

「平成26年 8 月豪雨に関する研究会」報告

1. はじめに

コンピーナー：藤谷徳之助* ((一財) 日本気象協会)
加藤輝之 (気象研究所)

2014年の7月末から8月にかけて台風第12号及び第11号が相次いで日本に接近するとともに、前線が日本付近に停滞し、これらの影響によって各地で大雨となった。

台風第12号の影響では、四国地方の太平洋側で8月1日から5日まで、台風第11号の影響では、四国から東海地方にかけて8月7日から11日までの期間大雨となった。さらに、前線の影響で各地で局地的に雷を伴って非常に激しい雨が降り、8月16日から17日にかけては、京都府福知山市で48時間降水量の値が観測史上1位の値を更新した。また、8月19日夜から20日明け方にかけては、広島市を中心に猛烈な雨となり、広島市郊外では大規模な土砂災害が発生し、多くの犠牲者が発生する大惨事となった。

日本気象学会気象災害委員会では広島市の土砂災害発生後、研究会の開催について秋季大会実行委員会と連携を取りながら検討を開始した。その結果、メソ気象研究連絡会と共催で、「平成26年 8 月豪雨」に関する研究会を、2014年度秋季大会前日(10月20日)に開催されるメソ気象研究会に引き続いて、九州大学西新プラザで開催することとした。

研究会を計画するにあたり、コンピーナーから気象官署の予報担当者・防災業務担当者、気象研究者、土砂災害研究者の方々に講演を依頼し、さらに、関連の方にコメントをお願いした。

当日の研究会には150名以上の参加があり、夜遅くまで熱心に講演を聴講されると共に活発な議論が交わされた。本稿では、この研究会の概要を報告する。

2. 平成26年 8 月豪雨の概要と各気象台の対応

一福知山(16-17日)と広島(19-20日)での大雨について

福原正明 (大阪管区気象台気象防災部予報課)
高橋清和 (広島地方気象台観測予報課)

2.1 平成26年 8 月豪雨の概要

2014年7月末から8月にかけての期間は、太平洋高気圧が本州の南東海上で強く、本州付近では西への張り出しが弱かったことにより、日本付近は南からの暖かく湿った気流の影響を受ける状態が続いた。7月末～8月上旬は台風第12号及び第11号が相次いで日本に接近し、台風第12号の接近後本州付近に前線が停滞した。これらの影響により西日本を中心に大雨が発生した(気象庁 2014)。

気象庁では、これらの大雨に対して「平成26年 8 月豪雨」と命名した。(福原)

2.2 福知山(16-17日)の大雨について

8月16日から17日にかけて、西日本には停滞前線があり、太平洋高気圧の縁に沿って南海上から暖かく湿った気流が入りやすい状態が続いていた。福知山市では、17日03時までの1時間に解析雨量で約90 mmの猛烈な雨となった。また、福知山アメダスでは、17日05時50分までの24時間降水量が303.5 mmを観測し、観測史上第1位を記録した。同市内では、4,000棟を超える甚大な浸水害が発生した。

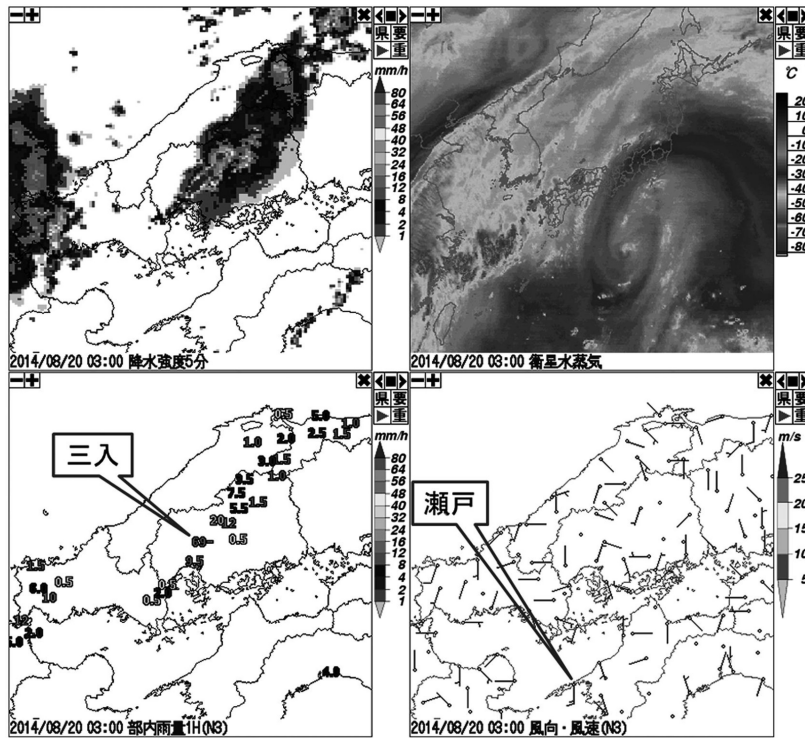
総観場の主な特徴は以下の通りであった。500 hPa 天気図(16日21時)では、西日本付近は西南西流場となっており、じょう乱が発達しやすい場にあった。300 hPa 天気図では、潮岬で -29.9°C の寒気が入っており、衛星では紀伊半島の南海上から北上してくる低気圧性の循環を伴った雲域が確認できた。16日21時の潮岬のエマグラムでは、500 hPa 付近には乾燥した空気塊があり、800 hPa 以下は非常に湿った空気が入っていたため、大気の状態は不安定となっていた。

大雨を発生させた主な要因は以下の通りであった。17日00時過ぎから福知山市で線状の降水帯が明瞭となり、04時頃にかけて次々と発達した雨雲が同じ場所

* (連絡責任著者) Tokunosuke FUJITANI,
(一財) 日本気象協会。

fujitani.tokunosuke@nies.go.jp

© 2015 日本気象学会



第1図 2014年8月20日03時のレーダー降水5分間強度(左上), 衛星水蒸気画像(右上), アメダス1時間降水量(左下), アメダス風(右下:長矢羽5 m/s, 短矢羽2 m/s, 観測値を四捨五入処理して表示)。

発達を繰り返した。播磨灘付近には地形性の低気圧(四国地方の風下側で気圧低下)が形成され、紀伊水道では強い南風が吹いていた。GPS可降水量フラックスを見ると播磨地方には収束が見られ、水蒸気の流入がGPS可降水量からも確認でき、大雨を発生させる一因と考えられる。線状降水帯が発生した南側は播磨平野が広がっており、紀伊水道から播磨灘を経て、中国山地と丹波高地の標高の低い領域に風が集まりやすい地形となっていた。

今事例は、停滞前線に向かって湿った空気の流れや上空の寒気および中層の乾燥空気塊など、複数の要因が重なったことにより大雨を降らせた。(福原)

2.3 広島(19-20日)の大雨について

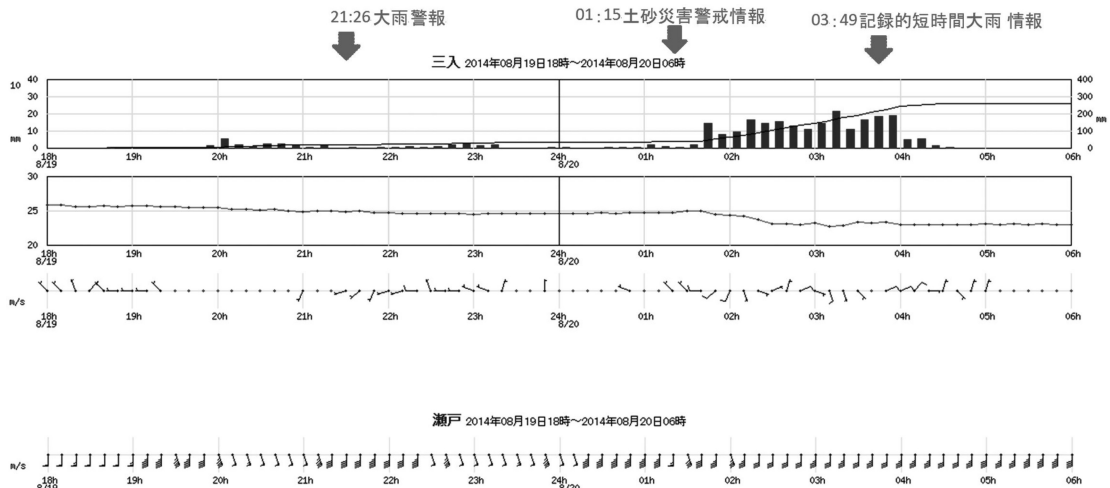
8月19日夜から翌20日の明け方にかけて、広島県の西部では線状の降水域が停滞し、局地的な豪雨となった。この豪雨によって、広島市の北部に位置する安佐北区と安佐南区では20日03時20~40分頃に、同時多発的に大規模な土石流が発生した。被害は、死者74名、重軽傷者44名、家屋全壊174棟、家屋半壊と一部損壊

は329棟など、大きなものとなった。

19日から20日の地上天気図では、大陸東岸~東シナ海~日本海~北海道に前線がほぼ停滞し、中国地方は前線の南側となっていた。300 hPaなど上層では、紀伊半島の南方海上に寒冷低気圧があった。松江の19日21時の高層観測を見ると、850 hPaと500 hPaの温度差が25.0°C、SSIが負の値であり、西日本での大気の状態は不安定であった。レーダーエコー降水強度の経過では、広島市周辺での線状降水帯が、19日21~22時頃と、20日01~03時頃に、明瞭となったもの2つが見られる。

このような中で、広島地方気象台は広島市に対して、19日21時26分に大雨警報を、20日01時15分に土砂災害警戒情報(広島県と共同)を発表した。03時49分には記録的短時間大雨情報を発表した。

第1図は、多発的な土砂災害の直前の20日03時における降水レーダー強度、衛星水蒸気画像、アメダス降水量と風である。広島市には線状降水帯がかかり、衛星画像では南方海上に渦を巻いた寒冷低気圧があり、



第2図 19日18時から20日06時の10分毎のアメダス観測値。上：三入（上段：1時間降水量（棒グラフ，単位は左側），積算降水量（実線，単位は右側），下段：気温），下：瀬戸（風：旗矢羽10 m/s，長矢羽2 m/s，短矢羽1 m/s），上端下向き矢印は広島市への警報等の発表時刻。

風は愛媛県佐田岬半島にあるアメダス瀬戸で南風となっている。

第2図は，三入（広島市安佐北区）のアメダス（降水量，気温，風）と，瀬戸（愛媛県西宇和郡伊方町）のアメダス（風）のそれぞれ19日18時から20日06時までの10分毎の観測値経過である。20日未明から明け方の線状降水帯により，三入では20日04時に過去約40年で観測史上1位である1時間降水量101 mmを観測した。また，20日の日降水量は224 mmとなった。瀬戸の風は19日から強い南風が吹いており，豊後水道を經由して南から下層の暖かく湿った空気が継続的に流入していた。

線状降水帯の発生は，豊後水道を經由した下層の暖かく湿った空気の流入と，上空の冷たい空気存在により，大気の状態が非常に不安定であったことが背景にある。また，日本海に停滞する前線からやや離れたところで線状降水帯が現れたのが特徴的である。これはバックビルディングで形成された（気象研究所2014）。（高橋）

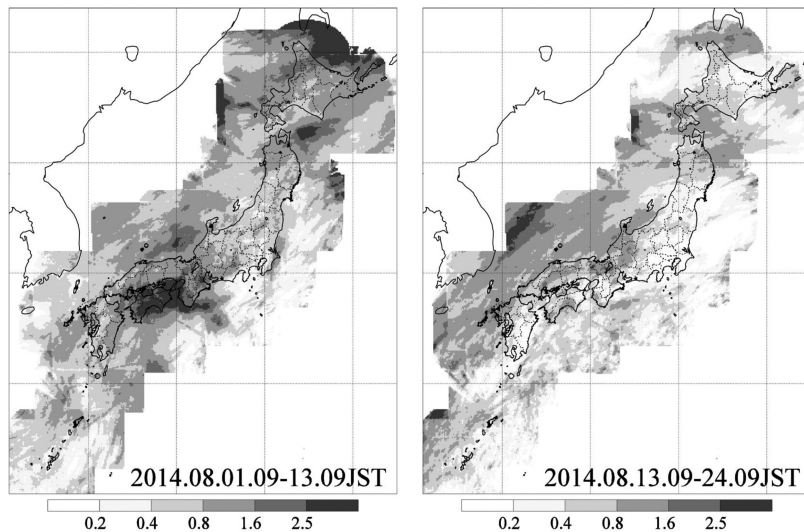
3. 平成26年8月豪雨の発生環境場と広島での大雨の発生要因

加藤輝之（気象研究所）

2014年8月には台風第11号と第12号からの下層暖湿流の流入や四国への上陸，17日未明の福知山や20日未明の広島での線状降水帯に代表されるように日本各地

で大雨が観測された。台風の影響があった期間（台風期間：1～12日）と多数の線状降水帯が観測された期間（線状降水帯期間：13～24日）に分け，それぞれの期間の降水量や大気状態の特徴を調査した。1995～2013年の8月の平均降水量に対する上記期間の降水量の比率（第3図）をみると，台風期間では同期間の平均値の2倍（0.8）以上の領域が日本列島の半分以上（西日本や北日本ではほぼ全領域）を占め，四国から紀伊半島の領域では8月平均量の2.5倍以上に達している。また線状降水帯期間では，九州北部から北陸地方にみられるように降水量が多かった領域がある一方，関東地方や九州南部など平均降水量の半分以下の場所も多かったことがわかる。

この両期間の降水量や分布を決めた大気状態の特徴を，気象庁長期再解析 JRA-55（1958～2013年の平均値を気候値とした）を用いて，高度500 mの相当温位と水蒸気フラックス量，上空（500 hPa面）の気温や不安定な大気状態（高度500 mの相当温位と500 hPa面飽和相当温位から推定）が出現する割合などから調査した。台風期間では西日本太平洋側の気象下層に台風周辺からの大量の暖湿流の流入が見られた一方，台風による昇温も加わり日本列島の上空の気温は気候値よりも1～2°C高かった。そのため，不安定な大気状態の出現頻度が気候値よりも低下し，西日本では割と安定な大気状態で大雨が発生していた。このことは暖湿流が大量に流入した太平洋側では，山岳による強制



第3図 1995年～2013年8月の平均降水量に対する2014年8月1日09時～13日09時(左図)と13日09時～24日09時(右図)の積算降水量の比率(0.4倍がほぼ同期間の平均値に対応：解析雨量から作成)。

上昇に起因する大雨が多かったことを示唆している。

線状降水帯期間では、東シナ海から日本海に停滞していた前線に沿って、南西風により下層暖湿流の流入がみられたが、台風による海面水温の低下の影響で流入気塊の相当温位の値(～350K)は気候値並であった。また水蒸気フラックス量も九州北部で若干気候値よりも大きかったものの、九州南部や関東地方では逆にかなり小さく、全国的にみれば気候値並であった。日本列島上空の気温は、台風期間と異なり、暖気移流にともなう断熱冷却で気候値より約1℃低かった(関東地方などの一部では、太平洋上空の高渦位の流入にともなう低温化がみられた)。これによりほぼ常時、西日本では不安定な大気状態になっていた。加えて、停滞していた前線南側では鉛直シアが強まり、線状降水帯が形成されやすい大気状態になっていた。

8月20日の広島では、広島と山口の県境付近で積乱雲が次々と発生し、バックビルディング型形成により複数の積乱雲群(マルチセル)が作られ、その積乱雲群が連なることで線状降水帯が形成・停滞することで大雨となった(気象研究所 2014)。次々と誕生する積乱雲群によって線状降水帯を作り出す過程もバックビルディング型形成だと言える。大雨の発生場所は日本海上に停滞していた前線から南側約300 kmに存在していた上空の湿潤域の南端に位置し、梅雨期にみられる大気構造・大雨の発生位置(吉崎・加藤 2007)に

類似していた。積乱雲の発生場所から広島市付近には、豊後水道上で蓄えられた大量の下層水蒸気が局所的に流入し、積乱雲を繰り返し発生させ、積乱雲群を維持させていた。

4. 平成26年8月広島土砂災害と他の類似土砂災害

久保田哲也(九州大学大学院農学研究院)

現地調査によれば、広島災害の土石流流速は2.87 m/s (10 km/hr), 3.27 m/s (11 km/hr), 3.7 m/s (13.3 km/hr), 9.6 m/s (約35 km/hr), 14.2 m/s (約51 km/hr), 16 m/s (58 km/hr) などと一般的な流速の範囲となっている。流木も広葉樹が目立ち、他の災害より特に悪い状況とは思われないが、降雨強度が強く、雨量も大変多いことから土石流が同時多発的に発生し、被害が甚大なものとなった(第4図)。

4.1 斜面安定解析を用いた気候変動による降雨増加の影響解析(広島と類似の土砂災害事例)

2012年の九州北部災害における崩壊事例のFEM(有限要素法)による飽和不飽和降雨浸透解析と安定解析の連成解析を行った。

年最大雨量の増加率は、降雨長期変動の回帰分析から推定し、最大時間雨量で年間5 mm/hr増加しているとした。

2012年7月の九州北部豪雨と同じ降雨パターンの雨が10年前(降雨強度増加前)に降った場合、下記のよ



第4図 広島市の土砂災害 (2014年8月20日)。

うな結果となった。

- ①熊本県阿蘇山箱石峠の表層崩壊 (崩壊深が0.9 m 程度) では、斜面安全率 F_s が1.0と今回の崩壊時の $F_s=0.99$ より約1%安定であった。
- ②同、阿蘇市手野地区の表層崩壊 (崩壊深約2.0 m) の事例では $F_s=0.99$ と降雨増加があった場合と同じ (10年前であっても同じ降雨パターンの雨が生じていれば崩壊する)。やや深い崩壊では、 $F_s=0.95$ が1.05, $F_s=0.90$ が1.02となり、約10%も安定であった。
- ③同市坂梨地区の表層崩壊では、 $F_s=0.95$ が1.00となり、約5%安定であった。
- ④福岡県八女市黒木地区の崩壊例では、 $F_s=0.70$ が0.9となった。これは降雨の増加が無ければ、30%近く安定であったことを示唆する (ただし、10年前であっても同じ降雨パターンの雨が生じていれば崩壊することを意味する)。

つまり、降雨の増加は斜面の不安定化に影響を与えていると考えられる。表層崩壊に対する根系の補強効果は50%以上に上るので、それに比較すると安定度の減少割合は値としては大きくはないが、森林根系があっても、確実に不安定化することには変わりがない。

ただし、広島市では、アメダスのデータによると増加傾向がないので、この議論は成立しない。

4.2 火山堆積物地帯における森林斜面崩壊と土石流の特徴

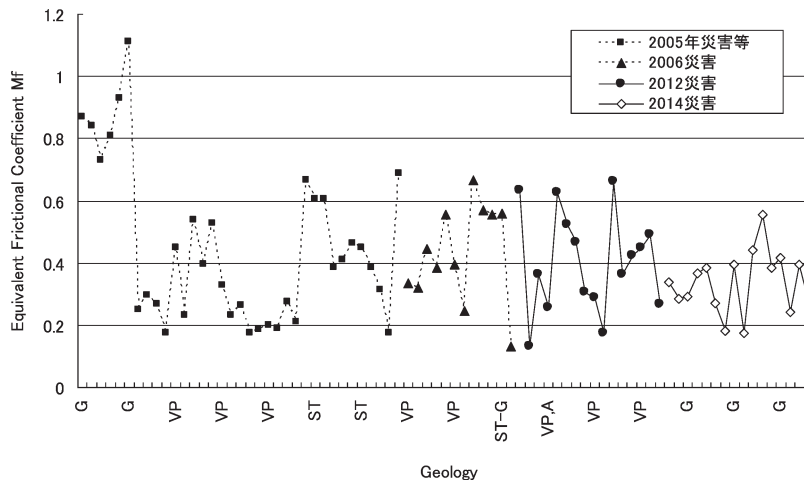
硬い溶岩層、または比較的硬い火山灰・軽石層 (不透水性) の上部の火山灰・軽石層が崩壊、流動化 (土石流化) し、すべり面液状化などにより崩壊速度が大きい。流動化が激しく、土石流化して比較的遠くまで到達する。

4.3 最近の土砂災害における崩壊土砂到達率 (等価摩擦係数)

2014年広島災害は広島市安佐南区八木地区0.146~0.380、安佐南区阿武山北側0.440~0.554などであり、花崗岩地帯と火山性堆積物地帯の到達距離がやや長いと思われる (第5図)。

4.4 広島災害における植生との関連

広島市安佐南区八木地区上流部 (阿武山) の主な植生はシラカシ類; 元はアカマツ林斜面。このシラカシ類は胸高直径が平均15 cm 程度であり、間伐をしていれば根張りが良くなり、表層崩壊~土石流をもう少し減災できた可能性を示唆する研究者もいる。しかし、その効果は明確ではない。例えば、2013年の当研究室の研究によると、間伐・非間伐林の根系補強による粘着力増分 C_r の値はそれほど大きくない。ただし、現地サンプルを用いた根の引張り強度試験では、当地のシラカシの根系強度は杉などの一般的値よりも弱いことが判明しており、その観点では、適正な森林管理が必要であった可能性はある。



第5図 各土砂災害における地質別（横軸）の崩壊土砂到達率（等価摩擦係数：縦軸，小さい方が相対的な到達距離は長い，2014年広島災害：八木地区0.146～0.380，阿武山北側0.440～0.554など）．VP：火山性堆積物，G：花崗岩，A：安山岩，ST：堆積岩．

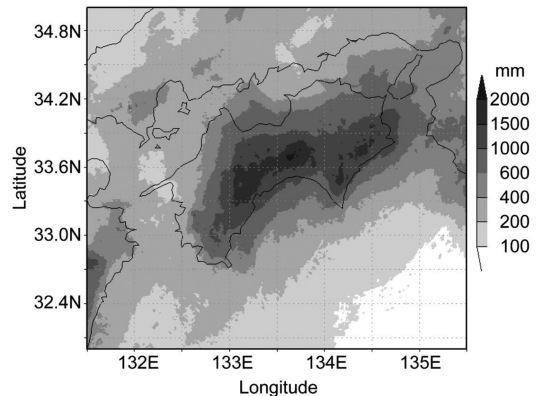
4.5 まとめ

- ①火山地域と花崗岩地帯での等価摩擦係数 M_f の小さいことが目立つが，いずれにせよ，どの地質でも降雨量の増加傾向がみられる地域では，崩壊流動化による遠距離におよぶ土砂到達被害の増加が考えられる。
また，山岳道路・林道の盛土や排水不良に起因する崩壊も増加すると考えられる。
- ②間伐など森林の適切な管理による表面流出の増加防止や根系の発達促進による表層崩壊の軽減を図る他，下流部樹林帯の整備などを検討することも必要と思われる。
- ③到達距離の長さから考えて，警戒避難と組み合わせた土地利用の適正化（移転と規制）により災害を軽減することも必要かと思われる
- ④広島災害斜面では，根系による表層崩壊抑止機能が，やや小さかった可能性も考えられる。

5. 台風第11号及び第12号による高知県の大雨

佐々浩司（高知大学理学部門）

台風第11号及び第12号に伴う大雨は，8月1日から10日にかけての10日間で高知県の広い範囲で年間降水量の6割にも達し，一部では第6図に示すように2000mmを超えた地域もあった．台風第12号は高知県に大雨をもたらす台風の一般的ルート（牧草・佐々 2014）



第6図 2014年8月1日から10日までの四国周辺のレーダーによる累積雨量．

よりもさらに西の東シナ海を北上したにも関わらず，大量の雨をもたらしたが，これは台風第12号から離れて南西諸島から北上してきた大量の水蒸気塊の流入によるものであった．2日から3日にかけては台風に伴う地形性降水の一つである斜面ストリーク型（牧草・佐々 2014）が持続し，主として高知県中央部に雨を降らせ続けた．これにより高知市内を流れる鏡川が氾濫しかけたため，上流の鏡ダムで緊急時のみ行われる「ただし書き操作」を実施するに至った．また，全市に避難勧告が出された．しかしながら，かろうじて計

画流量を下回ったため浸水被害はごく一部にとどまった。これには1975年台風第5号と1976年台風第17号による高知市内の広範囲に及ぶ浸水被害の教訓から、排水設備を全国屈指の降水量77 mm/hまで対応可能としたところが大きい（高知高専岡田将治氏私信）。台風第12号が熱帯低気圧から温帯低気圧に変わっていった後も、高知県中央部には水蒸気が供給され続け、6日まで断続的に強雨が持続した。7日のみ小康状態であったが、翌8日からは台風第11号の北上に伴って再び大雨が続いた。この時の雨の大半は、台風による南東風が、四国山地の佐喜浜を中心とする南東斜面と窪川を中心とする南東斜面にぶつかって持続する地形性降水によるものであり、主として高知県東部と西部の中山間斜面に大雨をもたらした。これらの大雨により県内各地は農地や道路などで土砂災害が頻発し、9月13日付の高知新聞によると被害額は24億円に達したが、幸いなことに人的被害はなかった。

6. 気象分野から見た土砂災害軽減への糸口

牧原康隆（気象業務支援センター）

広島市で集中豪雨による大規模な土砂災害が発生し74名が犠牲となった。広島市では15年前にも西部を中心に大規模な土砂災害が発生し、それをきっかけに土砂災害軽減のためのさまざまな制度が作られた。気象庁においても土壌雨量指数から土砂災害警戒情報の運用開始に至る技術開発と新制度の運用がなされてきた。その改善に関わってきた一人として、土砂災害の発生しやすい地質、地形、都市環境があらかじめわかっている広島市で、再びこのような犠牲者が出たことに、忸怩たる思いを禁じえない。

この現実を正面からみつめ直し、災害軽減への糸口を見つけ出すことが、今与えられた重要課題と考えている。このうち、気象分野における課題として2点を指摘したい。

- ①大雨の局地性（例えば、牛山ほか 2001）のため、15年前の土砂災害の脅威を実感していない市民が多数いる可能性があり、土砂災害警戒情報の信頼度の低下につながっている可能性もある。
- ②現時点で避難に必要とされている2時間を予報時間とする局地的な大雨予測の精度と、一般から求められている精度とに大きな差があることを、客観的評価により広く認識してもらう必要がある。例えば、降水短時間予報の1時間先の精度は、大雨警報の基準とほぼ同等の20 km 格子の平

均雨量20 mm 以上（領域最大40 mm 以上相当）のスレットスコアで0.3程度（MSM では0.1程度）である。両者の精度の差を早期に縮めるには、避難にかかる時間を短縮するほうが、実現の可能性が高い。

そのうえで減災に結びつくシナリオのための糸口として以下の可能性に期待したい。

- ①1時間程度の猛烈な雨を観測している地域において、その後大雨が継続するポテンシャルを評価する方法の確立。
- ②土砂災害に対する影響の大きい先行降雨のさらなる有効活用。特に、土砂災害発生時の critical level に近い状況、例えば、あと50 mm 程度で先の土砂災害時と同じ level にあるというような状況の把握とその情報の提供の検討。
- ③ critical level に近い状況における、リードタイムが10分から20分程度の、大雨に特化した予測体制の確立（例えば、緊急地震速報と類似した「緊急大雨ナウキャスト」のようなもの）およびこの情報と連携した緊急避難体制の検討。

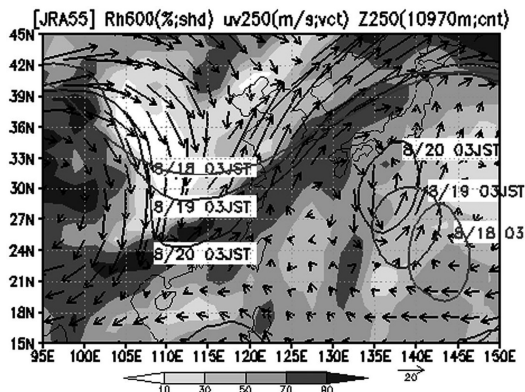
土砂災害の軽減に向けた対策は、気象、砂防の技術的分野、情報提供の分野、避難を実施する分野それぞれの立場から進められているが、さまざまな課題をつきつけられた今回の豪雨災害の教訓として、減災に取り組む各分野の技術の限界を相互に理解した上での、現状にとらわれない新たな発想による減災へのシナリオが求められていることを痛感している。

7. コメント（平成26年8月広島豪雨の大規模場に関する事例解析）

廣田渚郎・高藪 縁（東京大学大気海洋研究所）

広島豪雨に関わる大規模場の特徴を解析し、その豪雨発生への役割を調べるために数値実験を行った。

第3章に述べられている様に、広島豪雨の発生時には、中国地方に湿潤な空気が流入していた（第7図陰影）。この湿潤域は、大きく蛇行した亜熱帯ジェット（第7図矢印）に沿う様に、遠くインドシナ半島付近から見られ、いわゆる Atmospheric River (AR) の様な構造を示す。解析の結果、このARの湿潤域では、可降水量の4割程度は800 hPa 以上の大気中上層に見られ、非常に深く湿っていたことが分かった。一般に大気下層は湿っている傾向があるが、大気中層がこの様に大きく湿るのはめずらしく、この事例の特徴である。また、中国地方には、太平洋で亜熱帯ジェッ



第7図 JRA55 再解析データによる2014年8月20日03JSTの600 hPaの相対湿度(%, 陰影), 250 hPa 水平風 (m/s, ベクトル), 250 hPa の10,970 m 等値線 (18-20日).

トから切離された上層寒冷渦が南東から接近しており(第7図等値線), それに伴う大気的不安定化や力学的な上昇流の誘起が, 豪雨発生に何らかの役割を果たしている可能性が考えられる。

雲解像モデル CReSS (水平分解能2.5 km) を用いて, 気象庁解析データを初期値・境界値とし, この広島豪雨事例の再現実験を行った。実験結果では, 中国地方への南西からの深い水蒸気流入, 南東からの上層渦の接近などの大規模場の様子が再現され, 中国地方の降水は19日23時頃に極大値を示した。この降水の極大は, 観測と比べると3時間程度早く, 若干弱い(7割程度)が, 大規模場との関係を議論するためには十分に表現できていると考えられる。

次に, 感度実験を行い, AR に伴い自由対流圏が深く湿っていたこと, 上層渦が接近したことの影響を調べた。初期値・境界値の水蒸気量を, 800 hPa 以下で気候平均値に置き換えた実験, 及び800 hPa 以上で置き換えた実験を行い比較した。800 hPa 以下を置き換えた実験では, 再現実験の様な中国地方の降水が見られるが, 800 hPa 以上を置き換えた実験では見られない。これは, この事例における水蒸気量の気候平均値からの偏差は大気中上層で顕著であるが, 常に湿っている下層では比較的大きくならないことを反映している。また, 上層渦を初期値・境界値から取り除いた実験を行うと, 中国地方の降水は見られなくなった。つ

まり, AR の存在で大気の中上層まで湿っていたこと, 上層渦が接近したことが, この広島豪雨の発生に重要な役割を果たしていたことが示唆された。

8. おわりに

本研究会では多くの関係者に講演等をお願いしたことから, 総合討論に十分な時間を確保できなかった。このため, 2013年に仙台で開催された研究会で参加者から指摘された, 防災情報の提供等の項目を含んだ, より包括的な議論については実施できなかった。

防災情報に関連して政府では, 土砂災害防止法の一部を改正するとともに, 国土交通省に「新たなステージに対応した防災・減災のあり方に関する懇談会」が設置され, 2015年1月20日に検討結果が公表された。

防災情報の提供等に関する課題については, 上記の懇談会の報告等を参照しながら, 今後の研究会等で取り上げる予定である。(藤谷)

謝 辞

今回の研究会を開催するにあたり, 会場の準備・運営を行っていただいた九州大学の川野哲也氏, 九州大学・気象研究所の有志の方々, ならびに筑波大学連携大学院(気象研究所)の学生の皆様に, 誌上をお借りして感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 気象庁, 2014: 平成26年(2014年)8月の不順な天候について～異常気象分析検討会(臨時会)の分析結果の概要～. <http://www.jma.go.jp/jma/press/1409/03b/kentoukai140903.pdf> (2014.10.30閲覧)。
- 気象研究所, 2014: 平成26年8月20日の広島市での大雨の発生要因～線状降水帯の停滞と豊後水道での水蒸気の蓄積～. http://www.mri-jma.go.jp/Topics/H26/260909/Press_140820hiroshima_heavyrainfall.pdf (2014.10.30閲覧)。
- 牧草ひとみ, 佐々浩司, 2014: 高知県に長期間降水をもたらす台風. 京都大学防災研究所研究集会25K-08 台風研究会報告書, 29-32。
- 牛山素行, 大井戸志朗, 寶 馨, 2001: 1999年広島豪雨災害資料による土砂災害発生危険雨量の設定とその実用性. 河川技術論文集, 7, 167-170。
- 吉崎正憲, 加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店, 187pp。