

## 2.4 兵庫県南部における大雨発生の必要条件の抽出・妥当性の確認と十分条件の抽出

神戸地方気象台

### 要 旨

兵庫県南部(淡路島を除く)の大雨発生の必要条件の妥当性をメソ解析値により検証した結果, 500hPa 気温が条件に適さないこと, 可降水量  $58\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}(\text{mm})$ 以上と 700hPa 渦度  $100\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ 以上が妥当なことがわかった. 十分条件の抽出のため, 下層の暖湿気塊を自由対流高度まで持ち上げる機構に着目して大雨事例を解析した. 平成 24 年 7 月 6 日の播磨北西部の大雨ではトラフの接近と収束の強まり, 平成 25 年 8 月 25 日の阪神の大雨では地形の影響による強制上昇とシアラインの接近, 平成 26 年 8 月 17 日の北播丹波の大雨では停滞前線に平行な中層の風及び中層の乾燥気塊の継続的流入を抽出した.

### 1. はじめに

平成 23~24 年度に取り組んだ地方共同研究「集中豪雨発生の必要条件の抽出とその妥当性」の結果を第 1 表に示す. 2009~2012 年梅雨期を調査し, 阪神で線状降水帯を形成し, 大雨となるのに必要な条件をまとめていた. この結果は, 大雨をもたらす環境場を中心とした目安となっており, 特定のパターンにだけ適用できるのではなく, 兵庫県南部の大雨の必要条件として適用できると考える.

この結果を下層で南西風が吹くときに淡路島を除く兵庫県南部のどこかで大雨の発生する必要条件として拡張し, 事例解析と統計解析により妥当性を確認した. 合わせて, 第 1 表で抽出されなかった気象要素も検討する.

大雨発生の十分条件の抽出においては, 平成 24 年 7 月 6 日の播磨北西部の大雨, 平成 25 年 8 月 25 日の阪神の大雨, 平成 26 年 8 月 17 日の北播丹波の大雨の 3 事例の解析により, 下層の暖湿気塊を自由対流高度まで持ち上げるメカニズムに着目して, 検討する.

以下, 特に説明しない限り, 次のとおり略記する. EPT(相当温位), dLFC(自由対流高度までの距離), EL(平衡高度), FLWV(水蒸気フラックス), WS(風速), U(風東西成分), V(風南北成分), CONV(収束), TPW(可降水量), VOR(渦度), T(気温), TTD(湿数)とする. また, 単に「dLFC」, 「EL」, 「FLWV」と記述する場合は, 「高度 500m からの dLFC」, 「高度 500m の気塊を持ち上げたときの EL」, 「高度 500m における FLWV」を示すこととした.

## 2. 統計的手法による兵庫県南部の大雨発生の必要条件の妥当性の確認

### 2.1 調査期間と使用データ

2009~2014 年 6~8 月の解析雨量とメソ解析値を用いて兵庫県南部(淡路島を除く)のどこかで大雨が発生する必要条件について調査した.

総観場で台風の直接的な影響がなく, 下層に南西風の流れ込みやすい場で, 09 時のアジア地上天気図で E130~140°, N40°以南の日本海に前線が解析され, E130~140°, N30~40°に台風が無い日とし(第 1 図左), 164 日を対象とした.

解析雨量は, 兵庫県南部(第 1 図中央の青色格子)の 1km 格子毎の 3 時間積算値から求めた 5km 格子最大値(以下, R3)を用いた. R3 は 3 時間毎に求め(第 1 図右参考), R3 が最大(以下, R3max)となる時刻を大雨発生時刻とした.

検証に用いるメソ解析値は, 3 時間毎, 5km 間隔の格子点値を用いた. 解析する領域は, 周辺の環境場を捉えられる程度に広め(第 1 図中央の黄色格子)に設定した. 領域内の代表値として最大値または最小値を用いる. ただ

し、TPW と 700hPaVOR は 2011 年以降の資料である。

## 2.2 大雨の定義

「大雨」発生日は、 $R3_{max} \geq 80\text{mm}$  を観測した日とする。2009 年以降では、対象事例 164 日中 23 日(2011 年以降では 115 日中 19 日)であった。

## 2.3 大雨発生前後の各要素の時間変化

以下は、第 2 図による。

500mEPT, FLWV, dLFC, EL, 500mWS, TPW, 700hPaVOR は、大雨発生 3 時間前(以下、3h 前)から大雨発生時(以下 0h)をピークとした上昇または下降の有意な傾向がある。

500hPaT は変化傾向が乏しい。日本海に前線が存在している条件では、むしろ暖気が入りやすい。上空の寒気流入による不安定強化は示せなかった。

中層の乾燥域について、700hPaTD は 0h に向かって湿潤化するのに対し、領域周辺で乾燥化がみられ、乾燥域の接近が示唆されたが、調査領域が狭く、目安とするには至らなかった。

## 2.4 前調査(第 1 表)の妥当性の検討

大雨の有無とメソ解析値を用いた散布図(第 3 図)を基本に前調査(第 1 表)の妥当性を検討した。 $R3_{max}$  に対応するメソ解析値には 0h または 3h 前のいずれかの最小値または最大値を用いた。

500hPaT は、前調査の $-4^{\circ}\text{C}$ 以下を条件とすると、空振り率 87%と高く、3 事例捕捉できない。また、調査期間の平均が $-6.3^{\circ}\text{C}$ と低い。大雨発生前後の変化も乏しく、大雨発生の条件には適さない。

500mEPT は、前調査より高い 350K でも条件として有効である。

FLWV は、前調査の  $200\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  では捕捉できない事例が多い。大雨発生前後の変化に条件としての有効性があるので、調査期間の平均を考慮すると、 $140\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  が条件として妥当である。ただし、3 事例捕捉できない。

dLFC は、前調査どおり 700m が妥当である。

EL は、前調査どおり 12km で妥当と考えるが、1 事例捕捉できない。

500mWS は大雨を東部のみ(阪神と北播丹波)とそれ以外で区別すると、東部の大雨は、500m 風向が  $180\sim 220$  度、700hPa 風向が  $210\sim 255$  度、500mWS が 1 事例を除いて 10m/s 前後に集中する結果となった(層別化等に向けた参考として記述しておく)。

TPW は、大雨が全て捕捉できる  $58\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}(\text{mm})$  が妥当である。空振り率が 52%と比較的低い。

700hPaVOR は、適中率や全調査期間の最大値の平均が  $127 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$  であることを考慮し、 $100 \times 10^{-6}\text{s}^{-1}$  が妥当である。2 事例捕捉できないが、空振り率が 50%と比較的低い。

## 2.5 大雨発生の必要条件の妥当性の確認

TPW, 700hPaVOR データが存在する 2011 年以降の全 115 事例において中層の乾燥域以外の条件を適用した場合の成績を第 3 表に示す。本来、必要条件は大雨発生時に最低限満たすべき条件として、見逃しゼロが好ましい。第 2 表に各要素の大雨事例の最小値や標準偏差などを併記し、参考とする。

## 3. 平成 24 年 7 月 6 日の播磨北西部の大雨

### 3.1 大雨の概要と大雨発生の必要条件

6 日 09 時に華北から近畿地方にかけて梅雨前線がのびていた(第 4 図)。500hPa では黄海付近にトラフがあつて、西日本は西南西流場、 $-7\sim -4^{\circ}\text{C}$ の寒気に覆われていた(図略)。日本の南海上には高気圧があつて、その西側縁辺を回る下層暖湿気が西日本に流れ込みやすく、850hPa では中国大陸から紀伊半島にかけて EPT342K 以上の領域が

広がっていた(図略). 500m 高度面では西南西～南西風が卓越し, 18時に兵庫県南西部から南西に広がる  $250\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  以上のFLWV域(第5図)が, 時間経過とともに広がり, 19時に兵庫県南西部で  $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  以上となった. 500mEPTは350K以上の領域に覆われ, ELは10kmで大気の状態は不安定であった(図略).

15時頃に島根～広島県境で発生したレーダーエコーが東進し, 19～20時頃に岡山～兵庫県境に達した(第6図). レーダーエコーのCAPPI断面から対流雲の発達は19～20時にあったとみられる(図略). この対流雲により21時頃までの1時間に播磨北西部で60mmに達する非常に激しい雨を観測した.

本事例では, 兵庫県南部の大雨発生の必要条件は満たされており, 必要条件の妥当性が確認できた(図略).

### 3.2 シアーライン通過と収束・上昇流の強化

ウィンドプロファイラ観測から, 18～21時に中国地方から近畿地方にかけてシアーラインが通過していたことがわかる(図略). 毎時大気解析やMSM予想値を参考にすると, シアーラインが宍粟市付近を通過したのは20時頃で, 直前の19～20時にシアーラインに沿って600hPa以下の各層で収束が強まっていた. また, アメダス風が19時頃から中国山地の南斜面で西北西に変わり, 地上風の収束も明瞭となっていた(図略). 地上～600hPaの収束と上昇流の強まりが対流雲の発達に寄与したと推察する.

毎時大気解析925hPaの風では, 広島県を吹く南西風が岡山県で西風となり, 兵庫県で西北西風となって播磨北西部での収束を強めているように見える. 中国山地を越えられずに風向が変化したと推測するが, この検証には至らなかった(第7図).

### 3.3 地形の影響

上昇流強化の背景には, 中国山地に吹き込む気塊が, 地形の影響で強制的に持ち上げられやすい状況だったことが考えられる. 19時頃の850hPa面では, 中国山地に向かって南西風が急速に弱まっていた(図略). 山地の南側でレーダーエコーが発生していたことやdLFCが200～400mと低かったことも考慮すると, 中国山地南側で上昇流が誘起され, 自由対流高度にまで達しやすいう状態であった(図略).

### 3.4 気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による検討

19～20時の収束の強まりと地形の影響及び暖湿気塊の流入について, JMA-NHMを用いて検討した. 7月6日15時を初期時刻として格子間隔5kmで計算し, そのFT=3結果を元に格子間隔2kmで計算した(以下, 5kmモデル, 2kmモデルという).

#### 3.4.1 19～20時の収束の解析

播磨北西部の強雨域は, 東西方向に細長く広がる形状がどうか再現されたが, 19～20時の中国山地南斜面の西北西～北西風は再現されず, 収束の強まりの解析には至らなかった(第8図).

#### 3.4.2 地形変化実験

大雨発生域の地形が, 気塊の持ち上げに寄与する程度を見積もるために, モデルの地形を変えて実験を行った. 兵庫県西部付近の標高300mよりも高い部分を半分に低くして計算した.

900hPa以下の下層で地形変化前に比べて風が10～20kt強まった. 標高を低くした領域の下流で下層風が強まり, 収束域が発散域に変わった. 同時に地形変化前に表現されていた20時と21時の強雨域は消滅した(第8図). 強雨域が形成された原因の一つに地形の影響による気塊の強制上昇があったものと考えられる.

#### 3.4.3 流跡線解析による暖湿気塊の流入経路

強雨域から南側にかけて南北方向にトレーサーを2km間隔で20地点に置き, 21時から19時まで遡る後方流跡線解析を行った.

最下層の高度500mに設置した解析では, 南西と南南西の2方向から強雨域に流れ込む様子がみられ, 19時に

200～300mにあった2つの気塊が、21時にかけて収束しながら500mまで上昇する様子が確認できた(図略)。

### 3.5 大雨発生の十分条件

第9図に大雨の概念図を示した。中層トラフとシアーラインの接近に伴って、地上～600hPaで収束が強まり、暖湿気塊を持ち上げる上昇流を強化していた。また、南西風がもたらす暖湿気塊の地形の影響による強制上昇が大雨を発生させる背景にあった。

## 4. 平成25年8月25日の阪神の大雨

### 4.1 大雨の概要

8月25日9時、日本海に解析された停滞前線が南下傾向にあった(第10図)。前線の南下時に阪神に強い対流雲がかかり、六甲山南側の沿岸部で10時頃に大雨が観測された。

### 4.2 レーダーエコーの一体化

10分ごとのレーダーエコーを見ると、六甲山南側で停滞しているエコーと北西から南東に進んで来て合流するエコーとがみられる(第11図)。合流すると一体となって、エコー強度が強まり、雲頂高度も8000mまで高まっていた。

### 4.3 シアーライン通過とメソ低気圧

ウィンドプロファイラによれば1500～3000mの面でシアーラインの東進が明瞭で、山陰では6時頃から9時頃にかけて風向が西から北西に変化し、さらに12時にかけて、高松や美浜でも北西に変化していたことから、この間に兵庫県を通過していたと考えられる(第12図)。

また、アメダスにより地上風の動向をみると、シアーラインに対応して6～12時にかけてメソ低気圧が中国地方から近畿地方を東進していたことが解析された(第13図)。メソ低気圧の接近で南西風が強まり、兵庫県の瀬戸内海沿岸では、メソ解析値950hPaでEPTや混合比が高く、下層の水蒸気量が多くなっていた。TPWも8～9時にかけて大きく、60～70kg・m<sup>-2</sup>(mm)であった(図略)。

### 4.4 大気中層の乾燥域

メソ解析値による相当温位の断面から、6時頃に900～550hPaに乾燥した層が阪神付近にあることが解析された(図略)。700hPaの湿度分布によると、紀伊半島から京都府南部や阪神までの広がりがあったとみられ、潮岬の9時のエマグラムにみられる800～700hPa付近の乾燥した層がこれを裏付けている(図略)。第14図の9時の断面図でも、青色の層がみられている。中層では9時頃まで下層からの暖湿気の供給が抑えられ、対流雲の発達抑制されていたものと思われる。

乾燥した層は、9時には東に移動して、阪神付近の相当温位の高い気塊が持ち上がった。一方、500～600hPa付近のショートトラフは下層に先行して東に抜けているが、700hPa以下はシアーライン前面で相当温位が高く、しかも上方に持ち上がった領域が西から進んできていた。

12時にはシアーラインは兵庫県を通過し、後面には、地上から中層まで相当温位の低い気塊が流入してきていた(図略)。

9～11時に乾燥域が西から接近してきて、シアー前面の背の高い湿潤域が重なってきたことがわかる(第14図)。一方で、乾燥域の下に抑えられていた湿潤域は、そのまま留まっていた。地上付近で暖湿気の流入が続いたことで、同じ場所で相当温位の高い状態が持続していたものと考えられる。

### 4.5 JMA-NHMによる水蒸気流入経路の確認

平成24年7月6日の事例と同様に、JMA-NHMによる水蒸気流入経路を探った。実況に近い降水域分布が再現で

きた(図略). 大雨時の950hPa相当温位分布を確認すると, 播磨灘から阪神沿岸へ高相当温位の流れを確認することができた(第15図).

#### 4.6 大雨の終息

六甲山付近で続いていた背の低い雨雲による降水域は, 東進してきたメソ低気圧に伴う降水域と一体となって東に移動した. メソ低気圧の通過後, 後面には層の厚い低相当温位域が流入し, 安定化することによって大雨は終息した(図略).

#### 4.7 六甲山南側の大雨発生の条件

兵庫県南部の大雨発生の必要条件は満たされ, 必要条件の妥当性が確認できた. メソ低気圧の影響で低層に南よりの風が強まり, 強い水蒸気フラックスがあった. 地形の影響による強制上昇によって降水をもたらしていたが, 上空に乾燥した気塊による安定層があって対流雲の発達を抑えられていた. 下層シアラインが接近し, 前線を低気圧が東進した. 低気圧周辺の対流雲は, 阪神沿岸部で下層の対流雲と一体となって, さらに発達し, 大雨が発生した. 大雨の概念図を第16図に示した. 地形の影響による強制上昇, シアラインの接近を大雨発生の十分条件として整理する.

### 5. 平成26年8月17日未明に北播丹波に形成された線状降水帯による大雨

#### 5.1 大雨の概要

平成26年8月17日1時頃から3時頃にかけては, 丹波市を中心に猛烈な雨となった(17日6時までの24時間解析雨量は最大511mm).

#### 5.2 総観場の特徴

16日21時の地上天気図では, 日本のはるか東海上から西日本を通過して, 東シナ海まで停滞前線が解析されていた(第17図). 500hPaの高層天気図では16日21時に華中にトラフが解析され, 西日本は西南西流場であった. 850hPaでは前線の南側で南西風, 北側で北東風が卓越していた(図略).

#### 5.3 各種指数値からみた大気の安定度

兵庫県南部で大雨が発生する必要条件を17日3時のメソ解析値を用いて確認すると, 必要条件をいずれも満たしており, 条件の妥当性が確認された. 大気は不安定な状態であった(図略).

TPWは停滞前線近傍で値が大きく, 21時には $67\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}(\text{mm})$ 以上であった. また, FLWが $240\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ もあったことを考えると, 大雨をもたらすのに十分な量の水蒸気が内陸まで入り込んでいたことがわかる(図略).

#### 5.4 中層の乾燥域と風

17日0時の衛星赤外面像によると, 西日本から北陸沿岸を通過して東北日本海側にかけて明域があって, 停滞前線近傍の雲の広がりが見られる(第18図左). 一方で, 四国沖から関東の南海上には, 広く暗域が見られ, 各層乾燥していた.

潮岬の16日21時の高層気象観測では, 750hPa付近から上方に相対湿度70%以下, 500hPaで20%程度に乾燥した気層が観測されていた(図略).

メソ解析値による17日0時の500hPa相対湿度と風の分布から, 中国・四国・近畿地方には南～南西風により, 四国沖から乾燥した気塊が継続的に流入していたことがわかる(第18図右). 停滞前線近傍で中層の相対湿度の値は大きく, 湿潤な状態である一方, 17日0時から3時にかけては北播丹波上空に相対湿度が50%以下の乾燥した空気塊の進入が見られる(第19図).

#### 5.5 対流セルの移動と線状降水帯の形成

北播丹波に猛烈な雨をもたらした線状降水帯は南西から北東の走向に、幅 10km、長さ 50km の構造を維持し、17 日 1~4 時頃にほぼ同じ位置に停滞した(第 20 図)。2 時 10 分に丹波市の南西端で発生した対流セルは、時速 40km 弱で北東に進み、2 時 50 分には丹波市の北東端まで移動した。対流セルは次々に発生し、南西-北東の走向(線状化した降水エコーの長軸方向)に進んでいた。降水エコー断面から降水エコー頂高度をみると、積乱雲が発達しながら進み、府県境で最盛期であったことがわかる。

### 5.6 アメダスとメソ解析値による前線解析

17 日 2 時には、北播丹波から播磨南西部にかけての 25°C の地上等温線付近で温度傾度が大きかった(第 21 図)。25°C の等温線の北側では北よりの風、南側では南よりの風が卓越しており、25°C 線に沿って、南西-北東の走向をもった前線があったと考えられる。アメダスの友ヶ島では 12.6m/s のやや強い南風、三木でも 5.5m/s と平年値(8 月 2.5m/s)の 2 倍以上の南風であった。前線面に向かって南から湿った空気が流入していたと推測される。

メソ解析による 950hPa の相当温位と風の分布を見ると、丹波市から佐用町にかけて等相当温位線の集中帯がみられ、その南側は南風であった(第 22 図)。太平洋高気圧縁辺を流れる南西風が四国南東部を回り込み、紀伊水道から兵庫県内陸にかけて入り込んでいた。この南風によって 355K 以上の高相当温位の気塊が丹波市付近まで流入していた。一方、集中帯の北側は南側に比べて低相当温位で、東よりの風が吹いていた。これらのことから、丹波市から佐用町にかけて前線が存在していたと考えられ、アメダスによる前線解析とも合致する。

### 5.7 前線周辺の上昇域

前線に直交する方向で相当温位と上昇流の断面図を切り出すと、950hPa 付近に 355K 以上の高相当温位の気塊が流入し、前線のすぐ南側で上昇流が大きい(図略)。前線北側の低相当温位の空気塊の上に乗上げたことで、下層の空気が自由対流高度まで持ち上げられ、上層まで上昇流が発生したと考えられる。

また、上昇流域は加古川沿いにあたり、北側に 600~800m の山が存在する。北播丹波付近の自由対流高度は 700~800m 程度であったことから、北側の山地による強制上昇の効果が効いていたと考えられる(図略)。

### 5.8 考察と大雨発生の十分条件

北播丹波周辺の中層は、すぐに飽和できる程度に湿潤である一方、南方に乾燥気塊があつて、乾燥気塊が継続的に流入する北端に位置していた。乾燥域の北端では、積乱雲の雲粒の一部が蒸発して周囲の気温上昇を抑制したため、不安定な状況が持続し、積乱雲本体の維持・発達に寄与したと考えられる。

発達した積乱雲は、0 時から 3 時にかけて強まっていた中層の南西風により北東方向へ移動した。中層の風向と停滞前線の走向が一致したことで、積乱雲は常に 950hPa の上昇流域の上を移動することになった。上昇流域は発達を助長し、移動方向に線状化したことで大雨が持続したと考えられる。

## 6. まとめ

必要条件の確認に用いる格子点値は、狭い領域や特定箇所の値を使うと時間変化や場所による違いが大きく、利用や検証には支障のあることがわかった。このため、統計解析に用いる気象要素を抽出する格子領域は、広めに設定し、領域内の最大値または最小値を利用した。

兵庫県南部(淡路島を除く)の大雨発生の必要条件の妥当性を 2009~2014 年のメソ解析値により検証した結果を第 2 表にまとめた。

下層の暖湿気塊を自由対流高度まで持ち上げる機構に着目して 3 つの大雨事例を解析した。いずれも第 2 表の条件を満たしており、条件が妥当であることを裏付けていた。

平成 24 年 7 月 6 日の播磨北西部で発生した大雨では、地形の影響による強制上昇のある場を背景として、トラ

フの接近に伴う中層の収束の強まりが積乱雲の発達に寄与していた。

平成 25 年 8 月 25 日の阪神で発生した大雨では、六甲山地形の影響による暖湿気塊の強制上昇とシアーラインに対応するメソ低気圧の接近が低気圧東側の水蒸気フラックスを強め、下層の対流雲と一体化して大雨をもたらした。

平成 26 年 8 月 17 日の北播丹波の大雨では停滞前線面の収束と地形の影響による強制上昇により発達した積乱雲が、下層の上昇流域に沿って移動したため、移動方向に線状化して大雨となった。また、この事例では中層の乾燥域の北端にあたり、不安定な状況を持続させる要因となっていた。

本研究では、地上の滞留寒気による下層の暖湿気塊の持ち上げを大雨発生の条件とする事例はなかったが、平成 23～24 年度の地方共同研究の結果を踏まえて、第 4 表のとおり十分条件をまとめた(第 4 表)。

### 参考文献

- 東直樹, 2001: 解析雨量から見た兵庫県南部の大雨特性. 平成 13 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 東直樹, 2002: 解析雨量から見た兵庫県南部の大雨特性(その 2). 平成 14 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 雛川ほか, 2001: 1999 年 9 月 7 日兵庫県南東部(柏原付近)の大雨について. 平成 13 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 久重ほか, 2012: 大雨に必要な条件の抽出—線状メソ対流系—. 平成 24 年度地方共同研究報告.
- 神野ほか, 2013: 平成 24 年 7 月 6 日に発生した兵庫県南部の大雨事例の解析. 気象学会近畿地区例会.
- 神戸地方气象台, 2013: 大雨発生の必要条件の妥当性の確認と十分条件の抽出～中間報告～. 平成 25 年度地方共同研究報告.
- 今野ほか, 2013: 大阪府における大雨発生条件の検討. 平成 25 年度大阪管区気象研究会誌(近畿地区).
- 河野ほか, 2014: 平成 24 年 7 月 6 日に発生した兵庫県南部の大雨事例の解析～JMANHM を用いた地形変化実験及び流跡線解析～. 平成 26 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 栗原ほか, 2014: 統計的手法による兵庫県南部の大雨発生の条件. 平成 26 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 長崎ほか, 2012: 大雨発生の必要条件の抽出—線状降水帯—. 平成 24 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 長崎ほか, 2013: 平成 24 年 7 月 6 日に発生した兵庫県南部の大雨事例の解析. 平成 25 年度大阪管区気象研究会誌(兵庫県).
- 矢尾ほか, 2011: 2011 年 8 月 23 日の京都府北部の大雨について. 平成 23 年度大阪管区気象研究会誌(京都府).

第1表: 線状降水帯を形成し大雨に至るための必要条件  
平成23~24年度の地方共同研究「集中豪雨発生の必要条件の抽出とその妥当性」の報告より

要素	条件	
T 500hPa	-4℃以下	環境場としては大雨のポテンシャルがある場合でも, 実際到大雨が発生するためには, 中層の乾燥域の存在が対流不安定を強化し, 大雨の発生に寄与していた.
EPT 500m	345K以上	
FLVW 500m	200g・m <sup>2</sup> ・s <sup>-1</sup> 以上	
dLFC 500m	700m以下	より局地的な条件として, 線状降水帯の発生・持続には, 六甲山系の地形による強制上昇と共に, 地上風の収束と, 地表付近の冷気塊への乗り上げによる上昇流が必要であった.
EL 500m	12000m以上	
中層の乾燥域	あり	
地上の滞留寒気	あり	
内陸の地上風の収束	あり	

第2表: 大雨発生の必要条件 要素と条件の他, 条件に当てはまらない大雨事例, 大雨事例の最小値, 全調査期間の最大値の平均と標準偏差, 空振り率を示す. \*TPWと700hPaVORは2011年以降のデータから求めた. dLFCとELの標準偏差は大雨事例から求めた.

必要条件 (AND条件)					
要素	条件	条件に当てはまらない大雨事例	大雨事例最小値	全調査期間の平均 (標準偏差)	空振り率 (%)
500m EPT	≧ 350K	--	351K	346K (11)	86
500m dLFC	≦ 700m	--	604m	728m (180*)	78
500m EL	≧ 12km	2010.07.13	9567m	9544m (1092*)	74
500m FLVW	≧ 140g/m <sup>2</sup> s	2011.07.28, 2011.08.26, 2013.07.22	83g/m <sup>2</sup> s	136g/m <sup>2</sup> s (76)	70
TPW *	≧ 58kg/m <sup>2</sup>	--	58.9kg/m <sup>2</sup>	50kg/m <sup>2</sup> (11)	52
700hPa VOR *	≧ 100×10 <sup>-6</sup> /s	2011.08.26, 2013.07.22	70×10 <sup>-6</sup> /s	127×10 <sup>-6</sup> /s (128)	50
中層の乾燥域	接近あり				
条件から除外					
500hPa T	≦ -4℃	2012.07.12, 2013.07.30, 2013.08.21	-2.1℃	-6.4℃ (2.9)	87

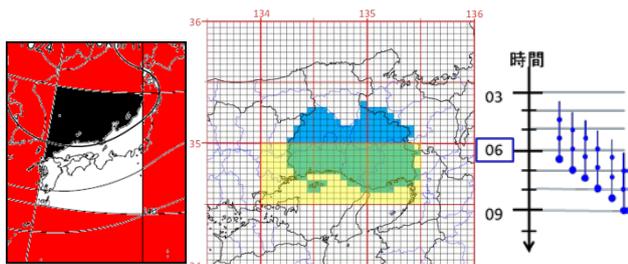
第3表: 2011年以降の事例のうち, 中層の乾燥域以外の必要条件を満たすものを「条件一致」とした場合の成績表

		実況 (R3≧80ミリ)		
		あり	なし	合計
条件一致	あり	16	23	39
	なし	3	73	76
	合計	19	96	115

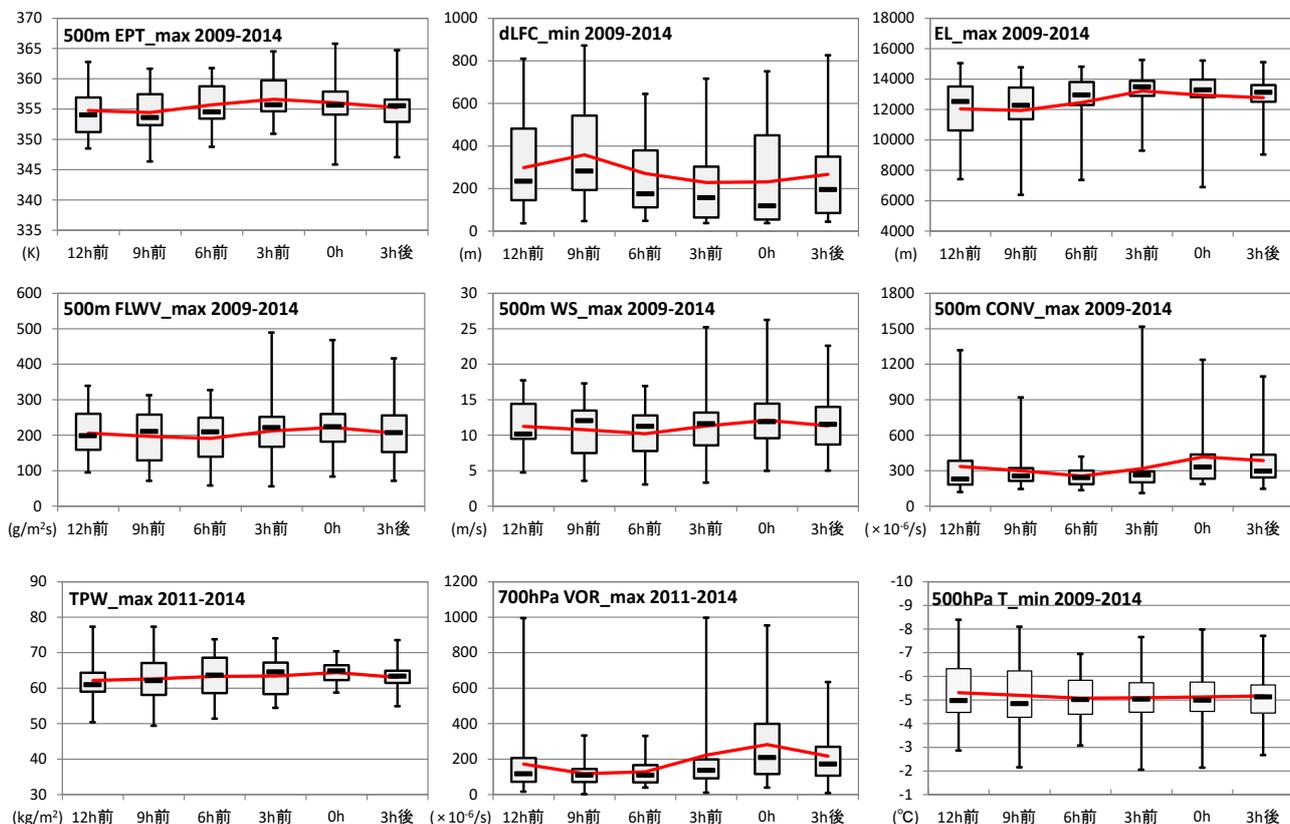
第4表: 兵庫県南部(淡路島を除く)で大雨が発生するための十分条件

十分条件

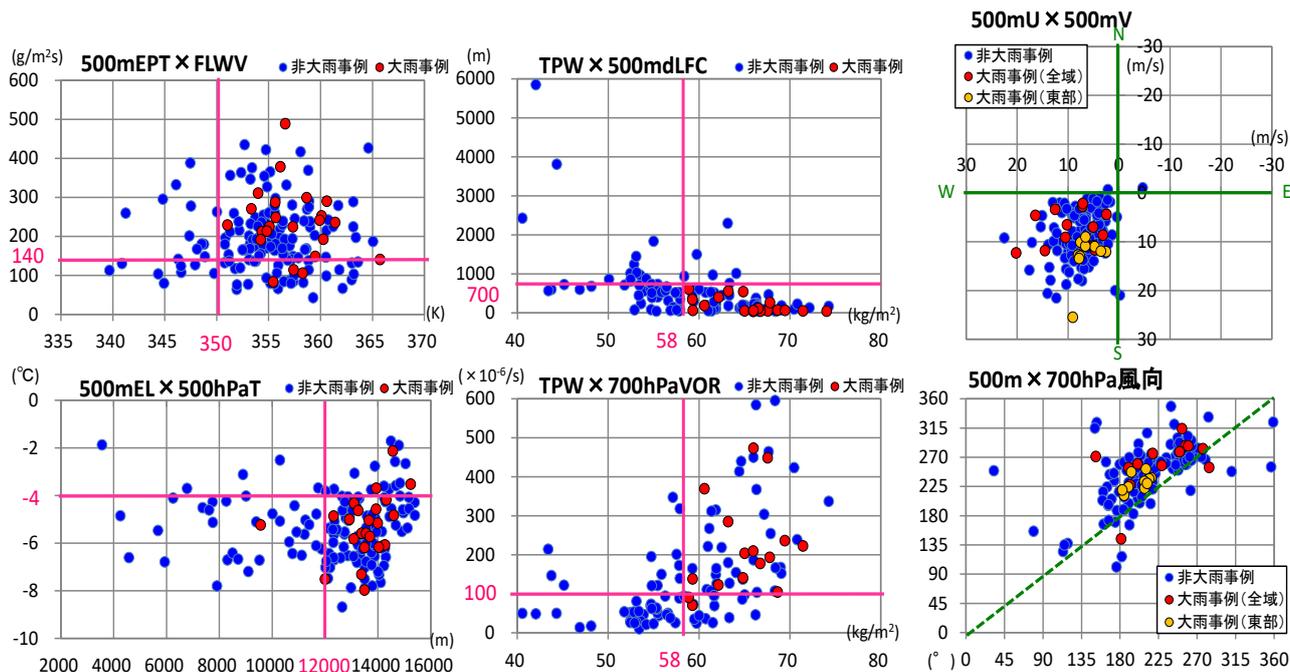
- ・地上に滞留寒気が存在
- ・内陸の地上風の収束
- ・地形の影響による上昇流
- ・シアライン接近による収束の強化
- ・停滞前線に平行な中層の風



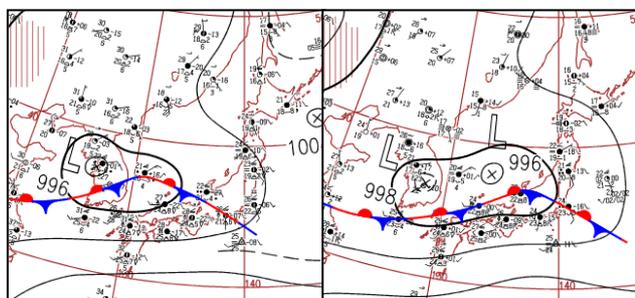
第1図: (左)事例抽出に用いた範囲。  
 (中央)青色格子は解析雨量の計算に用いた範囲。黄色格子はメソ解析データの統計処理に用いた範囲。  
 (右)R3の求め方。例えば06時のR3は、  
 03時30分~06時30分, 04時00分~07時00分,  
 04時30分~07時30分, 05時00分~08時00分,  
 05時30分~08時30分, 06時00分~09時00分の  
 6つのR3のうちの最大値とする。



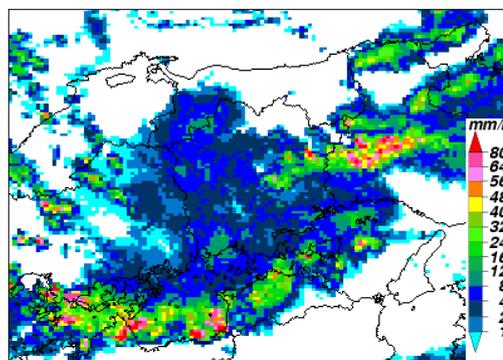
第2図: 大雨事例を対象とした、500mEPT, dLFC, EL, FLWV, 500mWS, 500mCONV, TPW, 700hPaVOR, 500hPaTにおける、大雨発生12時間前から3時間後までの時間変化。箱ひげ図の箱内短線が中央値、箱の上端下端が4分位値、線の上端・下端が最大値・最小値を示す。赤色実線は平均値を示す。



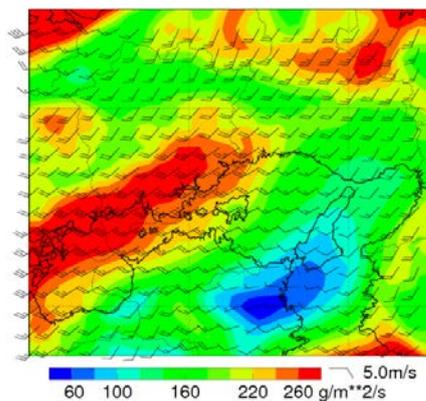
第3図: 大雨・非大雨事例で色分けした、(左・中)500mEPTとFLWV, TPWとdLFC, ELと500hPaT, TPWと700hPaVORの散布図。桃色線と値で閾値を示す。(右)500mUと500mV, 500m風向と700hPa風向の散布図。緑色破線で同一風向を示す。TPWと700hPaVORに関する散布図については、2011年以降のデータを用いた。



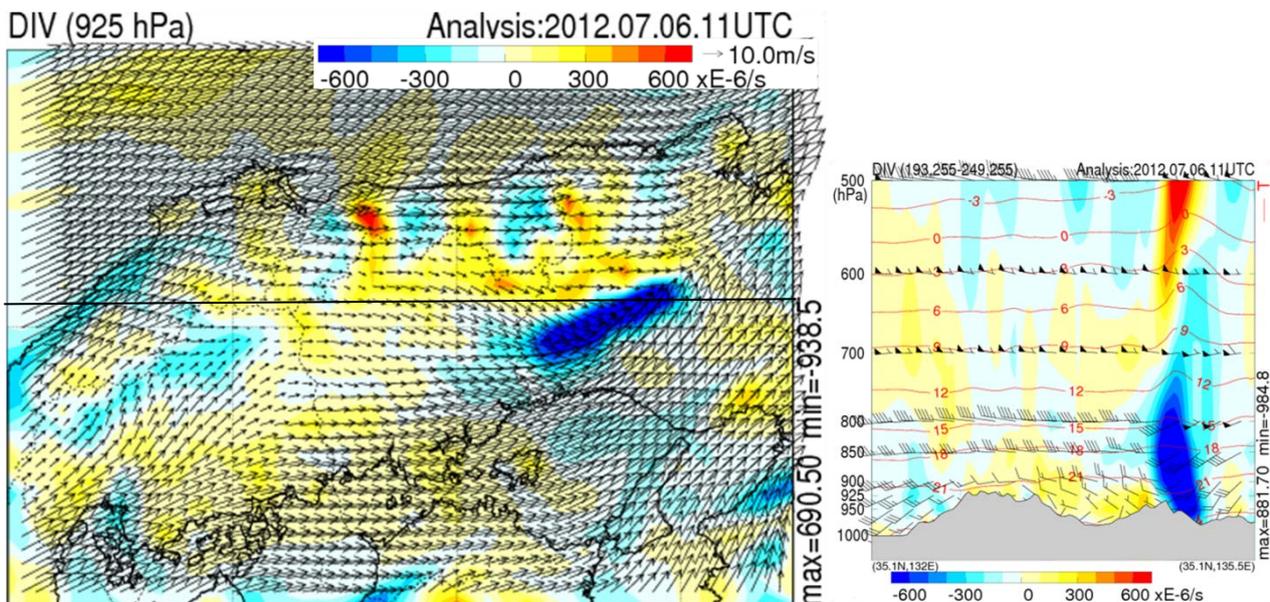
第4図: 7月6日の地上天気図(左: 15時, 右: 21時)。



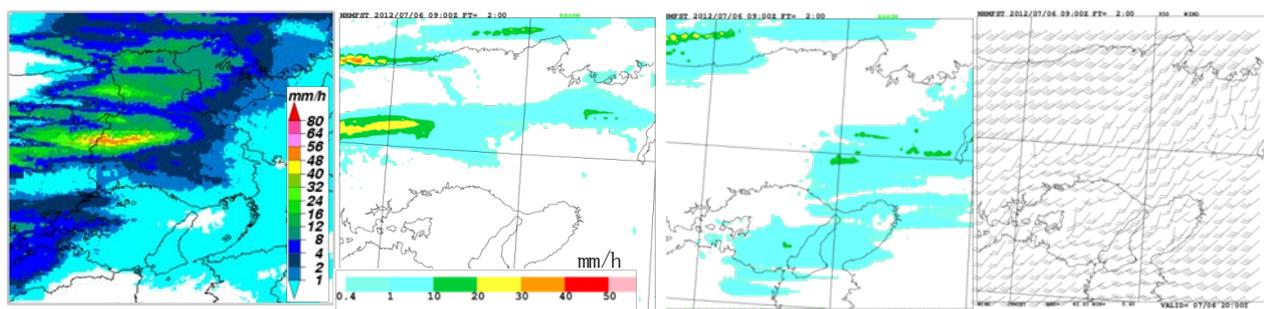
第6図: レーダーエコー(20時)。停滞前線は山陰沖に解析される。



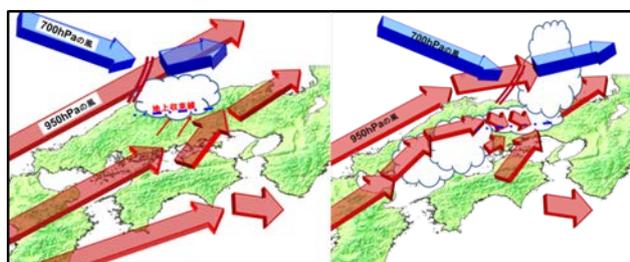
第5図: メソ解析による播磨灘周辺の水蒸気フラックス(高度500m: H24.7.6 18時)。



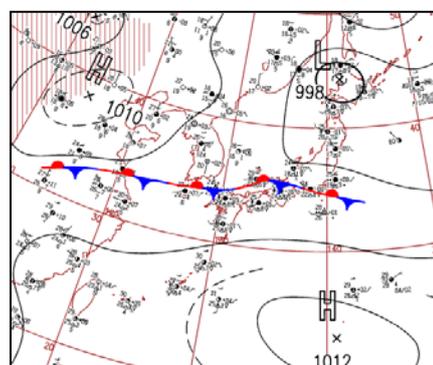
第7図: 毎時大気解析による7月6日20時の925hPaの発散・収束と風の分布。  
右の図は、分布图中的の黒線に沿った東西断面で赤線は温度(°C)、青色は収束に相当する。



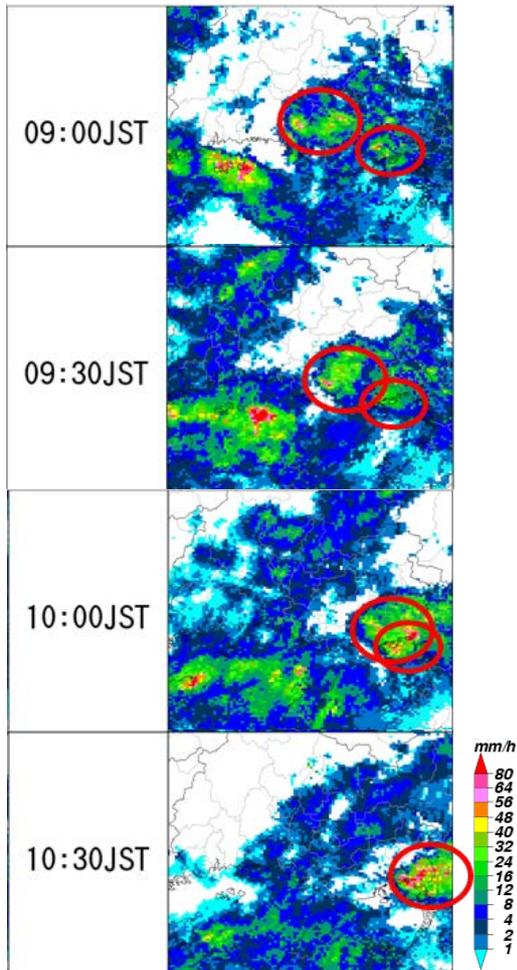
第8図: 左から、7月6日20時の解析雨量、2kmモデル予想雨量、地形変化後の予想雨量、同950hPa風。



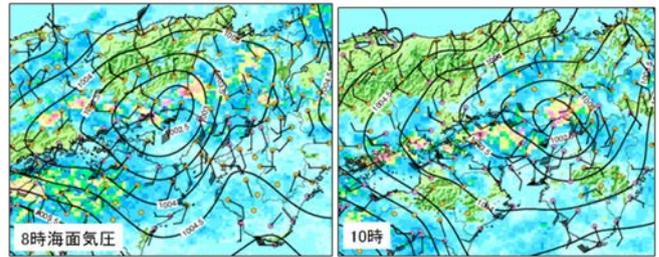
第9図: 播磨北西部の大雨(H24.7.6)の概念図。  
左は大雨発生の1~2時間前、右は大雨発生時のイメージ。地上付近から950hPa付近の収束とシアールラインの接近とそれに対応した上昇流に伴う対流雲の発達を描いた。



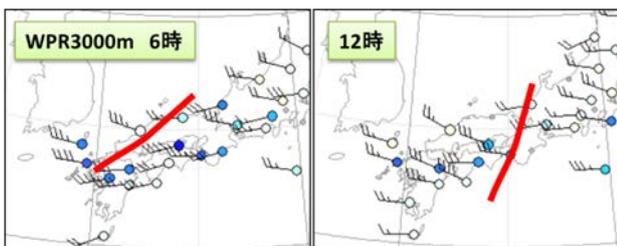
第10図: 地上天気図(平成25年8月25日9時)。



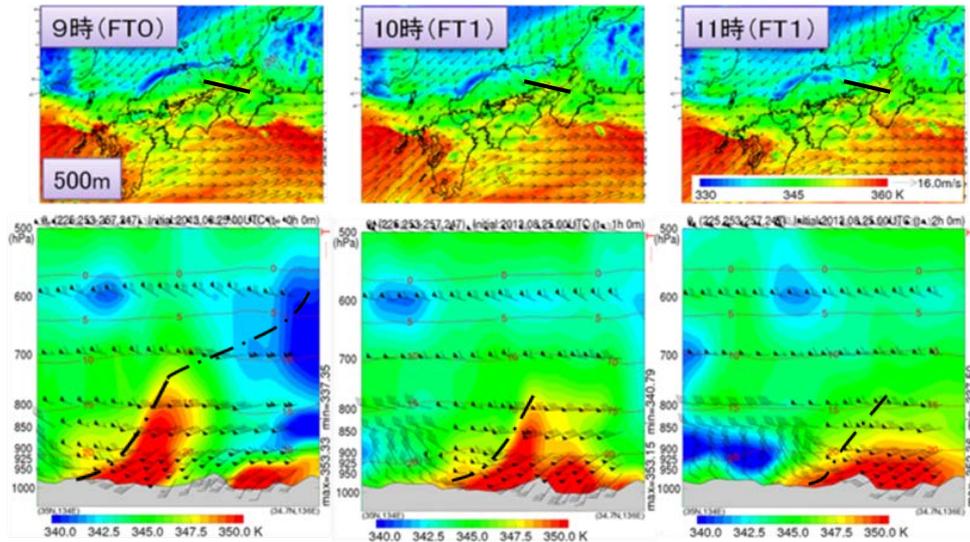
第11図: 8月25日9時~10時30分の30分おきのレーダーエコー。一体化するレーダーエコーを赤丸で囲んだ。



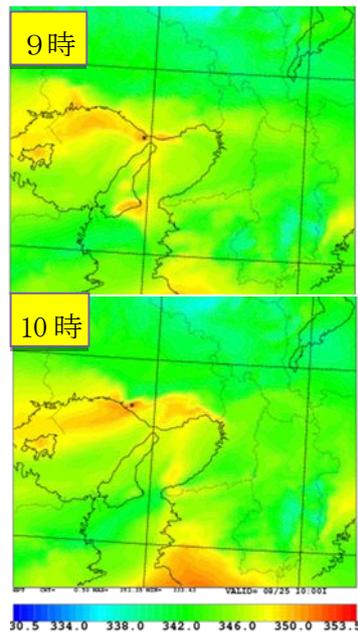
第13図: 地上観測によるメソ低気圧の移動とアメダス風とレーダーエコー強度の分布。



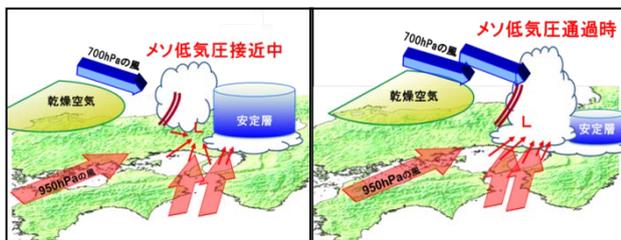
第12図: ウィンドプロファイラの観測。(3000m平面図, 図中赤線はシアアラインの移動を示す。)



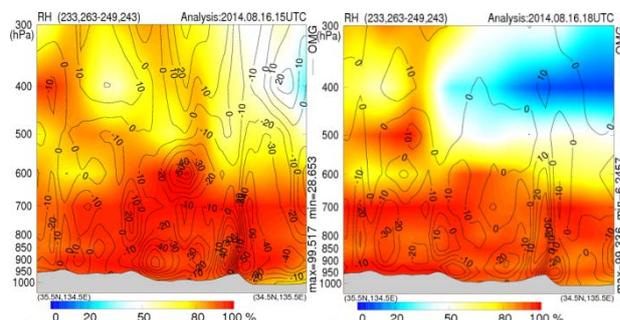
第14図: MSM 予想値(9時初期値)による相当温位の平面図(上段)と断面図(下段).  
 左から9時, 10時, 11時で断面図は, 平面図の黒実線に対応する. 下段の赤実線は温度, 黒一点鎖線は風向シアー.



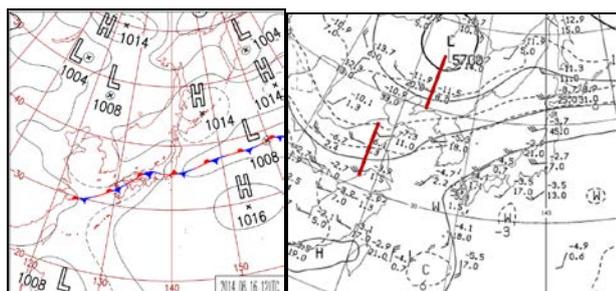
第15図: JMA-NHMによるFT=00(上)とFT=01(下)の950hPa相当温位分布.



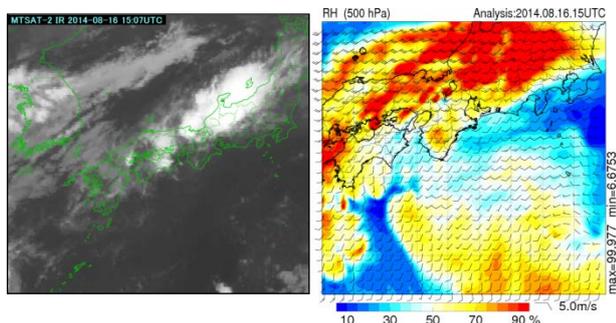
第16図：阪神の大雨(平成25年8月25日)の概念図。  
左は大雨発生の一時間前、右は大雨発生時のイメージ。安定層下で発達を抑えられた対流雲はシアーラインの接近により対流を深めて大雨が発生した。六甲山付近で発達を抑制していた安定層は東進した。



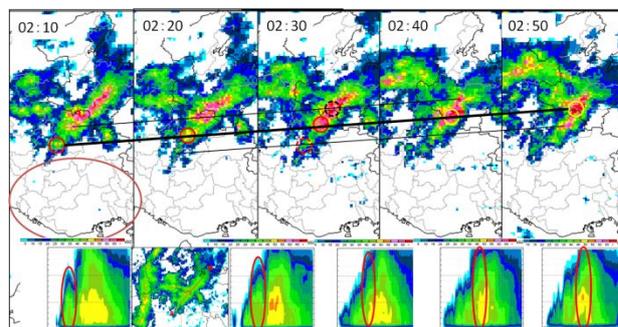
第19図：メソ解析による17日0時(左)と3時(右)の相対湿度と鉛直P速度。断面は前線にほぼ直交する方向に切っている(第22図紫破線)。



第17図：地上天気図と500hPa天気図(共に16日21時)。



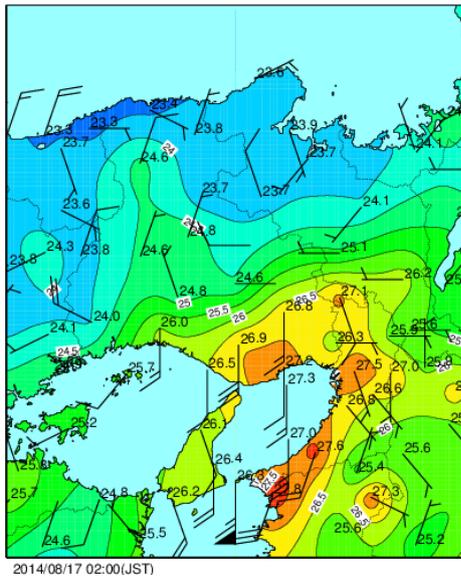
第18図：17日0時の衛星赤外画像(左)とメソ解析による紀伊半島沖の500hPa相対湿度と風(右)。



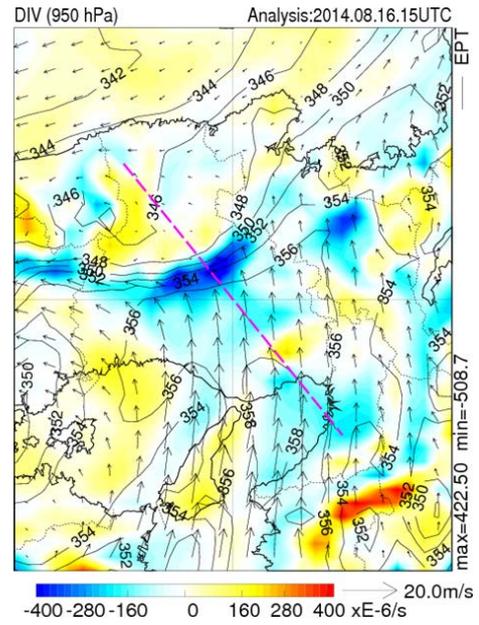
第20図：丹波市のレーダーエコー強度。

上段の3本の黒線は、それぞれ対流セルの動きを表す。上段2時30分の3つの丸印は、2時10分、30分、50分の位置であり、エコーの移動を示す。上段2時10分の楕円は、レーダーエコーの発生していない領域を示す。

下段は、レーダーエコーの線状降水帯に沿った断面。断面の楕円は上段の丸印に対応させた。



第21図: アメダスによる気温, 風の分布(17日2時).  
 気温は100mにつき-0.65°Cで高度補正している. 地形データ  
 には, USGSのGTOPO30を利用.



第22図: メソ解析による17日0時の相当温位と  
 風速. 950hPaの風と相当温位と収束. 等値線は相  
 当温位, 青い領域は収束を表す.