

平成29年度 委託プロジェクト研究  
「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」  
最終年度報告書

13406629

極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価

研究実施期間	平成25年度～平成29年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
研究開発責任者	増本 隆夫
共同研究機関	国立研究開発法人 森林研究・整備機構
	国立大学法人 山形大学
	関東学院大学
普及・実用化支援組織	
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-7509 FAX : 029-838-7609 E-mail : masumoto@affrc.go.jp

様式3. 最終年度報告書

1頁～ 57頁



## I-2. 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者
	機関	研究室	
研究開発責任者	農研機構農村工学研究部門	地域資源工学研究領域	◎増本隆夫
1. 農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価			
(1) 両極端現象にみる農地水利用と水利施設への影響評価と適応策評価法の開発	農研機構農村工学研究部門	地域資源工学研究領域水文水資源ユニット 施設工学研究領域地域防災ユニット	△増本隆夫 工藤亮治 (～2016. 9. 30) 吉田武郎 吉迫 宏
(2) 極端現象に対応するための用水管理技術の開発	農研機構中央農業研究センター 農研機構農村工学研究部門	北陸土壌管理グループ 農地基盤工学研究領域用水管理ユニット	△坂田 賢  友正達美
(3) 豪雨規模増大に伴う農地氾濫・損失リスクの定量的評価法の開発	農研機構農村工学研究部門	地域資源工学研究領域水文水資源ユニット	△皆川裕樹 (～2017. 3. 31) △池山和美 (2017. 4. 1～)
(4) 沿岸部農地における浸水被害の広域リスク評価	農研機構農村工学研究部門	水利工学研究領域沿岸域水理ユニット	△桐 博英 関島建志 安瀬地一作 中田 達 木村延明 (2017. 10. 1～)
(5) 極端現象が地下ダムや淡水レンズに及ぼす影響評価法の開発	農研機構農村工学研究部門	地域資源工学研究領域地下水資源ユニット	△白旗克志 吉本周平 (～2015. 11. 30) 石田 聡 土原健雄
2. 地すべりにおける脆弱性への影響評価			
(1) 広域地下水流動系を考慮した地すべり地の豪雨に対する脆弱性評価	農研機構農村工学研究部門  山形大学農学部	地域資源工学研究領域地下水資源ユニット  水土環境科学コース	△土原健雄 石田 聡 白旗克志 吉本周平 (～2015. 11. 30) 奥山武彦

<p>(2) 極端現象の増加による花崗岩山地の表層崩壊発生リスクの変動予測</p>	<p>森林研究・整備機構森林総合研究所 関東学院大学</p>	<p>森林防災研究領域山地災害研究室 経済学部</p>	<p>△大丸裕武 村上 亘 齋藤 仁</p>
<p>(3) 積雪地域における極端現象の増加に伴う地すべり災害の広域リスク評価</p>	<p>森林研究・整備機構森林総合研究所</p>	<p>森林防災研究領域リスク評価担当チーム</p>	<p>△岡本 隆</p>

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付す。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
委託プロジェクト研究名	農林水産分野における気候変動対応のための研究開発		
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
代表機関・研究開発責任者名	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 地域資源工学研究領域長 増本隆夫		

## II-1. 研究目的

IPCCの第4次報告によれば、地球温暖化に伴う影響は至る所で現れており、2011年末に承認されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の特別報告書「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理（SREX）」によると、将来は両極端現象（洪水と渇水）の激化が確実に予想されるとしている。一方で、日本の研究者が行った高解像度全球気候モデルによる数値実験でも、将来アジアモンスーン域における渇水や洪水の両極端現象の増大が予想されている。このような背景のもと、本研究の最大の特徴は、持続的な森林生態系の利活用や食料生産と農業水利用の技術やシステムを高度化させるために、極端現象に焦点を絞って、気候変動により農業水資源や地すべりがどのように影響を受け、またそれぞれの脆弱性がどのように変化するかを高精度に評価しようというものである。

このため、本研究では、

1. 農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価
2. 地すべりにおける脆弱性への影響評価

により、水・土地資源及び森林の観測や気候変動による極端現象の増加に関する影響解析モデルと最新の全球気候モデル予測を用いて、農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性に係る高精度の影響評価を行う。

その結果、気候変動下における渇水・洪水等の極端現象の影響による農業水資源・土地資源の脆弱性および農地・森林地域の地すべり等に対する安心な社会の実現が期待される。

## II-2. 研究結果

農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価については、まず両極端現象にみる農地水利用への影響評価法、ため池を中心とした水利施設の被災・渇水リスクの評価手法を開発し、それらを全国336流域に適用し全国評価マップを作成した。同時に、ため池群間での利水調整や洪水貯留による適応策の提示ならびにその評価を行った。また、極端現象に対応するための用水管理技術の開発に関して、水田灌漑地区の分析から、高温発生と用水需要の増大が同時に生じる可能性を示し、取水を抑制することを促しながら供給量の調整を行うことなどの適応策を提示した。さらに、豪雨の模擬発生法、湛水解析手法、水稻被害評価手法を開発するとともに、不確実性を考慮した農地氾濫リスクの統計的評価法を提案した。沿岸部農地に関しては、

全国の沿岸農地データベースや、確率台風を利用した高潮潮位偏差マップを作成し、同時に高潮の危険度判断システム、農地海岸の浸水解析システムを構築した。また、現地調査・観測を中心に、地下ダム貯留域内の残留塩水塊の分布や挙動、淡水レンズの厚さと降雨イベントの関係、水位や電気伝導度の周期的時間変化などを明らかにした。さらに、観測データの潮汐振動を利用した帯水層の水理定数推定法や地下水モデルの構築を行った。

次に、地すべり地の豪雨に対する脆弱性評価において、水素・酸素安定同位体比を指標とした地すべり地の地下水の涵養域の推定手法、融雪水の浸透の影響の有無の推定手法を提示した。同時に、地すべり地の観測孔で利用可能な深度別地下水採取・調査法を開発した。さらに、2001年以降に全国の花崗岩山地で発生した斜面崩壊や2017年の九州北部豪雨を対象に、崩壊の規模と降雨の再現期間との関係、非常に極端な豪雨に対する森林の崩壊防止機能の低下などを明らかにした。また、積雪地域における極端現象の増加に伴う地すべり災害の広域リスク評価では、融雪浸透モデルを提案し、積雪地域における多雪や少雪などの極端な気象現象が増加した際の地すべり発生危険度を評価した。

### 1. 両極端現象にみる農地水利用と水利施設への影響評価と適応策評価法の開発

両極端現象の農地水利用への全国影響評価に向け、気候シナリオの収集およびバイアス補正、灌漑地区の用水配分モデルおよび灌漑と洪水を同時に解析できるモデルの開発を行い、一連のモデルを全国336流域に適用した。生育ステージ別（代かき期、出穂期等）の河川流量を指標として、各流域での渇水・洪水リスクをその不確実性ととも評価した。その結果、より確度の高いリスクとして東北・北陸地方における代かき期の利用可能流量の減少、夏季の洪水発生リスクの全国的な上昇傾向が示された。

また、ため池の被災リスクや渇水リスクの評価指標・手法を提案するとともに、洪水時の低水位管理や洪水吐の簡易改修、渇水時の利水余裕度の評価に基づくため池群間での利水調整による適応策の評価手法を提示した。

### 2. 極端現象に対応するための用水管理技術の開発

地域全体の需要水量を捉えられる水田灌漑地区を選定し、高温の発生と用水需要の増大が同時に生じる可能性を示すことができた。具体的には以下の点を明らかにした。第1に、用水需要が高まる8月には渇水リスクとなり得る連続干日数が増加する。第2に、出穂期以降に気温が上昇すると、作物からみた用水需要の増加要因である可能蒸発散量よりも地域の用水需要が増大する。第3に、農業農村整備事業等によって十分な用水量が確保できるようになると地区の需要は増大し、ある程度の年数が経過すると横ばいで推移することが複数の地区で示された。以上より、高温に伴う渇水が生じた場合には可能蒸発散量を上回る水需要が発生するために、水利調整過程では過大な水需要が発生することを考慮して、取水を抑制することを促しながら供給量の調整を行うことが現実的な対応であると考えられる。

### 3. 豪雨規模増大に伴う農地氾濫・損失リスクの定量的評価法の開発

開発した豪雨の模擬発生法により様々なパターンの豪雨を発生させ、対象地区に適用した排水モデルに豪雨を入力し、降雨パターンによって異なる水田の湛水状況の解析手法を構築した。その結果より水田の浸水面積と継続時間を抽出し、水稻被害評価の指標となる減収尺度を活用して流域内に広がる水田被害を容易に評価する手法を提案した。また気候変動リスクの評価のため、複数気候シナリオから特に豪雨に注目して気候変動の影響を明らかにし

た。さらに、気候シナリオの分析結果から将来発生しうる極端豪雨の規模を推定し、最大規模の被害レベルを提示した。

#### 4. 沿岸部農地における浸水被害の広域リスク評価

全国の農地海岸及び沿岸部の農業地域を抽出して沿岸農地データベースを構築した。また、過去の台風経路データから生成した確率台風をもとに高潮推算により高潮潮位偏差マップを作成し、農地海岸データベースと連携して各農地海岸管理者が将来の高潮の危険度を判断できるシステムを開発した。また、高潮推算モデルを改良し、九州から東北地方太平洋側までの高潮による農地海岸の浸水を解析するシステムを構築した。

#### 5. 極端現象が地下ダムや淡水レンズに及ぼす影響評価法の開発

地下ダムについては、沖縄県内の塩水浸入阻止型地下ダムにおいて調査・観測を行い、貯留域内の残留塩水塊の分布は止水壁完成後十数年たった時点で拡大はみられないこと、大雨の際には上流域からの地下水の流入により1~2週間電気伝導度が上昇する短期間の影響があることを明らかにした。淡水レンズについては、沖縄県内の島嶼において観測を行い、淡水レンズの厚さに影響する降雨は一部の降水量の大きな降雨イベントであること、水位や電気伝導度の観測データに潮位の影響による周期的時間変化が普遍的にみられることを明らかにした。降雨の影響の正確な評価には観測データから潮汐振動成分を除去することが望ましく、そのためには自記計による連続的な観測手法を用いることが必要である。また観測データの潮汐振動を利用して帯水層の水理定数を推定し、淡水レンズへの豪雨の影響や渇水時に農業用地下水取水を行った場合などの予測ができる地下水モデルの構築に反映した。

#### 6. 広域地下水流動系を考慮した地すべり地の豪雨に対する脆弱性評価

水素・酸素安定同位体比を指標とした地すべり地の地下水の涵養域の推定手法、融雪水の浸透の影響の有無の推定手法およびそれらの留意点をとりまとめるとともに、モデル調査地においてどの標高域の降水量・降水パターンの変化を受けるか、豪雨・融雪水の浸透の影響を受けやすいかの評価を行った。また、地すべり地に適した採水用具および採水法の開発・現地適用を行い、地すべり地の観測孔で利用可能な深度別地下水採取・調査法を提示した。

#### 7. 極端現象の増加による花崗岩山地の表層崩壊発生リスクの変動予測

2001年以降に全国の花崗岩山地で発生した斜面崩壊を対象に、崩壊の規模と降雨の再現期間との関係を分析した結果、再現期間が10年程度を超える降雨イベントにより、大規模な斜面崩壊や、集団的な斜面崩壊が発生しうることが示唆された。花崗岩山地の崩壊リスクは植生の影響を受けやすいが、市房山の崩壊発生と雨量の関係解析からは、森林伐採によって崩壊基準雨量が3分の1以下に低下しうることが示された。また、2017年の九州北部豪雨に見られるように、非常に極端な豪雨に対しては森林の崩壊防止機能が低下することが示唆された。

#### 8. 積雪地域における極端現象の増加に伴う地すべり災害の広域リスク評価

積雪地域で多雪や少雪などの極端な気象現象が増加した際の地すべり発生危険度を適切に評価するため、地すべりの誘因となる融雪水量を、雪の粘性圧縮理論に基づいて予測する融雪浸透モデルを提案した。同モデルは既往の融雪水量予測手法に比べて予測精度や適用期間

の点で優れていることが明らかとなった。さらにタンクモデルを組み合わせることによって、地すべりの発生に直接関与する地下水位を評価できる可能性を得た。モデルの実用化に向けて、過去の極端な積雪環境下で発生した地すべり災害事例にモデルを適用し融雪水量及び土壌雨量指数の第3タンク水位による地下水位リスク指標を求めた。既往の手法と比較して、粘性圧縮モデルは積雪期間全体に適用が可能であり高い実用性を有することが明らかとなった。

### II-3. 今後の課題

農地水利用に対する全国スケールの脆弱性に関しては、流域水管理方法の変更のための不確実性を持つ予測情報による政策決定の困難さが課題としてあげられる。また、用水管理技術の開発では、全国統一的な水利調整による節減水量などの提示は難しく、事例の増大が課題解決への一歩と考えられる。さらに、農地氾濫・損失リスクに関しては、都市域を含めたリスク評価、流域一体型水管理手法の検討などの今後の課題である。沿岸部農地の浸水被害評価では、気象予報とリンクするAI活用の類似台風抽出や早期的樋門・閘門の閉鎖や排水操作のための支援システムの展開が課題である。また、地下ダムについては、その運用・管理のための残留塩水塊の監視、一方淡水レンズについては、将来農業用水源として開発・利用するための地下水モデルの精緻化や将来予測が重要となる。

次に、地すべりと豪雨との関連では、夏季の降水量が多い太平洋側地域での開発手法の適用可能性や防災対策の検討が望まれる。他方、花崗岩山地の表層崩壊発生リスクについては、小さい空間スケールで危険箇所抽出、森林計画への反映、砂質特殊土に着目した災害リスク予測等が重要な課題となる。さらに、積雪地域の地すべり災害に関しては、積雪期間と無積雪期間の地すべり発生リスクの連続的な評価法の開発が急がれる。

#### 1. 両極端現象にみる農地水利用と水利施設への影響評価と適応策評価法の開発

本成果により示された農地水利用に対する全国スケールの脆弱性は、水利施設の運用方法、流域水管理方法の変更によりある程度は軽減されることが見込まれる。流域水管理方法の変更のためには、不確実性を持つ予測情報による政策決定の困難さが課題としてあげられる。また、本プロジェクトでは農地水利用のみに焦点を絞って影響評価を行ったが、流域内の他の水利用者との競合も、適応策策定にあたっては克服すべき課題となる。

ため池を対象とした水利施設への影響評価と適応策評価法の開発に関しては、計算モデルによるリスク評価結果の信頼性を向上させるために、ため池流域の短期・長期の流出特性の解明を進め、ため池特有の流出現象を踏まえた係数等の設定方法を体系化する必要がある。また、温暖化実験結果を含む雨量データが持つ不確実性を踏まえた適応策（減災対策／渇水対策）の計画手法についても体系化する必要がある。

#### 2. 極端現象に対応するための用水管理技術の開発

気象、土壌条件等により地区によって最低限必要となる用水量は異なるため、水利調整を行うことにより節減できると考えられる水量を統一的に示すことは不可能である。具体的な配分可能水量については事例を増やすことで対応することが求められる。

#### 3. 豪雨規模増大に伴う農地氾濫・損失リスクの定量的評価法の開発

残された課題として都市域を含めたリスクの評価と、その結果に基づく流域一体での水管理手法の検討が挙げられる。これについては、リスクの評価に都市域を取り扱うことができる解析モデルを適用することで対応可能と考えており、次ステップの課題として今後取り組む予定としている。

#### 4. 沿岸部農地における浸水被害の広域リスク評価

全国を対象にした高潮の潮位偏差マップを作成し、沿岸農地データベースとの連携も行われており、最終目標を達成している。今後は、気象予報とリンクすることで台風接近時にAIを活用して類似台風を抽出し、早期に樋門・閘門の閉鎖や排水操作を行うための支援システムへと展開が期待される。

#### 5. 極端現象が地下ダムや淡水レンズに及ぼす影響評価法の開発

地下ダムについては、貯留域内の自記連続観測によって大雨の影響による1~2週間程度の影響のほか、より短い周期で水位や電気伝導度が振動するように変化する観測結果が得られている地点もあり、この要因を明らかにすることは地下ダムの運用・管理とその中で行う残留塩水塊の監視の参考になると考えられる。淡水レンズについては、これまでに明らかにした淡水レンズの厚さや淡水量への色々な変動要因の影響を整理して提示し、また開発した潮汐応答の分析による水理定数の推定手法をより多くの地点に適用することで、淡水レンズを将来農業用水源として開発し利用するために今後行われる地下水モデルの精緻化や将来予測に役立てることが期待される。

#### 6. 広域地下水流動系を考慮した地すべり地の豪雨に対する脆弱性評価

開発された調査手法は、モデル調査地が位置する東北地方日本海側でその有効性を確認した。今後は、夏季の降水量が多い太平洋側地域でのこれらの手法の適用可能性についても検討が求められる。地すべり対策は長年にわたって続けられてきたが、今後の気候変動によって発生要因に変化がある場合、さらなる防災対策が必要となる。そのためには、地すべり斜面をとりまく水文条件の解明と既設施設の機能診断に基づく抑制力の検証、補強のための手法が求められる。

#### 7. 極端現象の増加による花崗岩山地の表層崩壊発生リスクの変動予測

実際の森林管理による温暖化適応策に反映するには、地域の自然特性に応じて、より小さい空間スケールで危険箇所を抽出して森林計画に反映する技術の開発が重要である。また、近年、2013年の伊豆大島土石流災害をはじめとして砂質火山灰が関与した災害が顕在化していることから、砂質特殊土の分布に着目した災害リスク予測が重要な課題となる。温暖化による将来の危険エリアについては、今後も降雨観測結果や気候計算技術の進展を見ながら、継続的に見直していく必要がある。

#### 8. 積雪地域における極端現象の増加に伴う地すべり災害の広域リスク評価

本課題では、入手が容易な降水量と積雪深を用いて融雪水量と地下水位を推定し、融雪地すべりのリスク評価手法を確立した。一方で、積雪地域の地すべりは無積雪期の降雨によって生じる事例も多いことから、積雪期間と無積雪期間の地すべり発生リスクを連続的に評価可能な手法を開発する必要がある。本課題で提案した粘性圧縮モデルは消雪後の降雨量をそ

のまま融雪水量と同等に扱えるため、積雪期と無積雪期の境界期間における連続解析への親和性が高く、通年評価へ発展させる余地がある。近年の研究により、積雪は融雪供給源のみならず荷重やせん断抵抗力として地すべり動態に影響を与えることが明らかにされている。今後は融雪による地下水位上昇と積雪の力学的な作用の影響をともに評価できる地すべりリスク評価手法が期待される。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	91110	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価		
実行課題名	両極端現象にみる農地水利用と水利施設への影響評価と適応策評価法の開発		
実行課題責任者名・研究機関	増本 隆夫・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門		

## 1) 研究目的

IPCCによる気候変動の影響予測によれば水利用を扱う水資源分野と両極端現象(洪水と渇水)を扱う災害分野は共に重要な位置を占めており、特別報告書(2011)ではとりわけ極端現象の増大やそのリスク管理に注意が必要であると謳われている。一方で、世界の農業用水は全水利用の中で7割を占めるにもかかわらず、農業用水資源に対する温暖化の影響は概略値としての算定に止まり具体的な数値としての提示はなされていない。さらに、農業への気候変動影響予測では、気温上昇に対する影響を作物別や動植物別に影響評価が主に実施されており、水資源や土地資源との関わりの中での検討は行われていない。

これまで各種農地水利用を組み込んだ分布型水循環モデルを開発し、将来の気候変動下での農業水資源に及ぼす影響を評価してきた。次いで、日本の一つの灌漑主体流域を対象に、貯水池管理モデルや広域灌漑農地への水配分・管理モデルを開発・統合した水循環モデルを構築するとともに、それを中心とした気候変動影響評価法を提示してきた。次段階として、全国レベルや水田主体のモンスーンアジア域全体での灌漑への影響評価や将来に予測される極端な洪水や渇水に対する新たな流域管理モデル構築へと展開させることが必要となっている。

そこで、ここでは極端現象に焦点をあて、気候変動に伴う流域水循環への影響を詳細に評価するため、最大の水利用者である農業用水を対象とする広域水配分・管理モデルを高度化するとともに、全国における灌漑と流域水循環との相互影響を評価する。さらに、この水配分・管理モデルを大気大循環モデル(GCM)と結合することにより、将来の気候変動下における水田農業用水の不足発生や洪水発生などの自然災害危険度の予測を行う手法を開発する。また、水利施設について、極端現象における気候変動による影響及びその適応策の評価法を開発し、これを用いて気候変動の影響評価及び適応策の評価を行う。

## 2) 研究成果

【農地水利用に関する影響と脆弱性の評価】

農業用水利用・管理に対する極端現象の影響をマクロ的に評価するため、日本の全流域を対象とした気候変動影響の全国評価マップを作成した。影響評価モデルには、広域水配分・管理モデルを組み込んだ分布型水循環モデル（図1）を用いた。影響評価マップの作成手順は、1) 日本全域を対象とした分布型水循環モデルの構築、2) 気候シナリオの高解像度化（ダウンスケール）、3) 実測気候値と気候予測シナリオの偏差の補正（バイアス補正）から構成される（図2）。本手法ではGCMによる気候変動実験結果を気候シナリオとして用い、空間詳細化、バイアス補正などを施して評価モデルである水循環モデルへ入力し、現在気候、気候変動下それぞれの出力を比較することで影響を吟味する。

日本全域を対象とした分布型水循環モデルの構築のため、全国を5kmのメッシュで区切り、それぞれのメッシュの流向を定めた疑似河道網により自然的な流下過程を表現した。次に、河道から取水した農業用水の配分・還元過程の表現に必要な農業水利施設の情報、日本水土図鑑GISから収集した。すなわち、同GISデータベースに収録された取水ポイントおよび水路ネットワークの情報を用い、農業用水循環の空間的な広がりを表現するデータセット（以下、水田水利システム）を構築した。水田水利システムは、a) 日本水土図鑑GISの取水ポイント（貯水池、頭首工、揚水機場など）と水路ラインの結合、b) 結合した水田水利システム情報のメッシュ化、c) 水利システムの受益範囲のメッシュ化、d) 用水配分順序といった情報を含む（図3）。

次に、GCMによる予測の不確実性を考慮するため、複数GCMによる気候変動実験結果を結合モデル相互比較プロジェクトフェーズ5（CMIP5）より収集した。収集するGCMは日本領域での極端現象（台風、梅雨前線等）の表現可能性を考慮し、空間解像度200kmを基準として5つのGCMを選定した（表1）。さらに、アンサンブルメンバーが存在する場合には1モデルにつき最大3メンバーを収集した。これにより11通りのシナリオで影響評価を行う。なお、温室効果ガスの排出シナリオはRCP2.6、RCP4.5、RCP8.5の3種類を収集し、それぞれの排出シナリオについて上記11通りの気候シナリオを整備した。次に、各気候シナリオを逆距離内挿法により5kmメッシュ化し、バイアス補正を行った。バイアス補正には確率分布を用いる方法を採用し、月最大降水量にはGumbel分布による極値補正も併用した。

最後に、収集、データ処理を施した11通りの気候シナリオを全国適用した分布型水循環モデルへ入力し、全国影響評価を行った。影響評価の指標として、水循環モデルが出力する5kmメッシュ単位の河川流量から算出した代かき期、出穂期それぞれの10年確率半旬平均流量（渇水の2指標）、及び洪水期（6～10月）の10年確率日流量（洪水の指標）の変化率を用いた。指標は、取水施設が存在する複数の5kmメッシュで算出し、流域単位で平均化した。

その結果、代かき期の北日本（東北、北陸）で10年確率半旬平均流量が大きく減少し、気候変動（特に気温変化）に対して脆弱であることが示された（図4(1)）。これは、気温上昇に伴う融雪水の減少によるものと考えられる。また、同じ北日本でも気温が更に低い北海道では同指標に大きな変化がみられなかったことから、RCP4.5程度の昇温（北海道ではおよそ3°C程度）では水資源にはほとんど影響がないことが示された。出穂期の10年確率半旬平均流量（図4(2)）では、全国的に変化率そのものは小さいものの、北日本で若干の減少傾向がみられ、変化率のばらつきも比較的小さい。10年確率日流量（図4(3)）は全国的に変化傾向の整合性は高く、どの地域も増加する傾向がみられた。

西日本における出穂期の10年確率半旬平均流量にみられたように、増加傾向を示す

GCM、減少傾向を示すGCMが存在しており、予測モデルによるばらつきが大きい。このように、地域によって不確実性の大きさが異なる傾向があるため、地域別にGCM間の変化率のばらつきを検討した。それぞれの評価項目の変化率の地域別平均値をGCMごとに求め、アンサンブルメンバー間のばらつきをエラーバーで示した(図5)。同図より、a) 代かき期では北海道、東北、北陸などで明確な減少傾向を示しており、GCM間の傾向も整合的で変化率の幅も小さい(不確実性が小さい)のに対し、西日本(四国、九州)では変化の傾向も明瞭ではなくGCM間のばらつきが大きい(不確実性が大きい)こと、b) 出穂期では全地域で変化の傾向が明瞭ではなく、GCM間のばらつきが大きくなる傾向があること、c) 10年確率日流量では変化率のばらつきは大きいものの、変化の整合性は高い(全国的に増加傾向)ことが示された。

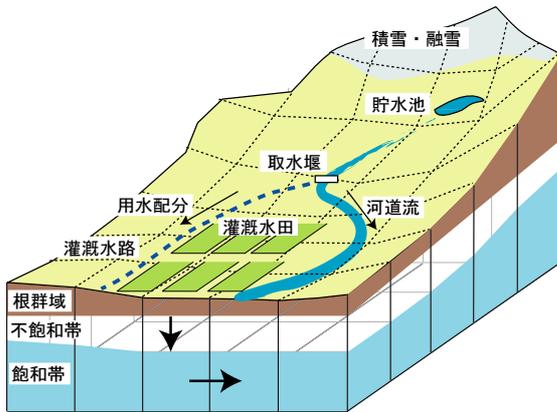


図1 広域水配分・管理モデルを組込んだ分布型水循環モデルの全体像

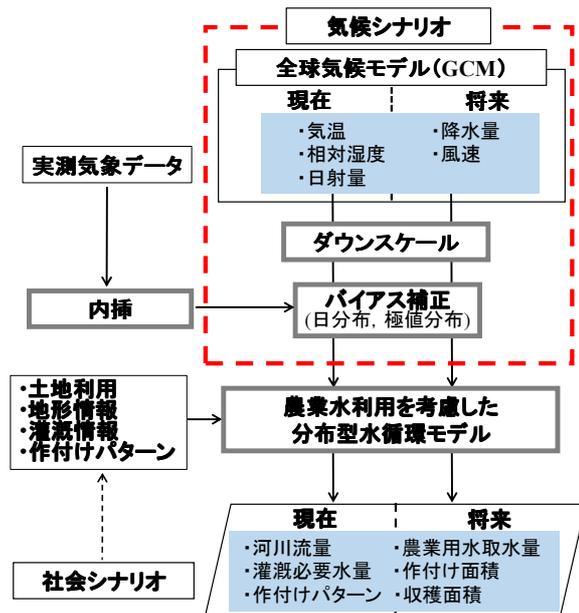


図2 農業水利用に対する気候変動影響評価法の全体像

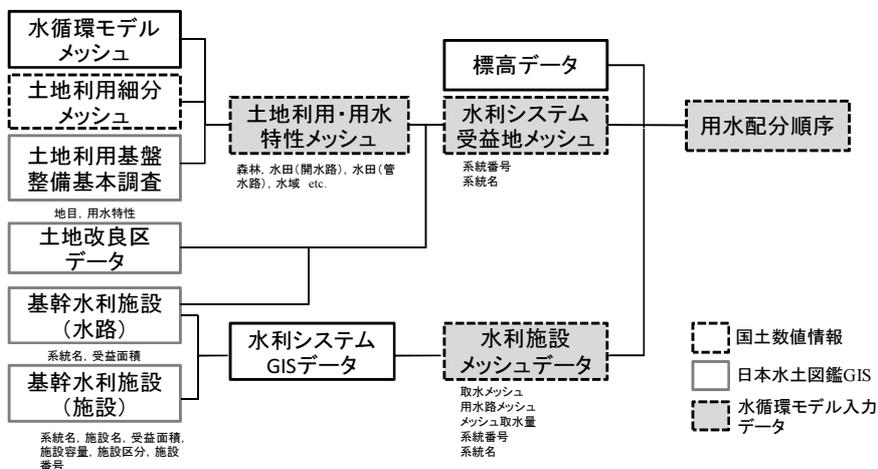


図3 日本水土図鑑GISを使用した水田水利システム構築手順

表1 CMIP5より収集した気候シナリオ

GCM	空間解像度 (度)	メンバー数	国	気温変化量(°C)	降水量変化率
MIROC5	1.406×1.406	3	日本	2.0 (2.3 - 2.7)	1.09 (1.07 - 1.10)
CSIRO-Mk3-6-0	1.875×1.875	3	オーストラリア	2.9 (2.9 - 3.0)	1.11 (1.07 - 1.14)
HadGEM2-ES	1.875×1.241	3	イギリス	3.3 (3.2 - 3.4)	1.06 (1.02 - 1.09)
CNRM-CM5	1.406×1.406	1	フランス	2.0	1.07
MRI-CGCM	1.125×1.125	1	日本	2.0	1.04

※気温変化量、降水量変化量はそれぞれ1981-2000に対する2081-2100の変化率（年平均気温、年降水量）でシナリオはRCP4.5  
 ※変化率はアンサンブルメンバーの平均値であり、カッコ内の値がばらつきの幅となる

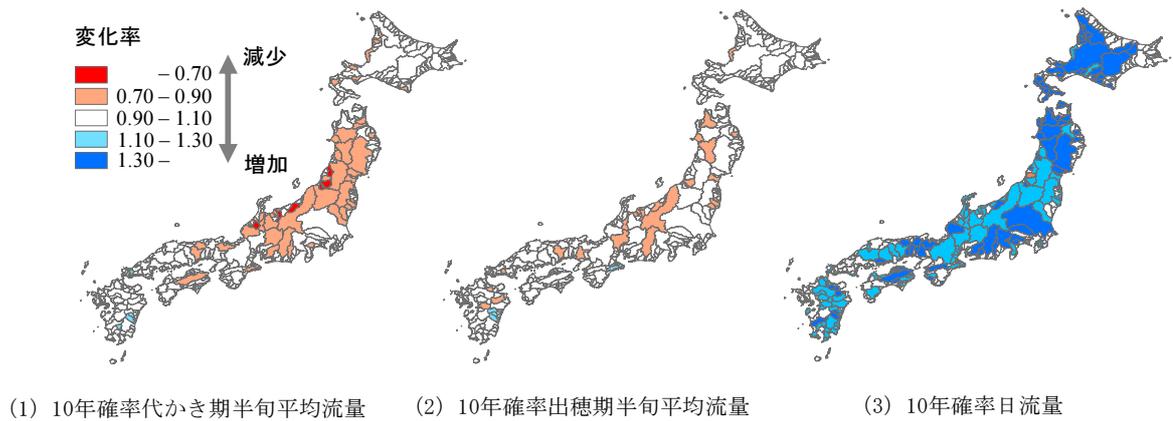


図4 農業水利用に対する全国影響評価マップ (RCP4.5)

※変化率=将来の河川流量/現在の河川流量  
 ※対象は現在気候が1981-2000、将来気候が2081-2100である。

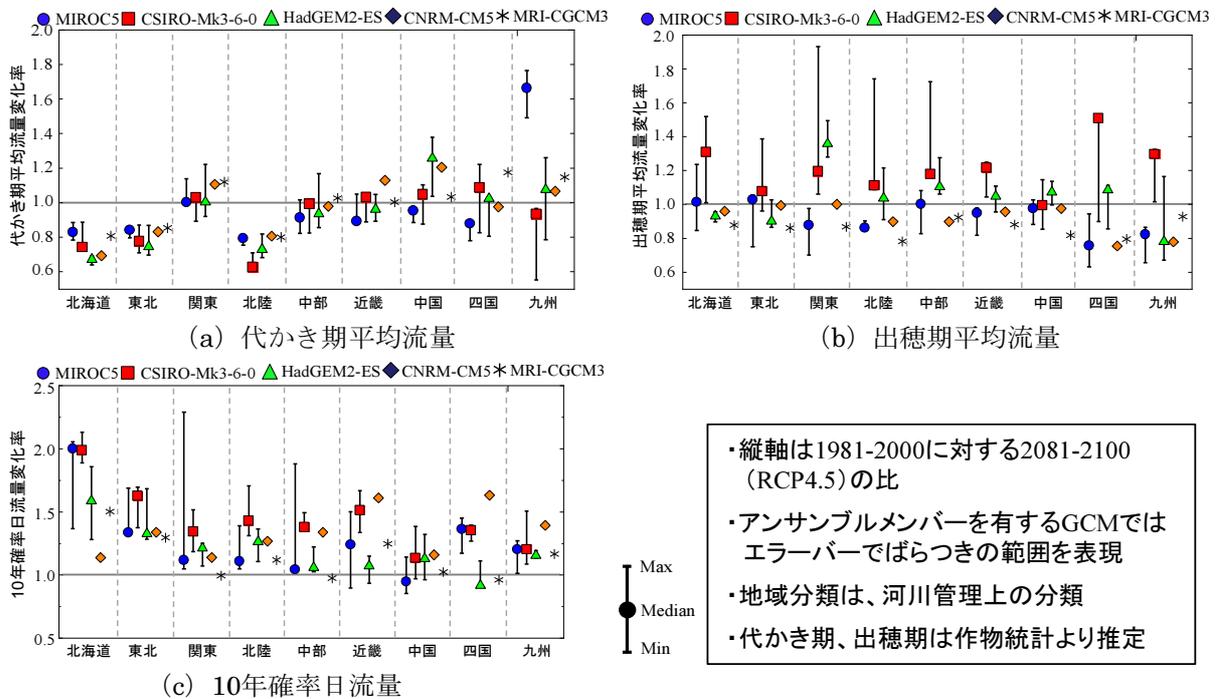


図5 地域別にみたGCM予測値のばらつき (RCP4.5 : 2081-2100)

### 【ため池、ダム、水田などの水利施設に対する影響と脆弱性評価】

ため池の豪雨に関わる極端現象に対する影響評価は、豪雨に対する影響と適応策の評価については堤体の決壊リスク、ため池の渇水に関わる極端現象に対する影響評価は貯水の余裕度合で把握するものとした。

豪雨時の決壊リスクを把握するために、「土地改良事業設計指針「ため池整備」」の貯留効果に関する計算例などを参考に、貯水位を求める図6の計算モデルを提示した。決壊リスクはピーク水位が設計洪水水位（未改修ため池ではこれに相当する水位）に達した時点で生じるものとし、計算モデルの逆解析で設計洪水水位等に達する降雨の生起確率を求めるものとした。

広島県東広島市内の未改修ため池であるA池（堤高2.4m、総貯水量7千m<sup>3</sup>）において、現在と将来の降雨における被災リスク、ならびに適応策の効果を検討した。貯留関数法の係数は観測データから決定し、有効雨量に関わるパラメータはA池を流域に含む椋梨川を対象に求めた値を用いた。降雨は降雨継続時間を24時間、降雨パターンについては中央集中型と後方集中型の2つとし、現在雨量については近隣のアメダス東広島地点の観測値、将来雨量について前述の農地水利用に関する影響と脆弱性の評価で用いたものからCNRM-CM5を除く4つのGCMによる温暖化実験結果を5kmメッシュにダウンスケールした東広島地点に最も近い計算格子の値を用い、それぞれグンベル法により確率雨量を求めた。将来雨量に関しては、アメダス観測値と同期間の温暖化実験結果から求めた確率雨量（2～30年）の間で回帰式を作成し、これを用いて将来雨量のバイアス補正を行った上で、アンサンブルデータとして確率雨量を求めた。被災リスクの検討は現状のため池とともに、減災対策を行った場合の効果を検討した。

求めた被災リスクの生起確率は図7に示す。A池においては、将来において被災リスクが高くなること、設定した減災対策はいずれも効果を発揮すること、設定したシナリオにおいては洪水吐の拡幅が最も効果を発揮することが判る。

ため池の渇水リスクに関わる貯水の余裕度合は、かんがい期間中の時系列の貯水率で表すものとした。大部分のため池においては、用水管理（放流量など）は慣行に依っており、明示的に定められていない。そこで、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説計画「農業用水」」（技術書を含む）をはじめとする土地改良事業の用水計画で用いられている手法を組み合わせ、図8に示したかんがい期間中の貯水率を計算する水収支計算式（計算モデル）を提示した。

兵庫県高砂市阿弥陀地区のため池6箇所において、水収支計算モデルを用いて検討（取水）期間中の総雨量が非超過確率30年の場合における渇水リスクの評価を行った。検討を行ったため池の用排水系統を図9に示す。水収支計算式と計算に関わる諸元や係数は既往の資料や文献から求めた。また、検討期間中の日雨量（時系列データ）は、現在雨量については阿弥陀地区最寄りの気象庁の雨量観測地点である姫路地点における観測値、将来雨量については姫路地点に最も近い、豪雨時と同様にダウンスケーリングとバイアス補正を行った温暖化実験結果における計算格子の値をアンサンブル化して用いた。貯水率の計算にあたっては、検討期間中の総雨量が非超過確率30年（総雨量220.5mm）に最も近かった2008年の日雨量のパターンに、今世紀末の非超過確率30年における総雨量

（220.1mm）を配分したものを検討期間中の日雨量（図10）とした。

求めた時系列の貯水率を図11に示す。この結果から、B池とC池はかんがい期後半に用水が不足することがわかる。B池とC池はともに最上流に位置するため池であり、他のた

め池からの用水補給は困難であることから、適応策は貯水池の拡張となる。拡張が必要な容量は水収支計算式による逆解析で求めることができ、用水不足は貯水池の容量を**42.8%**（B池）、**19.3%**（C池）拡張することで解消できる。なお、他のため池から用水の補給を行う場合には、被補給ため池と補給側ため池を合計した貯水量に関する貯水率が**0%**を下回らない場合において、実施可能と判断できる。

また、ダムを持つ災害低減機能の活用に関しては、検討対象の農業用ダムを設定するとともに、下流部への洪水減災効果を発揮する空容量に関して、利水容量および貯留特性を検討した。ここで、灌漑を目的に含むダムにおいては治水を目的としていない場合であっても、空容量により洪水減災効果を発揮することが指摘されている。整備した貯水池データベースを用いて、かんがいを目的に含むダムの利水容量を求めた（図12）。全国の合計は、**4,595**百万 $m^3$ （うち、農業専用ダム**1,134**百万 $m^3$ ）である（参考：洪水調整容量は洪水期**5,251**百万 $m^3$ 、非洪水期**3,687**百万 $m^3$ ）。

次に、農業用水利用を主たる水利用とする貯水池（農業用ダム）に関する水文水利データを収集し、長期間のデータが利用可能な農業用ダム**31**個を抽出した（図13）。これらの年間貯水位の推移を洪水減災効果が発揮される空容量の発生形態から、灌漑末期、非灌漑期に空き容量が発生する融雪貯留型と梅雨貯留型、非灌漑期と灌漑初期に空容量が発生する再貯留型、非灌漑期でも空容量が拡大しない発電型に分類した（図14）。

他方、水田などへの気候変動の影響を調べるために、灌漑と洪水を同時に解析できるシームレスモデルの開発に向け、氾濫過程を水配分・還元・管理モデルを実装した水循環モデルへ組み込み、**2011**年に発生したタイ国チャオプラヤ川に適用した。

まず、このシームレス一体型解析モデルの開発にむけては、農業水利用を考慮した水循環モデルに氾濫過程を組み込む改良を行った。シームレス一体型モデルにおける計算アルゴリズムを図15に示す。改良したモデルでは、通常時はダム操作や取水、水田水配分、河川の流出等が水循環モデルで計算されるが、ある地点で洪水発生（河川流量>河道容量）と判断された場合には氾濫計算に移行し、発生地点より下流に属する範囲はすべて氾濫域に分類される。流域はセルに分割され、セル内河道には予め流向を設定する。氾濫域を表現するLandセルの接続状況は河道から独立しており、周囲のセル間で2次元の氾濫現象を計算する。

図16～図18に改良したモデルをタイ国チャオプラヤ川流域で発生した**2011**年の氾濫に適用した結果を示す。同モデルにより流域内のダム操作による貯水量や放流量（図16）、下流灌漑地区の取水量（図17）等の農業水利用が計算されるほか、洪水と判定された場合には氾濫計算が開始され湛水面積や氾濫量などが推定される（図18）。計算による氾濫面積は流域全体で約**15,000** $km^2$ となったが、衛星写真より推定された氾濫範囲との重複域は全体の約**41%**に留まっていた。また、洪水貯留量はチャオプラヤ川とチャイナートーパサク水路で囲まれた水田域（図黒枠内）を対象に評価した結果、その量は最大で約**2,700**MCMと計算されたが、この値は衛星写真から推定した同地区の貯留量の約**70%**となり、氾濫面積と共に過小評価となった。原因として、セル標高値の精度や上流域からの流出量の再現精度などが挙げられる。後者では、洪水期の後半で計算流量が観測値に比べて少ないことが確認されており、その改善には上流域で発生した氾濫水の取り扱いを工夫するなどの処置が必要となる。以上のように、改善点すべ起点は見られるものの、改良したモデルにより貯水池運用や取水、用水配分などの農業水利用と洪水時の氾濫現象を同時に解析でき、両者の相互作用の分析が可能となった。

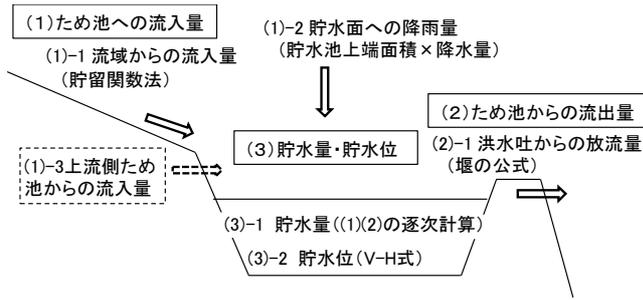


図6 計算モデルの概要

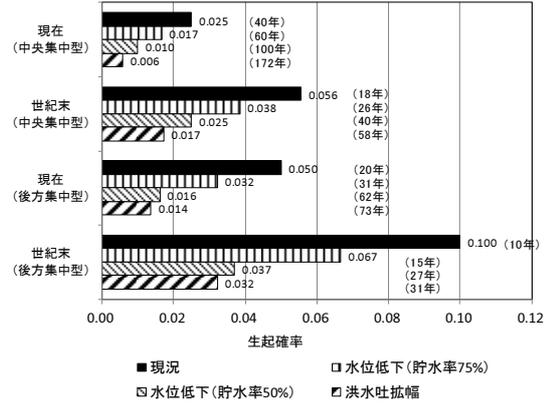
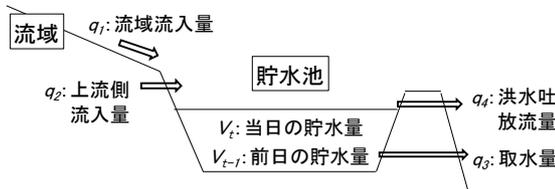


図7 求めた被災リスク



$$V_t = V_{t-1} + q_1 + q_2 - a \times q_3 - q_4 \quad (1)$$

$V_t$ : 当日の貯水量( $m^3$ )  $V_{t-1}$ : 前日の貯水量( $m^3$ )  $q_1$ : 流域流入量( $m^3/day$ )  $q_2$ : 上流側流入量( $m^3/day$ )  $a$ : 係数  $q_3$ : 取水量( $m^3/day$ )  $q_4$ : 洪水吐放流量( $m^3/day$ )

$$q_1 = S \times A \times R_p \quad (2)$$

$$R_p = f \times R_d / 1000 \quad (3)$$

$q_1$ : 流域流入量( $m^3/day$ )  $S$ : 安全率(=0.9)  $A$ : 流域面積( $m^2$ )  $R_p$ : ため池流出雨量( $m^3/day$ )  $f$ : 流出率  $R_d$ : 日雨量( $mm/day$ )

図8 提案した水収支計算式

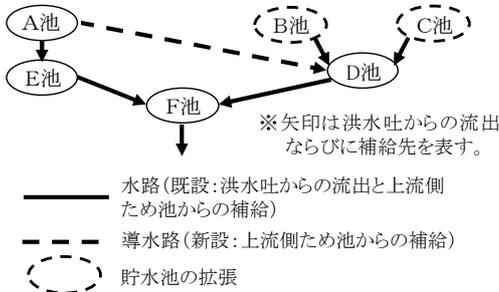


図9 ため池間の用排水系統図

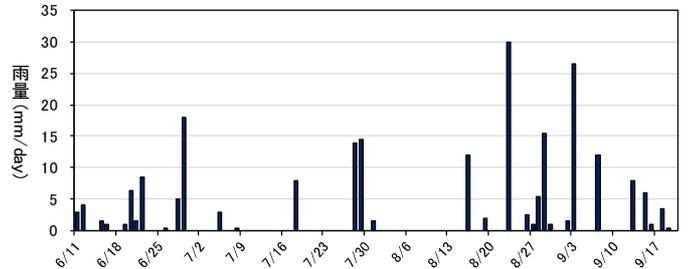


図10 検討に用いた降雨データ

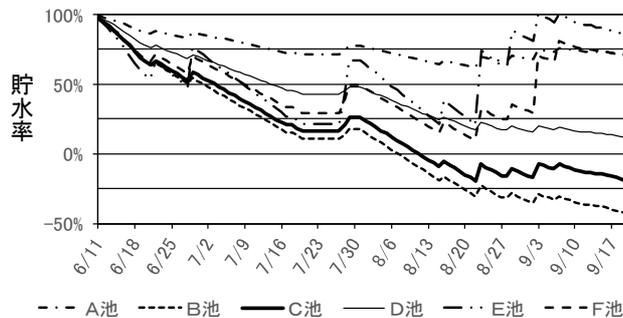


図11 利水余裕度の検討結果

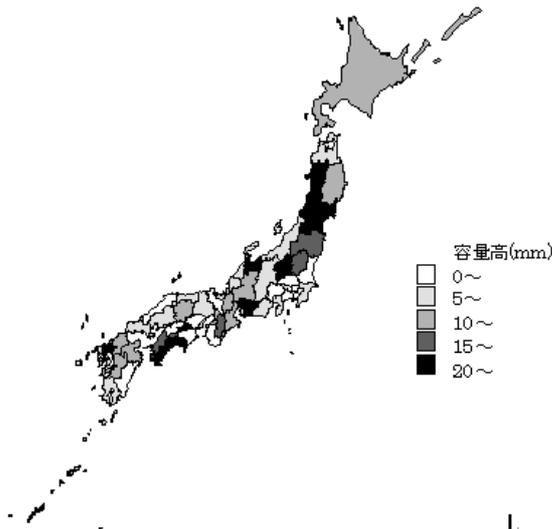


図12 農業関連ダムの利水容量  
(容量高:利水容量/面積)

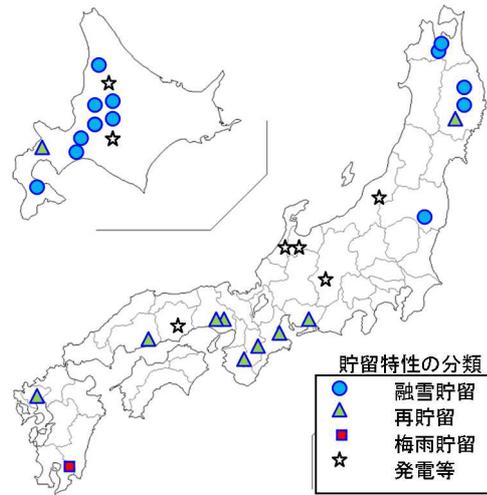


図13 検討対象農業用ダム

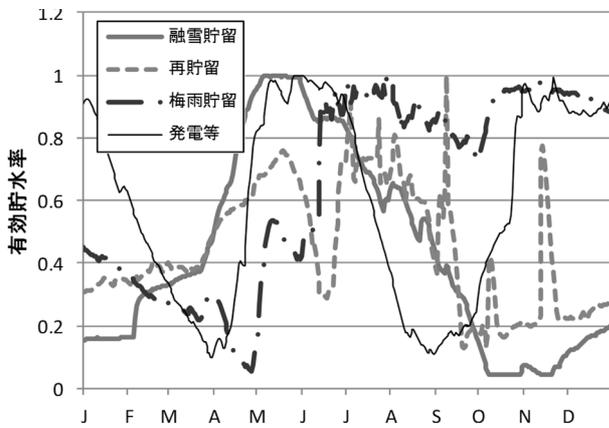


図14 農業用ダム貯水位パターン

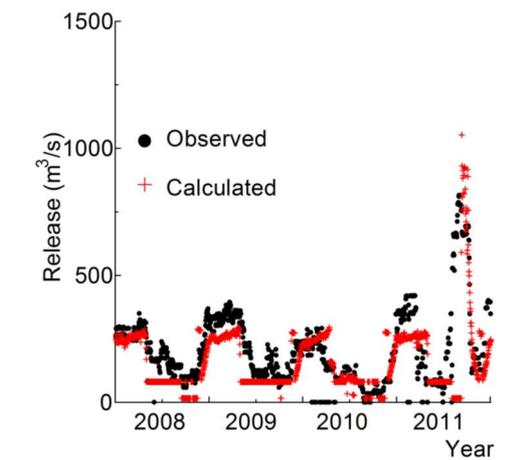
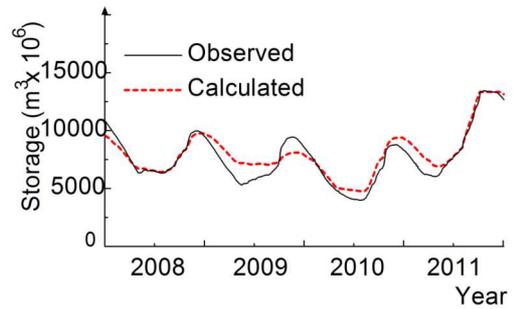


図16 ダム操作による貯水量、放流量の算定  
(上段:プミボンダム貯水量、  
下段:シリキットダム放流量)

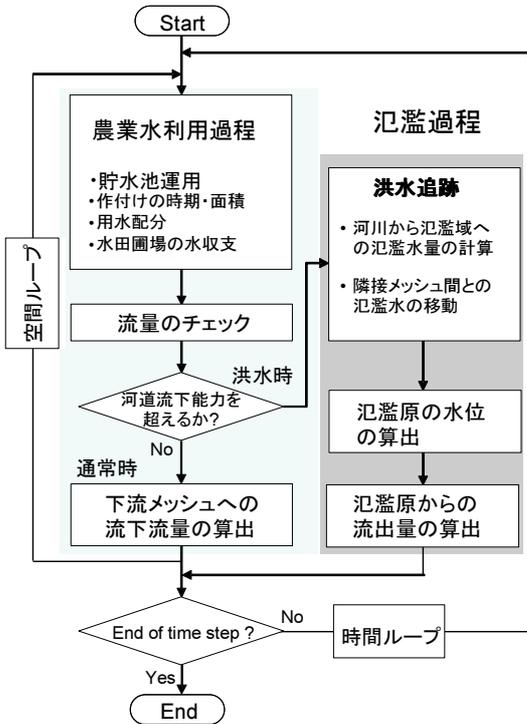


図15 農業水利用と氾濫の同時解析アルゴリズム

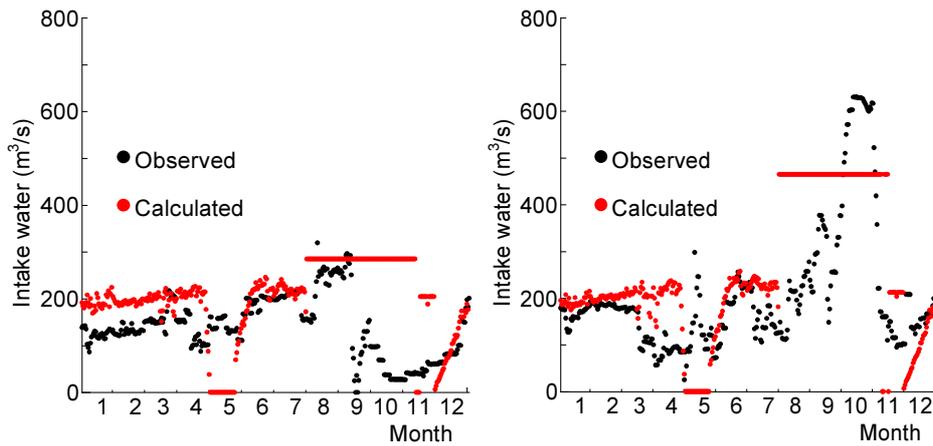


図17 チャオプラ下流域の灌漑地区における取水量の計算(2011年)

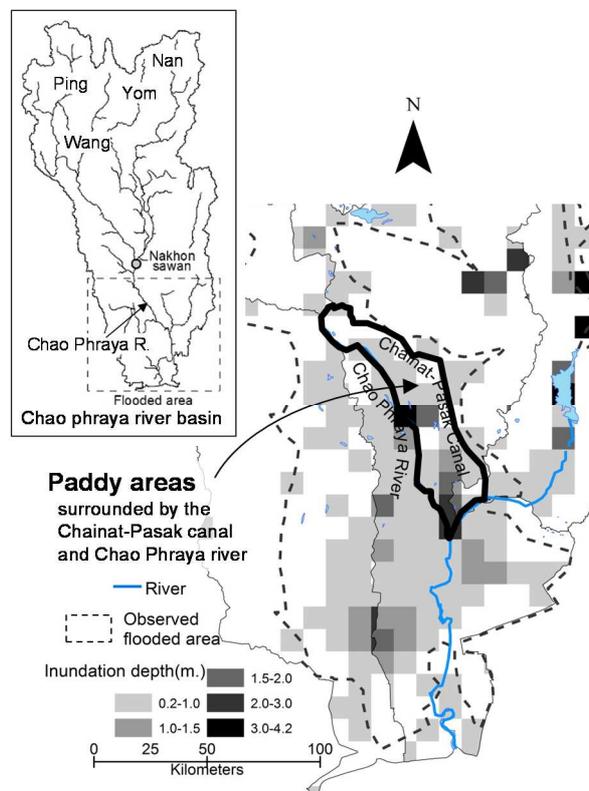


図18 2011年洪水時における最大の氾濫範囲及び浸水深の推定結果

### 3) 成果活用における留意点

気候変動による現在から将来への河川流量の変化率が、低水流量に関する項目でGCMにより大きくばらつくことは、低水流量が降水量のみならず連続無降水日数などの降水特性や蒸発散量など複合的な要因が影響するためと考えられる。このように評価に用いる指標によって不確実性の大きさや性質が異なる傾向があるため、評価マップとともに評価値のばらつきの情報も付加することが重要である。

大多数のため池においては貯水位等に関する水文観測は実施されていないことから、被災リスク評価に関わる計算モデルにおける貯留関数法の係数や有効雨量は周辺河川・ダム等で得られた値や総合貯留関数法（流域の地形や土地利用から求める方法）で決定する必要があるが、この場合でも計算結果の妥当性は観測水位に基づいて確認する必要がある。

水収支計算式による渇水リスクの検討においても、得られた結果が過去の渇水年における実態と整合的なものであるかどうかに関しては、ため池管理者や受益農家からの聞き取り等で確認する必要がある。

また、農業用水利用・管理に対する極端現象の影響に関する成果は気候変動に対する水利用の脆弱性を日本全域というマクロスケールで洗い出すことを目的にしたものである。流域での影響評価や具体的な対応策の策定にあたっては、流域ごとの流出特性や地域固有の水利用を考慮したより詳細な分布型水循環モデルの構築が必要となる。

#### 4) 今後の課題

本成果により示された農地水利用に対する全国スケールの脆弱性は、水利施設の運用方法、流域水管理方法の変更によりある程度は軽減されることが見込まれる。流域水管理方法の変更のためには、不確実性を持つ予測情報による政策決定の困難さが課題としてあげられる。また、本プロジェクトでは農地水利用のみに焦点を絞って影響評価を行ったが、流域内の他の水利用者との競合も、適応策策定にあたっては克服すべき課題となる。

ため池を対象とした水利施設への影響評価と適応策評価法の開発に関しては、計算モデルによるリスク評価結果の信頼性を向上させるために、ため池流域の短期・長期の流出特性の解明を進め、ため池特有の流出現象を踏まえた係数等の設定方法を体系化する必要がある。また、温暖化実験結果を含む雨量データが持つ不確実性を踏まえた適応策（減災対策／渇水対策）の計画手法についても体系化する必要がある。

貯水池や水田などの水利施設に関しては、観測流域の結果等を用いて、洪水地における水利施設被災リスクの評価指標及び水利施設や水利施設群の下流等に対する減災効果の評価指標を作成する必要がある。さらに、超過渇水などに対応してダムにおける渇水リスクの評価指標を作成することも重要である。さらに、気候変動下において貯水池を中心とする農業水利施設の管理へ影響を及ぼすような洪水、渇水の評価するための指標を検討し、極端現象へ対応した影響評価法の高度化を図ることも重要である。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	91120	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価		
実行課題名	極端現象に対応するための用水管理技術の開発		
実行課題責任者名・研究機関	坂田 賢・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター		

## 1) 研究目的

稲の高温登熟障害の発生は、近年の高温傾向により稲作農家にとって深刻な問題の一つとなっている。作物学、育種学、土壌肥料学等の様々な分野で対応が検討されているが、異常高温が生じた場合の対処方法はほとんど検討されていない。また、用水管理は高温登熟障害の抑制方法として数少ない手段の一つである。ただし、異常高温時には渇水も同時に発生している可能性が高く、灌漑水量が十分に確保できない可能性が想定される。上記の背景をふまえ、極端現象が増加した場合に、地域の農業用水の最適な配分方法を提示することを目的に、広域の用水量データおよび圃場水収支測定により、これまでの地区または圃場レベルで行われてきた水利調整過程の評価を行う。

## 2) 研究成果

地域全体の需要水量を捉えられる水田灌漑地区を選定し、高温の発生と用水需要の増大が同時に生じる可能性を示すことができた。具体的には以下の5点を明らかにした。

第1に、調査地区内および近傍の降雨観測地点において、日単位で5日間以上無降雨が連続した期間を対象に分析を行った。10年間で5日間以上の連続干天が記録された回数は39回である。月ごとでは6月と8月に10回を超えており、1回あたりの連続干天日数（以下、平均連続干天日数という）は8月に若干大きな値を示している（図1）。すなわち、渇水の発生リスクは8月が最も高いといえる。実際に最も長期間にわたる連続干天は2010年8月18日から9月6日の20日間であり、これを含む上位4つの連続干天日数を8月に記録している。

第2に、ペンマン式から求めた日可能蒸発散量は、気温、湿度、風速、日照時間から推定することができる。気温以外の項目を固定し日平均気温と日可能蒸発散量の関係を求めたところ、日平均気温の上昇に対する日可能蒸発散量は0.23mm/dとなった（図2）。すなわち、日平均気温の上昇に対する用水需要量の増加（0.67mm/d）は蒸発散量の増加に比べて大きく、気温が高くなることで温度低下を目的とした取水または蒸発散を過大に評価

した取水を増加させたことが一因であると考えられる。

第3に、米の収量や品質に影響を与えると考えられる出穂期後を対象に分析を行ったところ、出穂後10日間の気温上昇は取水量の増加を招く傾向がみられた（図3）。

第4に、圃場レベルの影響について、出穂後20日間の灌漑水量、降雨量および平均気温の経年変化を分析した（図4）。2011年から2015年にかけて灌漑水量が単調に増加している。その後、2016年と2017年は2015年よりも気温が高かったにもかかわらず灌漑水量は低下している。これまで節水的な水管理を行ってきた当地区では徐々に水需要が増大してきたが、2015年以降は需要の増加が一段落し、安定的に推移していることが確認された。

第5に、他地区での適用可能性を検討するために、広域の用水量が明らかな地区における過去のデータを用いて同様の分析を試み同様の結果が得られ、本研究の調査地区における結果の汎用性が示唆された（図省略）。

### 3) 成果活用における留意点

得られた成果のうち、地域による差が小さいと考えられるのは可能蒸発散量のみである。連続干天日数、取水量は地区ごとに異なる。そのため、地域によって傾向の違いはないと考えられるが、実際に渇水時に増加する取水量については、地域の特徴（渇水頻度、水資源賦存量など）に応じて異なる可能性が考えられる。

### 4) 今後の課題

気象、土壌条件等により地区によって最低限必要となる用水量は異なるため、水利調整を行うことにより節減できると考えられる水量を統一的に示すことは不可能である。具体的な配分可能水量については事例を増やすことで対応することが求められる。

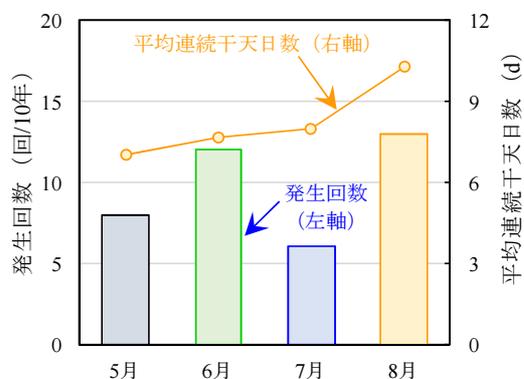


図1 月ごとの5日以上の連続干天発生回数と1回あたりの連続干天日数

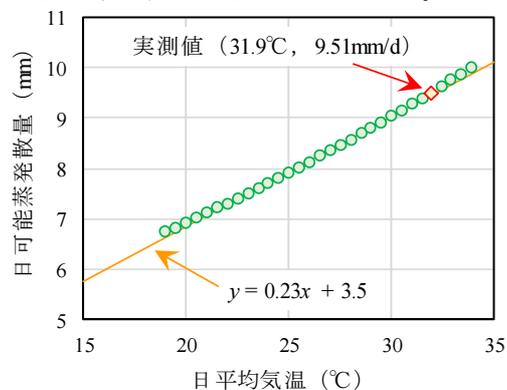


図2 ペンマン法により推定した日平均気温と日可能蒸発散量の関係

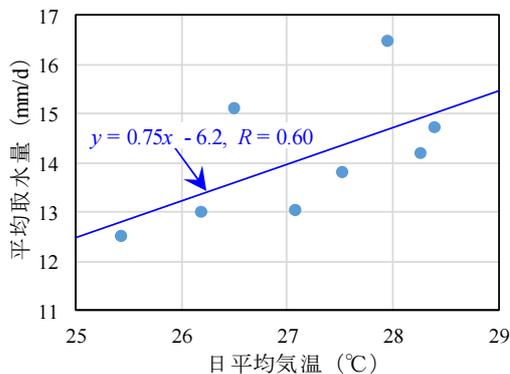


図3 出穂後10日間の取水量と気温の関係

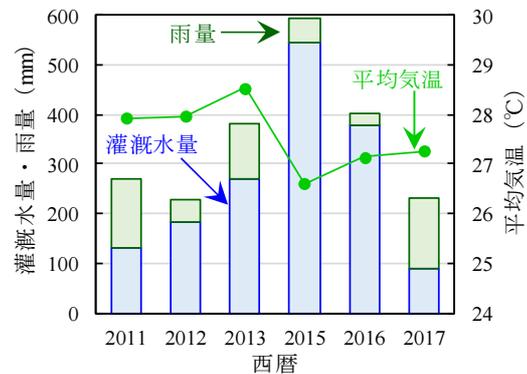


図4 出穂後20日間の取水量と気温の変化

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	91130	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価		
実行課題名	豪雨規模増大に伴う農地氾濫・損失リスクの定量的評価法の開発		
実行課題責任者名・研究機関	池山 和美・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門		

## 1) 研究目的

気候変動に起因する豪雨規模の強大化や降雨パターン変化により、特に低平地域では、洪水等の災害発生頻度の上昇が予想される。また、低標高の農地では排水能力不足による水田冠水被害の発生とその長期化による作物減収被害が懸念され、経済的な損失が増加する恐れもある。豪雨災害への対応策として排水施設の増強あるいは管理手法の見直し等の検討を行う場合、事業費用と便益を詳細に算定・比較して計画を策定する必要があるため、気候変動の影響評価では災害の発生リスクに加えてこの被害リスクの評価を行うことが重要といえる。そこで本課題では、その両方のリスクを同時に評価した総合的な気候変動リスクの評価手法を開発することを目的とする。被害リスク評価では水稻を対象とし、冠水被害の発生時期やその他の状況による被害度合いの変化にも注目する。最終的に得られる結果ではGCMで予測される気候変動シナリオに沿ったリスク評価を行うとともに、極端豪雨により想定される最大規模の被害も併せて表示する。

## 2) 研究成果

本研究全体の流れを図1に示す。

### (1) 複数GCMの特性を反映させた豪雨データの発生

使用するデータはGCMによる気候シナリオとし、現在期間(1981～2005年)は15シナリオ、将来期間は地球温暖化のRCPシナリオ(RCP2.6、4.5、8.5)毎に11シナリオで、バイアス補正済みのデータである。リスクの評価期間は、現在が1期間に対して将来期間は時系列で3期間(近未来(2026～2050年)、21世紀半ば(2051～2075年)、21世紀末(2076～2100年))に設定した。この各期間の気候シナリオから、100mm/3d以上または70mm/d以上の閾値を満たす最大3日雨量を豪雨とし、その発生頻度と雨量強度に係る特徴を抽出した。この特徴を反映させることで、現在から将来にかけての気候シナリオを考慮した豪雨データの模擬発生を実施した。このときの豪雨グループの発生数は1000回と設定した。

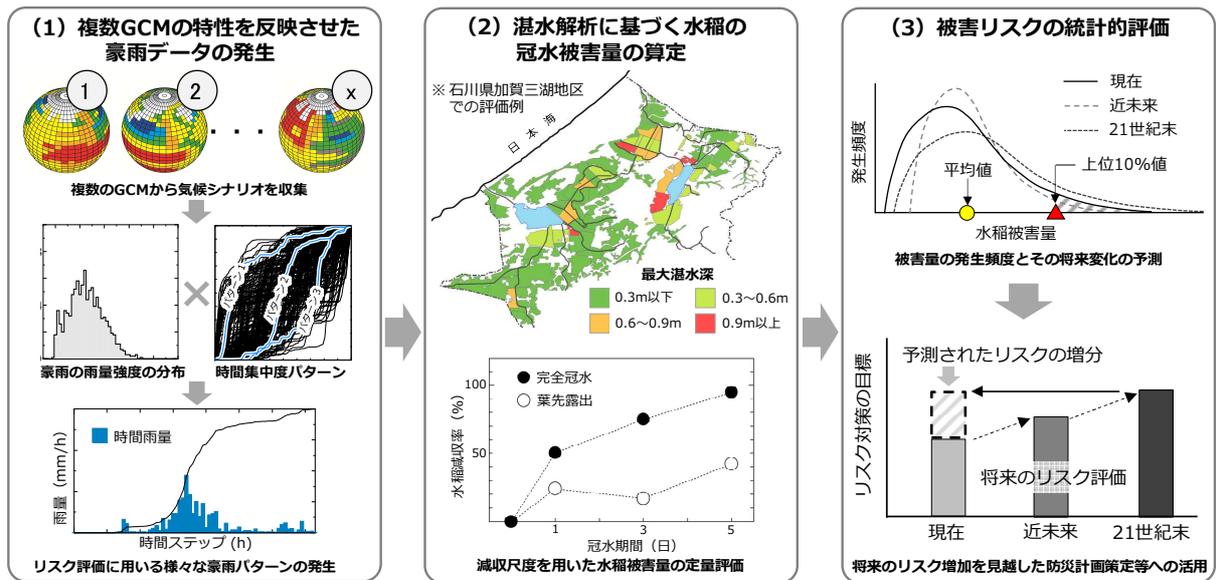


図1 気候変動を考慮した低平水田域の水稲被害リスクの評価手法

そして、リスク評価期間ごとに1000個得ている豪雨グループのそれぞれで、10年、30年、100年など13通りの確率雨量値を求めた。ここで推定された確率雨量値をグループ毎に個別に見ると、同じ確率年でも異なる結果が示され、気候シナリオの不確実性を考慮した確率雨量の発生頻度分布を明らかにすることができた。そのうち、10年確率に注目した結果を図2に示す。

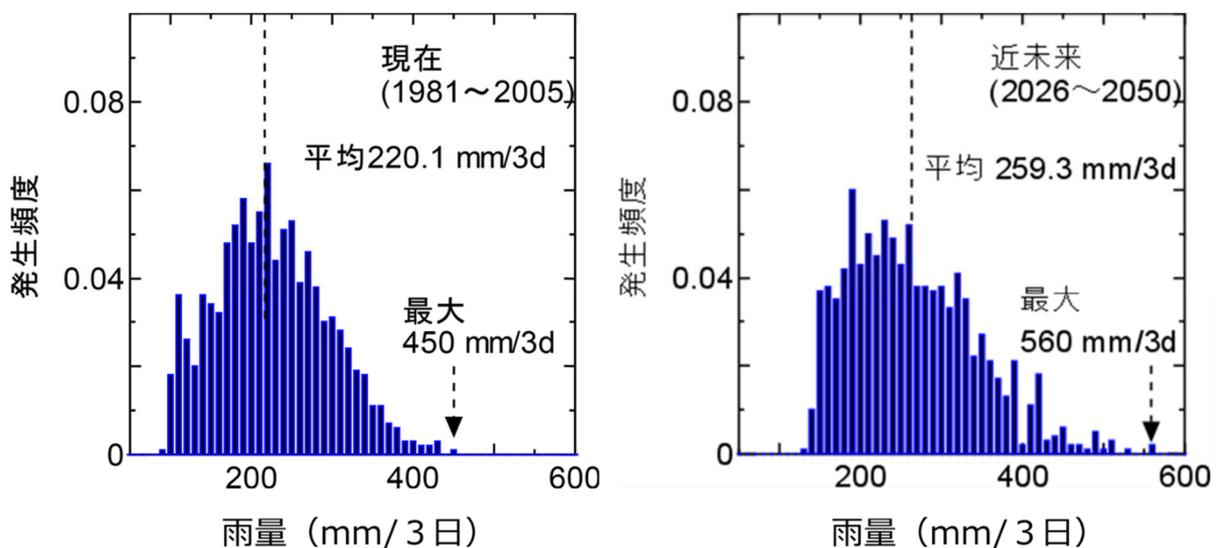


図2 確率雨量分布の将来変化 (RCP8.5 ; 10年確率)

各計算結果において、図2のように年間の豪雨発生個数が現在期間から将来期間にかけて増加することが示された。同時に豪雨の雨量平均値と、そのバラツキを示す変動係数も上昇し、将来は豪雨量の増加とともに極端規模の豪雨の発生も懸念される。この傾向は将来期間になるほど、またRCPシナリオが高位になるほど顕著であることも分かった。

(2) 湛水解析に基づく水稻の冠水被害量の算定

次に、豪雨データを排水モデルに入力して低平水田域における湛水解析を行い、その結果から水稻が被害を受ける湛水深とその継続期間を抽出した。ここでは、湛水解析の出力である水田ブロックの水深が30cm以上となる時間が24時間以上継続すると、湛水被害発生と判断した。

冠水による水稻の被害度合いは、発生した時期（水稻の生育段階）や冠水の継続期間等の諸条件により大きく異なることが知られている。そのため、この被害量を評価するためには様々な冠水条件毎に適切な評価を行う必要がある。そこで本研究では、その冠水条件と減収率の関係を表した減収尺度を策定し、水稻の被害量評価に利用した。その尺度策定の基礎データを得るため、通常的水稻栽培が行われている実水田内で可能な限り実洪水状況を再現した試験区を設置し、それを利用した模擬冠水試験を実施した。この試験区は、通常栽培区と、田面を掘り下げて水深を深く保った模擬冠水区から成り、試験のための水位管理が不要となるよう工夫している（図3）。試験では、現在最も一般的に栽培されているコシヒカリを選定し、1/5000aサイズのワグネルポットを用いたポット栽培を行った（図4）。

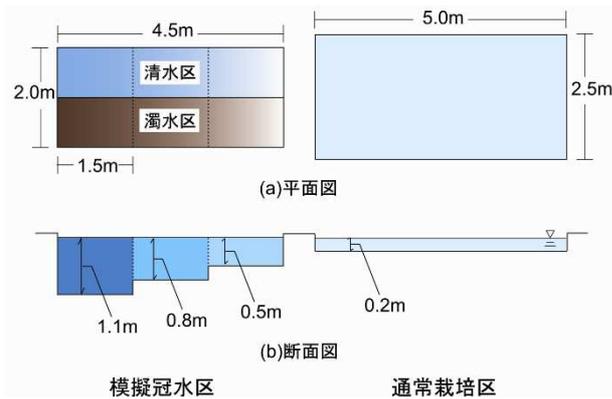


図3 模擬冠水試験区的设计概要

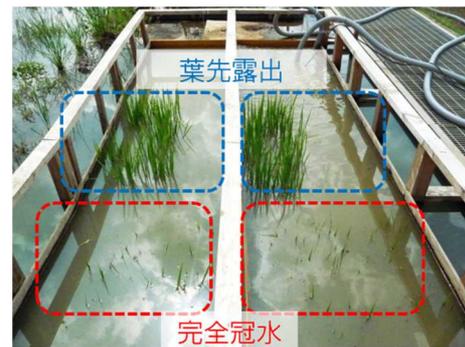


図4 模擬冠水試験中の様子

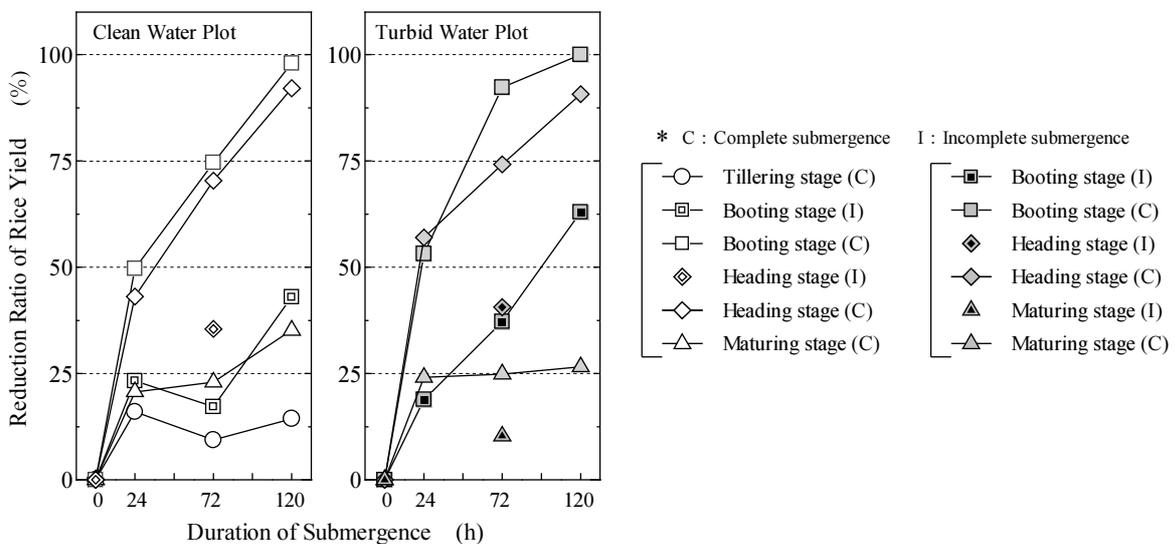


図5 冠水による水稻減収尺度

この水稲冠水試験の結果をまとめ、水稲被害推定に使用するための減収尺度を策定した。ここでは、水稲の冠水被害は冠水の発生時期（水稲の生育時期）及び、水田水深と草丈の関係（葉先が水面から露出しているか完全に冠水しているか）によって大きく異なることが明らかになった（図5）。

湛水解析の出力である水稲冠水深と継続期間に、生育時期等の冠水条件に対応した水稲の減収尺度を適用して豪雨イベント毎に水稲の被害評価を実施した。その評価結果の中から、現在期間の確率雨量を使用した場合に得られる雨量再現年と水稲被害量の関係を図6に示す。

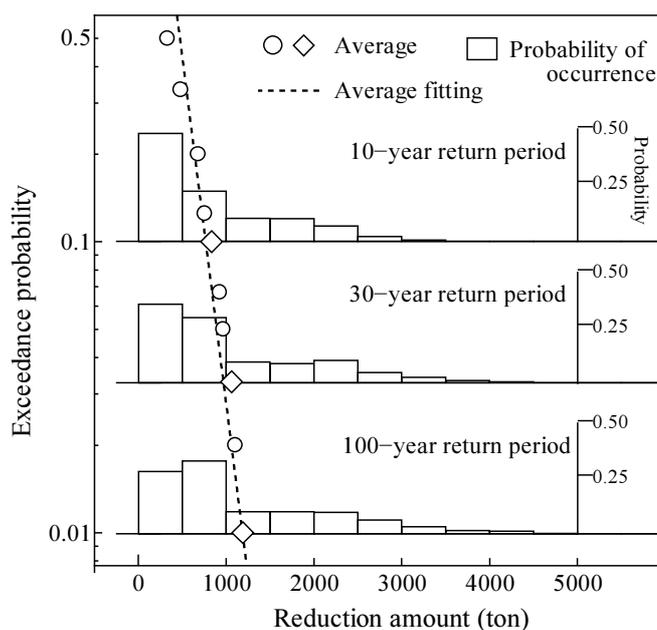


図6 豪雨量の強度と発生月を考慮した水稲被害リスクの不確実性  
(現在期間における10年、30年、100年確率の例)

現在期間と同様に、各RCPシナリオにおいて将来期間の水稲被害リスクとその不確実性の評価を実施した。その代表として、最も気候変動の影響が大きいとされるRCP8.5シナリオ下における10年確率時の水稲被害量の推定結果を図7に示す。

現在から将来にかけての分布は重なる部分も多いものの、発生頻度のピーク位置は現在で0～500tであったものが21世紀末には500～1000tへと移動していた。同様に平均値についても徐々に増加し、現在期間の約832tから近未来の範囲でも約133t増加して965tとなり、21世紀末では200t以上増加して1050tとなった。この21世紀末の平均値は、現在期間の30年確率の雨量分布を用いた場合の平均値とほぼ同等であった。さらに最大規模の被害を見ると21世紀末では4500tとなるなど、現在期間より1000t以上も大きな値が発生した。

### (3) 被害リスクの統計的評価

次に、リスクの将来変動の傾向を分布形状の変化で評価するため、金融工学等の分野でよく用いられる期待ショートフォール（以下、ES）の概念を導入し、被害リスクを統計的に評価した。

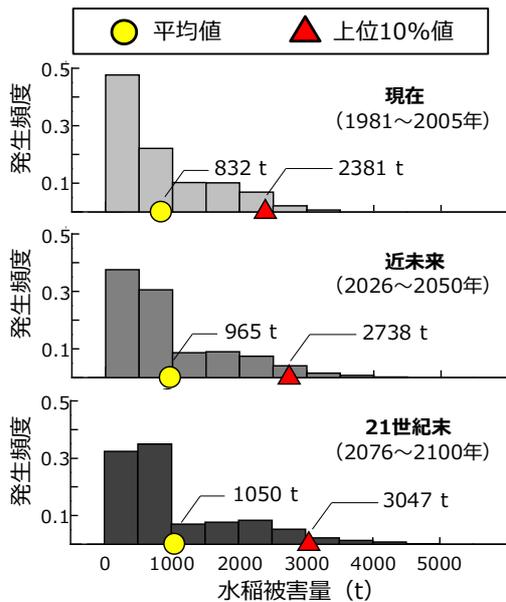


図7 水稻被害リスクの評価結果  
(RCP8.5 ; 10年確率)

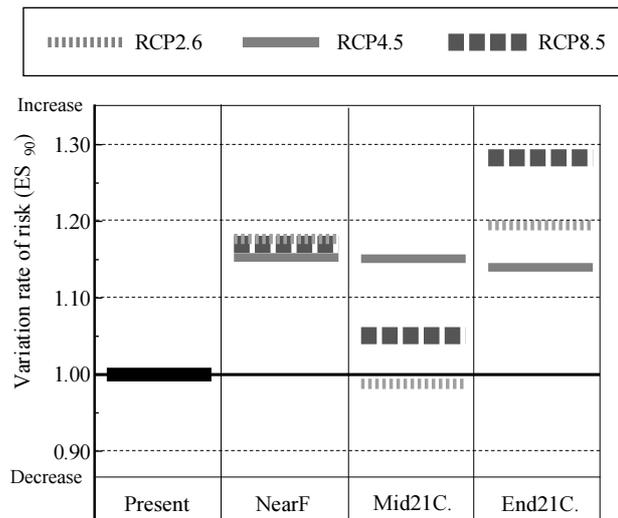


図8 将来のリスク変動割合  
(10年確率雨量の例)

期待ショートフォールは、確率変数Xに関してある閾値を超える部分の期待値であり、確率変数Xを損失額とし閾値を信頼水準 $\alpha\%$ （例えば90%）における値とすれば、損失がその値を超える場合の平均損失となり、 $ES_{\alpha}$ と表示する。この値はリスク分布の裾野に対する情報を表しており、本研究ではこの値を比較することで現在から将来にかけてのリスク変動の指標に用いた。

ここでは、10年確率雨量時の水稻減収に伴う被害額の $ES_{90}$ に注目し、現在から将来の評価期間毎に比較した。被害額の算定では、H27年度産玄米の相対取引価格を参考に、60kg当りの玄米単価を13000円とし、単価は将来も変化がないと仮定した。ここでは、3通りのRCPシナリオのそれぞれで近未来、21世紀半ば、21世紀末の $ES_{90}$ を算定し、それぞれの結果を現在期間のものと比較して値の変化割合で評価した。結果を見ると（図8）、RCP8.5下における21世紀末にはリスクが現在の1.28倍になると評価された。このように、本研究の手法によって気候変動予測におけるシナリオの不確実性を考慮して、水稻被害リスクの評価に反映させることができた。

### 3) 成果活用における留意点

開発した流域規模で豪雨・洪水による水田の被害を評価する手法の適用事例では、手法の一部分である水稻減収尺度に冠水による被害のみを考慮している。倒伏や土砂堆積等の他の要因による被害を含めて考慮するためには、別途減収率を加算する必要がある。

### 4) 今後の課題

残された課題として都市域を含めたリスクの評価と、その結果に基づく流域一体での水管理手法の検討が挙げられる。これについては、リスクの評価に都市域を取り扱うことができる解析モデルを適用することで対応可能と考えており、次ステップの課題として今後取り組む予定としている。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	91140	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価		
実行課題名	沿岸部農地における浸水被害の広域リスク評価		
実行課題責任者名・研究機関	桐 博英・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門		

## 1) 研究目的

沿岸部の農地は地盤標高が低く、気候変動に伴う海面上昇や台風の強大化による浸水や排水不良の増加が予想されている。沿岸部の農地における高潮被災リスクの気候変動の影響は、これまで有明海沿岸の農地海岸を対象に評価されてきた。しかし、九州以東で台風強大化の影響が大きい可能性があることや東北地方沿岸部を中心に大規模な地盤沈下が生じていることから、全国を対象にした農地の高潮被災リスク評価が求められている。また、農地海岸は要保全海岸線の11.6%を占めるが、建設海岸に指定されている中にも背後に農地を有するものが多くあり、農地海岸だけでは沿岸部の農地の高潮被災リスクを評価できない。本研究では、日本全国の沿岸部農地を対象に、発生しうる高潮偏差の確率評価を行うとともに、浸水被害域分布の気候変動影響を明らかにする。

## 2) 研究成果

### (1) 高潮潮位偏差マップの作成

気象庁の台風のベストトラックデータ (BTデータ) から抽出した、1951年～2015年に日本に接近した台風と上陸した台風の個数を図1に示す。日本には年平均11.5個の台風が接近し、そのうち2.9個が上陸しているが、この数では日本全国の農地海岸を対象に高潮の確率評価を行うのに十分な数を確保できない。このため、確率台風モデルにより台風を生成し、高潮の潮位偏差の非超過確率を評価した。台風の評価領域を東経112～166°、北緯6～48°に設定し、この領域を1.5°グリッドに分割した各格子を通過した台風の属性データを抽出し、統計処理を行なった。ここで対象とした台風属性は、中心気圧、移動速度、移動方向とし、台風半径は中心気圧深度から評価した。確率台風モデルで100年分の台風を発生条件を表1のとおり変化させた30ケースの台風を生成し (図2)、日本全国を包含する領域のモンテカルロシミュレーションを行った。高潮の解析結果から、再現期間20年、50年および100年の潮位偏差マップを作成した (図3)。得られた潮位偏差マップから、再現期

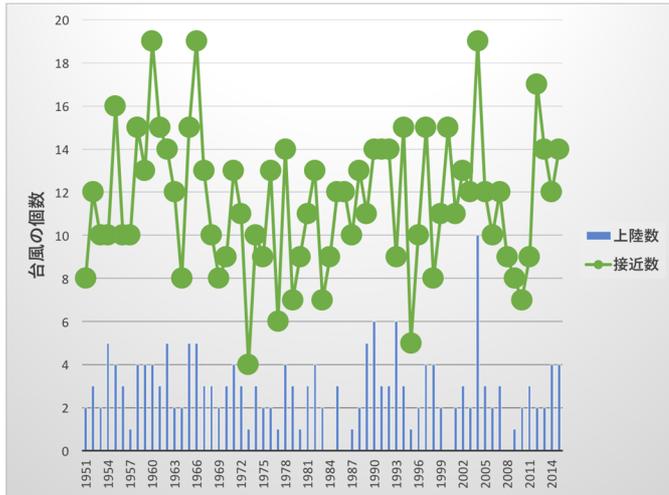


図1 日本に接近した台風と接近した台風の数の推移 (1951~2015)

表1 台風ケースと発生条件

Case	東シフト量(°)	北シフト量(°)	発生数倍率
1-6	0.0	0.0	1.00
7-8	0.5	1.65	0.79
9-10			0.90
11-12		0.79	
13-14	0.9	2.15	0.90
15-16			0.79
17-18		0.90	
19-20	1.4	1.65	0.79
21-22			0.90
23-24		0.79	
25-26	2.15	1.65	0.90
27-28			0.79
29-30		0.90	

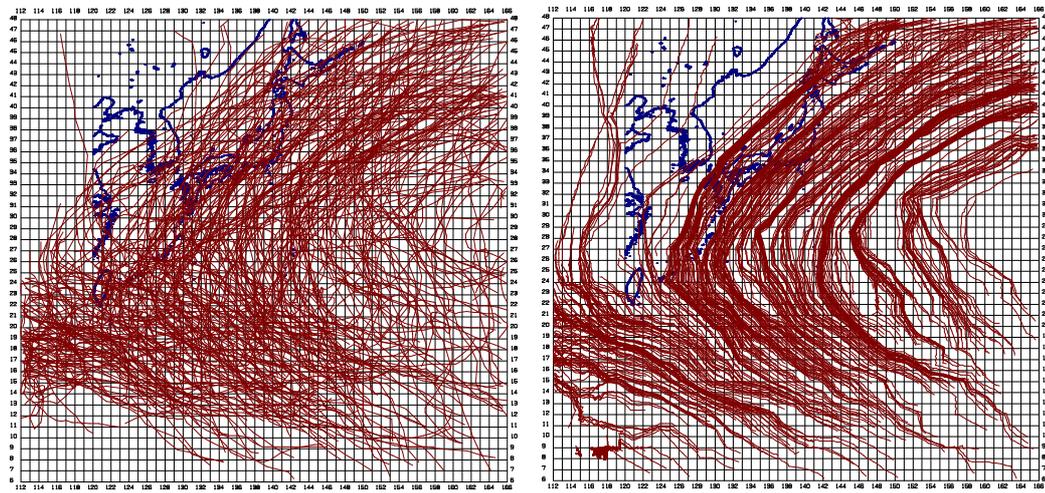
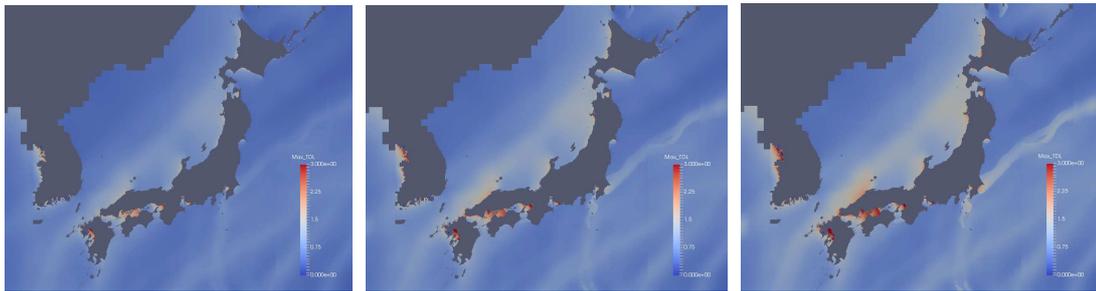


図2 確率台風モデルによる台風の生成例 (左: BTデータ、右: 確率台風)



a) 20年確率  
4.028m

b) 50年確率  
5.006m

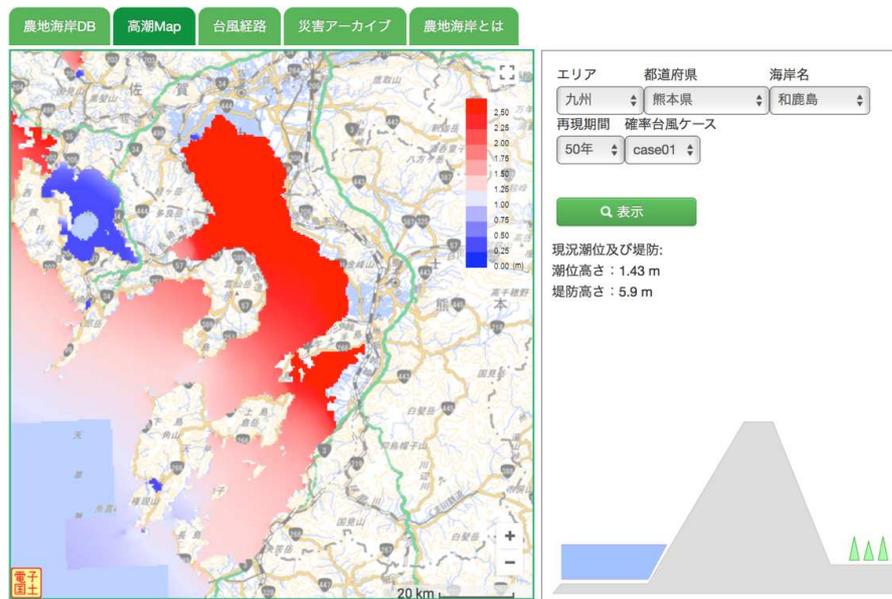
c) 100年確率  
6.055m

図3 高潮潮位偏差マップ (ケース1、数値は最大潮位偏差を示す)

間が長くなるごとに同じ地点で潮位偏差が高くなる傾向があること、北海道～東北地方日本海側は、長期的には高潮被害の危険性があることを明らかにした。

(2) 農地海岸データベースの構築

海岸の管理は都道府県が担っており、気候変動の影響で頻発が予想される大規模な高潮災害のように都道府県をまたがる災害では、その全体像の把握が困難になっている。このため、全国の農地海岸の位置、諸元をデータベース化し、高潮の危険が予想された場合に被害が見込まれる海岸を容易に検索できるシステムを構築した。また、高潮のモンテカルロシミュレーションで得られた高潮潮位偏差マップを沿岸農地データベースと連携し、全国の農地海岸における将来の高潮潮位偏差を把握するシステムへと発展させた（図4）。本データベースは、今後の海岸保全施設の改修における余裕高算定や高潮に関する啓蒙活動に活用できる。



a) 検索された海岸における将来の高潮と堤防諸元の比較



b) 検索された海岸において潮位偏差が大きくなる台風の検索

図4 農地海岸データベースの表示例

### (3) 高潮浸水危険度の評価

高潮浸水解析では、高潮潮位偏差のデータを沿岸農地データベースに連携する改良を行うとともに、岡山県の児島湾干拓地をモデルに浸水シミュレーションを行い、児島湾締切堤防の破堤を想定した児島湖（調整池）および内部干拓地の浸水特性を評価した（図5、6）。

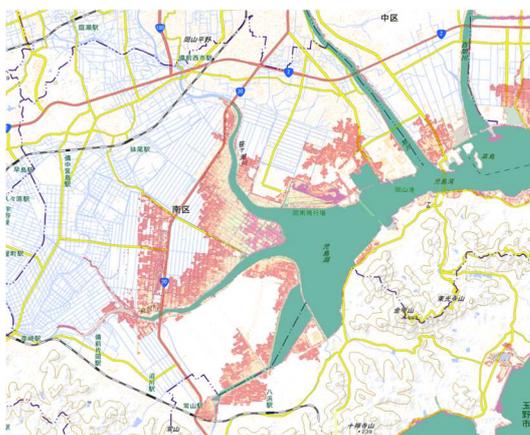


図5 児島湾の浸水マップ

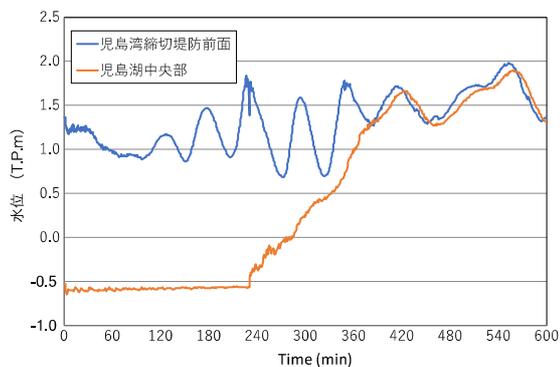


図6 児島湾と児島湖の水位変動

### 3) 成果活用における留意点

構築した農地海岸データベースは、一部に取り扱いを慎重にすべき情報が含まれているので、利用制限等について留意する必要がある。また、高潮浸水解析では、内閣府から提供されているデータに一部標高が乱れている地点があるので、解析結果をもとにハザードマップを作成する際に解析結果を精査する必要がある。

### 4) 今後の課題

今後は、気象予報とリンクすることで台風接近時にAIを活用して類似台風を抽出し、早期に樋門・閘門の閉鎖や排水操作を行うための支援システムへと展開が期待される。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	91150	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	農業水資源及び土地資源における脆弱性への影響評価		
実行課題名	極端現象が地下ダムや淡水レンズに及ぼす影響評価法の開発		
実行課題責任者名・研究機関	白旗 克志・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門		

## 1) 研究目的

地質条件により地表水開発が困難な南西諸島等においては、農業用水源を地下水に頼らざるを得ない。沿岸部の塩水浸入地域や島嶼の淡水レンズ賦存地域では、可能な場合には地下ダム技術も適用しつつ、利用できる地下水資源量を最大限利用している。気候変動に関する政府間パネルの「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書」では、気候変動に伴う極端現象（豪雨や渇水）の激化を予想しているが、その地下水資源への影響は、上記のような地下水依存地域において地域農業の盛衰を左右する重大な意味を持つ。このため本課題では、極端現象の激化が地下ダムや淡水レンズの農業水資源に及ぼす影響の評価手法を開発することを目的とする。

## 2) 研究成果

### 【地下ダムへの影響評価】

地下ダムについては、農業用水源として運用されている沖縄県内の塩水浸入阻止型地下ダムにおいて、対象地下ダムの管理の中で監視が続けられている貯留域の最深部の残留塩水塊の分布やその変化を調査・観測した。貯留域内の多数の地下水観測孔において塩分濃度の指標である電気伝導度の深度別測定を行った結果から残留塩水塊の分布を把握した。既往の文献による止水壁完成時の残留塩水塊分布との比較により、止水壁完成後十数年たった時点で塩水塊分布の拡大はみられないことを明らかにした。また石灰岩分布地域に特徴的な凹地や空洞の点在により存在が推定されている、上流域から貯留域を通り止水壁を越えて下流に向かう卓越して地下水が流れる水みちの周辺で、水位と電気伝導度を自記計を用いて連続的に観測した。その結果、大雨の際には上流域から貯留域への水みちを通る地下水の流入の影響により止水壁直上流で1～2週間一時的に地下水位とともに一定深度の電気伝導度が上昇して残留塩水塊が拡大したようにも誤解され得る現象など、大雨の影響による短期的変化があることを明らかにした。

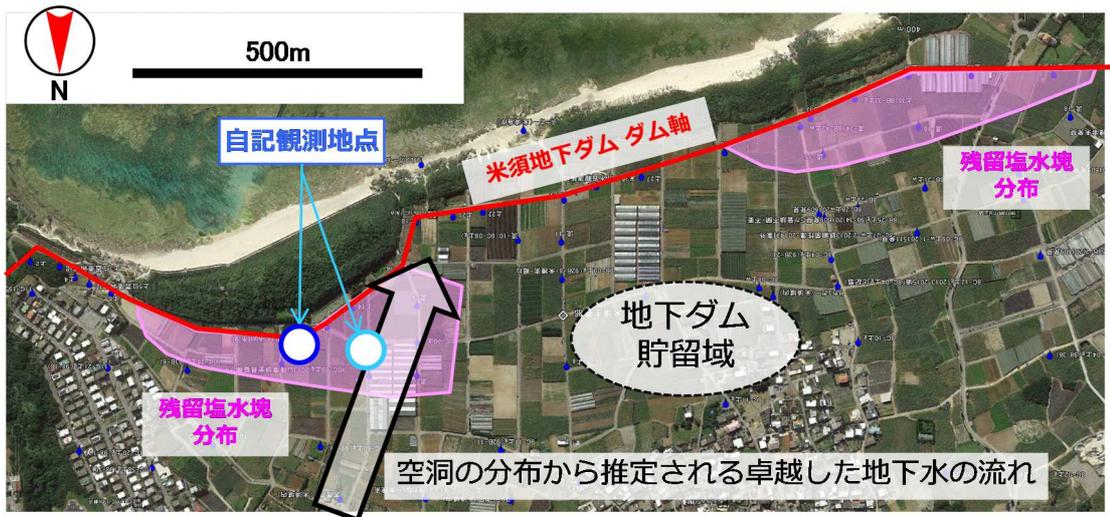


図1 塩水浸入阻止型地下ダムの止水壁完成時の残留塩水塊分布と自記観測位置図

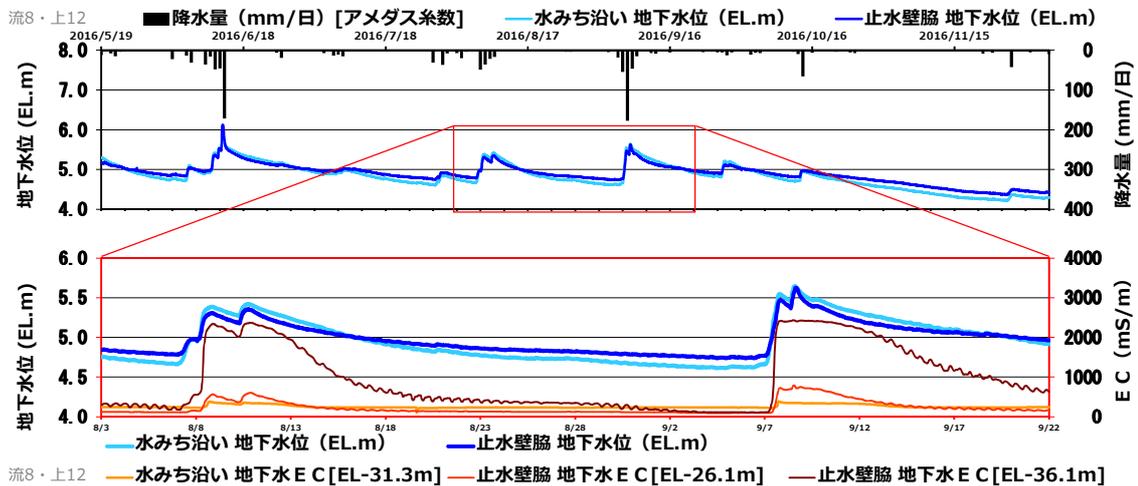
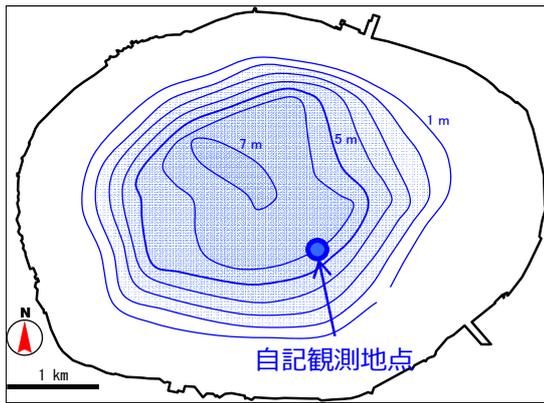


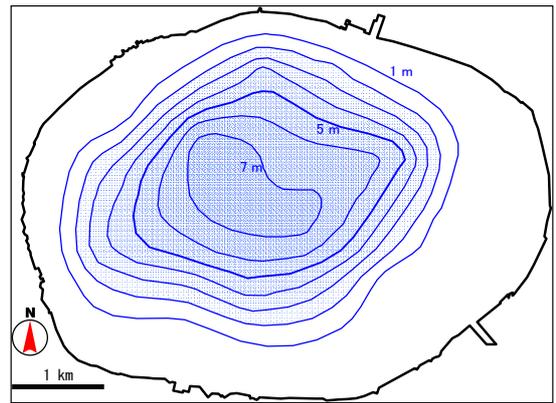
図2 塩水浸入阻止型地下ダム貯留域 止水壁直上流および水みち付近自記観測結果

【淡水レンズへの影響評価】

淡水レンズについては、農業用水源としての開発に向けた調査が継続されている沖縄県内の島嶼において水位と多数深度での電気伝導度の自記連続観測を行った。その結果、淡水レンズの厚さには半日から一日周期の潮位変動の影響による変動が普遍的にみられること、一部の大きな降雨イベントのみが淡水厚増加に寄与すること、台風接近時の気圧低下時には地下水位の上昇幅に比べ淡水レンズ下面境界（電気伝導度200mS/mで定義）の上昇幅が大いため淡水厚が一時的に見かけ上薄くなることを明らかにした。また、地下水位の潮汐応答の分析により帯水層の水理定数を推定する手法を開発し、地下水モデルの構築に反映した。



基図：白旗 (2010) 図-1



基図：石田ら (2011) Fig.8

図3 沖縄県内の島嶼の淡水レンズの分布平面図および観測位置図

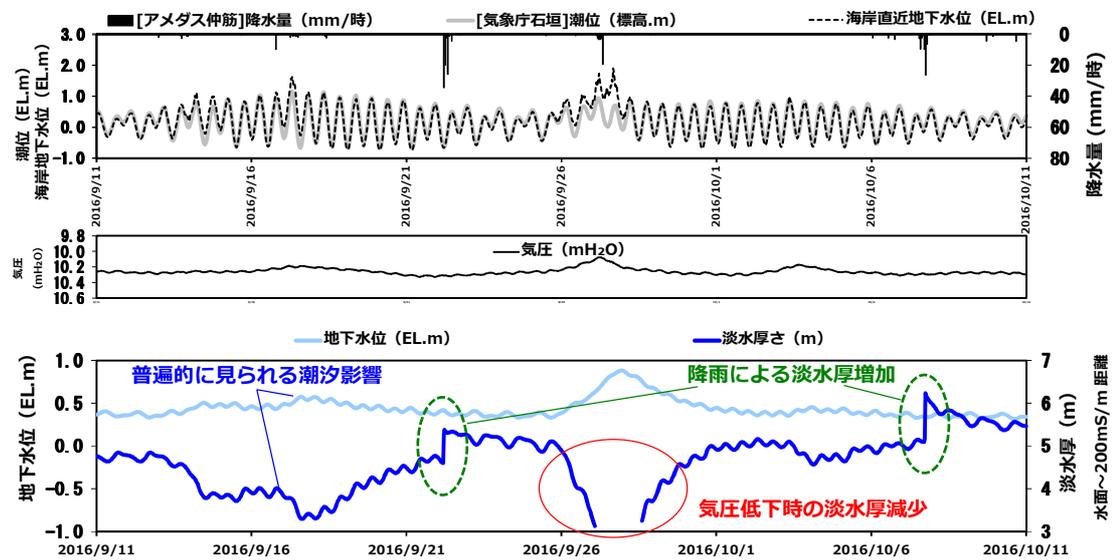


図4 沖縄県内の島嶼の淡水レンズ観測データにみられる色々な要因による短期的な時間変化

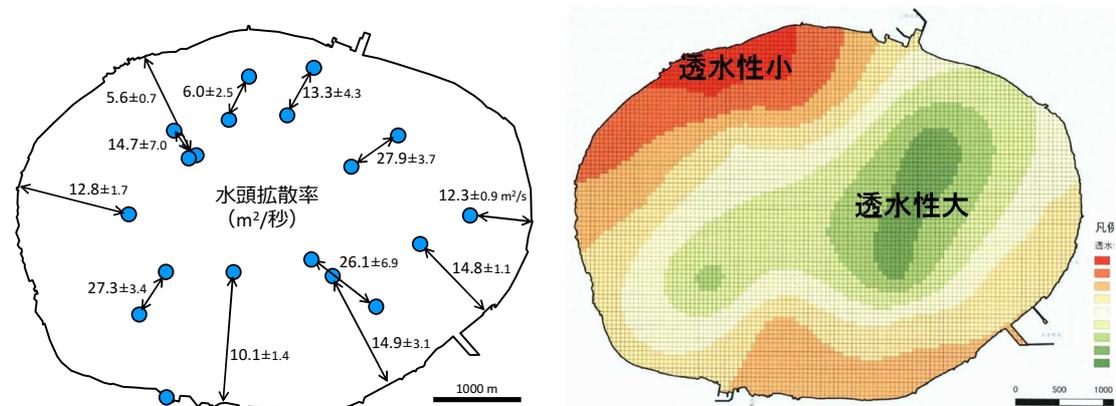


図5 沖縄県内の島嶼の淡水レンズ帯水層の水理定数推定とその地下水モデルへの反映の一例

### 3) 成果活用における留意点

開発した地下水位の潮汐応答の分析による帯水層の水理定数推定手法は、淡水レンズに限らず沿岸域で地下水位の潮汐応答がみられる地域の帯水層に一般に適用できる方法であるが、帯水層の形状等について一定の適用条件がある。また1時間などの一定時間間隔で40日間以上欠測なく続く観測データを必要とし、観測機器の適切な管理による正確な観測が前提となる。

### 4) 今後の課題

地下ダムについては、貯留域内の自記連続観測によって大雨の影響による1~2週間程度の影響のほか、より短い周期で水位や電気伝導度が振動するように変化する観測結果が得られている地点もあり、この要因を明らかにすることは地下ダムの運用・管理とその中で行う残留塩水塊の監視の参考になると考えられる。淡水レンズについては、これまでに明らかにした淡水レンズの厚さや淡水量への色々な変動要因の影響を整理し、また開発した手法をより多くの地点や他地域の沿岸域の帯水層に適用し、手法の適用限界を確認するとともに、水位だけでなく水質観測データを用いた水理定数推定の可能性の検討など手法の拡張を図ることも求められる。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	92110	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	地すべりにおける脆弱性への影響評価		
実行課題名	広域地下水流動系を考慮した地すべり地の豪雨に対する脆弱性評価		
実行課題責任者名・研究機関	土原 健雄・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門		

## 1) 研究目的

気候変動によって発生する極端現象のうち、降水パターンの変化は地すべりの発生に影響を及ぼすと予想される。すべり面の安定性はすべり面の粘着力とすべり面に作用する間隙水圧（地下水圧）によって規定されるが、豪雨等の極端現象は間隙水圧に影響を及ぼすと考えられる。一方で、すべり面に作用する地下水と降雨の関係、地下水の涵養域を明らかにする手法については確立されておらず、地すべりの豪雨に対する脆弱性について評価することは難しい現状がある。

このため、本研究では近年活動した地すべり地を調査地に選定し、複数の環境同位体および従来の水文地質学的調査法を複合的に組み合わせた手法を適用し、すべり面に作用する地下水の涵養域を明らかにする手法を確立し、極端現象に対する地すべり地の脆弱性を評価するための技術開発を行う。

## 2) 研究成果

流域内の降水の水素・酸素安定同位体比は、標高が大きくなるほど低下する相関関係（高度効果）を示す。降水の高度効果は河川水の基底流で代替可能であり（図1）、河川水の基底流の高度関係を用いて地すべり地の地下水の涵養域の推定が可能である。夏季（8月）、秋季（11月）、冬季（2月）の河川水の同位体比の差異は小さく類似した傾向を示すが、融雪期（5月）は他の3時期と異なり、同地点であっても同位体比が小さい傾向にあり、融雪期の河川水のデータは涵養域の推定へは適用できない点に留意する必要がある（図2）。

高度効果から、モデル調査地の地すべりブロックの地下水の涵養域はブロック冠頭部からその上側方向の尾根部までの領域を涵養域に持つことが推定された（図3）。これより、当該地点より標高の高い地域の降水量・降水パターンの変化、豪雨・融雪水の浸透の影響を受けやすいといえ、対策を行う上ではこれら上流部まで含めた解析が必要といえる。また、平時よりも融雪期の見かけ涵養域の標高が低いことが推定され、融雪期には採

水地点近傍の低標高地点からの浸透の影響が大きいことも推測された。

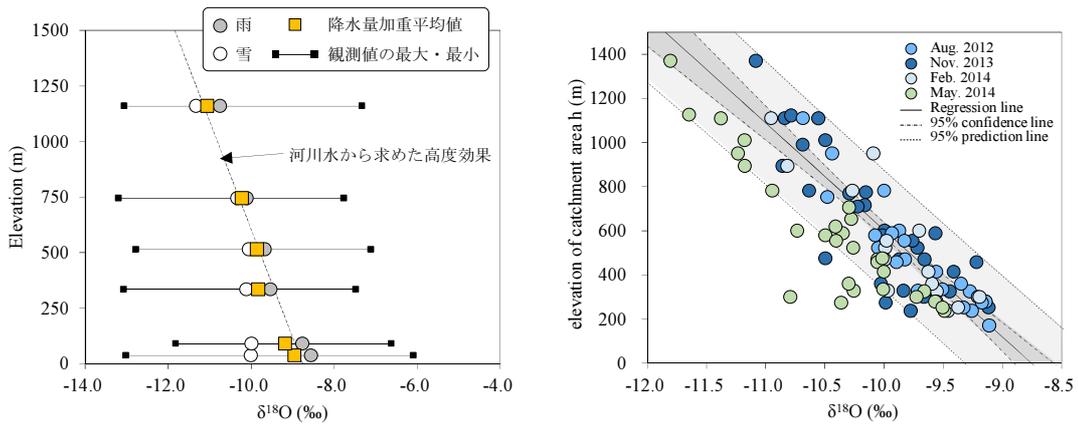


図1：河川水と降水の酸素安定同位体比と標高の関係  
図2：異なる時期の河川水の高度効果

すべり面付近の深部地下水は低い同位体比を示し、涵養域は地すべり地形の境界部より標高の高い地域であると推定された。しかし、深部の地下水のd値は他の地表水・地下水よりも低いことから（図4）、高標高地域から涵養されたと考えるよりは、異なる時代に涵養された古い地下水と推測された。このように、高度効果に基づく地下水涵養域の推定手法の適用の可否はd値により判別が可能といえる。

地すべりブロックを含む流域内の降水の水素・酸素安定同位体比から求められる変数（d値）は冬季に高く、夏季に低い季節変動を示した。地すべり地の地下水のd値は融雪期に上昇し、夏季には低下する傾向を示しており、この変動には再現性が見られた。d値の変動は地点によって異なっており（図5）、d値を指標とすることで、地表からの浸透の影響が大きい地点の推定が可能と考えられる。特に冬季降水量の多い東北・北陸日本海側では同様の手法が適用可能と考えられる。

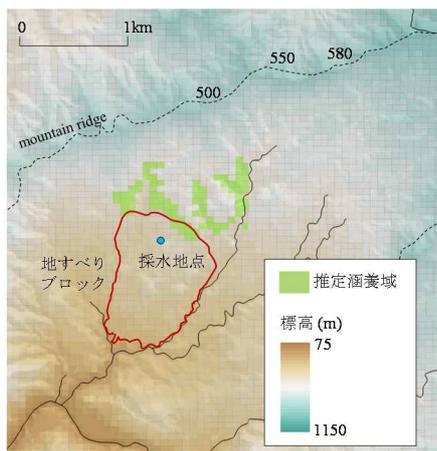


図3：地下水涵養域の推定例

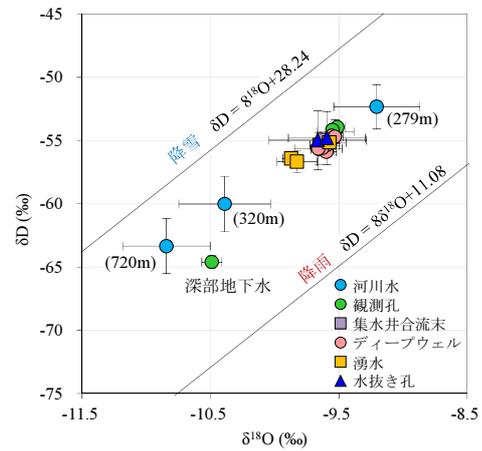


図4：酸素・水素安定同位体比の関係

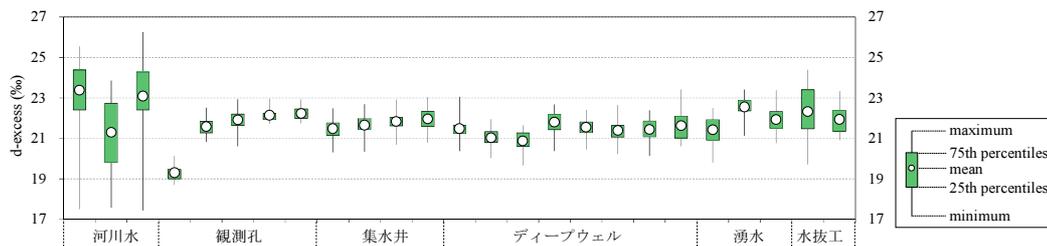


図5：地すべり地および周辺域の地表水・地下水のd値の変動範囲

崩落などによって構造が不均一化した地すべり斜面では、地下水の賦存状態も複雑化しており、地下水の採取にあたっては、調査目的に応じた採取に留意する必要がある。図6に示すように、採水深度をパッカーで閉塞する方法はポンプの揚程内で可能であり、部分開口の調査孔では孔内に長期間滞水している可能性がある。予備揚水によって地盤内地下水を呼び込むとよい。孔内で密閉型リザーバーに充填して回収する方法では、年代測定に必要な外気と遮断した状態の試水を得ることができる。

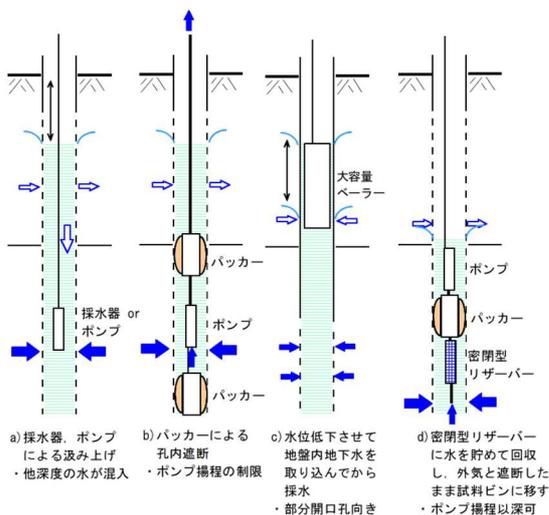


図6：地下水の採取方法

地下水の賦存・流動状態を把握するには、地下水の温度、電導度等の分布状態が補間情報となる。図7は地すべり縦断面の等温線であるが、主帯水層をなしている厚い風化粗粒玄武岩層でのすべり面立ち上がり部付近は低温域が深く、涵養域になっていると考えられる。深部の等温線は地層境界線とほぼ平行で、成層化した流動が考えられるが、ディープウェル、集水井による地下水排除個所周围では地下水位の低下とともに温度上昇が見られる。オールストレーナ型調査孔は孔内流動が生じるので、温度検層には部分ストレーナ型やガイドパイプが適する。

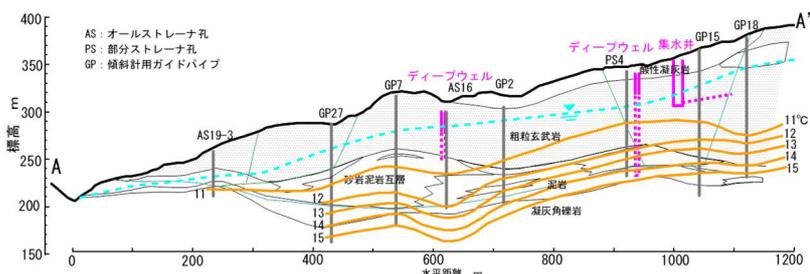


図7：地すべりブロック縦断面の地下温度分布

大深度すべり面に作用する間隙水圧の低減を図るためには、ディープウェルによる強制排水や、すべり面以深の排水トンネルによる地下水排除が必要となり、その効果検証には地下水流動系を踏まえた手法が必要になる。図8は冠頭部に設置されたディープウェルと集水井、深部調査孔の地下水の水質指標として  $[(Ca^{2+}+Mg^{2+})/HCO_3^-]$  の経年変化を示す。調査孔では変化がないが、集水井とディープウェルは融雪期に増大し、涵養量の増加を表している。地下水排除工の整備に伴ってディープウェル排水量は減少したが、浅層

地下水（集水井）と深層地下水（調査孔）の $\text{HCO}_3^-$ 混合比で算出したディープウェル排水の浅層水比率は90%前後に収斂した。

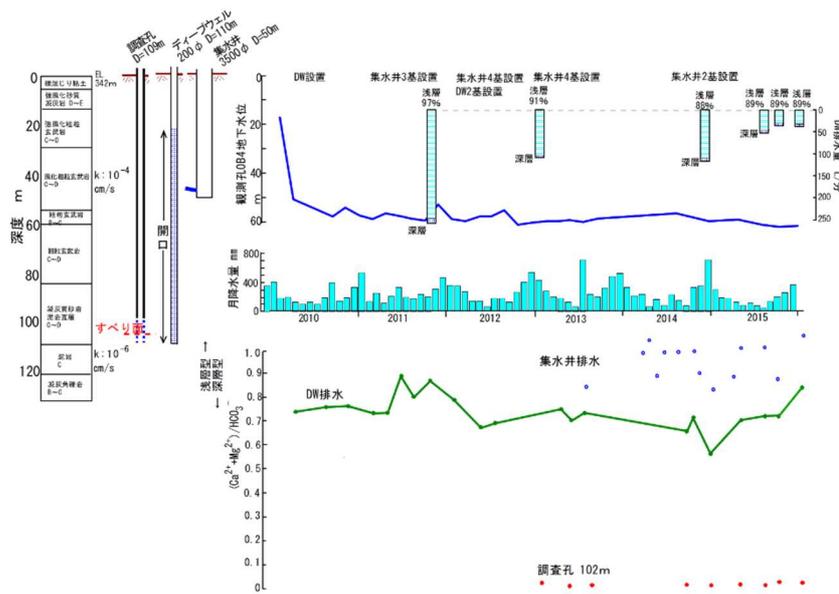


図8：ディープウェル排除水の水質変化

排水トンネルによる地下水排除は、トンネルから掘削した集水ボーリングによることが多いが、地すべりブロック冠頭部を横断するトンネルに地上から貫通させた落とし込み井戸を配置する立体排水工の断面図を図9に示す。落とし込み井戸は通常の井戸と異なり、内部に水位がないので、井戸理論の適用が難しい。深度別地下水採取装置をベースに開発した流量測定ゾンデで落とし込み井戸の深度別流下量を測定した結果、主要帯水層である粗粒玄武岩層が厚いところは排水量が多く、同層下部が落とし込み井戸への優勢な湧出域であると考えられた。湧出域上端を地下水位とすると、対策前の原地下水水位より45m程度低下したと推測できる。落とし込み井戸の排除水と集水井、深部観測孔の地下水の $\text{HCO}_3^-$ 濃度を指標として排除水の浅・深割合を算出すると、95%以上が主要帯水層の地下水であるが、深層地下水も排除している。地上に開口した落とし込み井戸は空気を吸い込み、閉鎖空間である排水トンネル内の換気機能を果たしていることが明らかになった。また、浅層地下水の排除を目的とする集水井の排水先となること等が立体排水工の特長となる。

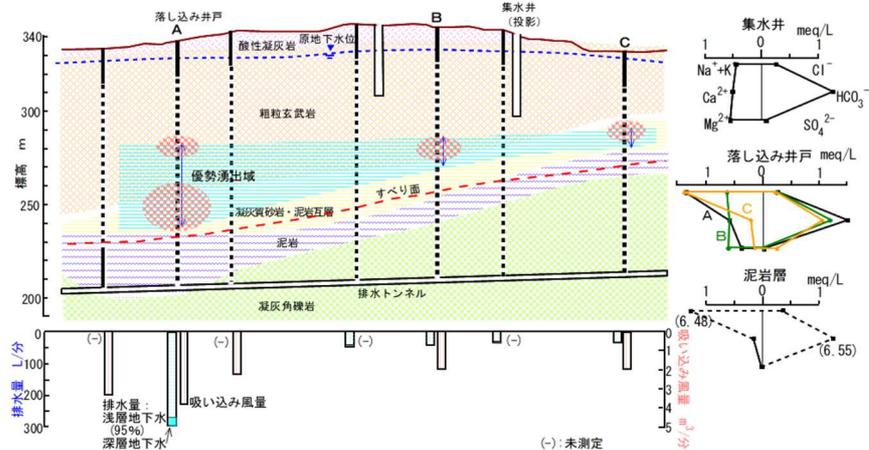


図9：地すべりブロック横断面と立体排水工の排水量、吸い込み風量

### 3) 成果活用における留意点

モデル調査地に適用した安定同位体比の高度効果は地域・流域によって異なるため、適用する地域ごとに別途求める必要がある。その際に河川水の同位体比の高度効果を求める場合は、基底流とは同位体比が異なる雨天時や融雪出水時のデータを除外する必要がある。

### 4) 今後の課題

開発された調査手法は、モデル調査地が位置する東北地方日本海側でその有効性を確認した。今後は、夏季の降水量が多い太平洋側地域でのこれらの手法の適用可能性についても検討が求められる。地すべり対策は長年にわたって続けられてきたが、今後の気候変動によって発生要因に変化がある場合、さらなる防災対策が必要となる。そのためには、地すべり斜面をとりまく水文条件の解明と既設施設の機能診断に基づく抑制力の検証、補強のための手法が求められる。

委託プロジェクト研究課題番号	13406629	研究期間	平成25～29年度
実行課題番号	92120	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価		
小課題名	地すべりにおける脆弱性への影響評価		
実行課題名	極端現象の増加による花崗岩山地の表層崩壊発生リスクの変動予測		
実行課題責任者名・研究機関	大丸 裕武・国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所		

## 1) 研究目的

今後の温暖化によって日本列島の降雨分布が大きく変化し、多くの地域で極端な豪雨の頻度が増大する可能性が指摘されている。このため、森林の利用も今後起こりうる気候変動の影響を想定した上で行う必要がある。わが国の山地では森林の状態が山地斜面の崩壊リスクに大きな影響を与えるため、温暖化が山地の災害リスクに与える影響を予測する際には、森林の状態と崩壊リスクとの関係を、降雨を指標として評価できる手法が必要であるが、このような予測手法の開発は進んでいない。近年の森林の崩壊防止機能の評価は、物理モデルを用いて行われているものもあるが、広域に適用できるレベルに達していないため、過去の崩壊事例をもとにし、植生の機能と降雨指標を導入した統計的なモデルを開発する必要がある。

国内の山地の中でも花崗岩地域の山地（以下、花崗岩山地）では、森林の破壊を引き金とした土砂災害がとくに発生しやすいことが知られている。花崗岩山地では粘着力の低い風化土が生成されやすく、植生による保護を失うと崩壊リスクが急激に増大する特性がある。したがって、温暖化によって豪雨頻度の増大が予想される地域の中でも、とくに花崗岩山地については温暖化が崩壊リスクに与える影響の予測を急ぐ必要がある。

森林総合研究所では、本プロジェクト前身の森林適応プロジェクトにおいて、南九州の市房山では伐採によって、崩壊の閾値となる雨量（崩壊基準雨量）が3分の1以下に低下したことを明らかにした。本課題では、将来降雨の増大が予測される、阿武隈山地などの花崗岩山地をモデルフィールドとして、花崗岩山地における温暖化時の崩壊リスクの上昇についての予測を行うとともに、森林の状態が崩壊リスクに与える影響についても評価を行う。さらに、特定の地域を対象として森林の影響を考慮した崩壊に対する温暖化影響予測を行った上で、より広域的な温暖化影響予測を行う際の適切な解析方法やデータの整備方法を明らかにする。

## 2) 研究成果

花崗岩山地は国内でも災害が起こりやすい場所として古くから認識されてきた。花崗岩の風化生成物（マサ土）は粘着力が小さいために、森林の破壊によって樹木根系の粘着力が失われると、極めて崩壊や侵食が起こりやすくなる。かつてのハゲ山荒廃が示すように、花崗岩山地は森林破壊等の植生変化の影響をきわめて受けやすく、将来の温暖化による災害リスクの上昇に対応した森林管理のありかたを考えるうえで重要な地域である。

表1は、第二次大戦後に国内の花崗岩山地で発生した災害の中から、集団的崩壊が発生した事例をまとめたものである。また、図2はこれらの事例を地図上で示した。これをみると、災害の多くは九州北部から、中国地方を経て東海地方に至る小起伏山地（起伏量200m以下）や中起伏山地（同200~600m）で発生している例が多い。崩壊の原因となる花崗岩の風化物質には、白亜紀~中新世の準平原化作用を受けた時代に形成された風化殻に由来するものが多い。日本列島が鮮新世以降に隆起する過程で、大起伏山地では崩壊や侵食によって風化殻の大部分が流出してしまい、崩壊予備物質が失われたために表層崩壊が起こりにくい条件にあると考えられる（図1）。例えば、1961年の天竜川流域の山地災害（36災害）では、小~中起伏山地が分布する小渋地区の花崗岩山地では表層崩壊が多発したが、大起伏山地の大西山では表層崩壊は少なく深層崩壊が発生するなど山地の地形・地質特性による崩壊発生形態の違いが認められた。隆起小起伏面周辺の花崗岩山地で崩壊が多発していることは、上述したような風化殻生成の地史的な背景を考慮すると理解しやすい。

また、花崗岩の風化生成物であるマサは砂質で水による侵食を受けやすく谷埋め土砂の流出による土石流が発生しやすい。このような土石流災害では源頭部の崩壊に由来する土砂の量は比較的小さく、流出した土砂の大部分は谷埋め堆積物に由来することから、谷自体が（流送域ではなく）土砂の発生源として重要な意味を持つ。このような“谷抜け型崩壊”（大丸，2015）は、近年では2014年の広島市の災害や南木曾町の災害で発生しているが、中起伏山地を中心に古くから発生している。

以上のように、花崗岩山地の土砂災害では板状の表層崩壊以外にも、谷抜け型の崩壊や深層崩壊など、多様な形態の崩壊が見られる。板状の表層崩壊には崩壊深1m以下の浅いものが多いが、谷抜け型崩壊や深層崩壊では根系層以下の土砂が流出するケースが多く、樹木根系の効果は限定的であると考えられる。2017年の九州北部豪雨では、人工林においても多数の崩壊が発生したが、森林の崩壊防止機能の上限を示唆するような崩壊が多発していることも近年の災害の特徴として指摘できる。ただし、全体的に既往研究例をみれば森林の効果期待しやすい、浅い表層崩壊が同時多発的に発生するタイプの災害の多くは深層風化が進行した花崗岩山地で発生しており、温暖化で雨量が増大した場合に、崩壊リスクに注意すべき地域と言える。それらの分布は侵食小起伏面の分布と類似すると考えられる。このような地域を推定するため、3次メッシュ国土数値情報で平均傾斜が20度以下で、古第三系からなり（産総研の地質図で古第三紀以前の地質に分類されるメッシュ）、山地（国土地理院の地形区分で山地とされるエリア）を抽出した。図2において、ピンク色で示された花崗岩の分布域の中の灰色のメッシュ（傾斜20度以下の山地）の周辺では風化花崗岩が多く分布することが推定される。

上述したように、花崗岩山地では森林の破壊が崩壊の多発化につながりやすいが、従来の森林の崩壊防止の研究において力学的な面からの評価が多く、森林の存在によって崩壊を引き起こす限界雨量がどのように変化するのかについては不明の点が多かった。そこで、年代別空中写真の解析をもとに、森林の状態が崩壊発生リスクに与える影響について考察した。南九州の市房山では、1960年代後半から1970年代に大規模な森林の伐採がおこなわ

れ、伐採された斜面において崩壊が多発した（図3、4）。伐採前後の雨量データの解析から崩壊発生の閾値となる雨量（崩壊基準雨量）の変動を解析したところ、伐採後には崩壊基準雨量が3分の1以下に低下したことが明らかになった（図5；Saito et al., 2017）。このように、森林が崩壊リスクに与える影響を雨量を指標として表現できたことは、今後の温暖化に対する森林管理を通じた適応策を考えるうえで重要な意義を持つ。

森林山地においては温暖化の影響は、風害と豪雨の複合型災害として現れる可能性もある。長野県南木曾岳では1959年の伊勢湾台風の通過の際に大規模な風倒被害を受け、風害後10年間に崩壊発生が顕著となった（図6、7）。崩壊発生数の推移と降水量の経年変化を比較すると、崩壊が多発した1960年代に50年確率を超える降雨が発生していることから、風害直後の記録的な豪雨の発生がその後の常習的な崩壊発生につながったことが示唆された（図7、8）。温暖化による台風の大型化が指摘されていることを踏まえると、このような複合型の災害によるリスクの増大も想定しておく必要がある。

2017年7月の九州北部豪雨によって福岡県朝倉市および東峰村で発生した崩壊の発生条件について解析を行った。その結果、崩壊は12時間雨量が500mm以上のエリアに集中して発生しており（図9、10）、人工林では全体として幼齢林（10年未満）で崩壊発生率（面積あたりの崩壊個所数）が大きい傾向がみられた。しかし林齢の影響は、12時間雨量500mm以上のエリアでは相対的に小さく、極端な豪雨が降ったエリアでは森林の崩壊防止機能に限界があったことが示唆された。また、花崗岩地域では他の地質に比べて崩壊発生率が高い傾向が認められた。

2001年以降に全国の花崗岩山地で発生した斜面崩壊を対象に、崩壊の規模と降雨の再現期間との関係を分析した。気象庁の解析雨量（5 kmグリッドに編集、1988～2017年）を用いて、最大1～72時間雨量（mm/h）と、その統計的再現期間を計算した。再現期間の計算際には、グンベル分布とジャックナイフ法（Saito and Matsuyama, 2015, SOLA）を用いた。

近年花崗岩山地で発生した斜面崩壊の代表的な例として、2014年7月の豪雨で長野県南木曾町で発生した崩壊、2014年8月の広島豪雨に伴う広島市安佐南区の崩壊、2015年9月北関東・東北豪雨に伴う福島県伊達市での崩壊、2017年7月の九州北部豪雨による福岡県朝倉市の崩壊について解析を行った。最も甚大な被害を出した、2017年7月九州北部豪雨の際の、最大12時間雨量分布と、福岡県朝倉市杷木と大分県日田市小野（参考値）での最大1～72時間雨量とその再現期間の分析結果を図12に示した。2017年7月九州北部豪雨では、すべての降雨時間で再現期間が100年を超えている。つまり、これらの地点における観測史上、非常に稀な雨であったことを示している。その中でも特に、最大12時間雨量の再現期間が非常に大きかった（図12）。よって、この災害では最大12時間雨量が、斜面崩壊の発生に最も重要であったことが示された。同様の手法により近年の花崗岩山地の崩壊について計算すると、2014年7月豪雨（南木曾町）の最大の再現期間は20年、2014年8月広島豪雨（安佐南区）の最大の再現期間は152年、2015年9月北関東・東北豪雨（伊達市）での最大の再現期間は7年であった。

個々の斜面崩壊の規模が判明している花崗岩山地での396件の斜面崩壊事例（Saito et al., 2014）について同様に分析し、最大となった降雨の再現期間と斜面崩壊の規模との関係を図13に示した。中央値の傾向からは、規模が $10^3 \text{ m}^3$ 以下の斜面崩壊は、再現期間が10年程度以下の雨で発生しているものが多いことが示された。その一方で、規模が $10^3 \text{ m}^3$ を超える斜面崩壊は、降雨の再現期間が10年を超えていたものが多かった。また再現期間が大き

な降雨イベントでは、斜面崩壊が集団発生したものも多くあった。これらの結果から、花崗岩山地では、再現期間が10年程度を超える降雨イベントにより、大規模な斜面崩壊や、集団的な斜面崩壊が発生しうることが示唆された。

図14はMIROC5のRCP8.5排出シナリオによる計算結果をもとに農業環境研究所が作成した3次メッシュデータから現在（1991~2000）と将来（2091~2100）の7~9月の総雨量の変化率を計算し（図14右）、さらに、現在の7~9月の総雨量（メッシュ気候値による1980~2010の平均）に変化率を乗じることで将来（2091~2100）の7~9月の総雨量を推定した（図14左）。また、同じ図に緩傾斜の花崗岩山地のメッシュ（図2のピンク色の部分と灰色の部分）が重なるメッシュを示した。これによると、中国地方中部から近畿・東海地方、阿武隈山地、北上山地に分布する、風化が進行した緩傾斜の花崗岩山地（灰色のメッシュ）ではいずれも7~9月の降水量が増加すると予想される。ただし、この予測では2017年に災害が発生した九州北部の山地では、それほど顕著な雨量の増加が認められない。このような現実との不一致は気候計算そのものの精度が不十分なことに起因するとも考えられることから、将来の高リスク域の推定についても今後の気候計算の進展や実際の災害事例をみながら継続的に見直していく必要がある。

### 3) 成果活用における留意点

斜面崩壊の規模と降雨の再現期間については、近年発生した斜面崩壊事例で、その分布や規模に関するデータが得られる事例についてのみ分析したものである。また降雨の再現期間の推定には誤差も含まれることが示されている（Saito and Matsuyama, 2015）。より多くの斜面崩壊事例やより長期の雨量データを蓄積していくことが課題である。現在の気候計算では局地的な降雨現象の再現性は不十分でと考えられることから、将来の危険エリアの判定については、今後も実際の降雨観測結果や気候計算技術の進展を見ながら、継続的に見直していく必要がある。

### 4) 今後の課題

実際の森林管理を通じた温暖化適応策を考えるには、地域の自然特性に応じて、より小さい空間スケールで危険箇所を抽出して森林計画に反映する技術の開発が重要である。また、風化花崗岩以外にも砂質火山灰が関与した災害が顕在化していることから、砂質土層の分布に着目した災害リスク予測が重要な課題となる。温暖化による将来の危険エリアについては、今後も降雨観測結果や気候計算技術の進展を見ながら、継続的に見直していく必要がある。

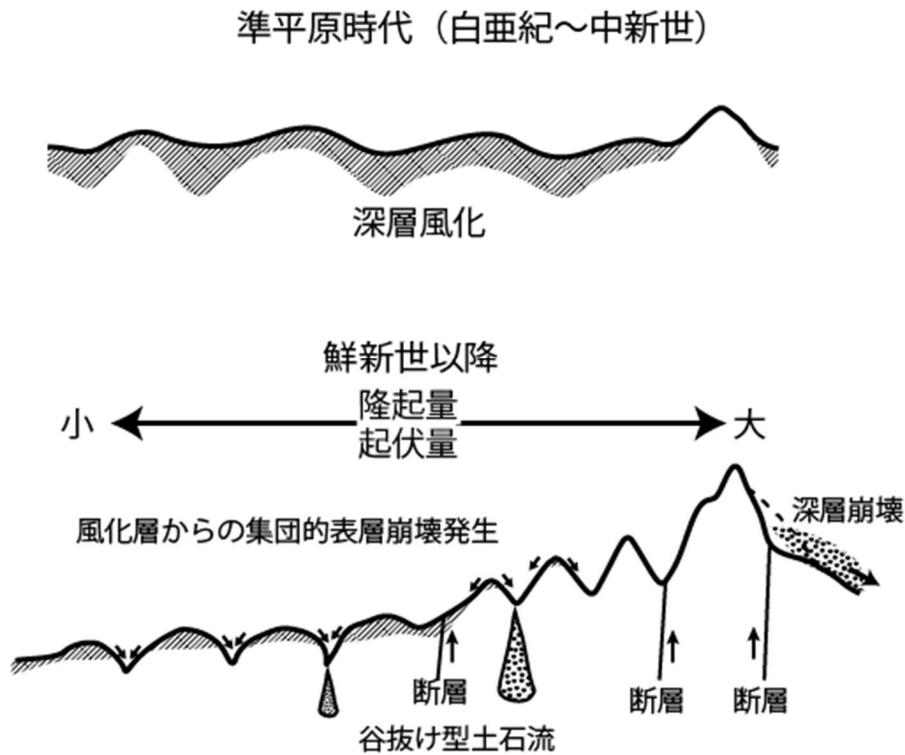


図1 深層風化殻の形成史からみた花崗岩山地の崩壊発生場の類型化

表1 戦後の国内の花崗岩山地における集団的崩壊の主要な発生地  
地形条件の小～大は国土地理院による起伏量区分を現す（小：200m以下、中：200～600m、大：600m以上）

番号	地域名	主要災害発生年	地形条件
1	市房山	1980年代	大
2	福岡県南部(朝倉市他)	2012, 2017	小、中
3	北九州市(門司)	1953	小
4	山口県防府市	2009	小、中
5	広島市・呉市	1945, 1967, 1999, 2014	小、中
6	小豆島	1974, 1976	小、中
7	島根県浜田市周辺	1983, 1988	小、中
8	島根県出雲市	1964	小、中
9	神戸市(六甲山周辺)	1967	中
10	滋賀京都県境	1953	小、中
11	岐阜南部～愛知北東部	1959, 1972	小、中、大
12	長野県南木曾町	1972, 2014	中、大
13	伊那谷	1961	小、中、大
14	川内村	1971	小
15	羽越山地	1967	小、中

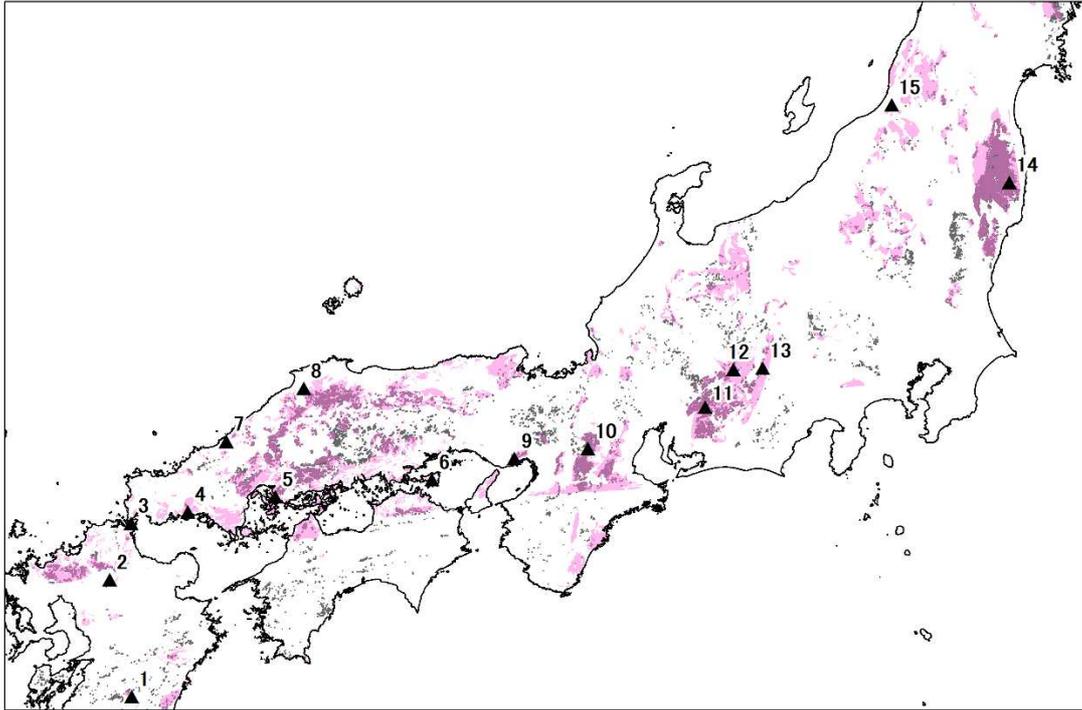


図2 花崗岩山地の分布（ピンク色）と古第三紀系以前の山地の緩斜面（20度以下）の分布（灰色）および花崗岩山地における戦後の主要な集団的崩壊の発生地（▲1～15：表に対応する）

地形・地質データは国土数値情報の250mメッシュデータを、山地域の分布は国土地理院20万分の1土地分類調査データを使用した。

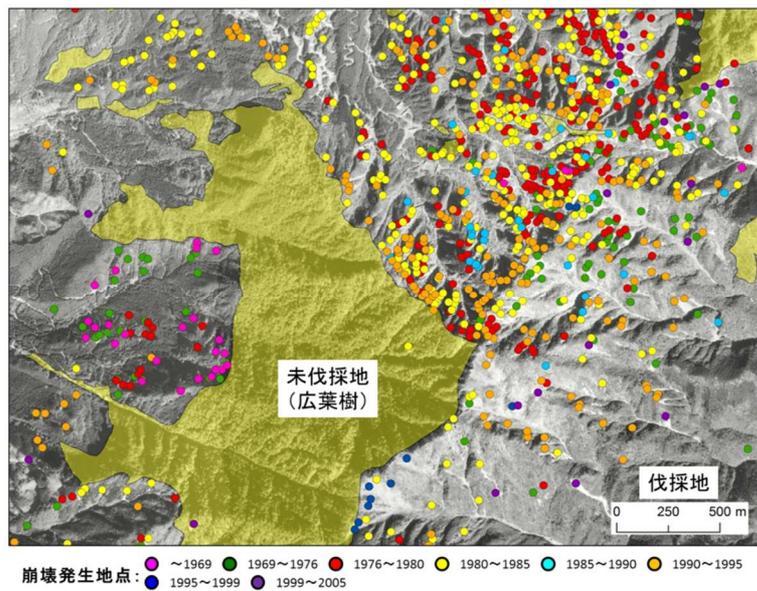


図3 市房山における崩壊発生日の分布

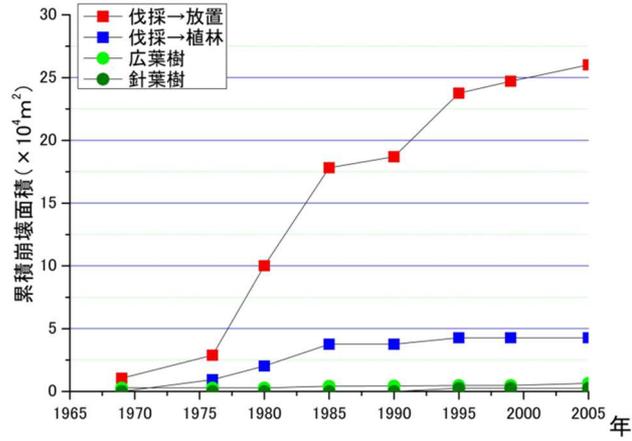


図4 市房山における崩壊面積の推移

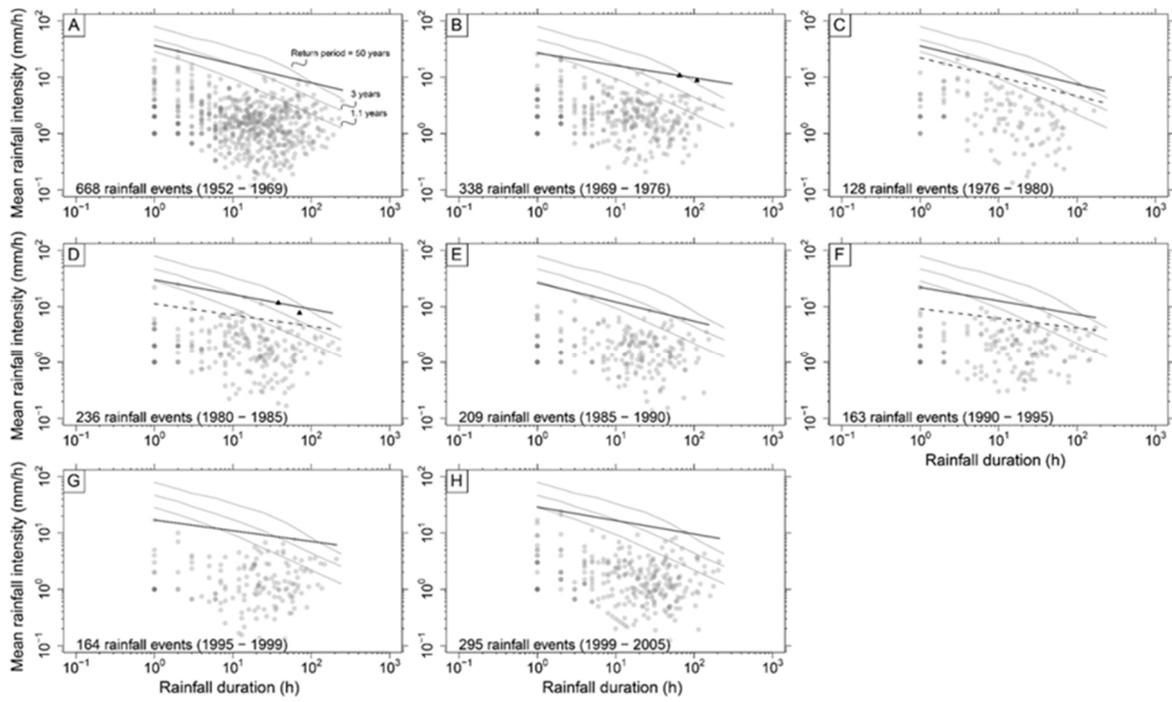


図5 市房山における斜面崩壊の発生と平均雨量強度・降雨継続時間および確率雨量との関係 (Saito et al., 2017)

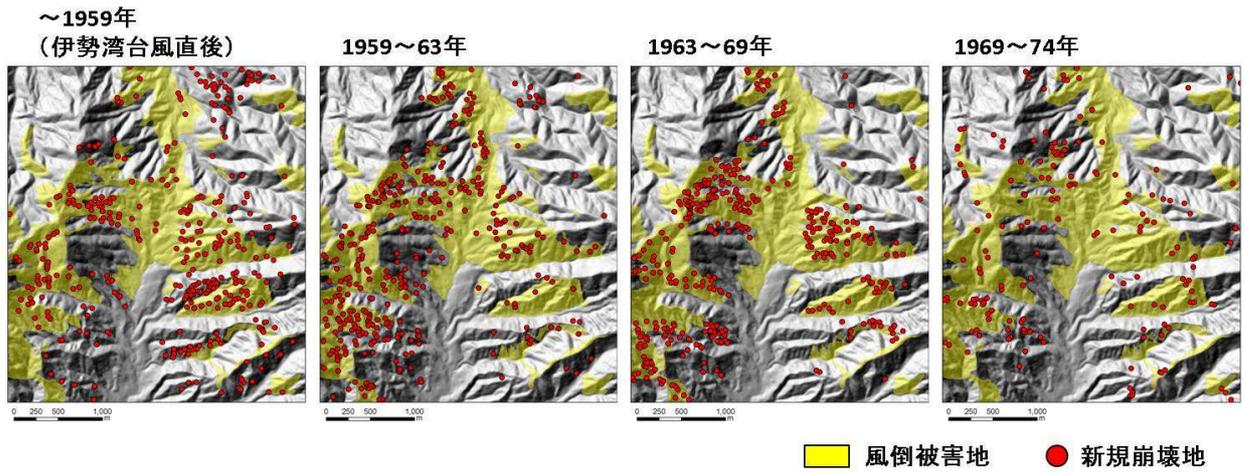


図6 長野県南木曾岳東方山地の風害跡地における崩壊発生の推移

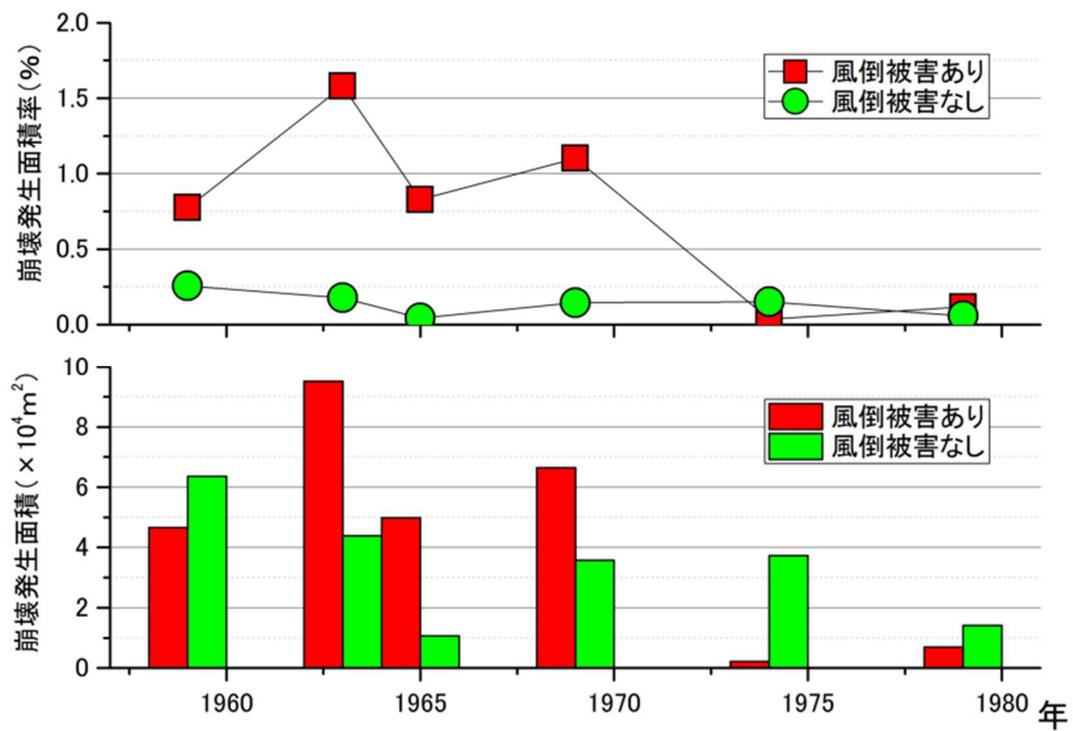


図7 南木曾地域における崩壊面積の推移

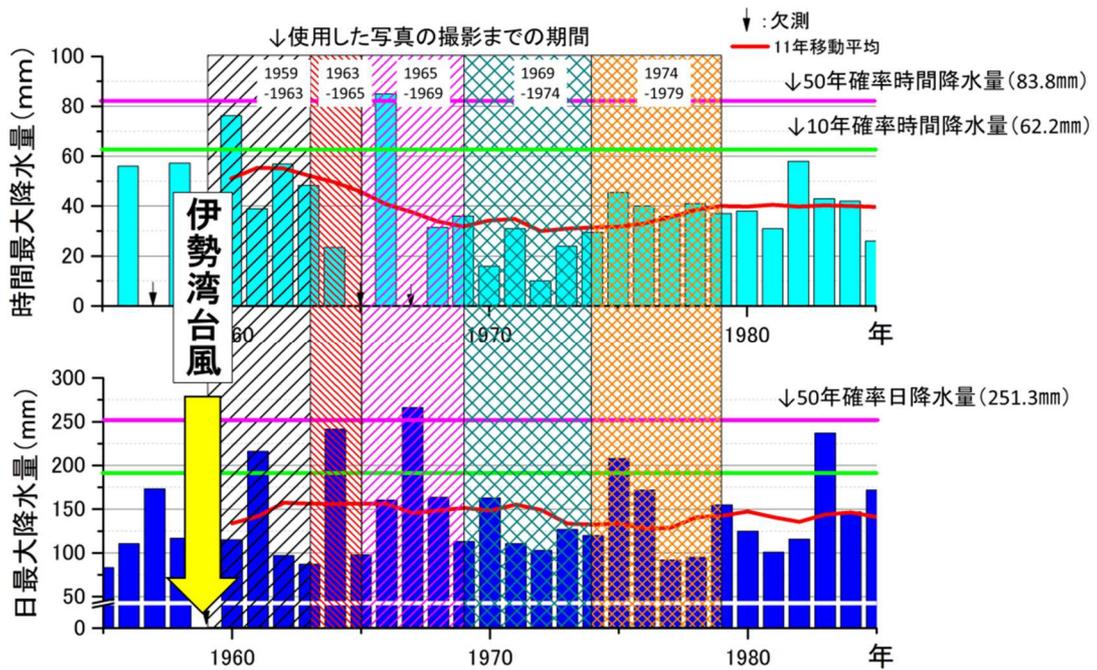


図8 南木曾地域の1955～1985年までの日最大降水量および時間最大降水量。1976年までは国土交通省三留野観測所、以降はAMeDAS南木曾の雨量データを使用した。確率降雨は2014年までの降水量データより算出した。

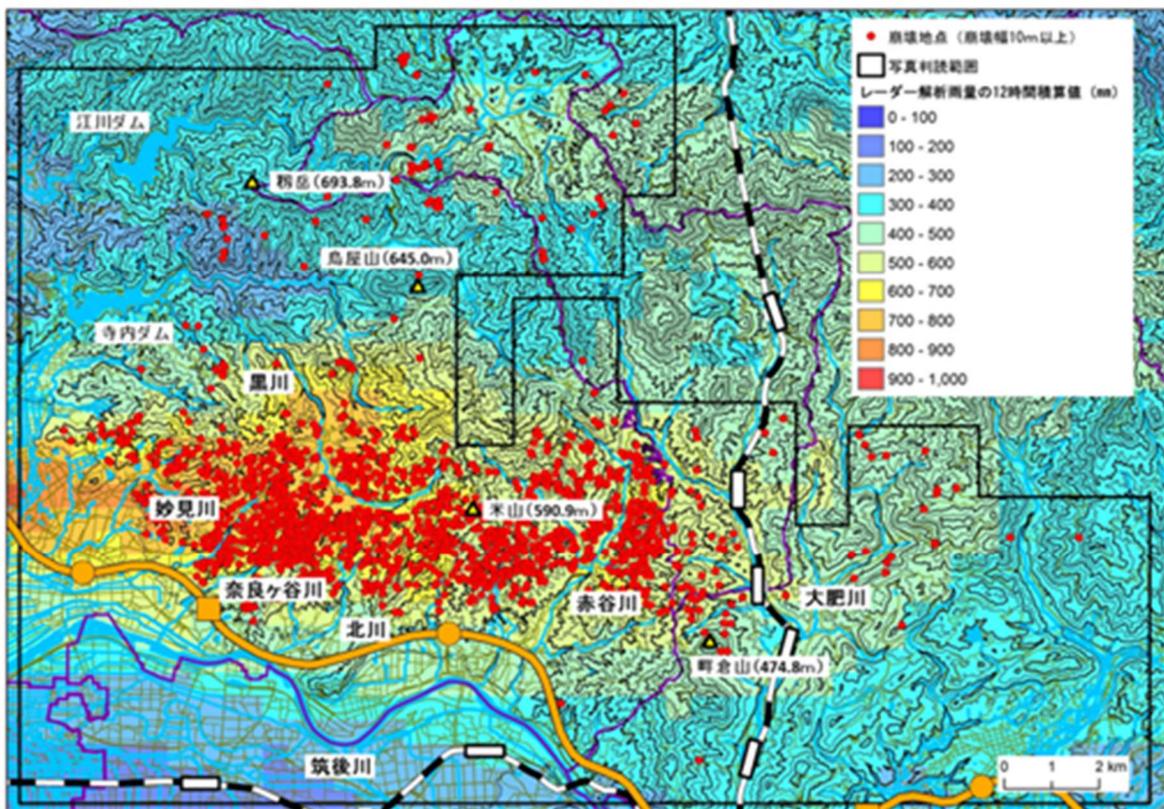


図9 2007年7月九州北部豪雨における崩壊地点と気象庁レーダー解析雨量の12時間積算値（2017/07/05 10:00～22:00）の分布

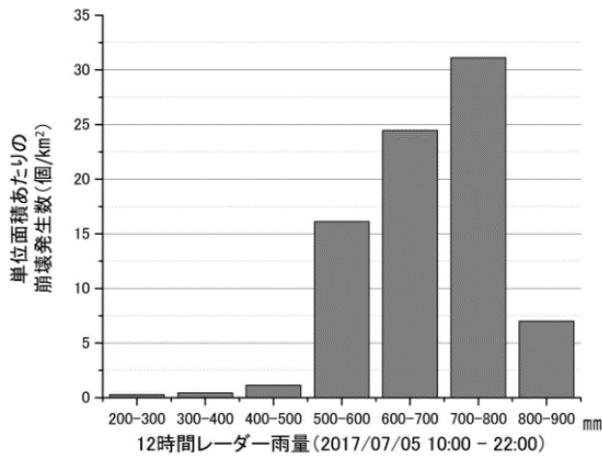


図10 九州北部豪雨被災地域における単位面積あたりの崩壊発生数とレーダー解析雨量の12時間積算値との関係

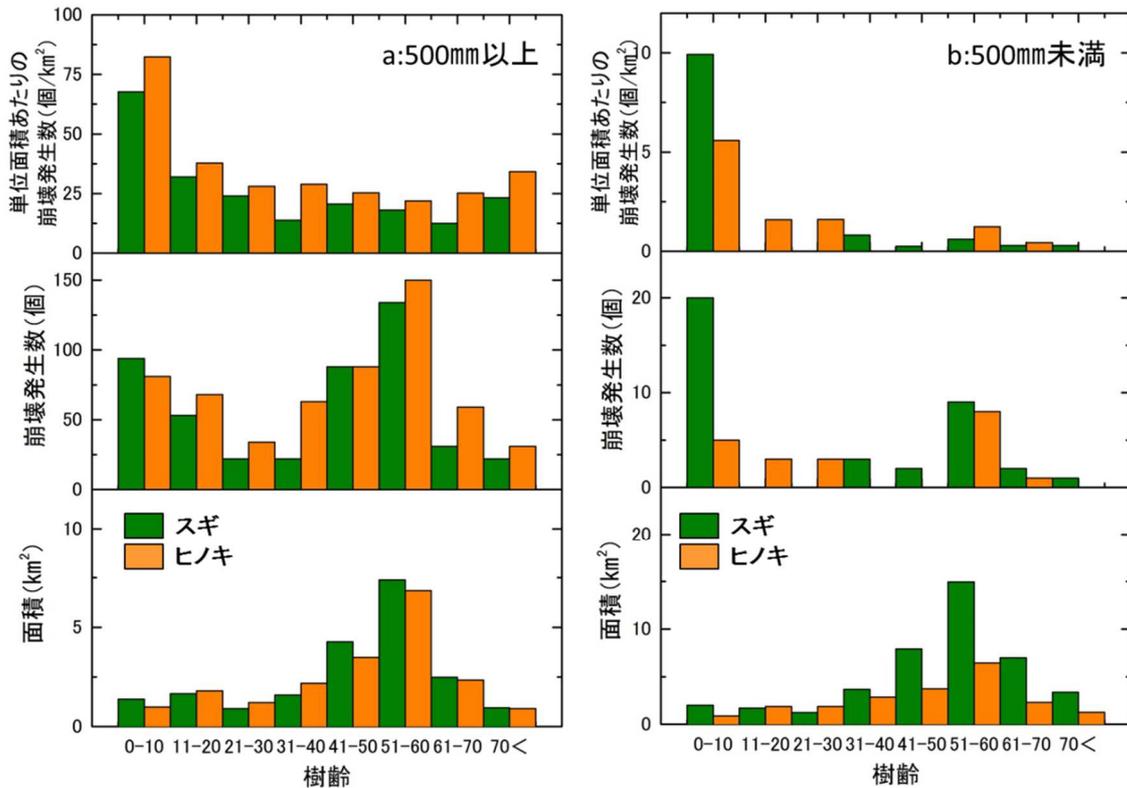


図11 2007年7月九州北部豪雨の被災地域におけるスギ林およびヒノキ林の樹齢ごとの存在面積と崩壊箇所数および単位面積あたりの崩壊箇所数。aはレーダー解析降水量の12時間の積算値が500mm以上のエリア、bは500mm未満のエリアでの解析結果。

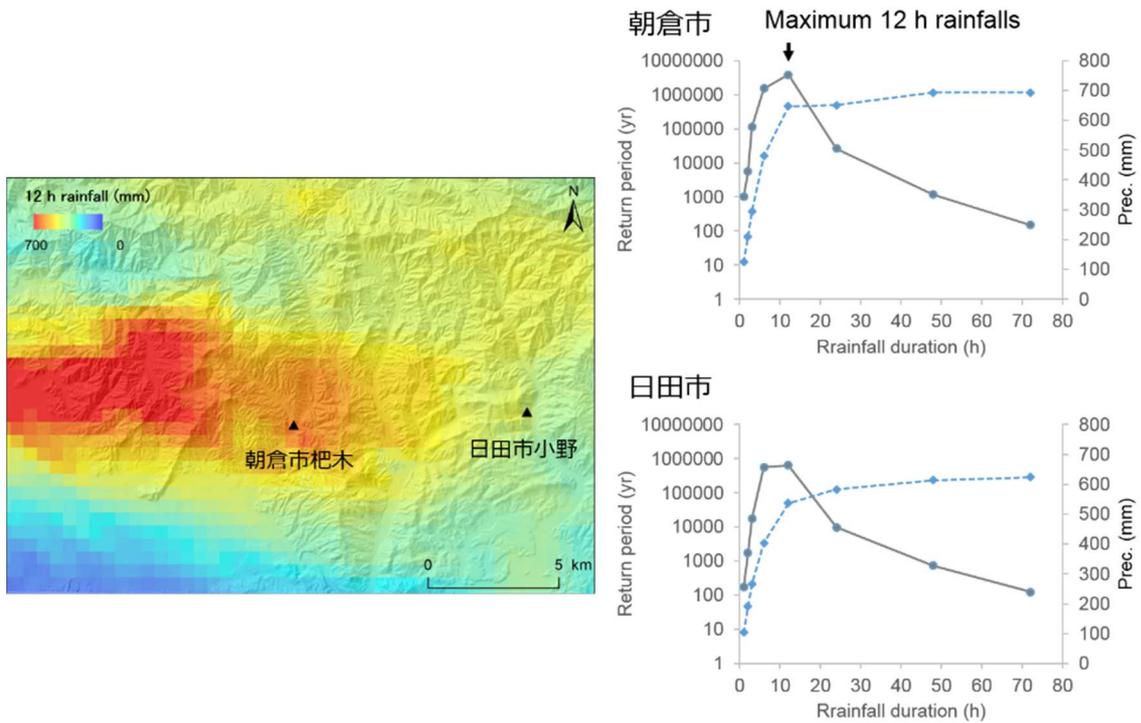


図 12 2017 年 7 月九州北部豪雨における最大 12 時間雨量分布（左図）、および福岡県朝倉市杷木と大分県日田市小野（参考値）での最大 1～72 時間雨量とその再現期間（右図）  
右図において、灰色実線は雨量の再現期間、青破線は最大 1～72 時間雨量を示す。

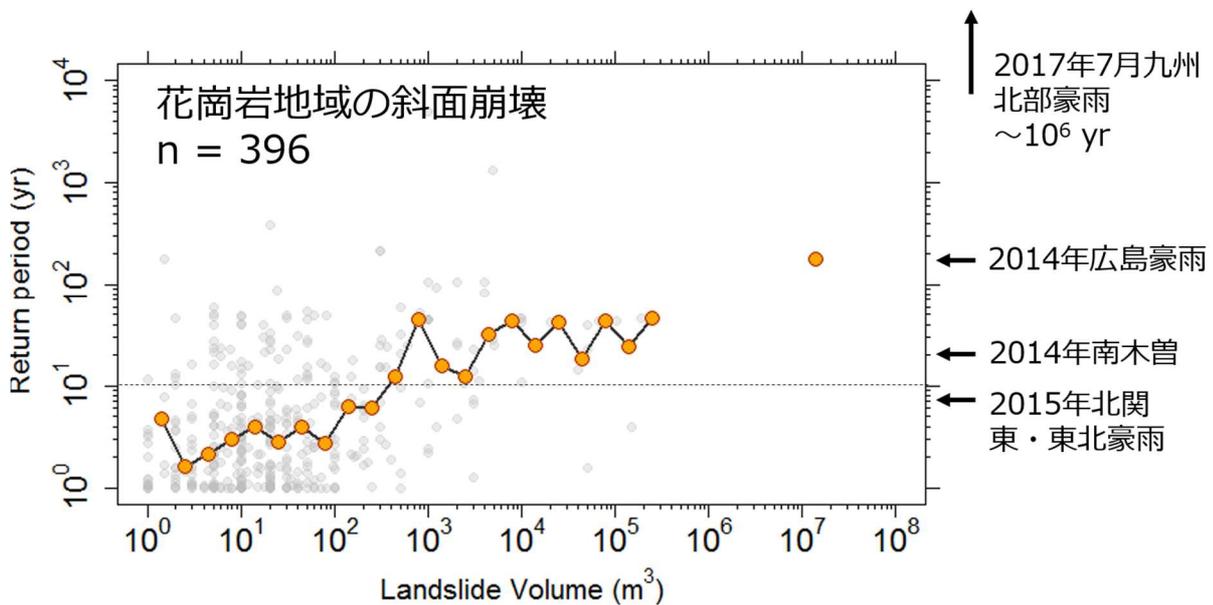


図 13 2001～2011 年に全国の花崗岩地域で発生した斜面崩壊の規模と降雨の再現期間との関係

オレンジ線は、中央値を示す。2014 年 7 月豪雨（長野県木曾郡南木曾町）、2014 年 8 月広島豪雨（広島県広島市安佐南区）、2015 年 9 月 北関東・東北豪雨（福島県伊達市）、2017 年 7 月九州北部豪雨（福岡県朝倉市）については、斜面崩壊発生地点の雨量から求めた再現期間を示す。

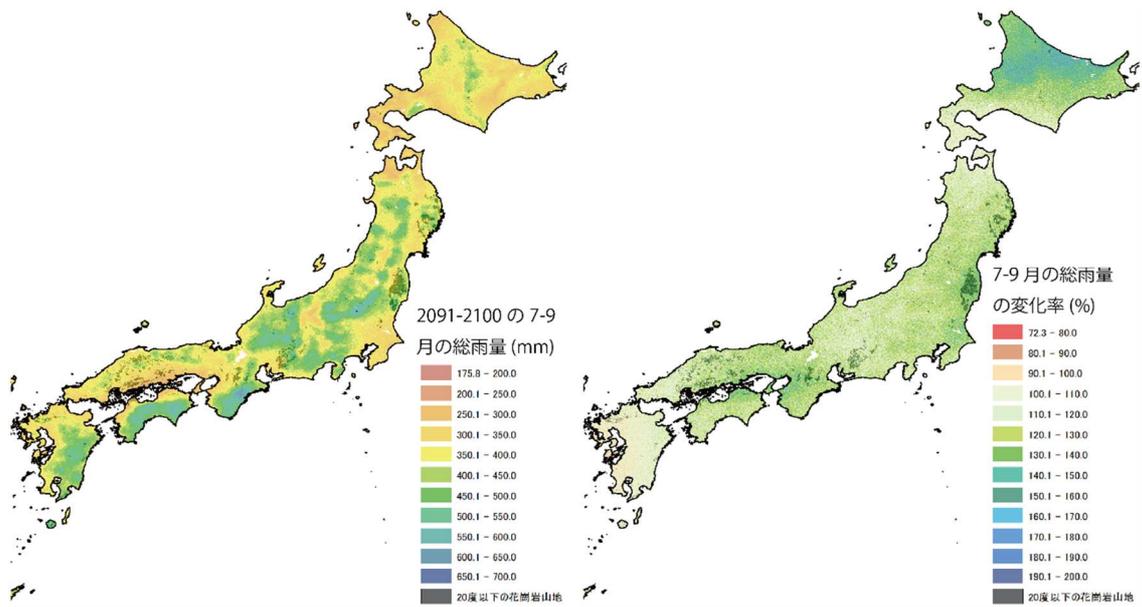


図14 将来（2081~2100）の7～9月の総雨量と現在（1981~2000）からの変化率  
 MIROC5のRCP8.5の排出シナリオによる計算結果から農業環境研究所が作成した3次メッシュデータをもとに変化率を計算して、メッシュ気候値（1980～2010平均）に乗じて作成した。黒色は花崗岩の分布域。



雪面位置がこれよりも高ければこの間に降雪があり、逆に低ければ融雪があったと考える。降雪深推定モデルはこの考えに沿って降雪深を求めているが、本課題ではこの過程で算出される融雪水量を求めるようにアレンジして使用した。

融雪水量の推定に対する粘性圧縮モデルの妥当性を明らかにするため、既往の観測データを用いてモデルの検証をおこなった。検証には十分な観測蓄積がある豪雪地帯の伏野地すべり試験地（新潟県上越市）の1990年から1999年まで10寒候年の融雪水量を用いた。なお粘性圧縮モデルの優位性を確認するため、従来の手法である積算暖度法（入力値：気温）、雪面低下法（入力値：積雪深）による融雪水量もあわせて計算した。比較事例として極端な少雪年であった1998寒候年の観測・計算融雪水量を図2に、また観測値と計算値の関係を図3に示す。融雪期に限れば粘性圧縮モデル、積算暖度法、雪面低下法の3手法ともに融雪水量が増加する傾向を再現したが、粘性圧縮モデルは相関係数が最も高く再現性の良さが示された。次に積雪期間を積雪初期（12月）、堆積期（1-2月）、融雪期（3-4月）に分けて期間別の再現性を考察した。

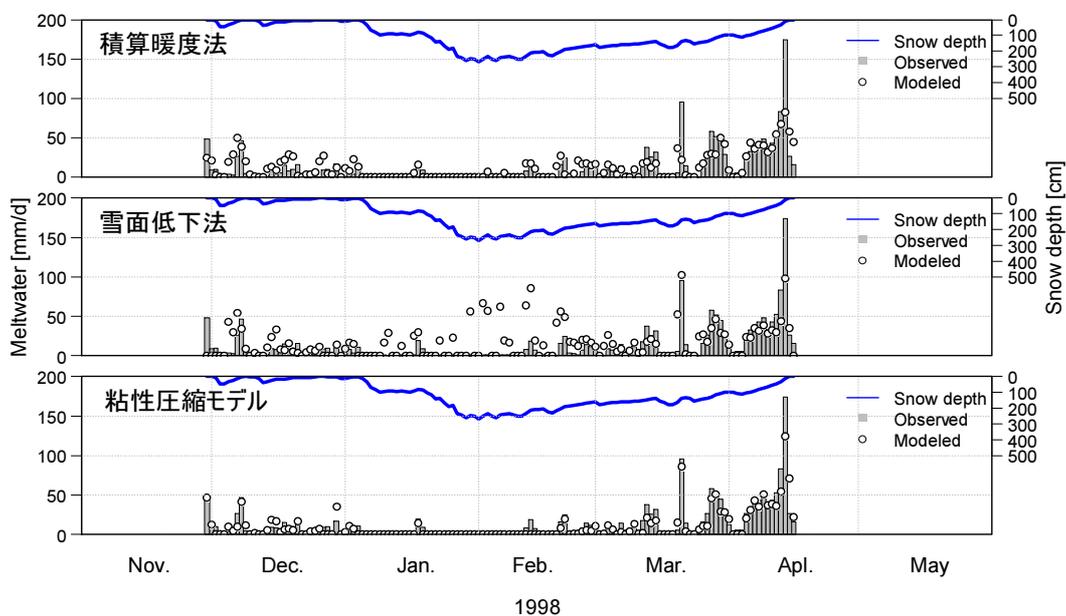


図2 各手法によって計算された極端な少雪年の日融雪水量（伏野地すべり、1998年）

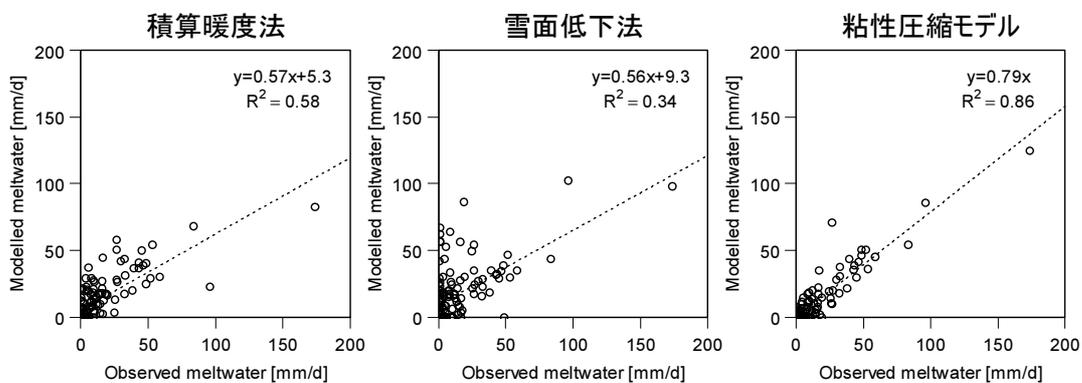


図3 各手法における観測値と計算値の関係（伏野地すべり、1998年）

### (1) 積雪初期 (12月)

積雪初期は降雪と降雨、積雪と消雪を不規則に繰り返すことから、融雪水が複雑に生起する期間である。積算暖度法は無降水、無積雪条件にも関わらず20-30mm/d前後の日融雪水量を断続的に算出する問題がしばしば生じた。これは気温を計算指標とする積算暖度法の特性に起因する。雪面低下法は無積雪下における降雨由来の水量を再現できなかったが、積雪減少時のみに融雪が発生する計算を行うため当然の結果といえる。これに対し粘性圧縮モデルは、無融雪や日融雪水量50mm/d前後の大きな融雪の生起を含め、複雑な融雪現象を良く再現した。

### (2) 堆積期 (1-2月)

堆積期は積雪が継続的に増加する期間である。気温が低く日射量も小さいため積雪表面へ供給される熱エネルギーは少なく融雪はほとんど発生しない。このため積雪底面からの流出はわずかである。積算暖度法は日平均気温が0℃以下で融雪が生じない計算処理を行うため、同期間の低融雪水量を良く再現した。一方で雪面低下法は50mm/d以上の融雪水量が複数回算出される問題が生じた。これは自重沈下による積雪深の低下量分が融雪水量に換算されたためである。さらに雪面低下法は融雪水の積雪層内における貯留の概念がないため、雪面で生じた融雪水の多くが直ちに積雪底面から流出する結果となり、観測結果を再現できなかった。これに対し、粘性圧縮モデルは積雪層の圧縮沈下量と積雪層内の不飽和状態を考慮に入れる計算のため融雪はほとんど生じず、観測結果を良く再現した。

### (3) 融雪期 (3-4月)

融雪期は積雪層の密度変化が少なくなり、また全層に渡って飽和状態になるため、融雪水量の計算はより単純化される。このため、いずれの手法においても融雪状態を良く再現した。ただし積算暖度法は極端に多い日融雪水量を過少に評価する問題が生じた。例えば1998年3月20日は融雪期間内で2番目に多い96.0mm/dの日融雪水量を記録したが積算暖度法では22.6mm/dに留まっている。同日は日平均5.3m/sを記録した強風環境下にあり融雪が急激に促進されたと考えられる。しかし積算暖度法は気温のみを計算要素とするため、強風のような頻度の少ない突発的な現象を考慮することができない。融雪に関する極端現象を評価する上では大きな問題となる。以上から、粘性圧縮モデルは積雪初期の複雑な融雪過程、厳冬期の低融雪、強風などの低頻度の気象現象によって生じる融雪水量を適切に再現できる優位性を持つため、極端現象を含めた積雪期の地すべり危険度を評価するための最適な手法であると考えられた。

融雪地すべりの危険度指標に最も適した地下水位の推定モデルの構築に向け、伏野地すべり地における4年間(2002-2005年寒候期)の地下水位変動をタンクモデルによって再現した。タンクモデルは菅原(1973)が提唱した流域の水流出特性を表現する集中型モデルであり、模式的に縦列に並べた複数の貯留型容器(タンク)により水流出現象や地下水位の非線形性、すなわち時間的な遅れを表現することが可能な手法である。タンクモデル計算では流出孔の大きさや高さを表す複数のパラメータを与える必要があり、それは対象地域の過去の観測データと見合うように同定される。伏野地すべり地にタンクモデルを適用するにあたり、同試験地の水文状態を3段のタンクで表した。タンクは上から地表流(1段目)、中間流(2段目)、地下水流動(3段目)として設定し、3段目のタンクに貯留される水位を地すべり地の地下水位と見なした。粘性圧縮モデルで算出された融雪水量を最上段のタンクに入力して第3タンクの水位を予測した。予測地下水位の妥当性を検証するために、伏野試験地中部ブロックP31点(G.L.-7.49m)の観測結果と比較した。同孔では間隙水圧

を観測しているため、得られた地下水位を圧力値に変換して用いた。タンクモデルの各孔のパラメータ決定にはGRG (Generalized Reduced Gradient method) 非線形を用いた。タンクモデルによって推定した2002～2005年の地下水位から代表として2003年の推定結果を図4に示す。得られた地下水位は融雪期の地下水位の上昇を定性的に再現できており、モデルに一定の妥当性が認められた。2003年寒候期は、1) 積雪初期の降雨と融雪による水位の上昇、2) 厳冬期の水位低下、3) 融雪期の大きな水位上昇を精度良く再現しており、積雪深と降水量の観測値から地下水位を予測できる可能性が示された。しかし、他3年の寒候期については、水位上昇のタイミングや水位ピークなどについて観測値とのずれが認められた。これらの予測値に共通するずれの特徴は、融雪期における水位上昇時期の遅れである。また融雪期のピーク水位も同様に予測水位で遅くなる傾向が認められた。伏野地すべり地では融雪水が生じ始める前から間隙水圧が上昇する特徴があるが、これは地すべり地の間隙水圧(地下水位)が直上からの融雪浸透のみならず、上部の広範囲の地下水流動系の影響を受けるためと考えられる。タンクモデルは元来、流域全体の流出予測に最も適するように作られた集中型モデルであることから、側方流動が卓越する局所場の地下水位上昇を表現することは構造的に難しく、モデルの限界が示されたと考えられる。一方で、より広範囲の流域全体の地すべり危険度を評価する場合には、地下水流動系の問題はモデル内に内包されるため、その適用度は高まると考えられる。

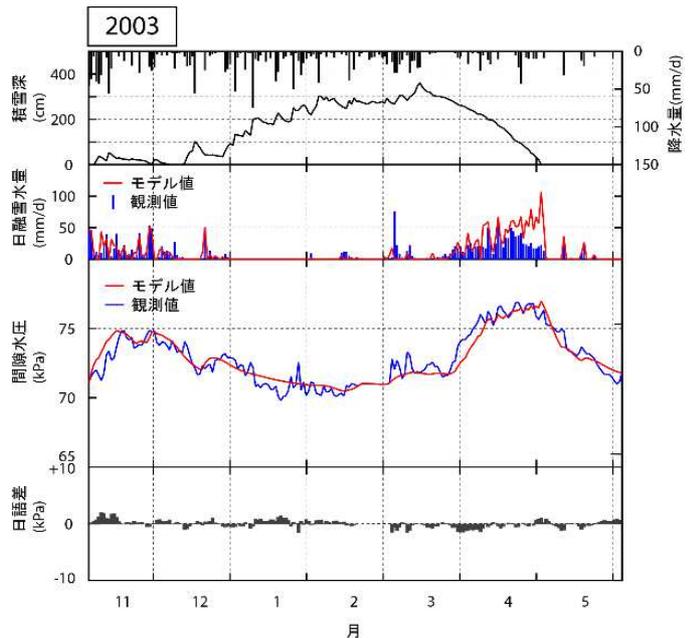


図4 タンクモデルによる計算水位と観測水位の比較(伏野地すべり、2003年)。地下水位は間隙水圧として評価した。

しかし、他3年の寒候期については、水位上昇のタイミングや水位ピークなどについて観測値とのずれが認められた。これらの予測値に共通するずれの特徴は、融雪期における水位上昇時期の遅れである。また融雪期のピーク水位も同様に予測水位で遅くなる傾向が認められた。伏野地すべり地では融雪水が生じ始める前から間隙水圧が上昇する特徴があるが、これは地すべり地の間隙水圧(地下水位)が直上からの融雪浸透のみならず、上部の広範囲の地下水流動系の影響を受けるためと考えられる。タンクモデルは元来、流域全体の流出予測に最も適するように作られた集中型モデルであることから、側方流動が卓越する局所場の地下水位上昇を表現することは構造的に難しく、モデルの限界が示されたと考えられる。一方で、より広範囲の流域全体の地すべり危険度を評価する場合には、地下水流動系の問題はモデル内に内包されるため、その適用度は高まると考えられる。

粘性圧縮モデルによる融雪地すべり危険度評価の実用化に向け、過去の極端な積雪環境下で発生した2012年新潟県国川地すべり(多雪年に発生)に粘性圧縮モデルを適用して融雪水量と地下水位を評価した。地すべり地の周囲3点のAMeDAS観測値をもとに、標高と距離に基づく補正をかけて両地すべり地の気象日別値を再現し、粘性圧縮モデルへの入力値とした。モデルから得られた融雪水量を入力値として土壌雨量指数のSWI-S3(第3タンク水位)を求め、これを地下水位に関するリスク指標として扱った。比較のために既往予測手法の積算暖度法及び雪面低下法によるSWI-S3も合わせて算出した。SWI-S3の推移や地すべり発生との関係性を分析し、融雪地すべりの危険度評価に対する粘性圧縮モデルの妥当性や実用性を検証した。国川地すべり地における過去5年間の積雪期のSWI-S3を図5に示す。一般的な傾向としてSWI-S3は1月から2月上旬の厳冬期には概ね低い値を示すが、2月中旬から融雪水の連続供給によるSWI-S3の連続的な上昇が確認され、3月の融雪中～末期に最もリスクが高くなった。その後、消雪とともにSWI-S3は次第に低下した。SWI-S3

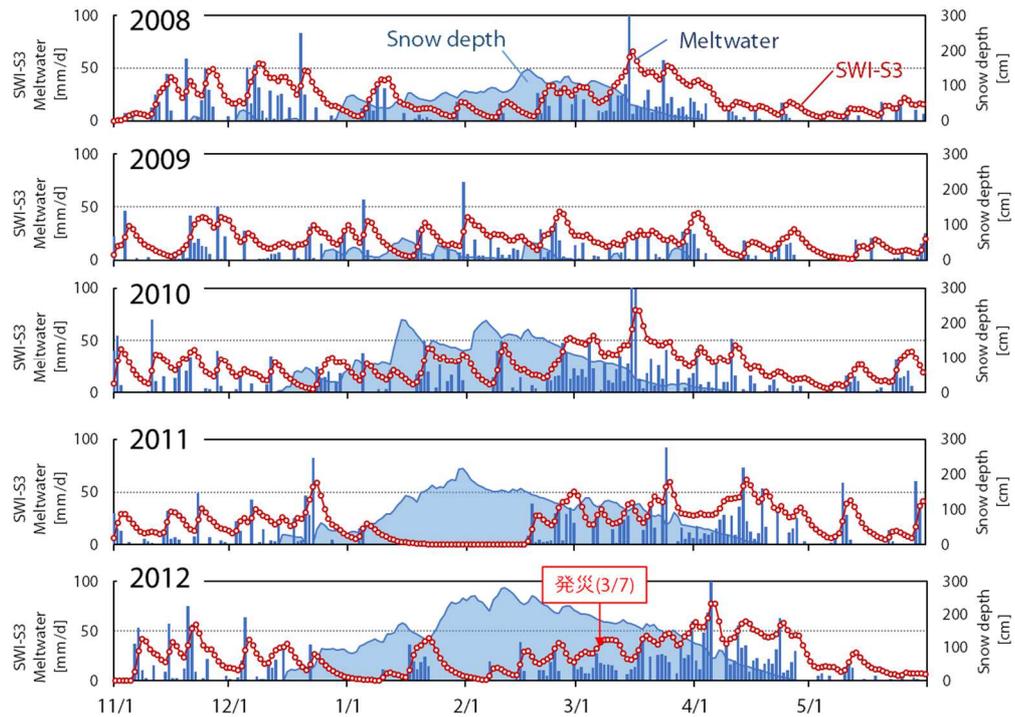


図5 地すべり発生前の5寒候年におけるSWI-S3（土壌雨量指数第3タンク水位）の推移（国川地すべり、2008～2012年）

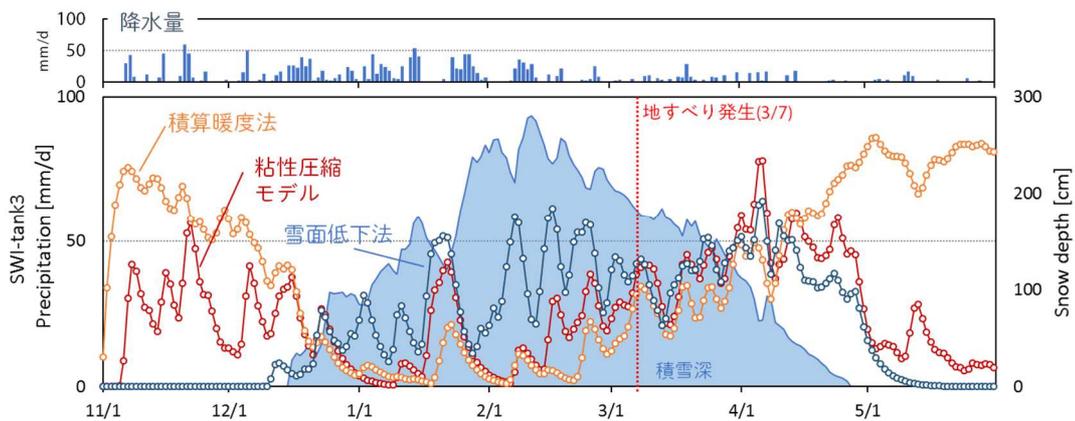


図6 粘性圧縮モデル及び従来手法による積雪期のSWI-S3の比較（国川地すべり、2012年）

の推移は、融雪中～末期に地すべり発生頻度が増えるという経験的知見と調和した。国川地すべりが発生した2012年は2月中旬よりSWI-S3の継続的な上昇が生じており、地すべりはリスク上昇中（3月7日）に発生したと考えられる。粘性圧縮モデルおよび他の2手法によるSWI-S3の推定結果を図6に示す。3月の融雪期は、いずれの手法も積雪の減少に伴うSWI-S3の上昇を示しており、融雪地すべりリスクを適切に評価できると考えられた。しかし他の期間では予測手法ごとに違いが見られた。雪面低下法は厳冬期に生じた豪雪直後の積雪深低下を圧縮ではなく融雪と見なすためにリスクを過大に判断する傾向が強かった。また積雪直前と消雪直後は融雪水を全く考慮できないためリスク評価が難しかった。積算暖度法は気温のみを融雪の算出根拠とするため、消雪後も気温に応じた融雪水量を算出す

る。このため雪面低下法と同様に消雪前後での評価が難しい。これに対して粘性圧縮モデルは積雪圧縮量を計算可能なため厳冬期の積雪深低下に対する判断が的確である利点がある。また無積雪期は降水量を全て降雨として計算するため、消雪期間を挟む時期の評価も適切に行える利点がある。以上から、粘性圧縮モデルは既往の手法と異なり積雪期間全体に適用が可能であり、高い実用性を有することが確認された。

### 3) 成果活用における留意点

粘性圧縮モデルによる融雪水量の推定精度は、入力値となる積雪深と降水量の精度に依存する。本課題では地すべり地の降水量と積雪深の推定に複数のAMeDASデータを用いたが、より高精度の推定を行うためには地すべり地での直接観測によって気象データを収集することが推奨される。また地すべり地周辺では脆弱な地質や地すべり変動による土塊の破碎により広域の地下水流動経路が複雑化するため、地下水位の推定精度が低下する可能性に留意する必要がある。

### 4) 今後の課題

本課題では、入手が容易な降水量と積雪深を用いて融雪水量と地下水位を推定し、融雪地すべりのリスク評価手法を確立した。一方で、積雪地域の地すべりは消雪後の無積雪期の降雨によって生じる事例も多い。従って今後は積雪期間と無積雪期間の地すべり発生リスクを連続的に評価可能な手法の開発が待たれる。本課題で提案した粘性圧縮モデルは従来の融雪予測手法である積算暖度法や雪面低下法と異なり、消雪後の降雨量を地表面到達水量として扱えるため、積雪期と無積雪期の境界期間での連続解析に対する親和性が高いため、通年評価モデルへ発展させる可能性が残されている。また近年の研究により、積雪は融雪水の供給のみならず荷重やせん断抵抗力を発揮して地すべりの安定性に影響を与えているとの指摘がある。今後は積雪の力学的な作用を組み込んだ、積雪地域の地すべりリスク評価手法の高度化が期待される。

### 引用文献

小南裕志、遠藤八十一、庭野昭二、潮田修一（1998）：積雪の粘性圧縮理論による降雪深の推定、雪氷、60(1)、13-23.

これまでの研究実施期間における研究成果(論文発表、特許他)【一般公表可】

課題番号 13406629

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		報道件数	普及する成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得				
13406629	27	21	72	30	5	1	0	0	0	1	3	7	9

注1)学術論文数は直接本事業の成果を掲載したものに限定してカウントすること。

(1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	機関名	タイトル	著者	掲載誌	巻(号)	掲載ページ	発行年	発行月
1	②	農研機構	水田の多面的機能、「特集/田んぼと水循環」、水循環－貯留と浸透	増本隆夫	雨水貯留浸透技術協会	89	11-16	2013	6
2	①	農研機構	中山間水田が主体の小流域における短期流出過程のモデル化	吉田武郎, 増本隆夫, 堀川直紀, 皆川裕樹	農業農村工学会論文集	285	31-40	2013	6
3	①	農研機構	広島県椋梨川流域における谷池型ため池群の洪水緩和効果	吉迫 宏, 小山 潤, 小川茂男, 福本昌人	農業農村工学会論文集	285	1-10	2013	6
4	②	農研機構	数値標高モデルを用いた流出の場としての斜面の平均勾配計測方法の考察	堀川直紀, 吉田武郎, 工藤亮治, 皆川裕樹, 名和規夫	農村工学研究所技報	215	57-67	2014	3
5	①	農研機構	日降水特性および水循環解析からみたGCM降水量のバイアス補正法の評価	工藤亮治, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎, 皆川裕樹, 名和規夫	応用水文(論文編)	26	1-10	2014	3
6	①	農研機構	地球温暖化と気候変動への農業農村研究からのアプローチ[展望]	増本隆夫	水土の知	82(8)	1-2	2014	8
7	①	農研機構	大規模貯水池を備えた水田灌漑システムのモデル化による人為的影響を受けた河川流況の再現	工藤亮治, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎	水文水資源学会誌	27(5)	219-232	2014	9
8	①	農研機構	領域気象モデルWRFを用いた力学的ダウンスケーリングによる豪雨の気候学的再現性	工藤亮治, 皆川裕樹, 名和規夫, 増本隆夫	応用水文	27	19-28	2015	3
9	①	農研機構	気候変動が広域水田灌漑に及ぼす影響の全国マップとその不確実性	工藤亮治, 吉田武郎, 堀川直紀, 増本隆夫, 名和規夫	応用水文(論文編)	28	11-20	2016	3
10	②	農研機構	豪雨に対する谷池ならびに下流域の被災リスク低減に関する研究	吉迫 宏	農研機構研究報告 農村工学研究部門	1	79-133	2017	3

11	①	農研機構	洪水調整機能向上に向けたため池群の用水調整手法の提案	吉迫 宏, 吉田 明, 草 大輔, 嶺岸憲一, 出井宏樹	農業農村工学会誌	85 (12)	11- 14	2017	12
12	①	農研機構	洪水時の流域管理に向けた水田域の水稲被害推定手法	皆川裕樹, 北川巖, 増本隆夫	農業農村工学会論文 文集	84(3)	271- 279	2016	9
13	①	農研機構	長短期降雨特性を備えた豪雨の内部波形の模擬発生法	皆川裕樹, 増本隆夫, 工藤亮 治	農業農村工学会論文 文集	82(3)	147- 156	2014	6
14	①	農研機構	小島嶼での淡水レンズ地下水調査における物理探査の適用性について	石田 聡, 吉本周平, 小林 勤, 幸田和久, 中里弘臣	地盤工学会誌	61(6)	32- 35	2013	6
15	①	農研機構	地下水位の潮汐応答の分析による淡水レンズ帯水層の水理定数推定手法	白旗克志, 石田 聡, 吉本周 平, 土原健雄	農村工学研究所技 報	215	141- 154	2014	3
16	①	農研機構	帯水層の塩水化を抑止する深度別揚水手法	石田 聡, 白旗克志, 土原健 雄, 吉本周平	地盤工学会誌	62 (11/ 12)	36- 37	2014	11
17	①	農研機構	沖縄県宮古島砂川地下ダムにおける地下水中の硝酸性窒素濃度分布と地下水流動に関する一考察	石田 聡, 吉本周平, 白旗克 志, 土原健雄,	地下水学会誌	57(4)	515- 532	2015	11
18	①	農研機構	琉球石灰岩を帯水層とした塩水侵入阻止型地下ダムの貯留域における残留塩水塊の分布と挙動	吉本周平, 土原健雄, 白旗克 志, 石田 聡	土壌の物理性	131	37- 43	2015	12
19	①	農研機構	模擬帯水層内に淡水レンズを再現する室内実験	石田 聡, 有田智也, 曹 英 傑, 唐 常源, 白旗克志, 土原 健雄, 吉本周平	農村工学研究所技 報	218	89- 97	2016	3
20	①	農研機構	琉球石灰岩分布地域における淡水レンズ中の地下水滞留時間の推定—地下水中の六フッ化硫黄の濃度, 硝酸イオンの安定同位体比の測定による検討—	吉本周平, 浅井和由, 土原健 雄, 白旗克志, 石田 聡	農業農村工学会論文 文集	84(2)	I_159 - I_174	2016	6
21	②	農研機構	沿岸域地下水位データの分析による帯水層水理定数の推定手法	白旗克志, 吉本周平, 土原健 雄, 石田 聡	地盤工学会誌	65(9)	24- 25	2017	9
22	①	農研機構・山形大学	六フッ化硫黄を指標とした山形県七五三掛地すべり地における地下水の年代推定	土原健雄, 奥山武彦, 吉本周 平, 白旗克志, 石田 聡	農業農村工学会論文 文集	294	65- 74	2014	12
23	①	山形大学	水質を指標とする地すべり対策地下水排除工の効果モニタリング	奥山武彦, 土原健雄, 石田 聡, 白旗克志	地盤工学会誌	65(8)	18- 21	2017	8
24	①	農研機構・山形大学	採水方法が地下水の六フッ化硫黄濃度・地下水年代推定に及ぼす影響	土原健雄, 奥山武彦, 石田 聡, 白旗克志	地下水学会誌	60(1)	41- 52	2018	2
25	①	関東学院大学	平成24年(2012年)7月九州北部豪雨に伴う阿蘇火山地域での土砂生産量の推定-UAVとSfM多視点ステレオ写真測量を用いた高精度地形データの活用-	齊藤仁ほか	地理学評論	89	347- 359	2017	11
26	②	森林総合研究所	2017年7月九州北部豪雨における斜面崩壊と雨量分布の関係について	村上亘, 安田幸生	森林総合研究所研 究報告	17(1)	未定	2018	3

27	②	森林総合研究所東北支所	積雪期における地すべり土塊の鉛直変位計測	岡本隆, 松浦純生, 阿部和時	日本地すべり学会誌	51(1)	21-27	2015	1
28	①	農研機構	Application of a DWCM-AgWU Model to Chao Phraya River Basin with Large Irrigation Paddies and Dams	Vongphet, J., Masumoto, T., Minakawa, H., Kudo, R.	Applied Hydrology	26	11-22	2014	3
29	①	農研機構	Development of a seamless model to simultaneously simulate agricultural water use and the effects of flooding	Vongphet, J., Masumoto, T., Minakawa, H.	Applied Hydrology	27	29-37	2015	3
30	②	農研機構	Visualization of Basin-wide Agricultural Water Use in Monsoon Asia for Water Footprint Inventory Analysis	Masumoto, T., Yoshida, T.	USCID Eighth International Conference on Irrigation and Drainage	June 2-5	65-77	2015	6
31	①	農研機構	Uncertainty analysis of impacts of climate change on snow processes: Case study of interactions of GCM uncertainty and an impact model	Kudo, R., Yoshida, T., Masumoto, T.	Journal of Hydrology	548	196-207	2017	4
32	②	農研機構	Estimation of Climate Change Impacts on Flooding in Low-lying Paddy Areas in Japan	Minakawa, H., Masumoto, T.	USCID Eighth International Conference on Irrigation and Drainage	June 2-5	79-94	2015	6
33	①	農研機構	Modeling of paddy water management with large reservoirs in northeast Thailand and its application to climate change assessment	Kudo, R., Masumoto, T., Horikawa, N.	Japan Agricultural Research Quarterly	49 (4)	363-376	2015	10
34	①	農研機構	Agricultural water-gate management for operational flood protection in low-lying paddies	Yoshioka, Y., Masumoto, T., Maruyama, K., Minakawa, H.	Journal Teknologi	76(15)	37-44	2015	9
35	①	農研機構	Fluctuations in rice productivity caused by long and heavy rain under climate change in Japan: Evidence from panel data regression analysis	Kunimitsu, Y., Kudo, R.	Japan Agricultural Research Quarterly	49 (2)	159-172	2015	5
36	①	農研機構	Technological spillover in Japanese rice productivity under long term climate change: Evidence from the spatial econometric model	Kunimitsu, Y., Kudo, R., Iizumi, T., Yokozawa, M.	Paddy and Water Environment	14(1)	131-144	2016	1
37	①	農研機構	River basin scale analysis on the return ratio of diverted water from irrigated paddy areas,	Yoshida, T., Masumoto, T., Kudo, R., Horikawa, N., Minakawa, H., Nawa, N.	Irrigation and Drainage	65 (ST)	31-39	2016	6
38	①	農研機構	Basin-Scale Irrigation Planning in Areas with Scarce Data	Masumoto, T., Yoshida, T., Ryoji, K.	Irrigation and Drainage	65 (ST)	22-30	2016	6

39	②	農研機構	Water Resources, Floods and Agro-Environment in Monsoon Asia: description and future applications of the DWCM-AgWU model	Masumoto, T.	“The Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia,” NIAES Series No.6, National Institute for Agro-Environmental Sciences	26-28	27-32	2016	8
40	①	農研機構	Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5	Kudo, R., Yoshida, T., Masumoto, T.	Hydrological Research Letters	11(1)	31-36	2017	2
41	①	農研機構	Influence of saltwater wedges on irrigation near a river estuary	Liu, H., Yoshikawa, N., Miyazu, S., Watanabe, K.	Paddy and Water Environment	13(2)	179-189	2015	4
42	②	農研機構	Dynamics of water circulation and anthropogenic activities in paddy dominant watersheds —from field-scale processes to catchment-scale models—	Yoshida, T.	Bulletin of the National Institute for Rural Engineering	54	1-72	2015	3
43	①	農研機構	Variability in intensity of heavy rainfall due to climate change and its impact on paddy inundation in low-lying areas of Japan	Minakawa, H., Masumoto, T.	Irrigation and Drainage	62(5)	679-686	2013	7
44	①	農研機構	Development of a numerical model for nitrates in groundwater in the reservoir area of the Komesu subsurface dam, Okinawa, Japan	Yoshimoto, S., Tsuchihara, T., Ishida, S., Imaizumi M.	Environmental Earth Sciences	70(5)	2061-2077	2013	11
45	①	農研機構	Digital filters to eliminate or separate tidal components in groundwater observation time-series data	Shirahata, K., Yoshimoto, S., Tsuchihara, T., Ishida, S.	Japan Agricultural Research Quarterly	50(3)	241-252	2016	7
46	①	農研機構	Improvements in a simple harmonic analysis of groundwater time series based on error analysis on simulated data of specified lengths	Shirahata, K., Yoshimoto, S., Tsuchihara, T., Ishida, S.	Paddy and Water Environment	15(1)	19-36	2017	1
47	①	関東学院大学	Probable Hourly Precipitation and Soil Water Index for 50-yr Recurrence Interval over the Japanese Archipelago	斉藤仁, 松山洋	SOLA	11	118-123	2015	4
48	①	関東学院大学	Effect of forest clear-cutting on landslide occurrences: Analysis of rainfall thresholds at Mt. Ichifusa, Japan	斉藤仁, 村上亘, 大丸裕武, 小口高	Geomorphology	276	1-7	2016	10

注1)和文、欧文の順で記載。発行年は発行年月(西暦年以下同じ)とする。

注2)区分①の原著論文(受理されたものに限る)は、謝辞等に本事業予算の支援を受けたことが明記されていること。また、論文は直接本事業の成果を掲載したものに限定して記載すること。

注3)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

## (2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	水資源・水循環の人為的改変を含めた評価研究における農業水利用	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	水資源・水循環の人為的改変を含めた評価研究における農業水利用、「創生プロ」第2回テーマD全体研究連絡会議	2013	6
2	水田の遊水地機能を利用した流域規模洪水対策は果たして新しいものか?	増本隆夫, ポンテップ-ジュティテップ, 皆川裕樹, 堀川直紀	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集	2013	9
3	水循環の見える化による農業問題へのアプローチ	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	水文・水資源学会創立25周年記念シンポジウム「いま,そしてこれから水文・水資源学会は何ができるか?何をなすべきか?」	2013	9
4	農業分野のウォーターフットプリントについて	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	東京大学生産技術研究所RC70研究会	2013	10
5	気候変動が農業と農業施設へ及ぼす影響評価と適応策についての日本の対応	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	JIID主催「現地適正化技術開発」高級セミナー	2013	12
6	Activities by NARO (Japan) on Climate Change Research in SEA—Water Resource Dynamics and Agriculture in Mekong River Basin—	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	CGIAR拡大会合「東南アジアにおけるCCAFS(気候変動、農業、食料保証)に関する研究協力会議」	2013	12
7	灌漑期の移動が渇水リスクに与える影響の評価	堀川直紀, 吉田武郎, 皆川裕樹, 工藤亮治, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農村工学会大会講演会要旨集	2013	9
8	水田灌漑地区の取水量に対する河川への還元率推定法	吉田武郎, 増本隆夫, 堀川直紀, 工藤亮治, 皆川裕樹	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農村工学会大会講演会要旨集	2013	9

9	広域水田卓越流域の河川還元率の定量的評価法	吉田武郎, 増本隆夫, 堀川直紀, 工藤亮治, 皆川裕樹, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	水文水資源学会 2013年度研究発表 会要旨集	2013	9
10	全国水田水利システムの構築と気候変動に対するマクロ的影響 評価事例	工藤亮治, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎, 皆川裕樹	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農 村工学会大会講演 会要旨集	2013	9
11	気候変動に対する全国水田水利システムのマクロ的影響評価	工藤亮治, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎, 皆川裕樹, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	水文水資源学会 2013年度研究発表 会要旨集	2013	9
12	日本水土図鑑を利用した水田水利システムの構築とその応用	工藤亮治, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎, 皆川裕樹, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農 村工学会中国四国 支部講演会講演要 旨集	2013	10
13	気候変動がため池群の洪水緩和効果に与える影響の評価	吉迫宏, 皆川裕樹, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農 村工学会大会講演 会講演要旨集	2013	9
14	気候変動に灌漑や農業はどの程度耐えられるか	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成26年度公開シ ンポジウム, 気候 変動リスク情報創 生プログラム(創生 プロ)	2014	9
15	流出モデルを用いた簡便なため池貯水位予測手法の開発	吉迫宏, 井上敬資, 正田大輔, 堀俊和	農研機構農村工学研究部門	平成26年度農業農 村工学会大会講演 会講演要旨集	2014	8
16	分布型水循環モデルにおける表面流出計算過程の改良	吉田武郎, 名和規夫, 堀川直紀, 工藤亮治, 皆川裕樹	農研機構農村工学研究部門	平成26年度農業農 村工学会大会講演 会講演要旨集	2014	8
17	気候変動に対する降雪量変化の標高依存性と地域性評価の試 み	工藤亮治, 吉田武郎, 増本隆夫, 皆川裕樹, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	平成26年度農業農 村工学会大会講演 会要旨集	2014	8

18	地域別にみた気候変動に対する降雪量変化の標高依存性	工藤亮治, 吉田武郎, 増本隆夫, 皆川裕樹, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	水文水資源学会 2014年度研究発表 会要旨集	2014	9
19	梯川流域周辺における低平地排水の気候変動影響評価に向けた力学的ダウンスケールの試み-現在気候下のダウンスケール精度の検証-	工藤亮治, 皆川裕樹, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成26年度農業農村工学会京都支部 講演会講演要旨集	2014	11
20	気候変動で農業用水や水利施設の管理はどう変わるか	工藤亮治	農研機構農村工学研究部門	気候変動対策プロ 研究成果発表会- 農業分野における 気候変動への対応 -これまでとこれ から	2014	12
21	水利施設群の一体型管理に向けた早魃と氾濫の連続解析の試み	増本隆夫, Jutithep Vongthep, 皆川 裕樹, 工藤亮治	農研機構農村工学研究部門	水文水資源学会 2015年度研究発表 会要旨集	2015	9
22	水循環モデル(DWCM-AgWU)の改良と巨大ダムを有する灌漑主体流域への適用	増本隆夫, ジュ ティテップ・ウオ ンペット, 皆川裕 樹, 工藤亮治	農研機構農村工学研究部門	平成27年度農業農 村工学会大会講演 会要旨集	2015	9
23	農業水利用と氾濫の同時解析アルゴリズムの検討と低平水田地帯への適用	吉迫宏, 増本隆 夫, 工藤亮治	農研機構農村工学研究部門	平成27年度農業農 村工学会大会講演 会	2015	9
24	低平氾濫域における農業水利用と洪水の同時解析アルゴリズムの検討	皆川裕樹, 増本 隆夫, Jutithep Vongphet	農研機構農村工学研究部門	水文・水資源学会 2015年度研究発表 会	2015	9
25	モンスーンアジアにおける水田水利システムを表現する水循環モデルの開発	工藤亮治, 吉田 武郎, 堀川直 紀, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成27年度農業農 村工学会大会講演 会要旨集	2015	9
26	評価指標の違いからみた広域水田灌漑に対する気候変動影響の不確実性評価	工藤亮治, 吉田 武郎, 増本隆 夫, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	平成27年度農業農 村工学会大会講演 会要旨集	2015	9
27	広域水田灌漑に対する気候変動影響と指標の違いによる不確実性の評価	工藤亮治, 吉田 武郎, 増本隆 夫, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	水文水資源学会 2015年度研究発表 会要旨集	2015	9
28	ため池の利水容量の調整に向けた基準貯水ラインの作成	吉迫宏, 井上敬 資, 正田大輔	農研機構農村工学研究部門	平成28年度農業 農村工学会大会講 演会	2016	9

29	時間的变化を考慮した灌漑水田からの還元率の推計	増本隆夫, 吉田武郎	農研機構農村工学研究部門	平成28年度農業農村工学会大会講演会	2016	9
30	河川流況解析における農水利用形態把握の重要性についての段階的スクリーニング	宮島真理子, 吉田武郎, 村山香, 森田孝治, 名和規夫, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成28年度農業農村工学会大会講演会	2016	9
31	火山性地域における流域発達過程と水文特性: 物理的水文モデルによる検証	吉田武郎, Peter A. Troch	農研機構農村工学研究部門	水文・水資源学会研究発表会	2016	9
32	水文地質特性と気象条件の分離-火山岩流域の低水流況への影響-	吉田武郎, Peter A. Troch	農研機構農村工学研究部門	平成28年度農業農村工学会大会講演会	2016	9
33	GCMと積雪融雪モデルの複合作用による不確実性の分析	工藤亮治, 吉田武郎, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	水文・水資源学会2016年度研究発表会要旨集	2016	9
34	大規模灌漑ダムによる流水の長期貯留を考慮した水循環解析	工藤亮治, 堀川直紀, 吉田武郎, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成28年度農業農村工学会大会講演会	2016	9
35	水田氾濫抑制のための農業用水門を用いた流域管理体制	吉岡有美, 増本隆夫, 丸山和彦, 皆川裕樹	農研機構農村工学研究部門	平成28年度農業農村工学会大会講演会	2016	9
36	気温変化に対する積雪融雪過程の感度が影響評価の不確実性に与える影響	工藤亮治, 吉田武郎, 増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	平成29年度農業農村工学会大会講演会	2017	8
37	稲作地域における干天時の用水需要変化	坂田賢, 友正達美	農研機構中央農業研究センター	農業農村工学会水文・水環境研究部会第29回シンポジウム	2016	12
38	豪雨時の流域管理方策の検討に向けた低平水田域の冠水リスク評価	皆川裕樹	農研機構農村工学研究部門	農業農村工学会大会講演会	2016	9
39	水田利活用による豪雨対策の検討に向けた低平域の水稲冠水リスク評価	皆川裕樹	農研機構農村工学研究部門	水文・水資源学会2016年度研究発表会	2016	9
40	水稲減収尺度を活用した豪雨に伴う水田冠水被害量の推定手法の提案	皆川裕樹, 増本隆夫, 堀川直紀, 吉田武郎, 工藤亮治, 名和規夫	農研機構農村工学研究部門	平成26年度農業農村工学会大会講演会	2014	9

41	不確実性を反映させた気候変動リスク評価のための豪雨の模擬発生法	皆川裕樹, 増本隆夫, 池山和美	農研機構農村工学研究部門	平成29年度農業農村工学会大会講演会	2017	8
42	沿岸地域の溢水被害を軽減する自己起立型補助堤防の開発	桐博英, 中矢哲郎, 安瀬地一作, 丹治肇	農研機構農村工学研究部門	平成26年度農業農村工学会大会講演会	2014	9
43	有明海における年最大高潮潮位偏差の非超過確率の評価	桐博英, 丹治肇, 中矢哲郎	農研機構農村工学研究部門	平成25年度農業農村工学会大会講演会	2013	9
44	地下水位潮汐応答の連続観測記録の分析による淡水レンズ帯水層の水理性状不均質の評価	白旗克志, 吉本周平, 土原健雄, 石田聡	農研機構農村工学研究部門	農業農村工学会大会講演会講演会	2014	8
45	気候変動がどのように地下水環境に影響を与えるかを理解するための水質指標	吉本周平	農研機構農村工学研究部門	気候変動対策プロジェクト研究成果発表会-農業分野における気候変動への対応-これまでとこれから	2014	12
46	地下水位観測データから主要潮汐成分を分離する簡易調和解析法の適用性向上	白旗克志, 吉本周平, 土原健雄, 石田聡	農研機構農村工学研究部門	農業農村工学会大会講演会講演会	2015	9
47	多深度自記温度観測による淡水レンズ地下水への降雨浸入深度把握の試み	白旗克志, 吉本周平, 土原健雄, 石田聡	農研機構農村工学研究部門	農業農村工学会大会講演会講演会	2016	8
48	電気伝導度観測による塩水浸入阻止型地下ダム残留塩水塊の挙動の把握	白旗克志, 吉本周平, 土原健雄, 石田聡	農研機構農村工学研究部門	平成29年度農業農村工学会大会講演会	2017	8
49	異なる時期の河川水の水素・酸素安定同位体比からみた地すべり地の地下水涵養域の検討	土原健雄ら	農研機構, 山形大学	農業農村工学会	2016	9
50	大深度観測孔での温度検層	奥山武彦ら	山形大学, 農研機構	日本地すべり学会	2016	8
51	融雪期における地すべり地の地下水の水素・酸素安定同位体比の変化	土原健雄ら	農研機構, 山形大学	日本雨水資源化システム学会	2015	10
52	地すべり対策排除地下水の水質変化	奥山武彦ら	山形大学, 農研機構	農業農村工学会	2015	10
53	水素・酸素安定同位体比の高度効果からみた地すべり地の地下水涵養源の検討	土原健雄ら	農研機構, 山形大学	農業農村工学会	2014	9
54	対策後の大規模地すべりの地下水環境	奥山武彦ら	山形大学, 農研機構	日本地すべり学会	2014	8
55	水素・酸素安定同位体比, 六フッ化硫黄, トリチウムを指標とした地すべり地における地下水流動特性の検討	土原健雄ら	農研機構, 山形大学	日本地下水学会	2014	5

56	採水方法が六フッ化硫黄を用いた地下水の年代推定結果へ及ぼす影響の検討	土原健雄, 奥山武彦, 吉本周平, 白旗克志, 石田 聡	農研機構農村工学研究部門	日本地下水学会 2017年春季講演会 講演予稿	2017	5
57	地すべり地での融雪水の浸透の把握に向けた環境同位体・水質変動の観測	土原健雄, 奥山武彦, 吉本周平, 白旗克志, 石田 聡	農研機構農村工学研究部門	平成29年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集	2017	8
58	地下水中の六フッ化硫黄濃度測定のための簡易な採水方法の検討	土原健雄, 白旗克志, 石田 聡, 奥山武彦	農研機構農村工学研究部門	第24回日本雨水資源化システム学会大会研究発表会講演要旨集	2016	10
59	九州山地・市房山における森林伐採が斜面崩壊の発生に与えた影響—長期間雨量データを用いた基準雨量と地形の解析—	齋藤 仁, 村上 亘, 大丸裕武, 小口高(東京大)	関東学院大学	2013年度東京大学空間情報科学研究センター 第14回年次シンポジウム	2013	11
60	斜面崩壊発生基準雨量と確率雨量との関係—九州山地・市房山と阿武隈山地を対象として—	齋藤仁, 村上 亘, 大丸裕武, 小口高(東京大)	関東学院大学	2014年日本地理学会秋季学術大会	2014	9
61	花崗岩山地における斜面崩壊の発生と降雨量および確率降雨との関係 —九州山地・市房山と阿武隈山地を対象として—	齋藤仁, 村上 亘, 大丸裕武, 小口高(東京大)	関東学院大学	農林水産省 平成25年度 委託プロジェクト研究 気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト 研究成果発表会 地球温暖化の中で森林を活かす	2014	11
62	九州、市房山北部の山地斜面における崩壊発生と森林伐採の関係について	村上亘, 齋藤仁, 大丸裕武	森林総合研究所	農林水産省 平成25年度 委託プロジェクト研究 気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト 研究成果発表会 地球温暖化の中で森林を活かす	2014	11
63	長野県南木曾地域における1959年伊勢湾台風による風倒被害とその後に発生した斜面崩壊の関係について	村上亘, 齋藤仁, 大丸裕武	森林総合研究所	日本地球惑星科学連合2015年大会	2015	5
64	1971年に福島県川内村で発生した表層崩壊の背景	大丸裕武, 村上 亘, 齋藤仁	森林総合研究所	日本地球惑星科学連合2015年大会	2015	5

65	地すべり地形解析における地理情報システム(GIS)の応用	斉藤仁	関東学院大学	第7回GIS-Landslide研究集会	2015	11
66	降雨パターンの変動と林地災害の激甚化	大丸裕武	森林総合研究所	平成29年度日本農学会シンポジウム「大変動時代の農と食」	2017	10
67	2017年7月九州北部豪雨における斜面崩壊と雨量分布および植生状況との関係について	村上亘, 鶴崎幸, 安田幸生, 大丸裕武	森林総合研究所	2017土砂災害予測に関する研究集会	2017	12
68	積雪荷重による山地斜面の沈下現象	岡本隆ら	森林総合研究所東北支所	日本森林学会	2014	3
69	粘性圧縮モデルを用いた地すべり地の融雪水量予測	岡本隆ら	森林総合研究所東北支所	日本地すべり学会	2015	8
70	融雪浸透モデルとタンクモデルを用いた地すべり地の融雪水量予測	岡本隆ら	森林総合研究所東北支所	日本森林学会	2016	3
71	地すべり地における融雪浸透-タンクモデルを用いた融雪期の地下水位予測	岡本隆ら	森林総合研究所東北支所	日本地すべり学会	2016	8
72	積雪地域における最近の地すべり調査・計測	岡本隆ら	森林総合研究所	日本地すべり学会研究発表会	2017	8
73	Proposal of an example: Water footprint inventory analysis of unit processes (Paddy water use in monsoon Asia)	増本隆夫	農研機構農村工学研究部門	[事例: ウォーターフットプリントにおける複数単位過程のインベントリ分析- モンスーンアジアの水田水利用]、ISO/TC207/SC5/WG8- ウォーターフットプリント会合	2013	6
74	Catchment scale analysis of river-return ratio from densely developed irrigated paddy areas	Yoshida, T., Masumoto, T., Horikawa, N., Kudo, R., Minakawa, H., Nawa, N.	農研機構農村工学研究部門	AGU Fall Meeting	2013	12
75	Proposal of Basin-wide Irrigation Planning Based on Climate Change Assessment in Extremely Data Scarce Areas	Masumoto, T., Yoshida, T., Kudo, R.	農研機構農村工学研究部門	22nd International Congress on Irrigation and Drainage	2014	9

76	An Approach to Assessing Damage on Rice Yield Associated with Paddy Inundation by Climate Change	Masumoto, T., Minakawa, H.	農研機構農村工学研究部門	22nd International Congress on Irrigation and Drainage and 65th IEC Meeting	2014	9
77	Modification of DWCM-AgWU Model Applied to a Paddy-dominant Basin with Large Dams	Vongphet, J., Masumoto, T., Minakawa, H., Kudo, R.	農研機構農村工学研究部門	22nd International Congress on Irrigation and Drainage	2014	9
78	Catchment scale analysis on return ratio of diverted water to irrigated paddy areas	Yoshida, T., Masumoto, T., Horikawa, N., Kudo, R., Minakawa, H., Nawa, N.	農研機構農村工学研究部門	22nd International Congress on Irrigation and Drainage	2014	9
79	Integrated assessment of the effects of dams on irrigation sustainability in a data scarce watershed	Yoshida, T., Masumoto, T., Kudo, R.	農研機構農村工学研究部門	AGU Fall meeting	2014	12
80	Water Resources, Floods and Agro-Environment in Monsoon Asia, "Next Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia,"	Masumoto, T.	農研機構農村工学研究部門	MARCO Symposium 2015	2015	8
81	Utilization of Flood Prevention Function of Paddies as an Adaptive Counter-measure	Masumoto, T., Minakawa, H., Horikawa, N., Vongphet, J.	農研機構農村工学研究部門	ICID International Workshop on "Non-Structural Adaptation to Flood Management"	2015	10
82	Development of assessment tools for flood damage risk on paddies and its application to low-lying areas in Japan	Minakawa, H., Masumoto, T.	農研機構農村工学研究部門	ICID 26th Euromediterranean Regional Conference	2015	10
83	A process-based diagnosis of catchment coevolution in volcanic landscapes: synthesis of Newtonian and Darwinian approaches	Yoshida, T., Troch P. A.	農研機構農村工学研究部門	American Geophysical Union Fall Meeting	2016	12
84	Application of DWCM-AgWU Model to the Mae Klong River Basin with Large Complex Irrigation Scheme	Vongphet, J., Masumoto, T.	農研機構農村工学研究部門	2nd World Irrigation Forum	2016	11

85	Variability in intensity of heavy rainfall due to climate change and its impact on paddy inundation in low-lying areas of Japan	Minakawa, H., Masumoto, T., Nawa, N., Horikawa, N., Yoshida, T., Kudo, R., Kitagawa, I.	農研機構農村工学研究部門	22nd International Congress on Irrigation and Drainage	2014	9
86	Flood risk formulation on low-lying paddy regions as an impact assessment tool for extremes	Minakawa, H.	農研機構農村工学研究部門	2nd World Irrigation Forum	2016	11
87	Influence of climate change on storm surges in the Ariake Sea	Kiri, H., Tanji, H., Nakaya, T.	農研機構農村工学研究部門	7th International Conference on Asian and Pacific Coasts	2013	9
88	Finite element Mass-Consistent model for estimating the wide field in storm surge analysis of coastal farmlands	Kiri, H., Nakaya, T., Azechi, I., Tanji, H.	農研機構農村工学研究部門	19th IAHR-APD Congress	2014	9
89	Roles a drainage system requires to prevent water hazards under the climate change	Kiri, H., Nakaya, T., Azechi, I.	農研機構農村工学研究部門	PAWEES-INWEPF Joint International Conference	2015	8
90	A study on distribution of NO <sub>3</sub> -N in groundwater and groundwater flow in the reservoir area of Sunagawa underground dam, Miyako Island, Okinawa Prefecture, Japan	Ishida, S., Yoshimoto, S., Shirahata, K., Tsuchihara, T.	農研機構農村工学研究部門	42nd IAH Congress	2015	9
91	Simple harmonic-analysis technique for separating out major tidal components in groundwater time-series data	Shirahata, K., Yoshimoto, S., Tsuchihara, T., Ishida, S.	農研機構農村工学研究部門	42nd IAH Congress	2015	9
92	Digital filters for application to tidal groundwater time series	Shirahata, K., Yoshimoto, S., Tsuchihara, T., Ishida, S.	農研機構農村工学研究部門	43rd IAH Congress	2016	9
93	Estimate of the amount of freshwater lens and fluctuation of thickness of freshwater in Tarama Island, Japan	Ishida, S., Shirahata, K., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S.,	農研機構農村工学研究部門	44th IAH Congress	2017	9
94	Distribution of groundwater age and fluctuation of NO <sub>3</sub> -N concentration in groundwater in the reservoir area of Sunagawa underground dam, Miyako Island, Japan	Ishida, S., Shirahata, K., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., Asai, K.	農研機構農村工学研究部門	44th IAH Congress	2017	9

95	Heterogeneous hydraulic properties of an insular aquifer clarified by a tidal response method with simple decomposition techniques	Shirahata, K., Yoshimoto, S., Tsuchihara, T., Ishida, S.	農研機構農村工学研究部門	44th IAH Congress	2017	9
96	Sulfur hexafluoride and environmental isotope-based investigation of the groundwater flow in landslide slope of agricultural land area in Japan	土原健雄ら	農研機構, 山形大学	42nd IAH Congress	2015	9
97	Stable isotope-based investigation of infiltration effect of snow melting water on the groundwater in the large landslide block	土原健雄ら	農研機構, 山形大学	43rd IAH Congress	2016	9
98	Effect of clear-cutting on landslide occurrences: Rainfall thresholds and topographic analysis at Mt. Ichifusa, Japan	齋藤仁, 村上 亘, 大丸裕武, 小口 高(東京大)	関東学院大学	8th IAG International Conference on Geomorphology,	2013	8
99	Effect of past land degradation on the present shallow landslides in Yamaguchi Prefecture, western Japan	大丸裕武, 村上 亘, 黒川潮	森林総合研究所	8th IAG International Conference on Geomorphology,	2013	8
100	Influence of deforestation and reforestation to landslide occurrences in the granite region —Case in Mt. Ichifusa area, in central Kyusyu, Japan—	村上亘, 大丸裕 武	森林総合研究所	8th IAG International Conference on Geomorphology,	2013	8
101	Recurrence intervals and rainfall intensity-duration thresholds for extensive shallow landslide occurrences in granitic mountains, Japan	齋藤仁, 大丸裕 武, 村上亘	関東学院大学	EGU	2014	4
102	Rainfall Intensity-Duration Thresholds and Recurrence Intervals for Landslide Occurrences in Granitic Mountains, Japan	村上亘, 齋藤 仁, 大丸裕武	関東学院大学	Tokyo Conference on International Study for Disaster Risk Reduction and Resilience	2015	1

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(注)(1)学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	②	温暖化と山地災害 - 激動の時代を迎えて -	大丸裕武	森林総合研究所	グリーンエージ (日本緑化センター)	2015	1
2	②	山が動く(積雪地域で発生する地すべり災害の多様性とその観測)	岡本隆	森林総合研究所東北支所	(一社)斜面防災 対策技術協会東北支部	2015	6
3	①	将来の気候変動と稲作の総合生産性-マルムクイスト生産性指数で計測した稲作の全要素生産性に対する影響要因-	國光洋二, 工藤亮治	農研機構農村工学研究部門	養賢堂	2016	3
4	④	秋田の森林づくり(積雪期における地すべりの長期変動観測)	岡本隆	森林総合研究所東北支所	(一社)秋田県森 と水の協会	2016	6
5	①	降雨パターンの変動と林地災害の激甚化(「シリーズ21世紀の農学 大変動時代の農と食」日本農学会編の分担執筆)	大丸裕武	森林総合研究所	養賢堂	2018	4

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

注2)複数機関ある場合は著者名の順番と合わせる。

(4) 国内特許権等

整理番号	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日
1	地下埋設壁材の評価方法	白旗克志, 石田聡, 吉本周平, 土原健雄	白旗克志, 石田聡, 吉本周平, 土原健雄	農研機構農村工学研究部門	特許権	特願2017-148756	2017/9/14	

注1)「特許権等の種類」には、特許権、実用新案権、意匠権、回路配置利用権及び品種登録を記載する。

注2)複数の機関による共同出願の場合は、主となる出願人の下に行を追加し、共同出願人の情報を記載する。

(5) 報道等

区分: ①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名等	掲載年	掲載月	掲載日	機関名	備考
②	透水係数調査 安価に	日本農業新聞	2017	9	22	農研機構農村工学研究部門	

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(6)普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの、製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの

区分	成果の名称	機関名	普及(製品化) 年月		主な利用場面	普及状況
			年	月		
③	気候変動が農業水利用や水資源に与える影響の全国評価マップ	農研機構農村工学研究部門	2016	3	行政機関等が気候変動適応計画や適応策策定を行う場面	
②	沿岸域の地下水位時系列観測データの分析による帯水層の透水係数推定手法	農研機構農村工学研究部門	2017	3	沿岸域・島嶼域において地下水の開発・保全計画を検討する場面	
③	将来の豪雨強大化に対応した水利施設計画・管理のための水稲被害リスク評価法	農研機構農村工学研究部門	2018	3	行政機関等が新たな排水計画や流域水管理方策を策定する場面	

注1)区分は複数可。

注2)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(7)発表会の主催の状況

(シンポジウム・セミナー等を記載する。)

整理 番号	発表会の名称	年月日			開催場所	参加者 数	機関名	備考
		年	月	日				
1	平成24年度第4回気候変動定例研究会	2012	7	27	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門, 森林総合研究所	農研機構農村工学研究部門, 森林総合研究所
2	平成25年度第3回気候変動定例研究会	2013	6	11	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門, 森林総合研究所	農研機構農村工学研究部門, 森林総合研究所
3	平成26年度第2回気候変動定例研究会	2014	5	16	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門	農研機構農村工学研究部門, 寒地土木研究所
4	平成25年度第8回気候変動定例研究会	2014	11	8	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門	農研機構農村工学研究部門, 国立環境研究所, 東京大学
5	平成26年度第11回気候変動定例研究会	2015	3	20	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門	農研機構農村工学研究部門, フランス国立環境・農業科学技術研究所
6	平成27年度第2回気候変動定例研究会	2015	5	14	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門	農研機構農村工学研究部門, 新潟大学

7	平成28年度第3回気候変動定例研究会	2016	9	22	農研機構農村工学研究部門	20	農研機構農村工学研究部門	農研機構農村工学研究部門, 農業環境変動研究センター, 京都大学
---	--------------------	------	---	----	--------------	----	--------------	----------------------------------

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(8)アウトリーチ活動の状況

当事業の研究課題におけるアウトリーチ活動の内容は以下のとおり。

- 区分; ①一般市民向けのシンポジウム、講演会及び公開講座、サイエンスカフェ等、 ②展示会及びフェアへの出展、大学及び研究所等の一般公開への参画、 ③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	年月日			開催場所	参加者数	主な参加者	機関名	備考
1	①	気候変動に灌漑や農業はどの程度耐えられるか、平成26年度公開シンポジウム、気候変動リスク情報創生プログラム	2014	9	30	一橋大学一橋講堂	200	研究者, 学生, 行政, 農業関係者, マスコミ	農研機構農村工学研究部門	文部科学省, 海洋研究開発機構
2	①	熊本大学拠点形成研究キックオフシンポジウム「地下水資源の持続的利用を実現する流域圏ランドデザイン研究」(環境トレーサーからみた中山間地域の地下水流動-地すべり地の現場を事例として-)	2015	3	15	水前寺共済会館グレースシア	40	会社員, 主婦, 学生, 行政等	農研機構農村工学研究部門	熊本大学
3	①	水資源からみたモンスーンアジアの農業環境問題, MARCOシンポジウム「モンスーンアジアにおける農業環境研究の挑戦」	2015	8	26	つくば国際会議場	150	研究者, 学生, 行政, マスコミ	農研機構農村工学研究部門	農業環境技術研究所
4	①	雪氷防災研究講演会「積雪をとりまく環境と防災」	2015	10	20	ホテルルイズ(岩手県盛岡市)	150	行政, 学生, 研究者	森林総合研究所東北支所	防災科学技術研究所
5	①	ため池緊急防災体制整備促進事業監視・管理体制強化技術研修会「ため池の管理・点検と貯水位予測による減災管理」	2015	11	25	(株)富山県総合情報センター	86	ため池管理者, 土地改良区・市町村職員	農研機構農村工学研究部門	富山県
6	①	日本地すべり学会東北支部シンポジウム「積雪・融雪と地すべり, その不思議な挙動の解明と危険度予測を目指して」	2016	4	25	仙台市戦災復興記念館記念ホール	150	研究者, 学生, 行政	森林総合研究所東北支所	日本地すべり学会
7	①	山形大学農学部公開講座「庄内を潤す水土里の恵み」(庄内の水はどこから? -地下水の起源を探る-)	2016	6	18	山形大学農学部	70	会社員, 主婦, 学生, 行政等	山形大学, 農研機構	山形大学

8	②	森林総合研究所東北支所一般公開「山崩れの様子を見てみよう」	2016	10	15	森林総合研究所東北支所	300	一般, 学生	森林総合研究所東北支所	森林総合研究所東北支所
9	①	地球温暖化時代の日本の農業・水産業～その変化と適応策～	2018	2	14	一橋大学一橋講堂	200	研究者, 学生, 行政, 農業関係者, マスコミ	農研機構, 森林研究・整備機構, 山形大学, 関東学院大学	農林水産省, 農研機構, 水産機構

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。