

降水強度指数の精度と表現特性

Accuracy of the Satellite-derived Index of Precipitation Intensity and its representative characteristics

阿部 世之^{*}, 西森 巖^{*}, 泉田 一^{*}, 今泉 孝男^{*}
Yoshiyuki Abe, Iwao Nishimori, Hajime Senda and Takao Imaizumi

Abstract

The Satellite-derived Index of Precipitation Intensity (SI) is the estimated value of precipitation intensity using satellite data, and has been produced operationally since 1st March 1989. The following three subjects were investigated and clarified.

- (1) Accuracy of the SI from June to September in 1989
 - a) SI obtained by bi-spectrum (VIS & IR) method provides better accuracy than the one by mono-spectrum (IR) method.
 - b) Accuracy of the SI depends significantly on the scale and type of disturbances.
 - c) High accuracy can be expected when Look Up Table (LUT) is applied to the same type of disturbances with a short time interval after the calculation of LUT.
 - d) Accuracy of the SI decreases when LUT has not been updated for more than several hours.
- (2) Representative characteristics of the SI obtained by mono-spectrum (IR) method
 - a) For a extratropical cyclone, the accuracy is generally reasonable.
 - b) For a typhoon, IR parameters (the mean and the deviation of T_{BB} within $200\text{km} \times 200\text{km}$ box) does not provide so reasonable accuracy because of multi-layer clouds structure.
 - c) For convective clouds, the accuracy is generally reasonable when clouds are in the developing stage. but it deteriorates due to the appearance of anvil Ci in the decaying stage.
- (3) Remained issue for future improvement
 - a) It is necessary to establish the seasonal threshold value of radar beam height for radar echo composition.
 - b) The method using local LUT calculated in each derived area is worth to improve the SI.

1. はじめに

気象衛星センターでは、1989年3月1日から、衛星データから降水強度を見積もった降水強度指数（以下SIという）を毎時間算出し、C-ADESSに配信している。

衛星データを用いた降水強度の毎時間自動推定業務は、世界的にも初めての試みであり、更に多くの事例を蓄積し、精度向上に反映させる必要がある。今回は、

- (1) 暖候期におけるSIの精度
- (2) 赤外単独型（付録A1参照）による擾乱別の表現特性

(3) SI算出の改良点

について報告する。

なお、本稿の理解に必要な参考事項を付録にまとめているので、先に参照されたい。その他、SIの算出手順や業務処理概要などの詳細については、鈴木ほか（1990）を参照されたい。

2. 暖候期におけるSIの精度

この章では、暖候期において現業的に算出されたSIの精度を、可視・赤外併用型と赤外単独型（付録A1参照）の双方について述べる。

SI算出に必要な推定定数（付録A2参照）は、毎

* 気象衛星センター解析課

時間算出されているが、一定の条件（付録A 3 参照）を満たしたもののみが更新され、次の時間以降の S I 算出に適用されている。このため、S I の中には、推定定数が長時間更新されないまま、同じ推定定数が連続して適用され算出されたものも含まれている。こうした場合には、推定定数を算出した時点以降、S I 算出領域内の降水雲タイプが次第に変化し、推定精度が低下していくことがある。ここでは、

- (1) 毎時間算出された S I の精度
- (2) 推定定数が更新された直後の時刻に算出された S I に限った精度

の 2 通りについて述べる。調査期間は、1989年 6 月 1 日 00UTC から 9 月 25 日 23UTC までの約 4 ヶ月間を対象にした。

2. 1 毎時間算出された S I

Table 2. 1 に、毎時間算出された S I の数 (NUMBER), S I とレーダデータの相関係数 (COR5), 的中率 (HIT)・見逃し率 (FAL)・空振り率 (MIS) の各スコア, およびレーダ有効範囲内の格子数 (RADAR), レーダエコーが存在した格子数 (ECHO) を示す。相関係数 (COR5) は付録 A 3 で示したように、S I とその格子を中心とする 5 × 5 個のレーダ格子の中で最も近い値を持つレーダ強度データとの間で求めたものである。的中率・見逃し率・空振り率は、S I レベルとレーダ強度レベルがともに 0 の場合を除いて求められている。なお、± 1 レベルの差までは的中として扱う。

(1) 推定型別精度

期間通算の値を調べる。相関係数と的中率は、可視・赤外併用型では 0.46 と 62% で、赤外単独型の 0.31 と 56% を上回っている。また、見逃し率は可視・赤外併用型と赤外単独型ではほぼ同率であるが、空振り率は可視・赤外併用型では 9% で赤外単独型の 14% より良好である。可視・赤外併用型で空振り率が小さいということは、可視データを参照することにより、Ci のような非降水雲が除去されていることを示す。

これらのことから、可視・赤外併用型の方が精度が良いことがわかる。

(2) 月別精度

S I の精度は、6 月と 9 月が総じて高く、8 月は最も低い。その原因は、以下のように考えられる。

6 月と 9 月は、温帯低気圧や台風といった比較的大きなスケールの擾乱に伴う降水が多かった。一方、7

Table 2.1 Accuracy of the SI from June to September in 1989.

Abbreviations are shown as follows.

NUMBER; Total counts of the SI

COR5 ; Correlation between SI and radar intensity in 5 × 5 grids

HIT ; Hit rate excluding (0,0) level and including ± 1 level

FAL ; False alarm rate

MIS ; Missing rate

RADAR ; Total grid number in effective radar detection range

ECHO ; Precipitable echo number

Bi-spectrum (VIS & IR) method

Month	NUMBER	COR5	HIT (%)	FAL (%)	MIS (%)	RADAR	ECHO
Jun.	264	0.49	67	23	10	44804	5525
Jul.	313	0.47	60	31	9	48206	3691
Aug.	249	0.38	58	33	9	46652	2875
Sep.	191	0.51	63	27	10	45412	5182
Total Mean	1017	0.46	62	29	9	46763	4247

Mono-spectrum (IR) method

Month	NUMBER	COR5	HIT (%)	FAL (%)	MIS (%)	RADAR	ECHO
Jun.	327	0.31	62	22	16	45016	4992
Jul.	375	0.32	58	29	13	50507	3715
Aug.	375	0.28	52	38	10	46461	2830
Sep.	314	0.32	56	28	16	47878	5230
Total Mean	1391	0.31	56	30	14	47532	4119

$$HIT = \frac{\sum_{S=0}^{1.5} \sum_{R=0}^{1.5} N(S,R) + \lambda(S-1,R) + N(S,R-1)}{N_{TOTAL} - N(0,0)} \times 100$$

$$FAL = \frac{\sum_{S=0}^{1.5} \sum_{R=S+2}^{1.5} N(S,R)}{N_{TOTAL} - N(0,0)} \times 100$$

$$MIS = \frac{\sum_{S=2}^{1.5} \sum_{R=S-2}^{1.5} N(S,R)}{N_{TOTAL} - N(0,0)} \times 100$$

N(S,R) : NUMBER IN EACH INTENSITY MATRIX
 N_{TOTAL} : TOTAL GRID NUMBER

月（特に後半）と 8 月は、熱的不安定による小スケールな降水が多かった。このため Table 2. 1 に示すように、各月でレーダ有効範囲内の格子数に大きな違いはないが、レーダエコーが存在した格子数は、6 月と 9 月の 5,000~5,500 に対し、7 月は 3,700 8 月は 2,800 と少なくなっている。

温帯低気圧や台風に伴う大規模な雲域では、レーダエコーは弱域から強域まで幅広いレベルで観測され、データの量が多い。また、レーダ強度に対応させる T_{BB} も、高い温度から低い温度まで幅広いレベルで観測される。このため、推定定数は重回帰分析で十分に検定され、算定された推定定数は領域全体に対して代表性がある。また、雲域は S I 算出領域内で短時間に大きく変化することはないため、一度算出・更新された推定定数は、ある程度連続して使用しても、S I の推

定精度は大きく低下することはない。

一方、熱的不安定による小スケールな雲域では、レーダエコーの分布は局所的でデータの量が少なく、レーダ強度に対応させる TBB も低い温度のみであることが多い。このため、推定定数は幅広いレベルの TBB に対して十分に検定されず、算出された推定定数は領域全体に対して代表性がない。また、こうした雲域は発達・衰弱など短時間に大きく変化するため、一度算出・更新された推定定数は、2・3 時間連続して使用すると、推定精度は低下する。

このように、S I の精度が月によって異なった理由は、各月に支配的であった降水雲の規模とタイプの違いに起因していると考えられる。

2. 2 推定定数が更新された直後の時刻に算出された S I に限った精度

Table 2. 2 Accuracy of the SI only immediately after the Look Up Table (LUT) was updated. Abbreviations are the same as in Table 2. 1 except that

NUMBER ; Total counts of the SI only immediately after the LUT was updated
UD.RATE ; Percentage of the cases in which the LUT was updated

Bi-spectrum (S & IR) method

Month	NUMBER	COR5	HIT (%)	FAL (%)	MIS (%)	UD.RATE (%)
Jun.	124	0.62	72	20	8	44
Jul.	187	0.51	61	27	12	59
Aug.	138	0.44	58	31	11	55
Sep.	117	0.51	63	26	11	62
Total Mean	566	0.52	63	26	11	55

Mono-spectrum (IR) method

Month	NUMBER	COR5	HIT (%)	FAL (%)	MIS (%)	UD.RATE (%)
Jun.	71	0.49	68	18	14	21
Jul.	104	0.43	59	25	16	27
Aug.	127	0.35	51	34	15	30
Sep.	124	0.37	57	27	16	37
Total Mean	426	0.40	57	27	16	29

Table 2. 2 に、推定定数が更新された直後の時刻に算出された S I の精度と推定定数の更新状況を示す。各項目の意味は Table 2. 1 と同じであるが、NUMBER は更新された推定定数の数、UD. RATE は

推定定数の算出数に対し条件を満たして更新された割合である。

(1) 推定型別精度

期間通算の値を、毎時間算出された S I の型別精度と比較すると、両型とも相関係数が高くなっている。一方、的中率はほとんど変わらず、見逃し率が僅かに小さく、空振り率は僅かに大きくなっている程度である。更新された割合は、赤外単独型の 29% に対し、可視・赤外併用型は 55% と 2 倍近くになっている。

相関係数が高くなったにもかかわらずの中率に大きな変化が現われなかった理由は、±1 レベルの強度までを的中として扱ったためであると考えられる。S I とレーダ強度が同じレベルのみを的中として扱った場合、的中率は、毎時間算出された S I と比較して、推定定数が更新された直後の時刻に算出された S I の方が高くなっていると思われる。この点は、今後更に検討したい。

(2) 月別精度

毎時間算出された S I の月別精度と同じく、2. 1 項で述べた理由により、8 月が最も精度が低くなっている。各月の精度を毎時間算出された S I の月別精度と比較すると、6 月から 8 月は精度が相対的に高くなっているが、9 月についてはほとんど変わらない。

阿部ほか (1990) は、S I が妥当な推定をする場合と誤推定をする場合を調べ、次のようにまとめている。

(1) 妥当な推定をする場合

- ・ 直前に算出された推定定数を、同じ擾乱タイプの雲域に適用した時
- ・ 長時間更新されない推定定数でも、ほぼ同じ擾乱タイプの雲域に適用した時

(2) 誤推定をする場合

- ・ 赤外単独型で、多重構造を成す雲域に適用した時 (これについては、3 章で詳しく述べる。)
- ・ 推定定数が長時間更新されず、その間に擾乱タイプが変化した時

3. 赤外単独型による擾乱別の表現特性

2 章で、赤外単独型の重回帰式を用いた時の S I の精度が、可視・赤外併用型に比べて悪いことを示した。ここでは、赤外単独型による擾乱別の S I 表現の特徴および問題点を述べる。なお、この章で使用する S I は、各事例における表現特性を調べるため、従属推定 (算出した推定定数を同時刻の衛星データに適用) と

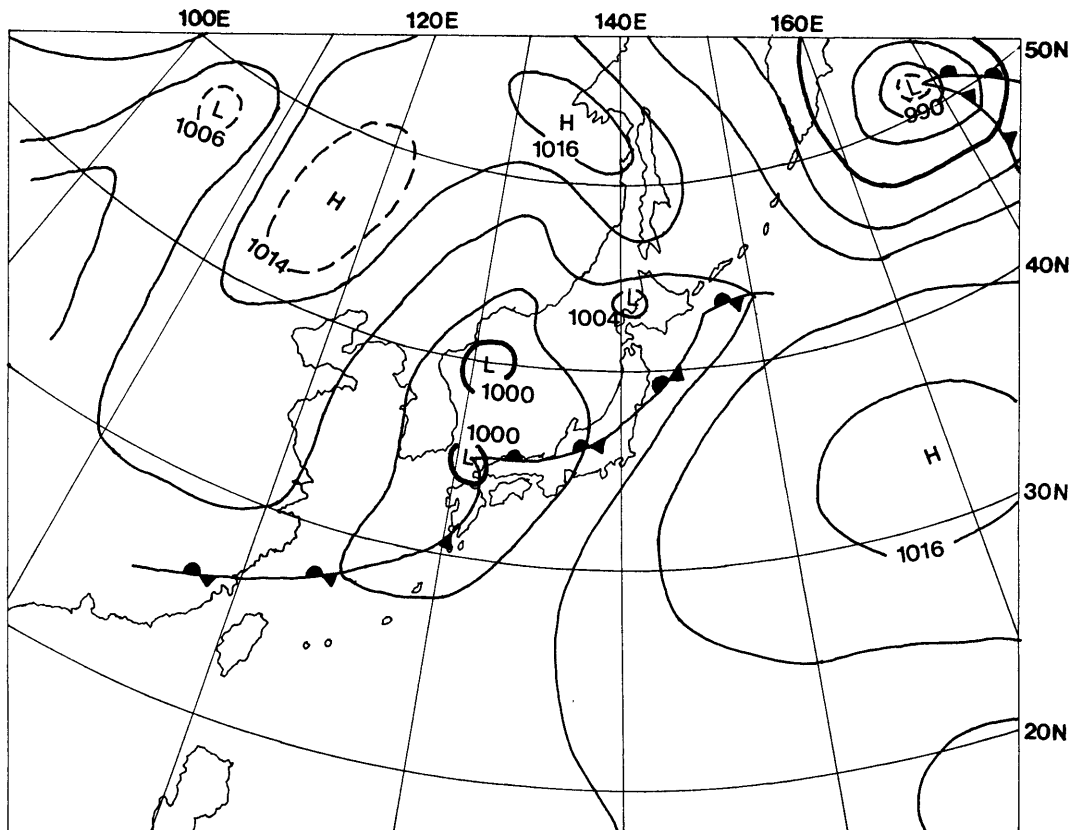


Fig.3.1.1 Surface chart at 18UTC on 2nd Sep. 1989.

Table 3.1 State of the LUT updating from 07UTC to 22UTC on 2nd Aug. 1989. Abbreviations are the same as in Table 2.1 except that

UPDATE ; ○= Updated, ×= Not updated
MAGR ; Magnification rate

Time	UPDATE	COR5	MAGR	RADAR	ECHO
07UTC	○	0.75	1.60	41755	7367
08UTC	○	0.73	2.30	41755	7582
09UTC	○	0.71	2.80	41755	8336
10UTC	○	0.74	2.39	41755	9250
11UTC	○	0.74	2.28	41755	10369
12UTC	○	0.65	3.40	41755	11227
13UTC	○	0.66	3.77	41755	12331
14UTC	---	---	GMS NO DATA	---	---
15UTC	---	---	GMS NO DATA	---	---
16UTC	×	0.47	7.29	41755	15599
17UTC	×	0.45	6.35	41755	16755
18UTC	×	0.45	7.14	41755	17313
19UTC	×	0.48	8.26	41755	18134
20UTC	×	0.50	7.05	41755	18644
21UTC	×	0.50	7.77	41755	17655
22UTC	×	0.51	7.32	41755	16451
Mean	---	0.59	4.98	41755	13360
S.Dev.	---	0.02	0.63	0	826

して求めたものである。

3・1 温帯低気圧

1989年9月2日から3日にかけて日本付近を通過した温帯低気圧の事例を示す。この低気圧は日本海沿岸を北東進し、50mm/h前後の激しい降雨で九州を中心に水害をもたらした。

Fig. 3. 1. 1は同月2日18UTCの地上天気図、Table 3. 1は同日の07UTCから22UTCにかけての推定定数の更新状況(14UTCと15UTCは衛星データ欠測のため算出されていない)、Fig. 3. 1. 2は(a)12UTCと(b)21UTCのレーダ合成図、Photo. 3. 1は(a)12UTCと(b)21UTCの赤外画像、Fig. 3. 1. 3は(a)12UTCと(b)21UTCのSI分布図、Fig. 3. 1. 4は(a)12UTCと(b)21UTCの T_{BB} 値とSIの散布図である。

07UTCから13UTCまでに算出された推定定数は相関係数が大きく順調に更新されている(Table 3.

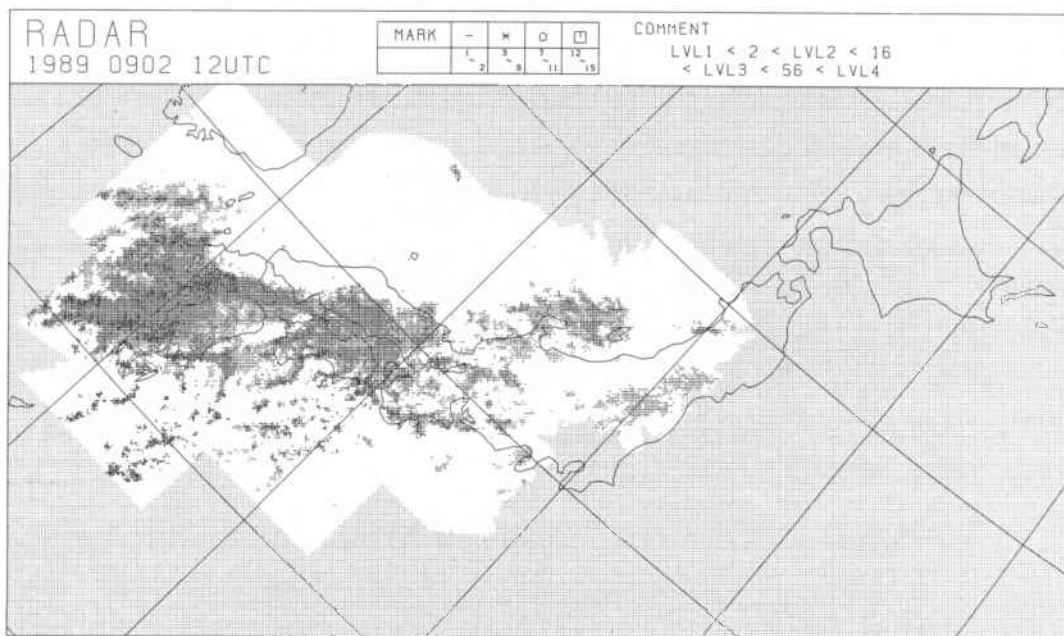


Fig.3.1.2(a) Composite radar chart at 12UTC on 2nd Sep.1989. The area consists of 480×250 grids. Symbols show precipitation intensity.
-;below2.0mm/h *;2.0 to 16.0mm/h o;16.0 to 56.0mm/h □ ; over 56.0mm/h

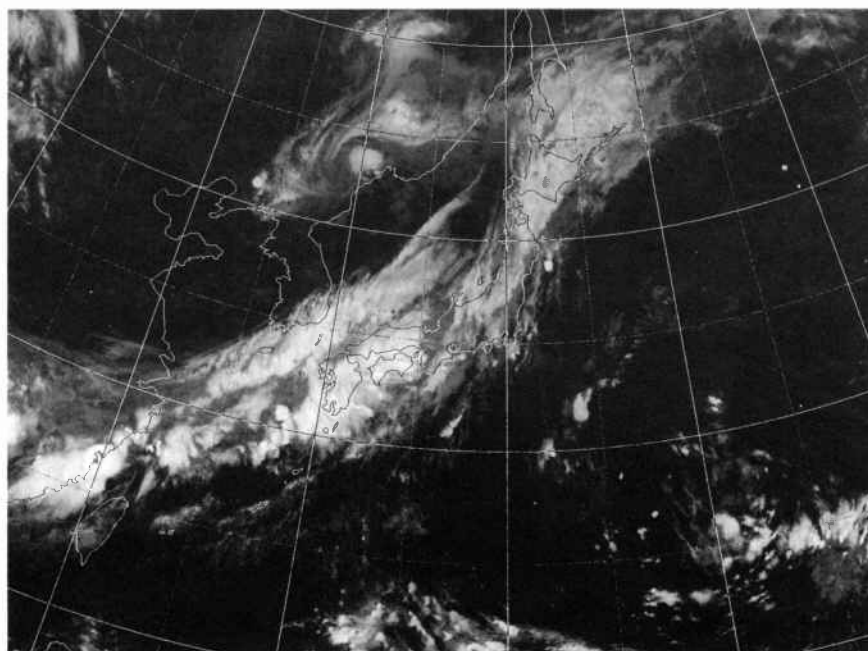


Photo.3.1(a) GMS infrared image at 12UTC on 2nd Sep. 1989.

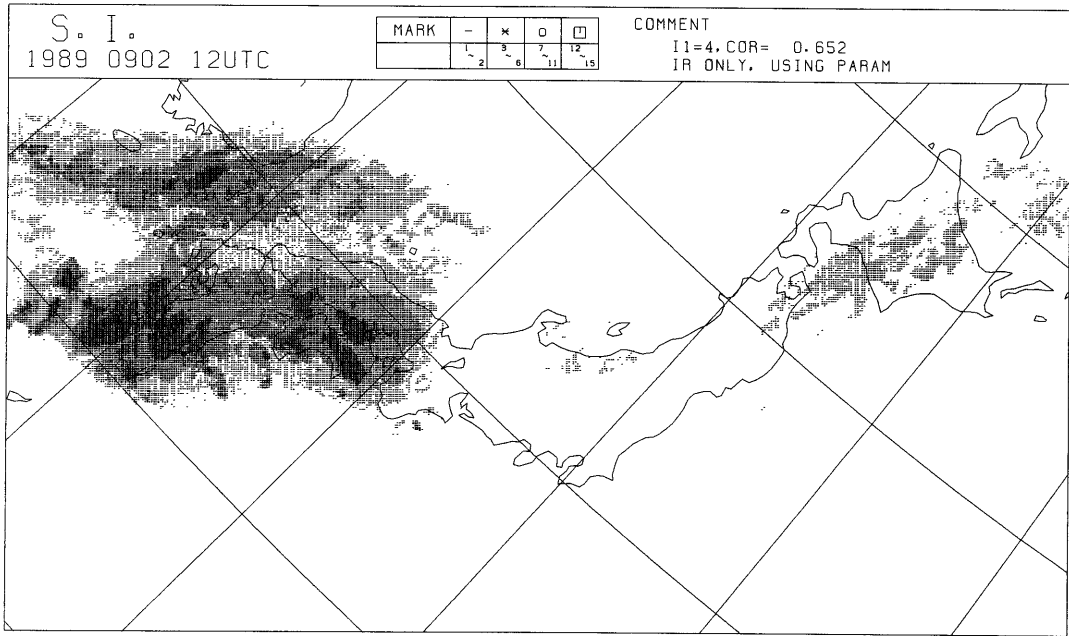


Fig. 3.1.3(a) SI chart obtained by mono-spectrum (IR) method at 12UTC on 2nd Sep. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1. 2(a).

1) が、16UTC以降は相関係数が小さく更新されていない。この原因は、レーダ有効範囲内の格子数が一定なのに対しレーダエコーが存在した格子数が時間とともに増加していることから分かる通り、低気圧に伴う降水域が東シナ海からレーダ探知範囲に進入し、期間前半の推定定数は低気圧前面の層状の降水雲のみを対象にし、後半の推定定数は低気圧本体に伴う層状と対流性の降水雲を同時に対象にしたためと考えられる。以下、前半の12UTCと後半の21UTCについて、SIの特性と算出状況を調べる。

まず、12UTCでは、前線に対応して日本列島上にレーダエコー (Fig. 3.1.2(a)) があり、特に九州南西方から瀬戸内海にかけて活発である。この時のSI (Fig. 3.2.3(a)) では、九州南西方から瀬戸内海にかけてやや強い降水強度を表現しており、範囲と強度はレーダエコーと良く合致している。この時刻の相関係数は0.65と高い。しかし、対馬海峡から山陰沖にかけてSIが過大に表現されている、北陸から東北の弱いレーダエコーに対応するSIが表現されていないなどの誤推定も認められる。赤外画像 (Photo. 3.1(a)) では、前者の過大推定域はCiに、後者の過少推定域は前者のCiより輝度がやや低

いCi (実際はその下にある下層雲) に対応している。12UTCでは、レーダエコーが存在する格子数に占める九州南西方から瀬戸内海にかけての活発なエコーの数が多いため、推定定数はこのエコーを十分表現できるように算出された。その結果、九州南西方から瀬戸内海にかけての雲域に対しては十分妥当なSI表現をしたが、この雲域とほぼ同じT_{BB}値を持つ対馬海峡から山陰沖にかけてのCiに対しても降水ありと推定し、他方、北陸から東北にかけてのCiに対しては降水無しと推定したものである。T_{BB}とSIの散布図 (Fig. 3.1.4(a)) で調べる。グラフの縦軸はSIのレベル値、横軸はT_{BB}値である。図中の×印はSI分布を表す。3次曲線は、付録A1に示した(2)式において、T_{BB}の3次の項までを使って (即ちb₄=b₅=0として) 描かれている。つまり、プロットされた×印の3次曲線からの偏位は、CbとCiを判別するために導入された赤外パラメータの効果を表している。領域内に同じT_{BB}値を持つCbとCiが混在した場合に、赤外パラメータがその機能を発揮すれば、×印はCbに対してはSIの上位に、Ciに対しては0付近にと、縦方向に分極化される。同図では、特に層別化 (付録A4参照) の閾値である-30°Cより低いT_{BB}

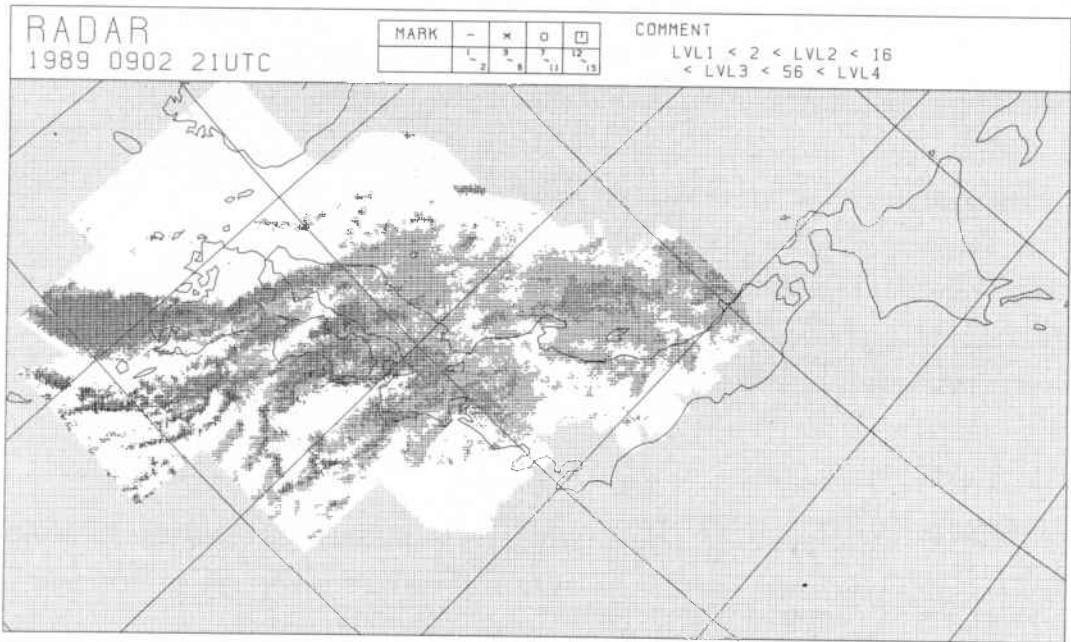


Fig. 3.1.2 (b) Composite radar chart at 21UTC on 2nd Sep. 1989. Symbols are the same as in Fig. 3.1.2 (a).

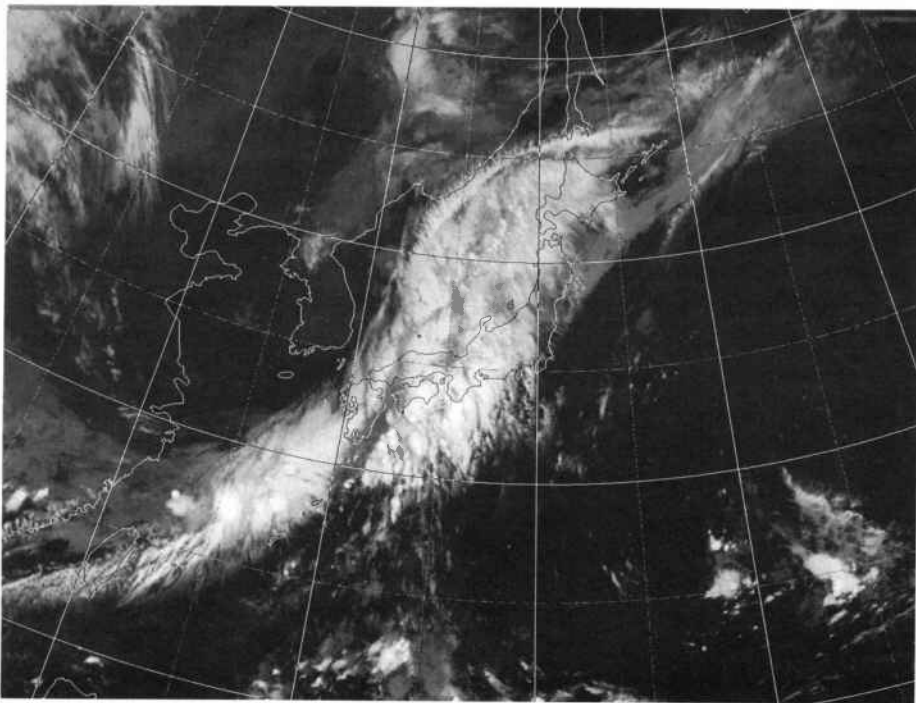


Photo.3.1(b) GMS infrared image at 21UTC on 2nd Sep. 1989.

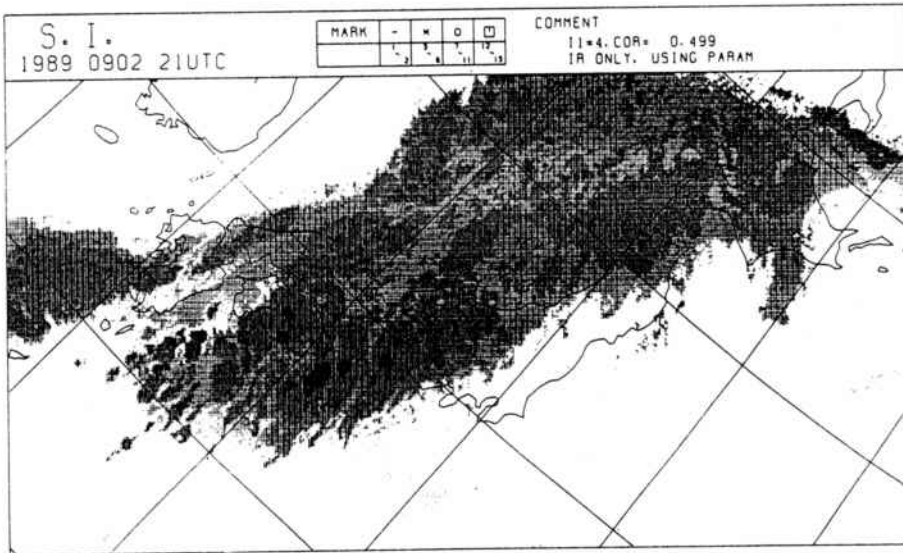


Fig.3.1.3(b) SI chart obtained by mono-spectrum (IR) method at 21UTC on 2nd Sep. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

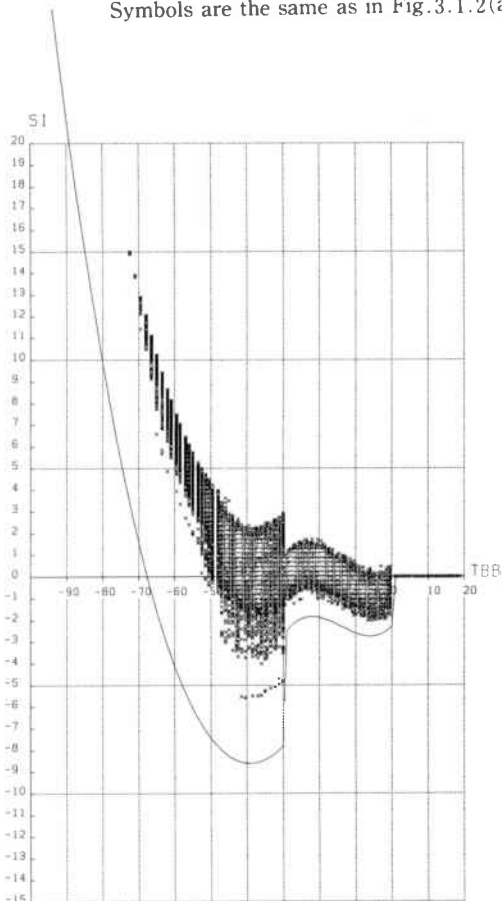


Fig.3.1.4(a) Distribution of SI and T_{BB} at 12 UTC on 2nd Sep. 1989.

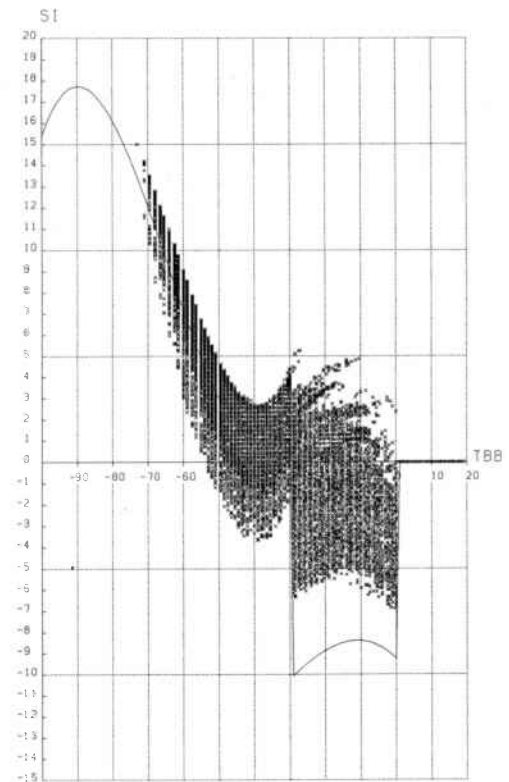


Fig.3.1.4(b) Distribution of SI and T_{BB} at 21 UTC on 2nd Sep. 1989.

値に対してS Iが縦方向に分散しており、赤外パラメータが有効に機能していることがわかる。

次に、21UTCでは、日本海に温暖前線に対応するレーダエコー(Fig. 3. 1. 2 (b))が見られる。また、九州南西方から瀬戸内海にかけては寒冷前線対応、九州南東海上から四国・紀伊半島にかけては暖気場内の活発なレーダエコーがある。同時刻のS I(Fig. 3. 1. 3 (b))では、温暖前線対応・寒冷前線対応・暖気場内とも、S Iの範囲はレーダエコー分布よりやや広いがほぼ合致している。しかし、S Iの強度は全般に強めに表現されている。特に寒冷前線対応と暖気場内では、レーダエコーで16mm/h以上が所々に観測されている程度なのに対して、S Iでは16mm/h以上が広範囲に表現され、紀伊半島周辺には56mm/h以上も表現されている。このため、この時刻の相関係数は0.50とやや低い。21UTCでは、レーダ有効範囲内において、層状性と対流性でしかも幅広い T_{BB} 値を持つ雲域が観測されている。 T_{BB} とS Iの散布図(Fig. 3. 1. 4 (b))で調べる。同図では、層別化閾値である -30°C より低い T_{BB} 値に対してS Iが縦方向に分散しており、12UTC同様に赤外パラメータが有効に機能していることがわかる。一方、 0°C から -30°C にかけての T_{BB} 値に対しては、S Iの算出状況が12UTCと大きく異なっている。これは、衛星で観測された 0°C から -30°C の T_{BB} 値に対して、同じ T_{BB} 値でもレーダエコーと対応しているものとそうでないものがあつたためである。例えば赤外画像(Photo. 3. 1 (b))で、低気圧に伴う雲域の西縁(対馬海峡から鬱陵島付近にかけて)に見られる低い輝度のC iストリークはレーダエコーとの対応がなく、ほぼ同じ輝度を持つ能登半島から佐渡島にかけての雲域はレーダエコーと対応している。この事象では、赤外パラメータである緯経度2度領域内の T_{BB} の平均と分散でこれらを識別することができ、赤外パラメータの機能を十分に発揮した推定定数が算出された結果である。こうした事象は、低気圧の中心に対応する降水域がレーダ有効域内に進入してきた13UTCから現れ始め、16UTC以降は全ての時刻に現われている。

以上に述べたように、大規模な降水域を伴う温帯低気圧の場合は、 T_{BB} 値とレーダエコーとの対応がよく、S Iはほぼ妥当な表現をし、精度が良い。

3. 2 台風

1989年8月下旬に日本を縦断した台風17号の事例を示す。この台風は、南大東島近海を北上し、8月27日00UTC室戸市付近に上陸後、北東進して日本海に抜けた。この台風によって、各地で300mmを越える日降水量が観測された。

Fig. 3. 2. 1は同月26日12UTCの地上天気図、Table 3. 2は07UTCから21UTCにかけての推定定数の更新状況、Fig. 3. 2. 2は同日09UTCのレーダ合成図、Photo. 3. 2は同時刻の赤外画像、Fig. 3. 2. 3は同時刻のS I分布図、Fig. 3. 2. 4は同時刻の T_{BB} 値とS Iの散布図、Fig. 3. 2. 5は同時刻の T_{BB} 分布図である。

07UTCから21UTCまでに算出された推定定数は、10UTC、14UTC、15UTCを除いて順調に更新されている。(Table 3. 2)。この時の表現特性を、09UTCで調べる。紀伊半島から東海沖にかけて、台風のレインバンドに対応するレーダエコー(Fig. 3. 2. 2)があるが、山陰・北陸・中部地方は、ほとんどエコーがない。しかし、S I(Fig. 3. 2. 3)は、どちらの領域にも弱い降水強度を表現している。レーダエコーの分布を赤外画像(Photo. 3. 2)や T_{BB} 分布(Fig. 3. 2. 5)と比較すると、レーダエコーの存在する領域と存在しない領域が、あるいはレーダエコーの強い領域と弱い領域が、ほとんど同じ T_{BB} を持つ雲域の下に混在している。このため、赤外データのみを使用した重回帰分析の過程でそれらが平滑化されてしまい、結果として広い範囲に弱い降水域が推定されたものと考えられる。これは重回帰分析自体の持つ特性であるため、台風に限らず他の例にも現

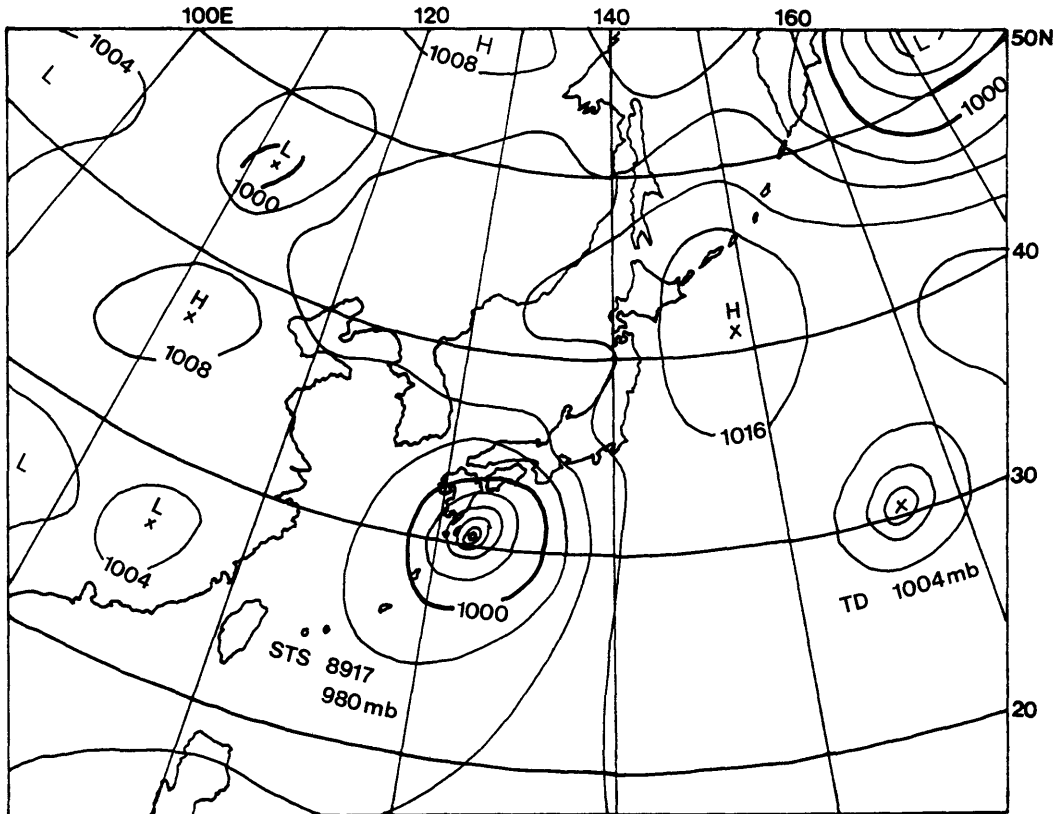


Fig.3.2.1 Surface chart at 12UTC on 26 Aug. 1989.

Table 3.2 The same as Table 3.1 except for 07 UTC to 21UTC on 26 Aug. 1989.

Time	UPDATE	COR5	MAGR	RADAR	ECHO
07UTC	○	0.61	2.53	51034	12711
08UTC	○	0.66	1.54	51034	12468
09UTC	○	0.70	2.98	57411	12985
10UTC	×	0.61	4.13	55427	12885
11UTC	○	0.69	3.34	55427	12557
12UTC	○	0.66	3.50	57411	12212
13UTC	○	0.67	3.56	57411	11935
14UTC	×	0.69	4.10	57411	11633
15UTC	×	0.65	4.51	57411	10898
16UTC	○	0.65	3.72	57411	11211
17UTC	○	0.74	2.68	57411	13361
18UTC	○	0.75	2.53	57411	14429
19UTC	○	0.67	3.80	57411	15132
20UTC	○	0.66	2.97	57411	15011
21UTC	○	0.69	2.76	57411	15425
Mean	—	0.68	3.24	56296	12990
S.Dev.	—	0.01	0.13	288	629

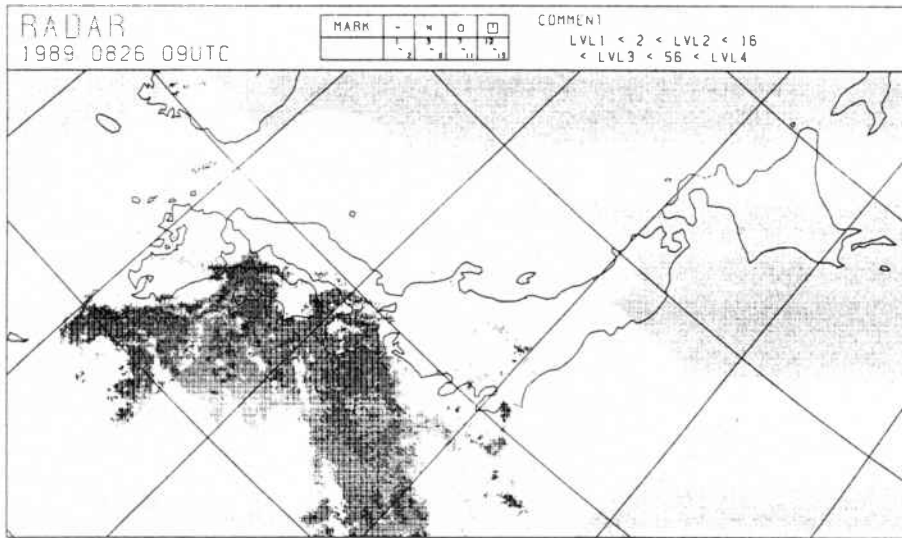


Fig.3.2.2 Composite radar chart at 09UTC on 26 Aug. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

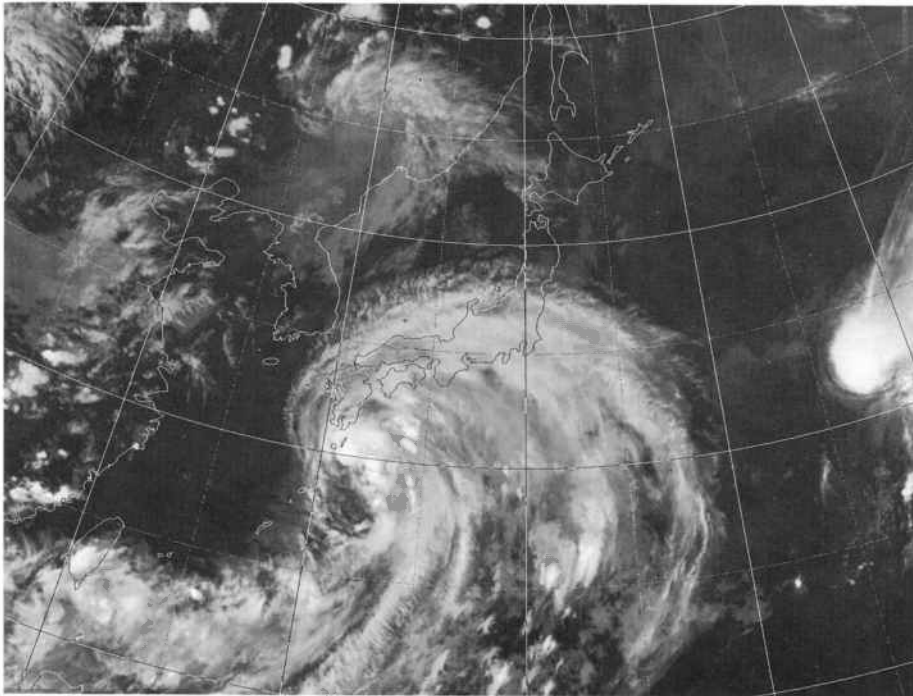


Photo.3.2 GMS infrared image at 09UTC on 26 Aug. 1989.

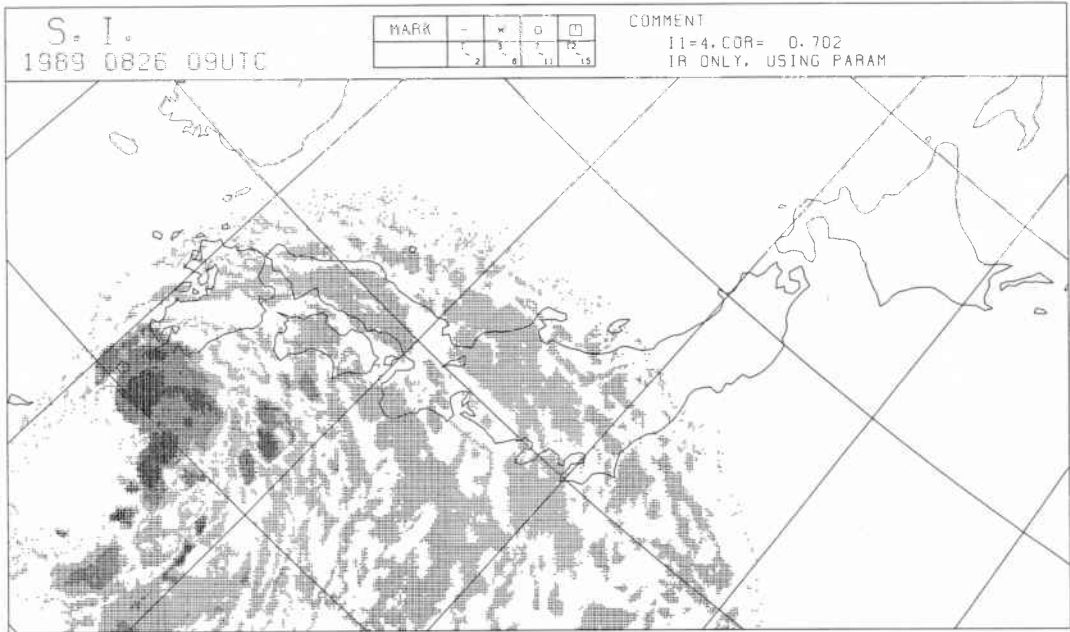


Fig.3.2.3 SI chart obtained by mono-spectrum (IR) method at 09UTC on 26 Aug. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

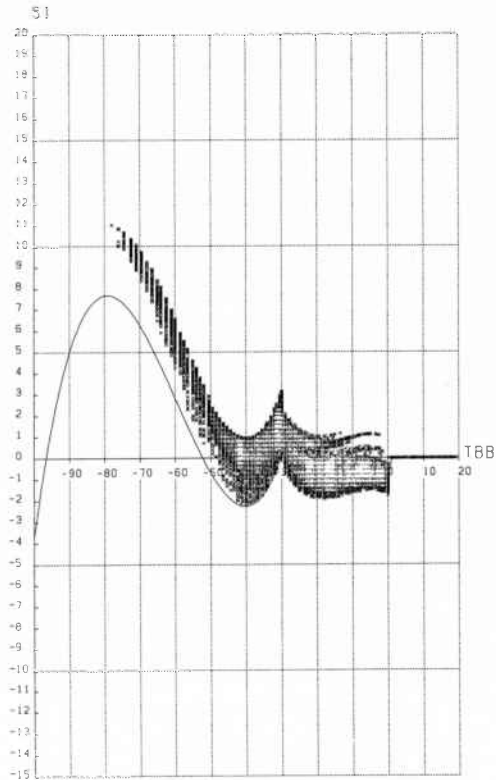


Fig.3.2.4 Distribution of SI and T_{BB} at 09UTC on 26 Aug. 1989.

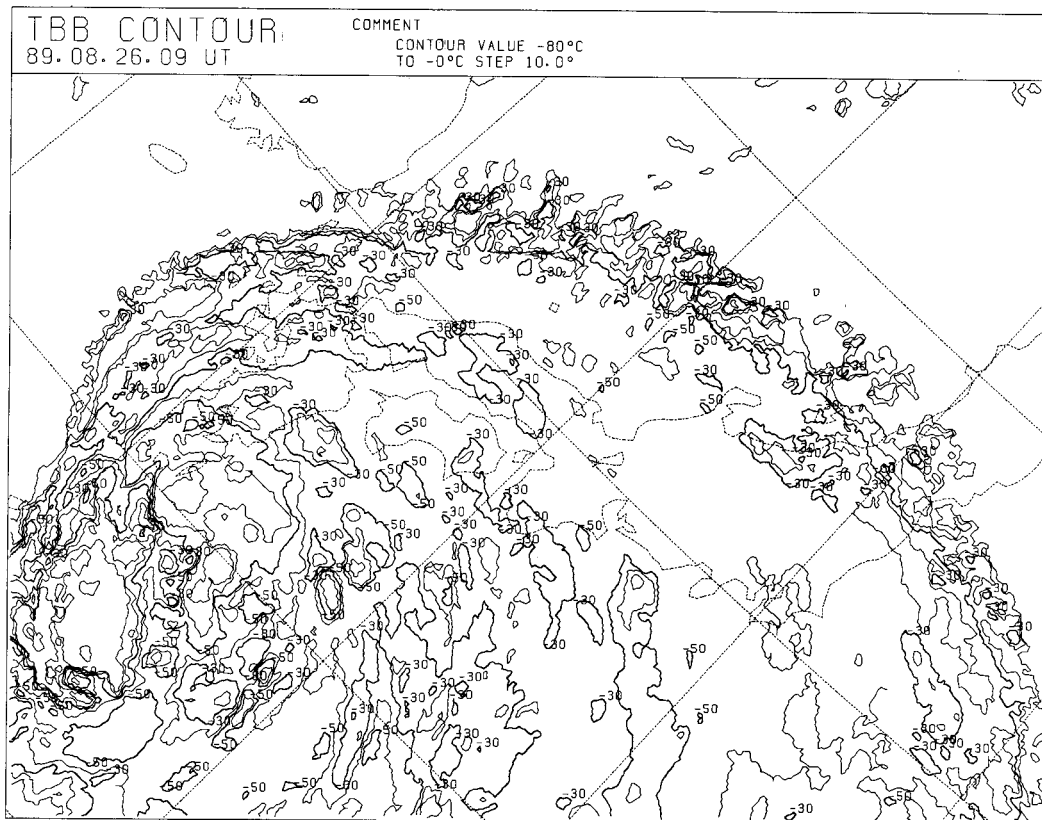


Fig.3.2.5 T_{BB} contour chart at 09UTC on 26 Aug. 1989.

れている。

次に、09UTCの T_{BB} 値とSIの散布図(Fig. 3.2.4)を調べる。この時刻では、領域内に同じ T_{BB} 値を持つCbとCiが広範囲に観測されているが、図では算出されたSIが縦方向に幅狭く分布しているのみで、CbとCiに対するSIが分極化されていない。従って、この例では赤外パラメータを用いてCbとCiを判別することが困難であったと言える。

また、同図では、層別化の閾値である -30°C を境として、SIの分布が不連続になっている。これは、設定した -30°C の閾値が、この例では不適切な値であったことを示している。擾乱毎に、層別化の閾値を適切に設定する必要がある。

3.3 熱雷

1989年7月25日の、熱雷の事例を示す。この日は全国でCbが発達し、各地で100mmを超す日降水量が観測された。

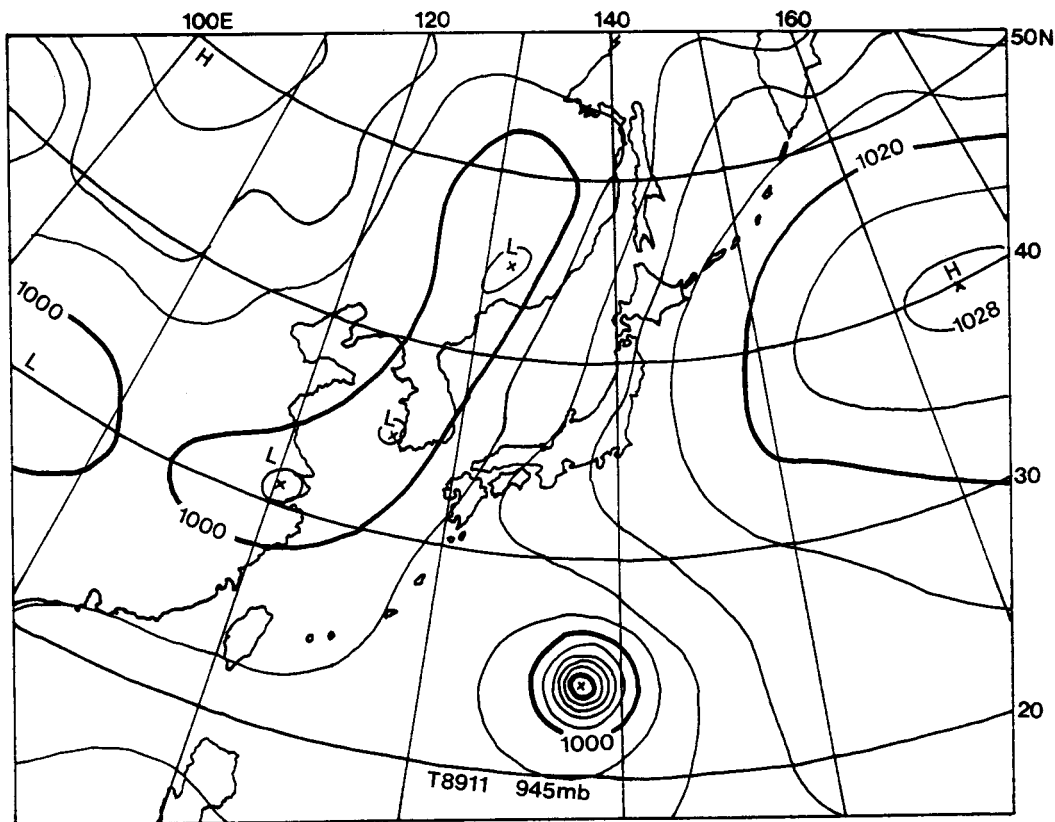


Photo. 3.3 GMS infrared image at 12UTC on 25 Jul. 1989.

Table 3.3 The same as Table 3.1 except for 08 UTC to 20UTC on 25 Jul. 1989.

Time	UPDATE	COR5	MAGR	RADAR	ECHO
08UTC	○	0.61	3.29	55427	3543
09UTC	○	0.59	2.70	57411	3927
10UTC	○	0.61	2.65	56669	4363
11UTC	○	0.65	2.57	56669	4602
12UTC	○	0.64	2.65	57411	5307
13UTC	×	0.53	4.75	56669	5541
14UTC	×	0.54	5.54	56669	5549
15UTC	×	0.50	4.43	57411	5429
16UTC	×	0.51	6.35	52276	4852
17UTC	×	0.46	8.11	52276	4396
18UTC	×	0.38	8.44	57411	4369
19UTC	×	0.50	5.88	57411	4432
20UTC	×	0.34	10.07	57411	4074
Mean	—	0.53	5.19	56240	4645
S.Dev.	—	0.05	1.35	325	158

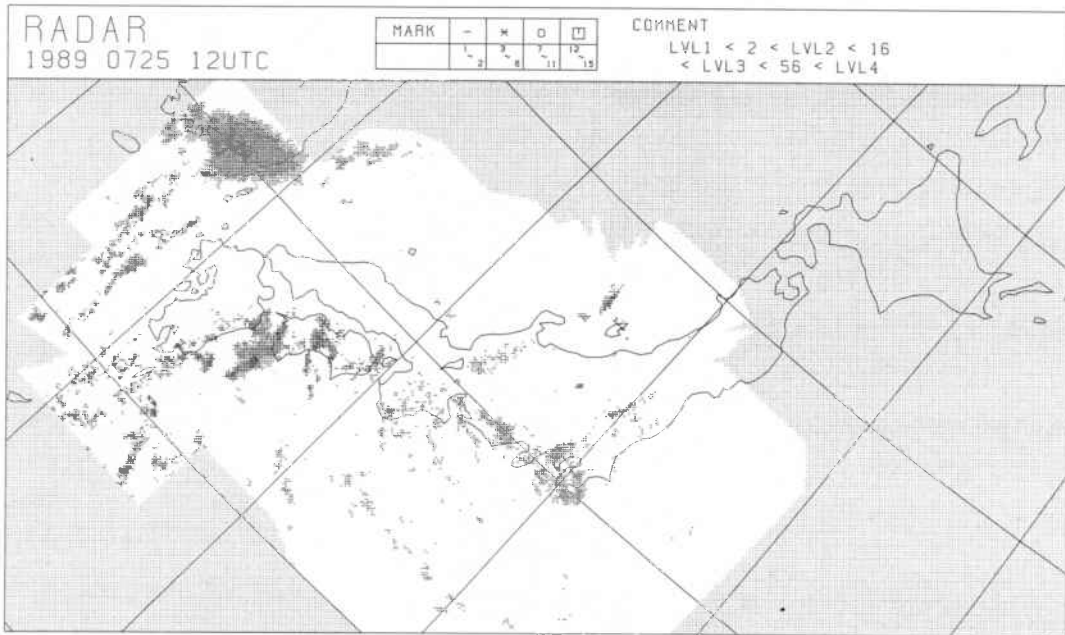


Fig.3.3.2 Composite radar chart at 12UTC on 25 Jul. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

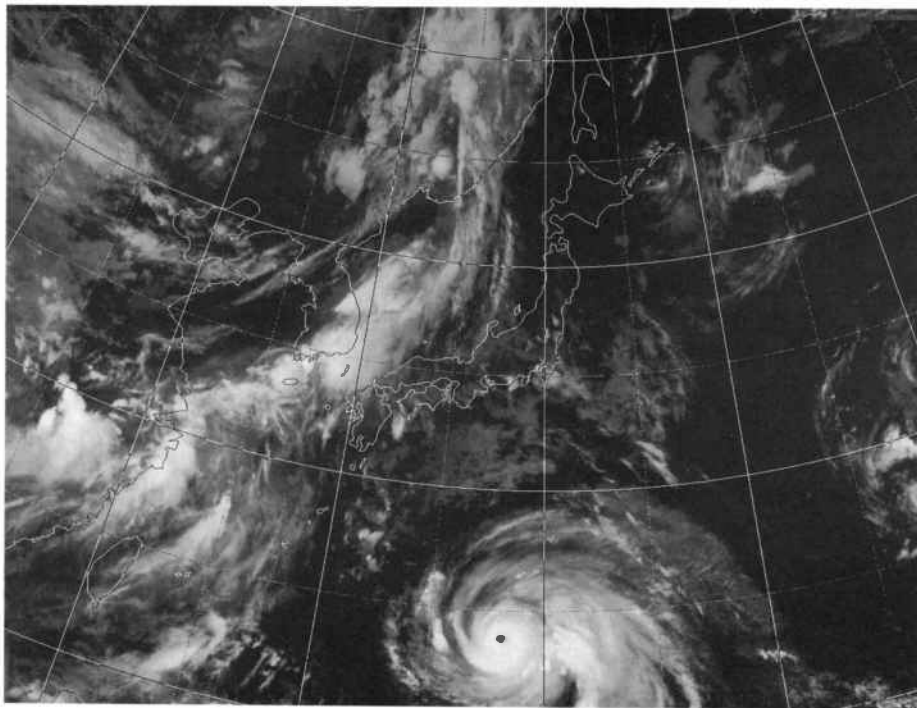


Photo.3.3 GMS infrared image at 12UTC on 25 Jul. 1989.

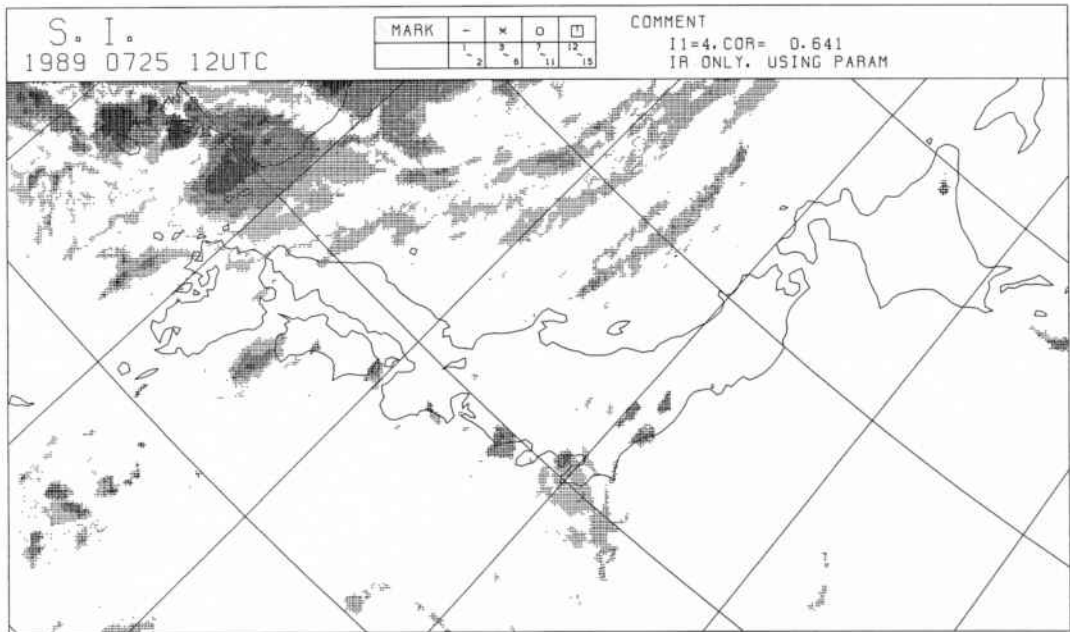


Fig.3.3.3 SI chart obtained by mono-spectrum (IR) method at 12UTC on 25 Jul. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

Fig. 3. 3. 1は同日12UTCの地上天気図, Table 3. 3は同日08UTCから20UTCにかけての推定定数の更新状況, Fig. 3. 3. 2は同時刻のレーダ合成図, Photo. 3. 3は同時刻の赤外画像, Fig. 3. 3. 3は同時刻のSI分布図, Fig. 3. 3. 4は同時刻の T_{BB} 値とSIの散布図である。

08UTCから12UTCにかけては推定定数が更新されている (Table 3. 3) が, それ以降20UTCまでは条件を満たさず更新されていない。この原因は, C bが発達期を過ぎて T_{BB} データに占めるアンビルC iの量が多くなったことと, 日本海西部に低気圧前面の降水を伴わないC i域が東進してきたことにより, 同じ T_{BB} 値でも降水域に対応するものと無降水のものに分極化し, 結果として精度の良い推定定数が算出されなかったことによる。アンビルC iの問題は, 推定定数が更新された時刻でも表れている。SI (Fig. 3. 3. 3)は房総半島のすぐ南東沖に弱い降水域を表現しているが, レーダエコーは存在していない。これは赤外画像 (Photo. 3. 3)を見ると, C iであると判断される。 T_{BB} 値とSIの散布図 (Fig. 3. 3. 4)でも, SIが縦方向にあまり分散しておらず, C bとC iを判別するために導入した赤外パラメータが, 有効に機能していないことがわかる。

水平方向と鉛直方向にある程度発達し, かつアンビルC iが少ない段階にあるC bの場合は, 算出されたSIとレーダ強度は対応が良い。関東・東海から四国南部にかけてのレーダエコーは, SI分布図でも十分に表現されている。雲域とレーダエコーが対応関係を持つステージにあることが分かる。しかし, 推定定数算出領域には, 発生期から消滅期まで様々なステージのC bが混在しているため, 領域全体で重回帰分析を行うと個々のC bは平滑化され, うまく表現されなくなることがある。

4. SI算出の改良点

3章で述べたように, 赤外単独型によるSI算出にいくつかの問題点が見られる。このような問題点を解決するためには, 赤外単独型に用いるC bとC iの判別方法の改善, 層別化閾値の季節別設定, 推定定数更新条件の検討など, 技術的な側面からさらに調査検討が必要である。本稿ではこれらの問題点の指摘にとどめ, ここでは, SIの精度向上につながる運用上の改良点について述べることにする。

4. 1 レーダデータ合成方法の変更

重回帰分析から推定定数を算出するにあたっては,

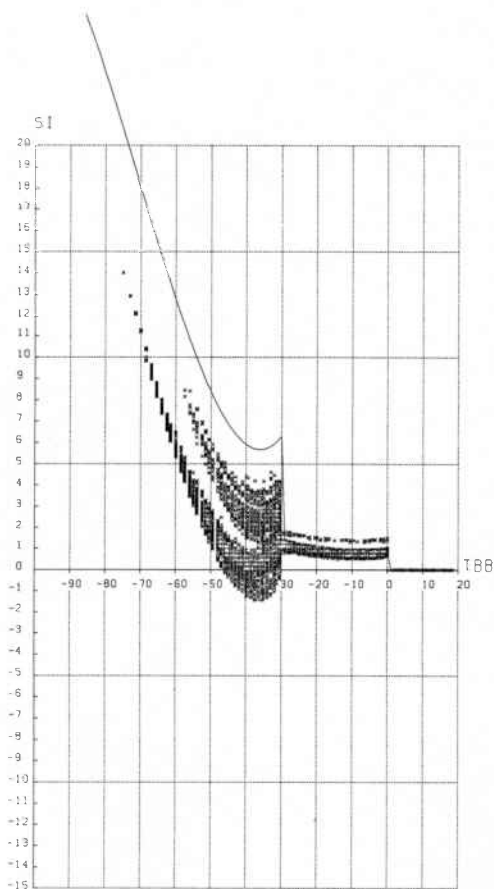


Fig.3.3.4 Distribution of SI and T_{BB} at 12UTC on 25 Jul. 1989.

C-ADESSで配信される各地のデジタルレーダデータを気象衛星センターで合成し、これを真値と見なして取り扱っている。このため、合成レーダは十分に信頼できるデータで構成されていることが望ましく、合成するにあたって以下の条件を設定した。

- (1) 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。

レーダサイトから遠ざかるにつれてエコー探知率が低下するため、より遠方のレーダエコー分布や強度は信頼性が小さくなる。このため、各レーダのデータを合成する際に、その範囲の境界となる等ビーム高度の閾値を、低く設定することが有効である。

- (2) 合成するレーダ観測格子数を増やす

推定定数は、レーダ有効領域内のレーダ強度データと衛星データを用いて算出される。合成する地点を増やすことで、広範囲のデータを得ることができ、代表性を持った推定定数を得ることができる。

業務開始時は、新潟—富士山以西の10レーダについて、気象庁本庁の「レーダーエコー合成図」と同様、等ビーム高度8,000m以下を有効領域として合成していたが、上記の観点のもとに、1989年9月23日03UTCからレーダ合成の仕様を変更した。Table 4. 1に

Table 4.1 Modifications in composition of digital radar data.

	BEFORE	AFTER
Name of the composed radar site	TANEGASHIMA, FUKUOKA, MUROTOHISAKI, HIROSHIMA, MATSUE, OSAKA, NAGOYA, FUKUI, NIIGATA, FUJISAN (10 sites)	TANEGASHIMA, FUKUOKA, MUROTOHISAKI, HIROSHIMA, MATSUE, OSAKA, NAGOYA, FUKUI, NIIGATA, FUJISAN, TOKYO (KASHIMA), SENDAI, AKITA, HAKODATE, SAPPORO (15 sites)
Effective beam height	8,000m	4,000m
Maximum radar grid number in composed area	57,411grids	66,943grids

仕様の変更点を示す。合成するレーダサイトを、東京（柏）、仙台、秋田、函館、札幌を加えた15地点とし、レーダデータの有効範囲を、等ビーム高度4,000m以下とした。この結果、レーダ有効範囲内の格子数の最大値は、57,411から66,943と約1.17倍に増加した。なお、寒候期はデジタルレーダのエコーが、等ビーム高度2,000mより遠方ではほとんど観測されないという調査報告（気象庁（1989））がある。合成時に有効とするビーム高度を季節毎に最適に設定するよう、更に検討する。

4. 2 地域別推定定数の検討

SIの算出には、領域全体について同一の推定定数を使用している。このため、領域内に異なるタイプの降水系が共存する場合には、両者の降水強度を同一の重回帰式で推定することは難しく、結果として精度を低下させる。これを防止するには、擾乱別にまた発達段階に応じて推定定数の設定や適用を変えていく方法が最良である。しかし、この処理を自動的に行うアルゴリズムの開発は難しい。また、地域別に推定定数を設定する方法が考えられる。これは、領域を複数に分割して各分割領域毎に推定定数を算出し、SI算出に適用する方式である。以下に、地域別推定定数を適用したSIの算出例を述べる。

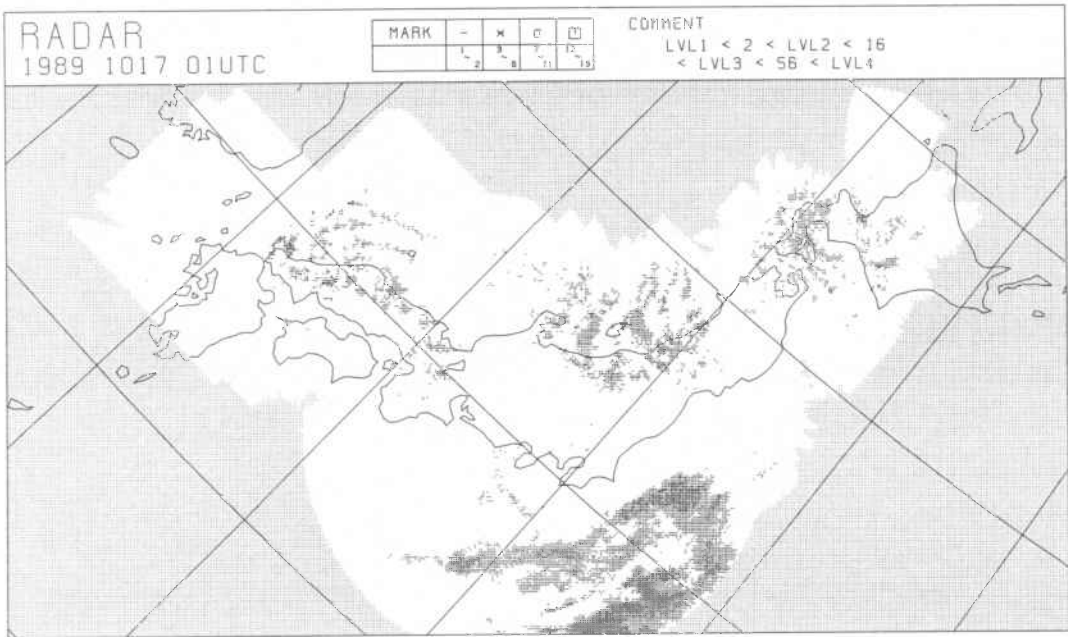


Fig.4.2.1 Composite radar chart at 01UTC on 17 Oct. 1989. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

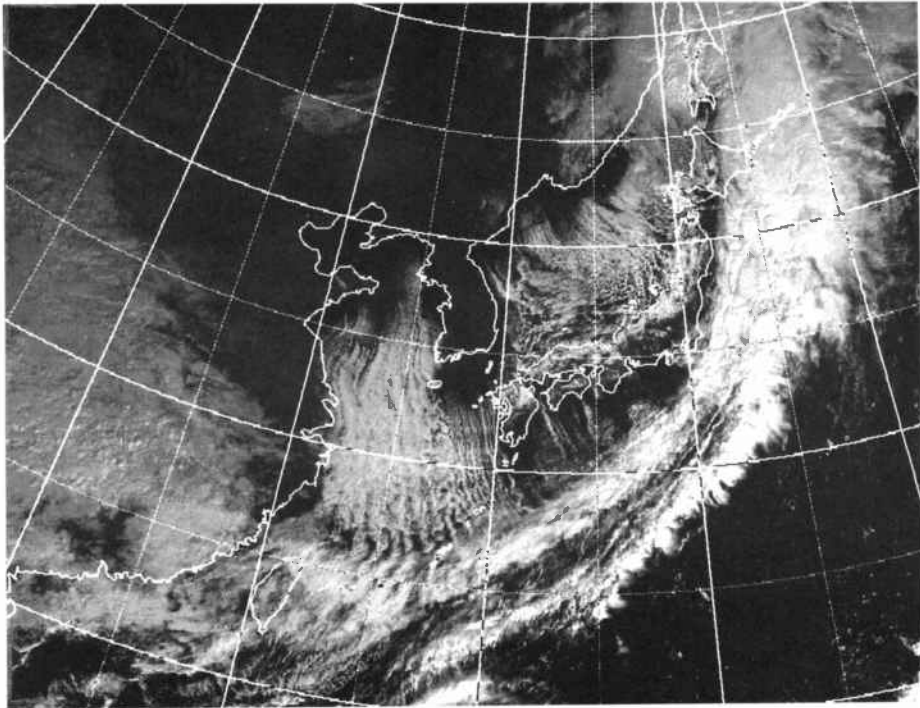


Photo.4.2(a) GMS visible image at 01UTC on 17 Oct. 1989.

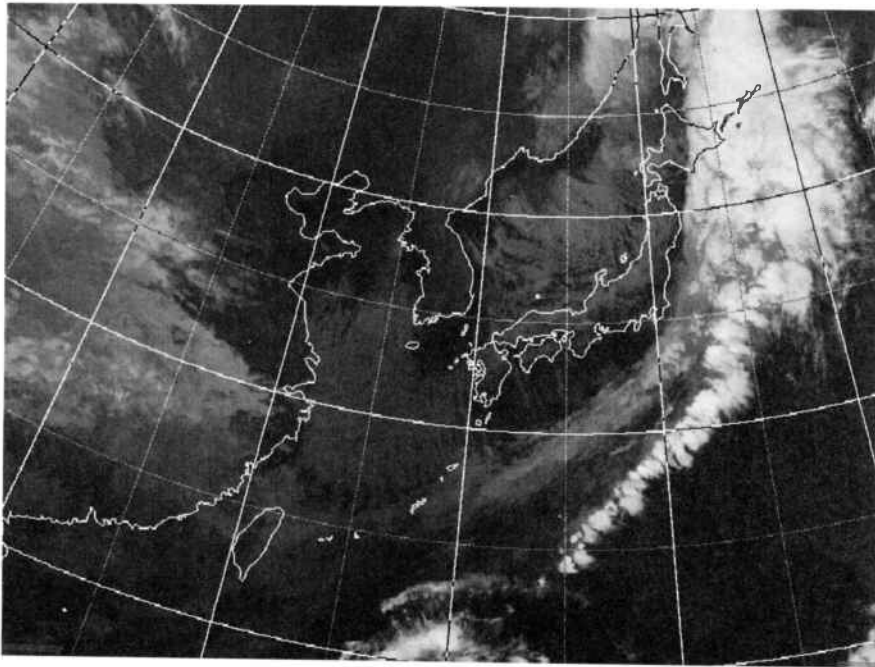


Photo.4.2(b) GMS infrared image at 01UTC on 17 Oct. 1989.

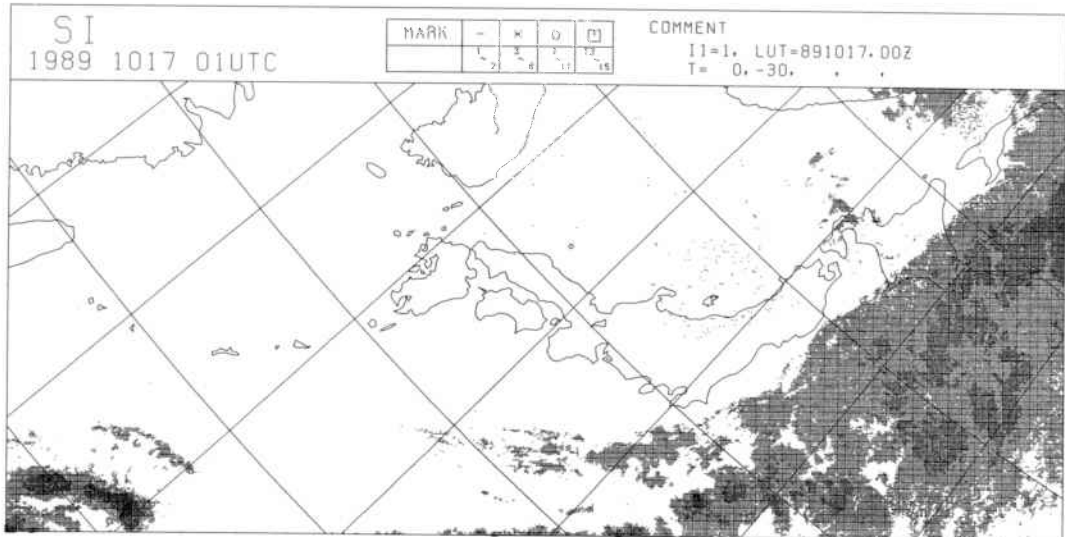


Fig.4.2.2 SI chart obtained by bi-spectrum (VIS&IR) method at 01UTC on 17 Oct. 1989. The area consists of 700×300 grids. Symbols are the same as in Fig.3.1.2(a).

Fig. 4. 2. 1は10月17日01UTCのレーダ合成図, Photo. 4. 2は同時刻の(a)可視画像と(b)赤外画像, Fig. 4. 2. 2は現業的に算出された同時刻のSI分布図(可視・赤外併用型, 00UTC算出の推定定数を使用)である。

衛星画像(Photo. 4. 2(a), (b))では, 本州の東方から南方にかけてオホーツク海南部の低気圧から延びる寒冷前線に伴う雲域, 日本海から黄海・東シナ海にかけて寒気移流による雲域がある。一方レーダ(Fig. 4. 2. 1)では, これらの雲域に対応して, 関東東方から南方にかけてと, 北海道から山陰に至る日本海側に, 降水域がある。

現業的に算出された01UTCのSI分布図(Fig. 4. 2. 2)では, 低気圧と前線による降水域はほぼ満足できるパターンで表現しているが, 日本海側の寒気移流雲に対する表現は極めて不十分である。ここで使用した推定定数は1時間前の00UTCに算出・更新されたものであり, COR5は0.83と十分高い値であった。しかし, 01UTCの独立データを使用したSIの推定精度は, COR5が0.50と低い値になっている。重回帰分析を行う際, レーダエコー分布が太平洋側に偏っていたため, 算出された推定定数は太平洋側の降水系に焦点が絞られ, 日本海側の降水系にとっては不適当な表現になったものである。

地域別の推定定数を試作し, 衛星データに適用してみた。推定定数算出領域を, 北緯43.5°東経147.8°付近と北緯28.7°東経128.4°付近を結ぶ線を境に北西部分(領域1)と東南部分(領域2)の2領域に分割(Fig. A

で示した同領域を丁度上下半分に分割)して00UTCの衛星データとレーダデータを用い, それぞれに推定定数を算出した。これを01UTCの衛星データに適用した結果を, Fig. 4. 2. 3に示す。この場合, 00UTCの推定定数が持つCOR5は, 領域1で0.81, 領域2で0.82であり, ルーチン業務で算出した全領域対象の推定定数が持つCOR5(0.83)とほとんど変わらない。しかし, 01UTCの独立データを適用したSIの持つCOR5は, 分割した線を境に, 領域1に対応する北西側のSI算出領域で0.68, 領域2に対応する側で0.61と高い値となっており, Fig. 4. 2. 2と比較すると, 特に領域1の寒気場内の降水域が, 十分妥当なパターンで表現されている。

5. まとめ

調査結果は, 以下のようにまとめられる。

(1) SIの精度

- 可視・赤外併用型の方が精度が良い。
- 擾乱の規模とタイプの違いによって, 精度が異なる。
- 直前に算出された推定定数を, 同じ擾乱タイプの雲域に適用した時に, 高い精度が得られる。
- 使用する推定定数が長時間更新されず, その間に領域内の擾乱タイプが変化した時に, 精度が低下する。

(2) 赤外単独型による擾乱別の表現特性

- 大規模な降水域を伴う温帯低気圧の場合は, T

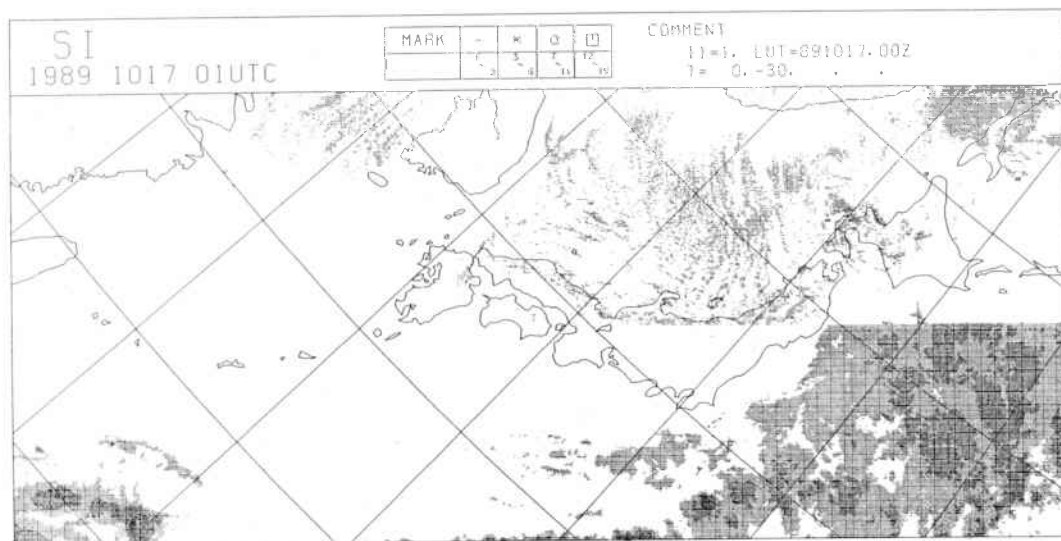


Fig. 4.2.3 The same as Fig. 4.2.2 except that used LUTs are calculated in each local derived area.

T_{BB} 値とレーダエコーとの対応がよく、SIはほぼ妥当な表現をする。

台風に伴う雲域のように、大規模なCb域とCi域が混在する雲域の降水域を推定する場合は、赤外パラメータを用いても、CbとCiを判別することは困難な場合がある。

- ・ 重回帰分析の結果、擾乱細部の特徴が平滑化され、構造が十分表現できないことがある。
 - ・ 層別化閾値に、擾乱毎に最適値を設定する必要がある。
 - ・ 熱的不安定によるCbでは、降水域をほぼ妥当に表現するステージがあるが、アンビルCiの発生により、推定精度が低下することがある。
- (3) SI算出の改良点
- ・ レーダデータ合成時に有効範囲とする等ビーム高度の閾値を低くし、季節に合った値を設定する。
 - ・ 異なるタイプの擾乱に伴う雲域を表現できるように、地域別の推定定数を導入する方法を検討する。

レーダ探知範囲外の降水強度を見積もる手段は、現在衛星データの利用以外に方法がない。将来は、レーダエコー合成図とSI分布図をカップリングさせた「降水強度分布図」を出力し、降水短時間予報の初期値としての利用ができればと思っている。

現在のSI算出手法には、以上に述べなかった技術的改良を要する点も多い。SI業務と平行して改良のための調査を継続し、成果を順次業務に取り入れていきたい。

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、同部システム管理課の浜田忠昭課長と明石秀平システム班長、同部解析課の萩原武士課長と竹村行雄調査官、および気象庁予報課の鈴木和史予報官に、 T_{BB} 分布図作成プログラムの使用に対し、解析課の桜田正美技術専門官に、謝意を表する。

参考文献

- 1) 阿部世史之・今泉孝男(1990)：降水短時間予報への降水強度指数データの利用。平成元年度全国予報技術検討会資料、気象衛星センター、1-23
- 2) 気象庁(1989)：平成元年度レーダー技術打合せ会資料
- 3) 鈴木和史・肆矢雄三・操野年之・阿部世史之・今泉孝男(1990)：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

付録

A1 SI算出に使用する重回帰式

重回帰式には、可視データが十分使える日中に使用する「可視・赤外併用型」と、夜間に使用する「赤外単独型」があり、24時間通してSIを算出している。以下に両型の重回帰式を示す。

$$SI_D = (a_0 + a_1 \cdot T_{BB} + a_2 \cdot ALB + a_3 \cdot T_{BB}^2 + a_4 \cdot T_{BB} \cdot ALB + a_5 \cdot ALB^2 + a_6 \cdot T_{BB}^3 + a_7 \cdot T_{BB}^2 \cdot ALB + a_8 \cdot T_{BB} \cdot ALB^2 + a_9 \cdot ALB^3) \cdot \alpha_D + \beta_D \dots (1)$$

$$SI_N = (b_0 + b_1 \cdot T_{BB} + b_2 \cdot T_{BB}^2 + b_3 \cdot T_{BB}^3 + b_4 \cdot T_{BB}_{MN} + b_5 \cdot T_{BB}_{DV}) \cdot \alpha_N + \beta_N \dots (2)$$

- SI_D ; SI for daytime
- SI_N ; SI for nighttime
- TBB ; Equivalent black body temperature (TBB)
- ALB ; Reflectivity (albedo)
- T_{BB}_{MN} ; The mean of TBB within 200km×200km box
- T_{BB}_{DV} ; The deviation of TBB within 200km×200km box
- a_n, b_n ; Individual coefficients
- α ; Magnification rate
- β ; Bias

(1)式は可視・赤外併用型の重回帰式、(2)式は赤外単独型の重回帰式である。可視・赤外併用型では、可視データから得られる雲の反射率と赤外データから得られる等価黒体温度(以下「 T_{BB} 」という)からSIが算出され、赤外単独型では、 T_{BB} のみからSIが算出される。(2)式に用いている T_{BB}_{MN} と T_{BB}_{DV} は、SI算出格子を中心とする緯経度2度領域内の T_{BB} の平均と分散であり、CbとCiを判別することを目的として導入されたパラメータである。これらを「赤外

パラメータ」と呼ぶ。

A 2 推定定数

重回帰式の各係数 (a_n , b_n) や拡大率 (α) 及びバイアス値 (β) などは, S I の精度に直接係わる量であり, 一括して「推定定数」(または「LUT」=Look Up Table)と呼んでいる。ルーチン業務では毎時間推定定数を算出しており, 一定の条件(後述のA 3)を満たしたものを順次更新し, 次の時間以降のS I算出に使用している。Fig. Aに, 推定定数算出領域とS I算出領域を示す。いずれの領域とも, 1辺5 kmサイズの格子で構成されている。なお, 推定定数は, 推定定数算出領域の中でも, 合成レーダデータが存在する領域内において, 衛星データとの重回帰分析によって算出される。

A 3 推定定数の更新条件

毎時間算出される推定定数を更新する条件として, 1989年11月末現在, 次の3つの条件値を設定している。

- (1) 相関係数 (COR 5) ≥ 0.5
- (2) レーダ有効範囲内の格子数 $\geq 30,000$
- (3) 拡大率 (α) ≤ 4.0

ここに表わす相関係数 (COR 5) とは, S I とその格子を中心とする 5×5 格子内のレーダデータの中で最も近い値を持つレーダ強度との相関係数である。比較領域を広げて相関を求めているのは, 衛星とレーダの観測時刻に20分程度の時間差があることなどにより, 衛星データ格子に対応するレーダデータ格子の位置ずれを考慮しているためである。

A 4 層別化

T_{BB} の低い雲と高い雲とでは, 降水機構は異なっていると考えられる。このため, T_{BB} 値による層別化を行い, T_{BB} 毎に違う特性が表現できるようにしている。複数の閾値が設定でき, このうち最暖閾値より高い T_{BB} の領域では無条件に降水無しとするが, その他の層別化温度毎に個別に重回帰式の係数を決定する。業務開始以来, 0°C (最暖閾値) と -30°C を閾値とする3群の層別化を用いている。

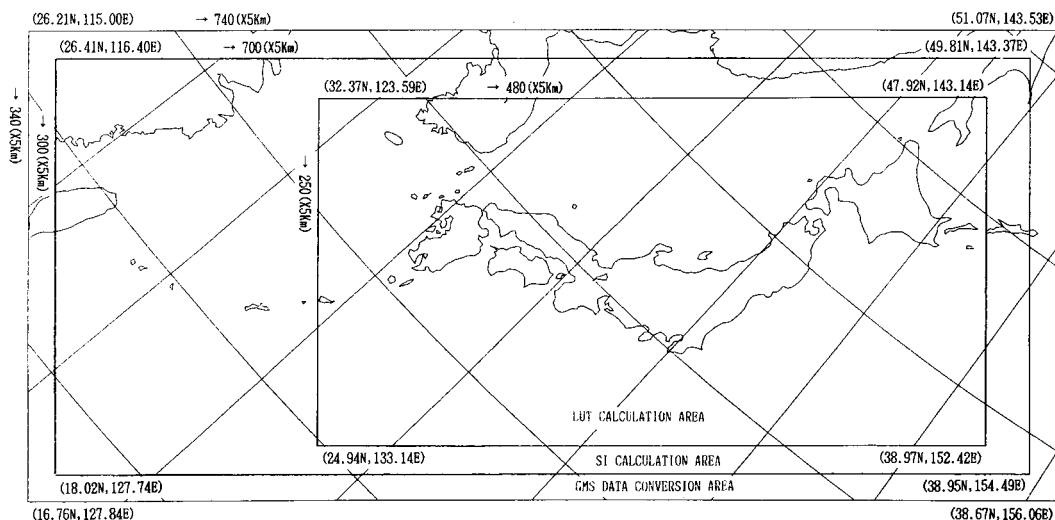


Fig. A The LUT calculation area and the SI calculation area.