

2.13 愛媛県の伊予灘付近における前線南下時に発生する大雨の 必要条件の抽出・妥当性の確認と十分条件の抽出

松山地方気象台

要 旨

愛媛県では、前線南下時に3時間に100mmを超える大雨がしばしば発生する。本調査では梅雨前線南下時に伊予灘付近で発生する大雨・集中豪雨の必要条件(以下、必要条件)について抽出、その妥当性を確認し、発生要因となりうる十分条件(以下、十分条件)の抽出を試みた。

その結果、必要条件として、下層(高度500m面付近)で伊予灘付近に高暖湿気塊が存在すること等を得た。また、十分条件として、関門海峡からの西寄りの風と豊後水道から流入する南寄りの風による水平収束、及び鉛直シアが伊予灘付近で発生し、線状降水帯が形成されること等を得た。

1. はじめに

本調査では、統計解析を用いて必要条件を抽出し、その妥当性の確認を行った。また、それらの指標を基に事例解析を行い、十分条件を抽出した。

なお、本調査での大雨・集中豪雨事例とは、愛媛県の中予または東予に大雨警報が発表されており、かつ3時間100mm以上の雨(解析雨量)が降った日としている。

2. 調査諸元

2.1 使用データ

本調査の対象期間は2006年から2012年の各6月から9月で、収集したデータは、解析雨量(R3)で最大雨量が観測された時刻付近のメソ客観解析データである。

メソ客観解析データから、以下の要素を収集した。高度500m面の「水蒸気フラックス(以下、FLWV)」、「相当温位(以下、EPT)」、「自由対流高度までの距離(以下、DLFC)」、「平衡高度(以下、EL)」、「発散(以下、DIV)」、「鉛直シア(以下、VSH)」、「地上の可降水量(以下、TPW)(2011年と2012年分のみ)」、「500hPaの気温(以下、500_T)」、「700hPaの湿度(以下、700_RH)」、「850hPaと500hPaの温度差(以下、T(85-50))」である。

2.2 データの収集範囲

本調査のデータ収集範囲を第1図に示す。本調査では、主に伊予灘付近での前線南下事例を対象としているため、青色矩形内の領域からデータを収集した。

2.3 抽出事例

2006年から2012年の6月から9月に、伊予灘付近で3時間雨量が100mm以上(解析雨量:5km格子の最大値)となり、中予または東予に大雨警報(浸水害)が発表された日から、台風及び熱雷が要因である日を除いた8日を抽出事例とした(第1表)。

3. 統計解析

収集したメソ客観解析データから、2つの要素の散布図を作成し、必要条件の抽出を行った。

- ・「FLWV対EPT」(第2図)

抽出事例は、FLWV が「 $100\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\leq\text{FLWV}\leq 300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 」、EPT が「345K 以上」の領域に分布している。なお、FLWV の「 $300\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上」の領域には台風事例が集中している。FLWV の計算結果には、風速が大きく影響することが原因であると考えられる。FLWV を指標として使用する際には注意が必要である。EPT が高いこと（下層の風も考慮）は、暖湿気塊の流入を表しているため、必須の条件となる。

・「500_T 対 FLWV・EPT」（第3図）

500hPa の気温は多少ばらついているが、概ね「 $-8^{\circ}\text{C}\leq 500_T\leq -4^{\circ}\text{C}$ 」に収まる。この時期としては比較的冷たい空気が上空に存在することを示す。

・「DLFC 対 EL」（第4図）

抽出事例は、DLFC が「500m 以下」、EL は「9000m 以上」で線引きができる。暖湿気塊が低い位置から高い高度まで持ち上がり、積乱雲の発達しやすい環境場であることを示している。

・「TPW 対 FLWV・EPT・500_T」（第5図）

収集できた可降水量のデータは、2011 年と 2012 年分で、含まれる抽出事例は 1 事例のみである。そのため特徴は見出しづらく、しきい値の設定が難しい。台風事例を含む全事例で考えると、「60mm 以上」で大雨発生の指標として線引きができそうである。

・「T(85-50) 対 FLWV・EL・EPT・500_T」（第6図）

T(85-50) と各指標の分布を見ると、抽出事例は「 $22^{\circ}\text{C}\leq T(85-50)\leq 25^{\circ}\text{C}$ 」におさまっている。これは、一般的に言われる夏期の不安定性降水発生時の温度差の目安（ $24^{\circ}\text{C}\leq T(85-50)$ ）に近い。ただし、この指標は単独では使用せず、例えば 500hPa_T 等とあわせて使用することが有効であると考ええる。

4. 事例解析

抽出した大雨・集中豪雨事例について事例解析を行い、必要条件の妥当性を確認し、十分条件について考察した。中予での大雨・集中豪雨事例として、2011 年 7 月 4 日と 2010 年 7 月 12 日を事例解析の対象日とし、それぞれについて、実況解析を行った。

4.1 2011 年 7 月 4 日

山陰沿岸で停滞気味であった梅雨前線が、4 日夕方からやや南下の速度を速め、21 時から日界頃にかけて愛媛県を通過した（第7図）。この影響で、関門海峡付近にあった雨域が発達しながら東南東進し、夕方以降に愛媛県へとかかり始めた。

7 月 4 日 16 時 30 分から 23 時 30 分までの解析雨量（1 時間積算値）を 30 分毎に並べた（第8図）。梅雨前線上に線状降水帯が形成され、4 日 20 時頃から日界頃にかけて愛媛県を通過したことが分かる。松山市では解析雨量で 22 時に 1 時間降水量（以下、R1）が 64mm、3 時間降水量（以下、R3）が 128mm の大雨となった。

伊予灘・周防灘付近のアメダス観測値（風向風速・1 時間雨量）から、風の変化や降水量の推移をしてみる（第9図）。瀬戸（愛媛県）では、4 日朝から夜遅くまで強い南寄りの風が持続しており、一方、宇部・空港北町（共に山口県）では、夕方頃に南西から西への風向変化が見られ、この時間帯に前線が通過したと思われる。伊予灘付近では、4 日夕方から前線通過時の夜遅くにかけて、周防灘から伊予灘で風の水平収束（西寄りの風と南寄りの風）が強まり（図中赤枠内）、この収束域付近での上昇流の発生により積乱雲が発達し、線状降水帯が形成されたものと考えられる。

実況解析の結果、700_RH では、15 時に湿度 100%の領域が伊予灘に入りつつあり、21 時には伊予灘付近はほぼ 100%となった。さらに、山陰沿岸にトラフが解析でき、その後面には乾燥気塊が流入している。21 時の断面図で

も伊予灘付近は300hPa付近まで十分に湿っており、その北側では乾燥していることが確認できる(第10図)。

降水量の多かった時間帯に近い、4日21時の各指標の実況解析を第11図に示す。前線付近の各指標値は、「 $200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\leq\text{FLWV}$ 」, 「 $350\text{K}\leq\text{EPT}$ 」, 「 $\text{DLFC}\leq 500\text{m}$ 」, 「 $9000\text{m}\leq\text{EL}$ 」, 「 $500\text{T}\leq -4^{\circ}\text{C}$ 」, 「 $700\text{RH}\approx 100\%$ 」, 「 $60\text{mm}\leq\text{TPW}$ 」となっており、第3項で抽出した必要条件を満たしている。また、高度500m面の水平収束及び鉛直シアアの強い領域は強雨域と概ね合致することが確認できた(第12図)。

4.2 2010年7月12日

日本海にある低気圧の北東進に伴い、西日本では梅雨前線が12日朝には瀬戸内海まで南下し、その後、夜のはじめ頃まで停滞した(第13図)。

7月12日06時から12時までの解析雨量(1時間値)を30分毎に並べたものを第14図に示す。この図からは、梅雨前線に対応して12日明け方頃から線状降水帯が形成され、その中を強い雨域が東進したことが分かる。この雨域は、08時前後に伊予灘付近で弱まる傾向を見せるが、すぐに再発達し、朝にかけて中予を中心に大雨となった。この影響で、松山市で09時に解析雨量R1で57mm、R3で129mmの大雨となった。

伊予灘・周防灘付近のアメダス地点の風向風速・1時間雨量(第15図)を見ると、各地で未明から朝にかけて、一時的に北寄りの風が入るが、日中は全地点で南風が卓越している。これは、梅雨前線が伊予灘付近で停滞気味であったことを示している。

実況解析の結果、700RHは強雨域付近でほぼ100%となっており、06時には県内全域を覆った。第4.1項で説明した前事例ほど顕著ではないものの、09時には山陰沿岸に乾燥気塊が流入している(図略)。また、2011年7月4日と同様に高度500m面あるいは地上の強い収束域と鉛直シアアの領域が、強雨域とほぼ合致することを確認できた(図略)。この事例も必要条件を満たしている。

5. 必要条件についての考察

抽出した必要条件のうち、EPT・FLWV・TPWは下層暖湿の存在を示唆し、条件を満たすと伊予灘付近に暖湿気塊が流入していると考えられる。500T・T(85-50)・700RHは、大気的不安定度を示す指標であり、条件を満たすと下層暖湿気塊が鉛直方向へ持ち上がりやすい環境場であるといえる。DLFC・ELについては、積乱雲の鉛直方向への発達の度合を表し、条件を満たすと積乱雲が発達しやすい環境場であることを表す。

6. 十分条件についての考察

これらの事例解析から得られた大雨発生のための十分条件は、以下の通りである。

- ①伊予灘での西寄りと南寄りの風による水平収束が発生
- ②①で発生した上昇流により、積乱雲が発達
- ③伊予灘付近で前線上に線状降水帯が形成
- ④中層域(700hPa)の湿域の後側に比較的乾燥した空気が流入し、積乱雲の発達を強化

7. まとめ

今回抽出した大雨・集中豪雨発生のための必要条件と十分条件を、第2表に示す。

集中豪雨が発生するための必要条件と十分条件として診断的予測グループにおいては、

- ①大気下層の暖湿気塊の流入
- ②持ち上げメカニズムの存在

③大気成層の不安定

④適度な鉛直シアの存在

が議論されており、今回抽出した必要条件と十分条件もこれに準じた結果となった。

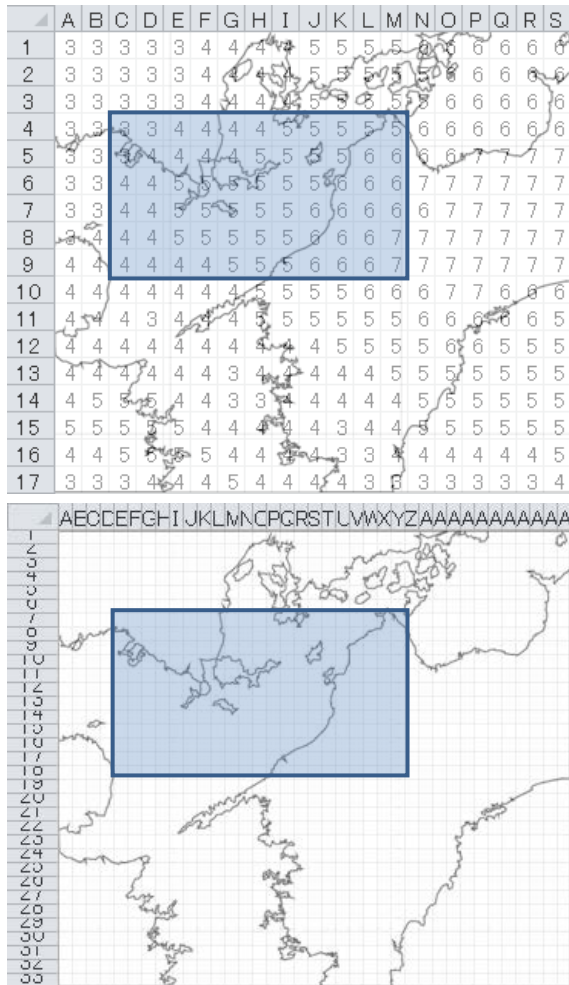
今後は、事例数を増やし、実況解析において非発生事例との比較や気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による再現・感度実験を行い、今回抽出した必要条件と十分条件を実際の予報作業に生かすためのワークシートの作成なども考えていきたい。

第1表: 抽出事例

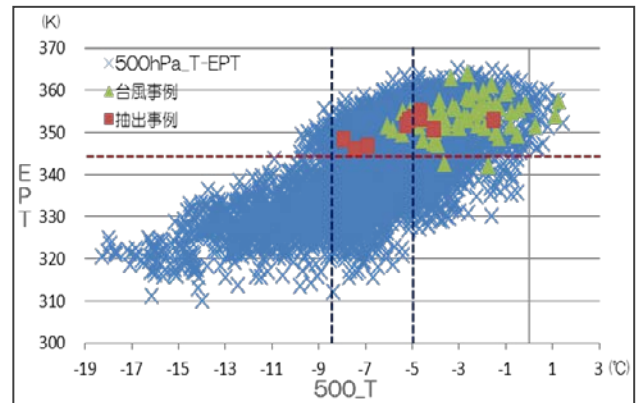
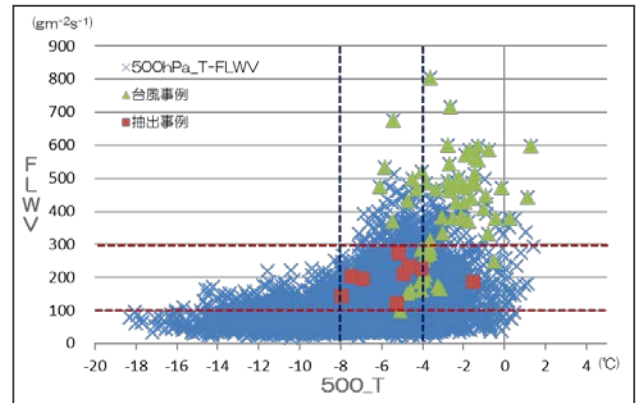
年	月 日	R1 (mm)	時 刻	市 町	R3 (mm)	時 刻	市 町	警報発表 対象区域
2006年	7月19日	52	10:30	大洲	117	12:00	大洲	南予北部
2007年	なし							—
2008年	8月29-30日	85	23:00/29 00:00/30	西条市 新居浜市	149	22:30/29	西条市	東予西部
	9月21日	90	10:30	今治市	110	10:30 11:30	今治市	東予西部
2009年	7月21-22日	52	03:00/22	西予市	105	05:00/22	西予市	全 域
	7月25日	42	8:30	松山市(海上)	94	8:30	松山市(海上)	中・東予
	7月26日	61	8:30	砥部町	103	9:00	伊予市	中・東予
2010年	7月12日	57	9:00	松山市 東温市	129	9:00	松山市	中・東予
2011年	7月4日	64	22:00	松山市	128	22:00	松山市	中・東予
2012年	なし							—

第2表: 抽出した必要条件と十分条件

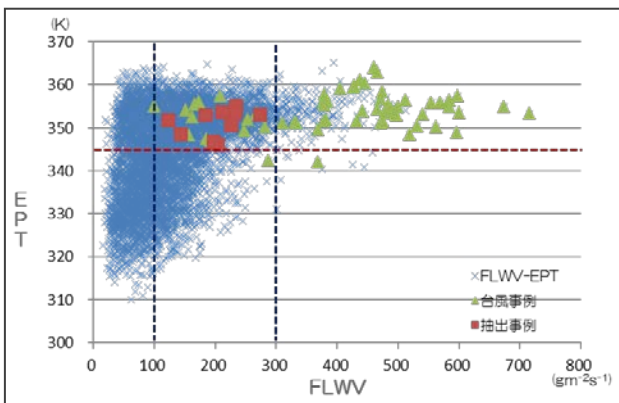
梅雨前線南下時に伊予灘付近で発生する大雨	
必 要 条 件	十 分 条 件
EPT (相当温位) ・ $345K \leq EPT$ TPW (可降水量) ・ $60\text{kgm}^{-2} \leq TPW \Rightarrow$ 高暖湿気塊の存在	➤ 伊予灘での鉛直シアーの存在 ➤ 伊予灘での水平収束 ($Wly+Sly$) ➤ 伊予灘 (～山口沖) 付近の収束点を基点に形成される線状降水帯 ➤ 中層域 (700～600hPa) への比較的乾燥した空気の流入
DLFC (自由対流高度までの距離) ・ $500\text{m} \geq DLFC$ $\Rightarrow$ 上昇流の発生し易さ (エコーの発達に寄与)	
EL (平衡高度) ・ $9000\text{m} \leq EL \Rightarrow$ 積乱雲の発達度合	
FLWV (水蒸気フラックス) ・ $100\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1} \leq FLWV (\leq 300\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1})$ $\Rightarrow$ 暖湿気塊の流入量	
500hPa_T (500hPaの気温) ・ $-8^\circ\text{C} \leq 500\text{hPa}_T \leq -4^\circ\text{C} \Rightarrow$ 上空の寒気	
T (85-50) (850hPaと500hPaの気温差) ・ $22^\circ\text{C} \leq T(85-50) \leq 25^\circ\text{C} \Rightarrow$ 成層不安定度	
700hPa_RH (700hPaの湿度) ・ $100\% \leq 700\text{hPa}_RH \Rightarrow$ 湿った空気の重さ	



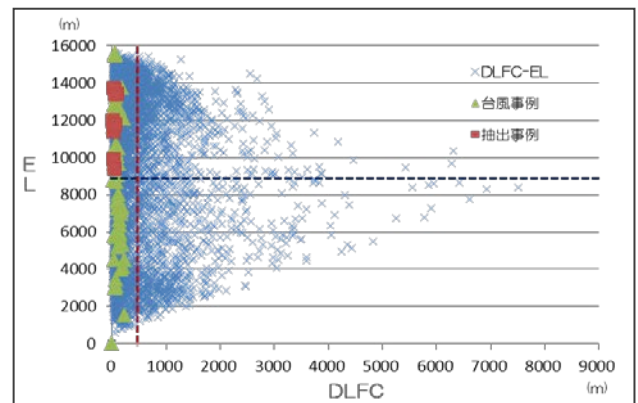
第1図: データ収集範囲. (上)2006-2008年, (下)2009-2012年.



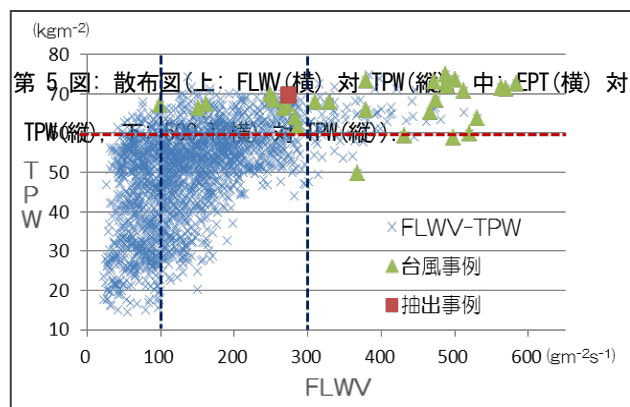
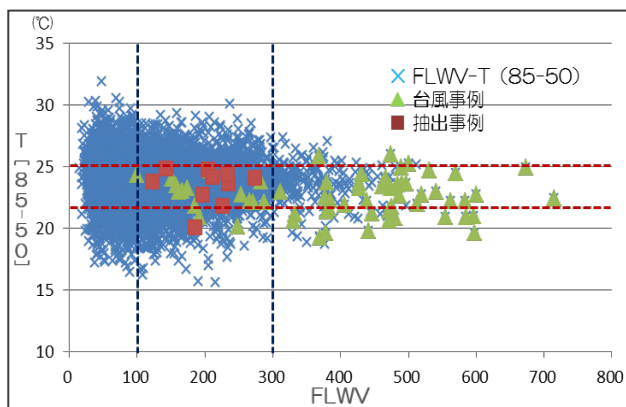
第3図: 散布図(上: 500_T(横) 対 FLW(縦), 下: 500_T(横) 対 EPT(縦)).



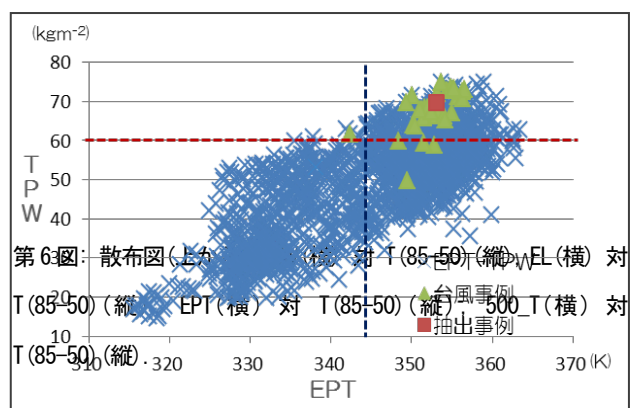
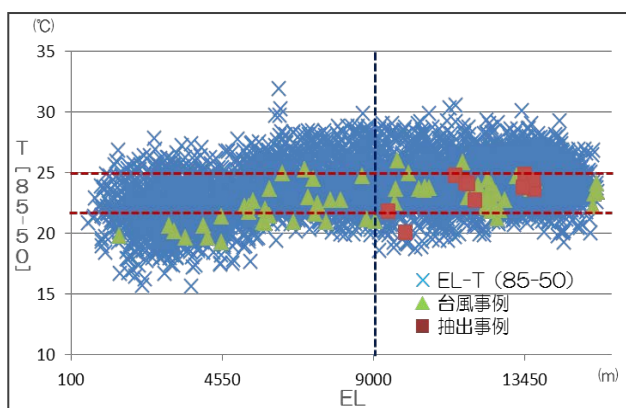
第2図: 散布図(FLW(横) 対 EPT(縦)).



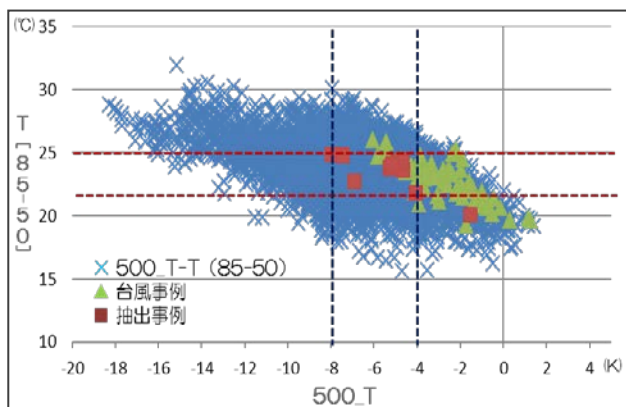
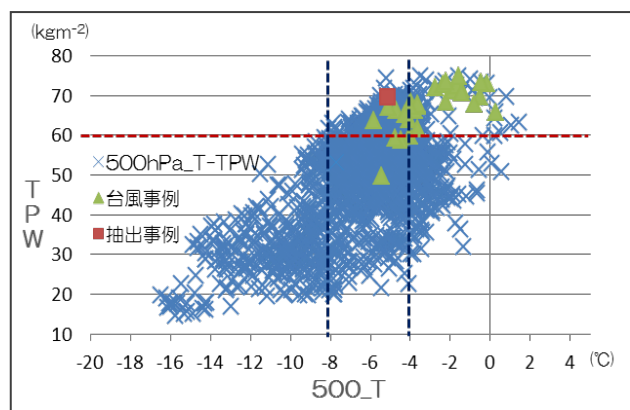
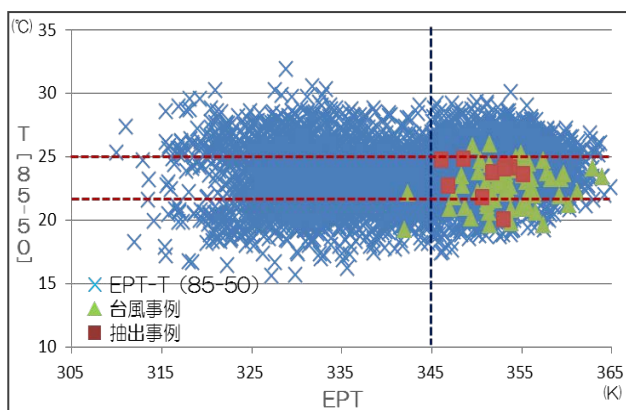
第4図: 散布図(DLFC(横) 対 EL(縦)).

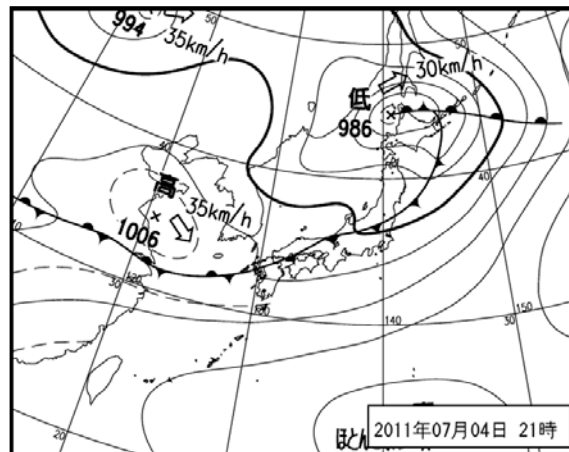
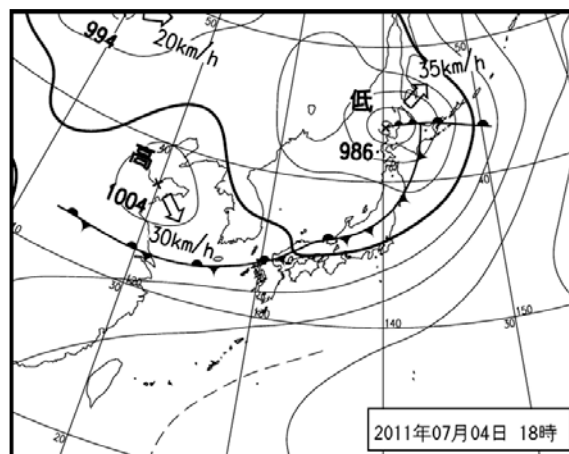
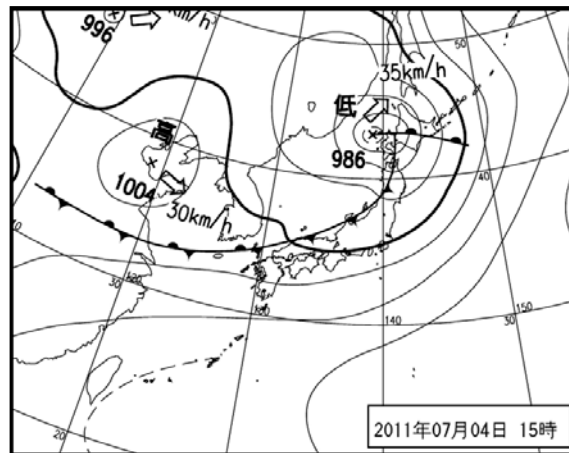


第5図: 散布図(上: FLWV(横) 対 TPW(縦), 中: EPT(横) 対 TPW(縦), 下: EPT(横) 対 T(85-50)(縦))

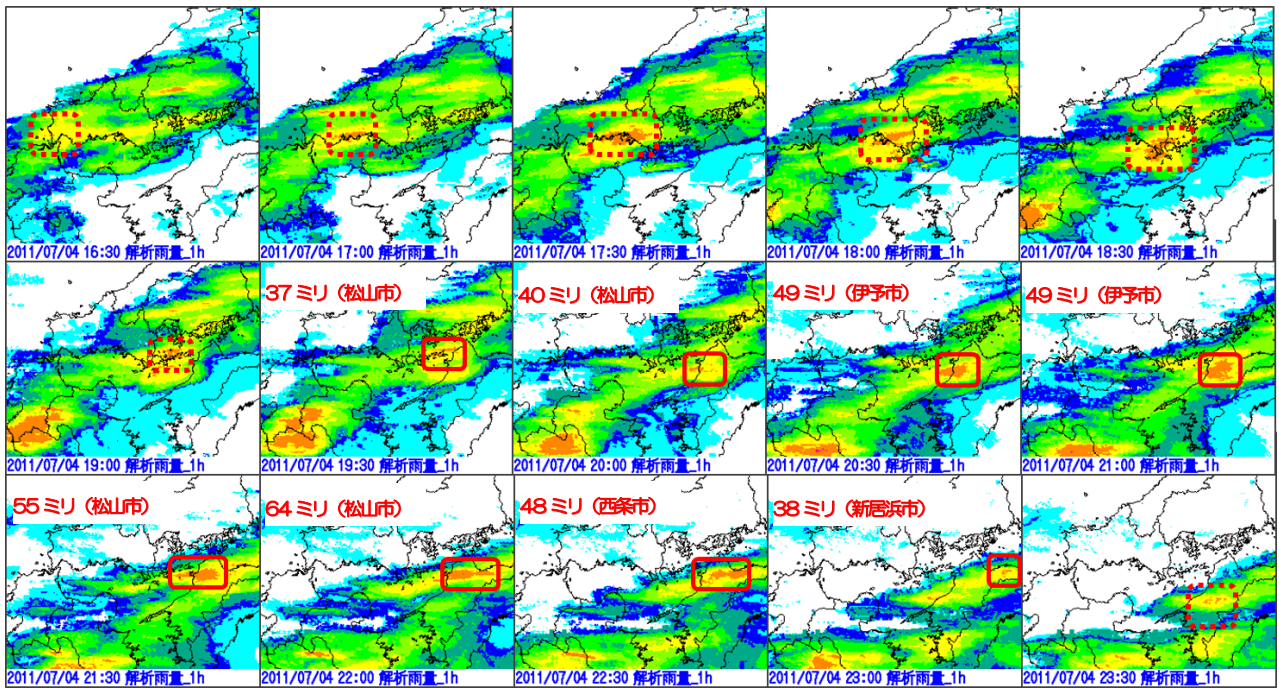


第6図: 散布図(上: EPT(横) 対 T(85-50)(縦), 中: EPT(横) 対 T(85-50)(縦), 下: EPT(横) 対 T(85-50)(縦))



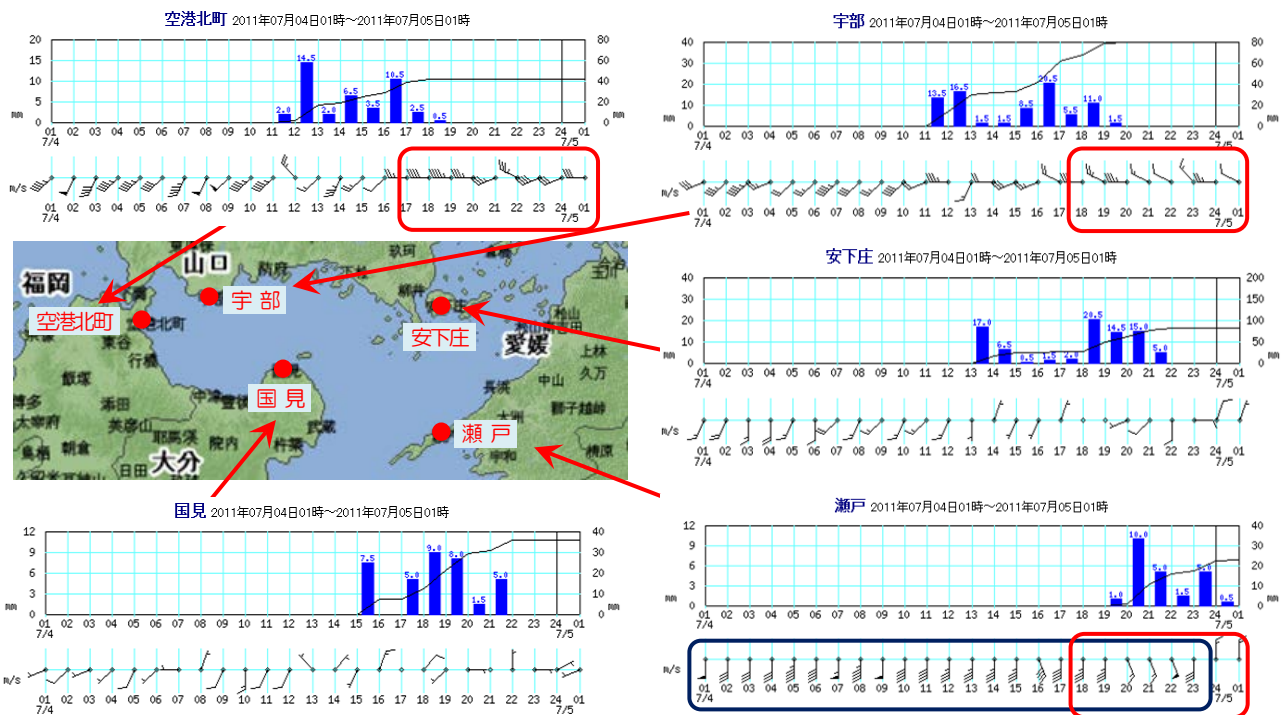


第7図：地上天気図. 上から, 2011年7月4日 15, 18, 21時.

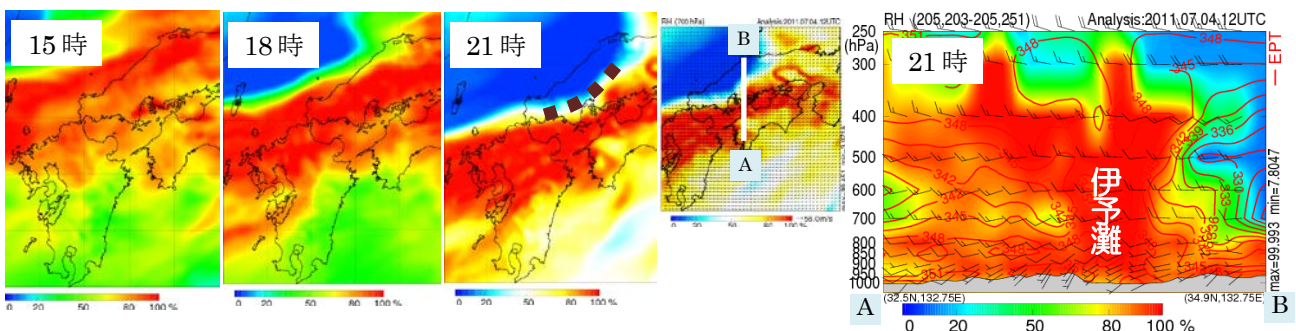


第8図: 解析雨量_1時間積算 7月4日 16時30分~23時30分.

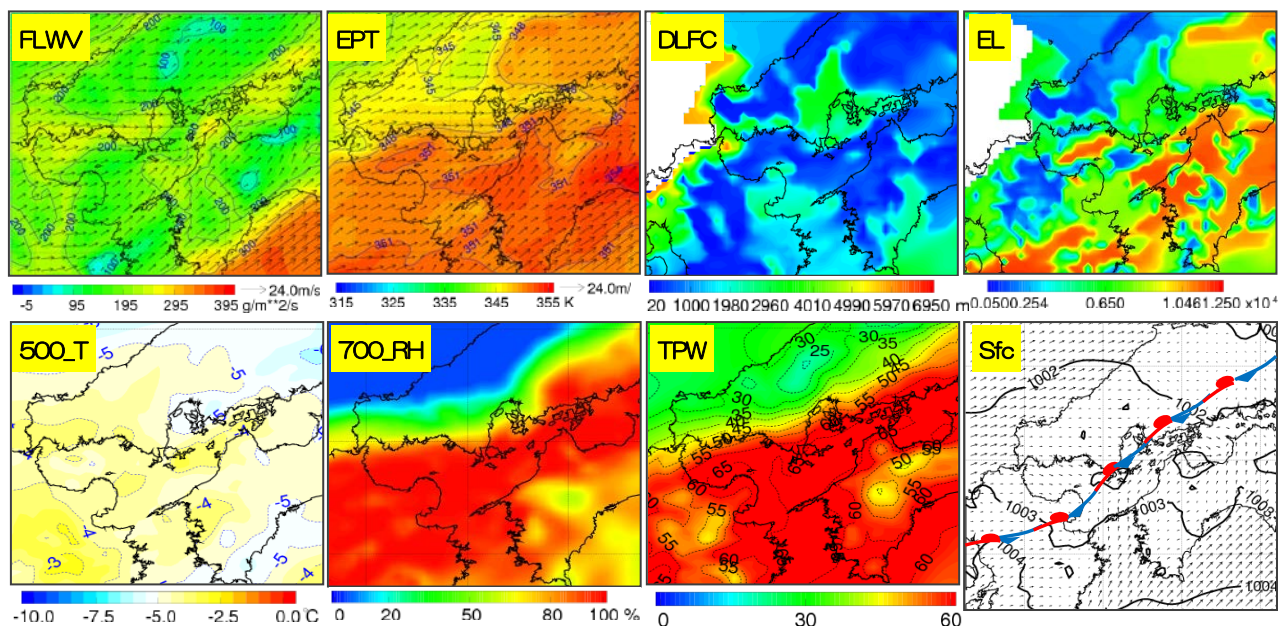
※赤実線枠は中予及び東予での解析雨量最大値のポイント、赤破線枠は他府県または南予での解析雨量最大値のポイント.



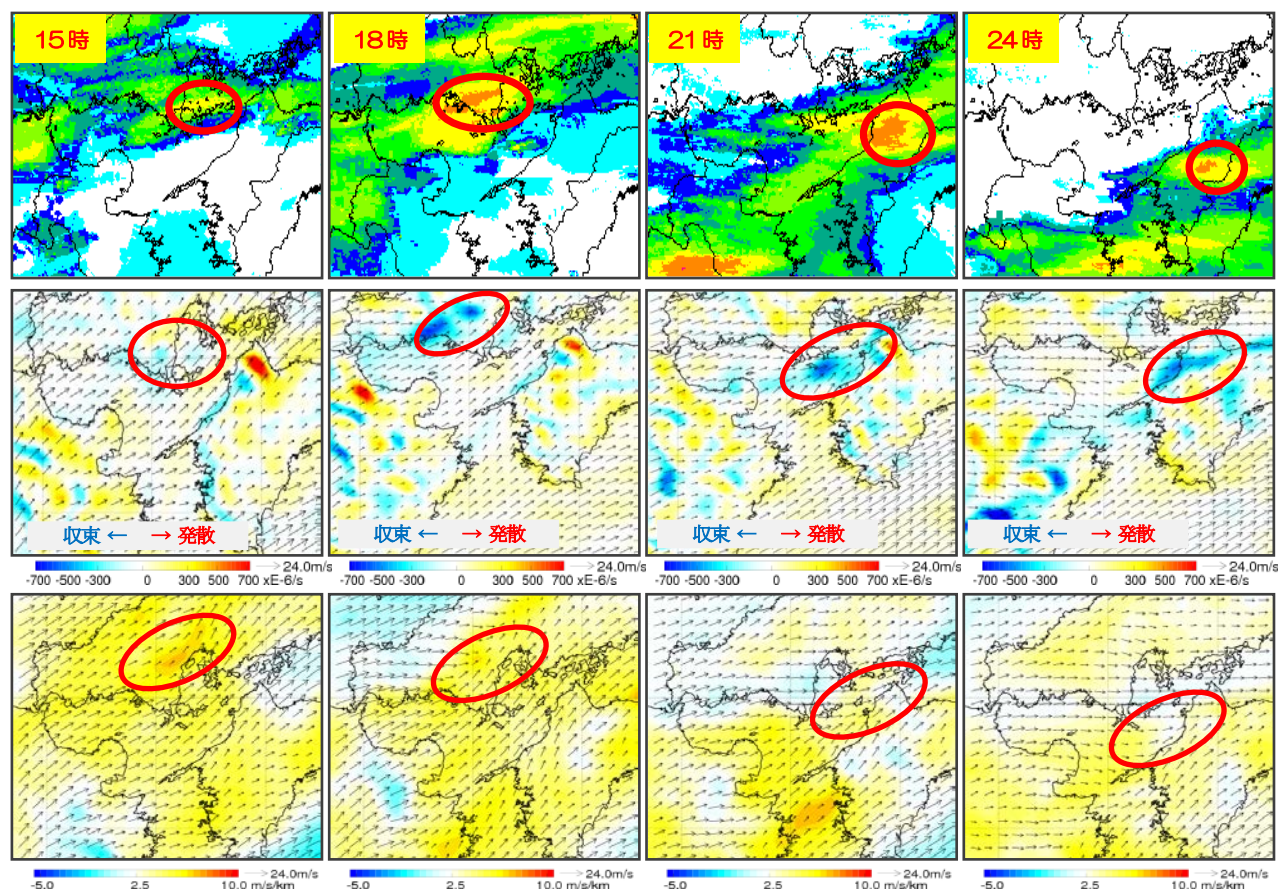
第9図: 7月4日の伊予灘・周防灘付近のアメダス観測値(風向・風速・1時間雨量).



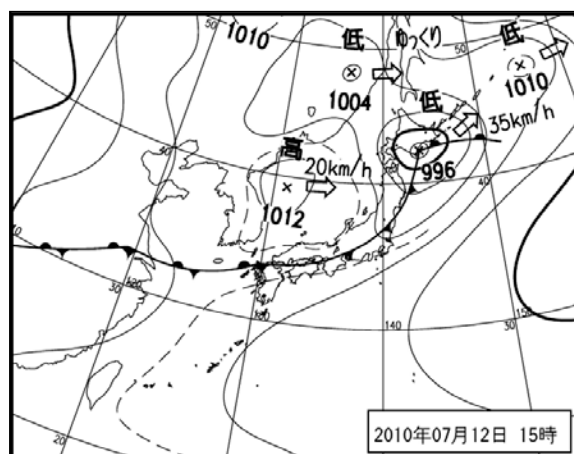
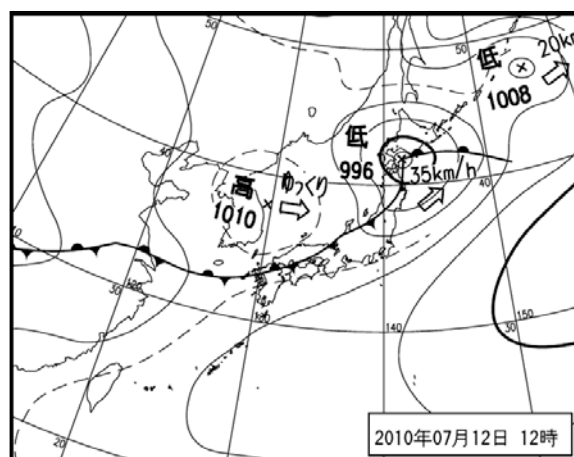
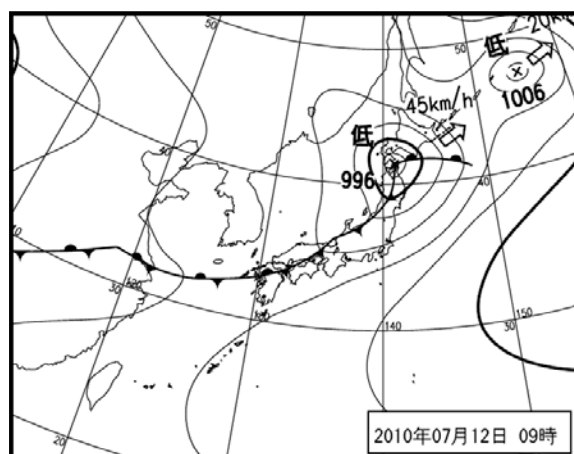
第10図: 7月4日_実況解析. メソ解析による700_RHの平面図とRH・EPTの鉛直断面図.



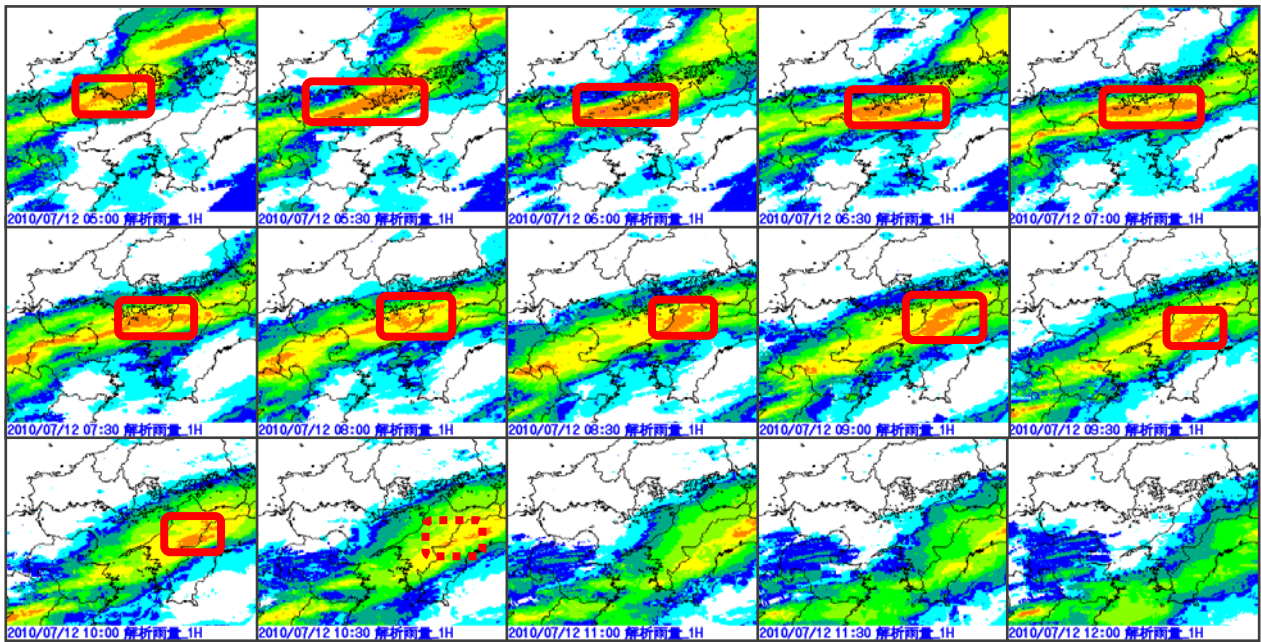
第11図: 7月4日21時_実況解析. メソ解析による21時の各指標.



第12図: 7月4日_実況解析(15時-21時). 上から,「解析雨量_1H」, メソ解析による「DIV_500m」・「VSH_500m」.

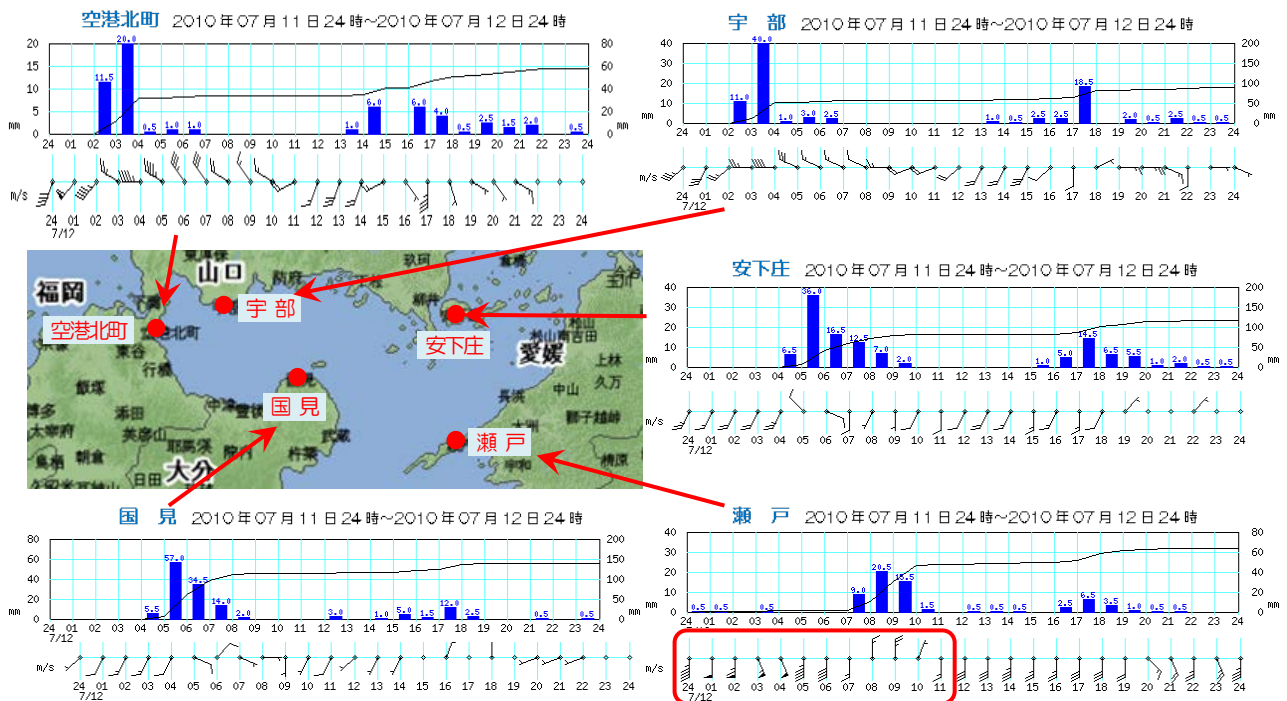


第13図: 地上天気図. 上から, 2010年7月12日 09, 12, 15時.



第14図: 解析雨量_1時間積算 7月12日05時00分~12時00分.

※赤実線枠は中予及び東予での解析雨量最大値のポイント, 赤破線枠は他府県または南予での解析雨量最大値のポイント.



第15図: 7月12日の伊予灘・周防灘付近のアメダス観測値(風向風速・1時間雨量).