



お天気の見方・楽しみ方 (16)

ゲリラ豪雨という言葉をなくそう

小倉 義光*

1. 問題の提起

昨2008年の夏は、いろいろな豪雨に伴う災害が多い年だった。個人的にも、私の住居から幾らも離れていない東京都豊島区で、8月5日下水道工事中の作業員が地下の排水溝内で流され、5名が亡くなられたのは衝撃的だった。前線の影響で、東京都千代田区大手町で5日12時50分までの1時間に、29.0mmの激しい雨に伴う惨事で、新しい都市災害の形態である。都市に限らず、全国どこでも起きうる災害としては、8月16日に栃木県鹿沼市で強雨のため鉄道下の自動車道路(アンダーパス)に水が溜まり、通行中の車が動けなくなり、運転していた女性は脱出できず、死亡する事故があった。その女性からの最後となった「さよなら」という携帯電話を受けるまで、結局何もしてあげられなかった母親の気持ちはどうであったろう。

このように昨年の7月と8月、豪雨に襲われ被害がでる度に、新聞やテレビなどのマスメディアには、ゲリラ豪雨襲来といった大きな見出しが躍った。あまりにも頻繁に使われたために、とうとう昨年末には、2008年度の流行語大賞の候補にノミネートされるまでになった。幸いにも大賞を受けるまでにはならなかったが、このゲリラ豪雨という言葉を知った時に、私は^{びくびく}忸怩たる思いに駆られた。この言葉には、予期せぬときに、不意に襲ってきた豪雨という意味がある。翌日の最高気温・最低気温の予報や、翌日の降雨の有無などの予報の精度は、年々着実に向上しているというのに、人命に関わる集中豪雨については、気象学の進歩はそんな程度なのかと、社会から揶揄・非難されてい

る感じで、気象人(気象の研究者や気象業務の従業者)の一人として、誠に恥ずかしい思いをしたものである。

勿論、言い訳はいくらでもできる。最も本質的に、集中豪雨は不安定現象だから、不安定な領域内のどこでいつ豪雨が起るか、ピンポイントの予測はできないということがある。今できることは、せいぜいポテンシャル予報くらいだ。しかし、こんな説明でマスメディアが納得するはずがない。また、豪雨予報から水害までには、警報伝達の問題などを含めて、幾つかのステップがある。今、われわれ気象人として目指すべきことは、6~12時間前に、日本の各地で、ある基準値以上の集中豪雨が襲来する確率を示す出現確率予報分布図を出すことだと思う。6時間といったのは、真夜中から未明にかけて豪雨が起ることが多く、人々が寝入ってしまったら警報伝達がしにくいと言う事情がある。6~12時間のリードタイムがあれば、新聞・テレビ・携帯電話などで十分報道できるだろう。

ずっと昔、私の尊敬する先輩の一人は、確率予報は予報の邪道である。予報が外れたときの言い訳を始めから言っているようなものだと言っていた。しかし、予報は本来確率的なものだ。降雨の確率予報や台風進路の予報円などで、確率予報の概念は既に定着している(とはいえ、台風の進路予報図にでてくる予報円は、台風が接近するにつれてサイズが大きくなることを示していると思込んでいる人が、少なからずいるそうだから、一層の普及・啓蒙活動は必要である)。ある程度以上の精度を持った集中豪雨の出現確率予報分布図が出せれば、ゲリラ豪雨などという言葉は自然に使われなくなっていくと私は期待している。

確率予報となれば当然アンサンブル予報ということ

* Yoshimitsu OGURA, 東京大学海洋研究所。

© 2009 日本気象学会

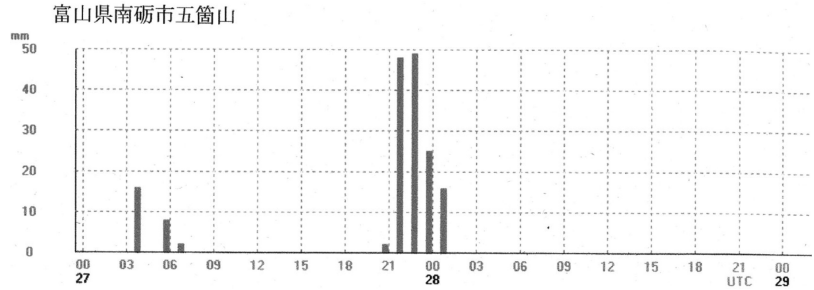
になるが、それと共にしなければならぬことがある。例えば吉崎・加藤(2007)の本に見るように、集中豪雨についての我々の知識はずいぶん広く深くなった。しかし、集中豪雨の発生も構造も発達過程も、さらには総観スケールから積雲スケールにいたるまでのスケールの多重性

も、多様性に富み、まだよく理解できていないことが沢山ある。その幾つかの例は本シリーズで取り上げたが、それはまだほんの一部に過ぎない。もっと多くの豪雨について、観測データの綿密な解析と雲解像モデルによるシミュレーションと感度実験を行わなければ、どのような集中豪雨の発達には環境のどこにあるどの物理量の分布が最も重要なのか、わからないのだ。このことを示すために、以下では、これまで本シリーズでは取りあげなかった形態の集中豪雨を述べることにする。

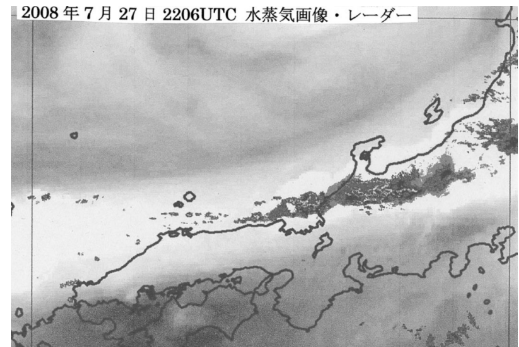
2. 2008年7月27-28日の北陸豪雨の発生

その豪雨は、2008年7月27-28日に北陸地方を中心に中国・近畿・東北地方を襲った。28日01 UTCまでの5時間に富山県南砺市五箇山(ゴカヤマ、富山市の南南西約25 km)で142.5 mm、石川県金沢市医王山で110.5 mmの降雨があった。そして、27日には群馬県みなかみ町で河川の急激な増水により死者・行方不明者2名、28日には神戸市の都賀川で急激な増水により死者5名、姫路市では落雷により死者1名がでた。また27日には福井県敦賀市でガストフロントに伴う突風のため死者1名の被害が出た。そのほか、28日にかけて、東北から近畿地方の広い範囲で突風による被害が発生した。

この豪雨のケースを取り上げた理由は二つある。一つは、このケースのユニークさである。山陰・北陸地方はこれまでも、2004年7月の新潟・福島豪雨、同月の福井豪雨をはじめ、度々豪雨に襲われている。しかし、これらの豪雨はいずれもバックビルディング型の豪雨である。これに反して、今回のケースは珍しくもBluestein and Jain (1985)の分類に従えば破線型(broken line type)、すなわち個々の対流セルがほぼ同時に線上に発生し発達する型である。二つ目の理由



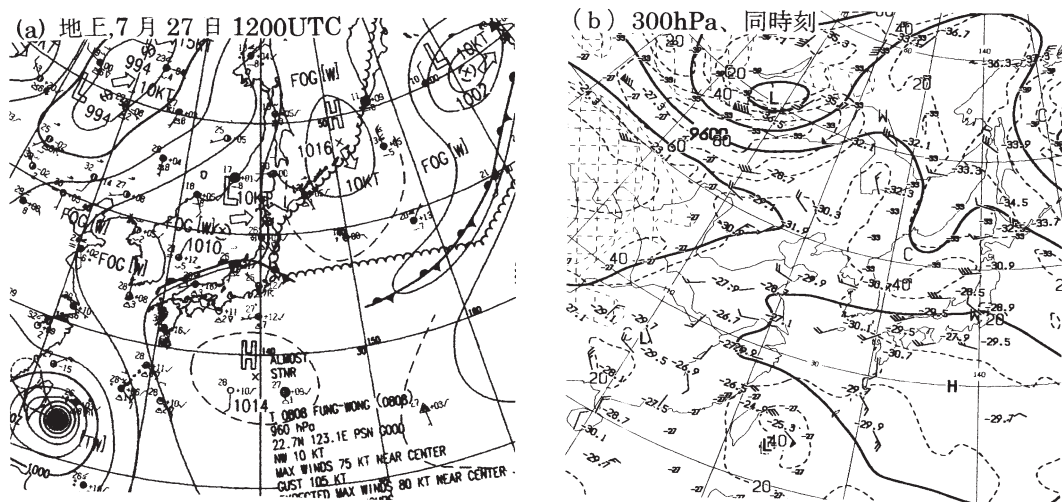
第1図 富山県南砺市五箇山における1時間雨量の時系列。



第2図 2008年7月27日2206 UTCにおける衛星水蒸気画像に重ねたレーダー反射強度の分布。

は、既に西村(2008)がこの豪雨の概略について述べていることである。しかし僅か1ページという厳しい紙数制限のために、重要なことが書き残されている。それで西村氏が集めた資料をいただいて、これを補足しようとしたのが二つ目の理由である。

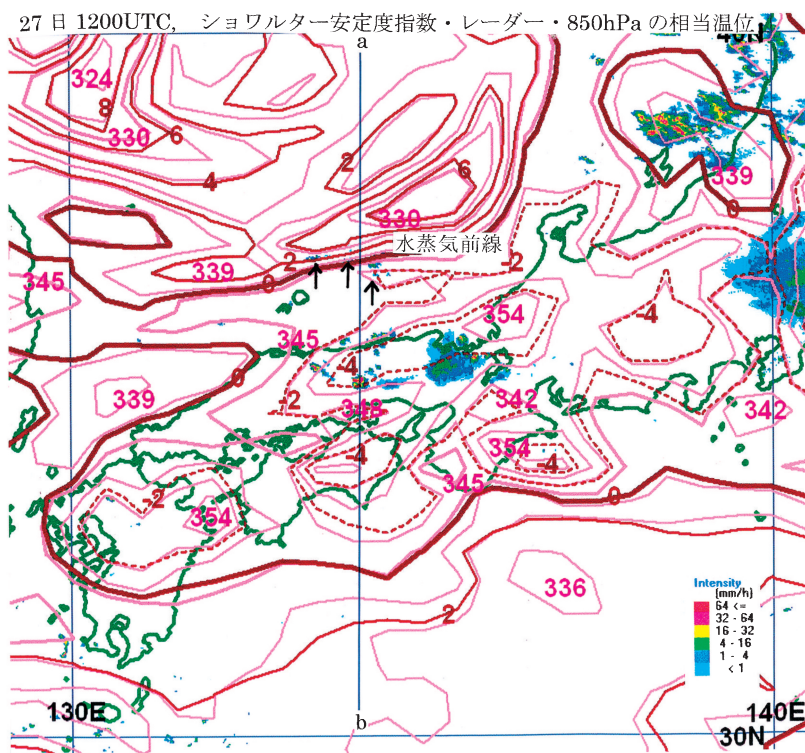
第1図が上述の南砺市五箇山における時間雨量の時系列である。27日には日本列島が太平洋高気圧に覆われて南よりの風が吹き、日射も十分あったため、各地の山岳地帯で熱雷が発生した。第1図の04~07 UTCの雨は、これによるものである。今回の大雨は27日21 UTCころから始まり、毎時50 mmに近い激しい雨が2時間も続いている。第2図が大雨のピーク時である27日2206 UTCにおいて、衛星水蒸気画像にレーダー図を重ねたものである。南北の暗域に挟まれて、幅250~300 kmの明域がほぼ東西方向に延びている。この明域については別稿で述べることにするが、今問題にするのは、その明域のほぼ中央に、多くの対流セルが東西方向に並んで形成している破線型の線状対流系である。その中の一つのセルが五箇山を通過する際に



第3図 2008年7月27日1200 UTCにおける (a) 地上天気図と (b) 300 hPa 高層天気図 (気象庁).

第1図の強雨をもたらした。

第2図には後でもう一度戻るとして、このような線状降雨帯が発達するという何らかの予兆が12時間前にあったのだろうか。12時間前ではないが、約10時間前の27日12 UTCにおける地上天気図が第3図aである。山陰沖から北陸地方にかけて停滞前線がある。それ以前の地上天気図を見ると、この停滞前線は先発の低気圧から長く西に延びた停滞前線が、分断されて残ったものであることが分かる。一般的に、前線では収束があるし、渦度もある。この前線の位置から見て、この前線は上記の降雨帯と関係がありそうだ。そして、日本列島の南には中緯度高気帯の一部である太平洋高気圧、日本海北部に弱い低気圧がある。さらに台湾沖には台風8号があ



第4図 27日1200 UTC, ショワルター安定指数 (濃い茶色2Kおき) と、レーダー反射強度と、850 hPaにおける相当温位 (ピンク色, 3Kおき) の分布。矢印は後にメソ対流系を構成する降雨セル群を示す。

る。第3図bが同時刻の300 hPaの高層天気図である。日本海北部から中央部にかけて弱いながらトラフが延びており、第3図aの日本海低気圧は深い構造をもつ。こうした天気図から、大気下層では南の太平洋高気圧の縁辺を巡る南よりの流れが、台風周辺の高相当温位の空気を停滞前線に向けて運び、その北では低気圧/トラフの西側の北西風が低い相当温位の空気を停滞前線に向かって運んで停滞前線を形成していると、まず見当をつける。

大雨が短時間で降るためには、大気の成層が不安定であることが前提条件である。第4図はほぼ同時刻の27日1140 UTCにおいて、ショワルター安定指数 (SSI) の分布にレーダーエコーの分布を重ねたものである。ほぼ日本列島全体とその近海にわたって、 $SSI \leq 0$ K という不安定領域が広がっている。場所によっては、SSIが -4 Kという極めて不安定な領域もある。このSSI分布と日本付近が太平洋高気圧に覆われ十分な日射があったということもあって、この日は日本全国の山岳地帯で強い熱雷が発生した。中国地方で発達した熱雷の残りが、第4図で京都府北部に見られるレーダーエコーである。これは間もなく消滅してしまう。岡山県にも熱雷の名残がある。ここで重要なのが、 $SSI = 0$ Kの等値線と重なってしまっ少し見難いが、隠岐諸島の北ないし北東の方向、矢印で示した場所に点々と存在するエコーである。後にここで深い対流(積乱雲)が発達し、問題とする降雨帯の西端となるからである。

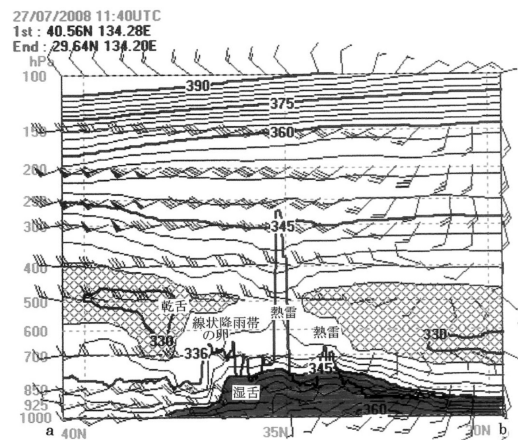
第4図には850 hPaにおける相当温位の分布も重ねてあるが、広い範囲で等相当温位線と等SSI線が重なっていることが認められる。これはSSIの分布に850 hPaの相当温位の分布が決定的に重要なことを示す。そして、エコー群を通る $\theta_e = 345$ K線を南端として等相当温位線が密集しており、 $\theta_e = 345$ Kの等値線はいわば水蒸気前線を表している。

大気の対流不安定度は相当温位の高度分布によるから、エコー群を通る南北方向の線分(a-b)における相当温位の鉛直断面分布を第5図に示す。低緯度側で、ほぼ850 hPaより低い下層には、南よりの風で運ばれてきた高い相当温位の空気がある。345 Kの等値線の先端がほぼ鉛直に立っているのは注目に値する。この高温湿潤層の上には、650 hPaにおける330 Kを極小値とする低相当温位の空気がある。これは太平洋高気圧の特性で、特に注目に値しない。ただ、650 hPaという低い高度に極小値があるだけに、対流不

安定度が大きいわけである。一方、高緯度側にも、ほぼ500 hPaを中心とした低相当温位の空気がある。この層の先端部分と下層の345 Kの等値線との間の相当温位の水平傾度は大きく、ここが水蒸気前線帯を形成しているわけである。そして700 hPaを雲頂高度とするエコー群(第4図の矢印)は正にこの水蒸気前線帯に位置している。その南にある積乱雲は前述の岡山県の熱雷を、さらにその南にある雲頂高度700 hPaの雲は熱雷の名残を表す。

第6図は同じ鉛直断面上で、ただし0906 UTC、すなわち第5図より約2時間半前、レーダーエコー出現前の時刻における温位と相対湿度の分布を示す。ほぼ38 Nより低緯度側では等温位線は驚くほど水平である。すなわち、一般的に熱帯の大気がそうであるように、今回の大気も順圧的である。ここでは温暖前線も寒冷前線も出来にくい。従って、重要なのは水蒸気の分布となる。第6図の湿度分布を見れば、水蒸気前線の高緯度側でも低緯度側でも、相当温位が低かったのは、湿度が低かったからである。殊に高緯度側では、最低湿度は10%しかない。

最も重要なことは、やがて線状降雨帯が出現する緯度(〜36 N)で、湿度が高い層が下層から上方に延びていることで、ここに上昇流の存在を推定させる。



第5図 27日1200 UTC、第4図の線分(a-b)に沿った南北鉛直断面上における相当温位(θ_e , 3 Kおき)と風(長い矢羽が10ノット, 1ノット=0.51 m/s)。太い実線はGMS輝度温度から決めた雲頂高度の分布。ハッチした領域は $\theta_e \leq 333$ K(乾舌)、シェードは $\theta_e \geq 345$ Kの領域(湿舌)を表す。

すなわち、豪雨が始まる12時間前に、個々で深い対流雲が発生する予兆はあったのだ。しかし、その深い対流雲が豪雨を起こすかどうかは、数値モデルを走らせて見ないと、わからない。

以下、記述の便宜上、第5図の下層の多湿・高相当温位の空気を湿舌、中層の乾燥・低相当温位の空気を(あまり舌状でもないが)乾舌(dry tongue)と呼ぶことにする。わが国では湿舌とは、梅雨前線帯などに見られる高度3 km 付近の舌状に延びた湿潤な領域であると、限定された意味で使われている。しかし、欧米では、moist tongue の使い方は、もっと緩やかである。例えば、スペインの地中海沿いの大雨を調べた Romero *et al.* (2000) は、下層のみならず中層にも存在する moist tongue について述べている。前者は海面からの蒸発で維持されている moist tongue で、後者は、最初近くの低気圧の前面にあった湿った空気が移流されて出来た moist tongue である。余談になるが、地中海の西部、すなわち南フランスや上記のスペイン西部は、ときどき24時間以内に500 mm を越すような豪雨に襲われる(例えば、Nuissier *et al.* 2008; Ducrocq *et al.* 2008)。湿った地中海上の空気が下層ジェットによって上陸するとき起こることが多い。その形態やメカニズムは、わが国の豪雨と比べて、米国中西部のストームより、共通点が多い。雷雨がいつどこで発生(initiation)するか、米国中西部で2002年に航空機2機まで動員して実施された大規模

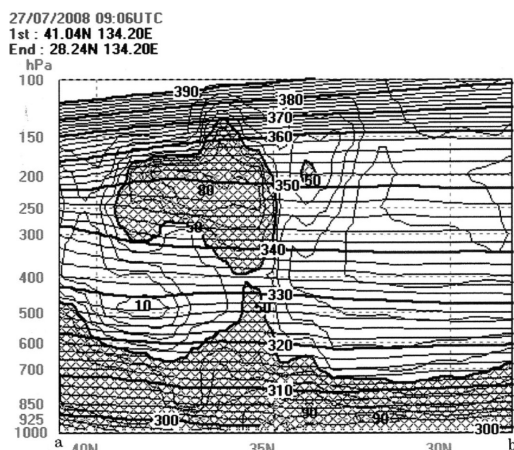
な野外実験観測 IHOP-2002については、Weckwerth *et al.* (2008) が参考になる。

ちなみに、第6図において、この乾舌の上、300~200 hPa に80%を超える湿った領域がある。これが第2図に示した水蒸気画像の明域に対応するものであるが、長くなるので、本稿ではこれについては述べない。また、本稿で使った湿舌・乾舌という用語の代わりに、高相当温位域・低相当温位域という用語でもいいと思う。

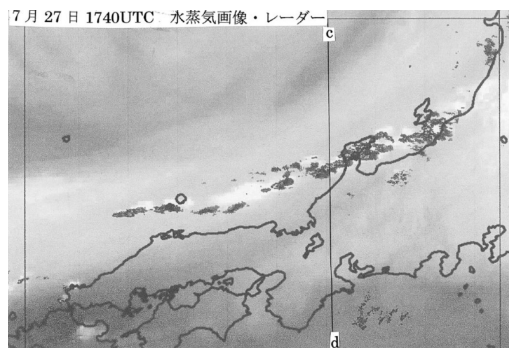
3. 豪雨の発達

第4図から6時間後の27日1740 UTCにおける状況が第7図である。第4図に示した水蒸気前線に沿って、隠岐諸島から能登半島を経て北陸地方にいたる降雨帯が急速に発達した。この時刻における850 hPa の相当温位や SSI の分布は第4図とほぼ同じである。 $\theta_e=345$ K の等値線が SSI=0 K の線と一致している点も同じである(図省略)。これは総観スケールの分布であるから、余り変化しなかったのは不思議ではない。念のため、線分(c-d)に沿った南北鉛直断面上の相当温位と風の分布を第8図に示す。 $\theta_e=345$ K で代表される下層の湿舌の先端と、 $\theta_e=330$ K で代表される中層の乾舌の先端が、鉛直方向に重なった場所で、線状降雨帯を構成する深い対流雲が発達している。言葉は違うが、同じ趣旨のことは西村(2008)も述べている。ここで重要なことは、もっと南の方には SSI が-4 K とする極めて不安定な領域があるのに、降水帯は SSI が0 K 近くである領域で発達したことである。

一般的に、大気下層が対流不安定であっても、不安定層が上昇し飽和しなければ対流不安定が顕在化され



第6図 第5図と同じ。ただし27日0906 UTCにおける温位(点線, 2 K おき)と相対湿度(10%おき)の分布。ハッチした領域は相対湿度 $\geq 50\%$ 。



第7図 第2図と同じ、ただし27日1740 UTC。

て深い対流は発達しない。第5図と第8図に示された風の分布を見ると、下層では高緯度側の西よりの風が強 $\theta_e=345\text{ K}$ の線は鉛直に立った形をしているし、湿舌の先端が上に盛り上がり、ここで下層の収束があることを窺わせる。しかし、925 hPa 或いは850 hPa における風の水平分布から収束を計算しても、その値は小さく、水蒸気前線に沿って組織的に負の値をとるということは認められなかった(図省略)。

一般的に梅雨期はそうであるが、今回のイベントでも全体的に風は弱かった。それで、第7図の降雨帯はその後南下するものの、その移動速度は遅く、ほぼ6時間後に第2図の状況となった。しかし逆に言うと、メソ対流系の移動速度が遅かったために、その系の下では集中豪雨となったわけである。

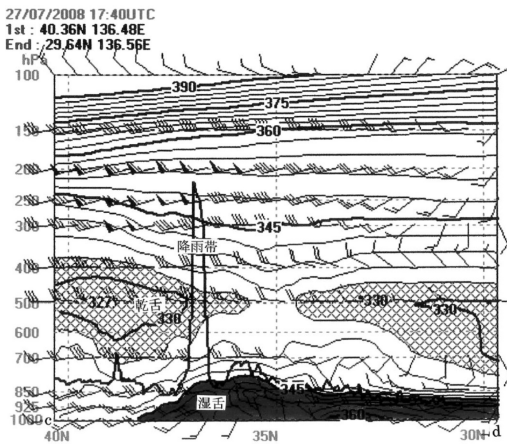
ここで、雲解像モデルをお持ちの方に質問を一つ。第4図で岡山県と鳥取県の県境にある熱雷は、SSIが -4 K という不安定な地域にあるのに、この時刻後

2時間足らずの間にすっかり消滅してしまうのに反して、隠岐諸島北方沖のメソ対流系の卵は発達して、線状対流系を形成した理由を教えてください。熱雷は日没後には消滅する運命にあるというのは答えにならない。

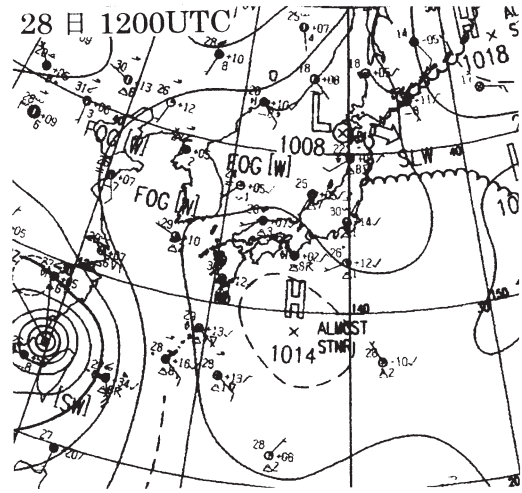
4. 2008年7月29日の鳥取豪雨

上記の豪雨が終わってから約1日後、続いて鳥取県東部で大雨があった。第9図が最も雨量の多かった鳥取県岩美町岩井(兵庫県との県境)におけるアメダスの記録である。雨は28日23 UTC ころから始まり、5時間で計117 mmの雨量があった。第10図に示した地上天気図を見ても、鳥取県付近に大雨を降らすような擾乱は認められない。

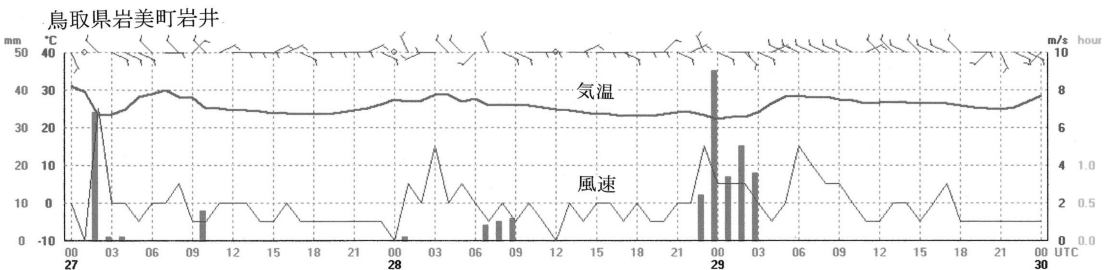
この大雨をもたらしたメソ対流系の発生と発達を、レーダーと衛星水蒸気画像で追ったのが第11図である。28日1706 UTCに(第11図a)、隠岐諸島と竹島



第8図 第5図に同じ。ただし、27日1740 UTC、第7図の線分(c-d)に沿った南北断面。



第10図 28日1200 UTCにおける地上天気図(気象庁)。



第9図 鳥取県岩美町岩井におけるアメダスの気温・風速・風向・時間雨量の時系列。

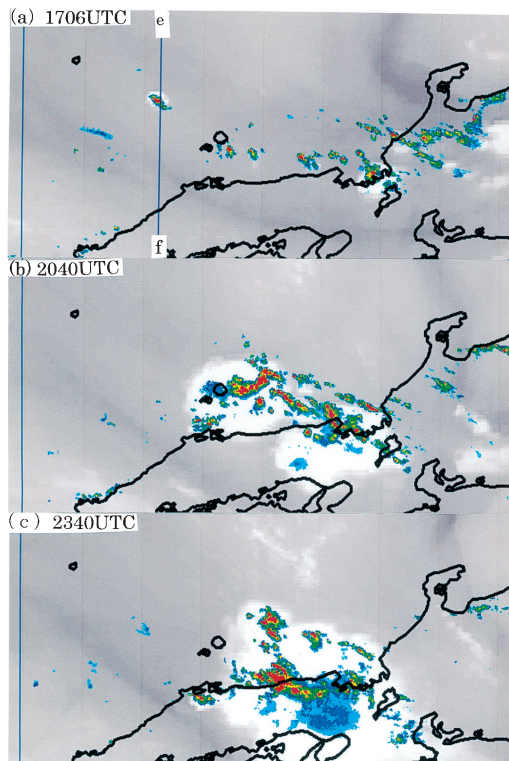
のちょうど中間あたり、一見一様に見える海上にぼつかりと小さな雲が浮かび上がる。この雲はゆっくりと南東方向に移動すると共に急速に大きくなる(第11図b)。その間に、もともと若狭湾付近にあった雲も発達する。そして、発生から約6時間半後の2340 UTCには鳥取県東部に強い雨を降らせている(第11図c)。

このメソ対流系が発生する予兆は、第11図aの約2時間前、すなわち岩美町岩井で雨が降り出す約8時間前の1506 UTCのレーダーエコー図で認めることが出来る。すなわち、第12図において、隠岐諸島と竹島の中間あたり、太い矢印で示した小さな三つのエコーの群がそれである。上述の7月27~28日のケースと同じように、この降雨セル群から第11図aの水蒸気画像でも認められるような深い対流が発生した。

第12図にはSSIと850 hPaにおける相当温位と風の分布も重ねてある。ここからは約28時間前における第4図についての説明を繰り返すことになるが、朝鮮半島から日本海南部にかけてSSI \leq 0 Kの不安定な領域があり、問題のメソ対流系はその領域内、しかもSSI=-2 Kと言う不安定な領域よりも、SSIが0 Kに近い領域で発生している。そしてSSI=0 Kの等値線と $\theta_e=345$ Kの等値線は、この時刻でもよく重なっている。

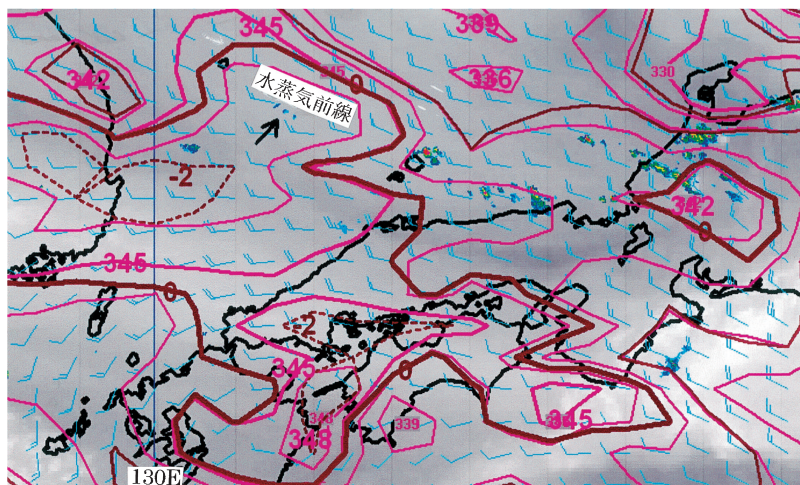
第13図は、ほぼ第11図aの時刻に、メソ対流系の中心を通る南北鉛直断面(線分e-f)内の相当温位と風と雲頂高度を示したものである。第8図に比べると、中層の乾舌はやや低い高度にあるが、下層の湿舌の先端と中層の乾舌の先端が重なったところで深い対流が発達している様子は、第8図と同じである。そして、下層の湿舌と中層の乾舌の間に、相当温位の傾度の大きい水蒸気前線がある点も同じである。

このイベントを水蒸気画像のアニメで見ると、なにもない海上に小さな丸い白い雲が出現したかと思うと、見る見るうちに大きさと明るさを増しながら、南

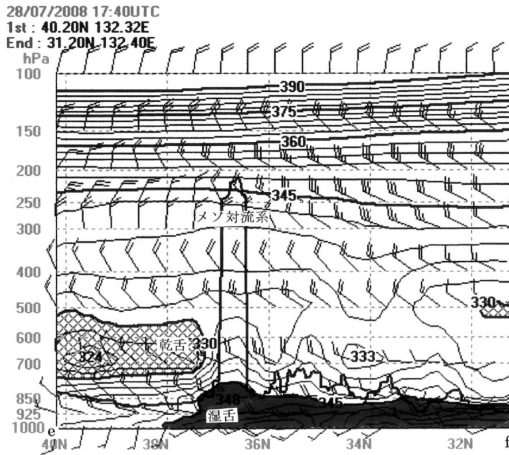


第11図 第2図に同じ。ただし7月28日 (a) 1706 UTC, (b) 2040 UTC, (c) 2340 UTC。

28日1506 UTC 水蒸気画像に重ねたSSI・レーダー・850 hPaの相当温位と風



第12図 第4図に同じ。ただし28日1506 UTCで、水蒸気画像に重ねてある。



第13図 第5図と同じ。ただし28日1800 UTC、第11図 a の線分 (e-f) に沿った南北断面。ハッチした領域は $\theta_e \leq 330$ K (乾舌)。

東方向に進行して、鳥取県と兵庫県の間境あたりに上陸したように見え、これを予報するのは至難の技としか見えない。事実、28日1200 UTC を初期値とした FXFE502 (気象庁が配信している予報図) の T (予報時間) = 12 や T = 24 を見ても、この豪雨は予報されていない。

5. まとめと課題

今回は2008年の7月27~28日に主に富山県と石川県で、29日に主に鳥取県で、梅雨期に水蒸気前線上で、4~5時間の間に100 mm以上の雨量のあった集中豪雨をとりあげた。前者は東西方向に延びる帯状降雨帯、後者は北西-南東の方向に延びる、もっと長さの短い降雨帯という違いはあるが、際立った共通点があった。すなわち、両者とも降雨セル群として発生し、下層の湿舌の先端と中層の乾舌の先端が上下に重なる位置で深い対流雲として発達した。もっと南には、SSIが-2~-4 Kと云う極めて不安定な領域があったにも拘わらず、大雨が降ったのはSSIが0 K近くの領域であった。そして、後知恵となるが、小さなレーダーエコーの群れがメソ対流系の卵であったと認識されてから、雨量が最も大きかった地点で、雨が降り出すまでの時間は、前者の場合で約10時間、後者の場合で約8時間であった。

このように、深い対流雲とその集合体であるメソ対流系は、一度組織化され出現すると、数時間は継続す

るのが普通である。従って一度出現して、それが現業の4次元変分法の予報・解析サイクルにひっつかれば、現在の現業用の雲解像モデルは6時間のリードタイムをもって、集中豪雨を十分予報できるのではないかと思う。ただし、それは環境の場 (特に水蒸気の場) が十分精度よく観測・解析されると仮定しての話である。更に、レーダーエコーの群れが、いつも組織化されたメソ対流系に発達するかどうか、まだ調べていない。

もっと予報のリードタイムを長くするためには、最初の一発 (initiation) が、山岳のような強制力のない海上で、しかも温暖前線や寒冷前線による強制力もなく、内部重力波の伝播も認められないような状況で、いつどこで起こるか決める必要がある。この際、まず必要なのは不安定な領域を出来るだけ正確に決めることで、ことに水蒸気の場の正確な決定が必要不可欠である。この点で、まだ印刷にはなっていないが、最近、瀬古ほか (2009) や石川 (2009) は、これまでの研究をさらに発展させ、地上 GPS 大気遅延量がメソ気象の予報に大きく貢献することを示した。

次に重要なのが、この不安定な領域内のどこでいつ、下層の空気が自由対流高度まで上昇させられるかである。冬期中・高緯度域で出現するポーラー・ローについてであるが、Yanase and Niino (2007) は成層が不安定で環境の場の風が鉛直シアを持つ大気中で、下層大気に与えられたランダムな擾乱によっても、組織化されたメソ対流系が発達しうるとを示した。しかし、組織化までに20~30時間かかり、実際問題としては時間が長すぎる。やはりトリガーとなる下層の上昇流が必要なのではないか。しかし、本文で述べたように、そうした上昇流の存在は、推定されるが、観測で確認されていない。例えば、関東地方の南の海上を西進して悪天候をもたらす前線のように、風向の変化が大きいときには衛星散乱海上風 (QuikSCAT) のデータは有効であろうが、本稿で述べた2例のように、一見強制力のないような場合にはどうか。

最近心強く思うのは、例えば渡部 (2007, 2008) に見るように、地方気象台でも雲解像モデルを使って、メソ対流系のシミュレーションを実施できるコンピュータ環境が整っていることである。また、日本気象予報士会は各地に支部をもつ。集中豪雨は日本の各地で起こる。集中豪雨の多様性に鑑みて、できるだけ多くの事例について綿密な事例解析、モデルによるシ

ミュレーションや感度実験、アンサンブル予報などを行い、皆の知恵と力を併せて、ゲリラ豪雨などという不名誉な言葉が使われなくなるよう、念願するばかりである。

謝 辞

本研究は気象庁予報部予報課の西村修司氏から貴重なデータの提供を受けて、はじめて可能となったものであり、同氏に深く感謝したい。また、東京大学海洋研究所共同研究から便宜を受けているし、同研究所新野 宏教授、名古屋大学地球水循環研究センター坪木和久教授、気象研究所斉藤和雄博士と加藤輝之博士、査読者と編集担当の別所康太郎氏からは有益なコメントと豪雨研究について最新の情報を頂いたことを記して感謝したい。

参 考 文 献

- Bluestein, H. B. and M. H. Jain, 1985 : Formation of mesoscale lines of precipitation : Severe squall lines in Oklahoma during the spring. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 1711-1731.
- Ducrocq, V., O. Nuisssier, D. Ricard, C. Lebeauvin and T. Thouvenin, 2008 : A numerical study of three catastrophic precipitating events over southern France. II : Mesoscale triggering and stationarity factors. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 131-145.
- 石川宣広, 2009 : 地上 GPS 大気遅延量のメソ数値予報での利用. 第 6 回天気予報研究会.
- 西村修司, 2008 : 7月27日~29日の北陸地方~山陰地方の大雨. *天気*, **55**, 756.
- Nuisssier, O., V. Ducrocq, D. Ricard, C. Lebeauvin and S. Anquetin, 2008 : A numerical study of three catastrophic precipitating events over southern France. I : Numerical framework and synoptic ingredients. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 111-130.
- Romero, R., C. A. Doswell III and C. Ramis, 2000 : Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasi-stationary convective systems over eastern Spain. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3731-3751.
- 瀬古 弘, 小司禎教, 斉藤和雄, 2009 : 局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF) やメソ解析を用いた日本海豪雨実験. 第 6 回天気予報研究会.
- 渡部浩章, 2007 : 気象庁非静力学モデルで再現された福井豪雨時の線状降水システム. *天気*, **54**, 449-455.
- 渡部浩章, 2008 : 2004年9月29日に三重県尾鷲付近で発生した豪雨の降水強化メカニズム. *天気*, **55**, 807-812.
- Weckwerth, T. M., H. V. Murphey, C. Flamant, J. Goldstein and C. R. Pettet, 2008 : An observational study of convection initiation on 12 June 2002 during IHOP_2002. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 2283-2304.
- Yanase, W. and H. Niino, 2007 : Dependence of polar low development on baroclinicity and physical processes : An idealized high-resolution numerical experiment. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 3044-3067.
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007 : 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店, 187 pp.