

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

「グリーンインフラと既存インフラの相補的役割－
防災・環境・社会経済面からの評価」(4-1805)

平成31年度～令和3年度

Complementary Role of Green and Gray Infrastructures:
Evaluation from Disaster Prevention, Environment, and Social and Economical Benefit〈研究代表機関〉
北海道大学〈研究分担機関〉
徳島大学
慶応義塾大学
三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)〈研究協力機関〉
北海道大学
徳島大学
三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)

○図表番号の付番方法について

「Ⅰ. 成果の概要」の図表番号は「0. 通し番号」としております。なお、「Ⅱ. 成果の詳細」にて使用した図表を転用する場合には、転用元と同じ番号を付番しております。

「Ⅱ. 成果の詳細」の図表番号は「サブテーマ番号. 通し番号」としております。なお、異なるサブテーマから図表を転用する場合は、転用元と同じ図表番号としております。

令和4年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5-1. 成果の概要	
5-2. 環境政策等への貢献	
5-3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6-1. 査読付き論文	
6-2. 知的財産権	
6-3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 ハイブリッドインフラの工学的評価を基盤にした多面的機能評価、ならびに土地利用への展開について (徳島大学 環境防災研究センター)	13
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
II-2 国立公園の防災機能ならびにハイブリッドインフラの生物多様性、環境経済評価 (北海道大学)	26
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
II-3 GIの不確実性と最適ハイブリッドインフラに関する環境経済学的評価について (慶応義塾大学)	37

要旨

- 7. 研究開発目的
- 8. 研究目標
- 9. 研究開発内容
- 10. 結果及び考察
- 11. 研究目標の達成状況
- 12. 引用文献

II-4 生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいた

ハイブリッドインフラ導入ポテンシャル全国評価について・・・・・・・・ 51

(三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社)

要旨

- 13. 研究開発目的
- 14. 研究目標
- 15. 研究開発内容
- 16. 結果及び考察
- 17. 研究目標の達成状況
- 18. 引用文献

III. 研究成果の発表状況の詳細・・・・・・・・ 71

IV. 英文Abstract・・・・・・・・ 85

I. 成果の概要

課題名 4-1805 グリーンインフラと既存インフラの相補的役割－防災・環境・社会経済面からの評価

課題代表者名 中村 太士 （北海道大学大学院農学研究院 教授）

重点課題 主：【重点課題13】 森・里・川・海のつながりの保全・再生と生態系サービスの持続的な利用に向けた研究・技術開発

副：【重点課題12】 生物多様性の保全とそれに資する科学的知見の充実にに向けた研究・技術開発

行政要請研究テーマ（行政ニーズ）（4-7） 生物多様性と地域の社会経済に配慮した自然保護地域の管理有効性評価と計画・管理運営手法の開発

研究実施期間 平成30年度～令和3年度
但し、新型コロナウイルスの影響のため、令和3年年度まで延長

研究経費
115,127千円（合計額）

	契約額	実績額 (前事業年度繰越分支出額含む)
平成30年度	35,729	38,333
令和1年度	39,699	40,276
令和2年度	39,699	34,446
令和3年度	0	7,020
合計額	115,127	120,075

研究体制

- （サブテーマ1） ハイブリッドインフラの工学的評価を基盤にした多面的機能評価，ならびに土地利用への展開について（徳島大学）
- （サブテーマ2） 国立公園の防災機能ならびにハイブリッドインフラの生物多様性、環境経済評価について（北海道大学）
- （サブテーマ3） グリーンインフラの不確実性と最適ハイブリッドインフラに関する環境経済学的評価について（慶応大学）
- （サブテーマ4） 生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいたハイブリッドインフラ導入ポテンシャル全国評価について（三菱UFJリサーチ&コンサルティング）

研究協力機関

北海道大学

徳島大学

慶応義塾大学

三菱UFJリサーチ&コンサルティング（株）

本研究のキーワード ハイブリッドインフラ、グリーンインフラ、Eco-DRR、生物多様性、環境経済学、不確実性、リスク評価、導入ポテンシャル

1. はじめに（研究背景等）

我が国では、人口減少かつ財政状況の大幅な改善が期待できない状況で、ますます費用対効果の高い公共事業が求められている。一方、自然災害が頻発する中、防災インフラ設置の必要性が増している。こうした中、多機能性を有するグリーンインフラを活用する、いわゆるEco-DRRが第五次環境基本計画にも盛り込まれ、今後グリーンインフラを利用した防災システムが拡大することが期待されている。また、特に洪水および津波は、我が国の国土管理上緊急に対処すべき災害であり（防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策）、これら災害を対象としたハード対策は今後も一層必要性が増してくるだろう。グリーンインフラには、グレーインフラと比べ、防災機能面で異なる特徴が存在する。特に、完全には災害を防御出来ないという不確実性の側面を評価することは不可欠である。また、両者では生物多様性保全機能にも大きな違いがあると考えられる。グリーンインフラとグレーインフラを効果的に融合したハイブリッドインフラ（HBI）は、防災・減災、環境保全、さらには経済振興を推進する重要な役割を今後担っていく可能性があり、工学、生態学、環境経済学といった複数の学術分野が連携し総合的評価を行う必要があるだろう。さらに、今後の我が国におけるHBIの推進のためには、HBIが導入される規模や地理的情報を把握するとともに、防災・減災、環境保全、さらには経済振興などの社会経済分野の観点からHBIの実現による影響を全国的に俯瞰できる評価手法が必要だと考えられる。

2. 研究開発目的

以上の背景を踏まえ、本プロジェクトでは以下4つのサブテーマを設定し、その課題解決を行う。

サブテーマ1では、防潮堤、自然・人工砂丘、海岸林（高潮・津波）や水田（洪水）を活用したHBIの工学的・力学的評価を実施する。さらに、防災・減災機能に加え、HBIが有すると考えられる多面的機能との相乗効果を発揮するための土地利用のあり方の提言を目指す。また、多面的機能の維持管理・増進のためのガバナンスのあり方とその仕組み作りを整理した上で、土地利用シミュレーションに基づく地域の将来像も踏まえつつ、まちづくり総合計画立案手順の確立と、それを支える財政的理論の構築を目指す。

サブテーマ2では、北海道・東北の既存インフラや生態系を対象に、主に生物多様性の観点からHBIの評価を行うことを目的とする。北海道では、第一に、生物多様性や景観の保全を目的に設定されている国立公園について、流域治水上のHBIとしての効果を水文学および環境経済学的アプローチから明らかにする。第二に、生物データベースを活用し、既存のインフラ（遊水地）や生態系（河跡湖）が有する生物多様性保全機能を評価し、HBIとしての利用可能性を検討する。また東北地域では、既存の防潮堤を海浜植物によりHBI化し、既存の防災機能を維持しつつ海浜生態系の連続性を再生することを目的とする。

サブテーマ3では、不確実性を考慮し、さまざまなHBIを分析することができる、より汎用性の高いグリーンインフラ防災経済モデルを構築する。同時に人口規模を明示的に導入し、人口規模の変

化によって、最適なHBIを求めることができるようにする。また、経済モデルを実証分析に適用する際に重要な、市民の「不確実性とリスクの評価」がどのようなものであるかについて検討し、アンケートによって分析する。あわせて不確実性評価について東北震災地をフィールドとすることの可能性を検討する。

サブテーマ4では、実証地域や国内外のHBIに関わる事例を分析することで、HBIの実現に必要な社会経済、および地域環境に関する情報を整理し、全国的なHBIのポテンシャルを捉える枠組みを検討する。前者については、複合的な土地利用管理、事業の連携体制・経済効果を整理、後者については植生、地形地質、土地利用、流域構造、インフラ整備等の要素を整理し、指標に導入すべき条件を明らかにする。その上で、農地を主な対象として基礎自治体の土地利用情報、統計データ、アンケート調査のデータを用いて全国的なHBIの導入ポテンシャルを評価する。さらに、これらの各基礎自治体のHBIの導入ポテンシャルと地域特性の関係を分析し、HBI導入ポテンシャルの違いを生む背景を考察する。

3. 研究目標

全体目標	ハイブリッドインフラの効果について、物理学的なモデルと生態学的モデル、そして不確実性を組み込んだ経済学的なモデルを確立し、海岸・農地、国立公園などがもつ防災および生物多様性保全機能を定量的に評価する。さらに、基礎自治体を対象として、自然環境と社会経済に関する実態を指標化し、ハイブリッドインフラの導入ポテンシャルを統合的に評価する。また、ハイブリッドインフラが持つ多機能性の維持管理を含めた地域のガバナンスの在り方についてとりまとめる。これらを併せて行政側に提言する。
サブテーマ1	ハイブリッドインフラの工学的評価を基盤にした多面的機能評価、ならびに土地利用への展開について
サブテームリーダー/所属機関	武藤 裕則 徳島大学、環境防災研究センター
目標	徳島県海陽町を対象として実施してきた、対高潮・津波及び対洪水ハイブリッドインフラによる減災効果と維持管理を含めたその優位性評価、ハイブリッドインフラ/グリーンインフラの多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方、並びに土地利用変化シミュレーションモデルの開発に関する研究を総括し、同町が今後の街づくり計画に組み込めるようなハイブリッドインフラを核とした地域づくりシナリオ案を作成し、行政側に提示する。
サブテーマ2	国立公園の防災機能ならびにハイブリッドインフラの生物多様性、環境経済評価について
サブテームリーダー/所属機関	中村 太士 北海道大学、農学研究院
目標	防災機能および環境経済的視点から、ハイブリッドインフラとしての国立公園の意義を釧路湿原及びその流域を対象に総合評価する。また、グリーンインフラ導入の候補地の一つである遊水池の α 多様性が地域全体の γ 多様性に与える影響を明らかにするとともに、仙台海岸における防潮堤のハイブリッドインフラとしての機能も評価し、グリーンインフラとしての目標と管理方

	法を、他のサブテーマの分析結果も併せて総合化し、行政側に提示する。
サブテーマ3	グリーンインフラの不確実性と最適ハイブリッドインフラに関する環境経済学的評価について
サブテマリーダー/所属機関	大沼 あゆみ 慶應義塾大学、経済学部
目標	「不確実性」を柱に、ハイブリッドインフラの評価を、理論的および実証的に行う。理論面では、ハイブリッドインフラの機能を数理モデルにより表現し、最適なハイブリッドインフラを経済学的に分析する。さらに、上記モデルに「時間」を明示的に導入できるかを検証する。また、実証面では、不確実性の評価法を確立し、諸地域の住民アンケートを通して定量的分析を行い、その比較評価を行う。また、導入についての政策的議論を実際例に基づき展開、確立し、行政側に提示する。
サブテーマ4	生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいたハイブリッドインフラ導入ポテンシャル全国評価について
サブテマリーダー/所属機関	西田 貴明 三菱UFJリサーチ&コンサルティング/京都産業大学
目標	全国スケールの農地のハイブリッドインフラ（HBI）に注目し、HBIの導入ポテンシャルを捉える指標（農地HBI指標）を環境基盤と社会体制の両面から構築する。環境基盤は、HBIの多面的機能の発現性に注目し、また社会体制は、地域のHBIに関わる政策・市民の意向等を捉える。さらに、農地HBI指標の妥当性を検証しつつ、日本のHBI導入に関する全国的な傾向を把握する。

4. 研究開発内容

(1) ハイブリッドインフラの工学的評価を基盤にした多面的機能評価、ならびに土地利用への展開について

サブテーマ1では、1) 対高潮・津波HBIによる減災効果の評価、2) 対洪水HBIによる減災効果の評価、3) 多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方、4) 土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測、の4つの研究課題を設定した。課題1)では、防潮堤・自然砂丘・海岸林を活用したHBIによる高潮・津波・高波に対する減災効果を評価する数値モデルを開発し、外力規模の変化に伴う効果の定量評価を行うと共に、HBIの設計における留意点を検討した。課題2)では、水田を活用したHBIによる内外水氾濫に対する減災効果を評価する数値モデルを開発し、外力規模の変化に伴う効果の定量評価を行うと共に、今後予想される耕作放棄に伴う機能劣化とその改善策について検討した。課題3)では、HBIを構成するGIとして特に海岸マツ林に着目し、マツ林の保全活動における組織・制度・政策・施策に関する地域間比較を実施した上で、ステークホルダーのあるべき関与の姿についてガバナンス論の観点から検討した。課題4)では、地点（メッシュ）単位の災害リスク、居住環境評価並びに空き家発生予測手法を開発した。また、地形と土地利用を重ねることでエリアごとの土地利用の傾向を把握した上で、今後の地域づくりにおいてゾーニングの考え方を導入した場合に各エリアで重視されるべき観点を指摘した。

(2) 国立公園の防災機能ならびにハイブリッドインフラの生物多様性、環境経済評価について

サブテーマ2では、1) GI導入候補地の検討および遊水地の生物多様性保全機能の評価をするため、北海道全域で洪水氾濫リスク高い地域を抽出し生物多様性マップを重ね、各分類群スコアの高いメッシュをGI導入候補地とした。さらに放棄地の多い場所ほど保全コストが抑えられると仮定し候補順位のランク付けを行った。遊水地の生物多様性保全機能の評価するため、魚類・水生昆虫類・水鳥類・

湿維管束植物類の種数、個体数および種組成を水域タイプごとに算出・比較した。また、2) 釧路湿原のGI-1としての防災機能および環境経済評価をするため、統合型水循環シミュレータを用いて釧路川の流況再現を行い、現景観と湿原の半分程度を宅地化した仮想景観の河川流況を推定し、現在および将来の気候下での湿原の洪水緩和機能を推定した。一方、湿原の洪水調整サービスのリスクについて一般市民の評価を理解するために、シナリオ説明を伴う選択型実験の設問に、GIに関する全般的な質問を合わせたWEBアンケート調査を行った。加えて、3) 河跡湖のGIとして利用可能性の検討するため、石狩川に残存する河跡湖の中から、貯水ポテンシャルが高く、魚類、鳥類、植物の種数が多い水域を、GIとして利用可能性の高い河跡湖として抽出した。また、石狩川・十勝川では湖沼の分断化度および水深が希少種と外来種の個体数に及ぼす直接的・間接的影響を評価した。4) 仙台北岸における防潮堤のHBI化による生物多様性保全の検討では、災害復旧事業として建設された防潮堤による海浜生態系の連続性への影響を把握するため、植物種・被度・草高・土壌の物理性と化学性・標高・汀線からの距離を記録した。さらに防潮堤のHBI化試験として、堤体法面の海側・陸側に浚渫砂を用いて覆砂処理を行った。空撮画像を用いて植生の被覆面積を計測し、植生の定着・侵入状況を把握し周囲の植生と比較した。

(3) グリーンインフラの不確実性と最適ハイブリッドインフラに関する環境経済学的評価について

サブテーマ3では、HBIの不確実性に関する評価を行うため、理論的には1)HBIのモデル化と経済理論を、実証的には2)防災効果の不確実性に対する市民の評価に関する研究（選択型実験）、3)防潮堤建設に対する市民の認識に関する調査（BWS）、4)HBIの経済評価を行った。またGI導入の政策的議論の展開・確立のため、5)グレーインフラの代替可能性についての実証研究、ならびに6)GI設置についての合意形成に関する研究を行った。課題1)では、森林の水源涵養機能に基づき、水文経済モデルを構築して、数理的に防災・減災の社会に与える便益を表現した。そのモデルにおいて、経済学的な最適な防災・減災インフラを導出した。課題2)では、防災効果の不確実性についての市民の評価を把握することを目的に、全国の一般市民を対象とした5000人規模のアンケート調査を行い、不確実性のある防災効果に対する選好・便益等を分析して明らかにした。課題3)では、グレーインフラである巨大防潮堤の建設に当たって考慮すべきと市民が考える事柄を調べることを目的として、岩手県と宮城県の一般市民を対象にしたWebアンケート調査を実施し、防潮堤建設に対する市民の認識を分析した。課題4)では、防災・減災効果の不確実性が高いHBIに対し、どのようなHBIであれば地域住民が受け入れ可能なのかを示すため、沿岸域住民を対象にアンケート調査を行い、HBIの不確実性に対する地域住民の選好を分析した。課題5)では、グレーインフラのGIによる代替可能性に関し、経済活動の縮小によって人為的影響が減少している国内の事例（京都府綾部市の商業林）、市民生活によって環境負荷が増加している国内の事例（西表島沿岸部のマングローブ林）および海外の事例（ジャカルタ市北部沿岸のマングローブ林）の3つを取り上げ、実証研究を行った。課題6)では、GIを進める上で重要な合意形成をいかにして実現しているかをイギリスの事例から経済学的研究を行う計画であったが、コロナ禍において国内サイトでこれに関わる代替的な研究を行うこととなった。令和2年度は国内対象サイト選定の予備調査を行い、令和3年度に、予備調査に基づき選定した地域でWebアンケート調査による選択実験を行った。

(4) 生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいたハイブリッドインフラ導入ポテンシャル全国評価について

サブテーマ4では、実証地域や国内外のハイブリッドインフラ（HBI）に関わる事例の分析に基づき、基礎自治体を単位としてHBIの導入に関わる環境基盤や社会体制に関する指標を構築し、農地を対象とした全国的なHBIの導入ポテンシャルの評価を実施した。前者の環境基盤については、グリーンインフラ（GI）がもつ防災・減災機能の発揮しやすさに関わる地形、土地利用、インフラ整備等のデータを収集した。また、社会体制については、主に行政計画の内容分析、自治体アンケート、企業アンケート、市民アンケート調査により、行政計画におけるGIの位置付け、GIに関わる市民意向や行動など、

自治体や市民のHBIの受け入れやすさに関わるデータを収集した。これらの収集したデータを用いて自然環境に関する条件と、社会制度の両面から、全国的なHBIの導入ポテンシャルの評価をおこなった。また、HBI導入ポテンシャルの評価結果と既存のHBIに関する事業・施策の導入状況を比較することにより、本研究で構築したHBI指標の妥当性や適用可能性を検証した。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

(1) ハイブリッドインフラの工学的評価を基盤にした多面的機能評価、ならびに土地利用への展開について

対高潮・津波HBIによる減災効果の評価では、津波の伝播解析の結果、海浜から遡上する津波の広がり方はシナリオごとで異なり、初期水位が上昇するにつれて浸水域は非線形に増加し、GIの効果は外力が大きくなるほど非線形に小さくなることが示唆された。次に、令和元年台風19号通過時の波浪の結果、台風前の地形では松林への浸水は生じなかったが、台風後の地形では浸水が生じた。このことは、HBIに含まれる自然環境の成り立ちを知ることがHBIの維持管理方法において重要であることを示唆している。加えて、人工堤防が果たしている機能評価から、HBIの配置設計における生態系サービスのトレードオフが発生する可能性のあることが示された。

対洪水HBIによる減災効果の評価では、氾濫解析の結果、内水氾濫では想定最大規模の降雨に対しても湛水量の多くを水田が受け止め住宅被害が緩和されているのに対し、内外水重畳氾濫においては、想定最大規模に対しては中央部～東部宅地への浸水は避けられないことがわかった。しかしながら、外水による湛水増加量は一旦西部・北部の水田に受け止められ、そこから中央部～東部へと拡がることから、高度成長期以降に開発の進んだ中央部の土地利用を検討することで水田の洪水緩和機能をさらに強化できる可能性が示唆された。一方、耕作放棄が起こると放棄植生の成立に伴い洪水緩和機能は低下するが、湿地として再生・保全されることで洪水緩和機能だけでなく水生植物を指標とする植物群落が復元するなどHBIとしての多面的機能が回復することが明らかになった。また、そのためには適切な管理活動が重要であることが示された。

多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方では、社会、経済、所有形態等の状況が異なる6地域での調査結果に基づき、8つの評価項目でそれぞれの地域の保全管理を相対的に評価した。その結果、持続的に活動をつづけるために必要なローカルガバナンスの要素として、①地域の人の想いを支える制度・仕組み、②愛着につながる子どもの頃からの教育と体験、③維持管理に必要な科学的根拠、④活動の担い手のアドボカシー、⑤仕組みとしての協議会(マネジメントを担う人、ボランティア、行政が集える小さな拠点)、を抽出した。さらに、持続的な保全活動を支える上で有効な仕組みとして、地域自治に基づくガバナンス型解決モデルを提案した。

土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測では、各地点(メッシュ)ごとの洪水災害リスク評価と居住環境評価結果に土地利用分類ごとの面積および標高を加えて、クラスター分析を行い対象地域を分類した。その上で、空き家発生可能性の推計結果を重ね合わせることで、エリアごとの土地利用の傾向を具体的に把握した。その結果、対象地区は6つのゾーンに分類され、森林や丘陵地周辺、海岸マツ林等の現環境を保全すべきエリア、町中心部のような災害と共存できる市街地整備が必要なエリア、水田を中心に洪水緩和機能の活用を目途として開発圧力を規制すべきエリア、東部住宅地を含む災害リスクが低く現状土地利用の維持が必要なエリア、としてそれぞれ管理することが有効であることを示した。

(2) 国立公園の防災機能ならびにハイブリッドインフラの生物多様性、環境経済評価について

北海道全域を対象としたGI導入候補地の検討では、放棄地マップ、生物多様性マップ、および洪水氾濫リスクマップを重ね合わせた結果、GI導入候補地として順位が高い地域は、大河川の下流域に集中する傾向が認められ、特に石狩川下流域に多くのGI導入候補地が抽出された。石狩川水系千歳川遊水

地群の生物多様性保全機能については、魚類・水生昆虫・水鳥・植物の全分類群において池沼と同等の機能を有すること、また種組成の比較では、複数の分類群で池沼とは異なる組成が認められ、遊水地が現農地景観内にはない新たな生息地を提供し地域の多様性の向上に貢献する可能性があることを示した。

釧路湿原のGI-1としての防災機能評価のために、現在および将来の気候変動下での洪水緩和機能についてシミュレーションを行った結果、現在の大雨時の河川のピーク流量が約20%の低下、将来の気候変動下でも釧路湿原が約30%低下させる効果があることが明らかとなった。また釧路湿原の環境経済評価のために、一般市民が現存するグレーインフラへの追加機能として、湿原の洪水調整サービスに対する評価を知るために行ったWEBアンケート調査では、自信をもって回答していない割合は41.9%であり、自信をもって回答をした割合23.6%を大きく上回り、GIに対する理解がまだ進んでいない割合が高くなるほどGIの評価が低下した。このことは、いまだGIへの認知度が十分でなく、理解が進めばGIへの全般的評価が高くなる可能性があることを示唆した。

河跡湖のGIとして利用可能性を検討するため、石狩川の貯水ポテンシャルが高い河跡湖の中から生物多様性の高い河跡湖を、GI候補地として選出した。また、石狩川・十勝川両地域の河跡湖内での調査で、希少種のヤチウグイの個体数は外来種のモツゴの増加に伴い減少することが明らかとなった。これは、孤立した小さな河跡湖が希少種にとって外来種からの避難場として機能していることを示し、治水上重要性は低いと考えられる小さな孤立湖沼（後背湿地）の一部もGIとしての遊水地の造成の際に重要であることが判明した。

仙台海岸における防潮堤のHBI化による生物多様性保全効果を知るため行った防潮堤での植生調査では、海から陸にかけて明確な帯状構造を形成していることが明らかになった。既存防潮堤への覆砂試験の結果、法面全体の15%に植生の侵入・定着が起こっており、定着した植物は周囲と同じ海浜植物群落から構成されていた。このことから、防潮堤への覆砂による植物の生育基盤を用意するだけで、HBIとして海浜植物の多様性保全機能を向上させることができることを実証した。

(3) グリーンインフラの不確実性と最適ハイブリッドインフラに関する環境経済学的評価について

ハイブリッドインフラのモデル化と経済理論による分析では、河川の下流に居住地があり、河川の氾濫により被害が発生する想定で、下流にグレーインフラおよび上流にGIを設置するHBIを考察した。経済理論に基づき、水文経済モデルを構築することで、HBIの機能を詳細に表現した。さらに、HBIにおけるグレーインフラとGIの最適な構成を考察し、最適における条件を数学的に示した。そして、二つのインフラの構成比が人口とともにどのように変化するかを、機会費用の概念をもとに関連づけた。

防災対策の効果と不確実性に対する市民の評価を把握するためアンケート調査を実施し、選択型実験を用いた分析の結果、成功確率の上昇や各種被害の軽減から得られる便益は通減することや、防災効果と不確実性に対する選好は個人間で多様であることなどが明らかとなった。

防潮堤建設に対する東日本大震災被災地の住民の認識を把握するためのアンケート調査を実施し、BWSを用いた分析の結果、防潮堤建設に当たって「自然環境への悪影響」と「防潮堤の高さ（安全性）」を特に考慮すべきと考えられていることや、防潮堤に関する知識、防潮堤の必要性に関する認識、東日本大震災時の津波による被害の経験などがそれらの評価に影響していることなどが明らかとなった。

HBIの経済評価をするため、沿岸域住民を対象にアンケート調査を実施し、仮想的なHBIを地域住民に提示し、最も好ましいものを選んでもらうことでHBIに対する地域住民の選好を分析した。分析の結果、浸水リスクの高い地域の住民とそれ以外では、HBIに対する価値が大きく異なることが示された。このことは、グレーインフラを重視する住民とGIを好む住民が沿岸域には混在しており、HBIを政策的に導入する上では、地域住民の合意形成が容易ではないことを示唆している。HBI政策においては、地域住民には情報公開を徹底するとともに、慎重に意思決定を進めることが重要である。

グレーインフラの代替可能性についての実証研究では、商業林の放置によって、森林が有するGI機

能が低下していることから、京都府綾部市の民有林を対象に調査して、森林の防災・減災機能を増強し、収益の黒字化を実現しうる路網整備が可能なことを確認した。沿岸域では、マングローブ林が津波や高波による被害の軽減に寄与するものの、海ごみがマングローブを枯死させたり、再生を阻害し、防災・減災機能を損なっていることを、国内で実地に調査して学術誌で報告した。世界有数の都市であり、深刻な地盤沈下が起きているジャカルタ北部のマングローブ林が、物理的な防災・減災機能だけでなく、市民の災害に対する認識や、防災活動への参加の契機になりうることを、文献渉猟に基づき指摘した。

(4) 生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいたハイブリッドインフラ導入ポテンシャル全国評価について

本研究では、既存のグリーンインフラに関する事例や取組を踏まえて、DPSIRのフレームワークを基にして、自治体のハイブリッドインフラ（HBI）の導入ポテンシャルを評価する枠組みを構築した。この評価枠組みを基にして、特に農地におけるHBIを対象として、HBIに関わる土地利用や植生、地形等の環境条件に加え、自治体の行政計画、理解認識、また市民や企業の認識、取組意向等の社会体制に関わる情報について、日本全体の主要な基礎自治体を単位としたデータベースを構築した。

これらのデータを用いて、まずGIとして水田の役割に注目し、水田が持つ災害抑制、被害軽減機能、具体的には陸水由来の洪水被害、例えば豪雨による河川氾濫（外水氾濫）を抑制させる機能および、既に発生してしまった災害の被害緩和機能について評価した。その結果として、GIの洪水抑制、被害軽減に対する凹地水田の重要性を明らかにした。さらに、この被害緩和機能が高い凹地水田は、地域の生物多様性に貢献することが明らかになり、凹地水田の割合がHBI導入ポテンシャルの代表指標と扱うことができることが示唆された。

また、行政計画の内容分析からは、HBIに関わる行政計画の策定状況や、行政計画における生態系サービスに関する記述の有無、記載内容に大きな差異が見受けられ、自治体ごとにGIに関する施策の受け入れやすさは異なる可能性が示唆された。また、自治体向けのアンケートの結果からは、GIに関する認知理解や取組意向は自治体ごとに異なることが示された。自治体のGIの理解や行政計画におけるGIの位置付け、市民のGIに対する意向は、地域の財政関連情報である課税対象所得と関係しており、これがHBIの全国スケールでの社会体制としての代表指標となることが示された。このため、凹地型水田の比率と課税対象所得をHBI代表指標として用い、全国の自治体のHBI導入ポテンシャルを評価すると、HBI代表指標の高い自治体においてGI関連事業が実際に実施されやすい傾向が示された。このため、本研究により、全国1700余の地方自治体の農地のHBIの導入ポテンシャルが、特定の地形条件と地方自治体の財務情報の2つの代表指標で概観することが可能となり、また国内の幅広い自治体においてHBIの導入可能性があることが示唆された。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

- 1) 代表者である中村太士は、内閣府特命担当大臣（防災）武田良太氏と環境大臣小泉進次郎氏から依頼を受け、2020年3月24日に意見交換会「気候変動×防災」での話題提供、ならびにその後の質疑応答を行った。話題提供の際、釧路湿原の防災機能について本推進費の成果を説明し、その後の両大臣の声明で「自然の性質を活かして災害をいなしてきた古来の知恵にも学びつつ、地域の特性を把握し、「危ない地域には住まない」といった土地利用のコントロールも含めて、気候変動への適応を進めていく「適応復興」という新たな考え方を提案する」ことにつながった。
- 2) 2020年6月30日環境省主催の「気候変動×防災」国際シンポジウム（オンライン）で瀬川恵子環境省大臣官房審議官が発表した内容で、本推進費の成果である釧路湿原の防災・減災機能が紹介された。
- 3) 2020年3月に発刊された「地域適応コンソーシアム事業成果集」に本推進費の成果である釧路湿原の防災・減災機能が紹介された。

- 4) 2021年1月27日の国土交通省の国土審議会（国土審議会計画推進部会 国土の長期展望専門委員会（第12回））の検討において、本研究において実施した地方自治体向けアンケート結果の一部を提供し、「自治体のGIの推進にむけた課題」を示すため、同審議会の長期展望委員会（第12回）の資料に掲載されている（持続可能な国土に向けて：資料2，63ページ）

<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001389651.pdf>

<行政等が活用することが見込まれる成果>

サブテーマ1では、研究対象を徳島県海陽町に設定しており、得られた研究成果は、同町大里・四方原地区に配置された海岸砂丘・海岸林・水田といったGIが有する対水災害減災効果、GIの例としてのマツ林を保全していくために必要な体制づくりとそこへの行政のコミットメントのあり方、さらにGIを活かしたゾーニング概念に基づく地域づくりの手法提示、といった点にまたがる。これらはいずれも、GIを核とした地域づくりを念頭に置いており、地域や同町にとってのその意義と有効性を強調した上で、同町が果たすべき役割を具体的に示唆していることから、同町の今後の環境政策指針の候補たり得るべきものである。また、研究を通じて開発された各種の工学的要素技術（数値シミュレーション手法、統計解析手法など）は、同種の検討を実施する際の基本的ツールとして、他地域への適用等の波及効果が十分期待できる。なお、地域におけるシンポジウム・セミナーの開催や首長らに対する成果報告説明など、研究成果の地元還元を今後図ってゆく予定である。

サブテーマ2の成果は、流域治水事業に生かされることが見込まれる。2019年台風19号による洪水被害後の対策として、国土交通省から発表された「流域治水への転換（GIの活用が明記されている）」ならびに2021年に成立した「流域治水」関連法による、流域治水対策と生物多様性の保全に寄与できる。現在、環境省の気候変動適応広域アクションプラン策定事業のEco-DRR分科会で石狩川旧川を利用したGI適地の抽出結果を提供し、北海道開発局とともにその実現に向けての検討に入った。

サブテーマ3では、HBIを実際に適用する場合の機能・長所・短所を、経済的な面から総合的に提示し、実際の防災・減災政策においての活用を可能としたこと、さらにグレーインフラ、GI、HBIの機能をグラフにより可視化したこと、グレーインフラである防潮堤について東日本大震災の被災地市民の認識を明らかにしたことが、行政等が活用できる成果としてあげられる。また、防潮堤建設に当たって考慮すべきと市民が考える事柄を明らかにし、沿岸域住民が津波被害について何を重視しているかを定量的に示したことで、将来、再び防潮堤の建設が必要になった際、議論に活かすことができる。

サブテーマ4の成果は、環境省の行政施策ならびにGI官民連携プラットフォームで行かされると考えられる。上記の国土審議会資料（5-2.4）の他、本研究にて実施した市民、企業、自治体に向けたアンケート調査は、環境省自然環境局生物多様性戦略室と事前相談の上実施しており、調査によって得られた結果速報は同室に速やかに提供し、関連施策の検討における基礎的な情報として利用されている。また、国土交通省の総合政策局において、令和2年度より設置したGI官民連携プラットフォームにサブテーマ4の研究メンバーが運営委員として参加しており、本研究成果を含めた知見をもとにして、GIの社会実装に向けた検討を行っている。

5-3. 研究目標の達成状況

サブテーマ1では、得られた研究成果に基づき、徳島県海陽町に対し、大里・四方原地区の地域づくりシナリオ案を作成し提示することを目標としていた。得られた成果は、防災・環境保全・住環境維持といった地域の持続性確保に関する多様な視点において重要な知見を提供している。これらはそのまま、地域づくりシナリオの骨子として活用される蓋然性が高いことに加えて、ここで得られた知見に基づくHBIの観点からの地域づくりこそが、人口減少・高齢化の下での地域の維持・活力創出に対する合理的な解となり得ることを示唆した点で、当初の研究目標を十分に達成している。

サブテーマ2では、釧路湿原及びその流域を対象として、HBIとしての国立公園の意義を防災機能および環境経済的視点から総合評価できた。また、遊水池がGI導入候補地として生物多様性に十分

貢献する機能をもつこと、残存する河跡湖のGI導入のポテンシャルや検討課題も確認できた。仙台海岸の防潮堤をHBI化する試験により、海岸生態系の連続性の維持に一定の効果があることが判明した。これらの結果によってGIとしての目標と管理方法が明らかになり、研究目標を十分達成することができた。

サブテーマ3では、達成目標を十分に達成できた。まず、HBIの機能を数理モデルにより表現した。また、そのモデルに基づき、最適なHBIを経済学的に分析できた。つぎに、防災効果と不確実性に対する市民の選好を把握し、それに基づいて防災対策の便益を評価することができた。さらに、東日本大震災被災地において、防災対策に対する市民の認識を調査することができた。また、HBIの経済価値を定量的に評価する方法を構築した。選択型実験の属性として防潮堤の追加の高さと海岸林の幅を入れることで、グレーインフラとGIの様々な組み合わせの対策別に経済的価値を評価することが可能となった。最後に、実際のGIの利用と再生による代替可能性の研究から政策展開による議論と関連させることができた。

サブテーマ4の研究目標に掲げた「生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいたHBI導入ポテンシャル全国評価」は、土地利用情報や様々な主体へのアンケート調査により、予定通り実施できた。本研究では、全国スケールでのGIの評価枠組みを構築し、それを試行することでGIの導入ポテンシャルに関する全国傾向を初めて捉えることができた。本研究の結果から、全国的なGIの導入可能性や現状についてマクロ的な視点で捉えることができ、今後のGIの推進における方向性や支援方策を検討する上で貴重な情報を数多く得ることができた。また、これらの研究成果が速やかに政策の現場に生かされるよう、本研究課題の環境省担当課を中心に関係省庁に対して、自治体等のアンケート調査の実施や結果の共有を速やかに行う体制を構築し、研究プロジェクトの実施段階からGIやEco-DRRの政策立案の支援に努めた。以上から、達成目標を十分に達成できたと考える。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

31件

<主な査読付き論文>

- 1) Y. Muto, N. Yoshioka, M. Miyoshi, M. Kamada and T. Tamura: Proceedings of the 38th IAHR World Congress 2019 (2019) Retarding Capacity Estimation of Wetland Paddy Fields under Climate Change and Land Use Change.
- 2) 朝波史香・伊東啓太郎・鎌田磨人. 景観生態学: 25(1) 53-68. (2020) 福岡県福津市の地域自治政策と海岸マツ林の自治管理活動の相互補完性.
- 3) 横川 涼・武藤裕則・鎌田磨人・田村隆雄. 土木学会論文集B1(水工学) Vol.76, No.2, I_463~I_468 (2020) 内水氾濫解析を用いたグリーンインフラの有する洪水調節機能に関する検討.
- 4) N. ISHIYAMA, K. MIURA, S. YAMANAKA, J.N. NEGISHI and F. NAKAMURA: J. Appl Ecol 57.3 (2019) Contribution of small isolated habitats in creating refuges from biological invasions along a geomorphological gradient of floodplain waterbodies.
- 5) F. NAKAMURA, N. ISHIYAMA, S. YAMANAKA, M. HIGA, T. AKASAKA, Y. KOBAYASHI, S. ONO, N. FUKE, M. KITAZAWA, J. MORIMOTO and Y. SHOJI: River Res Appl. 1.13 (2019) Adaptation to climate change and conservation of biodiversity using green infrastructure.
- 6) S. YAMANAKA, N. ISHIYAMA, M. SENZAKI, J. MORIMOTO, M. KITAZAWA, N. FUKE, and F. NAKAMURA: Ecological Engineering 142: 105617 (2020) Role of flood-control basins as summer habitat for wetland species - A multiple-taxon approach.

- 7) H. KIM, Y. SHOJI, T. TSUGE, T. KUBO and F. NAKAMURA: People and Nature (2021) Further understanding preferences on nature evaluated by a discrete choice experiment: From a perspective of relational values.
- 8) A. ONUMA and T. TSUGE: Int. J. Disaster Risk Reduct, vol.32, 22-28 (2018) Comparing green infrastructure as ecosystem-based disaster risk reduction with gray infrastructure in terms of costs and benefits under uncertainty: A theoretical approach.
- 9) T. Osawa T, Nishida T, Oka: Ecological Indicators 144.106306 (2020) High tolerance land use against flood disasters: How paddy fields as previously natural wetland inhibit the occurrence of floods.
- 10) 上野裕介・長谷川啓一: ランドスケープ研究 83(5) 591-596 (2020) 緑地の多面的機能に対する住民の支払い意思額に個人属性の違いが及ぼす影響

6-2. 知的財産権

「特に記載すべき事項はない。」

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	31件
その他誌上発表（査読なし）	29件
口頭発表（学会等）	64件
「国民との科学・技術対話」の実施	65件
マスコミ等への公表・報道等	3件
本研究に関連する受賞	4件

7. 国際共同研究等の状況

「特に記載すべき事項はない。」

8. 研究者略歴

研究代表者：中村 太士

北海道大学大学院農学研究科修了、農学博士

現在、北海道大学大学院農学研究院教授

研究分担者：

- 1) 武藤 裕則 京都大学大学院工学研究科修了, Ph. D
現在、徳島大学大学院社会産業理工学研究部教授
- 2) 鎌田 磨人 広島大学大学院生物圏科学研究科修了、学術博士
現在、徳島大学大学院社会産業理工学部教授
- 3) 山中 亮一 大阪大学大学院工学研究科修了、博士（工学）
現在、徳島大学環境防災研究センター講師
- 4) 渡辺 公次郎 豊橋技術科学大学大学院工学研究科修了、博士（工学）
現在、徳島大学大学院社会産業理工学研究部助教
- 5) 庄子 康 北海道大学大学院農学研究科修了、博士（農学）

- 現在、北海道大学大学院農学研究院准教授
- 6) 松島 肇 北海道大学大学院農学研究科修了、博士（農学）
現在、北海道大学大学院農学研究院講師
- 7) 大沼 あゆみ 東北大学経済学研究科博士課程後期単位取得退学、博士（経済学）
現在、慶應義塾大学経済学部教授
- 8) 西田 貴明 京都大学大学院理学研究科修了、博士（理学）
現在、三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 客員研究員
京都産業大学生命科学部 准教授
- 9) 遠香 尚史 東京大学大学院工学系研究科修了、工学修士
現在、三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社主任研究員

II. 成果の詳細

II-1 ハイブリッドインフラの工学的評価を基盤にした多面的機能評価、ならびに土地利用への展開について

(サブテマリーダー)

国立大学法人徳島大学 環境防災研究センター 武藤 裕則

(研究分担者)

徳島大学 鎌田 磨人・渡辺公次郎・山中 亮一

(その他の研究協力者)

摂南大学 石田 裕子

徳島大学 田村 隆雄・朝波 史香・今井 洋太

[要旨]

対高潮・津波及び対洪水ハイブリッドインフラ (HBI) における自然的構成要素 (グリーンインフラ: GI) として、前者では海岸砂丘・海岸林、後者では水田に着目し、GIが有する減災機能を定量的に評価すると共に、その効果を発揮させるために必要なガバナンスのあり方について検討した。具体的には、徳島県海陽町における大里海岸および大里・四方原地区を対象として、高潮・津波・高波及び内外水氾濫シミュレーションを実施し、外力規模の変化が地域の浸水状況に与える影響を通じてGIに期待できる減災効果とその限界を明らかにした上で、現況のGI配置が災害を受けとめる点で理に適ったものであることを裏付けた。また、海岸林の維持管理において地域が直面している課題を踏まえ、海岸林の保全活動の実態とそれを支える制度・施策の地域間比較を行った。その上で、あるべきガバナンス・モデルを提示し、地域自治体を含む同地区に必要なステークホルダーのコミットメントのあり方を示唆した。さらに、現況のGI配置を活かしたゾーニングに基づくまちづくりを志向することの有効性を都市計画的観点から明らかにすると共に、GI保全に関する現状の土地利用関連制度における限界を指摘し、その欠落を補完する地域自治体の役割の重要性を指摘した。本研究は、その成果に基づき地域自治体、具体的には海陽町に対し、大里・四方原地区の地域づくりシナリオ案を作成し提示することを目標とした。得られた成果は防災・環境保全・住環境維持といった地域の持続性確保に加えて、それらをベースにした地域の活力創出に関する基本的要件について施策に直結する重要な知見を提供しており、当初の研究目標を十分に達成したと評価できる。

1. 研究開発目的

防潮堤、自然・人工砂丘、海岸林 (高潮・津波) や水田 (洪水) を活用したハイブリッドインフラ (HBI) の工学的・力学的評価を実施する。さらに、防災・減災機能に加え、HBIが有すると考えられる多面的機能との相乗効果を発揮するための土地利用のあり方の提言を目指す。また、多面的機能の維持管理・増進のためのガバナンスのあり方とその仕組み作りを整理した上で、土地利用シミュレーションに基づく地域の将来像も踏まえつつ、まちづくり総合計画立案手順の確立と、それを支える財政的理論の構築を目指す。

2. 研究目標

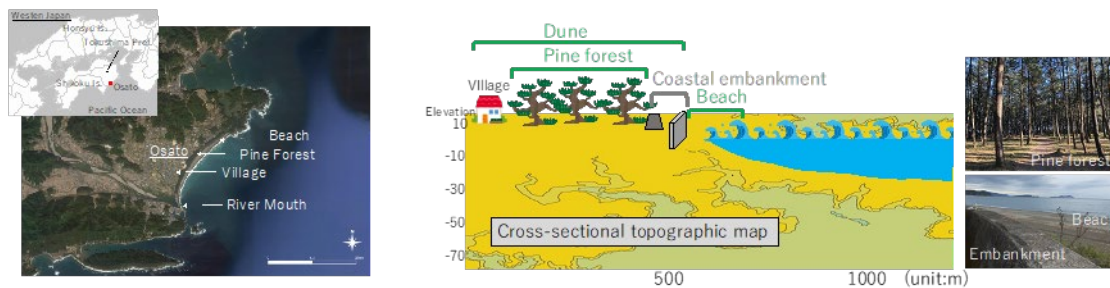
徳島県海陽町を対象として実施してきた、対高潮・津波及び対洪水HBIによる減災効果と維持管理を含めたその優位性評価、HBIおよびGIの多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方、並びに土地利用変化シミュレーションモデルの開発に関する研究を総括し、同町が今後の街づくり計画に組み込めるようなHBIを核とした地域づくりシナリオ案を作成し、行政側に提示する。

3. 研究開発内容

以下、1) 対高潮・津波HBIによる減災効果の評価、2) 対洪水HBIによる減災効果の評価、3) 多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方、4) 土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測、の4つに分けて記す。

(1-1) 対高潮・津波HBIによる減災効果の評価

防潮堤、自然砂丘、海岸林（高潮・津波）を活用したHBIの工学的・力学的評価を実施する。具体的には、対象地域における対高潮・津波HBIによる減災効果の数値的解析と海岸HBIの持続的利用方法に関する考察を行う。本研究の対象とするHBIは図(1)-1に示すような自然海浜、海岸堤防、松林、砂丘で構成されている。津波に関しては複合災害を想定し、外力として高潮、地球温暖化による海面上昇を考慮した津波影響予測のシナリオ解析を行う（表(1)-1）。高潮・高波に関しては、2019年の台風19号により生じた大規模な海浜変形と松林への海水打ち込み現象を対象に、波浪解析と現地調査を行い、その発生過程とHBIの設計における留意点を検討する。



図(1)-1 研究対象領域の場所（左図）とハイブリッドインフラの空間的配置（右図）

表(1)-1 津波影響のシナリオ解析

シナリオ概要		初期水位 (m)
Case1	朔望平均満潮位	T. P. +0.92
Case2	第二室戸台風の際に生じた高潮水位	T. P. +2.85
Case3	気圧を第二室戸台風、風況を伊勢湾台風とした際の高潮水位	T. P. +3.60
Case4	Case2 に地球温暖化による海面上昇を加算(IPCC AR5 WG1)	T. P. +3.67
Case5	Case3 に地球温暖化による海面上昇を加算(IPCC AR5 WG1)	T. P. +4.42

(1-2) 対洪水HBIによる減災効果の評価

対象地域における内水氾濫および内水・外水重畳氾濫現象を再現可能な氾濫解析モデルを開発する。開発したモデルを使用して、2年～1000年確率規模の外力を対象として氾濫解析を実施し、同地域における浸水状況とその経時変化を、地形や土地利用の観点と関連させつつ検討する。特に、外力規模と水田における湛水量の関係についてHBI関数を念頭に整理した上で、居住地区での浸水被害出現との関連から水田における許容湛水量の概念を導入することで、対洪水HBIとしての水田の減災効果を定量的に示す。さらに、水田荒廃に伴う洪水緩和機能の低下と、荒廃後湿地として再生・管理されることによる洪水緩和機能の回復状況について、長崎県対馬市と兵庫県豊岡市に対照地域を設定し検討し、管理放棄された水田HBIの多面的機能の回復に必要な取り組みを提示する。

(1-3) 多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方

GIである海岸マツ林の持続的な保全管理には、どのような組織・人がマネジメント及び活動を展開し、そのコストを誰がどのように支払うのか、そして、それらを支えるためにどのような制度・仕組みが必要なのか、といった課題がある。そこで、社会、経済、所有形態等の状況が異なる6地域で調査を行い、それぞれの海岸マツ林に対する保全活動を比較すると共に、制度・仕組みとしての各地域の政策・施策を評価することにより、海岸マツ林の持続的・活用を支える上で必要なローカルガバナンスのあり方を検討する。さらに、海岸マツ林の保全管理・活用の仕組みの到達度について、各地域の自治体による政策・施策展開とともに、ガバナンス論を用いて評価する。

(1-4)土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測

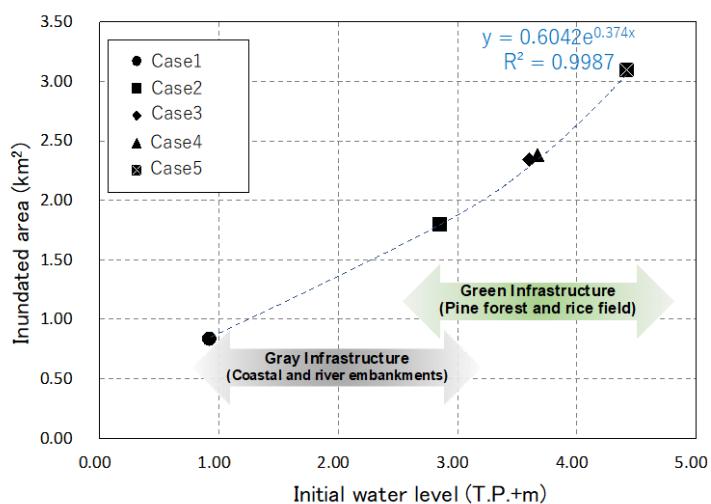
対象地域において、災害リスクと居住環境の評価を行う。災害リスクは、外水および内水氾濫を対象とし、浸水深分布から家屋の被害度を文献¹⁾に基づき推定する。居住環境評価は、地価を目的変数、人口集積状況および生活利便性に関連する項目を説明変数として、重回帰分析より得られる地価の推計値を評価値とする。両者に土地利用分類ごとの面積および標高を加えて、ウォード法によるクラスター分析を行い対象地域を分類した上で、ロジスティック回帰分析による空き家発生可能性（空き家ポテンシャル）の推計結果を重ね合わせることで、エリアごとの土地利用の傾向を具体的に把握する。加えて、対象地域に代表される過疎地域における土地利用関連制度の現状と今後の方針について、アンケート調査を実施する。

4. 結果及び考察

(1-1) 対高潮・津波HBIによる減災効果の評価

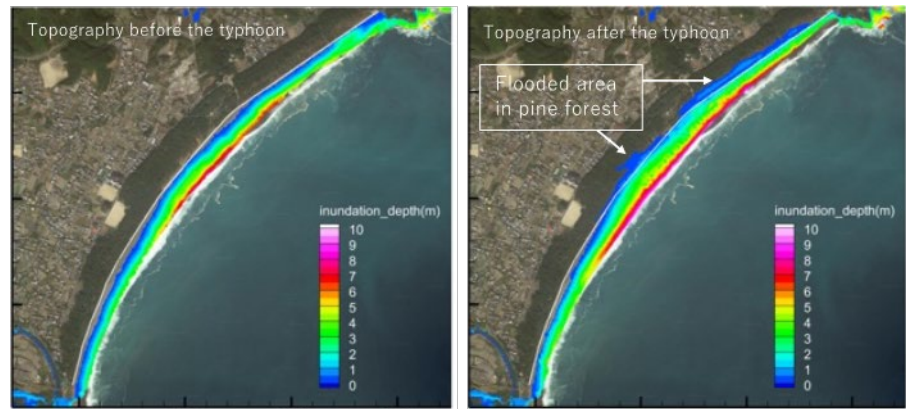
津波の伝播解析にはJAGURS²⁾を用いた。解析の結果、津波は海浜を乗り越える経路と河川を遡上し氾濫する経路の両方から遡上した。海浜から遡上する津波の広がり方はシナリオごとで異なり、Case1とCase2では津波は大里海岸の背後にある海岸堤防より後方には広がらず、Case3とCase4では松林エリア全体に津波浸水域が広がり、Case5では松林を超えて居住区域まで津波浸水域が広がる結果となった。言い換えると、Case1とCase2では津波は海岸堤防や河川堤防により浸水が制限されグレーインフラの効果が発揮される外力規模であったが、Case3とCase4はグレーインフラとともに松林や水田といったGIの効果も加味され、Case5では、グレーインフラとGIの両方を超えて津波が居住区に到達した。図(1)-2に初期水位に対する津波浸水エリアの面積の関係を、主として機能したインフラ情報と合わせて示した。図より、初期水位が上昇するにつれて浸水域は非線形に増加し、これはGIの効果は外力が大きくなるほど非線形に小さくなることを示唆している。一方で、本研究の津波解析では、海岸堤防と河川堤防は越流後に破堤する条件を与えているが、グレーインフラの効果が一定範囲で持続する結果にはならなかった。これは一度に全ての堤防が破堤するわけではないことと、堤防が水際のみならず陸域にも多重に設置されていることに起因していると考察した。実際にはグレーインフラとGIの効果は相補的な現象であるため、その物理的な防災効果を切り分けて議論することは容易ではない。本研究で試みたように、外力の規模を変えてインフラのパッケージとしての効果を把握することは有意義であり、インフラの諸元、例えば海岸堤防の高さや松林の植生密度を変えることでその便益を浸水域にある価値をもとに算出することは可能であろう。ただし配慮しなければならないことは、浸水域に存在する価値は家屋や公共施設など固定資産や経済指標を考慮するだけでは表現しきれないことである。人々の生活を維持する非物質的な資産も含めてインフラ整備の効果を高める方策を検討することが重要であると考えらる。

台風19号通過時の波浪観測結果を解析した結果、50年規模の長周期うねりが対象海域に襲来していたことがわかった。台風通過から3日後の2019年10月16日に大里海岸で現地調査を行った。その結果、潮上帯を含む海浜全体で変形が生じ、海浜中央の海岸線付近では細砂の海浜が新たに現れ、松林への礫と海水の侵入状況を把握した。公表されているボーリングデータによると大里海岸の底質は、潮上帯では礫が広がるが、海面下では砂質であるため、新たに出現した砂の地盤は海側から陸側への砂の移動により生じたため形成されたものと推察した。このような大規模な海浜変形は近年の記録



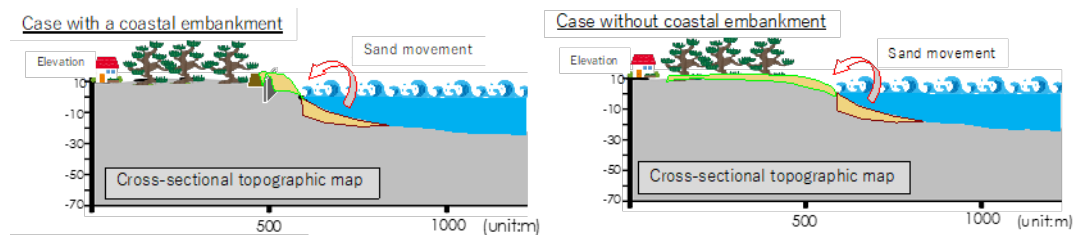
図(1)-2 設定水位と浸水域面積の関係

にはなかったが、ヒアリングでは80歳代の女性より「子供の時の海浜の形に戻った」との証言があり、このことから同様の海浜変形は過去にも生じていたことを把握した。この後、地域住民は松林への海水侵入を問題視し、行政による海浜変形の復元工事が行われることになった。この工事で



図(1)-3 波浪解析により求めた台風19号による遡上域と浸水深

は、潮上帯の砂を沖方向に移動させることで、台風前の地形に戻すことが試みられた。



図(1)-4 低頻度の気象擾乱により生じる海浜変形と背後にある砂丘の関係

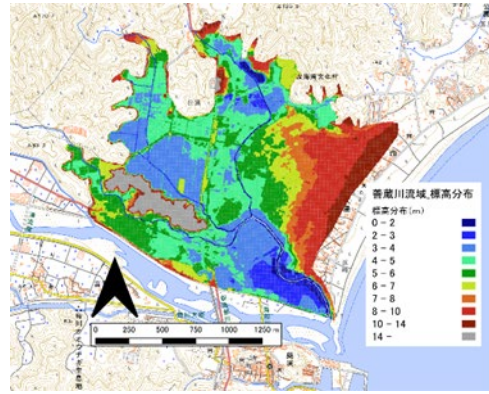
Extended Boussinesq Equationsに基づく波浪解析モデルのCeleris³⁾を用いて、台風襲来時の波浪再現計算を実施したところ台風前の地形を適用したケースでは松林への浸水は生じなかったが、台風後の地形を適用したケースでは松林への浸水が生じた(図(1)-3)。以上より、次のような砂丘形成プロセスがあることが示唆された。大里海岸の南端には海部川の河口が位置しており大雨の後の出水時に海域に砂の供給が生じる。大里海岸の海底には河川から供給された細砂が堆積するが、通常の波浪条件ではこの砂は移動せず堆積する一方である。しかし、約50年に一回の頻度で強いうねりを伴う台風が通過すると、今回のような大規模な海浜変形が生じ、その結果、海砂が内陸に持ち上がり砂丘が長い年月をかけて形成された。図(1)-4には、海岸堤防の存在が砂丘の自然的な形成過程に及ぼす影響を概念図として示した。この図から読み取れるのは、台風による海浜変形により砂丘に海砂が持ち上がることで、すなわち大里エリアの砂丘は自然的な営力により、その防災機能を増強する仕組みがあるということである。このようなHBIに含まれる自然的環境の成り立ちを知ることは、HBIの維持管理方法において重要であると思われた。そして、GIとして砂丘を増強させるためには、現在の位置に堤防が無い方が良いという解釈が可能である。その一方で、現在の位置に堤防がなければ、松林への海水の浸水を防ぐことは難しくなり、海水侵入による松枯れが生じる。これは松林による生態系サービスの消失を意味し、堤防の位置を変えることは、生態系サービスのトレードオフを引き起こすことがわかった。このようなHBIの配置設計における生態系サービスのトレードオフの発生は、HBIを設計する際に考慮すべきことであると思われる。大里エリアでは、松林が集落の持続性に欠かせない存在であり、松林の喪失は最も避けたい事態であったため、グレーインフラである海岸堤防の効果を高めるため海浜地形の改変を選択した。大里エリアの人々は、砂丘の標高が自然のプロセスにより高くなり、松林に波が浸水しなくなるのを待つことは困難であった。すなわち、住民の選択の背景にはGIの形成に必要な期間も関係していたと思われる。HBIを設計する際には、GIの機能が時間的にどのように変化するのかを把握することも重要であることが示唆された。

(1-2) 対洪水HBIによる減災効果の評価

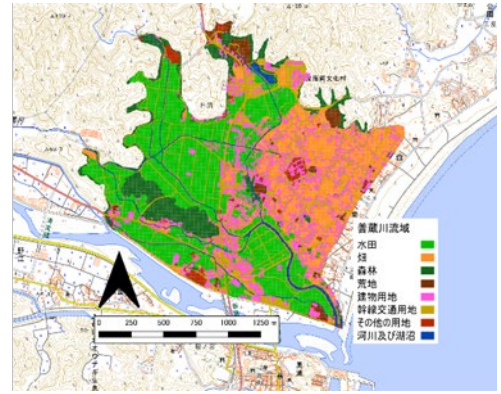
図(1)-5および図(1)-6に、氾濫解析対象地域の標高および土地利用を示す。図(1)-7に内水氾濫における、また図(1)-8に重畳氾濫における湛水量ピーク時の浸水深分布をそれぞれ示す。なお、ここでは100年および1000年確率降雨に対する結果のみを示す。また、重畳氾濫では破堤点の設定によって結果が異なるが、ここでは検討した中で被害が最悪となったケースを取り上げている。計算条件の詳細は文献⁴⁾

を参照されたい。

氾濫解析の結果より、内水氾濫においては西部および北部に一部浸水深が1mを超える領域が生じるが、図(1)-6よりそれらは水田であることがわかる。住宅地は東部の標高の高い海岸砂州上から中央部に広がるが、同領域では一部

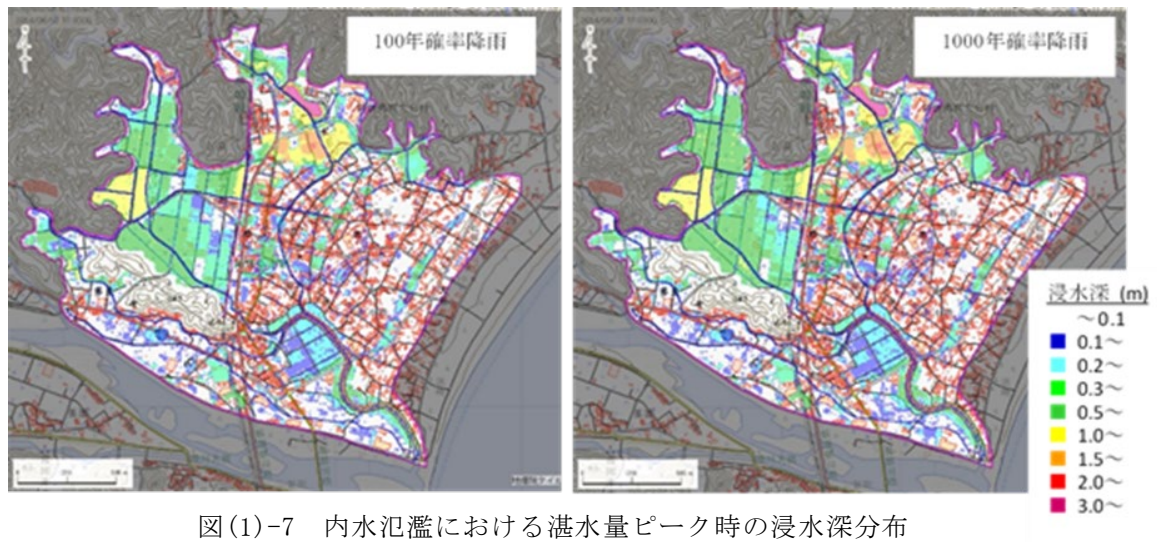


図(1)-5 標高分布

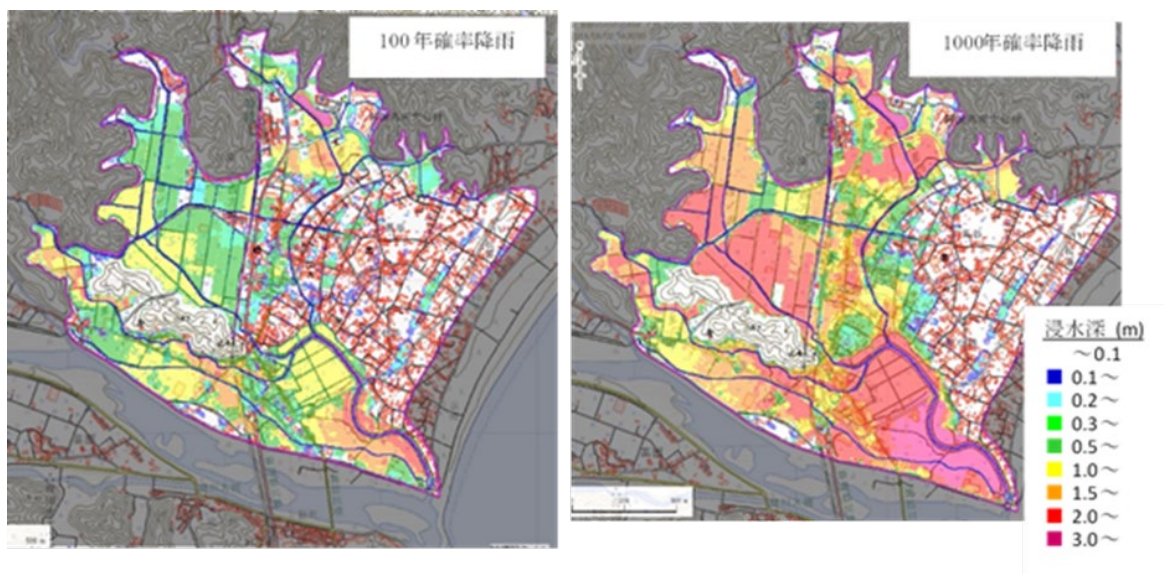


図(1)-6 土地利用分布

を除いて浸水被害が生じていない。以上のことから、内水氾濫に対しては湛水量の多くを水田が受けとめた結果、住宅被害が緩和されており、洪水氾濫対策として理に適った土地利用となっている。一方重畳氾濫に対しては、100年確率降雨に対しては大半の水田で浸水深が1mを超え、中央部においても床上浸水が生じる浸水深0.5m以上の領域が生じるが、東部住宅地への浸水は一部に留まる。しかしながら1000



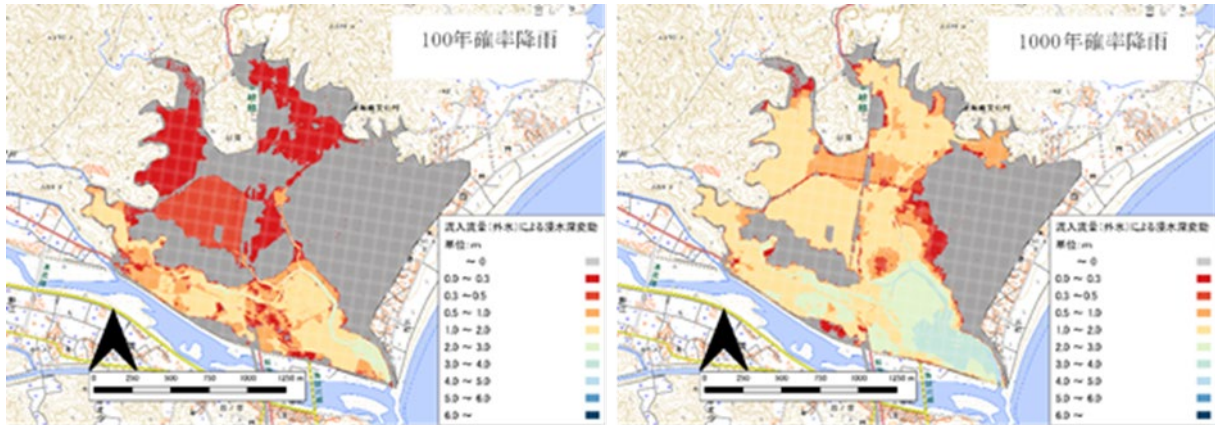
図(1)-7 内水氾濫における湛水量ピーク時の浸水深分布



図(1)-8 内水・外水重畳氾濫における湛水量ピーク時の浸水深分布

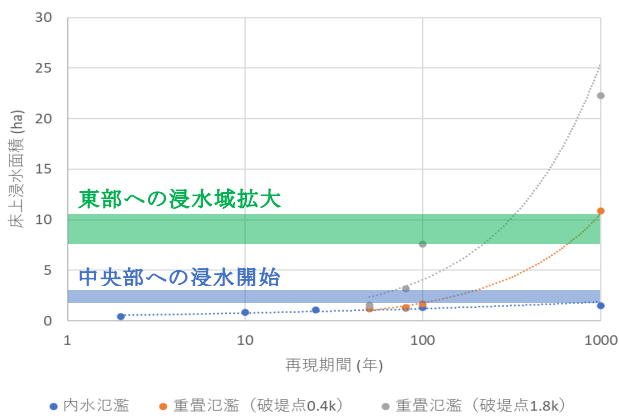
年確率降雨に対しては水田での浸水深は一部2mを超える他、東部住宅地での床上浸水も見られ、被害は甚大である。

図(1)-9は、図(1)-8と図(1)-7の差を取ることで、外水氾濫による浸水深の上乗せ量の地域分布を示したものである。図より、外水氾濫による影響は、破堤点近くの南部に加えて、地域の小河川を通じて西部・北部の水田にも伝播していることがわかる。さらに、洪水規模が増大することで、氾濫流は中央部、さらには東部へ向かうことがわかる。

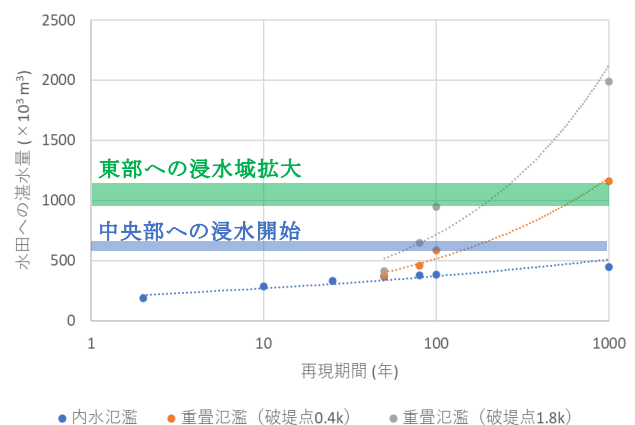


図(1)-9 外水氾濫による内水氾濫浸水深への上乗せ量の地域分布

図(1)-10は、各種氾濫条件に対する床上浸水面積の変化を示したものである。図より、外力規模の増大に対する内水氾濫被害の増加に比して、重畳氾濫における被害増加の顕著さがうかがえる。同図には図(1)-8を参考に、住宅地への被害が拡大する2つの参照レベルを示している。すなわち、青帯が中央部に、そして緑帯が東部に被害が拡大するレベルである。一方、図(1)-11は各種氾濫条件に対する水田での湛水量を示したものであり、同図には図(1)-10に基づき前述の2つの被害拡大レベルを示している。これより、水田は中央部で浸水が開始する時点までで59~64万 m^3 、さらに東部に被害が拡大する時点までで95~115万 m^3 程度の湛水量を受けとめていることがわかる。なおこれらの値はいずれも、対象地域全湛水量の6割程度であることがわかった。

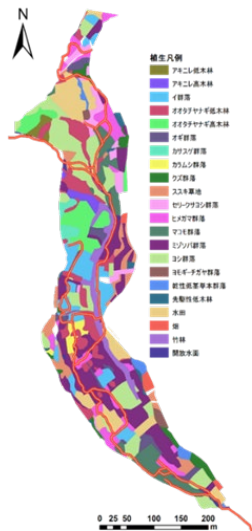


図(1)-10 氾濫条件と床上浸水面積の関係

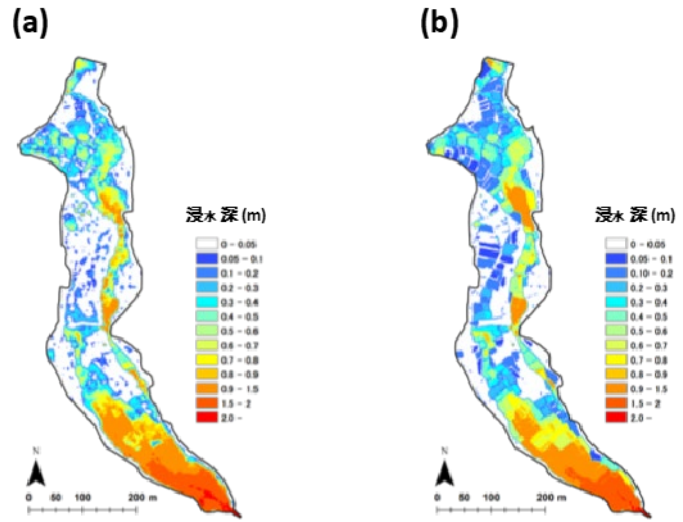


図(1)-11 氾濫条件と水田湛水量の関係

以上の結果より、対象地域における水田は氾濫水量の多くを受けとめることで地域の洪水被害をかなりの程度緩和していることが明らかとなった。加えて、氾濫の拡大過程を明らかにすることを通して、さらなる洪水緩和機能発揮のための方向性、具体的には中央部の土地利用のあり方を検討することが肝要であることを示すことができた。なお、湛水に伴う水田被害の発生とその対策については全く検討されていないことに注意を要する。

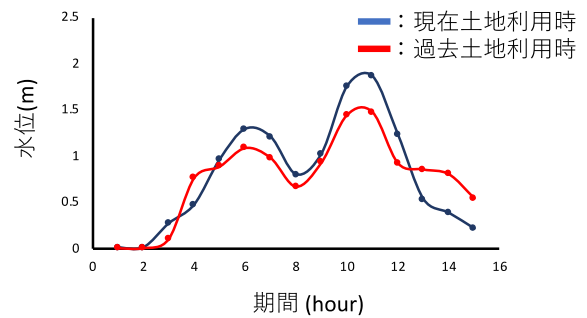


図(1)-12 志多留地区における耕作放棄後に成立した放棄植生



図(1)-13 現在 (a) と過去 (b) の土地利用時におけるピーク流量直後の浸水深の分布

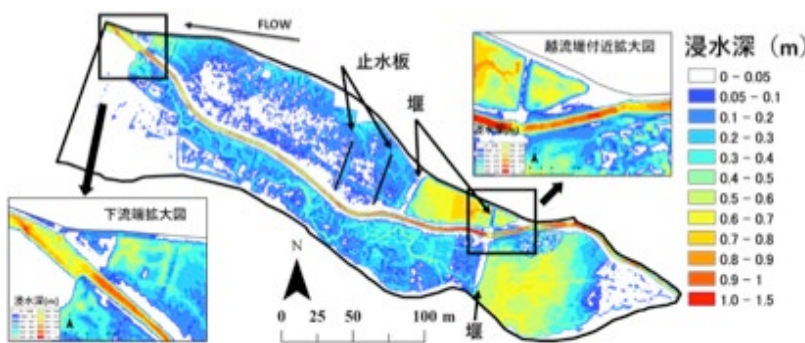
続いて、耕作放棄に伴う氾濫特性及び洪水緩和機能の変化について、長崎県対馬市志多留地区における検討結果を示す。現況植生図⁵⁾を図(1)-12に示す。水田の耕作放棄後には湿性植物群落占有していた一方、乾性の草本群落や木本群落も存在していた。二次元氾濫解析⁶⁾によるピーク流量直後における浸水分布を図(1)-13に示す。過去の土地利用状態では、現在と比較して浸水範囲が大きくなっていた。また、下流端においては、過去よりも現在において浸水深が大きくなっていた。これらの結果は、耕作放棄が進むことにより、放棄植生の成立に伴って微地形が変化し、出水時の氾濫水が下流部へと集積していることを示している。図(1)-14に水田の耕作放棄に伴う下流端の水位変化を示す。現在の土地利用では、過去と比較してピーク水位は約0.4m上昇していた。一方、現在の土地利用におけるピーク流量後の水位は、過去よりも減少速度が大きい。これらの結果は、耕作放棄に伴って出水時のピーク流量が増大し、水田が有する洪水緩和機能が減少していることを示している。



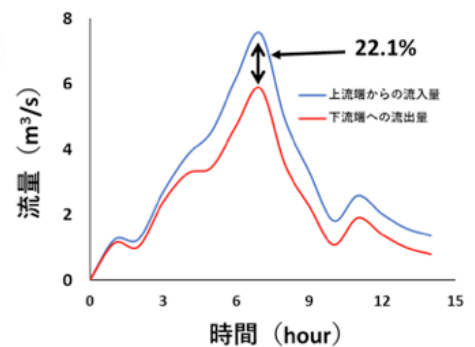
図(1)-14 耕作放棄に伴う下流端水位の変化



図(1)-15 田結地区における植生調査地点



図(1)-16 ピーク流量直後における浸水深の空間分布



図(1)-17 上流端からの流入量及び下流端への流出量の比較

次に、湿地として管理された放棄水田における氾濫特性について、兵庫県豊岡市田結地区における検討結果を示す。植生調査結果を図(1)-15に示す。クラスター分析および指標種分析の結果、放棄植生の指標種は草本類によって構成され、その多くが湿性植物であった。二次元氾濫解析によるピーク流量直後における浸水深分布を図(1)-16に示す。耕作放棄水田全体に氾濫水が流入していた。また、地域住民によって管理された堰の上流側において浸水深が大きくなっていた。計算領域の上流端からの流入量と下流端への流出量の比較図を図(1)-17に示す。ピーク流量を迎えたイベント開始7時間後には、流入量に対して、流出量は22%減少していた。

両地区における検討結果を比べると、志多留地区では、耕作放棄に伴い、乾性の草本種や木本種の侵入が見られた。また、放棄植生の成立に伴い、洪水緩和機能が低下していた。一方、耕作放棄後に湿地として管理されていた田結地区では、湿地管理のために維持された堰や止水板によって洪水が貯留されていた。また、堰周辺では、水生植物を指標とする植物群落が形成されていた。これらのことから、耕作放棄された水田において、湿地として維持管理してゆくことが、HBIとしての多面的機能を向上させる上で重要であると考えられた。また湿地の維持管理活動等を行政が支援することも重要であると考えられた。

(1-3) 多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方

調査地は次の通りである。1)徳島県海陽町・大里松原(町[部落]有林;26ha)、2)徳島 県阿南市の北の脇海岸マツ林(市、私有林;16.8ha)、3)福岡県福津市福間海岸マツ林(国、県、市、私有林;15ha)、4)福岡県宗像市さつき松原(国、県、市有林;140ha)、5)佐賀県唐津市虹の松原(国有林;230ha)、6)福井県敦賀市気比の松原(国有林;32ha)である。いずれも国定公園の中にあり、保安林に指定されている。

それぞれの地域で活動をおこなっている地域の方々や関わる行政担当者等にヒアリングを行い、ガバナンス論に基づく政策・施策評価をおこなった。すなわち、よく知られているRhodes⁷⁾の4つのガバナンス指標と、自立した活動に必要なアドボカシーの視点⁸⁾を加え、8つの評価項目でそれぞれの地域の保全管理を相対的に評価した。6地域の海岸マツ林の比較結果を表(1)-2にまとめた。

表(1)-2 ガバナンス論に基づく活動のしくみの評価指数指標による6地域の海岸マツ林の比較

所有形態	大里	北の脇	福津	さつき	虹	気比
	町(部落)	市、企業、個人	国、県、市、個人	国、県、漁協	国	国
1 独立性がある非政府組織を含む	○	△	○	○	○	○
2 組織間の隔たりは不明瞭	x	x	○	△	△	x
3 ネットワーク構成員間に継続的な相互関係がある	○	x	◎	△	○	△
4 信頼とネットワーク構成員間で合意されたルールに基づく相互関係がある	○	x	○	○	○	△
5 行政から自主性があり自己組織化するネットワークがある	x	x	◎	x	○	x
6 間接的・不完全でも政府がネットワークの舵取りを行っている	-	-	◎	-	○	-
7 自治組織がアドボカシーを持ち、地域から課題解決の道筋・手法を示す	△	x	◎	x	△	x
8 ボトムアップフローが政策過程に組み込まれている	x	x	◎	x	△	x

次に土地の所有形態と保全活動に関わる協議会の形を、設立経緯、関わる組織、目的、活動の内容と主体、マネジメントをおこなっている事務局と特徴をまとめた(表(1)-3)。地域住民は「地縁型」と「テーマ型」の大きく2つのタイプのコミュニティに属する。「地縁型」は町内会などに代表され、「テーマ型」は居住地とは無関係に、興味・関心の対象によってつながり、協議会はこれに当たる。空間的課題である海岸マツ林の保全管理においては、「テーマ型」の協議会によってステークホルダーが集まり、活動できることとなる。

6つの地域の海岸マツ林の保全管理の仕組みを比較して、持続的に活動をつづけるために必要なローカルガバナンスの要素を抽出した。①地域の人の想いを支える制度・仕組み、②愛着につながる子ども

の頃からの教育と体験、③維持管理に必要な科学的根拠、④活動の担い手のアドボカシー、⑤仕組みとしての協議会(マネジメントを担う人、ボランティア、行政が集える小さな拠点)である。

①地域の人の思いを支える制度・仕組み：福津市の取り組みは、平成の大合併において、合併した市町村の行政の成功事例といえる。新たな制度や仕組みが市民の想いを後押しする形は、ローカルガバナンスの一つのよい事例である。

表(1)-3 6地域の海岸マツ林の協議会比較

保全活動に関わる協議会の形	大里	北の脇	福津	さつき	虹	気比
協議会の設立経緯	地区(部落)	地区	市	市	国	国
協議会内の組織	地区(部落)住民	地区住民	地域住民、企業等	国、県、市、観光協会、漁協、市民団体、自治組織	国、県、市、商工関係、教育委員会、自治組織	国、県、市、商工関係、学校、企業、市民団体、研究機関
協議会の目的	地区(部落)活動	地域自治	地域自治	マツ林管理	マツ林管理	マツ林管理
協議会の活動	活動内容の共有	活動内容の共有	目標づくり・共有	目標共有	目標共有	目標共有
	実施主体	実施主体	実施主体	—	—	—
協議会事務局(マネジメント)	地区(部落)	地区	協議会(地区)	市	NPO	コンサルタント
特徴	地縁存続		新規設立			
	ボトムアップ型	依存型	ボトムアップ型	トップダウン型		

②愛着につながる子どもの頃からの教育と体験：海岸マツ林の生態系サービスの利活用が昔と大きく違ってきている現在、その価値や地域の歴史を子どもたちに伝えていくことで、愛着につながり、海岸マツ林での清掃活動を通じて環境がきれいになることを認識し、それが達成感につながり、愛着につながっていく。また、質の高い環境教育をおこなうことで単なるボランティア要員ではなく、福津市の福間海岸マツ林での松原ウォーキングや唐津市の虹の松原での高校生のイベント活動のネーミングのような自発的な提案も期待できる。これは自立的な活動につながっていく。

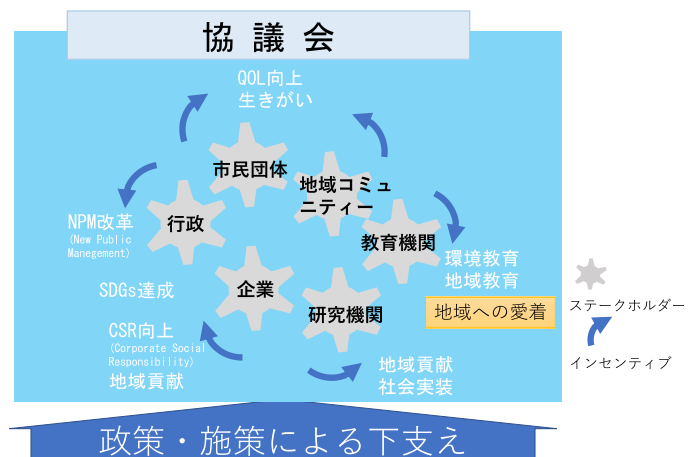
③維持管理に必要な科学的根拠：北の脇海岸マツ林でのヒアリングのなかで、どれくらい間伐すればいいのかといった疑問をもっていることがわかった。一方で、気比の松原のように、基準を定めて管理をおこなっているところもあった。海岸マツ林の保安全管理には、専門家の指導や学術的な助言が必要である。

④活動の担い手のアドボカシー：海岸マツ林の保全・管理を行っていく上で、行政と作業の担い手との「協働」が「安上がり行政」、「行政依存」におちいらなないため、多様なステークホルダーからのアドボカシーの有ることが大きく影響する。

⑤仕組みとしての協議会：北の脇海岸マツ林、虹の松原、さつき松原、気比の松原、それぞれに作られていた。社会資本としての協議会は福津市の福間海岸マツ林のみ存在していた。ガバナンス型解決モデルとなるためには、日常的に使われる協議会が必要である。

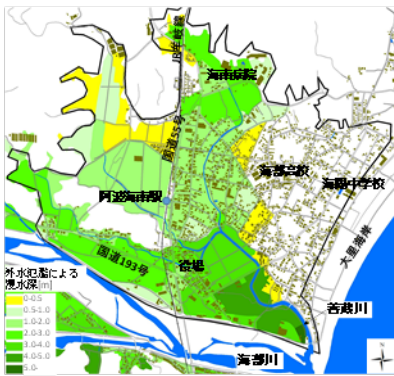
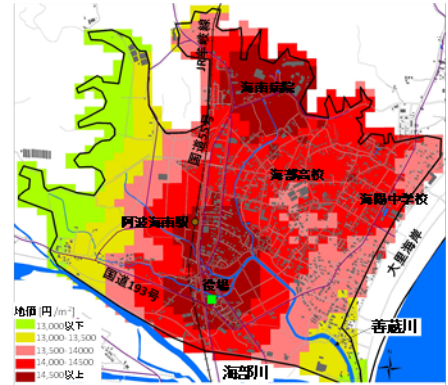
以上のことから海岸マツ林の持続的な保全活動を支える上で有効な仕組みとして、地域自治に基づくガバナンス型解決モデルを提案した

(図(1)-18)。ステークホルダーは水平的な関係性であり位置は固定されず関係性も動的である。松食い虫対策をおこなう行政(国=森林管理署・県・市・町)、行政の手がまわらない下草刈り等を行う市民団体(NPO等)や地域コミュニティ(自治会、町内会等)、教育機関、企業、学術的な指導、助言を行う研究機関である。矢印は活動のインセンティブとなる「愛着」や「信頼」で、インセンティブによって歯車が動く。すべての歯車がかみあい回することで、保安全管理活動が継続し、社会関係資本の向上にもつながる。



図(1)-18 海岸マツ林の保安全管理の成功事例を
基にしたガバナンス型解決モデル

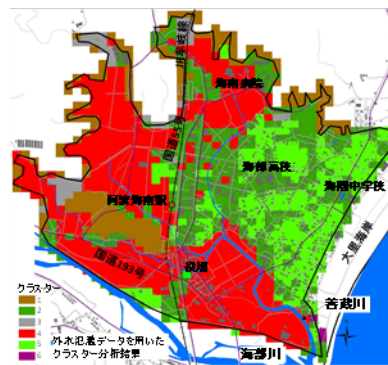
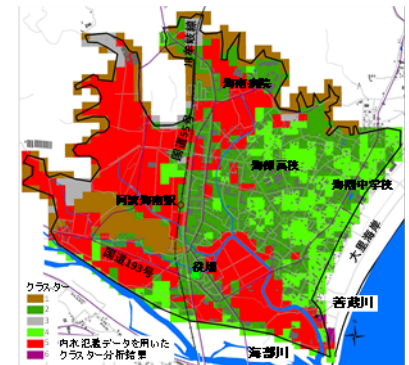
(1-4) 土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測

図(1)-19 外水氾濫による
浸水深図(1)-20 内水氾濫による
浸水深

図(1)-21 推計した地価分布

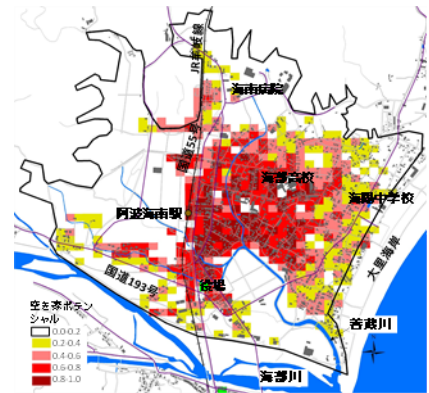
図(1)-19に外水氾濫による浸水深、図(1)-20に内水氾濫による浸水深を示す。外水氾濫発生時には、水田を中心とする善蔵川と海部川に挟まれた地域で4m以上の浸水が、基幹道路である国道55号周辺では1-2m程度の浸水が予測されている。一方、海部高校の東側を見ると、外水氾濫の危険性はない。この地域は、標高が他よりも若干、高いことが理由として考えられる。図(1)-20によると、内水氾濫による浸水は、地域全体で予測されている。特に、善蔵川と海部川に挟まれた地域、国道55号西側の水田がある地域で0.5-1.0m程度の浸水が予測されている。この予測値の想定降雨以上の降雨が発生した場合、水田だけでは処理できない可能性もある。図(1)-21に推計した地価の分布を示す。海南病院付近、役場付近が高い値となっている。これらの地域で生活利便性が高く、人口集積が進んでいることが分かる。しかし、図(1)-19と比較すると、国道55号沿いを中心に、居住環境評価値と災害リスクの両方が高い地域が存在している。

土地利用特性に応じた対象地域の分類において、クラスター分析のクラスター数は結果を見ながら6とした。災害リスクに外水氾濫を用いた分類結果を図(1)-22に、内水氾濫を用いた分類結果を図(1)-23に示す。クラスター1(ゾーン1)は、大半が森林であり、今後、保全が求められるエリアである。クラスター2(ゾーン2)は、災害リスクが低く、かつ地価が高い地域である。図(1)-22と図(1)-23を比較すると、内水氾濫を用いた分類結果(図(1)-23)では、役場周辺はクラスター2に分類されるが、外水氾濫を用いた分類結果(図(1)-22)では、このエリアは主にクラスター4に分類されている。その理由として、災害リスクの大きさの違いが考えられる。駅周辺から海部高校にかけて、クラスター2に分類されているが、この地域は中心部でもあり、住宅や店舗が多い。そのため、避難環境の整備や建物の補強など、災害と共存できる市街地整備が必要である。クラスター3(ゾーン3)は、丘陵地近くの空地で判定されており、ゾーン1同様、保全が必要である。クラスター4とクラスター5は、用いた洪水データの違いにより、分類傾向に差が見られる。外水氾濫を用いた分類(図(1)-22)のクラスター4と、内水氾濫を用いた分類(図(1)-23)のクラスター5が、類似するパターンを示しており、これらをゾーン4とする。ゾーン4は水田が中心であり、外水氾濫域、内水氾濫域とも重複している。GIとしての水田には、雨水貯留、浸透機能があり、洪水災害の低減に重要である。ゾーン4は現状土地利用を維持するとともに、周辺からの開発圧力も規制する必要がある。同様に、外水氾濫を用いた分類(図(1)-22)のクラスター5と、内水氾濫を用いた分類(図(1)-23)のクラスター4が、類似するパターンを示しており、これらをゾーン5とする。

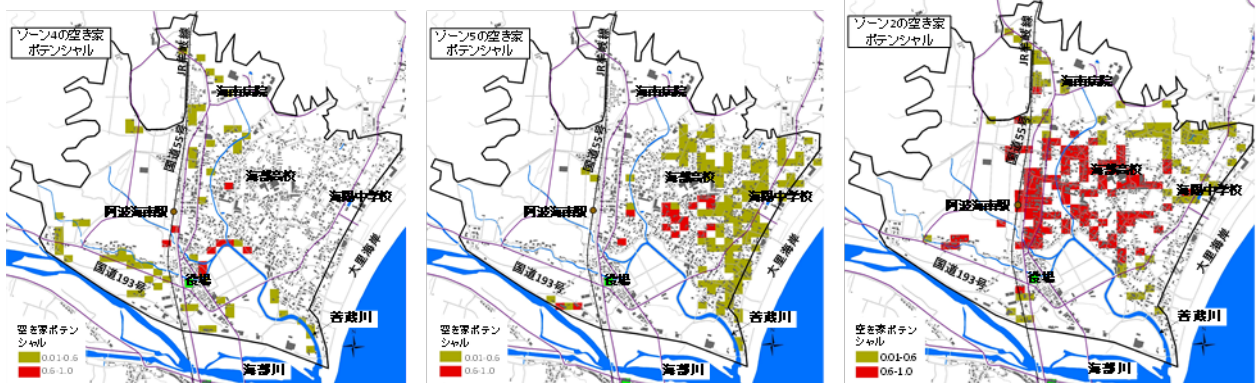
図(1)-22 外水氾濫データ
によるクラスター分析結果図(1)-23 内水氾濫データ
によるクラスター分析結果

ゾーン5は、対象地域の東側に多く分類されており、分散的な市街地とその間にある農地が含まれている。このエリアは、標高が若干高いことから、洪水リスクは非常に低い。残存する農地は、水田同様、洪水災害を低減するGIとしての機能もあり、周辺住宅地の安全性を担保するためにも、現状土地利用の維持が必要である。最後に、クラスター6（ゾーン6）は、松林が中心のメッシュで判定されている。数は少ないが、松林はGIとしても重要な役割を担っており、現状維持が求められる。

図(1)-24に、推計した空き家ポテンシャルを示す。駅から海部高校付近のエリアでは、空き家ポテンシャルが高い。ここは、洪水リスクが低く、地価が高いゾーン2と重複している。しかし、将来的には空き家発生可能性が高くなっている。その理由として、建築活動が継続し、住民の転居などが多いことが考えられる。今後は、居住環境の改善と住宅周辺の農地の管理により、空き家の発生を防ぐこと、発生した場合でも、GIとしての機能を担保できる農地や緑地などへの転換が必要である。図(1)-25に、クラスター分析による分類結果と、空き家ポテンシャルを重ね合わせた結果を示す。水田が中心となるゾーン4は、洪水被害を軽減するためにも重要であるため、少数ではあるが、空き家ポテンシャルが高い地域で空き家が発生した場合、緑地や農地などGI機能を持つ土地利用に変更することが望ましい。洪水リスクが少ないゾーン5の空き家ポテンシャルを見ると、大半が0.6以下であり、今後、継続して住宅地となり得る可能性がある。災害リスクが低く、かつ地価が高いゾーン2は、現時点で住宅が多いこともあり、空き家ポテンシャルが0.6以上で、今後も空き家化が進む可能性がある。特に、国道55号沿いや善蔵川近くは外水氾濫の危険性もあるため、人口減少に伴い、市街地を集約化することも必要である。



図(1)-24 推計した空き家ポテンシャル



図(1)-25 各ゾーンの空き家ポテンシャル

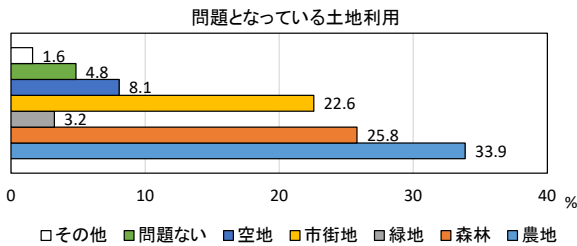
対象地域は、都市計画区域外であり、都市計画的手法による土地利用コントロールに限界がある。図(1)-26は、対象地域の農用地区域(国土数値情報)である。これ以外に、周囲の森林が森林地域に、大里海岸が特別保護地区に指定されている。これら以外で法的な土地利用コントロールが可能な地域指定は、存在しない。海陽町と類似する条件を持つ、四国内の都市計画区域外(都計外)の土地利用について、現状を把握するために、自治体へアンケート調査(2019年11月実施、配布80/回収52)を行った。

都計外の土地利用で問題となっている対象(図(1)-27)は「農地」が33.9%と最も多かった。都計外の土地利用の方向性(図(1)-28)は、「農村環境の保全」25.3%、「森林環境の保全」24.2%、「自然環境と共生した集落形成」19.8%であり、農村や森林の保全と共生が目指されている。都計外で土地利用コントロールが必要、と回答した自治体に、その理由(図(1)-29)を質問したところ、「防災」が22.1%と最も

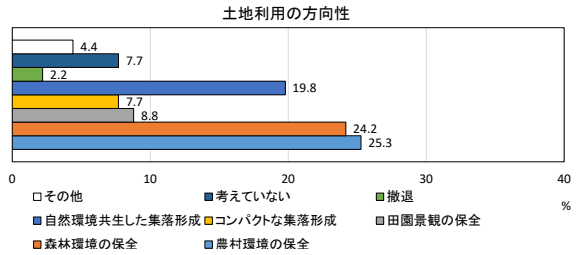


図(1)-26 農用地区域

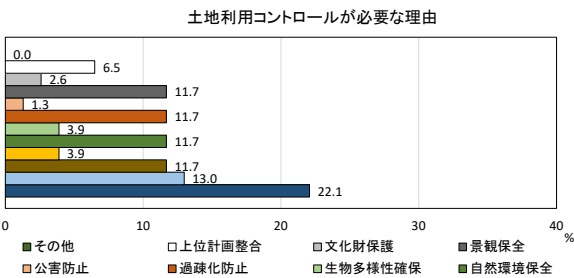
多く、次いで「農地確保」13.0%であった。逆に必要でないと回答した自治体にも理由（図(1)-30）を質問したところ、「開発圧力が少ない」が46.2%と大半であったが、「問題ない」も19.2%であった。一方、少数ながら「農政で対応」15.4%、「制度がない」11.5%という回答もあった。今後の都計外の取り扱い（図(1)-31）は、「現状維持」が65.4%と最も多く、次いで「考えていない」が26.9%であった。海陽町のような過疎地域では、その大半が都計外である。土地利用コントロールにおいて、防災への対応が必要と考えられているにもかかわらず、現状維持の自治体が多く、農地や緑地をGIとして活用する視点は、広がっていないことが分かった。直接的に土地利用をコントロールする都市計画制度が使えない過疎地では、農地、森林関連の地域指定を活用しつつ、例えば海陽町では自治体で独自に策定する総合計画や防災に特化した国土強靱化計画、その他、関連する各種計画において農地、緑地を防災施設としても保全、活用できるよう、位置づける必要がある。



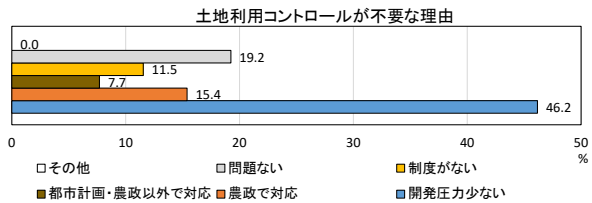
図(1)-27 都計外で問題となっている土地利用



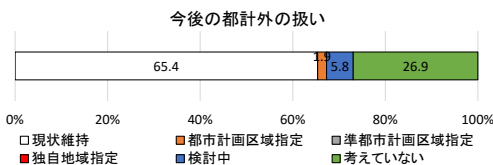
図(1)-28 都計外の土地利用の方向性



図(1)-29 土地利用コントロールが必要な理由



図(1)-30 土地利用コントロールが不要な理由



図(1)-31 今後の都計外の扱い

5. 研究目標の達成状況

対高潮・津波HBIによる減災効果の評価では、海陽町大里海岸におけるマツ林・堤防HBIの減災効果をシミュレーションによって明らかにすることができた。加えて、研究開始時に想定していなかった自然災害（台風19号による海浜変形や松林への塩水侵入）が発生し、その調査を追加することで、HBIの機能評価においては、当初予定以上の成果が得られたものとする。また、数値解析においても、これまでに事例がほとんどない空間分解能1mの津波および波浪解析を実現し、計算精度を向上させたことも成果のひとつである。さらに、これらの検討を通じてHBIに含まれる自然的環境の成り立ちを知ることがその配置設計や維持管理に重要であることを指摘した点は、工学的に重要な成果と言える。

対洪水HBIによる減災効果の評価では、同町の低平地水田の減災効果をシミュレーションによって明らかにすることができた。住宅被害が生じるまでに水田に許容される湛水量を定量的に示すことで示唆された今後の土地利用のあり方は、土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測結果とも整合し、同町が今後作成する地域づくりシナリオ案に寄与するところは大きい。また、耕作放棄とその

後の展開が異なる2地域を対象地に加えたことで、耕作放棄がHBIとしての多面的機能に与える影響を明らかにすると共に、耕作放棄水田を再生・維持管理する手法や地域づくりのあり方についても検討したことは、多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方を補強する成果となった。

多面的機能増進のためのガバナンスとその担い手作りのあり方に関する検討では、6地域におけるマツ林の保全管理ガバナンスの比較を通じて、持続的に活動をつづけるために必要なローカルガバナンスの要素を抽出すると共に、活動を支える有効な仕組みとして地域自治に基づくガバナンス型解決モデルを提案した。これらの成果は、同町大里松原において現状不足している要素の可視化を通じて、地域住民のみならず行政や地域コミュニティ等が課題にどのように関わるべきかを示唆するものであり、それらを参照した今後の課題克服のプロセスこそが地域づくりシナリオ案の骨子となろう。

土地利用変化シミュレーションに基づく地域の将来像予測の結果から、同町大里・四方原地区においては6つのクラスターを設定し、それぞれの災害リスク・居住環境評価・土地利用特性と空き家ポテンシャルに応じてあるべき土地利用に誘導することの有用性が示された。加えて、同町のような過疎地における土地利用コントロールの制度的限界について明らかにすると共に、農地・緑地等のGIの多面的機能を保全・活用する独自政策の重要性を指摘した。これらの成果はいずれも、地域づくりシナリオ案の根本を構成する基本的要件とされるべきものである。

以上の成果は、当初設定した研究目標をはほぼ達成するのみならず、個別課題相互の補完性・相乗性によりその学術的意義がより一層高められており、環境研究総合推進費による取組に相応しいものと判断される。

6. 引用文献

- 1) 桑村 仁：建築水理学、240p. (2017) 技報堂出版.
- 2) Baba, T., N. Takahashi, Y. Kaneda, K. Ando, D. Matsuoka, and T. Kato: Pure appl. Geophys., (2015) Parallel implementation of dispersive tsunami wave modeling with a nesting algorithm for the 2011 Tohoku tsunami.
- 3) Tavakkol, S. and Patrick Lynett: Celeris: Computer Physics Communications, 217, 117-127 (2017) A GPU-accelerated open source software with a Boussinesq-type wave solver for real-time interactive simulation and visualization.
- 4) 横川 涼、内水・外水重畳氾濫に対する水田の洪水緩和機能に関する研究 191p. (2021) 徳島大学修士論文.
- 5) 愛植物設計事務所：平成22年度志多留地区湿地調査報告書 (2010) .
- 6) Imai Y, Shigehara N, Shibata S, Muto Y, Kamada M: E-proceedings of the 38th IAHR World Congress, Panama City, Panama, 3311-3320 (2019) Spatial pattern of plant communities in relation to hydraulic conditions at wetland emerged at abandoned paddy fields.
- 7) Rhodes R.A.W.: Understanding Governance-Policy Networks, Governance, Reflexivity and Accountability, 235p. (1997) Open University Press.
- 8) 森 裕亮：市民社会論-理論と実証の最前線 (坂本治也編) 226-240 (2017) ローカル・ガバナンス-地域コミュニティと行政、法律文化社.

II-2 国立公園の防災機能ならびにハイブリッドインフラの生物多様性、環境経済評価

(サブテーマリーダー)

国立大学法人北海道大学 中村太士

(研究分担者)

北海道大学 松島 肇

北海道大学 庄子 康

(その他の研究協力者)

北海道立総合研究機構 石山信雄

滋賀県立大学 瀧 健太郎

東北学院大学 平吹 喜彦、郷右近 勝夫

市民団体 鈴木 玲

[要旨]

石狩川水系千歳川遊水地群の生物多様性保全機能を評価するため、遊水地、残存池沼、排水機場、水路を対象として既存データから、魚類(在来、外来)、水生昆虫類、水鳥類、湿地維管束植物に関する種数、個体数および種組成を水域タイプごとに比較した。その結果、種数、個体数については、全分類群において目標生態系である池沼と同等の値が遊水地で確認できた。また種組成の比較の結果、複数の分類群で池沼とは異なる組成が認められた。遊水地が現在の農地景観内に新たな生息地を提供し、地域スケールで生物多様性の向上に貢献する可能性を示唆しており、他の水域より年間の水位変動性が高く、希少な氾濫原に類似した環境を創出していたと考えられる。また、石狩川に分布する河跡湖をGI(グリーンインフラ)として活用するため、貯水容量と生物多様性マップを重ね、防災・環境保全の両面で機能する場所の選定手法を提示した。

釧路湿原の防災機能を評価するために、地質や流量等の基礎データを収集すると共に、現在および将来の気候下での湿原の洪水緩和機能を推定した。水文モデル解析によって釧路湿原の55%が失われた場合、ピーク流量が150m³/sec程度上昇し、洪水ピークも2日程度前に現れることが明らかになった。さらに、同モデルを使った温暖化シミュレーションを実施し、釧路湿原が失われた場合、洪水ピークカット機能は現在(19%減)より将来(31%減)においてより重要になることを示した。また、ハイブリッドインフラ(HBI)の導入にあたっては、人々がHBIをどのように認識しているのか理解する必要がある。特にHBIが自然環境を利用するため、グレーインフラと異なりリスクが伴う点を人々がどのように評価しているかが、今度の普及に当たり必要な知見である。そこで、流域治水を検討した釧路湿原において、サブテーマ3と連携し、北海道民を対象としたWEBアンケート調査を実施した。サブテーマ3で検討した背景となる理論的枠組みの構築や統計解析をもとに、コンジョイント分析を用いて、HBIの不確実性に対してどのように評価が変わるか分析した。その結果、治水事業に関するHBIにはリスクが含まれ、その選好が多様であること、また、リスク回避度が選好の多様性に影響していることが判明した。これらの結果から、HBIの導入時にはリスクに関するコミュニケーションが重要であることが示唆された。

東北震災地の海岸において防潮堤のHBI化について検討するため、地形、土壌の粒径組成、植生といった基礎データを収集した。仙台海岸ではHBI整備として、同一漂砂系に位置する近隣河川河口からの浚渫土砂を用いた堤体への覆砂試験を行った。その結果、生息域としての砂丘環境を堤体上に創出することで植物の定着を促進し、海浜植物群落の再生・創出に有効であることを示し、同一漂砂系における浚渫土砂の処理を兼ねたHBIによる生物多様性保全の可能性を提示した。

1. 研究開発目的

本研究では、北海道・東北の既存インフラや生態系を対象に、主に生物多様性の観点からHBIの評価を行うことを目的とした。

北海道では、第一に、生物多様性や景観の保全を目的に設定されている国立公園において、流域治水上のHBIとしての効果を水文学および環境経済学的アプローチから明らかにした。湿地の基盤GIとしての機能解明を目的として、釧路湿原の洪水緩和機能を評価した。自然環境を利用したインフラであるためGIの防災機能にはリスクが含まれている。巨額な経費を使っても、確実なグレーインフラの規模を拡大することを望ましいとする人、生物多様性の保全や生態系サービスの提供を重視し、GIの導入に大きく転換すべきであるという人、GIの導入に賛成の人の中でも、どの程度GIを活用すべきかについては意見が異なることなど、GI導入に対して多様な選好性があると予測した。このような人々の選好を把握することは、GI導入に向けた合意形成を図る上で重要な情報と考え、釧路湿原を対象として環境経済的視点から評価することを目的とした。

第二に、生物データベースを活用し、既存のインフラ（遊水地）や生態系（河跡湖）が有する生物多様性保全機能を評価し、HBIとしての利用可能性を検討した。遊水地については、導入候補地、遊水地の生物多様性保全機能の2点を明らかにした。また河跡湖のGIとしての利用可能性を検討するため、河跡湖の環境要因と外来種および希少種の分布の関係、GIとして機能し得る河跡湖の抽出を行うことを目的とした。

また東北地域では、宮城県太平洋沿岸の海岸線を対象に、2011年の津波災害以後、災害復旧事業として T.P. 7.2m の防潮堤が建設され、さらに内陸部の山土による客土地盤上にクロマツが植林された。しかし、内陸部の安全性を確保する一方で、大規模な基盤の改変を伴う工事による生態系への影響や、海と陸との生態的連続性の分断化が懸念されていた。本研究では、海浜地の植生構造に着目し、災害復旧事業後の植生構造を明らかにすることで生態的連続性の分断化影響を定量化することを目的とした。また、防潮堤の堤体を砂で覆い砂丘化（HBI化）することで、生態的連続性の復元が可能であるかどうかを検証した。

2. 研究目標

防災機能および環境経済的視点から、HBIとしての国立公園の意義を釧路湿原及びその流域を対象に総合評価する。また、グリーンインフラ（GI）導入の候補地の一つである遊水地の α 多様性が地域全体の γ 多様性に与える影響を明らかにするとともに、仙台海岸における防潮堤のHBIとしての機能も評価し、GIとしての目標と管理方法を、他のサブテーマの分析結果も併せて総合化し、行政側に提示する。

3. 研究開発内容

（2-1）GI導入候補地の検討および遊水地の生物多様性保全機能の評価

（2-1-1）遊水地導入候補地の検討

放棄地マップ（Kobayashi et al. 2020¹⁾、生物多様性マップ（鳥類：Higa et al. 2015²⁾、植物：Nakamura et al. 2020³⁾）および洪水氾濫リスクマップを重ね合わせることで、北海道でのGIの導入候補地を検討した。各マップの集計は、3次メッシュ単位で行っている。洪水氾濫リスクマップには、国土数値情報の洪水浸水想定区域データ（作成年：令和元年、令和2年）を用いた。上記マップの重ね合わせは、以下の3段階で行った。まず、洪水氾濫リスクマップから浸水深2m以上の氾濫リスクが高い地域のみをGI導入候補地として抽出した。さらに、生物多様性マップに基づき各分類ごとに抽出されたメッシュを10段階でスコアリングし、合計スコア（鳥類スコア+植物スコア）が上位に位置するメッシュ（上位25%）を生物多様性が高い場所として候補地とした。最後に、放棄地の多い場所ほど保全コストが抑えられと仮定し、上記2段階で選択されたメッシュを放棄地量でランク付けした：①0ha：候補順位（低）、②<5ha：候補順位（中）③, 5ha<：候補順位（高）。

(2-1-2) 遊水地の生物多様性保全機能の評価

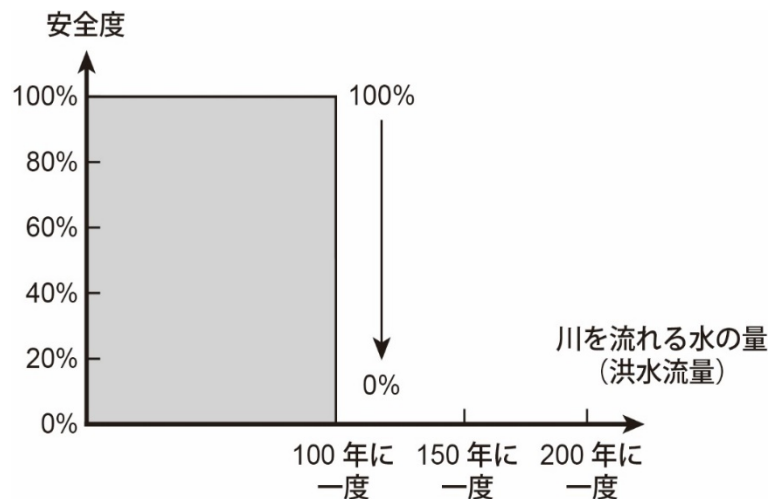
石狩川水系千歳川遊水地群の生物多様性保全機能の評価するため、既存の生物分布データ(2016年夏)を使用して解析を行った。評価対象は遊水地、池沼、水路、排水機場であり(サイト数:各4~5)、調査水域の中でも比較的自然的度の高い池沼をリファレンスと位置づけた。既存データから、魚類(在来、外来)、水生昆虫類、水鳥類、湿維管束植物類に関する種数、個体数および種組成を水域タイプごとに算出・比較した。種数および個体数の解析は一般化線形モデル、種組成は非計量多次元尺度構成法で解析した。また環境要因として、水位変動(春、夏、秋の水位の標準偏差)を算出した。

(2-2) 釧路湿原のGI-1としての防災機能および環境経済評価

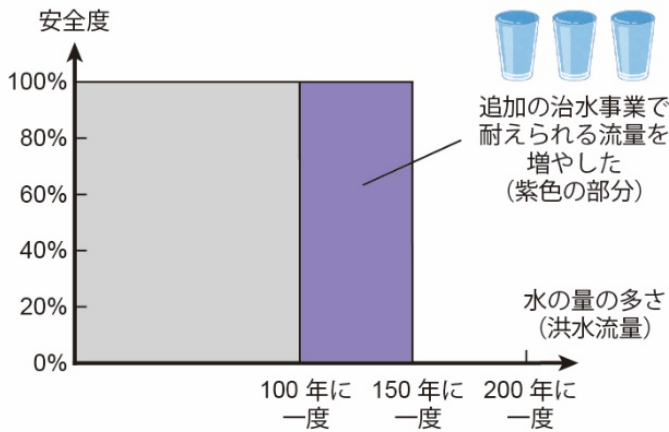
釧路湿原の防災機能の評価のために、本研究では統合型水循環シミュレータ(General purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator: GETFLOWS)を用いて釧路川の流況再現を行い(協力:釧路湿原再生協議会・水循環小委員会)、現在および将来の気候下での湿原の洪水緩和機能を推定した。まず、流域の地質図および土地利用図(2000年撮影の衛星写真から判読)を用いて、以下の流れで予備解析を行い、最適な粗度係数を算出した。解析には流域モデル(メッシュサイズ:250m)と湿原域モデル(メッシュサイズ:約100m)の2つを用い、流域モデルによって各支川から湿原に流入する境界流量を与え、その結果を湿原域モデルに受け渡す流れで解析を行った。再現時の降水量条件は、流域を16カ所の観測所の位置でティーン分割して設定し、期間は2015年1月~2016年12月までのデータを用いた。観測流量は、期間中の流域内の7つの観測所の値を用いた。次に、求めた粗度係数に基づき、現在(2016年8月の大雨時)と21世紀末(降水量の増加が予測)の2つの気象条件下で、現景観と湿原55%を宅地化した仮想景観の河川流況(広里観測所)を推定した。

WEBアンケート調査では、これまでのグレーインフラによる安全確保の状況を示し、選択型実験を実施した。回答者には図と説明文を使って丁寧にシナリオの説明を行った。本研究の目的は洪水調整サービスのリスクを評価することであるため、まず激甚化する降雨に対して、追加的に洪水調整サービスの増強が追加されるシナリオを想定した。日本には既存のグレーインフラが存在しており、それらをGIに置き換えるシナリオは現実的ではない。既存の機能への追加機能としてGIを検討するシナリオの方が現実的である。この設定はHBIの基本となる枠組みを援用している。調査票ではまず図(2)-1を回答者に示し、既存のグレーインフラがどのような特性を持っているのかを回答者に提示した。

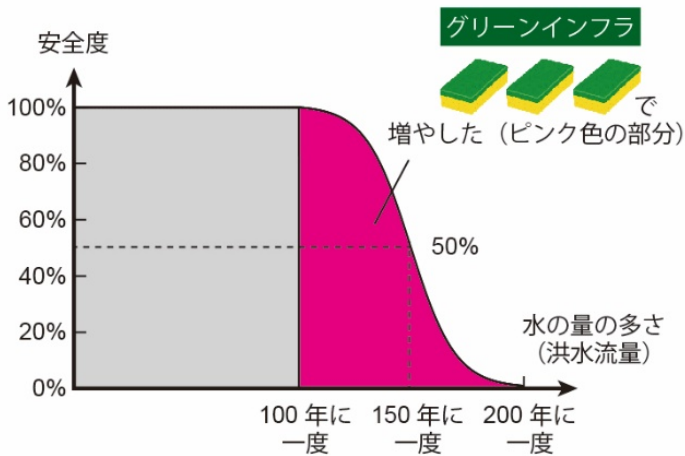
図(2)-1は既存のグレーインフラは100年に1度の洪水には確実に耐えられるが(安全度100%、つまり洪水が発生する確率は0%)、それより大規模な降雨では洪水が発生することを示している(安全度0%、つまり確実に洪水が発生する)。次に激甚化する降雨に対して、追加的に洪水調整サービスの増強が追加されるシナリオを提示した(図(2)-2)。回答者には、まずその増強がグレーインフラによって行われた場合を説明している。回答者の理解を図るため、先ほど例示したようにグレーインフラをコップと例え、GIはスポンジに例えて説明を行っている。



図(2)-1 既存のグレーインフラの特性



図(2)-2
追加的な洪水調整サービスをグレーインフラで行う状況



図(2)-3
追加的な洪水調整サービスをすべてGIで行う状況

Nakamura et al. (2020)で示された湿地の例を使い、GIの説明を回答者に行った上で、次にその増強がGIによって行われた場合を説明している(図(2)-3)。本研究の設定では、GIの増強によって、150年に1度の洪水まで耐えられる確率は50%であると設定した。200年に1度の降雨が引き起こす洪水には耐えられないが、150年以上200年未満の降雨が引き起こす洪水には耐えられる可能性がある。一方で、100年をわずかに超える洪水にも耐えられない可能性もある。ただし、100年に1度の洪水には既存のグレーインフラが確実に洪水を防いでいる。調査票ではまずこの説明が終わった時点で、図(2)-2-2と図(2)-2-3のどちらが望ましいかを回答者にたずねた。

次に洪水調整サービスの増強が、グレーとGIを組み合わせで行われる状況について説明を行った。図は省略するが、洪水調整サービスの増強の1/3がグレーインフラによって、2/3がGIによって行われる代替案(コップ1つとスポンジ2個で増強)と、増強の2/3がグレーインフラによって行われ、1/3がGIによって行われる代替案を設定した。前者は約117年に一度の降雨による洪水までは確実に耐えられるが、150年に一度以上の降雨で発生する洪水に耐えられる確率は、すべてをGIで増強する場合より低くなっている。後者は約133年に一度の降雨による洪水までは確実に耐えられるが、150年に一度以上の降雨で発生する洪水に耐えられる確率は、2/3がGIによって増強される場合よりも低く

なっている。洪水調整サービスの増強について、GIの割合が異なる4の代替案(0%、33%、67%、100%)が存在するので、そこから2つを選んでペアにする組み合わせは全部で6種類存在する(${}_4C_2 = 6$)。すでに、100%をグレーインフラで増強する代替案と、100%をGIで増強する代替案のペアに対する選択は行っているため、残りの5種類のペア(選択セットに)に対して、回答者に対してそれぞれどちらが望ましいかを聴取した。アンケート調査では選択型実験の設定の他にGIに関する全般的な質問も行った。

(2-3) 河跡湖のGIとして利用可能性の検討

捷水路化の名残として、石狩川には大小50以上の河跡湖が残存している。これら河跡湖の内、魚類データが整備されている31水域において、水生生物の種数(魚類、鳥類、植物)を求めた。魚類のデータソースは石狩川下流魚類遡上機能外調査業務報告書(平成28年度)とし、他の分類群は前述の「遊水地導入候補地の検討」で用いた論文データを使用した。また、貯水容量の目安として、水域面積に最大浸水想定深(国土数値情報)を掛け合わせた貯水ポテンシャル(m^3)を同水域で求めた。尚、31水域中、最

大浸水想定深が公表されており貯水ポテンシャルが算出できた水域は27水域であった。貯水ポテンシャルが高い（上位50%）河跡湖を対象に、各分類群の多様性順位が特に高い河跡湖をGIとして利用可能性の高いものとして抽出した。尚、鳥類については、河跡湖間でほとんど種数に差がないため評価から除外した。

さらに、石狩川および十勝川において、河跡湖の環境要因と魚類相の関係を希少種（ヤチウグイ *Rhynchocypris percnurus sachalinensis*）と外来種（タイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus*、モツゴ *Pseudorasbora parva*）の分布の観点から検証した。解析には構造方程式モデリング（SEM）を用い、湖沼の分断化度および水深が、希少種および外来種の個体数に及ぼす直接的・間接的影響を評価した。尚、分断化度の指標にはグラフ理論に基づくdelta Integral Index of Connectivity (dIIC: Pascual-Hortal & Saura 2006⁴⁾)を用い、この指標値が高いほど、その湖の面積が大きく他の湖と良く連結している（＝分断化度が小さい）ことを示す。

（2-4）仙台北岸における防潮堤のHBI化による生物多様性保全

災害復旧事業としてT.P. 7.2mの防潮堤が建設された仙台北岸では、海浜生態系の連続性（エコトーン）の断絶が懸念されていた。そのため本地域で、仙台市若林区の海岸である井土浜および荒浜を対象に防潮堤をHBI化することでその影響を緩和し、エコトーンを復元できるのか検証した。

井土浜は2017年にCSG工法（Cemented Sand and Gravel method）、すなわち現地で発生した掘削土にセメントを混ぜて転圧して固める事により防潮堤が造成された海浜である。この工法では、設置された防潮堤の陸側法面に保護盛土が施されていた。2018年から2020年にかけて、UAVを用いた空撮を行い、堤体法面への植生の侵入・定着状況を把握した。さらに植生の復元プロセスに注目して、汀線から内陸側に向かって防潮堤を横切り、潟湖の水面に達するまでの約200mの範囲を調査区とした。汀線に直交するように測線を50m間隔で3本設置し、側線に沿って5m間隔で1m×1mのコドラート内に出現した植物種、被度、草高を記録した。また、植生の変化を規定する要因として、土壌の物理性と化学性についても同一測線に沿って調査を行った。20m間隔で表砂表土を10cm四方、深さ10cm程度採取し、粒径組成、pH、電気伝導度（EC: mS/m）、リン酸態リン（ PO_4-P ）、硝酸態窒素（ NO_3-N ）、亜硝酸態窒素（ NO_2-N ）、シリカ（ SiO_2 ）について測定した。さらに、地形の影響を把握するため、UAVによる空撮画像からDSM（Digital Surface Model: 数値標高モデル）を作成し、各調査区の標高、汀線からの距離を計測した。

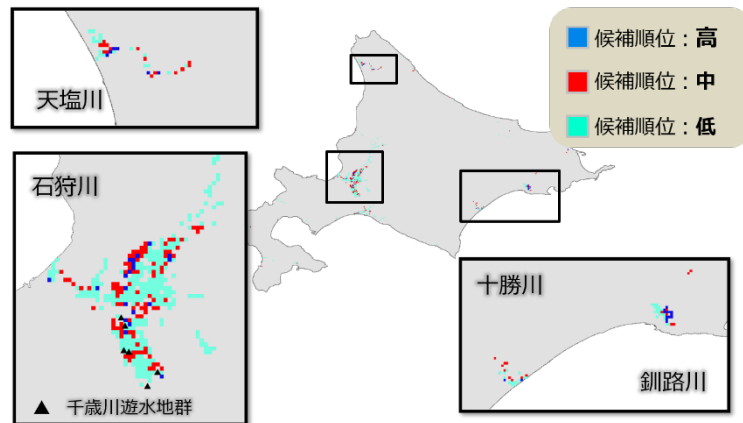
既存の防潮堤を対象としたHBI化試験として、荒浜の防潮堤150mを対象に堤体法面の覆砂試験を行った。2019年5月下旬から6月上旬にかけて、調査区北部に隣接した同一流砂系に位置する七北田川河口の浚渫砂を用いて防潮堤法面に覆砂処理を行った。覆砂は堤体の海側・陸側それぞれ覆砂厚30cmとなるように砂を敷設した。植生の定着・侵入状況の把握にはUAVを用いた空撮画像を利用した。具体的には、覆砂処理を実施する前の2018年の対象地の空撮画像、覆砂処理直後の2019年の空撮画像、処理後1年経過した2020年の空撮画像からそれぞれオルソ画像を作成し、画像判読により堤体法面上の植物を判読し、その被覆面積を計測した。得られた被覆面積から堤体法面の面積に占める割合を被覆率として算出し、その変化を比較した。また、定着した植物を現地で確認し、周囲の植生と比較した。

4. 結果及び考察

（2-1）GI導入候補地の検討および遊水地の生物多様性保全機能の評価

（2-1-1）遊水地導入候補地の検討

各マップの重ね合わせの結果、洪水氾濫を対象としたGIの導入候補地としての順位が高い地域は、大河川（石狩川、天塩川、十勝川、釧路川）の下流域に集中する傾向が認められた（図(2)-4）。特に周辺人口が高い石狩川下流域は、洪水氾濫リスク、生物多様性、放棄地量が共に高いエリアが広く分布しており、結果として多くのGI導入候補地が抽出された。本地域には千歳川遊水地群が整備中であり建設後は生物多様性保全に対する高い効果を発揮する可能性がある。



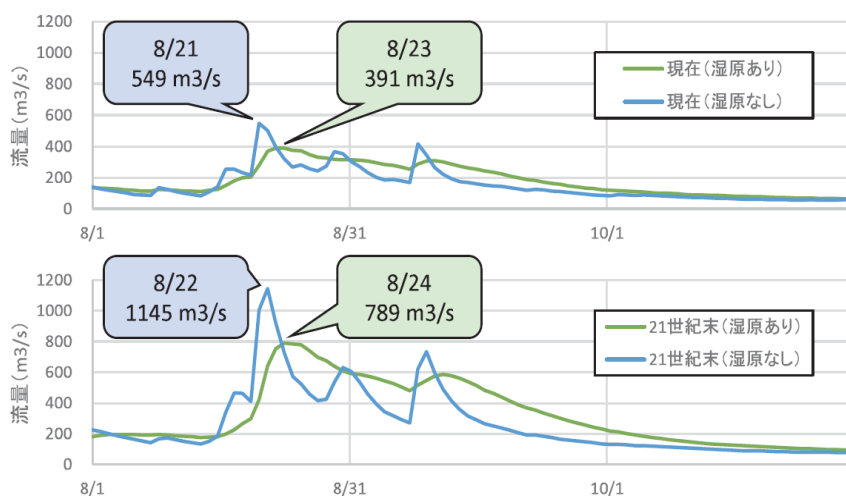
図(2)-4 北海道における遊水地の導入候補地。

(2-1-2) 遊水地の生物多様性保全機能の評価

確認在来種は、魚類16種(在来10、外来6)、水生昆虫類31種、水鳥類16種、植物類40種(在来39、外来1)であった。種数と個体数の比較の結果、全分類群においてリファレンスである池沼と同等の値が遊水地で認められた。また外来魚類は、個体数が池沼と同等かつ他の水域より多く、造成遊水地に外来種が侵入・定着しやすく他の水域への供給源となる可能性が示唆された。種組成の比較の結果、複数の分類群で池沼とは異なる組成が認められた。特に、水生昆虫類と維管束植物類は他の水域との種組成の重複が少なく、前者はすべての水域と後者は排水機場以外の水域と異なっていた。これは、遊水地が現農地景観内には見られない新たな生息地を提供すること、また地域のγ多様性の向上に貢献する可能性を示唆している。遊水地は他の水域タイプより水位変動性が高く、希少な氾濫原的環境を創出していたのかもしれない。

(2-2) 釧路湿原のGI-1としての防災機能および環境経済評価

2016年8月の台風による大雨時の流況再現の結果、釧路湿原の有する洪水緩和機能により河川のピーク流量が約20%低下することが示された(図(2)-5)。さらに、21世紀末を想定した気象条件下ではこの機能はさらに増し、ピーク流量を約30%低下させる効果があることが明らかとなった。これは、現在世界的に減少を続けている湿地の保全が防災上重要であり、気候変動下で消失が進行すると基盤GIとしての機能はさらに低下し、洪水リスクが一層高まる危険性を示唆している。



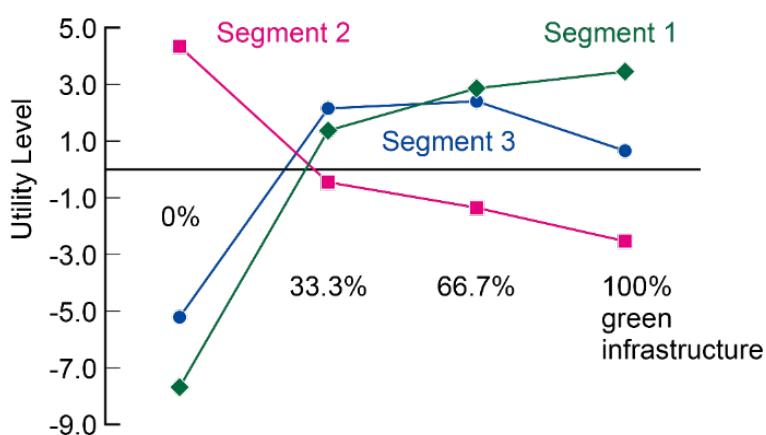
図(2)-5 現在および将来における釧路湿原の洪水緩和機能の比較。

WEBアンケート調査は2019年2月に、北海道の一般市民を対象に実施した。調査は調査会社を通じて実

施した。調査会社に登録されている一般市民にアンケート調査への回答依頼を送付し、WEBサイトを通じて回答してもらった。その際に、回答者の構成が北海道の性別・年齢の構成比と同じになるように留意した。WEBサイトを通じて得られた回答は1054である。すべての質問に回答した回答者で、回答時間が明らかに短い回答者（設問を十分に読んでいない可能性が高い）を除いた914名を分析に用いた。

GIについてその言葉を知っていた人が3.6%であるのに対して、知らなかった回答者は79.8%であることから、一般市民にとってGIはほとんど存在を知られていないものであると考えることができる。一方で、GIの説明の後に「GIは必要であると思う」かどうかをたずねた質問では、肯定的が57.5%であり、どちらでもないが38.7%いるものの、否定的は3.7%しかいなかった。全般的にはGIという言葉を知らなかった人がほとんどであり、GIに対する人々の認識は全般的には好意的であるが、まだ定まったものではないと言えるかもしれない。

選択型実験への回答は潜在クラスモデルによって分析した。潜在クラスモデルによる分析の結果、回答者の選好は多様であり、3つのセグメント（グループ）が存在すると解釈できた（図(2)-6）。



図(2)-6 潜在クラスモデルによる推定結果

まずセグメント3は全体の62.5%を占め、このグループの結果が回答者の平均的な回答に比較的近いものである（ここでは示さないが、回答者の平均的な評価を示す条件付きロジットモデルによる推定結果と同じような結果となっている）。セグメント2（13.4%）は「GIは自然環境の保全や回復にも貢献すると思う」という回答に否定的で、「GIは不要な治水事業を実施するための口実であると思う」という回答に同意する回答者が含まれる可能性が高いセグメントであった。選好パラメータを見ると、グレーインフラに対する評価が最も高く、GIの割合が高くなるほど評価が低下していることがわかる。このようにGIに何らかの問題点を見出す回答者は、既存のグレーインフラを支持する傾向があると言える。

一方、セグメント1（24.2%）を見ると、セグメント1はセグメント3に関して、GIに対する態度に違いはないが、今回の選択型実験に自信をもって回答した回答者がより、セグメント1に含まれることを示していた。図6からわかるように、セグメント1の選好パラメータの値はセグメント3とほぼ同じような動きであるが、すべてグレーインフラとGIの場合の評価だけが異なっている。このことから、GIに対する理解が進むと、グレーインフラだけを低く評価し、GIだけを高く評価するようになるという解釈できる。

本研究では、得られた知見をGIの導入に向けた合意形成に活用することを想定している。そのような視点から、本研究ではいくつかの課題点を指摘することができる。まず、GIは人々にほとんど知られておらず、そもそも人々の認識を向上させる必要があるということである。一方、アンケート調査票内で簡単な説明を行っただけであったが、GIに対する全般的評価は高いものであり、否定的な相対的に評価が少ないことは、導入を図る上で大きなメリットであるということが指摘できる。

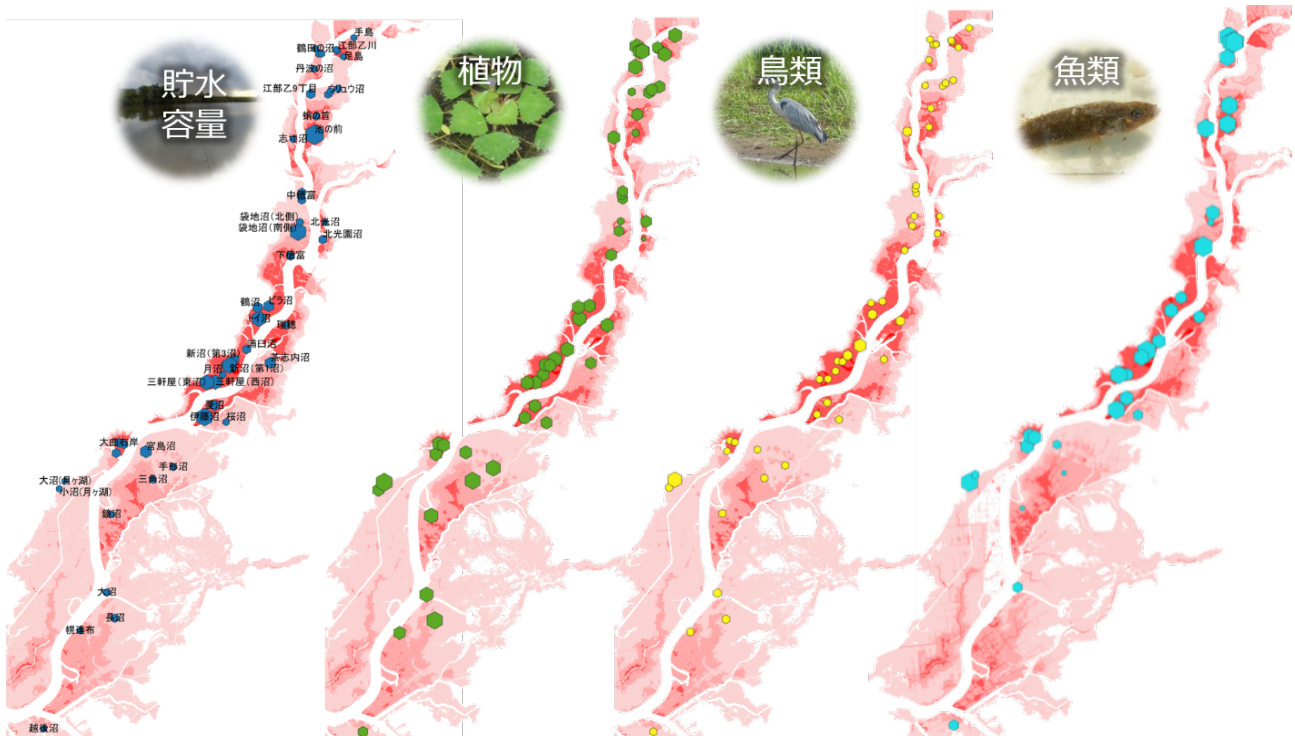
一方で、今回のアンケート調査に自信をもって回答していない割合は41.9%であり、自信をもって回答をした割合は23.6%を大きく上回っていることから、アンケート調査の内容自体は回答者にとって難しい内容であったと言える。「治水事業では洪水を防止する機能が最も高い方法を選択するのがよいと

思う」について肯定的に回答した回答者の割合は 52.5%であることから、洪水防止サービスに対する注目は高いと言えるが、GI にはリスクが含まれるという点は、これまでの治水事業に慣れてきた人々にはすぐには理解できない部分もあったと言える。ただ、自信をもって回答をした人ほど、セグメント 1、つまり追加的な洪水調整サービスの増強を GI のみで行うことを高く評価したグループに含まれるという点から、理解が進むほどに、GI に対する評価は得られる可能性が高くなると言える。逆に言うと、グレイインフラに固執する意見は、単に理解不足からきている可能性も考える必要がある。無理に GI を推し進めることを強調するものではないが、GI に対する反対意見が多い場合は、実際には GI が適切に理解されていないことが反対理由であることも疑う必要があると言える。

(2-3) 河跡湖のGIとして利用可能性の検討

各河跡湖の貯水ポテンシャルは最小 31289m^3 、最大 1772132m^3 、平均 4480622m^3 であった。また、生物種数は魚類（最小3、最大11、平均8）、植物（最小17、最大25、平均21）であった（図(2)-7）。貯水ポテンシャルが高い河跡湖の中でも、生物多様性の高いものとして、池の前、伊藤沼、トイ沼、三軒屋（東沼）、三軒屋（西沼）、新沼（第3沼）、下徳富、浦白沼が上げられ、中でも三軒屋（東沼）と新沼（第3沼）は両分類群で上位であり（表(2)-1）、治水と生物多様性保全の両面で機能を発揮することが期待される。

外来魚類の中でも、石狩川・十勝川両地域において、モツゴとタイリクバラタナゴの優占度が最も高かった。十勝川でのSEMによる解析の結果、モツゴの個体数は分断化度の小さい（面積が大きく、多くの周囲の湖と連結する）湖ほど多かった。また、希少種のヤチウグイの個体数は分断化度の直接的な影響は認められなかったが、外来種のモツゴの増加に伴い減少することが明らかとなった。これはつまり、孤立した小さな河跡湖が希少種にとって外来種からの避難場として機能していることを示唆しており、遊水地の造成の際に、治水上重要性は低いと考えられる小さな孤立湖沼（後背湿地）の一部も、消失・劣化をさせない必要があることを示唆している。



図(2)-7 石狩川下流域の河跡湖の貯水容量および生物多様性。
シンボルの大きさが各指標の大きさを表している。

表(2)-1 GIとして活用可能性が高い石狩川の河跡湖。

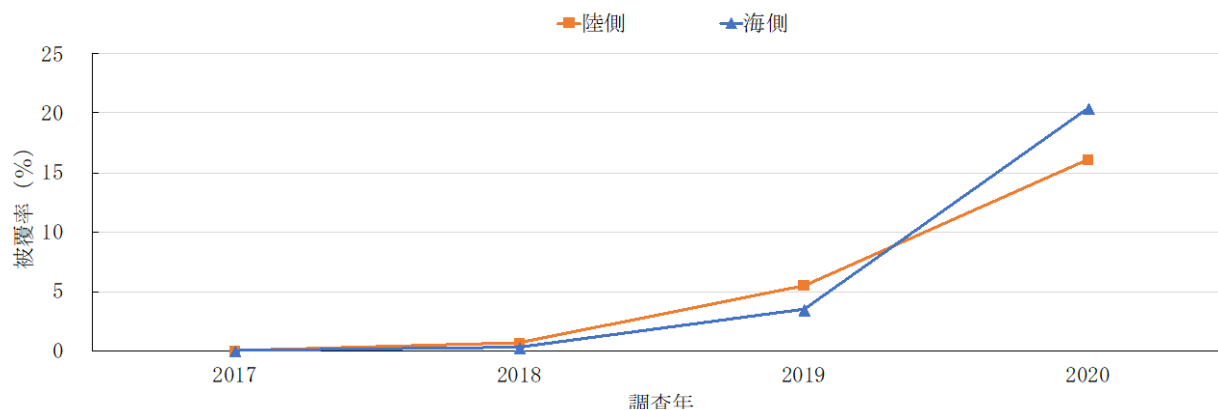
網掛けは貯水容量が多い湖の内、各分類群の多様性が上位のものを表している。

湖沼名	貯水容量 (m ³)	魚類種数	魚類順位	植物種数	植物順位
池の前	1772132	10	4	17.4	26
伊藤沼	1483164	10	4	21.0	19
袋地沼 (南側)	1416387	4	25	19.6	24
新沼 (第1沼)	1219117	9	10	21.1	18
トイ沼	1166496	8	12	22.6	4
三軒屋 (東沼)	1130591	10	4	21.6	11
三軒屋 (西沼)	1036439	7	17	21.5	12
宮島沼	780018	5	23	21.2	16
ピラ沼	610345	7	17	21.3	15
菱沼	547594	8	12	21.1	17
新沼 (第3沼)	396820	11	1	22.7	3
大曲右岸	345583	8	12	21.4	14
下徳富	334303	11	1	20.2	23
浦白沼	322868	8	12	22.2	9

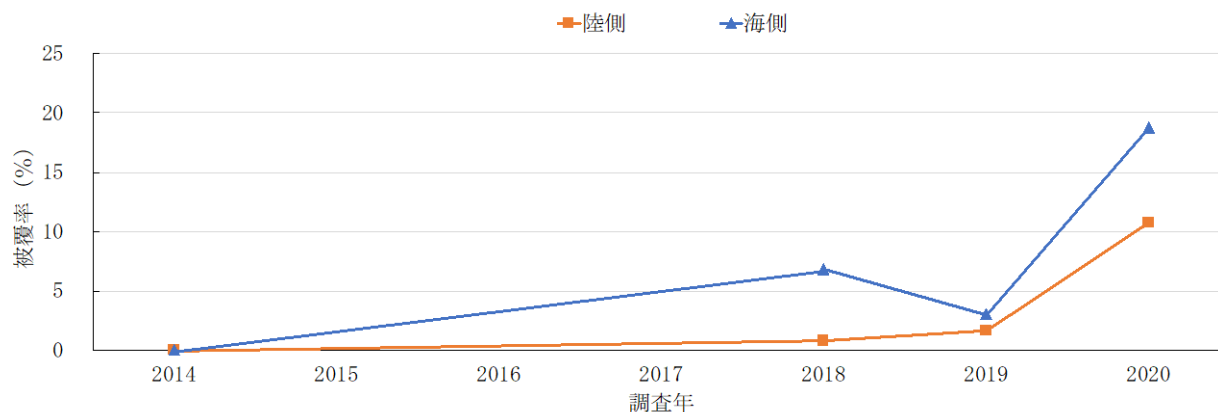
(2-4) 仙海岸における防潮堤のHBI化による生物多様性保全

2018年から2020年にかけて実施した植生調査の結果、調査コドラートあたりの平均出現種数および平均被度は共に年々増加傾向が見られた。2020年の植生類似度 (Chao指数) データを用いてnMDSにより植生構造を解析した結果、海から陸にかけて明確な帯状構造を形成していることが明らかとなり (Stress = 0.25, R² = 0.81)、内陸に向かうにつれて非海浜性の植物が増加する傾向が見られた。

既存防潮堤への覆砂試験の結果、井土浜同様、植生の侵入・定着が確認された。ドローン画像による判読の結果、法面全体の15% (海側法面：19%、陸側法面：11%) が被覆されていた。覆砂直後の被覆面積が法面全体の2.3% (海側法面：3%、陸側法面：1.6%) であったことを考慮すると、覆砂により植物の生育基盤を用意するだけで大幅な植生の侵入・定着を促すことができることが明らかとなった。現地調査により、堤体法面上に定着した植物は周囲と同じ海浜植物群落から構成され、防潮堤基部から上部に向かって広がっている様子が確認された。一方、堤体法面上部では風速が基部の2倍程度に加速することが観測の結果明らかとなり、そのため、法面上部のおよそ3分の1の砂が吹き飛ばされていた。生育基盤である砂がなくなると植物は定着することが困難となるため、今後、砂が残された法面上に植物が定着することで、砂の堆積を促し、徐々に被覆面積が拡大していくのか、あるいは砂がさらに風で飛ばされることで、被覆面積が減少してしまうのか、さらなる追跡調査が求められる。



図(2)-8 井土浜における堤体法面上の植生被覆率 (%) の経年変化



図(2)-9 荒浜における堤体法面上の植生被覆率(%)の経年変化

5. 研究目標の達成状況

本研究によって遊水地や河跡湖が α 多様性や地域全体の γ 多様性機能を発揮でき、HBIとして利用可能性が高いことが明らかになった。さらにGI導入の候補地推定とスコアリング手法を開発し、GI導入を推進させる際に必要な具体的な検討項目を提示することができた。

また、釧路湿原及びその流域の防災機能を、現在および将来の気候下での湿原の洪水緩和機能を推定することにより評価し、生物多様性や景観の保全を目的に設定されている国立公園がHBIとしての役割を担っていることを示した。さらに環境経済的視点から、洪水調整サービスに対する一般市民の選好、またその多様性を把握することができた。そこから、GIの仕組みに対する一般市民の理解は現時点では不十分であり、GI導入時の合意形成過程においては、さらなる理解向上の工夫が必要であることが示唆された。

仙台海岸における植生調査の結果は、海から陸にかけて明確な帯状構造をもった生態系が存在することを示した。防潮堤に覆砂する事によって、そのような連続的な生態系、特に海浜植物群落の生息環境の拡大に寄与できるかどうか検証できた。CSG工法といった特殊な施工方法に頼らずとも、既存の防潮堤に覆砂するだけで同等の成果が得られることも判明し、防潮堤のHBI化の具体的な方法とその効果を提供できた。

以上のことから、主に生物多様性の観点、防災機能、および環境経済的視点から、HBIを総合的に評価し、GIの目標と管理方法を立案する際に重要な知見を提示するという目標は達成できた。

6. 引用文献

- 1) Y. Kobayashi, M. Higa, K. Higashiyama and F. Nakamura: PloS one, 15, 7, e0235846 (2020) Drivers of land-use changes in societies with decreasing populations: A comparison of the factors affecting farmland abandonment in a food production area in Japan.
- 2) M. Higa, Y. Yamaura, I. Koizumi, Y. Yabuhara, M. Senzaki and S. Ono: Diversity and Distributions, 21, 1, 46-54 (2015) Mapping large - scale bird distributions using occupancy models and citizen data with spatially biased sampling effort.
- 3) F. Nakamura, N. Ishiyama, S. Yamanaka, M. Higa, T. Akasaka, Y. Kobayashi, A. Ono, N. Fuke, M. Kitazawa, J. Morimoto, and Y. Shoji: River Research and Applications, 36, 6, 921-933 (2020) Adaptation to climate change and conservation of biodiversity using green infrastructure.
- 4) L. Pascual-Hortal and S. Saura: Landscape ecology, 21, 7, 959-967 (2006) Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization

of habitat patches and corridors for conservation.

- 5) F. NAKAMUR, N. ISHIYAMA, S. YAMANAKA, M. HIGA, T. AKASAKA, Y. KOBAYASHI, S. ONO, N. FUKU, M. KITAZAWA, J. MORIMOTO, Y. SHOJI: River Research and Applications 36: 921-933 (2020) Adaptation to climate change and conservation of biodiversity using green infrastructure.
- 6) J. LOUVIERE, D. HENSHER, J. SWAIT: Stated Choice Methods: Analysis and applications (2000) Cambridge University Press.
- 7) C. HOLT and S.K. LAURY: American Economic Review 92: 1644-1655 (2002) Risk aversion and incentive effects.

II-3. GIの不確実性と最適ハイブリッドインフラに関する環境経済学的評価について

(サブテーマリーダー)

学校法人慶應義塾 大沼あゆみ

(その他の研究協力者)

学校法人近畿大学 河田幸視

国立大学法人京都大学 栗山浩一

学校法人上智大学 柘植隆宏

[要旨]

ハイブリッドインフラ (HBI) の機能と経済評価を、グリーンインフラ (GI) の不確実性に着目して、理論・実証面から研究した。理論面では、汎用性の高いGI防災経済モデルを構築するため、HBIの防災機能およびHBIにおけるグレーインフラとGIのハザード防御率を整理し、これらのモデルと人口の与える効果を組み入れて水文経済モデルを構築した。この数理モデルはHBIの性質をふまえて最適なHBIを経済学的に分析したものであり、今後の防災・減災研究において適用可能となる成果であると考えられる。

実証面では、経済モデルを実証分析に適用する際に重要な、市民の不確実性とリスクの評価について検討するため、3本のアンケートを実施し、定量的な分析結果を得た。

「防災効果の不確実性に対する市民の評価に関する研究」では、防災効果の不確実性に対する市民の選好を実証的に得るため、選択型実験の手法を使い、費用と便益の相関関係、防災以外の活用法、回答者の属性次第の選好を実証的に分析した。これは、GIやHBIの費用便益分析の方法論の確立に寄与する成果であると考えられる。

「防潮堤建設に対して考慮すべきと市民の認識に関する調査」では、岩手県と宮城県で、グレーインフラとしての防潮堤建設に当たって考慮すべきと市民が考える事柄を調査・分析した。考慮すべき事柄は、市民の属性・防潮堤の知識や認識・被災経験により違いがあることがわかり、将来、再び防潮堤の建設が必要になった際に議論に活かすことができる有益な結果であると考えられる。

「HBIに対する経済評価」では、HBIが持つ不確実性が伴う防災・減災効果や外部経済性をふまえて、HBIが持つ市民の選好を分析した。研究ではHBIの経済価値を定量的に評価する方法を構築したほか、HBIの政策実現に対しては、住民によってHBIに対する評価が大きく異なる点に注意が必要であるという実証的な結果を得た。

またグレーインフラに対するGIの代替可能性についての実証研究では、経済活動の縮小によって環境への人為的影響が減少している事例（京都府綾部市の商業林）、市民生活によって環境負荷が増加している国内の事例（沖縄県の西表島沿岸部のマングローブ林）、および海外の事例（インドネシア国ジャカルタ市北部沿岸のマングローブ林）を取り上げた。間伐材を活用した治山事業、およびマングローブ林の維持や損傷回復に関する実際の事例から、GIがグレーインフラを代替するための現状の課題を把握できた。

さらに、グリーンインフラ設置についての住民の合意形成については、設置サイトの住民が、合意に当たって何を重視するのかを把握することができた。これは、今後のグリーンインフラの実装において活用できる研究であると考えられる。

1. 研究開発目的

サブテーマ3では、グレーインフラとGIのそれぞれ、さらにはそれらを組み合わせたHBIの機能と評価を、社会経済的・環境経済学的な観点から理論的・実証的に明らかにすることを目的として研究を行った。理論面では、不確実性を考慮し、さまざまなHBIを分析することができる、より汎用性の高いGI防災

経済モデルを構築した。同時に人口規模を明示的に導入し、人口規模の変化によって、最適なHBIを導出することにした。人口減少や財政状況の悪化、自然災害の頻発化・激甚化が起きている日本において、Eco-DRRを活用した費用対効果の高い防災政策の推進検討に寄与するものと考え、最適なHBIを汎用的なモデルで人口規模と関連付けて示すことを目的とした。

実証面では、経済モデルを実証分析に適用する際に重要な、市民の「不確実性とリスクの評価」について検討するため、防災効果の不確実性に対する市民の評価、防潮堤建設に対して考慮すべきと市民が考える認識、HBIに対する市民の選好に関するアンケートを実施し、定量的な分析を行うことにした。GIは生態系活用による多面的な機能を持ち、グレーインフラより費用の節減効果が高いと見込まれる反面、防災面での不確実性やGIの多面性に対する市民の選好は明らかになっていない面も多い。HBI導入のためには人々の不確実性に対する許容度、生態系が提供する多面的な機能の評価内容とその重要性、個人の人属性により評価の内容の変化の違いを実証的な手法で分析することで、より最適なHBI導入の実現につなげる示唆を得ることを目的とした。

さらに、グレーインフラでGIの機能を代替するにあたり、実行可能性に関する現状や課題を事例調査することにした。生態系を活用するGIは市民の経済活動や生活による影響に左右されやすく、経済活動の高まり、あるいは低下により毀損したGIの質を高め、防災効果を高めることもHBIのひとつの方法である。実際の事例を集めて検証することで、HBIの防災・減災機能に影響を及ぼす要素を整理し、HBIの政策的な実現において重要と考えられる現状の課題を得ることを目的とする。

またGIはグレーインフラと比べて、関わる経済主体の数も多く、利害関係も複雑になることが予想され、導入に至るまでの合意形成もHBI導入においては重要な要素の一つとなる。そのため、住民の合意形成についての意識を探る研究を行うこととした。

2. 研究目標

「不確実性」を柱に、HBIの評価を、理論的および実証的に行う。理論面では、HBIの機能を数理モデルにより表現し、最適なHBIを経済学的に分析する。さらに、上記モデルに「時間」を明示的に導入できるかを検証する。また、実証面では、不確実性の評価法を確立し、諸地域の住民アンケートを通して定量的分析を行い、その比較評価を行う。また、導入についての政策的議論を実際例に基づき展開、確立し、行政側に提示する。

3. 研究開発内容

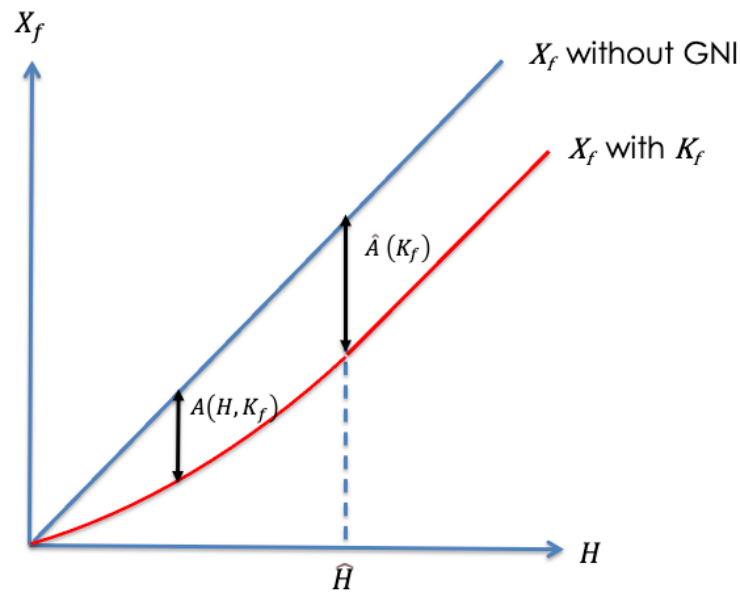
(3-1) ハイブリッドインフラ (HBI) のモデル化と経済理論による分析

HBIの防災機能を明示的に経済モデルに組み入れた水文経済モデルを理論的に構築した。このHBIにおいては、自然災害(ハザード)として河川における洪水を想定する。下流には市街地があり住民がおり、川が雨によって氾濫することで被害を受ける。この河川の氾濫とその大きさは確率的に定められている。このような被害の期待値を災害リスク(DR)と定める。

防災インフラを設置することで、被害を軽減することができる。防災インフラによって軽減されるリスクを災害リスク減少(DRR)と定める。防災インフラは、下流に設置する人工的な構造物であるグレーインフラ K_c と、上流に設置する森林等の生態系インフラである K_f の2種類が存在する。HBIは、グレーインフラとGIを組み合わせた防災インフラである。HBIにおいては、GIにより、上流で川の流量を減らすとともに、グレーインフラが下流で発生する被害を緩和する。

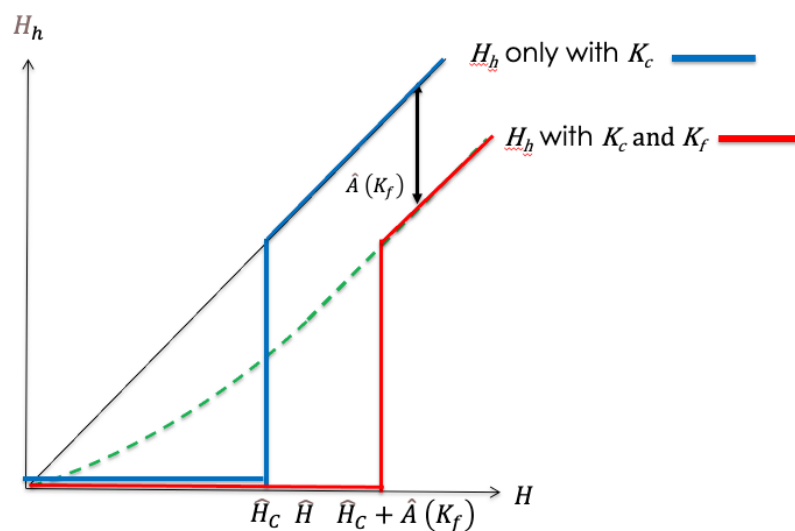
GIの機能を描いたのが図(3)-1である。横軸にハザードである雨量 H 、縦軸に下流に流出する水量 X_f を描いている。GIが存在しないと、雨量=流出水量となり、この関係は45度線で示される。しかし、森林があることで、雨量の一部が吸収されることになり、流出量は45度線の下を通る曲線で示されることになる。換言すれば、45度線と曲線の距離が森林の吸収水量となり、 $A(H, K_f)$ で表される。この吸収水量は、雨量とともに増加する。一方、森林には、森林の規模に依存する最大吸収水量 $\hat{A}(K_f)$ がある。最大吸収水量に達する雨量を超えると、吸収量は一定となる。これを表しているのが \hat{H} を超えた部分の吸収水量で

45度線との距離が一定である。



図(3)-1 下流に流出する水量 X_f とGIの吸収水量 $A(H, K_f)$

一方、グレーインフラの防災面での特徴は、ある受入水量 \hat{H}_c までは市街地への流出量（市民の曝露水量）をゼロとすることで完全に住民を防御するが、その受入水量 \hat{H}_c を超えると、破壊されるなどして防御することが完全にできなくなるのである。このことを示しているのが、図(3)-2の青い線である。受入水量が \hat{H}_c までは、市民の曝露水量 H_h はゼロである。しかし、 \hat{H}_c を超えると、流出量は45度線上で表されるものになる。一方、既存のグレーインフラにGIを付加設置したHBIの防災効果は、赤い線で表されている。このHBIには防災面で二つの効果を持つことがわかった。



図(3)-2 グレーインフラとHBIでの曝露水量

一つは、グレイインフラが同一であるにもかかわらず、GIを付加することで、完全防御できるハザードの上限（閾値ハザード）を高くすることができることである。これは、GIが最大で $\hat{A}(K_f)$ を吸収することで、流量が減少するため、より大きなハザードでも完全防御できるようになるのである。図では、閾値ハザードが、 $\hat{H}_c + \hat{A}(K_f)$ と増加することが表されている。

二つ目の効果は、ハザードが閾値ハザードを超えたときに、市街地に流入する水量が、GIが吸収する水量分だけ減少することである。これは、図では、ハザードに対する市街地への流出水量が、 $\hat{A}(K_f)$ だけ45度線より下に描かれることで表されている。

（3-2）防災効果の不確実性に対する市民の評価に関する研究（選択型実験）

防災効果の不確実性に対する市民の選好を把握することを目的として、2019年3月に全国の一般市民を対象としたWebアンケート調査を実施し、5224人から回答を得た。

選択型実験の質問では、回答者が居住する地域の洪水の被害を軽減するために、上流でダムや遊水地を整備するなどの治水事業を実施する計画があると想定したうえで、1)「防災以外の活用」（野鳥保護区として活用する、運動公園として活用する、なし）、2)「成功確率」（20%、40%、60%、80%、100%）、3)「人的被害（死者、行方不明者、負傷者の合計）の軽減」（20人減る、40人減る、60人減る、80人減る、100人減る）、4)「物的被害（住家の全壊、半壊、一部損壊、床上浸水、床下浸水）の軽減」（50棟減る、100棟減る、150棟減る、200棟減る、250棟減る）、5)「間接的被害の軽減（洪水の影響で日常生活に支障が生じる日数の短縮）」（1日短縮、3日短縮、5日短縮、7日短縮、10日短縮）、6)「負担額（1回限りの税金上昇）」（1000円、3000円、5000円、10000円、30000円）の6属性からなる仮想的な治水事業を3つ提示し、最も望ましいと思うものを選択してもらう質問を6回繰り返した（表(3)-1）。

表(3)-1 選択型実験の質問例

	対策1	対策2	対策なし
防災以外の活用	野鳥保護区として活用する	運動公園として活用する	なし
成功確率	40% (4/10) の確率で	80% (8/10) の確率で	100%の確率で (確実に)
人的被害（死者、行方不明者、負傷者の合計）の軽減	人的被害が60人減る	人的被害が20人減る	現状のまま
物的被害（住家の全壊、半壊、一部損壊、床上浸水、床下浸水）の軽減	物的被害が100棟減る	物的被害が200棟減る	現状のまま
間接的被害の軽減（洪水の影響で日常生活に支障が生じる日数の短縮）	3日短縮	7日短縮	現状のまま
負担額（1回限りの税金上昇）	3000円	5000円	0円
最も望ましいもの			

（3-3）防潮堤建設に対する市民の認識に関する調査（BWS）

津波から町を守るための巨大な防潮堤の建設が行われている岩手県と宮城県で、防潮堤建設に当たって考慮すべきと市民が考える事柄を調べることを目的として、2020年3月に一般市民を対象としたWebアンケート調査を実施し、岩手県在住の567人と宮城県在住の1532人の計2099人から回答を得た。

ベストワーストスケールリング（Best-worst scaling : BWS）の質問では、防潮堤建設を巡る主要な論点である「地域産業への影響」（防潮堤が町と海とを分断したり、砂浜の上に防潮堤が建設されたりして、水産業や観光業などの地域産業に影響が出ているのではないかと）、「海岸景観への影響」（防潮堤によって海岸景観がなくなったり、防潮堤によって海岸景観を見ることができなくなったりしているのではないかと）、「建設費用」（総事業費約1兆円という建設費用は大きすぎたのではないかと）、「自然環境への悪影響」（防潮堤が海や浜辺の動植物に直接影響を与えたり、海流で運ばれる砂の動きを変化

させたりして、自然環境に悪影響を与えているのではないか?）、「合意形成」（地域住民との話し合いの機会がなく建設されたのではないか?）、「将来世代の費用」（防潮堤の建設は復興特別所得税などでまかなわれているが、子や孫など将来世代が払う維持管理費用や更新費用が大きいのしかかるのではないか?）、「防潮堤の高さ（安全性）」の7つの事柄のうち3つを提示し、「最も考慮すべきである事項」と「最も考慮する必要がない事項」をそれぞれ選択してもらった質問を7回繰り返した（表(3)-2）。

表(3)-2 BWSの質問例

	最も考慮すべきである事項	最も考慮する必要がない事項
自然環境への悪影響		
建設費用		
防潮堤の高さ（安全性）		

(3-4) ハイブリッドインフラの経済評価

グレーインフラとGIを組み合わせたHBIに対する関心が高まっている。津波対策の場合、防潮堤などのグレーインフラは、想定範囲内の津波に対しては防災効果を期待できるものの、想定外の津波に対しては深刻な被害が生じる可能性がある。一方、海岸林などのGIを組み合わせることで、グレーインフラ単独では防げないような津波に対しても減災効果が期待できる。しかし、GIは、その防災・減災効果に対して不確実性が高く、政策として導入する際には地域住民の合意を得ることが難しい。このため、HBIを政策的に実現するためには、HBIの不確実性に対する地域住民の選好を分析し、どのようなHBIであれば地域住民が受け入れ可能なのかを事前に示すことが課題となっている。

そこで、本研究では、沿岸域住民を対象にアンケート調査を実施し、仮想的なHBIを地域住民に提示し、最も好ましいものを選んでもらうことでHBIに対する地域住民の選好を分析した。これは選択型実験と呼ばれる評価手法である。HBIの属性としては、「防潮堤の追加の高さ」、「海岸林幅」、「景観」、「レクリエーション」、「野鳥の種類」、「基金への年間支払意思額」である。回答者には以下の図(3)-3のような三種類の対策を示し、最も好ましい対策を選んでもらった。そして対策の内容を変化させた設問を一人につき8回繰り返した。

これは回答例なので、次のページから実際にご回答ください。

	対策1	対策2	対策3	
防潮堤の追加の高さ	100年に一度の津波	高潮・波浪対策のみ	10年に一度の津波	この中からは選ばない
海岸林幅(m)	0m	500m	300m	
景観	防潮堤	海岸林	防潮堤と海岸林	
レクリエーション	防潮堤の高さが10mを超えるためなし	散策・キャンプが可能	散策・釣り・キャンプ全てが可能	
野鳥の種類	野鳥の種類: 3種	野鳥の種類: 20種	野鳥の種類: 10種	
基金への年間支払意思額(円)	30,000	3,000	10,000	
	↓	↓	↓	
最も好ましい→	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	

図(3)-3 HBIの選択型実験の設問例

(3-5) グレーインフラの代替可能性についての実証研究

グレーインフラのGIによる代替可能性に関わる研究を、国内外の3地域を対象地としておこなった。GIは生態系に根ざすインフラであるため、GIが発揮する機能の質や量は、経済活動や市民生活による生態系への影響に、大きく左右されうる。そこで、経済活動の縮小によって人為的影響が減少している国内の事例（ケース1）、市民生活によって環境負荷が増加している国内の事例（ケース2）および海外の事例（ケース3）の3つを取り上げた。

ケース1は、京都府綾部市の商業林についてである。国産材に対する長期的な需要の低迷等を背景に、商業林の放置が増えている。商業林は、森林施業を前提として植栽され、管理されてきたものであるため、放置されると森林や林地の状態が悪化して、健全な木材生産ができないだけでなく、山崩れ（表層崩壊、深層崩壊）が発生しやすくなるなどの問題も発生する。2019年に「新たな森林管理システム」が導入され、森林所有者以外の、意欲と能力がある林業経営者に、商業林の管理を集約することが可能になった。単一事業体による管理では、黒字経営が期待できる。綾部市の事例は、路網整備の工夫によって経営改善だけでなく、林地への負荷も軽減でき、商業林のGI機能の向上が期待できることから、ヒアリングや実地視察で知見を収集した。

ケース2は、沖縄県の西表島沿岸部のマングローブ林についてである。南西諸島に属する西表島は、その場所や海流の関係で、大量の海ごみが漂着する。沿岸部のマングローブ林は、土砂を蓄積させて海岸を維持したり、潮風を遮って農耕地の塩害を軽減したり、津波や台風の被害を軽減するといった、多様な防災・減災機能を有している。しかし、海ごみによって幹や呼吸根が損傷して枯死したり、沿岸部がゴミで覆われることで、発芽した個体の成長が阻害され、マングローブ林が減退する問題が起きている。マングローブ林の防災・減災機能は、2004年のスマトラ島沖地震を契機に、世界的に注目をされているものの、海ごみによって機能が低下していることを本格的に扱った研究は少なかったことから、ヒアリングや実地視察で現状把握をした。

ケース3は、インドネシア国ジャカルタ市北部沿岸のマングローブ林についてである。ジャカルタは東南アジアで最大の人口を有する国際都市であるが、北部のジャカルタ湾沿岸には、都市部を含めてマングローブ林が残っている。インドネシアでは、2004年のスマトラ島沖地震以降、マングローブ林の防災・減災機能が注目され、植林されている。しかし、ジャカルタでは、日常的に運河や河川にゴミが投棄され、沿岸部で蓄積して、マングローブ林にも影響を及ぼしている。海に流出したゴミは、日本を含む諸外国に海ごみとして漂着する。そこで、市民に対するヒアリングやアンケート調査で、マングローブの防災機能や河川等へのゴミ投棄によるマングローブ林の劣化についての認識を調査する予定であったが、COVID19のために実施できなかった。そのため、先行研究を網羅的に集め、文献渉猟によって現状把握を行った。

(3-6) グリーンインフラ設置についての合意形成に関する研究

GIを進める上で重要な合意形成をいかにして実現しているかを、イギリスの事例から経済学的研究を行う計画であったが、コロナ禍において国内サイトでこれに関わる代替的な研究を令和3年度から行うこととなった。GI設置により利益より不利益が生まれるような状況を生み、かつそのような状況を調査するのに適切な対象サイトを国内で選定する必要があるため、令和2年度は対象サイト選定の予備調査を行った。

予備調査では2015年以降に国内における河川氾濫で浸水した地域を調べた。国土交通省の「災害・防災情報」では2000年以降に国内で発生した災害が、災害別に地震・風水害・火山・雪害・道路災害・その他災害の6種類に分けて掲載されている。このうち風水害被害については災害ごとに被害が発生した地域と被害内容（浸水家屋数・家屋倒壊数・田畑等浸水）がまとめられており、河川氾濫が発生した時期・地域・被害を調べるため、このウェブサイトの情報を元にして調査を行った（閲覧期間：2020年11月3日～17日）。

2015年から2020年に発生した風水害として情報が発信されているのは47回の災害であるが、このうち

9回については浸水による家屋や田畑等の被害は報告されていなかった。田畑等浸水と浸水家屋被害の状況と災害発生回数をまとめたのが表(3)-3であるが、田畑等浸水は47回の災害のうち37回、浸水家屋被害は33回、両方の被害があったのは32回である。この32回の被害のうち、家屋損壊被害が伴う災害は7回発生している。なお一部の災害・被災箇所では調査中の箇所が存在したが、被害件数が集計されていれば被害ありとして集計した。

表(3)-3 災害発生回数と被害の関係

		浸水家屋被害		小計
		あり	なし	
田畑等浸水	あり	32回*	5回	37回
	なし	1回	9回	10回
小計		33回	13回	47回

* 家屋倒壊被害あり7回、被害なし25回

国土交通省の災害・防災情報および消防庁の災害情報一覧より、家屋損壊被害が伴う7回の災害のうち特に被害の大きかった場所は次の通りである。

表(3)-4 災害被害が特に大きかった災害と場所

発災年	災害名	被害が特に大きかった場所（一例）
2015年	台風第18号及び第17号による大雨（平成27年9月関東・東北豪雨）	鬼怒川流域（茨城県）、利根川水系（栃木県・茨城県）、北上川・鳴瀬川水系（宮城県）
2016年	台風第10号	石狩川水系空知川（北海道）、十勝川水系（北海道）、久慈川・小本川（岩手県）
2017年	7月22日からの梅雨前線に伴う大雨	雄物川水系（秋田県）
2017年	6月30日からの梅雨前線に伴う大雨及び台風第3号	筑後川水系（福岡県・大分県）
2018年	平成30年7月豪雨（西日本豪雨）	小田川（岡山県）、肱川（愛媛県）
2019年	令和元年台風第19号	千曲川（長野県）、久慈川（茨城県）、阿武隈川（宮城県）
2020年	令和2年7月豪雨災害	球磨川（熊本県）

防災における利他性と合意形成に関する研究（選択型実験）

防災における利他性と合意形成に関する市民の選好を把握することを目的として、2022年3月にWebアンケート調査を実施した。過去に水害が発生した水系の上流地域の市町村の住民を対象にアンケートを実施し、2104人から回答を得た。

アンケートでは、回答者が居住する地域の下流の地域の洪水被害を軽減するために、回答者が居住する地域を含む上流の地域に遊水地を作ることが検討されている状況を想定して、遊水地の設置に関する回答者の意見を尋ねた。

選択型実験の質問では、代替的な遊水地設置計画のうちどれが望ましいと思うかを尋ねた。そこでは、遊水地を設置すると、豪雨の際に下流の地域の洪水被害が軽減される一方で、回答者が居住する上流の地域の遊水地周辺では、道路の冠水、床下浸水、床上浸水などが発生する可能性が高まると仮定した。また、遊水地は様々な動植物の生息地としての役割を果たし、シギ・チドリやチュウヒをはじめとした様々な渡り鳥やコウノトリなどの貴重な鳥類も飛来する可能性があるとして仮定した。さらに、浸水の被害

が発生する可能性がある地域では、それに対する補償として、各世帯に対して、地域で使えるクーポン券が、国から1度だけ配布されると仮定した。

1) 「あなたが住む場所(上流の地域)への影響」(豪雨のときに道路が冠水する可能性が高まる、豪雨のときに床下浸水が発生する可能性が高まる、豪雨のときに床上浸水が発生する可能性が高まる)、2) 「下流の地域での洪水被害の軽減」(被害が2割減る、被害が3割減る、被害が4割減る、被害が半分に減る)、3) 「遊水地に飛来する鳥類の種数」(5種、15種、30種、60種、100種)、4) 「地域で使えるクーポン券の金額」(1万円、5万円、10万円、30万円、50万円)の4属性からなる仮想的な遊水地設置計画を3つ提示し、最も望ましいと思うものを選択してもらった質問を6回繰り返した(表(3)-5)。

表(3)-5 選択型実験の質問例

	対策1	対策2	対策なし
あなたが住む場所(上流の地域)への影響	豪雨のときに道路が冠水する可能性が高まる	豪雨のときに床下浸水が発生する可能性が高まる	どちらも望ましくない(遊水地を設置しない)
下流の地域での洪水被害の軽減	被害が2割減る	被害が2割減る	
遊水地に飛来する鳥類の種数	5種	15種	
地域で使えるクーポン券の金額	1万円	30万円	
最も望ましいもの			

防災における利他性と合意形成に関する研究(BWS)

BWSの質問では、下流の地域の洪水被害を軽減するために上流の地域に遊水地を作るにあたって、どのようなことが重要だと思うかを尋ねた。

「下流の地域の洪水被害を軽減すること」、「上流の地域で浸水などの被害が発生しないこと」、「関係者間で十分な議論が行われたうえで合意形成が成されること」、「遊水地を作るために住居の移転や土地利用の制約などが発生しないこと」、「遊水地を作ることで影響を受ける人(浸水の被害にあう人や土地利用が制約される人)に十分な補償が行われること」、「遊水地に動植物が生息することで、地域の自然が豊かになること」、「洪水発生時以外には、遊水地をレクリエーションのために利用できること」の7つのうち3つを提示し、「最も重要だと思うこと」と「最も重要でないと思うこと」をそれぞれ選択してもらった質問を7回繰り返した(表(3)-6)。

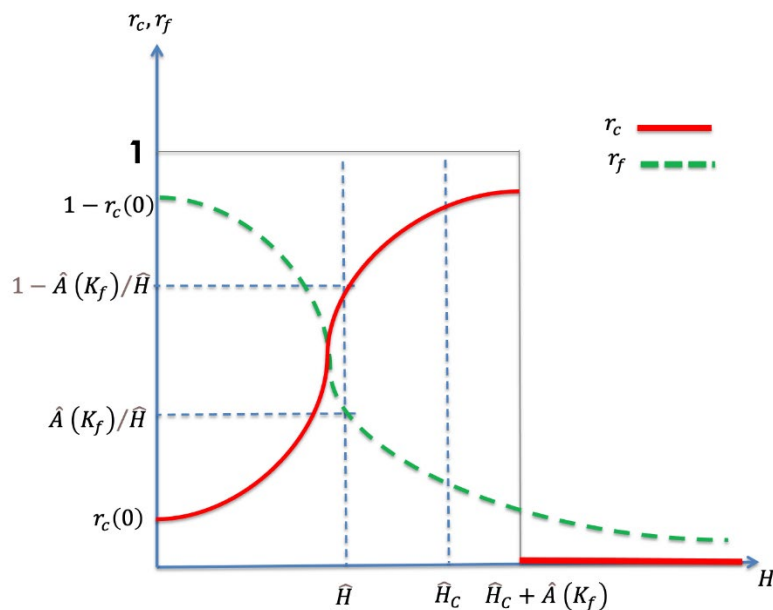
表(3)-6 BWSの質問例

	最も重要だと思うこと	最も重要でないと思うこと
下流の地域の洪水被害を軽減すること		
洪水発生時以外には、遊水地をレクリエーションのために利用できること		
遊水地を作ることで影響を受ける人(浸水の被害にあう人や土地利用が制約される人)に十分な補償が行われること		

4. 結果及び考察

(3-1) ハイブリッドインフラのモデル化と経済理論による分析

HBIのもとで、それぞれの防災インフラは、どれだけハザードを防御しているのかを、防御率で示すことができた。これが図(3)-5で示されている。 r_c 、 r_f は、グレーインフラとGIの防御率を表している。グレーインフラの防御率は、閾値ハザードである $\hat{H}_c + \hat{A}(K_f)$ まで上昇するが、このハザードを超えるとゼロとなる。一方、GIの防御率は、ハザードとともに減少するが、どの水準のハザードでも水量の吸収を行うため、常に正の値を取る。この性質は、GIを設置してHBIを構築することで、既存のグレーインフラの規模を縮小する可能性を示唆している。

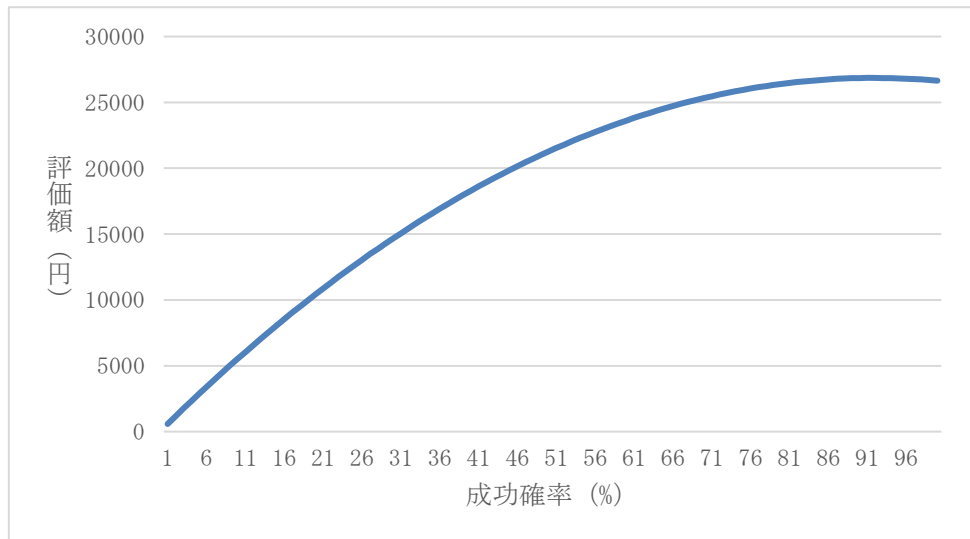


図(3)-5 r_c と r_f

上記のモデルを経済学的に分析することを目的として、次のような水文経済モデルを構築した。防災インフラを導入することによる減災効果から防災インフラの設置費用を控除し、さらに、環境面での効果（一般にはグレーインフラは負の、またGIは正の効果を持つ）を足し合わせた値を、社会的厚生指標（社会的純便益）として定義した。この指標を最大化する防災インフラが最適インフラである。ここでは、一定の閾値ハザードを実現する上で、どのようにグレーインフラとGIを組み合わせると社会的純便益が最大化されるのかを導出する式を示した。この式を利用して、人口の与える効果を分析した。人口が多くなるほど、設置により広い空間を要するGIの設置による機会費用が増加する。これに基づき、人口が多い場所でのHBIは、よりグレーインフラの比率が高くなること、逆に、人口が少ない地域ではGIの比率を高めることが最適であることがわかった。

(3-2) 防災効果の不確実性に対する市民の評価に関する研究（選択型実験）

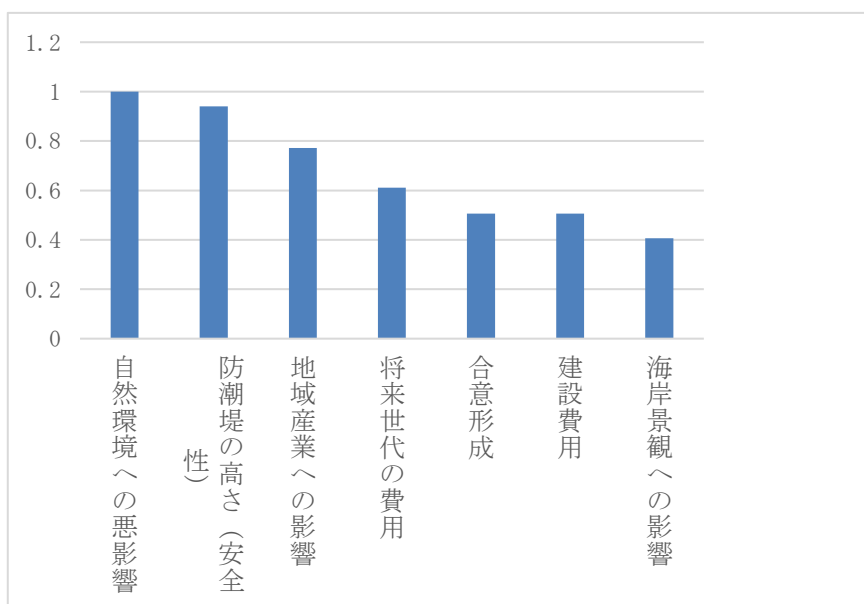
分析の結果、防災以外の活用として、「運動公園として活用する」が高く評価されること、「成功確率」の上昇、「人的被害の軽減」、「物的被害の軽減」、「間接的被害の軽減」から便益を得るが、追加的な改善から得られる便益は逡減すること（図(3)-6）、「間接的被害の軽減」が高い評価を得ること、防災効果と不確実性に対する選好は個人間で多様であること、「女性」、「年齢が高い人」、「洪水により直接的な被害を受ける可能性のある場所に住んでいる人」が所属する傾向があるクラスでは、成功確率に対する評価が高く、間接的被害の軽減に対する評価がやや低いことなどが明らかとなった。



図(3)-6 成功確率の評価額

(3-3) 防潮堤建設に対する市民の認識に関する調査 (BWS)

分析の結果、市民は防潮堤建設に当たって考慮すべき事柄として、「自然環境への悪影響」、「防潮堤の高さ(安全性)」、「地域産業への影響」、「将来世代の費用」、「合意形成」、「建設費用」、「海岸景観への影響」の順に高く評価すること、および、「自然環境への悪影響」と「防潮堤の高さ(安全性)」を特に考慮すべきと考えていることが明らかとなった(図(3)-7)。また、「自然環境への悪影響」と「防潮堤の高さ(安全性)」に関する各回答者のB-Wスコアを被説明変数、各回答者の個人属性、防潮堤に関する知識、防潮堤の必要性に関する認識、東日本大震災時の津波による被害の経験を説明変数とする回帰分析を行った結果、防潮堤の必要性は高いと考えている人よりも、そうでない人の方が「自然環境への悪影響」を考慮すべきと考えていることや、防潮堤のことを知っている人よりも、知らない人の方が「防潮堤の高さ(安全性)」を考慮すべきと考えていること、防潮堤建設の必要性をより強く認識している人ほど「防潮堤の高さ(安全性)」を考慮すべきと考えていること、東日本大震災時に自身が津波による被害にあった人は、そうでない人よりも「防潮堤の高さ(安全性)」を考慮すべきと考えていることなどが明らかとなった。



図(3)-7 7つの事柄の相対的重要性

(3-4) ハイブリッドインフラの経済評価

HBIに対する沿岸住民の選好を調べるため、全国の20代から60代の沿岸域在住者を対象にインターネット調査によりアンケート調査を実施し、955名から回答を得た。選択型実験の回答をもとに支払意思額の推定を行った（表(3)-7）。

第一に、浸水地域住民とそれ以外の住民で比較を行った。標準的な条件付きロジットモデルを用いて推定を行なったところ、浸水地域とそれ以外では支払意思額が大きく異なっていた。例えば、防潮堤の追加の高さは、浸水地域では100年に一度の津波対策の支払意思額が15,419円で最も高いが、それ以外の地域では30年に一度の津波対策が11,663円で最も高くなっていた。

第二に、推定モデルによる比較を行なった。回答者間の選好の同質性を仮定する条件付きロジットモデルと選好の異質性を許容する混合ロジットモデルで比較を行なったところ、両者で大きな差が見られた。例えば、防潮堤の追加の高さについては、100年に一度の津波対策に対して条件付きロジットモデルでは支払意思額が11,094円であったのに対して、混合ロジットモデルでは2,590円となっていた。このことは、津波対策に対しては地域住民によって価値が大きく異なっていることを示唆しており、選好の同質性を仮定する条件付きロジットモデルでは推定結果にバイアスが生じると考えられる。

表(3)-7 支払意思額

属性	地域による比較		推定モデルによる比較	
	浸水地域	それ以外	条件付きロジット	混合ロジット
防潮堤の追加の高さ				
10年に一度の津波	9,809	5,759	6,582	3,747
30年に一度の津波	11,437	11,663	11,602	9,662
100年に一度の津波	15,419	9,998	11,094	2,590
海岸林の幅（円/100m）	770	607	642	957
野鳥の種類（円/種数）	-170	-139	-146	-696
景観				
防潮堤のみ	-6,962	-2,389	-3,318	-3,358
防潮堤と海岸林	5,293	6,754	6,455	8,245
レクリエーション				
散策	1,942	507	806	-1,830
釣り	2,535	-108	420	-1,202
キャンプ	-2,924	1,004	226	1,710

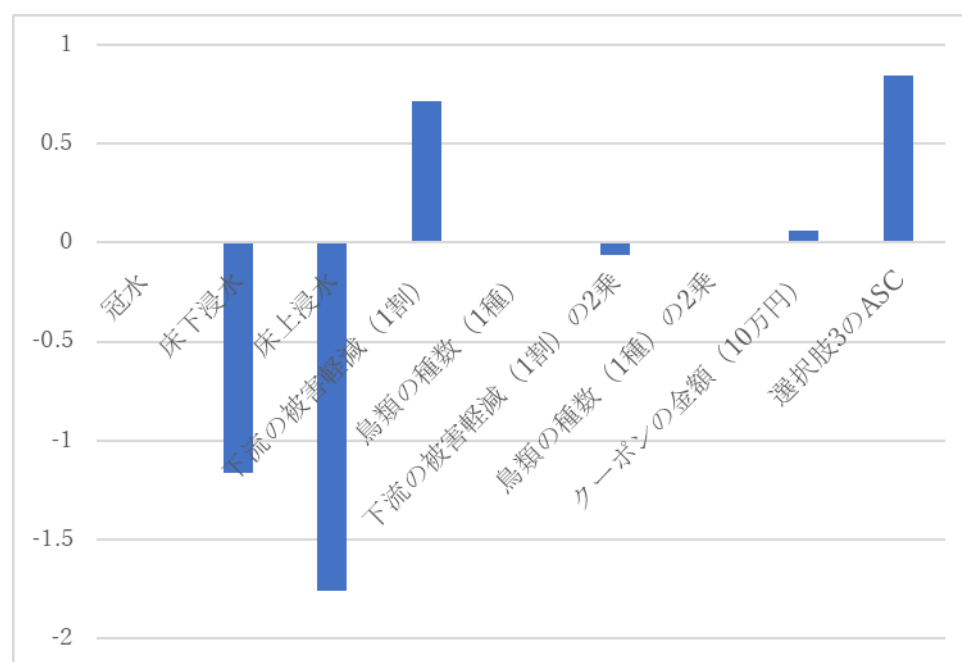
(3-5) グレーインフラの代替可能性についての実証研究

グレーインフラのGIによる代替可能性に関わる研究のうち、ケース1については、2018年に、行政Aと民間企業B社、C社にヒアリング調査をおこなった。行政Aおよび民間企業B社は、間伐材を活用した治山事業にかかわっている。民間企業C社は、路網整備等を工夫して、環境負荷を低く抑えながら、採算がとれる林業実践を進めている。ヒアリングの内容は、行政Aについては、1) 治山ダム工（溪流用）や土止め工（山間部）の実施に関する情報収集（間伐材の入手、費用便益分析に基づく実施判断、設置後の経年変化の状況等）、2) 2018年の西日本豪雨による被害状況（表層崩壊等の状況、被害に対する対応等）などである。民間企業B社については、3) 治山事業に用いる間伐材の生産（加工方法、受注状況等）や、設置（設置適地、設置方法等）などである。民間企業C社については、5) 路網整備（環境負荷を軽減する工法、費用、技術面の制約等）や事業展開の方法（工法の普及、木材の付加価値向上方法等）などである。これらのうち、治山事業に関しては、既に適地の多くに設置済みであり、事業実施数の増加は難しいこと、グレーインフラよりも弱いため、住民が懸念を持つことがあり、コンクリートとのハイブリッド型を使うことがあるなど、さらなる普及には大きな制約があると考えられた。路網整備の工夫については、林業の採算がとれ、環境負荷を軽減でき、防災・減災機能の向上が見込まれる一方で、現状では、施工に高い技術力が求められるなど、普及に向けた課題が残っている。

ケース2と3は、ともにマングローブの減災・防災機能を扱い、どちらもゴミによってGIとしての機能が減退している点が共通する事例である。西表島については、2019年にサブグループのメンバーで訪島し、ヒアリング調査およびフィールド調査をおこなった。沿岸部に漂着した海ごみや、マングローブ林の枯死、それに伴う海岸線の後退などの現状を把握した。ジャカルタについては、COVID19の影響で、現地調査は実施できなかったものの、関連する文献が多くあったため、現状の把握と今後の研究課題の抽出をおこなうことができた。西表島では、他者由来の膨大なゴミに、人口が少なく処理施設がない状況で対応するためコストが嵩む。ジャカルタでは、自己（自市）由来のゴミによる被害を、主に、水災害リスクが高い地域に住む貧しい人たちが受けている。ヒアリングや文献調査に基づく、西表島、ジャカルタとも、住民によるゴミ清掃活動や回収したゴミの再資源化、マングローブの植林などが実施されているものの、現状のマングローブを維持するには十分とは言い難い。マングローブの回復・維持のためには、西表島は、海外由来のゴミ対応、ジャカルタは、貧困者の生活支援が先決であり、それに要するコストの捻出が容易ではないために問題が残存している。

（3-6） 防災における利他性と合意形成に関する研究（選択型実験）

分析の結果、上流の地域への影響については、冠水による不効用が最も小さく、床上浸水による不効用が最も大きいこと、「下流の地域での洪水被害の軽減」と「遊水地に飛来する鳥類の種数」は1次の項が正に、2次の項が負に有意となったことから、これらからは便益（効用）を得るが、追加的な改善から得られる便益は逓減すること、すべての属性に対する選好が個人間で多様であることなどが明らかとなった（図(3)-3）。

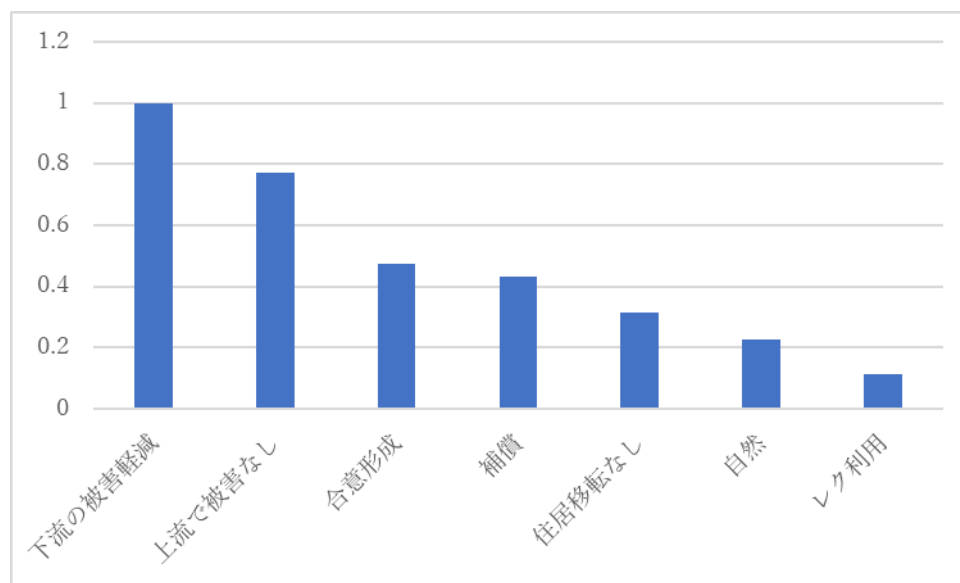


図(3)-3 各属性の限界効用

防災における利他性と合意形成に関する研究 (BWS)

分析の結果、過去に水害が発生した水系の上流地域の市町村の住民は、下流の地域の洪水被害を軽減するために上流の地域に遊水地を作るにあたって、「下流の地域の洪水被害を軽減すること」、「上流の地域で浸水などの被害が発生しないこと」、「関係者間で十分な議論が行われたうえで合意形成が成されること」、「遊水地を作ることで影響を受ける人（浸水の被害にあう人や土地利用が制約される人）に十分な補償が行われること」、「遊水地を作るために住居の移転や土地利用の制約などが発生しないこと」、「遊水地に動植物が生息することで、地域の自然が豊かになること」、「洪水発生時以外には、

遊水地をレクリエーションのために利用できること」の順に重要であると考えていることが明らかとなった（図(3)-4）。



図(3)-4 7つの事柄の相対的重要性

5. 研究目標の達成状況

理論面では、HBIの機能を数理モデルにより表現し、モデルに基づいて最適なHBIを経済学的に分析できた。この数理モデルは今後の防災・減災研究において適用可能となる成果であると考えられる。

実証面では、防災効果の不確実性の評価手法を確立し、アンケート結果を定量的に分析してそれぞれ評価を行った。第一に、防災効果の不確実性に対する市民の評価に関する研究では、選択型実験の質問を通して防災効果と不確実性に対する市民の選好を把握し、それに基づいて防災対策の便益を評価することができた。これは、GIやHBIの費用便益分析の方法論の確立に寄与する成果であると考えられる。第二に、防潮堤建設に対する市民の認識に関しては、東日本大震災被災地におけるBWSの質問で、防災対策に対する市民の認識を調査することができた。調査の結果、防潮堤建設に当たって考慮すべきと市民が考える事柄を明らかにすることができたが、これは、将来、再び防潮堤の建設が必要になった際に議論に活かすことができる有益な結果であると考えられる。第三に、HBIについての市民の経済評価分析では二つの成果・示唆を得た。まず、HBIの経済価値を定量的に評価する方法を構築した。選択型実験の属性として防潮堤の追加の高さと海岸林の幅を入れることで、グレーインフラとGIの様々な組み合わせの対策別に経済的価値を評価することが可能となった。また、HBIの不確実性について調査票で説明することで、不確実性を踏まえた上で評価することが可能となった。次にHBIの政策実現に対しては、住民によってHBIに対する評価が大きく異なる点に注意が必要である。選択型実験の分析結果より、沿岸域住民の中でも、浸水リスクの高い地域とそれ以外では、HBIに対する評価が異なることが示された。このため、グレーインフラを強化することを希望する住民と、それよりはGIを拡充することを希望する住民の両者が混在しており、地域住民の合意形成が困難な状況にあることが示唆された。

さらにグレーインフラの代替可能性について国内外の3つの事例を取り上げて検証を行った。ケース1では、「新たな森林管理システム」が導入されるタイミングで、この制度の含意を、GIの観点から実地調査を踏まえて検討することができ、行政主導で進みつつある間伐材を活用した治山事業の現状と課題を把握できた。ケース2は、行政機関、長年のエコツアーの主催や浜辺の海ごみの清掃活動を通じて西表島の自然環境に詳しい方へのヒアリング、フィールド調査により、漂着ゴミによるマングローブ林損傷の現状と、解決に向けた課題を明らかにすることができた。マングローブの減災・防災機能や海ご

みの問題は、既によく知られるようになった問題であるが、海ごみによるマングローブ林の機能の減退を扱った研究はまだ少ないことから、西表島の状況を学会誌で報告した。ケース3は、文献渉猟に基づいて、ジャカルタが地盤沈下、海面上昇、運河や河川へのゴミ投棄などが原因で、頻りに洪水が発生している実態や、マングローブが津波や高潮の軽減に寄与するものの、投棄されたゴミに起因するマングローブ生息地の悪化が懸念されていることなど、現状と課題を把握できた。

以上のように本研究では、理論モデルの提示、さまざまな市民の意識調査、およびフィールド研究に基づき、GIの不確実性に着目をしながらHBIの機能や経済評価の研究を行い、HBIを導入する際の理論面・実証面での示唆を得ることができた。また、グリーンインフラの設置についての合意形成についても具体的に住民が何を重視するかを把握することができた。以上から、研究目標は達成できたと考える。

6. 引用文献

- 1) Barbier, E. B.: *Ecological Economics*, 78, 70-79 (2012) A spatial model of coastal ecosystem services.
- 2) Barbier, E. B., and B. S. Enchelmeier: *Journal of Environmental Economics and Policy*, 3(2), 167-185 (2014) Valuing the storm surge protection service of US Gulf Coast wetlands.
- 3) Onuma, A. and T. Tsuge: *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 32, 22-28 (2018) Comparing green infrastructure as ecosystem-based disaster risk reduction with gray infrastructure in terms of costs and benefits under uncertainty: A theoretical approach.
- 4) J. Louviere, D. Hensher, J. Swait: Cambridge University Press (2000) *Stated Choice Methods: Analysis and applications*.
- 5) Hensher, D. A., Rose, J. M., Rose, J. M., Greene, W. H.: a primer. 2nd ed. Cambridge university press (2005) *Applied choice analysis*.
- 6) Louviere, J. J., Flynn, T. N., Marley, A. A. J.: Cambridge University Press (2015) *Best-Worst Scaling: Theory, Methods and Applications*.
- 7) Danielsen, F., Sorensen, M.K., Olwig, M.F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N.D., Hiraishi, T., Karunakaran, V.M., Rasmussen, M.S., Hansen, L.B., Quarto, A., Suryadiputra, N.: *Science* 310(5748), 643 (2005) The Asian tsunami: A protective role for coastal vegetation.
- 8) Nuryanto S. Slamet, Paul Dargusch, Ammar A. Aziz, David Wadley.: *Ocean & Coastal Management* 195, 105283 (2020) Mangrove vulnerability and potential carbon stock loss from land reclamation in Jakarta Bay, Indonesia.
- 9) Marfai, M.A., Sekaranom, A.B., & Ward, P.: *Natural hazards* 75, 1127-1144 (2015) Community responses and adaptation strategies toward flood hazard in Jakarta, Indonesia.
- 10) Esteban, M., Takagi, H., Mikami, T., Aprilia, A., F S., & Utama, N.A.: *International Journal of Disaster Risk Reduction* 23, 70-79 (2017) Awareness of coastal floods in impoverished subsiding coastal communities in Jakarta: Tsunamis, typhoon storm surges and dyke-induced tsunamis.
- 11) D. McFadden: in P. Zarembka, ed., *Frontiers in Econometrics* 105-142, Academic Press (1974) Conditional logit analysis of qualitative choice behavior.
- 12) K.E. Train: Cambridge university press (2009) *Discrete choice methods with simulation*.

Ⅱ-4. 生物多様性、土地利用、社会経済状況に基づいたハイブリッドインフラ導入ポテンシャル全国評価について

(サブテーマリーダー)

三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 西田 貴明

(研究分担者)

三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 遠香 尚史

(その他の研究協力者)

ブノントイ 吉成 絵里香

株式会社マイズソリューションズ 舛田 陽介

八千代エンジニアリング株式会社 星山 英一、吉原 哲、池田 正

石川県立大学 上野 裕介

東京都立大学 大澤 剛士

[要旨]

近年、自然の機能を活用した社会資本整備である、グリーンインフラ（GI）の社会実装にむけた動きが加速している。こうした状況において様々なグリーンインフラのタイプの中でも、グリーンとグレーが融合、あるいは複数の機能を有するグリーンが融合したハイブリッドインフラ（HBI）の導入に注目が集まっている。そこで本研究では、日本全体のハイブリッドインフラの導入ポテンシャルを把握することを目的とした。

まず特定の農地をHBIと捉えて環境条件、社会条件の両面から指標を設定し、全国的な統計情報の分析やアンケート調査で得られた情報により、HBIの導入ポテンシャルを評価できる指標を検討した。その結果、マクロデータから凹地型の水田が災害リスクを軽減し、生物多様性保全にも貢献しうることが明らかにされ、基礎自治体の凹地型水田の割合が環境条件としてのHBIの代表指標となることが示された。さらに、GI関連事業を推進する地方自治体のGIの理解や行政計画におけるGIの位置付け、市民のGIに対する意向は、地域の財政関連情報である課税対象所得に依存しており、これがHBIの社会条件としての代表指標となることが示された。

これら2つのHBI代表指標を用いて、地方自治体のHBI導入ポテンシャルを評価すると、HBI代表指標の高い地方自治体において、GI関連事業が実際に実施されやすい傾向が示された。すなわち、本研究により、全国1700余の地方自治体の農地のHBIの導入ポテンシャルが、特定の地形条件と地方自治体の財務情報の2つの代表指標で概観することが可能となり、また既存のGI事業の実施状況から国内の幅広い自治体においてHBIの導入可能性があることが示唆された。

1. 研究開発目的

サブテーマ4の研究開発目的は、HBIの定義について整理した上で、全国スケールでHBIの機能評価、導入の現状や、その適用範囲を明らかにし、基礎自治体を単位にHBIの導入ポテンシャルを評価する。さらに、基礎自治体のHBIの導入ポテンシャルと地域特性の関係を分析し、現在のHBIの導入状況を明らかにしつつ、HBI導入ポテンシャルの違いを生む要因を明らかにする。

2. 研究目標

農地のHBIに関して、自然環境の特徴、生態系の機能、行政の制度計画、市民の意識活動を指標として整理し、統計データの分析やアンケート調査の実施によりHBIの導入ポテンシャルをはかる指標を構築

する。その上で、構築した指標より、全国スケールにおいて基礎自治体のHBIの導入ポテンシャルを算出し、HBIを導入しうる自治体の特徴を明らかにする。

3. 研究開発内容

(4-1) ハイブリッドインフラの基本構造と評価指標の検討

本研究における指標検討や評価実施に先立ち、導入ポテンシャルを評価するハイブリッドインフラ（HBI）の定義について、既往文献等を参照の上で整理検討し、その基本構造を整理した。なお、本研究のHBIの評価は、農地（水田）に注目し、基礎自治体を対象とする。本研究における基本構造の整理を踏まえ、ハイブリッドインフラの導入ポテンシャルの評価軸に関して、HBIの機能を潜在的な発揮しやすさを捉える環境基盤と、HBIの考え方の受け入れやすさを捉える社会体制のそれぞれの観点から検討した。指標の検討においては、環境政策の評価枠組である「DPSIRモデル」を用いて、国内外のグリーンインフラ（GI）に関する既往の研究や本プロジェクトにおける地域の事例から、HBIに関わる指標を全体的に洗い出した。なお、DPSIRモデルは、国や地域の特定の政策に関して、原因（Driver）、圧力（Pressure）、影響（Impact）、状態（State）、対策や政策（Response）の観点から政策構造を捉える手法である。このモデルを用いて地域のHBIの導入ポテンシャルを捉え、地形地質、土地利用、動植物の分布、生態系サービスの状況など、HBIの機能の発揮しやすさに関する自然条件（環境基盤）を整理し、また、社会体制については、行政計画の策定状況や内容、市民や企業の認識、行動など、HBIの考え方の受け入れやすさに関する社会条件（社会体制）を整理した。

(4-2) 環境基盤に関する指標の検討と全国評価

水田を中心とした各種基盤地図情報ならびにHBIとしての機能評価に関するデータの収集、整備

本研究において注目するHBIである水田の分布地図に加え、水田自体の立地条件に関係する地形、水田以外も含めた土地利用といった各種の立地に関する基盤情報を収集し、GISデータとして一元化した。なお、最終的にHBI導入ポテンシャルを全国的に行うことを意識し、可能な範囲で全国レベルのデータを整備することにした。本研究では、GIがもたらす生態系サービスとして、洪水という災害の抑制、緩和（調整サービス）および生物多様性の保全（基盤サービス）に注目している。そこで、災害に関わる統計等の各種情報を収集し、その中から整備する基盤地図情報に統合可能で、かつGIの立地との関係が検討できると考えられるデータを選定し、解析等に適切な形式で整備した。生物多様性についても同様に、水田という湿地環境に依存すると考えられる種群に関する分布情報を収集し、利用可能かつGISデータとして整備可能なものを選定し、解析可能な形式に整備した。さらに水田、洪水、湿地全てに関わり得る資源として利用可能な水資源量について既往研究成果からデータを収集した。

水田が持つ防災・減災機能の評価および、それが発揮される条件の検討

水田が持つ防災機能、具体的には陸水由来の洪水被害、例えば豪雨による河川氾濫（外水氾濫）を抑制させる機能について評価および、それが発揮される条件について検討を行った。方法は、収集した基盤情報を利用し、基礎自治体を単位に、洪水災害の発生頻度と水田の立地条件の関係を統計モデルによって検討した。同様に水田が持つ減災機能、具体的には実際に発生した洪水災害の人間社会への被害規模を縮小させる機能について評価、およびそれが発揮される条件について検討を行った。方法は防災機能と同様、収集した基盤情報を利用し、基礎自治体を単位に、実際に発生した洪水の被害規模と、そこに存在する水田の立地条件の関係を統計モデルによって検討した。立地条件として、水が溜まりやすい地形に水田が存在していることで、その水田に洪水が流れ込みやすくなり、防災および減災に貢献するという仮説の下、水の溜まりやすさを指標できる地形パラメータを用いた。

防災・減災機能を持つ水田の生物多様性保全機能評価

水田は代替湿地として様々な生物へハビタットを提供している。防災、減災機能を持つ水田が特に高いハビタット機能を持っていたら、その水田は多機能性を持つグリーンインフラと捉えることができる。そこで、防災、減災機能を発揮する条件と同様の条件下における水田のハビタット機能を収集した湿地性生物の分布情報を用いて評価した。

HBIとなる水田を推定する指標整備および他指標との関係性

先に検討した防災、減災害機能が低い水田の立地条件を全国的に推定できる指標を地形要因から決定した。さらに、その指標の有効性評価として、今回の検討対象である防災、減災（調整サービス）、生物多様性保全（基盤サービス）以外の生態系サービスとして、利用可能な水資源分布（供給サービス）との関係を検討した。

（４－３）社会体制に関する指標の検討と全国評価

HBIの考え方の受け入れやすさを捉える社会体制の観点から検討するにあたり、トップダウン要因として自治体による行政計画や環境行政担当者による理解、ボトムアップ要因として市民意識の両方の側面から、地域におけるGIに対する受容性（親和性）を評価した。

自治体におけるGIの受容性評価

自治体におけるGIの受容性を評価するため、行政計画の記載内容、及び環境行政担当者によるGI・Eco-DRRに関する理解状況を評価した。行政計画については、自治体の行政計画にどれだけGI関連の記述があるかに注目し、「農地」に焦点を当てながら、全国の基礎自治体（データの比較・統合の観点から、後述の市民アンケートを実施した258自治体）にて策定されている行政計画を対象に、GI関連の記述を定量的に計測・分析した。対象とした計画は、緑の基本計画（241）、環境基本計画（245）、都市マスタープラン（249）、生物多様性地域戦略（58）、国土利用計画（34）、国土強靱化計画（31）、都市農業振興基本計画（18）、農業振興計画（102）とした（括弧内はそれぞれ分析対象とした計画数）。これらの計画より、農地のGIに関する記述を「多面的機能（平常時、非常時）」と「Eco-DRR」の観点から、記述の有無を整理した。また、全国各地における、GI・Eco-DRRに関する計画の策定状況、及びGI・Eco-DRRに関する事業の実施意向を把握するため、全国の都道府県・市区町村（1,788自治体）の環境行政担当者を対象にアンケート調査を実施した（調査期間：令和2年9月12日～10月2日）。調査にあたり、各自治体宛に依頼状を郵送し、WebアンケートまたはExcelファイルによる回答を依頼した。設問項目として、GI・Eco-DRRに関する意識、行政計画におけるGI・Eco-DRRに関する内容の記載状況、動植物調査の実施状況、行政計画策定における住民・企業等の参加状況、関連事業の実施状況などの項目を設定した。

WEBアンケート調査による市民意識の把握

GIにかかる市民行動・意識を把握するため、WEBアンケート会社のモニター会員（計77,334人）を対象に、WEBアンケートを実施した。なお、各自治体別でも集計可能なよう、一定規模のモニター会員数が登録されている全国258自治体を抽出し、それぞれ約300サンプルを回収した。アンケートでは、生物多様性への認知度、生態系サービスを享受する行動への意向・事実、インフラの役割への考え方、我が国が進むべき方向、幸福度、満足度等に関する項目を設定した。回答結果を踏まえ、自然の機能発揮、環境保全や防災に対する価値観と自然の豊かさへの満足度との関係、自然的土地利用の多寡と自然の豊かさへの満足度との関係、自然の豊かさへの満足度と幸福度の高さの関係性を分析し、GI導入と幸福度との関係について整理した。

WEBアンケート調査による企業意識の把握

企業のGIに関する行動、意識を把握するため、従業員10人以上の全国の民間企業（25,800社）を対象

に、WEBアンケートを実施した。実施にあたり、258の自治体（データの比較・統合の観点から、前述の市民アンケートを実施した258自治体）に立地する従業員数10人以上の民間企業について、各自治体から100社をランダムに抽出した。なお、100社分を確保できない場合、同じ都道府県内の自治体に立地する企業で補填した（対象期間：令和2年10月30日～11月24日）。実施にあたり、FAXにて各企業宛に依頼状を送信し、印字したQRコードよりWEBアンケートサイトにアクセス頂き、回答頂いた。設問項目として、民間企業が有する土地の規模・場所、所有地におけるHBIの推進に係る取組の実施状況、及び今後のHBIに関する取組の実施意向・関心状況などに関する項目を設定した。

（4-4）統合評価の実施

本研究において、HBIの導入ポテンシャルを捉える指標として、環境基盤に関する指標として地方自治体の凹地水田割合、また社会体制の指標として行政担当者のGIの認知度や行政計画の策定内容等に関して、地方自治体間で大きな違いがあることが示された。そこで、これらの環境基盤と社会体制のHBIの導入ポテンシャルの指標と実際の自治体におけるGIの導入状況を比較することで、これらのHBI指標としての妥当性の検証をおこなった。実際の地域におけるGIの導入状況は、社会体制のHBI指標の検討（4-3）において実施した自治体に対するアンケート調査の結果を用いた。本アンケートでは、各自治体におけるグリーンインフラ・Eco-DRRに関する事業として、環境省が作成したグリーンインフラ・Eco-DRRに関する普及啓発資料「自然の持つ機能の活用 その実践と事例」を質問文において紹介し、本資料にて掲載された農地における田んぼダム推進などによる浸水被害軽減（農地）に関して、自治体内における事業の実施状況について回答を得ている。このアンケート調査から得られた農地のGIの関連事業の実施状況と、凹地水田の割合や行政計画の内容等、自治体間における違いが示されたHBIの導入ポテンシャル指標の関係を検証した。

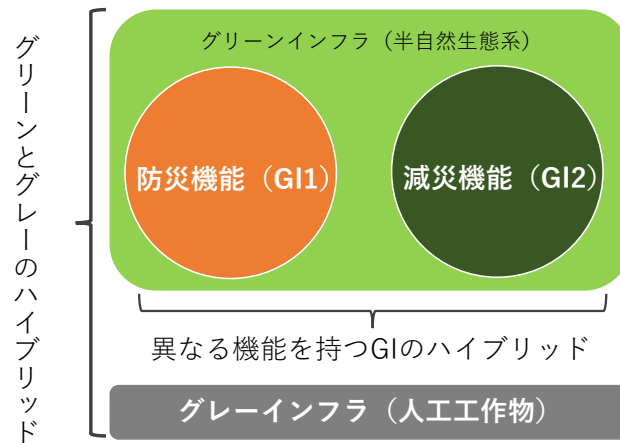
また、全国的な傾向と地域の状況の関係性を把握するために、環境基盤のHBI指標の検討（4-2）の結果をふまえ、HBIとしての機能が期待できる水田を実際の防災インフラ（GI）として活用するアイデアの実現に向けた具体的検討をおこなった。本検討では、令和元年東日本台風によって多数の洪水災害が発生した那珂川をモデル地域とし、その被害状況とHBI水田の関係を検討することで、実際にその水田が防災インフラとして機能する可能性を検証し、全国スケールで捉えた指標の妥当性を検証した。

最後に、本研究で明らかにしたHBI指標を用いて、全国の自治体のHBIの導入ポテンシャルの評価をおこない、全国的な傾向を把握した。本研究においては、特定の地方自治体（環境基盤においては、栃木、群馬、埼玉、社会体制においてはアンケートの回答が得られた自治体）をもとにして、環境基盤または社会体制としてHBIの評価を実施しており、これらの自治体の傾向を全国の自治体に外挿することで、全国の自治体のHBI導入ポテンシャルの評価をおこなった。環境基盤としては、凹地水田の土地利用の割合を代表指標として、特定の自治体において検討した本指標について全国の自治体において算出し、全国的な環境基盤に関するHBIの評価をおこなった。また、社会体制に関しては、自治体のGIの認識、行政計画におけるGIの位置付け、市民の社会的関心等の複数の指標と、全国の利用可能な各種統計データ（人口、財政力指数、課税対象所得等）の関係を分析し、代表指標を検討した。また、これらの環境基盤と社会体制の代表指標を用いて、全国の自治体のHBI導入ポテンシャルの評価をおこない、また、評価結果と自治体アンケート結果によるGI事業の関係を分析し、全国的な傾向を考察した。

4. 結果及び考察

（4-1）農地を活用したハイブリッドインフラ（HBI）指標の基本構造

農地のHBIの基本構造として、農地という半自然生態系（グリーンインフラ：GI）とダムをはじめとする人工工作物：グレーインフラが組み合わさったものと定義した。加えてGIについては、Onuma and Tsuge (2018)¹⁾において示された理論を参考に、災害の発生を抑制する機能(GI1)と災害による被害規模を緩和する機能(GI2)という2つのレイヤを設定した(図(4)-1)。



図(4)-1 GI (2つのレイヤ) とグレーインフラによるハイブリッドインフラの概念図

上記の農地HBIの基本構造を踏まえて、農地のHBIの導入ポテンシャルについて、DPSRIモデルを用いて評価枠組と指標を検討すると、生態系の状態 (S) や影響 (I) に関わる環境基盤に関して、生態系の状況や生態系サービスに関する多様な指標が整理された (図(4)-2)。さらに、自治体における生態系を活用する取組 (R) や市民・企業の意識や意向 (D, P) に関する社会体制についても、様々な指標が整理された。これらの指標から、全国スケールでHBIの導入ポテンシャルの評価が可能な指標の検討を行い、次項以降に示す通り、環境基盤や社会体制のそれぞれについて評価をおこなった。

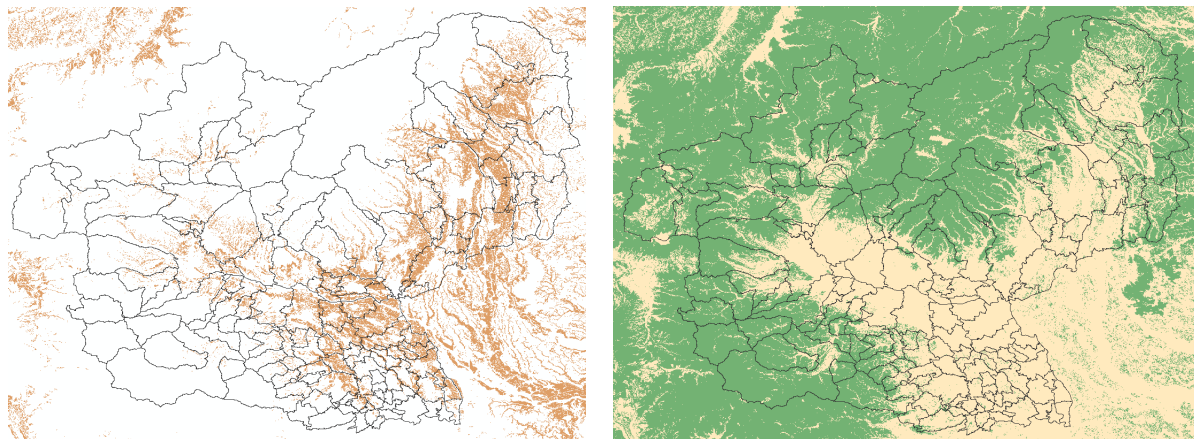
指標			指標項目	
地域の自然資源、生態系サービスの状況 (環境基盤)	自然空間	GIの空間	S	緑地等の現況 (自治体における農地、緑地、水域等の割合)
	自然の状態・機能	GIの機能	I	農地における洪水に対する緩和機能 (自治体における凹地水田の割合) 自治体における炭素固定量 (自治体による温室効果ガス吸収) 自治体における緑地の冷涼化効果 (都市空間における蒸発散量) 自治体における水資源涵養量 (水資源の涵養機能)
		生息地	I	自治体におけるエコロジカルネットワークの状況 (森林の連続性の指数) 自治体におけるエコロジカルネットワークの状況 (水域の連続性の指数) 湿地性の植物の生息環境 (自治体における凹地水田の割合) 大型鳥類の生息ポテンシャル (ナベツルの生息適地の割合)
自治体の自然機能の活用の取組、需要 (社会体制)	自然活用の計画・施策	理解・意識	R	行政におけるGI・Eco-DRRの認知度
		計画	R	グリーンインフラに関わる行政計画の策定状況 (緑の基本計画、生物多様性地域戦略等) 行政計画における自然の機能の記載状況 (生態系サービス、多面的機能) 行政計画におけるグリーンインフラの位置付け (GI、Eco-DRRの記載)
		観測	R	生態系のモニタリング (GI・Eco-DRRに関する生物種数調査、実証実験等)
		連携機会	R	行政計画への住民等の参加状況、連携機会の設定
	市民・企業の意向	認識・理解	P	市民の環境問題や社会課題に対する認識 市民の自然との関わり方に対する認識 企業における自然環境の活用に対する認識
		参加・行動	P	市民の地域の自然資源の活用意向 企業の地域の自然資源の活用状況
土地・空間		D	企業の所有地におけるGIに活用しうる空間 (企業の緑地に転換できる空間) 農地のGIとして利用しうる未利用地の空間 (自治体の耕作放棄地面積)	

図(4)-2 DPSRIモデルによる農地のHBI導入ポテンシャルの評価枠組と指標の検討

(4-2) 環境基盤の指標の検討と全国評価

各種データの収集・整備

全国を対象とした水田分布を示すデータとして、研究時点で最も新しいデータ（2009年、2014年整備）が利用できた国土数値情報（<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）100m土地利用メッシュを選定し、解析が可能な形に再整備した。水田に加え、市街地、森林等、本研究に関連すると考えられた土地被覆データも同様に整備した（図(4)-3）。これら土地の立地条件を検討するための基盤情報として、全国を対象に50mのDigital Elevation Model (DEM: 標高データ)を基盤地図情報（<https://www.gsi.go.jp/kiban/>）から、解析単位となる全国の基礎自治体のポリゴンデータを国土数値情報から入手し、同様に利用可能な形に整備した。DEMを加工し、水の溜まりやすさを表現できる地形パラメータであるFlow Accumulation（累積流量）を計算した。さらに、HBIの一部となる人工物であるグレーインフラに関するデータとして、ダム の位置情報についてポイントデータを国土数値情報から取得し、同様に再整備した。



図(4)-3 整備した土地被覆データの例。左が水田、右が森林の分布を示す。

防災・減災機能を評価する災害として、各種統計や地図データが利用可能である洪水およびこれに関連する災害に注目した。洪水被害に関するデータとして、国土交通省が実施している統計である水害統計のうち市町村を単位に被害等が記載されているものについて、研究着手時点でe-stat（<https://www.e-stat.go.jp/>）から取得できた平成18年から平成28年までの情報を全て入手し、解析に適した形式に再整備した。具体的には、市町村を単位として経済等に被害が発生した水害の回数および、市街地への浸水面積、農地への浸水面積を整理した。加えて、国土数値情報（<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）から平成18年-21年における地滑り、土砂崩れの発生状況を5kmメッシュで整備したGISデータを取得した。

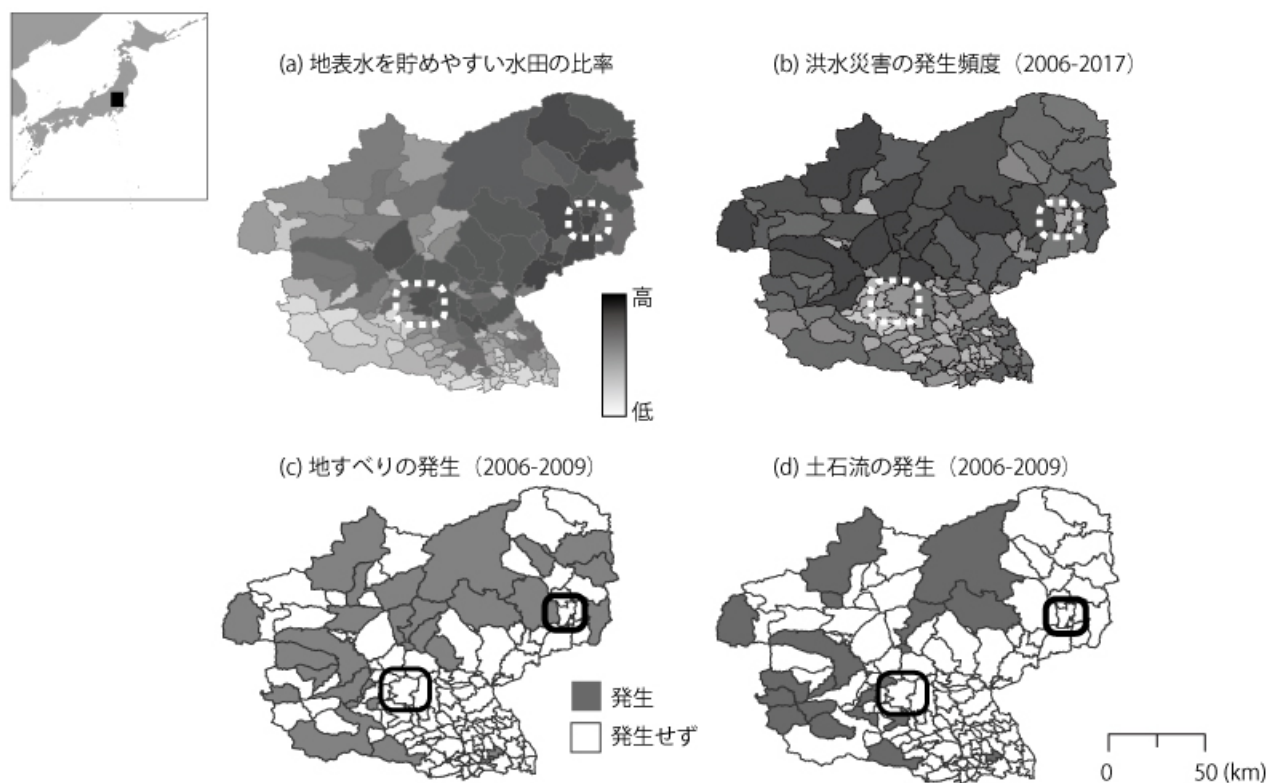
生物多様性保全機能の評価については、農研機構が作成、公開した関東地域における水田植物モニタリングデータ（https://github.com/wata909/RuLIS_monitoring）を入手し、1kmメッシュを単位とした種の時系列の分布データという解析に適した形に再整備した。さらにサブテーマ1との連携課題として、餌場として水田を利用することが知られている大型鳥類であるナベヅルの分布推定結果について提供を受けた。水資源量については、既存の手法（富樫ほか 2016）¹³⁾に従って全国的な水資源量推定結果を整備した。これにより、水田のHBIとしての機能評価を行うための基盤を揃えることができた。

水田（GI）とダム（グレーインフラ）が持つ防災機能（GI1）の評価および、発揮される条件の検討

水田を防災インフラとみなし、それが持つ防災、減災機能の評価および条件の検討を行う地域として、海に面しておらず、洪水の由来を陸水に絞ることができる埼玉県、群馬県、栃木県の内陸3県を選定し、それに含まれる基礎自治体を単位とした検討を行った。

洪水抑制機能(GI1)の検討として、入手した平成18年から平成28年の間に発生した洪水の回数（被害規模は不問）を対象とした。洪水発生回数が少ない基礎自治体は災害の抑制に貢献するGIが卓越しているという仮説を設定し、この機能を指標する環境要因の検討を行った。水害に繋がりうる増水、例えば豪雨による河川増水に伴う外水氾濫が発生した際、対象地がそれら氾濫水を貯める能力を有していれば災

害の発生を抑制できることが予想される。そこで、地形的に水が集まりやすい場所に水田が存在している地域では洪水発生が少ないこと、同時に、防災、発電等、設置目的に関わらず、水を貯留する機能を持つダムが多い基礎自治体では洪水発生が少ないという仮説を設定し、統計的モデルによって検証した。水の集まりやすさの指標は整備したFlow Accumulation（累積流量）を、ダムの個数は上流、下流等は考慮せず、基礎自治体内に含まれるダムの数をそれぞれ利用した。この結果、累積流量が高い場所に水田が立地している基礎自治体では、洪水、地滑り、土石流が発生しにくい傾向があることが示された (Osawa et al. 2020a)²⁾。他方、自治体におけるダムの個数は洪水の発生頻度に関係しないことも示された (Osawa et al. 2020a)²⁾ (図(4)-4)。

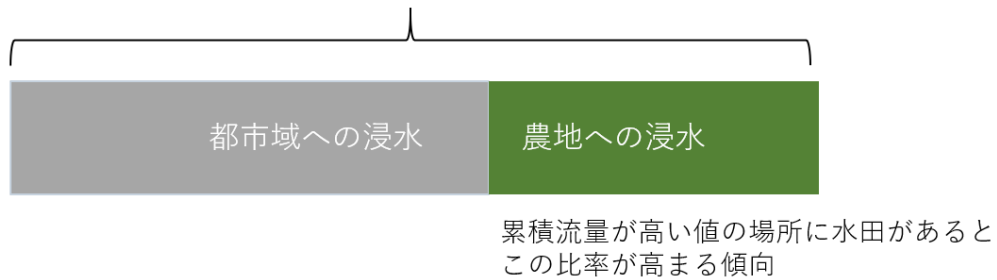


図(4)-4 洪水に関連する災害とGI1の関係。

水田 (GI) とダム (グレーインフラ) が持つ減災機能 (GI2) の評価、それが発揮される条件の検討

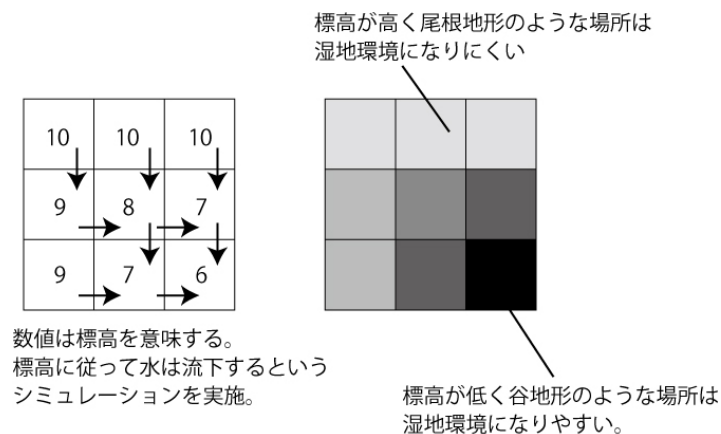
被害規模の緩和機能 (GI2) について、水害統計から平成18年から平成28年の間に発生した洪水の浸水面積の内訳 (都市部、農地の比率) を検討対象とした (図(4)-5)。水害統計には、発生した水害の規模として浸水面積の内訳が示されており、都市部への浸水が大きい洪水は経済、人的な被害が大きいことが想定される。そこで、都市への浸水面積が少ない基礎自治体は、被害規模の緩和機能 (GI2) が卓越しているという設定のもと、この機能を指標する環境要因の探索を行った。この結果、GI1と同様に累積流量が高い水田を持つ基礎自治体では、都市への浸水面積比率が低い傾向が検出された (Osawa et al. 2021)⁵⁾。なお、この被害緩和について、水田面積は影響せず、小面積の水田であっても立地条件次第で被害を緩和する機能を有する可能性が示された。さらにはダムも被害緩和には貢献しないことが示された。ダムのような防災インフラは、設置時に想定している規模を超える災害が発生した場合には無力になることは既往研究等でも言及されており、これらと矛盾しないものであると判断できた。

災害規模 (総浸水面積)



図(4)-5 災害規模を緩和するGI2の機能

以上の結果から、GI1、GI2としての機能を持つ水田の条件として、累積流量が高い凹地形に立地していることを提案する(図(4)-6)。このパラメータは地形(標高)データと土地被覆データから容易に取得できるため、HBI導入ポテンシャルの指標として利用可能であると結論づけた。グレーインフラとして想定したダム の 個 数 につ い て は 少 なく とも 今 回 の 検 討 に お い て は 防 災 機 能 ・ 減 災 機 能 と も に 有 効 性 が 認 め ら れ な っ た た め 、 ポ テ ン シ ャ ル 指 標 に は 含 め な っ た 。

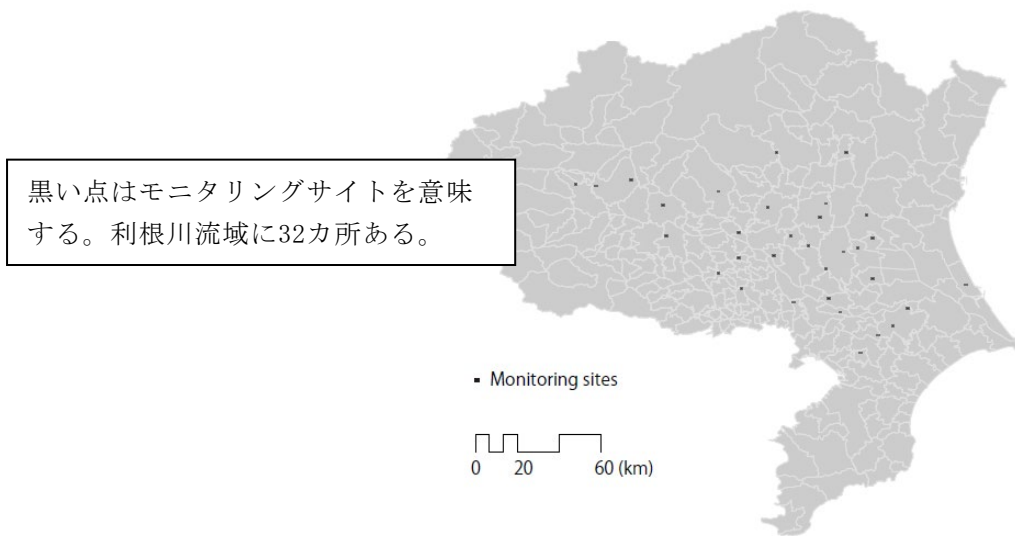


図(4)-6 累積流量の概念図

水田 (GI) が持つ生物多様性保全機能の評価、それが発揮される条件の検討

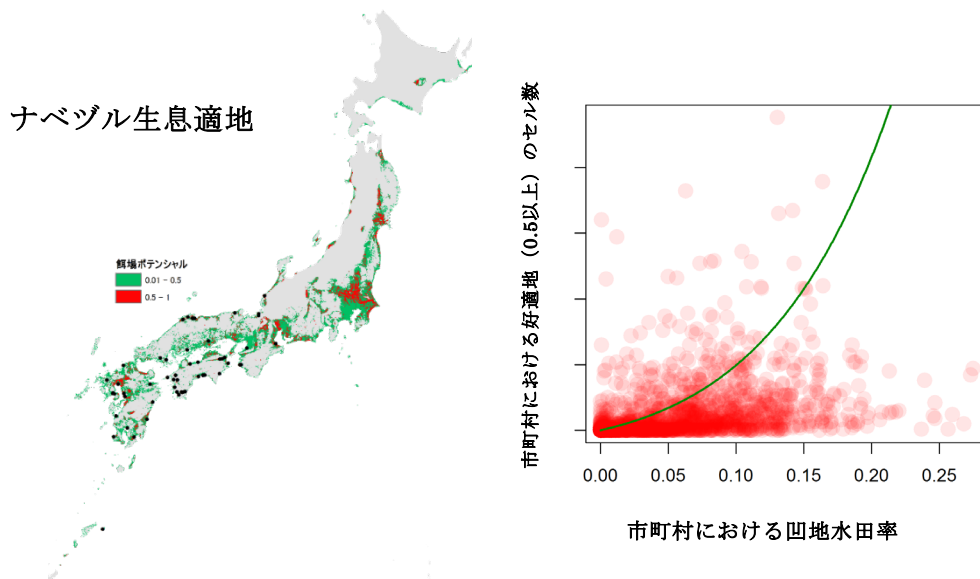
水田が持つ防災・減災機能は累積流量で指標できる可能性が示されたことを受け、累積流量が高い場所に立地する水田が持つ生物多様性の保全機能の評価した。累積流量が高い場所は、かつて氾濫原湿地であった可能性が高いと考えられ、ここに存在する水田は、長期間にわたって存続する湿地であるとみなすことができる。このような場所では、湿地性植物が安定的に生育できるハビタットが成立していると予想される。そこで、入手した3時期(2002年、2007年、2012年)の水田における植物モニタリングデータならびに日本産水生・湿生植物チェックリスト(<https://wetlands.info/tools/plantsdb/wetlandplants-checklist/>)を利用し、累積流量と湿地性植物の存続性の関係を検討した(図(4)-7)。その結果、累積流量が高い水田では、湿地性植物が時間的な入れ替わりが少ないネスト構造(Ulrich et al. 2009)⁶⁾を保持しており、湿地ハビタットとして安定した環境を提供している可能性が示された(Osawa et al. 2020b)³⁾。さらに、これら立地条件と既往研究において湿地性植物の多様性を低下させることが知られている(Osawa et al. 2016)⁷⁾ 圃場整備の関係を検討したところ、圃場整備を経験すると、湿地ハビタットとしての質が低下することも示唆された(Osawa et al. 2020)³⁾。累積流量が高い場所に立地する水田は、防災、減災に加え、湿地という世界

的に減少傾向にあるハビタットの提供を通し、生物多様性の保全にも貢献する可能性が示された。



図(4)-7 植物モニタリングが実施された場所。

湿地性植物の検討と同様に、サブテーマ1から提供を受けたナベヅルの生息適地推定結果と累積流量が高い水田を持つ市町村の関係在全国スケールで検討したところ、正の相関が検出された(図(4)-8)。このことより、累積流量が高い水田は、湿地性植物にとってのハビタットだけでなく、大型鳥類の生息地としても機能しうる可能性が示唆された。



図(4)-8 ナベヅルの潜在分布と市町村単位での累積流量が高い水田の関係。

全国的に適用できる指標及び、他の生態系サービスとの関係

累積流量が高い場所に立地する水田が防災、減災機能を有し、さらに生物多様性保全機能も高いことが明らかになったことを受け、この条件の指標として、開放水面を除いた全累積流量のうち、水田が占める比率(以降、「凹地水田率」と表記)を市町村単位で算出した。この値は防災・減災評価、生物多様性保全の評価それぞれの個別研究で用いた値と基本的に同じものである。この値はDEMおよび土地被

覆データがあればどこでも計算できるもので、日本では全て公開データから全国的に作成できる。一方で、この指標値と水資源量の関係を市町村単位で検討したところ、負の相関が検出された。すなわち、防災、減災、生物多様性保全機能という多機能を持つ水田は、少なくとも利用可能な水資源量という生態系サービスとはトレードオフの関係あるという可能性が示唆された。

(4-3) 社会体制に関する指標の検討と全国評価

自治体におけるGIの受容性評価―行政計画の内容分析

行政計画を対象とした既往文献によれば、自治体の特性に応じた計画策定状況を分析した研究として、地方自治体を対象としたアンケート調査により、生物多様性地域戦略の策定と課題を明らかにした研究（千葉ほか¹⁰⁾）が挙げられる。同論文では、小規模自治体ほど生物多様性地域戦略の計画策定が遅れており、策定における予算折衷、合意形成が困難であることが要因にあると指摘されている。また、計画内容の変遷を分析した研究としては、生物多様性国家戦略の定量分析を行った研究（秋山ほか¹¹⁾）が挙げられ、戦略の中心的話題が「野生動物」から「自然環境」、「人間社会」へと変遷し、近年では「生態系サービス」への言及頻度が高まっていることが明らかにされている。このように、単一の計画・戦略を対象として施策の進捗や変遷を把握した研究は多数存在する。しかし、複数種類の行政計画を横断的に分析しつつ、農地の多面的機能発揮にあたっての施策の推進状況や自治体特性との関係性を明らかにした研究は存在しない。

そこで、舩田¹²⁾を参考に、対象とする複数種類の行政計画に内容分析を適用し、生態系の保全・活用、土地利用、防災、農地（農業）の観点から、8種類の計画を分析対象とし、農地が防災機能、自然環境保全機能、文化的サービス、供給サービスを発揮するものとしてどのように位置づけられているか、また農地の多面的機能に関する記載数と自治体の属性との関係について分析した。

本研究の分析の結果、計画および自治体によって記述の有無、濃淡に差異が見受けられた。まず、多面的機能に関しては、文化サービスに関する言及が最も多く、次いで自然環境保全に関する言及が多い。一方で、防災に関する言及も一定程度確認された。ただし、非常時の機能について言及のある計画は少なかった。計画の種類別に見ると、策定数が多い緑の基本計画、環境基本計画、都市マスタープランでは、記載数も多い。一方、記載率については、都市農業振興基本計画における記載率が最も高く、非常時の防災に関する記載率も高かった。都市マスタープランでは、非常時の防災機能、Eco-DRRに関する多くの言及が見られた。リスク評価については都市マスタープランと国土強靱化計画、暴露の回避については都市マスタープラン、国土利用計画、国土強靱化計画において記載が多く見受けられた。

さらに、各自治体の農地の多面的機能に関する記載数を目的変数、各自治体の属性値（自治体規模、行財政、農業規模、洪水頻度に掛かる指数）を説明変数とした回帰分析によると、総人口・財政力指数・農業経営体数が多い自治体で農地のGI記載が多く、耕作放棄地率が高い自治体で農地のGI記載が少ないという傾向が確認された。

策定率が低い計画としては、生物多様性地域戦略(58)、国土利用計画(34)、国土強靱化計画(31)、都市農業振興基本計画(18)、農業振興計画(102)が挙げられる(括弧内はそれぞれ分析対象とした計画数)。計画を策定していない自治体においてこれらの計画策定を促進するとともに、各計画にGI・Eco-DRRの要素を盛り込むことで、当該地域で行政がGI(HBI)を推進する際の拠り所となり、各地域の防災力を高めることが期待される。一方、策定率が高い緑の基本計画(241)、環境基本計画(245)、都市マスタープラン(249)などでは、それぞれ記載率が低い要素を組み込むことで、当該地域におけるGI(HBI)による、防災を含む多面的な機能の発揮が期待される。なお、これらの計画は定期的に見直しが行われることから、各行政計画の見直し時期を念頭に、GIに関して理解が進んでいる自治体については計画の理念/ビジョン等にGI概念を組み込むこと、GIに関してまだ理解が進んでいない自治体については、GIに関する理解の促進を働きかけることが有効と考えられる。

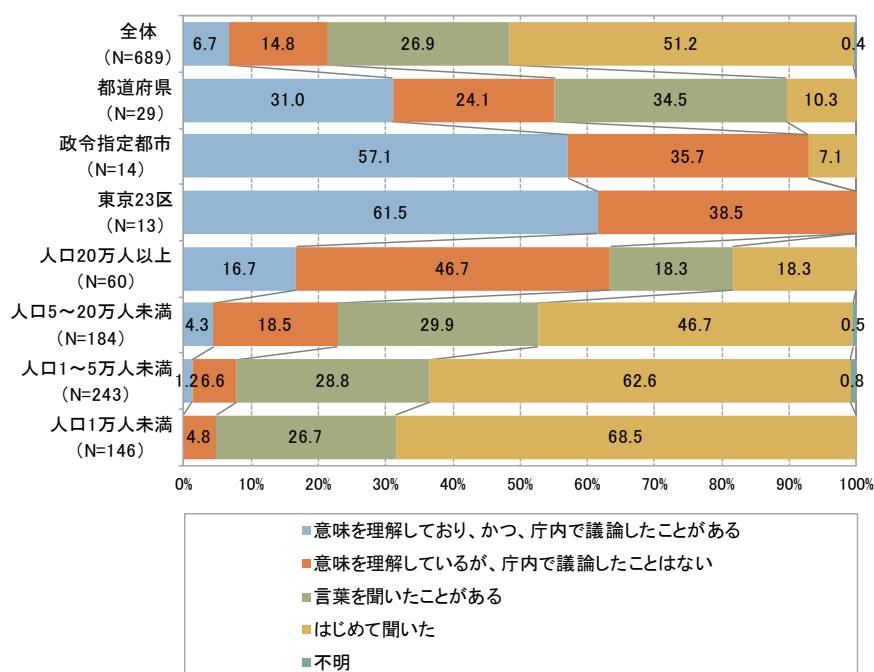
自治体におけるGIの受容性評価__自治体アンケート調査

全国の都道府県、市区町村を対象として、以下の通りアンケートを実施した（表(4)-1）。

表(4)-1 自治体アンケート実施概要

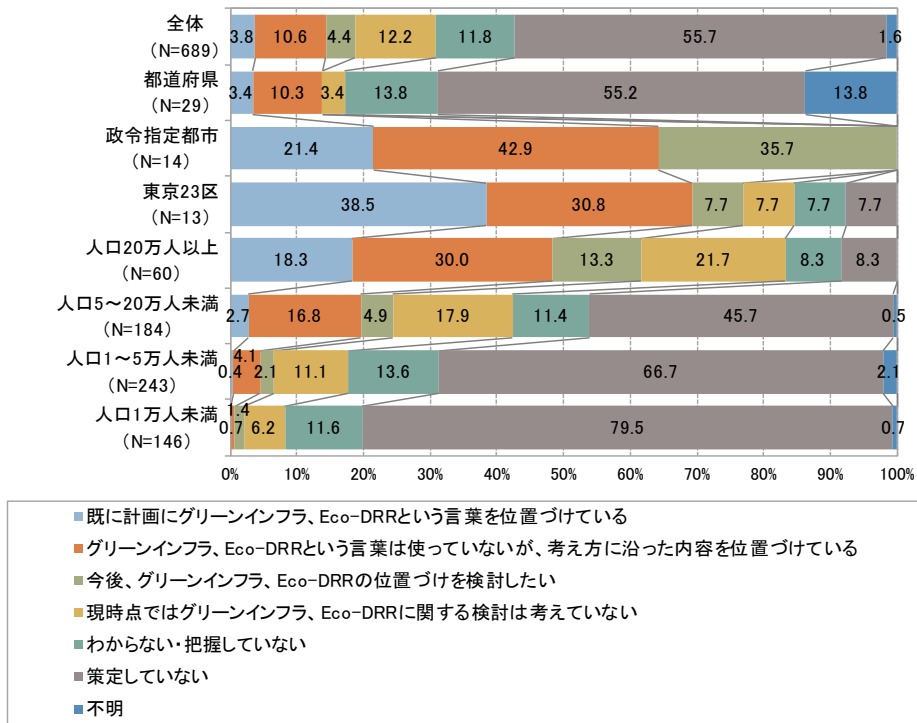
調査対象	全国の都道府県、市区町村における環境行政担当者
調査期間	令和2年9月12日～10月2日
調査方法	各自治体宛に依頼状を郵送し、WEBアンケートまたはExcelファイルへの回答を依頼（下記の2パターンのいずれかによる）： <ul style="list-style-type: none"> ・ WEB アンケート調査票への URL からの回答 ・ 弊社ホームページのアンケート特設サイトから調査票の Excel フォームをダウンロードして回答
配布・回収数	配布1,788、回収686（回収率：38.4%）

回答結果を踏まえ、GI・Eco-DRRの認知状況（意味を理解している、言葉を聞いたことがある）についてみると、回答自治体全体では48.4%が認知していた。このうち、政令指定都市では92.8%、東京23区では100%、人口20万人以上の自治体では81.7%、人口5万人以上の自治体では52.8%で、GI・Eco-DRRを認知しており、人口規模の大きい自治体ほど行政担当者による認知度が高いことが確認された（図(4)-9）。



図(4)-9 GI/Eco-DRRを認知しているか

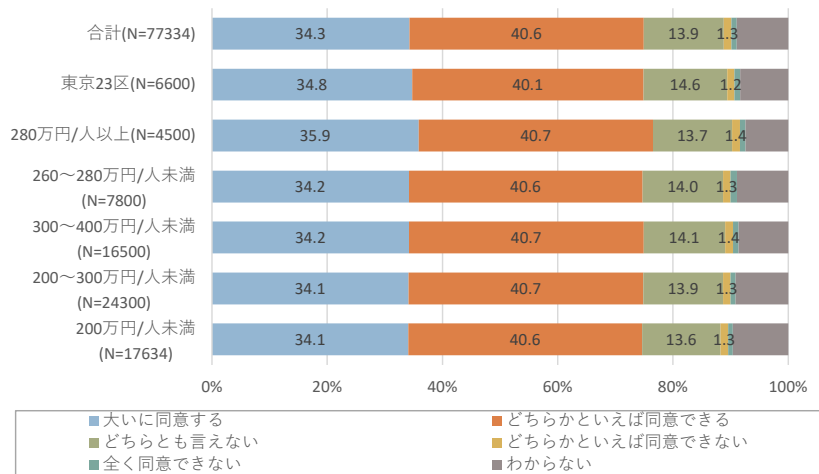
GI・Eco-DRRを緑の基本計画に位置付けているかどうかについてみると、GIを位置付けている自治体は、全体の14%程度にとどまった。このうち、政令指定都市で64.4%、東京23区で69.3%、人口20万人以上の都市では49.1%で位置づけがなされている一方、人口規模が小さい自治体ではGI・Eco-DRRを位置付けている自治体が少ないことが確認された（図(4)-10）。



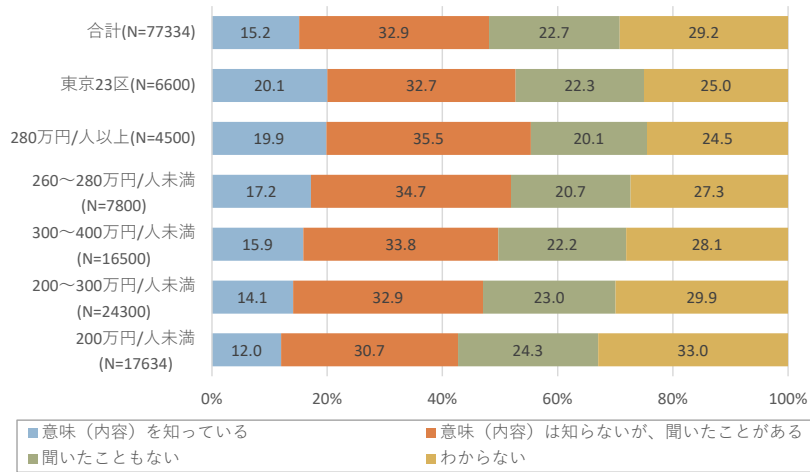
図(4)-10 緑の基本計画にGI/Eco-DRRを位置づけているか

WEBアンケート調査による市民意識の把握

WEBアンケートにより得られた自然が持つ多様な機能の活用への意向について、人口あたり課税所得別に集計したところ、人口あたり課税所得の多寡による意向の違いはほぼ見られなかったものの、生物多様性に関する認知度についてみると、人口あたり課税所得が多い自治体ほど高いという傾向がみられた(図(4)-11、図(4)-12)。市民による理解という観点に立てば、人口あたり課税所得が高い自治体では、同指標値が低い自治体と比較して、HBIの導入がしやすいものと捉えられる。

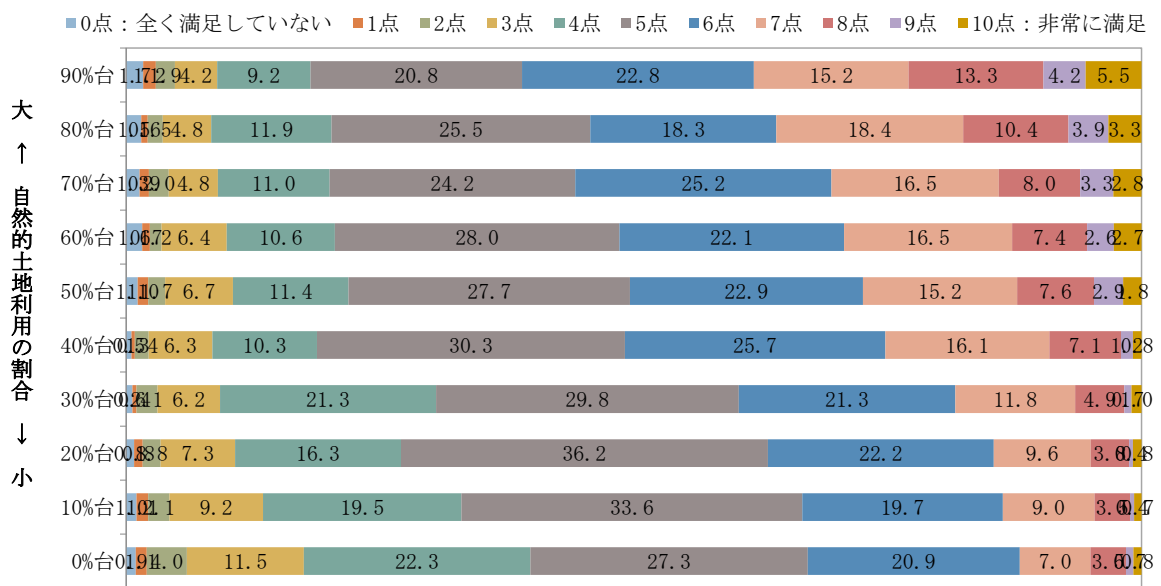


図(4)-11 自然が持つ多様な機能の活用を大切と思うかどうか



図(4)-12 生物多様性に関する認知度

また、WEBアンケート回答結果のうち、居住地の基準地域メッシュコードを回答したサンプル（有効分：7,597サンプル）について、回答結果と居住地の土地利用を組み合わせた集計結果によると、自然的土地利用が少ない地域では自然の豊かさへの満足度が低いことが確認された（図(4)-13）。因果関係までは言及できないが、自然的土地利用が少ない都市部などでも、自然的土地利用を活かすGIを導入することで、自然の豊かさへの満足度が高くなる可能性がある。

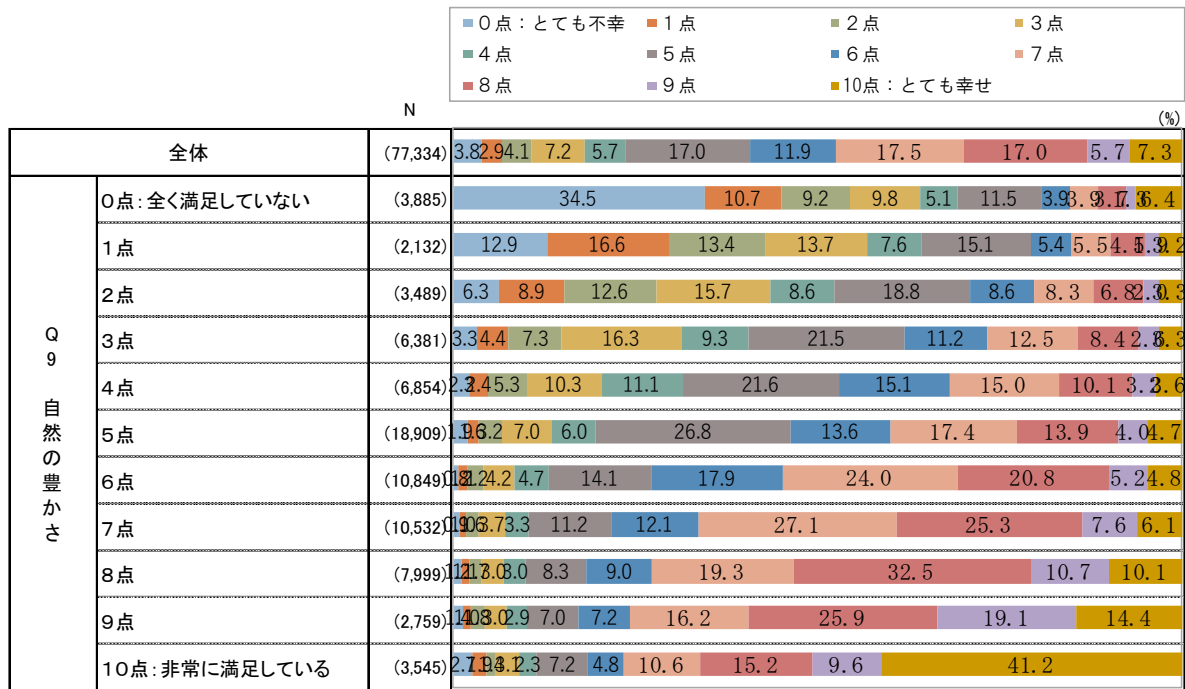


(注釈) 居住地の基準地域メッシュが特定されたサンプルによる。

自然的土地利用は、国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター「日本全国標準土地利用メッシュデータ」（1998年度）による。

図(4)-13 自然的土地利用割合と自然の豊かさへの満足度との関係

さらに、自然的土地利用の多寡と自然の豊かさへの満足度の間に関係があることを踏まえ、「自然の豊かさへの満足度」と「幸福度」との関係を確認した所、自然の豊かさへの満足度が高いほど幸福度が高いことが確認された（図(4)-14）。この結果より、「自然の豊かさへの満足度を高めると幸福度が高くなる」という因果関係までは言及できないものの、GI導入による自然の豊かさへの満足度向上によって、幸福度が高くなる可能性があるものと捉えられる。



図(4)-14 自然の豊かさへの満足度と幸福度との関係

企業アンケート調査の実施

企業アンケート結果より、緑化、雨水浸透への取組について、実施済、関心ありと回答した所有・管理用地について、緑化・雨水浸透の実施・関心状況を整理した（回答数：454、対象となる所有・管理用地箇所数：764箇所）。

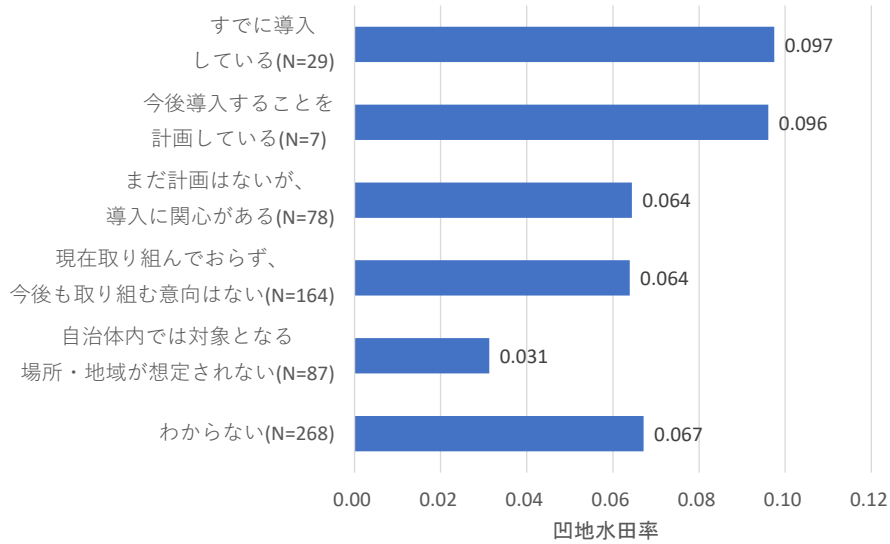
この結果によると、緑化は、雨水浸透に比べ、多くの所有・管理用地で取組が進んでいることが把握された。また、緑化・雨水浸透それぞれの実施状況、関心の程度について、都市部と地方部での違いを確認するため、各所有・管理用地の所在自治体の人口規模との関係を見たところ、これらの傾向の違いは認められなかった。企業においては、所有・管理用地が所在する自治体の人口規模等によらず、緑化・雨水浸透に対して一定の取り組みが進められているとともに、関心もあると捉えられる。このうち、特に「関心あり」の割合が高い雨水浸透については、導入にあたっての方法の提示、インセンティブの付与などにより取り組みが進み、地域の防災力向上に寄与することが期待される。

(4-5) 統合評価の実施

HBI指標と農地GIの事業の関係

本研究において、HBIの環境基盤の指標として自治体の凹地水田率、また社会体制の指標としては、行政のGIの認知度や行政計画におけるGIの位置付け、市民の意識関心が自治体間で異なることが示されており、これらのHBIに関する指標と地域のGI事業の実施状況の間に一定の関係性が示された。

行政アンケートで得られた農地GIの取組状況ごとに凹地水田率を整理すると、農地GIの取組がすでに導入している、または導入の計画がある自治体では、凹地水田率が大きいことが確認された(図(4)-15)。つまり、HBIの機能が発揮されやすい自治体では、GIに関連する事業が進められやすい可能性がある。

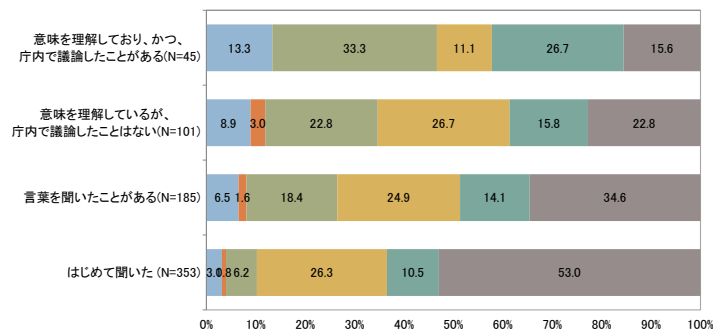


図(4)-15 凹地水田率と農地GIの事業の実施状況

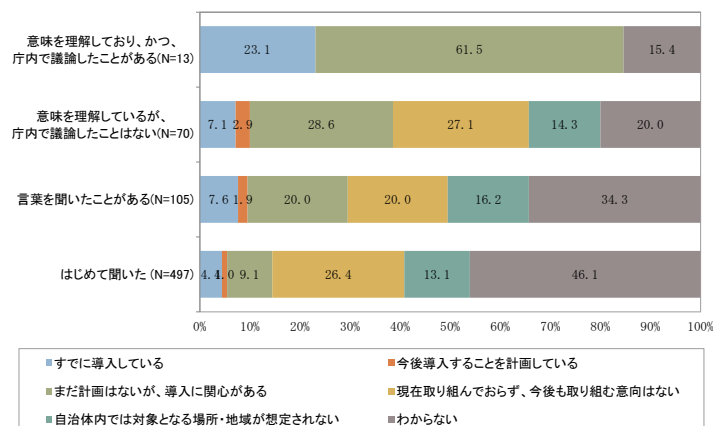
一方、社会体制に関する指標として、行政担当者のGIやEco-DRRに対する認知度と、自治体における農地のGI事業の実施状況の関係をみると、GIやEco-DRRの認知度が高い自治体ほど、農地GIの取組が行われているという傾向が確認された(図(4)-16, 17)。さらに、自治体の行政計画(総合計画)の策定状況やGIの位置付けと、農地のGI事業の実施状況の関係においても、自治体の関連の総合計画の策定がされ、GIに関する位置付けある自治体において、農地のGI事業が実施される割合が大きいことが示された(図(4)-17, 18)。

これらの結果から、農地のHBIの導入ポテンシャルとして、環境基盤としては自治体の凹地水田率、また社会体制としては自治体のGIの意識や行政計画の位置付けが重要であることが示唆された。

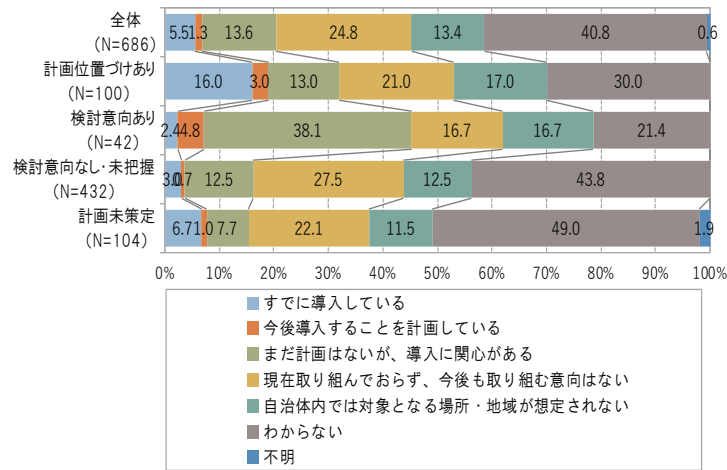
【GI認知度と農地GI事業】



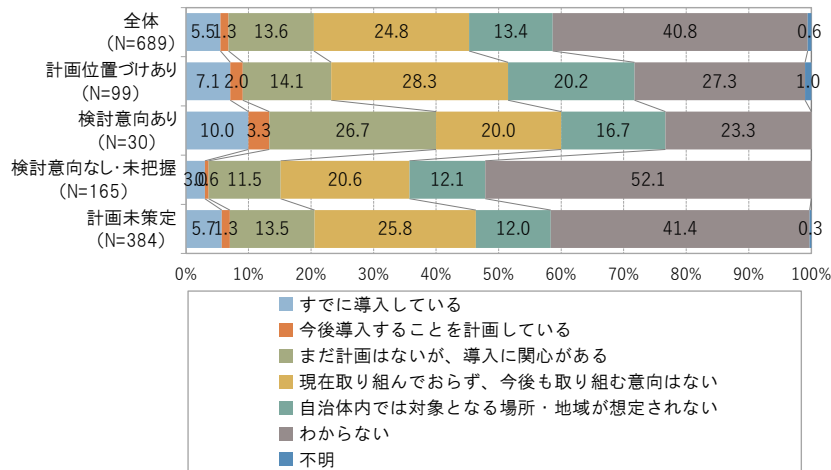
【Eco-DRR認知度と農地GI事業】



図(4)-16 GIとEco-DRRに関する認知度と農地のGI事業の関係



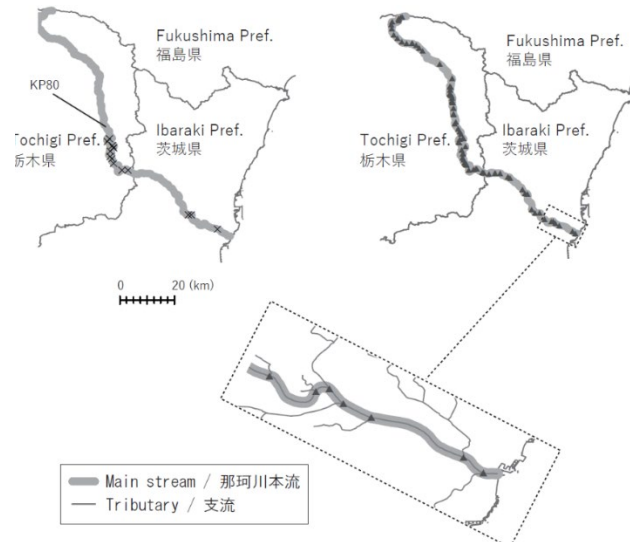
図(4)-17 総合計画へのGIの位置付けと農地GI事業の実施状況の関係



図(4)-18 緑の基本計画へのGIの位置付けと農地GI事業の実施状況の関係

地域の農地GI導入に向けた実現可能性の検討

環境基盤に関する研究を通し、累積流量が高い場所に立地する水田は防災・減災機能、さらには地域の生物多様性に貢献できることが示唆された。これら結果を受け、実際に水田をHBI、特に防災インフラとして活用する適地の検討を、1地域における詳細な洪水災害データを利用して実施した。具体的には、令和元年東日本台風で大きな被害を受けた那珂川を対象に、1)実際に溢水、越水が多数発生しており、2)一定面積の水田が存在している場所が存在していることを検証した。なお、河川の周辺は原理的に累積流量が高くなるため(原田ほか 2020⁸⁾; Osawa et al. 2010⁹⁾)、河川周辺に存在する水田は、基本的に全て本研究で示されたHBIとしての前提条件を満たしていると考えられる。検討の結果、河川合流の周辺1kmは台風時に越水、溢水の発生確率が高く、かつ一定面積の水田が存在していることが明らかになった(図(4)-19)。このことから、河川合流の周辺1kmに存在する水田は、本来の機能である食料生産に加え、防災、減災、生物多様性の保全機能が提供できるGIとして位置付けることが可能であると考えられた。

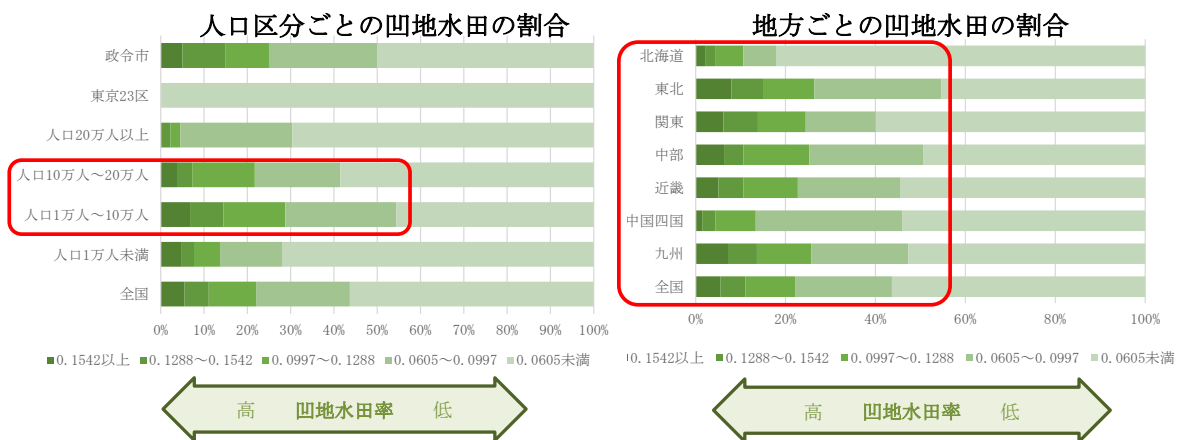


図(4)-19 那珂川における溢水、越水の発生地点、合流点の位置

全国スケールのHBI導入ポテンシャルの評価

全国スケールでの評価は、環境基盤と社会体制のHBI指標の評価結果からそれぞれ代表指標を設定し、これらを用いることで、自治体のHBIの導入ポテンシャルの評価をおこなった。環境基盤に関しては、本研究から基礎自治体の凹地水田率が、防災減災、または生物多様性保全に重要であることが示唆されたため、これを代表指標として全国の自治体のHBIの導入ポテンシャルの評価をおこなった。また、社会体制の指標としては、本研究において自治体間の違いが明らかとなった自治体のGIの認知や行政計画の位置付け、市民のGIの認知度に注目し、これらの指標と全国の自治体で利用可能な各種統計データの関係性を分析し、これらに適合する代表指標を検討した。その結果、社会体制の代表指標としては、人口、財政力指数、課税対象所得を取り上げ、それぞれの指標との関係性を分析したが、基礎自治体の課税対象所得が、最も社会体制のHBI指標と関係があることが統計的に分析された。このため、社会体制に関するHBI導入ポテンシャルの評価については、自治体の課税対象所得を用いて行うこととした。

本研究から、農地HBIの導入ポテンシャルを環境基盤から評価すると、凹地水田率が高い自治体は、人口規模別に見ると、政令指定都市または人口1から20万人の規模において比較的多く、また、地方ごとには大きな偏りがないことから、一定規模の人口のある自治体で幅広く導入されやすいことが示唆された(図(4)-20)。

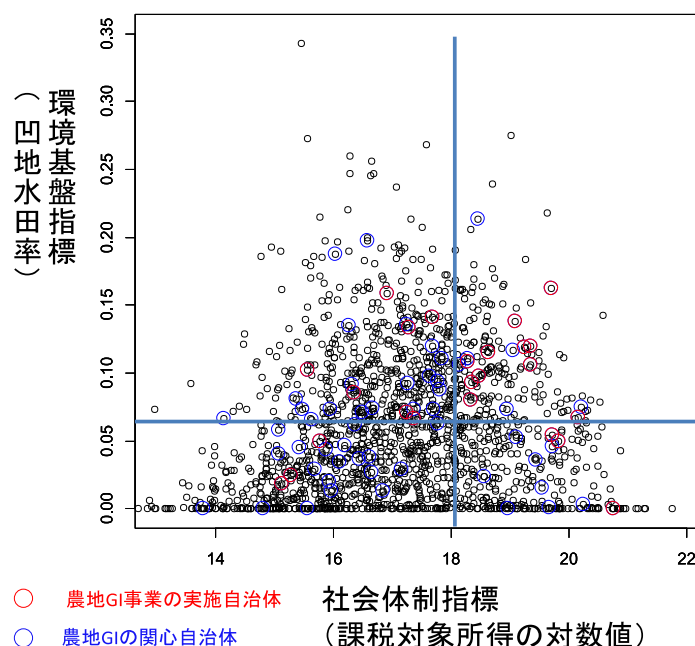


図(4)-20 凹地水田の全国的な傾向

また、社会体制から評価すると、地域住民の課税対象所得の高さがHBI指標と関係性があるため、自治体の財務基盤の高さがHBIの導入ポテンシャルに影響を与えている可能性が考えられる。これらの代表指標に関して、自治体のアンケート調査で得られた農地GIの実施状況の結果と比較すると、既に農地GIを実施している、または興味を持っている自治体において、全国の自治体の平均と比べ、凹地水田率が高く、課税対象所得も高いことが示された。従って、本研究において、代表指標とした自治体の凹地水田率の割合と課税対象所得が農地HBIの導入ポテンシャルを捉える上で重要な指標である可能性が示唆された。さらに、これらの代表指標から全国的なHBIの導入ポテンシャルを検討すると、凹地水田率が高い自治体（7%以上）は626あり、また課税対象所得の高い自治体（110,000千円以上）は365であり、両者の合致する自治体も111存在する。つまり、本研究のアンケートにおいて、農地GIの事業を実施している自治体は24しか確認できていないが、本研究のHBI導入ポテンシャルの評価結果からは、HBIに関する事業は極めて幅広い自治体に展開する余地があること示している（図(4)-21, 22）。

代表指標	全国の自治体平均	実施自治体(24)平均	実施+ 関心自治体(77)平均
凹地水田率 (%)	0.059±0.052	0.09±0.043	0.073±0.049
課税対象所得 (千円)	90,812±189	182,610±237	114,004±180

図(4)-21 自治体の凹地水田率と課税対象所得と農地GI事業の関係



図(4)-22 自治体の凹地水田率と課税対象所得と農地GI事業の関係図

5. 研究目標の達成状況

全国スケールにおける農地のハイブリッドインフラ（HBI）を評価する指標の構築、及び全国スケールでのHBIの導入ポテンシャルの評価を実施できており、本サブテーマの研究目標は達成した。

自然環境の特徴を捉える環境基盤の指標としては、土地利用情報と過去の災害履歴をもとに防災機能の高い水田の条件を明らかにし、基礎自治体における凹地型の水田の面積比率（凹地水田率）が農地における防災・減災機能を捉えるHBIの指標となることが明らかになった。さらに、凹地水田と湿地性の希

少植物や大型鳥類の生息環境との関係が検出され、凹地型の水田が生物多様性保全にも貢献することが示された。このため、凹地水田率は、農地の多様な機能を捉えることが可能であり、全国スケールにおけるHBIの重要な指標として設定することができた。社会制度に関しては、行政計画の内容分析、及び自治体、市民、企業に対するアンケートなどを通して、自治体間においてGIに関する行政計画の位置付け、市民の意識活動等が自治体間で大きく異なることが明らかにされた。その結果、現在の自治体のHBIの導入状況を概観することができたとともに、自治体のGIの受容性に違いある可能性が示された。さらに、これらの自治体のGIの受容性の違いは、自治体の課税対象所得と関係することが示され、自治体の財政力の高さがGIの受け入れやすさと関わりがあると考察された。さらに、基礎自治体の凹地水田率や行政計画のGIの位置付け等のHBI指標と自治体アンケートにより把握した農地におけるGI事業の実施状況の関係をみると、両者には一定の関係性を確認することができた。

従って、本研究により、農地のHBIの導入ポテンシャルに関して、自然の機能の発揮しやすさである環境基盤と、GIの受け入れやすさである社会体制のそれぞれに関して、全国スケールで捉えられる代表指標を設定することができた。これらの代表指標と既存の農地GI事業の実施状況を踏まえると、農地GI事業を展開している自治体の代表指標から、農地GI事業が展開されやすい自治体は一定数存在することが示され、農地におけるHBIを適用できる範囲を全国スケールで把握することができた。また、これらの代表指標から、自治体における農地HBIの導入においては、地域の多面的機能が発揮しやすい空間の存在と、自治体の規模や財政力が影響を与える可能性が示されており、マクロスケールから自治体におけるHBIの推進に重要となる要件を把握することができた。このように、地域のHBIやGIの導入可能性に関して、自治体の行政計画などの社会体制の視点も含めて、全国スケールで議論した例はほとんどなく、本研究は広域スケールからHBIの導入可能性を明らかにした点で、極めて新規性が高い。また、本研究の成果に関しては、途中経過を含めてGIを推進する関係省庁や自治体に適宜共有しながら実施している。この中で、一部の行政機関においては本研究の成果がGIに関連する計画、施策の検討に用いられており、HBIの社会実装に向けた貢献も果たしている。

6. 引用文献

- 1) A. Onuma and T. Tsuge: *Int. J. Disaster Risk Reduct*, vol.32, 22-28 (2018) Comparing green infrastructure as ecosystem-based disaster risk reduction with gray infrastructure in terms of costs and benefits under uncertainty: A theoretical approach.
- 2) T. Osawa T, Nishida T, Oka: *Ecological Indicators* 144.106306 (2020) High tolerance land use against flood disasters: How paddy fields as previously natural wetland inhibit the occurrence of floods.
- 3) T. Osawa, T. Nishida, T. Oka: *Scientific Reports* 10.14806 (2020) Paddy fields located in water storage zones could take over the wetland plant community.
- 4) T. Osawa, Y. Ueno, T. Nishida, J. Nishihiro: *Nature Conservation* 38. 61-77 (2020) Do both habitat and species diversity provide cultural ecosystem services? A trial using geo-tagged photos.
- 5) T. Osawa, T. Nishida, and T. Oka. *Int. J. Disaster Risk Reduct*, Vol.62, (2021) Potential of mitigating floodwater damage to residential areas using paddy fields in water storage zones.
- 6) T. W. Ulrich, M. Almeida-Neto, N.J.. Gotelli: *Oikos*, vol. 118, 3-17 (2009) A consumer's guide to nestedness analysis.
- 7) T. Osawa T, L. Kohyama, H. Mitsuhashi H: *Land Use Policy* 54: 78-84. (2016) Trade-off relationship between modern agriculture and biodiversity: Heavy consolidation work has a long-term negative impact on plant species diversity.
- 8) 原田 守啓, 永山 滋也, 河口 洋一, 萱場 祐一 (2020) 中小河川の河道内氾濫原と河川合流部の

重要性. 応用生態工学, 23: 109-115.

- 9) T. Osawa, H. Mitsuhashi, H. Niwa, A. Ushumaru (2010) High diversity at network nodes: river confluences enhance vegetation diversity. *The Open Ecology Journal*, 3:48-58.
- 10) 千葉 知世, 西田 貴明, 清谷 康平, 阿部 剛志, 永井 克治 (2012), 生物多様性地域戦略策定の現状と課題: 地方自治体を対象とした意識調査の結果から, *保全生態学研究*, 17(1), 37-47.
- 11) 秋山 辰穂, 水島 希, 標葉 隆馬 (2018) 生物多様性国家戦略の定量分析: 内容の変遷と施策の偏り, *保全生態学研究*, 23: 187-198.
- 12) 舛田 陽介 (2017) 米国湿地ミティゲーション政策の時系列分析, *環境アセスメント学会誌*, 15 巻 2号 47-59.
- 13) 富樫 聡, 井川 尚之, 山本 晃, 高橋 努, 妹尾 嘉之, 澤野 真治 (2016) 水資源行政の支援を目的とする森林水文特性等に着目した広域水収支解析手法の開発. *水文・水資源学会2016年度研究発表会*

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) Y. IMAI, N. SHIGEHARA, S. SHIBATA, Y. MUTO, M. KAMADA: Proceedings of the 38th IAHR World Congress 2019 (2019) Spatial pattern of plant communities in relation to hydraulic conditions at wetland emerged at abandoned paddy fields.
- 2) Y. MUTO, N. YOSHIOKA, M. MIYOSHI, M. KAMADA AND T. TAMURA: Proceedings of the 38th IAHR World Congress 2019 (2019) Retarding Capacity Estimation of Wetland Paddy Fields under Climate Change and Land Use Change.
- 3) 今井洋太・三橋弘宗・鎌田磨人・武藤裕則. 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.76, No.2, I_793-I_798 (2020) 普通河川周辺の耕作放棄水田が有する洪水一時貯留機能に関する基礎的検討.
- 4) 朝波史香・伊東啓太郎・鎌田磨人. 景観生態学: 25(1) 53-68. (2020) 福岡県福津市の地域自治政策と海岸マツ林の自治管理活動の相互補完性.
- 5) 横川 涼・武藤裕則・鎌田磨人・田村隆雄. 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.76, No.2, I_463~I_468 (2020) 内水氾濫解析を用いたグリーンインフラの有する洪水調節機能に関する検討.
- 6) 渡辺 公次郎, 石田 和之. 災害復興研究: Vol.12, 1-17 (2021) 徳島県における農地の変化と洪水リスクへの影響に関する研究.

【サブテーマ2】

- 1) M. HANIOKA, Y. YAMAURA, M. SENZAKI, S. YAMANAKA, K. KAWAMURA and F. NAKAMURA: J. Agric. Ecosyst. Environ. (265)217-225 (2018) Assessing the landscape-dependent restoration potential of abandoned farmland using a hierarchical model of bird communities.
- 2) N. ISHIYAMA, K. MIURA, S. YAMANAKA, J.N. NEGISHI and F. NAKAMURA: J. Appl Ecol 57.3 (2019) Contribution of small isolated habitats in creating refuges from biological invasions along a geomorphological gradient of floodplain waterbodies.
- 3) F. NAKAMURA, N. ISHIYAMA, S. YAMANAKA, M. HIGA, T. AKASAKA, Y. KOBAYASHI, S. ONO, N. FUKE, M. KITAZAWA, J. MORIMOTO and Y. SHOJI: River Res Appl. 1.13 (2019) Adaptation to climate change and conservation of biodiversity using green infrastructure.
- 4) S. YAMANAKA, N. ISHIYAMA, M. SENZAKI, J. MORIMOTO, M. KITAZAWA, N. FUKE and F. NAKAMURA: Ecol. Eng. 142 (2020) Role of flood-control basins as summer habitat for wetland species- A multiple-taxon approach.
- 5) Y. KOBAYASHI, M. HIGA, K. HIGASHIYAMA and F. NAKAMURA. PLOS ONE 15.7. (2020) Drivers of land-use changes in societies with decreasing populations: A comparison of the factors affecting farmland abandonment in a food production area in Japan.
- 6) F. NAKAMURA, Y. WATANABE, J. NEGISHI, T. AKASAKA, Y. YABUHARA, A. TERUI, S. YAMANAKA, and M. KONNO. Ecol. Eng. 157,105974 (2020) Restoration of the shifting mosaic of floodplain forests under a flow regime altered by a dam.
- 7) N. MOTOSUGI, F. NAKAMURA, S. NAKAJIMA, C. TAKAHATA, K. KAWAMURA and J. MORIMOTO. Landsc. Ecol. Eng. 1-12. (2021). Factors determining vegetation recovery after abandonment of coal-mining villages.
- 8) H. KIM, Y. SHOJI, T. TSUGE, T. KUBO and F. NAKAMURA: People and Nature (2021) Further understanding preferences on nature evaluated by a discrete choice experiment: From a perspective of relational values.

【サブテーマ3】

- 1) A. ONUMA and T. TSUGE: Int. J. Disaster Risk Reduct, vol.32, 22-28 (2018) Comparing green infrastructure as ecosystem-based disaster risk reduction with gray infrastructure in terms of costs and benefits under uncertainty: A theoretical approach.
- 2) 大沼あゆみ: 環境経済・政策研究, Vol. 11, No. 2, 61-64 (2018) 生態系インフラによる防災・減災 (Eco-DRR) をどのように拡大していくべきか? 第五次環境基本計画に示されたGI: その経済的特徴と持続可能社会形成における意義
- 3) 河田幸視、柘植隆宏、大沼あゆみ: 環境経済・政策研究 Vol.12, No. 2, 36-40 (2019) , マングローブ林の防災機能と海ごみ—西表島における海洋プラスチック問題を中心に—
- 4) OMORI Y: Sustainability, 13(16), 8927(2021) Preference Heterogeneity of Coastal Gray, Green, and Hybrid Infrastructure against Sea-Level Rise: A Choice Experiment Application in Japan. <https://doi.org/10.3390/su13168927>

【サブテーマ4】

- 1) 上野裕介・前田有香・長谷川啓一・南崎慎輔・福島晶子・金子光広: 土木学会論文集 G (環境) 47 II_169-II_176 (2019) 人口減少時代の都市緑地のグリーンインフラとしての活用方策 - 茨城県守谷市における大規模住民アンケートの結果から -
- 2) T. OSAWA, T. NISHIDA, T. OKA: Scientific Reports 10.14806 (2020) Paddy fields located in water storage zones could take over the wetland plant community.
- 3) T. OSAWA, Y. UENO, T. NISHIDA, J. NISHIHIRO: Nature Conservation 38. 61-77 (2020) Do both habitat and species diversity provide cultural ecosystem services? A trial using geo-tagged photos.
- 4) T. OSAWA, T. NISHIDA T, OKA: Ecological Indicators 144.106306 (2020) High tolerance land use against flood disasters: How paddy fields as previously natural wetland inhibit the occurrence of floods.
- 5) 上野裕介・長谷川啓一: ランドスケープ研究 83(5) 591-596 (2020) 緑地の多面的機能に対する住民の支払い意思額に個人属性の違いが及ぼす影響
- 6) T. OSAWA, T. NISHIDA, and T. OKA. Int. J. Disaster Risk Red. (2021) Potential of mitigating floodwater damage to residential areas using paddy fields in water storage zones.
- 7) 上野裕介・安藤耕介・長谷川啓一: ランドスケープ研究 84(5) 565-570 (2021) 市民アンケートからみた親の自然体験の消失が子や孫の自然体験率に及ぼす影響
- 8) 大澤剛士・瀧健太郎・三橋弘宗 保全生態学研究(掲載決定) 河川合流の特性を活かした防災・減災 (Eco-DRR) の可能性: 那珂川周辺に存在する水田の利活用アイディア.

<査読付論文に準ずる成果発表>

【サブテーマ1】

- 1) 朝波史香、鎌田磨人: 『生態系減災 Eco-DRR, 自然を賢く活かした防災・減災』一ノ瀬友博(編), 慶應義塾大学出版会 151-177. (2020) 「防災インフラとしての海岸マツ林の自治管理」
- 2) 鎌田磨人、朝波史香: グリーンインフラ研究会・三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション(編) 『実践版! グリーンインフラ』日経 BP 社 478-485 (2020) 「住民による海岸マツ林の保全管理と地域自治」
- 3) 武藤裕則、今井洋太、鎌田磨人: グリーンインフラ研究会・三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション(編) 『実践版! グリーンインフラ』日経 BP 社 308-317 (2020) 「水田の生態系サービスと流域治水」

- 4) T. TAMURA : Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Improvement of the flood-reduction function of forests based on their interception evaporation and surface storage capacities”
- 5) Y. MUTO and R. YOKOKAWA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Wetland Paddy Fields as Green Infrastructure against Flood”
- 6) Y. IMAI, Y. MUTO, and M. KAMADA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Change in Floodwater Retention Function of a Paddy Field due to Cultivation Abandonment in a Depopulating Rural Region in Japan ”
- 7) K. WATANABE and K. ISHIDA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Land Use Planning as a Green Infrastructure in a Rural Japanese Depopulated Town”
- 8) R. YAMANAKA and K. NAKAGAWA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Effectiveness and Sustainability of Coastal Hybrid Infrastructures for Low-Frequency Large-Scale Disasters - A Case Study of Coastal Disaster Assessment for a Complex Disaster”
- 9) F. ASANAMI and M. KAMADA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Social System in Collaborative Activities for Conserving Coastal Pine Forest in Karatsu City, Kyusyu, Japan”
- 10) M. KAMADA, J. NISHIHIRO, and F. NAKAMURA, F.: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Governance for realizing multifunctional floodplain; flood control, agriculture, and biodiversity in Yolo Bypass Wildlife Area, California, USA”

【サブテーマ 2】

- 1) 中村太士：『生態系減災 Eco-DRR 自然を賢く活かした防災・減災』一ノ瀬友博（編），慶應義塾大学出版会 65-88（2020）「過去の知恵とハイブリッドインフラという考え方」
- 2) 中村太士：全体編集．グリーンインフラ研究会・三菱UFJリサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション（編）『実践版！グリーンインフラ』日経BP社 12, 16-24, 25-38, 183-193, 489-505.（2020）「はじめに」「1-1グリーンインフラとは」「1-2未来の国土保全に欠かせないグリーンインフラ」「3-4湿地の多機能性評価」「第4部これからのグリーンインフラ」
- 3) F. NAKAMURA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Concept and application of hybrid infrastructure”
- 4) F. NAKAMURA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Riparian Forests and Climate Change: Interactive Zone of Green and Blue Infrastructure”
- 5) N. ISHIYAMA, YAMANAKA S, SENZAKI M, MORIMOTO JN, KITAZAWA M and NAKAMURA F: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Flood-control basins as green infrastructures: flood-risk reduction, biodiversity conservation and sustainable”
- 6) H. MATSUSHIMA and X, ZHONG: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Challenging a Hybrid between Green and Gray Infrastructure - Coastal Sand-covered Embankments”
- 7) Y. SHOJI, T. TSUGE and A. ONUMA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Understanding Preference Differences among Individuals for the Reduction in Flood Risk by Green Infrastructure”

【サブテーマ 3】

- 1) 大沼あゆみ：『環境経済学の政策デザイン—資源循環・低炭素・自然共生』細田衛士・大沼あゆみ編、慶應義塾大学出版会（2019）「GIの経済学」
- 2) 柘植隆宏：GI研究会・三菱UFJリサーチ&コンサルティング、日経コンストラクション編『実践版！GI』日経BP社（2020）「GIと生態系サービスの経済評価」
- 3) A. ONUMA: Green Infrastructure and Climate Change Adaptation. In NAKAMURA, F (ed.) Springer (2022) “An Economic Analysis of Optimal Hybrid Infrastructure: A Theoretical Approach in a Hydro-Economic Model” .
- 4) Y. KAWATA: Green Infrastructure and Climate Change Adaptation. In NAKAMURA, F (ed.) Springer (2022) “Green Infrastructures in Megacity Jakarta: Current Status and Possibilities of Mangroves for Flood Damage Mitigation” .
- 5) T. TSUGE, Y. SHOJI, and A. ONUMA: Green Infrastructure and Climate Change Adaptation. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Assessing Public Preference for Construction of Giant Seawalls Using the Best-Worst Scaling Approach” .
- 6) Y. OMORI, K. KURIYAMA, T. TSUGE, A. ONUMA, and Y. SHOJI: Green Infrastructure and Climate Change Adaptation. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Coastal Communities Perceptions of Tsunami and Sea-level Rise: Unexpected Catastrophes vs Long-term Influential Hazards”

【サブテーマ4】

- 1) 西田貴明：グリーンインフラ研究会・三菱UFJリサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション（編）『実践版！グリーンインフラ』日経BP社（2020）
- 2) 西田貴明，大上慧太，塚本文（2021）日本における官民連携によるグリーンインフラの推進，フラワー・グリーンビジネスの最新動向と市場，シーエムシー出版，PP. 65-74
- 3) 西田貴明（2021）連携プラットフォームによるグリーンインフラの推進（特集 防災・減災と交通：SDGs の観点から）. 交通工学 56(2), PP38-42.
- 4) T. OSAWA and T. NISHIDA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Toward social infrastructure: typological idea for evaluating implementation potential of green infrastructure”
- 5) T. OSAWA, T. NISHIDA and T. OKA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Paddy field as a green infrastructure: their ecosystem services and threatening drivers”
- 6) Y. UENO, S. KATO, T. MASE, Y. FUNAMOTO and K. HASEGAWA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Changes in the Use of Green Spaces by Citizens before and during the First COVID-19 Pandemic: A Big data analysis using mobile-tracking GPS data in Kanazawa, Japan”
- 7) Y. MASUDA, T. NISHIDA, T. OKA, E. YOSHINARI and T. IKEDA: Green Infrastructure: Function, Implementation and Governance. In Nakamura, F (ed.) Springer (2022) “Analysis of the description of the multifunctionality of farmland in the administrative plans of local municipalities”
- 8) 滝澤恭平・池田正・吉原哲・横田樹広：土木学会論文集D3（土木計画学）「都市部の小流域におけるグリーンインフラ導入に向けた市民協働型計画立案プロセス」【印刷中】

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

- 1) 渡辺公次郎、石田和之：資産評価政策学会 2018 年度研究大会発表論文集， 38-43（2018）「徳島県における農地の変化と災害リスクへの影響に関する研究」
- 2) 鎌田磨人：農村計画学会誌， 37(4)（2019）「グリーンインフラとしての水田と Eco-DRR -生態系サービス間シナジーを活用するための道筋」
- 3) 鎌田磨人：グリーン・エージ， no. 549 28-29（2019）「Eco-DRR による洪水のリスク低減と地域環境の向上」
- 4) 渡辺 公次郎. 地理情報システム学会講演論文集: Vol. 29, B24-4-5. (2020) 「過疎地域における

洪水危険性を考慮した住環境評価」

- 5) 渡辺 公次郎. 日本建築学会大会 学術講演梗概集 F-1: 735-736. (2020) 「地方都市における流域別の洪水リスクの評価」
- 6) 渡辺 公次郎. 日本建築学会四国支部研究報告集: No. 20, 71-72. (2020) 「地方都市における土地利用変化が洪水リスクに及ぼす影響に関する研究」
- 7) 市川 直哉, 渡辺 公次郎. 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集: IV -24 (2020) 「四国の都市計画区域外における土地利用コントロールの現状と課題に関する研究」
- 8) 渡辺 公次郎, 武藤 裕則. 特別寄稿, 阿波学会紀要第 63 号海陽町総合学術調査報告: 145-153. (2021) 「海陽町大里地区における水害から見た土地利用の方向性に関する研究」

【サブテーマ 2】

- 1) 中村太士: JEAS NEWS日本環境アセスメント協会、159, 4-7 (2018) 「特集『Eco-DRR～生態系を利用した防災・減災』『地球温暖化・人口減少下でのEco-DRR』」
- 2) 公益財団法人日本生命財団編: 人と自然の環境学、東京大学出版社 (2019) 「第 5 章森と川の変貌 (執筆担当: 中村太士)」
- 3) 中村太士: 用水と廃水 第62巻7号33-36. (2020) 「グリーンインフラとは何か」
- 4) 中村太士: 學士會会報 第941号 (2020) 「グリーンインフラの未来像」
- 5) 中村太士 (2021) グリーンインフラ推進の意義と効果 (特集 グリーンインフラの推進). 国づくりと研修 146: 6-9.
- 6) 中村太士 (2021) 耕作放棄地を生物多様性保全やグリーンインフラに活かす (特集 自然再生の視点から耕作放棄地の活用を考える). グリーン・エージ48 (8): 2-6.
- 7) 中村太士 (2022) 流域治水と河川・氾濫原環境の保全. Riverfront 94: 2-5.
- 8) 中村太士 (2022) 自然を利用した防災・減災、豊かな地域づくり. 月刊自治研 3月号 Vol. 64, No. 750: 44-52.

【サブテーマ 3】

- 1) 河田幸視、畑中英樹、幹田秀和: 近畿大学経済学会編『生駒経済論叢』17(1), 21-41, 2019 (2019), 新たな森林管理システムの下での持続可能な林業経営に向けて—京都府綾部市における志賀郷杜栄の実践—

【サブテーマ 4】

- 1) 西田貴明・大澤剛士・吉田丈人・宮川絵里香: 日本生態学会誌 69(1)pp. 13-18 (2019) 「ポスト 2020 年の生物多様性政策に向けて」
- 2) 西田貴明: 土木学会誌 104(10) 10-13 (2019) 「日本のグリーンインフラのあり方 -これまでの議論 今後の展望-
- 3) 長谷川啓一・上野裕介: ランドスケープ研究 83(3) 266-267 (2019) 「都市緑地に対する住民の健康利用ニーズと利用実態: 茨城県守谷市での大規模アンケートから」
- 4) 中谷裕一郎・上野裕介: ランドスケープ研究 83(4) 394-396 (2019) 「金沢における歴史的景観保全を背景とした緑豊かなまちづくり」
- 5) 西田貴明: 高速道路と自動車 第 63 巻 第 6 号 pp. 20 (2020) 「自然の脅威に向き合うグリーンインフラ」
- 6) 西田貴明: 速道路と自動車 第 63 巻 第 5 号 pp. 20. (2020) 「グリーンインフラに期待される経済効果」
- 7) 西田貴明: 高速道路と自動車 第 63 巻 第 4 号 pp. 20. (2020) 「グリーンインフラとは、環境の保全から活用への転換点」
- 8) 小笠原奨悟・幸福智・高橋栞・中尾健良・西田貴明・長谷川啓一・池田正・吉原哲・渡邊敬史・長野紀章・瀧健太郎・西廣淳・吉田丈人: グリーンインフラ技術レポート、総合地球環境学研究所、pp. 14-15 (2020) 「第 3 章 (3) グリーンインフラの推進に向けた経済的基盤 (執筆担当: 西田貴

明) 」

- 9) 小笠原奨悟・幸福智・高橋栞・中尾健良・西田貴明・長谷川啓一・池田正・吉原哲・渡邊敬史・長野紀章・瀧健太郎・西廣淳・吉田丈人：グリーンインフラ技術レポート、総合地球環境学研究所、pp. 20-24 (2020) 「第4章(2) 市民参加による都市型グリーンインフラの導入に向けた検討(執筆担当：池田正・吉原哲)」
- 10) 西田貴明, 福岡孝則 (2021) グリーンインフラ大賞の概要, 新都市 第75巻第5号 PP. 83-85
- 11) 白土智子・長谷川啓一・南崎慎輔・上野裕介：ランドスケープ研究 84(4) 396-397 (2021) 「社会連携によるグリーンインフラのまちづくり：守谷版グリーンインフラの取組み」
- 12) 上野裕介・上野崇之・長谷川啓一：日本緑化工学会誌 46 (4) 386-388 (2021) 「グリーンインフラによるまちづくりと地域活性化」
- 13) 上野裕介：高速道路と自動車 第64巻 第10号 pp. 10. (2021) 「道路×グリーンインフラ：(1)街路樹の多様な価値」
- 14) 上野裕介：高速道路と自動車 第64巻 第11号 pp. 10. (2021) 「道路×グリーンインフラ：(2)道路空間と地域コミュニティ」
- 15) 上野裕介：高速道路と自動車 第64巻 第11号 pp. 10. (2021) 「道路×グリーンインフラ：(3)環境・社会・経済とSDGs」
- 16) 特定立地の水田が洪水被害を緩和する -生態系を利用した防災・減災を考慮した土地利用の実現に貢献 <https://www.tmu.ac.jp/news/topics/31086.html>

(2) 口頭発表(学会等)

【サブテーマ1】

- 1) Y. MUTO, S. OTANI, M. MIYOSHI, M. KAMADA and T. TAMURA: Proc. 21st IAHR-APD Congress, Yogyakarta, Indonesia, 12/09-12/18 (2018) “Retarding Capacity Change of Wetland Paddy Fields due to House Land Development - toward Wise Land Use against Flood Utilizing Paddy Fields as Green Infrastructure”
- 2) 朝波史香、泊健一、鎌田磨人：第61回日本生態学会(2018年)「生物多様性の主流化に向けた証券業界との連携の道筋」
- 3) 朝波史香、泊健一、鎌田磨人：第28回日本景観生態学会大会(2018年)「グリーンインフラの社会実装に向けた証券業界との連携の道筋」
- 4) 今井洋太、田中遥樹、鎌田磨人：第28回日本景観生態学会大会(2018年)「洪水浸水想定区域図と土地利用細分メッシュ図を用いた暴露リスク増加量の把握」
- 5) M. Kamada and Y. Muto: ICLEE 2018 (2018) “A trial project for installing Eco-DRR to the society in Japan”
- 6) 今井洋太、山田春紀、横川涼、中村俊之、飯山直樹、武藤裕則、鎌田磨人：第66回日本生態学会(2019年)「低平地水田における氾濫特性と湿性絶滅危惧植物の分布特性」
- 7) 朝波史香・伊東啓太郎・鎌田磨人：第62回日本生態学会中国・四国地区大会(2019)「福岡県宗像市における海岸マツ林の保全活動の構造と仕組み」
- 8) 朝波史香・藤田和歌子・鎌田磨人：第29回日本景観生態学会大会(2019)「佐賀県唐津市「虹の松原」の保全活動におけるガバナンスの仕組み」
- 9) M. Kamada, M. Iwasa, Y. Imai: ICLEE2019 (Cheonan, South Korea, 2019) “Multi-scale evaluation on availability of paddy fields as foraging habitat for wintering hordes crane in Tokushima, Japan.”
- 10) 横川 涼、武藤裕則、田村隆雄、三好 学：2019年度土木学会四国支部第25回技術研究発表会(2019)「氾濫条件の違いによる低平農地の湛水機能について」
- 11) K. WATANABE and Y. MUTO: The 4th IAG’i Symposium, C-3-1, Tokushima (2019) “An Evaluation

of the Living Environment with Flood Disaster Risk in the Lowland of Japanese Depopulation Area.”

- 12) 武藤裕則、今井洋太：令和元年東日本台風災害調査報告会（主催：徳島大学環境防災研究センター、2020）「流域治水の概念及び動向と地域で取り組む流域治水」
- 13) 鎌田磨人、今井洋太：令和2年度河川基金研究成果発表会（2020、オンライン）「小流域における耕作放棄水田を活用した地域住民主導の河川管理手法の構築」
- 14) 鎌田磨人、今井洋太：河川財団 研究発表会河川基金助成事業成果発表及び河川財団受託成果発表（2020）「小流域における耕作放棄水田を活用した地域住民主導の河川管理手法の構築」
- 15) 今井洋太、三橋弘宗、鎌田磨人、武藤裕則：第65回水工学講演会（2020、オンライン）「普通河川周辺の耕作放棄水田が有する洪水一時貯留機能に関する基礎的検討」
- 16) 今井洋太、森定伸、飯山直樹、三橋弘宗、武藤裕則、鎌田磨人：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「普通河川周辺の耕作放棄水田が有する洪水緩和機能及び生物多様性保持機能の評価ー兵庫県豊岡市田結湿地を事例としてー」（オンライン）。
- 17) 朝波史香：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「GIを日常使いにするための地域ガバナンスー徳島県海陽町と福岡県福津市の海岸マツ林管理の仕組みから」ミーティング（伝統的グリーンインフラ：現代社会における意義と活用）
- 18) 朝波史香：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「海岸マツ林を守り育てる地域の思い」ミーティング（砂浜海岸エコトーンにおけるグリーンインフラ：東北地方太平洋沖地震津波被災地からの報告）
- 19) 横川 涼、武藤裕則、鎌田磨人、田村隆雄：第65回水工学講演会（2020、オンライン）「内水氾濫解析を用いたグリーンインフラの有する洪水調節機能に関する検討」

【サブテーマ2】

- 1) F. NAKAMURA, and N. ISHIYAMA: I. S. Rivers 3rd International conference, Lyon, France. 1-8th June 2018. “Adaptation to climate change and conservation of biodiversity using green infrastructure”
- 2) 金慧隣、庄子康、柘植隆宏、久保雄広、中村太士：環境経済・政策学会（2018）「グリーンインフラは土地利用に関する合意形成を複雑化させるか 二つの選択型実験の結果を踏まえて」グリーンインフラGIの経済的評価論セッション
- 3) 庄子康、柘植隆宏、久保雄広、今村航平、栗山浩一：環境経済・政策学会（2018）「部分プロファイル選択実験による森林の生態系サービスの経済評価」グリーンインフラGIの経済的評価論セッション
- 4) X. ZHONG, H. MATSUSHIMA, A. SUZUKI, Y. HIRABUKI and K. KIMURA: Japan Geoscience Union Meeting (2019, 国内) “Survey on the impact of sea wall on the vegetation of coastal sand dune”
- 5) H. MATSUSHIMA, A. SUZUKI, Y. HIRABUKI, K. KIMURA and X. ZHONG. Japan Geoscience Union Meeting (2019, 国内) “Greening on the seawall: challenge to conversion from gray to green infrastructure”
- 6) H. MATSUSHIMA, A. SUZUKI, Y. HIRABUKI, K. KIMURA, A. FUJI and X. ZHONG: 10th International Association for Landscape Ecology world congress (Milano Italy, 2019) “Green seawall: challenge to conversion from gray to green infrastructure”
- 7) X. ZHONG, H. MATSUSHIMA, A. SUZUKI, Y. HIRABUKI, and K. KIMURA. Japan Geoscience Union Annual meeting (2020, online) “The influence of the construction of the seawall on the on the coastal plant community in Sendai coast”
- 8) 松島肇、鐘向梅、鈴木玲、平吹喜彦、岡浩平、木村浩二、橋本喜次：グリーンインフラネットワーク・ジャパン全国大会（2020、オンライン）「グリーンインフラのグリーンインフラ化：防潮堤への

覆砂による砂丘化実験」

- 9) 中村太士：日本生態学会第68回全国大会（2021、オンライン）「河川・氾濫原生態系のつながり：再生と気候変動適応への展開」

【サブテーマ3】

- 1) 金慧隣、庄子康、柘植隆宏、久保雄広、中村太士：環境経済・政策学会大会（2018）GIGIの経済的評価論セッション「GIは土地利用に関する合意形成を複雑化させるか 二つの選択型実験の結果を踏まえて」
- 2) 庄子康・柘植隆宏・久保雄広・今村航平・栗山浩一：環境経済・政策学会大会（2018）GIGIの経済的評価論セッション「部分プロファイル選択実験による森林の生態系サービスの経済評価」
- 3) 大沼あゆみ：環境経済・政策学会大会（2018）GIGIの経済的評価論セッション「GIの経済学的特徴と意義」
- 4) 栗山浩一：環境経済・政策学会大会（2018）GIGIの経済的評価論セッション「自然環境施策の評価手法とGIへの適用可能性」
- 5) 柘植隆宏、大沼あゆみ、栗山浩一：環境経済・政策学会大会（2018）企画セッション「GIと自然環境施策の経済分析」
- 6) 大沼あゆみ：環境経済・政策学会大会（2019）「Eco-DRRにおけるハイブリッドインフラの経済学的特徴と機能の理論分析」
- 7) 柘植隆宏、庄子康、栗山浩一：環境経済・政策学会大会（2019）「防災効果とその不確実性に対する市民の評価」
- 8) 河田幸視、畑中英樹、幹田秀和：環境経済・政策学会大会（2019）「新たな森林管理システムの下での持続可能な林業経営とGI：京都府綾部市の企業を事例として」
- 9) Y. OMORI, Y. SHOJI, T. TSUGE, K. KURIYAMA AND A. ONUMA：第131回日本森林学会大会（2020）“Economic Analysis of Future Coastal Planning: Ecosystem Functions vs Disaster Risk Reduction”
- 10) 大森結衣、庄子康、柘植隆宏、栗山浩一、大沼あゆみ：環境経済・政策学会大会（2020）“Local Communities’ Perceptions of Grey and Green Combined Infrastructure in Coastal Zones: A Case Study of Japan”
- 11) OMORI, Y: Ecological Society of America Annual Conference (2020) How can data of local communities’ perception of grey and green integrated infrastructure contribute to decision making about coastal planning?: A case study of Japan

【サブテーマ4】

- 1) 滝澤恭平、金子光広、吉原哲、池田正：第47回環境システム研究論文発表会：小流域エリアにおける市民参加型グリーンインフラ計画作成に向けた検討手法，東京都北区 東洋大学，2019年10月27日
- 2) 上野裕介、前田有香、長谷川啓一、南崎慎輔、福島晶子：第47回環境システム研究論文発表会（2019）「人口減少時代の都市緑地のグリーンインフラとしての活用方策」「茨城県守谷市における大規模住民アンケートの結果から」
- 3) 西田貴明：環境経済政策学会（2019）企画集会「Eco-DRRの経済学的課題-不確実性と政策展開 諸外国と日本におけるグリーンインフラの政策的位置づけ-」
- 4) 上野 裕介：応用生態工学会23回広島大会（2019）自由集会「ポスト2020 目標と次期国家戦略のあり方を考える～グリーンインフラやEco DRR などを通じたレジリエンス強化の観点から～」
「地域におけるグリーンインフラの取組み ～金沢市を例として～」
- 5) 池田正：応用生態工学会第23回広島大会（2019）自由集会「グリーンインフラの推進に向けた現場技術者の役割」「市民が中心となったグリーンインフラ導入計画の検討」
- 6) 西田貴明：応用生態工学会第23回広島大会（2019）自由集会「グリーンインフラの推進に向けた

現場技術者の役割」コメンテーター

- 7) 西田貴明：日本学術会議公開シンポジウム（2019）「Future Earth 時代における 地球表層システム科学と防災・減災研究」 コメントと討論
- 8) 上野裕介・菊地直樹：エコミュージアム研究会全国大会（2019）「グリーンインフラを核とした持続可能な地域づくり～金沢市を例として～」
- 9) 上野裕介、長谷川啓一、前田有香、南崎慎輔、福島晶子：日本造園学会全国大会（2019）「市民が求める都市のグリーンインフラとは？」
- 10) 上野祐介：日本生態学会第 66 回全国大会シンポジウム（2019）趣旨説明「自然環境を保全し活用する社会を創造する上で、私たちに何が必要なのか？：生態学者×実務者 -自然環境の保全から活用に向けた社会構築の道筋を考える-
- 11) 幸福智、上野裕介：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020、オンライン）「グリーンインフラで「地域（まち）」を運営する」～地域（まち）の魅力と持続可能性への貢献～
- 12) 上野裕介：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020、オンライン）「まちづくりにグリーンインフラを活かす：金沢 SDGs ミライシナリオの紹介」
- 13) 西田貴明：土木学会研究討論会（2020、オンライン）「グリーンとグレーの対話と相互理解、その先のハイブリッドインフラに向けて」「グリーンインフラによる社会課題の解決」
- 14) 上野裕介・長谷川啓一：日本造園学会大会（2020、オンライン）「緑地の多面的機能に対する住民の支払い意思額に個人属性の違いが及ぼす影響」
- 15) 上野裕介・長谷川啓一：日本造園学会大会（2020、オンライン）「金沢市の緑のまちづくり計画や守谷市のグリーンインフラ都市宣言」
- 16) 上野裕介・間瀬知佳・加藤禎久・船本洋司・長谷川啓一：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020、オンライン）「新型コロナ禍で、人の動きはどう変わったか？携帯 GPS データから見る緑地利用の変化」
- 17) 滝澤恭平、池田正、吉原哲、横田樹広：第 62 回土木学会土木計画学研究発表会（2020）「都市部の小流域におけるグリーンインフラ導入に向けた市民協働型計画立案プロセス」
- 18) 西田貴明：国土技術総合研究所「グリーンインフラ勉強会」（2020）「グリーンインフラに期待される取組と課題解決に向けた研究」
- 19) 佐藤丈実・幸福智・早坂裕幸・上野裕介：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「持続可能な地域構築に向けた将来の土地利用予測・評価 ～金沢市を例に～」
- 20) 幸福智・佐藤丈実・早坂裕幸・上野裕介：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「地域（まち）を企業に見立ててグリーンインフラの評価指標を考える」
- 21) 滝澤恭平・池田正・吉原哲・横田樹広：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「都市域の小流域における市民参加型グリーンインフラ計画手法」
- 22) 遠香尚史・吉成絵里香：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン全国大会（2020）「自治体におけるグリーンインフラへの取り組み状況について」
- 23) 西田貴明：グリーンインフラ・ネットワークジャパン全国大会（2020）「日本におけるグリーンインフラの捉え方」
- 24) 上野裕介：都市計画学会・日本造園学会 オンライン公開セミナー「今なぜグリーンインフラなのかーその必要性和評価のあり方ー」（2021）「グリーンインフラ と SDGs」
- 25) 上野裕介・安藤耕助・長谷川啓一：日本造園学会大会（2021）「市民アンケートからみた親の自然体験の消失が子や孫の自然体験率に及ぼす影響」

（3）「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ 1】

- 1) 研究会・懇談会「気候変動・人口減少社会におけるグリーンインフラ」（主催：海陽町、2018 年

- 12月8日、徳島県海陽町まぜのおか交流棟、海陽町長・行政担当者・町民・研究者等36名が参加)
- 2) 鎌田磨人、朝波史香：公開フォーラム「南海トラフ巨大地震による津波を想定した生態系減災」研究会「日本生命財団学術的総合研究ワークショップ：気候変動と人口減少時代の防災減災—生態系減災という方法」講演「海岸マツ林を将来に引き継ぐための地域ガバナンス」（主催：公益社団法人日本生命財団、2020年1月25日、神奈川県横浜市、慶応大学日吉キャンパス）
 - 3) 朝波史香：公開フォーラム『ふくつの自然を学ぶ連続講座2019 第5回、海岸マツ林から考える自然と人の関わり』講演「海岸マツ林を誰が維持してきたのか・維持していくのか」（主催：ふくつ環境トラスト運営協議会、2020年2月2日、福岡県福津市）
 - 4) 鎌田磨人：公開フォーラム『ふくつの自然を学ぶ連続講座2019 第5回、海岸マツ林から考える自然と人の関わり』講演「海岸マツ林を「地域のインフラ」として活かしてゆくために」（主催：ふくつ環境トラスト運営協議会、2020年2月2日、福岡県福津市）
 - 5) 武藤裕則：公開シンポジウム「既存インフラ+グリーンインフラ-防災と環境の両立」講演「沿岸低平地のグリーンインフラ～海岸砂丘・松林、水田～を水防災に活かす」（2020年12月14日、札幌エルプラザ）
 - 6) 鎌田磨人：特別講演「グリーンインフラとしての生態系の管理と保全」（主催：第3回自然共生技術研究会、2020年11月17日、厚生労働省合同庁舎(東京都)5号館第12会議室、オンライン）
 - 7) 鎌田磨人：出張講義（総合的な探求の時間）「自然を活用するこれからの暮らし」（主催：徳島県立城南高等学校、2020年11月24日）
 - 8) 朝波史香、伊東啓太郎、鎌田磨人：2020年度松原研究アワード、口頭&ポスター発表「福岡県福津市の地域自治政策と海岸マツ林の自治管理活動の相互補完性」（主催：静岡市、2021年2月20日～28日、オンライン）
 - 9) 鎌田磨人、朝波史香：「海部学講演会」講演「自然の恵みを活かす暮らし—生物多様性, 生態系, SDGs, エシカル消費」（主催：徳島県立海部高等学校、2021年3月17日）
 - 10) 山中亮一：公開フォーラム「長い目でみる海岸のグリーンインフラ」（主催：徳島大学環境防災カフェ、2020年7月30日）
 - 11) 山中亮一：公開フォーラム「防災Café」 「グリーンインフラによる減災」（主催：エフエム徳島、2021年2月12日）

【サブテーマ2】

- 1) 中村太士：グリーンインフラ推進セミナー「人口減少・気候変動をどう乗り切るか。グリーンインフラ」（主催：国土交通省、2018年2月6日、札幌市）
- 2) 中村太士：公開フォーラム『農山村地域の未来を考える』講演「人口減少と気候変動に地域はどう立ち向かうか？—グリーンインフラ—」（主催：新潟大学、2018年9月7日、新潟市）
- 3) 中村太士：公開シンポジウム『気候変動適応策と生態系を活用した防災・減災』講演「グリーンインフラと既存インフラの相補的役割—防災・環境・社会経済面からの評価」（主催：東京大学、2018年12月15日、東京都）
- 4) 中村太士：一般公開シンポジウム「人と自然が織りなす持続可能な未来—環境学からの提言」講演「自然を捉え、その役割を評価する」（主催：日本生命財団、2019年6月8日、国連大学ウ・タント国際会議場、参加者250名）
- 5) 中村太士：一般公開シンポジウム「自然と歴史を活かした震災復興—持続可能性とレジリエンスを高める景観再生—」基調講演「原形復旧から未来復興へ：グリーンインフラ」（主催：公益財団法人日本生命財団、「地域の自然と歴史に学ぶ里浜復興」研究会、2019年11月23日、東京農業大学百周年記念講堂、参加者250名）
- 6) 中村太士：公開講座「生態系の保全と復元」講義「流域生態系の保全・復元・管理～生態系のつながりに着目して～」（主催：筑波大学大学院自然保護寄附講座、2019年11月30日、筑波大学筑

波キャンパス)

- 7) 庄子康：公開講座「現地アンケート調査の実際 (1) 科学的なアンケート調査とは」(主催：食と農のマネジメント・セミナー、2019年11月29～30日、京都大学東京オフィス)
- 8) 松島肇：公開セミナー「白から緑へ：緑が守るまちづくり」(主催：札幌都心まちづくりタウンミーティング、2019年、札幌市)
- 9) 松島肇：公開講座「石狩海岸の海岸砂丘は周回遅れで先進事例となった！」(主催：北海道大学博物館土曜市民セミナー、2019年12月14日、北海道大学博物館)
- 10) 松島肇：公開講座「しめっちサポーターミーティング海辺で地域を『育てる』こと」(主催：みんなる、2019、札幌市)
- 11) 中村太士：「内閣府特命担当大臣(防災)と環境大臣による共同メッセージ」のための「『気候変動×防災』に係る意見交換会」(主催：小泉大臣室、2020年6月3日)
- 12) 中村太士：公開フォーラム「湿地と人・社会」講演(主催：北海道湿地フォーラム2020 シッチスイッチ、2020年10月24-25日、札幌市民交流プラザ)
- 13) 中村太士：公開シンポジウム「既存インフラ+グリーンインフラ-防災と環境の両立」総合司会及び全体討論(2020年12月14日、札幌エルプラザ)
- 14) 石山信雄：公開シンポジウム「既存インフラ+グリーンインフラ-防災と環境の両立」講演「生き物も棲める防災対策とは?遊水地と防潮堤を例に」(2020年12月14日、札幌エルプラザ)
- 15) 松島肇、中村太士：公開フォーラム「海辺の自然環境を未来に繋げるために」コーディネート及びディスカッション(主催：ふるさと海辺フォーラム、2020年6月21日、オンライン)
- 16) 松島肇：公開フォーラム「砂浜海岸エコトーンにおけるグリーンインフラ-東北地方太平洋沖地震津波被災地からの報告」話題提供(主催：グリーンインフラネットワーク・ジャパン、2020年10月24-25日、オンライン)
- 17) インターネットでの継続的な情報発信：はまひるがおネット(HP 2014年～北の里浜花のかけはしネットワーク運営) <https://hamahirugao.jimdo.com>
- 18) インターネットでの継続的な情報発信：海辺と未来のエコトーンフォーラム(Facebook 2019年～累積アクセス件数：2172) <https://www.facebook.com/events/2090613074575631/>

【サブテーマ3】

- 1) 大沼あゆみ、柘植隆宏：GI・ネットワーク・ジャパン全国大会「イギリスはいかにしてGIの主流化を進めているのか?」“How is the UK mainstreaming green infrastructure?”(主催：GI・ネットワーク・ジャパン、2020年11月7日、オンライン、イギリスから3名の報告者招聘、聴講者約140名)
- 2) 大沼あゆみ：公開シンポジウム「既存インフラ+GI防災と環境の両立」講演「GIは経済とどう関わるのか?」(2020年12月14日、札幌エルプラザ)

【サブテーマ4】

- 1) 上野裕介：公開シンポジウム『里山ルネッサンスー里山活性化の担い手育成に挑戦ー』,「グリーンインフラを活用!自然災害への備えと地域の魅力づくり」(主催：石川県立大学、2018年12月2日、金沢市)
- 2) 上野裕介：公開セミナー「環境アセスメント・セミナーin金沢」 「環境アセスメントとグリーンインフラ」(主催：環境アセスメント学会、2018年11月24日、金沢市)
- 3) 上野裕介：国土交通省グリーンインフラ推進セミナー,「防災・環境・経済からみたグリーンインフラ活用策」(2018年11月15日、新潟市)
- 4) 西田貴明：グリーンインフラ、グリーンインフラ研究会, 滋賀経済同友会(2018年9月12日、滋賀県草津市)
- 5) 上野裕介：国際シンポジウム：都市景観をグリーンインフラから考えるー金沢市における活用と協働ー,「金沢市の防災・環境・経済からみたグリーンインフラ活用策」(2018年8月31日、金

沢市)

- 6) 西田貴明：国際シンポジウム「都市景観をグリーンインフラから考えるー金沢市における活用と協働ー人口減少時代におけるグリーンインフラ」（2018年8月31日，金沢市）
- 7) 上野裕介：「グリーンインフラの評価の視点ー多様なプロセスにまたがる多面的機能の考え方ー」コーディネーター（主催：北陸グリーンインフラ研究会、2019年12月19日，金沢市 JAIST(北陸先端科学技術大学院大学)
- 8) 西田貴明：「水環境ビジネスにおけるグリーンインフラ展開の可能性」グリーンインフラの基本的な考え方とビジネス展開（主催：しが水環境ビジネス推進フォーラム研究・技術分科会、2019年12月17日，滋賀県大津市 コラボしが 21）
- 9) 上野裕介：「令和元年度アグリ技術シーズセミナーin 北陸 SDGs から見た能登半島の農業と AI、IoT に期待すること」（主催：農林水産省「知」の集積による産学連携支援事業 2019年12月16日，金沢市 石川県教育会館）
- 10) 西田貴明：公開セミナー「グリーンインフラの実践的アプローチ趣旨説明：グリーンインフラの実践的アプローチ」（主催：グリーンインフラ研究会セミナー、2019年12月11日，東京都中央区 TKP 東京駅セントラルカンファレンスセンター）
- 11) 西田貴明：「大阪湾の自然創生をめざして 今なにができるか ～ 夢洲の可能性をさぐる ～ 夢洲グリーンインフラ構想」（主催：大阪自然環境保全協会、SDGs 市民社会ネットワーク、2019年11月17日，大阪市 大阪自然史博物館）
- 12) 西田貴明：「SDGs 時代に求められる企業の自然資本・生物多様性の評価のあり方」コーディネーター「SDGs、ESG、グリーンインフラ時代に求められる生物多様性の評価とは」（主催：地球環境戦略研究機関（IGES）、2019年11月5日，東京都千代田区 日比谷図書文化館）
- 13) 上野裕介：環境省環境影響評価研修環境影響評価の技術的動向（自然環境）～環境アセスメントとグリーンインフラ，SDGs～（2019年10月15日，神戸市 兵庫県学校厚生会館）
- 14) 西田貴明：グリーンインフラについて一緒に考えてみませんか？～「グリーンインフラ官民連携プラットフォーム（仮称）」設立に向けて～ファシリテーター（主催：国土交通省、2019年10月9日，東京都中央区）
- 15) 上野裕介：日本海イノベーション会議「地域のLEAFを守り育てる石川県立大学 ～未来へつなぐ私たちの取り組み～自然災害への備えと地域の魅力づくり～グリーンを活用！」（2019年10月6日，金沢市 北國新聞社）
- 16) 上野裕介：オープンミュージアム「トーク広場：いしかわの自然と文化をまもり、伝えるために語りあおう。」持続可能な社会を支える自然史情報とグリーンインフラ（主催：石川県立自然史資料館、2019年5月18日，金沢市）
- 17) 上野裕介：いしかわシティカレッジ「石川県の市町」（SDGs と行政）（主催：石川県他、2019年5月11日，金沢市 しいのき迎賓館）
- 18) 上野裕介：第10回グリーンインフラ研究会セミナー「北陸グリーンインフラ研究会と金沢におけるGI社会実装に向けた取り組み」（主催：三菱UFJリサーチ&コンサルティング、2019年4月23日，東京都港区）
- 19) 西田貴明：みんなのジュニア生態学講座「生態学を活かした政策づくり」（2019年3月17日，神戸市）
- 20) 上野裕介：公開フォーラム（公益財団法人日本青年会議所（JCI）金沢会議 2019 『金沢から持続可能性を』）（主催：公益財団法人日本青年会議所、2019年2月24日，金沢市）
- 21) 上野裕介：金沢大学環日本海セミナー『自然保護から自然の活用へ：グリーンインフラによる環境・社会・経済の統合』（主催：金沢大学、2019年2月19日，金沢市）
- 22) 西田貴明：公開シンポジウム「既存インフラ+グリーンインフラ-防災と環境の両立」講演「土地利用情報とアンケート調査によるグリーンインフラの全国的な評価」（2020年12月14日、札幌

エルプラザ)

- 23) 上野裕介：令和2年度環境影響評価研修「環境保全対策における グリーンインフラについて」（主催：環境省 2020年12月7日，オンライン）
- 24) 上野裕介：「グリーンインフラを活用し 自然と共存した金沢のミライ ～自然の価値を高めながら SDGs 達成に向けて～」（主催：金沢生物多様性ネットワーク会議、2020年11月28日，金沢市）
- 25) 池田正：「現場実務者が提供できるグリーンインフラの社会実装の技術～グリーンインフラ時代の現場技術者に求められる方向性と可能性～」（主催：グリーンインフラ・ネットワーク・ジャパン、2020年11月8日，オンライン）
- 26) 西田貴明：日経地方創生フォーラム（2020）「グリーンインフラとは」（主催：日本経済新聞社、2020年10月5日，東京都 日経ホール）
- 27) 西田貴明：「SDGs カフェ#13 市民全員が庭師になろう！」（2020）「グリーンインフラによる社会課題の解決へ」（主催：国連大学、2020年9月8日，オンライン）
- 28) 上野裕介：日本海イノベーション会議 2020 「SDGs への挑戦」SDGs 達成に向けた 石川県立大学の取り組み（2020年10月11日，金沢市 北國新聞社）
- 29) 上野裕介：オープンキャンパス「グリーンインフラを活用！～自然災害への備えと地域の魅力作り～」（主催：石川県立大学オープンキャンパス、2020年9月26日，野々市市 石川県立大学）
- 30) 上野裕介：「SDGs と行政」（主催：宗像市職員・市議会議員「SDGs 勉強会」、2020年1月30日，宗像市 宗像市役所）
- 31) 環境省 自然生態系を基盤とする防災・減災の推進に関する検討会 委員
- 32) 西田貴明（2021）防災・減災とグリーンインフラ，地域循環共生圏第6回寺子屋ローカルSDGs（環境省），2021年10月13日
- 33) 西田貴明（2021）国内外のグリーンインフラの議論と産学官連携による推進，第13回都市と自然の共生シンポジウム（一般社団法人北九州緑化協会），2021年11月26日
- 34) 西田貴明（2022）生き物観察から広げる企業CSR活動・自然資本経営，生物多様性と環境・CSR研究会セミナー（一般社団法人滋賀グリーン活動ネットワーク）、2022年1月17日

（4）マスコミ等への公表・報道等

【サブテーマ1】

- 1) 徳島新聞（平成30年12月24日、地方版「海陽・大里松原海岸の松林 防災や地域交流の貴重な場 全国の研究者が注目」）

【サブテーマ2】

- 1) 北海道新聞（令和2年7月25日、11頁、「氾濫防ぐ自然の『受け皿』」）
- 2) 北海道新聞（令和3年3月29日、16頁、「防潮堤を砂丘化 生態系を守れ」）

（5）本研究費の研究成果による受賞

【サブテーマ1】

- 1) 今井洋太：徳島大学工学部優秀賞教育研究助成奨励賞，徳島大学工学部（2021）（博士後期課程修了時表彰，論文題目：水田が有する洪水緩和機能と生物多様性保持機能の創発可能性，指導教員：鎌田磨人）
- 2) 朝波史香：徳島大学美土利会賞，徳島大学美土利会（2021）（博士後期課程修了時表彰，論文題目：海岸マツ林の保全とローカルガバナンス，指導教員：鎌田磨人）
- 3) 横川 涼：徳島大学工学部優秀賞教育研究助成奨励賞，徳島大学工学部（2021）（博士前期課程修了時表彰，論文題目：内水・外水重畳氾濫に対する水田の洪水緩和機能に関する研究，指導教員：武藤裕則）

【サブテーマ2】

- 1) 北沢宗大、ポスター賞最優秀賞、第66回日本生態学会（2019）「耕作放棄地の鳥類の生息地としての価値は北海道全域で湿原に匹敵する：機能群に着目して」

IV. 英文Abstract

Complementary Role of Green and Gray Infrastructures: Evaluation from Disaster Prevention, Environment, and Social and Economical Benefit

Principal Investigator: NAKAMURA Futoshi

Institution: Hokkaido university, Sapporo, Hokkaido, JAPAN

Tel: +81-11-706-2510 / Fax: +81-11-706-2517

E-mail: nakaf@for.agr.hokudai.ac.jp

Cooperated by: Tokushima University, Keio University, Mitsubishi UFJ Research and Consulting Co., Ltd.

[Abstract]

Key Words: Hybrid Infrastructure, green infrastructure, Eco-DRR, biodiversity, environmental economics, uncertainty, risk assessment, potential for introduction

Coming the age of depopulation and frequent natural disaster due to climate change, cost effective disaster prevention system is urgently needed to be developed. Hybrid infrastructure (HBI); the integration of grey and green infrastructure (GI), is expected to play an important role for disaster prevention and mitigation, environment conservation and economic progression, simultaneously. This study aimed to conduct comprehensive evaluation for HBI potential by the interdisciplinary collaborative research team including engineering, ecology, and environmental economics that indicate important natural and social conditions to identify high potential areas for HBI implementation at national level.

Flood and tsunami simulation model demonstrated that the current configuration of coastal dunes, coastal forest and paddy fields has a sufficient GI functional role for disaster mitigation. We proposed an urban and community development scenario based on zoning plan to the local government and our approach found to be directly linked to sustainability and activation of local society by ensuring disaster prevention, nature conservation and living environment.

Compared species abundance, diversity and composition among various water body types, we confirmed that flood-control basins had GI functions to conserve wetland species diversity. Water retention functions provided by Kushiro Wetland NP also demonstrated a significant role of disaster risk reduction, particularly in the future under the climate change scenario. The public preference survey showed importance of knowledge level to link positive perception toward GI. A trial of covering sand on sea embankment successfully restored connectivity of coastal ecosystem as HBI.

Focused on the uncertainty that GI inherently poses, we evaluated functions and economical benefit of HBI by developing theoretical model for optimal HBI and empirical analysis for public preference. According to the analysis, correlations between cost and benefit, utilities

except disaster control, respondent attributes, HBI knowledge level and experience of disaster influenced HBI preference, providing important parameters as considerations for actual political actions.

Toward HBI implementation into the society, we explored framework and indicator needed to identify high potential areas for HBI at national level. Using identified suitable natural conditions and socially acceptable indicators for implementation, we focused on paddy fields to evaluate HBI potential areas across the country. The national survey of the public preference showed the coincidence between quality of nature and happiness, indicating the importance of HBI potential is not only for disaster reduction and ecosystem conservation but also for quality of local community life.