

Cb クラスタで構成されたメソスケール擾乱 (事例解析)

On the Mesoscale Cloud System Organized by Active Convective Cloud Clusters - A Case Study -

小 淵 孝 志 *

Takashi Kobuchi

Abstract

Many meteorologist have discussed physical process and mechanism of mesoscale disturbances for several decades. But it is difficult to know all about them. Therefore it is important to watch present phenomena on weather forecasting procedure.

In this article, a mesoscale disturbance is traced using Geostationary Meteorological Satellite (GMS) images. The subject is active convective cloud cluster that go around high pressure area on the Pacific Ocean. From Satellite image data, Radar data, Rawinsonde data and others, the structure of active cloud cluster and features of precipitation are investigated. Outputs of Japan Spectrum Model (JSM) are compared with these data. It is recognized that analysis of GMS images is useful for diagnosis and forecasting of mesoscale disturbances on the sea.

I はじめに

メソスケールの気象現象は、Cb クラスタを伴い顕著な現象に発展することがあり、Weisman・Klemp (1986) に示されるようにそのメカニズムや予測法について多くの研究が進められている。気象庁でもメソ天気系概念モデルの作成が進められていることが予報部予報課 (1992, 1993, 1994) から報告されている。当センターでは雲画像資料を用いたメソスケール現象の解析例として桜田 (1990)、伊藤 (1992) 等がある。しかし、二宮 (1991) でも述べられているように、メソスケール現象の構造は解明されていない部分が多い。したがってメソスケール現象の予測も難しく、瀬上 (1993) はメソ β スケール擾乱に対する数値予報につ

いては、分解能の問題、物理過程の問題、初期値の問題などの技術的課題も多く残っていることを指摘している。メソスケール現象に関するこれらの知識、技術レベルを考えると現在の予報業務においては現象の特徴に適応した観測手段による実況監視が重要な作業となると考えられる。

ここでは気象衛星資料のメソスケール擾乱に対する実況監視手段としての有効性を事例検討した。擾乱は 1992 年 8 月 23 日、紀伊半島の南海上で発生した後発達しながら北上し、夜にはいり上陸し紀伊半島から東海地方に短時間強雨をもたらせた。このメソスケール擾乱は Cb クラスタで構成されており、個々の Cb クラスタはより小さなセルから構成されていた。この Cb セル自体は盛衰を繰り返しながらも擾乱の位相は

* 気象衛星センター 解析課
(1994年7月15日受領, 9月6日受理)

順調に北上していることが雲画像から確認できた。天気図や他の観測手段では捉えにくいメソスケール擾乱を雲画像により明確に追跡できた事例である。

II 資料と調査方法

使用した資料は1992年8月22日12UTCから23日18UTCまでの雲画像(可視, 赤外), 雲画像情報図, 1992年8月23日00UTC, 12UTCの地上天気図, 高層天気図(850hPa面), 1992年8月23日00UTCから18UTCまでのレーダー図, アメダスデータである。

解析方法は雲画像を用いた経験的雲型判別, 各種天気図による総観場の把握, 雲画像情報図を利用した移動速度の把握が中心である。具体的には現象のピーク時の雲画像により画像上で擾乱を特定, 擾乱の発生期まで時間的に戻りつつ現象を追跡し, 現象のライフサイクルを検討した。また, レーダー, アメダスにより擾乱上陸時の降水強度や降水域などの状況を把握し雲画像と比較した。

III 総観場と雲画像

II項に示した解析方法にもとづき時間的に整理し発生期から上陸期の特徴を示す。

(1) 発生期

a. 天気図解析

23日00UTCの地上天気図(Fig. 1)では日本のはるか東海上に太平洋高気圧があり, そこから日本の近くまでリッジラインがのびており, 日本付近は太平洋高気圧の縁辺部にあたる。日本の南海上には擾乱を示すものは解析されていない。

850hPa面天気図(Fig. 2)では太平洋高気圧からのびるリッジラインは北緯30度線より南であり, この時点では太平洋高気圧縁辺部の南西流は関東から紀伊半島の太平洋岸には入りにくいと判断できる。地上天気図同様, この天気図上からも擾乱が存在するとは見られない。

b. 雲画像解析

本事例の紀伊半島東部や東海付近に大雨をもたらせたCbクラスターの種となる雲域は, 22日12UTC(Photo1)では日本の南海上, 北緯30度, 東経136度付近にある印Aで示した灰色に見えるCu主体の下層雲域である。その雲域が太平洋高気圧の縁辺流により北上したものである。その下層雲域は22日21UTC(Photo2)では印Bまで北上しており, その雲域の南西側では対流活動が活発化し積乱雲が発生した。この地域は太平洋高気圧南西側の縁辺部で南東風の先端部にあたる。

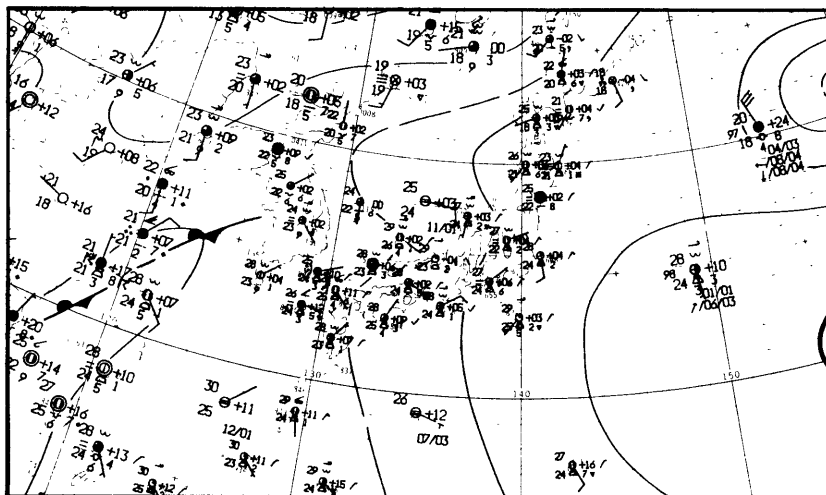


Fig.1 Surface weather chart at 00UTC Aug.23 1992.

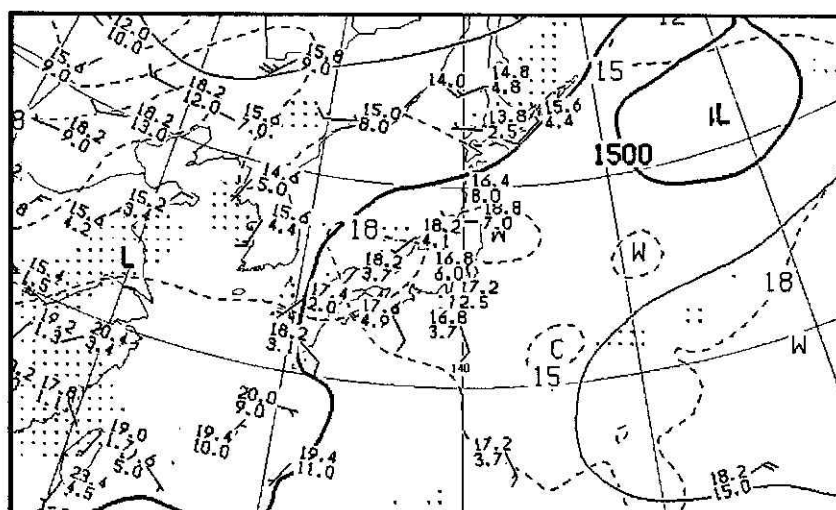


Fig.2 850hPa chart at 00UTC Aug.23 1992.
 Solid line indicates height, labeled in meters.
 Dashed line indicates temperature, labeled in °C.
 Hatch indicates wet area ($T-T_d < 3^{\circ}\text{C}$).

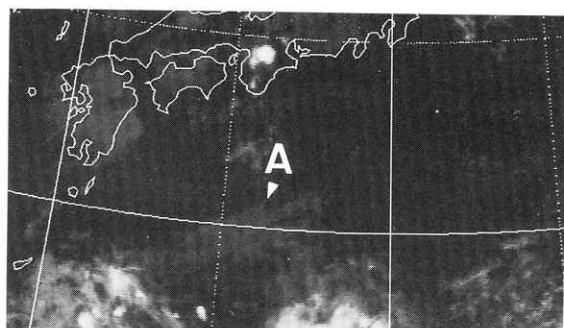


Photo1 12UTC Aug.22 1992.

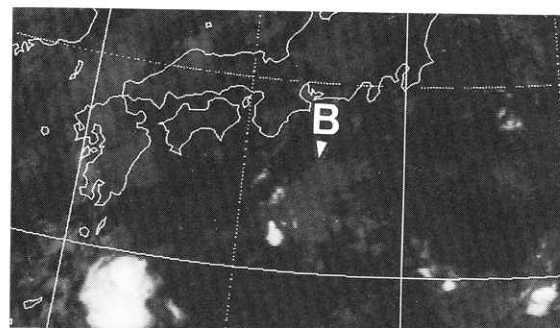


Photo2 21UTC Aug.22 1992.

(2) 発達期

a. 天気図解析

23日12UTC (Fig. 3) の地上天気図では日本のはるか東海上に太平洋高気圧があり、そこから日本付近へリッジラインがのびている。地上天気図からは23日00UTC の状況とあまり変わらないようにみえる。なお、紀伊半島沖には本事例のCb クラスタに対応した擾乱は表現されていない。

850hPa 面天気図 (Fig. 4) では関東から紀伊半島の太平洋岸では23日00UTC で南南東の風10kt 以下であったものが南から南南西の風15kt 前後に変化しており、また、相当温位も潮岬で334°Kから345°Kと高くなっており太平洋高気圧の縁辺部からの湿潤暖気の移流が23日00UTC より強くなっていることを示している。

しかしながら、850hPa 面天気図では地上天気図と同じようにこの擾乱の存在を確認することはできない。

b. 雲画像解析

Photo3から Photo11に23日00UTC から08UTC の可視画像を示す。23日00UTC においては印AにCu 主体の下層雲域があり、その雲域の南西側では対流活動が活発で印Bで示した粒状に見えるCb が発生している。この時点では雲域にCb クラスタとしてのまともにはまだ見られない。02UTC では00UTC で粒状であったCb が北上しながら発達し、いくつかのCb セルとなった。そこから南西方向にCb がライン状になっている。北側の下層雲は東からCb の方へ帯状に巻き込まれる形で伸びており、23日03UTC では緩い循環を示唆するようなコマ状の雲域に発達してきた。

23日04UTCにはCbラインの循環中心付近には新たにCbが発生してきた。23日05UTCでは個々のCbセルの活動が活発化したためライン状の形態は崩れてきた。23日06UTCでそれぞれのCbが発達しながら1つにまとまりながらCbクラスターとなってきている。23日07UTCでは200km前後のスケールのCbクラスターにまで発達し対流活動のピークとなっている。23

日08UTCになるとCbクラスターの雲頂部分は前時間と比べるとやや平坦に見え、対流活動がやや弱まってきた。いくつかのCbが発生した後、個々のCbセルは1時間前後のサイクルで盛衰を繰り返しながらも、数時間のうちにCbクラスターにまで発達し、その後やや対流活動を弱めてきているが、擾乱の位相としては順調に北上していることが雲画像から追跡できる。

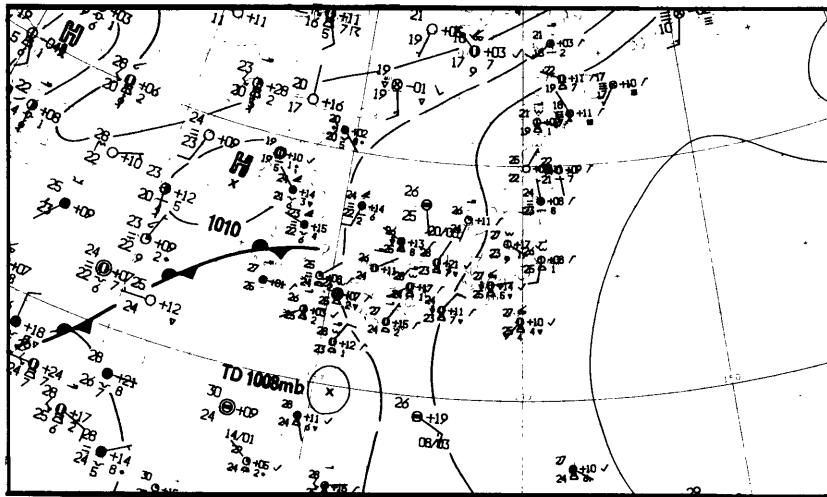


Fig.3 Surface weather chart at 12UTC Aug.23 1992.

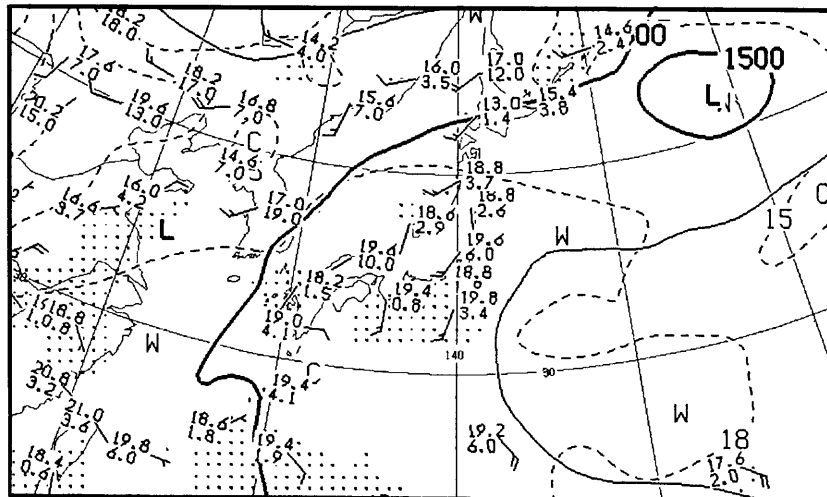


Fig.4 850hPa chart at 12UTC Aug.23 1992. Same as Fig.2.

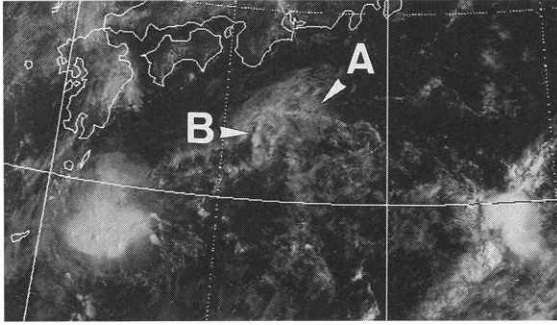


Photo3 00UTC Aug.23 1992.

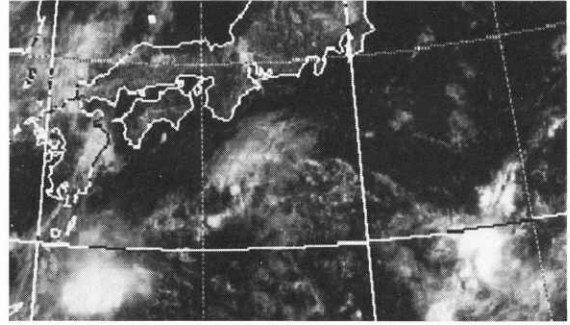


Photo4 01UTC Aug.23 1992.

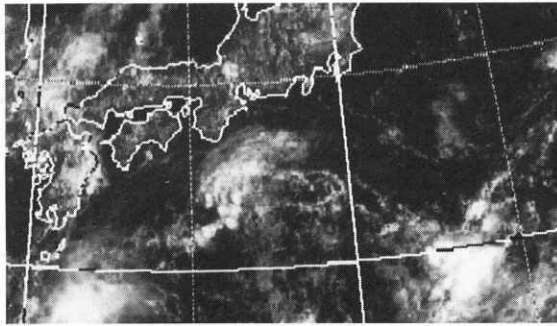


Photo5 02UTC Aug.23 1992.

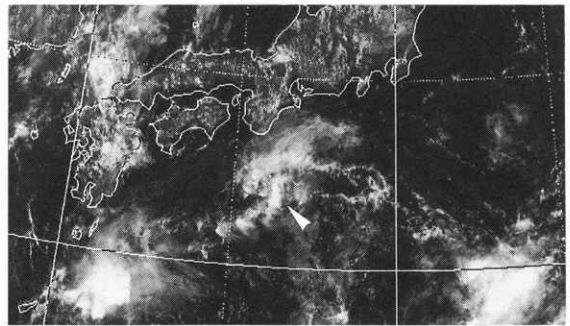


Photo6 03UTC Aug.23 1992.

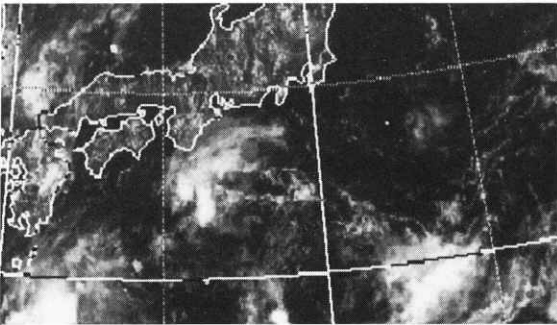


Photo7 04UTC Aug.23 1992.

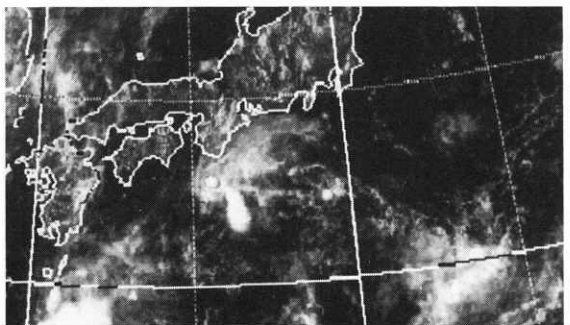


Photo8 05UTC Aug.23 1992.

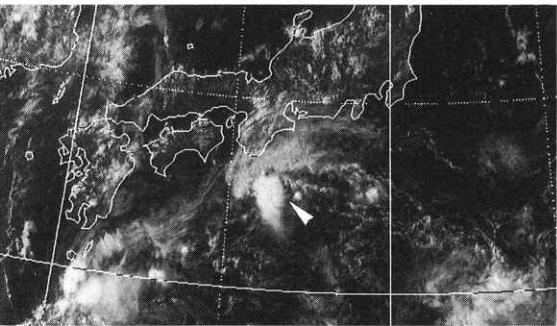


Photo9 06UTC Aug.23 1992.

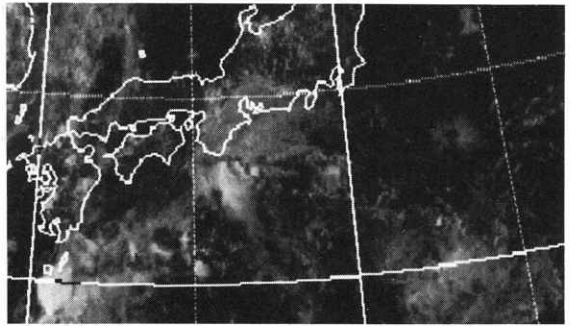


Photo10 07UTC Aug.23 1992.

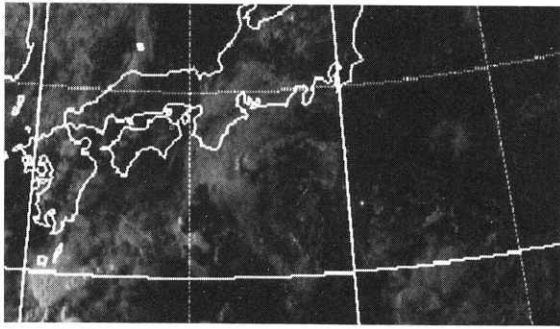


Photo11 08UTC Aug.23 1992.

(3)上陸期

a. 雲画像解析

Photo12から Photo18に23日09UTC から15UTC の赤外画像を示す。23日09UTC では Cb クラスタの規模が非常に小さくなっており、Cb クラスタ全体としては衰弱している。しかし、Cb クラスタの中心には輝度の非常に高いコアの部分があり、対流活動の核になる部分は活動が活発である。10UTC には Cb クラスタが再び活発化し規模を拡大してきた。また、Cb クラスタ本体の北東側に新たに Cb セルが発生してきた。11UTC には10UTC で新たに発生した Cb セルが急発達し、この新しい Cb セルの方が輝度が上がってきている。12UTC では Cb クラスタ本体と10UTC で新たにできた Cb セルとが統合し、大きな Cb クラスタに発達し、その雲域の北側が志摩半島にか

かってきた。13UTC では雲域はやや拡大しているが、北へはあまり移動しておらず、志摩半島の東西方向へのびる山岳に下層の暖湿流が一時的にせき止められているように見える。また、雲域の南東側には新たな Cb セルが発生しており、依然として暖湿流が強いことがわかる。14UTC には Cb クラスタは規模を拡大しながら志摩半島を越え伊勢湾へと進入してきた。アメダスではこの時刻に志摩半島の鳥羽で1時間51mmの雨量を観測しており、暖湿流が志摩半島の東西にのびる山岳の地形効果により強制上昇され、その風下側にある鳥羽で強雨になったようである。15UTC では Cb クラスタはさらに規模を拡大しながら北上を続け志摩半島周辺や静岡県西部を覆っており、この時刻には南知多のアメダスで1時間33mmの雨量を観測している。

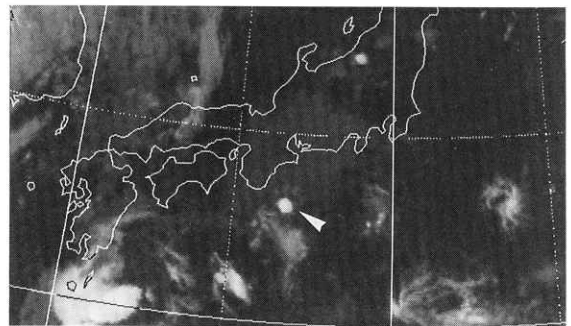


Photo12 09UTC Aug.23 1992.

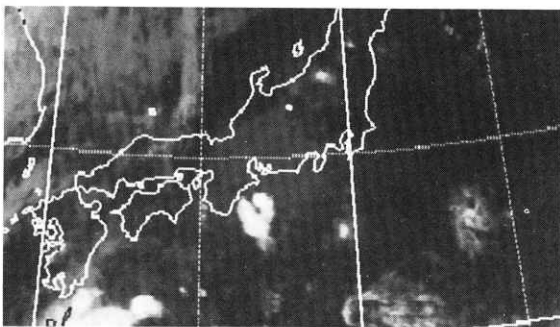


Photo13 10UTC Aug.23 1992.

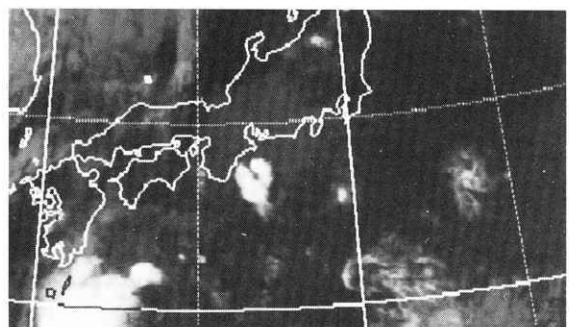


Photo14 11UTC Aug.23 1992.

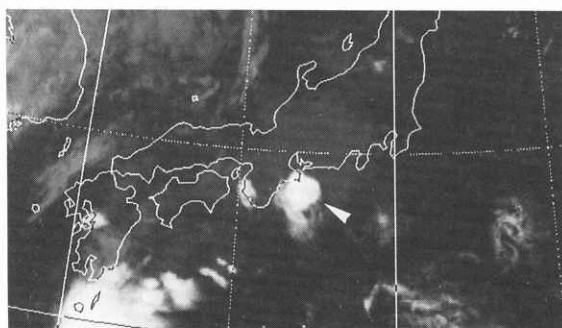


Photo15 12UTC Aug.23 1992.

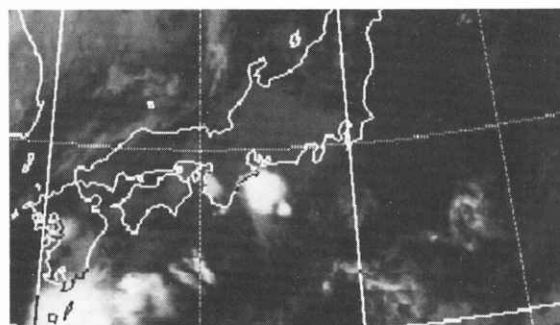


Photo16 13UTC Aug.23 1992.

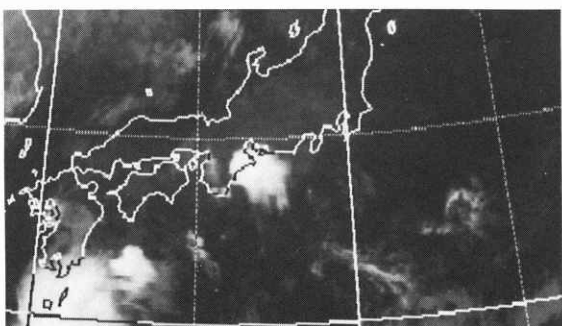


Photo17 14UTC Aug.23 1992.

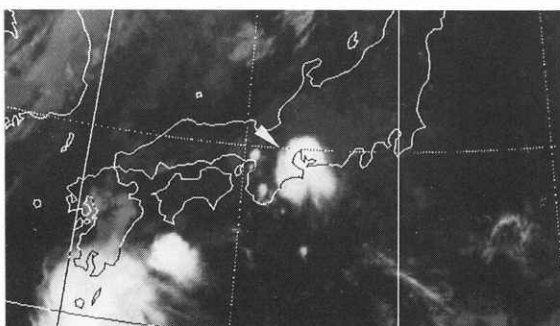


Photo18 15UTC Aug.23 1992.

IV 比較と考察

(1) 風ベクトル解析と擾乱の発生

可視画像の 3 枚ループを使って雲の移動から23日00

UTC頃の下層の風ベクトル (Fig. 5) を算出した。それによると、潮岬沖の下層雲の風ベクトルは東北東10 kt 程度であり、潮岬の高層実況では850hPa では南東の風10kt, 980hPa 付近で東の風12kt であり、風ベクトル

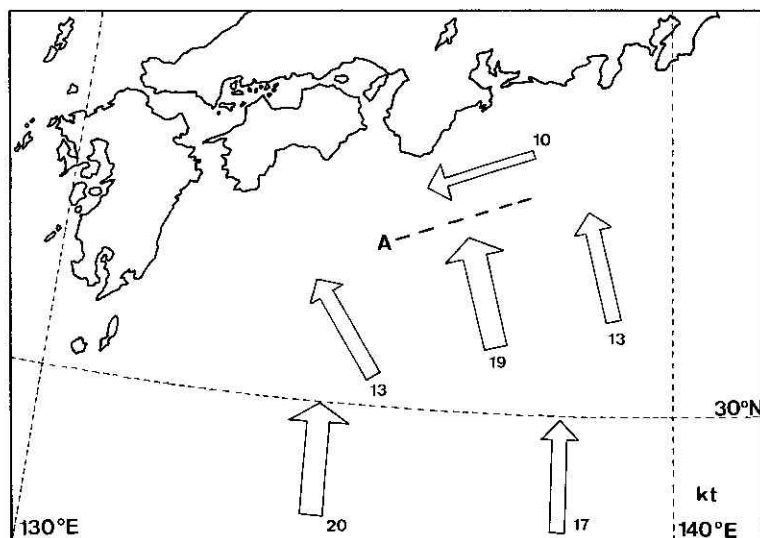


Fig.5 Wind Vector chart at 00UTC Aug.23 1992. Arrow indicates wind (labeled in knots). Dashed line indicates wind shear.

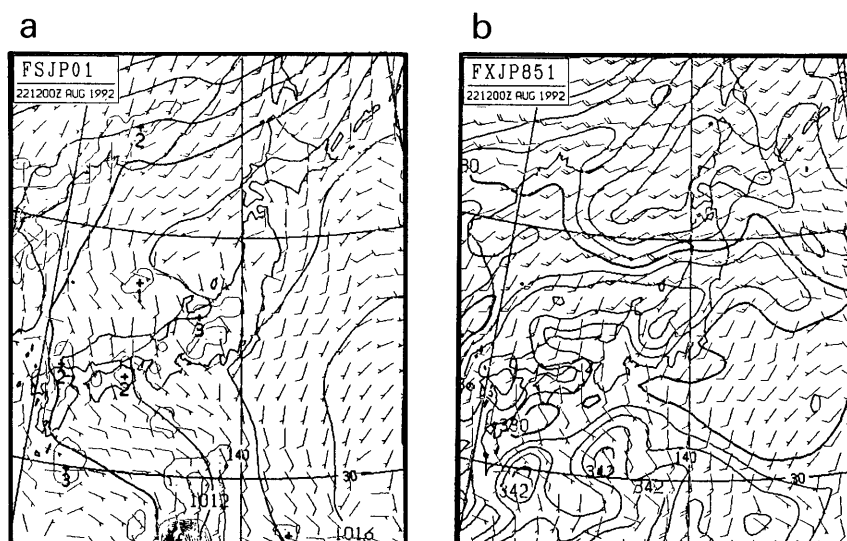


Fig.6 12 hours forecast chart by JSM.
initial 12UTC Aug.22 1992.

- (a) Surface forecast map showing pressure (solid line, labeled in hPa), and full barbs and half barbs indicate 10 kts and 5 kts respectively, and hatch indicates precipitation area.
- (b) 850 hPa forecast map showing EPT (solid lines, labeled in °K), and wind is represented same as (a).

ルは980hPa 付近の流れを表していると考えられる。紀伊半島から東海地方の沿岸では東北東の風10kt 前後である。一方、Cb クラスターの南側付近には南南東の風20kt 前後の風が吹いており南からかなりの暖湿気が流入している。太平洋岸に吹く東風と太平洋高気圧の縁辺流による南風による水平シヤ- (破線A) があり暖湿気の収束帯になっており、その南縁でCb クラスターが発生しているようだ。また、JSM (Fig. 6) の850面予想でも水平シヤ-付近は相当温位の集中帯となっており、暖湿気の移流による下層の傾圧帯を作っている。この傾圧帯付近で今事例の擾乱が発生したものと思われる。

(2) T_{BB} 値と強雨域

23日01UTC から15UTC までのTBB 図 (Figs. 7 ~21) を見ると、秋山・二宮 (1991) が述べているような多重構造をこのCb クラスターも有しているようで、Cb クラスターはいくつかのCb セルから構成されており、それらのCb セルが数時間前後の寿命で盛衰を繰り返していることが分かる。また、その中にはT

T_{BB} 値 -60°C 以下のコア部があり発達段階においては発生したり消滅したりしている。

また、23日14UTC の T_{BB} ・レーダー合成図 (Fig. 22) を見ると T_{BB} 値が -50°C 以下の領域が伊勢湾周辺にかかっている。レーダーの反射強度の強い部分は知多半島付近にあり、 T_{BB} 低温域の北側に対流活動の活発な部分があることが分かる。500hPa より上層の風は北よりの風が吹いておりCb クラスターから南東側へアンビルCi が流れ出ているようである。桜田 (1992) の調査で T_{BB} 値 -50°C 以下の低温核が強雨域によく対応していることが述べられているが、この事例においてもそのことがほぼあてはまるようである。特に T_{BB} 値 -60°C 以下の領域は強雨域によく対応しておりCb セルの中のコアに対応している。この事例のCb クラスターでは強雨域の追跡に相対するものとして T_{BB} 値 -60°C 以下の領域を追跡することが有効な実況監視となるようだ。このような見方で海上から陸上までこの領域を追跡すると Fig. 23 のようになる。

なお、 T_{BB} 低温域と強雨域はこの例のように一致しないこともあり、対流雲の立体構造についてさらに検

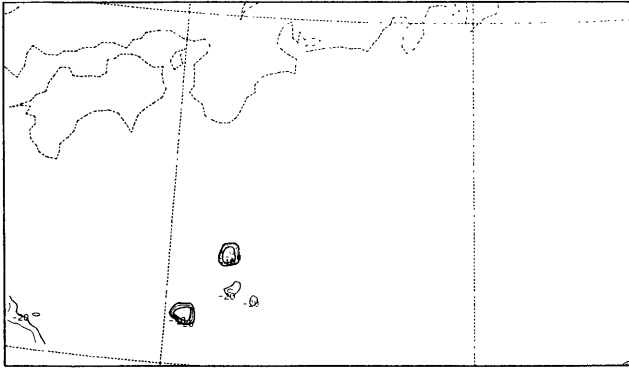


Fig.7 T_{BB} chart at 01UTC Aug. 23 1992.

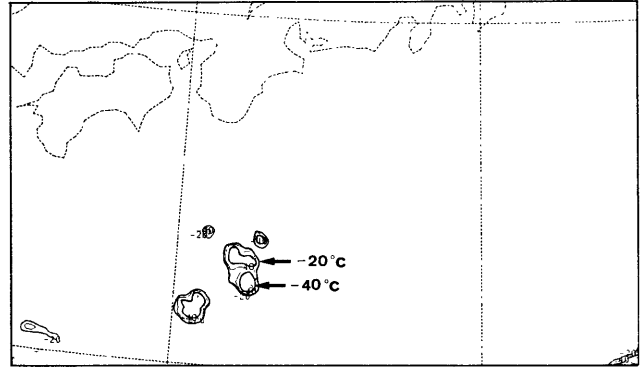


Fig.8 T_{BB} chart at 02UTC Aug. 23 1992.

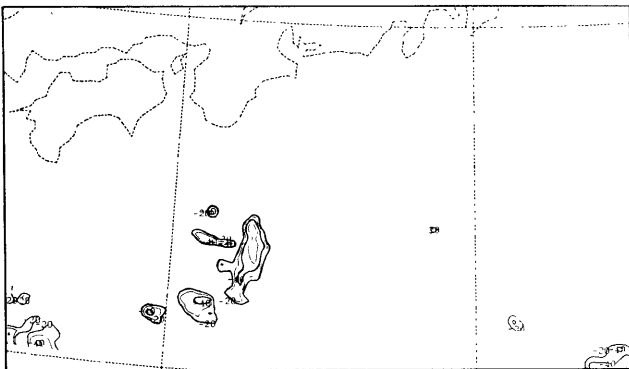


Fig.9 T_{BB} chart at 03UTC Aug. 23 1992.

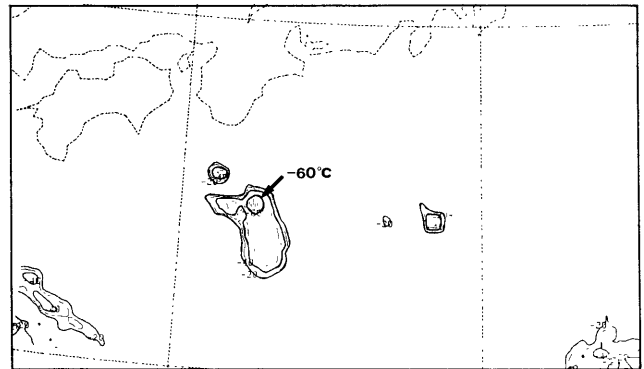


Fig.10 T_{BB} chart at 04UTC Aug. 23 1992.

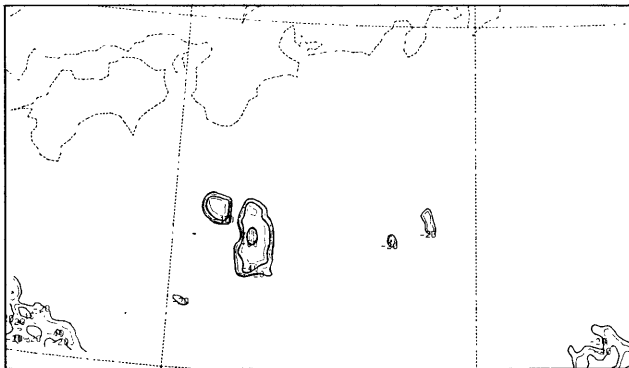


Fig.11 T_{BB} chart at 05UTC Aug. 23 1992.

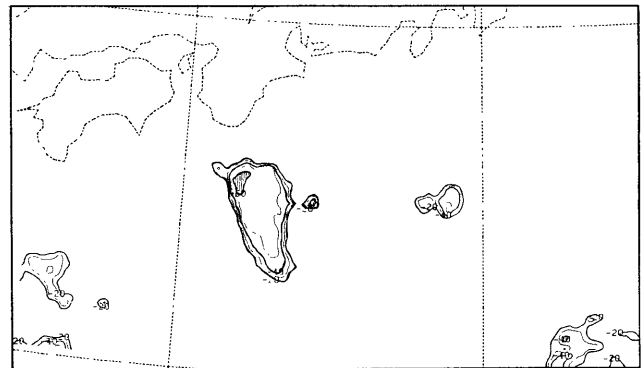


Fig.12 T_{BB} chart at 06UTC Aug. 23 1992.

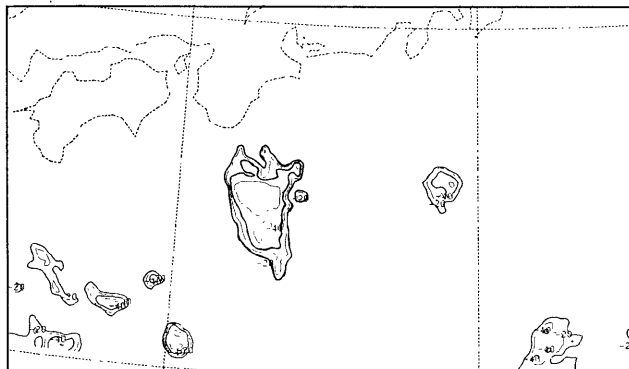


Fig.13 T_{BB} chart at 07UTC Aug. 23 1992.

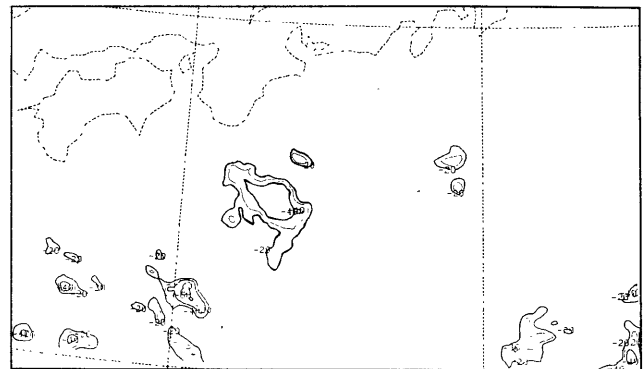


Fig.14 T_{BB} chart at 08UTC Aug. 23 1992.

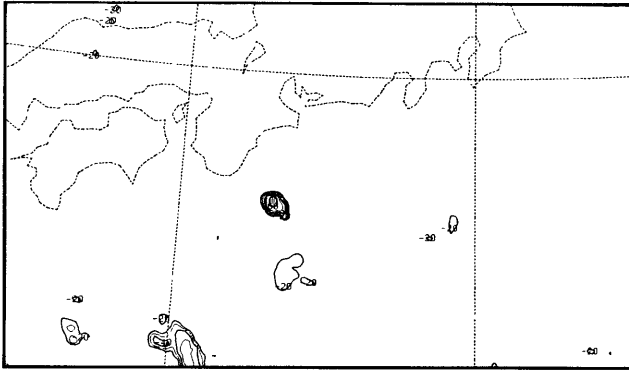


Fig.15 T_{BB} chart at 09UTC Aug.23 1992.

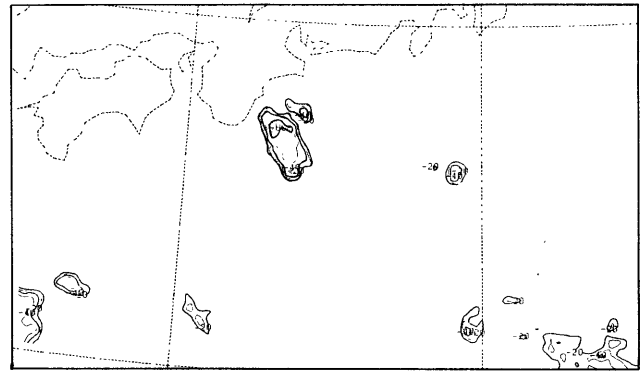


Fig.16 T_{BB} chart at 10UTC Aug.23 1992.

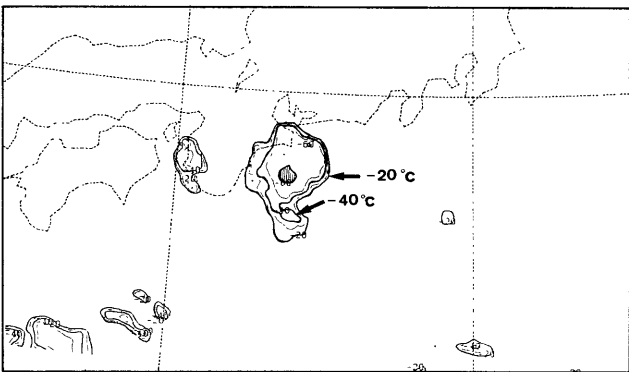


Fig.17 T_{BB} chart at 11UTC Aug.23 1992.

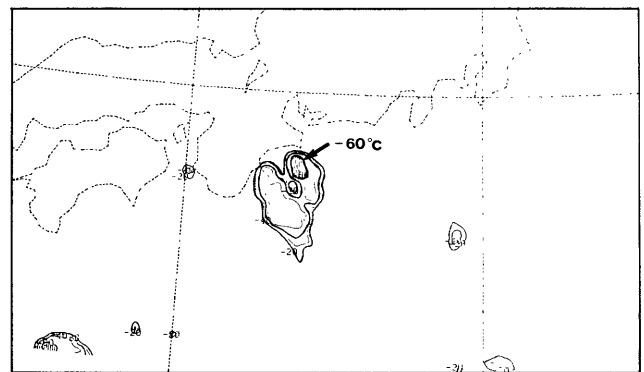


Fig.18 T_{BB} chart at 12UTC Aug.23 1992.

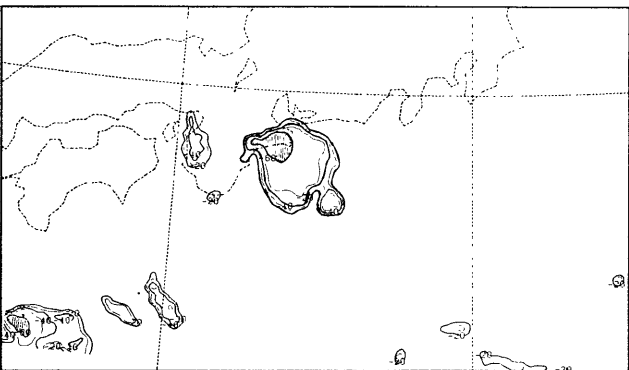


Fig.19 T_{BB} chart at 13UTC Aug.23 1992.

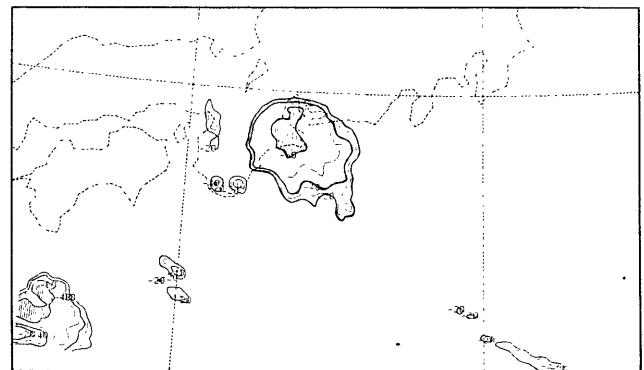


Fig.20 T_{BB} chart at 14UTC Aug.23 1992.

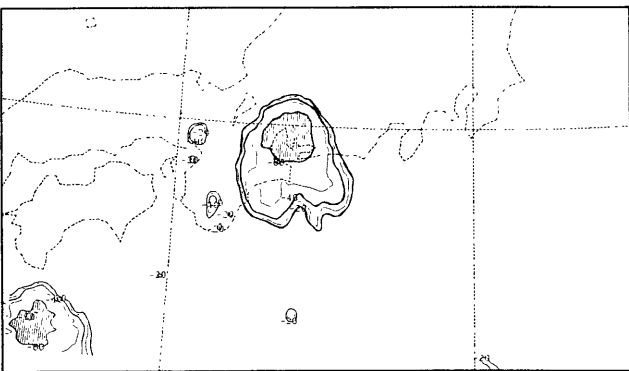


Fig.21 T_{BB} chart at 15UTC Aug.23 1992.

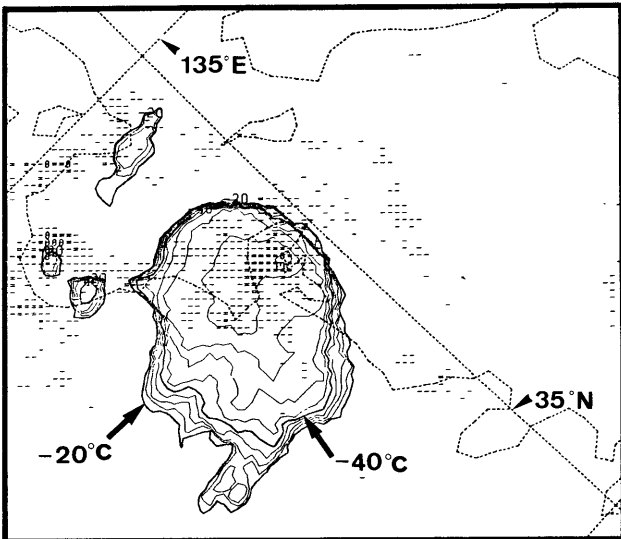


Fig. 22 T_{BB} and radar chart at 14UTC Aug. 23 1992. T_{BB} contours are drawn at a 5°C interval with solid lines for values below -20°C.

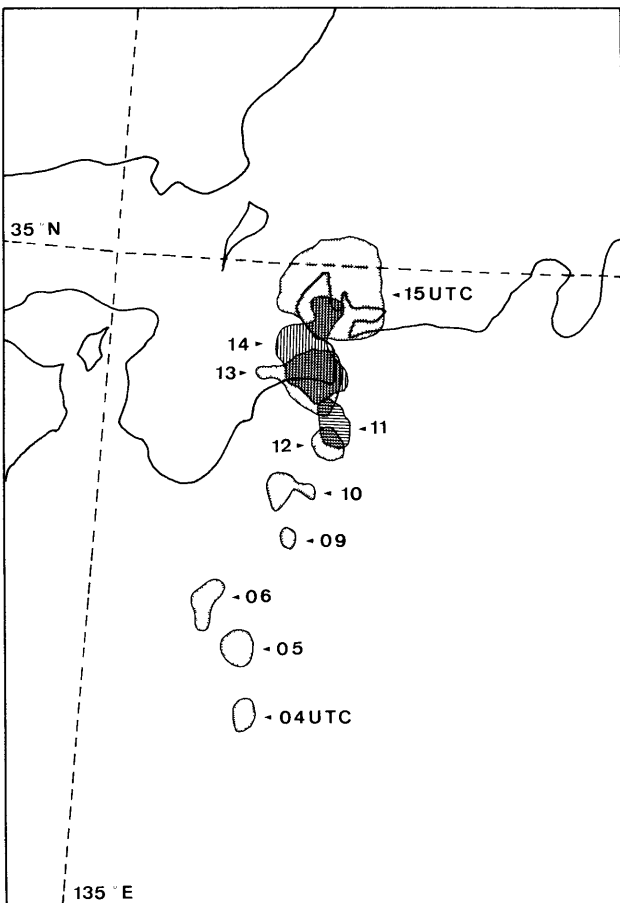


Fig. 23 T_{BB} Chase chart from 04UTC to 15UTC Aug. 23 1992. T_{BB} value $\leq -60^\circ\text{C}$ areas of Active cloud cluster are chased.

討が必要である。

(3) レーダー・アメダスデータと衛星画像との比較

可視画像では23日04UTC頃から下層雲が陸上にかかり、Cbラインは陸から150kmまで北上していることが分かる。23日06UTCのレーダーエコー合成図 (Fig. 24) では紀伊半島南岸に弱い雨域が映っている。また、23日06UTCから07UTCではCbクラスターは最盛期をむかえるが、その部分にレーダーの強雨域は映っていない。23日07UTCから08UTCでは、名古屋レーダー、室戸レーダー共に稼働していない。

23日09UTCから15UTCのレーダーエコー合成図を Fig. 25から Fig. 31に示す。赤外画像から輝度の高い部分が順調に北上し、12UTCで陸上にかかってきた。レーダーエコー合成図では23日09UTCで紀伊半島南岸に降水強度 4 mm/hr 以上の強さの雨域が表現されており、10UTC、11UTCと北上している。12UTCでは志摩半島南岸までCbクラスターが接近しており、その中には降水強度16mm/hr以上の部分も見られ、13UTCでは志摩半島に上陸している。14UTCではすでに知多半島へ強雨部分に移っている。アメダスでは23日12UTCでは紀伊半島の南東岸で 1~3 mm/hr の降水があり志摩半島東端の阿児で 8 mm/hr を観測している。13UTCで紀伊半島南東岸で10mm/hr以上の雨域がかかっており、紀伊長島では16mm/hrを観測している。14UTCでは志摩半島東岸から知多半島に強雨域があり、志摩半島の鳥羽市で51mm/hr、阿児で24mm/hrを観測している。

紀伊半島東岸では、アメダスの観測で 8 mm/hr 程度の雨域がかかった時刻の 1, 2 時間後に強雨 (51 mm/hr) が観測されており、また、レーダー合成図においては強雨が観測される 2 時間程前からしか強雨エコーを確認できず、また、レーダーでは探知範囲が 200~300km であり地形によってはそれ以下になる場合もある。また、遠距離になると下層の雨粒を捉えることが出来ない。この事例のような場合の実況監視では海上の遠距離にあるCbクラスターの上陸以前では衛星画像を主として用い、上陸後は主としてレーダー、

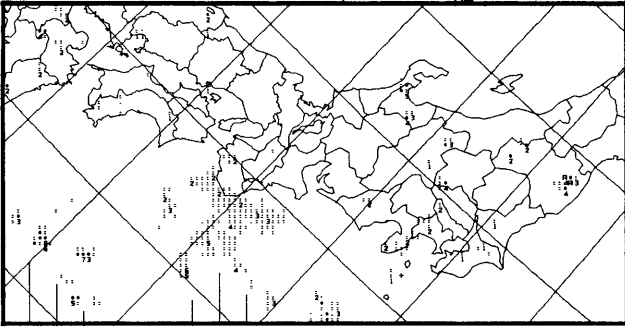


Fig.24 Radar chart
at 06UTC Aug.23 1992.

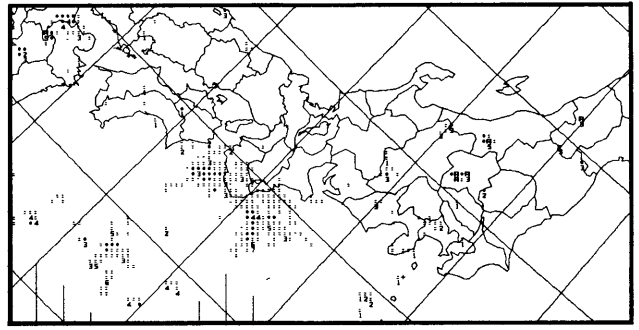


Fig.25 Radar chart
at 09UTC Aug.23 1992.

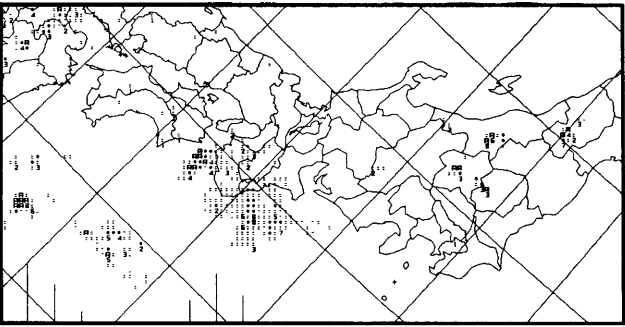


Fig.26 Radar chart
at 10UTC Aug.23 1992.

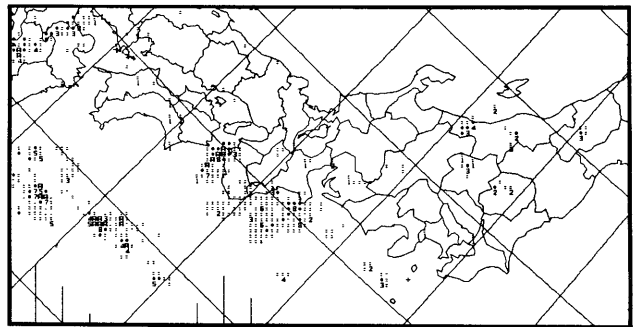


Fig.27 Radar chart
at 11UTC Aug.23 1992.

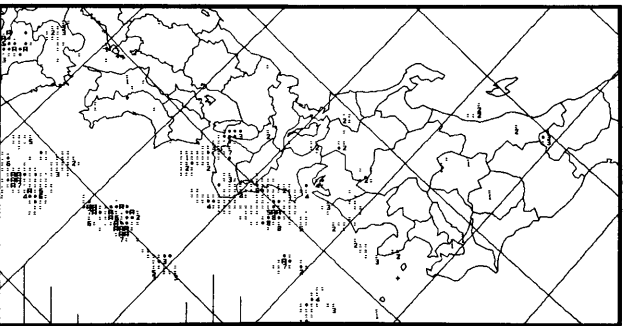


Fig.28 Radar chart
at 12UTC Aug.23 1992.

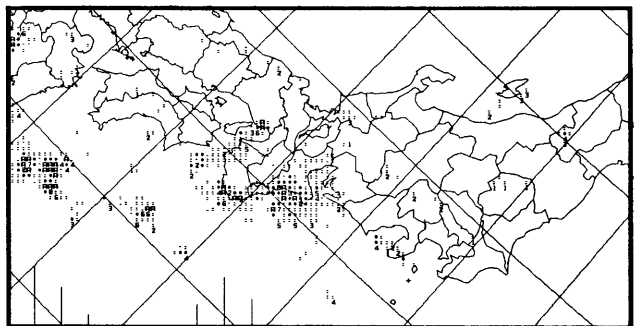


Fig.29 Radar chart
at 13UTC Aug.23 1992.

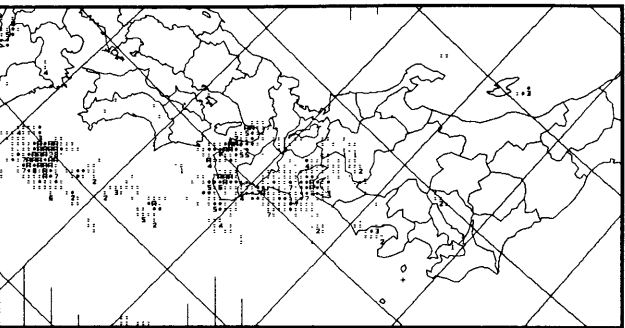


Fig.30 Radar chart
at 14UTC Aug.23 1992.

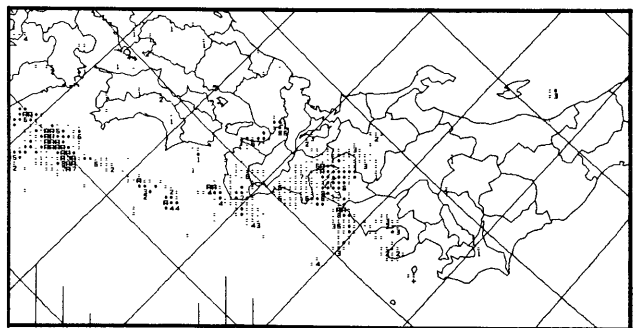


Fig.31 Radar chart
at 15UTC Aug.23 1992.

アメダスを用いることが良い方法のようである。

(4) JSM との比較

JSM (23日00UTC 初期値 T=12) (Fig. 32) で23日12UTC の現象と予想との対応をしてみる。実況値を Table1 に示す。850hPa の風は館野, 八丈島, 潮岬で南から南南西の風が15kt であるが JSM では館野, 潮岬付近が20kt, 八丈島付近が25kt とやや強めに予想している。相当温位はいずれも低めに予想が出ており特に潮岬では10°K 以上の差がある。また地上では潮岬

から九州までの太平洋岸では北東の風であるが JSM では東風を予想している。また, アメダスの23日12 UTC から18UTC までの6時間雨量分布図 (Fig. 33) を示す。降水予想では東海地方から紀伊半島にかけ降水を予想しているが, 雨量の最高値が静岡付近の8mm であり, 実況と比べ非常に弱い表現となっている。また, 東海沖に等圧線の凹みと風のシヤーを表現しているが擾乱の表現はない。以上のことから, JSM では, 今回のメソスケール擾乱は表現することが難しいようである。

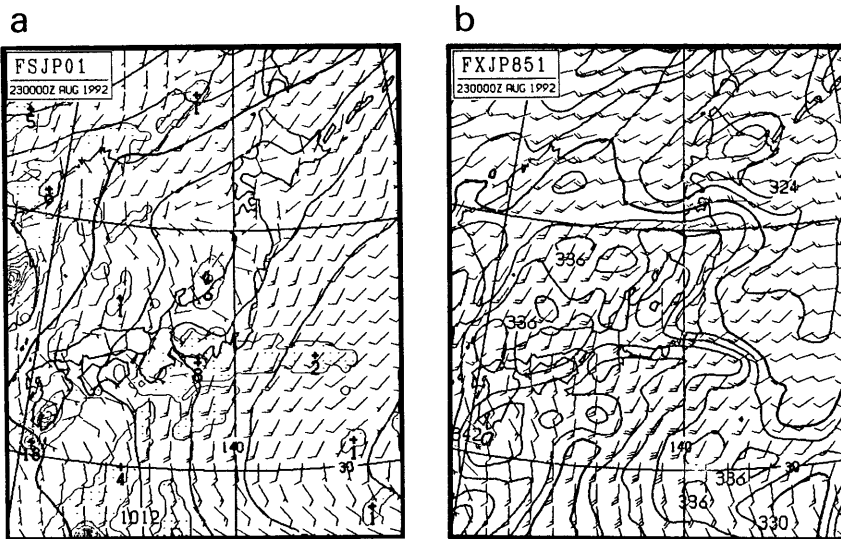


Fig.32 12 hours forecast chart by JSM. initial 00UTC Aug.23 1992. Same as Fig.6.

Table I Rawin sonde data at 850hpa 00UTC Aug 23. 1992.

	Temp(°C)	Dew point (°C)	Dir	Speed(kt)	EPT(° K)
Tateno	19.6	13.6	SSW	14	341
Hachijyo-jima	19.8	16.4	SSW	16	348
Sionomisaki	19.4	18.6	S	16	353

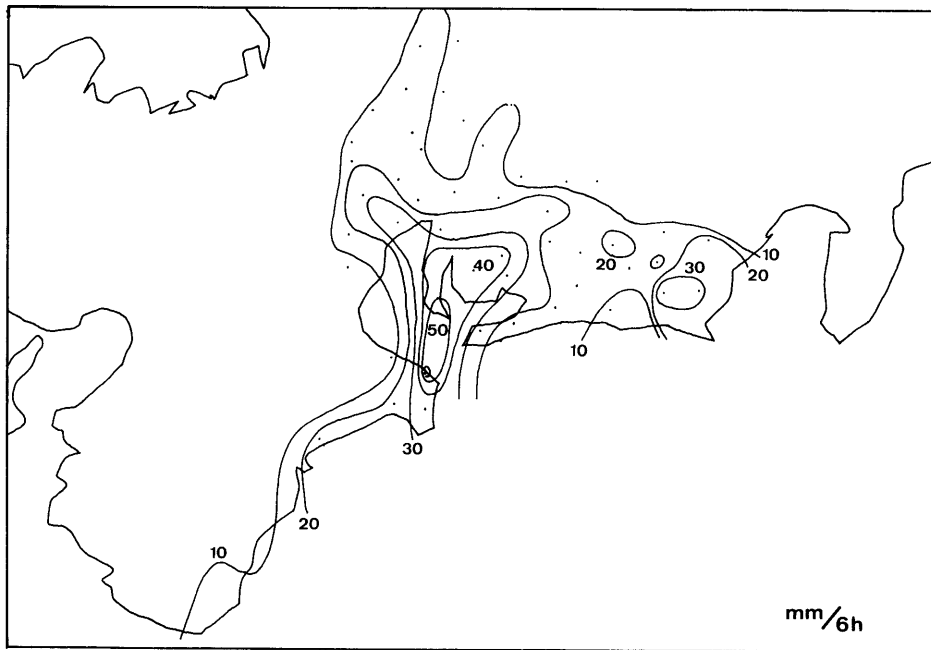


Fig.33 AMeDAS total precipitation
from 12UTC Aug.23 1992 to 18UTC.

V まとめ

今回のCbクラスターの発生場所は、紀伊半島沖から東海沖に吹く東南東の風と太平洋高気圧の縁辺部を南東流により流された暖湿気の収束域で発生していると考えられる。そのCbクラスターはメソ γ スケールのCbセルを含む多重構造をしており、Cbセルは1時間前後で盛衰を繰り返しながらもCbクラスターは北上しながら数時間ほどで最盛期に発達し紀伊半島に上陸した。

また、今事例の場合ではJSMによるメソ β スケール擾乱の表現や雨域の予測は十分とは言えない。また、実況監視については地上天気図や高層天気図にも表現されておらず、レーダーにおいては遠距離にある降雨エコーは捉えにくい。雲画像ではこのメソスケール擾乱の位相は順調に追跡でき、海上から日本に上陸する間のメソスケール擾乱の実況監視としても有効な手段となった例の1つである。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、気象衛星センター解析課の西本洋相調査官から貴重なご助言、ご指導を頂きました。心より深く感謝の念を表します。

参考文献

- 秋山・二宮, 1991: メソスケール気象, 気象研究ノート, 172, 75-209.
- 伊藤秀喜, 1992: テーパリングクラウド, 全国予報技術検討会資料, 1-20.
- 桜田正美, 1990: データとレーダーデータから見たCbクラスターのライフサイクル, 気象衛星センター技術報告, 21, 57-72.
- 桜田正美, 1992: T_{BB} によるCbクラスターの強雨域推定, 全国予報技術検討会資料, 47-50.
- 瀬上哲秀, 1993: メソスケール数値予報の現状と将来, 天気, 40, 813-816.
- 二宮光三, 1991: メソスケール気象, 気象研究ノート, 172, 11-34.
- 予報部予報課, 1992: メソ量的予報技術の確立について

て, 研究時報, 43, 323-348.
予報部予報課, 1993: メソ量的予報技術の確立について, 研究時報, 44, 301-329.
予報部予報課, 1994: メソ量的予報技術の確立について, 研究時報, 45, 109-137.

Weisman M.L. and Klemp J.B., 1986: Characteristics of isolated convective storms. chap.16, Mesoscale meteorology and forecasting, Ray P. S. Ed., American Meteorological Society, 331-358.