

# GMS データとデジタルレーダデータを併用して 降水強度を見積もる試み

—マンマシン法による合成推定値の作成例—

## An Estimation of Precipitation Intensity from GMS Data by Using Digital Echo Intensity—A Case Study of Composite Estimate Making by Means of Man—machine Interactive Mode —

元木敏博\*・小佐野慎悟\*\*・佐藤信輝\*\*

Toshihiro Motoki\*, Singo Osano\*\* and Nobuki Sato\*\*

### Abstract

Through application of regression analysis to visible and infrared channel data of the GMS and the digital radar echo intensity data, Motoki, Osano (1985) Osano, Motoki, and Suzuki (1986) developed rainfall intensity estimation technique. This technique, to be referred to as the automatic mode in this report, is extended to the man—machine interactive mode. The man—machine interactive mode is designed to make a composite estimate and to compare the accuracy of two modes, as follows:

1. When there exist various types of cloud systems in a sampling area, a cloud area dominated by a single cloud system is chosen as a target by a meteorologist. Regression analysis is applied to the target area, and a appropriate look—up table is made for obtaining rainfall estimate for the target, area.

2. When an overestimated area or an underestimated area is found in the estimate derived from the automatic mode, this area is chosen as the target. A composite estimate can be obtained by replacing the value in the target with the value from appropriate look—up table.

3. The target area is chosen by means of positioning the apexes of the polygon by the cursor on the screen.

Applying the man—machine interactive mode, composite estimate for GMS data at 03GMT May 1, 1984, was made for comparison with the same data reported by Motoki and Osano (1985). The accuracy of estimates from the two modes was measured by the correlation coefficient between the estimated values and the digital radar echo intensity data. The correlation coefficient derived from the automatic mode was 0.676, while that of the man—machine interactive mode was improved by about 10 percent to 0.745.

---

\* 気象衛星センターシステム管理課

\*\*気象衛星センター解析課

Meteorological Satellite Center

## 和文要約

元木・小佐野(1985)はGMSデータ, デジタルレーダを併用して自動モードによる降水強度の推定値の作成方法を示した。これと精度を比較する目的で, 複数の推定値から任意の切出し領域の推定値の合成推定値が作成出来るように, 推定値作成処理の手続きをマンマシン処理モードに拡張した。マンマシン処理モードは画像処理コンソール上で簡単に操作できる以下の機能を持っている。

- ① 任意の切出し領域で回帰分析を適用して, その領域に特有な偏回帰係数及び降水強度換算表を求める。
- ② 複数の降水強度換算表から得られた推定値を利用して, 任意の切出し領域を入れ替える方法による合成推定値の作成, およびその精度をエコー強度データとの相関係数で評価する。

元木・小佐野(1985)と同一例の1984年5月1日03Zを対象に, 自動モードで作成された初期推定値の中で強く推定された領域と弱く推定された領域を, それぞれ適当と思われる降水強度換算表から求めた推定値と入れ替えて合成推定値を作成した。その結果を相関係数で評価すると, 初期推定値とエコー強度値の相関係数0.676は合成推定値では約10%向上して0.745が得られた。

## 1. はじめに

GMSデータの可視・赤外観測値から降水情報を求める方法として, 元木・小佐野(1985)はデジタルレーダデータを利用する方法を提案した。この方法は, 0.1度格子の可視, 赤外, エコー強度データをそれぞれ編集し, 可視, 赤外を説明変数およびエコー強度データを目的変数として回帰分析を行い, これにより得られた偏回帰係数を利用して可視, 赤外観測値から降水強度を推定するものである。この過程は自動的に処理されるので, ここではこれを自動モードと定義する。また, 降水強度を推定するときには偏回帰式から降水強度換算表を作成し, これにより得られる降水強度推定値をGR (GMS derived Rainfall intensity estimate) と定義する。

小佐野・元木・鈴木(1986), Osano et al (1986)によって引き続き行われた暖候期16例の調査によると, 主要な結果は以下の通りである。

- ①エコー強度との関係は可視データが赤外データよりも良く対応する。
- ②GR (推定値) の精度をエコー強度との相関係数で評価すると, 相関係数は16例の平均で, 0.690であった。
- ③降水強度換算表の利用法について2種類の場合を想定して試験した。降水強度換算表を求めた前後の観測時間帯に適用したときの相関係数は平均で0.650であった。共通換算表の試験として, 2例の降水換算表を採用したときの相関係数は平均で, 0.630と0.658となり, ②の相関係数と比較すると約5-10%精度が低下した。

自動モードの精度が低下する原因の中に, 自動モードによる推定値領域内に特性の異なる雲域あるいはエコー域が同時に存在している場合が考えられる。このような

自動モードの精度をより詳しく検討する方法として, マンマシン処理で求めた雲域毎の推定値と自動モードによる推定値を比較することにした。マンマシン処理モードにより, 推定領域内に特性の異なる雲域, 或いはエコー域が同時に存在したときの降水強度換算表をそれぞれの領域に応じて作成することが可能となる。例えば, 暖候期では台風と前線性の雲域, 寒候期では季節風と前線性の雲域が同時に推定領域内に存在する状態がある。このとき自動モードから得られる降水強度換算表を全域に適用したときの推定値の精度と, 各雲域毎に対応する降水換算表を適用して得られた推定値の精度の差を見積もることは, 降水強度換算表を自動モードで運用する際の問題点を把握するために重要である。この問題に対応するためには, 解析者による雲域の状態についての選択と選択雲域に対する処理が必要である。そこで, 気象衛星センターに設置されている画像処理コンソールを利用してマンマシン処理モードを試作した。このモードは, 自動モードと異なるきめの細かい処理を目的として降水強度換算表を任意の切出し領域で作成し, また推定値から適当な領域を切り出してこれらを張り合わせる方法による合成推定値の作成を, 解析者が簡単な操作で実行出来るようにした。

本報告の目的は合成推定値の作成例, 合成推定値の精度と自動モードの推定値の精度差の比較, およびこのときのマンマシン処理モードの実行例を示すことである。

## 2. マンマシン処理モードの概略

データ処理の流れをFig. 1に示す。入力データは, 0.1度格子系ごとに編集された可視, 赤外およびエコー強度データで, 大きさはGMSデータは131 (ライン)

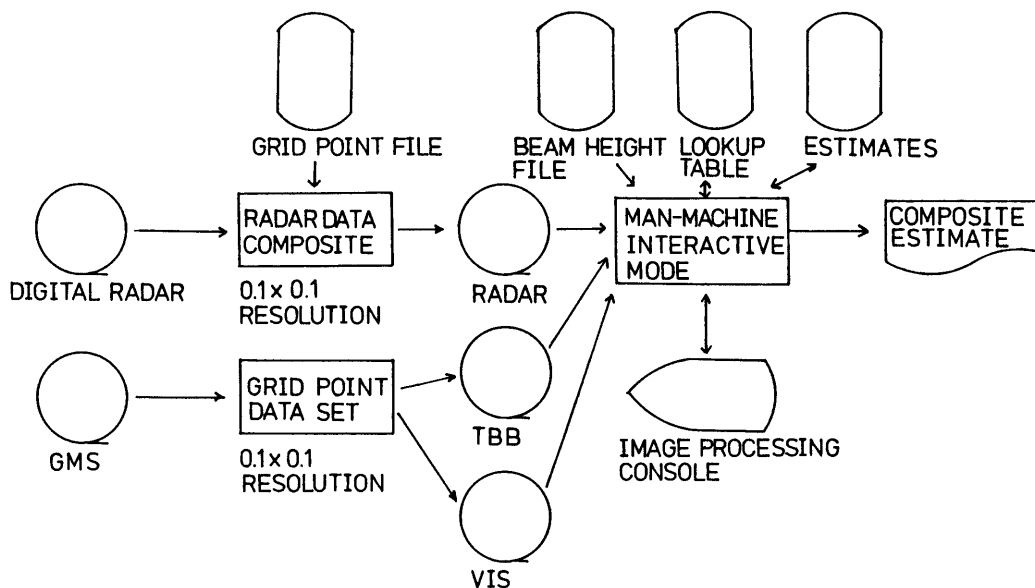


Fig. 1 General flow of the man-machine interactive mode

X151 (ピクセル), エコーデータは111 (ライン) X131 (ピクセル) である。エコー強度データと等ビーム高度は、それぞれ富士山, 新潟, 名古屋, 東尋坊のレーダデータの合成で求めた。自動モードに対応する初期推定値を求めるための回帰分析の範囲を Fig. 2 の背景の部分にしめす。この領域は、等ビーム高度が 2 km 以下のもので総画素数は5860個である。

初期推定値 GM0 と合成するための推定値を求めるためには、あらかじめ決めておいた各雲域毎の降水強度換算表から求める方法と、回帰分析を同一のデータの任意の切出し領域で実行して求める方法がある。各雲域毎の換算表は用意されていないので、ここでは後者の方法を採用した。

まず始めに、回帰分析を任意の切出し領域で実行する手続きについて述べる。回帰分析を実行する範囲は等ビーム高度が 2 km 以下 (Fig. 2) に限定しているのので、この範囲で任意の切出し領域を抽出する。そのために 0 と 1 のビットで構成するオーバーレイ領域を用意した。オーバーレイ領域上の有効域を画像処理コンソール上で解析者が多角形で指定すると、有効域決定の処理が開始され、多角形の内部では有効点としてビット 1 が与えられる。

多角形の頂点を与えたときの内部領域を求める処理は、有木 (1983), 尾崎・谷口・小川 (1983) の方法を参考にして作成した。このようにして求めた切出し領域と等ビーム高度が 2 km 以下の範囲の重合した領域内を対象

に回帰分析を実行して降水強度換算表を求めた。今回の試験ではオーバーレイ領域を最大 6 枚用意したので一度に最大 6 個所の切出し領域が設定できた。

次に合成推定値作成の手続きについて述べる。初期推定値を GR0, 任意の切出し領域の降水換算表を GR0 と同一の 131X151 の領域で作成した推定値を推定値 GRn, 合成推定値を GRCn (n = 1 ~ 6) と定義する。エコー分布図, GR0, GRn および GRCn の分布図, 可視画像, 赤外画像を単独または重ねて、里見 (1981) と同様に画像処理コンソール上に表示する機能があるので、これらと比較することにより解析者は初期推定値で過大に強くまたは弱く表現されている領域を決定する。決定した領域は推定値の入れ替え対象となり、入れ替え後の推定値が求める合成推定値 GRCn である。

合成推定値と初期推定値の精度評価は、エコー強度データとの相関係数でおこなった。合成推定値作成処理の過程で利用した各降水強度換算表の特性を見積もるために 3 種類の相関係数を計算した。

- ①. 任意の切出し領域内の推定値 GRn とエコー強度データとの相関係数
- ②. ①と同一の領域の推定値 GR0 とエコー強度データとの相関係数
- ③. 等ビーム高度が 2 km 以下の領域の合成推定値 GRCn とエコー強度データとの相関係数

この中で①, ②は切出し領域内での降水強度換算表の精度を示す指標であり、③は合成推定値の精度を示すも

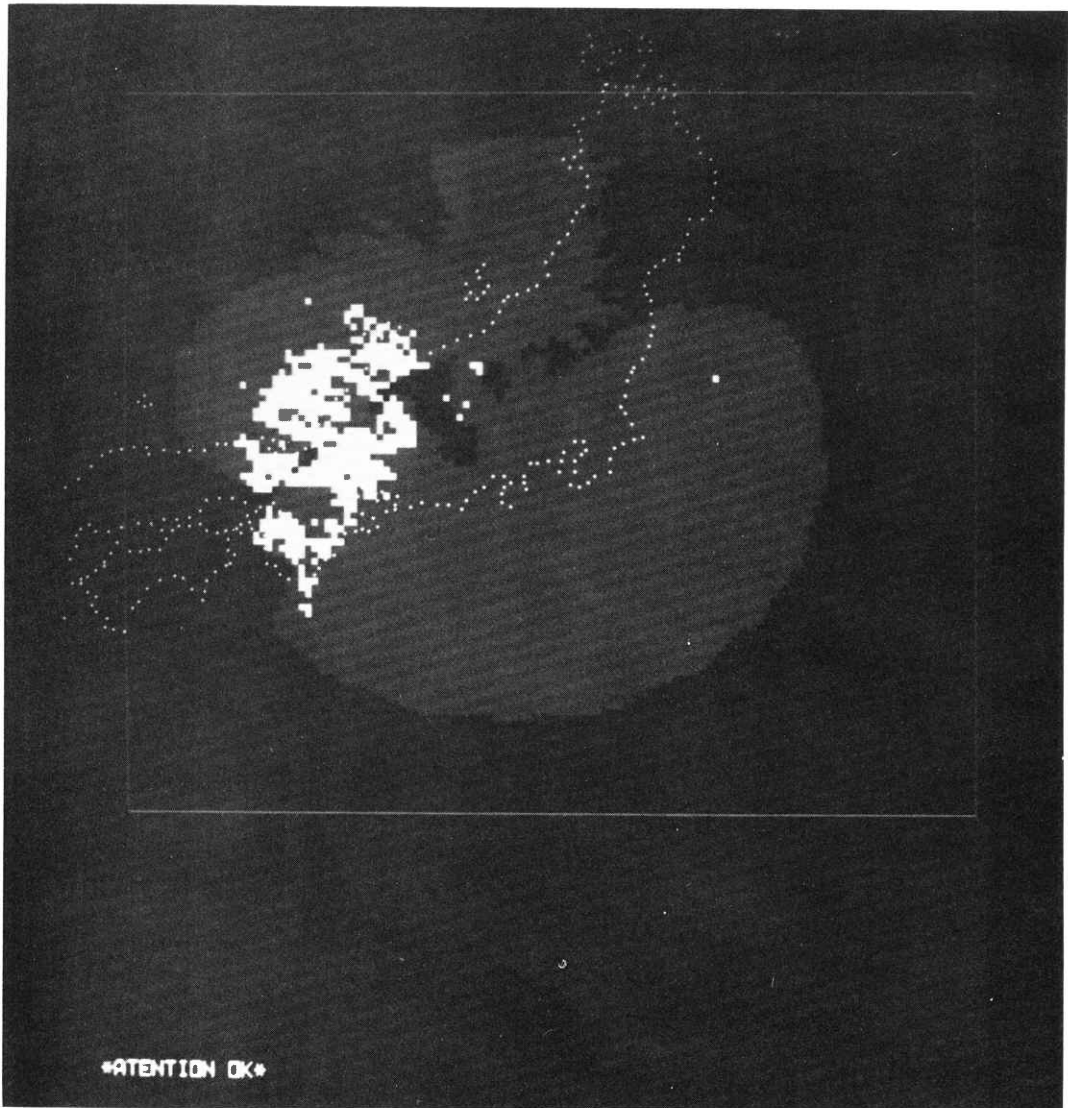


Fig. 2 An example of composite radar echo intensity chart

Digital radar data for 03GMT May 1, 1984 observed at Fuji (35.3N, 138.7E), Nagoya (35.2N, 137.0E), Yahiko (37.7N, 138.8E) and Tojinbo (36.2E, 136.1N) is composited. Radar echo intensity of 1.0mm/hr or above is indicated by white area, and the count of the echo number is 476. The composite beam height area 2.0km or below is presented in the gray area. The number of the gray pixels is 5860 in the area 30N to 41N and 130E to 143E. This area is used for the regression analysis in the automatic mode.

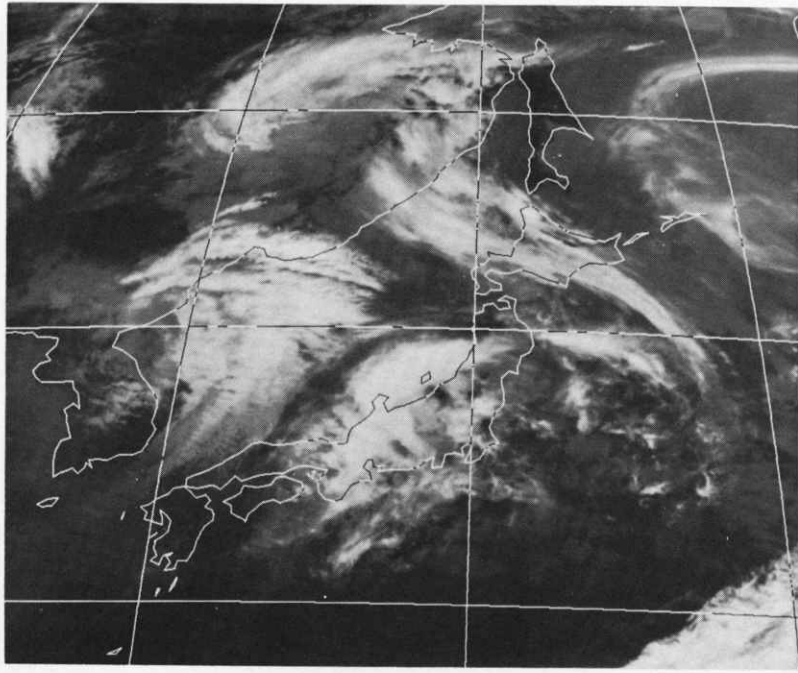


Fig. 3-a A sectolized infrared picture , 03GMT 1, May, 1984

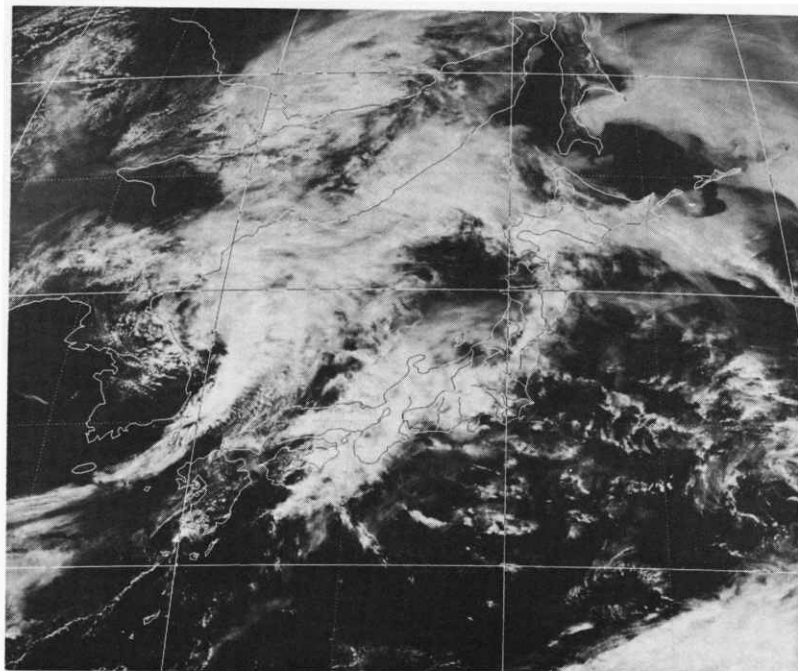


Fig. 3-b Same as Fig3-a , visible channel.

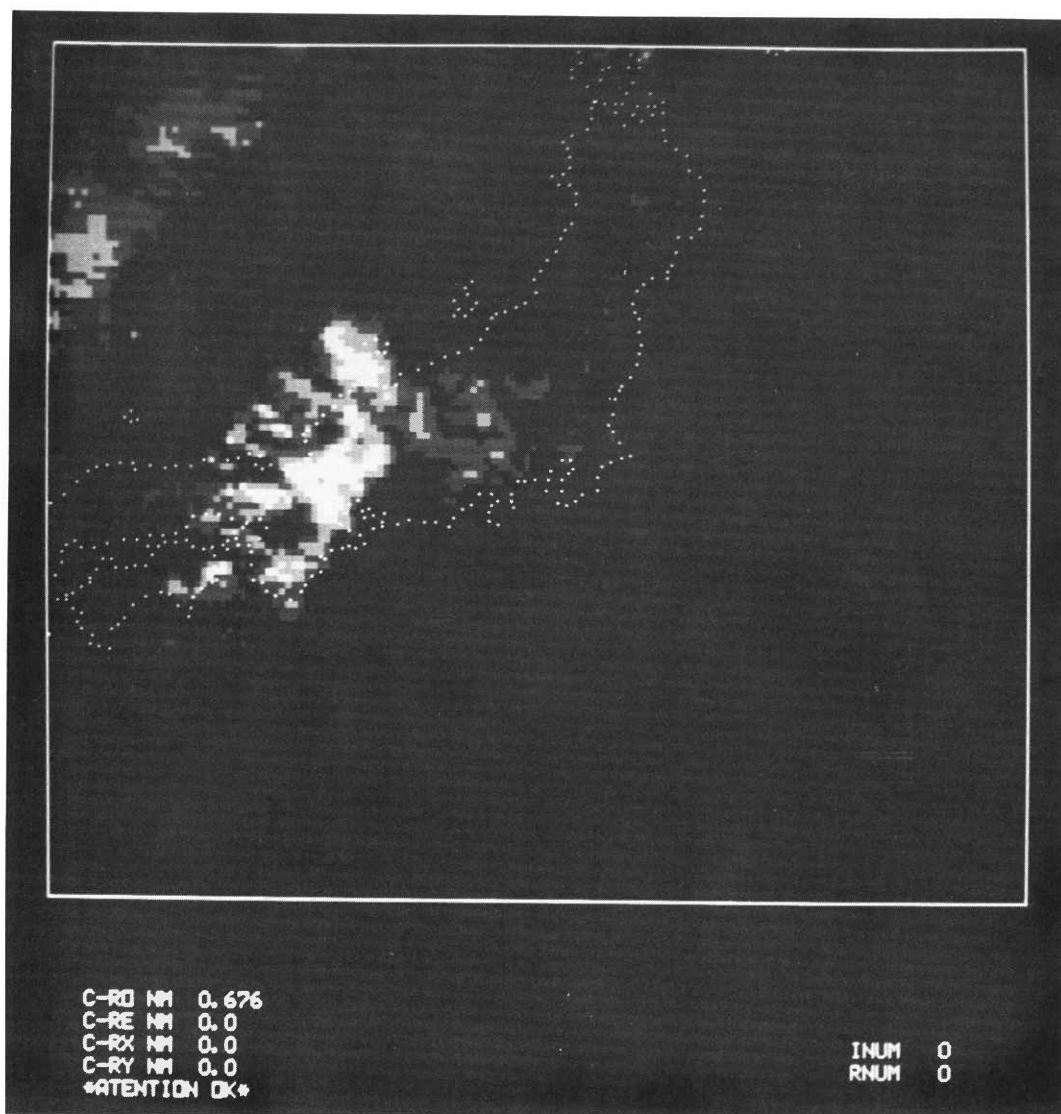


Fig. 4 Distribution of initial rainfall intensity estimate GR0  
Rainfall intensity estimate referred to as GR0 (GMS derived Rainfall intensity estimate) is for the GMS date for 03GMT 1, May 1984, which is derived from the look-up table shown in Fig.9. The estimated area covers the rectangle from 29N to 42N and 129E to 144E.

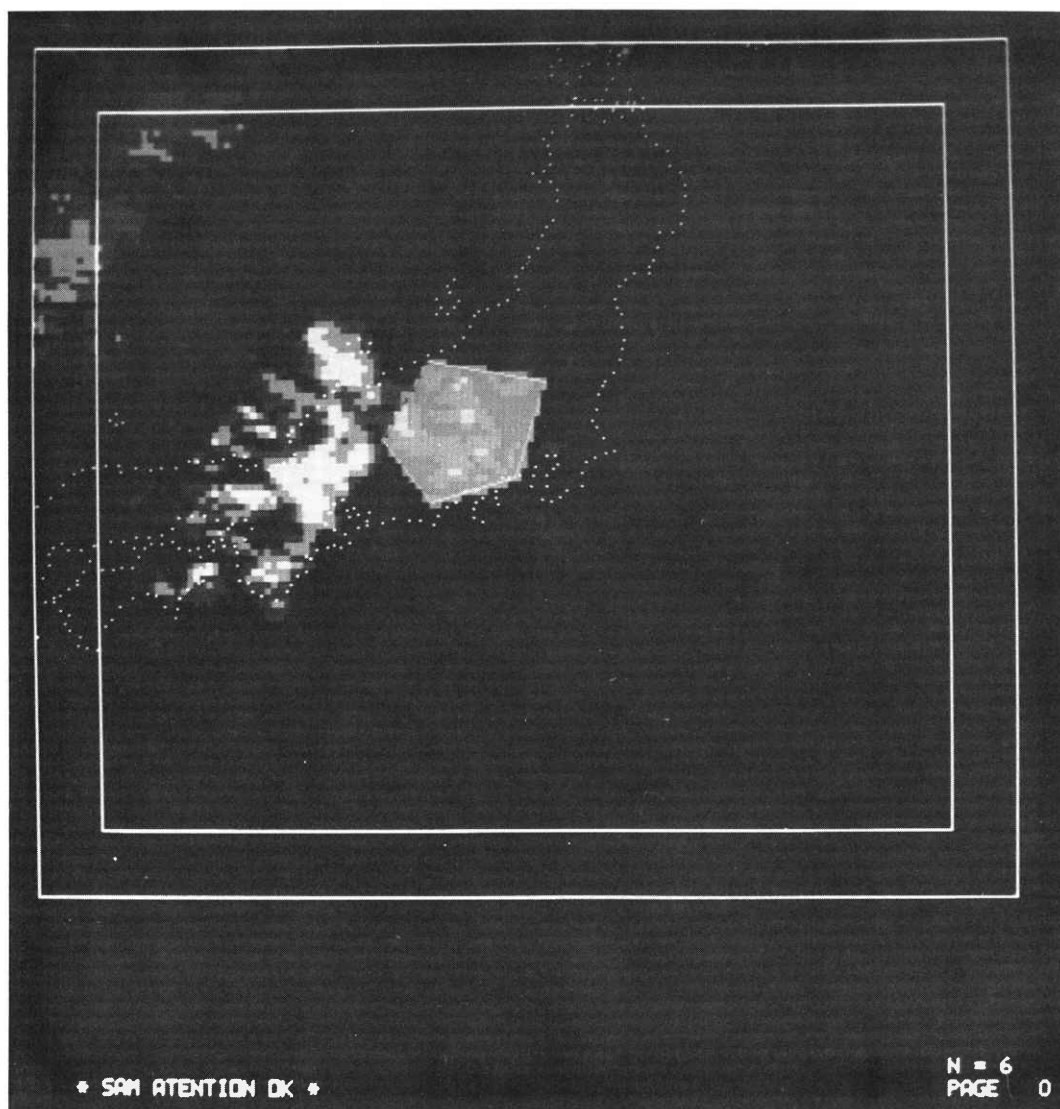


Fig. 5 An example of the target area selection display  
The gray pentagonal area derived from the operation of the selection indicates the target area.  
The white area indicates the initial estimates shown in Fig. 4.

	- 1984 5 1 2 31 -																										
-0.0121	0.12	-0.00	-0.12	-0.22	-0.32	-0.40	-0.47	-0.52	-0.57	-0.59	-0.60	-0.60	-0.58	-0.54	-0.49	-0.42	-0.33	-0.22	-0.09	0.06							
0.0121	0.17	0.04	-0.07	-0.17	-0.26	-0.33	-0.40	-0.45	-0.49	-0.51	-0.52	-0.51	-0.49	-0.45	-0.39	-0.32	-0.23	-0.12	0.01	0.16							
0.0371	0.20	0.09	-0.02	-0.12	-0.20	-0.27	-0.33	-0.38	-0.41	-0.43	-0.44	-0.43	-0.41	-0.36	-0.31	-0.23	-0.14	-0.03	0.10	0.25							
0.0631	0.23	0.12	0.02	-0.07	-0.15	-0.22	-0.28	-0.32	-0.35	-0.37	-0.37	-0.36	-0.33	-0.29	-0.23	-0.16	-0.06	0.05	0.18	0.33							
0.0881	0.26	0.16	0.06	-0.03	-0.11	-0.17	-0.22	-0.27	-0.29	-0.31	-0.31	-0.30	-0.27	-0.23	-0.17	-0.09	0.00	0.12	0.24	0.39							
0.1121	0.29	0.18	0.09	0.01	-0.07	-0.13	-0.18	-0.22	-0.24	-0.26	-0.26	-0.24	-0.21	-0.17	-0.11	-0.03	0.06	0.17	0.30	0.45							
0.1371	0.31	0.21	0.12	0.04	-0.03	-0.09	-0.14	-0.18	-0.20	-0.21	-0.21	-0.20	-0.17	-0.12	-0.06	0.01	0.11	0.21	0.34	0.49							
0.1621	0.33	0.24	0.15	0.07	0.00	-0.06	-0.10	-0.14	-0.16	-0.17	-0.17	-0.16	-0.13	-0.08	-0.03	0.05	0.14	0.25	0.38	0.52							
0.1881	0.35	0.26	0.17	0.10	0.03	-0.03	-0.07	-0.11	-0.13	-0.14	-0.14	-0.12	-0.10	-0.05	0.01	0.08	0.17	0.28	0.40	0.54							
0.2121	0.37	0.28	0.20	0.12	0.06	0.00	-0.04	-0.08	-0.10	-0.11	-0.11	-0.10	-0.07	-0.03	0.03	0.10	0.19	0.29	0.41	0.55							
0.2381	0.39	0.30	0.22	0.15	0.08	0.03	-0.02	-0.05	-0.08	-0.09	-0.09	-0.07	-0.05	-0.01	0.05	0.12	0.20	0.30	0.42	0.55							
0.2621	0.41	0.33	0.25	0.17	0.11	0.05	0.01	-0.03	-0.05	-0.07	-0.07	-0.06	-0.03	0.01	0.06	0.12	0.21	0.30	0.42	0.55							
0.2881	0.44	0.35	0.27	0.20	0.13	0.08	0.03	-0.01	-0.03	-0.05	-0.05	-0.04	-0.02	0.02	0.06	0.13	0.21	0.30	0.41	0.54							
0.3131	0.46	0.37	0.29	0.22	0.16	0.10	0.05	0.01	-0.01	-0.03	-0.04	-0.03	-0.01	0.02	0.07	0.13	0.20	0.29	0.39	0.52							
0.3371	0.49	0.40	0.32	0.25	0.18	0.12	0.07	0.03	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.02	0.06	0.12	0.19	0.27	0.37	0.49							
0.3621	0.52	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15	0.09	0.05	0.02	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	0.02	0.06	0.11	0.17	0.25	0.35	0.46							
0.3871	0.55	0.46	0.38	0.30	0.23	0.17	0.12	0.07	0.04	0.01	-0.01	-0.01	-0.00	0.02	0.05	0.09	0.15	0.23	0.32	0.42							
0.4131	0.59	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20	0.14	0.09	0.05	0.02	0.00	-0.01	-0.00	0.01	0.04	0.08	0.13	0.20	0.28	0.38							
0.4381	0.64	0.54	0.46	0.37	0.30	0.23	0.17	0.12	0.07	0.04	0.01	-0.00	-0.00	0.00	0.03	0.06	0.11	0.17	0.24	0.33							
0.4621	0.69	0.59	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20	0.14	0.09	0.05	0.02	0.00	-0.00	0.00	0.01	0.04	0.08	0.13	0.20	0.28							
0.4871	0.74	0.65	0.55	0.46	0.38	0.30	0.23	0.17	0.12	0.07	0.04	0.01	-0.00	-0.01	0.00	0.02	0.05	0.10	0.16	0.23							
0.5131	0.81	0.70	0.61	0.51	0.43	0.34	0.27	0.20	0.14	0.09	0.05	0.02	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	0.02	0.06	0.11	0.18							
0.5371	0.88	0.77	0.67	0.57	0.48	0.39	0.31	0.24	0.17	0.12	0.07	0.03	-0.00	-0.02	-0.03	-0.02	-0.01	0.02	0.06	0.12							
0.5631	0.96	0.85	0.74	0.64	0.54	0.44	0.36	0.28	0.21	0.14	0.09	0.04	0.00	-0.02	-0.04	-0.04	-0.04	-0.02	0.02	0.06							
0.5871	1.05	0.93	0.82	0.71	0.60	0.50	0.41	0.33	0.25	0.18	0.11	0.06	0.01	-0.02	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05	-0.03	0.01							
0.6121	1.14	1.02	0.90	0.79	0.68	0.57	0.47	0.38	0.29	0.21	0.14	0.08	0.03	-0.02	-0.05	-0.08	-0.09	-0.09	-0.08	-0.05							
0.6381	1.25	1.12	1.00	0.88	0.76	0.65	0.54	0.44	0.34	0.26	0.18	0.10	0.04	-0.01	-0.06	-0.09	-0.11	-0.12	-0.12	-0.11							
0.6621	1.37	1.23	1.10	0.97	0.85	0.73	0.61	0.50	0.40	0.31	0.22	0.14	0.06	-0.00	-0.05	-0.10	-0.13	-0.15	-0.16	-0.16							
	197.5	202.5	207.5	212.5	217.5	222.5	227.5	232.5	237.5	242.5	247.5	252.5	257.5	262.5	267.5	272.5	277.5	282.5	287.5	292.5							

Fig. 6 Look-up table

This look-up table is obtained by calculating the partial regression coefficient derived from the target area presented in Fig. 5. Based on this table, the rainfall intensity estimate GR1 is computed from visible and infrared channel data observed by GMS.

ので、初期推定値の相関係数と比較しうる指標である。これらの相関係数はいずれも画像処理コンソール上に表示され、かつラインプリンターに出力される。

なお表示画像は分解能が0.1度格子が一画素に対応する正方形格子系で、操作指令はカーソル、ファンクションキー、キーボードから与えることができる。

### 3. ケーススタディ

元木・小佐野(1985)と同様に1984年5月1日03Zを対象とした。この例に対する結果を示す。

#### 3-1. 任意の領域で作成した換算表の特性

ケーススタディのエコー分布図(Fig. 2)、雲画像(Fig. 3a, 3b)、GR0の分布図(Fig. 4)を比較したとき、雲頂高度の低い雲域が長野県付近に、雲頂高度の高い雲域が能登半島から紀伊半島にかけて位置している。これに対応して小さなGR値が長野県付近に、大きなGR値が能登半島から紀伊半島にみられる。前者はほとんどエコーが対応していないが、後者は活発なエコー域が対応している。そこで、前者は実際には弱いGR0が強く、後者は実際には強いGR0が弱く推定されていると仮定して、入れ替え対象領域と判断した。強めに見積もられた推定値を弱く変換する特性の換算表と、逆に弱めに見積もられた推定値を強く変換する特性の換算表を求め





Fig. 7 An example of the target area selection display  
Same as Fig. 5. the target area used to make the look-up table for the estimate GR2 is presented in the gray pentagonal area.



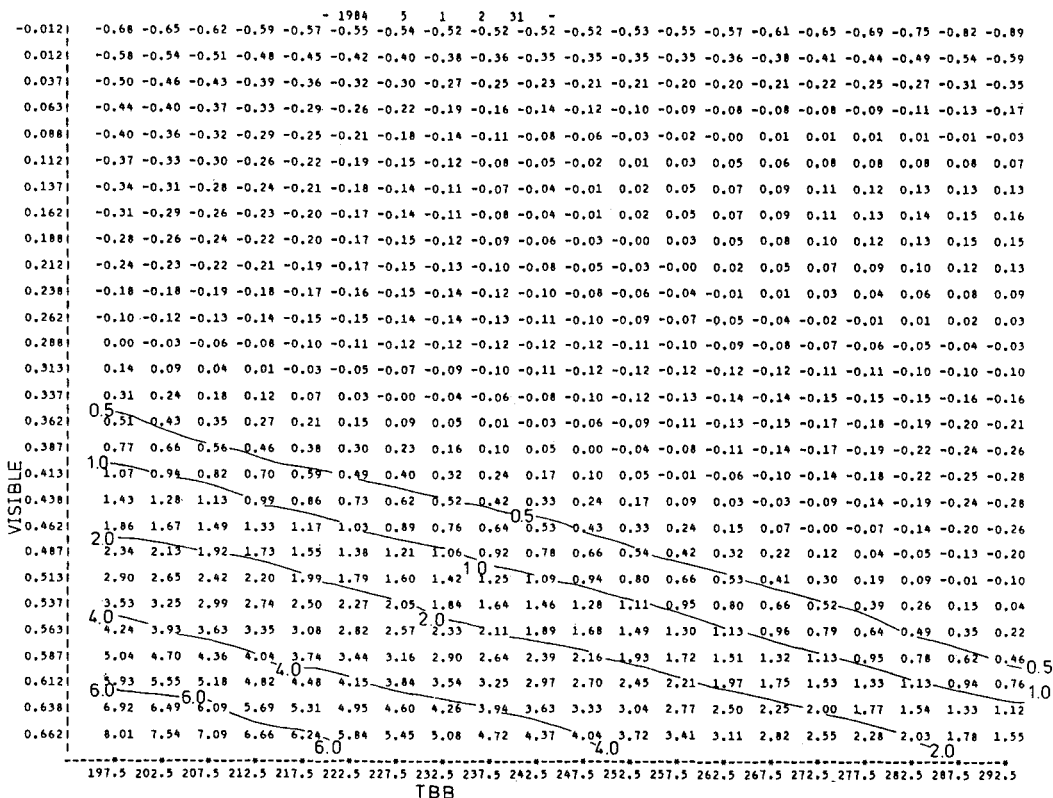


Fig. 9 Same as Fig. 6. this table is computed from the partial regression coefficient, that is derived from the regression analysis applied to the area with beam height 2.0km or below which is shown in Fig. 2. Based on this table, the estimate GR0 presented in Fig. 4 is made.

てこの換算表を適用するとある一定の雲分布特性を示す赤外温度と可視の領域だけを強調する効果が期待できる。

3-2. 合成推定値の試作と自動作成モードとの精度

ここでは、Fig. 6とFig. 8の特性を持つ降水換算表をそれぞれの領域における最適換算表とみなして、合成推定値を二段階の手順で求めた。まず、Fig. 6の換算表で作成した推定値GR1の分布図においてFig. 5の多角形領域を入れ替え用の切出し領域と設定して推定値GR0の同一な領域と入れ替えた。交換後の結果をFig. 10に示す。Fig. 4の初期推定値GR0の分布と比較すると長野県付近のGR0が消去されているので、入れ替え処理による合成推定値GRC1が作成できたことを確認できる。続いてGRC2の作成を示す。今度はFig. 8の換算表で作成した推定値GR2の分布図と合成推定値GRC1に対して

Fig. 7の多角形を入れ替え用の切出し領域と設定して同一な領域と入れ替えた、その結果をFig. 11に示す。画像処理コンソール上では、能登半島から紀伊半島にかけてはより輝いた白色域が増加している。従って、入れ替え操作により多角形内部の推定値が強くなったことを示している。一方、入れ替え処理の対象外である沿海州方面ではFig. 4, Fig. 10, Fig. 11の各推定値分布に変化がない。この合成推定値をGRC2と定義する。

一連の処理で得られた合成推定値の精度を以下に示す。初期推定値GR0の相関係数は0.676である。強めに見積もられた推定値を弱く変換する換算表に従った合成推定値GRC1の相関係数は0.704と約5%増加した。さらにGRC1と弱めに見積もられた推定値を強く変換する特性の換算表に従った推定値を合成した推定値GRC2の相関係数は0.745となり初期推定値の相関係数より約10%増加した。次に、Fig. 6の換算表をから求めたGR1と切出

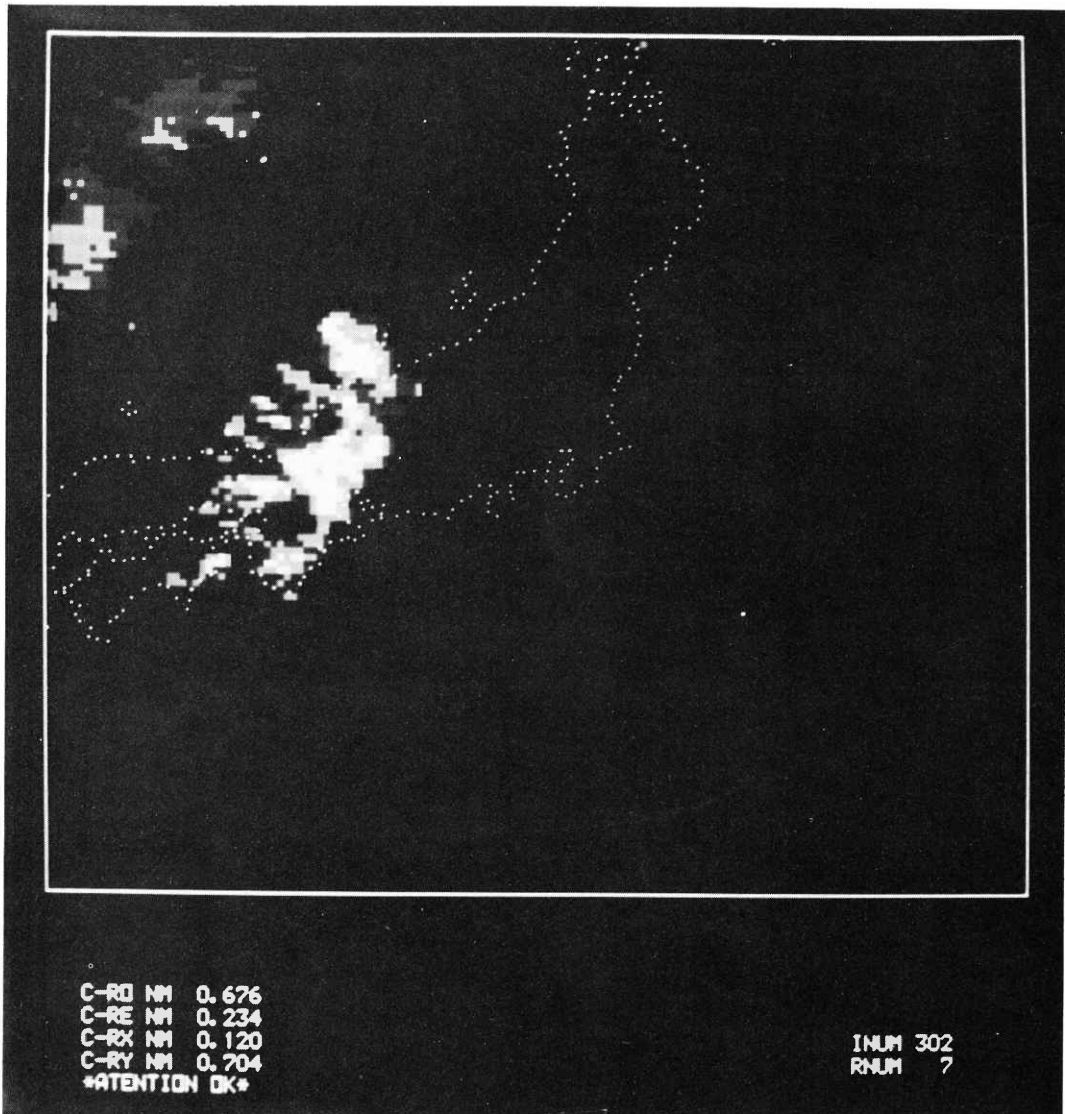


Fig. 10 Distribution of the composite estimate GRC1  
The target area in the initial estimate GR0 presented in Fig. 5 is replaced by the pentagonal-area estimate in the GR1 derived from the look-up table presented in Fig. 6. The target area including some radar echo area is changed to a no-echo area.

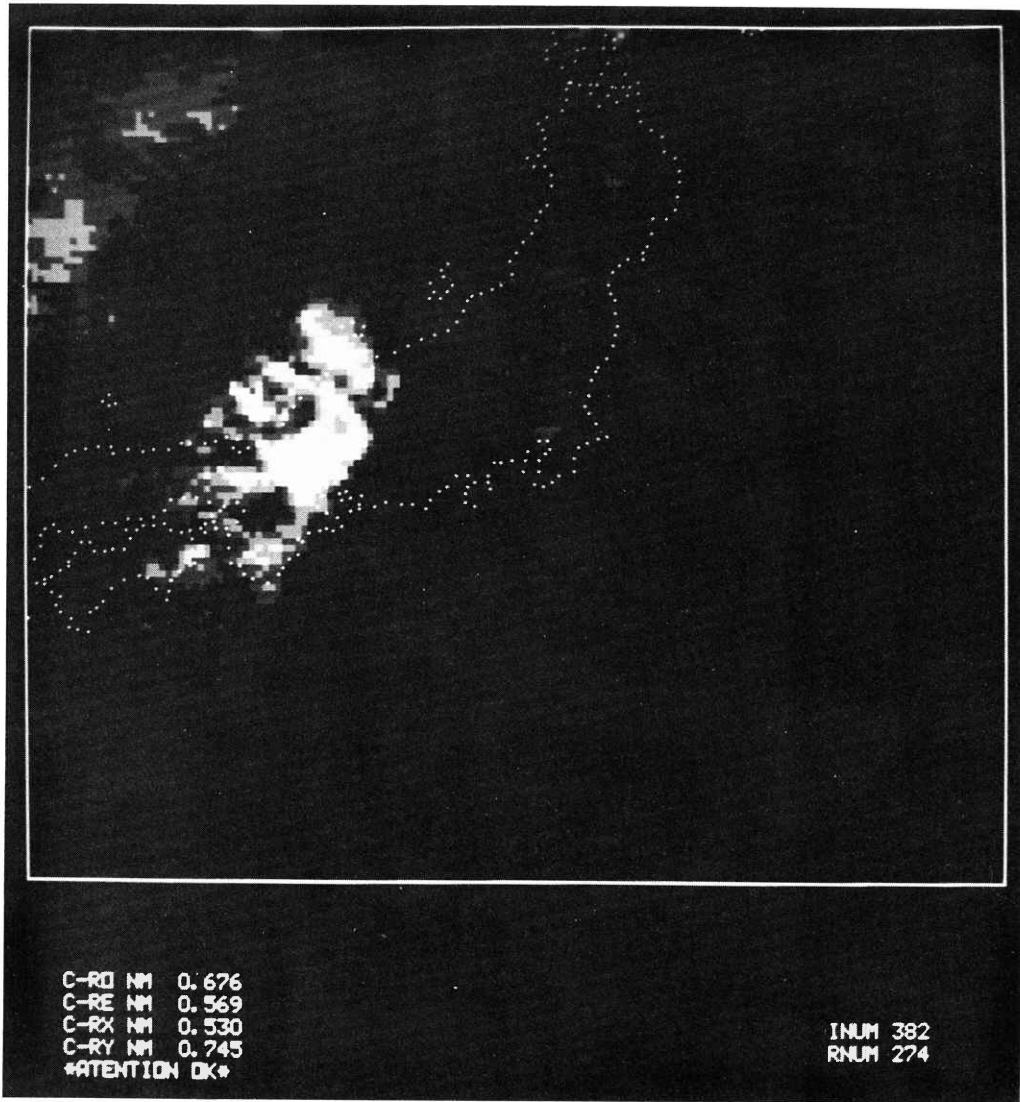


Fig. 11 Distribution of the composite estimate GR02

The target area in the composite estimate GR01 presented in Fig. 7 is replaced by the pentagonal-area estimate in the GR2 derived from the look-up table shown in Fig. 8. The target area is changed to the enhanced radar echo area (white area) compared with the initial estimate GR0 shown in Fig. 4.

し領域内のエコー強度との相関係数は0.234, GR1と切出し領域内のエコー強度とは0.120が得られている。これは、換算表が可視、赤外とエコー強度との関係が乏しい領域から作成されたことを示している。一方, Fig. 8のGR2の場合相関係数はそれぞれ0.569と0.530が得られた。

#### 4. まとめ

元木・小佐野(1985)の方法による自動モードで作成された降水強度の推定値GR0の精度を検討する目的で、マンマシン処理モードで合成推定値GRCnを試作した。合成推定値GRC2は、初期推定値GRの中で強めに見積もられた領域と弱めに見積もられた領域に対して、それぞれの領域内で作られた換算表を使って得られた推定値GR1, GR2をそれぞれのGR0と入れ替える処理で作成した。1984年5月1日03Zのケーススタディでは、初期推定値の精度を示すエコー強度との相関係数0.676は、一回目の合成後に0.714, 二回目の合成後に0.745と増加した。初期推定値GR0の精度と得られた合成推定値GRC2の精度差は約10%となった。このように、精度が向上した大きな理由は初期推定値で弱めに見積もられた推定域を強調し、さらに強めに見積もられた推定域を削除して実況エコー強度分布に近づけたためであろう。GMSデータから降水情報を求める手段において、推定値を合成する方法により実況エコー強度に近い推定値の作成ができたことは、最適な推定値の作成を考えるときに意味のあることである。特に、今回の結果からマンマシン処理モードの必要なことが分かった。今後の精度を向上させるために参考になると考えている。さらに、降水強度の推定値の特性を明らかにするためには、自動モードとマンマシン処理モードから作成した推定値の比較例を多くの現象で行うことが必要がある。

#### 謝 辞

本調査は、予報業務支援資料作成の調査の一環として

行われた。自動モードに関しては一連の調査があるので、ここでは並行して行われたマンマシン処理モードの結果をまとめて示した。本調査において気象衛星センターの櫃間道夫前解析課長の御指導に対して謝意を表します。レーダデータを提供された気象庁竹村行雄予報官に謝意を表します。宇宙開発事業団の里見穂主任開発部員、気象庁図書資料管理室の安田敏明司書官、舞鶴海洋気象台の島田健司予報課長からは、有益な助言を受けたので謝意を表します。最後に本調査において計算機や画像処理コンソールの利用に際して便宜を図って頂いたデータ処理課の方々に謝意を表します。

#### 参考文献

- 有木康男(1983);画像処理のすすめ—2値画像処理—。京都大学大型計算機センター広報, 16, No.1, 23-32
- 元木敏博・小佐野慎悟(1985);GMSデータとエコー強度データから降水強度を推定する試み。昭和59年度全国予報技術検討会, 気象衛星センター資料, 1-20
- 小佐野慎悟・元木敏博・鈴木和史(1986);GMSデータとエコー強度データから降水強度を推定する試み(Ⅱ)。昭和60年度全国予報検討会, 気象衛星センター資料, 1-21
- Osano, S., T. Motoki, K. Suzuki(1986); AN ESTIMATION OF PRECIPITATION INTENSITY FROM GMS DATA BY USING DIGITAL RADAR ECHO INTENSITY. PROCEEDINGS OF THE 23rd CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY and CONFERENCE ON CLOUD PHYSICS OF THE AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, SEPTEMBER 22-26, 1986, SNOWMASS, COLO. JP46-49
- 尾崎弘・谷口慶治・小川秀夫(1983);画像処理—その基礎から応用まで—, 共立出版, 1-247
- 里見穂(1981);「ひまわり」画像, レーダー及びアメダス雨量の重ね合わせ, 天気, 30, 381-384