を行った結果、数居値温度は地域によってあまり大きくかわらず、比例係数が系統的に変化していることが分かった。そこで予備研究の結果を踏まえ、雲量推定法、雲形判別法と雨量推定法における数居値温度はもとのままにし地域による比例係数の差を取り入れて降水推定法を広域における降水を推定できるように拡張することにした。

Table 2. Thresholds and Regression Equations Used in the Extended Method

TYPE	THRESHOLD	REGRESSIONAL EQUATIONS
A	245 K	$E_1 = (4.779 - 0.059 \phi) FC_A$
B	235 K	$E_1 = (6.383 - 0.106 \phi) FC_B$
C	255 K	$E_1 = (3.956 - 0.062 \phi) FC_C$

E_1 : IR estimation of hourly rainfall in mm

ϕ : latitude in degree

FC: cold cloud fractional coverage

比例係数は気温、大気的不安定性、水蒸気量など多くの気象要素に左右されているがここでは簡単に緯度の関数とし、今回調査域の中でアメダス観測点が5つ以上存在する格子における赤外データとレーダー・アメダス合成時間雨量データを使って求めた。**Fig. 2a, b** と **c** にそれぞれ雲形 A, B と C の場合について求めた各緯度における比例係数を示しているが、全体的にみて、どの雲形についても比例係数が緯度によって北から南へ線形的に増えている。

以上の結果に基づき、雨をもたらす3雲形とも比例係数を緯度の線形関数とし、**Fig. 2** に示したデータを使って最小自乗法で関数を求めた。**Table 2** にその結果を示しているが Type B (積乱雲) の場合緯度による変化率が0.106で最も大きく、Type A (積雲) と C (中層雲) の倍くらいとなっている。これは3雲形の中で積乱雲による降水が最も緯度による気象状況の変化に敏感であることを反映するものである。

従って、拡張した方法を用いて冷たい雲の割合 FC から降水量を推定する際、**Table 2** に示す線形関数を使って推定地域における比例関数を計算し雨量を推定することになる。

以上述べたように広域における降水を推定できるように方法を拡張したが、拡張した方法を用いて AIP/1 全期間・全域について降水量を推定し、実測雨量が得られる日本列島について推定値をレーダー・アメダス合成雨量と比較して方法を検証した。

Table 3 に1, 3, 6, 12, 24時間及び2, 5, 10, 30日間雨量の推定値と実測値との比較結果を示しているが、時間スケールの増加に伴って両者間の相関係数が増え相対誤差が減っている。日雨量の場合は相関係数が0.59 相対誤差が73%であり、月雨量の場合は相関係数が0.88で相対誤差が17%となっている。これらの精度は **Browning**⁹⁾ が提案した降水データとして気候学的研究に応用できる **useful level** を満たしたものである。

Fig. 3 に日雨量の推定値と実測値との散布図を示すが、赤外による推定雨量が小雨の時は過大評価、大雨の時は過小評価する傾向が見られる。また雨量と FC との間に線形関係を導入したので推定値に明らかに上限があり、推定精度に影響を与えている。時間スケールの増加により推定値と実測との対応がどう変わるかを調べるために **Fig. 4** に月雨量についての散布図を示す。両者の対応は日雨量の場合と比べて大部良くなったが、400 mm/月以上のケースについてやはり過小評価が見られた。

雨量の空間分布も気候学的研究に重要で、推定雨量と実測雨量の分布パターンの一致性も推定方法を評価

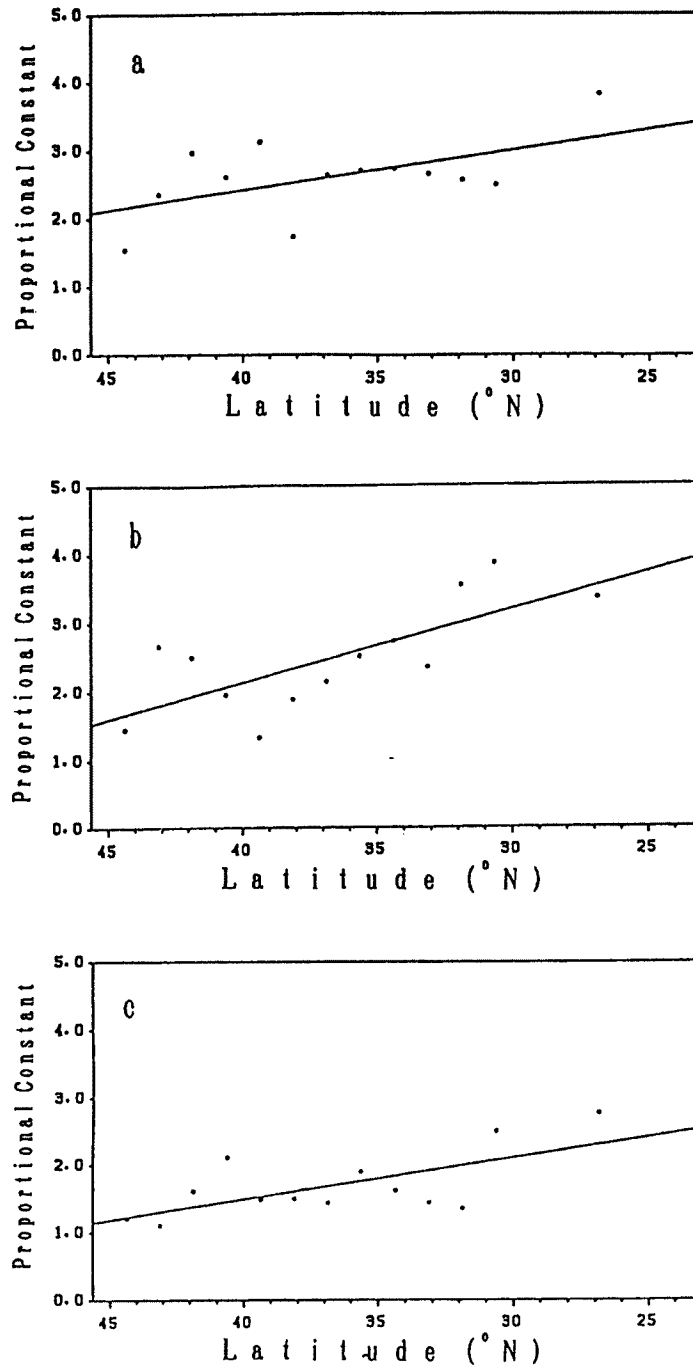


Fig. 2. Proportional constants at various latitudes for the 3 rain types of clouds.

する重要なパラメータである。Fig. 5 に一例として6月15日日雨量の推定値と実測値の空間分布を示しているが、この日も含め全体的に推定値がよく実測雨量のパターンを再現できたが、降水域に中心部では過小に、縁部では過大評価する傾向がある。また、Fig. 6 に1989年月雨量の推定値と実測値との分布パターンを示しているが、推定値が東西に引き延ばす梅雨前線による降雨帯をよく再現できた一方、降雨帯幅が広く中心部における最大値が低く見積もっていることがわかる。

Table 3. Comparison between Radar-AMeDAS Composite Rainfall and IR Estimation of Rainfall

DURATION	OBS.	EST.	RATIO	CORR.	ERROR	R.E.
1 HR	0.4 mm	0.4 mm	0.98	0.41	0.5 mm	107.2%
3 HR	1.3	1.3	0.98	0.45	1.3	98.1
6 HR	2.6	2.6	0.98	0.48	2.4	91.6
12 HR	5.3	5.2	0.98	0.54	4.3	82.0
24 HR	10.3	10.2	0.99	0.59	7.5	73.1
2 DAY	21.3	20.7	0.97	0.61	13.1	61.6
5 DAY	53.2	51.2	0.96	0.74	18.0	33.8
10 DAY	93.1	91.9	0.99	0.81	25.6	27.5
30 DAY	79.4	275.6	0.99	0.88	48.1	17.2

OBS.: mean of radar-AMeDAS composite rainfall

EST.: mean of the IR estimation of rainfall

RATIO: ratio of EST. to OBS.

CORR: Correlation coefficient between the estimation of rainfall and the composite rainfall

Error: mean of the absolute of error of estimation compared to the composite rainfall

R.E.: relative error defined as the ratio of ERROR to OBS.

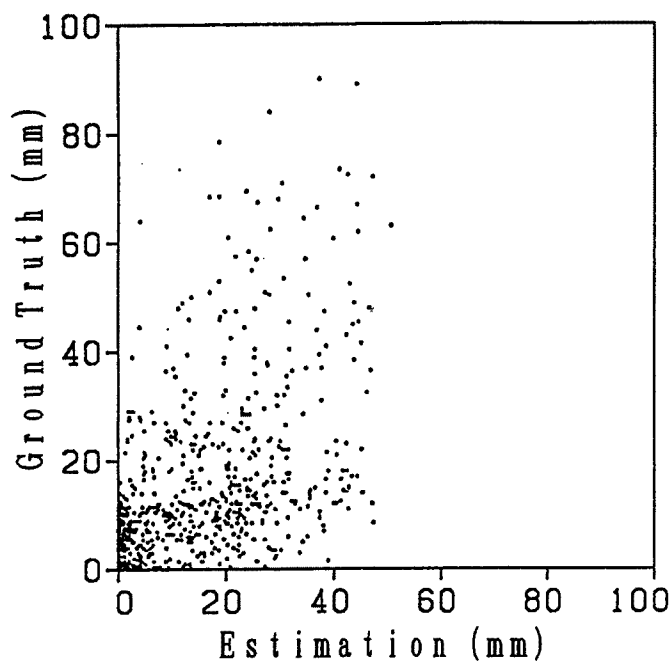


Fig. 3. Scatter of the radar-AMeDAS composite rainfall and IR estimation of rainfall for 24 hours.

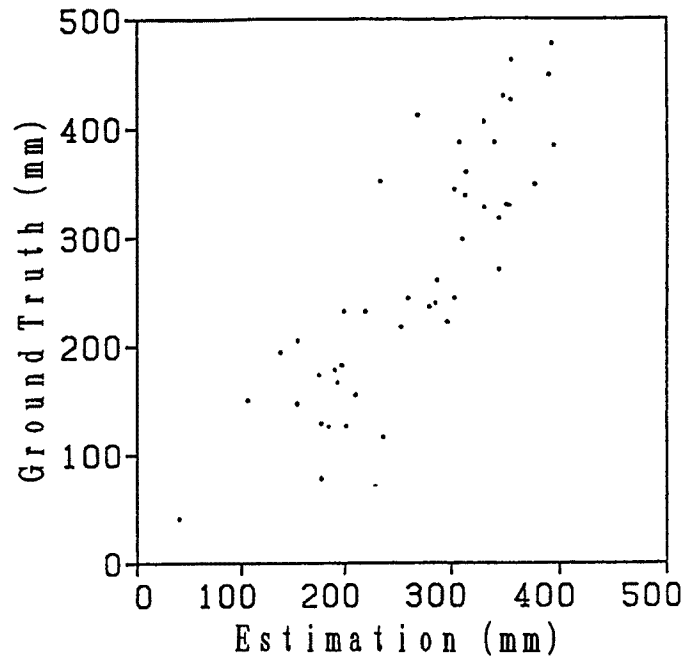


Fig. 4. Same as Fig. 3, for 30 days.

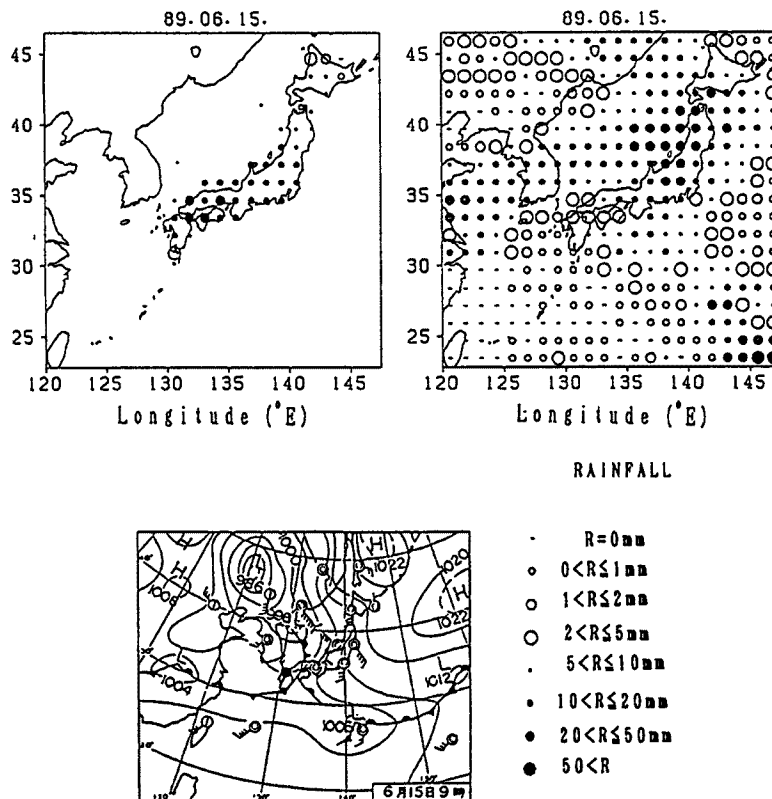


Fig. 5. Distribution of radar-AMeDAS composite rainfall (left), IR estimation of rainfall (middle) and surface weather chart of June 15 over the area of GPCP-AIP/1.

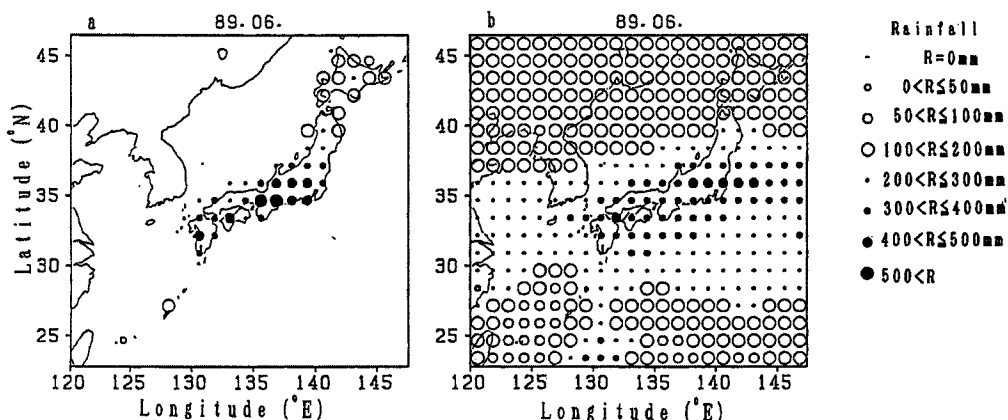


Fig. 6. Distributions of a) radar-AMeDAS composite rainfall and b) IR estimation of rainfall of June 1989 over the investigation area of GPCP-AIP/1.

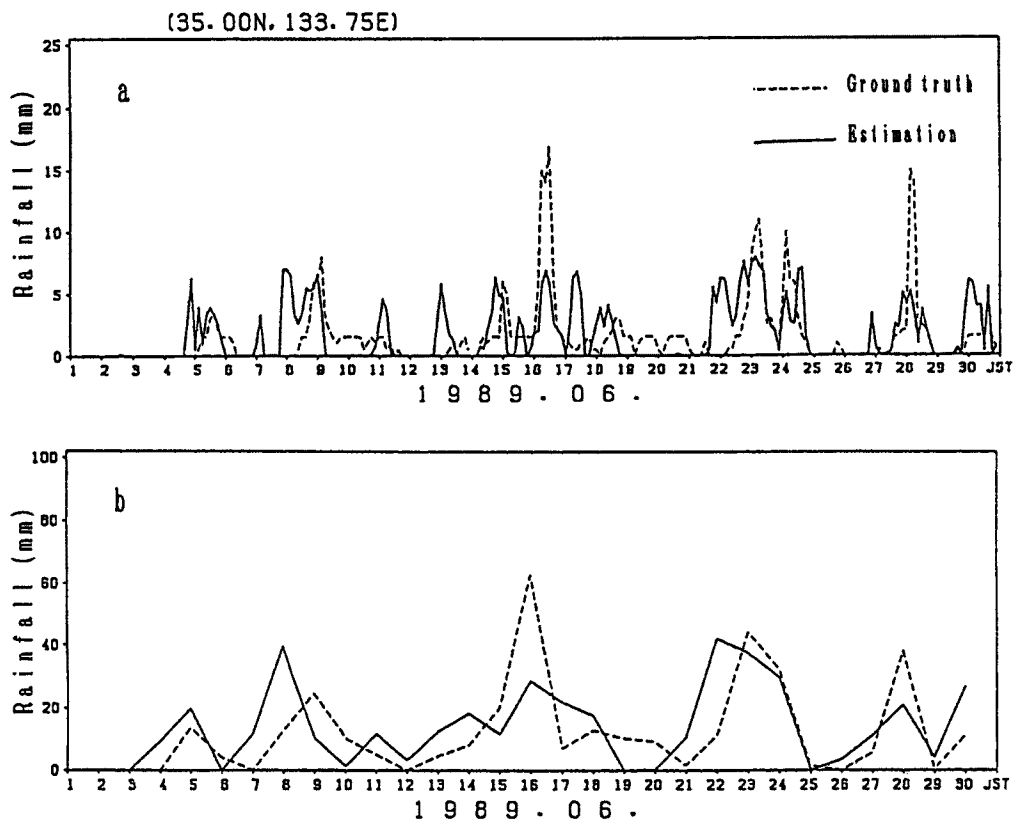


Fig. 7. Time series of radar-AMeDAS composite rainfall (dashed line) and IR estimation of rainfall (thin line) at grid (35.00°–36.25°N; 133.75°–135.00°E) for a) 3 hour and b) 24 hour accumulated data.

降水時間変化についても比較を行った。Fig. 7a, bにそれぞれ3時間と24時間推定雨量(実線)実測雨量(破線)の時系列を示しているが、3時間雨量の場合推定が多くの実測雨量ピークをキャッチしたものの、推定によるピーク値が実測より低くなっている。しかし3時間と24時間雨量時系列を比較して分かるように、雨量の時間変化についてもやはり時間スケールの増加に伴って推定と実測との対応がよくなる。

以上、GMS 赤外データによる降水推定法を広域へ適用できるために比例係数を緯度の関数として修正を行い拡張をして、さらに日本列島において拡張した方法による推定値とレーダー・アメダスによる実測雨量とを量、空間分布及び時間変化について比較し方法を検証した。その結果、拡張した推定法による降水推定値が気候学的研究に有用な精度を有しており、空間分布と時間変化も比較的良好に実測したものと一致しているが、系統的な誤差も存在し、特に時間スケールの短い場合への応用には注意が必要であることが分かった。

5. 日本周辺梅雨雨量の分布特徴

日本列島上における比較の結果、修正した方法による降水推定が気候学的研究に使えるものと判断できたので、それを用いて日本周辺海上も含む広域における梅雨による降水特性の研究を応用した。

Fig. 8 に1989年6月の平均雨量（左）と累積雨量（右）の分布図を示したが、雲量も雨量も35°N 付近にバンド状に東西に分布しているが、雨量については東シナ海で小さくなっていることが分かる。

Fig. 8 に示した分布値をそれぞれ東西、南北に累積し、地域における雨量・雲量の緯度と経度分布を求め、Fig. 9 に示したが、経度分布では雲量・雨量共に九州より東ではほぼ同じ値を持っているが東シナ海では九州の値と比べて雲量が15%、雨量が34%も減少している。

梅雨前線が海上或いは陸上にある時に前線による降水の特徴がどう変わるかを調べるために全調査地域を Fig. 10 に示すように9つのブロックに分割し、前線が各ブロックにある時に地上天気図による前線位置に対して日雨量が南北にどう分布するかを解析した。Fig. 11 にその結果をブロック別に示しているが、どのブロックにおいても降水が前線より緯度1度北側にピークを持っているが、ピーク値そのものは前線が日本列島にある時に大きく、およそ東シナ海にある時の倍ぐらいとなっている。

Fig. 12 に前線が各ブロックにある時それによる降水量時系列のスペクトルを MEM で求めた結果を示したが、どのブロックにおいても4～7日間ぐらいの周期をもつ変動が顕著で、また中国大陸ではそれ以外に日変化によるピークも見られた。

前線が各ブロックにある時、前線による降水が前線を沿ってどう移動するかを調べるために各メッシュにおける6時間降水量時系列の時間・経度ラグ相関を計算してみた。Fig. 13 にその結果を示したが、時間が

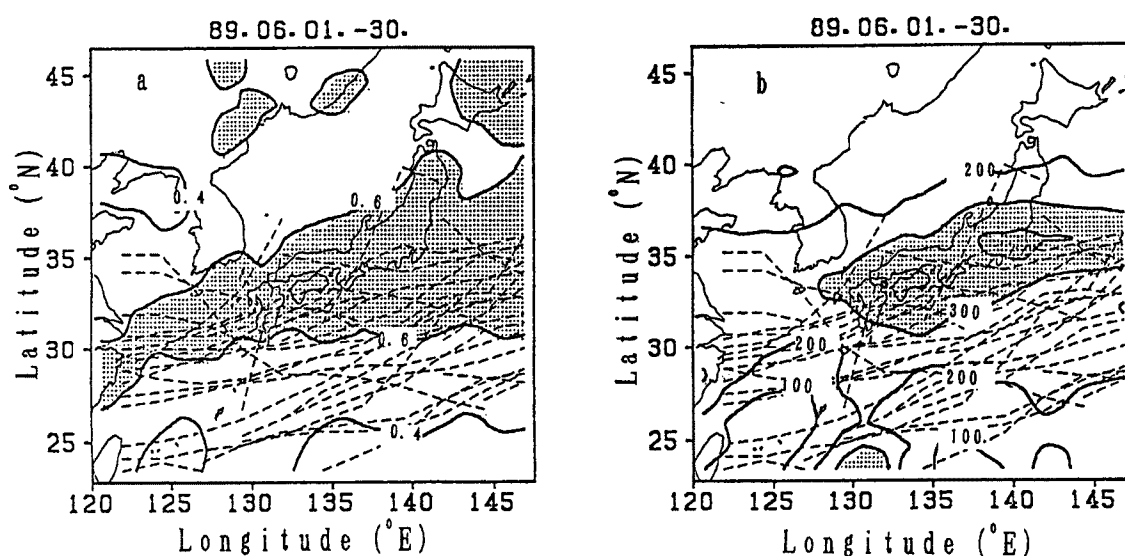


Fig. 8. Spatial distributions of a) monthly averaged cloud amount and b) monthly accumulated rainfall of June 1989 over the investigation area.

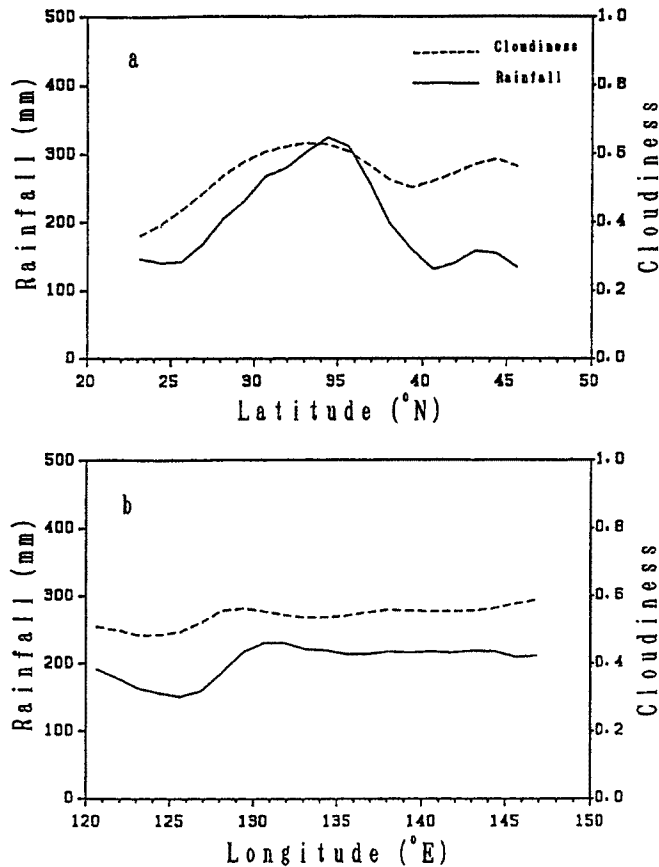


Fig. 9. a) latitudinal and b) longitudinal profiles of rainfall (solid line) and cloud amount (dash line) over the investigation area.

12時間ずれると、相関がかなり小さくなり、降水を引き起こす現象の寿命がそう長くないことを示している。また、6時間前後ずれた時の相関係数のピーク位置間の経度をはかり、位相速度を計算したが結果は平均して12時間の間に6度経度ぐらいになり、これは55 km/hに相当する。

6. ま と め

GMS 赤外データによる降水推定法を中緯度における広域に適用するため、雨量と推定領域内の冷たい雲の割合 FC 間の比例係数を緯度の関数とし修正を行い、1989年6月日本周辺梅雨期の雨量を推定し、海洋上も含めた雨量分布の特徴を調べ、次のことが分かった；

- 1) 雲量雨量共 35°N 付近に東西にバンド状に分布しているが雨量分布は東シナ海で1/3程小さくなっている；
- 2) 梅雨前線による降水が地上前線位置に対して1°北側にピークをもって分布しているがピークの値は前線が日本列島にある時は海上にある時より50%ぐらい大きい；
- 3) 降水量が4～7日間周期をもって時間変化をしているが、中国大陸ではそれ以外に日変動も見られた；
- 4) 梅雨前線上の降水は前線を沿って55 km/hの位相速度をもって東進している。

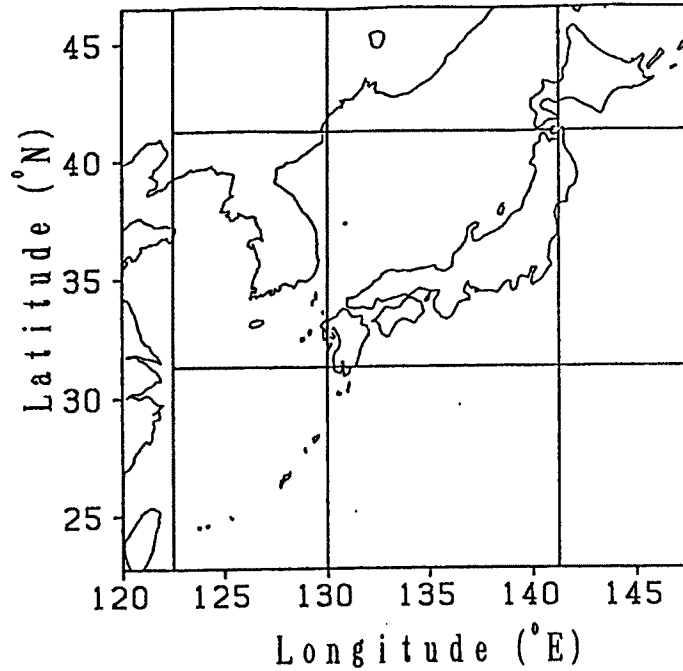


Fig. 10. 9 sub-regions in the area for investigating the rainfall features in various areas over both land and ocean. The latitudinal bound lines are at 41.25°N and 31.25°N. The longitudinal bound lines are at 122.5°E, 130.0°E and 141.25°E, respectively.

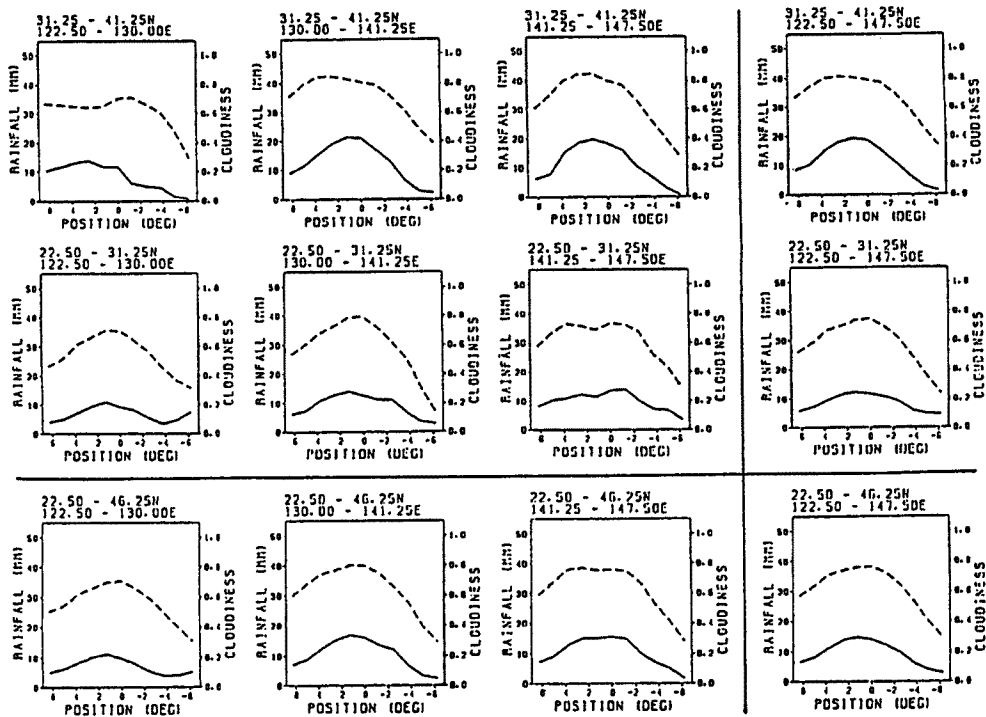


Fig. 11. Latitudinal distributions of daily rainfall (solid line) and daily-averaged cloud amount (dash line) relative to the position of surface front in the subregions. The results for the most northerly 3 sub-regions are not shown in the figure because no front moved into the range during the period. The surface front positions are read from the surface weather chart at 0900JST.

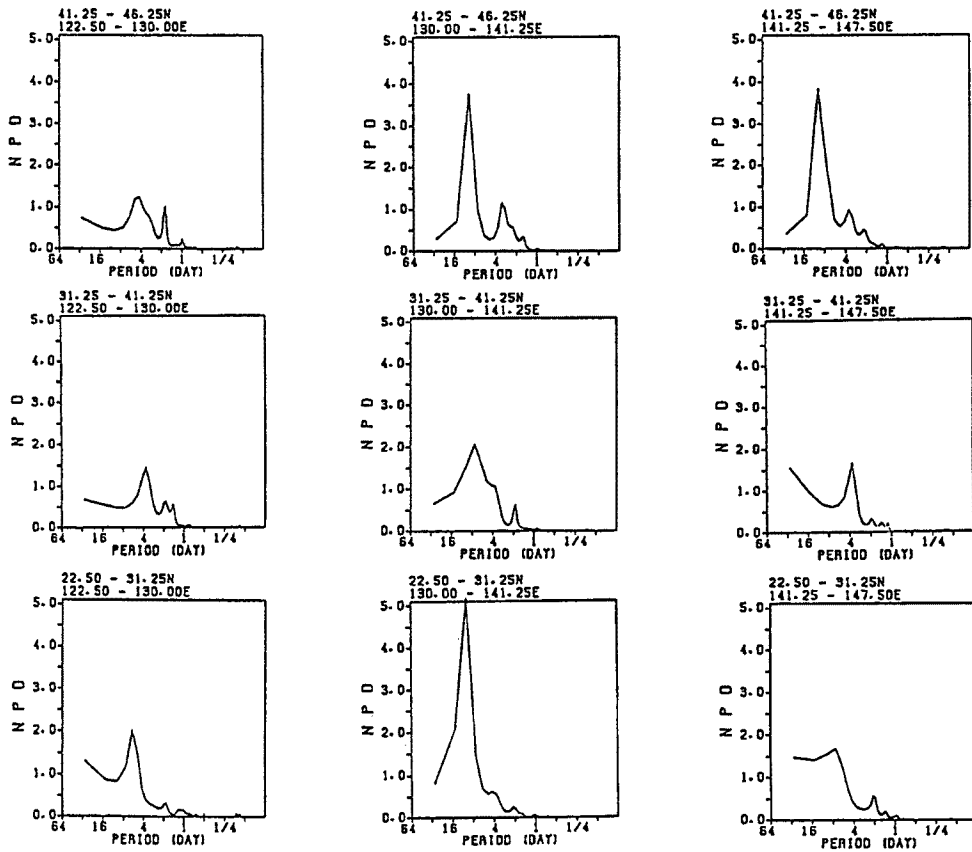
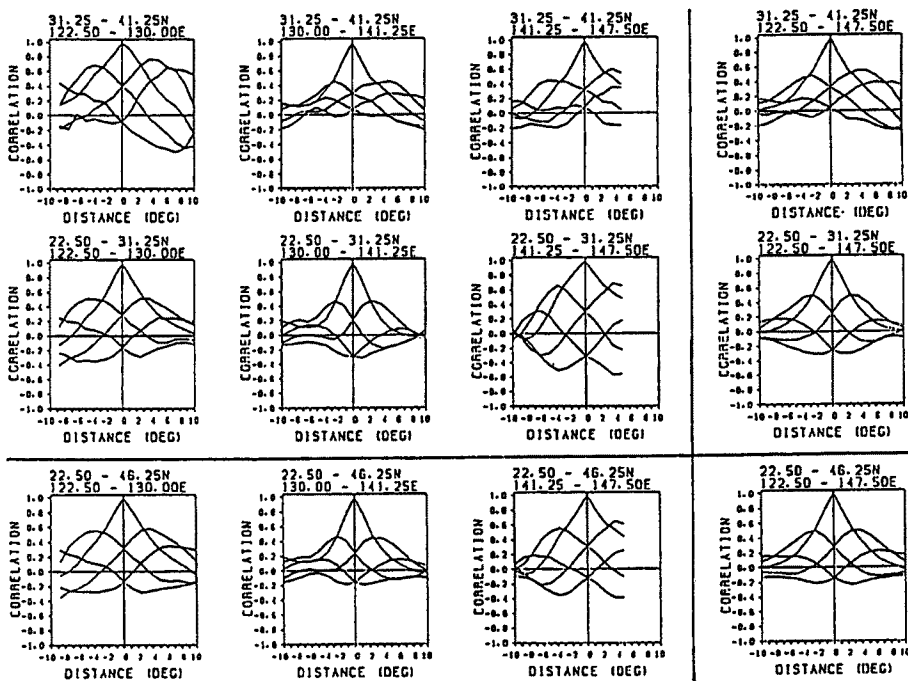


Fig. 12. Normalized spectral density (NSD) distributions of the time series of rainfall for the 9 subregions.



References

- 1) Yoshino, M. M.: Four stages of rainy season in early summer over east Asia, Part 2. *J. Met. Soc. Japan*, Vol. 44, 1966, pp. 209-217.
- 2) 二宮・秋山・吉住・山崎・榊原：梅雨前線帯の豪雨，*気象研究ノート*，138号。
- 3) Griffith, C. G., W. L. Woodley, P. G. Grube, D. W. Martin, J. Stout and D. N. Sikdar: Rainfall estimation from geosynchronous satellite imagery — visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 106, 1978, pp. 1153-1171.
- 4) Arkin, P. A. and P. E. Ardanuy: Estimating climatic-scale precipitation from space: A review. *J. Climate*, Vol. 2, 1989, pp. 1229-1238.
- 5) 謝 平平・光田 寧：GMS 赤外・可視資料による降雨の推定について，*京都大学防災研究所年報*，第31号 B-1, 1988, pp. 201-217.
- 6) 謝 平平・光田 寧：GMS 赤外データを用いた雲の解析について，*京都大学防災研究所年報*，第32号 B-1, 1989, pp. 249-359.
- 7) 謝 平平・光田 寧：GMS 赤外データによる夜間雨量及び雲形の推定について，*京都大学防災研究所年報*，第33号 B-1, 1990, pp. 57-77.
- 8) 謝 平平・光田 寧：GMS 赤外画像データによる降水推定法について，*京都大学防災研究所年報*，第34号 B-1, 1991, pp. 1-11.
- 9) Browning, K. A.: Rain, rainclouds and climate. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, Vol. 116, 1990, pp. 1025-1051.

〔左図〕

Fig. 13. Space-time lagged correlations of the rainfall for all of the subregions except the most northerly three. The 5 lines in each figure show the correlations with time lags of -12, -6, 0, 6 and 12 hours, respectively. The value in the abscissa represents the longitudinal distance to the east of the reference point.