

課題名 S-8-1(4) 沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発  
 課題代表者名 風間 聡（東北大学大学院工学研究科土木工学専攻教授）  
 研究実施期間 平成22～26年度  
 累計予算額 206,476千円（うち26年度33,958千円）  
 予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 洪水、斜面災害、高潮、砂浜侵食、複合災害、住民対応、降雨パターン

#### 研究体制

- (1) 全国の洪水氾濫リスクの推定とリスクマップの開発（東北大学）
- (2) 全国の土砂災害リスクの推定とリスクマップの開発（福島大学）
- (3) 全国の高潮災害リスクの推定とリスクマップの開発（独立行政法人国土技術政策総合研究所）
- (4) 全国の沿岸侵食リスクの推定とリスクマップの開発（東北大学）
- (5) 地域特性に応じた災害解析と適応策オプションの提案（静岡大学）
- (6) 全国の豪雨災害リスク評価支援データの開発とその解析（東京大学）

#### 研究協力機関

独立行政法人国土技術政策総合研究所、福島大学、静岡大学、東京大学

#### 研究概要

##### 1. はじめに(研究背景等)

2007年にIPCC第4次評価報告書が報告された後、気候モデルの利用が格段と進み、様々な解析が行われるようになった。多くの全球気候モデル(GCM)の出力の解析によれば、低気圧の大型化や勢力が強くなること、温帯地域の降雨が熱帯型の豪雨に変化することなど、自然災害の深刻化が懸念されている。豪雨などの降雨イベントと気候変動を関連付ける流れには、2つの問題がある。第一に、ある災害イベントが発生しないと解析や評価、対策が行われないこと、第二に、全国を俯瞰し、かつ他の災害も含めた包括的な議論がなされていないことがあげられる。近年では、NCAR-ccsm3などのGCMを使った影響評価結果のマップ化の研究が盛んであり、将来の災害の被害評価が行われるようになってきている。しかし、多くは、GCMの解像度が100km～300kmと粗く、出力データの直接的利用では、流域や地域行政区を精度よく区分することが困難である。そのため、社会基盤整備や政策に示される地域固有の社会情勢特性まで議論するに踏み込んでいない。

##### 2. 研究開発目的

上記で述べた課題に答えるため、本研究は、洪水氾濫、斜面崩壊、高潮等のハザード、リスク、被害額などの影響評価モデルの精度向上と、モデルの高空間分解能化を図り、全国スケールから自治体スケールまで扱えるような、高精度のマルチスケールモデルの開発を行うことを目的とする。最終的には各課題を総合化し、気候変動災害に関する時空間の分布データを考察し、適応策について言及することを目標とした。

##### 3. 研究開発の方法

###### (1) 全国の洪水氾濫リスクの推定とリスクマップの開発

再現期間に対する全国の一級河川における再現期間の極値降雨分布と最大確率流量、集水面積データを用いて、極値降雨と最大確率流量の関係を求め、この関係を基に全国の任意地点における極値降雨に対する最大確率流量の割合である地点流出係数を算出した。この係数によって最大確率流量を生じさせる確率洪水寄与降雨の分布を作成し、河川構造物を考慮しない原始河川を仮定し氾濫計算を行う。

複合災害時の降水量と潮位の関係を算出するため、年最小気圧に観測日の前後一日の最大潮位偏差と最大日降水量を用いた。年最小気圧の頻度解析により再現期間の気圧を算出した。この気圧に対する降雨を入力して河川構造物を考慮しない原始河川を仮定し氾濫計算を行う。他の水災害の被害額データとして、他のサブ課題の斜面崩壊、高潮と沿岸侵食を用いた。

###### (2) 全国の土砂災害リスクの推定とリスクマップの開発

気候モデル、RCPシナリオを用いて2050年期、2100年期の都道府県、および全国の土砂災害の一般資産被害額を求めた。また、適応策の目標値を求めるために一般資産被害額予測値に対しての対策整備のシミュレーション解析を試みた。

斜面崩壊実績を基に開発された雨量に応じた斜面崩壊発生確率モデルを利用して、斜面崩壊のリスクの高まる雨量と現在気候に対する再現期間の雨量との関係を求め、現在の雨量に対して斜面崩壊の生じやすい地域を空間分布で明示した。

### (3) 全国の高潮災害リスクの推定とリスクマップの開発

人口変化を想定し、年生起確率1/100の高潮による最高潮位未満の海岸防護施設の天端を2050年までにその高さに引き上げる適応を加味した場合の高潮浸水による被害指標を全国について推計し、高潮浸水による浸水被害指標(浸水面積、浸水人口および浸水被害額)の全国の空間分布と2100年までの50年間隔の変化の傾向を把握した。

高潮浸水モデルに期待越波・越流計算モデルを組み込み、三大湾の奥部を対象に高潮浸水被害を予測し、被害の空間分布と経年的な変化特性を把握した。

### (4) 全国の沿岸侵食リスクの推定とリスクマップの開発

沿岸区分(海岸保全基本計画が作成される海岸の区分で、地形・海象面の類似性及び沿岸漂砂の連続性に着目して分けられたもの)別に、全国の砂浜の底質粒径を0.2mm、0.3mm、ならびに0.6mmとした場合について、Bruun則を用いて将来の砂浜消失量を予測した。さらに、将来予測される海面上昇に対する全国の砂浜消失被害関数を、海面上昇量を全国一律と仮定して予測し、これらを比較することにより、その不確実性を評価することとした。

### (5) 地域特性に応じた災害解析と適応策オプションの提案

気象警報を例とし、既存の情報に対する利用者の理解の実態を把握した上で「特別警報」のような「言葉により危険度を表現した情報」と、「レベル化した情報」がどのように受け止められるかという観点から調査した。調査はインターネットを通じた社会調査サービスgooリサーチを利用した。対象者は盛岡市、静岡市、名古屋市の在住者とし、有効回答数は547件(盛岡173、静岡186、名古屋188)だった。

同様に「大雨特別警報」の初適用例となった台風2013年18号を事例として特別警報等の情報に対する認識、当日の行動、居住地域の災害危険度に対する認識などの観点から住民の認識の実態を明らかにした。

### (6) 全国の豪雨災害リスク評価支援データの開発とその解析

気候モデル出力から気象システムを検出した。これを再解析データから検出した気象システムおよび熱帯低気圧のベストトラックデータと比較し、各気象システムの全球の存在頻度分布の類似性を評価した。類似度の指標としてはTaylorのS値を用いた。さらに、気象システムによって平均的な再現性が異なるため、平均値で除して正規化したS値により計算する再現性スコアを用いて再現性の評価を行った。

## 4. 結果及び考察

### (1) 全国の洪水氾濫リスクの推定とリスクマップの開発

再現期間100年の洪水が発生した際に適応策を講じたケースと適応策を講じないケースについて現在と将来の被害額を比較すると、近未来では全国平均で現在の約1.5倍、遠未来では現在の約2.0倍となる。また将来20年分の適応をすることにより、現在の適応しない場合の被害額よりも被害が約5兆円小さくなるのが分かった。

複合災害について再現期間50年、100年において、同年生起総被害額は、同時発生総被害額の1.25倍、1.33倍となった。高潮と洪水が同時に発生することが稀であるので、複合災害の被害額が、各々の災害の被害額と大きくは変わらない。

### (2) 全国の土砂災害リスクの推定とリスクマップの開発

2100年期の日本列島の一般資産被害額推計は、127億から143億円となる。RCPシナリオに関わらず2050年期の一般資産被害額は約15億から25億増となるが、2100年期はRCP8.5シナリオのみ2050年期比で約5億円増と緩やかに被害額増加する結果が明らかにされた。

現況の土砂災害危険箇所について、50年後に25%、100年後に50%の対策整備を行った場合、2050年期の上限で約129億から131億円、2100年期の上限で約124億から132億円の被害額となり、各期間おおよそ現在比で20億円増以内に抑制させる対策効果が見込めることを明らかにした。

### (3) 全国の高潮災害リスクの推定とリスクマップの開発

被害指標の増加量は2000年から2100年の前半50年と後半50年で大きくは変化しない。2050年と2100年の浸水人口と浸水被害額が全計算条件の平均で現状のまま将来まで続いたケースの0.75~0.78倍に低下する。高潮によって低い地域がその潮位まで全て浸水するときに浸水被害額を計算し、それらをまとめて沿岸浸水被害関数を作成した。これは被害のある種のポテンシャルを集計したものであり、傾向値としてみる必要がある。

海面が60cm上昇し、台風強度が1.3となったときの東京湾、伊勢湾および大阪湾の奥部(東京港、名古屋港、大阪港・尼崎西宮芦屋港の港内地域とその周辺地域)における高潮による浸水の最大浸水深の平面分布を計算した。各湾ともに最大浸水深の平面分布は既往モデルとほぼ同じであるが、若干面積が小さくなっている。

#### (4) 全国の沿岸侵食リスクの推定とリスクマップの開発

予測範囲の中央値となる底質粒径0.3mmの場合の全国の将来の砂浜消失率は、IPCC第5次評価報告書の海面上昇量予測結果の下限值0.26mであっても47%で、上限値0.82mでは91%に達すると予測された。水没のみを考慮した場合であっても、全国の消失率は下限値0.26mで19%、上限値0.82mで58%に達すると予測された。砂浜消失率の予測方法や底質粒径の不確実性による予測幅は大きく、IPCCの海面上昇量予測の不確実性と同程度以上であった。

#### (5) 地域特性に応じた災害解析と適応策オプションの提案

被害が出始めると感じる「レベル」や、避難などの行動を起こし始める「レベル」は「3」以上と考える回答者が9割以上だった。警報的な情報は従来のように「言葉」のみで伝える方法に比べ、「レベル」によって伝える方法が効果的な可能性があると言ってよさそうである。

大雨特別警報が実際に発表された地域の浸水想定区域内およびその周辺在住者を対象とした調査からは、同情報の運用開始から約3ヶ月後の時点で、「特別警報」の名称を認知しているという回答者がすでに7～8割に上っていることが確認された。しかし、特別警報の意味を適切に理解していたのは回答者の4割程度にとどまった。

#### (6) 全国の豪雨災害リスク評価支援データの開発とその解析

リスク評価に用いる気候モデルの選択基準に、水災害リスク評価において重要な気象システムの再現性という観点を導入した。さらに気象システム別に降水量を分類することによって、気候モデルが出力する降水量のバイアスや不確実性がどういった降水システムに起因するものであるかを推定することが可能になった。また、非常に短い時間スケール(10分程度)の降水極値は大気の飽和水蒸気量と密接な関係があることを明らかにした。

### 5. 本研究により得られた主な成果

#### (1) 科学的意義

水災害による将来の予見を捉えた一般資産被害額リスクと適応策誘導の優先順位を誘導するための基礎リスク情報を求め、今後必要とされるべき適応策へ目標設定を具現化できる検討結果を得た。時系列的、かつ空間情報による目標設定を明らかにした点に関すれば、防災体制および、街づくり、情報提供等のハード対策を補完するソフト対策をより具現化して議論できるデータベースが作成されたものと捉えることができる。そのため、防災面、および全国から地域への連動させる防災研究への発展が期待できる成果が示された。

大雨特別警報は新たな情報としてはよくその名称が認知されているが、その意味を適切に理解していたのは回答者の4割程度にとどまったこと、9月16日に大雨特別警報が出たことは良く周知されたが人々の対応行動を促すことにはあまりつながらなかった可能性が確認された。また、浸水の可能性がある地域に居住していることが住民にほとんど認識されていないことも確認された。

気象システム別に降水量を分類することによって、気候モデルが出力する降水量のバイアスや不確実性がどういった降水システムに起因するものであるかを推定することが可能になった。また、非常に短い時間スケール(10分程度)の降水極値は大気の飽和水蒸気量と密接な関係があることを明らかにした。

#### (2) 環境政策への貢献

##### <行政が既に活用した成果>

簡易モデルによる影響関数を総括班に提供し、マルチモデルによる被害額の差や不確実性を評価し、様々な問題を俯瞰的に議論できるようになり、これらの成果は総括班に利用され、温暖化ハンドブックや適応策策定のデータとして利用された。

中央環境審議会(地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会)で作成された「日本における気候変動による影響に関する評価報告書(案)」の中で、洪水氾濫と土砂災害の被害について引用されるとともに、日本における気候変動による高潮・高波の影響の評価において、高潮浸水リスクの全国における地域的な分布や三大湾における高潮浸水被害の変化についての知見が参照された。

農林水産省及び国土交通省の第2回沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性検討委員会において、本研究成果である砂浜消失率の将来予測結果を提示した。

防災気象情報に対する住民や自治体の認識に関する調査結果は、内閣府「竜巻等突風対策局長級会議」、気象庁「竜巻等突風予測情報改善検討会」、気象庁「防災気象情報の改善に関する検討会」において報告し、同検討会の答申に貢献した。特別警報に関する調査結果の一部は、2014年「気象業務はいま(気象白書)」に掲載された。

##### <行政が活用することが見込まれる成果>

海岸保全施設がありそれを海水が超えるとして高潮浸水を予測したことによって、高潮浸水被害の予測がこれまでよりも現実に近い。全国のどの地域でどれだけの高潮浸水被害リスクがあるのか、全国の高潮浸水

リスクが長期的にどのように変化していくかを把握した。それは、地方公共団体や国が高潮に対してどのような地域でどのようなタイミングで対策を検討していけばよいかを考える上で基礎情報となる。

豪雨災害による犠牲者の実態、防災気象情報に対する住民の認識などの研究成果は、すでに内閣府、国土交通省、気象庁などの行政機関の公的委員会、公的資料に頻繁に活用されており、今後も各省庁、地方自治体などの防災政策の基礎資料として活用されることが見込まれる。

IPCC第5次評価報告書(AR5)第1作業部会報告書および第2作業部会報告書において本研究プロジェクトの成果の一つであるUtsumi et al. (2011)が引用された。

## 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) 川越清樹、肱岡靖明、高橋潔: 地球環境研究論文集, 18, 29-36(2010)  
“温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価”
- 2) K. ONO, T. AKIMOTO, L. N. GUNAWARDHANA, S. KAZAMA and S. KAWAGOE: Hydrology and Earth System Science, 15, 197-207(2011)  
“Distributed specific sediment yield estimations in Japan attributed to extreme-rainfall-induced slope failures under a changing climate”
- 3) 横尾善之、沖大幹、川崎雅俊、坂田加奈子: 水工学論文集, 55, 385-390(2011)  
“渇水比流量の増加要因に着目した全日本地下水涵養ポテンシャルマップの作成”
- 4) 牛山素行: 水工学論文集, 55, 505-510(2011)  
“「ゲリラ豪雨」と災害の関係について”
- 5) N. UTSUMI, S. SETO, S. KANAE, E. MAEDA and T. OKI: Geophysical Research Letters 2011;38(16):L16708(2011)  
“Does higher surface temperature intensify extreme precipitation?”
- 6) 牛山素行、横幕早季、貝沼征嗣: 水工学論文集, 56, 1093-1098 (2012)  
“2010年9月8日静岡県小山町豪雨災害における避難行動の検証”
- 7) M. M. THI, L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: Water International, 37(3), 218-235( 2012)  
“A comparison of historical land-use change patterns and recommendations for flood plain developments in three delta regions in Southeast Asia”
- 8) 川越清樹、江坂悠里: 土木学会論文集G(環境), 68, I\_287-I\_296(2012)  
“気候システムの温暖化による斜面崩壊と影響人口の関係に関する推計”
- 9) 小松和、木村龍、横尾善之: 土木学会論文集G(環境), 68, I\_261-I\_266(2012)  
“流域の気候・地理条件に基づく山地河川の流況推定に向けた予備的検討”
- 10) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO: Coastal Engineering 2012 (Proc. of 33rd Int. Conf. on Coastal Eng.) Management.35 ( 2012)  
“Century-scale shoreline changes of five beaches in Japan”
- 11) 有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明: 土木学会論文集G(環境), 68, I.279-I.285(2012)  
“日本の干潟における過去の長期面積変化特性と海面上昇による将来の浸食予測”
- 12) 手塚翔也、小野桂介、風間聡: 土木学会論文集B1(水工学) Vol.69, No.4, pp. I\_1603-I\_1608(2013)  
“極値降雨と極値流出の関係に基づいた洪水被害分布推定”
- 13) 有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明: 土木学会論文集G(環境), 69, I\_239-I\_247(2013)  
“最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測”
- 14) K. UDO, Y. TAKEDA, J. YOSHIDA and A. MANO: Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 65, 1975-1980 (2013)  
“Long-term area change of two tidal flats in Japan and its future projection due to sea level rise”
- 15) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO: Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 65, 2185-2190 (2013)  
“Potential impact of climate change at five Japanese beaches”
- 16) 牛山素行、横幕早季: 災害情報, No.11, 81-89 (2013)  
“発生場所別に見た近年の豪雨災害による犠牲者の特徴”
- 17) 手塚翔也、小野桂介、風間聡、小森大輔: 土木学会論文集B1(水工学), 70, I\_439-I\_444 ( 2014)  
“極値降雨, 流出量に基づく洪水被害推定およびその将来変化”

- 18) 三澤公希、風間聡、鈴木武、有働恵子、手塚翔也:土木学会論文集G(環境), Vol.70, No.5, I\_95-I\_100 (2014)  
“気候変動下の洪水と高潮の複合災害リスク推定”
- 19) 川越清樹、江坂悠里、伊藤圭祐、肱岡靖明:土木学会論文集G(環境), 70, I\_167-I\_176 (2014),  
“気候モデルを用いた将来の土砂災害推計”
- 20) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO: Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 70, 467-472 (2014)  
“Framework for proper beach nourishment as adaptation to beach erosion due to sea level rise”
- 21) 牛山素行: 自然災害科学, Vol.33, 特別号, pp.75-86 (2014)  
“大雨特別警報に対する洪水浸水想定区域付近の住民の認識”
- 22) N. UTSUMI, H. KIM, S. SETO, S. KANAE and T. OKI: J. Geophys. Res. Atmos. 2014JD021734. (2014)  
“Climatological characteristics of fronts in the western North Pacific based on surface weather charts”

## (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) S. TEZUKA, S. KAZAMA, K. ONO: AOGS-AGU(WPGM), Singapore, 2012.  
“Flood Damage Estimations Based on Spatial Distribution of Extreme Precipitation”
- 2) K. ONO, S. KAZAMA: International Climate Change Adaptation Conference, Tucson, 2012.  
“Hazard prediction of rainfall-induced shallow landslide in southeast Asia by using physically-based method and empirical method”
- 3) S. KAZAMA, A. SATO: International Climate Change Adaptation Conference, Tucson, 2012.  
“Detection of high priority areas for flood adaptation on climate change, 2nd International Climate Change”
- 4) S. KAWAGOE, Y. ESAKA, Y. HIJIOKA: Adaptation futures 2nd International climate change adaptation conference, 2012,  
“Evaluation of slope failure probability risk in Japan due to climate change by using climate policy assistance models”
- 5) K. UDO, Y. TAKEDA, J. YOSHIDA, A. MANO: International Coastal Symposium, 2013  
“Long-term area change of two tidal flats in Japan and its future projection due to sea level rise”
- 6) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA, A. MANO: International Coastal Symposium, 2013  
“Potential impact of climate change at five Japanese beaches”
- 7) H. KIM, N. UTSUMI, T. OKI: 2013 AGU Fall Meeting, 9-13 December 2013, San Francisco.  
“Estimation of Uncertainty Propagation through Terrestrial Hydrologic Simulations and Objective Evaluation Strategy for In-situ and Satellite Observations of Precipitation”
- 8) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA, A. MANO: International Coastal Symposium, 2014, Durban.  
“Framework for proper beach nourishment as adaptation to beach erosion due to sea level rise”

## 7. 研究者略歴

課題代表者: 風間 聡

東北大学工学部卒業、博士(工学)、現在、東北大学大学院工学研究科教授

研究分担者

- 1) 川越 清樹  
東北大学工学部卒業、現在、福島大学大学院共生システム理工学研究科准教授
- 2) 鈴木 武  
東北大学工学部卒業、現在、独立行政法人国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部長
- 3) 有働 恵子  
筑波大学基礎工学類卒業、現在、東北大学災害科学国際研究所准教授
- 4) 牛山 素行  
信州大学農学部卒業、現在、静岡大学防災総合センター教授
- 5) 沖 一雄  
法政大学工学部卒業、現在、東京大学生産技術研究所准教授

## S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

### (4) 沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発

#### ① 全国の洪水氾濫リスクの推定とリスクマップの開発

東北大学

大学院工学研究科

風間 聡

平成22年度～26年度累計予算額：58,122千円

(うち、平成26年度予算額：11,025千円)

#### [要旨]

全国の一級河川流域における再現期間毎の極値降雨分布と最大確率流量、集水面積データを用いて、極値降雨と最大確率流量の関係を求めた。この関係式から、任意地点の確率にもとづいた洪水流量を知ることができる。国土交通省の治水経済調査マニュアルを参考に、土地利用ごとに被害額単価を決定し、氾濫モデルから得られた浸水深と浸水期間を被害額単価に乗じることにより、被害額を算定した。現在の治水水準とした50年に一回の洪水に対する防護レベルを越えた際の被害額を日本全国において洪水被害額として求めた。これらをもとに洪水被害の将来展望を求めるとともに、他の水災害と併せた複合災害の将来展望を求めた。

#### [キーワード]

氾濫、被害額、ハザード、複合災害、適応

### 1. はじめに

日本において2004年の新潟福井豪雨や2009年の中国北九州豪雨なども気候変動と関連付けられて論じられている。しかし、こうした豪雨などの降雨イベントと気候変動を関連付ける流れには、2つの問題がある。第一に、ある災害イベントが発生しないと解析や評価、対策が行われないこと、第二に、全国を俯瞰し、かつ他の災害も含めた包括的な議論がなされていないことがあげられる。近年では、NCAR-ccsm3などのGCMを使った影響評価結果のマップ化の研究が盛んであり、イギリスやオーストラリアなどで将来の災害の被害評価が行われるようになってきている。しかし、多くは、GCMの解像度が100km～300kmと粗く、出力データの直接的利用では、流域や地域行政区を精度よく区分することが困難である。そのため、社会基盤整備や政策に示される地域固有の社会情勢特性まで議論するに踏み込んでいない。

### 2. 研究開発目的

本プロジェクトでは、地域ごとの気候変動に対する洪水氾濫被害の適応策を示すことを最終的な目的として、そのために空間的に精度の良い被害推定を行う。本年度は、日本全土において気候変動による洪水氾濫被害額を流域ごとに算定し、国土交通省によって試算された被害額と比較することによって、推定値と実被害または流域整備計画の水害の被害額と比較し、また、他の水害被害額とをまとめて複合災害被害額を求めた。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 全国の洪水氾濫リスクの推定とリスクマップの開発

##### 1) 洪水被害推定

任意地点における再現期間の最大確率流量を生じさせる降雨（確率洪水寄与降雨と呼ぶ）を用いて氾濫計算を行い、日本全国における洪水被害額を算出した。そのためのデータセットとして以下を用意した。確率洪水寄与降雨の分布を得るために、数値標高モデル（DEM）および再現期間の極値降雨、一級河川における最大確率流量を用いる。最大確率流量は、雨量・流量年表データベースの年最大日流量を頻度解析することにより算出される。DEMを用いて、集水面積、流向データを作成した。

確率洪水寄与降雨の分布を求めるために、再現期間に対する全国の一級河川における再現期間の極値降雨分布と最大確率流量、集水面積データを用いて、極値降雨と最大確率流量の関係を求め、この関係を基に全国の任意地点における極値降雨に対する最大確率流量の割合である地点流出係数を算出した。この係数によって最大確率流量を生じさせる確率洪水寄与降雨の分布を作成した。次に河川構造物を考慮しない原始河川を仮定し氾濫計算を行う。

##### 2) 複合災害評価

複合災害時の降水量と潮位の関係を算出するため、年最小気圧に観測日の前後一日の最大潮位偏差と最大日降水量を用いた。年最小気圧の頻度解析により再現期間の気圧を算出した。潮位観測地点（8地点）と、降雨観測地点（17地点）において、空間内挿を行い、再現期間50年、100年の気圧における潮位及び降水量の全国の分布を作成した。複合災害の将来予測のために、将来気候における月降水量、海面上昇量のデータを用いた。災害の被害額データとして、他のサブサブ課題の斜面崩壊、高潮と沿岸侵食を用いた。

降水量と気圧の関係性、潮位と気圧の関係性から、二次元不定流モデルに代入する降水量と潮位の関係を間接的に求める。潮位と気圧、および降水量と気圧の関係式から再現確率50年と100年の気圧における高潮・洪水の同時発生による災害リスクを計算する。

### 4. 結果及び考察

#### (1) 全国の洪水氾濫リスクの推定とリスクマップの開発

##### 1) 洪水被害推定

再現期間100年の洪水が発生した際に適応策を講じたケース（治水レベル再現期間70年）と適応策を講じないケース（治水レベル再現期間50年の被害額）について、各シナリオ、期間に対する被害額を求め、現在と将来の被害額を比較すると、近未来では全国平均で現在の約1.5倍、遠未来では現在の約2.0倍となる。また将来20年分の適応をすることにより、現在の適応しない場合の被害額よりも被害が約5兆円小さくなることが分かった。

##### 2) 複合災害評価

図1(4)①-1に被害額の結果をまとめる。再現期間50年、100年において、同年生起総被害額は、同時発生総被害額の1.25倍、1.33倍となった。高潮と洪水が同時に発生することが稀であるので、複合災害の被害額が、各々の災害の被害額と大きくは変わらない。よって複合災害の被害額合計時には、同年生起被害額を採用する。

洪水氾濫と、斜面崩壊、高潮、沿岸侵食による複合災害の将来予測に3つのGCM（MIRIC5、

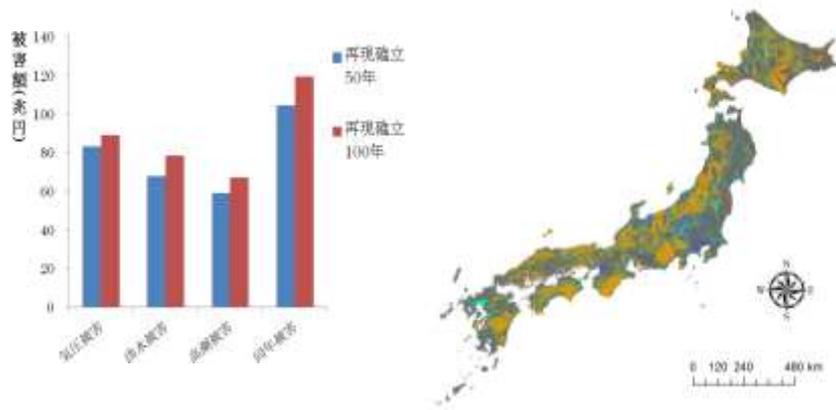


図1(4)①-1洪水高潮複合被害額まとめ



図1(4)①-2 2100年気候の複合災害分布図

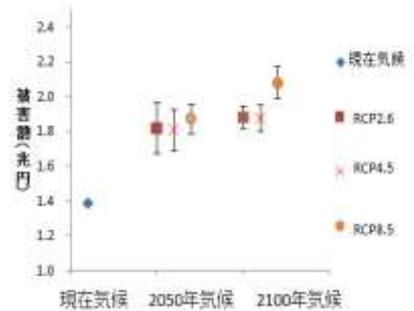


図1(4)①-3 不確実性を考慮した複合災害被害額

MRI-CGCM3, HadGEM2) を利用する。気候シナリオとして3通り (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5)、解析期間として2通り (2000年と2050年) を設定する。なお、災害リスクは年期待被害額で導かれる。沿岸侵食被害額は、現在、2050年、2100年ころの値を用いて増加トレンドを導き2050年、2100年時の値を抜き出した。また洪水氾濫と斜面災害の適応を再現期間50年までと考えた。得られた結果を基に不確実性評価を行った。2100年の被害額分布図を図1(4)①-2に示す。また、不確実性を考慮した現在、2050年、2100年の被害額を図1(4)①-3示す。現在の複合災害被害額は、約1.39兆円を示す。2050年気候における各GCMによる被害額の平均値は、1.81兆円から1.88兆円となった。2100年気候においては、1.88兆円から2.08兆円となった。現在気候から2050年気候において被害額が1.30倍から1.35倍となり、2100年気候において被害額が約1.35倍から1.50倍となる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本研究成果によって本モデルによる日本全域の洪水氾濫被害額推定値が国土交通省の流域基本計画より過小、実被害より過大である性質が明らかになった。広域モデル被害額に対し、国交省試算被害額は約2.1倍、水害統計被害額は約0.1倍となる。この関係を用いて被害額を補正することによって、実被害額の広域分布情報の提供の可能性である。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

簡易モデルによる影響関数を総括班に提供し、マルチモデルによる被害額の差や不確実性を評価し、様々な問題を俯瞰的に議論できるようになり、地域から日本全体までのスケールにおいて防災政策の議論が可能となった。これらの成果は総括班に利用され、温暖化ハンドブックや適応策策定のデータとして利用された。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

本成果は温暖化による洪水氾濫被害額の日本の地域詳細情報を参考に土地利用政策に利用でき

る。今後様々な適応策オプションを議論する際の基礎情報になる。国や地方自治体に洪水被害額の地域詳細情報を提供することで、政策検討、適応策オプションの検討に貢献できる。

## 6. 国際共同研究等の状況

IMPAC-T/STREPSにおいてタイ国灌漑局、カセサート大学と気候変動による水害被害評価推定を行っている。また洪水氾濫の比較研究として、豪州カーティン大学と共同研究を行っており、沿岸部の気候変動の影響を評価している。これらはS-8プロジェクトの成果を海外展開するためのものである。これらの具体的なものとして、Slope Failure and Water Disasters Workshop (タイ国研究者(カセサート大学、灌漑局))を仙台において2012年3月29日に、HEST seminarとしてMukand S. Babel教授(AIT)を招聘し、Climate Change Impact and Adaptation for Bangkok Metropolitan Regionを仙台において2013年3月14日に講演会を行った

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### < 論文 (査読あり) >

- 1) K. ONO, T. AKIMOTO, L. N. GUNAWARDHANA, S. KAZAMA and S. KAWAGOE: Hydrology and Earth System Science, 15, 197-207 (2011)  
 “Distributed specific sediment yield estimations in Japan attributed to extreme-rainfall-induced slope failures under a changing climate”
- 2) L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: Annual Hydraulic Engineering Journal, 55, 67-72 (2011)  
 “Snow and glacier contribution from Italian Alps from seasonal river discharge in Tagliamento River”
- 3) N. GUNASEKARA and S. KAZAMA: Annual Hydraulic Engineering Journal, 55, 115-120 (2011)  
 “Monitoring inequalities in irrigation water supplies for sustainable irrigation management”
- 4) N. GUNASEKARA and S. KAZAMA: IAHS publication 347, 267-273(2011)  
 “Water conflict vulnerability of regions, Risk in water resources management”
- 5) L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: IAHS publication 345, 10-16(2011)  
 “Groundwater temperature as a tracer to estimate anthropogenic impacts: past, present and future, Conceptual and Modelling Studies of Integrated Groundwater”
- 6) K. Ono and S. KAZAMA: IAHS Publication 344, 169-175(2011)  
 “Analysis of extreme daily rainfall in southeast Asia with a gridded daily rainfall data set”
- 7) L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: Hydrological Processes, 25, 17, 2665-2678(2011)  
 “Climate change impacts on groundwater temperature change in the Sendai plain, Japan” ,
- 8) L. GUNAWARDHANA, S. KAZAMA and S. KAWAGOE: Water Resources Management, 25, 13, 3247-3276. (2011)  
 “Impact of Urbanization and Climate Change on Aquifer Thermal Regimes”
- 9) K. ONO, S. KAZAMA, S. KAWAGOE, Y. YOKOO and L. GUNAWARDHANA: Hydrological Research

- Letters, 5, 69-72 (2011)  
 “Possible earthen dam failure mechanisms of Fujinuma reservoir due to the Great East Japan, Earthquake of 2011”
- 10) Y. YOKOO and S. KAZAMA: Hydrological Processes, doi:10.1002/hyp.8299 (2011)  
 “Numerical investigations on the relationships between watershed characteristics and water balance model parameters”
- 11) N. GUNASEKARA and S. KAZAMA: Hydrology and Earth System Science Discussion, 9, 1-35(2012)  
 “A water availability and low-flow analysis of the Tagliamento River discharge in Italy under changing climate conditions”
- 12) L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: Journal of Hydrology, 460-461, 40-51(2012)  
 “Using subsurface temperatures to derive the spatial extent of the urban heat island effect”
- 13) M. M. THI, L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: Water International, 37(3), 218-235(2012)  
 “A comparison of historical land-use change patterns and recommendations for flood plain developments in three delta regions in Southeast Asia”
- 14) L. GUNAWARDHANA and S. KAZAMA: Global and Planetary Change, 86-87, 66-78(2012)  
 “Statistical and numerical analyses of the influence of climate variability on aquifer water levels and groundwater temperatures: The impacts of climate change on aquifer thermal regimes”
- 15) K. ONO, S. KAZAMA, L. GUNAWARDHANA and K. KURAJI: Hydrological Research Letters, 7(3), 66-72(2013)  
 “An investigation of extreme daily rainfall in the Mekong River Basin using a gridded precipitation dataset”
- 16) N. K. GUNASEKARA, S. KAZAMA, D. YAMAZAKI and T. OKI: Hydrology and Earth System Sciences, 17(11), 4429-4440(2013)  
 “The effects of country-level population policy for enhancing adaptation to climate change”
- 17) N. K. GUNASEKARA, S. KAZAMA, D. YAMAZAKI and T. OKI: Water Resources Management, 28, 169-184 (2014)  
 “Water conflict risk due to water resource availability and unequal distribution”
- 18) N. K. GUNASEKARA, S. KAZAMA, D. YAMAZAKI and T. OKI: Southeast Asian Water Environment 5, 205-211(2014),  
 “Water conflict vulnerability of Mekong countries in the near future”
- 19) K. ONO and S. KAZAMA: Southeast Asian Water Environment 5, 221-228 (2014)  
 “Extreme daily rainfall in Thailand using a gridded daily rainfall dataset: A frequency analysis with 6 types of plotting position formula”
- 20) K. ONO, S. KAZAMA and C. EKKAWATPNIT: Natural Hazards, 74, pp.2089-2107 (2014)  
 “Assessment of rainfall-induced shallow landslides in Phetchabun and Krabi provinces,

Thailand” 他6件

**<査読付論文に準ずる成果発表>**

特に記載すべき事項はない。

**<その他誌上発表（査読なし）>**

- 1) S. KAZAMA: Proceedings of International Symposium, Promoting Synergies among adaptation networks in the Asia-Pacific Region, pp.27 (2011)

“Water disaster impact on climate change and its adaptation”

- 2) 風間聡：影響と適応，グローバルネット，280号，pp.4-5（2014）

「気候変動と水問題」

**（2）口頭発表（学会等）**

- 1) S. KAZAMA: 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, 2010, Athens.

“Downscaling output of global climate models with application to aquifer thermal regimes in the Sendai plain, Japan” 他21件

**（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) トレーニングコースBuilding Resilience to Climate Change, Adaptation in Water Sector（主催：国連大学主催、平成25年10月29日、東京）にて講演。
- 2) スタディーツアー（主催：二華中学校・高等学会、平成26年7月11日、仙台）にて指導。
- 3) UK-Japan高校生ワークショップ（主催：英国大使館、平成25年8月5～9日、仙台）にて指導。
- 4) 地球温暖化に関する国際シンポジウム「変化する気候への適応と未来の姿」（土木学会主催、平成26年11月25日、東京）にて講演。
- 5) 地球環境シンポジウム（土木学会主催、平成25年9月17、18日）の大会実行委員長。200名参加。
- 6) 気候変動の身近な影響と適応策を考える～IPCC第38回総会に向けてin仙台～（主催：環境省、平成26年2月22日、仙台）にて「気候変動と水問題：影響と適応」を基調講演。
- 7) 地球環境シンポジウム一般公開シンポジウム「土木分野における適応に向けた気候変動研究の将来展望」（主催：土木学会、平成26年9月4日、東京）にて「水災害の被害額と適応費用推定と複合災害の評価」を基調講演。

**（5）マスコミ等への公表・報道等**

特に記載すべき事項はない。

**（6）その他**

特に記載すべき事項はない。

**8. 引用文献**

特に記載すべき事項はない。

## S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の定量的評価に関する研究

### (4) 沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発

#### ② 全国の土砂災害リスクの推定とリスクマップの開発

福島大学

大学院共生システム理工学研究科

川越 清樹

大学院共生システム理工学研究科

横尾 善之

平成22年度～26年度累計予算額：39,649千円

(うち、平成26年度予算額：6,124千円)

#### [要旨]

全国の地形、地質、土地被覆、気候シナリオに応じた再現期間毎の極値降雨分布データと、過去の斜面崩壊実績データを利用することで斜面崩壊の発生確率、および一般資産被害額を算定するための関係式を開発した。この関係式に数値地理情報を当てはめることで、土砂災害の危険性の高まる区域を時空間情報で知ることができる。得られた時空間情報を基に、現在までの土砂災害防止対策進捗率を加えることで適応策の効果の将来展望を示した。また、推計される将来の人口分布と危険地域の情報を比較し、人的被害のリスクの高まる領域を求めた。

#### [キーワード]

斜面崩壊、ハザード、被害額、適応策、適応策進捗率

#### 1. はじめに

戦後直後のカスリーン台風(1947年、死者行方不明者1,930人)、伊勢湾台風(1959年、死者行方不明者5,098人)等を経験し、我が国では、豪雨に対しての治山、治水の構造物を整備するハード対策や危険情報を周知させるソフト対策が講じられ、甚大な被害を抑制させる取り組みを進めてきた。一方で、経験や、過去の経験に基づく統計的数値を超過する自然現象が近年認められている。既に対策を整備した地域、もしくは低い危険度で位置づけられた地域での被害も認められ、局所的に想定以上の被害が生じるケースも生じている。温暖化に伴い発生が見積もられている降雨量の増大や豪雨頻度の増加は、この被害を更に増大させる可能性を有する。このような背景をふまえ、温暖化による土砂災害の評価を実施した。

#### 2. 研究開発目的

温暖化による土砂災害の影響を見積もることを目的に、温暖化に関連して発生の見込まれる降雨量の極端現象を変数に設定し、物的被害、人的被害を求めた。また、物的被害に関しては、現在までの土砂対策の整備進捗を基に、今後、温暖化の適応策実施の可能性を踏まえた被害額の遷移を見積もった。気候変動予測に対応させて将来を見据えた安全、安心な国土の保全を設計するだけではなく、現在と将来の展開を連動させて系統的に適応策を計画することの重要性を示している。そのため、強雨に対して脆弱な現状も含めた時系列的な対策推移を求めている。本事業の主たる結果は「①土砂災害被害と適応策の推移予測」、「②人口予測に基づいた土砂災害曝露人

ロとハイリスクエリアの検討」である。

### 3. 研究開発方法

事業を通じて開発された降雨変化に応じて斜面崩壊の危険性を求める斜面崩壊モデルを用い、以下の①、②に対する温暖化影響評価予測結果とマップ開発を試みた。

#### ① 土砂災害被害と適応策の推移予測

IPCC第5次評価報告書に用いられる気候モデル(MIROC5.0、MRICGCM3、GFDLC3.0、HadGEM2E ; 4モデル)、RCPシナリオ(RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 ; 3シナリオ)を用いて2050年期、2100年期の都道府県、および全国の土砂災害の一般資産被害額を求めた。また、適応策の目標値を求めるために一般資産被害額予測値に対しての対策整備のシミュレーション解析を試みた。

#### ② 流域単位の土砂災害曝露人口予測

斜面崩壊実績を基に開発された雨量に応じた斜面崩壊発生確率モデルを利用して、斜面崩壊のリスクの高まる雨量と現在気候に対する再現期間の雨量との関係を求め、現在の雨量に対して斜面崩壊の生じやすい地域を空間分布で明示した。

### 4. 結果及び考察

#### ① 土砂災害被害と適応策の推移予測

図1(4)②-1に日本列島の土砂災害被害額(年当たり)結果、図1(4)②-2に現在と適応策を除いた場合の一般資産被害額推計 都道府県マップを示す。結果の概要は以下に列挙する通りである。

■各気候モデル、RCPシナリオの2050年期の日本列島の一般資産被害額推計より、2050年期の被害額は、RCP2.6シナリオで126億から137億円、RCP4.5シナリオで128億から136億円、

■RCP8.5シナリオで129億から135億円と求められた。

■各気候モデル、RCPシナリオの2100年期の日本列島の一般資産被害額推計より、RCP2.6シナリオで127億から136億円、RCP4.5シナリオで130億から135億円、RCP8.5シナリオで133億から143億円となることが求められた。RCPシナリオに関わらず2050年期の一般資産被害額は約15億から25億増となるが、2100年期はRCP8.5シナリオのみ2050年期比で約5億円増と緩やかに被害額増加する結果が明らかにされた。

■現況の土砂災害危険箇所について、50年後に25%、100年後に50%の対策整備を行った場合(適応策②)、2050年期の上限で約129億から131億円、2100年期の上限で約124億から132億円の被害額となり、各期間、RCPシナリオをとともにおおよそ現在比で20億円増以内に抑制させる対策効果が見込めることを明らかにした。

適応策対策整備率について現況までの直轄砂防指定地における対策整備レベルの対策を考慮した平均的整備率(0.5%/年)としている。ただし、この整備率も直轄砂防指定地域の結果であるため、全国一律で整備を進めるには相当な整備強化が必要になるものと予想される。

#### ② 流域単位の土砂災害曝露人口予測

2次谷までの流域空間を設定し、斜面崩壊のリスクの高まる雨量(斜面崩壊発生確率50%超過)と現在気候に対する再現期間の雨量との関係に基づいた危険レベルと2010年、および2050年の人口について空間的に検証し、雨量に対して土砂災害による人的被害の生じやすい地域を明示した。

■日本列島の流域44,105箇所のうち沖積平野以外のものは23,472箇所存在し、そのうち2010年時点

で居住人口を含むものが9,236箇所存在した。なお、2050年時点の場合は、居住人口を含む流域は7,259箇所に減少することが見積もられた。

■土石流ケースについて、流域人口1,000人以上で再現期間10年以下の降雨でリスクの高まる流域は、2010年時で739箇所、2050年時で459箇所と推計された。

■都道府県別で評価すると、2010年時に兵庫県(54箇所)、静岡県(45箇所)、広島県(44箇所)、和歌山県(34箇所)、山梨県(34箇所)、2050年時に兵庫県(46箇所)、広島県(38箇所)、長野県(30箇所)、静岡県(27箇所)、和歌山県(22箇所)が上位である。

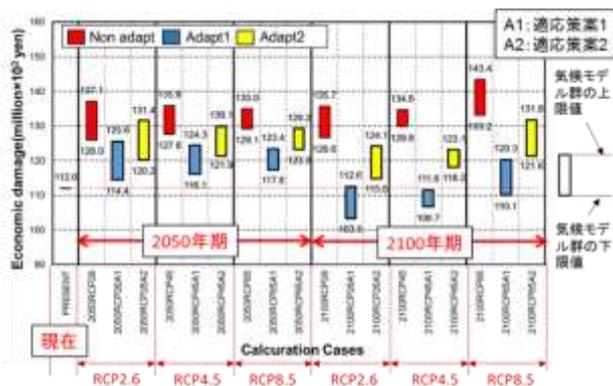


図1(4)②-1 日本列島の土砂災害被害額

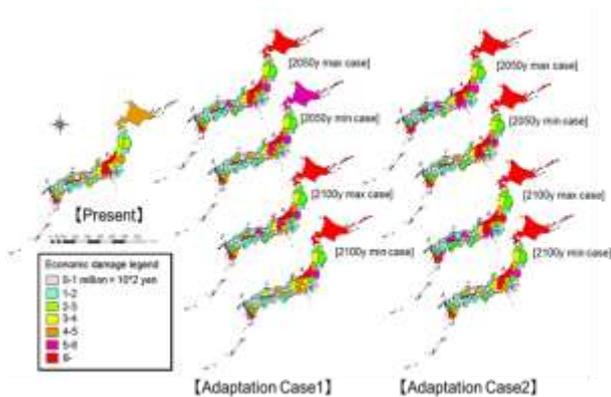


図1(4)②-2 現在と適応策を除いた場合の一般資産被害額推計

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

土砂災害による将来の予見を捉えた一般資産被害額リスクと適応策誘導の優先順位を誘導するための基礎リスク情報を求め、今後必要とされるべき適応策へ目標設定を具現化できる検討結果を得た。時系列的、かつ空間情報による目標設定を明らかにした点に関するれば、防災体制および、街づくり、情報提供等のハード対策を補完するソフト対策をより具現化して議論できるデータベースが作成されたものと捉えることができる。そのため、防災面、および全国から地域への連動させる防災研究への発展が期待できる成果が示された。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

日本における気候変動による影響の評価に関する意見の募集（パブリックコメント）について（環境省 平成27年1月26日）で作成された（参考資料）日本における気候変動による影響に関する評価報告書（案）に研究成果が活用されている。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

最新の温暖化予見データにあわせた被害額が明らかにされ、今後の適応策に反映すべき時系列、空間情報が得られている。これを利用し、現況まで整備されたハード、もしくはソフト対策と比較検証し、具体化した環境変化に伴う土砂対策の拡大を検討する必要がある。

## 6. 国際共同研究等の状況

LAUNCHING MEETING OF ASIAN TECHNICAL COMMITTEEがアジア各国の研究者で組織され、ベトナム ハノイでMitigation and adaptation to climate change-induced geo disastersのワークショップ(2013年11月26～29日、参加者30名、主催：D. T. Bergado(Hanoi University of Science))が開催された。このワークショップにて研究課題を発表し、アジア各国参加者の高い関心をうけた。以降、連携を結び温暖化に伴う土砂災害の影響評価が継続されている。2015年3月にはThuy Loi University(ハノイ ベトナム、招待：Cong Mai Van(Hanoi water resources university))から招待を受けて講演を行い、業務終了後の協働研究の意向を受けた。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) S. KAWAGOE, S. KAZAMA and P.R. SARUKKALIGE : Hydrology and Earth System Science, 14, 1047-061 (2010)  
 “Probabilistic modelling of rainfall induced landslide hazard assessment”
- 2) 川越清樹、小野桂介、青木春奈：土木学会河川技術論文集, 16, 77-82(2010)  
 「気候変動に伴う斜面崩壊に起因した土砂生産量の推計」
- 3) 川越清樹、肱岡靖明、高橋潔：土木学会地球環境研究論文集, 18, 29-36(2010)  
 「温暖化政策支援モデルを用いた気候変動に対する斜面崩壊影響評価」
- 4) 川越清樹、江坂悠里、肱岡靖明：土木学会水工学論文集, 55, 955-960(2011)  
 「実効雨量と地域情報を用いた東京都の土砂災害解析」
- 5) 横尾善之、沖大幹、川崎雅俊、坂田加奈子：土木学会水工学論文集, 55, 385-390(2011)  
 「渇水比流量の増加要因に着目した全日本地下水涵養ポテンシャルマップの作成」
- 6) 川越清樹、大田敏長、江坂悠里：土木学会論文集G(環境), 67, I\_47-I\_54(2011)  
 「時間降雨量に応じた行政区毎の内水リスクの推計」
- 7) 横尾善之：土木学会論文集G(環境), 67, I\_55-I\_60(2011),  
 「降水量の年々変動に河川流量が敏感になる気候条件に関する理論的検討」
- 8) Y. YOKOO and M. SIVAPALAN : Hydrology and Earth System Sciences, 15, 2805-2819 (2011)  
 “Towards reconstruction of the flow duration curve: development of a conceptual framework with a physical basis”
- 9) Y. YOKOO and S. KAZAMA : Hydrological Processes, doi:10.1002/hyp.8299 (2011)  
 “Numerical investigations on the relationships between watershed characteristics and water balance model parameters”
- 10) 川越清樹、江坂悠里：土木学会論文集G(環境), 68, I\_287-I\_296(2012)  
 「気候システムの温暖化による斜面崩壊と影響人口の関係に関する推計」
- 11) 小松和、木村龍、横尾善之：土木学会論文集G(環境), 68, I\_261-I\_266(2012)  
 「流域の気候・地理条件に基づく山地河川の流況推定に向けた予備的検討」
- 12) 小松和、横尾善之：土木学会論文集B1(水工学), 69, I\_481-I\_486(2012)  
 「日本の流域における気候条件と流況曲線形状の関係に関する検討」

- 13) 川越清樹、江坂悠里、伊藤圭祐、脇岡靖明：土木学会論文集G(環境)，70，I\_167-I\_176(2014)  
「気候モデルを用いた将来の土砂災害推計」

＜査読付論文に準ずる成果発表＞

特に記載すべき事項はない。

＜その他誌上発表（査読なし）＞

- 1) 安藤昌哉、横尾善之：東北地域災害科学研究論文集，47，159-164(2011)  
“融雪出水過程の解明に向けた積雪層内および融雪水の水質調査”
- 2) 木村龍、江坂悠里、横尾善之：東北地域災害科学研究論文集，47，165-170(2011)  
“流域の気候・地理的条件が山地河川の流況に与える影響”
- 3) 芳賀友洋、横尾善之：東北地域災害科学研究論文集，47，153-158(2011)  
“数値フィルターと水質データを用いた阿武隈川の流量時系列データの成分分離に関する研究”
- 4) 川越清樹、太田敏長、佐藤雄太：東北地域災害科学研究論文集，47，171-176(2011)  
“福島県の降雨極値を考慮した内水氾濫ポテンシャルマップ”
- 5) 小林秀平、横尾善之：東北地域災害科学研究論文集，48，161-166(2012)  
“東北地方の山地流域における雨水貯留量変動の推定に関する基礎的検討”
- 6) 江坂悠里、渡辺麻子、川越清樹：地球環境シンポジウム講演集，20，187-192(2012)，  
“道路情報を用いた福島沿岸域における災害適応策の検討”
- 7) 龍崎尚真、横尾善之：東北地域災害科学研究論文集，49，151-156(2013)  
“IDFカーブを利用した洪水頻度解析法に関する研究”
- 8) 吉田司、江坂悠里、川越清樹：東北地域災害科学研究論文集，49，127-132(2013)  
“アジア領域を対象としたケッペンの気候区分を用いた気候変動評価と水害の関係の検討”
- 9) 江坂悠里、川越清樹、渡部宏教：地球環境シンポジウム講演集，21，207-212(2013)  
“東日本大震災に関する沿岸地域の災害固有性分析と適応策の検討”
- 10) 伊藤圭祐、江坂悠里、川越清樹：東北地域災害科学研究論文集，50，211-216(2014)，  
“流域に応じた土砂流出特性に関する研究”
- 11) 若林初美、伊藤圭祐、川越清樹：地球環境シンポジウム講演集，22，157-162(2014)  
“気候変動による都道府県別の斜面崩壊リスク曝露人口に関する研究”
- 12) 外山亮、伊藤圭祐、川越清樹：地球環境シンポジウム講演集，22，189-192(2014)  
“日本列島に上陸する台風時期の変化に伴うリスク推移の基礎データ整備”
- 13) 新垣和、伊藤圭祐、川越清樹：地球環境シンポジウム講演集，22，193-198(2014)  
“日本列島の降水特性の検証とアジア領域の降雨特性分類に関する検討”
- 14) 伊藤圭祐、若林初美、川越清樹：東北地域災害科学研究，51，13-18(2015)  
“日本列島全域を対象とした土石流危険溪流のポテンシャル評価”

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) Y. YOKOO, M. SIVAPALAN : Meeting of Americas for do Iguassu, Brazil, 2010, “Investigating the Roles of Climate and Landscape Characteristics on Mean Annual and Monthly Water Balances”

- 2) Y. YOKOO, M. SIVAPALAN : Hydrology Conference 2010, San Diego, USA, 2010, “Effects of inter-annual and seasonal variability of climate on watershed water balance under different climate types”
- 3) 川越清樹、江坂悠里 : 第66回土木学会年次学術講演会(2011),  
“亜熱帯気候域の気象データを利用した気温変化と降雨の関係性に関する研究”
- 4) S. KAWAGOE, Y. ESAKA, Y. HIJIOKA : Adaptation futures Second International climate change adaptation conference, 2012  
“Evaluation of slope failure probability risk in Japan due to climate change by using climate policy assistance models”
- 5) S. KAWAGOE, Y. ESAKA : Asia Oceania Geoscience Society conference, 2012  
“Evaluation of slope failure due to climate change”
- 6) Y. ESAKA, S. KAWAGOE : Annual meeting Asia Oceania Geosciences Society, 2013  
“Disaster Adaptation Plan in Fukushima Coastal Area to Use Regional Information”
- 7) Y. MUNAKATA, Y. ESAKA, S. KAWAGOE : Annual meeting Asia Oceania Geosciences Society, 2013  
“Estimated Disaster Risk Based on Relationship between Slope Failure and Population Due to Global Warming”
- 8) 伊藤圭祐、川越清樹 : 平成26年度日本自然災害学会学術講演会(2014)  
“気候変動リスクの予測に対応できる土石流危険度評価モデルの構築”

### (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

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等

川越清樹 : 読売新聞(福島県版) (2013年10月22日「土砂災害警戒図作成の遅れ」)

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

## S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

### (4) 沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップ開発

#### ③全国の高潮災害リスクの推定とリスクマップの開発

国土技術政策総合研究所

沿岸海洋・防災研究部

鈴木 武

沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室

浅井 正

平成22～26年度累計予算額：17,531千円

(うち、平成26年度予算額：3,185千円)

#### [要旨]

IPCC第5次評価報告書に示された世界平均気温と海面水位の変化をもとに、人口変化および高潮浸水への適応を加味し、高潮浸水被害予測モデルを改良して精度を高めて高潮浸水被害を計算し、全国および三大湾の高潮被害指標の空間分布を表現するリスクマップを作成するとともに、2100年までの経年的な変化をまとめ、地球温暖化に伴う高潮災害について空間分布と経年的な変化の傾向を把握した。

#### [キーワード]

地球温暖化、高潮、リスクマップ、長期予測、適応策

#### 1. はじめに

IPCC第5次評価報告書<sup>1)</sup>は、世界平均海面水位が上昇し、高潮が大きくなる可能性が非常に高いとした。日本沿岸は台風がたびたび来襲する場所であり、高潮・高波による浸水被害が発生することが多い。地球温暖化によって海面が上昇し、強い台風の発生が増加すれば、日本沿岸では高潮によって被害を受けるリスクが増大する。

日本沿岸の地球温暖化による高潮リスクの増大を一定の範囲内に抑えるための対策を検討するためには、高潮によってどれだけの浸水被害が生じ、どのような高潮対策を講じたときにどの程度被害が軽減されるのかをより精度良く見積もるため、高潮浸水シミュレーションの推定精度を高めていく必要がある。また、地球温暖化が進んだときに日本のどの地域が高潮に対してどれだけ脆弱であるかを日本社会の変化も考慮に入れて予測しておくことが必要である。

#### 2. 研究開発目的

IPCC第5次評価報告書<sup>1)</sup>は、世界平均海面水位が上昇し、高潮が大きくなる可能性が非常に高いとした。海面水位が上昇し高潮偏差が増大すれば、沿岸域における高潮による浸水リスクは増大する。同報告書では、温室効果ガスの代表的濃度経路（RCP）が4パターン設定され、それらに対応した世界平均の気温や海面水位の変化量が示されている。しかし、日本の高潮浸水による被害リスクがどれだけ変化するかは示されていない。

IPCC第5次評価報告書に示された世界平均気温と海面水位の変化をもとに、人口変化および高潮浸水への一定水準の対応の想定を加味し、S-4プロジェクトで開発した高潮浸水被害予測モデルを

改良して精度を高めて高潮浸水被害を計算し、全国および三大湾の高潮被害指標の空間分布を表現するリスクマップを作成するとともに、2100年までの経年的な変化をまとめ、地球温暖化に伴う高潮災害について空間分布と経年的な変化の傾向を把握するとともに、それらを踏まえた気候変動への適応に関する方向性を考察する。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 全国の高潮災害リスク推定とリスクマップの開発

IPCC第5次評価報告書<sup>1)</sup>に示された代表的濃度経路(RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0およびRCP8.5)による2050年と2100年の世界平均の気温上昇量と海面上昇量を使い、社会保障・人口問題研究所の推定<sup>3)</sup>をもとにした人口変化を想定し、年生起確率1/100の高潮による最高潮位未満の海岸防護施設の天端を2050年までにその高さに引き上げるという気候変動への適応を加味したばあいの高潮浸水による被害指標を全国の低標高地について推計し、それらの結果を集約することによって、高潮浸水による浸水被害指標(浸水面積、浸水人口および浸水被害額)の全国の空間分布と2100年までの50年間隔の変化の傾向を把握した。

高潮による浸水被害指標の予測は2000年、2050年および2100年の3時点を対象に行った。計算対象とする地域は全国の標高15m以下の地域とし、893の計算セルを全国に設定した。対象地域は、地表面の形状および海岸防護施設を与えた数値地形を構築した。被害額は海岸事業の費用分析指針<sup>5)</sup>に準じて計算した。

#### (2) 越波・越流量推定モデルの構築と三大湾の高潮災害リスク推定

越波から越流への遷移過程における護岸等の越波・越流量を、様々な平均水位と波浪条件を設定し数値波動水路でシミュレーションを行った。越波状態から越流状態に遷移する状態での護岸等を通る流量を推定するモデル(期待越波・越流計算モデル)を作成した。高潮浸水モデルに期待越波・越流計算モデルを組み込み、三大湾の奥部を対象に高潮浸水被害を予測し、被害の空間分布と経年的な変化特性を把握した。風場はMyersのモデル<sup>6)</sup>、海水流動は非線形長波モデル、海水遡上は岩崎・真野の方法<sup>7)</sup>、越波・越流量は期待越波・越流計算モデルである。被害額は海岸事業の費用分析指針<sup>5)</sup>に準じて計算した。

### 4. 結果及び考察

#### (1) 全国の高潮災害リスク推定とリスクマップの開発

2100年まで現状を維持する条件Case0、人口が2050年まで減少する条件Case1、2050年まで人口が減少するとともに海岸保全施設を年間生起確率1/100まで高める条件Case2について、高潮浸水による浸水面積、浸水人口および浸水被害額の全国の空間分布を作成した。Case1の2100年の条件での高潮による浸水被害指標の地域分布を図1(4)③-1に示す。図中の着色した部分の濃淡はセルを単位とした浸水面積、浸水人口および浸水被害額の大小である。浸水面積は0.1ha以上の、浸水人口は10人以上の、浸水被害額は1000万円以上のセルを表示している。

浸水面積、浸水人口および浸水被害額の地域分布から、三大湾、瀬戸内海および有明・八代海の沿岸地域が地球温暖化が進んだ場合に高潮浸水による被害リスクが相対的に大きいことが分かる。海岸線の防御は河川、港湾、漁港および農村の4部局で行われており、H24年度版海岸統計によれば要保全海岸延長の割合は全国でそれぞれ36%、29%、22%および11%である。

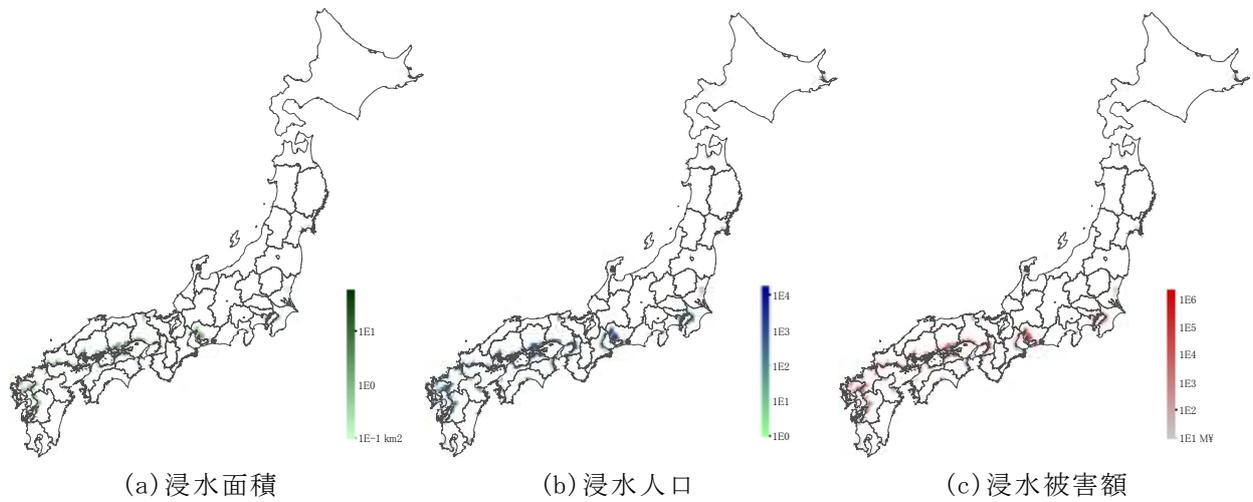
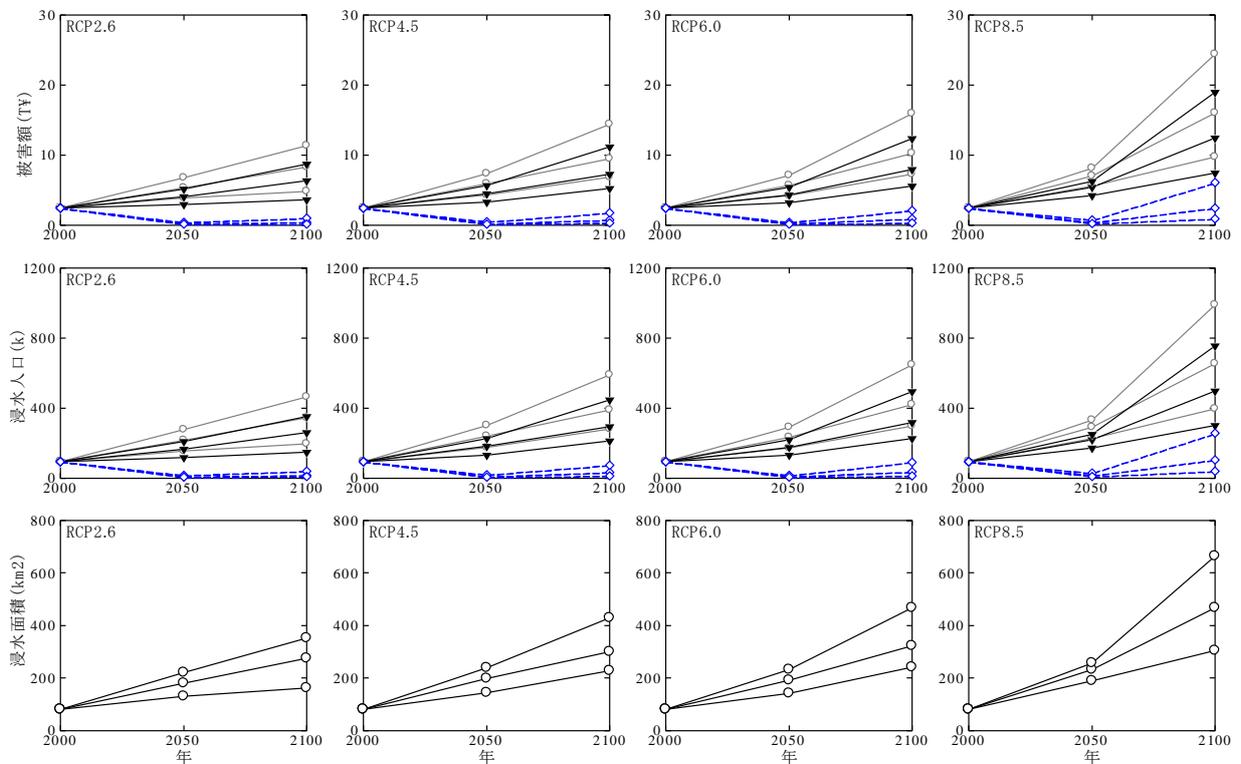


図1(4)③-1 浸水面積、浸水人口および浸水被害額の地域分布傾向

代表的濃度経路ごとにCase0からCase2の条件について、2000年から2100年までの間で高潮による浸水被害指標がどのように変化するかを50年間隔で計算した。その結果を図1(4)③-2に示す。この結果では、RCP2.6~RCP6.0では全ての条件で、被害指標の増加量は2000年から2100年の前半50年と後半50年で大きくは変化しない。Case1の場合には、2050年と2100年の浸水人口と浸水被害額が全計算条件の平均でCase0の0.75~0.78倍に低下する。Case1の浸水人口と浸水被害額がCase0の0.75~0.78倍であることは、全国の人口変化係数0.765とほぼ一致している。



注) ○ : Case0、▼ : Case1、◇ : Case2である。各CaseにおいてIPCC第5次評価報告書に示された気候モデルによる予測の平均値、予測の幅の上限値と下限値をもとに推計した値を上中下3つの点で示している。

図1(4)③-2 RCP別の高潮被害指標の100年間の変化傾向

高潮によってある高潮位が出現し、それよりも低い地域がその潮位まで全て浸水するとしたときに浸水被害額がいくらになるかを三大湾、瀬戸内海、茨城・九十九里地域、東海地域および南海・東南海地域について計算し、それらをまとめて沿岸浸水被害関数を作成した。沿岸浸水被害関数は図1(4)③-3の通りである。これは被害のある種のポテンシャルを集計したものであり、傾向値としてみる必要がある。

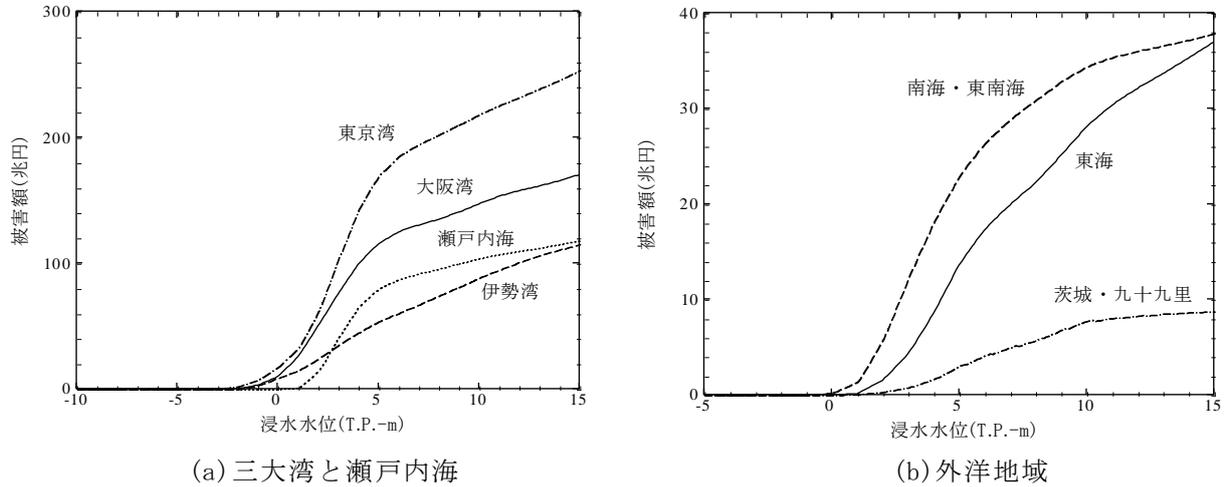


図1(4)③-3 沿岸浸水被害関数

## (2) 越波・越流量推定モデルの構築と三大湾の高潮災害リスク推定

越波から越流への遷移過程における護岸等の越波・越流量を、様々な平均水位と波浪条件を設定し数値波動水路でシミュレーションを行い、それらの結果を基に越波状態から越流状態に遷移する状態での護岸等を通過する流量を推定するモデル（期待越波・越流計算モデル）を作成した。

海面が60cm上昇し、台風強度が1.3となったときの東京湾、伊勢湾および大阪湾の奥部（東京港、名古屋港、大阪港・尼崎西宮芦屋港の港内地域とその周辺地域）における高潮による浸水の最大浸水深の平面分布を計算した。その結果は図1(4)③-4のとおりである。各湾ともに最大浸水深の平面分布は既往モデルとほぼ同じであるが、若干面積が小さくなっている。

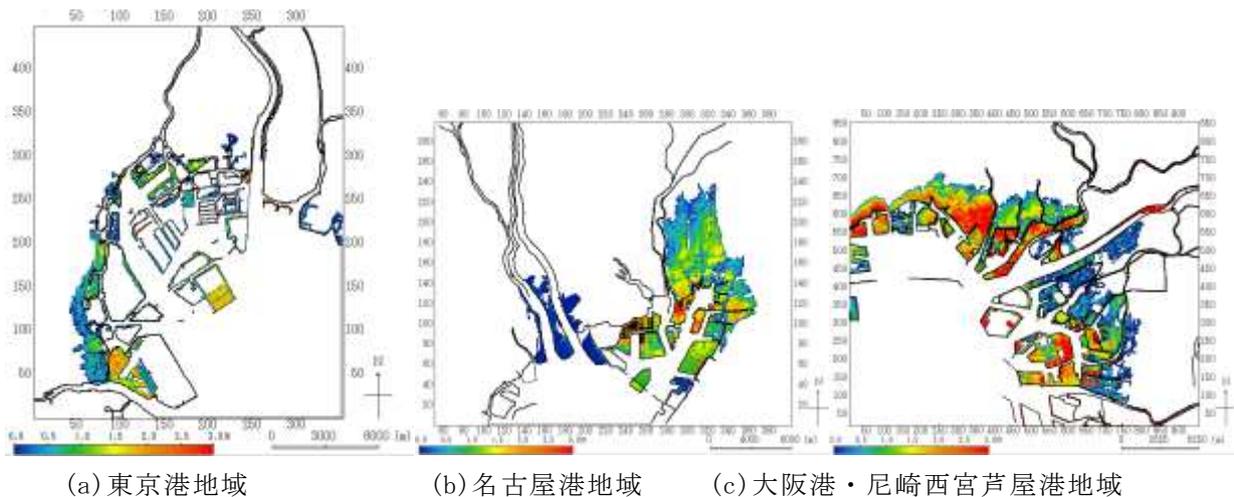
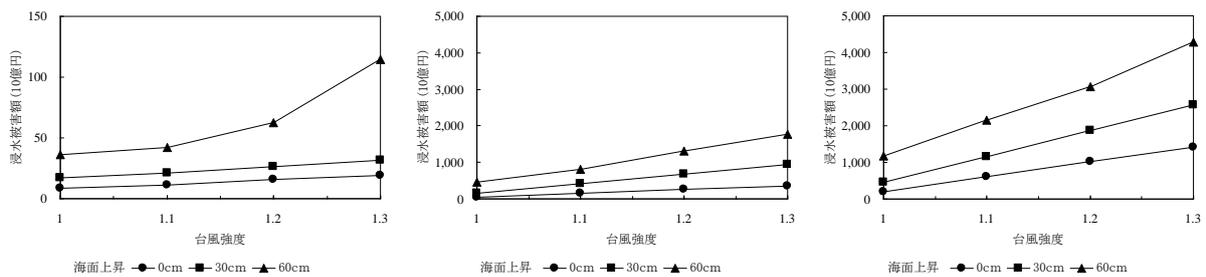


図1(4)③-4 三大湾奥部における高潮浸水の最大浸水深

東京湾、伊勢湾および大阪湾の奥部における海面上昇量と台風強度に対する浸水被害額は図1(4)③-5のとおりである。海面上昇の大きさおよび台風強度の大きさによらず、浸水被害額が最

も大きいのは大阪湾、次いで伊勢湾、東京湾である。東京湾は海面上昇30cmまでは台風強度が増加しても被害額がほとんど増えないが、海面上昇が60cmになると台風強度の増加に伴い被害額が加速度的に上昇する。伊勢湾および大阪湾は台風強度の増加に対して被害は直線的に増加する。

浸水面積の順位は伊勢湾、大阪湾、東京湾であるから、伊勢湾と大阪湾の順位が浸水面積と浸水被害額で異なっている。それは、伊勢湾が浸水面積が大きい割にそこに存在する資産が少なく、大阪湾は浸水面積が小さい割に存在する資産が大きいためと考えられる。また、東京湾は浸水被害額が他の湾と比べて小さい。東京湾の場合、浸水区域のほとんどの部分で浸水深が小さいことによるものである。



(a) 東京港地域

(b) 名古屋港地域

(c) 大阪港・尼崎西宮芦屋港地域

図1(4)③-5 三大湾奥部における浸水被害額の感度

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

高潮浸水による被害指標を日本全国にわたって計算し、高潮浸水被害リスクの全国の空間分布と2100年までの100年間の集計された全国の被害リスクの変化の傾向を把握した。海岸防護施設が存在し、それを海水が越えるとして一国のスケールで高潮浸水を計算したものはこれまでにない。越波状態から越流状態に移る過程での護岸通過流量を計算する方法はこれまでになかった。流体計算を行い、それをもとに計算方法を構築したものであり、力学的な裏付けを持つ手法を開発することができた。そしてその方法を組み込んだ浸水シミュレーションを行い、地球が温暖化した場合の三大湾奥部の高潮浸水被害を推計した。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

中央環境審議会（地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会）で作成された「日本における気候変動による影響に関する評価報告書（案）」の中で、日本における気候変動による高潮・高波の影響の評価において、高潮浸水リスクの全国における地域的な分布や三大湾における高潮浸水被害の変化についての知見が参照された。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

海岸保全施設がありそれを海水が越えるとして高潮浸水を予測したことによって、高潮浸水被害の予測がこれまでよりも現実近づいた。全国のどの地域でどれだけの高潮浸水被害リスクがあるのか、全国の高潮浸水リスクが長期的にどのように変化していくかを把握した。それは、地方公共団体や国が高潮に対してどのような地域でどのようなタイミングで対策を検討していけばよいかを考える上で基礎情報となる。

越波から越流への遷移過程における海水流入量を計算する手法を開発したことによって高潮浸水予測モデルの推定精度が向上した。今後行われる高潮浸水シミュレーションに活用することで大規模高潮時の浸水予測の精度が向上する。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 鈴木武、根木貴史、柴木秀之：土木学会論文集，B3（海洋開発），67，2，I\_997～I\_1002（2011）  
“地球温暖化による高潮変化シナリオを使った浸水被害の予測”
- 2) 鈴木武、根木貴史：土木学会論文集，G（環境），67，5，I\_27～I\_33（2011）  
“期待越波・越流計算モデルを使った三大湾高潮浸水被害の地球温暖化に対する感度の分析”
- 3) 鈴木武：土木学会論文集，B3（海洋開発），68，2，I\_870～I\_875（2012）  
“地球温暖化影響を考慮した高潮浸水被害リスクマップと沿岸浸水被害関数の作成”
- 4) 鈴木武：土木学会論文集，B3（海洋開発），70，2，（2014）  
“GHG濃度経路に基づく気候変動予測を受けた高潮被害の予測”
- 5) 鈴木武：沿岸域学会誌，27，3，63-73（2014）  
“地球温暖化・人口変動・適応を考慮した高潮被害の全国予測”

#### <その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 鈴木武：国土技術政策研究所研究報告，46，1-23（2011）  
“越波・越流共存時の護岸通過流量のモデル化と三大湾高潮浸水被害の地球温暖化による感度の推定”

### (2) 口頭発表(学会等)

特に記載すべき事項はない。

### (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) 鈴木武：港湾空港研究シンポジウム（2013）  
“高潮被害の地球温暖化による変化を見積もる”
- 2) 鈴木武：国土技術政策総合研究所講演会（2014）  
“IPCC第5次報告書を受けた高潮浸水被害予測とその含意”
- 3) 鈴木武：港湾空港技術講演会（2014）  
“高潮の大規模化によるリスクの増大と対応の方向性”
- 4) 鈴木武：港湾空港技術特別講演会 in神戸2014（2014）  
“IPCC第5次報告書を受けた高潮被害の全国予測と対応の方向性”

**(5) マスコミ等への公表・報道等**

- 1) 鈴木武：THE JAPAN TIMES ON SUNDAY（2014年6月13日、2頁、「Time Out, Rising Tide」）

**(6) その他**

特に記載すべき事項はない。

**8. 引用文献**

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by Stocker, F.T. et al, Cambridge Univ. Press, New York, 2013.
- 2) 国土交通省：国土のグランドデザイン2050～対流促進型国土の形成～，（2014）
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口（平成25年3月推計），人口問題研究資料，330，（2013）
- 4) World Climate Research Programme (WCRP): Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), (2013)
- 5) 農林水産省農村振興局・農林水産省水産庁・国土交通省河川局・国土交通省港湾局：海岸事業の費用便益分析指針（改訂版），（2004）
- 6) V.A. Myers: "Characteristics of U.S. Hurricanes Pertinent to Levee Design for Lake Okeechobee, Florida", Hydro-Meteorology Report, 32, Weather Bureau, U.S. Dept. Commerce, (1954)
- 7) 岩崎敏夫・真野明：オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算，海岸工学講演会論文集，26，70-74（1979）
- 8) 合田良実・岸良安治・神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，14，4，3-44（1975）

## S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

### (4) 沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップの開発

#### ④ 全国の沿岸浸食リスクの推定とリスクマップの開発

東北大学

災害科学国際研究所

有働 恵子

平成22年度～26年度累計予算額：22,028千円

(うち、平成26年度予算額：3,850千円)

#### [要旨]

本研究では、3つの代表的濃度シナリオ（RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5）に対する最新の海面上昇量予測結果を用いて、気候変動に伴う海面上昇量予測値に対する砂浜消失量の予測を行うとともに、全国の気候変動による海面上昇量に対する砂浜消失被害関数を構築し、その不確実性を評価した。その結果、将来の砂浜消失率は、IPCC第5次評価報告書（2013）の海面上昇量予測結果の下限值0.26mであっても47%で、上限値0.82mでは91%に達すると予測された。水没のみを考慮した場合であっても、全国の消失率は下限値0.26mで19%、上限値0.82mで58%に達すると予測された。

#### [キーワード]

海面上昇、砂浜侵食、Bruun則、CMIP5、底質粒径

#### 1. はじめに

気候変動に伴う海面上昇や波浪特性の変化が懸念されている。長期的に海面が上昇し、最大波高が増大すれば、砂浜や干潟の消失リスクが増大し汀線が後退する。沿岸域に人口が集中し、戦後の急速な開発などにより、既に砂浜侵食が進行した状態にある我が国では、汀線後退によって多大な人口や資産への影響が懸念される。しかしながら、全国の砂浜消失リスクについては、三村ら（1994）による評価が行われて以降約20年間、これに関する研究は行われてこなかった。適切な適応策の検討を行うためには、最新の将来予測データを用いてそのリスクを評価し、その不確実性について明らかにすることが必要とされる。

#### 2. 研究開発目的

本研究では、3つの代表的濃度シナリオ（RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5）に対する最新の海面上昇量予測結果を用いて、気候変動に伴う海面上昇量予測値に対する砂浜消失量の予測を行うことを目的とする。さらに、全国の気候変動による海面上昇量に対する砂浜消失被害関数を構築し、その不確実性を評価する。

#### 3. 研究開発方法

沿岸区分（海岸保全基本計画が作成される海岸の区分で、地形・海象面の類似性及び沿岸漂砂の連続性に着目して分けられたもの）別に、全国の砂浜の底質粒径を0.2mm、0.3mm、ならびに0.6mmとした場合について、Bruun則（三村ら、1994）を用いて将来の砂浜消失量を予測した。さらに、

将来予測される海面上昇に対する全国の砂浜消失被害関数を、海面上昇量を全国一律と仮定して以下の(i)～(iii)の方法で予測し、これらを比較することにより、その不確実性を評価することとした。比較のために、異なる砂浜データベースを用いた三村ら(1994)の予測結果(iii)も使用することとした。(i)岸田・清水(2000)の海岸情報データから得られる砂浜幅の条件において、砂浜勾配を仮定して現在の海面から水位を上昇させた場合の水没面積、(ii)岸田・清水(2000)の海岸情報データから得られる砂浜幅の条件において、底質粒径と砂浜勾配を仮定してBruun則に従って汀線が後退した場合の侵食面積、(iii)全国9,688海岸のデータセットから得られる砂浜幅・勾配等の条件において、底質粒径を仮定してBruun則に従って汀線が後退した場合の侵食面積(三村ら,1994)

#### 4. 結果及び考察

CMIP5に提出された全球気候モデルMIROC5, HadGEM2-ES, ならびにMRI-CGCM3の将来(2081～2100年)の20年平均海面上昇量の予測結果は、MIROC5, HadGEM2-ES, MRI-CGCM3の順に海面上昇量が大きき傾向にあった。日本周辺では太平洋側の海域で上昇量が比較的大きかった。得られた海面上昇量を用いて予測した砂浜消失率を図1(4)④-1に示す。ここでは、底質粒径を0.3mmとした場合の結果のみを示す。同じRCPシナリオに対してはいずれのモデルの結果も同程度の消失率となったが、いずれのモデルの結果も異なるRCPシナリオに対して消失率は大きく異なった。海面上昇量を全国一律と仮定して算定した、海面上昇量に対する砂浜消失被害関数を図(4)④-2に示す。予測範囲の中央値となる底質粒径0.3mmの場合の全国の将来の砂浜消失率は、IPCC第5次評価報告書(2013)の海面上昇量予測結果の下限值0.26mであっても47%で、上限値0.82mでは91%に達すると予測された。水没のみを考慮した場合であっても、全国の消失率は下限値0.26mで19%、上限値0.82mで58%に達すると予測された。砂浜消失率の予測方法や底質粒径の不確実性による予測幅は大きく、IPCC(2013)の海面上昇量予測の不確実性と同程度以上であった。現在の日本の砂浜の多くは、戦後の急速な開発などにより、既に侵食が進行した状態にある。本研究で評価した不確実性を総合的に考慮しても、現在の全国の砂浜の最低でも2割以上が消失するという予測結果は重大であり、今後、現実的な適応策を考えていく必要がある。

#### 5. 本研究により得られた成果

##### (1) 科学的意義

全国の気候変動による砂浜侵食将来予測については、三村ら(1994)以降20年近く再評価されてこなかった。最新の海面上昇等の予測結果を用いて、これを予測し、さらに不確実性を評価した科学的意義は極めて高い。

##### (2) 環境政策への貢献

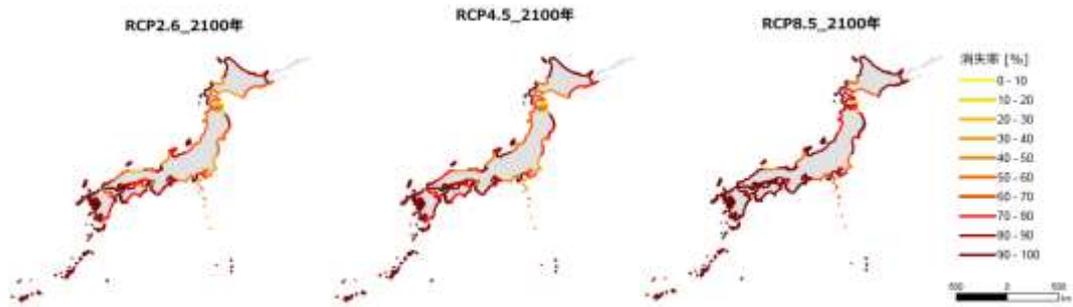
###### <行政が既に活用した成果>

農林水産省及び国土交通省の第2回沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性検討委員会において、本研究成果である砂浜消失率の将来予測結果を提示した(配布資料4のp2で予測結果が示されている)。

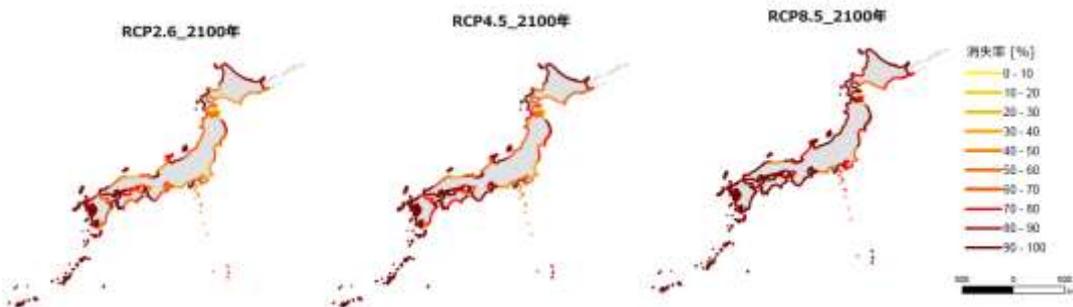
###### <行政が活用することが見込まれる成果>

特に記載すべき事項はない。

**MIROC5**



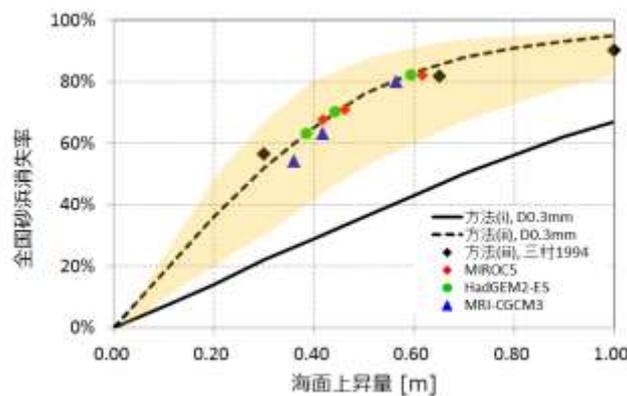
**HadGEM2-ES**



**MRI-CGCM3**



図 1(4)④-1 MIROC5, HadGEM2-ES, ならびに MRI-CGCM3 の RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 に対する将来の海面上昇量に対する全国の砂浜消失率の予測結果（底質粒径 0.3mm の場合）



図(4)④-2 全国一律の海面上昇量に対する全国の砂浜消失率被害関数。黄色ハッチ部分は底質粒径 0.2mm~0.6mm とした場合の不確実性を示す。

## 6. 国際共同研究等の状況

タイ国における砂浜消失リスク評価, Sompratana Ritphring・カセサート大学・タイ国, JST-JICA SATREPS事業の一環として実施。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 須川太一、有働恵子、三村信男、真野明：土木学会論文集B2(海岸工学), 67, 1196-1200 (2011)  
「海面上昇に伴う全国砂浜侵食量の推定」
- 2) K. UDO, D. SUGAWARA, H. TANAKA, K. IMAI and A. MANO : Coastal Engineering Journal, 54, 1250009 (2012)  
“Impact of the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami on beach morphology along the Northern Sendai Coast”
- 3) 有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明：土木学会論文集G(環境), 68, I.279-I.285 (2012)  
“日本の干潟における過去の長期面積変化特性と海面上昇による将来の浸食予測”
- 4) 吉田惇、有働恵子、真野明：土木学会論文集B2(海岸工学), 68, I\_1246-I\_1250 (2012)  
“日本の5海岸における過去の長期汀線変化特性と気候変動による将来の汀線変化予測”
- 5) K. UDO, Y. TAKEDA, J. YOSHIDA and A. MANO : Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 65, 1975-1980 (2013)“Long-term area change of two tidal flats in Japan and its future projection due to sea level rise”
- 6) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO : Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 65, 2185-2190 (2013) “Potential impact of climate change at five Japanese beaches”
- 7) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO : Coastal Engineering 2012 (Proc. of 33rd Int. Conf. on Coastal Eng.), Paper #: management.35, Retrieved from <http://journals.tdl.org/icce/> (2013)  
“Century-scale shoreline changes of five beaches in Japan”
- 8) 有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明：土木学会論文集G(環境), 69, I\_239-I\_247 (2013)  
“最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測”
- 9) 有働恵子、武田百合子、田中仁、真野明：土木学会論文集B2(海岸工学), 69, I\_1391-I\_1395 (2013) “東北地方太平洋沖地震津波による宮城県仙台湾南部海岸の海浜変形特性”
- 10) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO : Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 70, 467-472 (2014)“Framework for proper beach nourishment as adaptation to beach erosion due to sea level rise”
- 11) 有働恵子、武田百合子：土木学会論文集G(環境), 70, I\_239-I\_247 (2014)  
“海面上昇による全国の砂浜消失将来予測における不確実性評価”
- 12) 有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明：土木学会論文集G(環境), 69, I\_239-I\_247 (2013)  
“最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測”
- 13) 有働恵子、武田百合子、田中仁、真野明：土木学会論文集B2(海岸工学), 69, I\_1391-I\_1395 (2013) “東北地方太平洋沖地震津波による宮城県仙台湾南部海岸の海浜変形特性”
- 14) J. YOSHIDA, K. UDO, Y. TAKEDA and A. MANO : , Journal of Coastal Research, Sp. Iss. 70,

467-472 (2014)

“Framework for proper beach nourishment as adaptation to beach erosion due to sea level rise”

15) 有働恵子、武田百合子：土木学会論文集G（環境），70，I\_239-I\_247（2014）

“海面上昇による全国の砂浜消失将来予測における不確実性評価”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<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) 須川太一、有働恵子、三村信男、真野明：第58回海岸工学講演会（2011），岩手，  
“海面上昇に伴う全国砂浜侵食量の推定”
- 2) 有働恵子、武田百合子、吉田惇、真野明：第20回地球環境シンポジウム（2012），京都，  
“日本の干潟における過去の長期面積変化特性と海面上昇による将来の浸食予測”他8件。

（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) 東北大学オープンキャンパス2013，女子高校生のためのミニフォーラム～工学にかける私の夢～，「過去と未来の災害をみつめて ～ある女性土木研究者の日常～」（2013年7月31日，聴講者約60名）にて講演
- 2) 平成26年度 弘前高校 1・2学年対象大学出前講義「消えゆく砂浜」（2014年9月19日，聴講者約50名）
- 3) 東北大学サイエンスカフェ「消えゆく砂浜 ～砂浜の未来について考える～」（2014年12月19日，聴講者約60名）

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHKニュース おはよう日本（2014年2月1日，「地球温暖化 “国内の砂浜 約90%消失も”」について10分ほど紹介）
- 2) NHK 視点・論点（2014年8月11日，「消えゆく砂浜」について10分ほど解説）
- 3) 河北新報（2015年1月7日，「役割踏まえた議論必要／消えゆく砂浜、どう対応？」）

（6）その他

公益財団法人インテリジェント・コスモス学術振興財団 第14回インテリジェント・コスモス奨励賞，「砂浜に及ぼす海岸災害ハザードのインパクトに関する総合的研究」，2015年。

8. 引用文献

- 1) 岸田弘之，清水雅行：海岸情報調査による海岸侵食・堆積の抽出，海岸工学論文集，第47巻，pp. 681-685，2000.
- 2) 三村信男，幾世橋誠，井上馨子：砂浜に対する海面上昇の影響評価，海岸工学論文集，第40巻，pp. 1046-1050，1993.

## S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

### (4) 沿岸・防災リスクの推定と全国リスクマップの開発 ⑤ 地域特性に応じた災害解析と適応策オプションの提案

静岡大学

防災総合センター

牛山素行

平成22～26年度累計予算額：23,217千円

(うち、平成26年度予算額：4,500千円)

#### [要旨]

気候変動に伴うリスク評価に際しては、基礎研究としてリスクに関わる様々な情報に対する概念の定量的な整理や、情報に対する社会の認識について、実態を把握することが重要である。この問題意識から調査研究を推進した。豪雨災害による犠牲者についての解析からは、「高齢者への犠牲集中＝災害時要援護者支援の必要性」という単純な理解にとどまらず、実際に要援護者が多く遭難しているかどうかを定量的に明らかにした。また、人口から見ると「非市街地」に豪雨災害の人的被害が集中していること、従来定性的に言われていた「山地・丘陵地では土砂災害、低地では洪水災害が起りやすく、台地は災害の危険が比較的小さい」ことを定量的に明らかにした。防災気象情報に対する人の認識についての調査からは、警報的な情報は、従来のように「言葉」のみで伝える方法に比べ、「レベル」によって伝える方法が効果的な可能性が示唆された。また、新たな情報である大雨特別警報はよくその名称が認知されているが、人々の対応行動を促すことにはあまりつながらなかった可能性が確認された。浸水の可能性がある地域に居住していることが、住民にほとんど認識されていないことも確認された。

#### [キーワード]

ゲリラ豪雨、豪雨災害、犠牲者、災害情報、避難行動

#### 1. はじめに

気候変動に伴うリスク評価に際しては、基礎研究としてリスクに関わる様々な情報に対する概念の定量的な整理や、情報に対する社会の認識について、実態を把握することが重要である。この問題意識から、本サブサブ課題では、下記のテーマに沿って調査研究を推進した。

- (1) 「ゲリラ豪雨」と災害の関係についての定量的解析
- (2) 年齢別にみた近年の豪雨災害による犠牲者の特徴
- (3) 発生場所別に見た近年の豪雨災害による犠牲者の特徴
- (4) レベル化された気象警報に対する情報利用者の認識
- (5) 大雨特別警報に対する洪水浸水想定区域付近の住民の認識

#### 2. 研究開発目的

以下では、1. で挙げた5テーマについてそれぞれ目的を整理する。

- (1) 「ゲリラ豪雨」という言葉は既に自明の存在として、その把握や対策について述べるものも見

られるようになってきている。しかしテクニカルタームとしての「ゲリラ豪雨」の定義は必ずしも明瞭ではない。そこで、実情としてのこの語の意味を整理した上で、降水量統計と災害統計から「ゲリラ豪雨」がどのような被害をもたらしているのかを明らかにすることを目的とする。

(2) 近年日本の災害対策において、高齢者に代表される「災害時要援護者」への対策の重要性がしばしば指摘されるが、事例データを元にした傾向の分析は必ずしも十分には行われていない。ここでは、年齢別に見た近年の豪雨災害による犠牲者の特徴を明らかにすることを目的とする。

(3) 豪雨災害による被害は、あらゆる場所で一様に生じているわけではなく、災害発生の危険性(災害の素因)のある場所で発生する傾向があることが定性的によく言われるが、定量的な分析例はほとんど存在しない。本研究では、解析対象を2004年から2011年までの主要豪雨災害事例とし、特に犠牲者が発生した場所の自然、社会条件の特徴に注目して解析する。

(4) 豪雨災害に対する警報等の「伝達手段」についてはいくつかの検討がなされているが、「内容」については、既存の情報に対し、新設する情報の方が効果的であるといった検証はほとんど行われていない。そこで本研究では、気象警報を例とし、既存の情報に対する利用者の理解の実態を把握した上で、「特別警報」のような「言葉により危険度を表現した情報」と、「レベル化した情報」がどのように受け止められるかという観点から調査した。

(5) 近年、気象警報などの防災気象情報の充実が積極的に行われている。本研究では、「大雨特別警報」の初適用例となった台風2013年18号を事例として、特別警報等の情報に対する認識、当日の行動、居住地域の災害危険度に対する認識などの観点から住民の認識の実態を明らかにした。

### 3. 研究開発方法

以下では、1. で挙げた5テーマについてそれぞれ研究開発方法を整理する。

(1) 全国紙4紙の新聞記事データベース、気象庁AMeDAS観測データ、気象庁による災害統計データを用いて解析を行った。

(2) 利用資料は、筆者が構築した2004年以降の豪雨災害による死者・行方不明者のデータベースである。本報で集計対象としたのは、2004～2010年の25事例、387名である。

(3) 利用資料は(2)と同じ筆者構築のデータベースで、集計対象としたのは、2004～2011年の29事例、514人である。犠牲者発生場所の人口については、2005年国勢調査の結果を利用した。また、地形情報については、国土数値情報の土地分類メッシュを利用した。

(4) 調査は、インターネットを通じた社会調査サービスgooリサーチを利用した。対象者は、盛岡市、静岡市、名古屋市の在住者とし、有効回答数は547件(盛岡173, 静岡186, 名古屋188)だった。

(5) 調査は、(4)と同じである。対象者は、2013年9月16日に大雨特別警報が発表された、福井県、滋賀県、京都府在住者のうち、浸水想定区域内およびその周辺の在住者とした。有効回答数は881件、内訳は福井県(n=260)、滋賀県(n=311)、京都府(n=310)だった。

### 4. 結果及び考察

(1) 「ゲリラ豪雨」の語が頻繁に用いられるようになったのは2008年8月上旬だった。2008～2009年の全国紙の記事を元に解析したところ、「ゲリラ豪雨」とは短時間の激しい降雨現象を指す言葉として主に用いられていた。本研究では、1時間降水量80mm以上かつ日降水量149mm以下の現象を便宜的に「ゲリラ豪雨」とした。1979～2008年の気象庁AMeDAS観測所のデータをもとに集計す

ると、「ゲリラ豪雨」は104事例が抽出された。これらの事例の際に発生した犠牲者は全部で2名だった。床上浸水は38%の事例で発生していたが、浸水家屋数100棟以上の事例は全体の9%だった。

「ゲリラ豪雨」は大規模な被害を引き起こす原因とはならないと言っていい。

(2) 豪雨災害犠牲者の年代構成が、全人口の年代構成と比べて明らかに高齢者側に偏在し、特に70代以上がほぼ半数を占めることが確認された。高齢者への偏在は、原因外力にかかわらず認められ、時間帯別に見てもほとんどの時間帯で偏在が認められる。ただし、70歳以上で一人暮らしの犠牲者は全体の4%、「歩行困難あり」と認められる犠牲者は同3%、一人暮らしで「歩行困難あり」と認められる高齢者の犠牲者は同1%であり、このような狭義の災害時要援護者が実際に豪雨災害時に犠牲になっているケースは極めて少数である。無論、狭義の災害時要援護者支援が不要であるなどということはないが、それを高度に充実させたとしても、軽減できる被害量はごくわずかにとどまることは指摘せざるを得ない。

(3) 2004年から2011年までの主要豪雨災害にともなう死者・行方不明者514人について遭難場所を大別すると、「屋外」294人(57.2%)、「屋内」217人(42.2%)となった。原因外力別では「土砂」のみが「屋内」が多く、他の外力では「屋外」が多数派を構成し、外力別に明瞭な相違がある。遭難位置を3次メッシュ(1kmメッシュ)単位で解析したところ、犠牲者の多く(464人, 90.3%)は「非市街地」メッシュ内で遭難しており、また、遭難位置の人口年代構成は、高齢者率が高いメッシュが多い(369人, 83.1%)ことが確認された。地形的には、「山地・丘陵地」(280人, 58.5%)、「低地」(167人, 34.9%)での犠牲者が多く、地形と豪雨災害の関係の一般則があらためて確認された。

(4) インターネットを通じたアンケート調査により、「言葉」による警報では情報発信者の意図と反する認識がなされてしまう可能性も示唆された。言葉とは別に「レベル」(段階化した数値)によって警報的情報を伝える方法が考えられる。被害が出始めると感じる「レベル」や、避難などの行動を起こし始める「レベル」は「3」以上と考える回答者が9割以上だった。警報的な情報は、従来のように「言葉」のみで伝える方法に比べ、「レベル」によって伝える方法が効果的な可能性があると言ってよさそうである。

(5) 大雨特別警報が実際に発表された地域の、浸水想定区域内およびその周辺在住者を対象とした調査からは、同情報の運用開始から約3ヶ月後の時点で、「特別警報」の名称を認知しているという回答者がすでに7~8割に上っていることが確認された。しかし、特別警報の意味を適切に理解していたのは回答者の4割程度にとどまった。9月16日に大雨特別警報が出たことはかなり良く周知されたと言ってよさそうである。しかし、何らかの対応行動をとった回答者は極めて少数であり、大雨特別警報という情報自体は伝わったが、人々の対応行動を促すことにはあまりつながらなかった可能性がある。今回の調査対象者は全員が浸水想定区域周辺在住者だが、居住地の洪水災害に対する危険性について、危険側の選択肢(「危険」または「やや危険」)を選択した回答者は2~3割程度にとどまった。浸水の可能性がある地域に居住していることが、住民にほとんど認識されていないことが確認された。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ 短時間の降水強度は激しいが、降水継続時間が短く累加降水量が少ないような現象を「ゲリラ

豪雨」と呼ぶのであれば、「ゲリラ豪雨による被害」は量的にはそれほど大きなものにはならないことが確認された。

- ・ 「高齢者への犠牲集中＝災害時要援護者支援の必要性」という単純な理解にとどまらず、実際に要援護者が多く遭難しているかどうかを定量的に明らかにした。本当に注意が必要な対象を明らかにした人的被害軽減策が重要であることを指摘した。
- ・ 人口から見ると「非市街地」（地方部・地域のつながりが比較的強いと思われる）に豪雨災害の人的被害が集中していることが確認され、よく言われるいわゆる自助・共助の取り組みが、豪雨災害においては犠牲者の軽減に直結しにくい可能性も示唆された。また、従来定性的に言われていた「山地・丘陵地では土砂災害、低地では洪水災害が起こりやすく、台地は災害の危険が比較的小さい」ことを定量的に明らかにした。
- ・ 防災気象情報は、近年様々な改善が試みられてきた。これまでは主に「言葉」で状況の深刻度を伝える方法がとられてきた。しかし今回の結果からは「言葉」による警報では情報発信者の意図と反する認識がなされてしまう可能性も示唆された。また調査結果からは、警報的な情報は、従来のように「言葉」のみで伝える方法に比べ、「レベル」によって伝える方法が効果的な可能性が示唆された。
- ・ 大雨特別警報は新たな情報としてはよくその名称が認知されているが、その意味を適切に理解していたのは回答者の4割程度にとどまったこと、9月16日に大雨特別警報が出たことは良く周知されたが人々の対応行動を促すことにはあまりつながらなかった可能性が確認された。また、浸水の可能性がある地域に居住していることが、住民にほとんど認識されていないことも確認された。

## （２）環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

- ・ ゲリラ豪雨という概念の形成過程や発生傾向に関しては、内閣府中央防災会議「災害時の避難に関する専門調査会」において関する解説資料として提示し、同会の答申に貢献した。
- ・ 豪雨災害による犠牲者の発生状況に関する実態把握の結果は、内閣府・総合的な土砂災害対策検討ワーキンググループにおいて報告し、同検討会の答申に貢献した。また、農林水産省の広報資料「見に行っちゃダメ（大雨や強風時の見回りは危険です）」に掲示された。
- ・ 防災気象情報に対する住民や自治体の認識に関する調査結果は、内閣府「竜巻等突風対策局長級会議」、気象庁「竜巻等突風予測情報改善検討会」、気象庁「防災気象情報の改善に関する検討会」において報告し、同検討会の答申に貢献した。
- ・ 特別警報に関する調査結果の一部は、2014年「気象業務はいま（気象白書）」に掲載された。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

豪雨災害による犠牲者の実態、防災気象情報に対する住民の認識などの研究成果は、すでに内閣府、国土交通省、気象庁などの行政機関の公的委員会、公的資料に頻繁に活用されており、今後も各省庁、地方自治体などの防災政策の基礎資料として活用されることが見込まれる。

## 6. 国際共同研究等の状況

- ・ AOGS - AGU (WPGM) Joint Assembly 2012において、本サブサブテーマが属するサブテーマ研究グループ主催のセッションを実施し、国内外の研究者による議論を行った。

- ・ International Forum of Research Institutes for Disaster Risk Reduction (2013年2月) に  
 参画し、国内外の防災研究関係研究所、研究センターとの情報交換を行った。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 牛山素行、横幕早季：自然災害科学, .31(1), 47-58 (2012)  
 「タイムスタンプデータによる津波到達直前の陸前高田市内の状況推定」
- 2) 牛山素行：自然災害科学, Vol. 33, 特別号, pp. 75-86(2014)  
 “大雨特別警報に対する洪水浸水想定区域付近の住民の認識”
- 3) 牛山素行、本間基寛、横幕早季、杉村晃一：自然災害科学, Vol. 33, No. 3, pp. 233-248 (2014)  
 “三陸地方における東北地方太平洋沖地震による津波犠牲者率と素因の関係”

ほか9編

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

牛山素行、横幕早季：津波工学研究報告, No. 28, pp. 117-128 (2011)

“東日本大震災に伴う死者、行方不明者の特徴(速報)” ほか2編

#### <その他誌上発表(査読なし)>

牛山素行：(No. 116), pp. 37-42 (2014)

平成25年台風26号による伊豆大島豪雨災害の特徴, 消防科学と情報, 2014年春号

ほか4編

### (2) 口頭発表(学会等)

牛山素行：第33回日本自然災害学会学術講演会, 2014. 鹿児島.

“平成26年7月豪雨広島市における犠牲者の特徴” ほか50編

### (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

「地域を知り、防災を考える」, 『歴史から学ぶ 奈良の災害史』発行記念歴史から学び、未来  
 につなげる防災講演会, 奈良県, 奈良市, 2014年9月6日 ほか216回

### (5) マスコミ等への公表・報道等

都市を襲う土砂災害 ～広島市の教訓をどういかに～, NHKテレビ「クローズアップ現代」, 2014年9  
 月9日(スタジオ出演) ほかテレビ・ラジオ140件, 新聞報道394件

### (6) その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

## S-8-1 我が国全体への温暖化影響の信頼性の高い定量的評価に関する研究

### (4) 沿岸・防災リスクの推定とリスクマップの開発

#### ⑥ 全国の豪雨災害リスク評価支援データの開発とその解析

東京大学

生産技術研究所

沖 一雄

平成22年度～26年度累計予算額：38,452千円

(うち、平成26年度予算額：7,199千円)

#### [要旨]

豪雨災害リスクの推計において最も重要な外力が降水量であることに着目し、外力として用いる気候モデル出力を、降水をもたらす気象システムの再現性の観点から評価・選択する手法を開発した。また気象システムの客観検出手法を用いて、気候モデルが出力する降水量をその原因となる気象システム別に分類した。これにより将来の降水量がどのような気象システムによってもたらされるか、現象面からの説明が可能になった。さらに非常に短い時間スケール（10分程度）の降水極値は大気の水蒸気量と密接な関係があることを観測データから明らかにした。この知見はバイアス補正手法やダウンスケーリング手法において短い時間スケールの降水極値の再現を行うような場合に大気中の水蒸気量の適切な表現や考慮が重要であることを示唆する。

#### [キーワード]

豪雨、気象システム、気候モデル、客観検出手法

#### 1. はじめに

気候変動影響評価における将来の豪雨災害リスクの推計では、選択する気候モデルやバイアス補正手法・ダウンスケーリング手法によって、豪雨災害の外力の大きさが異なることが予想される。このため、様々なモデルや手法のアンサンブルを用いて不確実性の評価を行うことが重要である。しかしあらゆるモデルと手法の組み合わせを用いることは計算コストの面から困難であり、実際にはいくつかのモデルや手法を選択しなければならない。本研究は豪雨災害リスク推計の外力として用いる気候モデル出力の選択を行うための手法およびデータの開発を行ない、また気候モデル出力に対して適用するバイアス補正・ダウンスケーリング手法の方針を検討するための情報を提供するものである。

#### 2. 研究開発目的

豪雨災害リスク評価に用いる外力データの選択のため、降水の原因となる気象システムに着目した気候モデル評価手法を開発する。また原因となる気象システム別に分類した将来の降水量データを作成し、将来の降水変化に対する各気象システムの寄与や各気象システム由来の降水割合の変化を定量化する。異なる気象システム（例えば局地的な降水と熱帯低気圧）では予測手法も予測のリードタイムも異なるため、将来の降水変化に対する各気象システムの寄与度や将来気候における重要性を明らかにすることは、気候変動への適応策としてどういった気象システムに注

目すべきかを決める判断材料となる。さらに豪雨災害の原因となり得る降水極値の特性把握のため、観測データに見られる降水極値と地上気温の関係について解析を行う。

### 3. 研究開発方法

#### 気象システムの客観検出と降水量の分類

熱帯低気圧、温帯低気圧中心、前線を互いに整合性を保ちながら格子点データから検出する手法を開発し、気候モデルが出力する降水を原因となる気象システム別に分類した。ただし、温帯低気圧中心と前線に伴う降水は合わせて「温帯低気圧」に伴う降水とした。これらに含まれない降水は「その他」とした。

#### 気象システムの再現性に着目した気候モデルの選択手法

CMIP5世代の12の気候モデル出力（historical実験：1980-1999年）から気象システムを検出した。これを同様に再解析データJRA-25から検出した気象システムおよび熱帯低気圧のベストトラックデータと比較し、各気象システムの全球の存在頻度分布の類似性を評価した。類似度の指標としてはTaylorのS値<sup>1)</sup>を用いた。さらに、気象システムによって平均的な再現性が異なるため、平均値で除して正規化したS値により計算する再現性スコア  $= S_{TC} / \overline{S_{TC}} + S_{ETC} / \overline{S_{ETC}} + S_F / \overline{S_F}$  を用いて再現性の評価を行った。ここで  $S_{TC}$ 、 $S_{ETC}$ 、 $S_F$  はそれぞれ熱帯低気圧、温帯低気圧中心、前線のS値を表し、分母の上付きバーはマルチモデル平均を表す。

#### 降水量将来変化への各気象システムの寄与の評価

日本域における降水量将来変化に対する各気象システムの寄与度を定量的に評価した。解析対象は前述の手法で評価した気象システム再現性の良い上位6モデルの出力（現在気候：historical実験1980年～1999年、将来気候：rcp8.5実験2080年～2099年）である。

#### 地上気温と観測された降水極値の関係の解析

豪雨現象の特性把握のため、日本域の観測値に見られる降水極値と地上気温の関係を調べた。

日本域の10分及び1時間地上観測データを用い、各時間スケールの降水量について気温ビン別に99パーセントイル降水量を計算した。

### 4. 結果及び考察

#### 気象システムの再現性に着目した気候モデルの選択

図1(4)⑤-1に気候モデルの気象システム再現性スコアを示す。気候モデルは左から解像度（緯度方向・傾度方向の平均）が高い順番（格子サイズが細かい順番）に並べている。温帯低気圧および前線と比較して熱帯低気圧はモデル間で再現性の差が大きい。また、必ずしも高解像度のモデルほど熱帯低気圧の再現性スコアが高いわけではない。

#### 降水量将来変化への各気象システムの寄与

日本域の各地域を対象に「非常に強い降水」（気候モデルが出力する現在気候の99.9パーセントイル日降水量以上の強度を持つ降水量）の変化に対する各気象システムの寄与を評価した。日本における非常に強い降水の積算量はどの地域においても増加する（図1(4)⑤-2）。非常に強い降水の増加は南西諸島や九州、四国を除きそのほとんどが温帯低気圧で説明される。南西諸島における増加の約4割は熱帯低

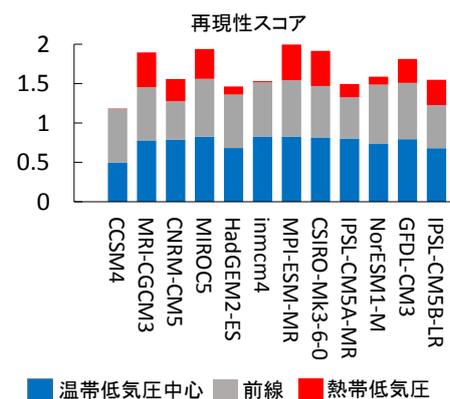


図1(4)⑤-1 気候モデルの気象システム再現性スコアの比較

気圧に伴う豪雨の増加によるものである。

**各気象システム由来の降水割合の変化**

非常に強い降水の積算値における各気象システムに由来する降水の割合が将来どのように変化するかを評価した。南西諸島で割合の変化が特に大きい。日本の各地域を横断的にみると各気象システム由来の降水割合変化の方向は地域によって異なるが、全体としては熱帯低気圧および「その他」由来の降水割合が増加し、温帯低気圧由来の降水割合が減少する地域が多い。

**観測地上気温と降水極値の関係**

10分程度の短い時間スケールについて、地上気温の変化に伴う99パーセントイル降水量の変化率が大気の水蒸気量の変化率と近い値を示すことが明らかになった(図1(4)⑤-3)。本州以南では高温において1時間以上の時間スケールの99パーセントイル降水量の減少が確認され、これは降水持続時間の減少によるものであることが示された。

**5. 本研究により得られた成果**

**(1) 科学的意義**

リスク評価に用いる気候モデルの選択基準に、水災害リスク評価において重要な気象システムの再現性という観点を導入した。さらに気象システム別に降水量を分類することによって、気候モデルが出力する降水量のバイアスや不確実性がどういった降水システムに起因するものであるかを推定することが可能になった。また、非常に短い時間スケール(10分程度)の降水極値は大気の水蒸気量と密接な関係があることを明らかにした。この知見は、例えば数値モデルや統計ダウンスケーリング手法において降水極値の再現を行う際に、対象とする

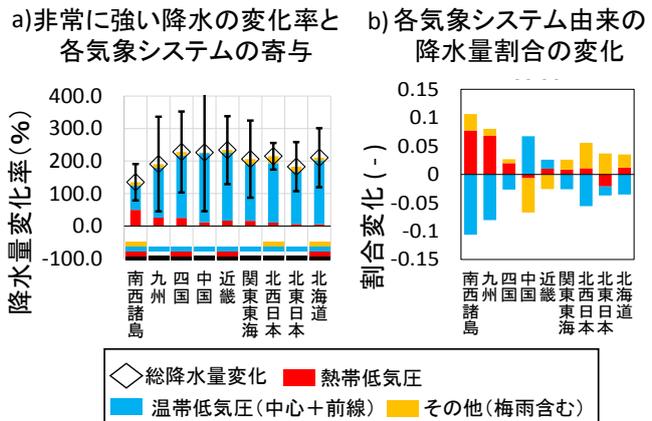


図1(4)⑤-2 a)非常に強い降水の将来変化率と各気象システムの寄与：ひし形は降水量変化率。色付き棒グラフは降水量変化に対する各気象システムの寄与を示す。地域名の上の色付き横棒は、各色に対応する気象システムの変化が有意(両側t検定5%)であることを示す。黒色横棒は気象システムを分けない降水量の変化の検定結果。  
b) 現在気候99.9パーセントイル日降水量以上の強度の降水積算値に占める各気象システム由来の降水割合の変化。

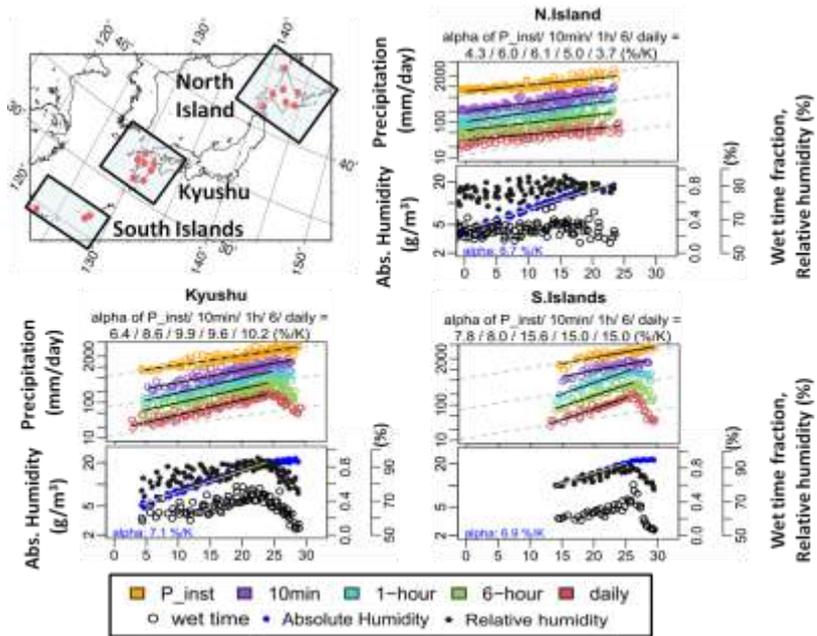


図1(4)⑤-3 地上気温変化と様々な時間スケールの99パーセントイル降水量、日平均相対湿度、日平均絶対湿度、降水持続時間の関係

時間スケールが短い場合は大気中の水蒸気量の適切な表現や考慮が重要であることを示唆する。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

IPCC第5次評価報告書（AR5）第1作業部会報告書および第2作業部会報告書において本研究プロジェクトの成果の一つである Utsumi et al. (2011)が引用された。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 内海信幸、瀬戸心太、鼎信次郎、沖大幹：水工学論文集，第55巻，307-312，(2011)  
「日本における1時間降水量の極値と地上観測気温の関係」
- 2) N. UTSUMI, S. SETO, S. KANAE, E. MAEDA and T. OKI: Geophys. Res. Lett. 38, L16708 (2011)  
“Does higher surface temperature intensify extreme precipitation?”
- 3) 瀬戸心太，井口俊夫，内海信幸，沖大幹，土木学会論文集B1（水工学），第68巻4号，ppI\_373-I\_378，(2012)  
“TRMM/PRバージョン7プロダクトの強い雨”
- 4) 内海信幸，瀬戸心太，鼎信次郎，沖大幹．土木学会論文集b1（水工学） 68, I\_421-I\_426 (2012).  
“気候変動に伴う豪雨変化の要因分析における大気湿潤度の考慮”
- 5) 渡部哲史・内海信幸・鼎信次郎・瀬戸心太・沖大幹・平林由希子：土木学会論文集B1（水工学），第69巻4号，ppI\_385-I\_390，(2013)  
“GCM，RCPシナリオ，バイアス補正手法の選択が日降水量極値の将来予測に与える影響の考察”
- 6) S. SETO, T. Iguchi, N. Utsumi, M. Kiguchi and T. OKI: SOLA 9, 98–101 (2013)  
“Evaluation of Extreme Rain Estimates in the TRMM/PR Standard Product Version 7 Using High-Temporal-Resolution Rain Gauge Datasets over Japan”
- 7) N. UTSUMI, H. KIM, S. SETO, S. KANAE and T. OKI: J. Geophys. Res. Atmos. 2014JD021734. doi:10.1002/2014JD021734 (2014)  
“Climatological characteristics of fronts in the western North Pacific based on surface weather charts”

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 中村晋一郎、内海信幸、渡部哲史、梯滋郎、沖大幹：水文・水資源学会誌 25, 113–121. (2012).  
“平成23年7月新潟・福島豪雨による信濃川下流域での出水と被害の特徴：平成16年7月新潟・福島豪雨との比較を中心として”

**(2) 口頭発表 (学会等)**

- 1) 瀬戸心太、内海信幸、木口雅司、沖大幹：気象学会2012年春季大会、つくば、2012年5月  
“地上気象観測 1 分値データと TRMM/PR/V7を用いた短時間降水強度極値”
- 2) 福林奈緒子、新田友子、沖大幹、瀬戸心太：水文・水資源学会、広島、2012年9月  
“地域の脆弱性を考慮した日本の内水被害リスク推定”
- 3) N. FUKUBAYASHI, T. OKI, K. YOSHIMURA, G. MOURI, S. NAKAMURA, S. SETO:  
AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly 2012, Aug. 2012, Singapore,  
"Water-related disaster risk evaluation in Japan under the present and a future climate"
- 4) N. UTSUMI, S. SETO, S. KANAE, T. OKI: AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly 2012, Aug. 2012,  
Singapore,  
“Winter time extra tropical cyclones and associated precipitation around Japan under warmer  
climate”
- 5) S. SETO, T. OKI: IGARSS, Munich, July 2012, "Evaluation of extremely heavy rain rates in the  
TRMM PR version 7 product"
- 6) S. SETO, T. OKI, T. IGUCHI: AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly 2012, August 2012, Singapore,  
"Evaluation of extreme rain rate estimates of TRMM/PR Version 7 by high-temporal-resolution rain  
gauge dataset in Japan"
- 7) H. KIM, N. UTSUMI, T. OKI: 2013 AGU Fall Meeting, December 2013, San Francisco,  
“Estimation of Uncertainty Propagation through Terrestrial Hydrologic Simulations and Objective  
Evaluation Strategy for In-situ and Satellite Observations of Precipitation”

他4件

**(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**

特に記載すべき事項はない。

**(5) マスコミ等への公表・報道等**

特に記載すべき事項はない。

**(6) その他**

平成26年地球環境優秀講演賞，土木学会 地球環境委員会，2014年9月5日，

**8. 引用文献**

- 1) K.E. Taylor: Journal of Geophysical Research, Atmospheres 106, 7183–7192 (2001)  
“Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram”

## **Development of Japan Risk Maps Evaluating Coastal and Water Disasters**

Principal Investigator: So KAZAMA

Institution: Tohoku University

6-6-06, Aoba-yama, Aoba, Sendai, 980-8579

Cooperated by: Fukushima University, National Institute for Land and

Infrastructure Management, Shizuoka University, University of Tokyo

[Abstract]

**Key Words:** Flood, Slope failure, Tidal surge, Beach erosion, Compound Disaster

Relationship between extreme rainfall and probabilistic maximum flood was obtained on each return period and basin area in first class rivers in Japan and provides flood discharge on arbitrary probabilities. Deciding asset prices for each landuse can help the evaluation of flood damages based on flood depth and duration by the flood simulation. This calculation procedure provides damages of compound disasters with other water disasters in future projections.

It has been developed spatiotemporal information with future rainfall information base on some scenarios to use slope failure risk model. The model can evaluate the effects of slope failure adaptation. These results by model simulations are as follows; 1) economic damage is obtained by slope failure risk evaluate model, 2) It can be estimated the reduction 2.0billion yen compared to non-maintenance in each scenarios.

Nationwide spatial distribution and temporal alteration of storm surge damage of Japan in 2050 and 2100 were estimated by using global mean temperature change and sea level rise in IPCC 5th Assessment Report and by taking into account population change and adaptation to storm surge. The results showed that the three major bays, Seto Inland Sea and Ariake/Yatsushiro Sea have relatively high storm surge damage risks.

Future beach erosion rate in Japan will likely between 28% and 62% (the most probable value is 47%) for the sea level rise of 0.26 m which is the lower limit value and at a range of 76% to 96% (the most probable value is 91%) for 0.82 m which is the upper limit value of future sea level rise reported in IPCC AR5 (2013).

Investigation about heavy rainfall disaster and social relations can derive the flowing results. 1) We have constructed database of victims by heavy rainfall disaster from 2004 to 2011 in Japan. 95.3% of the accident scenes were located in cell of rural area, 2) Understanding of Internet users for weather warning information was researched based on Internet questionnaire survey in March 2013. The answer "graded warning was simply" was 50%. On the other hand, the answer "plain text warning was simply" was 28%.

It makes it possible to quantify the relative contributions of weather systems to the changes of annual and extreme precipitation with climate change. Furthermore the relationship between extreme precipitation intensity and surface air temperature is analyzed based on in-situ data in Japan.