

GMS 赤外データによる 夜間雲量及び雲形の推定について

謝 平平・光田 寧

NIGHT OBSERVATION OF CLOUD AMOUNT AND TYPE FROM GMS INFRARED IMAGE

By *Pingping XIE* and *Yasushi MITSUTA*

Synopsis

Methods for estimating cloud amount and type from GMS IR imagery data developed for the daytime are applied to nighttime data. Cloud amount is estimated by a Two Threshold Method (TTM) which takes account of the ground related spectral peak and of the partially cloud-covered pixels. Cloud type is classified by a discriminant analysis technique. The results show a correlation coefficient of 0.659 and correctness ratio of 47.7% with comparison to the ground observations. These values are a little worse than those in daytime (0.869 and 52.9% respectively), but suggesting the possibility to applying to all data. The methods are applied to produce the time series of cloud amounts and types for the period from 3 to 11 Sept. 1980. The variation trend of satellite derived cloud appeared to reflect the change of weather systems and to agree with the surface cloud observation comparatively well.

1. はじめに

雲は地球上の気候を支配する重要な要素であるが、全球スケールにおける雲に関する情報（雲量、雲高、雲形及びそれらの空間分布と時間変化）は雲観測が主に地上観測に頼る今日では充分ではない。また、降水の空間時間分布を調査することも水循環の解明に不可欠であるが、レーダーと雨量計で構成する現在の測定網では海上での降水状況を正確に把握できていない。

全球スケールにおける雲に関する状況を時間空間分解能よく知る手段として最近充実してきた人工衛星による観測がもっとも適当であり、特に静止気象衛星の赤外・可視画像資料を利用して雲量雲形を推定する方法が多く研究されるようになったが、未だに十分精度高く客観的に推定できる方法はまだ完全していない。しかし一方では雲の情報を介して雨量を推定するという試みも行なわれている。

謝・光田¹⁾は先きに静止気象衛星 GMS の赤外及び可視データによる雲量推定法を昼間について調べ、ピクセルが全部雲で占めない状況を考慮する Two Threshold Method (TTM) を実用化し、また赤外データによる客観雲形判別の可能性について調べた。

本論文はその続きとして、昼間についての方法を用いて夜間 12 Z の雲量を推定しさらに雲形を判別する

方法について調べた。そしてその方法を用いて3時間間隔の赤外データから日本の六地域について1980年9月3日 00 Z から11日 12 Z までの雲量雲形の時系列を推定し、推定結果を地上による観測と比較した。

2. データ

著者等¹⁾は先に1980年9月3日から11日、1982年7月23日、1982年8月1日から3日、1983年7月22日から23日及び1983年8月7日から9日のGMSの赤外及び可視画像データ計105回を入手し日本の平野部に位置する面積約10⁴km²の六地域(謝・光田²⁾ Fig.1 参照)について昼間のデータ(00 Z と 06 Z)を用いて衛星資料から雲量雲形の推定法を研究した。各地域に応じる分のデータを磁気テープから割り出した後、赤外データについてはテープ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、可視データについてはキャリブレーション・テーブルで一旦アルベドに変換した後太陽高度角と衛星高度角を考えた補正を行い正規化した。また、雲情報の Ground Truth には各地域に位置する気象官署の“地上気象観測日原簿”から情報を得た。

昼間の雲量推定法雲形判別法には赤外可視両方使う方法、赤外単独使う方法と可視単独使う方法の三つのモードがあるが、当然のことながら夜間においては赤外データだけによる方法しか適用できない。GMS はこの期間3時間間隔で観測を行い一日間8回のデータが得られているが、Ground Truth として使う地上雲観測は00 Z、06 Z と 12 Z の三回しかない。昼間の赤データを用いて開発した雲量推定法と雲形判別法を夜間の場合に適用できるかどうかを調べるため12 Z のデータについて衛星による推定と地上観測結果とを比較した。

3. 雲量推定法と雲形判別法

3.1 雲量推定法

衛星の画像データによる雲量推定法は Koffler et al.³⁾ などによって多く研究されているが一つの Threshold でピクセルが雲か晴天かを決めて地域内の雲量を計算するといった手法(STM)を取っているのが多い。このような方法をピクセルの大きい静止気象衛星の赤外データによる推定に適用する場合、一部だけ雲が占めているピクセルが生じ判定に誤差が生じる。謝・光田¹⁾はこの問題に着目し晴天ピクセルと部分雲ピクセル、部分雲ピクセルと全部雲ピクセルを区別する二つの Threshold を導入し、Two Threshold Method (TTM)による方法を発展させた。00 Z と 06 Z の GMS の赤外データを用いて TTM により昼間雲量を推定する方法を要約すると次の通りになる。

まず推定地域に対して赤外画像データを抽出し T_{BB} 頻度分布を作成する。 T_{BB} の暖かい側 ($T_{BB} \geq 285$ K) にピークがあればそれは地面によるものと仮定する。このピークに対応する T_{BB} を T_G とする。このピークがはっきりしない時は同じ地域の同じ時間帯において、ピークがはっきりするケースでの T_G の平均値を用いる。

地上観測による雲量が0でつまり晴天の6ケースについて、地域内の T_{BB} の標準偏差を計算し2.0k という平均値を得たが、地域内に雲が一部ある場合でも晴天域の T_{BB} が T_G のまわりでこれと同じ幅をもって分布していると仮定し、 $T_G = T_1 - 2.0$ k をピクセルが晴天か部分雲かを区別する Threshold とする。ピクセルが部分雲か全部雲かを区別する Threshold を T_2 とし、 T_{BB} が T_1 と T_2 の間にあるピクセルが部分的に雲が占めその割合が $(T_1 - T_2)$ に比例すると仮定すると、赤外データによる雲量の推定量 FC が次式によって計算される。

$$FC = \frac{1}{N} \sum f_i \dots \dots \dots (1)$$

$$f_i = \begin{cases} 1 & T_i \leq T_2 \\ \frac{T_1 - T_i}{T_1 - T_2} & T_2 < T_i \leq T_1 \\ 0 & T_1 < T_i \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

但し、ここで T_i はピクセルでの T_{BB} で、 N は地域内のピクセルの数である。

T_{BB} 頻度分布からは直接 T_2 の値が分からないので、 T_2 の値をいろいろ変えて昼間の156ケースについて FC を計算し、FC と地上雲量との相関が一番高くなるような T_2 を求めた結果 $T_2 = T_1 - 1.0 \text{ k}$ とした時に $\gamma = 0.861$ という最大相関係数が得られた。これらの Threshold は少し小さ過ぎるように思われるが、差し当たってはこのような数を用いることとする。

従って T_{BB} 頻度分布から T_G を決め、 $T_1 = T_G - 2.0 \text{ k}$ 、 $T_2 = T_1 - 1.0 \text{ k}$ を式(1)と(2)に代入すれば、地域内の雲量の推定値 FC が計算できることになる。

3.2 雲形判別法

衛星画像データによる雲形の判別は従来経験者が雲写真から目で観察して主観的に行なわれているが、このような方法で全球スケールにおける 詳細な雲形分布図を準実時で作成することは不可能に近い。そのため、コンピュータを利用した客観的な判別法が考案されてきた。

Koffler et al.³⁾ と Liljas⁴⁾ は赤外或いは可視頻度分布において単純な Threshold による判別法を提案したが、Desbois et al.⁵⁾ と Seze and Desbois⁶⁾ はクラスター分析法による判別を試みた。また、Harris and Barrett⁷⁾、Parikh⁸⁾、Parikh⁹⁾ 及び Parikh and Ball¹⁰⁾ は判別分析法による雲形判別法について研究した。

単純 Threshold による判別はピクセルでの T_{BB} 或いはアルベドの値をどの Threshold 域に入るかによって行なわれ、簡単ではあるがかなり大きな誤判別がもたされる。また、クラスター分析法による判別は対象となる領域内の衛星データから得た複数個のパラメータをもとに、似たもの同士を幾つかのかたまりにまとめる方法を用いて、雲形を判別しているが、実際データがかたまるまでに計算を繰り返さなければならぬので比較的長い計算時間が要求される。また最後にならないと結果として判別された雲形が何種類になるかが分からないという欠点もある。

一方、判別分析法^{11,12)} (Discriminant Analysis) による雲形の判別は教師付き (Supervised) 判別法として知られている。判別したい雲形を前以て決め、Ground Truth (地上雲観測) に基づいて各雲形の Training Case を選出し、これらのケースのデータを用いて雲形の判別により有効なパラメータを選び、判別方程式を確立する。実際に雲形を判別するにあたっては、判別対象となるケースのパラメータ値を計算し判別方程式に代入すれば雲形の判別ができる。

判別したい雲形が n 通りあって、そのなかの雲形 i を特徴づける衛星データによるパラメータが p 個あるとする。この p 個のパラメータの観測値 \mathbf{X} (ベクトル) が p 次元正規分布に従うと仮定すると、 \mathbf{X} が雲形 i による確率 $Pr(\mathbf{X}|i)$ が次式ようになる：

$$Pr(\mathbf{X}|i) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_i)^T \Sigma^{-1}(\mathbf{X} - \mathbf{M}_i)\right] \dots\dots\dots(3)$$

但し、ここで \mathbf{M}_i は雲形 i についてのパラメータの平均値で Σ はパラメータの分散・共分散行列で各雲形共等しいとする。

衛星データによる特徴パラメータ \mathbf{X} が得られた場合、判別分析法はこれを次式の条件を満たす雲形 j によるものと判定する；

$$Pr(\mathbf{X}|j) > Pr(\mathbf{X}|i), \quad \text{for all } i \neq j \dots\dots\dots(4)$$

従って、判別分析法による雲形判別は各雲形についてパラメータの平均値や分散行列を計算し判別方程式を確立するまでには手間かかるが、一旦確立すると雲形の判別がかなり簡単にできるだけなく判別したい

雲形の種類が前以て決められるので準実時的な客観雲解析に向いている。以上のことから、GMS 画像資料による雲形判別法の研究に際して判別分析法を用いることとした。

判別したい雲形の種類が研究目的によって違う。Koffler et al.³⁾ は雲頂温度に基づき三種類に分類した。Liljas⁴⁾ は温度とアルベドによって六種類雲形の判別を行なった。Harris and Barlett⁷⁾ は層状雲、層積雲、混合雲及び積雲の四雲形を判別した。Parikh⁸⁾ は下層雲、混合雲、積乱雲及び絹雲の四雲形に分けた。また Parikh and Ball¹⁰⁾ は下層雲のみ、顕著でない上層雲を伴う中層雲、顕著でない中下層雲を伴う上層雲、顕著な中下層雲を伴う上層雲及び積乱雲の五雲形を判別する方法について調べた。

本研究では、雲形判別の結果を将来的に降水の見積りに用いることから、判別の目標となる雲形を **Table 1** に示しているような四種類に決めた。**Table 1** の中で雲形 A, B, C 及び D はそれぞれ積雲、積乱雲、中層雲及び上層雲を指している。00 Z と 06 Z のデータが六地域合わせて156ケースあるが、全雲量が10の70ケースを Training Case として **Table 1** に述べた基準を用いて選び、昼間雲形判別法の調査に使った。この70ケースの中で、雲形 A, B, C 及び D に属するケースがそれぞれ18, 9, 28及び15例あった。

前報では雲形判定の方法について簡単な説明を行なったが実際の例については述べなかつたのでここで少し説明しておく。選ばれた四雲形の判別により有効な雲特徴パラメータを探さなければならないが、ここでは抽出された GMS の赤外・可視画像データから各ケースについて全域頻度分布、四分領域頻度分布、差分頻度分布^{8,9)} とロバーツ勾配頻度分布¹⁰⁾ を作成し、これらの頻度分布から雲特徴パラメータの候補として赤外と可視データについてそれぞれ264個をまず選んだ。この264個のパラメータの中で80個は地域内の地面或いは雲の全体的状況を反映するスペクトラル・パラメータ（最頻値、最大値、最小値など）で、残りの184個は地面或いは雲の表面光滑状況を反映するテクスチャル・パラメータである。

このように計算した264個のパラメータから前進選択法^{11,12)} を用いて四雲形の判別により有効なパラメータの組合せを選択した結果、1)赤外と可視パラメータの両方による判別がもっともよく、赤外パラメータ単独による判別がもっともよくない、2)パラメータを多く使うほど判別結果がよくなるが、パラメータが四個以上使っても判別結果がそれほど大きく改善しない、などが分かった。**Table 2** に赤外パラメータのみ使う場合選ばれた四つのパラメータを示している。

以上に選ばれたパラメータの値がA～Dのどの雲形についても4次元正規分布に従い、また各雲形につい

Table 1. Criteria for selection of the cloud type classification training cases

Cloud type		Number of selected case	Selection criteria
Sign	Name		
A	Cumulus	18	NT=10, Cu>7, No Cb
B	Cumulonimbus	9	NT=10, Cb>5
C	Middle cloud	28	NT=10, As+Ac>7, No Cb
D	High cloud	15	NT=10, Ci+Cs+Cc>7, No lower cloud

Table 2. Combination of the selected IR parameters

No.	Parameter Definition
1	Coefficient of Variation (S.D./Mean)
2	TBB _{90%} —TBB _{10%}
3	TBB _{50%} —TBB _{0%}
4	90% Value in Roberts Gradient Histogram

てのパラメータの分散・共分散行列が等しいと仮定すると、雲形判別は式(3)右辺指数部 D_i の大きさを各雲形 i について比較することによって簡単にできる。

$$D_i = \frac{1}{2} \mathbf{X}^T \Sigma^{-1} \mathbf{M}_i + \frac{1}{2} \mathbf{M}_i^T \Sigma^{-1} \mathbf{X} - \frac{1}{2} \mathbf{M}_i^T \Sigma^{-1} \mathbf{M}_i; \dots\dots\dots(5)$$

Training Case として選ばれた 00Z と 06Z の70例のデータを用いて各雲形の \mathbf{M}_i と分散・共分散行列 Σ を計算し、雲形判別方程式(5)の各係数を求めた。従って実際に雲形を判別する際には、 \mathbf{X} を式(5)に代入し、各雲形毎に D_i を計算し、 D_i の一番大きい雲形に判別すればよい。

以上に述べた雲形判別法を 00Z と 06Z の全ケースの内雲量が 0.7以上の場合について適用し、判別結果を地上雲観測と比較した。Table 3 に赤外パラメータだけを用いた時の結果を示した。Table 3 の中で、Type S (快晴) は地上観測雲量 GC が0.3以下のケース、Type F (晴れ) は GC が0.3~0.7のケースで、Type A, B, C と D はそれぞれ Table 1 によって定義されたケースで、また Type MA (混合A), MB (混合B), MC (混合C) 及び MD (混合D) はそれぞれ GC が0.7以上であるが Table 1 によって Type A, B, C と D のいずれにも定義されなかったケースである。

衛星データによる雲形判別は二つのステップに分けて行なわれる。まず先に述べた TTM を用いて雲量 FC を推定する。FC が0.3と0.7より小さいケースはそれぞれ Type S と F と判別する。FC が0.7に等しいかそれよりも大きいケースについてパラメータ観測値を式(5)に代入し雲形を判別する。

Table 3 に示しているように、70例の Training Case の中で5例が Type F と判別されたが、37例が正しく判別され、判別正確率が52.9%である。また50例の混合雲ケースでは、MA Case 5回、MB Case 2回、MC Case 8回及び MD Case 9回がそれぞれ Type A, B, C 及び D と判別された。全体的に Type B

Table 3. Cloud type classification result from IR data for daytime

Type	Discriminated type						Total
	S	F	A	B	C	D	
S	20 (83.3)	2 (8.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (8.3)	0 (0.0)	24
F	4 (33.3)	4 (33.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (33.3)	0 (0.0)	12
A	0 (0.0)	0 (0.0)	11 (61.1)	0 (0.0)	7 (38.9)	0 (0.0)	18
B	0 (0.0)	1 (11.1)	2 (22.2)	4 (36.4)	1 (11.1)	1 (11.1)	9
C	0 (0.0)	2 (7.1)	15 (53.6)	0 (0.0)	11 (39.3)	0 (0.0)	28
D	0 (0.0)	2 (13.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (13.3)	11 (73.3)	15
MA	2 (14.3)	3 (21.4)	5 (35.7)	1 (7.1)	1 (7.1)	2 (14.3)	14
MB	1 (33.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (66.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	3
MC	1 (5.9)	0 (0.0)	1 (5.9)	5 (29.4)	8 (47.1)	2 (11.8)	17
MD	0 (0.0)	3 (18.8)	2 (12.5)	2 (12.5)	0 (0.0)	9 (56.3)	16
Total ¹⁾	28 (17.9)	17 (10.9)	36 (23.1)	14 (9.0)	36 (23.1)	25 (16.0)	156 (100.0)

と D が比較的によくできているが Type A と C の間の誤判別が目立つ。この誤判別は衛星データで見た二種の雲の相似性によるものと思われる。

4. 夜間雲量推定と雲形判別

00 Z と 06 Z の衛星と地上雲観測資料を用いて開発した赤外データによる昼間の雲量推定法及び雲形判別法は比較的信頼できるものと考えられたので、これを夜間の雲量推定と雲形判別に適用して見た。これは地上雲観測の行なわれている 12 Z の 84 ケースについて衛星赤外データから雲量雲形を推定しその結果を地上観測結果と比較することで行なった。

Fig. 1 に赤外データから推定した 12 Z の雲量 FC と同時の地上観測による雲量 GC との比較を示した。この図から見ると衛星推定値が地上観測値と比べて overestimate になっており、両者間の相関係数が 0.659 で、昼間 00 Z と 06 Z の場合の 0.861 と比べると、低くなっている。これは特に絹雲がある場合、赤外資料による地面温度推定の問題以外に夜間地上雲観測精度の降下による誤差ではないかと思われる。

Table 4 に赤外データから判別した 12 Z の雲形と地上観測による雲形との比較を示す。12 Z 全部 84 例の中で地上雲観測が Table 1 に述べた選択基準を満たした単一雲形ケースが 44 例あり、また混合雲形ケースが 23 例あった。

全体的に、夜間雲形の判別は昼間の場合と似たような結果となった。単一雲形 44 例の中で、正確に判別できたのは 21 例でその割合が 47.7% で昼間の判別正確率 52.9% と比べると少し悪くなっている。混合雲形 23 例の中で、MA ケース 3 例、MC ケース 2 例と MD ケース 2 例がそれぞれ Type A, C 及び D と判別された。また、地上観測が Type A (積雲) の 20 例の中で半分以上の 15 例が Type B (積乱雲), Type C (中層雲)

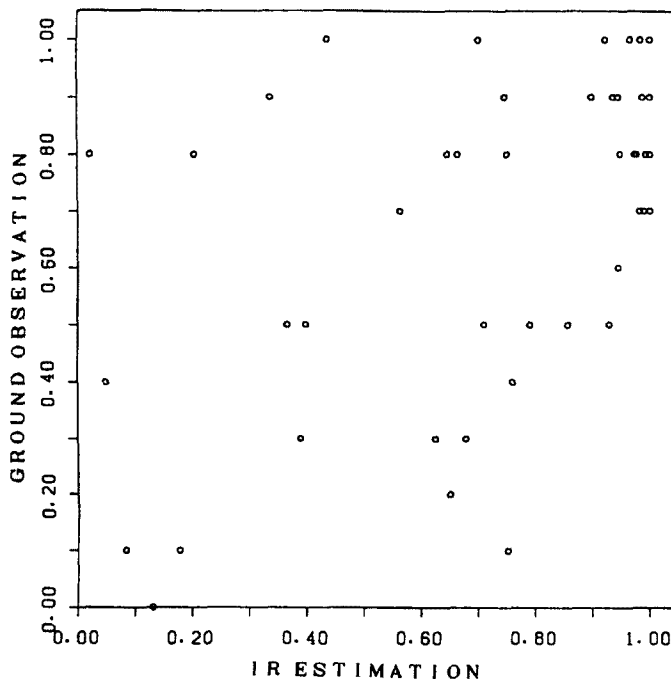


Fig. 1. The comparison between ground observed cloud amounts GC and IR derived fractional coverages (FC) by use of the two-threshold cloud amount estimation method (TTM) for 84 nighttime cases. GC and FC are indicated in the range of 0-1.

Table 4. Cloud type classification result from IR data for nighttime

Type	Discriminated type						Total
	S	F	A	B	C	D	
S	3 (37.5)	0 (0.0)	1 (12.5)	0 (0.0)	4 (50.0)	0 (0.0)	8
F	1 (11.1)	0 (0.0)	2 (22.2)	0 (0.0)	5 (55.6)	1 (11.1)	9
A	2 (10.0)	0 (0.0)	5 (25.0)	7 (35.0)	6 (30.0)	0 (0.0)	20
B	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (25.0)	1 (25.0)	1 (25.0)	1 (25.0)	4
C	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (13.3)	2 (13.3)	11 (73.3)	0 (0.0)	15
D	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (90.0)	1 (20.0)	0 (0.0)	4 (80.0)	5
MA	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (25.0)	3 (25.0)	6 (50.0)	0 (0.0)	12
MB	0 (...)	0 (...)	0 (...)	0 (...)	0 (...)	0 (...)	0
MC	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (20.0)	2 (40.0)	2 (4.0)	0 (0.0)	5
MD	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (66.7)	2 (33.3)	6
Total	6 (7.1)	0 (0.0)	15 (17.9)	16 (19.0)	39 (46.4)	8 (9.5)	84 (100.0)

と誤判別された。これは昼間と同様に Type A と Type C の雲が衛星から見るとその違いが明らかでない場合が多いためのほか、夜間地上雲観測における雲形の間違いの影響もかなりあると思われる。

5. 実用化の試験

以上のことを踏まえてここで示した判定法が昼夜共に用いることができそうに判断できたので、6つの調査地域について先に述べた雲量推定法と雲形判別法を用いて、3時間置きに行なわれた GMS 赤外観測データから1980年9月3日 00 Z から9月11日 12 Z までの雲量を推定し雲形を判別した。地上天気図では、8日には千島から南西に伸びる停滞前線が日本列島上空に位置し、また10日には台風 T 8013 号が九州に上陸している。

Fig. 2 に赤外データから導いた六地域の雲量雲形時系列とそれに対応する地上観測を示す。全体として、衛星資料による雲量の推定値の時間変化は地上観測値と比べて比較的良く一致している。Fig. 1 のような散布図による両者の比較では、雲量が0.4から0.7の場合、衛星推定値と地上観測値の違いが大きく見えるが、これは部分的に地上観測と衛星観測の間に20分間ぐらいのずれ（地上観測は正時に行なわれるのに対して衛星観測は正時前30分から始まり日本周辺を観測するのは大体正時前20分ぐらい前になる）があり、雲量変化の激しい時両者の間に差が生じるが、これを時系列で見ると雲量変化の傾向は一致している。また、雲形の判別についてはやっぱり Type A と Type C 即ち積雲と中層雲積との区別が難しいが、地上観測との対応が比較的よくなっている。

北海道から九州までの広い範囲に位置する六地域に対して推定した結果に明らかな違いがなく、ここで述べた方法がより広い範囲への適用の可能性を示唆した。地上による観測が1日に 00 Z, 06 Z と 12 Z の3回

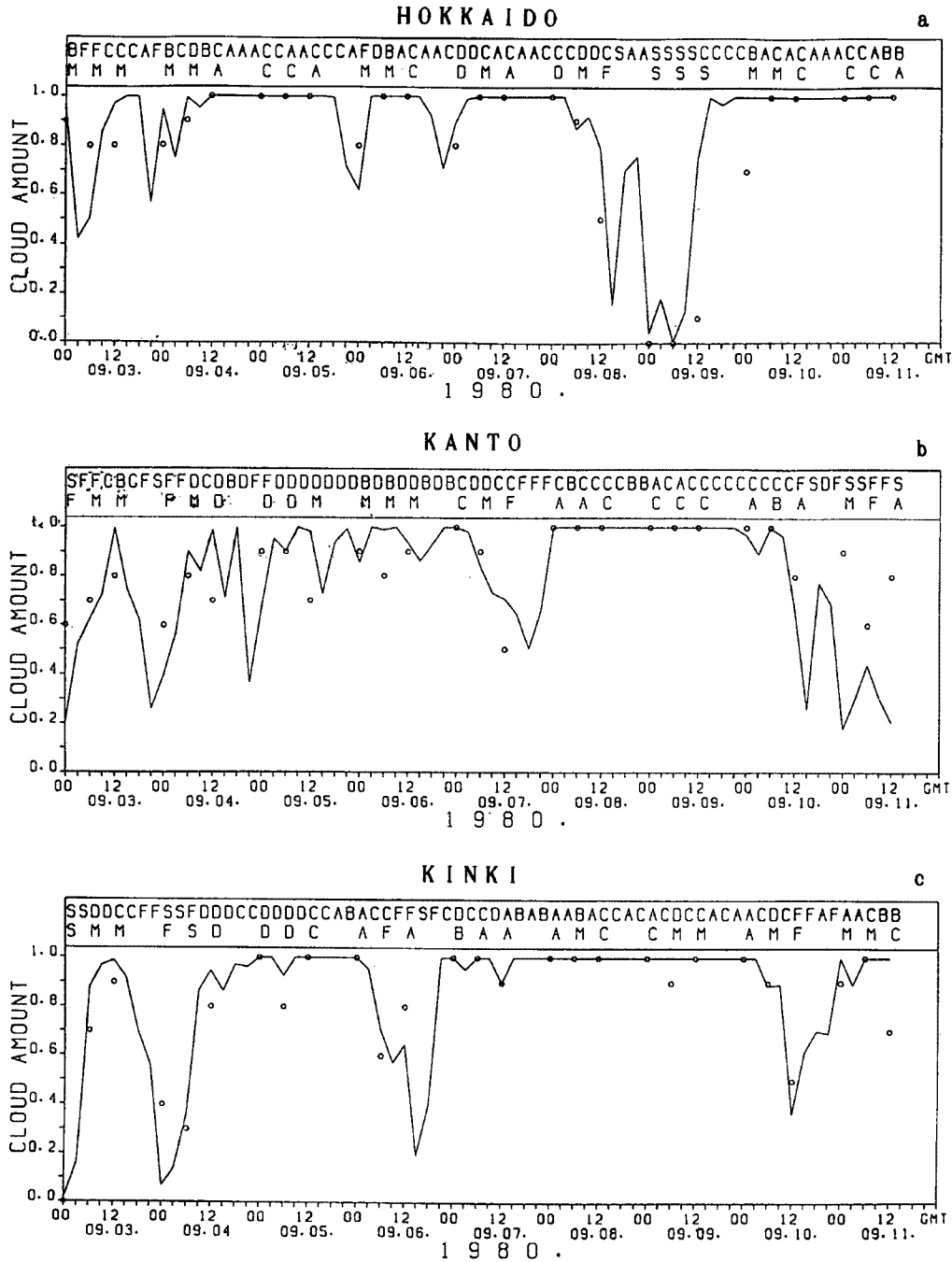


Fig. 2. Time series of IR estimated and ground observed cloud amounts and cloud types for the period of 00Z Sept. 3 to 12Z Sept. 11, 1980, for a) Hokkaido, b) Kanto, c) Kinki, d) Setonaikai, e) Sanin and f) Kyushu. The cloud amounts of ground observation and IR estimation are plotted in circles and solid line, respectively. The cloud types derived from ground observation and IR data are listed in the lower and upper lines above the cloud amounts charts. Signs of S, F, A, B, C and D denote Clear Sky, Fraction, Type A, B, C and D, respectively. Sign M includes MA, MB, MC and MD.

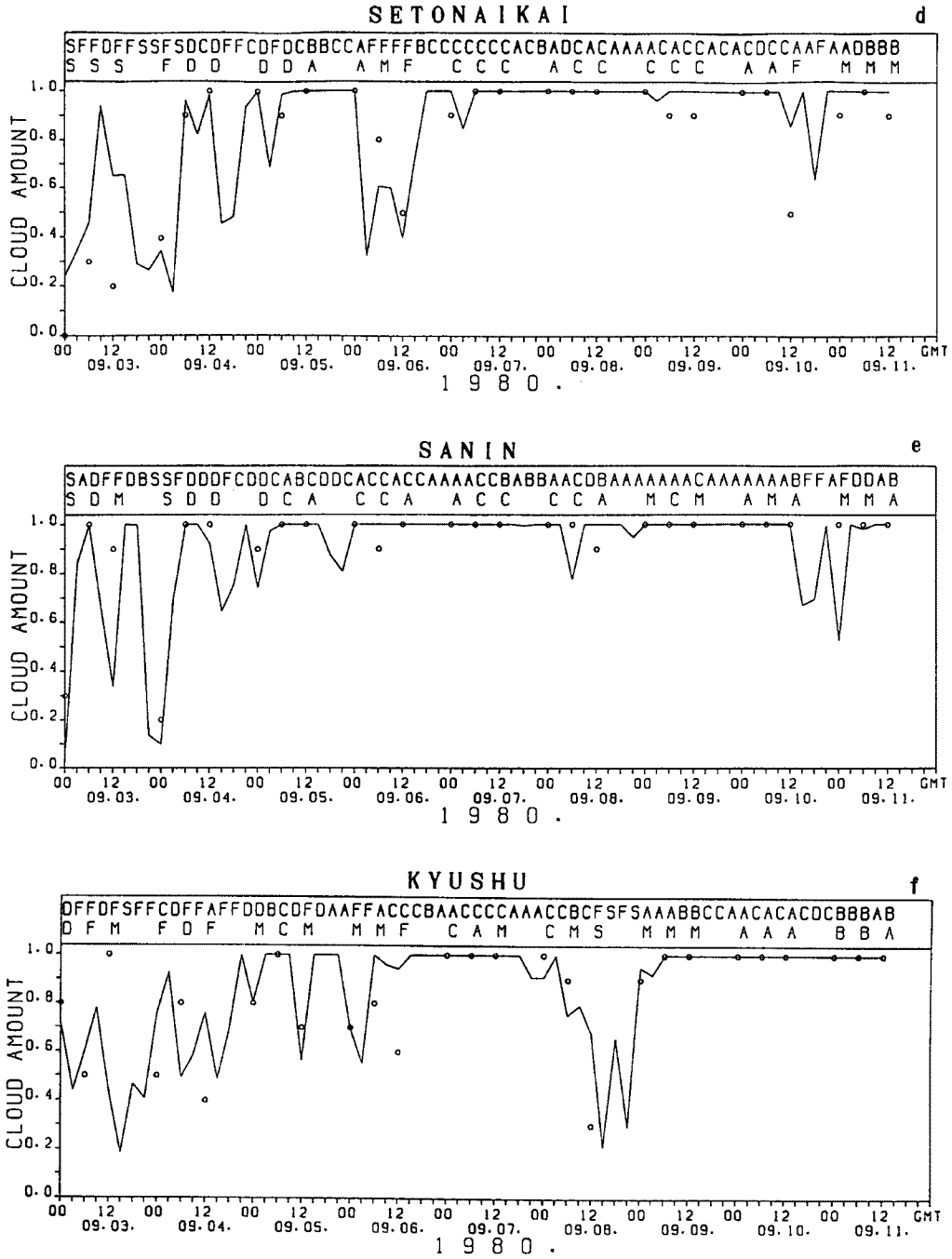


Fig. 2 (continued)

しかないのに対し、衛星の赤外観測が8回あり、さらに1987年からは1時間に1回の観測が行なわれているので、衛星の観測データからより多くの雲に関する情報が得られると期待できる。

雲量推定及び雲形判別の精度をさらに高めるためには、絹雲による影響の除去及び積雲と中層雲の判別を重点として調べなければならないが一番有望な方法は一時間間隔の衛星観測データを使って雲の時間変化に関する情報を導入することではないかと思う。

参 考 文 献

- 1) 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. 349-359.
- 2) 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.
- 3) Koffler, R., A.G. Decotiis and K. Rao: A Procedure for Estimating Cloud Amount and Height from Satellite Infrared Radiation Data, Mon. Wea. Rev., Vol. 101, 1973, pp. 240-243.
- 4) Liljas, E.: Automated Technique for the Analysis of Satellite Cloud Imagery, In "Nowcasting", Academic Press, 1982, pp. 167-176.
- 5) Desbois, M., G. Seze and G. Szejwach: Automatic Classification of Clouds on METEOSAT Imagery: Application to High-Level Clouds, J. Appl. Met., Vol. 21, 1982, pp. 401-412.
- 6) Seze, G. and M. Desbois: Cloud Cover Analysis from Satellite Imagery Using Spatial and Temporal Characteristics of the Data, J. Climate Appl. Met., Vol. 26, 1987, pp. 287-303.
- 7) Harris, R. and C. Barrett: Toward an Objective Nephanalysis, J. Appl. Met., Vol. 17, 1978, pp. 1258-1266.
- 8) Parikh, J.: A Comparative Study of Cloud Classification Techniques, Remote Sensing of Environment, Vol. 6, 1977, pp. 67-81.
- 9) Parikh, J.: Cloud Classification from Visible and Infrared SMS-1 Data, Remote Sensing of Environment, Vol. 7, 1978, pp. 85-92.
- 10) Parikh, J. and J.T. Ball: Analysis of Cloud Type and Cloud Amount during GATE from SMS Infrared Data, Remote Sensing of Environment, Vol. 9, 1980, pp. 225-245.
- 11) 奥野忠一・芳賀敏郎・矢島敬二・奥野千恵子・橋本茂司・古河陽子：多変量解析法，日科技連，1986，pp. 77-114.
- 12) 杉山高一：多変量データ解析入門，朝倉書店，1988，pp. 57-103.