

## 降水強度指数の精度向上

### Accuracy Improvement of the Satellite-derived Index of Precipitation Intensity

阿部 世史之\*, 西森 巖\*, 肆矢 雄三\*, 洸川 貞一\*  
Yoshiyuki Abe, Iwao Nishimori, Yuzo Yotsuya and Teiichi Sukawa

#### Abstract

The Satellite-derived Index of Precipitation Intensity (SI) has been produced operationally since 1st March 1989. The following three subjects were clarified and investigated to improve the SI accuracy in the last one year.

- (1) Operated matters for improvement
  - a) Seasonal threshold values of radar beam height for radar echo composition were established as 4,000m for warm season, from May to October, and as 2,000m for cold season, from November to April.
  - b) All digital radar data in Japan have been composed. Radar echo composition area was expanded for south-west ward.
  - c) Look Up Table (LUT) data, they are multiple regression coefficients, magnification rate, bias and threshold TBB values, for the Mono-spectrum (IR) method used in nighttime have been calculated also in daytime to decrease the discontinuity between the Bi-spectrum (VIS & IR) method and the Mono-spectrum method at evening.
  - d) Constants for representative characteristics conversion, they are magnification rate and bias, have been calculated by using the 1% order value in radar intensity data and the first estimated SI data, they are calculated by using only multiple regression coefficients, against the precipitable radar echo number.
- (2) Monthly and hourly accuracy of the SI from August to December in 1990.
  - a) Mean correlation coefficient between radar intensity data and SI acquired by using the Bi-spectrum method was 0.69 for all cases and was 0.76 for cases only immediately after the LUT data were updated. Mean correlation coefficient by using the Mono-spectrum method was 0.42 for all cases and was 0.62 for cases only immediately after the LUT data were updated.
  - b) The SI acquired by using the Bi-spectrum method provides better accuracy at midday than at early morning or evening. The accuracy of SI acquired by the Mono-spectrum method does not depend on calculation time.
- (3) Remained matters for future improvement
  - a) New algorithm of the IR Parameters used in the Mono-spectrum method was investigated. Some effective IR Parameters have been detected.
  - b) A method using the LUT data calculated in local derived area was investigated. The SI by using the local LUT data provides better accuracy than the one by using the whole LUT data.
  - c) Seasonal threshold TBB values for calculation of the LUT data were investigated. Reasonable values have been detected.

---

\* 気象衛星センター解析課  
Meteorological Satellite Center

はじめに

降水強度指数は、レーダから得られる降水反射強度データを目的変数、静止衛星から得られる可視データ及び赤外データを説明変数として重回帰分析を行い、得られた多項式を用いて、最新の衛星データから降水強度分布を自動処理により推定したものである。降水強度指数は、レーダ探知範囲外の降水強度分布を得ることにより、降水短時間予報の精度向上に資する目的を持つ。気象衛星センターでは、1989年3月1日から降水強度指数データを毎時刻算出してC-ADESSに通報しており、本年度中には、各気象官署に1日1回(03UTC)のデータが配信される予定である。

昨年度は、業務開始から約9か月を経過した時点で、降水強度指数の精度と表現特性および若干の業務運用上の改良予定について報告した(阿部他(1990))。降水強度指数に関する諸データが年を通じて蓄積された現在、

- i 運用上・技術上の改良点
- ii 精度の現状
- iii 精度向上に関する今後の課題

について、報告する。

なお、降水強度指数の作成手順や業務処理概要などの詳細については、鈴木他(1989)に詳しく記述して

ある。また、次章以下で右肩に\* (アスタリスク)を付してある語句については、昨年度の報告の付録を参照されたい。

1. 運用上・技術上の改良点

降水強度指数の精度向上に関して、この1年間に以下に述べる運用上・技術上の改良を行った。

1. 1 レーダデータ合成方法の変更

推定定数(\*)は、合成したレーダ探知範囲内のレーダデータと衛星データ(可視、赤外)との重回帰分析などによりあらかじめ決定され、次の時刻以降の衛星データに適用して降水強度分布を算出する。推定定数の算出にあたっては、レーダデータを真値として扱うため、合成レーダは信頼の高いデータで構成されていることが望ましい。このため昨年度の報告では、各地デジタルレーダデータの合成法について、以下の条件を設定した。

- i レーダ合成範囲の境界となる等ビーム高度の閾値を、低く設定する。
- ii 合成するレーダ観測格子数を増やす。

この条件に基づき、これまで以下に以下の点について用法を改善した。

- i 合成時の等ビーム高度の閾値を、寒候期(11

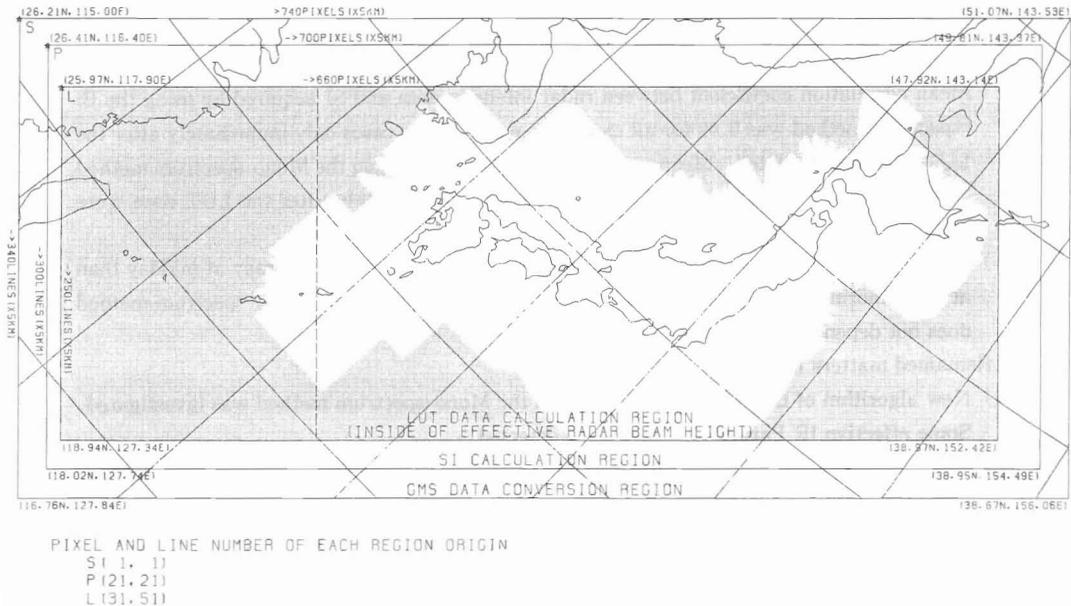


Fig.1-1 Regions used in the SI Routine Processing System.

月から4月まで)は2,000m、暖候期(5月から10月まで)は4,000mを境界とした(1990年1月18日から)。

- ii デジタル化が完了してデータが配信され始めた釧路レーダと名瀬レーダを、レーダデータ合成領域に加えた(1990年6月12日から)。
- iii 合成領域を南西諸島方面へ拡大し、格子数を480×250から660×250に拡大した(1990年8月13日から)。

Fig.1-1は、現在の降水強度指数業務で使用している各データ算出領域である。レーダデータ合成領域は、最も内側の推定定数算出領域に対応し、各地レーダサイトからのデータは等ビーム高度閾値の範囲で合成される。図中の白抜きの部分は、等ビーム高度4,000m以内の観測範囲である。また、奄美大島付近を縦に走る破線は、旧領域(480×250格子)の南西端である。

なお、沖縄レーダ・宮古島レーダ・石垣島レーダについても、今後デジタル化が完了しデータの配信が開始されれば、適宜合成に加えていく予定である。

### 1. 2 朝夕の推定型切り替えに伴う表現不連続の軽減

降水強度指数の推定型は、日中は可視・赤外併用型

(\*)、夜間は赤外単独型(\*)を用いており、朝方は赤外単独型から可視・赤外併用型に、夕方には可視・赤外併用型から赤外単独型に切り替えられる。切り替えの時刻は、可視データが使用できる時間帯に応じて、各月毎に決定されている。

切り替え時刻より1時間前に先だて、次の時刻以降使用する型の推定定数を算出しているが、この1回だけの機会を更新条件(\*)を満たす例は少ない。更新されなかった場合、推定型の切り替え時に使用される推定定数は、最も新しいものでも、朝方は前日の午後、夕方は当日の未明に算出されたものであり、それ以前に算出されたものを使うことも多い。数時間から1日近くも経過すると、その間に降水強度指数の算出領域(Fig.1-1を参照)の中で擾乱の発達・衰弱や擾乱系の入れ替わりなどがある。このため、切り替えの前後で、推定型の違いに起因する以上に表現の不連続が生じる。

夕方に、可視・赤外併用型から赤外単独型に切り替わる時の例を見る。Fig.1-2-1とFig.1-2-2は、1989年8月23日07UTCの降水強度指数分布図(可視・赤外併用型、同日06UTCに作成・更新された推定定数を使用)とレーダ合成図、またFig.1-2-3は、同日08UTCの降水強度指数分布図(赤外単独型、前日18UTCに作成・更新された推定定数を使用)である。Fig.1-2-1の

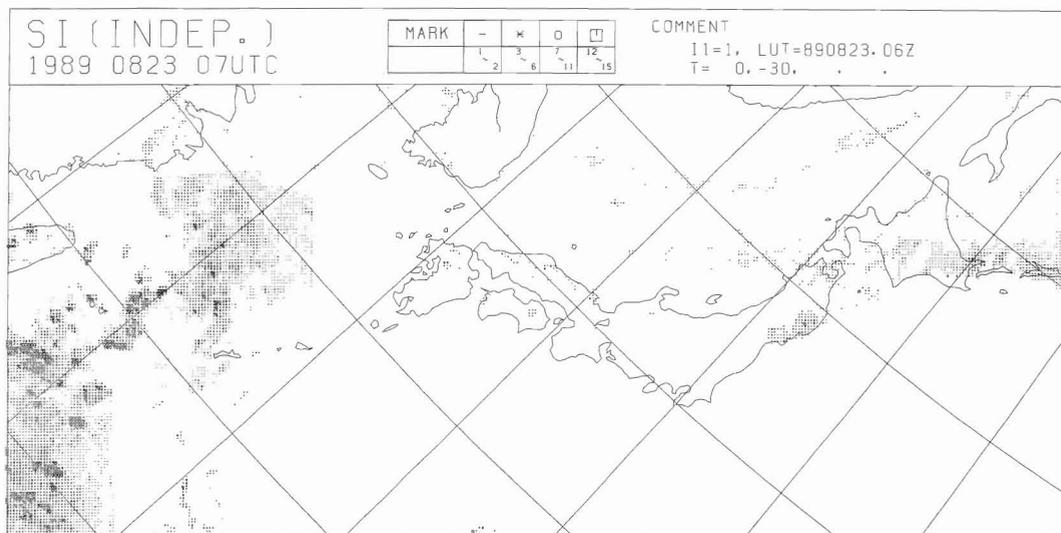


Fig.1-2-1 SI chart acquired by using the Bi-spectrum (VIS & IR) method at 07UTC on 23 August 1989. Used Look Up Table (LUT) data were calculated at 06UTC on the same day. Symbols show precipitation intensity.

- : below 2.0mm/h
- \* : 2.0 to 16.0mm/h
- o : 16.0 to 56.0mm/h
- : over 56.0mm/h

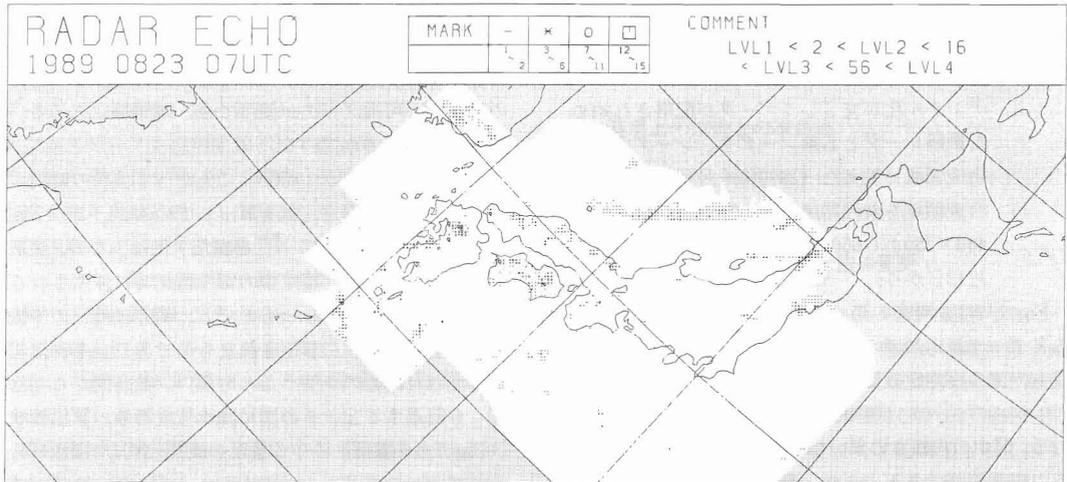


Fig.1-2-2 Composite radar chart at 06UTC on 23 August 1989. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

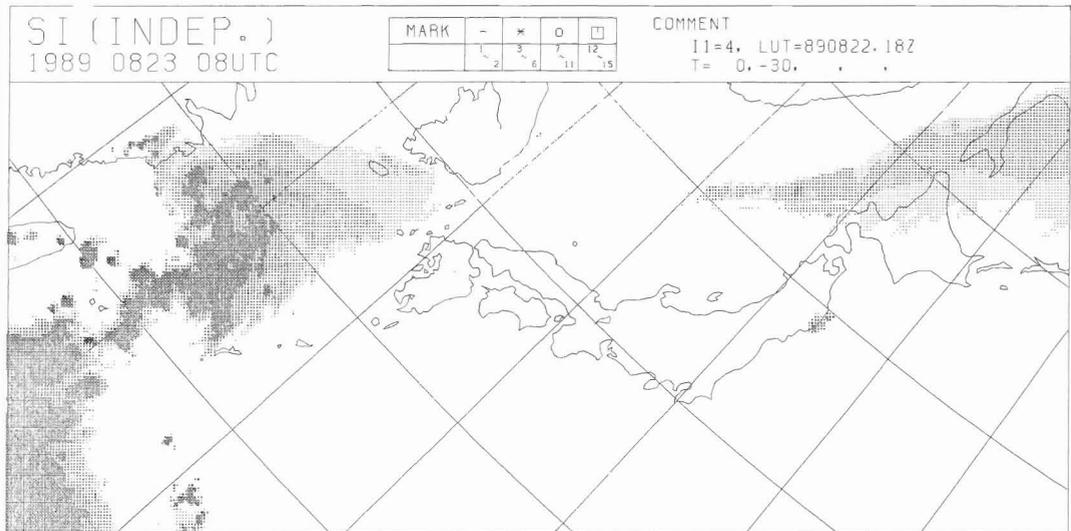


Fig.1-2-3 SI chart acquired by using the Mono-spectrum (IR) method at 08UTC on 23 August 1989. Used LUT data were calculated at 18UTC on 22 August. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

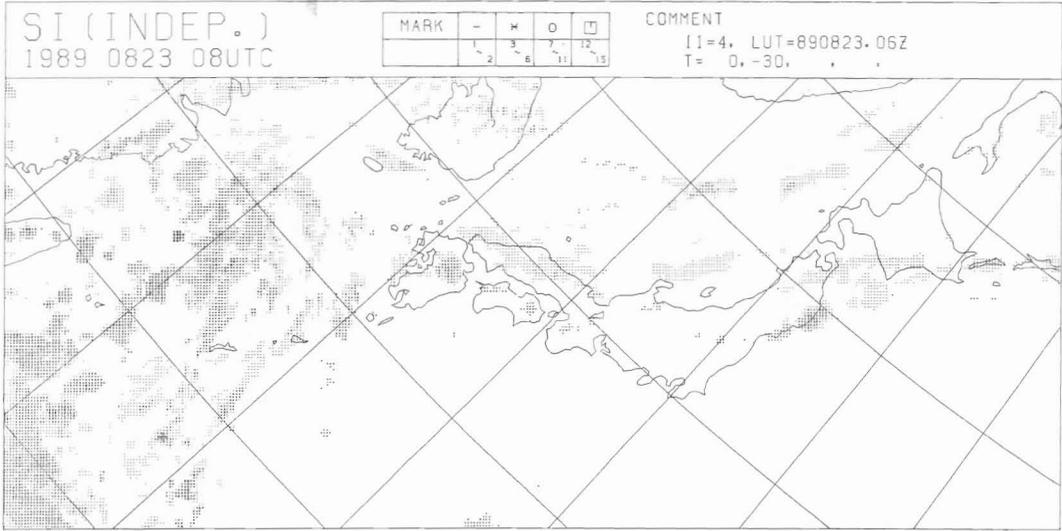


Fig.1-2-4 The same as Fig.1-2-3 except that used LUT data were calculated by using the data at 06UTC on 23. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

降水強度指数は、1時間前に算出された推定定数を使用しているため、日本海の寒冷前線対応の対流雲列や西日本の熱的不安定による対流雲など、レーダと比較してほぼ妥当な推定を行っている。一方、推定型が変わった Fig.1-2-3の降水強度指数は、14時間前に算出された推定定数を使用しているため、レーダとの対応が悪い。このため、Fig.1-2-1と Fig.1-2-3の間に、表現上の不連続が発生している。

Fig.1-2-4は、同日06UTCの時点で試作した赤外単独型の推定定数を、Fig.1-2-3と同じ08UTCの衛星データに適用した例である。寒冷前線対応の対流雲列や西日本のCbなどが、Fig.1-2-3より妥当なパターンで表現されていることがわかる。

このように、夕方の表現不連続を軽減する改善策として、日中も可視・赤外併用型の推定定数と平行して赤外単独型の推定定数を算出し、更新の機会を増やすことが有効である。この方式は、1990年1月18日から業務化された。

これに対して、朝方の表現不連続を軽減することは難しい。可視・赤外併用型の適用時刻をあと1、2時間遅らせ、その間に推定定数の更新機会を増やす方が考えられるが、一般に可視・赤外併用型の方が精度が良いので、適用時間帯を短縮することは得策ではない。赤外単独型による推定精度の向上に努力すべきである。

### 1. 3 表現特性変換定数の算出法の変更

降水強度指数の算出にあたっては、重回帰係数の他に、レーダ強度に近い値として表現するように拡大率やバイアス値（まとめて「表現特性変換定数」と呼ぶ）を使用しており、推定定数に含まれている。表現特性変換定数による補正を行う理由は、レーダ観測格子数の中で「降水なし」の情報が年平均で90%強と圧倒的に多く、強いレベルのレーダ観測値が非常に少ないことから、重回帰係数のみで算出される降水強度指数は、真値に比べ弱く表現されるためである。

表現特性変換定数は、重回帰係数のみで算出された降水強度指数（従属データを適用、以下「第1次推定値」という）とレーダ強度の強域側と弱域側において、両者を一致させる連立方程式により決定される。当初は、強域側の比較値に、レーダ強度と第1次推定値とも最大値が使用されていた。しかし、レーダエコーの最大強度レベルをもつ格子は、一般にレーダエコー存在格子数に占める割合が極く小さいため、この方法で求めた表現特性変換定数は、必ずしも全体を滑らかに補正する代表的な値とは言えず、コントラストが強く表現されることが多かった。このため、最適な表現特性変換定数を決定するにあたっては、強域側の比較順位を検討する必要がある。

以下に、1989年8月26日18UTCの台風に伴うデー

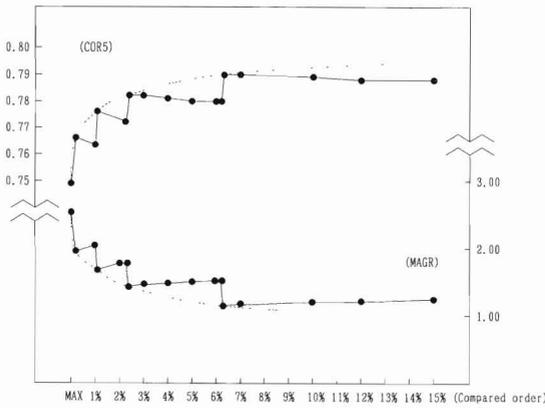


Fig.1-3-1 Relation between compared order and correlation coefficient (COR5), magnification rate (MAGR) at 18UTC on 26 August 1989. Dotted lines show smoothing curve connected the partial maximum of COR5 and the partial minimum of MAGR.

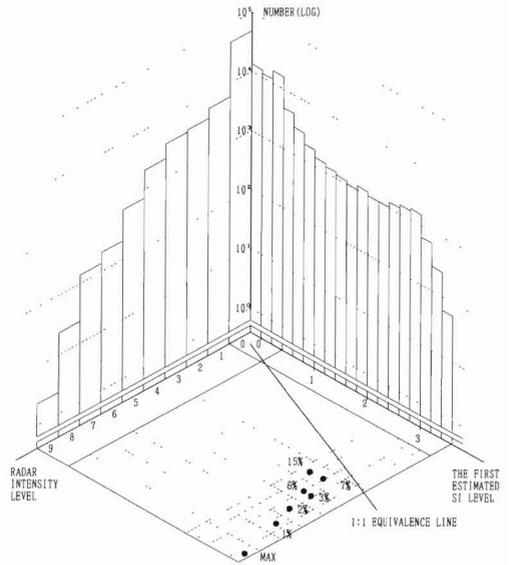


Fig.1-3-2 Distribution chart of grid number at 18UTC on 26 August 1989. The first estimated SI levels were calculated by using only multiple regression coefficients.

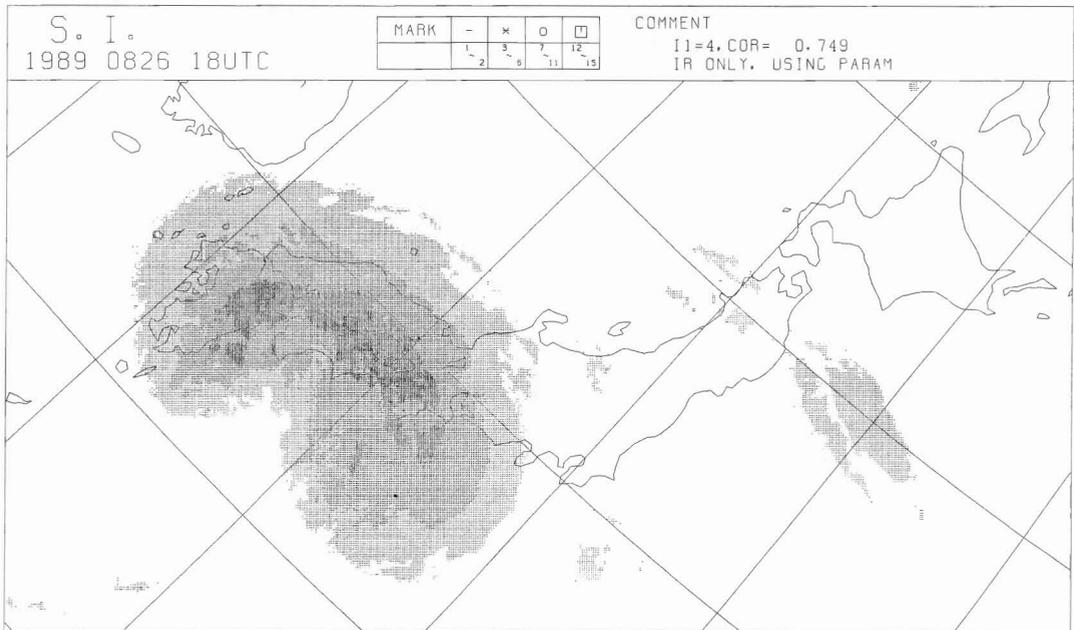


Fig.1-3-3 Dependent SI chart acquired by using the Mono-spectrum (IR) method at 18 UTC on 26 August 1989. Compared value between radar echo intensity and the first estimated SI (calculated by using only multiple regression coefficients) at strong intensity side was the maximum value. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

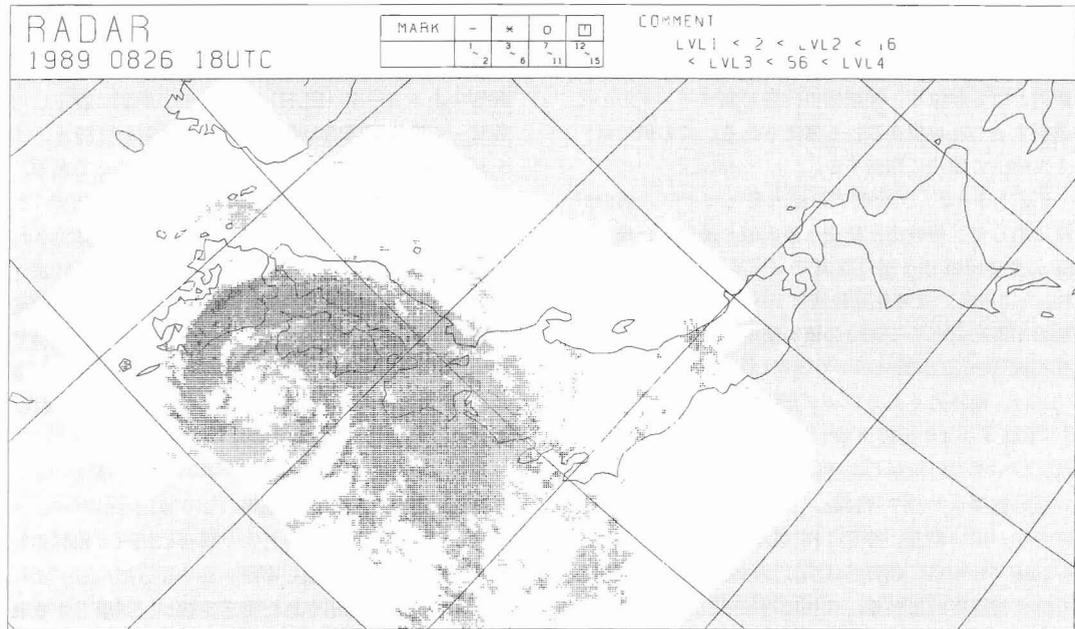
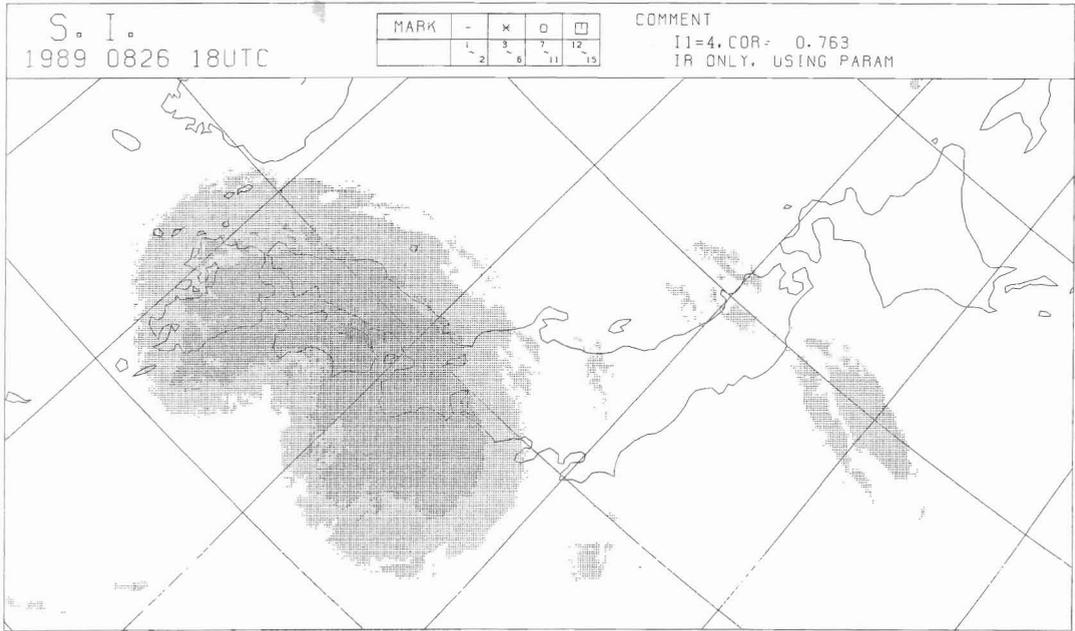


Fig.1-3-5 Composite radar chart at 18UTC on 26 August 1989. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

タを使用して、強域側の比較順位について検討した結果を述べる。Fig. 1-3-1は、比較順位を双方の最大値から、上位から数えてレーダエコー存在格子数の15%に対応する順位の値まで順次変化させた時の、相関係数(COR5<sup>(\*)</sup>、衛星データは従属データ)と拡大率(MAGR)の変化である。また、Fig. 1-3-2は、この時刻におけるレーダ強度と第1次推定値のレベルごとの格子数である。Fig. 1-3-1に示すように、強域側の比較順位を最大値から15%に対応する順位の値まで順次下げるにつれて、相関係数が大きくなり拡大率は小さくなる。変化が階段状で一定でないのは、第1次推定値が実数値で算出されるのに対し、レーダ強度レベルは整数値で例えば3~5%までは比較順位が同じ値(5)であることによる。この例では、3%前後に対応する順位までは相関係数の増大と拡大率の減少が順調に認められるが、それ以降は変化が鈍化している。これは、Fig. 1-3-2に示すように、この時刻ではレーダ強度の最大レベル(9)は、僅か2格子しか観測されていないが、順位をさげるにつれて、レーダ強度と第1次推定値の双方とも、比較するレベル値に含まれる格子数が急速に増加するためである。比較する順位をさげるにつれて、相関は良くなる一方、防災上重要な情報である強い降水強度を持つ領域の表現を鈍らせてしまう恐れがある。このため、比較順位を下げた効果が最もよく現れる順位、すなわち相関係数と拡大率の変化をスムージングした曲線(Fig. 1-3-1中の点線)の曲率が最大となる順位を、強域側の比較対象ポイントとして選択することが望ましいと考えられる。この例では、1%前後の順位に相当する。

Fig. 1-3-3は、同時刻での拡大率とバイアス値の計算に際して、強域側比較値に最大値を使用した場合の降水強度指数分布図(従属データを適用)であり、Fig. 1-3-4は、強域側比較値にレーダエコー存在格子数の1%に対応する順位の値を使用した場合の降水強度指数分布図(従属データを適用)である。また、Fig. 1-3-5は、検証のためのレーダ合成図である。Fig. 1-3-3とFig. 1-3-4を比較すると、最大値を使用した場合は、レーダで台風中心の周囲にわずかししか観測されていない強度レベル7(16mm/h以上に相当)以上の強度分布が広い範囲に推定され、強度レベル3から6(2~16mm/h相当)の分布状況についてもレーダ強度より広く推定されている。これに対して、レーダエコー存在格子数の1%に対応する順位の値を使用した場合は、レーダ強度の分布と良く合っている。相関係数と

拡大率は、最大値を使用した場合で0.749と2.53、1%対応順位値を使用した場合で0.763と2.04であった。

強域側比較値の最適順位については、台風や低気圧、前線などの事例を検討した結果、上記の例のように、上位から数えてレーダエコー存在格子数の1%に対応する順位のレーダ強度と第1次推定値を採用するのが適当と判断された。この方式は、1990年4月18日から業務化された。なお、弱域側の比較値については、当初からの変更はない。

## 2. 精度の現状

第1章で紹介した改善法を順次適用してきた結果、降水強度指数は可視・赤外併用型、赤外単独型とも次第に精度が向上している。以下に、月別と時刻別の精度評価結果について述べる。

### 2. 1 月別に評価した精度

Table 2は、1990年8月18日から12月31日までの月別の降水強度指数の精度評価結果である。双方の型について、算出された全データの精度と1時間前に作成・更新された推定数のみを用いて算出された場合のデータの精度に区分している。いずれにも、算出データ数(N)・降水強度指数とレーダ強度の相関係数(COR5)・的中率(HIT)・見逃し率(FAL)・空振り率(MIS)を示す。各値の意味は、昨年度の報告(第2章)で用いたものと同じである。また、全データの評価中のエコー率(ECH)とは、その期間に設定した等ビーム高度閾値内のレーダ格子数に対して降水エコーが観測された格子数の割合(百分率)である。1時間前更新推定数の適用により算出されたデータの評価中の更新率(UPD)とは、その期間に算出された推定数の数に対して条件<sup>(\*)</sup>を満たして更新された推定数の数の割合(百分率)であり、精度を評価する指標のひとつでもある。なお、1. 1項で述べたように、11月以降は合成時の等ビーム高度閾値を2,000mとしているため、4,000mで運用した8月から10月の精度と区別している。

可視・赤外併用型によるデータの精度評価値では、1時間前更新推定数の適用により算出されたデータの方が、全データを対象とした場合に比べて相関係数と的中率が高く、見逃し率が少なくなっている。これは、1時間前に算出された推定数が、対象とする雲域の降水特性をより良く表現しているためである。空振り率は、全データを対象とした場合と同じ程度であ

Table 2 Monthly evaluation of the SI acquired from 18 August to 31 December 1990 for all cases and cases only immediately after the LUT data were updated.

N : Total case number of the SI  
 COR5 : Correlation coefficient between SI and radar intensity in 5×5 grids  
 HIT : Hit rate excluding (0.0) level and including difference of ±1 level  
 FAL : False alarm rate  
 MIS : Missing rate  
 ECH : Ratio of precipitable radar echo grids against observed radar grids  
 UPD : Ratio of updated LUT members against calculated LUT members

		RADAR INTENSITY →			
		0	1	2	3
	0	×			FAL
SI	1				
	2			HIT	
	3		MIS		
	↓				

i Bi-spectrum (VIS & IR) method

(1) For all cases

YY MM	N	COR5	HIT(%)	FAL(%)	MIS(%)	ECH(%)
'90 AUG *	163	0.60	71	22	7	5
SEP	237	0.73	79	15	6	10
OCT	206	0.72	81	16	2	8
	606	0.69	78	17	5	8
NOV	182	0.68	82	12	5	9
DEC	132	0.69	85	13	2	7
	314	0.68	84	12	4	8
TOTAL / MEAN	920		80	16	4	8

(2) For cases only immediately after the LUT data were updated

YY MM	N	COR5	HIT(%)	FAL(%)	MIS(%)	UPD(%)
'90 AUG *	98	0.66	74	19	7	61
SEP	184	0.75	80	14	6	80
OCT	100	0.82	85	11	4	58
	382	0.74	80	15	5	68
NOV	74	0.81	86	9	5	47
DEC	46	0.81	89	9	2	51
	120	0.81	87	9	4	48
TOTAL / MEAN	505		82	13	5	62

り、どちらも5%以下にとどまっている。算出された推定定数は、ほぼ3回に2回の割合で更新されている。

一方、赤外単独型によるデータの精度評価値でも、1時間前更新推定定数の適用により算出されたデータの方が精度が良い。算出された推定定数は、ほぼ3回に1回の割合で更新されている。

双方の型とも、8月が他の月と比べて精度評価が悪いのは、エコー率(ECH)に示されるように発現した降水エコーが少なく、台風9014号による降水以外は熱的不安定による小スケールのものがほとんどであったことが主な原因と思われる。すなわち、レーダエコーと対応させるTBBが低い温度のみであることが多い

ため推定定数が幅広いレベルのTBBに対して十分検定されなかったことや、雲域が発達・衰弱などで短時間に急激に変化したことなどによる。同様の傾向は、1989年の7月下旬から8月にかけても見られた。

2.2 時刻別に評価した精度

Fig. 2はTable 2と同じく、1990年8月18日から11月30日までに算出された降水強度指数的中率・見逃し率・空振り率を、時刻別に平均したものである。図中で、「MONO」と記した時間帯は赤外単独型による推定であり、「BI」は可視・赤外併用型による推定であ

ii Mono-spectrum (IR) method

(1) For all cases

YY MM	N	COR5	HIT(%)	FAL(%)	MIS(%)	ECH(%)
'90 AUG *	276	0.40	66	26	8	5
SEP	409	0.47	66	22	12	10
OCT	449	0.40	70	24	6	9
	1,134	0.42	68	23	9	8
NOV	416	0.45	70	21	8	12
DEC	519	0.38	78	18	4	5
	935	0.41	75	19	6	8
TOTAL / MEAN	2,069		71	21	8	8

(2) For cases only immediately after the LUT data were updated

YY MM	N	COR5	HIT(%)	FAL(%)	MIS(%)	UPD(%)
'90 AUG *	83	0.57	69	20	11	32
SEP	162	0.61	71	17	12	45
OCT	108	0.65	75	16	9	28
	353	0.61	71	18	11	35
NOV	113	0.63	75	14	11	26
DEC	84	0.66	80	13	7	21
	197	0.64	77	14	9	24
TOTAL / MEAN	550		73	17	10	31

る。23UTCと07UTCで評価値が2通りあるのは、月によって推定型の適用時刻を変えているからであり、23UTCは8月が可視・赤外併用型で9月以降が赤外単独型、07UTCは8月と9月が可視・赤外併用型で10月と11月が赤外単独型による。

可視・赤外併用型による推定では、03UTC前後の日中が一番精度が良く、朝方と夕方はこれに比べて的中率(HIT)が小さくなり、見逃し率(FAL)が大きくなる。これには、次の様な理由が考えられる。

- i 可視・赤外併用型による推定で、可視データは各時刻の太陽天頂角により補正されているが、朝方と夕方は太陽の高度が低く、雲域上の凹凸などにより影ができた場合は、補正ができない。

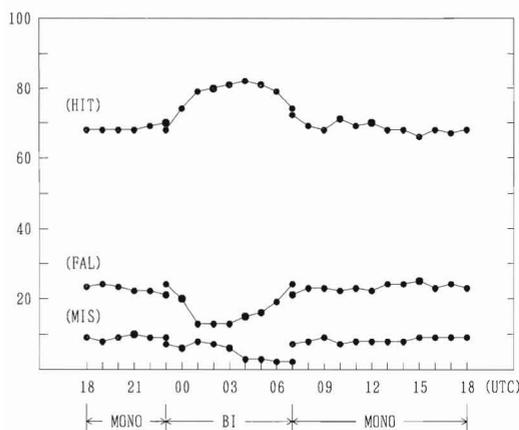


Fig. 2 Hourly evaluation of the SI acquired in the same period as in Table 2. “MONO” is a time period by using the Mono-spectrum (IR) method and “BI” is a time period by using the Bi-spectrum (VIS & IR) method.

さらに、朝方と夕方(特に西から照射する夕方)にCbなどの側面に太陽光が照射した場合は、際立って明るい反射が観測され、その上に太陽天頂角により補正されると、極めて強い反射強度とされるため、レーダ強度との重回帰分析に影響を及ぼす。

- ii 朝方は、1. 2項で述べたように、可視・赤外併用型への切り替え時刻より1時間前に先だつ1回のみ推定定数算出では、条件を満たして更新されることが少ない。そのため、対象とする雲域の降水を十分に推定できないことが多い。

空振り率(MIS)については、午後の方が少し小さくなる傾向はあるが、特に大きな変化はない。

一方、赤外単独型については、適用時刻全体を通じて各値ともほぼ一定した精度となっている。

なお、23UTCと07UTCの可視・赤外併用型的中率と見逃し率が、赤外単独型より僅かながらも悪くなっているのは、月別に評価した精度で述べたように、8月に発現した降水エコーが少なく、熱的不安定によるものがほとんどであったことによる。

### 3. 精度向上に関する今後の課題

次に、降水強度指数の精度向上に関して、現在検討されている課題について紹介する。

#### 3. 1 赤外単独型アルゴリズムの改良

##### 3. 1. 1 現状と問題点

赤外単独型による降水強度指数は、精度を次第に向上させることができたが、赤外1チャンネルのデータによるため、依然としてCiストリークや低気圧前面のCi域などの上層雲に対して降水を推定する場合が見受けられる。無降水の上層雲に対する降水の誤推定は、推定定数算出領域内に活発な対流雲域と無降水の上層雲が混在している時に算出された推定定数を適用した場合に、多く発生している。

現在使用している赤外単独型の推定式は、下記の通りである。

$$SI_N = (C_0 + C_1 \cdot TBB + C_2 \cdot TBB^2 + C_3 \cdot TBB^3 + C_4 \cdot PRM1 + C_5 \cdot PRM2) \cdot \alpha + \beta$$

- $SI_N$  : 赤外単独型による降水強度指数
- $C_n$  : 重回帰係数
- TBB : 等価黒体放射温度
- PRM1, PRM2 : 「赤外パラメータ」
- $\alpha$  : 拡大率
- $\beta$  : バイアス値

式中のPRM1とPRM2に示すパラメータ(以下「赤外パラメータ」という)は、降水を伴う活発な対流雲域と無降水の上層雲を識別するために導入されたものである。現在の赤外パラメータには、算出格子を中心とする緯経度2度領域内のTBBの平均と分散を使用している。

Fig.3-1-1は1989年7月2日18UTCのレーダ合成図、Photo.3-1は同時刻の赤外画像、Fig.3-1-2は同時刻の降水強度指数分布図(赤外単独型、従属データを適用)である。降水強度指数分布図で、南西諸島から紀伊半島の南に推定された降水域は活発な対流雲域に対応し、レーダエコーと合っている。しかし、山陰沖から東北地方および三陸沖に伸びる降水推定域は雲域北側のCiストリークに対応するものであり、レーダエコーは観測されていない。

この時のレーダと赤外画像を比較すると、九州南海上から紀伊半島の南海上には活発な対流雲域があり、やや強いレーダエコーが観測されている。一方、能登半島付近に観測された弱いレーダエコーには、南岸の対流雲よりTBBのやや高い上層雲が対応(実際はその

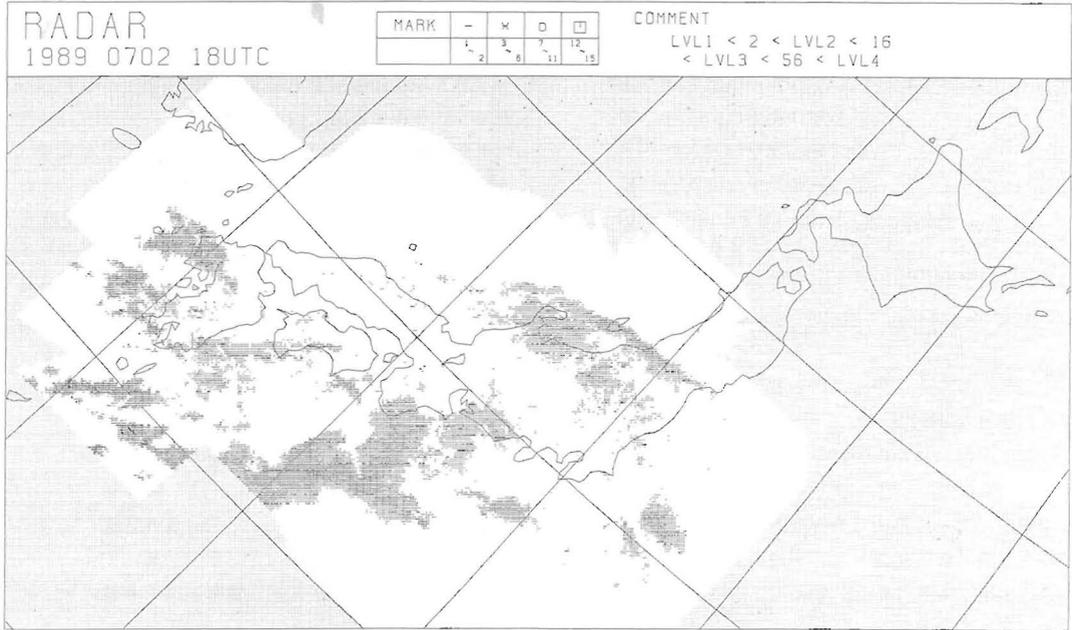


Fig.3-1-1 Composite radar chart at 18UTC on 2nd July 1989. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

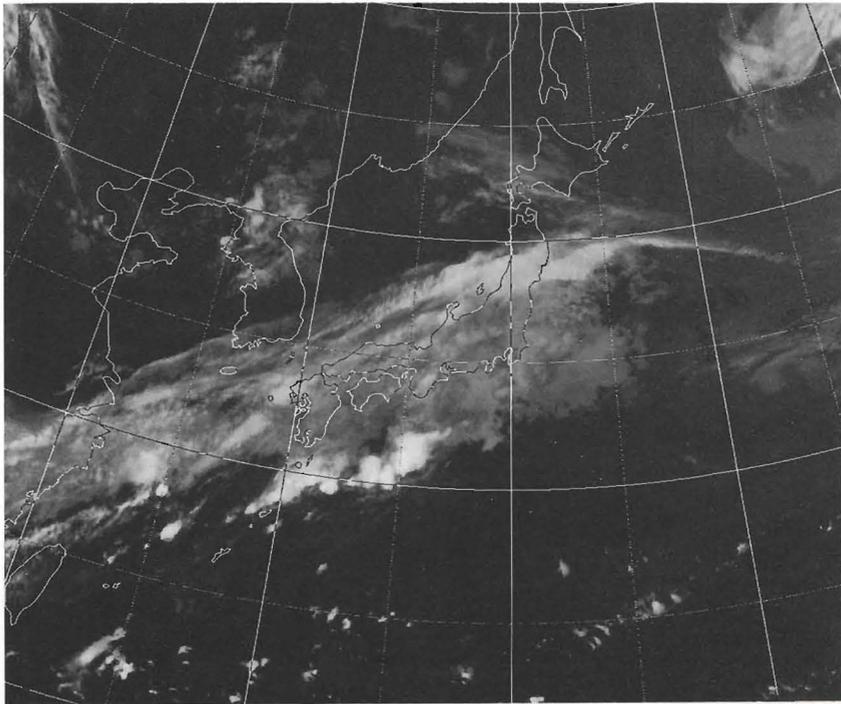


Photo.3-1 GMS infrared image at 18UTC on 2nd July 1989

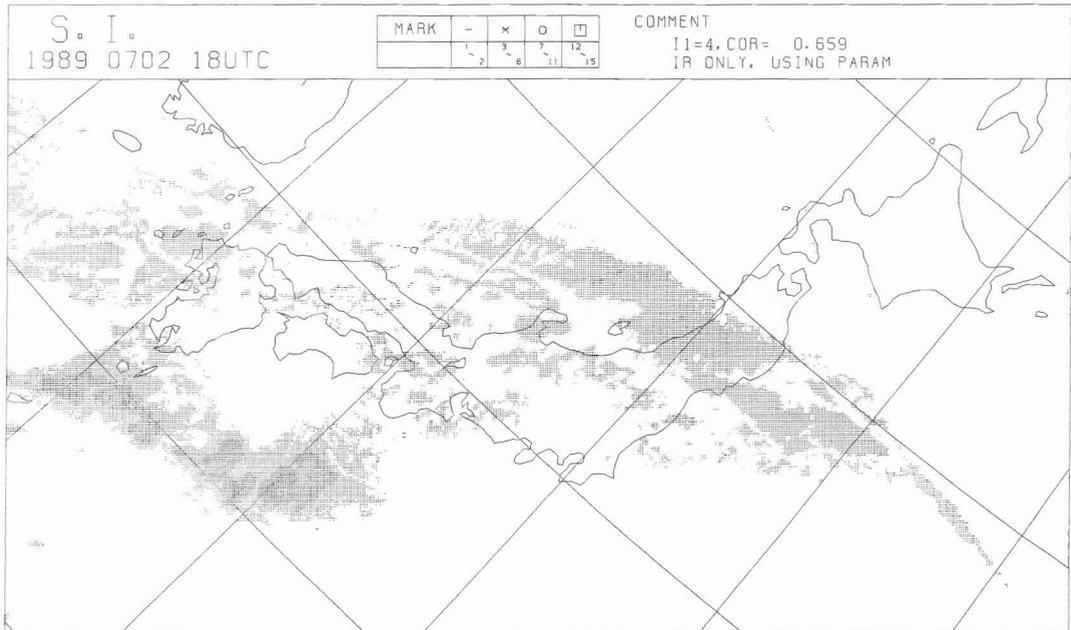


Fig.3-1-2 Dependent SI chart acquired by using the Mono-spectrum (IR) method at 18 UTC on 2nd July 1989. Used IR parameters are the same as current, they are the mean and variance of TBB histogram in 41×41 grids around a calculated grid as a center. Symbols are the same as in Fig.1-2-1.

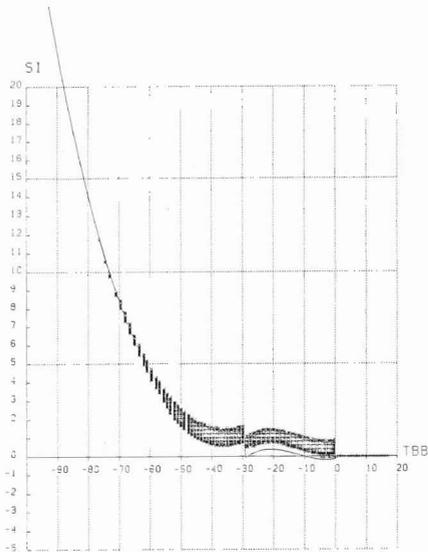


Fig.3-1-3 Scatter distribution of the dependent SI versus TBB at 18UTC on 2nd July 1989. Used IR parameters are the same as current, they are the mean and variance of TBB histogram in 41×41 grids around a calculated grid as a center.

下の下層雲が対応)している。このため、重回帰分析によって、対流雲と対応するやや強いエコーの関係が主に評価されたため、結果として日本海側の上層雲にも降水評価がなされたものと考えられる。Fig.3-1-3は、同じ時刻のデータに対して、現行の赤外パラメータを用いて算出した降水強度指数(従属データを適用)とTBBの散布図である。横軸の各TBB値を持つ雲に対して、×印でプロットした位置が降水強度指数のレベル値である。3次曲線は、赤外単独型推定式のTBBの3次の項までを使って(すなわち、前記の式で $C_4=C_5=0$ として)描かれている。推定定数算出領域内に同程度のTBBを持つ対流雲と上層雲が混在した場合、同じTBBに対しても×印が3次曲線から幅広く変位していれば、活発な対流雲と上層雲に対する赤外パラメータの判別能力が優れていることを表す。図では、現行の赤外パラメータを用いて算出した降水強度指数は、3次曲線の回りに狭い幅で分布しているにすぎない。現行赤外パラメータでは、活発な対流雲と上層雲の判別が十分にできなかったことを示している。

3. 1. 2 調査方法と結果

こうした上層雲に対する降水推定を改善するため、新しいパラメータの抽出について調査を行った。試験パラメータには、加藤他(1982)がまとめた雲特徴パラメータの中から以下のパラメータを選び、対流雲と上層雲の判別能力を検討した。その際に、試験パラメータの算出範囲は、現行のパラメータと同じく、それぞれの降水強度指数算出格子を中心とする緯経度2度領域内(41×41格子)とした。

- i Spectral Feature (パラメータ算出領域内の赤外波長分布に依存する情報)
  - (1) 領域内 TBB ヒストグラムの90%順位値と10%順位値の差
  - (2) 領域内 TBB ヒストグラムの最冷値と50%順位者の差
 (注、現在使用している領域内 TBBの平均と分散も、この情報に属する)

ii Textual Feature (パラメータ算出領域内の表面状態に関する情報)

- (1) 差分データの平均 (Mean)
 

差分をとる2点間の距離と方向を  $\rho, \theta$  とする。2点間の TBB レベル差をクラス分けしたときの値を  $i$ 、その度数を  $f(i)$ 、クラス数を  $nl$ 、測定領域内に含まれるペア数(2点を1ペアとする)を  $N$  とすると、

$$M(\rho, \theta) = \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^{nl} i \left( \frac{f(i)}{N} \right)$$

- (2) 差分データのコントラスト (Contrast)

$$C(\rho, \theta) = \sum_{i=1}^{nl} i^2 \left( \frac{f(i)}{N} \right)$$

- (3) 差分データの角二次モーメント (Angular second moment)

$$A(\rho, \theta) = \sum_{i=1}^{nl} \left( \frac{f(i)}{N} \right)^2$$

- (4) 差分データのエントロピー (Entropy)

$$E(\rho, \theta) = - \sum_{i=1}^{nl} \left( \frac{f(i)}{N} \right) \ln \left( \frac{f(i)}{N} \right)$$

Textual Feature のパラメータについては、以下の要素に細分して検討した。

- (1) 差分をとる2点間の方向 ( $\theta$ ) など
  - ① 北西-南東方向の平均
  - ② 北-南方向の平均

- ③ 北東-南西方向の平均
- ④ 東-西方向の平均
- ⑤ 四方向の平均の平均
- ⑥ 四方向の平均の標準偏差
- ⑦ 四方向の平均の最大値
- ⑧ 四方向の平均の最小値
- ⑨ 四方向の平均の最大値と最小値の差

(2) 差分をとる2点間の距離 ( $\rho$ )

- ① 1格子
- ② 3格子
- ③ 5格子

Table3-1は、先の誤推定の事例と同じく1989年7月2日18UTCの赤外データとレーダデータを使用して、試験パラメータを順次適用して得られた結果である。表中には、各試験パラメータを用いて算出された推定定数を同じ時刻の赤外データ(従属データ)に適用して求めた降水強度指数とレーダ強度との比較による相関係数を記してある。COR5は、1, 3項で使用したものと同様であるが、COR1とは、レーダ強度と降水強度指数の格子を1:1に対応させて算出したものである。

現在使用の2つの赤外パラメータは比較的有効であるため、これらを1つにまとめた。この場合、分散を

Table 3-1 Accuracy of the dependent SI using tentative IR Parameters. Used IR data and radar data are at 18UTC on 2nd July 1989.

$SI_N = (b_0 + b_1 \cdot TBB + b_2 \cdot TBB^2 + b_3 \cdot TBB^3 + b_4 \cdot PRM1 + b_5 \cdot PRM2) \alpha + \beta$   
 PRM1 : IR Parameter #1  
 PRM2 : IR Parameter #2  
 TBB AVE : Mean of TBB histogram in 41×41 grids  
 TBB VAR : Variance of TBB histogram in 41×41 grids  
 TBB MIN : Value at minimum of cumulative frequencies in 41×41 grids  
 TBB 90% : Value at 90% of cumulative frequencies in 41×41 grids  
 TBB 50% : Value at 50% of cumulative frequencies in 41×41 grids  
 TBB 10% : Value at 10% of cumulative frequencies in 41×41 grids  
 COR1 : Correlation coefficient between SI and radar intensity  
 COR5 : Correlation coefficient between SI and radar intensity in 5×5 grids

i Present parameters

PRM1	PRM2	COR1	COR5
TBB AVE	TBB VAR	0.406	0.659

(Transformation)

PRM1	PRM2	COR1	COR5
TBB VAR / TBB AVE (Coefficient of Variation)	Not used	0.405	0.661
TBB VAR × TBB AVE	Not used	0.404	0.654

ii Spectral feature parameters

PRM1	PRM2	COR1	COR5
TBB VAR / TBB AVE	TBB 90% - TBB 10%	0.406	0.652
	TBB MIN - TBB 50%	0.458	0.711

METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER TECHNICAL NOTE No. 22 MARCH, 1991

iii Textual feature parameters

(1) Mean of finite difference data  $M(\rho, \theta)$

PRM1	PRM2	$\rho$		COR1	COR5
		1	3		
TBB VAR / TBB AVE	$M(\rho, \theta)$ for direction NW-SE	1	0.444	0.712	
		3	0.447	0.691	
		5	0.447	0.689	
	$M(\rho, \theta)$ for direction N-S	1	0.443	0.691	
		3	0.445	0.687	
		5	0.446	0.688	
	$M(\rho, \theta)$ for direction NE-SW	1	0.413	0.690	
		3	0.415	0.677	
		5	0.416	0.675	
	$M(\rho, \theta)$ for direction E-W	1	0.434	0.687	
		3	0.435	0.674	
		5	0.436	0.669	
Mean of $M(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.429	0.704		
	3	0.431	0.689		
	5	0.431	0.688		
Standard Deviation of $M(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.413	0.665		
	3	0.419	0.662		
	5	0.425	0.662		
Maximum of $M(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.409	0.686		
	3	0.407	0.676		
	5	0.406	0.670		
Minimum of $M(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.425	0.686		
	3	0.429	0.675		
	5	0.433	0.677		
Difference between maximum and maximum of $M(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.412	0.666		
	3	0.418	0.662		
	5	0.425	0.662		

(2) Contrast of finite difference data  $C(\rho, \theta)$

PRM1	PRM2	$\rho$		COR1	COR5
		1	3		
TBB VAR / TBB AVE	$C(\rho, \theta)$ for direction NW-SE	1	0.406	0.669	
		3	0.406	0.668	
		5	0.407	0.670	
	$C(\rho, \theta)$ for direction N-S	1	0.406	0.669	
		3	0.408	0.674	
		5	0.411	0.678	
	$C(\rho, \theta)$ for direction NE-SW	1	0.406	0.663	
		3	0.416	0.659	
		5	0.422	0.652	
	$C(\rho, \theta)$ for direction E-W	1	0.407	0.663	
		3	0.410	0.656	
		5	0.411	0.653	
Mean of $C(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.405	0.662		
	3	0.406	0.659		
	5	0.408	0.657		
Standard Deviation of $C(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.414	0.695		
	3	0.422	0.695		
	5	0.425	0.697		
Maximum of $C(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.406	0.669		
	3	0.408	0.673		
	5	0.409	0.675		
Minimum of $C(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.408	0.668		
	3	0.417	0.662		
	5	0.423	0.655		
Difference between maximum and maximum of $C(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.414	0.694		
	3	0.420	0.693		
	5	0.423	0.695		

(3) Angular Second Moment of finite difference data  $A(\rho, \theta)$

PRM1	PRM2	$\rho$		COR1	COR5
		1	3		
TBB VAR / TBB AVE	$A(\rho, \theta)$ for direction NW-SE	1	0.410	0.676	
		3	0.408	0.667	
		5	0.407	0.665	
	$A(\rho, \theta)$ for direction N-S	1	0.415	0.681	
		3	0.407	0.666	
		5	0.405	0.663	
	$A(\rho, \theta)$ for direction NE-SW	1	0.413	0.678	
		3	0.416	0.675	
		5	0.414	0.670	
	$A(\rho, \theta)$ for direction E-W	1	0.412	0.673	
		3	0.414	0.670	
		5	0.412	0.668	
Mean of $A(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.413	0.674		
	3	0.411	0.668		
	5	0.410	0.665		
Standard Deviation of $A(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.408	0.683		
	3	0.432	0.711		
	5	0.431	0.697		
Maximum of $A(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.413	0.677		
	3	0.416	0.674		
	5	0.415	0.670		
Minimum of $A(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.413	0.674		
	3	0.407	0.665		
	5	0.406	0.663		
Difference between maximum and maximum of $A(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.409	0.689		
	3	0.430	0.707		
	5	0.428	0.694		

(4) Entropy of finite difference data  $E(\rho, \theta)$

PRM1	PRM2	$\rho$		COR1	COR5
		1	3		
TBB VAR / TBB AVE	$E(\rho, \theta)$ for direction NW-SE	1	0.407	0.668	
		3			
		5			
	$E(\rho, \theta)$ for direction N-S	1	0.407	0.668	
		3			
		5			
	$E(\rho, \theta)$ for direction NE-SW	1	0.409	0.670	
		3			
		5			
	$E(\rho, \theta)$ for direction E-W	1	0.408	0.668	
		3			
		5			
Mean of $E(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.408	0.667		
	3	0.408	0.662		
	5	0.407	0.660		
Standard Deviation of $E(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.405	0.666		
	3	0.429	0.706		
	5	0.431	0.699		
Maximum of $E(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.407	0.666		
	3	0.405	0.663		
	5	0.405	0.662		
Minimum of $E(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.409	0.670		
	3	0.414	0.668		
	5	0.416	0.665		
Difference between maximum and maximum of $E(\rho, \theta)$ , all for $\theta$	1	0.406	0.673		
	3	0.427	0.704		
	5	0.429	0.699		

平均で割った値(変異係数)のみと平均と分散を乗じた値のみを使用した相関係数は、平均と分散を独立して使用した場合とほとんど変化はないが、変異係数の方がわずかに大きいため、試験パラメータと併せて使用するもうひとつの赤外パラメータには、この変異係数を選んだ。TBBの平均は、活発な対流雲と上層雲では大きな差はないが、分散は、活発な対流雲は雲頂の凹凸が激しいため大きく、上層雲は雲頂がほぼ一様なため小さくなる。このため、変異係数は、活発な対流雲で大きく上層雲で小さくなる傾向がある。

試験したパラメータのうち、現行赤外パラメータによる相関係数(COR1:0.406、COR5:0.659)と比較して、相関が高くなった上位の7つは、以下の通りである。

(1) COR 1

- ① 領域内 TBBヒストグラムの最冷値と50%順位値の差 0.458
- ② 北西-南東方向の差分データの平均(差分格子間隔:1) 0.447  
北西-南東方向の差分データの平均(差分格子間隔:5) 0.447
- ④ 北-南方向の差分データの平均(差分格子間隔:5) 0.446
- ⑤ 北-南方向の差分データの平均(差分格子間隔:3) 0.445
- ⑥ 北西-南東方向の差分データの平均(差分格子間隔:1) 0.444
- ⑦ 北-南方向の差分データの平均(差分格子間隔:1) 0.443

(2) COR 5

- ① 北西-南東方向の差分データの平均(差分格子間隔:1) 0.712
- ② 領域内 TBBヒストグラムの最冷値と50%順位値の差 0.711  
四方向の差分データの角二次モーメントの標準偏差(差分格子間隔:3) 0.711
- ④ 四方向の差分データの角二次モーメントの最大値と最小値の差(差分格子間隔:3) 0.707
- ⑤ 四方向の差分データのエントロピーの標準偏差(差分格子間隔:3) 0.706
- ⑥ 四方向の差分データの平均の平均(差分格子間隔:1) 0.704  
四方向の差分データのエントロピーの最大値と最小値の差(差分格子間隔:3) 0.704

3. 1. 3 相関係数の特徴

各試験パラメータ毎の相関係数の特徴は、以下の通りである。

i Spectral Feature

- (1) 領域内 TBBヒストグラムの90%順位値と10%順位値の差

現行赤外パラメータと比較して、向上は見られない。

- (2) 領域内 TBBヒストグラムの最冷値と50%順位値の差

COR1とCOR5の向上は、最上位にランクされる。

ii Textual Feature

- (1) 差分データの平均

差分の方向で調べると、相関係数の有為な向上が見られるのは、北西-南東と北-南であり、北東-南西、東-西は向上が少ない。さらに、北西-南東と北-南では、COR1がほとんど同じなのに対してCOR5は北西-南東が高い値を示す。

差分の間隔で調べると、COR1は間隔にほとんど依存しない。COR5は、間隔の増大につれて、わずかな低下が認められる。

四方向の平均の平均、最大値、最小値の操作を行うと、各方向の平均に比べて相関の向上には寄与しないが、他の試験パラメータに比べて安定して相対的に高い値を示す。反対に、四方向の標準偏差、最大値と最小値の差については、相関がほとんど向上しない。

- (2) 差分データのコントラスト

差分の方向では、北西-南東と北-南の方向について、COR5が向上する傾向がある。差分の間隔では、間隔の増大につれて、相関が向上する傾向がある。また、四方向の平均などの操作を行っても、相関は向上しない。

- (3) 差分データの角二次モーメント

差分の方向では、有為な差は認められない。差分の間隔では、北-南で間隔1にわずかな向上がある程度で、間隔の増大に対して、相関は低下する。四方向の平均などの操作を行うと、四方向の標準偏差、最大値と最小値の差について、相関が向上する。

- (4) 差分データのエントロピー

差分の方向では、有為な差は認められない。四方向の平均などの操作を行うと、角二次モーメント同様、四方向の標準偏差、最大値と最小値の差について、差分間隔3と5で相関が向上する。

3. 1. 4 図表現の妥当性

次に、各試験パラメータの特徴はレーダ強度分布との相関だけでは単純に評価できないので、それぞれの降水強度指数分布図の表現の妥当性を、レーダ合成図 (Fig.3-1-1) と現行赤外パラメータによる降水強度指数分布図 (Fig.3-1-2) を用いて視覚的に比較し、改善点と改悪点を調べる。各試験パラメータによる降水強度指数分布図 (従属データを適用) として、

- 領域内 TBBヒストグラムの最冷値と50%順位値の差
- 北西-南東方向の差分データの平均 (差分格子間隔: 3)
- 北西-南東方向の差分データのコントラスト (差分格子間隔: 3)
- 北西-南東方向の差分データの角二次モーメント

- (差分格子間隔: 3)
  - 北西-南東方向の差分データのエントロピー (差分格子間隔: 1)
  - 四方向の差分データの平均の平均 (差分格子間隔: 1)
  - 四方向の差分データの角二次モーメントの標準偏差 (差分格子間隔: 3)
  - 四方向の差分データの角二次モーメントの最大値と最小値の差 (差分格子間隔: 3)
- を使用した例を示して検討する。

- (1) 領域内 TBBヒストグラムの最冷値と50%順位値の差 (Fig.3-1-4)
  - 改善点: 現行赤外パラメータに比べ、山陰沖から東北地方にかけての Ci ストリークに対する偽降水推定域が縮小し、大阪周辺の偽降水推定域が消滅している。
  - 改悪点: 山陰沖から対馬付近にかけて Ci ストリークに対する偽降水推定域がやや拡大している。
- (2) 北西-南東方向の差分データの平均 (Fig.3-1-5)

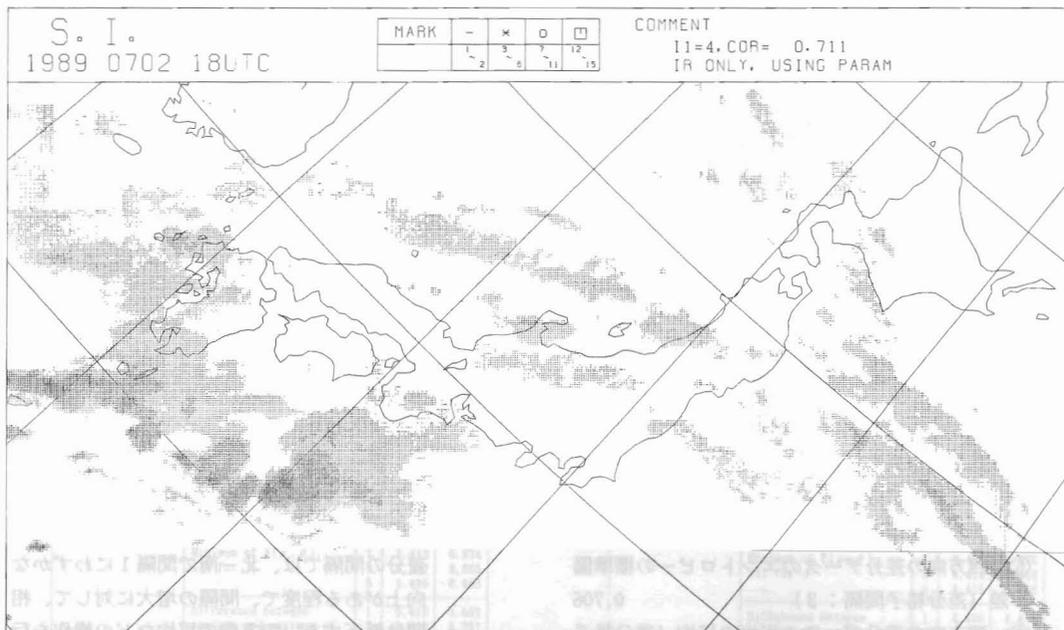


Fig.3-1-4 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation (TBB variance/TBB mean) and the difference between value at cumulative frequencies minimum-50%.

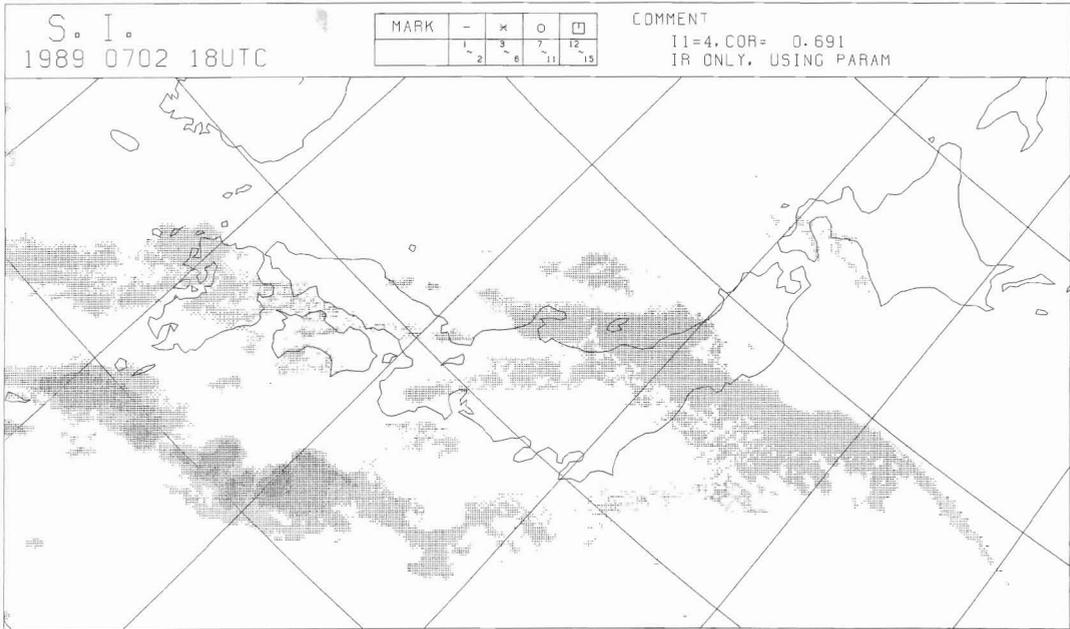


Fig.3-1-5 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the mean of finite difference data. Finite direction is NW-SE and grid distance is 3.

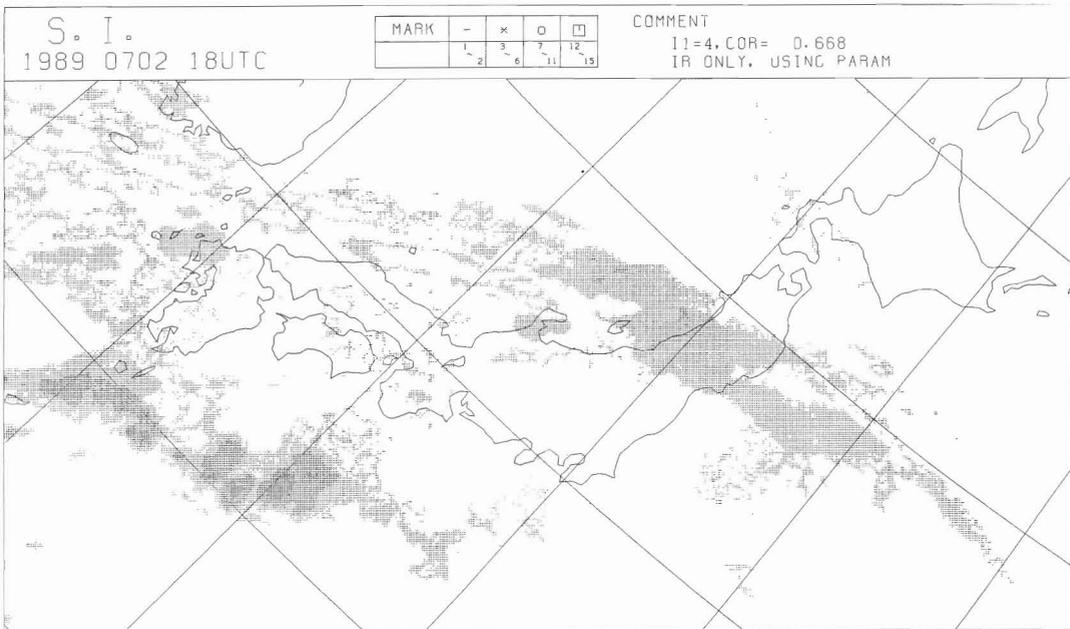


Fig.3-1-6 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the contrast of finite difference data. Finite direction is NW-SE and grid distance is 3.

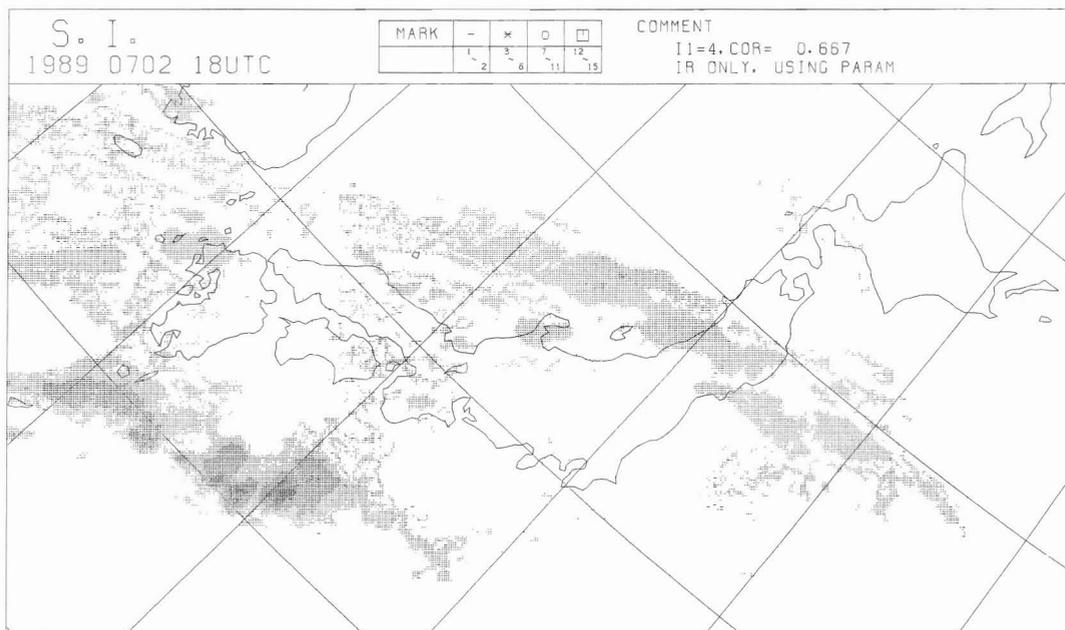


Fig.3-1-7 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the angular second moment of finite difference data. Finite direction is NW-SE and grid distance is 3.

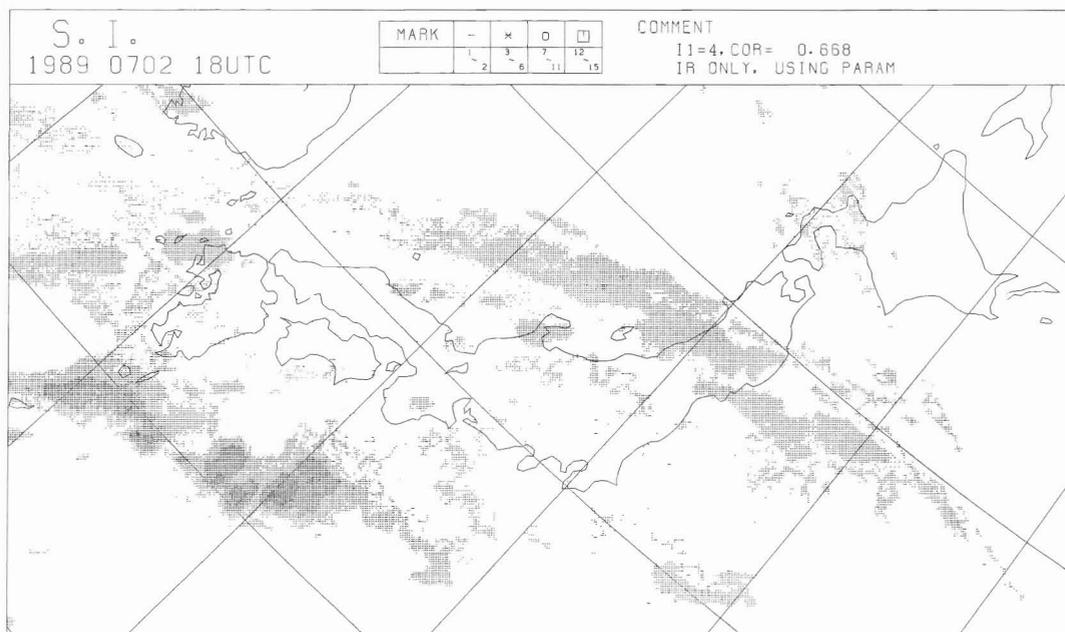


Fig.3-1-8 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variatinn and the entropy of finite difference data. Finite direction is NW-SE and grid distance is 1.

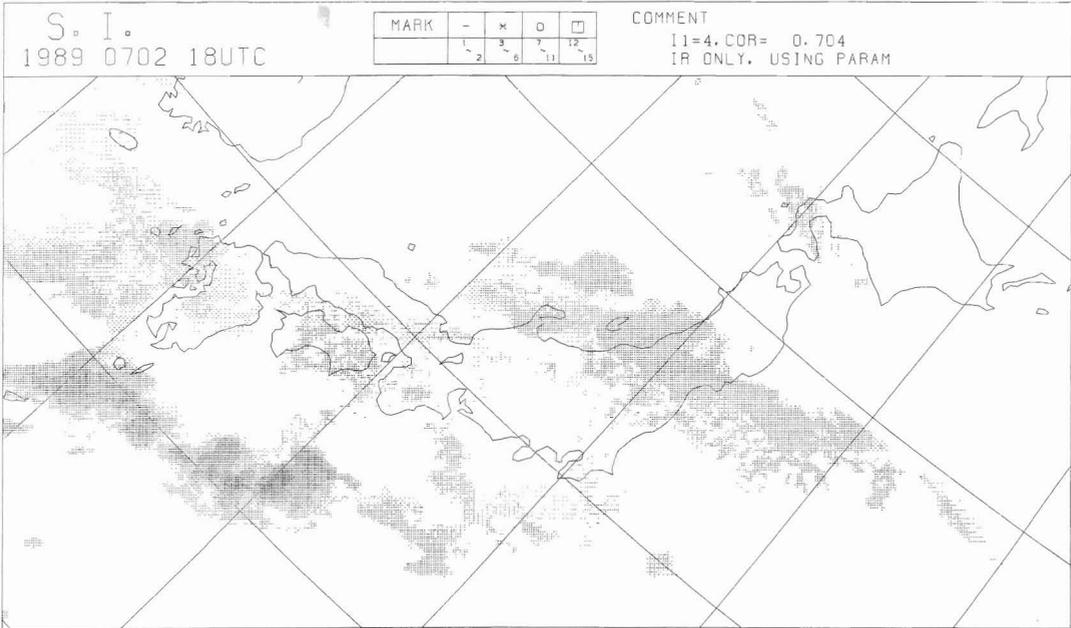


Fig.3-1-9 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the mean of mean for all finite direction. Finite grid distance is 1.

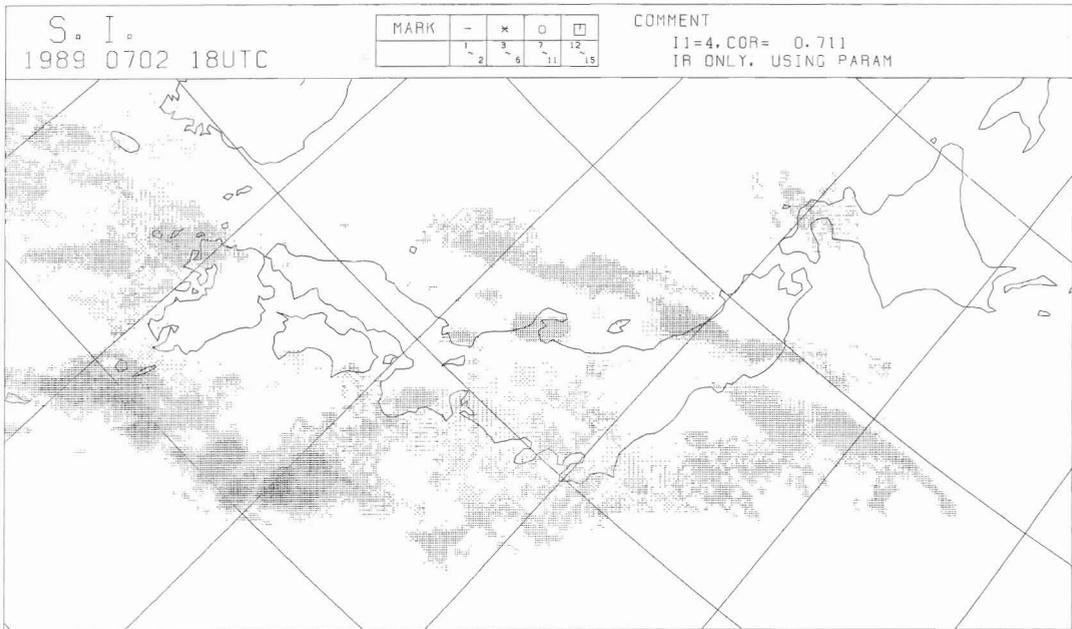


Fig.3-1-10 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the standard deviation of angular second moment for all finite direction. Finite grid distance is 3.

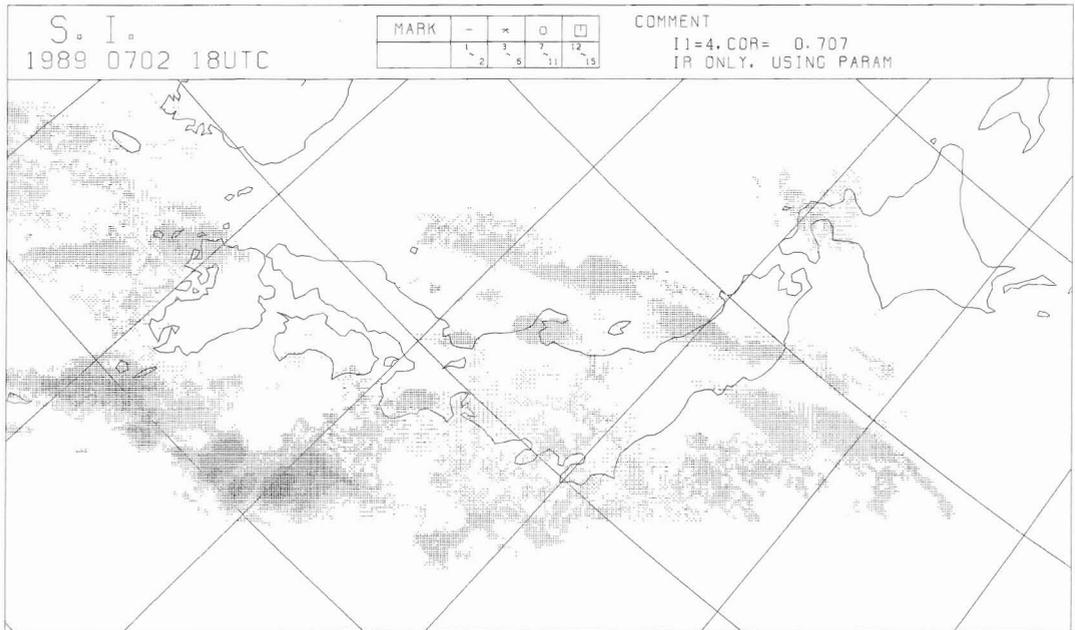


Fig.3-1-11 The same as Fig.3-1-2 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the difference between maximum and minimum of angular second moment for all finite direction. Finitegrid distance is 3.

- 改善点：レーダに対応して能登半島付近の降水推定域が増加し、関東南東海上の対流雲列をやや過大ながら表現している。現行赤外パラメータに比べ、東北地方の降水推定域が南下し、Ciストリークに対する偽降水推定域が縮小している。
- 改悪点：紀伊半島南東海上から名古屋付近の降水推定域が縮小している。
- (3) 北西-南東方向の差分データのコントラスト (Fig.3-1-6)
- 改善点：大阪周辺の偽降水推定域が消滅している。
- 改悪点：全体に細かなノイズが分布する。現行赤外パラメータ以上に、Ciストリークに対する偽降水推定域が拡大している。
- (4) 北西-南東方向の差分データの角二次モーメント (Fig.3-1-7)
- 改善点：現行赤外パラメータに比べ、東北地方のCiストリークに対する偽降水推定域が縮小している。
- 改悪点：名古屋付近と新潟の降水推定域が消滅している。
- (5) 北西-南東方向の差分データのエントロピー (Fig.3-1-8)
- 改善点：関東南東海上の対流雲列を過大ながら表現している。
- 改悪点：全体に細かなノイズが分布する。
- (6) 四方向の差分データの平均の平均 (Fig.3-1-9)
- 改善点：レーダに対応して佐渡島から能登半島付近の降水推定域が増加し、関東南東海上の対流雲列をやや過大ながら表現している。現行赤外パラメータに比べ、東北地方の降水推定域が南下し、Ciストリークに対する偽降水推定域が縮小している。
- 改悪点：紀伊半島南東海上から名古屋付近の降水推定域が消滅し、四国上に偽降水域を推定している。
- (7) 四方向の差分データの角二次モーメントの標準偏差 (Fig.3-1-10)
- 四方向の差分データの角二次モーメントの最大値と最小値の差 (Fig.3-1-11)

改善点：中国地方の偽降水推定域が消滅し、紀伊半島付近の降水域を推定している。

改悪点：関東・東海地方に、偽降水域を推定している。北陸地方の降水推定域が、縮小している。

### 3. 1. 5 総合判断による有効な赤外パラメータ

以上のように、Ci ストリークと Cb の識別に有効な赤外パラメータは、各試験パラメータの相関係数の特徴と図表現の妥当性から総合的に判断すると、次の3つが適当と考えられる。

北西-南東方向の差分データの平均

四方向の差分データの平均の平均

領域内 TBB ヒストグラムの最冷値と50%順位値の差

活発な対流雲では雲頂の凹凸が激しく、雲域の複雑なエッジは延長距離が長いので海面との差分データも多く含まれるため、差分データの平均は全体として大きな値となる。一方、上層雲では雲頂がほぼ一様であり、雲域の単調なエッジの距離が短いので海面との差分データは僅かしか含まれないため、差分データの平均は全体として小さな値となる。北西-南東方向の差分データの平均が上層雲の判別に効果が現れるのは、低気圧に伴う雲域の上層雲エッジが、Ci ストリークのパルジのように、南西から北東の走向を持つことが多いため、これと直角に交差する方向で取った差分データがより小さくなることが反映されている。四方向の差分データの平均の平均は、北西側に明瞭な上層雲のエッジを持たない擾乱（台風や前線帯など）に伴う雲域に、安定して使用できるメリットがある。領域内 TBB ヒストグラムの最冷値と50%順位差は、同じ最冷値の TBB を持つ対流雲と上層雲に対しても、対流雲を中心とする緯経度2度領域内には海面を含むため、50%順位値の TBB は、ある程度の広がりを持つ上層雲より高くなることが反映されている。

Fig.3-1-12は、赤外パラメータに変異係数と北西-南東方向の差分データの平均（差分格子間隔：3）を使用した同時刻の降水強度指数（従属データを適用）と TBB の散布図である。Fig.3-1-3と比べ、特に-30°C以下の TBB 値に対する×印の散布幅が上下に広がっている。同じ TBB 値を持つ Cb と Ci の判別に対して、北西-南東方向の差分データの平均を使った効果が、一定程度表れていることを示している。

上記の3つのパラメータのうち、領域内 TBB ヒスト

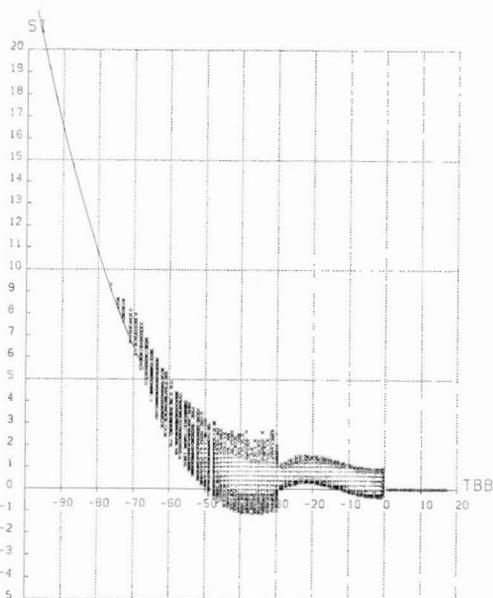


Fig.3-1-12 The same as Fig.3-1-3 except that used IR parameters are the coefficient of variation and the mean of finite difference data in 41×41 grids around a calculated grid as a center. finite direction is NW-SE and grid distance is 3.

グラムの最冷値と50%順位値の差については、計算時間を相当する要するため、すぐに業務へ導入するには無理があるが、今後は事例を変えてさらに調査をすすめ、早急に新しい赤外パラメータを取り入れたい。

### 3. 2 地域別推定定数の検討

昨年度の報告に述べた地域別推定定数の設定と適用について、九州を対象にいくつかの事例について調査した。調査の方法は、以下の手順で行った。

- i 九州地域推定定数の適用による降水強度指数を算出する。
  - (1) 九州の3つのレーダサイト（福岡レーダ、種子島レーダ、名瀬レーダ）のデータのみを合成する
  - (2) i-(1)のレーダ観測領域内で、レーダ強度と衛星データを対応させて九州地域推定定数を算出する
  - (3) 1時間後の衛星データ（独立データ）に適用して算出した降水強度指数データについて、i-(1)のレーダ観測領域内で精度を評価する。

- ii 全国推定定数の適用による降水強度指数を算出する
  - (1) 全国の17レーダサイトのデータを合成する
  - (2) ii-(1)のレーダ観測領域内で、レーダ強度と衛星データを対応させて全国推定定数を算出する。
  - (3) 1時間後の衛星データ（独立データ）に適用して算出した降水強度指数データについて、i-(1)のレーダ観測領域内で精度を評価する
- iii i-(3)とii-(3)の評価結果を比較する

調査の事例として、1990年6月から9月の間に、九州3レーダの観測領域（等ビーム高度4,000m以内）のすぐ外側から顕著なCbクラスターが領域内に進入してきた時間帯を6例（いずれも1日から2日間）抽出し、上記の方法により行った。

9月17日の00UTCから07UTCまでの台風9019号の中心外側の降雨帯について、可視・赤外併用型により検討した例を紹介する。Fig.3-2-1は、各時刻において算出した降水強度指数が持つレーダ強度との相関係数（COR5）・的中率（HIT）・見逃し率（FAL）・空振り率（MIS）の変化である。実線は、九州地域推定定数の適用による降水強度指数の評価値を表し、点線は全国推定定数の適用による降水強度指数のものである。九州地域推定定数適用の方が、全国推定定数の適用に比べて、総じて相関係数と的中率が高く、見逃し率が低くなっており、九州地域推定定数の適用の方が、精度がやや良くなっている。空振り率については、大差がない。なお、05UTCの評価値が、九州地域推定定数適用の方が全国推定定数適用よりやや悪いのは、04UTCから05UTCにかけて、名瀬レーダの観測範囲の南端から台風に伴うCDO（台風中心をとりまくレコード盤状の厚い雲域）によるレベル4（4mm/h以上相当）以上のやや強いレーダ強度をもつエコーが進入してきたため、04UTC算出の九州地域推定定数による05UTCの推定では、この変化がより大きく影響したためと考えられる。

降水強度指数データの妥当性については、レーダ観測領域内部でのレーダ強度との比較による相関係数などの評価値だけでは十分に判断できないので、レーダ観測領域外側の表現状況についても検討した。例として、07UTCにおけるレーダ強度と可視・赤外併用型の降水強度指数の合成図を示す。Fig.3-2-2は九州地域推定定数の適用、Fig.3-2-3は全国推定定数の適用によるものであり、九州から奄美大島周辺を含む太線で

囲まれた内部はレーダ強度分布、外側は降水強度指数分布である。また、Photo.3-2-1に同時刻の可視画像、Photo.3-2-2に赤外画像を示す。

この時刻では、レーダ観測領域のすぐ外側に台風9019号の中心がある。Fig.3-2-1のように、相関係数と的中率は、九州地域推定定数の適用では0.796と83、全国推定定数の適用では0.791と82であり、両者の間に有為な差はない。しかし、全国推定定数を適用した場合は、CDO周辺の降水域を全般に強めに推定しているのに対し、九州地域推定定数を適用した場合は、レーダ観測領域内のレーダ強度と比較して強度・分布ともほぼ妥当で、等ビーム高度の境界でレーダ強度分布とより滑らかに接続している。Fig.3-2-2中にCで示す部

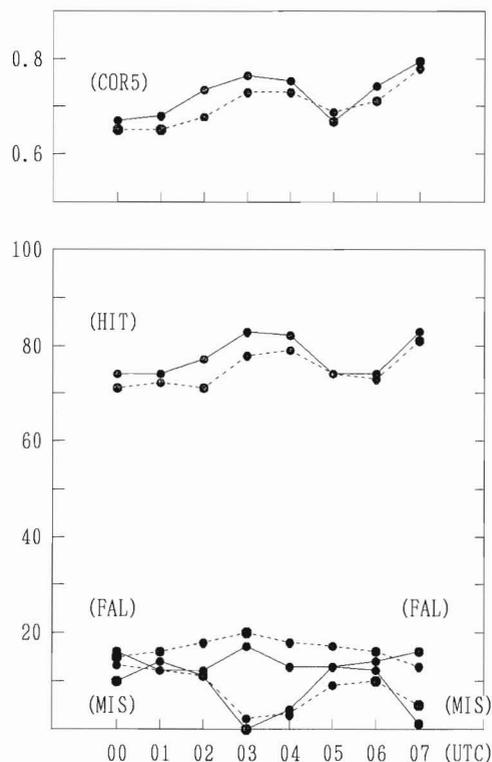


Fig.3-2-1 Accuracy of the SI acquired by using the Bi-spectrum (VIS & IR) method adopted the local LUT data and the whole LUT data on 17 September 1990. Solid lines show the local LUT data and broken lines show the whole LUT data. Abbreviations are the same as in Table 2.

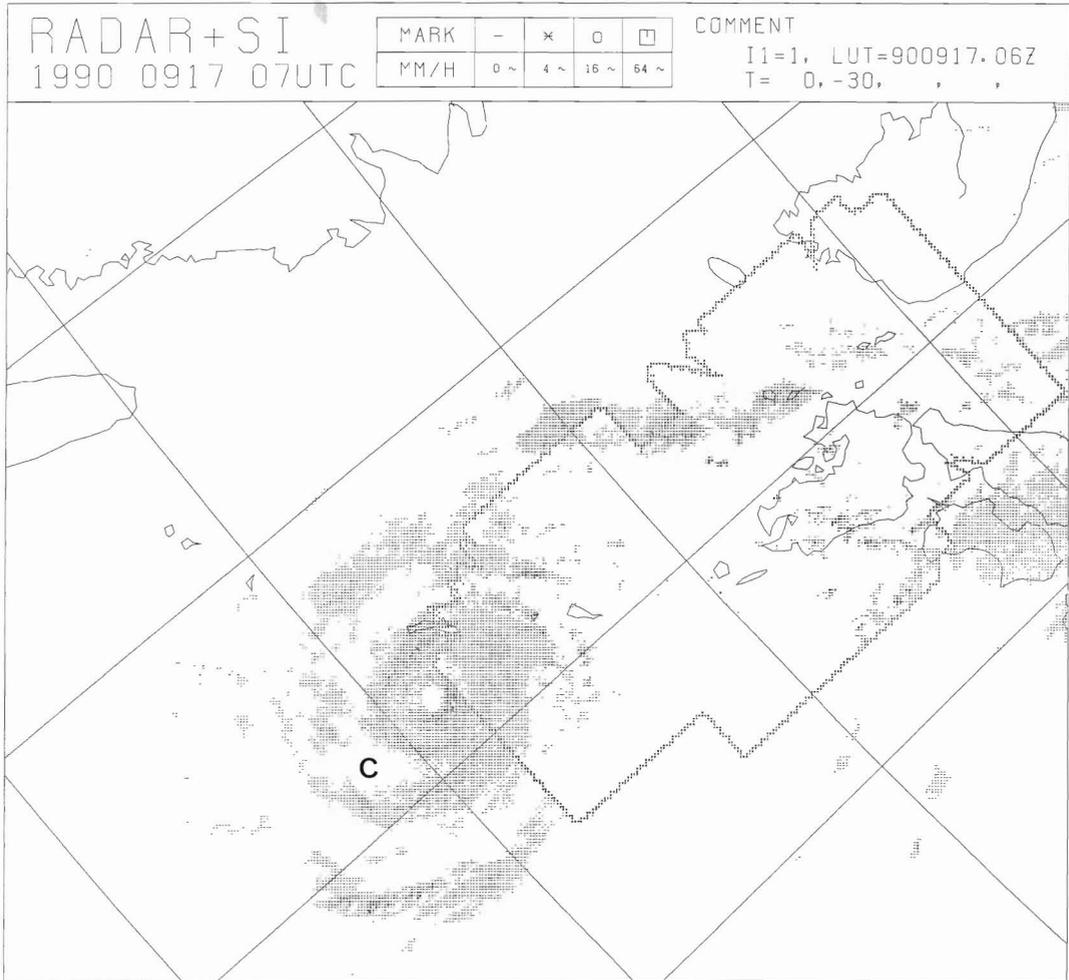


Fig. 3-2-2 Composite chart of radar and the SI at 17 UTC on 17 September 1990. Inside of thick solid line shows radar data and outside shows the SI. Used LUT data were calculated at 06 UTC on 17 in Kyushu local radar area. Symbols show precipitation intensity.

- : below 2.0mm/h
- : 16.0 to 64.0mm/h
- \* : 2.0 to 16.0mm/h
- : over 64.0mm/h

分は、Fig.3-2-3で弱い降水を推定しているが、ここは Photo.3-2-1と Photo.3-2-2を比較すれば、濃密な Ci 域であり降水は伴っていないと判断される。図の妥当性についても、地域推定定数の適用の方が、優れている。なお、この期間の全国推定定数の算出範囲には、Photo.3-2-1と Photo.3-2-2にも現れているように本州から北海道にかけての前線に伴う雲域があり、算出された推定定数は、台風と前線に伴う双方の雲域を対

象にしていた。

上記の調査で、可視・赤外併用型による降水強度指数については、地域別推定定数を適用した方が現行の全国推定定数を適用した場合より精度がやや良いことが分かった。しかし、赤外単独型については、逆に全国推定定数を適用した方が精度評価値が高くなる場合もあった。また、地域別推定定数の算出と適用を業務へ導入することについては、地域別に算出された推定

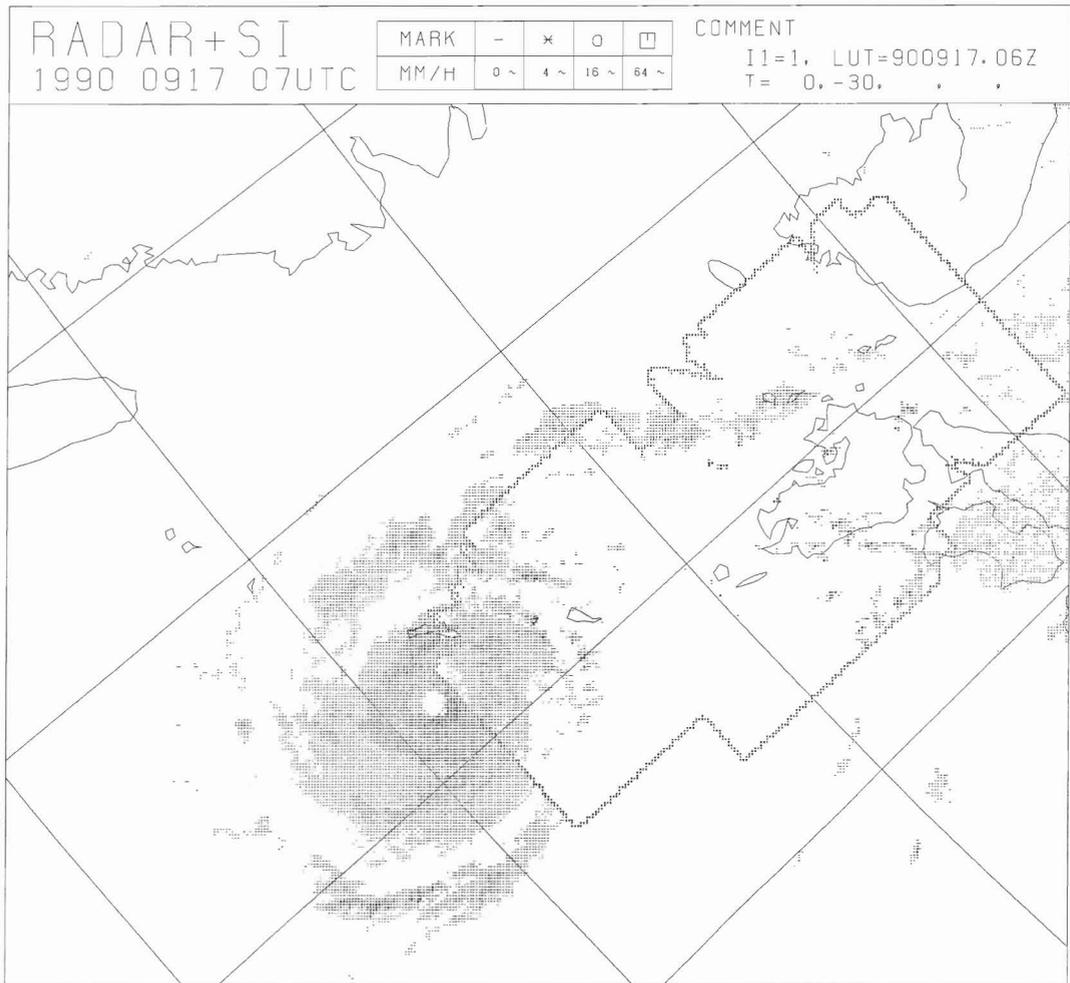


Fig.3-2-3 The same as Fig.3-2-2 except that used LUT data were calculated in the whole radar area of Japan.

定数が長時間更新されずに使用された場合、各々の分割領域内が狭いため降水系の入れ替わりが早く、推定精度が短時間で低下することが考えられる。このような場合も考慮し、今後さらに最適な方策を検討していく。

### 3. 3 最適な TBB による層別化閾値の設定

現在の TBB による層別化<sup>(\*)</sup>は、雲頂温度が $-30^{\circ}\text{C}$ 以下の雲と降水との対応が良いという中村・土屋(1981)の指摘と、高い雲頂温度を持つ雲からの降水(「暖かい雨」)もあるという小佐野他(1986)の指摘

により、年間を通じて $0^{\circ}\text{C}$ と $-30^{\circ}\text{C}$ を閾値とする3群としている。このうち、最暖閾値(現在は $0^{\circ}\text{C}$ )より暖かい TBB を持つ雲については、「降水なし」としており、そのほかの層(現在は $0^{\circ}\text{C}$ から $-30^{\circ}\text{C}$ の間と、 $-30^{\circ}\text{C}$ 以下の2層)で個別に推定定数が算出される。しかし、暖候期と寒候期では、同様な雲システムでも、降水を伴う雲の TBB 分布が異なると思われる、季節毎に閾値を変えて適用するべきと考えられる。また、同じ季節の擾乱でも、例えば低気圧と台風では降水を伴う雲の TBB 分布は異なるであろうから、擾乱毎に閾値を変えて適用すべきとも考えられる。季節毎・擾乱毎に

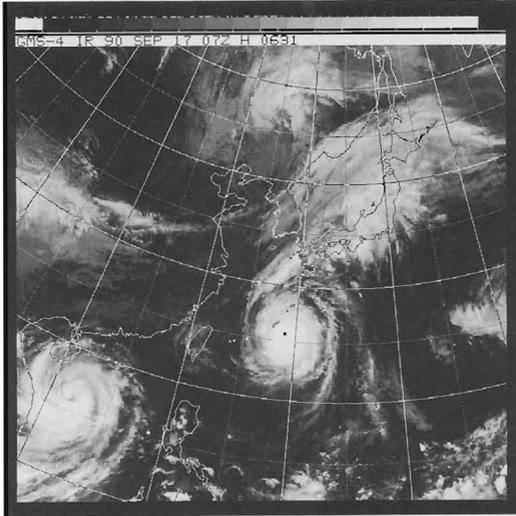


Photo.3-2-1 GMS visible image at 07UTC on 17

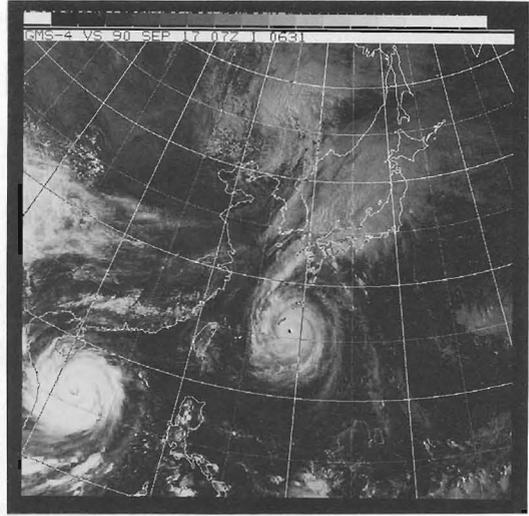


Photo.3-2-2 GMS infrared image at 07UTC on 17 September 1990.

最適な層別化数と閾値を適用することができれば、降水強度指数の精度は向上する可能性がある。

そのためには、以下の方法が考えられる。

- i 擾乱のタイプに最適な層別化を行うため、推定定数算出にあたっては、推定定数算出領域 (Fig.1-1のレーダ観測領域) 内に現れた雲域のTBBヒストグラムや各格子の持つTBBとレーダ強度との対応状況などを計算して、時刻毎に最適な層別化閾値を設定する。
- ii 各季節毎に出現する擾乱に対して、あらかじめ代表的な閾値を設定する。

iの方法については、現在の計算機では相当に長時間の計算を要するため、現時点では業務への導入は困難である。そのため、次善の策として、iiの方法について調査した。

調査対象の期間は1989年6月から1990年8月までの15カ月間とした。この期間で推定定数算出領域内に温帯低気圧に伴うまとまった雲域が現れた27件 (1件は全国のレーダデータが入手できる00UTCから3時間毎の1日8回)のべ216時間の衛星データとレーダ強度データについて、推定定数算出領域内のTBBレベルのヒストグラム、各TBB値を持つ格子に対応するレーダ強度のヒストグラム、各TBBレベル値を持つ格子数に対するレーダエコー数の割り合い (百分率、以下「エコー対応率」という)などを算出した。Fig.3-3-1は、

1990年3月24日03UTCの算出例である。上段はTBBレベルのヒストグラム、下段はレーダ強度のヒストグラムであり、上段にプロットしてある星印は、エコー対応率を表す。

次に、これらヒストグラムに基づいて、季節を1、1項で述べたレーダ合成範囲の境界となる等ビーム高度閾値の設定に合わせて暖候期 (5月から10月)と寒候期 (11月から4月)に分け、以下の項目について検討した。

- i 最冷値側から占める格子数の特定順位 (10%刻みで最暖値まで)に相当するTBB値
- ii 各TBB値でのエコー対応率の変化
- iii 各TBB値の格子に対応するレーダ強度分布
- iv TBBヒストグラム中で格子数が最も多いTBB値 (モード)

これらのうち、iiiとivについては有為な結果に到らなかった。以下、iとiiの結果について述べる。

まず、最冷値側から占める格子数の特定順位に相当するTBB値について検討する。Fig.3-3-2は、調査した27件について、左側に対象とした日別の最冷値・10%順位値・20%順位値・30%順位値の変化を示し、右側に各順位値の期間平均と最冷値の平均からの差を示す。現在使用している層別化閾値のひとつは年を通じて $-30^{\circ}\text{C}$ であり、これより冷たいTBB値に対する重回帰分析では、最冷値から数えて暖候期では全体の約20%、寒候期では約15%程度を対象にしていることになる。

TBB-RADAR FORMATION

TIME 900324 03UT

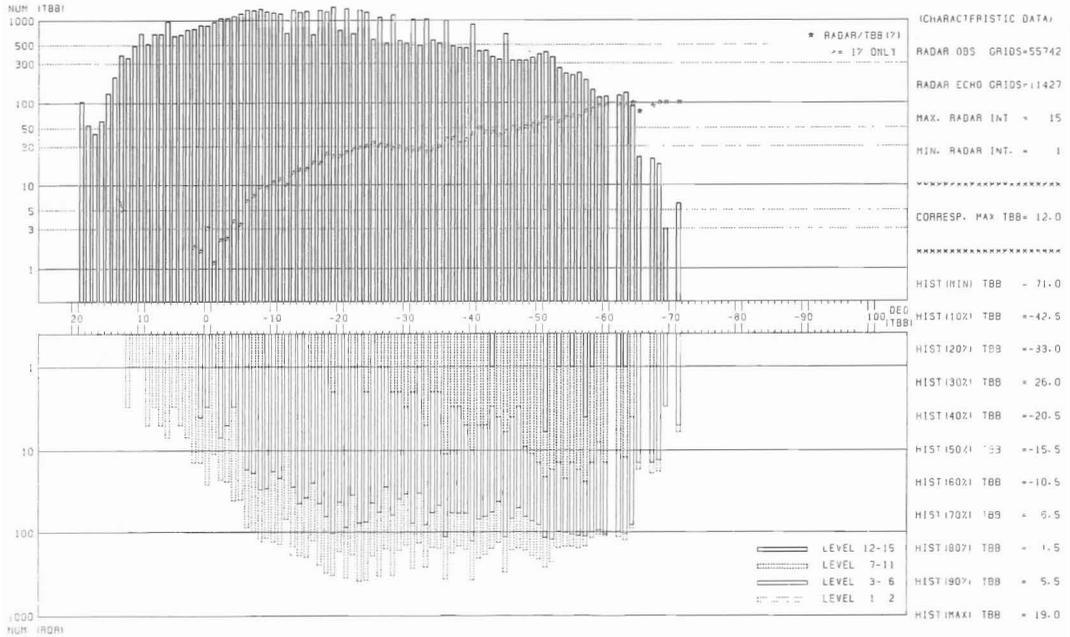
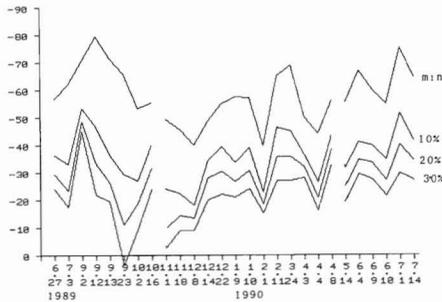


Fig.3-3-1 A sample of TBB-Radar echo formation chart at 03UTC on 24 March 1990. The upper shows TBB histogram in radar observation area. The lower shows radar intensity distribution. Star-like marks at the upper show "Echo corresponding ratio" in each TBB degree.

$$\text{Echo corresponding ratio} = \frac{\text{Precipitable echo grid number}}{\text{TBB grid number}} \times 100$$



Mean TBB value and Difference from the Minimum

	MINIMUM	10% ORDER	20% ORDER	30% ORDER
WARM PERIOD ( from MAY to OCT.)	-63.6°C	-38.7°C ( 24.9 )	-29.7°C ( 33.9 )	-22.2°C ( 41.4 )
COLD PERIOD ( from NOV. to APR.)	-52.0°C	-33.2°C ( 18.9 )	-25.7°C ( 26.3 )	-19.5°C ( 32.5 )

Fig.3-3-2 Seasonal variation of the Mean TBB value at each order counted from the Minimum.

しかし、最冷値からの差(括弧内)を比べると、暖候期の方が6から9°Cほど大きい。10%順位値の最冷値からの差を例にすると、暖候期には全体の10%の格子が24.9°C幅の中に散らばっているのに対し、寒候期は18.9°C幅であり散らばり方が少ない。すなわち、寒候期の最冷値は相対的に高いが、最冷値からの特定順位内ではより均一なTBB分布をしていると言える。季節毎の層別化閾値を設定する場合は、最冷の閾値以下の層について、重回帰分析に年を通じて同様な割合の格子数を対象とするのであれば、暖候期の設定値に対して寒候期の閾値を数度高くすることが適当である。例えば、最冷値から20%順位の値であれば、暖候期は-30°C、寒候期は-25°Cとなる。

次に、各TBB値でのエコー対応率について検討する。Fig.3-3-1の算出例にも見られるが、TBBとエコー対応率には、以下の様な特徴が認められた。

- (1) 暖かいTBBに対するエコー対応率は小さく、TBBが低くなるにつれてエコー対応率が高くなる。冷たいTBBを持つ雲ほど降水を伴う可能性が大きいことを、改めて確認できる。

- (2) TBBが0°Cから+10°Cあたりに、エコー対応率が1%以下になるポイントがある(例では、+2°C付近)。層別化の最暖閾値より暖かいTBBに対しては「降水無し」としているため、最暖閾値にこのポイント付近のTBB値を適用するのが有為と思われる。

- (3) (2)のポイントより冷たいTBBについては、エコー対応率の変化が滑らかではなく、変曲点を持ち、複数個認められる場合もある(例えば、-25°C付近)。この変曲点とは、これを境にしてTBBとレーダエコーの対応関係が変わっていると見なすことができる。すなわち、

- 最暖の変曲点より暖かいTBB層は中・下層雲に対応し、TBBの低下に伴ってエコー対応率の上昇が順調である。
- この変曲点より冷たいTBB層には無降水の上層雲が含まれてくるため、TBBの低下に伴うエコー対応率の上昇が鈍化する。
- さらに冷たいTBB層はCbなどの活発な対流雲域に対応し、TBBの低下に伴ってエコ

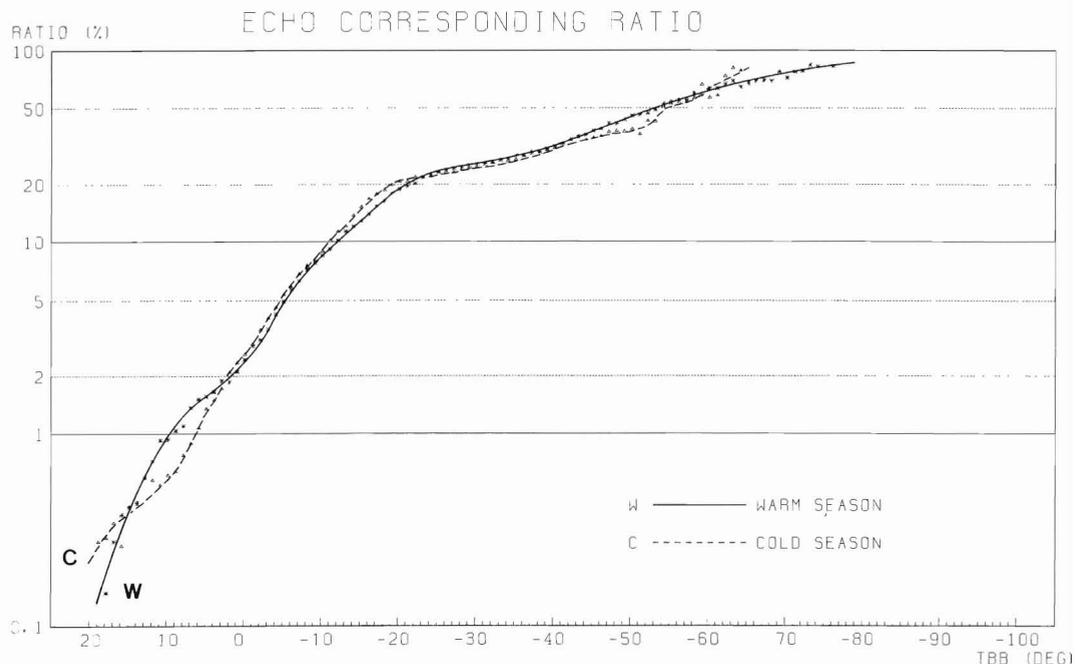


Fig.3-3-3 Seasonal mean of "Echo corresponding ratio". The investigated period is from June 1989 to August 1990. Solid line with "W" is for warm season, from May to October, and broken line with "C" is for cold season, from November to April.

一対応率の上昇は再び大きくなる。

と解釈される。このため、これらの変曲点を、層別化閾値に適用するものも有為と思われる。

これらの特徴を示すポイントを検出するため、調査対象とした27件216時間のうち、レーダ観測格子数に対して降水エコーが存在する格子数の割合が10%以上である時刻を対象に、暖候期と寒候期に分けて各TBB値に対するエコー対応率の期間平均を求めた。結果をFig. 3-3-3に示す。図では、暖候期と寒候期のエコー対応率の変化に特に大きなパターンの差異はないが、特徴ポイントとして認められるTBB値は以下の通りである。括弧内に、各ポイントのTBB値より冷たいTBBをもつ格子数の割合の期間平均を、合わせて記す。

- (1) エコー対応率が1%以下になるポイント
- |     |       |       |       |   |
|-----|-------|-------|-------|---|
| 暖候期 | +10°C | (80%) | …………… | ① |
| 寒候期 | +5°C  | (80%) | …………… | ② |
- (2) 変曲点
- |     |       |        |       |   |
|-----|-------|--------|-------|---|
| 暖候期 | -25°C | (25%)  | …………… | ③ |
|     | -40°C | (10%)  | …………… | ④ |
| 寒候期 | -20°C | (30%)  | …………… | ⑤ |
|     | -50°C | (5%未満) | …………… | ⑥ |

このうち、④と⑥は、これより冷たいTBBをもつ格子数の割合が、10%・5%未満と少ない。この層で重回帰分析を行った場合は、サンプル数が少ないため、冷たいTBBを持つ雲域に対して誤推定を起こしやすい推定数が算出される可能性がある。このため、有為な層別化の閾値として、暖候期は①と③、寒候期は②と④の2つのTBB値が適当と考えられる。

現行の層別化閾値による降水強度指数の精度と、上記で検出した層別化閾値による降水強度指数の精度の違いについて、いくつかの事例を評価した。その結果、新しい閾値の使用では、相関係数で0.01から0.05程度の向上が認められ、可視・赤外併用型に比べて赤外単独型の方が向上が大きかった。しかし、検出した層別化閾値は季節別を考慮して検出したものであるため、精度の向上については少なくとも月単位で評価すべきであろう。新しい閾値については、若干の調整を行って、早期に業務に取り入れたい。

#### 4. まとめ

##### i 運用上・技術上の改良点

- (1) レーダ合成時に合成範囲の閾値となる等ビーム高度を、時期別に設定した。

- (2) 現在デジタル化されているレーダのデータをすべて取り込み、合成領域を拡大した。
- (3) 夕方の推定型切り替えに伴う表現の不連続を軽減するため、日中も可視・赤外併用型の推定定数と平行して赤外単独型の推定定数を算出し、推定定数更新の機会を増やした。
- (4) 表現特性変換定数の算出にあたって、レーダ強度と重回帰分析による第1次推定値の強域側比較値に、エコーが存在する格子数の1%順位に相当する値を採用した。

##### ii 精度の現状

- (1) 可視・赤外併用型、赤外単独型とも、推定精度は向上してきている。
- (2) 時刻別に見た場合、可視・赤外併用型は03 UTC前後が最も精度が良く、朝夕は精度がやや落ちる。赤外単独型では、時刻による精度の違いはない。

##### iii 精度向上に関する今後の課題

- (1) 赤外単独型アルゴリズムの改良については、活発な対流雲と上層雲を判別する有効な赤外パラメータがいくつか検出できたので、対象のパラメータを絞って調査をすすめ、早期に業務に導入する。
- (2) 地域別推定定数による推定精度は、全国一律の推定定数による精度より成績が向上する。最適な実施方策について、検討する。
- (3) TBBによる層別化の閾値については、季節別に閾値を変え、現在使用の閾値より5°Cから10°Cほど高くすることが適当との結果を得た。新しい閾値については、若干の調整を行って、早期に業務に導入する。

#### 謝 辞

草稿の校閲と有益なコメントに対し、気象衛星センターデータ処理部の能美武功部長、システム管理課の大沢和裕技官、解析課の萩原武士課長・麻生正先任技術専門官・菊池正技術専門官に謝意を表する。

#### 参考文献

- (1) 阿部世史之・西森巖・泉田一・今泉孝男(1990): 降水強度指数の精度と表現特性, 気象衛星センター技術報告, 第20号, 39-60.
- (2) 小佐野慎悟・元木敏博・鈴木和史(1986): GMSデータとエコー強度から降水強度を推定する試み

(その2). 昭和60年度全国予報技術検討会資料、  
気象衛星センター、1-21.

- (3) 加藤一靖・石川正勝(1982): GMS画像データによる客観的雲頂高度算出処理について. 気象衛星センター技術報告、第5号、1-24.
- (4) 鈴木和史・肆矢雄三・操野年之・阿部世史之・今泉孝男(1989): 降水強度指数——衛星データによる降水強度の推定——. 測候時報、第56巻第6号、307-325.
- (5) 中村和信・土屋喬(1981): 衛星データとアメダス降水量の対応について. 昭和55年度全国予報技術検討会資料、気象衛星センター、25-38.