



お天気の見方・楽しみ方 (6)

謎に満ちた不意打ち集中豪雨—2004年6月30日静岡豪雨の場合 (その1)

小 倉 義 光*・新 野 宏*

1. 問題の発端

今回は2003年7月3～4日、梅雨前線上の小低気圧の世代交代に伴った静岡豪雨について述べた。ところが、静岡市とその周辺地域は2004年6月30日に、再び記録的な集中豪雨に襲われている。第1図は静岡市における1時間降雨量の時系列を示している。雨は30日01時半頃から降り出し、12時頃に終わっている。結局、30日の日降水量は368.0 mm となり、これまでの極値の318.0 mm を抜いて1940年の観測開始以来の極値を更新した。また、09時21分までの1時間に87.5 mm の猛烈な雨を観測し、6月としては静岡市第2位の記録となった。こうした豪雨のため、東海道新幹線の4時間以上の運休や在来線の遅れなどの交通被害があり、静岡市などでは浸水害等の被害が発生した。

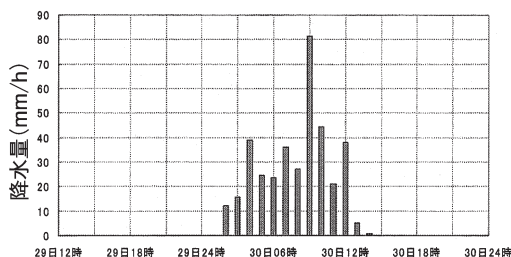
参考までに、29日の夕刊の気象情報欄に掲載された29日18時から30日12時までの期間、3時間毎の静岡市の天気予報を見ると、この時間帯には静岡は曇りと予報され、その日の真夜中過ぎから上記のような豪雨があるとは、どこにもヒントされていない。勿論、新聞に掲載されている天気予報は大まかなものであり、もっと細かい最新の予報は、時々刻々テレビやラジオなどを通じて放送されている。しかし、今回のケースについては、静岡市が属する静岡県中部南・中部北に大雨・雷・洪水・濃霧注意報が発表されたのが30日03時48分、大雨・洪水警報が発表されたのが30日05時25分だった(静岡地方気象台ホームページ)。これだけ見ると、集中豪雨をマスメディアがゲリラ的豪雨と呼ん

だ時代から、事態はあまり進展していないようにも見える。

しかし、現実には、新しい気象予測モデルの導入やコンピュータ能力の増大などにより、気象庁の降水予測の精度は着実に向上している。例えば、日本周辺のレーダー・アメダス解析雨量で3時間10 mm 以上の強度の雨を対象にして、10 km の検証格子に対する9時間予報のスレツスコアを調べてみると、月ごとの変動は大きいものの、2001年には0.1前後だったのが、2005年には0.2前後と、約2倍になっている(斉藤, 2005; Saito *et al.*, 2006)。ちなみにスレツスコアは、予報あり実況ありを「適中 (FO)」, 予報あり実況なしを「空振り (FX)」, 予報なし実況ありを「見逃し (XO)」とした場合、 $FO/(FO+FX+XO)$ で定義される。予報なし実況なしについてはカウントしない。

それでは、集中豪雨の予測はどこが難しいのか。今回はこの静岡豪雨を題材として、お話ししたい。

1時間降水量(2004年6月29日～30日)
静岡地方気象台



第1図 2004年6月29～30日、静岡市における1時間降水量の時系列 (静岡地方気象台)。

* Yoshimitsu OGURA, Hiroshi NIINO, 東京大学海洋研究所。

2. 総観規模の天気系

今回の豪雨に伴う降雨量分布が第2図に示してある。集中豪雨と呼ぶのにふさわしく、大雨の地域は静岡市を中心として極めて限定されていて、浜松市や御前崎市では殆ど雨が降らなかった。

集中豪雨を起こす総観規模の環境を見るために、第3図aに静岡豪雨が始まる約4時間前の29日21時における地上天気図を示す。樺太南部に位置する弱い低気圧の中心から、寒冷前線が日本海上を南西方向に延びている。低気圧中心は北東方向に約35 km/hの速度で進行中であり、寒冷前線はゆっくりと日本海を南下中である。一方、本州の南方洋上では台風8号が約35 km/hの速度で北上中である。台風中心の東側を起源とし、楔状の中緯度高気圧の端に沿った流れは南風として本州南岸に吹き込んでいる。第3図bが同時刻における700 hPaの高層天気図である。日本海の低気圧の上空に、樺太から日本海にかけて弱い気圧のトラフがあり、それを取り巻く低気圧性の循環は、本州上空では南西の風となっている。しかし風速は弱い。第3図cで示した300 hPaの高層天気図では、 -50°C に達する寒気を伴った短波のトラフが沿海州に沿って延びている。

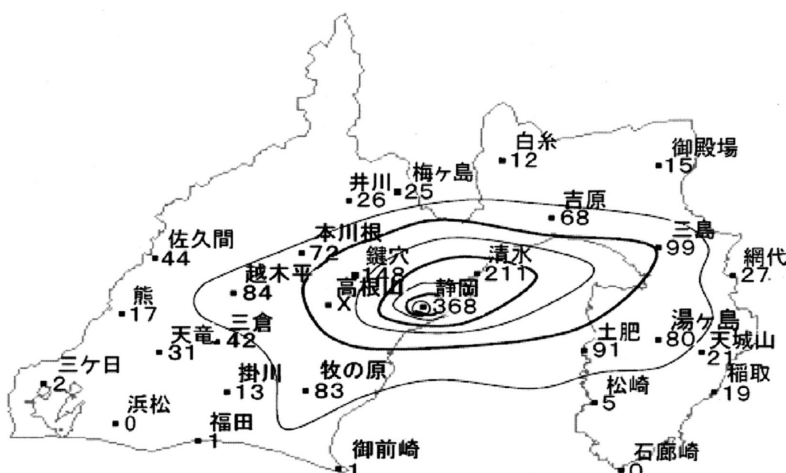
こうした天気図を見ると、静岡豪雨という現象は簡単に見える。下層では温暖で湿った空気が流れ込んでいる。上層には寒気が入り込んでいるから大気は不安定となり、対流活動が活発になっただけではないか。

しかし、台風からも寒冷前線からも遠く離れた静岡

市という特定の地域で、しかも通り雨の雷雨でなく350 mmを越す大雨が約10時間で何故降ったのかと疑問を持つと、とたんに問題は困難になる。天気図にはいろいろな情報が盛られているが、情報の量に限りがあり、天気図だけを見ても答えが出てこない。もっと他の観測データを見て、大気中で何が起きているのか知りたくなる。ここがお天気を見る楽しさである。天気図を見る楽しさだけではない。

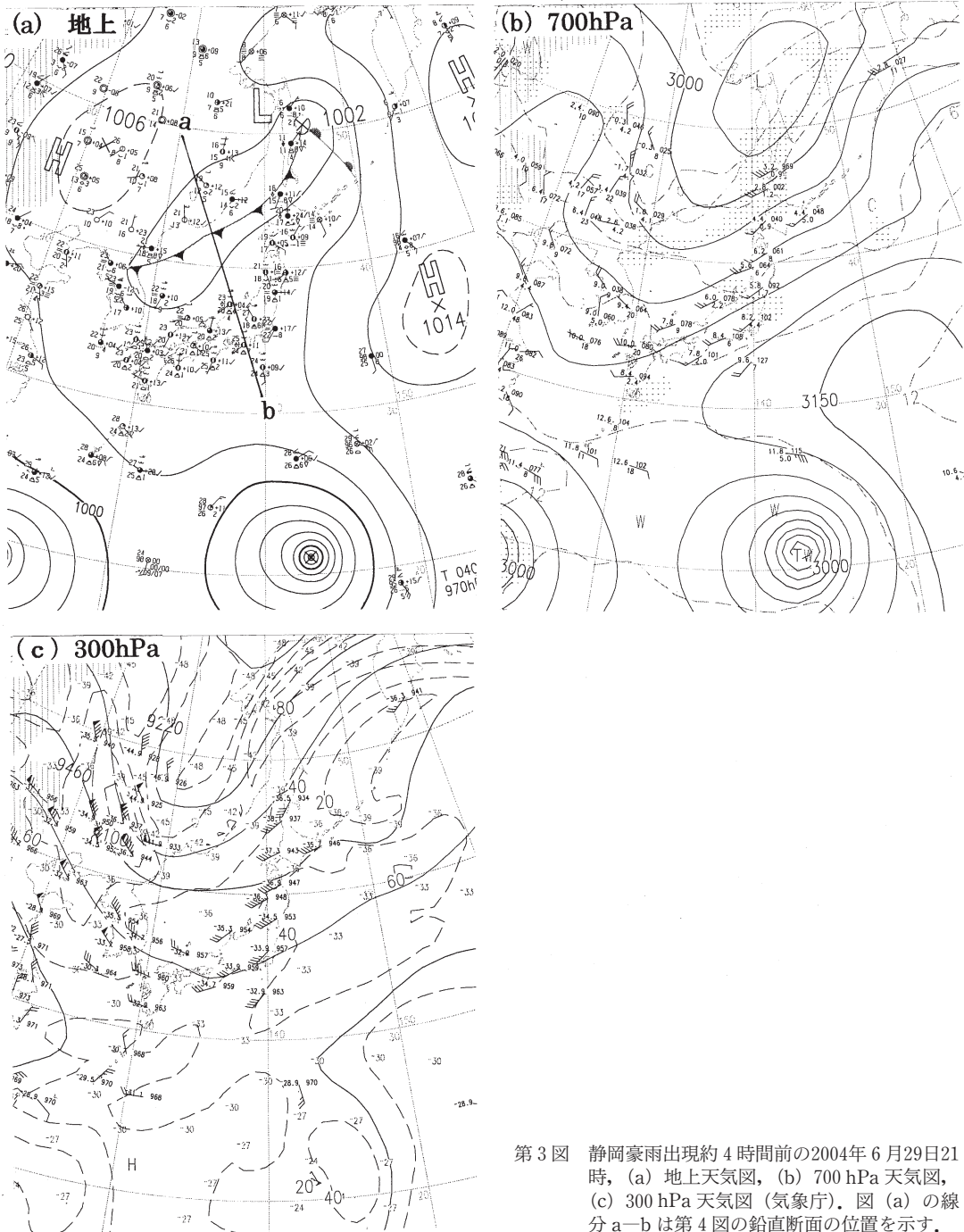
まず第一歩として、気象衛星センターが開発したSATAIDという応用ソフトを用い、第3図と同時刻において、日本海上の寒冷前線にほぼ直交して、本州中央部を通過する方向(第3図aのa-b線)の鉛直断面内で、風と相当温位の分布(第4図a)と、相対湿度の分布(第4図b)を見よう。第4図bの太い実線は輝度温度から求めた雲頂高度で、 $40\sim 43^{\circ}\text{N}$ にある高い雲が寒冷前線に伴う雲である。 36°N あたりで幅が狭く背の高い雲が第7図(後出)で示す本州中央部に存在する積乱雲群を表す。第4図から、3つの気流あるいは気団を同定できる。一番北にあるのが相当温位 $< 324\text{ K}$ の寒帯気団である。等相当温位線がほぼ鉛直に立って分布しているのは、この季節の寒冷前線によく見られる特徴である。寒冷前線面の上空、300~250 hPaあたりにジェット気流の軸がある。寒冷前線面の低緯度側(南東側)には、トラフに伴う南西風が広く卓越している。一方、図の一番南の下層には、333~350 Kという高い相当温位と70%以上の高い相対湿度をもつ熱帯海洋性気団がある。台風の周辺を回って流れ込んだ空気である。

この2つの気団に挟まれた領域の中層では、相当温位は321~330 Kと低い。この層の相当温位が低いのは、相対湿度が最低で10%という乾燥した空気があるからである。第3図cの300 hPaの天気図で分かるように、上層のトラフの軸はほぼ南北方向に走っている。また、700 hPaのトラフとの相対位置から見ても、トラフの軸の鉛直方向の傾きは小さい。すなわち、トラフとしては既に成熟期に達していて、このトラフに



第2図 2004年6月29~30日、静岡県内の降水量分布(単位はmm, 静岡地方気象台ホームページ)。

2004年6月29日21時



第3図 静岡豪雨出現約4時間前の2004年6月29日21時, (a) 地上天気図, (b) 700 hPa 天気図, (c) 300 hPa 天気図 (気象庁). 図 (a) の線分 a-b は第4図の鉛直断面の位置を示す.

伴う鉛直流は弱い. 事実, トラフ西側での鉛直 p 速度は500 hPa において最大でも10 hPa/h の程度である (図省略). こうしたことから, 乾燥した空気塊はトラ

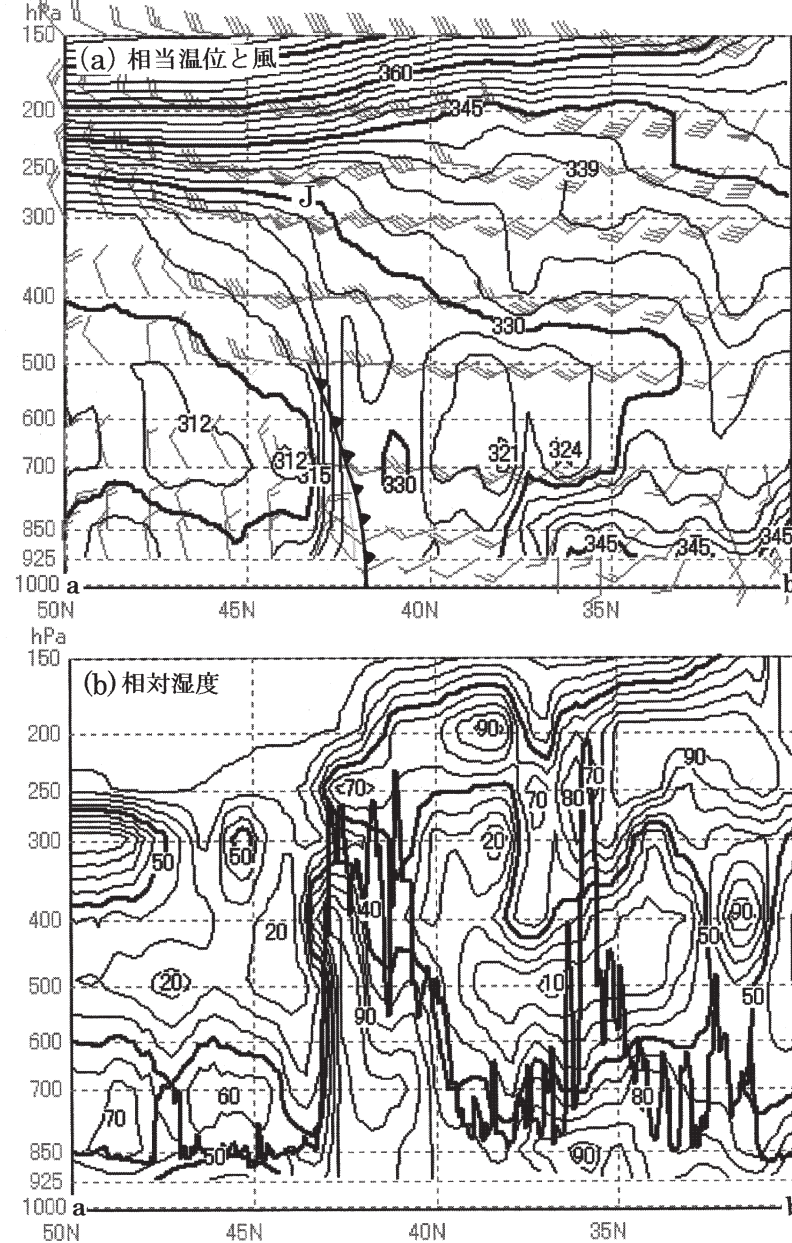
フを低気圧性に循環する風による水平移流によって, 中国東北部やシベリア上空の乾燥した空気ももたらされたものと思われる. しかし一方, 第5図に示した同

== 断面表示 ==

2004-06-29 11:37UTC

始点: 50.08N 129.96E

終点: 30.03N 139.98E



第4図 2004年6月29日21時, 第3図(a)のa-b線に沿った鉛直断面内の(a)相当温位(3K毎)と風(短羽根5ノット, 長羽根10ノット, ペナント50ノット), (b)相対湿度(10%毎)の分布. 太い実線は輝度温度から決めた雲頂高度. Jはジェット気流の軸の位置. 1ノットは約0.5 m/s.

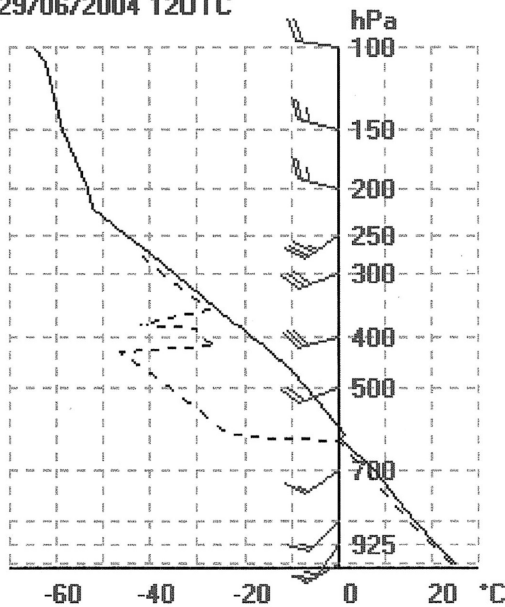
時刻の潮岬におけるゾンデ観測を見ると, 650 hPaあたりに弱いながらも逆転層があり, それより上は乾燥している. 従って, 副次的には上層のトラフに伴う乾燥貫入(dry intrusion)という沈降の影響もあると推測される.

こうして, 第4図の33~38°Nの領域は, 高相当温位・高相対湿度の層の上に, 低相当温位・低相対湿度の空気が乗っかり, 大気は対流不安定である. すなわち, 第4図に示した深い対流雲は, 湿潤な南風と, その上方に吹く乾燥した南西風との差分移流(differential advection)による対流不安定の地域に発生した雲である. この雲と寒冷前線の雲とは約500 kmも離れている.

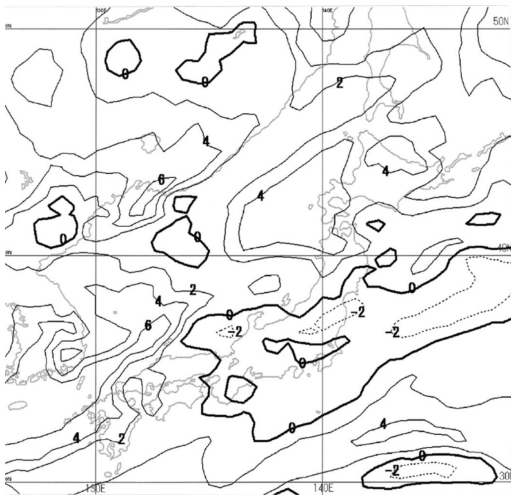
この不安定領域の水平的な広がりを見るために, 第6図には同じく29日21時におけるショワルター不安定度指数(SSI)の分布を示す. 日本列島中央部を含んで, $SSI < 0$ (最低では-2)という強い不安定領域が東方にひろがっている. この不安定領域は, 第3図の天気図を見て得た第一印象, すなわちサハリンから日本海北部にかけての上層の強い寒気による不安定ではなくて, 差分移流による対流不安定領域である. 第6図を細かく見ると, 関東南部から静岡付近は, 関東北部に比べて不安定度は少し弱い. また, 定義からすると,

47778 SHIONOMISAKI
Pos.: 33.50N135.80E Alt.: 75m

29/06/2004 12UTC



第5図 2004年6月29日21時、潮岬におけるゾンデ観測。



第6図 2004年6月29日21時、ショルワター安定度指数の分布(2°C毎)。

SSI < 0 のときだけ不安定であるはずである。しかし現実的には、関東地方の夏の熱雷について、田口ほか(2002)や河野ほか(2004)は SSI < +2 くらいでも、

結構熱雷が発生すると述べている。

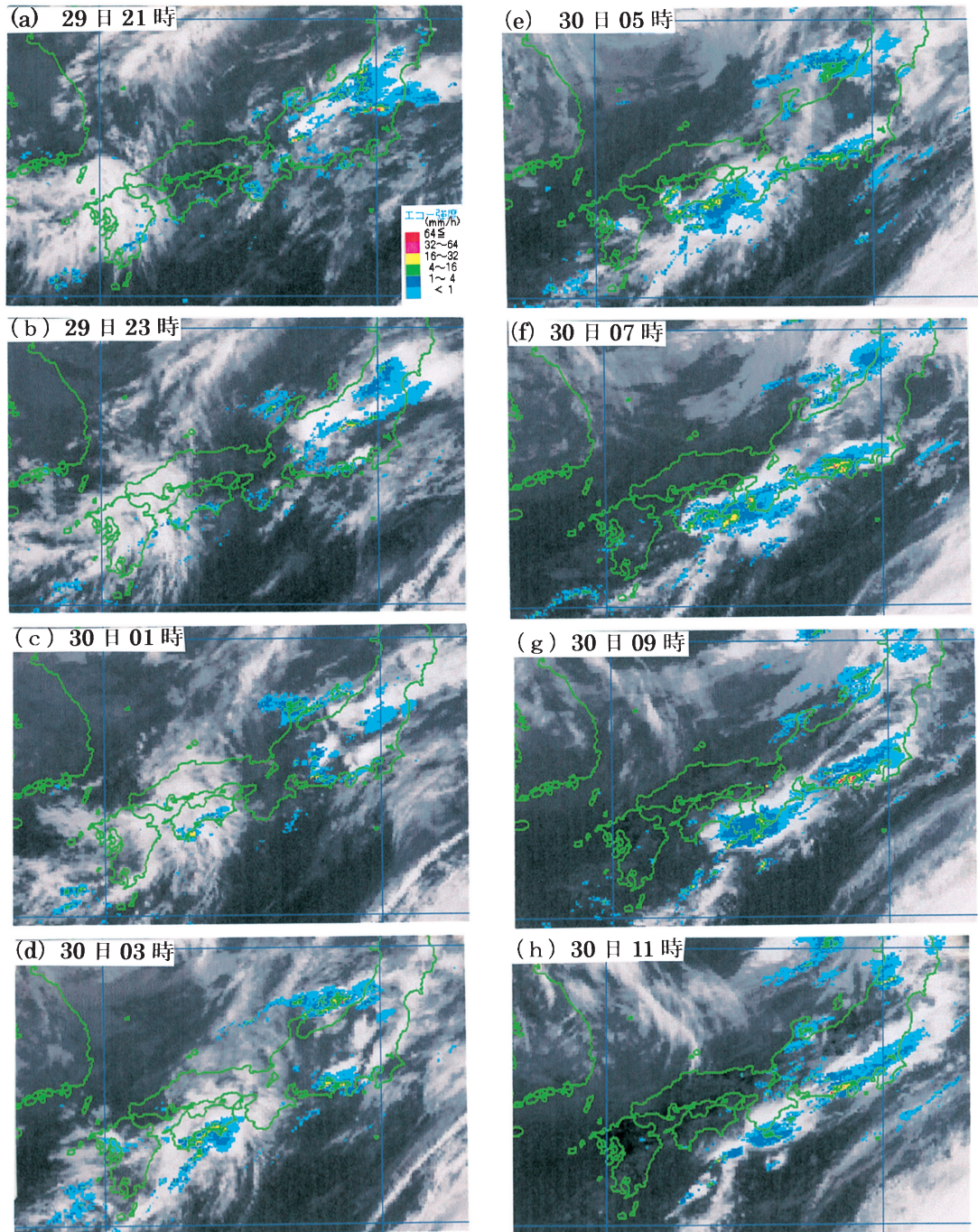
3. メソ天気系

このように本州中央部では成層が不安定であった。しかし、対流不安定というのは潜在的な不安定であって、下層に十分な強さの上昇気流があり、下層大気を持ち上げられて飽和に達したとき、初めて不安定が顕在化して対流雲が発生する。今回の場合は、第5図に示したように、下層の空気は既に飽和に近く、第3図bに示したトラフ前面の弱い上昇気流でも、不安定を顕在化するのに十分であったと思われる。

こうして、本州中央部では静岡豪雨が発生する前から各地で強い対流雲が発生した。第7図は29日21時から2時間おきの赤外雲画像に重ねたレーダー図を示す。29日21時には(第7図a)、既に福島県、新潟県、長野県に強い積乱雲群があり、そこからのアンヴィルが衛星雲画像では卵形の雲域として認められる。また、九州地方とその周辺海域を覆って、まだ十分纏まっていないが、雲のクラスターがある。2時間後には(第7図b)、福島県、新潟県の対流系は弱まりつつあるが、長野県の雷雨は東に移動して群馬県で依然活発である。能登半島には新たに対流雲が発生している。さらに2時間後の30日01時には(第7図c)、真夜中であるにも拘らず新たに愛知県で激しい雷雨が起こっている。その間に、以前に九州にあった雲のクラスターは東に移動するとともに急速に発達し、いまや四国の太平洋沿岸で激しい雷雨を起こしている。つまり、静岡豪雨の発生前に、どこで強い雨があっても、おかしくない状況であった。

次の30日03時には(第7図d)、愛知県の雷雨が東進すると共に、駿河湾奥にも積乱雲が発生して、静岡豪雨が始まっている。そして、07時頃からは(第7図f)、静岡豪雨を起こしている対流系は線状構造を示すようになる。そして、その状態は11時頃まで続くが(第7図h)、その後は東に移動するようになって、静岡豪雨は終わりとなる。

このように、第7図で長々とこの日の対流活動の経緯を示した理由は、例えば九州から紀伊半島まで移動してきたクラスターは、その中に32 mm/h以上のエコー強度を持つ強い対流セルを含んでいたが、早く移動したために被害を起こすような集中豪雨とはならなかった。その同じ総観規模の環境の中で、静岡豪雨を起こした線状の対流系だけは、なぜか移動しなかったために集中豪雨となったということを示したかったか



第 7 図 2004 年 6 月 29 日 21 時から 2 時間毎、赤外雲画像に重ねたレーダー反射強度図。(a) 29 日 21 時, (b) 29 日 23 時, (c) 30 日 01 時, (d) 03 時, (e) 05 時, (f) 07 時, (g) 09 時, (h) 11 時。幾つかのメソ対流系が発生・発達・移動・減衰したが、静岡上空のそれだけは停滞・継続したことを示す。

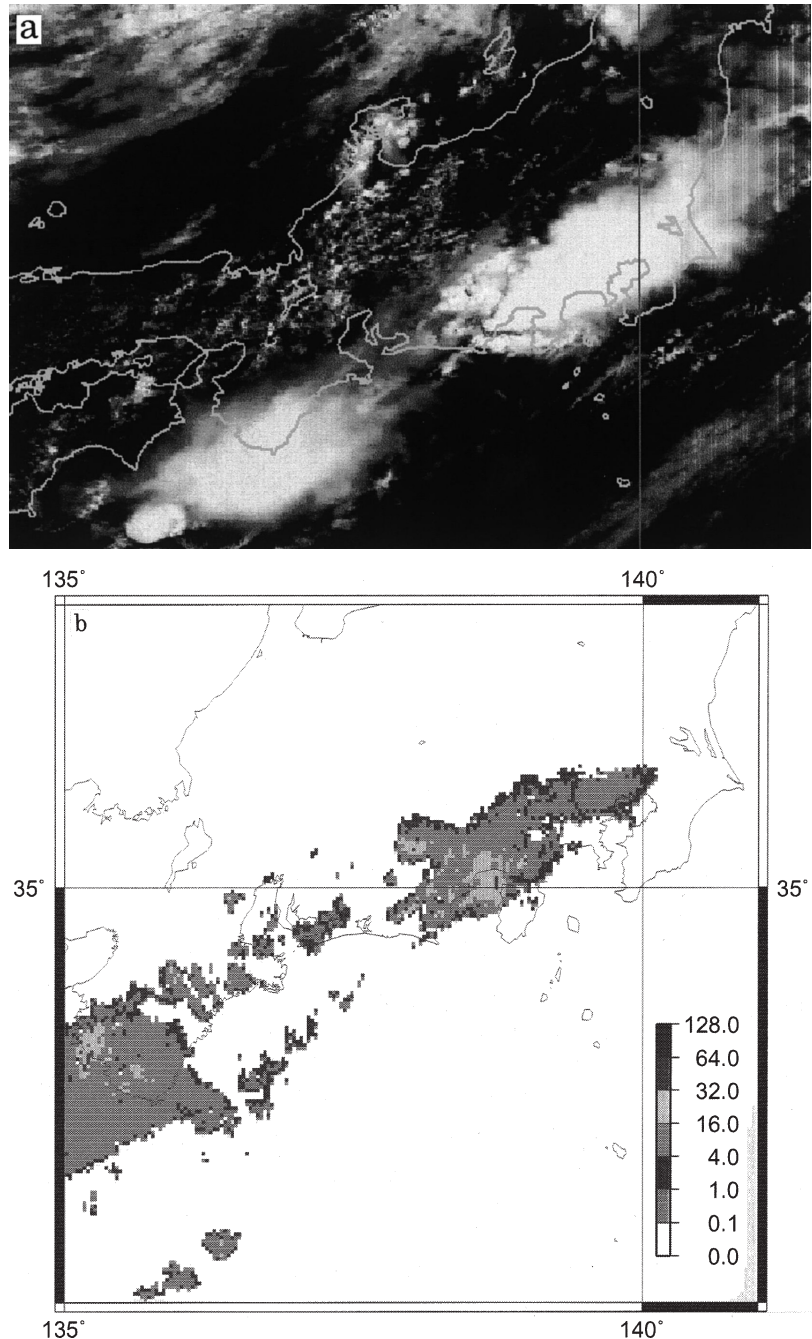
らである。

そこで、この線状対流系の構造をもっと詳しく見ていこう。第8図aは降雨がピークに近い30日10時の可視画像である。静岡付近の主な雲は、御前崎と福田(位置は第2図)の中間点あたりを頂点とするニンジン状の雲、あるいはわが国でテーパリング・クラウド(第6節参照)と呼ばれている雲である。この雲の西方には、これと離れて1個ないし2個の独立した対流雲がある。第8図bはほぼ同時刻におけるレーダー図であるが、独立した雲はニンジン状の雲にくっついてるように見える。

今日では、ニンジン状の雲はバックビルディング型の雲(略してBB型の雲)として知られている。BB型という名称をつけたのは Bluestein and Jain (1985) である。彼らは米国中西部で観測されたシビアな線状対流系の形態を、破線型、BB型、破面型、埋め込み型の4種に分類した。BB型は、線状対流系の風上側先端で対流セルが次々と発生し、水平方向にも鉛直方向にも成長しながら環境の風に流され、後方に移動して古いセルと併合して、そこでは層状の雲となっていくというプロセスで形成される。従って、衛星雲画像で見ると、先端が細く尖った三角形の形状を示すので、ニンジン状の雲と呼ばれるのである(BB型の線状対流系については小倉(1990,

1997)の解説がある)。

[(その2)は「天気」53巻第10号に掲載]



第8図 2004年6月30日10時における (a) 可視雲画像と (b) レーダー反射強度図。