

課題名 S-8-2(2) 亜熱帯化先進地九州における水・土砂災害適応策の研究

課題代表者名 小松 利光 (九州大学大学院 工学研究環境社会部門 特命教授)

研究実施期間 平成22～26年度

累計予算額 183,511千円(うち26年度32,800千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 災害外力、順応的適応策、調整可能な技術、亜熱帯化、洪水災害、土砂災害

研究体制

ゲリラ豪雨の予測手法の開発(九州大学大学院総合理工学研究院)

災害免疫力の素因の抽出ならびにその体系化・台風ならびに高潮の高精度推定モデルの開発・斜面安定化ならびにその評価法の開発・河川災害適応策のための要素技術の開発・都市災害適応策のための要素技術の開発(九州大学大学院工学系研究環境社会部門)

研究協力機関

長崎大学、山梨大学

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

地球温暖化による我が国の亜熱帯化への移行が懸念されているが、最も早くその影響を受けるとされる九州地方を対象に水・土砂災害分野での具体的な温暖化適応策の研究を、流域における山地部、河川部、都市域、沿岸域を対象として行った。九州で適切な適応策を開発・策定して社会実装まで持つて行くことは、その後の日本全国への展開、海外への普及にとっても極めて重要である。

我々のグループは柔軟でダイナミックな広義の防災力として「災害免疫力」という新しい概念を導入したが、その素因の抽出を行うことにより、温暖化問題の本質、適応策技術の持つべき特性、適応の際に考慮すべき事柄等について考察を行った。温暖化による災害外力の増大は、実は今我々が想像している以上に大変な事なのではないかと危惧している。災害は人命の損失に直結するため、災害外力の増大の下での防災・減災に我々は総力を挙げて取り組まなければならない。

2. 研究開発目的

地球温暖化による降雨強度や降雨量の増大、台風の強大化、少な過ぎる水の問題である渇水の深刻化等が予測されている。洪水災害・土砂災害はAll or Nothing の側面を持つ。洪水が河川堤防を越流すると破堤し氾濫して大災害となるが、破堤せず河道内に洪水が留まる限りは被害は少ない。また土砂災害も土石流等が起こるか起こらないかで決定的に異なってくる。このようにそれぞれのサイトに固有の閾値(限界値)があって、災害外力がそれ以下だと持ちこたえて被害は軽微であるが、それを超えるとカタストロフィックに大災害となる。気候変動による災害外力の増大は、容易にこの一線を越えさせることになり、今や我々が直面する災害は、新しいステージに入っていると言えよう。限られた予算やマンパワーの下で如何に閾値を上げてNothingに近づけるかが問われている。そのためのハード、ソフト、ヒューマンウェアを総動員した適応策の開発ならびにその実装が必要であるが、本研究では防護に主眼を置いたハード対策の開発を主として実施した。

3. 研究開発の方法

(1)ゲリラ豪雨の予測手法の開発

福岡都市圏内の14校の小学校に雨量計を設置した。観測で得られたデータから、局地降雨の実態の把握を試みた。また、高層気象データを用いて、上空の大気の状態についても解析した。局地降雨日と晴天日に分けて両者を比較することにより、局地降雨の発生条件の検討を行った。

(2)台風ならびに高潮の高精度推定モデルの開発

有明海湾奥部において、防護施設に関する被災履歴や整備状況の資料を収集し、台風期を含む期間について波浪および潮位の観測を実施した。次に複雑な地形を考慮できる非構造格子による海洋流動モデルFVCOMを高潮推算に応用し、気象庁気象研究所により実施された超高解像度全球大気モデル(MRI-AGCM3.2S)の気

候予測実験結果（現在、近未来、将来）を入手し、将来気候データを利用して有明海の災害危険度を評価した。そして、高潮浸水計算結果から得た知見等をもとに高潮災害への適応策を提案した。

(3) 斜面安定化ならびにその評価法の開発

沖縄県宜野座村で赤土等流出問題について現地実験にて適応策効果を明らかにした。2010年10月奄美豪雨災害の資料収集・整理、現地調査を行い被害概況等明らかにした。

(4) 河川災害適応策のための要素技術の開発

それぞれのダムで非常用洪水吐きから溢れないように洪水処理を行う従来型の流水型ダム群3基と提案する新しい概念（カスケード方式）に基づき配置された同じスケールの流水型ダム群3基（以後、越流型）において、洪水制御能力がどのように異なるのかを数値シミュレーションと室内実験により比較し、上流部に設置された流水型ダム群の大きな可能性・有用性を検討した。

(5) 都市災害適応策のための要素技術の開発

水の流れにより自動車模型に働く抗力を種々の水深、流速、流入角度の組み合わせに対して分力計を用いて計測し、抗力係数を測定・評価した。この抗力係数を用いて、実車の場合の危険度を算出して考察を行った。

4. 結果及び考察

(1) ゲリラ豪雨の予測手法の開発

地上気温と上空湿度の相関図から、地上気温と上空湿度がともにある一定以上になると、局地降雨の発生の可能性が高まることがわかった。これより、朝6時の地上気温と9時の高層気象観測から得られる上空湿度データより、その日の局地降雨の発生の有無の予測が可能となった。

(2) 台風ならびに高潮の高精度推定モデルの開発

佐賀県を中心に各関係機関の協力の下、有明海関連資料を収集し、現状の経緯および佐賀平野部の地理的特徴等を把握した。平成24年9月に来襲した台風1216号では有明海湾奥の水際線で高潮偏差が増大し、湾奥部で高潮リスクが増大することを具体的に示した。気圧変化も考慮できるようにモデルを改良し、さらに海域での高潮と陸域での浸水を同時に計算可能なモデルを開発した。MRI-AGCM3.2S（現在気候）の解析値と気象庁のベストトラックを比較した上で、台風の中心気圧の累積分布と気候変動特性をもとにバイアス補正を実施した。また、MRI-AGCM3.2S（将来気候）のうち有明海湾奥部で最大の高潮偏差となる台風を抽出し、高潮浸水計算を実施した結果、河川堤防の一部からの越水により浸水することが確認された。また、佐賀平野が低平地であるため、浸水開始箇所は局所的であったにも関わらず、浸水域は広範囲に拡大する結果となった。計算結果から得た知見等をもとに関係機関別の高潮災害への適応策案を提案した。また、この提案事項をもとに対象自治体である佐賀県と協議し、適応策の実施に向けた情報提供および情報共有の協力体制を確立した。

(3) 斜面安定化ならびにその評価法の開発

農家のために営農上不利益を講じない赤土流出適応策を組み込む必要があることがわかった。奄美豪雨災害時の14地点の雨量観測所のデータから、2種類の降雨パターンがあることがわかった。

(4) 河川災害適応策のための要素技術の開発

複数の流水型ダムが直列に配置された場合、従来の考えに基づいた非越流の流水型ダム群と比較して、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容する（カスケード方式）ことで、一般的にはより重要となる下流側の洪水制御能力が顕著に強化されることが分かった。総合治水における流域貯留の概念に添うものとして、河道内遊水池とも言うべき流水型小規模ダム群を用い、新たな越流型洪水制御方式を取り入れることで、環境と調和した新たな洪水制御が可能となった。

(5) 都市災害適応策のための要素技術の開発

実際の自動車を迎角に応じてどの程度まで流されずに耐えられるかについて試算を行った。その結果、流水に自動車が耐えうる限界は迎角により大きく異なることがわかった。水深と流速の組み合わせに対し車が流されるか流されないかを判断できる一覧表を作成した。また、前原市（現糸島市）の事故現場を対象に氾濫シミュレーションを実施し、軽自動車が流された時間帯の状況を再現した。本計算により、事故現場は周辺から道路を伝って雨水が集中し、氾濫流の流速が大きくなるという特徴を有することが再現できた。このような多くの場所が冠水時に自動車走行が危険となる場所として地域住民や運転者がリアルタイムで認識できるようにするために、今後簡便な適応策を講じる必要がある。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

・災害外力が増大するという遷移過程における防災技術のあり方を災害免疫力の概念に基づいて検討し、社会や自然環境と調和しながら防災力を上げていくためには、「順応的適応策」が不可欠であることを明らかにした。

更に、順応的適応策となり得る防災技術の特性を明らかにし、流域の山地部、河川部、都市域、沿岸域の防災技術の開発ならびに社会実装の検討を行った。

- ・福岡都市圏における降雨特性把握のために14個の雨量計を設置し、降雨観測を行った。福岡平野における局地的降雨の降り出し場所と雨域の移動経路が概ね明らかとなった。福岡管区気象台における地上気温と上空湿度がともにある一定値以上になると、局地降雨の発生の可能性が高まることを明らかにした。
- ・メソ気象モデルWRFを用いて2006年9月14日に福岡平野において発生したゲリラ豪雨、平成24年7月九州北部豪雨の再現シミュレーションを行った。ゲリラ豪雨への都市の影響を評価する手段の一つとして、人工排熱量の違いによる降雨量の変化を検証した結果、人工排熱の増加とともに、降雨量が増加することが明らかとなった。感度実験の結果、雲微物理過程と境界層乱流混合過程の最も適合度の高いスキームの組み合わせを選出し、歴史的豪雨であった対象事例においてもWRFは概ね適用可能であることが明らかになった。
- ・有明海湾奥部の水際において台風期に潮位観測を行った結果、有明海の西側を北上する台風によって、湾奥部で高潮(潮位偏差)が大きく増幅される場合があることを具体的に示した。改良した海洋流動モデルをもとに浸水計算を実施した結果、バイアス補正後の台風では、河川堤防からの浸水により浸水域が広範囲に拡大する結果となった。また、参考に解析したバイアス補正後の台風(室戸台風級)では、海岸堤防を含む局所的に堤防高が低い箇所からの越水により、佐賀平野全域で甚大な浸水被害が生じる可能性が示唆された。
- ・沖縄県宜野座村にて種々の適応策の赤土流出抑制効果の把握を行った。グリーンベルトが年間を通して流出抑制効果が高いこと、また、豪雨に対する敷き砂の有効性を示した。更に奄美豪雨に伴う斜面崩壊現象に関し、斜面崩壊の現地調査を行って、発生メカニズムと課題を整理した結果、雨の降り方、地盤の地形・地質特性を取り入れたリスク評価手法の必要性を提示した。
- ・河川洪水対策のための本研究の結果、複数の流水型ダムが直列に配置された場合、従来の考えに基づいた非越流の流水型ダム群と比較して、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容することで、一般的にはより重要な下流側の洪水制御能力が顕著に強化されることが分かった。なお、本研究で提案された上流側のダムの越流を許容する新たな治水方式は、従来から一般的に用いられているゲート操作を行う貯水型ダム群にも適用可能である。即ち、本研究の成果は、今後の温暖化による災害外力の増加に向けた有力な適応策(超過洪水対策など)として期待できる。
- ・現在の車社会を災害外力の増大にどう対応させていくかについての研究では、どういう水深と流速の組み合わせで車が流されるかを明らかにした。近年の集中豪雨に対しては、行政の通行止め等の措置は間に合わないため、運転者個々人に状況に応じた正確な判断をしてもらうことが不可欠であり、そのために簡便に運転者に道路上の氾濫情報を提示する方法を提案した。

(2)環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・沖縄県農林水産部営農支援課から平成22年度地域協力型環境保全営農支援モデル事業(平成22年12月17日公募)の目的に、「近年のゲリラ豪雨の発生等により赤土等の流出は依然として自然環境に大きな負荷を与えている状況である」と記載され、本研究の成果によりゲリラ豪雨対策の必要性が明記された。
- ・国土交通省の矢部川河川整備計画に本研究の順応的適応策の概念の一部が採用され記載された。
- ・大分県竹田市の橋梁部における流木災害対策に本研究の成果が反映され、実施された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・将来の気圧分布や波高分布の把握および、高潮災害の危険区域(有明海湾奥部)の浸水被害を定量的に評価することにより、今後の沿岸防災計画を立てる上で重要な知見を与えることができた。さらに、研究成果をもとに自治体と協議して高潮災害への適応策の提案を行った成果は、今後行政が活用することが見込まれる。
- ・気候変動(豪雨や渇水頻度の増加)を考慮した取組みとして、インターネットを通じてリアルタイムで気象・土壌水分をモニタリングできる情報共有型システムを導入した。自治体や農家の方にも参加頂いた勉強会では本システムの利用法等の説明を行った。
- ・S-8-2(2)の代表の小松が委員長を務めた大分県竹田市の玉来ダムの検証委員会では、最終的に流水型ダムを用いた環境に配慮した治水策を支持するとの答申が出され、現在、建設に向けて最終調整に入っている。玉来ダムでは、最新の研究成果を集積した最高の流水型ダムの築造を目指すことになっており、本研究グループの成果が最大限に発揮されることになっている。
- ・河川の上流山地部に小規模流水型ダム群を設置し、かつカスケード方式で運用することは、将来の水・土砂災害の様相が変化しても全て対応でき、かつ流域貯留という総合治水の概念にも合致するため、将来の治水対策として国や自治体での活用が大いに見込まれる。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) 木梨行宏、中野俊夫、横田雅紀、橋本典明、山城賢：土木学会論文集B3(海洋開発)、67, 973-978 (2011).
「高潮推算における気象外力の入力時間間隔に関する検討～台風9918号を例として～」
- 2) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光：河川技術論文集、17, 317-322 (2011).
「流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 3) 田井明、橋本彰博、押川英夫、小松利光：河川技術論文集、17, 473-478 (2011).
「2010年10月奄美豪雨時の住用川流域の洪水と住民行動に関する調査」
- 4) 木梨行宏、山城賢、姫野慎太郎、中野俊夫、横田雅紀、橋本典明：土木学会論文集B3(海洋開発)、68, 858-863 (2012).
「高潮推算における非構造格子モデルの適用性に関する基礎的検討」
- 5) 木梨行宏、山城賢、姫野慎太郎、横田雅紀、橋本典明：土木学会論文集B2(海岸工学)、68, 201-205 (2012).
「MRI-AGCM3.2Sにより得られた将来気候データに基づく有明海での将来の高潮に関する検討」
- 6) H. OSHIKAWA and T. KOMATSU: Proc. of ICOLD 2012 KYOTO, 24, 1_51-1_56 (2012)
“Cascade Type Flood Control Using Plural Dams”
- 7) 田井明、久保奈央、橋本彰博、小松利光：土木学会論文集B1(水工学)、68, I_1057- I_1062 (2012).
「我が国の集中豪雨発生頻度の変化ならびに過去の水・土砂災害時の人的被害と降雨の関係」
- 8) 久田由紀子、松永信博、杉原裕司：土木学会論文集B1(水工学)、69, I_361-I_366 (2013).
「福岡都市圏における局地降雨の発生特性に関する研究」
- 9) 野口託充、杉原裕司、大隈洋平、久田由紀子、松永信博：土木学会論文集B1(水工学)、69, I_1777-I_1782 (2013).
「福岡都市圏におけるヒートアイランド強度の変動特性」
- 10) 田辺智子、山城賢、島田剛気、横田雅紀、木梨行宏、橋本典明：土木学会論文集B3(海洋開発)、69, 1000-1005 (2013).
「有明海湾奥部における高潮の増幅特性について」
- 11) 田辺智子、山城賢、島田剛気、横田雅紀、橋本典明：土木学会論文集B2(海岸工学)、69, 421-425 (2013).
「2012年16号台風を外力とした有明海における高潮の規模に関する検討」
- 12) 橋本彰博、田井明、小松利光、池畑義人：河川技術論文集、19, 105-110 (2013).
「平成24年7月九州北部豪雨災害に洪水時の河川横断構造物と流木の危険性－玉来川下流域を対象として－」
- 13) H. OSHIKAWA, Y. MITO and T. KOMATSU: Journal of Disaster Research, 8, 3, 447-455, (2013)
“Study of Flood Control Capability and Advanced Application of Multiple Dams Constructed in Series”
- 14) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光：水利科学、57, (3), 33-50, (2013).
「カスケード方式に基づく流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 15) A. HASHIMOTO, A. Tai, H. OSHIKAWA and T. KOMATSU: Floods: From Risk to Opportunity, IAHS Publ. 357, 48-56 (2013)
“Characteristics of flood disaster and evacuation activities of residents at Amami Oshima Island, Japan”
- 16) 杉原裕司、今釜祥、大隈洋平、松永信博、久田由紀子、李洪源：土木学会論文集B1(水工学)、70, I_541-I_546 (2014).
「WRFによる豪雨イベントの計算雨量に関する感度実験」
- 17) 田辺智子、横田雅紀、山根知洋、児玉充由、山城賢、橋本典明：土木学会論文集B3(海洋開発)、70, 1200-1205 (2014).
「MRI-AGCM3.2Sの台風強度特性を考慮した有明海における高潮の将来予測に関する検討」
- 18) 押川英夫、小松利光：土木学会論文集B1(水工学)、70, I_1555-I_1560 (2014).
「カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構」
- 19) 押川英夫、小松利光：土木学会論文集B1(水工学)、71, I_1417-I_1422 (2015).
「カスケード方式に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の評価」
- 20) 橋本彰博、川井一輝、田井明：土木学会論文集B1(水工学)、71, I_1453-I_1458 (2015).

「2010年奄美豪雨の氾濫解析と氾濫発生要因の検討」
他、23編。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に特筆すべき事項はない。

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 荒木功平、村山啓太、安福規之、大嶺聖、北村良介:第46回地盤工学研究発表会(2011)
「水分拡散係数の算出に関する一考察」
- 2) H. OSHIKAWA, T. KOMATSU: 35th IAHR World Congress, 2013
“Flood Control Capability of Dry Dams Constructed in Series”
- 3) A. HASHIMOTO, A. TAI, K. KAWAI, T. KOMATSU :35th IAHR World Congress, 2013
“Characteristics of Amami Oshima Island Heavy Rainfall Disaster in October 2010”
- 4) 杉原裕司、今釜祥、大隈洋平、松永信博、久田由紀子、李洪源:第58回水工学講演会(2014)
「WRFによる豪雨イベントの計算雨量に関する感度実験」
- 5) 押川英夫、小松利光:第58回水工学講演会(2014)
「カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構」
- 6) 岩見 康平、荒木 功平、安福 規之、ハザリカ ヘマンタ、石藏 良平:第49回地盤工学研究発表会(2014)
「室内表層せん断試験装置を用いた赤土の表面抵抗性の把握」
- 7) H. OSHIKAWA, T. KOMATSU:19th IAHR-APD Congress, 2014
“Study on the Risk Evaluation for a Vehicular Traffic in a Flood Situation”
- 8) A. HASHIMOTO, A. TAI, T. KOMATSU: 19th IAHR-APD Congress, 2014
“Flood Risk due to Driftwoods Accumulation and Blockage at River Bridges”
- 9) 押川英夫、小松利光:第59回 水工学講演会(2015)
「カスケード方式に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の評価」
- 10) 橋本彰博、川井一輝、田井明:第59回 水工学講演会(2015)
「2010年奄美豪雨の氾濫解析と氾濫発生要因の検討」
他、52編。

7. 研究者略歴

課題代表者:小松 利光

九州大学工学部卒業、工学博士、現在、九州大学大学院工学研究院特命教授

研究分担者

1) 松永 信博

九州工業大学工部卒業、工学博士、現在、九州大学大学院総合理工学研究院教授

2) 橋本 典明

九州大学工部卒業、博士(工学)、現在、九州大学大学院工学研究院教授

3) 安福 規之

山口大学工部卒業、博士(工学)、現在、九州大学大学院工学研究院教授

4) 押川 英夫

九州大学工部卒業、博士(工学)、現在、九州大学大学院工学研究院助教

5) 橋本 彰博

東京理科大学理工学部卒業、博士(工学)、現在、九州大学大学院工学研究院特任助教

S-8-2 自治体レベルでの影響評価と総合的適応政策に関する研究 (2) 亜熱帯化先進地九州における水・土砂災害適応策の研究

国立大学法人 九州大学

大学院工学研究院 小松 利光

大学院総合理工学研究院 松永 信博

大学院工学研究院 橋本 典明・安福 規之・押川 英夫・橋本 彰博

平成22～26年度累計予算額：183,511千円

(うち、平成26年度予算額：32,800千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、「災害免疫力」を評価軸とした温暖化過程および温暖化後の水・土砂災害（斜面土砂災害、洪水災害、ゲリラ豪雨災害、車社会の適応、高潮災害）の災害外力に適応しうる高度な影響・適応策評価モデルを開発するとともに、日本で最も早く亜熱帯化が進む九州に適用することを検討した。その際、災害外力の増大という移行・変化の過程の下では、大規模な施設構築による適応策の実施は、災害状況の変化、資金面、時間的な制約、環境面、住民の合意形成等から極めて困難で、状況に応じた柔軟で経費のあまりかからない小刻みな適応策（順応的適応策）にならざるを得ないものと思われる。順応的適応策として用いられる技術は従来の固定的・単独的技術では対応できず、柔軟で調整可能な、時には後戻りすら可能な技術が求められる。我々は、国（国土交通省）や九州内の自治体（福岡市、佐賀県、沖縄県）と連携することで、国や自治体の各レベルに応じた温暖化の影響評価・適応策の開発・検討を行った。

例えば、気候変動下の洪水制御においては、河川の流下能力には自ずと限界があることから、降雨強度の増大による洪水量の増加分は、河川に受け持たせることは今後ほとんど不可能で、流域に一時貯留する総合治水に依らざるを得ない。すなわち上流の山地部において河道内遊水池ともいべき小規模流水型ダム（穴あきダム）群による流域貯留ならびにカスケード方式による新たな洪水制御は、周辺環境とも調和した柔軟で調整可能（順応的）な画期的技術となっている。また本研究で開発された山地部、都市域、臨海部における他の防災技術も、国民の生命・財産を守るためには不可欠の技術となっている。

[キーワード]

災害外力、順応的適応策、調整可能な技術、亜熱帯化、水・土砂災害

1. はじめに

地球温暖化による我が国の温帯から亜熱帯への移行が懸念されているが、最も早くその影響を受けるとされる九州地方を対象に水・土砂災害分野での具体的な温暖化適応策の研究を、流域

における山地部、河川部、都市域、沿岸域を対象として行った。九州で適切な適応策を開発・策定して社会実装まで持って行くことは、その後の日本全国への展開、海外への普及にとっても極めて重要である。

我々のグループは柔軟でダイナミックな広義の防災力を意味するものとして「災害免疫力」という新しい概念を導入したが、その素因の抽出を行うことにより、温暖化問題の本質、適応策技術の持つべき特性、適応の際に考慮すべき事柄等について考察を行った。温暖化による災害外力の増大は、実は今我々が想像している以上に大変な事なのではないかと危惧している。災害は人命の損失に直結するため、災害外力の増大という遷移過程での防災・減災に我々は総力を挙げて取り組まなければならない。

図2(2)-1に災害外力と防災力の関係を示す。過去には防災技術も未熟でインフラも整備されていなかったため、災害外力と防災力の間に大きなギャップがあり、防災は非常に困難であったが、災害外力はほぼ一定であったため、災害のレベルや様相に対してある程度想定が可能であり、人々は経験知により減災を図ることができた。その後（特に明治以降）、人々は近代科学技術を用いてインフラ等の整備を営々を行い、懸命に防災力の強化に努めてきた。その結果、近年防災力は災害外力とほぼ拮抗するような段階にまで至ったが、温暖化による災害外力の上昇、一方インフラの老朽化や人口の高齢化等による防災力の低下により、不幸にして再び両者の間に大きなギャップが生まれようとしている。これは一見過去に似た状況の再現のように思われるが、以下の理由から過去よりも格段に深刻な状況となっている。

- ・災害外力の増大は、人類にとって未経験な事柄であり、過去の経験知が全く役に立たないだけでなく、むしろ逆に中途半端な知識が仇となることもあり得る。
- ・過去と比べて都市機能が格段に集中した人口の高密度地域が災害に見舞われると、複雑に関係し合ったシステムが破綻し、それにより甚大な被害が発生する可能性が高い。

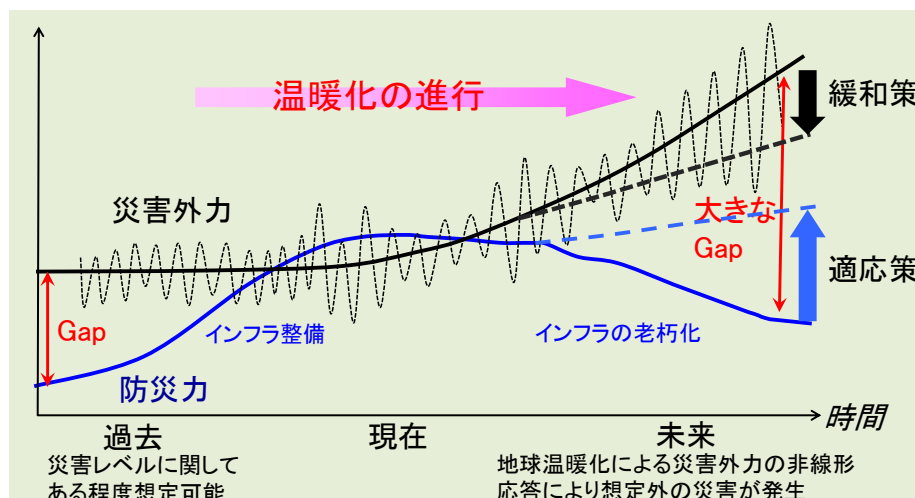


図2(2)-1 災害外力と防災力の関係

・これまでの防災インフラの整備は主として行政が担ってきたので、人々は防災は行政がやってくれるものと考えている。しかしながら、今後は自助・共助が防災・減災の主体とならざるを得ないが、そのためには住民の意識の早急な転換が必要である。

例えば、洪水災害を例にとって考えてみる。図2(2)-2に洪水流量～時間曲線（ハイドログラフ）を示す。将来と現在の洪水流量の差が塗りつぶしの部分であるが、この流量の増加分を適応策でうまく処理しなければならない。でないと河川堤防から越水し（図2(2)-3参照）、破堤に至ることとなる。

なお、図2(2)-1において、炭酸ガスなどの温室効果ガスの排出を抑えて災害外力の増大を防ごうとするのが緩和策であり、一方、ハード・ソフト・ヒューマンウェアを駆使して何とか防災力を上げようというのが適応策となる。

これまでは我が国では、土砂災害は表層崩壊によるものが多かったが、今後は雨量強度の増大や一度の豪雨における降水量の増加で深層崩壊が増えてくるのが危惧される。深層崩壊は滑り面が深いため大量の土砂を崩落させることとなり、土砂災害の様相を一変させる（図2(2)-4参照）。従来の表層崩壊では、発生個所の下部が流出土砂や土石流の被害を受けていたが、その範囲は局所的・限定的であった。一方、深層崩壊では、発生個所下部が、生産される大量の土砂により大規模被害（2009年8月の台湾・小林村の土砂災害等）を受けただけでなく、河川に大量の土砂を供給することで天然ダムを形成することが多くなる。この天然ダム上流で貯水されて、越流するようになると崩壊する。崩壊すると段波が下流の都市部を襲い、甚大な被害をもたらすこととなる。さらに供給された大量の土砂は洪水をもってしても全てが海まで流送される訳ではなく、河道に残って河床の上昇を引き起こすため、従来の河川計画が成り立たなくなる。従って、これまでは局所的だった土砂災害の被害が、空間的にも時間的にも大きく拡大することとなる。またこの土砂は徐々に下流へと流送されるため、下流のダム堆砂の原因ともなる。さらに降雨強度等

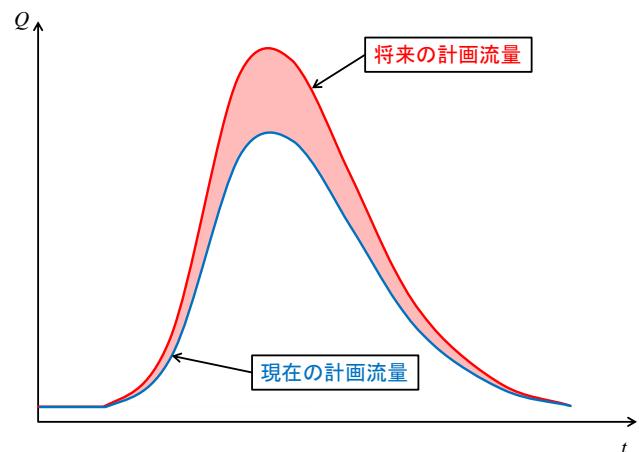


図 2(2)-2 現在および将来のハイドログラフ



図 2(2)-3 白川の堤防から溢れ住宅地に流れ込む洪水（平成 24 年九州北部豪雨災害）

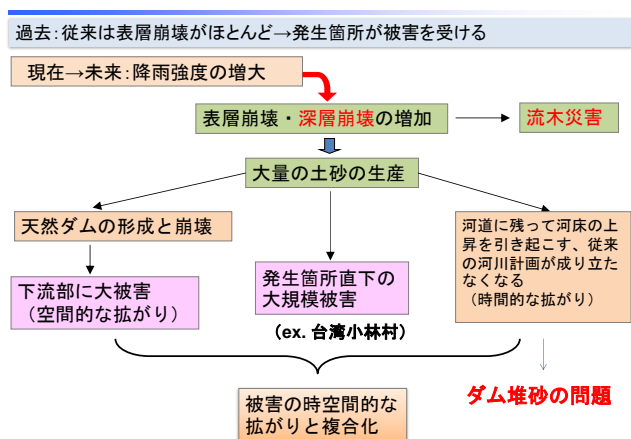


図 2(2)-4 将来の水・土砂災害

の増大による深層・表層崩壊の増加は流木量の増加をもたらし、橋梁部等への集積・閉塞が洪水氾濫の新たな原因となっている。このように水・土砂災害の様相の変化は、解決の容易でない新たな課題を次々と我々に突き付けている。

2. 研究開発目的

地球温暖化による降雨強度や降雨量の増大、台風の強大化、少な過ぎる水の問題である渇水の深刻化等が将来に亘り予測されている。洪水災害・土砂災害は All or Nothing の側面を持つ。洪水が河川堤防を越流すると破堤し氾濫して大災害となるが、破堤せず河道内に洪水が留まる限りは被害は少ない。また土砂災害も土石流等が起こるか起こらないかで決定的に異なってくる。このようにそれぞれのサイトに固有の閾値（限界値）があって、災害外力がそれ以下だと持ちこたえて被害は軽微であるが、それを超えるとカタストロフィックに大災害となる。気候変動による災害外力の増大は、容易にこの一線（閾値）を越えさせることになり、今や我々が直面する災害は、新しいステージに入っていると見えよう。限られた予算やマンパワーの下で如何に閾値を上げてNothingに近づけるかが問われている。そのためのハード、ソフト、ヒューマンウェアを総動員した適応策の開発ならびにその実装が必要であるが、本研究では防護に主眼を置いたハード対策の開発を主として実施した。

3. 研究開発方法

(1) 順応的適応策(Adaptive adaptation)の重要性

災害外力の増大に従って防災力を強化して両者に大きなギャップが生じないようにするためには、柔軟でダイナミックな対応が要求される。大規模なハード面の整備による防災力の大幅な強化は、経費や時間の関係で、また人々の合意を得るという点で極めて難しく、図2(2)-5に示すように小規模な適応策を状況の変化に応じて小刻みに段階的に積み上げていかざるを得ないものと

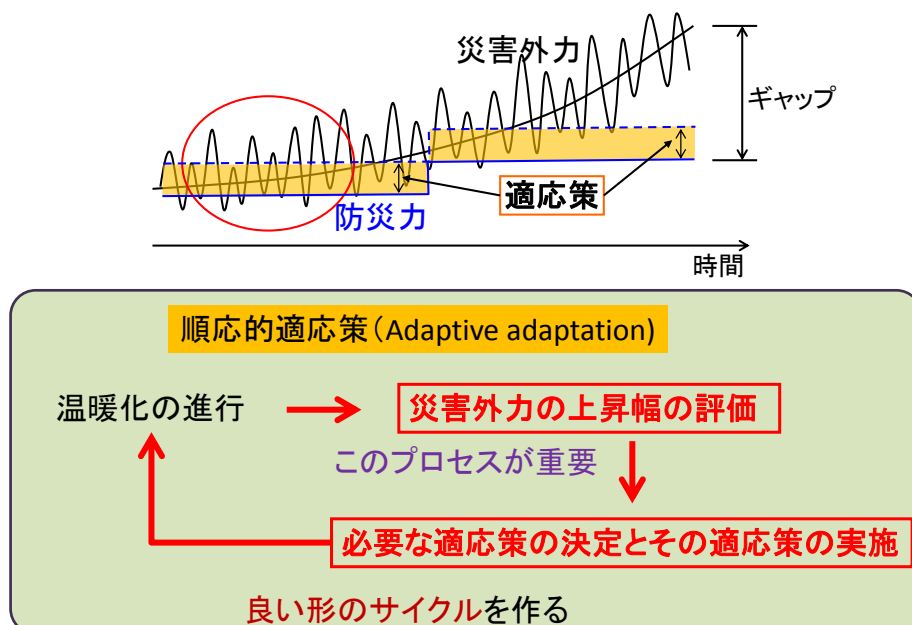


図 2(2)-5 順応的適応策の重要性

思われる。我々はこれを『順応的適応策（Adaptive adaptation）』と呼ぶ。順応的適応策を実装するプロセスを図2(2)-5、図2(2)-6に示す。このプロセスがうまく回転していくためには、実施される適応策は以下の条件を満たす技術であることが必要である。すなわち、

- ・ 周辺の自然環境と調和できる技術。
- ・ 順応的適応策として柔軟で調整可能な技術。
- ・ 必要であれば後戻りすら可能な技術。
- ・ 効率的で経済的な技術。
- ・ 適応策を小出しにしていくことになるため、積み重ねが可能で手戻りのない技術。

が求められている。

S-8-2-(2)では、以上の条件を満たす順応的適応技術を、土砂災害対策、洪水対策、ゲリラ豪雨対策、車社会の適応策、高潮対策の面で開発し、その社会実装を検討した。

（2）ゲリラ豪雨の予測手法の開発

地球温暖化および都市温暖化にともなう局地性豪雨の特性を明らかにするため、1) 気象データの解析に基づいた降雨量の変化、2) 福岡都市圏における熱環境観測、3) 福岡都市圏における局地降雨観測、4) メソ気象モデルWRFを用いたゲリラ豪雨の再現計算、5) 平成24年7月九州北部豪雨の数値シミュレーションの5つの内容で解析を行った。

1) 気象データの解析に基づいた降雨量の変化

気象庁が設置している地域気象観測所（AMeDAS）において観測されている降雨の約100年分のデータを用いて、降雨量の長期変化の解析を行った。

2) 福岡都市圏における熱環境観測

ゲリラ豪雨に影響を与えると考えられる都市の熱環境特性を明らかにするため、気温の長期多点同時観測を行った。観測の対象地域である福岡都市圏は、面積が780km²、人口が200万人であり、人口密度は大きいながらも都市圏全域を観測することが可能な、優れた条件を有した都市圏となっている。本観測では、福岡市教育委員会と連携し、福岡都市圏全域に80個の温度計を設置した。設置場所は小学校の百葉箱とし、約3km四方に1つの割合としている。図2(2)-7中の黒丸および青丸は温度計の設置地点を示す。温度計には、メテオ電子の温度・パルス記憶計を用いている。データの取得間隔は10分である。2ヶ月に一度、データの回収を行い、得られたデータから、福岡都市圏におけるヒートアイランド構造を明らかにした。

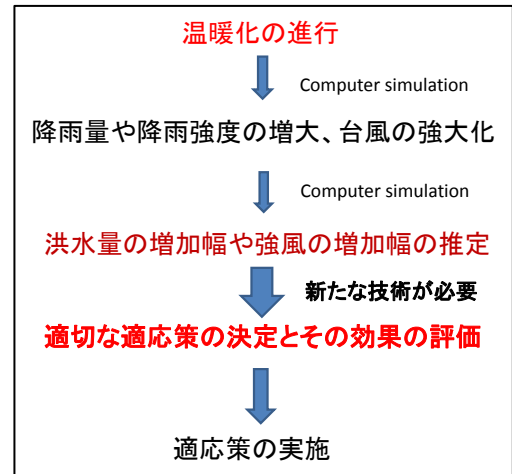


図2(2)-6 順応的適応策のプロセス

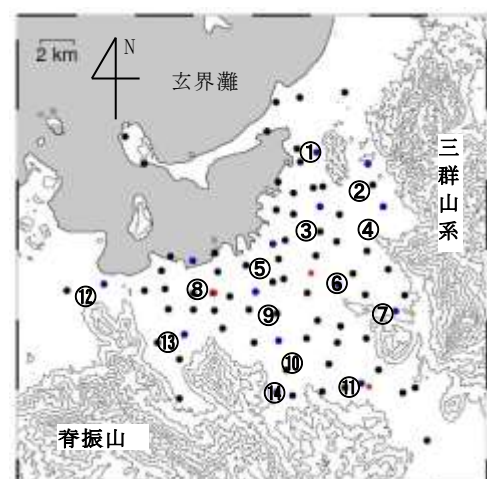


図2(2)-7 測器設置点
黒丸、青丸：温度計、青丸①～⑭：雨量計

3) 福岡都市圏における局地降雨観測

上記の温度計を設置した小学校のうち、14校に雨量計を設置した。(図2(2)-7中の青丸)データ取得間隔は10分とし、観測で得られたデータから、局地降雨の実態の把握を試みた。また、高層気象データを用いて、上空の大気の状態についても解析した。局地降雨日と晴天日に分けて両者を比較することにより、局地降雨の発生条件の検討を行った。

4) メソ気象モデルWRFを用いたゲリラ豪雨の再現計算

メソ気象モデルThe Weather Research and Forecasting(WRF)を用いて、2006年9月14日に福岡平野に大きな災害を引き起こしたゲリラ豪雨の事例解析を行い、ゲリラ豪雨の発生特性について検討した。まずは、WRFを用いた再現シミュレーションを行い、再現精度について検証した。次に、人工排熱がゲリラ豪雨に与える影響を評価するために、人工排熱量を 30W/m^2 、 40W/m^2 、 50W/m^2 の3通りに変化させたシミュレーションを行った。なお、人工排熱量 40W/m^2 のケースが再現計算の条件に相当する。

5) 平成24年7月九州北部豪雨の数値シミュレーション

平成24年7月九州北部豪雨を解析対象として気象モデルThe Weather Research and Forecasting(WRF)を用いた数値シミュレーションを行い、最大1時間雨量 108.0mm を記録した極端豪雨イベントに対するモデルの適用性の検討を行った。計算期間として、豪雨が発生した2012年7月11日から14日のうち、阿蘇乙姫アメダスで最大1時間雨量 108.0mm を記録した11日から12日を設定した。

(3) 台風ならびに高潮の高精度推定モデルの開発

1) 有明海湾奥部の防護施設に関する資料収集

有明海湾奥部の海岸管理者に問い合わせ、防護施設に関する被災履歴や整備状況の資料を収集する。

2) 現地観測

有明海湾奥部の海岸管理者(佐賀県、国等の各関係部署)に、本研究の趣旨を説明し、協議の上波浪および潮位の観測地点を選定し、台風期を含む期間について観測を実施する。

3) 高精度な高潮推算モデルの開発

複雑な地形を考慮できる非構造格子による海洋流動モデルFVCOMを高潮推算に応用する。

4) 将来気候データの整理・分析及び高潮の将来予測

21世紀気候変動予測革新プログラムの一環として、気象庁気象研究所により実施された超高解像度全球大気モデル(MRI-AGCM3.2S)の気候予測実験結果(現在、近未来、将来)を入手し、現在気候データを用いてモデルの妥当性を検証した上で、将来気候データを利用して有明海の災害危険度を評価する。

5) 高潮災害への適応策の検討

現状における最新の将来気候データ(MRI-AGCM3.2S)による高潮浸水計算結果から得た知見等をもとに高潮災害への適応策を提案する。

(4) 斜面安定化ならびにその評価法の開発

1) 沖縄県における降雨による赤土等流出対応策に関する研究

全国の中で土砂流出およびその対策の先進地である沖縄県における特有の土壌である赤土等土壌の土砂流出問題を取り扱っている。

- a 基礎資料の作成：自治体（沖縄県）・民間と協働で行う赤土等流出問題の検討に際し、地球温暖化等に伴う気候変動に関する認識を共有するため、沖縄県のアメダス等の過去の経年変化と気温、降水量に関するデータを収集・整理し、把握・分析を行った。
- b 勉強会の企画：沖縄県や民間、大学で行っている赤土等流出問題の対応策や研究について情報交換および連携強化を行うことを目的とし、「気候変動に伴う赤土等流出リスクの増大に備える適応策」第1回勉強会を主催することで、持続可能な形で議論する場を企画した。
- c 資料収集・整理：現況における赤土等土砂流出対策に関する課題を抽出するため、現地調査および沖縄県や民間から資料を収集し、流出実態や被害状況、取り組み事例等を把握・分析した。
- d 現地実験：赤土等の流出の適応策効果を検証する現地実験を行った。

2) 奄美豪雨に伴う斜面崩壊現象に関する研究

2010年10月20日に発生した奄美豪雨災害を取り扱っている。

- a 資料収集・整理：災害場所の情報・資料を入手するため、自治体（鹿児島県、奄美市等）と打合せを行い、雨量、地形図、被害状況等を入手し、調査・分析を行った。
- b 現地調査：発生メカニズムの検討および適応策における留意点を明確にするために、崩壊現場の現地調査を行った。
- c アンケート調査：現況における適応策の課題を抽出するため、自治体や地区長に災害時の対応状況についてアンケートを行った。

(5) 河川災害適応策のための要素技術の開発

本研究では、“ダムの水が（非常用洪水吐きから）溢れることを積極的に許容する”という新しい治水の概念に基づき、複数の流水型ダムを直列に配置することによる洪水制御能力を数値シミュレーションにより評価した。従来のダムによる治水の考え方は、直列に配置されている場合であっても、個々のダムで計画高水流量を定め、それぞれのダムが（非常用洪水吐きから）溢れないように洪水処理を行うものである。本研究では、このような従来の考え方に基づいて配置された流水型ダム群（以後、従来型と呼ぶ）と、本研究で導入された新しい概念に基づき配置された全く同じスケールの流水型ダム群（以後、越流型）において、洪水制御能力がどのように異なるのかを比較した。

複数のダムが連続的に配置された対象流域において、ここでは簡単のために上流側からの流入量以外に降雨や支川からの流入等はないと仮定した。また本研究ではダムからの顕著なオーバーフロー（堤体上部の非常用洪水吐きからの越流）が頻繁に生じる。しかしながら本研究のダム群は、上流の山間河川部で河川水位の上昇や越水がある程度許容できる箇所での設置を想定しているので、越流型ではダム群の設置領域全体を実質的な遊水池（流域貯留の一種）と見なしており、最下流のダムからの越流のみが問題となる。

本研究における基礎式は、連続式と一次元の運動方程式である。流水型ダムの堤体下部の常用洪水吐きからの放流量は、ダムの常用洪水吐きの断面積が小さいと考え、トリチェリの定理からその時点での水位によって決定されると仮定した。また、洪水が堤体をオーバーフローした際の非常用洪水吐きからの放流量には、越流公式を用いた。

対象とするダムは、堤体の高さ $H=100.0\text{m}$ で、堤頂長 222.2m の2次関数断面とする。後述する他のスケールの場合のCase4でも全て相似形である。河床勾配は 0.01 である。河床の常用洪水吐きの断面積は、越流水深を考慮せずに水位が堤高 H と等しくなった時点で放流量が計画高水流量に等しくなるように設計した。また、簡単のために堆砂容量等は無視している。なお、我々は山間部における“小規模”なダム群の活用を理想的と考えているものの、結果の比較を容易にするために、ここでは比較的大きな H や最大流入流量 $Q_p=8887(\text{m}^3/\text{s})$ を与えることで、ある程度“大規模”なダム群で検討した。

(6) 都市災害適応策のための要素技術の開発

洪水氾濫が生じた際に、避難手段としての自動車の使用の良否には議論の余地があるが、実際には多くの水害時に自動車が利用されているものと推察される。しかしながら、2010年7月の愛知県可児市の例のように、自動車での移動中に氾濫した水に流されて亡くなるというケースが多く見受けられる。本研究では、流水を横断する向きに置かれた自動車に働く流体力を測定し、自動車に働く流体力の迎角依存性について模型実験に基づく検討を行った。

実験には直線開水路を水路床勾配 $1/25$ として用いた。自動車にはプラスチック製の日産マーチの模型を用いた。実験時の水深 h は 1.5cm および 2.0cm の2条件とし、自動車の迎角 θ は、自動車前面が上流側を向いた 0° から流水を横断する向きの 90° まで 15° 刻みで7条件、さらに各水深・迎角につき2種類の Fr 数 ($Fr \equiv U / (gh)^{1/2}$ 、 U は断面平均流速、 g は重力加速度で 9.81m/s^2) で測定を行った。

そして、冠水時の自動車走行に対する市民の危険度認識能力の向上を図るために、道路の冠水により自動車が流されて一名の死者を出した福岡県前原市（現糸島市）を対象として氾濫シミュレーションを実施した。

4. 結果及び考察

(1) グリラ豪雨の予測手法の開発

1) 気象データの解析に基づいた降雨量の変化

図2(2)-8に福岡、長崎、熊本における100年間の最大1時間雨量（年間）の経年変化を示す。どの地域においても、年変動は大きいですが、最大1時間雨量は増加傾向にあることがわかる。その雨量の増加率は100年間で $1.3 \sim 1.4$ 倍となっている。

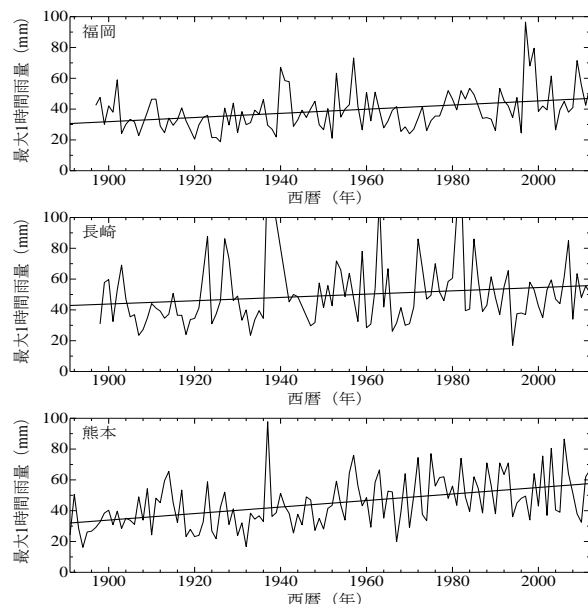


図2(2)-8 福岡、長崎、熊本における最大1時間雨量の変化

2) 福岡都市圏における熱環境観測

得られた気温データより、福岡都市圏全域における気温分布構造を解析した結果、夜間から明け方には明瞭な島状のヒートアイランド現象の形成が確認された。一方、日中には都市圏の全域が高温となった。図2(2)-9は2010年9月21日2時から23時までの気温分布図を3時間ごとに示してい

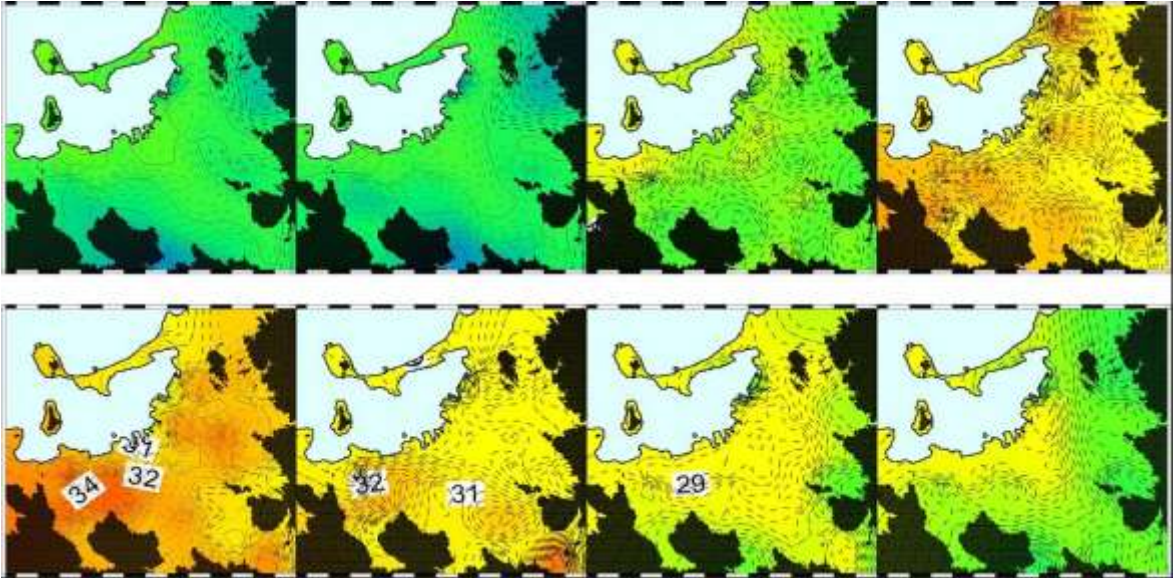


図 2(2)-9 福岡都市圏におけるヒートアイランド構造 (左上から順に、2 時、5 時、8 時、11 時、14 時、17 時、20 時、23 時)

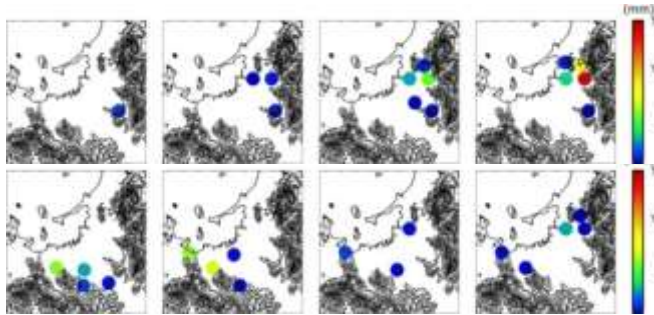
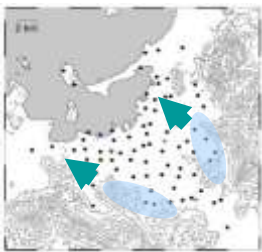


図 2(2)-10 観測結果の一例 10 分間降雨量の分布の時間変化
17 時 40 分～18 時 40 分 (20 分毎)



降雨の最初の発生地
雨域の移動方向
図 2(2)-11 局地降雨の発生と雨域の移動の模式図



図 2(2)-12 局地降雨の日と晴天の日における上空湿度。(福岡管区気象台における高層気象観測により取得されたデータを使用)

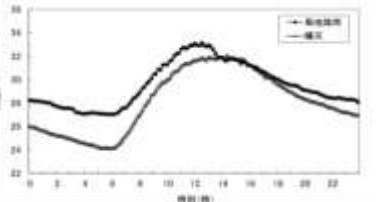
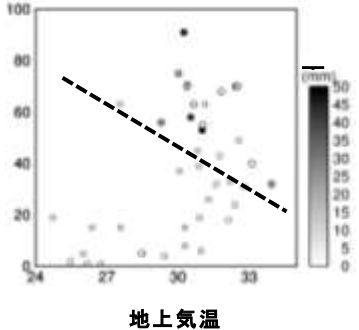


図 2(2)-13 局地降雨の日と晴天日における気温の時間変化。データは福岡管区気象台にて取得されたもので、それぞれ日数分の平均値。



地上気温
図 2(2)-14 地上気温と上空湿度の関係。四角は晴天日、丸は局地降雨の日。プロットの色は雨量を表す。

る。2時には都心部が高温、郊外から山麓にかけての地域が低温となっている。日の出前の午前5時にも同様の気温分布を示す。日の出後の8時には島状の気温分布は消滅し、都市圏全域が高温となる。日中は全域が高温のまま、気温が上昇し、また日の入り後の20時には島状の気温分布が形成され始める。20時と23時の気温変化を比べると、都心では気温低下が小さく、郊外から山麓で気温の低下が大きい。このため、島状の気温分布が顕著に現れると考えられる。

3) 福岡都市圏における局地降雨観測

図2(2)-10に観測結果の一例を示す。観測結果より、福岡平野の東部の内陸部にて発生した局地降雨は海岸方向に移動していく。西部の内陸部において発生した局地降雨も同様に海岸方向に移動する。

図2(2)-11に観測結果に基づいた福岡都市圏における局地降雨の発生と雲域の移動の模式図を示す。福岡都市圏における局地降雨は、福岡平野の東部または西部の内陸部において発生し、その後、雨域は海岸方向に移動する傾向が強い。図2(2)-12に福岡管区気象台において観測されている高層気象より上空の湿度分布を示す。用いたデータはそれぞれ対象日の9時のものであり、局地降雨日と晴天日のそれぞれの平均とする。縦軸は気圧 (hPa) であるが、高度と同意である。上空湿度は上空で大きな差が生じていることがわかる。局地降雨日には晴天日の1.5倍程度の値で推移している。湿度の差が大きいことより、局地降雨日の上空大気がより多くの水蒸気を含んでいることがわかる。また、局地降雨日の大気はより不安定な状態となっていると推測される。図2(2)-13に局地降雨日と晴天日のそれぞれの平均をとった気温の時間変化を示す。地上気温には福岡管区気象台の観測データを用いた。深夜から日の出の6時頃までの局地降雨と晴天日とでは、2~3℃程度の気温差が生じている。晴天日の気温よりも平均で2~3℃も高いことは、局地降雨の発生要因の一つであると考えられる。局地降雨日の地上気温は12時過ぎ頃に急激に低下するが、これは降雨による気温低下と考えられる。

図2(2)-14は、図2(2)-12および図2(2)-13で用いた地上気温と上空湿度の相関を示す。丸は局地降雨日であり、四角が晴天日を示す。各プロットの色濃淡は雨量を表している。図中の破線より上部で局地降雨が発生している。このことより、地上気温と上空湿度がともにある一定値以上になると、局地降雨の発生の可能性が高まることがわかる。これより、朝6時の地上気温と9時の高層気象観測から得られる上空湿度データより、その日の局地降雨の発生の有無の予測が可能となる。

4) メソ気象モデルWRFを用いたゲリラ豪雨の再現計算

図2(2)-15に、レーダー・アメダス解析雨量と計算値の1時間積算

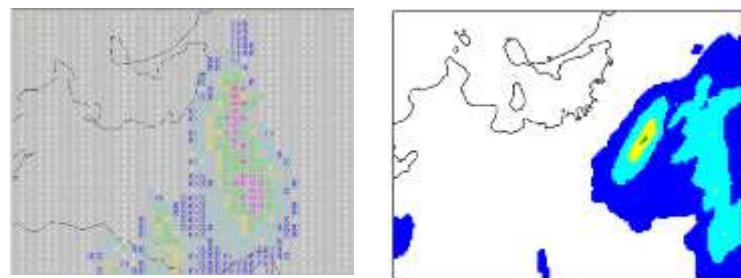
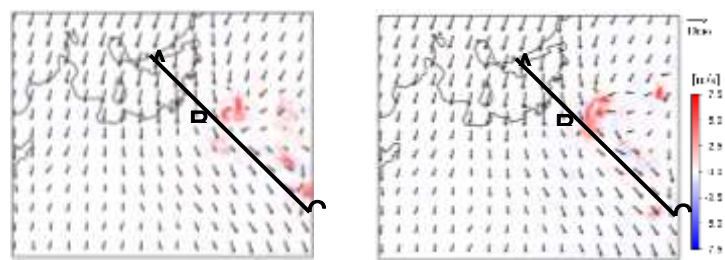


図 2(2)-15 1時間積算雨量の観測値(左)と計算値(右)



(a) 人工排熱 40 W/m²

(b) 人工排熱 50 W/m²

図 2(2)-16 地上 10m における水平風と 2000m における鉛直風

雨量を示す。観測値では14時～16時までの間に福岡平野の東部から南部にまとまった降雨があったことが確認できる。一方、福岡平野西部には降雨は無い。図2(2)-16に人工排熱を40 W/m²および50 W/m²とした場合の14:30における地上10mでの水平風と2000mでの鉛直風を示す。これらより、雨域の中心付近に上昇風が確認できる。上昇風の周りには下降風も確認でき、対流活動が活発化していることがわかる。上昇風域と水平風の収束域は対応しており、水平風が上昇風へ変化したものと考えられる。14時30分における各計算での上昇風の最大値は40 W/m²で6.11m/s、50 W/m²で7.24m/sであり、人工排熱との間に明確な相関が見られた。図2(2)-17に鉛直断面ACにおける雲水混合比を示す。なお、図中のB地点は海と陸の境界地点である。人工排熱が大きいほど上空の雲水混合比が大きくなる。人工排熱量の増加は上昇風を強化し、雲形成を促していると推測される。その結果、最大雨量を増加させていると考えられる。

5) 平成24年7月九州北部豪雨の数値シミュレーション

メソ気象モデルThe Weather Research and Forecasting (WRF)を用いて平成24年7月九州北部豪雨の再現数値シミュレーションを行い、最大1時間雨量108.0mmを記録した豪雨イベントに対するモデルの適用性の検討を行った。計算期間は阿蘇乙姫で最大1時間雨量を記録した11日から12日とした。計算領域は4重のネスティングによるダウンスケーリングを行い、標高データにはアメリカ地質調査所(USGS)の2分値と30秒値および国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を、初期条件および境界条件には、NCEPの客観解析データを用いた。図2(2)-18は解析雨量と12時間積算雨量の空間分布である。降雨量、降雨分布の広がり、南西方向の風による雨域の移動の様子を概ね再現できている。図2(2)-19に長崎西方沖から大分東方沖までのラインで鉛直断面解析を行った結果を示す。ここで、1段目は南西風を正とした水平風分布を、2段目は風ベクトルを、3段目は雲水混合比分布を示す。水平風の分布から高度10000mまで南西風が吹いていることが確認でき、風ベ

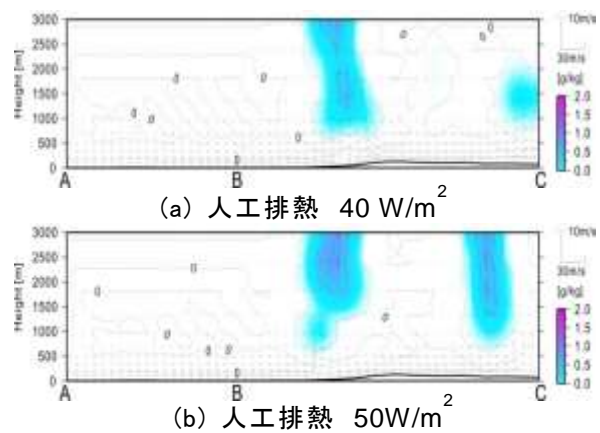
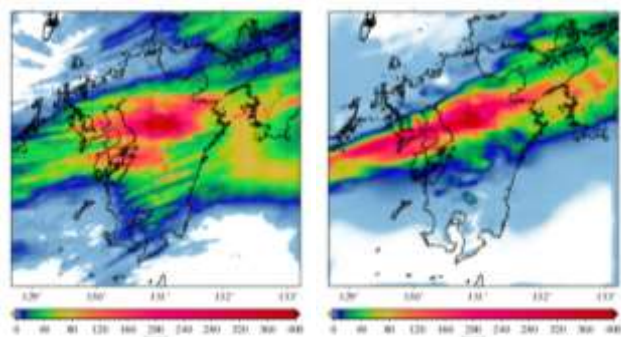


図2(2)-17 鉛直断面ACにおける雲水混合比



解析雨量

シミュレーション結果

図2(2)-18 12時間積算雨量(11日21:00～12日9:00)

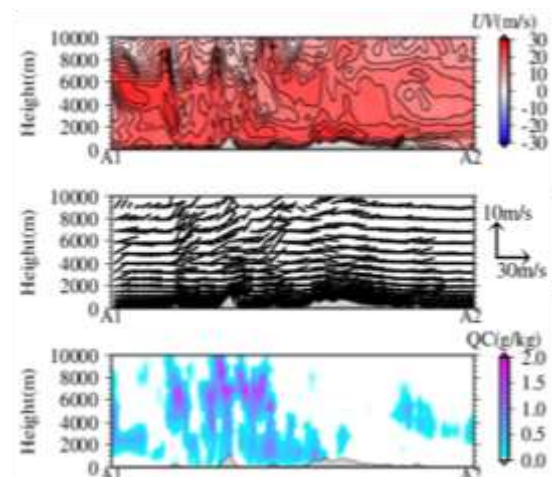


図2(2)-19 鉛直断面構造

図2(2)-18は解析雨量と12時間積算雨量の空間分布である。降雨量、降雨分布の広がり、南西方向の風による雨域の移動の様子を概ね再現できている。図2(2)-19に長崎西方沖から大分東方沖までのラインで鉛直断面解析を行った結果を示す。ここで、1段目は南西風を正とした水平風分布を、2段目は風ベクトルを、3段目は雲水混合比分布を示す。水平風の分布から高度10000mまで南西風が吹いていることが確認でき、風ベ

クトルより山地が強制的に上昇流を強化していることがわかる。また雲水混合比の分布より、バックビルディング型の降雨システムが形成されているように見える。

(2) 台風ならびに高潮の高精度推定モデルの開発

1) 有明海湾奥部の防護施設に関する資料収集

佐賀県統括本部消防防災課を中心に各関係機関の協力の下、有明海湾奥部海岸の工事誌、及び各種災害対策検討資料を収集し、現状の防護水準が採用された経緯等を把握した。また、有明沿岸部のLPデータ・土地利用状況データを収集し、低平地である佐賀平野部の詳細な地理的特徴を整理した(図2(2)-20、図2(2)-21)。

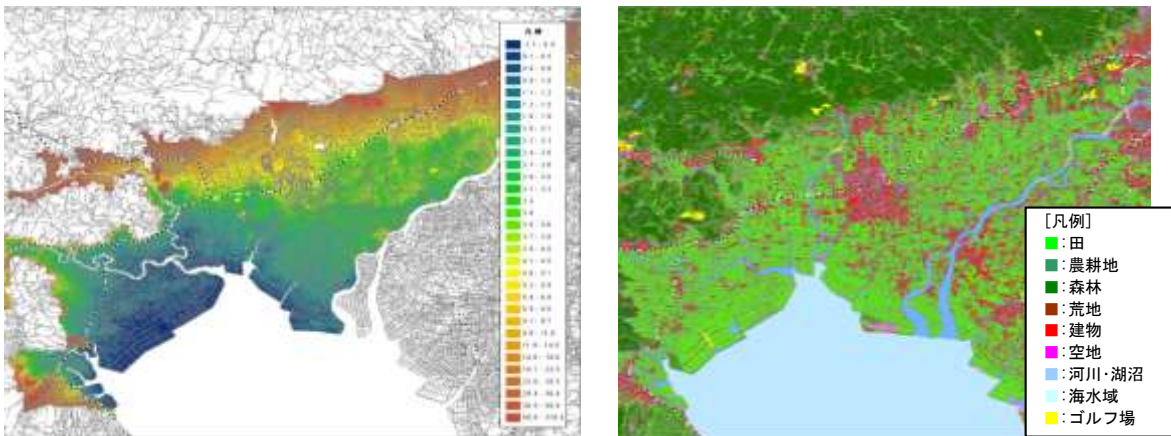


図2(2)-20 有明海湾奥部の標高分布(T.P.m) 図2(2)-21 有明海湾奥部の土地利用状況分布

2) 現地観測

平成22年から平成24年までの台風期に現地観測を実施した。観測期間中、特に平成24年9月に来襲した台風1216号では有明海湾奥の水際線において高潮偏差が増大し、湾奥部で高潮リスクが増大することを具体的に示した。(図2(2)-22、図2(2)-23 参照)

3) 高精度な高潮推算モデルの開発

FVCOMは元来高潮推算に必要な気圧場の変化が考慮されていないため、気圧変化も考慮できるようにモデルを改良した。さらに陸域の標高と土地利用分布をモデルに反映した上で、海域での高潮と陸域での浸水を同時に計算可能なモデルに改良した。

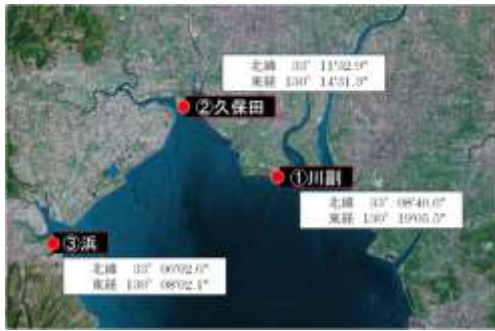


図 2(2)-22 水位計設置位置

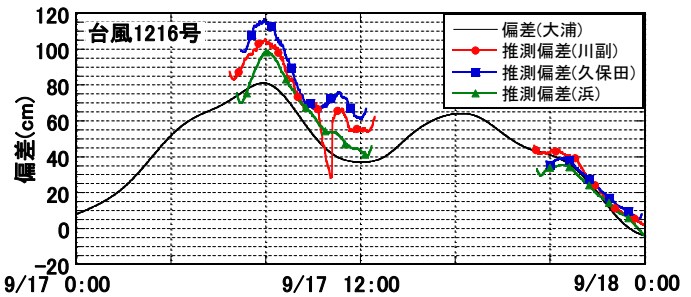


図 2(2)-23 潮位偏差の比較

4) 将来気候データの整理・分析及び高潮の将来予測

a 将来気象データの整理・分析

まず、MRI-AGCM3.2S（現在気候）の解析値である現在データを整理して九州における気象庁の観測値と比較し、平均場におけるデータの妥当性を確認した。しかし、北緯30度以北におけるMRI-AGCM3.2S（現在気候）と気象庁ベストトラックの台風中心気圧の累積分布を比較すると、MRI-AGCM3.2S（現在気候）の方が台風強度は強い特性を有していた。従って、解析値では台風を過大に推算する恐れがあったため、台風中心気圧の累積分布と気候変動特性をもとにバイアス補正を実施した。次いで、MRI-AGCM3.2S（将来気候）のうち有明海に來襲する強大な台風を抽出した。

b 将来気候データによる高潮予測計算

MRI-AGCM3.2S（将来気候）のうち有明海湾奥部で最大の高潮偏差となる台風の抽出結果として、図2(2)-24に台風経路を、図2(2)-25にバイアス補正前後の中心気圧の時系列変化を示す。台風上陸時の最低気圧はバイアス補正前で約910hPa、バイアス補正後で約940hPaであり、バイアス補正前は我が国最大の上陸時最低気圧911hPa（室戸台風）と同程度であった。この台風による高潮浸水計算結果として、バイアス補正前後の台風における最大浸水深分布と浸水開始箇所を図2(2)-26に示す。なお、バイアス補正前は九州上陸時の最低気圧が室戸台風と同程度であることから、参考に浸水計算を実施している。バイアス補正後では河川堤防の一部からの越水によ

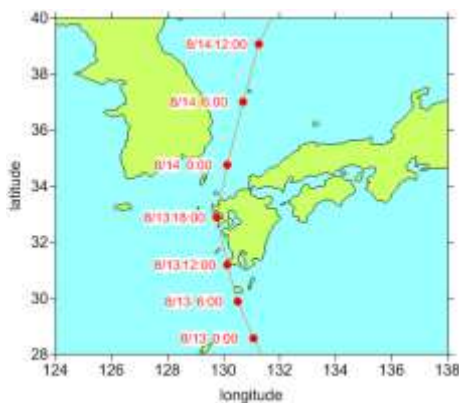


図 2(2)-24 対象台風の台風経路

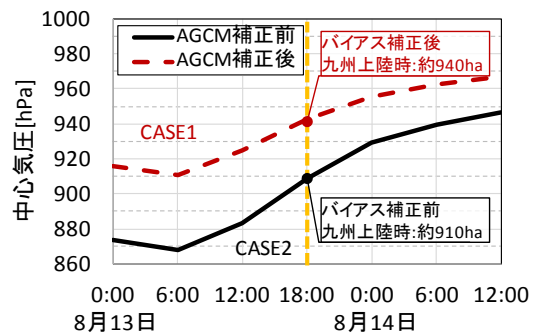


図 2(2)-25 対象台風の中心気圧の時系列変化

り浸水することが確認された。また、佐賀平野が低平地であるため、浸水開始箇所は局所的であったにも拘わらず、浸水域は広範囲に拡大する結果となった。またバイアス補正前では、海岸堤防を含む局所的に堤防高が低い箇所からの越水により、佐賀平野全域で甚大な浸水被害が生じる結果となった。

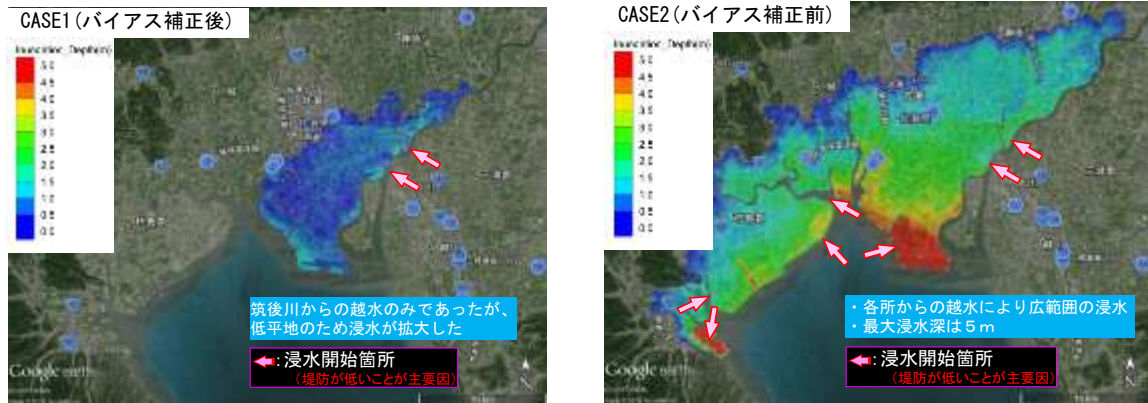


図2(2)-26 最大浸水深図 (左:CASE1、右:CASE2)

5) 高潮災害への適応策の検討

MRI-AGCM3.2S (将来気候)による高潮浸水計算結果から得た知見等をもとに関係機関別の高潮災害への適応策案を提案した。また、この提案事項をもとに対象自治体である佐賀県と協議し、適応策の実施に向けた情報提供および情報共有の協力体制を確立した(表2(2)-1参照)。

表2(2)-1 高潮災害への適応策案

| 対策 | 適応策(案) | 関係機関 |
|-------|-----------------------|---------|
| ハード対策 | 要対策箇所の選定 | 国、県 |
| | 外力の増大を考慮した新しい施設設計 | 国、県 |
| | 外力規模に合わせた段階的な整備方針 | 国、県 |
| ソフト対策 | 災害リスクの情報提供・情報共有 | 国、県、市町村 |
| | ハザードマップ・タイムライン作成の技術支援 | 県、市町村 |
| | 避難勧告等の的確な発令のための技術支援 | 県、市町村 |

(3) 斜面安定化ならびにその評価法の開発

1) 沖縄県における降雨による赤土等流出対応策に関する研究

認識の共有：那覇や石垣島のアメダスの気温、降雨量のデータから、経年変化とともに年平均気温の増加や時間雨量50mm以上の雨の発生回数が増えてきていることがわかった。このデータを自治体や民間企業に提示し、地球温暖化等に伴い気候変動が起きている現状を認識した。
 連携の強化：「気候変動に伴う赤土等流出リスクの増大に備える適応策」第1回勉強会を開催し、自治体・民間・大学と情報交換を行い、連携を強化した。今後の対策は、いわゆるゲリラ降雨にも対応できるように検討を加えるべきとの認識を共有した。ソフト対策とハード対策を融合できる仕組みづくりをすることと持続可能な適応策について議論を深めることが求められた。
 課題の抽出：沖縄県と打合せを行い、資料を貸与し、現況における赤土等の発生源は農地が主で

あることがわかった。農家は赤土等流出を防ぐ目的のためだけの対策はしないため、営農上に不利益を講じない形で対策を組み込む必要があることがわかった。そのために作付体系の時間軸を念頭にいれ、農作物の成育状況に応じた流出対策を提示する必要があることがわかった。

2) 奄美豪雨に伴う斜面崩壊現象に関する研究

奄美豪雨における降雨特性の把握：自治体（鹿児島県、奄美市等）と打合せを行って、雨量、地形図、被害状況等を入手した。その結果、奄美豪雨災害時の降雨パターンには2種類あることがわかった。すなわち、当日午前中は時間雨量が20mmにもみたなかった降雨が、午後になると時間雨量が70mmを超える突発的豪雨タイプと、降雨が徐々に強くなり、ピークを越して正午頃にはおさまってきた雨が再び徐々に強くなり、2回目の時間雨量のピーク値を記録するタイプである。突発的豪雨タイプは住民が対応する時間的な余裕がないまま冠水を伴い、2ピークタイプは、1回目のピーク時より少ない雨で2回目のピークを迎えた時でも斜面崩壊を伴うことがあった。

現地調査結果と対策工案：龍郷町浦地区の斜面崩壊は、2ピークタイプの降雨により引き起こされた。崩壊斜面の崩壊前地形の傾斜角度は、およそ 35° と推定される。浦地区においては、調査・観測の結果、地すべり底部に破碎帯や破砕帯に随伴するすべり面が確認され、動態観測においても、相応の変位が確認されている。また、斜面内の水位も恒常的にすべり面付近に分布していることから、当斜面に対する対策工は、このすべり面と頭部滑落崖の安定度を高める工法に加え、地下水位を一定位置に低下させる工法を選定する必要がある。

聞き取り調査結果と課題の抽出：多くの自治体で積算雨量をもとに避難基準等を設定していることがわかった。突発的豪雨に対しては、雨量を計測したあとで避難勧告等を発令しても遅いため、雨量予測をもとに避難勧告等を発令するシステムを確立する必要があると考えられる。

(4) 河川災害適応策のための要素技術の開発

まず、従来型の洪水制御に基づいて、3基全てのダムが越流しない限界の計画高水流量 Q_{ai} （各常用洪水吐きの断面積に対応、 i は上流側からのダムの番号）を求めたところ、 $Q_{a1}=6658(\text{m}^3/\text{s})$ 、 $Q_{a2}=5478(\text{m}^3/\text{s})$ 、 $Q_{a3}=4606(\text{m}^3/\text{s})$ となった(Case1)。この結果に基づいて、最下流の $4606(\text{m}^3/\text{s})$ で Q_a を一定とした越流型の場合を計算した(Case2)。従来型と越流型の放流量の時系列 Q_{outi} を流入洪水と併せて図2(2)-27に示す。これより、越流型の下流側ダムからの最大放流量 Q_{3Max} は $4323(\text{m}^3/\text{s})$ で、従来型($Q_{3Max}=Q_a=4606 \text{ m}^3/\text{s}$)よりも6.1%低く抑えられており、越流型では洪水制御能力が強化されることが分かった。しかしながら越流型では、放流量のピークが Q_a 以下で洪水制御能力（すなわち、貯水容量）にまだ余裕がある。

次にCase2の結果を踏まえ、越流型ダムの貯水容量を最後まで使用するように、3基のダムで同一の Q_a を最下流のダムでオーバーフローしない限界まで小さくした越流型(Case3)の結果を後述のCase4と併せて図2(2)-28に示す。Case3の越流型では $Q_{3Max}=3614(\text{m}^3/\text{s})$ となって

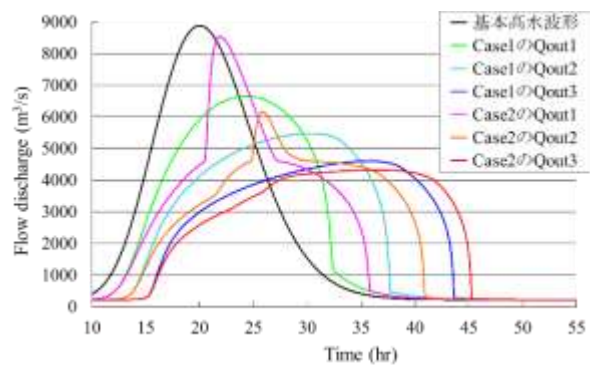


図2(2)-27 従来型と越流型における流量の時間変化

おり、従来型(Case1)の Q_{3Max} と比較すると22%小さくなっている。各ハイドログラフの積分値はほぼ一定なので、越流型では、下流側のダムになる程、放流波形のピークが低く、尾を引くように長くなることが特徴的である。なお、越流型では当然ながら1基目および2基目のダムで非常用洪水吐きからの越流が生じており、厳密には越流水深の分だけ貯水容量を余分に使用している。

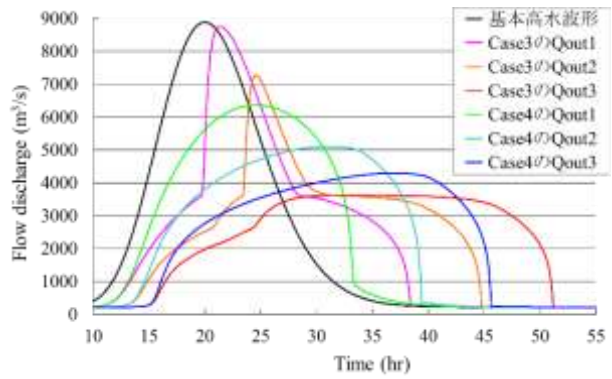


図 2(2)-28 越流型と従来型における流量の時間変化

そこで次に、前述の越流水深による貯水容量の増加の影響を考慮した比較を行う

こととして、Case3の越流型の最高水位までダムを嵩上げして、3基それぞれの貯水容量がCase3の越流型と完全に等しい場合の従来型の計算を行った(Case4)。すなわちCase3の水位の結果より、Case4の堤高は上流側から105.4m、104.3m、100.0m（下流側ダムは同じ）と設定された。Case3とCase4を比較した結果が図2(2)-28である。これより、Case3の下流側ダムの最大放流量 $3614(m^3/s)$ はCase4の下流側の最大放流量 $4301(m^3/s)$ よりも16%小さくなっている。したがって、カスケード方式において結果的に生じる越流水深の増加分を貯水容量の増加として考慮したとしても、越流型では従来型に比べて十分有意な洪水制御効果が得られることが分かった。

(5) 都市災害適応策のための要素技術の開発

$Fr = 1$ 、相対水深 $h/k = 0.24$ (k は模型の車高) の条件における自動車の主流(X)方向の流体力係数 C_{FX} 、横断(Y)方向の流体力係数 C_{FY} 、それらの合力の流体力係数 C_{FXY} を迎角に対してプロットした図2(2)-29を示す。ここで流体力係数は $C_F \equiv 2D/\rho S_{\perp} U^2$ で与えられ (D は X 方向、 Y 方向、合力の方向それぞれにおける流体力、 ρ は水の密度、 S_{\perp} は $\theta=90^\circ$ における自動車の X 方向の投影面積)、全ての θ に対して 90° における投影面積を用いている。これより、流体力係数 C_F の結果で自動車に働く流体力の大きさを直接比較できるようにしている。なお、自動車に働く流体力は車の投影面積に大き

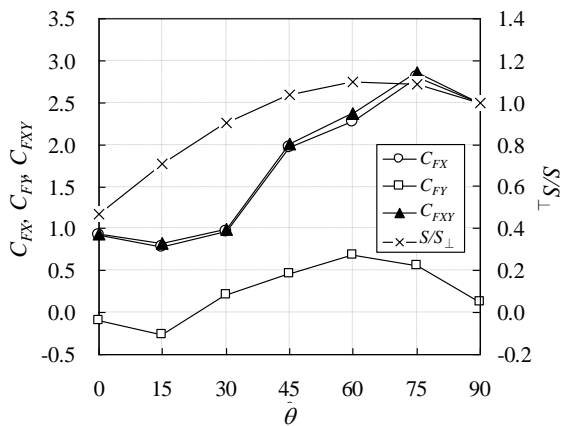


図2(2)-29 迎角と各水平方向の流体力係数との関係

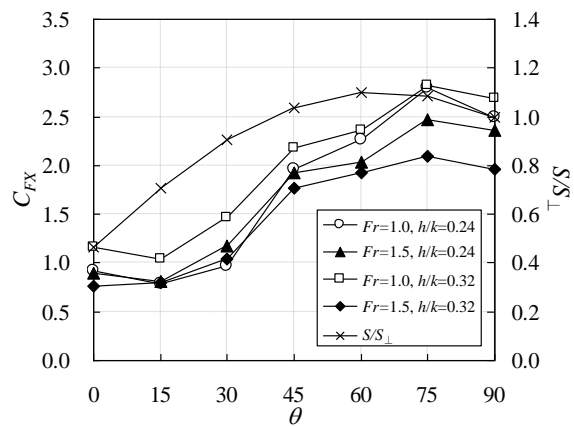


図 2(2)-30 各条件における迎角と流体力係数の関係

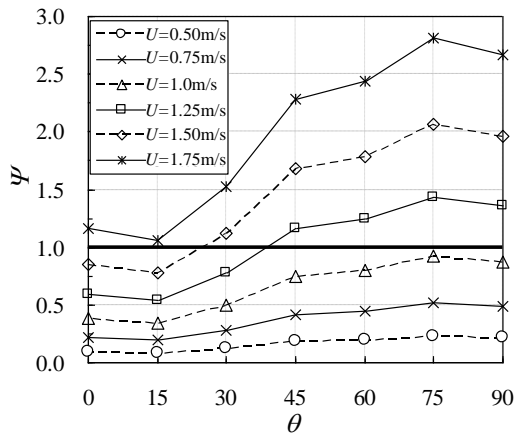


図2(2)-31 迎角と各水平方向の流体力係数

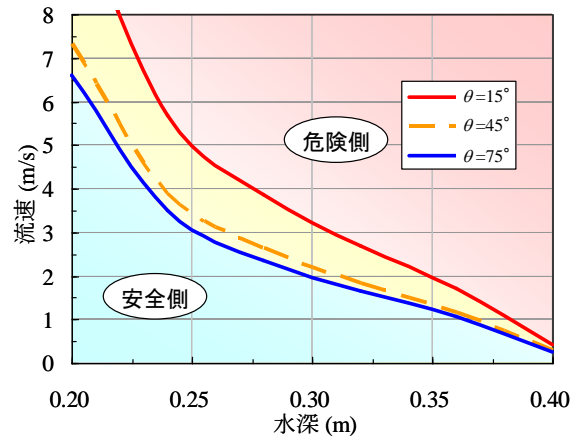


図 2(2)-32 各条件における迎角と流体力係数の関係

く依存すると考えられるため、右軸に S/S_{\perp} (S は各迎角における自動車の X 方向の投影面積)を示しており、ここで用いた流体力係数に及ぼす投影面積の影響の検討を容易にしている。図2(2)-29より、 C_{Fx} は迎角に大きく依存し、 C_{Fx} が最大となる $\theta=75^{\circ}$ では最小となる $\theta=15^{\circ}$ の時の3倍以上の力が働いていることがわかる。また、 C_{Fx} と S/S_{\perp} には比較的高い相関(相関係数0.8)が認められるものの、 S/S_{\perp} が最大となる $\theta=60^{\circ}$ で C_{Fx} が最大とはなっていないことなどが理解される。さらに、 C_{Fx} と C_{Fxy} の値にほとんど差がないことから、 Y 方向の力に対して X 方向の力が卓越しており、流れ方向の力のみで自動車に作用する流体力は算定可能といえる。この結果を踏まえ、以降の実車の評価において、車に働く水平方向の力には X 方向のみを考慮している。

次に各水理条件における C_{Fx} を迎角に対してプロットした図2(2)-30を示す。 $h/k=0.24$ では F_r 数による C_{Fx} の変化は小さいが、 $h/k=0.32$ では比較的大きい。これより、条件に応じて C_{Fx} の値にある程度の差異が見られるものの、 C_{Fx} の迎角依存性については水理条件とほぼ独立していることが見て取れる。

次に、実際の自動車が迎角に応じてどの程度まで流されずに耐えられるかについて、 $h/k=0.24$ の場合で試算を行った。自動車に働く流体力を算出する際に必要となる流体力係数 C_{Fx} は安全側を取ることとして、本実験で得られた C_{Fx} の中で最大となる $F_r=1.0$ 、 $h/k=0.32$ における C_{Fx} を用いた。また、車両重量は公表値の970kg、人を含む積載物重量は100kg、自動車の空隙率は0.2、タイヤと濡れた路面の摩擦係数は0.5とした。なお、 Z 方向に働く揚力に関して、ここでは安全側の0を用いた。流速 U をパラメータにして、横軸を迎角 θ 、縦軸を無次元流体力 Ψ (\equiv 流水により車を受ける力/流水に対する車の抵抗力)として自動車通行の危険率を評価した結果を図2(2)-31に示す。これより、 θ が小さい 0° および 15° では、 U に対する Ψ の変化は比較的小さいものの、 θ が大きい場合には U に対する Ψ の変化は比較的大きいことが理解される。

最後に力が最小となる $\theta=15^{\circ}$ 、最大となる 75° 、およびその中間の 45° のそれぞれについて、横軸を実水深、縦軸を流速として、各水深において前述の Ψ が1となる点(流される限界)をプロットした図2(2)-32を示す。なお、本来 C_{Fx} は水深(h/k)にも依存するが、ここでは θ のみに依存するものとして、全ての水深で $F_r=1.0$ 、 $h/k=0.32$ における危険側の C_{Fx} を用いて試算を行った。例えば水深0.3mにおける限界点に着目すると、 $\theta=75^{\circ}$ では流速2.0m/sまでしか耐えられないのに対して、

$\theta=15^\circ$ では流速3.3m/sまで耐えることができる。従って、流水に自動車が耐えうる限界は迎角により大きく異なることがわかった。

平成21年7月24日の夕方、福岡県前原市（現糸島市）において軽自動車が氾濫流に流されて用水路に転落し、女性一名が亡くなった。このときの雨量は18時から19時までの1時間で76mmという非常に強い雨であった。そこで、前原市（現糸島市）の事故現場を対象に平面2次元氾濫シミュレーションを実施し、軽自動車が流された時間帯の状況を再現した。事故現場付近の地形は1%程度の勾配で周辺から緩やかに下っており、雨水が集中するために幅約1mの用水路により排水されるようになっている（図2(2)-33）。事故当時は激

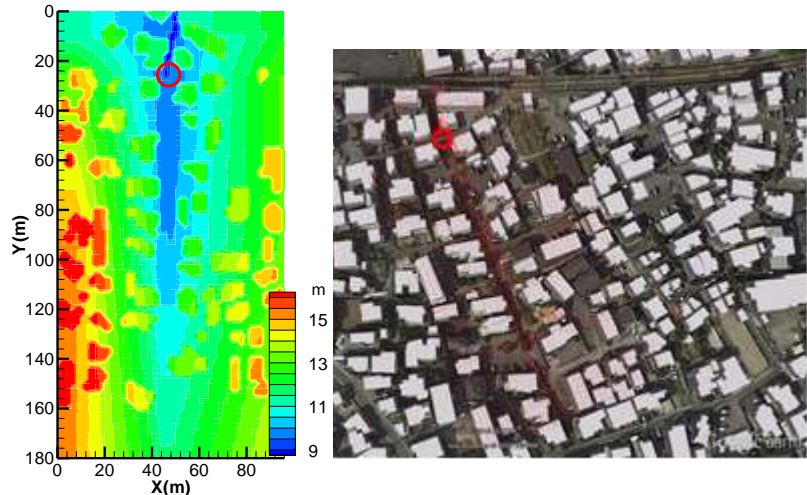


図2(2)-33 事故現場周辺の地形（左）と数値解析結果（右）、図中の赤丸は事故現場を示す

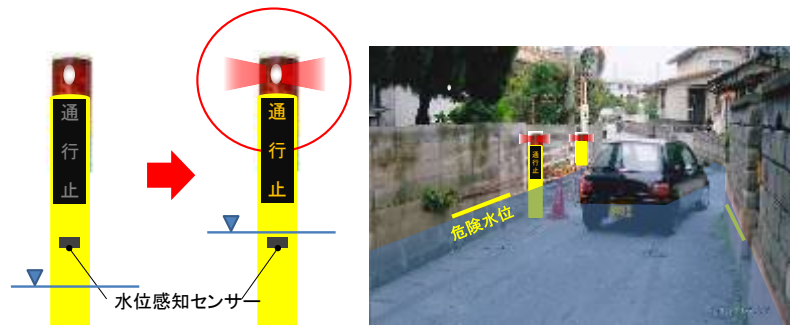


図2(2)-34 提案する適応策のイメージ

しい雨のため用水路は満水状態で溢れていたことがわかっており、排水能力を失っていたと考えられる。そのため、シミュレーションでは計算領域に24日当日の雨量を入力し、雨水によって道路が冠水し流れる様子を再現した。シミュレーション結果を図2(2)-33に示す。軽自動車が流された地点では周辺の雨水が集まって比較的大きな流速となっていた。今までの成果から、自動車斜め前方から流水を受けると水深30cmで流速2m/sを超えると流されることが分かっているが、今回のシミュレーション結果は水深約10cm、流速0.5m/sと危険値よりも小さい結果となった。用水路からの氾濫や計算領域外からの流入を考慮していないことが原因と考えられる。

本計算により、事故現場は周辺から道路を伝って雨水が集中し、氾濫流の流速が大きくなるという特徴を有することが再現できた。この場所が冠水時に自動車走行が危険となる特徴を有する場所として地域住民が認識するために、今後適応策を講じる必要がある。ここでは図2(2)-34に示すような適応策を提案する。この適応策では冠水時、危険となる水深かどうか視覚的に認識できるように発光・配色されたポール等を設置することで、運転者自身が危険性を判断し回避可能にすることを狙っている。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ・災害外力が増大するという遷移過程における防災技術のあり方を災害免疫力の概念に基づいて

検討し、社会や自然環境と調和しながら防災力を上げていくためには、「順応的適応策」が不可欠であることを明らかにした。さらに、順応的適応策となり得る防災技術の特性を明らかにし、流域の山地部、河川部、都市域、沿岸域の防災技術の開発ならびに社会実装の検討を行った。

- ・福岡都市圏における降雨特性把握のために14個の雨量計を設置し、降雨観測を行った。福岡平野における局地的降雨の降り出し場所と雨域の移動経路が概ね明らかとなった。福岡管区气象台における地上気温と上空湿度がともにある一定値以上になると、局地降雨の発生の可能性が高まることを明らかにした。

メソ気象モデルWRFを用いて2006年9月14日に福岡平野において発生したゲリラ豪雨、平成24年7月九州北部豪雨の再現シミュレーションを行った。ゲリラ豪雨への都市の影響を評価する手段の一つとして、人工排熱量の違いによる降雨量の変化を検証した結果、人工排熱の増加とともに、降雨量が増加することが明らかとなった。感度実験の結果、雲微物理過程と境界層乱流混合過程の最も適合度の高いスキームの組み合わせを選出し、歴史的豪雨であった対象事例においてもWRFは概ね適用可能であることが明らかになった。

- ・有明海湾奥部の水際において台風期に潮位観測を行った結果、有明海の西側を北上する台風によって、湾奥部で高潮（潮位偏差）が大きく増幅される場合があることを具体的に示した。

将来気候データから抽出した台風をもとに高潮災害の危険性を把握するために、改良した海洋流動モデルをもとに浸水計算を実施した。その結果、バイアス補正後の台風では、河川堤防からの浸水により浸水域が広範囲に拡大する結果となった。また、参考に解析したバイアス補正後の台風（室戸台風級）では、海岸堤防を含む局所的に堤防高が低い箇所からの越水により、佐賀平野全域で甚大な浸水被害が生じる可能性が示唆された。

- ・沖縄県宜野座村にて種々の適応策の赤土流出抑制効果の把握を行った。グリーンベルトが年間を通して流出抑制効果が高いこと、また、豪雨に対する敷き砂の有効性を示した。

さらに奄美豪雨に伴う斜面崩壊現象に関し、斜面崩壊の現地調査を行って、発生メカニズムと課題を整理した結果、雨の降り方、地盤の地形・地質特性を取り入れたリスク評価手法の必要性を提示した。

- ・河川洪水対策のための本研究の結果、複数の流水型ダムが直列に配置された場合、従来の考えに基づいた非越流の流水型ダム群と比較して、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容することで、一般的にはより重要な下流側の洪水制御能力が顕著に強化されることが分かった。なお、本研究で提案された上流側のダムの越流を許容する新たな治水方式は、従来から一般的に用いられているゲート操作を行う貯水型ダム群にも適用可能である。即ち、本研究の成果は、今後の温暖化による災害外力の増加に向けた有力な適応策（超過洪水対策など）として期待できる。

- ・現在の車社会を災害外力の増大にどう対応させていくかについての研究では、どういう水深と流速の組み合わせで車が流されるかを明らかにした。近年の集中豪雨に対しては、行政の通行止め等の措置は間に合わないため、運転者個々人に状況に応じた正確な判断をしてもらうことが不可欠であり、そのために簡便に運転者に道路上の氾濫情報を提示する方法を提案した。

（２）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・沖縄県農林水産部営農支援課から平成22年度地域協力型環境保全営農支援モデル事業（平成22年12月17日公募）の目的に、「近年のゲリラ豪雨の発生等により赤土等の流出は依然として自然環境に大きな負荷を与えている状況である」と記載され、本研究の成果によりゲリラ豪雨対策の必要性が明記された。
- ・国土交通省の矢部川河川整備計画に本研究の順応的適応策の概念の一部が採用され記載された。
- ・大分県竹田市の橋梁部における流木災害対策に本研究の成果が反映され、実施された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・将来の気圧分布や波高分布の把握および、高潮災害の危険区域（有明海湾奥部）の浸水被害を定量的に評価することにより、今後の沿岸防災計画を立てる上で重要な知見を与えることができた。さらに、研究成果をもとに自治体と協議して高潮災害への適応策の提案を行った成果は、今後行政が活用することが見込まれる。
- ・気候変動（豪雨や渇水頻度の増加）を考慮した取組みとして、インターネットを通じてリアルタイムで気象・土壌水分をモニタリングできる情報共有型システムを導入した。自治体や農家の方にも参加頂いた勉強会では本システムの利用法等の説明を行った。
- ・S-8-2(2)の代表の小松が委員長を務めた大分県竹田市の玉来ダムの検証委員会では、最終的に流水型ダムを用いた環境に配慮した治水策を支持するとの答申が出され、現在、建設に向けて最終調整に入っている。玉来ダムでは、最新の研究成果を集積した最高の流水型ダムの築造を目指すことになっており、本研究グループの成果が最大限に発揮されることになっている。
- ・河川の上流山地部に小規模流水型ダム群を設置し、かつカスケード方式で運用することは、将来の水・土砂災害の様相が変化しても全て対応でき、かつ流域貯留という総合治水の概念にも合致するため、将来の治水対策として国や自治体での活用が大いに見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

国際共同研究計画名：災害免疫力の素因の抽出ならびにその体系化

協力案件名：インドネシア共和国ワラナイ川流域における住民意識調査

カウンターパート氏名・所属・国名：Hatta Mukhsan Putra・Rahman、ハサヌディン大学、インドネシア

参加・連携状況：共同調査を実施

国際共同研究計画名：災害免疫力の素因の抽出ならびにその体系化

協力案件名：台湾における台風Morakotによる豪雨・土砂災害の調査

カウンターパート氏名・所属・国名：Lai Wen-Chi、成功大学、台湾

カウンターパート氏名・所属・国名：Shaohua Marko Hsu、逢甲大学、台湾

参加・連携状況：共同調査を実施

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 木梨行宏、中野俊夫、横田雅紀、橋本典明、山城賢：土木学会論文集B3（海洋開発）、67、973-978（2011）.
「高潮推算における気象外力の入力時間間隔に関する検討～台風9918号を例として～」
- 2) K. ARAKI, N. YASUFUKU, K. MURAYAMA, K. OMINE and H. HAZARIKA：The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Unsaturated Soils and Ground, 151-160（2011）.
“Modeling for outflow of soil sediments considering grain size distribution”
- 3) 安福規之、大嶺聖、荒木功平：土木学会論文集G（環境）、67、5、I_97-I_102（2011）.
「2010年10月奄美豪雨における降雨・土砂災害の特徴とその適応策の方向性」
- 4) 安福規之、大嶺聖、荒木功平、村山啓太：第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、201-206（2011）.
「気候変動に伴う赤土等流出リスクの増大に備える適応策に向けた取り組み」
- 5) 荒木功平、安福規之、大嶺聖、村山啓太：第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、207-212（2011）.
「沖縄県における降雨特性の経年変化に関する一考察」
- 6) 荒木功平、村山啓太、安福規之、大嶺聖、ハザリカヘマンタ：第9回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、213-216（2011）.
「粒度分布を反映した赤土等の土砂流出量算出のモデル化に関する研究」
- 7) 押川英夫、今村友彦、小松利光：土木学会論文集B1（水工学）、67、4、I_667-I_672（2011）.
「治水専用穴あきダムの河道内遊水池としての洪水制御効果に関する研究」
- 8) H. OSHIKAWA and T. KOMATSU：Proceedings of the 34th IAHR World Congress, 307-314（2011）.
“Experimental Study to Prevent River Stoppages Due to Driftwood”
- 9) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光：河川技術論文集、17、317-322（2011）.
「流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 10) 押川英夫、大島崇史、小松利光：河川技術論文集、17、461-466（2011）.
「冠水時の自動車通行の危険性に関する研究」
- 11) 木梨行宏、山城賢、姫野慎太郎、中野俊夫、横田雅紀、橋本典明：土木学会論文集B3（海洋開発）、68、858-863（2012）.
「高潮推算における非構造格子モデルの適用性に関する基礎的検討」
- 12) 木梨行宏、山城賢、姫野慎太郎、横田雅紀、橋本典明：土木学会論文集B2（海岸工学）、68、201-205（2012）.
「MRI-AGCM3.2Sにより得られた将来気候データに基づく有明海での将来の高潮に関する検討」
- 13) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖：地盤材料試験・地盤調査の精度とばらつきに関するシンポジウム、101-108（2012）.
「遠心法による保水性試験時の体積変化に関する確率論的評価手法の一提案」
- 14) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖：土木学会論文集G（環境）、68、5、I_267-I_272

(2012) .

「九州の亜熱帯化と亜熱帯地域での土壌侵食問題への適応策効果把握の試み」

- 15) K. OKUMURA, K. ARAKI, N. YASUFUKU, K. OMINE, H. HAZARIKA : International Joint Symposium on Urban Geotechnics for Sustainable Development, Vol.1, USB, 4p., (2012).
“Studies on the inhibitory effect of red soil runoff by various adaptation measures on field tests”
- 16) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光 : 土木学会論文集B1 (水工学) 、68, 4, I_871-I_876 (2012).
「段波洪水に対する流水型ダムの洪水制御能力の定量評価」
- 17) 押川英夫、小松利光 : 土木学会論文集B1 (水工学) 、68, 4, I_1489-I_1494 (2012).
「カスケード方式に基づく流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 18) H. OSHIKAWA and T. KOMATSU: Proceedings of ICOLD 2012 KYOTO, 24, 1_51-1_56 (2012).
“Cascade Type Flood Control Using Plural Dams”
- 19) 久田由紀子、松永信博、杉原裕司 : 土木学会論文集B1 (水工学) 、69 (2013) .
「福岡都市圏における局地降雨の発生特性に関する研究」
- 20) 野口託充、杉原裕司、大隈洋平、久田由紀子、松永信博 : 土木学会論文集B1 (水工学) 、69 (2013) .
「福岡都市圏におけるヒートアイランド強度の変動特性」
- 21) 田辺智子、山城賢、島田剛気、横田雅紀、木梨行宏、橋本典明 : 土木学会論文集B3 (海洋開発) 、69, 1000-1005 (2013).
「有明海湾奥部における高潮の増幅特性について」
- 22) 田辺智子、山城賢、島田剛気、横田雅紀、橋本典明 : 土木学会論文集B2 (海岸工学) 、69, 421-425 (2013).
「2012年16号台風を外力とした有明海における高潮の規模に関する検討」
- 23) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖 : 土木学会論文集G (環境) 、69, 5, I_117- I_122 (2013) .
「気候変動に伴う赤土等流出問題への宜野座村での現地実験による適応策研究」
- 24) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖 : 第10回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、221-226 (2013) .
「現地実験による赤土等流出抑制に向けた種々の適応策の検討」
- 25) K. OKUMURA, K. ARAKI, N. YASUFUKU, K. OMINE, K. IWAMI : 7th International Joint Symposium on Problematic Soils and Geoenvironment in Asia, 25-30 (2013).
“Evaluation of the various adaptation measures to inhibit the red soil runoff based on field test”
- 26) K. IWAMI, K. ARAKI, N. YASYFUKU, and K. VILAYVONG : 7th International Joint Symposium on Problematic Soils and Geoenvironment in Asia, 131-134 (2013).
“Characteristics of Red Soil Loss during Short Time Heavily Rain”
- 27) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光 : 土木学会論文集B1 (水工学) 、69, 4, I_1633-I_1638 (2013).
「直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の検討」
- 28) 三戸佑夏、押川英夫、小松利光 : 土木学会論文集B1 (水工学) 、69, 4, I_1639-I_1644 (2013).

- 「カスケード方式に基づく流水型ダム群の洪水制御効果に関する実験的研究」
- 29) H. OSHIKAWA, Y. MITO and T. KOMATSU: Journal of Disaster Research, 8, 3, 447-455, (2013).
 “Study of Flood Control Capability and Advanced Application of Multiple Dams Constructed in Series”
- 30) A. HASHIMOTO, A. TAI, H. OSHIKAWA and T. KOMATSU: Floods: From Risk to Opportunity, IAHS Publications, 357, 48-56, (2013).
 “Characteristics of flood disaster and evacuation activities of residents at Amami Oshima Island, Japan”
- 31) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光：水利科学、57, 3, 33-50 (2013).
 「カスケード方式に基づく流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 32) 橋本彰博、田井明、小松利光、池畑義人：河川技術論文集、19, 105-110 (2013).
 「平成24年7月九州北部豪雨災害にみる洪水時の河川横断構造物と流木の危険性－玉来川下流域を対象として－」
- 33) H. OSHIKAWA and T. KOMATSU: Proceedings of the 35th IAHR World Congress, USB, 9p., (2013).
 “Flood Control Capability of Dry Dams Constructed in Series”
- 34) A. HASHIMOTO, A. TAI, K. KAWAI and T. KOMATSU: Proceedings of the 35th IAHR World Congress, USB, 8p., (2013).
 “Characteristics of Amami Oshima Island Heavy Rainfall Disaster in October 2010”
- 35) 杉原裕司、今釜祥、大隈洋平、松永信博、久田由紀子、李洪源：土木学会論文集B1（水工学）、70, 4, I_541-I_546 (2014) .
 「WRFによる豪雨イベントの計算雨量に関する感度実験」
- 36) 田辺智子、横田雅紀、山根知洋、児玉充由、山城賢、橋本典明：土木学会論文集B3（海洋開発）、70, 1200-1205 (2014).
 「MRI-AGCM3.2Sの台風強度特性を考慮した有明海における高潮の将来予測に関する検討」
- 37) K. ARAKI K. OKUMURA, N. YASUFUKU, K. OMINE: Unsaturated Soils Research & Applications, 6th International Conference on Unsaturated Soils (UNSAT2014), 1447-1452, (2014).
 “Studies on the inhibitory effect by various adaptation measures for red soil runoff from farmland on field tests”
- 38) 押川英夫、小松利光：土木学会論文集B1（水工学）、70, 4, I_1555-I_1560 (2014).
 「カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構」
- 39) H. OSHIKAWA and T. KOMATSU: Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress 2014, USB, 7p., (2014).
 “Study on the Risk Evaluation for a Vehicular Traffic in a Flood Situation”
- 40) A. HASHIMOTO, A. TAI and T. KOMATSU: Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress 2014, USB, 5p., (2014).
 “Flood Risk due to Driftwoods Accumulation and Blockage at River Bridges”
- 41) M. P. HATTA, A. TAI, A. BAU EMIL SALIM, A. HASHIMOTO, H. OSHIKAWA and T. KOMATSU:

Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress 2014, USB, 4p., (2014).

“Society of Awareness Survey To The Flood Disaster in Walenna Watershed of Indonesia”

42) 押川英夫、小松利光：土木学会論文集B1（水工学）、71, 4, I_1417-I_1422 (2015).

「カスケード方式に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の評価」

43) 橋本彰博、川井一輝、田井明：土木学会論文集B1（水工学）、71, 4, I_1453-I_1458 (2015).

「2010年奄美豪雨の氾濫解析と氾濫発生要因の検討」

<査読付論文に準ずる成果発表>

(沖縄県による査読（交流集会の趣旨との合致等）)

1) 大嶺聖、安福規之、荒木功平：平成24年度赤土等流出防止交流集会，沖縄県，pp. 28-33 (2012).

「有機資材を活用した安価な赤土流出対策の適用性について」

2) 荒木功平、安福規之、大峰聖、奥村謙一郎：平成24年度赤土等流出防止交流集会，沖縄県，pp. 22-27 (2012).

「気候変動に伴う赤土等流出変動量と適応策効果把握の試み」

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

1) 荒木功平、村山啓太、安福規之、大嶺聖、北村良介：第46回地盤工学研究発表会（2011）

「水分拡散係数の算出に関する一考察」

2) 村山啓太、荒木功平、安福規之、大嶺聖、ハザリカヘマンタ：土木学会第66回年次学術講演会（2011）

「粒度分布を反映した赤土等の土砂流出量の算出に関する研究」

3) 久田由紀子、中尾豪伸、松永信博、杉原裕司：平成22年度土木学会西部支部研究発表会（2011）

「福岡平野における局地的豪雨の数値シミュレーション」

4) 村山啓太、荒木功平、安福規之、大嶺聖、小林泰三、ハザリカヘマンタ：平成22年度土木学会西部支部研究発表会（2011）

「水分拡散係数の算出に関する実験的考察」

5) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖：第47回地盤工学研究発表会（2012）

「現地実験による赤土流出抑制への種々の適応策効果に関する研究」

6) 荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖、ハザリカヘマンタ：土木学会第67回年次学術講演会（2012）

「降雨に伴う表流水と浸透力に着目した緩勾配斜面の安定解析と土砂量評価」

7) 奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、大嶺聖、ハザリカヘマンタ：土木学会第67回年次学術講演会（2012）

「国頭郡宜野座村の気象観測と現地実験による種々の適応策の赤土流出抑制効果の把握」

- 8) 野口託充、杉原裕司、久田由紀子、松永信博：日本流体力学会年会（2012）
「福岡都市圏におけるヒートアイランド構造の変動特性」
- 9) 大隈洋平、杉原裕司、久田由紀子、松永信博：日本流体力学会年会（2012）
「福岡平野における局地風の特徴」
- 10) 木梨行宏、山城賢、橋本典明、中野俊夫：土木学会西部支部研究発表会（2012）
「高潮推算における海岸地形近似の影響について」
- 11) 姫野慎太郎、木梨行宏、山城賢、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2012）
「非構造格子モデルを用いた高潮シミュレーション」
- 12) 山根知洋、横田雅紀、児玉充由、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2012）
「将来気候データに基づく九州沿岸の災害リスクに関する研究」
- 13) 奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、大嶺聖、ハザリカヘマンタ、村山啓太：平成23年度土木学会西部支部研究発表会（2012）
「赤土（国頭マージ）の不飽和透水係数の算出に関する一考察」
- 14) 荒木功平、安福規之、奥村謙一郎、大嶺聖、ハザリカヘマンタ、村山啓太：平成23年度土木学会西部支部研究発表会（2012）
「薄層・緩勾配斜面における土砂流出量評価に関する一考察」
- 15) 村山啓太、奥村謙一郎、安福規之、荒木功平、大嶺聖、ハザリカヘマンタ：平成23年度土木学会西部支部研究発表会（2012）
「国頭マージの侵食特性に関する一考察」
- 16) 久田由紀子、松永信博、杉原裕司：第57回水工学講演会（2013）
「福岡都市圏における局地降雨の発生特性に関する研究」
- 17) 野口託充、杉原裕司、大隈洋平、久田由紀子、松永信博：第57回水工学講演会（2013）
「福岡都市圏におけるヒートアイランド強度の変動特性」
- 18) 今釜祥、大隈洋平、杉原裕司、久田由紀子、松永信博：平成24年度土木学会西部支部研究発表会（2013）
「平成24年7月九州北部豪雨において発生した線状降水帯に関する数値実験」
- 19) 田中雅一、野口託充、杉原裕司、久田由紀子、松永信博：平成24年度土木学会西部支部研究発表会（2013）
「気象モデルWRFによる福岡都市圏におけるヒートアイランド強度の解析」
- 20) 田辺智子、山城賢、横田雅紀、島田剛気、木梨行宏、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2013）
「有明海における高潮規模に関する検討」
- 21) 島田剛気、田辺智子、山城賢、横田雅紀、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2013）
「有明海湾奥部の水際における潮位観測」
- 22) 奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、大嶺聖：平成24年度土木学会西部支部研究発表会（2013）
「地域との気象・地盤情報共有化による赤土流出対策の試み」
- 23) 岩見康平、荒木功平、安福規之、奥村謙一郎、大嶺聖、ハザリカヘマンタ、石藏良平：平成24年度土木学会西部支部研究発表会（2013）
「豪雨時の土砂流出に対する適応策把握の実験的研究」

- 24) 奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、大嶺聖：第48回地盤工学研究発表会（2013）
「気候変動に伴う赤土流出リスクの増大に備える適応策の実験的検討」
- 25) 奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、ハザリカヘマンタ：土木学会第68回年次学術講演会（2013）
「現地実験による種々の適応策の赤土流出抑制効果に関する研究」
- 26) 荒木功平、安福規之、大嶺聖、奥村謙一郎、岩見康平、K. VILAYVONG：土木学会第68回年次学術講演会（2013）
「気候変動に伴う赤土等流出問題に地域と取り組む適応策の試み」
- 27) 岩見康平、荒木功平、安福規之、ハザリカヘマンタ、石藏良平、奥村謙一郎：第68回年次学術講演会（2013）
「降雨に伴う赤土（国頭マージ）地盤の表流水と流出粒度に着目した基礎的研究」
- 28) 荒木功平、安福規之、大嶺聖：（社）地盤工学会関東支部GeoKanto2013（2013）
「沖縄県の気候変動と赤土等流出問題への適応策に関する一考察」
- 29) 杉原裕司、今釜祥、大隈洋平、松永信博、久田由紀子、李洪源：第58回水工学講演会（2014）
「WRFによる豪雨イベントの計算雨量に関する感度実験」
- 30) 百合野晃大、田辺智子、山城賢、横田雅紀、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2014）
「非構造格子モデルによる有明海湾奥部の高潮浸水シミュレーション」
- 31) 山根知洋、横田雅紀、児玉充由、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2014）
「ベストトラックデータとMRI-AGCM3.2Sを利用した将来の台風強度推定方法に関する研究」
- 32) 柘植和哉、横田雅紀、児玉充由、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2014）
「気候変動予測値と再解析値を用いた将来の海上風の推定に関する研究」
- 33) 久田由紀子、松永信博：第36回気象学会九州支部発表会（2015）
「福岡都市圏におけるspmの日変動」
- 34) 島田剛気、木梨行宏、山城賢、横田雅紀、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2015）
「台風0314号を外力とした有明海湾奥部における高潮浸水シミュレーション」
- 35) 一色勇志、横田雅紀、児玉充由、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2015）
「地球温暖化を考慮した将来台風の出現特性に関する研究」
- 36) 網屋凌太、横田雅紀、児玉充由、橋本典明：土木学会西部支部研究発表会（2015）
「将来の高波災害シミュレーションに関する研究」
- 37) 奥村謙一郎、安福規之、荒木功平、大嶺聖、ハザリカヘマンタ、石藏良平：平成25年度土木学会西部支部研究発表会（2014）
「土粒子の力学的安定条件に着目した流出限界粒径の算出に関する研究」
- 38) 岩見康平、荒木功平、安福規之、ハザリカヘマンタ、石藏良平、奥村謙一郎：平成25年度土木学会西部支部研究発表会（2014）
「室内表層せん断試験装置を用いた赤土の表面抵抗性の把握」
- 39) 岩見康平、荒木功平、安福規之、ハザリカヘマンタ、石藏良平：第49回地盤工学研究発表会（2014）
「室内表層せん断試験装置を用いた赤土の表面抵抗性の把握」
- 40) 岩見康平、荒木功平、安福規之、石藏良平、ハザリカヘマンタ：平成26年度土木学会西部支部研究発表会、（2015）

- 「土粒子の力学条件に着目した土砂流出量算出モデルとその適用」
- 41) 小松利光：公開シンポジウム「地球温暖化の農業・地域への影響と適応策」（2011）「地球温暖化の影響と適応～水資源・防災・環境の視点から～」
- 42) 三戸佑夏、押川英夫、小松利光：土木学会西部支部研究発表会（2011）
「直列配置された流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 43) 大島崇史、押川英夫、藤田和夫、小松利光：平成22年度 土木学会西部支部研究発表会（2011）
「冠水時の自動車通行に対する危険性の評価」
- 44) 押川英夫、今村友彦、小松利光：第55回 水工学講演会（2011）
「治水専用穴あきダムの河道内遊水池としての洪水制御効果に関する研究」
- 45) H. OSHIKAWA, T. KOMATSU : 34th IAHR World Congress (2011)
“Experimental Study to Prevent River Stoppages Due to Driftwood”
- 46) 押川英夫、小松利光：平成23年度土木学会西部支部技術発表会（2011）
「カスケード方式に基づく直列配置されたダム群による効率的洪水制御」
- 47) 三戸佑夏、押川英夫、小松利光：平成23年度 土木学会西部支部研究発表会（2012）
「数値解析に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の検討」
- 48) 大島崇史、押川英夫、藤田和夫、小松利光：平成23年度 土木学会西部支部研究発表会（2012）
「自動車に働く流体力の迎角依存性に関する研究」
- 49) T. KOMATSU, H. OSHIKAWA : 第56回 水工学講演会, Keynote Lecture (2012)
“Disaster Immunity” – A New Concept for Adaptation to Disaster Hazard Intensification”
- 50) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光：第56回 水工学講演会（2012）
「段波洪水に対する流水型ダムの洪水制御能力の定量評価」
- 51) 押川英夫、小松利光：第56回 水工学講演会（2012）
「カスケード方式に基づく流水型ダム群の洪水制御効果に関する研究」
- 52) H. OSHIKAWA, T. KOMATSU : ICOLD 2012 Kyoto, Kyoto, Japan, 2012
“Cascade Type Flood Control Using Plural Dams”
- 53) 押川英夫、三戸佑夏、小松利光：第57回 水工学講演会（2013）
「直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の検討」
- 54) 三戸佑夏、押川英夫、小松利光：第57回 水工学講演会（2013）
「カスケード方式に基づく流水型ダム群の洪水制御効果に関する実験的研究」
- 55) 三戸佑夏、押川英夫、小松利光：平成24年度 土木学会西部支部研究発表会（2013）
「流水型ダム群の洪水制御効果とその発展的利用に関する研究」
- 56) H. OSHIKAWA, T. KOMATSU : 35th IAHR World Congress (2013)
“Flood Control Capability of Dry Dams Constructed in Series”
- 57) A. HASHIMOTO, A. TAI, K. KAWAI, T. KOMATSU : 35th IAHR World Congress (2013)
“Characteristics of Amami Oshima Island Heavy Rainfall Disaster in October 2010”
- 58) 押川英夫、小松利光：第58回 水工学講演会（2014）
「カスケード方式に基づく直列配置されたダム群の洪水制御機構」
- 59) H. OSHIKAWA, T. KOMATSU : 19th IAHR-APD Congress (2014)
“Study on the Risk Evaluation for a Vehicular Traffic in a Flood Situation”

- 60) A. HASHIMOTO, A. TAI, T. KOMATSU: 19th IAHR-APD Congress (2014)
 “Flood Risk due to Driftwoods Accumulation and Blockage at River Bridges”
- 61) 押川英夫、小松利光：第59回 水工学講演会（2015）
 「カスケード方式に基づく直列配置された流水型ダム群の洪水制御能力の評価」
- 62) 橋本彰博、川井一輝、田井明：第59回 水工学講演会（2015）
 「2010年奄美豪雨の氾濫解析と氾濫発生要因の検討」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 「気候変動下の水・土砂災害適応策シンポジウム」（主催：九州大学S-8研究グループ、2012年12月14日、九州大学筑紫キャンパス、観客約121名）にて講演
- 2) 「地球温暖化時代の水・土砂災害適応策シンポジウム-沖縄から全国に向けて-」（主催：九州大学S-8研究グループ、2012年5月18日、沖縄県庁4階講堂、観客約118名）にて講演
- 3) 「気候変動下の水・土砂災害適応策シンポジウム-九州から全国に向けて-」（主催：九州大学S-8研究グループ、2014年12月10日、佐賀大学本庄キャンパス、観客約91名）にて講演
- 4) 「気候変動に伴う赤土等流出リスクの増大に備える適応策勉強会」（平成23年3月17日、ホテルチュラ琉球（那覇市）、参加者23名）にて講演
- 5) 「平成24年度赤土等流出防止交流集会」（平成24年8月、沖縄県）にて講演
- 6) 「気候変動に伴う降雨特性の変化を想定した赤土等土砂流出問題への地盤ソリューション研究の試み」、第76回土の勉強会（鹿児島大学）にて講演
- 7) 「第2回気候変動に伴う赤土等流出問題への適応策勉強会」（平成24年2月14日、沖縄県北部合同庁舎2階大会議室（名護市）、参加者20名）にて講演
- 8) 「第3回気候変動に伴う赤土等流出問題への適応策勉強会」（平成25年2月7日、ホテルチュラ琉球（那覇市）、参加者26名）にて講演
- 9) 「気候変動下の水・土砂災害適応策シンポジウム-九州から全国に向けて-」（主催：九州大学S-8研究グループ、2015年3月20日、九州大学筑紫キャンパス、観客約74名）にて講演

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 大分合同新聞「道半ば～大分県豪雨から1年～」（2013年7月2日（夕刊））
- 2) 西日本新聞「佐賀平野脅かす高潮」（2014年1月6日）
- 3) 毎日新聞「高潮の影響評価対策に活用」（2014年1月17日）
- 4) 読売新聞「先端研究 有明海の高潮災害試算」（2014年1月27日）
- 5) 朝日新聞（全国版）「先人の「防災力」に学べ！」（2014年2月22日 be report）
- 6) 朝日新聞「適応～温暖化に向き合う」（2014年2月26日）
- 7) 朝日新聞（全国版）「人の結びつきに投資を」（2014年2月26日（夕刊））
- 8) 聖教新聞（全国版）「気候変動と災害」（2014年3月13日）
- 9) 西日本新聞「小松利光九大名誉教授に聞く」（2014年7月12日）

10) 環境新聞「「適応」社会への挑戦」(2014年7月16日)

(6) その他

1) [地盤工学会九州支部優良学生賞]

村山啓太、(社)地盤工学会九州支部、2011.4

2) [平成22年度土木学会西部支部研究発表会優秀講演者賞]

荒木功平、安福規之、奥村謙一郎、大嶺聖、ハザリカヘマンタ、村山啓太：地域との気象・地盤情報共有化による赤土流出対策の試み、平成23年度土木学会西部支部研究発表会、2012.3

3) [第47回地盤工学研究発表会優秀論文発表者賞]

荒木功平、奥村謙一郎、安福規之、大嶺聖：現地実験による赤土流出抑制への種々の適応策効果に関する研究、第47回地盤工学研究発表会、2012.7

4) [平成23年度土木学会西部支部研究発表会優秀講演者賞]

奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、大嶺聖：地域との気象・地盤情報共有化による赤土流出対策の試み、平成24年度土木学会西部支部研究発表会、2013.3

5) [第48回地盤工学研究発表会優秀論文発表者賞]

奥村謙一郎、荒木功平、安福規之、大嶺聖：気候変動に伴う赤土流出リスクの増大に備える適応策の実験的検討、第48回地盤工学研究発表会、2013.7

6) [土木学会西部支部技術賞]

押川英夫、小松利光：平成23年度土木学会西部支部技術賞(2012)
業績名「直列配置されたダム群による効率的な洪水制御手法の開発」

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Research on Adaptation Measures for Water-Related and Landslide Disasters in Kyushu as a Region of Advancing Subtropical Climate

Principal Investigator: Toshimitsu KOMATSU

Institution: Kyushu University
744 Motoooka, Fukuoka-City, Fukuoka 819-0395, JAPAN
Tel: +81-92-802-3411 / Fax: +81-92-802-3411
E-mail: komatsu@civil.kyushu-u.ac.jp

Cooperated by:

[Abstract]

Key Words: Global warming, Natural hazard, Adaptive adaptation, Adjustable technology, Water-related disaster, Landslide disaster, Dry dam

Increase in natural hazard due to global warming leads a gap between it and disaster prevention capability and that causes high possibility of an unexpected major disaster. In the enlargement stage of natural hazard, adaptive adaptation is considered as a last resort for lessening disaster. The adaptive adaptation will make the optimum cycle function well. This research aims to study specific adaptation measures to water and sediment disaster throughout the mountainous regions, rivers, urban areas, and coastal areas in Kyushu which is supposed to be first sub-tropicalized in Japan.

Field observations on urban heat island and local rainfall were carried out in Fukuoka metropolitan area. These characteristics were also simulated by using the WRF model. The thermal structure of urban heat island appears obviously in the nighttime. The local rainfall originally occurs in the eastern or the western inland area in Fukuoka Plain, and the rainfall area moves toward the coastal region. The WRF model with the better scheme combination reproduces approximately spatial distributions of 12-hours accumulated precipitation from the radar-AMeDAS data.

Field observations and numerical simulations on storm surges in the Ariake Sea were conducted. The observations show storm surge tends to amplify remarkably in the innermost area in particular. The numerical simulations show there is a possibility that storm surge disaster may result in a wide range of flood damage. We proposed urgent measures of hard-, soft-, and human-ware against such possible storm surge disasters.

A series of field experiments at Ginoza Village, in Okinawa was conducted with the cooperation of farmers in order to understand the inhibitory effect of red soil runoff by various adaptation measures. Effectiveness of the adaptation methods conducted are discussed based on the obtained results. It was found that greenbelt is the most effective for the red soil runoff control. In addition, greenbelt and sand mat were relatively less susceptible to the precipitation patterns.

Under a condition of a common reservoir capacity, the new Cascade method permitting upstream dams to overflow except for the lowermost dam is compared with a conventional one not to overflow each dam. We found that the Cascade method is much more effective than the conventional one.

The relationship between flow velocity and water depth when moving cars are washed away on the flooded road was revealed. The angle of a vehicle to the flow direction largely affects driving risk on a water-covered road.