

2.9 島根県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

松江地方気象台

要 旨

本研究(平成 25～26 年度地方共同研究)では、大雨になった事例の解析等から、先行研究(平成 23～24 年度地方共同研究(栗山ほか 2013))で抽出した必要条件の見直しと新たな条件抽出を行い、その妥当性の確認と十分条件の抽出を試みた。その結果、大雨となる可能性が高い必要条件の要素は、高度 500m における水蒸気フラックス、相当温位、平衡高度、自由対流高度までの距離、西風成分の風速であることが分かり、これらの要素について、調査領域ごとに閾値を設けた。また、人的被害や住宅損壊等の災害をもたらした事例を中心に事例解析を行うことで、必要条件の閾値の妥当性を確認し、925hPa 面の水平風シアーを大雨発生の十分条件として抽出した。

1. はじめに

先行研究(平成 23～24 年度地方共同研究(栗山ほか 2013)) (以下、単に先行研究と表記)で抽出した大雨発生の必要条件は、サンプル数が少ないこともあって、精度の点で問題が残っていた。本研究(平成 25～26 年度地方共同研究)では、先行研究で抽出した必要条件の見直しと新たな条件抽出を行い、その妥当性を確認し、十分条件の抽出について調査を行った。

2. これまでの調査等について

2.1 大雨の定義について

先行研究での大雨の定義は、東部・西部で 3 時間積算雨量(以下、R3) $\geq 90\text{mm}$ 、隠岐で $R3 \geq 80\text{mm}$ であった。本研究においても、大雨の定義にはこれらの閾値を用いた。この閾値は床下浸水 1 棟以上が発生(東部:14 事例、西部:25 事例、隠岐:4 事例)した値である。

2.2 大雨事例に共通する環境場

先行研究において、JRA-25 長期再解析のデータを利用して調査した結果、大雨事例に共通する環境場は、第一に、「地上では、梅雨前線が山陰沿岸または山陰沖に停滞しているか南北振動していること」、第二に、「925hPa 面では、相当温位 345K 以上の気塊が東シナ海から対馬海峡を通過して日本海へ流入していること」、第三に、「500hPa 面では、風向が西よりであり、中国地方に明瞭なトラフは見られないこと」が分かっており、本研究においても、この環境場を調査の対象とした。

2.3 調査領域について

先行研究において、気象庁メソ解析データ(水平格子間隔:5km)を用いた調査も行っており、領域 A は島根県西部で発生する降水に、領域 B は島根県東部で発生する降水に、領域 C は隠岐で発生する降水に対応が良いことがわかっている(第 1 図)。

3. 本研究の必要条件について

3.1 調査期間

調査期間は、2006～2013 年の 6・7 月とした。ただし、2013 年は 8 月に多くの大雨事例が発生したため、2013 年のみ、8 月も対象期間として加えた。

3.2 調査方法

データは、メソ解析のGPVデータを使用した。大雨事例を客観的に検討するため、マハラノビスの距離を用いた判別分析の統計解析を用いて、必要条件の妥当性の確認や新たな条件の抽出を試みた。ここで、大雨事例を被予測因子Y(大雨の有無)とした。予備調査の段階では、R3の事例抽出方法が一連の現象を複数回カウントしているものがあつた。例えば、同日06時、09時、12時に基準超えた場合を3事例としていたが、調査目的は大雨発生の必要条件抽出なので、最初に出現した06時のみを採用し、その後の一連の基準超え事例は対象から外した(ただし、06時とは04時R3、05時R3、06時R3の内の最大R3)。一方、仮予測要素Xは、第2.3項で記述したとおり、日本海上の各領域内(A・B・C)における500m高度の各要素の最大値で、西風の風速(U;m/s)、南風の風速(V;m/s)、気温(T;°C)、相対湿度(RH;%), 気圧(P;hPa)、相当温位(EPT;K)、水蒸気フラックス(FLWV; $g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)、3km-500mの鉛直シア(VSH;m/s)、収束(CONV; $10^{-3}s^{-1}$)、自由対流高度までの距離(DLFC;m)、平衡高度(EL;m)に加え、500hPaのT(°C)、相対気温を考慮した“500mのT-500hPaのT”(°C)の13要素とした。また、最小値が大雨に寄与する可能性があることを考慮して、500m高度のV、P、VSH、CONV(この場合は最小値なので発散)、DLFCの5要素の最小値も解析対象に加えた。以上の18要素の中から、大雨を的確に判別する因子を必要条件の要素として抽出し、閾値を算出した。R3と対応づけるメソ解析の時刻は、大雨をもたらす対流活動の結果ができるだけ含まれないように、6時間前とした(06時のR3には、24時のメソ解析を対応づける)。

3.3 必要条件の抽出

先行研究で必要条件とした要素をまず検討し、さらに新たな必要条件の要素の抽出を試みる。新たな必要条件の要素については、大雨との対応が良く、有効性が確認できたEL、DLFCの最小値、Uについてのみ述べる。

3.3.1 EPT

既知の必要条件であるEPTについて、メソ解析から閾値を算出し、先行研究の閾値と比較した(第1表)。東部、西部、隠岐ともに、これまでの調査と大きく異なることなく、その妥当性が確認できた。

3.3.2 FLWV

EPTと同様に、既知の必要条件であるFLWVについても同様に比較した(第2表)。今回の閾値は、東部、西部、隠岐ともにこれまでの閾値と比べると小さくなった。空振りが多く、この値の妥当性については次項以降で検討する。

3.3.3 500hPaのTと“500mのT-500hPaのT”

先行研究で500hPaのTは必要条件になっていたものの、今回の調査では大雨に寄与する要素には当てはまらなかった。上空の気温だけでは大気の成層状態の不安定をあらわしてはおらず、大雨の必要条件にならない可能性が高い。また、上空の気温と下層(500m)との相対的な温度差が寄与しているか、“500mのT-500hPaのT”について解析したが、必要条件としての有効性は確認できなかった。

3.3.4 ELと最小値DLFC

ELと領域内の最小値DLFC(以下、DLFC)を新たに必要条件の要素として抽出することができた(第3、4表)。これらの結果は、浮力を得る高度が低く、浮力を持って上昇できる高度が高いほど対流活動が活発化し、大雨になることを示唆している。DLFCは特に空振りが多い特徴があるが、これについては次項以降で検討する。

3.3.5 U

FLWVとも相関関係があるUが新たに抽出できたが、DLFC同様に空振りが多い特徴がある(第5表)。西風が強いほど水蒸気の供給が多く、大雨になりやすい傾向があることを示唆していると考えられる。ただし、Vの有効性は確認できなかった。

3.4 必要条件の妥当性

今回、メソ解析を用いて抽出した各要素における閾値の妥当性について、各要素と解析雨量のバブルグラフを用いて確認し、検討する。

3.4.1 EPT と FLWV

東部、西部、隠岐ともに EPT が高く、FLWV が大きいほど雨量が多くなるという正相関の関係がある(第2図)。また、大雨事例(赤丸)に着目すると、閾値(赤点線)で仕切られた右上区分に多くあり、良好に判別できていることが分かる。ただし、東部の FLWV の閾値(赤点線)は空振りをより少なくなるように見直すことが可能であることから見直し、適中率を上げることができる(第6表)。隠岐については大雨が4事例と少ないことから、メソ解析から求めた閾値を基本とし見直すことはしない。

3.4.2 EL と DLFC

西部の閾値(赤点線)は EL, DLFC 共に東部に比べ見逃し事例が多いものの、EL が高く、DLFC が低いほど大雨(赤丸)が多いことが分かる(第3図の右上区分)。東部、西部ともに DLFC の空振りを減らし、適中率を上げることが可能であり、閾値を見直した(第7表)。

3.4.3 U

U と相関関係のある FLWV を縦軸としてバブルグラフを作成すると、正相関の関係が明瞭である(第4図)。東部、西部ともに空振りを減らすため、閾値を見直すことで適中率が向上した(第8表)。

3.5 見直した必要条件について

本研究で、先行研究の結果から見直した必要条件とその閾値を第9表に示す。

4. 事例解析の結果

4.1 調査事例

今回事例解析した大雨事例は、第3項と同じ期間を対象として、2006年以降の6、7月の梅雨期の人的被害や住宅損壊等の災害をもたらした事例(以下、災害事例)と重大な災害をもたらした2013年8月の災害事例から選定した。結果、選定した大雨事例は、2006年7月17日、2009年7月17日、2009年7月19日、2013年7月28日、2013年8月24日の5事例である。

4.2 2006年7月17日事例

4.2.1 概況

7月16日から19日にかけて島根県東部を中心に大雨となり、松江では期間中の降水量が496mmに達した(図略)。島根県では死者・行方不明者5名、家屋の全・半壊66棟、床上浸水373棟、床下浸水1587棟などの大きな災害が発生し、「平成18年7月豪雨」と気象庁により命名された事例である。

今回解析した事例は、7月16日から19日にかけての期間内のうち、7月17日未明に島根県東部の沿岸部で線状降水帯が形成され、朝にかけて島根県西部に南下して大雨となった事例を対象とした。

4.2.2 環境場の特徴について

第5図のとおり、梅雨前線は黄海から山陰沿岸にあり、500hPa面に明瞭なトラフはなく、流れは西南西から西よりで、925hPa面では348K以上の高相当温位気塊が日本の南にある高気圧の縁辺を回るように流入していた。

4.2.3 必要条件について

この事例は、島根県東部、西部ともに $R3 \geq 90\text{mm}$ 、隠岐が $R3 \geq 80\text{mm}$ の事例で、東部(領域B)は $EPT=349\text{K}$ 、 $FLWV=406\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $U=19.5\text{m/s}$ 、西部(領域A)は $EPT=349\text{K}$ 、 $FLWV=353\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $U=16.2\text{m/s}$ 、隠岐(領域C)は $EPT=348\text{K}$ 、 $FLWV=369\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $U=18.4\text{m/s}$ で, EPT(第6図左), FLWV(第6図右), U (第7図の上段の右)はすべての領域で必要条件を満たしていた. ELは東部と西部(領域B, A)で条件に達しなかったが, 閾値との差はごく僅かで, DLFCはすべての領域で条件を満たしていなかったが(第7図の上段の中), 大雨となる直前には条件に達していた(第7図の下段の中).

4.2.4 925hPaの毎時大気解析の風とレーダー画像

第8図から, 17日02時から06時にかけて, 下層風水平シアが強化され(第8図左下から中下), これに伴い隠岐付近の降水システムが発達して線状化していた. その後, 10時にかけて下層風水平シアの不明瞭化に伴い, 降水システムが衰弱したことがわかる.

4.2.5 大雨をもたらした降水システムの構造と発生・維持メカニズム

大雨の期間, 梅雨前線は次第に南下しており, 降水システムを形成する対流セル(積乱雲)の発生点も南下していた. 梅雨前線の動きは遅く, 動きの遅い下層風水平シア付近で次々と対流セルが発生し, これが上層の西風に流されながら東西にのびるように線状の降水システム(線状降水帯)を形成し, 大雨になった. また, 梅雨前線の南側の暖湿気塊が, 北からの気塊に乗り上げるような構造をもっていた. これらの構造は, バックアンドサイドビルディング型の特徴であると考えられる(図略).

4.3 2009年7月17日事例

4.3.1 概況

梅雨前線が山陰沖に停滞し, 島根県西部の大田市, 美郷町を中心に大雨となり, 7月17日の解析雨量24時間積算値は最大で約200mmとなった(図略). この大雨で, 県西部では, 死者1名, 土砂の流入により住家2棟の一部損壊, 床上浸水3棟, 床下浸水84棟などの災害が発生した事例である.

4.3.2 環境場の特徴について

第9図のとおり, 地上は09時で山陰沖にあった梅雨前線が12時にかけて次第に南下し, その後再び北上した. 500hPa面に明瞭なトラフはなく, 925hPa面では, 対馬海峡を通り日本海に向かって351K以上の高相当温位気塊が西南西～南西風により流入していた.

4.3.3 必要条件について

この事例は, 島根県東部, 西部ともに $R3 \geq 90\text{mm}$ の事例で, 東部(領域B)は $EPT=352\text{K}$, $FLWV=402\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $U=17.3\text{m/s}$, $DLFC=184\text{m}$, 西部(領域A)は $EPT=350\text{K}$, $FLWV=332\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $U=16.9\text{m/s}$, $DLFC=589\text{m}$ で, EPT(第10図左), FLWV(第10図右), DLFC(第11図中), U (第11図右)はすべての領域で必要条件を満たしていた. EL(第11図左)は西部(A領域)では条件に達していなかったが, 閾値から大きく離れた値ではなかった.

4.3.4 925hPaの毎時大気解析の風とレーダー画像

第12図を見ると, 17日01時から03時にかけて特に南西風の風速が強まり, 西風と南西風の下層風水平シアが強化されている. これに伴って, 降水域が広がり, 降水システムが強化されていることがわかる. その後, 維持されていた下層風水平シアは, 08時頃から南西風の風速の弱まりに対応して少しずつ弱化していき, 同時に降水システムも少しずつ弱まっていった(第13図).

4.3.5 大雨をもたらした降水システムの構造と発生・維持メカニズム

大雨の期間, 降水システムの中では, 下層で南西風と西南西風が収束している場所で次々と対流セル(積乱雲)が発生し, 中層の西よりの風に流されて東進していた. これらの対流セルは, 東側にある既存の降水帯と併合しながら東西にのびるように降水システム(線状降水帯)を形成していた(図略).

4.4 2009年7月19日事例

4.4.1 概況

2009年7月19日から26日にかけて、中国地方から九州北部地方にかけて大雨となり、「平成21年7月中国・九州北部豪雨」と気象庁により命名された。今回解析したのは、7月19日に島根県東部を中心に大雨となった事例である。

19日の24時間降水量はアメダスの安来市伯太及び雲南市大東で116.5mmを観測したのをはじめ、松江市西津田、出雲市でも110mmを超える大雨となった。解析雨量では東部の簸川平野近傍を中心に150mmを超えた地域もあった。この大雨により、住家2棟の一部損壊、床下浸水78棟などの災害が発生した。

4.4.2 環境場の特徴について

地上は09時で山陰沿岸にあった梅雨前線が21時には中国地方の東側から南下した。500hPa面では、東シナ海から日本海にかけて西北西の風が吹いており、西よりの流れとなっていた(第14図左)。925hPa面(第14図中)では、対馬海峡を通り日本海に向かって351K以上の高相当温位気塊が南西～西風により流入していた。

4.4.3 必要条件について

この事例は、島根県東部 $R3 \geq 90\text{mm}$ の事例で、対応する領域Bは $EPT=358\text{K}$ (第15図左)、 $FLWV=534\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (第15図右)、 $U=24.6\text{m/s}$ (第16図右)、 $DLFC=251\text{m}$ (第16図中)、 $EL=11810\text{m}$ (第16図左)とすべての必要条件を満たしていた。

4.4.4 925hPaの毎時大気解析の風とレーダー画像

第17図を見ると、強い西風は弱まっていくものの、県東部の島根半島付近で北西風と西風の下層風水平シアーが次第に明瞭になり、同時に降水システムが発達し、東西にのびる線状降水帯を形成していることがわかる。この線状降水帯は、下層風水平シアーの維持に伴い夜遅くまで県東部にかかり続け、その後20日未明から下層風水平シアーの動きに伴って、ゆっくり南下していった。

4.4.5 大雨をもたらした降水システムの構造と発生・維持メカニズム

山陰沿岸にある下層風水平シアーが次第に南下することにより島根半島付近で収束が強まり、強い対流雲が発生し、強雨となった。澤田ほか(2012)によると、この対流雲から発生した冷氣外出流が南北を山地に囲まれる簸川平野で滞留し、冷氣プールが形成され、その上へ高暖湿気塊が南西から流入して大雨になったと考えられる(図略)。

4.5 2013年7月28日事例

4.5.1 概況

山陰沖の前線に向かって暖湿流が入り、島根県西部の津和野町を中心に大雨となった。アメダス津和野では、7月29日02時50分までの24時間降水量が381.0mmとなり、観測史上1位であった。この大雨により、島根県では、行方不明1名、流出や倒壊により住家2棟の全壊、床上浸水18棟、床下浸水99棟などの災害が発生した。

4.5.2 環境場の特徴

地上は09時で山陰沖に前線があり、925hPa面では、対馬海峡から日本海および県西部には350K以上の高相当温位気塊が南西風により流入していた(第18図)。500hPa面では、東シナ海から日本海にかけては西北西の風が吹いており、西日本にトラフはなかった(図略)。

4.5.3 必要条件について

この事例は、島根県西部 $R3 \geq 90\text{mm}$ の事例で、対応する領域Aは、 $EPT=360\text{K}$ 、 $DLFC=158\text{m}$ 、 $EL=13488\text{m}$ で必要条件を満たしていた。 $FLWV$ ($FLWV=140\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)と U ($U=6.3\text{m/s}$)は条件に達していなかった(第19図、第20図)が、時間経過とともに必要条件を満たした(第21図)。

4.5.4 925hPaの毎時大気解析の風とレーダー画像

04 時からは西部に対応する領域 A で西風と南西風の下層風水平シアが形成され、06 時にかけては、このシアがより明瞭化しており(第 22 図)、これに対応して降水システム(第 23 図)も発達している。この後もシアが維持され、強い降水域が同じ場所にかかり続け、上述のように記録的な大雨となった。

4.5.5 大雨をもたらした降水システムの構造と発生・維持メカニズム

加藤(2013)によると、豪雨が起りやすい環境場で大量の水蒸気の供給を受けて、バックビルディング型形成により対流セルが約 20 分間隔で繰り返し発生し、積乱雲群を形成したと説明されている。

4.6 2013 年 8 月 24 日事例

4.6.1 概況

前線が山陰沖に停滞し、8 月 23 日から 25 日にかけて、島根県江津市、浜田市及び邑智郡邑南町を中心とした島根県西部では、降り始めからの降水量が 500mm 近くに達し、「昭和 58 年 7 月豪雨」に匹敵する豪雨となった。この大雨により、島根県では、死者 1 名、住家の全壊 7 棟、半壊 10 棟、床上浸水 205 棟、床下浸水 635 棟などの災害が発生した。

今回の事例では、8 月 23 日から 25 日の期間内のうち、県西部の江津市桜江において、観測史上 1 位の 1 時間降水量 92.5mm を観測した 24 日未明の大雨を対象に解析した。

4.6.2 環境場の特徴

地上は 23 日から 25 日にかけて、山陰沖に前線が停滞して南北に振動しており、925hPa 面では、対馬海峡を通り日本海に向かって 350K 以上の高相当温位気塊が南西～西風により流入していた(第 24 図)。500hPa 面では、東シナ海から日本海にかけては西北西の風が吹いていた(図略)。

4.6.3 必要条件について

この事例は、島根県西部 $R3 \geq 90\text{mm}$ の事例で、第 25、26 図のとおり、対応する領域 A で、 $EPT=359\text{K}$ 、 $FLWV=288\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $U=13.9\text{m/s}$ 、 $DLFC=241\text{m}$ 、 $EL=14566\text{m}$ とすべての必要条件を満たしていた。

4.6.4 925hPa の毎時大気解析の風とレーダー画像

第 27 図を見ると、01 時から 03 時にかけて、南西風が強まり、下層風水平シアが強化されており(下段)、これに伴って降水システムが発達しながら線状化している(上段)。その後、07 時にかけて風速も弱まり、下層風水平シアが弱まるのに合わせて、降水システムも衰弱していった。

降水帯の特徴を第 28 図の 24 日 02 時 10 分から 02 時 55 分までの 5 分毎のレーダー画像で確認すると、少なくとも 2 本の線状降水帯が確認でき、降水帯は複数の対流セルから構成され、個々の対流セルは東に流されながらやや南下しており、対流セルの風上側に新たな対流セルが発生しているように見える。第 28 図中で、はじめに桜江にかかる降水帯を「降水帯 a」とし赤破線で囲み、次にかかる降水帯を「降水帯 b」とし黒破線で囲んで詳しく見ると、降水帯 a の個々の対流セルは 02 時 15 分頃から 02 時 40 分頃にかけて次々と桜江付近を通過(図中の紫実線)して、次に降水帯 b の個々の対流セルが 02 時 45 分頃からかかり始め、03 時 15 分(図略)にかけて同様に通過(図中の茶実線)している。以上のことから、桜江での豪雨はこの 2 つの線状降水帯が相次いで通過したことにより発生したと考えられる。また、第 29 図の鉛直断面図をみると、02 時 10 分から 02 時 50 分にかけて、降水帯の間隔が狭くなり、降水帯 a・b とともにやや北へ移動しており、この間に降水帯 a は衰弱し、南側の降水帯 b が発達している。

4.6.5 気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)による再現実験

この大雨事例は、足立ほか(2013)により気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)での再現実験が行われている。

まず、水平格子間隔 5km の再現実験を行った。初期時刻は 23 日 06UTC、計算領域は 301x301x50 格子、降水過

程としては積雲パラメタリゼーションを用いず、雲物理過程(雲水、雨水、雲氷、雪、あられを直接予報)のみを用いた。次に、水平格子間隔 1km の再現実験を、先の水平格子間隔 5km の実験結果を初期値として行った。初期時刻は 23 日 09UTC、計算領域は 301x301x50 格子、降水過程は水平格子間隔 5km の実験と同様である。予報時間はそれぞれ、15 時間及び 12 時間である。

JMA-NHM による再現実験(水平格子間隔 1km)では、23 時(FT=5h) ごろから対流セルが散在して発生し始め、次第に対流セルがまとまることで、線状降水帯が形成された(図略)。レーダー画像(第 29 図) とほぼ同様の特徴を示した予報結果(01 時 20 分と 02 時 10 分)の LQ(雨、雪、あられの混合比の鉛直積算)の水平分布とその鉛直断面図を第 30 図に示す。複数の対流セルから構成される 2 本の線状降水帯が確認でき、線状降水帯内の対流セルは雲頂が圏界面付近まで達する発達したものであった。レーダーによる観測と同様に、南側の線状降水帯が時間とともに発達していく一方で、観測と異なり、北側と南側の降水帯の間隔は次第に広がっていった。本再現結果から、降水帯の南側への移動は、下層の強い収束の位置の移動に伴っていると考えられる(図略)。

4.6.6 大雨をもたらした降水システムの構造と発生・維持メカニズム

平成 25 年の台風 12 号に向かって強風が吹き込むことにより長時間海上を移流し発生した暖湿気塊の一部が、太平洋高気圧の縁をまわって対馬海峡から日本海に流入する状況の中で、降水帯付近は線状化しやすい環境にあったと考えられる。気流線解析によると、気流構造は、瀬古(2010)による「バックビルディング型」であったことがわかっている(図略)。

5. 大雨非発生事例の調査

5.1 同じ環境場における大雨事例と非大雨事例の比較

第 2 項で述べた大雨事例に共通する環境場の条件でありながら、大雨が発生しなかった例(以下、非大雨事例)として 2009 年 7 月 16 日を選定し、第 4 項で記した 2009 年 7 月 17 日の県西部での大雨事例と相違点を調査した。

5.1.1 環境場の特徴

2009 年 7 月 16 日 09 時の地上天気図(図略)では、前線が山陰沿岸にあり、925hPa 面では、345K 以上の高相当温位気塊が東シナ海から対馬海峡を通り日本海へ入り、500hPa 面では、西南西の風が吹いていた。これらは第 2 項で述べた大雨事例の環境場の条件を満たしていた。しかし、第 31 図のとおり、線状降水帯は 12 時頃から島根県にかかり始めたが 15 時過ぎには衰弱し、解析雨量 24 時間積算値でも県内最大約 20mm と大雨にはならなかった。

5.1.2 大雨事例と非大雨事例との相違点

第 32 図、第 33 図に、大雨事例の 2009 年 7 月 17 日と非大雨事例の 2009 年 7 月 16 日のメソ解析を示す。それぞれ降水帯が明瞭だった直前(3 時間前)を示している。

EPT は、どちらの事例も対馬海峡を通過して島根県海上へ 345K 以上の気塊が流入していたが、特に大雨事例は 350K 以上と高かった(図略)。EL は、どちらの事例も島根県西部では約 7000m でほぼ変わらない(図略)。しかし、DLFC は、大雨事例(第 32 図左)では島根県西部で約 500m と低い値であり、対流雲が発生しやすい状況であるのに比べて、非大雨事例(第 32 図右)では島根県西部で約 2000m と高い値となっていた。また、FLWV は、大雨事例(第 33 図左)では島根県西部で約 $400\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と大きい値となっていたが、非大雨事例(第 33 図右)では約 $200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ だった。

6. その他の大雨事例について

その他の事例として、災害事例に該当しなかったため今回は詳しく記載していないが、平成 25 年 7 月 5 日、15

日、30日、平成25年8月1日、25日も大雨事例(東部西部 $R3 \geq 90\text{mm}$, 隠岐 $R3 \geq 80\text{mm}$)に当たるため、第2.2項に記述した先行研究から得られている環境場の特徴と必要条件について調査した。その結果を事例解析した災害事例と合わせて第10表にまとめた。

7月5日は、明け方から朝にかけて、隠岐 $R3 \geq 80\text{mm}$ となった事例で、環境場の条件はすべて満たしていたが、対応する領域Cでの必要条件の要素値は、FLWVの閾値は $330\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、Uの閾値は 13.0m/s で、ともに閾値にはわずかに足りなかった。

7月15日は、朝から昼前にかけて島根県東部・西部で $R3 \geq 90\text{mm}$ となった事例で、環境場は、15日09時の地上天気図では前線が解析されていないため、条件を満たしていないと判定したが、21時の地上天気図以降からは山陰沖に前線が解析されているため、調査の対象とした。必要条件の要素値も、東部(領域B)・西部(領域A)ともに、すべての要素が閾値以上であった。

7月30日は、明け方から昼前にかけて島根県東部・西部で $R3 \geq 90\text{mm}$ となった事例で、環境場の条件はすべて満たしており、必要条件の要素値も、東部(領域B)・西部(領域A)ともに、すべての要素が閾値以上であった。

8月1日は、明け方から昼前にかけて島根県東部・西部で $R3$ が 90mm 以上となった事例で、環境場の条件はすべて満たしており、必要条件の各要素値は、東部(領域B)・西部(領域A)ともに、すべての要素が閾値以上であった。

8月25日は、明け方から朝にかけて島根県西部で $R3 \geq 90\text{mm}$ となった事例で、環境場の条件は満たしており、必要条件の要素値もすべての要素が閾値以上であった。

7. 必要条件の検証と十分条件の抽出

以上の結果から、本研究で抽出した必要条件は概ね妥当であると考えるが、閾値にわずかに達しない要素や現象の直前になって条件を満たす要素もあることから、閾値との差の程度や時間経過も考慮する必要があると考えられる。

本研究で検討したすべての大雨事例において、925hPa面で水平風シアが見られた。このことが大雨発生の十分条件の一つと考えられる。また、調査した事例において、降水システムが強まった期間に925hPa面の水平風シアが北上したケースはなく、すべてが停滞か南下であったことから、補足条件となる可能性がある。

8. まとめ

本研究では、環境場の3つの条件(第2.2項)を整理し、先行研究で示された必要条件を見直すことでその妥当性を確認した(第9表)。加えて、925hPa面における水平風シアを十分条件として抽出した。ただし、環境場、必要条件、十分条件のそれぞれの関係性については、十分に整理することができなかった。

本調査から得られた結果を、以下に簡単にまとめる。まず、環境場の3つの条件を満たした上で、必要条件に該当する要素数が多く、十分条件を満たすと島根県東部西部で $R3 \geq 90\text{mm}$, 隠岐で $R3 \geq 80\text{mm}$ の大雨になる可能性が高い。ただし、必要条件については、閾値にわずかに達しない要素や現象の直前になって条件を満たす要素もあることから、閾値との差の程度や時間経過も考慮する必要があると言える。このことから、上記の変化を現業において一目で監視できるように監視ツール(第34図)を作成した。今後、注警報の適切な発表に資することが期待できる。

参考文献

- 足立誠, 久家好夫, 海老政徳, 栗原佳代子, 小島至, 水野岳志, 2013: 平成 25 年 8 月 24 日の島根県西部の大雨について. 平成 25 年度中国地区気象研究会誌.
- 加藤輝之, 2013: 平成 25 年夏の豪雨に関する講演会資料(2013 年 7 月末~8 月に島根県に豪雨をもたらした大気の特徴).
- 小山芳太, 飯田早苗, 野村武司, 佐伯亮介, 2012: 平成 24 年 8 月 14 日に発生した近畿地方中部の大雨について. 平成 24 年度大阪管区気象研究会誌(大阪府).
- 栗山佳之, 水野岳志, 三宅里香, 栗原佳代子, 澤田達也, 足立誠, 久家好夫, 金森恒雄, 2013: 島根県での集中豪雨・大雨発生の必要条件の抽出とその妥当性. 平成 23-24 年度地方共同研究最終報告.
- 澤田達也, 栗山佳之, 三宅里香, 水野岳志, 久家好夫, 足立誠, 金森恒雄, 2012: 2009 年 7 月 19 日の大雨. 平成 24 年度大阪管区気象研究会誌(島根県).
- 瀬古弘, 2010: 中緯度のメソ β スケール線状降水系の形成と維持機構に関する研究. 気象庁研究時報, **62**, 1-74.

第1表：大雨必要条件EPTの閾値

	500m_EPT(K)	
	これまでの調査	今回
東部	≥ 347	≥ 348
西部	≥ 347	≥ 348
隠岐	≥ 348	≥ 346

第2表：大雨必要条件FLWの閾値

	500m_FLWV($\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
	これまでの調査	今回
東部	≥ 400	≥ 281
西部	≥ 300	≥ 257
隠岐	≥ 450	≥ 330

第3表：大雨必要条件EL(東部・西部・隠岐)の判別結果

東部 EL閾値8991m		大雨	
予測	あり	12	277
	なし	2	917
適中率		0.77	
西部 EL閾値8742m		大雨	
予測	あり	16	439
	なし	9	819
適中率		0.65	
隠岐 EL閾値6770m		大雨	
予測	あり	3	468
	なし	1	604
適中率		0.56	

第4表：大雨必要条件DLFC(東部・西部・隠岐)の判別結果

東部 DLFC閾値861m		大雨	
予測	あり	12	506
	なし	2	688
適中率		0.58	
西部 DLFC閾値881m		大雨	
予測	あり	19	582
	なし	6	676
適中率		0.54	
隠岐 DLFC閾値1093m		大雨	
予測	あり	3	534
	なし	1	538
適中率		0.50	

第5表：大雨必要条件U(東部・西部・隠岐)の判別結果

東部 U閾値12.3m/s		大雨	
予測	あり	11	282
	なし	3	912
適中率		0.76	
西部 U閾値10.3m/s		大雨	
予測	あり	20	372
	なし	5	886
適中率		0.71	
隠岐 U閾値13.1m/s		大雨	
予測	あり	3	275
	なし	1	797
適中率		0.74	

第6表：大雨必要条件FLW(東部)の判別結果

上表：客観解析の判別結果 下表：見直し後の判別結果

東部 FLWV閾値281 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$		大雨	
予測	あり	11	279
	なし	3	915
適中率		0.77	
東部 FLWV閾値330 $\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$		大雨	
予測	あり	11	189
	なし	3	1005
適中率		0.84	

第7表：大雨必要条件DLFC（東部・西部）の見直し後の判別結果

（客観解析の判別は第4表を参照）

上表：東部 下表：西部

東部 DLFC閾値500m		大雨	
		あり	なし
予測	あり	12	351
	なし	2	843
適中率		0.71	
西部 DLFC閾値700m		大雨	
		あり	なし
予測	あり	19	495
	なし	6	763
適中率		0.61	

第10表：環境場と必要条件の該当表

大雨事例	環境場			領域	必要条件（閾値は第9表を参照）				
	500hPa (海面上で等値L)	925hPa (観測温度2550K)	地上気圧配置 (気圧に等値)		EPT (K)	FLWV ($\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	EL (m)	DLFC (m)	U (ms^{-1})
事例解析 2006. 7. 17	○	○	○	領域A	○: 349	○: 353	×: 8906	×: 1081	○: 16.2
				領域B	○: 349	○: 406	×: 7962	×: 1014	○: 19.5
				領域C	○: 348	○: 369	○: 7296	×: 1608	○: 18.4
事例解析 2009. 7. 17	○	○	○	領域A	○: 350	○: 332	×: 6600	○: 598	○: 16.9
				領域B	○: 352	○: 402	○: 13630	○: 184	○: 17.3
事例解析 2009. 7. 19	○	○	○	領域B	○: 358	○: 534	○: 11910	○: 251	○: 24.6
事例解析 2012. 7. 28	○	○	○	領域A	○: 360	×: 140	○: 13488	○: 159	×: 6.5
事例解析 2013. 8. 24	○	○	○	領域A	○: 359	○: 288	○: 14566	○: 241	○: 13.9
				領域C	○: 351	×: 327	○: 9121	○: 567	×: 11.8
2013. 7. 15	○	○	×	領域A	○: 352	○: 284	○: 12749	○: 196	○: 14.6
				領域B	○: 354	○: 360	○: 13226	○: 101	○: 18.4
2013. 7. 30	○	○	○	領域A	○: 362	○: 407	○: 14387	○: 98	○: 18.5
				領域B	○: 361	○: 409	○: 14374	○: 115	○: 19.0
2013. 8. 1	○	○	○	領域A	○: 356	○: 314	○: 11179	○: 643	○: 14.7
				領域B	○: 356	○: 331	○: 11547	○: 179	○: 16.6
2013. 8. 25	○	○	○	領域A	○: 360	○: 367	○: 14251	○: 108	○: 15.7

○は条件に該当、×は条件に当てはまらない。

第8表：大雨必要条件U（東部・西部）の見直し後の判別結果

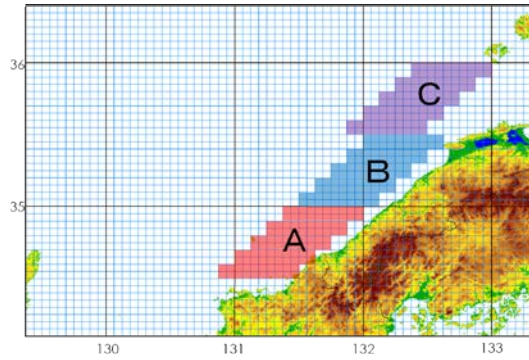
（客観解析の判別は第5表を参照）

上表：東部 下表：西部

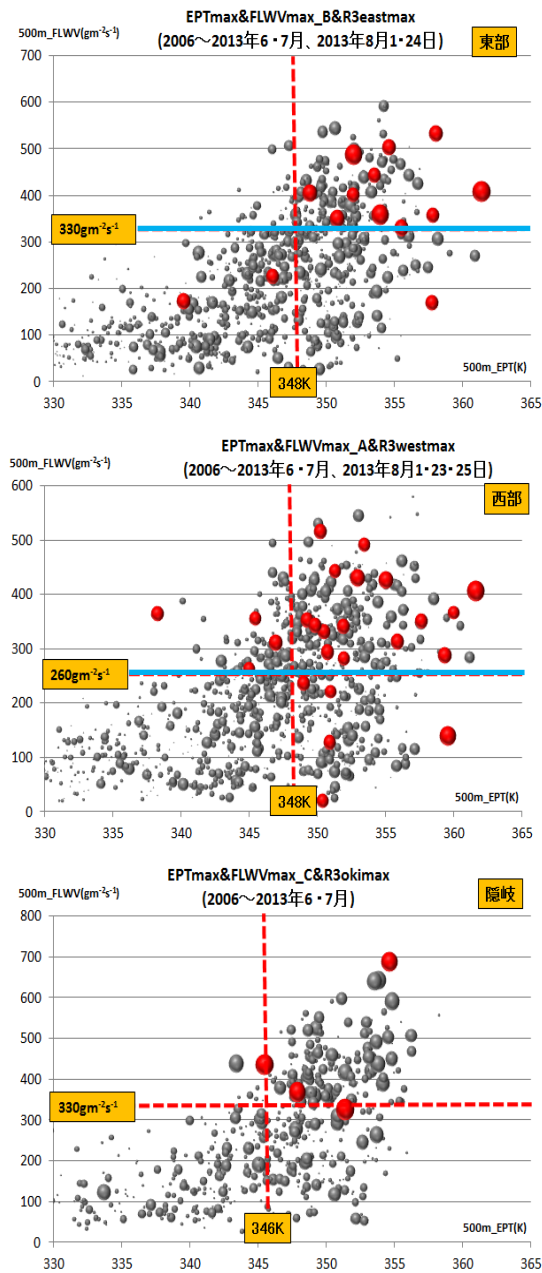
東部 U閾値16.0m/s		大雨	
		あり	なし
予測	あり	11	106
	なし	3	1088
適中率		0.91	
西部 U閾値12.5m/s		大雨	
		あり	なし
予測	あり	20	227
	なし	5	1031
適中率		0.82	

第9表：集中豪雨・大雨発生の必要条件と閾値

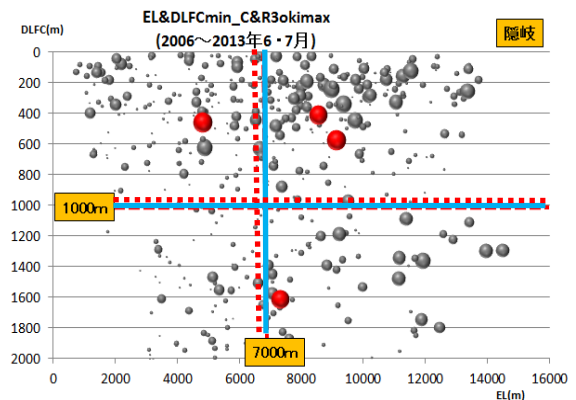
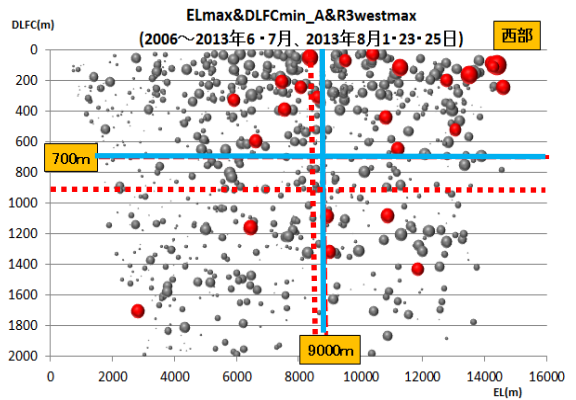
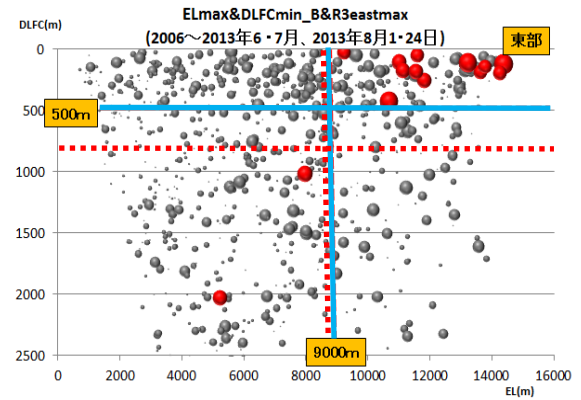
	EPT	FLWV	EL	DLFC	U	R3(6時間後)
東部 (領域B)	$\geq 348\text{K}$	$\geq 330\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\geq 9000\text{m}$	$\leq 500\text{m}$	$\geq 16.0\text{ms}^{-1}$	$\geq 90\text{mm}$
西部 (領域A)	$\geq 348\text{K}$	$\geq 260\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\geq 9000\text{m}$	$\leq 700\text{m}$	$\geq 12.5\text{ms}^{-1}$	$\geq 90\text{mm}$
隠岐 (領域C)	$\geq 348\text{K}$	$\geq 330\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\geq 7000\text{m}$	$\leq 1000\text{m}$	$\geq 13.0\text{ms}^{-1}$	$\geq 80\text{mm}$



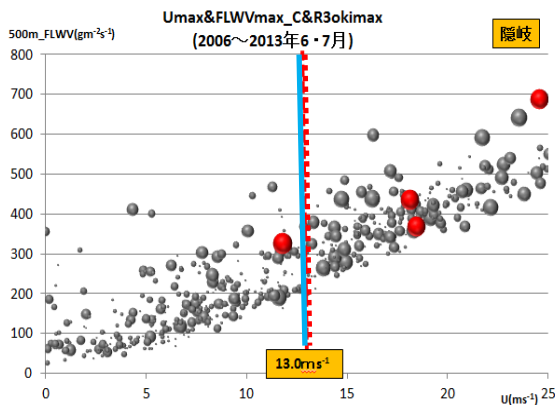
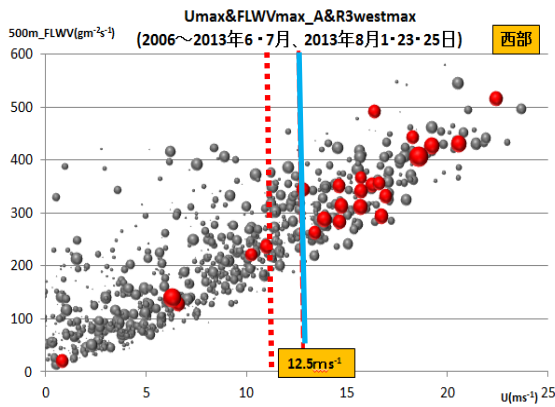
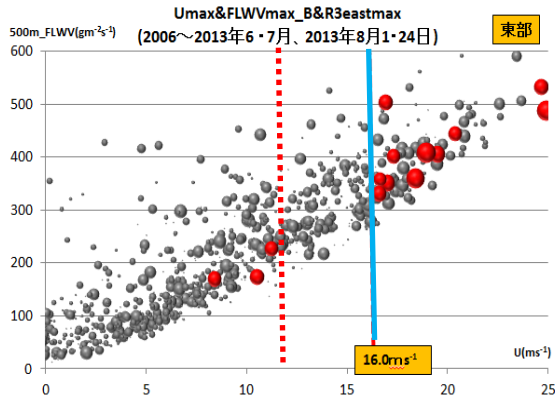
第1図: メソ客観解析データの抽出領域.



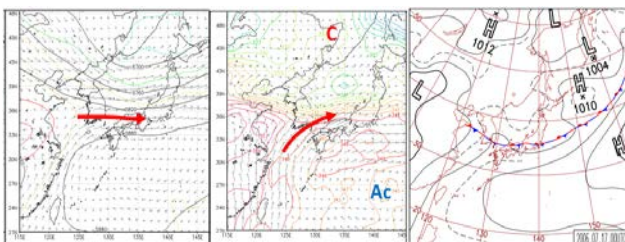
第2図: 500m_EPT(横軸)と500m_FLWV(縦軸)の相関図。(上)東部、(中)西部、(下)隠岐。赤丸:大雨事例、黒丸:大雨事例以外で、バブルの大きさは降水量をあらわす。赤破線:客観解析の閾値線、青線:見直した閾値線。



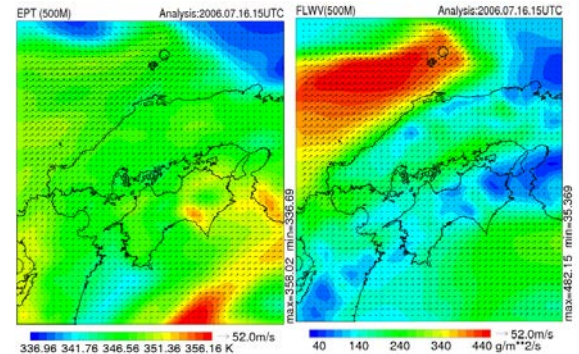
第3図: 第2図と同じ。ただし、500m_EL(横軸)と500m_DLFC(縦軸)。



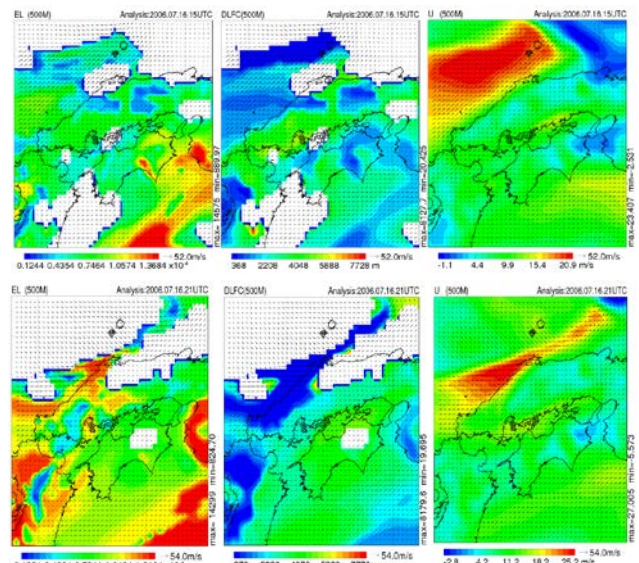
第4図：第2図と同じ。ただし、500m_U(横軸)と500m_FLWV(縦軸)。



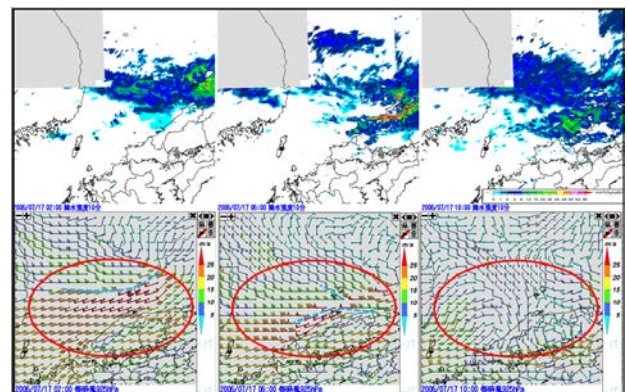
第5図：JRA-25による2006年7月17日03時の(左)500hPa面の高度(黒線)，気温(色線)，風，(中)925hPa面の相当温位(色線)と風，ACは高気圧循環，Cは低気圧循環の中心位置。(右)2006年7月17日09時の地上天気図。



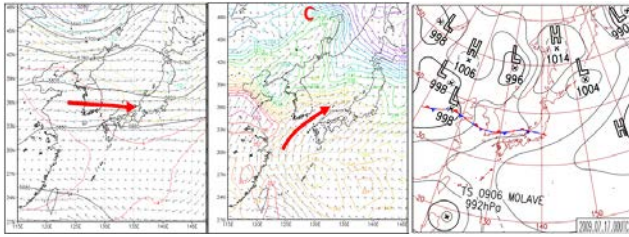
第6図：メソ解析による2006年7月17日00時の500m_EPT(左)と500m_FLWV(右)。



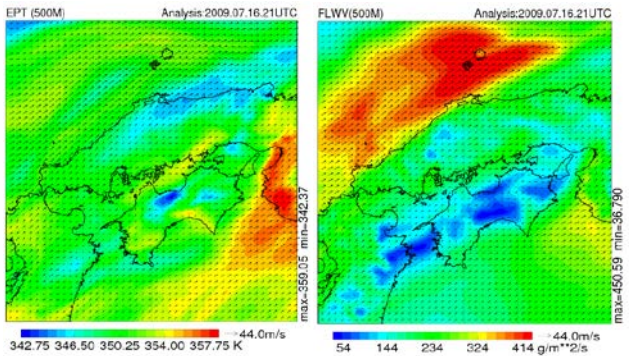
第7図：メソ解析による(上段)2006年7月17日00時の(左)500m_EL，(中)500m_DLFC，(右)500m_U。(下段)上段と同じ。ただし、2006年7月17日06時。



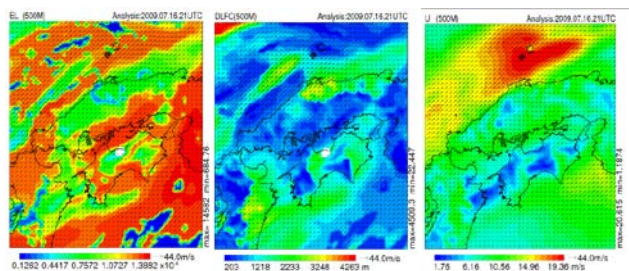
第8図：(上)合成レーダーによる降水強度と(下)毎時大気解析の925hPa面における風。青破線は、水平風シアーを示す。左から2006年7月17日の02時、06時、10時。



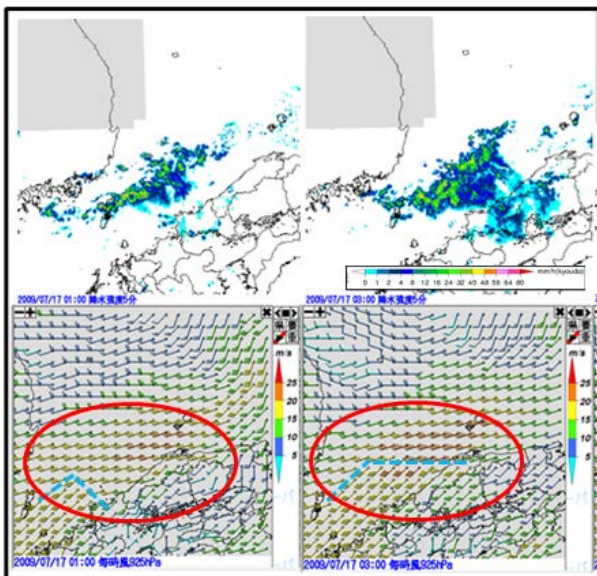
第9図: 第5図と同じ。ただし、(左)(中)は2009年7月17日03時、(右)は2009年7月17日09時。



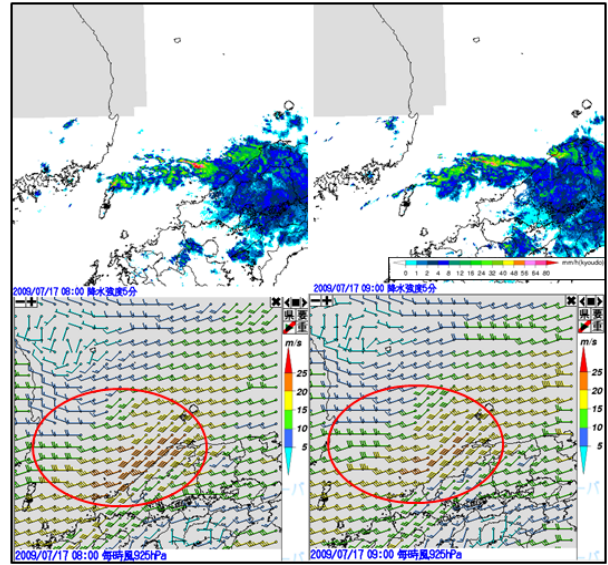
第10図: 第6図と同じ。ただし、2009年7月17日06時。



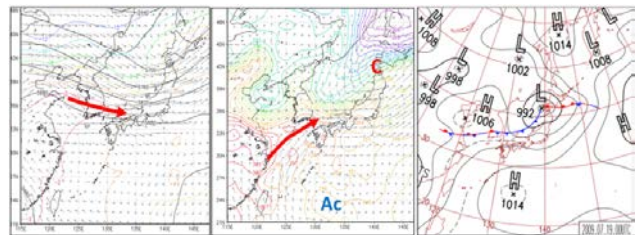
第11図: 第7図と同じ。ただし、2009年7月17日06時。



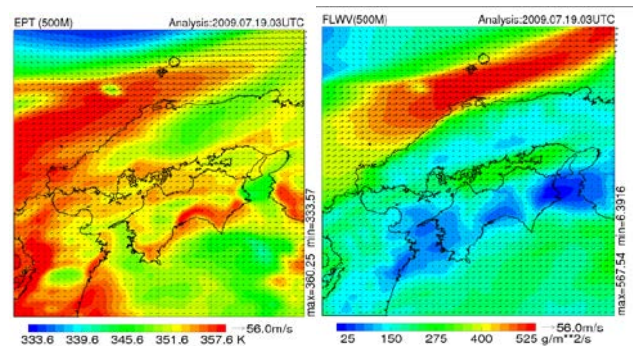
第12図: 第8図と同じ。ただし、2009年7月17日の00時、03時。



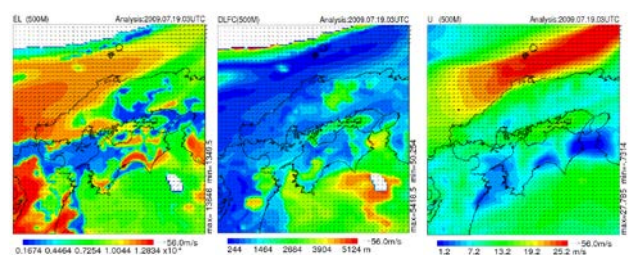
第13図: 第8図と同じ。ただし、2009年7月17日の06時、09時。



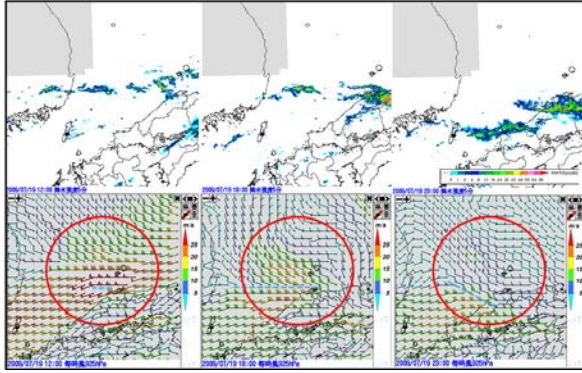
第14図: 第5図と同じ。ただし、(左)(中)は2009年7月19日15時、(右)は2009年7月19日09時。



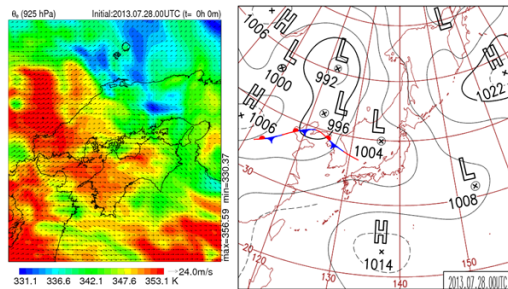
第15図: 第6図と同じ。ただし、2009年7月19日12時。



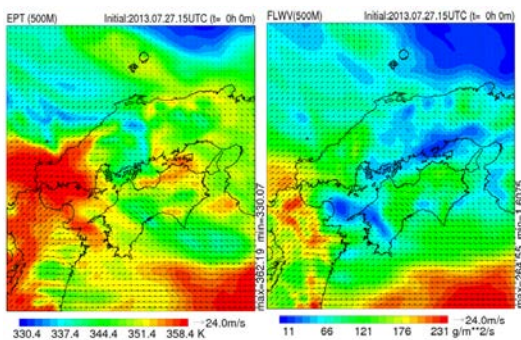
第16図: 第7図と同じ。ただし、2009年7月19日12時。



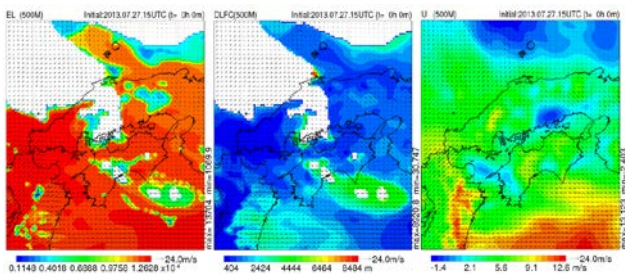
第17図: 第8図と同じ。ただし、2009年7月19日の12時、18時、23時。



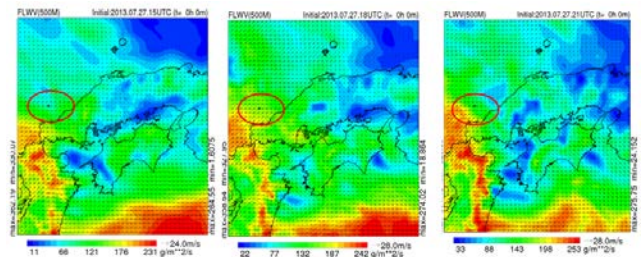
第18図: 2013年7月28日09時のメソ解析による925hPa相当温位(左)と地上天気図(右)。



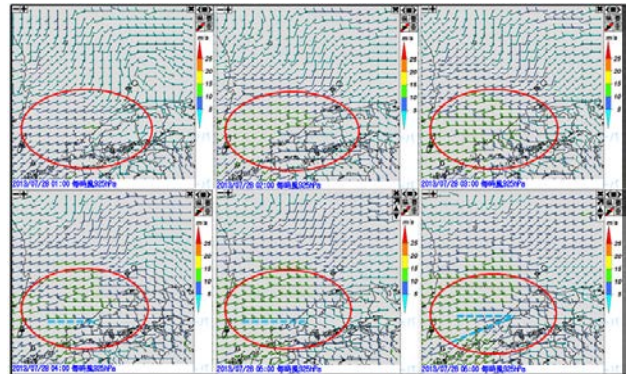
第19図: 第6図と同じ。ただし、2013年7月28日00時。



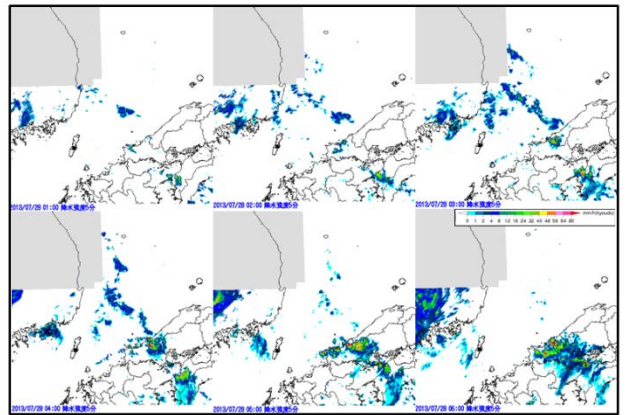
第20図: 第7図と同じ。ただし、2013年7月28日00時。



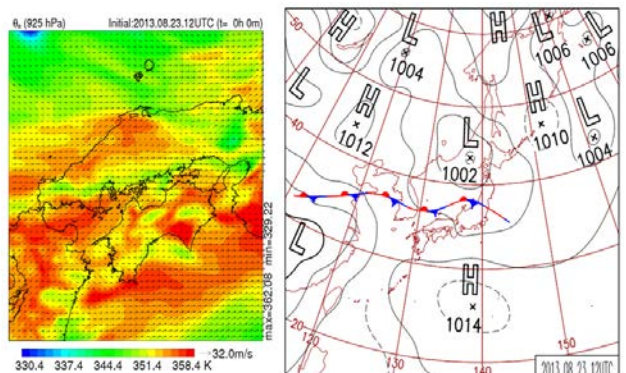
第21図: メソ解析による2013年7月28日00・03・06時のFLW。



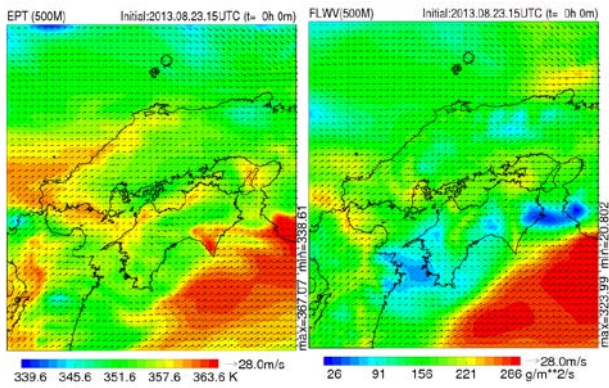
第22図: 毎時大気解析による925hPaの風。左上から右下へ01, 02, 03, 04, 05, 06時。



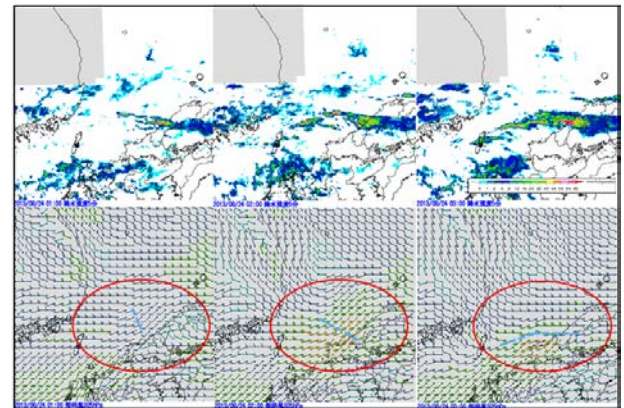
第23図: 合成レーダーによる降水強度。左上から右下へ01, 02, 03, 04, 05, 06時。



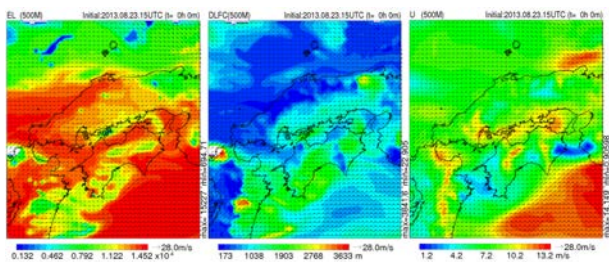
第24図: 第18図と同じ。ただし、2013年8月23日21時。



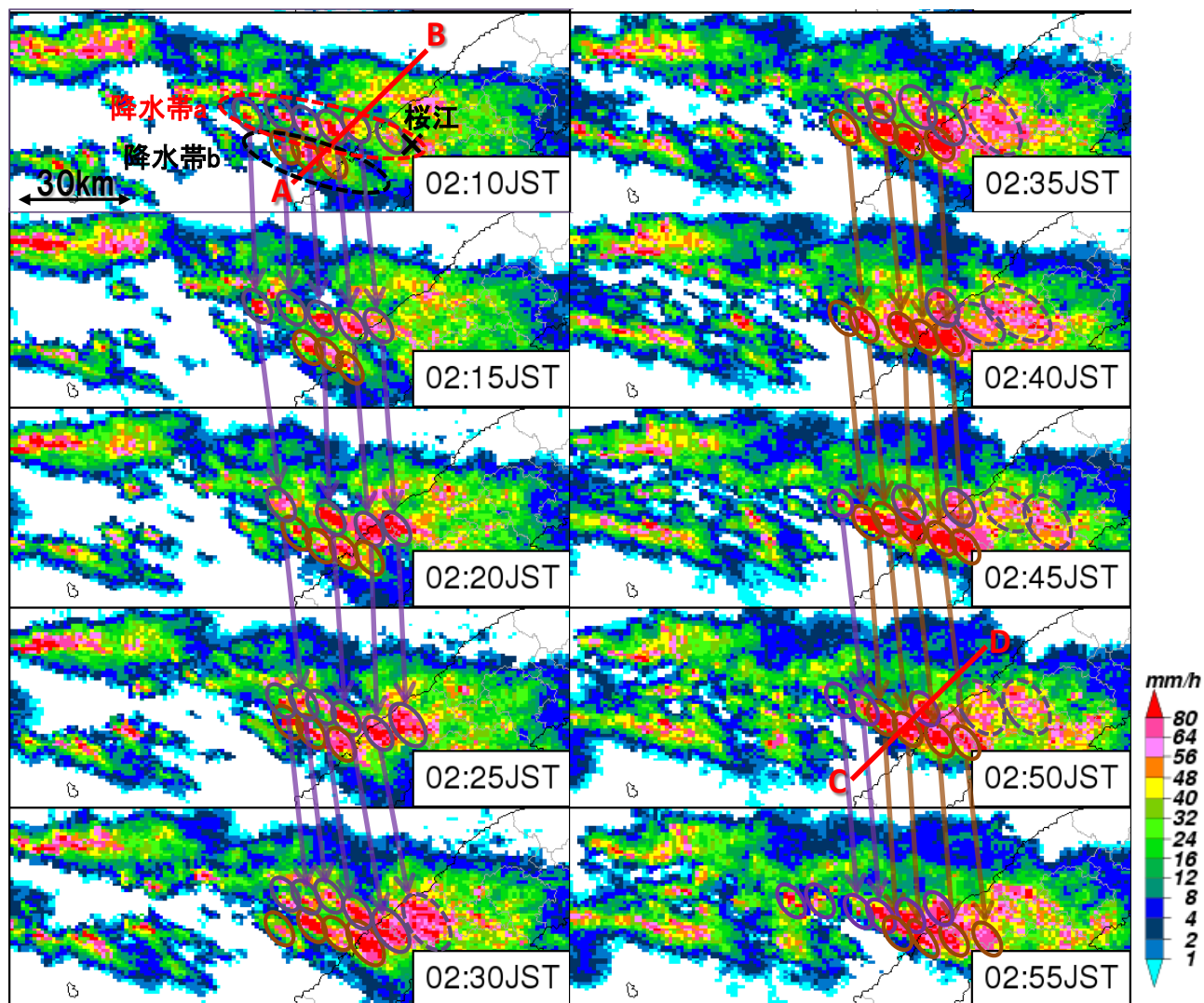
第25図: 第6図と同じ。ただし、2013年8月24日00時。



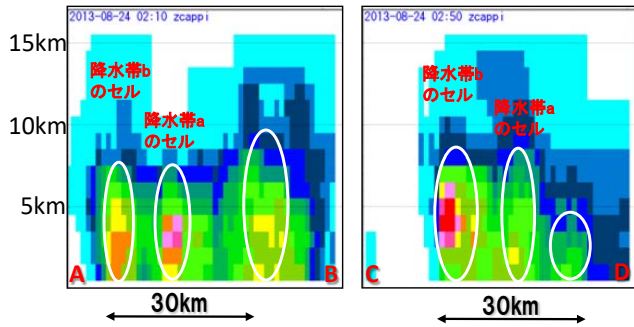
第27図: 第8図と同じ。ただし、2013年8月24日の01時, 02時, 03時。



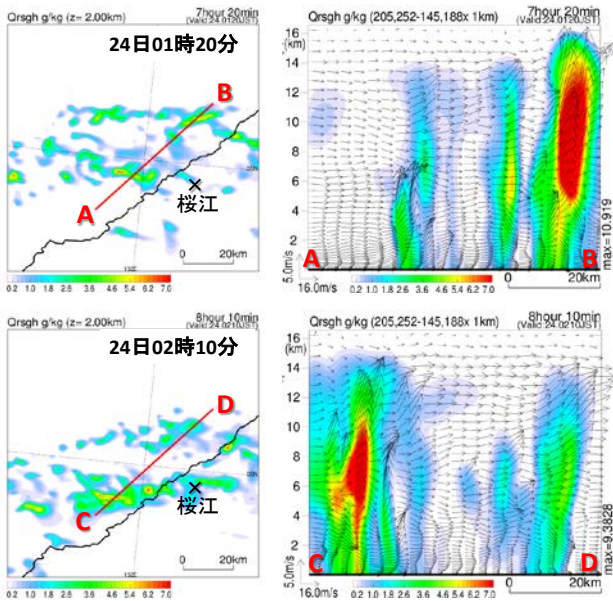
第26図: 第7図と同じ。ただし、2013年8月24日00時。



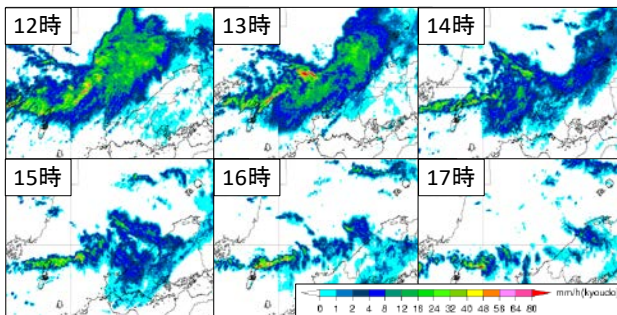
第28図：合成レーダーによる降水強度。24日02時10分から02時55分。楕円と矢印は、それぞれの対流セル(積乱雲)の位置と移動を示す。線分A-B、C-Dは第29図の鉛直断面図の位置を示す。



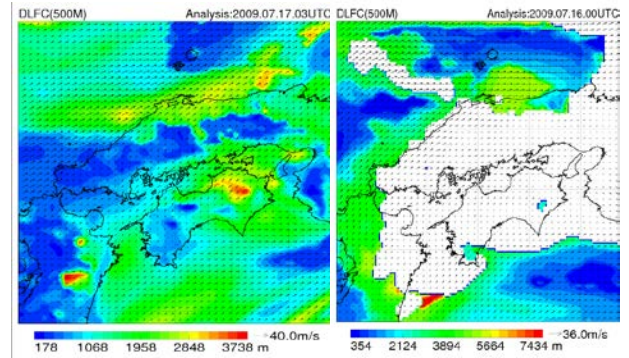
第29図: 第28図中の線分A-B, C-Dに沿った鉛直断面図.



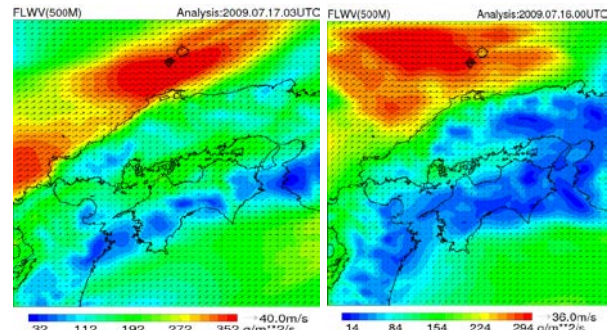
第30図: JMA-NHMによる雨・雪・霰の混合比の鉛直積算の水平分布(左)と線分A-Bに沿った鉛直断面図(右).



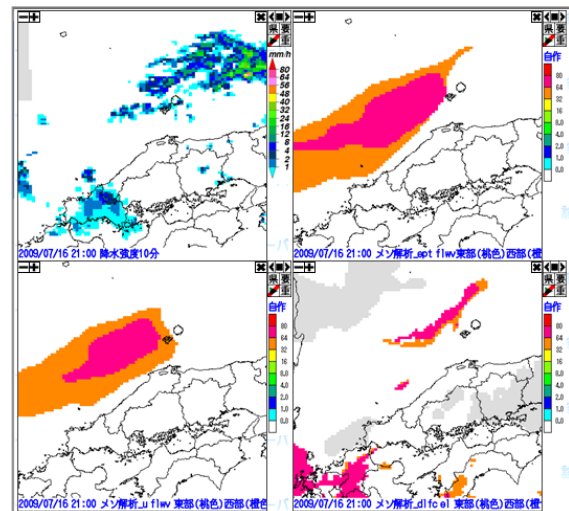
第31図: 合成レーダーによる降水強度. 左上から右下へ, 2009年7月16日12時~17時.



第32図: メソ解析による500m_DLFCと風. (左)大雨事例にあたる2009年7月17日12時, (右)非大雨事例にあたる2009年7月16日09時.



第33図: 第32図と同じ. ただし, 500m_FLWV.



第34図: 大雨必要条件の監視ツール. 例として, 2009年7月16日21時を示す. (左上)合成レーダーによる降水強度, (右上)EPTとFLWV, (左下)UとFLWV, (右下)ELとDLFCのそれぞれのand条件のエリア(東部:桃色, 西部:橙色).