

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

「人口減少、気候変動下におけるグリーンインフラ—生物多様性保全・防災・社会的価値評価」(4-1504)

平成27年度～平成29年度

Green Infrastructure with a Declining Population and Changing Climate:
Assessment of Biodiversity, Disaster Prevention, and Social Values

〈研究代表機関〉

北海道大学

〈研究分担機関〉

北海道大学

東邦大学

徳島大学

〈研究協力機関〉

北海道大学

東邦大学

徳島大学

三菱UFJリサーチ&コンサルティング(株)
(研)農研機構 農業環境変動研究センター

平成30年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	2
2. 研究開発目的	2
3. 研究開発の方法	3
4. 結果及び考察	5
5. 本研究により得られた主な成果	9
6. 研究成果の主な発表状況	11
7. 研究者略歴	12
II. 成果の詳細	14
II－1 農地景観におけるGI：生物多様性と環境経済評価に着目して	14
1. はじめに	15
2. 研究開発目的	15
3. 研究開発方法	15
4. 結果及び考察	19
5. 本研究により得られた成果	28
6. 国際共同研究等の状況	29
7. 研究成果の発表状況	29
8. 引用文献	32
II－2 都市景観におけるGI：地域医療と都市住民参加による協働をめざして	33
1. はじめに	34
2. 研究開発目的	34
3. 研究開発方法	34
4. 結果及び考察	40
5. 本研究により得られた成果	50
6. 国際共同研究等の状況	50
7. 研究成果の発表状況	50
8. 引用文献	54
II－3 海岸低地景観におけるGI：津波・洪水氾濫に耐えられる海岸林、水田の応用生態工学的評価	55
1. はじめに	55
2. 研究開発目的	56
3. 研究開発方法	56
4. 結果及び考察	58
5. 本研究により得られた成果	69
6. 国際共同研究等の状況	69
7. 研究成果の発表状況	69
8. 引用文献	72
III. 英文Abstract	73

I. 成果の概要

課題名 4-1504 人口減少、気候変動下におけるグリーンインフラ—生物多様性保全・防災・社会的価値評価

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）

研究実施期間 平成27～29年度

累計予算額 110,038,000千円（うち平成29年度：36,047,000千円）
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 生物多様性保全、生態系サービス、植生管理、健康、合意形成、洪水調節機能
放棄農地、海岸マツ林、水田

研究体制

- （1）農地景観におけるGI：生物多様性と環境経済評価に着目して（国立大学法人北海道大学）
- （2）都市景観におけるGI：地域医療と都市住民参加による協働をめざして（国立大学法人東邦大学）
- （3）海岸低地景観におけるGI：津波・洪水氾濫に耐えられる海岸林、水田の応用生態工学的評価（国立大学法人徳島大学）

研究協力機関

北海道大学

東邦大学

徳島大学

三菱UFJリサーチ＆コンサルティング（株）

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター

1. はじめに（研究背景等）

東日本大震災、ならびに気候変動に伴う大雨災害が顕在化する中、日本政府は国土強靱化基本法を制定した。一方、上昇を続けてきた日本の人口は、2011年以降減少に転じた。特に地方の人口減少は深刻で、北海道の道東や道北の人口は、2005年から2035年で約40%低下する。その結果、都市圏への人口集中は益々進み、地方の過疎化と農地放棄が進行する。さらに戦後復興期や高度経済成長期に作られた社会資本はすでに老朽化し、2037年度には維持管理・更新費が投資総額を上回り、必要な更新費が得られなくなると試算されている。

このように、気候変動、人口減少、社会資本の老朽化など、多くの課題を抱える日本の将来を考えた時、人口減少に伴う土地利用の変化を先取りし、洪水や津波危険地から人が撤退することができれば、放棄された土地に自然生態系を再生し、豪雨時や地震時のグリーンインフラストラクチャー（GI）として利用することが可能になるだろう。EUではGIの活用が先進的に議論され、2013年5月国土計画に体系的に組み込むことを目指す新たな戦略が承認された。また日本においても、安倍首相が2014年2月の衆議院予算委員会で「我が国の豊かな自然を活用しながらGIの整備を進めていくことは、経済、社会両面で有効であり、重要である。GIという考え方を取り入れて、将来世代に自然の恵みを残しながら、自然が有する機能を防災、減災等に活用していきたい。」と述べており、国土計画への活用が今後予想される。しかしながら、日本でのGIに関する研究は緒に就いたばかりであり、GIの導入候補地やその多面的機能を発揮させるための具体的な方法、また維持管理方法については未解明な点が多い。

2. 研究開発目的

そこで本研究では、農地（北海道）、都市（静岡）、海岸低地（徳島）景観におけるGIの生物多様性保全機能と防災機能を自然・社会科学の両面から評価し、GIを再生するための地域合意とモニタリング手法を開発し、気候変動下および人口減少社会における適応策の一つとして国土形成に果たすGIの役割を明らかにする。また、欧州、北米のGIの構造と機能を整理し、自然再生、地域参加型の新たな日本型GIモデルを開発する。特に、環境省の保護増殖事業との連携、環境経済学を使った地域住民の期待の定量化と経済価値評価、病院と協働した障害者による生物多様性モニタリング手法の開発と治療効果の定量化、将来予測される南海・東南海地震への対応を含めた防潮林の応用生態工学的評価により、対象地域のみならず日本全国に適用できる手法の提供を目指す。

研究は、3つのサブテーマに分かれて実施する（図1）。テーマ1では、農地景観におけるGIを対象に、タンチョウを含む生物多様性調査を実施し、地域住民の期待を環境経済学的に定量評価する。さらに、人口減少する北海道の農業地帯における放棄農地の拡大とGIとしての利用可能性を検討する。テーマ2では、都市景観におけるGIを対象に、障がい者を含む多様な主体がモニタリングや管理に参加する仕組みを多様な主体との連携のもとに構築する。また、洪水などの自然攪乱や伝統的植生管理などの人為攪乱が生態系の維持管理にもたらす影響を評価し、氾濫原型GIの管理技術を開発する。テーマ3では、海岸低地景観におけるGIを対象に、津波・洪水に対する防災機能を応用生態工学的に定量的に評価することで、GIを活用することの有効性を評価し、人口減少地域である阿南市での望ましい土地利用配置を提案する。これらの成果と、欧州・北米の先進的GIの調査結果を踏まえ、日本への適用について検討する。

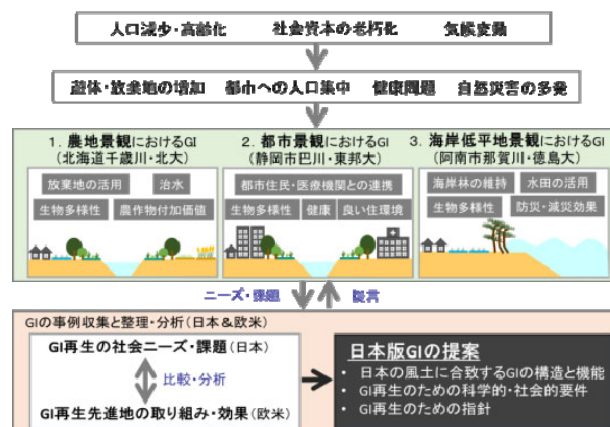


図1 プロジェクトの概要

3. 研究開発の方法

(1) 農地景観におけるGI：生物多様性と環境経済評価に着目して

(1-1) 農地景観におけるGI候補地の選定

放棄地のGIとしての利用可能性を検証するため、北海道全域において、生物相の調査（鳥類群集）、およびGI導入候補地域の検討を実施した。

(1-1-1) 放棄地における生物相調査

北海道全域を対象として、鳥類の繁殖期(5月-7月)に調査した。繁殖期間の平均気温と平均降水量が異なる複数地域において、湿原、耕作放棄地、牧草地、畑、水田の各生息地タイプを調査地点として設置した(計117か所)。調査地点内(面積は3 ha)に生息する鳥類をテリトリーマッピング法により記録した。

(1-1-2) 農地景観におけるGI候補地の選定

放棄地マップ(平成27年度作成)、洪水氾濫リスクマップ(平成27年度作成)、生物多様性マップ(鳥類：Higa et al. (2015)、植物：平成29年度作成)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。解析単位は3次メッシュとし、以下の3段階で導入候補地を選定した。まず、洪水氾濫リスクマップから氾濫リスクがある地域のみを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40%)を生物多様性が高い場所として候補地とした。最後に、放棄農地の多い場所ほど保全コストが抑えられると仮定し、上記2段階で選択されたメッシュを放棄農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)。

(1-2) 農地GIの生物多様性保全機能の評価

北海道石狩川水系の千歳川流域では、洪水時の河川流量を調整するための6つの遊水地の整備が進められている。遊水地の生物多様性保全機能やその具体的な管理策を明らかにするため、遊水地群および周辺水域において植物相や種子供給、動物相の調査を実施した。

(1-2-1) 遊水地における湿地植生とその再生技術開発に向けた評価

農地景観内に設置された遊水地における湿地性植物群落の再生可能性評価と多様な湿地性植物群落の再生を促す技術的開発を目的として、(1) 舞鶴遊水地整備前の土壌シードバンク(SB)調査、(2)遊水地内に設けた野外実験地における植生モニタリング、(3)遊水地内に再生してきた湿地性植物群落の調査、(4)残存湿地を含めた種子散布の実態調査を行った。

(1-2-2) 遊水地群が地域の生物多様性に与える影響の評価

遊水地の生物多様性保全機能を評価するため、2016年夏、秋および2017年の春に、遊水地群および周辺の人為的止水域(残存池沼、水路、排水機場)において種多様性および種組成を調査した。対象分類群は、魚類、水生昆虫類、水鳥類、維管束植物類、コウモリ類である。尚、コウモリ類の調査は夏のみとし、個体数の指標となる日平均活動量を調査した。特に残存池沼をリファレンスとし、水域タイプ間で結果を比較した。魚類は、定置網およびかご網を1昼夜設置して採取した。水生昆虫類はタモ網(各調査サイト10地点)で採取した。鳥類調査は、各調査3回サイトを訪問し、定点調査にて半径200m以内に出現した種と個体数を記録した。維管束植物類調査は、水際を中心とする4mの範囲(水域に2m、陸域に2m)にて2m×2mのコドラートを各サイトに複数個(2~9個)設置し調査した。コウモリ類調査は、超音波録音機器(ANABAT)を1台、各サイトに1週間以上設置しコウモリ類の音声を録音した。回収した音声は、コウモリ類の音声構造によって2つのグループに分類し(閉鎖空間を利用する45 kHz周波数帯のコウモリ類と、主に開放空間を利用する25kHz周波数帯のコウモリ類)、録音したデータに含まれる音声パルスから、各グループの日平均活動量を算出した。また環境要因として、水域面積、水際平均水深、年間の水位変動を計測した。

(1-3) 一般市民のGIに対する期待の評価

環境経済評価では、（１）生態系サービスに対する期待の把握を、地域住民や一般市民に対するアンケート調査から明らかにするとともに、（２）生態系サービスに対して人々が抱く経済的価値を選択型実験から明らかにした。またそれに基づいて、（３）新たなGIを建設する際の費用便益比の算出方法についても検討した。地域住民に対する郵送アンケート調査と一般市民に対するWEBアンケート調査は、北海道長沼町民と北海道民（一般市民）を対象とし、遊水地をGIとして利活用することについての期待を把握した。両アンケートには、GIが提供する生態系サービスの経済的価値を把握するための選択型実験の設問も組み込まれており、そこから経済的価値の評価を行った。GIを建設する際の費用便益比の算出方法の検討については、選択型実験の結果と既存の工事関係資料に基づいて検討を行った。

（２）都市景観におけるGI：地域医療と都市住民参加による協働をめざして

（２－１）植生管理と利活用を両立させる手法の検討

麻機遊水地において、利活用と生物多様性保全を両立させる取り組みとして、福祉水田造成の効果、火入れイベントの効果、土壌シードバンク調査プログラムの開発を行った。福祉水田造成の効果検証では、造成前と造成後に植物相調査を行い、種組成を比較した。火入れの効果検証では、火入れ時の温度の測定を行うとともに、冬季の火入れした場所、草刈りのみを行った場所、対照区の間で、春に発生する実生の密度と種数を比較した。また土壌シードバンク調査として、特別支援学校に通う知的障がいをもつ高校生を主体とするプログラムを開発した。

（２－２）利活用ニーズの検討と開発

麻機遊水地に隣接する医療・福祉・教育施設の職員による現在の麻機遊水地の利用実態と目的を把握するとともに、麻機遊水地に抱いている印象を知ることが目的として、職員を対象にした質問紙調査を行った。また、麻機遊水地を活用することの効用を検討し、有効な活用プログラムを開発することを目的として、遊水地散策活動の試行と評価を実施した。活動実施前後にPOMS短縮版による気分プロフィール評価を行った。

（２－３）生態系サービス評価と合意形成への活用

本研究では、ウェブアンケートにより静岡市民の麻機遊水池の利活用のニーズを把握し、市民ニーズに沿った土地利用型を想定し、それぞれの生態系サービスの評価値を算出した。さらに、市民のニーズを捉えた生態系サービスの可視化とこれらの評価を活用した合意形成手法の検討を行うため、市民を対象としたフォーラムにおいて参加者と市民ニーズに関して情報共有を行った。フォーラムでは、麻機遊水地の治水上の重要性和静岡市内の公園整備の現状について情報共有した上で、遊水地の多面的な利活用についての他地域での事例と、多様なニーズの存在と各ニーズによって得られる生態系サービスの価値の相違を紹介した。フォーラムにおける講演前後でアンケートを実施し、情報共有による価値観の変化を検討した。

（３）海岸低地景観におけるGI：津波・洪水氾濫に耐えられる海岸林、水田の応用生態工学的評価

徳島県阿南市北の脇海岸のマツ林において調査を行い、今後生態系サービスを継続するための管理方法を検討した。まず地盤調査およびマツの引き倒し実験により、津波に対する耐力を評価し、また風洞実験と数値流体解析により減風効果・津波低減効果を評価した。また、植生調査を行い、林分構造や実生の種組成等のデータをもとに生態的持続性を評価した。合わせて、GIとしての維持管理のあり方について検討するため、マツ林の所有形態や、地域住民による利用・管理等についてヒアリング等から明らかにした。次に、当地の特徴を浮き彫りにするための比較調査として、海岸マツ林が住民によって自治的に管理されている徳島県海陽町大里地区において、同様に植生調査およびヒアリング調査を行った。さらにマツ林の持続性を担保する社会的仕組みについて検討するため、福岡県福津市のマツ林において、ヒアリング等の調査を行った。

水田等の農地については、食料生産機能のみならず、生物多様性保全機能、洪水調節機能を持つことが知られており、農地をGIとして維持していくためには、まず洪水調節機能を定量的に評価するための手法を開発する必要がある。本研究では内水氾濫解析モデルAFRELを用い、阿南市長生町の大津田川流域の水田・水路網の一部において、水田が宅地化された場合を想定し、内水氾濫解析を行い、土地利用変化が水田の湛水機能に与える影響を評価した。また、徳島県にはナベヅルが飛来するようになってきており、そのハビタットとしての評価を徳島県全域を対象として行った。ナベヅルが利用した空間を目的変数、土地被覆、傾斜などを説明変数として、ナベヅルの潜在的な餌場地の推定モデルを作成した。さらに、農地をGIとして活かしていくための今後の土地利用施策を検討するため、阿南市における近年の建築活動について調査し、またハザードと脆弱性の組み合わせにより市全域を分類した。

（４）北米・欧州GIの特徴と日本型GIへの適用について

米国については、サクラメント川の洪水対策のために整備されたYolo Bypassを視察した。調査は2015年11月30日から12月1日に実施し、まず民間団体であるYolo Basin Foundationを訪れ、湿地の保全・再生が実現した経緯について取材した。現地調査は自然湿地を再生し多くの水鳥や草原性の鳥類が集まる場所、農地または放牧地として利用している場所などにおいて、GIをいかに利活用しながら維持しているかについて視察し、民間団体ならびにCalifornia Department of Fish and Wildlifeの方々との意見交換した。また、人口増加を背景として、持続可能なまちづくりに向けた先進的な取り組みを進めているカナダ・ブリティッシュコロンビア州のサレー市（City of Surrey）におけるGIの取り組みを取材した。調査は2015年12月3日に行い、GI計画を主に担当するEnvironmental ManagerであるStephen Godwin氏をはじめとする市職員から聞き取り、市内のGIの取り組みを視察した。また欧州では、農地を使ったGIが数多く設置されている。調査は2016年10月20～30日に実施し、欧州最大のGIの一つであるデンマーク・中央ユラン地域のスキャーン川河口域、オランダ・フレヴォラント州の湿地再生地区、さらに英国・サマセット州のステアート湿地等を視察し、現地ヒアリングを行った。上記調査の結果を踏まえ、北米・欧州GIの特徴と日本型GIへの適用について検討した。

4. 結果及び考察

（１）農地景観におけるGI：生物多様性と環境経済評価に着目して

（１－１）農地景観におけるGI候補地の選定

（１－１－１）放棄地における生物相調査

調査地点あたりの種数・個体数については、5つの生息地タイプの中で湿原と耕作放棄地が最も高かった。また湿原と耕作放棄地においては、環境省レッドリストで絶滅危惧種に指定されている種を複数確認した。調査した多くの耕作放棄地では、ヨシなどの高茎草本が優占し湿原と類似した植生構造だった。これらのことから、耕作放棄地は人為改変の影響を受けていない湿原と同程度に鳥類の生息地として機能しており、GIとして活用することで、効率的な生物多様性保全が期待できる可能性が示唆された。

（１－１－２）農地景観におけるGI候補地の選定

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）。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、放棄農地量が共に高いエリアが広く分布しており、GI導入に適した地域であることが示唆された。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が期待できるだろう。

町では、遊水地の環境整備や様々な主体の連携を通して本種をシンボルとした地域づくりの検討が行われている。千歳川遊水地群の事例から、遊水地が治水機能のみならず、地域の生物多様性保全や地域社会の活性化といった多様な機能を有するグリーンインフラに成り得ることが明らかとなった。

（１－３）農地GIの環境経済学的評価

地域住民に対する調査の結果、舞鶴遊水地をGI化することのメリットについて、観光客の増加に貢献しそう、子ども達の環境教育に貢献しそうと回答した割合は、それぞれ回答者の35.3%と46.4%であったが、この割合は農業従事者で低かった。一方、舞鶴遊水地をGI化することのデメリットについては、同意する割合が農業従事者で高かった。農業従事者の方がGI化について否定的な見解を示しており、GIに対する評価は均一ではないと言える。選択型実験によって、遊水地をGI化することにより提供される生態系サービスの経済的価値を評価した結果、例えば、タンチョウが飛来することに対して、一部の地域住民や一部の一般市民は2,000円前後の支払意志額を有していることが明らかになった。一方、一部の地域住民はGI化に強く反対であり、また一部の一般市民はGI化にあまり興味を持っていなかった。遊水地をGI化することは人々に全面的に肯定されている訳ではなく、GI化には慎重な合意形成が必要と考えられた。費用便益分析については、受益範囲の設定が結果に影響を与えるとともに、費用便益分析だけでなく、費用と便益の受益者の公平性の確保が課題となることが示唆された。

（２）都市景観におけるGI：地域医療と都市住民参加による協働をめざして

（２－１）植生管理と利活用を両立させる手法の検討

福祉水田では、水田造成前後で確認できる植物が5種から35種に増加し、絶滅危惧種も0種から5種に増加した。水田造成が適度な攪乱として多様性の回復に寄与したものと考えられる。火入れの効果も顕著であり、火入れを行った場所では、草刈りのみを場所の約6倍、対照区の約20倍の密度での在来植物の実生発生が認められた。

土壌シードバンクの調査では、ミズアオイなど土壌採取場所の地上植生では確認できなかった植物の生存種子が確認された。これらの植物は特別支援学校において育成され、新たな種子生産・散布により種子密度が高くなった土壌とともに遊水地での自然再生事業に活用された。これらのプログラムに参加した生徒からは、湿地の植物の生態や遊水地の機能についての理解が深まったことを示す感想が得られた。以上のことから、遊水地の利活用のプログラムを工夫することで、生物多様性保全、植生遷移の抑制（治水にも効果）、教育に寄与するサービスが得られることが示された。

（２－２）利活用ニーズの検討と開発

遊水地に隣接する施設で勤務している職員であっても、約75%の人は過去も含め遊水地に訪問したことが無いことがわかった。また遊水地を「美しい」「身近である」「好きである」と感じる傾向に対し、遊水地への訪問経験が正に寄与することが示唆された。

麻機遊水地を1時間程度散策することで、緊張 - 不安、抑うつ - 落ち込み、怒り - 敵意、疲労の4種のネガティブな感情が有意に低下していた（図3）。本結果には散策による運動効果も含まれてはいると思われるが、緑地で過ごすことによる心理的效果を示唆する先行研究と矛盾しない結果であり、遊水地の散策利用により十分な心理的效果が得られることが示唆された。

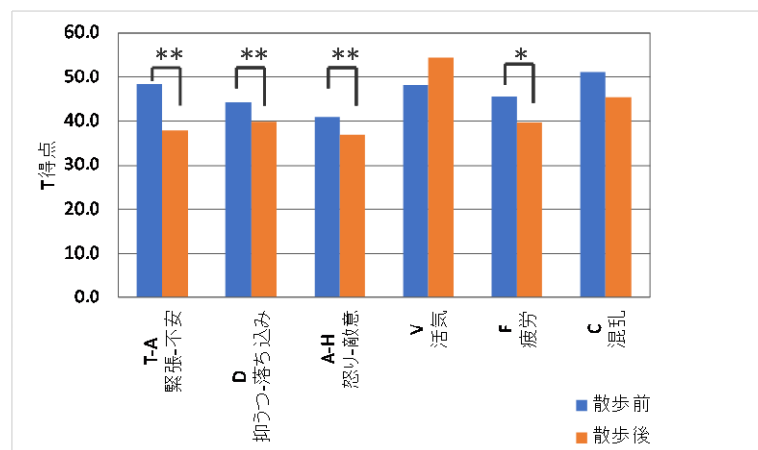


図3 散歩前後における気分状態の変化(n=13)

(2-3) 生態系サービス評価と合意形成への活用

ウェブアンケートの結果を用いたコンジョイント分析の結果、「生態系利用型」のグループ、湿地とヨシ原を重視する「自然保護型」、スポーツ施設を積極的に整備する「運動公園利用型」に加え、全ての選択肢で何もしないと回答した「積極的管理なし」の4つの市民ニーズを指向が認識された。市民を対象としたフォーラムでこれらの情報を共有することで、運動公園を大幅に拡大するなどの極端な意見が減少し、より中庸な意見が増加する変化が認められた。この変化は、他者の意見を認め、合意形成をより容易にするものと考えられる。

(3) 海岸低地景観におけるGI：津波・洪水氾濫に耐えられる海岸林、水田の応用生態工学的評価

工学的な評価の結果、徳島県阿南市の対象地は十分な地盤強度を持つこと、また幅30m程度のマツ林維持により減風効果は保たれることが分かった。阿南市のマツ林は市有地および民有地に分かれ、市有地では、行政主体で小規模な管理事業が行われているが、住民のマツ林に対する管理意識は低く、一方民有地ではまったく管理がなされておらず、現状のままではマツ林の維持は困難な状態であった。この結果は、今後海岸林の減災機能を持続させるためには、高木性種主体の広葉樹林への誘導も視野に入れていく必要がある事を示唆している。一方、海陽町のマツ林は、大里部落という自治組織により自律的管理が行われ、共有林として維持されており、地域住民の間で土地所有の認識、生態系サービスに関する価値認識が共有されていた。しかし植生調査の結果、後継樹が不足しており、住民のマツ林に対する意識の高さに関わらず、それが生態的な持続性に結び付いていないことが分かった。福津市での調査からは、地域住民を主体とした協議会の設置、WSの開催等を通しての住民意識の変化、市の総合計画にマツ林保全が盛り込まれた過程等が明らかになり、行政、地域住民等の関係する主体同士が多様性を生かしながら積極的に関与し問題解決を図るしくみ、すなわちガバナンスが適切に機能することが重要であることが示された。

水田での氾濫解析モデルの検討の結果、AFRELと実績水深との誤差は0.2m程度となり、AFRELが洪水調節の定量評価に利用可能であることが示された。水田の一部が宅地に転用された場合のシナリオでは、ピーク時の湛水量が30万 m^3 以上減少し、この減少分が下流にある桑野川に流し込まれることが示され、水田の宅地転用が河川の負担を増加させ、下流域での災害リスクを高めることにつながる可能性が示唆された。ナベヅルの餌場適地モデルには畑・水田率が最も大きく寄与し、さらに餌場適地は浸水想定区域と一致した。ナベヅルは、世界での生息数は12,000羽程度（2006年）であり、そのうち10,000羽以上が出水市（鹿児島県）に飛来・越冬しているため、環境省は鳥インフルエンザ等のリスク回避のため、越冬地を分散させる必要があるとしている。本研究の結果は、こうした希少な鳥類のハビタットとしての水田を保護することが洪水リスクの減少にもつながることを意味する。また阿南市における近年の建築活動の調査の結果、市街化調整区域内においても宅地化されている面積がかなり広いこと、ハザードと脆弱性の組み合わせから市全域が4つのゾーンに分類でき、それぞれで異なる土地利用施策が必要である

ことが明らかになった。

（４）北米・欧州GIの特徴と日本型GIへの適用について

日本における農地・都市そして海外GIに関する研究成果から、今後GIを普及させていくためには、GIの①防災・減災機能のみならず、②生物多様性保全や、③植生遷移を抑制するための維持管理、④地域の産業との共存をいかに実現していくかが重要な課題であることが明らかになった。これらの視点から北米・欧州の事例を検討した。

北米の事例は、GIの防災機能や雨水貯留機能について注目したものが多い。たとえば、米国サクラメント川Yolo Bypassは（図4）、洪水管理（①）のために州が農地を買い上げて確保した。②、③、④の目的については、州が設定したWildlife Area内でNGOと州政府による湿地再生、州政府と農業者による農地湛水や牧畜を許可することによって、樹木の侵入を防ぎ草地として維持すること、さらに地域産業である農業の維持に貢献している。日本の舞鶴遊水地、渡良瀬遊水地、麻機遊水地など、氾濫原の湿地再生を進めている場所では、適度な攪乱を維持しながら植生遷移を抑制して樹林化を防ぐ仕組みが課題になっているが、北米の事例では、水田耕作や放牧による攪乱、湛水によるストレスで植生遷移を抑制し、保全上価値の高い湿地の維持に成功している。またGI管理を実現するためには、市民参加型のガバナンスが必要であるが、ここでは国、州政府、農家、NGO、学校が協働して参画しており、日本の遊水地管理を考えるうえでお手本になりうる。また、人口増加・経済成長過程にあるカナダ・ブリティッシュコロンビア州のサレー市では、GIの雨水貯留機能に着目し、同時に多様性を保全するため、都市に残る自然生態系をGIと位置付けている（①②）。拠点となる重要な自然地、そしてそれらをネットワーク化するコリドーを地図化して、市民の理解促進も兼ねインターネットで公開していた。これにより、限られた予算の中で守るべき自然地を確実に守りつつ、必要な開発は効率良く進めていくことを実現していることがわかった。

欧州では、生物多様性保全（②）を目的とするNatura2000やLIFE等のEU自然保護政策、エコロジカルネットワーク構想とリンクさせてGIを位置づけている事例が多い。欧州最大の氾濫原再生を実施したデンマークのスキヤーン川では、加えて農業の維持に力点が置かれ（④）、オランダ・フレヴォラント州の湿地再生地区では、木本侵入による樹林化を防ぐため、草食獣としてウシ、ウマ、シカを導入している（③④）。さらに英国のステアート湿地では、気候温暖化による洪水増加への適応策として湿地が創出され、湿地での放牧をとおして伝統的な肉牛品種の系統保存や肉のプレミアム化等が図られていた（④）。

日本でもGIの考え方を踏まえた土地利用計画を実現するためには、生物多様性地域戦略を、地球温暖化への適応策や国土強靱化地域計画などと綿密にリンクさせ、さらに地域産業を保全し、地域住民とともにGIを維持管理していく方策をとることが重要になると考えられる。

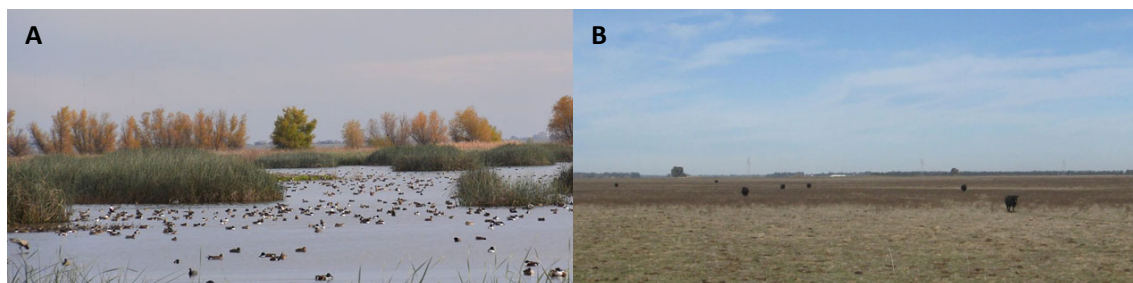


図4 米国Yolo Bypass内の湿地再生区（A）および放牧地（B）

5. 本研究により得られた主な成果

（１）科学的意義

（1－１）農地景観におけるGI：生物多様性と環境経済評価に着目して

- 未利用地である放棄農地が高い生物多様性を有しており、農地景観でのGIに利

用することでその多面的機能の発揮に貢献する可能性がある事が示された。

- 農地景観の既存GI（遊水地）の動植物相の調査から、造成初期の遊水地が氾濫原や干潟的環境を創出することで、地域の生物多様性向上に寄与することが示された。
- 遊水地施工予定地の表層に含まれる多くの湿地性の在来種の多くは切り下げにより失われるため、遊水地内の植物群落の再生には、遊水地外からの種子散布が重要であることが示された。また遊水地外からの湿地植生の種子散布には流入水路を介した水散布が重要であり、特に攪乱依存性の湿地性植物種の種子供給に寄与していることも明らかになった。
- 農地景観内でGIが提供する生態系サービスの経済的価値を定量化し、また潜在クラスモデルを用いることで合意形成に不可欠な人々の選好の多様性に関して把握できることを示した。

（1－2）都市景観におけるGI：地域医療と都市住民参加による協働をめざして

- 生態系サービスの評価を目的とした研究において、生物生産や防災などの評価は多く行われるようになってきた。しかし、人の健康への直接的な効果の検証はきわめて不十分であった。本研究では、遊水地の利活用プログラムを開発するとともに、そこに参加した人への聞き取り調査、アンケート、心理テストなどを通じて、生物多様性の高い遊水地の利活用が緊張、抑うつ、怒り、疲労の軽減など、心理・気分状態に正の効果をもたらすことが検証できた。これは保全生態学と心理学の融合という新しい分野を切り開く科学的にも重要な成果である。
- フォーラム講演を通してGIの持つ生態系サービスの価値を定量的に住民に示すことで、多様なニーズの存在やそのニーズに沿った土地利用で得られる生態系サービスに違いがあることを住民に伝えることができた。結果として、自分と異なる意見を容認する住民が増えることでGI計画時の合意形成が容易になる可能性が示された。

（1－3）海岸低地景観におけるGI：津波・洪水氾濫に耐えられる海岸林、水田の応用生態工学的評価

- 地域間比較により海岸マツ林の持続性について植生学的・社会的評価を行った。ここで用いた評価手法・視点は、グリーンインフラを社会-生態システムとして評価する上で重要なものとなる。
- 海岸マツ林の社会的持続性を担保するためのガバナンスの重要性を示した。
- 海岸マツ林の根返りに対する耐力測定を行い、評価手法を構築した。また、風や津波の減衰効果を風洞実験及び数値流体解析により明らかにした。
- 海岸マツ林の維持に必要な環境を明らかにし、持続可能なマツ林への誘導・管理方法を提案した。
- 水田の洪水調節機能の定量的評価にAFRELを用いることの有用性を示し、土地利用変化に伴い洪水リスクを高める可能性があることを明らかにした。
- ナベヅルの餌場適地モデルを構築し、餌場が洪水氾濫域と重なることを示した。
- 徳島県の浸水想定区域内において、農地が減って宅地が増加し、洪水による被害が大きくなるような土地利用選択が行われていることを明らかにした。
- ハザードと脆弱性の組み合わせについてシミュレーションを行い、対象地域をゾーンに分け、今後の土地利用施策を提案した。

（2）環境政策への貢献

＜行政が既に活用した成果＞

- 舞鶴における、遊水地の生物多様性保全機能を活かした地域づくりに関する取組は、「これからの時代の地域デザイン」（国土交通省国土政策局 平成29年3月）において先進的なGIの活用事例として紹介された（http://www.mlit.go.jp/report/press/kokudoseisaku03_hh_000107.html）。
- 遊水地の多面的な機能を引き出す麻機遊水地での取り組みは、「生態系を活用した防災・減災に関する考え方」（環境省自然環境局 平成28年2月）において、防災施設を活用して地域活性化に寄与している事例として紹介された（<http://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr/pamph01.pdf>）。

- 徳島県治水及び利水等流域における水管理条例（H28年12月22日公布）において、農地等のグリーンインフラとしての活用等に係る以下の条文を盛り込むよう働きかけ、第28条に書き込まれた。『農地、森林等を所有し、又は使用収益する権限を有する者は、その土地が有する雨水を浸透させ、及び保持する機能の保全に努める。2. 県は、農地、森林その他の雨水を浸透させ、及び保持する機能を有する土地並びに当該機能の保全のために必要な事項を明らかにするものとする。3. 県は、流域における生態系の有する洪水等及び津波による浸水被害を防止し、又は軽減する機能が持続的に発揮されるよう、生態系の保全及び再生に資する必要な支援に努めるものとする』

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 明らかにしたGI導入候補地（北海道スケール）の選定結果は、今後農地内でGIを導入するのに効果的な地域を検討する際の基礎情報となることが期待できる。
- GI（遊水地）が提供する生態系サービスの経済的価値を明確にしたことで、今後のGI推進に際して、GIが社会経済的に意義のある事業であることを定量的に示すことができる。また、GIが提供する生態系サービスの経済的価値を費用便益分析に組み込む手法を提示したことで、今後の公共事業での活用が期待できる。
- 今後の環境政策において、国連持続可能な開発目標（SDGs）への取り組みは重要度を増すものと考えられる。本研究で明らかにした、「防災のために整備された場において、生物多様性を保全しつつ、人の心の健康に寄与する利用が実現できる」という事実は、SDGsにおける目標3（健康・福祉）、目標11（住み続けられるまちづくり）、目標15（陸上の生物多様性保全）が同時あるいは相乗的に発揮できることを示すものであり、今後の政策への活用が期待できる。
- 徳島県阿南市における近年の建築活動や浸水想定区域との関係について明らかにしたことによって、今後農地をGIとして活かしていくための土地利用施策として活用されることが期待できる。

6. 研究成果の主な発表状況

（1）主な誌上発表

<査読付き論文>

- Hanioka M, Yamaura Y, Yamanaka S, Senzak Mi, Kawamura K, Terui A, Nakamura F: Biodiversity and Conservation, How much abandoned farmland is required to harbor comparable species richness and abundance of bird communities in wetland? Hierarchical community model suggests the importance of habitat and landscape variables. (in press)
- Osawa T, Yamanaka T, Nakatani Y, Nishihiro J, Takahashi S, Mahoro S, Sasaki Y: Biodiversity Data Journal, A crowdsourcing approach to collecting insect and plant observation records. (in press)
- Muto Y, Kotani S, Miyoshi M, Kamada M, Tamura T: Proceeding of the IHAR-APD 2018, abstract accepted (2018), Retarding Capacity Change of Wetland Paddy Fields due to House Land Development - toward Wise Land Use against Flood Utilising Paddy Fields as Green Infrastructure -.
- 市東美里、古賀和子、西廣淳、岩崎寛：緑化工学会誌，43，267-270（2017），都市緑地における自然観察プログラムと健康プログラムの連携実施が参加者の意識や心理に与える影響
- Kamada M, Muto Y, Imai Y: E-proceedings of the 37th IAHR World Congress, 7pp (2017), Paddy fields as green infrastructure.
- Morimoto J, Shibata M, Shida Y, Nakamura F: Restoration Ecology, 25, (6), 1005-1014 (2017), Wetland restoration by natural succession in abandoned pastures with a degraded soil seed bank.
- 佐々木剛，丹羽英之，朝波史香，鎌田磨人：日本緑化工学会誌，43，1，51-55（2017），小型UAVを

用いた海岸マツ林の林床光環境の推定

- 8) Senzaki M, Yamaura Y, Shoji Y, Kubo T, Nakamura F: Biological Conservation, 214, 1-5 (2017), Citizens promote the conservation of flagship species more than ecosystem services in wetland restoration.
- 9) Yamanaka S, Akasaka T, Yabuhara Y, Nakamura F: Agriculture, Ecosystems and Environment, 249, 31-37 (2017), Influence of farmland abandonment on the species composition of wetland ground beetles in Kushiro, Japan.
- 10) 野田稔、末廣聖志、新谷尚人、長尾文明：第24回風工学シンポジウム論文集、127-132 (2016), 多層格子の圧力損失特性および減速効果の風洞試験～マツ林の流体力学的機能の基礎的検討～

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) 石山信雄、末吉正尚、油田照秋、小泉逸郎、赤坂卓美、中村太士：第65回日本生態学会 (2018) 「改変氾濫原における湖沼ネットワークの重要性」
- 2) 今井洋太、渡辺公二郎、鎌田磨人：ELR2017 (2017) 「浸水想定区域内の法的土地利用区分に基づく地域累計-農地が持つ洪水調節機能を活かせるか? -」
- 3) 鎌田磨人、中静透、八元綾、中村太士、一ノ瀬友博：日本生態学会第64回大会 (2017) 「グリーンインフラ・ECO-DRRと生態学」
- 4) 森本淳子、畔柳昌仁、志田祐一郎、矢部和夫、中村太士：日本生態学会第64回大会 (2017) 「遊水地における湿生植物群落の再生-北海道舞鶴遊水地の事例-」
- 5) Nishihiro, J, Annual meeting of Ecological Society of America, 2017 “Nature restoration and human welfare: research and practices for vegetation restoration through cooperation with disability people”
- 6) 朝波史香、佐々木剛、鎌田磨人：第26回日本景観生態学会大会 (2016) 「グリーンインフラとしての海岸マツ林の持続性評価—地域社会の視点から」
- 7) 上野裕介、大澤剛士、西廣淳：応用生態工学会第20回大会 (2016) 「グリーンインフラが有する多機能性を、いかにして引き出すか? 麻機遊水地での防災・生物多様性・健康・地域活性化の取り組み」
- 8) 佐々木剛、朝波史香、鎌田磨人：第26回日本景観生態学会大会 (2016) 「グリーンインフラとしての海岸マツ林の持続性評価—生態学的視点から」

7. 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、博士 (農学)、現在、北海道大学大学院農学研究院教授

研究分担者

- 1) 森本 淳子

京都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

- 2) 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

- 3) 西廣 淳

筑波大学大学院生物科学研究科修了、博士 (理学)、現在、東邦大学理学部准教授

- 4) 鏡味 麻衣子

京都大学大学院理学研究科修了、博士 (理学)、現在、東邦大学理学部准教授

- 5) 下野 綾子
東京大学大学院農学研究科修了、博士（農学）、現在、東邦大学理学部講師
- 6) 鎌田 磨人
広島大学大学院生物圏化学研究科修了、学術博士、現在、徳島大学大学院理工学研究部教授
- 7) 武藤 裕則
京都大学大学院工学研究科修了、Ph. D、現在、徳島大学大学院理工学研究部教授
- 8) 渦岡 良介
京都大学大学院工学研究科修了、博士（工学）、現在、徳島大学大学院理工学研究部教授
- 9) 野田 稔
徳島大学大学院工学研究科修了、博士（工学）、現在、徳島大学大学院理工学研究部教授

II. 成果の詳細

II-1 農地景観におけるGI：生物多様性と環境経済評価に着目して

・研究分担者

国立大学法人北海道大学 中村太士
森本淳子
庄子康

・その他の研究協力者

石山信雄（平成28～29年度）、山中聡（平成28～29年度）、赤坂卓美（平成28～29年度）、小林慶子（平成28年度）、

・実施期間と予算

平成27年度～29年度累計予算額：45,928千円（うち平成29年度：15,098千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

日本の国土における平野の割合は約30%であるが、その半分以上を占めるのが農地である。こうした農地は、利水の必要性から一般に河川周辺に広く分布している。これは農地やその周辺の居住地域が洪水のリスクに晒される可能性が高いことを示唆しており、GI導入の可能性を検討していく必要性が高いエリアといえる。また、既存のグレイインフラとGIは対立概念ではなく、互いの機能を相補的に補いながら併用することが望ましいため、GIによる国土管理を推進するには、農地景観に関わらず新たに導入する場所の確保が必要となる。未利用地はその理想的な候補と言えるだろう。そこで本研究では、農地景観でのGI導入の可能性を検討するにあたり、近年全国的にも増加しつつある“耕作放棄地”（以降、放棄地）に着目した。

本研究ではまず、北海道において放棄地のGI活用の可能性とGI導入候補地の検討を行った。その結果、放棄地は湿地に匹敵する鳥類多様性を有しており、GIに有効利用できる可能性が示された。また、災害リスク、生物多様性、放棄地量の重ね合わせの結果、洪水氾濫を対象としたGIの導入候補地は、大川（例：石狩川、天塩川）の下流域に集中することが分かった。続いて、北海道・千歳川流域に建設されている遊水地群を対象に、GIとして多面的機能の有無の検証を行った。建設初期の千歳川遊水地群での動物相調査では、既存の生物群集とは異なる組成が認められ、生物多様性保全機能を有するGIとしての重要性が支持された。また、遊水地での湿地植生の再生は、その保全機能を最大限発揮させるために重要となる。調査の結果、遊水地施工予定地の表層に含まれる湿地性の在来種の多くは切り下げにより失われるため、遊水地内の植物群落の再生には外からの種子散布が重要であり、その供給は用水路を介した周辺農地からの流水散布で主に維持されていることが明らかとなった。また、遊水地内部の植生調査の結果、水位の多様化が、再生してくる湿地性植物群落の多様化につながることも示された。こうした豊かな生物を育む遊水地の価値を環境経済学的視点から評価した結果、職業や地域間で差はあるものの遊水地が高い経済的価値を持つことが示され、特に潜在クラスモデルと呼ばれる手法を用いることで、人々の選好の多様性を把握し合意形成に資する情報を把握できることが示された。また、GI化することの便益（タンチョウの飛来など）は一般市民に広く及ぶことでB/Cの増加に寄与する一方、費用（鳥インフルエンザ発生リスク等）は町民の一部の人々に発生する可能性が高く、それを補償する仕組みを検討する必要があることが示唆された。

【キーワード】

放棄地、生物多様性保全、多面的機能、植生再生、生態系サービス、選好の多様性

1. はじめに

気候変動に伴う大雨災害等の大規模な自然災害が顕在化する中、日本政府は国土強靱化基本法を制定した。一方で、上昇を続けてきた日本の人口は、2011年以降減少に転じており、特に地方の人口減少は深刻である。例えば北海道の道東や道北の人口は、2005年から2035年で約40%低下することが予想されている。こうした人口減少は税収の減少を意味しており、これまで防災のために建設・維持してきた社会資本への投資が将来減少する可能性を示唆している。さらに戦後復興期や高度経済成長期に作られた道路、鉄道、水道などの社会資本はすでに老朽化し、2037年度には維持管理・更新費が投資総額を上回り、必要な更新費が得られなくなるという試算も明らかにされている。

こうした気候および社会条件の変化の中、防災・減災のための持続的なツールとして、国内外から注目を浴びているのが“グリーンインフラ（GI）”である。GIとは、生態系が持つ多様な機能と環境変化へのレジリエンスを活かすことで、持続可能な社会と経済の発展に貢献するインフラ、土地利用計画を指す（引用）。EUではGIの活用が先進的に議論され、2013年5月国土計画に体系的に組み込むことを目指す新たな戦略が承認された。また日本においても、首相が2014年2月の衆議院予算委員会で「我が国の豊かな自然を活用しながらGIの整備を進めていくことは、経済、社会両面で有効であり、重要である。GIという考え方を取り入れて、将来世代に自然の恵みを残しながら、自然が有する機能を防災、減災等に活用していきたい。」と述べている。GIが今後の防災・減災対策に広く導入可能か判断する材料を蓄積するためにも、GIが導入可能な地域やGIが持つ生物多様性保全機能、経済的な価値を検証していく必要がある。

日本の国土における平野の割合は約30%であるが、その半分以上を占めるのが農地である。こうした農地は、利水の必要性から一般に河川周辺に広く分布している。これは農地やその周辺の居住地域が洪水のリスクに晒される可能性が高いことを示唆しており、GI導入の可能性を検討していく必要性が高いエリアといえる。また、既存のグレーインフラとGIは対立概念ではなく、互いの機能を相補的に補いながら併用することが望ましい。そのため、GIによる国土管理を推進するには、農地景観に関わらず新たに導入する場所の確保が必要となる。未利用地はその理想的な候補と言えるだろう。そこで本研究では、農地景観でのGI導入の可能性を検討するにあたり、近年全国的にも増加しつつある“耕作放棄地”（以降、放棄地）に着目した。

2. 研究開発目的

本研究では、農地景観におけるGI導入の可能性を検討するため、北海道において以下の3点を明らかにすることを目的とした。1点目は、放棄地のGIとしての利用可能性を明らかにすることであり、その達成に向け、放棄地のGIとしての利用上の生態学的利点と、放棄地に着目した導入候補地の検討を行った。2点目は、既存GIが持つ防災・減災機能以外の機能（生物多様性保全）とその管理策を明らかにすることであり、既存GIの動植物相や植物の種子供給形態について調査を行った。3点目は、環境経済学的視点からGIを導入するための地域合意とモニタリング手法を開発し、国土形成に果たすGIの役割を明らかにすることであり、既存GIへの地域住民の期待や経済的価値、費用便益比の算出法について検討した。尚、目的2および3の既存GIに関しては、治水施設として建設された千歳川流域の遊水地群に着目して研究を行った。

3. 研究開発方法

（3-1）農地景観におけるGI候補地の選定

放棄地のGIとしての利用可能性を検証するため、北海道全域において、生物相の調査（鳥類群集）、およびGI導入候補地域の検討を行った。

（3-1-1）放棄地における生物相調査

放棄地のGIとしての利用上の生態学的利点を明らかにするため、放棄地の生物相を湿地性鳥類に着目

して評価した。対象域は北海道全域とし、鳥類の繁殖期(5月-7月)に調査した。北海道を30 km四方のグリッドに区切り、気候がばらつくように繁殖期間の平均気温と平均降水量が異なる13グリッドを調査対象地域とした。グリッド内に含まれる、湿原、耕作放棄地、牧草地、畑、水田の各生息地タイプについて、グリッド内にそれぞれ1-3か所、全道で117か所の調査地点を設置した。調査地点内(面積は3 ha)に生息する鳥類をテリトリーマッピング法により記録した。人為的影響土地利用を受けていない湿地をリファレンスと位置づけ、耕作放棄地と他の生息地タイプ間で観察された種数と個体数を比較した。

(3-1-2) 農地景観におけるGI候補地の選定

放棄地マップ(平成27年度作成)、洪水氾濫リスクマップ(平成27年度作成)、生物多様性マップ(鳥類:Higa et al. (2015)¹⁾、植物:平成29年度作成)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。放棄地の抽出には、国土数値情報の2006年と2009年の土地利用細分メッシュデータを用い、2006年から2009年の間に農地から森林や荒地に変化したメッシュを放棄地として抽出し、放棄地発生率を求めた。洪水氾濫リスクは、国土交通省および都道府県で定める洪水予報指定河川と水位周知河川において作成された、浸水想定区域図を収集することで作成した。鳥類多様性マップには、北海道スケールで行われたHiga et al. (2015)¹⁾での湿地性鳥類に関する推定値を使用した。植物多様性マップの作成のため、北海道内の湿生植物の分布データを収集した。尚、収集は北海道立総合研究機構 環境・地質研究本部環境科学センターの協力のもと行った。同センターにて収集された植物の分布データから、低層湿原および水田雑草群落の指標種とされる草本類を抽出し、観測年と観測された位置情報を確認した。上記の抽出した草本類のうち、のべ40メッシュ以上で在データが存在する42種を対象とし、発見率を考慮した各種の出現確率モデルを構築した。説明変数として、湿地、草地、畑地、水田の面積と標高、TWI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氾濫リスクがある地域のみを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)が上位のメッシュ(上位40%)を生物多様性が高い場所として選出した。最後に、放棄地の多い場所程保全コストが抑えられると仮定し、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)。

(3-2) 農地GIの生物多様性保全機能の評価

北海道石狩川水系の千歳川流域では、平成20年度より洪水時の河川流量を調整するための6つの遊水地の整備が進められている(総面積:約1,150ha;総洪水調節容量5,000万m³)。遊水地の生物多様性保全機能やその具体的な管理策を明らかにするため、遊水地群および周辺の人為的な止水環境において植物相や種子供給源、動物相の調査を実施した。

(3-2-1) 遊水地における湿地植生とその再生技術開発に向けた評価

石狩川水系千歳川流域に計画された遊水地群のうち、2015年度に供用開始された舞鶴遊水地において、湿原再生の技術的開発とその評価をすることを目的に、①深度別土壌シードバンク(SB)調査、②遊水地内に設けた野外実験地における植生モニタリング、③遊水地内に再生してきた湿地性植物群落の調査を行い、舞鶴遊水地を含む4つの千歳川遊水地群と流域内の残存湿地を対象に、④種子散布の調査、を行った。

① 深度別土壌SB調査

遊水地整備は、通常、掘削工事を伴うため、過去に堆積した古い土層が露出する。湿地再生の基盤である土壌の質を確認するため、腐植層(現代)、泥層(近代)、泥炭層(古代)の深度別に、土壌水分条件2水準(湿潤・湛水)を設け、温室で土壌まきだし実験を行った。土壌は2014年12月に採取し、2015年1月に約1cm厚で絶乾消毒した基盤土の上に4反復でまきだした。底面吸水とし、湿潤条件は地表面まで、湛水条件は地表面より1cmの水位を保った。出芽が開始した2015年2月から8月上旬まで2週間毎にカメラ

撮影と出現種の記録を行った。また、まきだした土壌と同じ深度の土壌を2015年7月に採取し、炭素年代測定法で暦年代を測定した。

② 野外実験地における植生モニタリング

舞鶴遊水地周辺には農地が広がり、農業用水路と河川を介して遊水地と繋がっている。遊水地内に約0.17ha (25m×66m) の実験地を設け、計画敷高4.1m標高を基準とし、3段階の掘削面を設けた(図(1)-1)。上段と中段は泥層(近代)、下段は泥炭層(古代)にあたる。実験地には、常時、河川から水が流入し自然排水されている。掘削は2014年12月に行い、モニタリングは2015年5月から開始した。3段階の掘削面のうち、水位0cmの上段は6月下旬から植物の再生が始まった。水面下の中段(水位-30cm)と下段(水位-60cm)については、陸上からは植物の再生が観測できなかった(2015年9月時点)。実験地の地表面はぬかるみ、立ち入って調査することで地表面をかく乱する恐れがあったため、自作のリモートカメラ(ジンバルをつけたGoProに伸縮ポールを組み合わせたもの)で、上段に再生してきた植物のモニタリングを行った。2015年9月、5m間隔に計測用のラインを7本設け、ラインの上と下で、地表面にむけて1ラインあたり6点(2.16m²)で撮影を行った。持ち帰った写真と、実験地周辺で採集した植物の標本から、種同定を行った。再生してきた植物群落の組成を、過去に湿地が卓越していた時代の植物群落の組成と比較するため、2015年7月に泥層と泥炭層から採集した土壌の植物遺体分析ならびに珪酸体分析を、業者に委託して行った。

③ 再生してきた湿地性植物群落の調査

2016年7月から9月、北海道長沼町の舞鶴遊水地において、植生調査および環境調査を行った。周囲堤内部の標高4.1m以下に掘削されている部分のほぼ全域を対象とし、2m×2mの方形区を50m以上の間隔で51地点設置し、各方形区につき1回の計測を行った。植生調査では出現した維管束植物の種と被度を記録し、環境要因調査では、表面水のEC(電気伝導度)、D0(溶存酸素量)、pH、Eh(酸化還元電位)、土壌中の水分のEh、水位を計測し、掘削からの経過年は施工図面から読み取った。出現した植物種は、水生植物(抽水・浮葉・浮遊)と陸生植物(湿生・乾生)に分類し、外来種・在来種の別も確認した。さらに、まず、上記の調査で得られた植物の被度情報に基づき、TWINSPANで植物群落の抽出および、方形区の植物群落による方形区の分類を行った。つぎに、分類された群落の成立している地点間における環境要因の差異をKruskal-Wallis検定で明らかにした。最後に、群落間で有意差が認められた環境要因と種組成データを用いて正準対応分析(CCA)による方形区の序列化を行った。

④ 遊水地群における種子散布の調査

北海道千歳川流域に存在する4カ所の遊水地サイトと、天然の止水域2カ所の湿地サイトにおいて種子採集を行った。水散布種子採集と風散布種子採集にはシードトラップを用い、鳥散布種子採集は調査地点に落ちている鳥のフンを拾った。採集した種子は温室にてまきだし実験を行い、発芽した実生の個体数と種を記録した。環境変量として、調査地点近傍(半径10m圏内)の湿地性植物の種数(種)とその割合(%)、農地履歴年数(年)、調査地点の水路上流1、3、5kmの両側200m圏内の湿地率(%)、水田率(%)、農地率(%)を算出した。これらのデータを用いて、散布された種子の個体数を比較する為にWilcoxon順位和検定を行った。また、種組成の違いとその要因を明らかにする為に傾向化除去対応分析(DCA)を用いて実生の種組成を序列化し、抽出した軸のスコアと環境変量との相関係数を算出した。相関の高かった変量を用いて正準化対応分析(CCA)による序列化を行った。環境変量の算出及びDCA・CCAは、解析に耐えうるデータ量が確保できた水散布のみで行った。

(3-2-2) 遊水地が地域の生物多様性に与える影響の評価

遊水地の生物多様性保全機能を評価するため、2016年夏(7月)、秋(9月)および2017年の春(5月)にかけて、遊水地群および周辺の人為的止水域(残存池沼、水路、排水機場)において種多様性および種組成を調査した。各水域のサイト数は4〜5箇所である。対象分類群は、魚類、水生昆虫類、水鳥類、維管束植物類、コウモリ類の計5分類群であり、在来種のみを解析対象とした。尚、コウモリ類の調査は夏のみとし、個体数の指標となる日平均活動量を調査した。調査した景観は開発が進んだ農地景観であり、原生的な水域環境はほとんど存在していない。そのため、調査水域の中でも、比較的自然度の高い

残存池沼をリファレンスと位置づけ、水域タイプ間で結果を比較した。

魚類は、定置網（直径0.4m、袋長2m、袖長6m）およびかご網（全長48cm、高さ25cm、幅25cm）を1昼夜設置して採取した。水生昆虫類は、各調査サイトに10地点ずつ採取地点を設け、タモ網により水中をスウィーピングして採取した。鳥類調査は、各調査3回サイトを訪問し、定点調査にて半径200m以内に出現した種と個体数を記録した。維管束植物類調査は、水際を中心とする4mの範囲（水域に2m、陸域に2m）にて2m×2mのコドラートを各サイトに複数個（2～9個）設置し調査した。また解析には1コドラートあたりの出現種数およびその被度を調査サイトごとに算出して用いた。コウモリ類調査は、超音波録音機器（ANABAT）を1台、各サイトに1週間以上設置しコウモリ類の音声を録音した。回収した音声は、コウモリ類の音声構造によって2つのグループに分類し（閉鎖空間を利用する45 kHz周波数帯のコウモリ類と、主に開放空間を利用する25kHz周波数帯のコウモリ類）、録音したデータに含まれる音声パルスから、各グループの日平均活動量を算出した。また環境要因として、水域面積、水際平均水深、年間の水位変動を計測した。水際平均水深は、水際10点で計測した水深の平均値とし、年間の水位変動は春、夏、秋の各季節の水位から標準偏差を求めることで算出した。

（3－3）遊水地の環境経済学的評価

（1-2）では既存の農地GIの多面的機能を自然科学的視点から評価したが、加えて環境経済学的視点からの評価を実施した。遊水地が有する生態系サービスに対する期待を、地域住民や一般市民に対するアンケート調査から明らかにするとともに、生態系サービスに対する経済的価値を選択型実験から明らかにした。またそれに基づいて、新たなGIを建設する際の費用便益比の算出方法についても検討した。

地域住民に対するアンケート調査は、北海道長沼町民を対象としたもので、舞鶴遊水地の利活用について長沼町民の期待を把握した。2016年1月に長沼町の広報（各戸に配布）に折り込み、4,462部を配布、473部を回収した。一般市民に対するアンケート調査は、北海道民（一般市民）を対象としたもので、舞鶴遊水地と同じような遊水地をGIとして利活用することについて、一般市民の期待を把握した。2015年11月20-24日に（株）日経リサーチを通じて実施し、7,682名に依頼、1,206名から回答を得た。両アンケートには、GIが提供する生態系サービスの経済的価値を把握するための選択型実験の設問も組み込まれており、そこから経済的価値の評価を行った。GIを建設する際の費用便益比の算出方法の検討については、選択型実験の結果と既存の工事関係資料に基づいて検討を行った。

研究手法の中心である選択型実験は、表明選好法（Stated Preference Method）の一手法として位置付けることができる。当初は主にマーケティングや交通工学などで応用されていたが、近年では環境経済評価や医療など幅広い分野で応用が進んでいる。本研究では潜在クラスモデルによる選好の多様性の把握を試みている。潜在クラスモデルを用いることで、選好の多様性が生じる要因について統一的な説明を行うことができる。

両調査では、図（1）-1に示した属性（タンチョウの生息状況、湿地の面積、観察場所、洪水時の対応、基金の額）と水準から仮想的な管理プランを作成し、それらを組み合わせて1つの選択セットを形成している。それぞれの選択セットは、作成した管理プラン2つと現行管理プランの3つの代替案から構成されている（図（1）-1）。現行管理プランは、遊水地のGI化は実施せず、また費用負担もないという代替案であり、この代替案はすべての選択セットに必ず含まれている。回答者にはこのような選択セットから最も望ましい代替案を選んでもらう試行を7回行ってもらっている（地域住民に対するアンケート調査では紙面の都合から5回行ってもらっている）。

	管理プラン①	管理プラン②	現行管理プラン (遊水地だけ)
タンチョウ	飛んでくる	飛んでくる 定住する 子育てする	いない
湿原の面積	50ha	100ha	25ha
観察場所	整備する	整備しない	整備しない
洪水時の対応	他の利用に配慮	すぐに水を流す	すぐに水を流す
基金の額（年額）	年 500 円	年 1,000 円	なし
	↓	↓	↓
最も望ましいものに○	1.	2.	3.

図(1)-1 選択型実験の設問例（北海道民を対象としたアンケート調査票より）

（３－４）欧米のGI調査

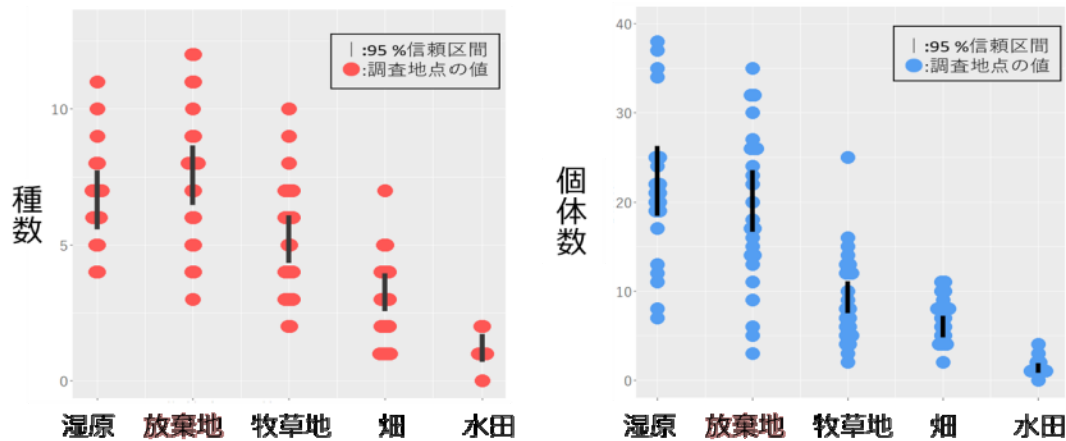
米国については、サクラメント川の洪水対策のために整備されたYolo Bypassを視察した。調査は2015年11月30日から12月1日に実施し、まず民間団体であるYolo Basin Foundationを訪れ、湿地の保全・再生が実現した経緯について取材した。現地調査は自然湿地を再生し多くの水鳥や草原性の鳥類が集まる場所、農地または放牧地として利用している場所などにおいて、GIをいかに利活用しながら維持しているかについて視察し、民間団体ならびにCalifornia Department of Fish and Wildlifeの方々とは意見交換した。また欧州では、農地を使ったGIが数多く設置されており、その中でもデンマークは欧州最大の氾濫原湿地の再生とともに洪水制御の両立を実現している。調査は2016年10月20～30日に実施した。欧州最大のGIと言ってもよいデンマーク・中央ユラン地域のスキヤーン川河口域、そしてデンマーク・南デンマーク地域のフィルソ湖、さらに英国・サマセット州のサマセット低地を視察し、現地ヒアリングを行った。

4. 結果及び考察

（４－１）農地景観における GI 候補地の選定

（４－１－１）放棄地における生物相調査

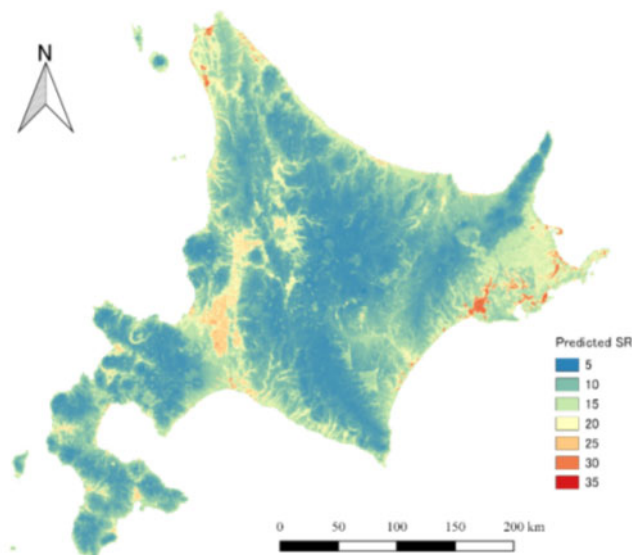
調査地点あたりの種数は、5つの生息地タイプの中で湿原と耕作放棄地で最も多かった（図（1）-2）。耕作放棄地の種数は、畑と比較すると2.3倍、水田と比較すると6.7倍高い値を示した。個体数も、湿原と耕作放棄地で最も多く、耕作放棄地の個体数は、畑と比較すると3.5倍、水田と比較すると13.2倍高い値を示した（図（1）-2）。また、耕作放棄地では環境省レッドリストで絶滅危惧種に指定されている種（ウズラ、オオジシギ、マキノセンニュウ、オオヨシゴイ）が確認でき、リファレンスと位置付けた湿原（5種）の次に多かった。また調査した多くの耕作放棄地では、ヨシなどの高茎草本が優占し湿原と類似した植生構造だった。これらの結果より、多様性および希少性の両観点から、耕作放棄地は人為改変の影響を受けていない湿原と同程度に鳥類の生息地として機能しており、グリーンインフラとして活用することで効率的な生物多様性保全が期待できる可能性が示唆された。



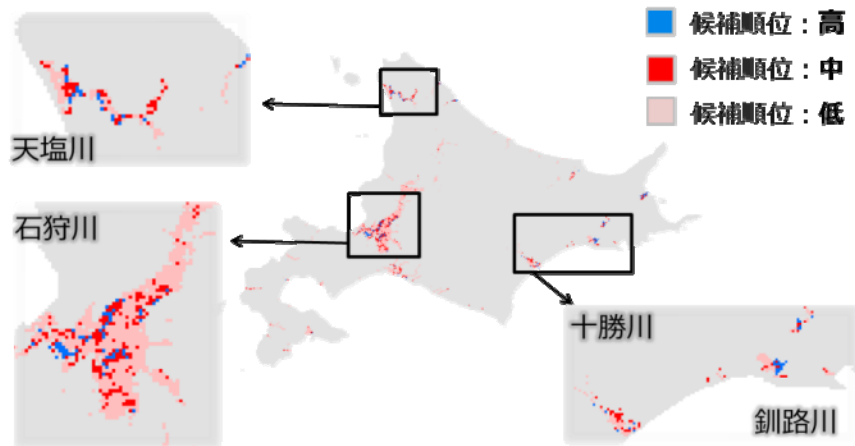
図(1)-2 各生息地タイプでの湿地性鳥類の種数および個体数

(4-1-2) 農地景観におけるGI候補地の選定

北海道スケールでは、放棄地は道東に集中して分布する一方で、洪水リスクは人口密度が高く、農地が広がる道央地域に集中することが明らかとなった。また植物多様性の地図化の結果、湿性草本の多様性は、釧路、石狩、道北地域にて高いことが示唆された(図(1)-3)。これは比較的大きな湿地が現存する釧路湿原やサロベツ原野、水田が優占する石狩低地帯がこれらの種のホットスポットとして機能していることを示唆している。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(1)-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が期待される。



図(1)-3 湿地性草本類の分布予測の結果(3次メッシュ)。赤い地点ほど推定種数が高いことを示す。



図(1)-4 放棄地マップ、洪水氾濫リスクマップ、生物多様性マップの重ね合わせによる
GIの導入候補地の選定結果

(4-2) 農地GIの生物多様性保全機能の評価

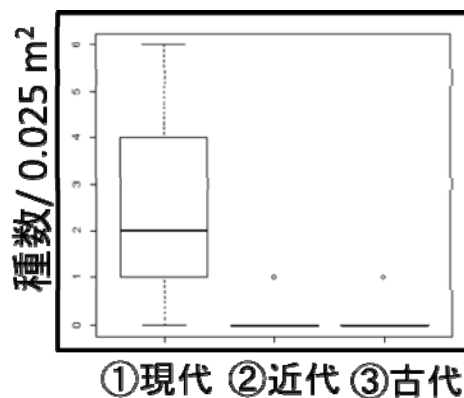
(4-2-1) 遊水地における湿地植生とその再生技術開発に向けた評価

①深度別土壌SB調査

炭素年代測定の結果、腐植層（現代）は1739年以降、泥層（近代）は1190～1275年以降、泥炭層（古代）は775～790年以降に形成された土壌であることが明らかになった（図(1)-5）。発芽した種はすべて湿地性植物種で、どの層からも湛水条件より湿潤条件でより多くの種が出現した（図(1)-6）。近代・古代の層で発生した種はすべて現代の層に含まれていた。これより、掘削深度が深い場合は周辺湿地や農地からの種子供給に依存した再生になると予想された。いっぽう、古い土層であっても、条件によっては再生基質として有効であることが実証された。



図(1)-5 舞鶴遊水地の層序

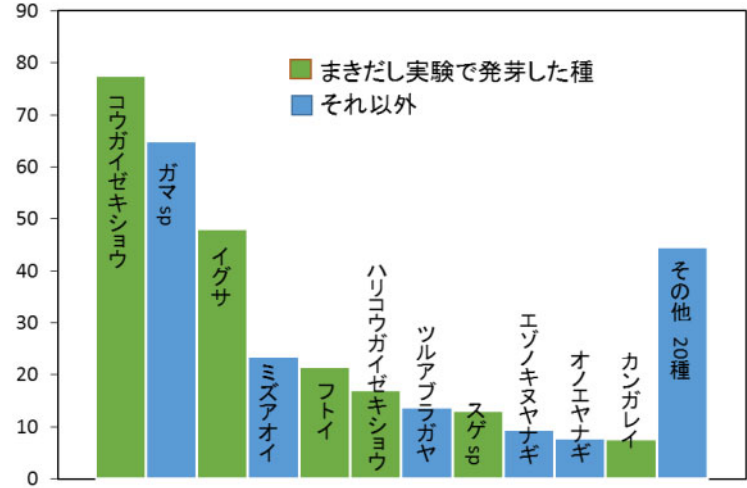


図(1)-6 土壌深度別の発生種数

②野外実験地における植生モニタリング

実験地の最上段から出現した種は、合計31種（在来種30種、外来種1種）であった。在来種については、すべて湿地性植物種であり、1)のまきだし実験で腐植層（現代）と泥層（近代）より出現した88種を含んでいた（図(1)-7）。準絶滅危惧種11種（ミクリ）も再生した。本来の掘削断面は泥層（近代）であるが、まきだし実験より多くの種が出現したことから、周辺の農地から流入・散布された湿生種の種子が定着し再生したものとみられた。植物遺体調査では、泥炭層から採取された木片の樹種同定の結果、オニグルミとヤナギ属、モクレン属、サクラ属、カエデ属、シナノキ属、トネリコ属の7分類群が確認された。泥層から採取された試料は、木部組織が残存していなかったため、同定不能であった。

また、種子の同定結果、泥炭層には、サンカクイ-フトイがやや多く、ハンノキとイタヤカエデ、ニワトコ、タデ属、ウド、ヒエ属、スゲ属アゼスゲ節、スゲ属オニナルコ節、ウキヤガラ、ハリイ属が少量、クワ属と、ハリギリ、ヤナギタデ、スミレ属、ヘラオモダカ、イボクサ、スゲ属Aがわずかに得られた。泥層には含有量は少なく、ハンノキ、サナエタデ-オオイヌタデ、サンカクイ-フトイがわずかに得られた。まきだし実験では出現しなかった種が多数検出できたことから、多くの種は経年劣化し、発芽力を失ってしまうことが明らかになった。



図(1)-7 実験地の最上段から発生した種の植被率（%）および土壌SBに含まれる種との比較

③再生してきた湿地性植物群落の調査

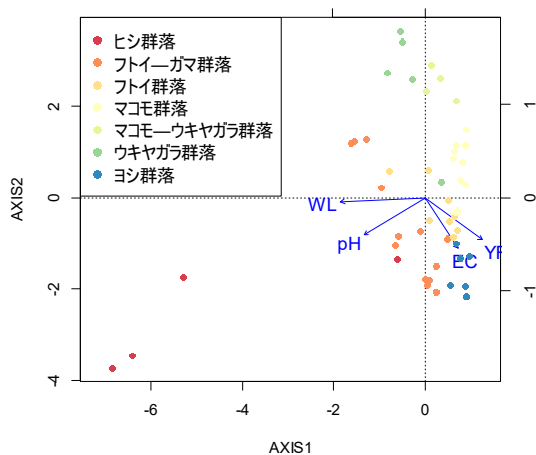
出現種は21種（湿生植物16種、陸生植物5種）で、全て在来種であった（表(1)-1）。陸生植物のうち中生植物2種を除き、湿地性の植物であることから、遊水地内で湿地植生は回復傾向にあると考えられる。湿地再生事業で時折問題となる外来種は、少なくとも対象区間では発生しておらず、土壌表面が湿潤または湛水の条件下では外来種が発生しないとする既往研究（石井ほか 2011）と同様の結果が得られた。

表(1)-1 舞鶴遊水地に出現した維管束植物の種数

		在来種	外来種
水生植物	抽水	13	0
	浮葉	2	0
	浮遊	1	0
陸生植物	湿生	3	0
	中生	2	0
合計種数		21	0

TWINSpanの結果、調査区は7つの植物群落タイプに分類された。それぞれの群落タイプ内で平均被度、頻度が高く群落を特徴づける種名をもとに、ヒシ群落、フトイーガマ群落、フトイ群落、マコモ群落、マコモ-ウキヤガラ群落、ウキヤガラ群落、ヨシ群落と命名した。

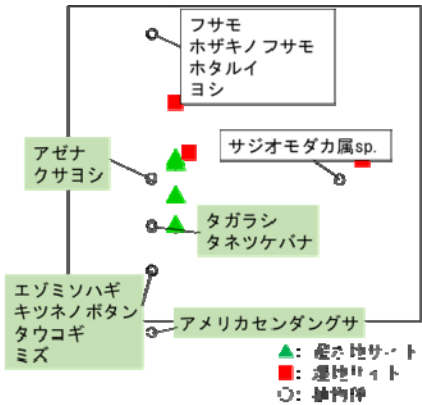
Kruskal-Wallis検定の結果、経過年、水位、ECの3つの環境要因において、群落タイプ間に差があることが明らかとなった。それらの3つの環境要因を用いて、植生データと共にCCAを行った（図(1)-8）。第1軸と第2軸の固有値は0.51879と0.21950で、二軸によってデータセットの約73.7%が説明された。ヒシ群落はX軸の値が低い位置に離れて配置していた。それ以外の群落はまとまって配置していたが、ウキヤガラ群落からヨシ群落にかけて経過年、ECの環境傾度に沿って群落が変化していた。



図(1)-8 舞鶴遊水地に再生した植物群落のCCA解析結果

④遊水地群における種子散布の調査

回収してきたトラップのまきだし実験の結果、17種366個体の湿地性植物が出現した。遊水地サイト、湿地サイト共に水散布において、個体数と種数が最も多かった。風散布と鳥散布に関しては、湿地性植物の実生はほとんど出現しなかった。このことから、遊水地における種子散布では水散布が重要な役割を担っていることが示唆された。Wilcoxon順位検定の結果、水散布種子の個体数は湿地サイトに比べ遊水地サイトの方が有意に多かった。DCA・CCAの結果、遊水地サイトと湿地サイトの種組成には明瞭な違いがあり（図(1)-9）、農地履歴年数(年)、上流3km圏内の農地率(%)が小さく、近傍の湿地性植物種の割合(%)、上流5km圏内の湿地率(%)が大きいほど湿地サイトに近づいた。このことから、水路上流域の植生が種子の供給源となっており、水散布の種組成を左右していることが示唆された。

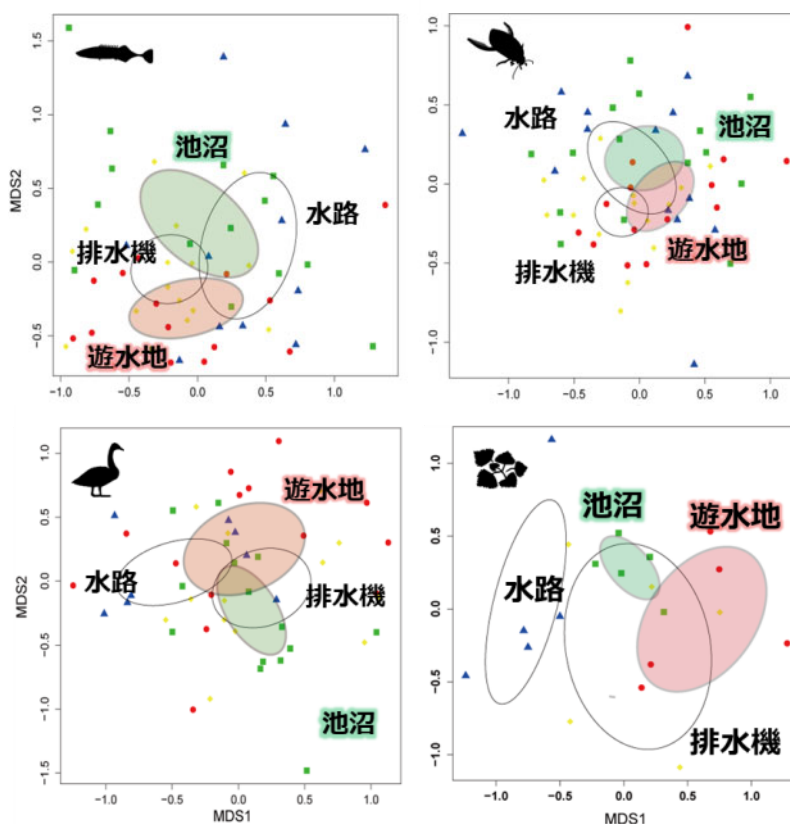


図(1)-9 千歳川遊水地群と残存湿地における水散布植物種の種組成（DCAの結果）

(1-2-2) 遊水地が地域の生物多様性に与える影響の評価

確認できた在来種は、魚類 11 種、水生昆虫類 35 種、水鳥類 36 種、維管束植物類 44 種であった（水生昆虫の一部は、属・亜科までの同定）。種数および活動量（コウモリ類）の比較の結果、全ての分類群においてリファレンスである残存池沼と同等もしくはそれ以上の値が遊水地で認められた。魚類、水生昆虫類、維管束植物類、コウモリ類については残存池沼と同等であり、また水鳥類については、特に秋季に残存池沼より高い種数が認められた。また、水域間での種組成の比較の結果、複数の分類群でリファレンスとした池沼とは異なる組成が認められた（図(1)-10）。特に、魚類、水鳥類および維管束植物類は他の既存水域との種組成の重複も弱く、これは、遊水地が現状の農地景観内には見られない新たな生息地を提供する可能性を示唆している。環境調査の結果、遊水地は他の水域タイプより高い水深

の変動性を有していたことから、遊水地が現状の農地景観ではあまり見ることができない氾濫原的環境を創出することで、魚類や維管束植物類の種組成に影響したと考えられた。また、遊水地は広い開放水面と遠浅の水際形状を兼ね備えており、こうした干潟的環境の存在が浅瀬を利用するシギ類等の水鳥の新たな生息環境として機能したのだろう。



図(1)-10 各水域タイプにおける種組成のちがい。

水域タイプ間での楕円の重なりは種組成の重複度を表している。

(4-3) 遊水地の環境経済学的評価

地域住民に対する調査について述べる。舞鶴遊水地をGI化することのメリットについて、観光客の増加に貢献しそう、子ども達の環境教育に貢献しそうと回答した割合は、それぞれ回答者の35.3%と46.4%であったが、この割合は農業従事者で低かった。一方、舞鶴遊水地をGI化することのデメリットについて、タンチョウ以外の渡り鳥が農業に悪影響を与えそう、タンチョウ以外の渡り鳥が鳥インフルエンザなどの病気を広めそう、住民の合意を得ずに話が進みそうと回答した割合は、それぞれ回答者の36.6%、36.6%、26.6%であったが、この割合は農業従事者で高かった。つまり、平均的な傾向として、農業従事者の方がGI化について否定的な見解を示していた。これらの結果は、地域住民のGI化に対する期待は人によって異なることを示している。

選択型実験でも同じような結果を得ることができた(表(1)-2)。長沼町民の回答者は、潜在クラスモデルによって、グループ1(37.0%)、グループ2(38.0%)、グループ3(24.9%)に分類された。推定の基準はグループ3であるが、解釈が容易なグループ2から説明を行いたい。グループ2の効用パラメータは、タンチョウの生息状況と湿地面積は正で統計的に有意、募金額の係数は負で統計的に有意であった。一方で観察施設の係数は有意ではなかった。現行管理プランの選好を示す定数項は、正であればGI化をしない現状維持を好んで選択する傾向を示し、負であれば現状維持を避けて選択する傾向があることを示すが、グループ2の定数項は負で統計的に有意であった。グループ2は現行管理プランを避けて選択していることから、GI化に好意的であると言える。観察場所は評価しておらず、湿地の回復面積に対しても評価はしているものの高くはない。しかしながら、タンチョウの生息は評価している。ただ

し、三つの水準間に評価の違いはなく、生息状況に拘わらず、タンチョウがいること自体が重要であると考えられる。

一方グループ3は、全く予想外の結果であるが、募金額の係数は正で統計的に有意であった。これは設定された提示額の範囲内であれば、より高い金額を支払う方が効用が高いことを示している。この結果は一見不適切な回答によるものにも思える。しかし、タンチョウの生息状況が有意で、観察施設に対する評価が高いこと、定数項は負で統計的に有意であることを考えると、シナリオを誤解して回答している訳ではないことが分かる。これらのことを考えると、グループ3は他のグループと比較して、GI化に対してより高い評価をしており、その実現を強く要求していると解釈することができる。

グループ2と3と異なり、グループ1の効用パラメータは、湿地面積と定数項が正で統計的に有意であるが、募金額の係数は統計的に有意ではなく、それ以外の効用パラメータは負で有意であった。煩雑になるため詳細な結果は示さないが、メンバーシップパラメータを見ると、グループ2と同様に、グループ3と比較して、GI化のメリットについては同意せず、デメリットについては同意する傾向がある。これらは勘案すると、グループ1は募金額とは無関係に、GI化によるサービスの提供、特にタンチョウの飛来と観察施設の設置に否定的にしていることが分かる。これは定数項が正で統計的に有意であることから支持されている。つまり、グループ1は金額を度外視してGI化を強く否定していると理解できる。

同じような形で、一般市民（北海道民）の評価も得ることができたが、こちらは対照的に、GI化することに否定的なグループが存在しない代りに、GI化にあまり興味を持っていないグループが特定された。これらのグループの支払意志額はほぼ0であった。

一般市民に対する評価では、洪水時の対応に関係する属性を追加しており、そこでは、洪水の危険が迫った際、「安全優先で計画通り遊水地に水を流さずに、野鳥の生息場所や自然観察の場であることに配慮し、様子を見る」というオプションに対する評価も試みている。これは、一般市民は洪水による費用は受けず、GI化による便益だけを受けるので、便益に保険をかけるようなオプションに相当する。その結果は、このオプションを設けることに対して、一部のグループは811円の支払意志額を有していた。つまり、洪水時に洪水調節機能の発揮を躊躇させるような圧力が、一般市民から生じる可能性があることを示唆している。

遊水地をGI化することは人々に全面的に肯定されている訳でなく（地域住民の中には反対のグループがおり、一般市民の中には関心のないグループがいる）、また、GIの運用に関しては、洪水調節機能の発揮を躊躇させるような圧力が生じることも懸念されることから、GI化には慎重な合意形成が必要と考えられた。地域住民でGI化に強く反対する人々は、GI化に伴う渡り鳥の増加による鳥インフルエンザの発生を懸念していた。GI化することの便益（タンチョウの飛来など）は、町民や一般市民に広く及んでいる一方、費用（実際の対策費用だけでなく鳥インフルエンザ発生の不安なども含む）は町民の一部の人々だけに発生する可能性が高いので、それを補償する仕組みを、受益者となる一般市民も巻き込んで検討する必要がある。例えば、タンチョウを呼び寄せるための基金を設立し、その一部を鳥インフルエンザ対策や、実際に被害が生じた場合の補償費用に当てるなどの仕組みなどが考えられるかもしれない。

最後にこれらの結果に基づいて、遊水地をGI化することで生じる生態系サービスに関する費用便益分析について検討したところ、受益範囲の設定が大きく影響を与えるとともに、費用便益分析を満たすと同時に、費用と便益の受益者の公平性の確保（費用が地域の一部住民に集中する）が大きな課題となることが示唆された。

表(1)-2 選択型実験の結果（潜在クラスモデルの結果の一部）

	グループ1 (37.0%)		
	coeff.	(<i>t-stat.</i>)	単位当たりの 支払意志額
タンチョウの生息状況			
飛来	-1.492	(-2.41) **	
飛来と営巣	-3.225	(-2.85) ***	
飛来と営巣、繁殖	-1.361	(-2.13) **	
湿地の面積	0.025	(2.76) ***	
観察場所	-0.696	(-2.51) **	
基金の額	-0.584	(-1.50)	
現状維持に対する定数項	3.189	(4.99) ***	
グループ 2 (38.0%)			
タンチョウの生息状況			
飛来	0.909	(4.21) ***	1,994.0
飛来と営巣	0.718	(3.12) ***	1,574.2
飛来と営巣、繁殖	0.628	(2.74) ***	1,377.0
湿地の面積	0.003	(2.06) **	6.3
観察場所	-0.050	(-0.80)	
基金の額	-0.456	(-6.55) ***	
現状維持に対する定数項	-1.400	(-7.21) ***	
グループ 3 (24.9%)			
タンチョウの生息状況			
飛来	0.696	(1.97) **	
飛来と営巣	0.881	(2.43) **	
飛来と営巣、繁殖	1.102	(2.89) ***	
湿地の面積	-0.001	(-0.49)	
観察場所	0.385	(4.15) ***	
基金の額	0.437	(4.67) ***	
現状維持に対する定数項	-1.520	(-2.97) ***	

(4-4) 北米・欧州 GI の特徴と日本型 GI への適用について

(4-4-1) 米国：カリフォルニア州サクラメント郡Yolo BypassにおけるGI調査

サクラメント川の氾濫水を受け止める洪水調節施設として整備されたYolo Bypass内に、民間団体であるYolo Basin Foundationの働きかけにより湿地の保全・再生が実現している。第一義の目的である治水を阻害しないということで覚書が交わされ、カリフォルニア州政府が土地を取得し 6500 haの Wildlife Area (WA) を設定した。維持管理はCalifornia Department of Fish and Wildlife (CDFW) が担い、治水を阻害せずに自然再生、野生生物の保護、農業、パブリックユースを調和して共存させている。Bypass事業は1916年に始まり、1940年に完成している。100年洪水が想定され（治水容量：毎秒10

万立方メートル)、サクラメント川の水位が10mを超えるとBypass内へ水が入るように設計されており、3年に一度の割合でバイパス内に水が入る。

200種を超える野鳥が見られ、洪水管理、農業、野生生物の保護、パブリックユースが共存できるGIの好事例となっている。現在は、農業やハンティングに関し料金徴収をし、維持管理の貴重な収入源となっている一方、バードウォッチング等の利用はフリーであるが、将来的には料金徴収なども検討していく考えはある。本取り組みがユニークなのはコミュニティが発案し行政を動かしている点である。これは市民の意識が高かったことや、専門的な知識をもつ有識者（カルフォルニア大学デービス校の研究者）などがそろっていたことに要因がある。また、WA内での牧畜は、外来種を駆除し、在来種を再生するのに役立っている。以前はエルクやシカがその役割を担っていたが、牛を放牧することにより自然に近い状態で植生を管理していた。

（４－４－２）欧州：デンマーク・中央ユラン地域のスキャン川河口域GI

スキャン川はユトランド半島の西部を流れる河川で、かつては広大な氾濫原が4,000ha以上広がっていたが、1960年代に排水事業として河道の直線化、堤防整備、ポンプ設置が行われ、大型機械による集約農業が展開される耕作地となった。その後、排水事業の影響による地盤沈下、農地からの栄養塩流出に伴うフィヨルドの水環境悪化、スキャン川固有のサケ漁獲量の減少などが顕著となり、1987年に政府が農地転換した半分の面積にあたる2,200haの事業地を対象に自然再生を行う決議を下した。

行政主導のデンマーク最大の自然再生事業で総事業費は3,800万ユーロ（日本円で約50億円）に及ぶ。このうち30%はEU-LIFEプロジェクトから、残りがデンマーク政府から拠出されている。1999-2002年の事業期間で、下流域20kmの再蛇行、160haの湖、200haのヨシ原、1,550haの放牧地を再生している。1999年の事業着手前には、用地取得のための交渉や移転事業、科学的・技術的調査、事業計画など12年の準備期間を経て実行されている。国際的に貴重な沼沢地の回復、川と流域の水質改善により漁業促進、事業地内のレクリエーション価値の向上などが掲げられている複合的な事業となっている。

（４－４－３）デンマーク・南デンマーク地域のフィルソ湖GI

Filso湖は160年前まで約2,800haの広さがある国内第2の淡水湖で、ハクチョウやガンカモなど何万羽もの渡り鳥にとっての中継地・越冬地であった。ハンターやヨハネス・ラーセンをはじめとする芸術家に人気の場所であったが、1800-1900年代に農地開発のため徐々に排水され、70haほどの面積にまで縮小した。排水された低地帯は集約農業がおこなわれる農地や牧草地となり、渡り鳥にとっての秋の重要な中継地となっていた。

2010年に民間の自然保護団体Aage V. Jensen Charity Foundation が自然再生を目的に2,320haの土地を取得し、2012年に当初の約半分の大きさの900haの淡水湖と、300haの湿地帯を再生した。デンマークでの民間による自然再生としては最大級の事業である。60年以上農地として利用された後の復元のため、富栄養化による植生もはびこってはいるが、わずか2年でかつての湖でみられた大型水性植物33種が確認され、非常に希少となった種も再生するなど予想以上の豊かな植生が再生されている。湖の側ではウミワシ (sea eagle) の繁殖や、ハシブトアジサシ (gull-billed tern)、ヘラサギ (spoonbill) が確認され、散策路や観察舎が整備されている。また、かつての農場主の館はB&B (bed and breakfast: 小規模な宿泊施設) として活用されている。

（４－４－４）英国・サマセット州のサマセット低地GI

イングランド南西部のサマセットは平坦な氾濫原低地帯が広がりその周辺を小高い丘が取り囲む、雨水が滞留しやすい地形となっている。伝統的に夏の間は採草地として利用され、秋～冬の雨期には降雨が溜まり水鳥に適した環境を作りだしていた。しかし、農業目的の排水事業が進み徐々に耕作地への転換が進んだ結果こうした環境が失われ、1970年代後半より地域での渉禽類（シギ、チドリ、サギ類など）の繁殖数が激減することとなった。RSPB（英国王立鳥類保護協会）では、こうした事態を受け、伝統的な土地利用による湿性草地を再生しガンカモ類の重要な生息環境を再生するため農地の買い取りを行い、

水位調整を行い、冬の間の水鳥の生息地となる浅く広い水面を創出する取り組みを進めている。更に、サイトを拠点に、かつてはイギリス全土で確認されていたが、生息地となる湿地環境の消失によりわずか数ペアのみが東海岸に残っていたクロヅルの再導入プロジェクトも展開している。こうした事業の取組により野鳥の生息環境の確保、氾濫水を貯留し下流域への流下速度を抑え洪水被害を軽減させること、更には地域の伝統的な景観を再生しグリーンツーリズム等の展開も目指している(図(1)-11、図(1)-12)。



図(1)-11 家畜の放牧による農地GI利用と
植生遷移の抑制



図(1)-12 RSPBによる農地を利用した
湿地再生

(4-4-5) 日本への適用可能性

大河川の氾濫原や低湿地の生態系の維持には適度な定期的攪乱が重要であるが、日本の舞鶴遊水地、渡良瀬遊水地、麻機遊水地など、氾濫原の湿地再生を進めている場所では、攪乱を維持する仕組み作りが課題となっている。米国のYolo bypassや欧州GIでは、家畜の放牧により植生繁茂を抑制し、湿地的環境の維持に役立てていた。こうした自然攪乱を模倣する事例は、水田耕作や放牧による攪乱、湛水によるストレスで植生の遷移を抑制し、保全上価値の高い湿地の維持に成功しており、日本の遊水地の維持管理にも大いに参考になると思われる。またGIの特徴の一つに多面的機能の発揮があげられる。米国、デンマークや英国の農地GIでは、洪水制御はもちろんのこと、野生生物（とくに鳥類群集や湿地植生、魚類）の保全、農地としての利用、ハンティング、レクリエーション利用などを同時に実現している。これら地域に共通するのが、NGOの活躍であり、行政や土地所有者との間に入り農地GIの実現に寄与している。我が国においても、こうした海外のGI成功事例を広く普及させることで、NGO、地域、行政が一体となった農地GIの推進を強化できるかもしれない。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

未利用地である放棄地が高い生物多様性を有しており、農地景観でのGIに利用することでその多面的機能の発揮に貢献する可能性がある事が示された。また農地景観の既存GI（遊水地）の動植物相の調査から、造成初期の遊水地が氾濫原や干潟の環境を創出することで、地域の生物多様性向上に寄与することが示された。植物は生物多様性の基盤を形成することから、遊水地の生物多様性保全機能を最大限に発揮していくためには湿地植生の再生が鍵となる。遊水地施工予定地の表層には、条件がよければ水生・湿生の在来種が多く含まれるが、多くの場合、掘り下げた施工により埋土種子群が失われることが明らかになった。したがって、遊水地での植物群落の再生は、遊水地外からの種子散布に依存する。遊水地には、周辺農地に生育する攪乱依存性の湿地性植物種の種子が、農業用水路を経路にして水散布されていたことから、安定した止水域を好む種しか散布されていない残存湿地とは異なる湿地性植物群落を維持できる可能性をもつことも明らかになった。さらに、遊水地内部での水位(掘削深度)を多様化が、再生してくる植物群落の多様化につながることも明らかにした。また環境経済学的評価により、こうした豊かな生物を育む遊水地の生態系サービスの経済的価値を把握でき、特に潜在クラスモデルと呼ばれる

手法を用いることで、人々の選好の多様性を把握し合意形成に資する情報を把握できることも示された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

舞鶴遊水地における、遊水地の生物多様性保全機能を活かした地域づくりに関する取組は、「これからの時代の地域デザイン」（国土交通省国土政策局 平成29年3月）において先進的なGIの活用事例として紹介されている（http://www.mlit.go.jp/report/press/kokudoseisaku03_hh_000107.html）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 北海道スケールで明らかにしたGI導入候補地の選定結果をもとに、今後GIを導入するのに効果的な地域を検討できる。
- 周囲河川からの流入により定期的な冠水を維持し、遊水地内の陸化・栄養塩の集積を防ぐことで、すでに周辺の残存湿地で失われつつある攪乱依存型の湿地性植物群落を維持することができ、また氾濫原や干潟環境が創出されることで動物相の多様性向上にも寄与できる。
- 過去に湿地であった、水田利用されていた、耕作年数が浅い、といった条件がある遊水地候補地では、表土を取り置きし、まきだすことで、埋土種子由来の湿地植生の迅速な回復が期待できる。
- 掘削時は、遊水地内部の構造を多様化することで、より豊かな湿地性植物群落の再生が期待できる。
- GIが提供する生態系サービスの経済的価値を明確にできたことで、GIが社会経済的に意義のある事業であることを明確に示すことができる。
- GIが提供する生態系サービスの経済的価値を費用便益分析に組み込むことで、より妥当性のある分析結果を示すことができる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Hanioka M, Yamaura Y, Yamanaka S, Senzak Mi, Kawamura K, Terui A, Nakamura F: Biodiversity and Conservation, How much abandoned farmland is required to harbor comparable species richness and abundance of bird communities in wetland? Hierarchical community model suggests the importance of habitat and landscape variables. (in press)
- 2) Yamanaka S, Akasaka T, Yabuhara Y, Nakamura F: Agriculture, Ecosystems and Environment, 249, 31-37 (2017), Influence of farmland abandonment on the species composition of wetland ground beetles in Kushiro, Japan.
- 3) Senzaki M, Yamaura Y, Shoji Y, Kubo T, Nakamura F: Biological Conservation, 214, 1-5 (2017), Citizens promote the conservation of flagship species more than ecosystem services in wetland restoration.
- 4) 森本淳子、畔柳晶仁、卜部覚、鈴木玲、木村浩二、三輪哲哉、志田祐一郎、岡孝雄：日本緑化工学会誌、43, (1), 324-326 (2017), 農地切り下げ面に再生した湿地植生のポールカメラによるモニタリング。
- 5) Morimoto J, Shibata M, Shida Y, Nakamura F: Restoration Ecology, 25, (6), 1005-1014 (2017), Wetland restoration by natural succession in abandoned pastures with a degraded soil seed bank.

- 6) Nakamura F, Seo J. IL, Akasaka T, Swanson F. J: Geomorphology, 279, 176-187 (2017), Large wood, sediment, and flow regimes: Their interactions and temporal changes caused by human impacts in Japan.
- 7) 森本淳子、柴田昌俊、村野道子、志田祐一郎：日本緑化工学会誌、42, (1), 21-25 (2016), 氾濫原の休耕牧草地における湿生植物群落再生を目指した表土の有効利用.
- 8) 森本淳子：ランドスケープ研究、79, (2), 129-130 (2015), 防災と生物多様性の両立ー遊水地に氾濫原湿地を再生する.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 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）：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、312-313 (2017)
「COLUMN7 人口減少、気候変動下におけるグリーンインフラ（執筆担当：中村太士）」
- 2) 森林環境研究会（編）：進行する気候変動と森林～私たちはどう適応するか、森林文化協会、東京、89-98 (2015)
「特集 グレーインフラからグリーンインフラへ 自然資本を生かした適応戦略（執筆担当：中村太士）」
- 3) 森本淳子：ランドスケープ研究、79, (2), 129-130 (2015)
「防災と生物多様性の両立ー遊水地に氾濫原湿地を再生する」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 石山信雄、末吉正尚、油田照秋、小泉逸郎、赤坂卓美、中村太士：第65回日本生態学会（2018）
「改変氾濫原における湖沼ネットワークの重要性」
- 2) Cochrane T, Kanae S, Ministry of Land Infrastructure, Transport and Tourism, Drainage Services Department, Nakamura F: Ecology & Civil Engineering Society International Symposium, 2017
“Managing rivers & watersheds in the Asian region under climate uncertainty & anthropogenic stressors”
- 3) 鎌田磨人、中静透、八元綾、中村太士、一ノ瀬友博：日本生態学会第64回大会（2017）
「グリーンインフラ・ECO-DRRと生態学」
- 4) 森本淳子、畔柳昌仁、志田祐一郎、矢部和夫、中村太士：日本生態学会第64回大会（2017）
「遊水地における湿生植物群落の再生-北海道舞鶴遊水地の事例-」
- 5) 先崎理之、山浦悠一、庄子康、久保雄広、中村太士：日本生態学会第64回大会（2017）
「保全ターゲットとしてのアンブレラ種：湿地の生態系サービス・面積との経済評価」
- 6) 北沢宗大：第356回野鳥勉強会（2017）
「鳥類の生息地としての農地景観の価値 -種数・個体数・繁殖成績・初渡来日・餌資源量を用いた評価-」
- 7) 北沢宗大：第29回北海道鳥類学セミナー（2017）
「鳥類の生息地としての農地景観の価値 -種数・個体数・繁殖成績・初渡来日・餌資源量を用いた評価-」
- 8) Morimoto J, Kuroyanagi A, Shida Y, Yabe K, Nakamura F : The 7th International Conference on Landscape and Ecological Engineering, 2016
“RESTORATION OF WETLAND PLANT COMMUNITIES IN A RETARDING BASIN AS GREEN INFRASTRUCTURE”
- 9) 森本淳子、柴田昌俊、村野道子、志田祐一郎：日本緑化工学会第47回大会（2016）
「氾濫原の休耕牧草地における湿生植物群落再生を目指した表土の有効利用」
- 10) 森本淳子、小林慶子、鈴木玲、木村浩二、三輪哲哉、志田祐一郎、中村太士：日本生態学会第63回大会（2016）
「湿地再生にむけた古代から現代のシードバンクの解明」

- 11) 古川泰人、森本淳子、小林慶子、中島夕里、卜部覚、中村太士：日本生態学会第63回大会（2016）
「3軸ジンバル機構とGoProを活用した植生モニタリングカメラ」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 森本淳子「Eco-DRR（生態系を基盤とした防災・減災）と地域の自然再生」（日本特殊緑化協会緑化工技術講習会、2015年7月23日）
- 2) 中村太士「グリーンインフラー自然復元と地域産業」（景観生態学会大会一般公開シンポジウム、2016年7月9日）
- 3) 中村太士「佐渡島における教育・研究の新たな展開～佐渡三施設の統合にむけて～」（第3回新潟大学 佐渡三施設 森里海公開シンポジウム、2016年11月19日）
- 4) 中村太士「水をめぐる生態系のつながり ～自然を生かした地域づくりの提案」（第7回 北海道 e-水フォーラム、2016年11月21日）
- 5) 中村太士「水辺からはじまる生態系ネットワーク全国フォーラム」（2017年1月13日）
- 6) 中村太士「これからの時代の地域デザイン」（国土交通省主催シンポジウム、2017年3月7日）
- 7) 中村太士「山・川・海の変貌と森林管理」（日本森林学会 公開シンポジウム、2017年5月23日）
- 8) 中村太士「生態系サービスって知っていますか？」（茨城県霞ヶ浦環境科学センター公開セミナー、2017年10月28日）
- 9) 中村太士「北海道の森や川の変貌と自然環境の未来像」（第26回先端科学移動大学、2017年11月11日）
- 10) 中村太士「国土交通省グリーンインフラ推進セミナー」（2017年11月17日）
- 11) 森本淳子「自然の力に委ねた自然再生—目標設定と評価方法—」（植生技術講演会、2018年3月1日）

（５）マスコミ等への公表・報道等

※本研究についてのマスコミ等への公表履歴等について、記載すること。該当部分のコピー等を添付しても構わない。ただし、コピーの添付については、著作権等の問題が生じない場合に限る。

- 1) NHK（2017年7月21日、「釧路湿原 驚異の防災力」）
- 2) 朝日新聞（2017年3月25日、「「ツル住める町」評価」）
- 3) 毎日新聞（2016年12月16日、「タンチョウが住めるまちづくりへ」）
- 4) 毎日新聞（2016年12月16日、「タンチョウ保全2専門部会設置」）
- 5) 読売新聞（2016年12月13日、「タンチョウと共生 意見交換」）
- 6) NHK（2016年12月10日、「タンチョウと共生するまちづくり」）
- 7) 読売新聞（2016年12月3日、「「呼び戻す会」訪問」）
- 8) 北海道新聞（2016年11月27日、「タンチョウ復活へ農家の役割再認識」）
- 9) 北海道新聞（2016年11月16日、「長沼発 待ち人」）
- 10) 毎日新聞（2016年11月10日、「タンチョウ呼び戻そう」）
- 11) 四国新聞（2016年11月4日、「タンチョウ呼び戻せ」）
- 12) 北海道新聞（2016年10月29日、「長沼に初？コウノトリ飛来」）
- 13) 朝日新聞（2016年10月20日、「タンチョウの町実現へ意見交換」）
- 14) 北海道建設新聞（2016年10月12日、「タンチョウと共生へ」）
- 15) 北海道新聞（2016年10月8日、「タンチョウ住みやすい地に」）
- 16) 千葉民報（2016年9月28日、「タンチョウのつがい飛来」）
- 17) 読売新聞（2016年9月22日、「長沼にタンチョウ続々」）

- 18) 北海道新聞 (2016年9月7日、「長沼にタンチョウ 本年度中に具体策」)
- 19) 朝日新聞 (2016年9月7日、「タンチョウと共生「まちづくり」始動」)
- 20) 毎日新聞 (2016年9月7日、「長沼のタンチョウ生かしまちづくり」)
- 21) HTB (2016年9月7日、「安全・安心の農業を目指して～長沼町の試み～」)
- 22) 北海道新聞 (2016年9月6日、「タンチョウ呼び戻すには」)
- 23) 朝日新聞 (2016年8月15日、「タンチョウと共生 遊水地から」)
- 24) 北海道新聞 (2016年3月23日、「遊水地でタンチョウ確認」)
- 25) 北海道新聞 (2016年3月23日、「タンチョウ2羽飛来」)
- 26) 読売新聞 (2016年1月27日、「タンチョウと共生「可能」」)
- 27) 北海道新聞 (2016年1月26日、「「タンチョウと共生まちづくりは可能」検討会議が報告書」)
- 28) 北海道新聞 (2015年11月14日、「長沼のタンチョウ共生構想」)
- 29) 北海道新聞 (2015年5月8日、「浸水被害の低減に貢献」)
- 30) 読売新聞 (2015年4月3日、「舞鶴遊水地周辺野鳥の食害調査」)
- 31) 読売新聞 (2015年3月11日、「タンチョウと共生へ賛否」)
- 32) 北海道新聞 (2015年3月11日、「「舞鶴遊水地にタンチョウ」構想」)
- 33) 読売新聞 (2015年1月6日、「タンチョウ再び構想好評価」)
- 34) 北海道新聞 (2014年12月11日、「「舞鶴遊水地にタンチョウ」構想」)
- 35) 読売新聞 (2014年11月12日、「タンチョウ飛来は「恩恵大」」)
- 36) 北海道新聞 (2014年11月11日、「舞鶴遊水地にタンチョウを」)
- 37) 読売新聞 (2014年9月8日、「タンチョウ我が町へ」)
- 38) 北海道新聞 (2014年7月19日、「舞鶴遊水地にタンチョウを」)
- 39) 北海道新聞 (2014年7月12日、「長沼タンチョウの里に」)

(6) その他

<関連する活動の表彰>

- 1) 北海道長沼町「舞鶴遊水地を軸としたタンチョウも住めるまちづくり」がグリーンレジリエンスアワード優秀賞受賞 (2017年3月)

8. 引用文献

- 1) M. Higa, Y. Yamaura, I. Koizumi, Y. Yabuhara, M. Senzaki and S. Ono: Diversity and Distributions 21, 46-54 (2015), Mapping large-scale bird distributions using occupancy models and citizen data with spatially biased sampling effort.

Ⅱ-2 都市景観におけるGI：地域医療と都市住民参加による協働をめざして

・研究分担者

学校法人 東邦大学 西廣淳
鏡味麻衣子（平成27～28年度）
下野綾子（平成29年度）

・その他の研究協力者

西田貴明（平成27～29年度）、上野裕介（平成27～29年度）、大澤剛士（平成27～29年度）

・実施期間と予算

平成27年度～29年度累計予算額：27,968千円（うち平成29年度：9,112千円）
予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

既存のインフラを、多様な主体の関与により多機能なグリーンインフラとして価値向上が図れることを実証するため、麻機遊水地において、福祉水田造成の効果、火入れイベントの効果、土壌シードバンク調査プログラムの開発を行った。福祉水田では、水田造成前後で、確認できる植物が5種から35種に増加し絶滅危惧種も0種から5種に増加した。火入れの効果も顕著であり、火入れを行った場所では草刈りのみを場所の約6倍、対照区の約20倍の密度での在来植物の実生発生が認められた。土壌シードバンクの調査では、ミズアオイなど土壌採取場所の地上植生では確認できなかった植物の生存種子が確認された。これらの植物は特別支援学校において育成され、新たな種子生産・散布により種子密度が高くなった土壌とともに遊水地での自然再生事業に活用された。これらのプログラムに参加した生徒からは、湿地の植物の生態や遊水地の機能についての理解が深まったことを示す感想が得られた。以上のことから、遊水地の利活用のプログラムを工夫することで、生物多様性保全、植生遷移の抑制（治水にも効果）、教育に寄与するサービスが得られることが示された。

また、麻機遊水地を活用することの効用を検討し、有効な活用プログラムを開発することを目的として、遊水地散策活動の試行と評価を実施した。活動実施前後にPOMS短縮版による気分プロフィール評価を行った。麻機遊水地を1時間程度散策することで、緊張 - 不安、抑うつ - 落ち込み、怒り - 敵意、疲労の4種のネガティブな感情が有意に低下していた。本結果には散策による運動効果も含まれてはいると思われるが、緑地で過ごすことによる心理的效果を示唆する先行研究と矛盾しない結果であり、遊水地の散策利用により十分な心理的效果が得られることが示唆された。

麻機遊水池の利活用のニーズを把握し、市民ニーズに沿った土地利用型を想定し、それぞれの生態系サービスの評価値を算出した。ウェブアンケートの結果を用いたコンジョイント分析の結果、「生態系利用型」のグループ、湿地とヨシ原を重視する「自然保護型」、スポーツ施設を積極的に整備する「運動公園利用型」に加え、全ての選択肢で何もしないと回答した「積極的管理なし」の4つの市民ニーズが認識された。その結果を、市民を対象としたフォーラムにおいて参加者と情報共有し、情報共有前後での市民の意識の変化をアンケートによって把握し、市民のニーズを捉えた生態系サービスの可視化とこれらの評価を活用した合意形成手法の検討を行った。フォーラムでの情報共有の結果、運動公園を大幅に拡大するなどの極端な意見が減少し、より中庸な意見が増加する変化が認められた。この変化は、他者の意見を認め、合意形成をより容易にするものと考えられる。

【キーワード】

遊水地、植生管理、健康、生態系サービス評価、合意形成

1. はじめに

遊水地は、洪水とともに植物の散布体や栄養塩が輸送され蓄積する場所であり、植生遷移の進行が早い。過度な植生の発達、氾濫原に生育する攪乱依存性の生物のハビタットの喪失や治水上の問題を招くため、遊水地では草刈りなどの植生管理が必要になる場合が多く、管理上の負担は大きい。しかし多様な主体が遊水地を利用する都市域においては、利活用のプログラムを工夫することにより、利活用の結果として遊水地の多機能性が維持されるという循環的な関係が構築できる可能性がある。

しかし都市域の遊水地のように多様な主体がかかわるグリーンインフラでは、利活用における要求性が異なる主体の間での合意形成が困難になる場合が多い。グリーンインフラがもたらすサービスとそれらのトレードオフ関係を可視化し、議論の場に供することにより、合意形成が図りやすくなることが期待されるが、そのような実例はきわめて少ない。

2. 研究開発目的

都市域において多様な主体が利用するグリーンインフラを整備・維持管理する上での以下の課題に答えることを目的とする。

- 1) 遊水地における植生遷移の抑制と植物の多様性の維持に寄与する利活用手法を検討する。
- 2) 遊水地の利用が人の心理状態に与える影響を明らかにし、今後の利活用のあり方を検討する。
- 3) 遊水地がもたらす生態系サービスとそのトレードオフ構造を明らかにするとともに、その結果の合意形成における活用を試行する。

3. 研究開発方法

(3-1) 植生管理と利活用を両立させる手法の検討

麻機遊水地では、福祉水田の造成、ヨシ原迷路づくり、火入れイベント、菅笠の作成、マコモ莫藪の作成など、さまざまな目的のために植生の利用がなされている。これらの利活用に伴う植生攪乱が植物の多様性におよぼす影響を評価した。本研究では、特に「福祉水田の造成」と「火入れイベント」による効果を評価した。また特別支援学校と連携し、学校での教育プログラムとして土壌シードバンク調査を行い、攪乱による植物再生・保全ポテンシャルを評価した。

(3-1-1) 福祉水田造成の効果

福祉水田は麻機遊水地第3工区内に2016年に造成された。造成前にあたる2015年の初夏と秋に予定地内を踏査し、植物相を記録した。その後、土壌攪乱と畦の造成が行われ水田の形状が完成した2016年中に、水田の田面および畦において植物相を記録し、造成前の植物相と比較した（図(2)-1）。



図(2)-1 調査対象とした福祉水田の様子



図(2)-2 実験的な火入れの様子

(3-1-2) 火入れの効果

火入れによる攪乱が、種子からの植物の更新にもたらす効果を調査した。麻機遊水地第3工区内のヨシとオギが優占する範囲内に、2016年2月初頭に20m×20mの範囲で火入れを行った（図(2)-2）。さらに2017年2月には、2016年と同じ範囲に加え、隣接する20m×20mの範囲においても新たに火入れを行った。いずれも、火入れの範囲の外周に幅約6mの防火帯を作成してから火入れを行った。なお、火入れを実施するための許可は静岡市の協力により得た。

調査は2017年の6月に行った。2016年と2017年の両年とも火入れを行った場所を「2年間火入れ区」、2017年のみ火入れを行った場所を「1年間火入れ区」、防火帯の部分「草刈り区」、これらの処理を行った場所に隣接し、攪乱を行っていない場所を「対照区」として、それぞれの区内の無作為に選んだ場所に20cm×20cmのコドラートを10個ずつ設置し、実生の種と密度を記録した。

（３－１－３）土壌シードバンク調査

障がい者との連携による生物多様性調査には、障がい者の社会参加とやりがいの創出と、生物多様性の保全や自然再生に向けた基礎的なデータの取得を兼ねる効果が期待できる。本研究では、植生遷移が進行しつつある麻機遊水地内の湿生高茎草本群落（ヨシ原）における土壌シードバンク調査を、知的障がい者を対象とした特別支援学校である静岡北特別支援学校高等部との連携により実施した。

2015年の3月8日に麻機遊水地内の5ヶ所で土壌を採取し、3月9日にコンテナに土壌をいれ、実生発生法による土壌シードバンク調査を開始した（図(2)-3）。実験に先立ち、参加する生徒に向け、土壌シードバンク調査の意義や、植物は種ごとに発芽に適した水分条件が異なり、コンテナ内に多様な水分条件を設けることで多くの種を発芽させることができることを説明した。説明から設置までの一連の作業を終えた後に、参加した生徒の感想を調べるアンケートを行った。コンテナ内に撒いた土壌から出現する実生の調査は、原則として1ヶ月に一度の頻度で行った。また土壌を採取した各地点における現地の植物相調査を7月に行った。2015年9月に、出現した植物について説明する授業を静岡北特別支援学校において行った。



図(2)-3 静岡北特別支援学校における土壌シードバンク調査の様子

（３－２）医療・福祉・教育施設による利活用の検討

麻機遊水地に隣接する医療・福祉・教育施設の職員による現在の麻機遊水地の利用実態を把握するとともに、職員がストレス軽減・レクリエーション等の目的で遊水地を活用するニーズを把握することを目的として、職員を対象にした質問紙調査を行った（表(2)-1）。

表(2)-1「麻機遊水地の利用に関する調査」の調査概要

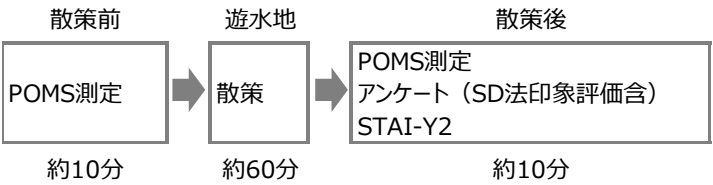
調査日時	2017年7月～8月
調査対象者	静岡県立こども病院 静岡てんかん・神経医療センター 静岡県立静岡北特別支援学校 静岡県立中央特別支援学校 の4組織に勤めるスタッフ 計943名
調査方法	留め置き法
調査内容	日常的な緑地の利用行動 麻機遊水地における休日の利用行動 麻機遊水地における勤務日の利用行動

また、麻機遊水地を活用することの効用を検討し、有効な活用プログラムを開発することを目的として、遊水地散策プログラムの試行と評価を実施した。調査は表(2)-2 に記した内容で、遊水地内を60分

程度散策するプログラムの前後で、被験者の心理、意識への影響を調べるため活動実施前後にPOMS短縮版と実施後にSD法による印象評価および簡単なアンケート調査を行った（図(2)-4）。

表(2)-2「麻機遊水地の散策利用による心理的効果の検証」の調査概要

調査日時	2017年10月9日
調査対象者	静岡てんかん・神経医療センター スタッフ、 子ども病院 スタッフ、地域住民、 保全ボランティアを含めた 計13名
測定項目	短縮版 感情プロフィール検査（POMS）、 SD法による印象評価（20項目程度）、 不安特性調査（STAI-Y2）、 参加者の属性に関する簡単なアンケート



図(2)-4 麻機遊水地の散策利用による心理的効果の実験フロー

（３－３）生態系サービス評価と合意形成への活用

ウェブアンケートにより静岡市民の麻機遊水池の土地利用に関するニーズを把握し、市民ニーズに沿った土地利用型を想定し、生態系サービスの評価値を算出した。その結果を、市民を対象とした公開フォーラムにおいて参加者と情報共有し、情報共有前後での市民の意識の変化をアンケートによって把握し、生態系サービスの情報開示による自然的土地利用の意識醸成の方法を検討した。

（３－３－１）市民ニーズ

麻機遊水地では、湿地、ヨシ原、運動公園など、様々な土地利用が想定され、今後の利活用のあり方について合意形成を図っていくことが重要である。麻機遊水地の生態系サービスには、洪水調節をはじめ、レクリエーション、保健休養、生物多様性保全など多様なサービスがあると考えられるが、生態系サービスの評価値は土地利用によって異なる。本研究では、市民がどのような土地利用のバランスを求めているのか、土地利用のバランスを変えた場合に経済的価値がどのように変化するのか、について評価した。市民がどのような土地利用のバランスに指向を持っているのか類型化した。

コンジョイント分析は、市民の各土地利用に対する支払意志額を一度のアンケート結果から算出することができ、市民の土地利用に対するニーズを支払意志額から類型化することが可能である。本研究ではコンジョイント分析の回答方式の1つである選択型実験を適用し、市民の各土地利用に対する支払意志額を求めることとした。

アンケート調査の方法は、インターネットを利用したウェブアンケート調査を採用した。アンケートの調査概要は

表(2)-3 に示すとおりである。本調査では、調査票を 6 パターン作成しており、それぞれについて回答モニター、年齢階層に偏りのないよう制御した（表(2)-4）。

表(2)-3 ウェブアンケートの調査概要

項目	内容
期間	2016年10月14日(金)～ 2016年10月18日(火)
調査対象	ウェブアンケート調査会社に登録されている静岡市内在住モニター
回収モニター数	830

表(2)-4 回答ブロック別回収モニター数

	15-29歳	30-49歳	50歳以上	合計
ブロック1	18	62	59	139
ブロック2	18	62	59	139
ブロック3	18	62	58	138
ブロック4	18	62	58	138
ブロック5	18	62	58	138
ブロック6	18	62	58	138
合計	108	372	350	830

(3-3-2) ニーズに沿った土地利用型における生態系サービスの評価値の算出

市民ニーズ調査の結果、市民ニーズは生態系利用型、自然保護型、運動公園利用型と、積極的管理を実施しないと回答した人に分けられた。それぞれのニーズに沿った土地利用を(表(2)-5) 示す考えに従って想定し、各土地利用タイプの面積(表(2)-6) に生態系サービスの原単位をかけ、各市民ニーズ型に沿った土地利用型の生態系サービスの評価値を算出した。生態系サービスの原単位には、日本学術会議「森林農地の多面的機能」の評価方法を基に算定した結果を用いた。

表(2)-5 市民ニーズに沿った各土地利用型の想定の方法

略称	土地利用変化
生態系利用型	湿地:10%増加 ヨシ原:10%減少
自然保護型	湿地:10%増加 ヨシ原:10%増加 樹林:20%減少
運動公園利用型	湿地:10%減少 ヨシ原:10%減少 裸地:20%増加
積極的管理なし	・ヨシ原:減少 ・樹林:増加

表(2)-6 市民ニーズに沿った各土地利用型の土地利用タイプの構成面積(ha)

土地利用タイプ	現状	市民ニーズに沿った土地利用型			
		生態系管理型	自然保護型	運動公園利用型	積極的管理なし
開放水面	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
湿地	9.45	14.96	14.96	3.94	9.18
低茎草地	2.61	2.61	2.61	2.61	0.99
ヨシ原	22.86	17.35	28.37	17.35	18.37
樹林	12.15	12.15	1.134	12.15	18.53
裸地	5.22	5.22	5.22	16.24	5.22
水田	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
合計	55.08	55.08	55.08	55.08	55.08

(2-3-3) 情報共有による価値観の変化

市民を対象としたフォーラムにおいて、麻機遊水地の治水上の重要性と静岡市内の公園整備の現状について情報共有した上で、遊水地の多面的な利活用についての他地域での実例と、コンジョイント分析の結果に基づき多様なニーズの存在と、各ニーズによって得られる生態系サービスの価値が異なることを紹介した。フォーラムにおける講演前後でアンケートを実施し、情報共有による価値観の変化について調査した。#

市民を対象としたフォーラムは、表(2)-7に示す通り実施した。フォーラムは午前の部と午後の部とを実施した。午前の部は、地区住民を対象としたもので、麻機遊水地近傍のスマイル麻機において、午後の部は、県市民を広く対象としたもので、静岡駅に近い市街地の静岡県産業経済会で実施した。#

#

表(2)-7 市民を対象としたフォーラムの実施概要

項 目	内 容
名 称	麻機遊水地の利活用を考える市民フォーラム
日時・場所	2017年7月1日（土曜） 午前の部（地区住民対象の部） 10:00-12:00 スマイル麻機 午後の部（県市民対象の部） 14:00-16:00 静岡県産業経済会
プログラム	・ 巴川治水の現状：静岡県 ・ 静岡市の公園とあさはた緑地：静岡市 ・ 麻機遊水地での近年の活動：昭和設計（株） ・ 国内外の遊水地施設とその利活用の紹介：西廣 淳 ・ 利活用シナリオと生態系サービスのバランス：西田 貴明 ・ 会場での意見交換：（司会）西廣 淳

アンケート調査は、講演前後でフォーラム参加者を対象として実施した。受付時に、各参加者に対して、講演前・講演後に回答頂く2種類の調査票を配付した。ここで、フォーラムへの参加に伴う回答の変化を把握できるよう、それぞれの参加者に対して配付した2種類の調査票には、同一の通し番号を附した。また、講演前・講演後には、アンケート回答時間を10分程度設けるとともに、回収率を高めるため、参加者に対して回答を促すアナウンスを行った。#

アンケートでは、フォーラムの講演前、講演後用の調査票に対し、表(2)-8に示す項目を設定した。このうち、「麻機遊水地の利活用のあり方について」、「麻機遊水地の整備にかかる支払意志額」の2つの項目については、フォーラムの実施に伴う参加者の回答の変化を確認するため、講演前・講演後で同一の質問を設定した。

表(2)-8 フォーラム開始前・終了後のアンケート設問項目

調査項目	講演前	講演後
麻機遊水地の利活用のあり方について	○	○
麻機遊水地の整備にかかる支払意志額	○	○
回答者属性	○	
麻機遊水地に関する認知度	○	
フォーラム関連情報の入手先、参加目的	○	
フォーラムの内容について		○
その他自由意見		○

（３－４）カナダSurrey市におけるグリーンインフラ調査

人口増加を背景として、持続可能なまちづくりに向けた先進的な取り組みを進めているカナダ・ブリティッシュコロンビア州のサレー市（City of Surrey）におけるGIの取り組みを取材した。調査は2015年12月3日に行い、GI計画を主に担当するEnvironmental ManagerであるStephen Godwin氏をはじめとする市職員から聞き取り調査を行った。また市内のGIの取り組みを視察した。これを踏まえ、日本への適用可能性を検討した。

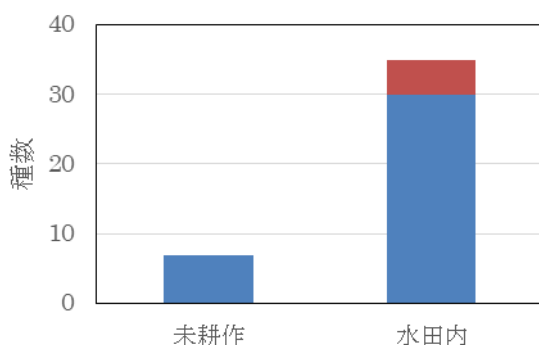
４．結果及び考察

（４－１）植生管理と利活用を両立させる手法の検討

（４－１－１）福祉水田造成の効果

福祉水田を造成した400m²の範囲において、水田造成前には7種しか植物が確認できなかったが、造成後は35種の植物が確認できた（図(2)-4）。そのうちシャジクモ、ミル fras コモ、タコノアシ、ミズマツバ、ウスゲチョウジタデの5種は環境省レッドデータブックに掲載された絶滅危惧種であった。

福祉水田を造成した場所は、遊水地造成前までは水田（湿田）として利用されていた場所であり、さらに遡れば河川周辺の氾濫原湿地であった立地条件である。これらの湿地は競争力が弱く、攪乱の機会を利用して生育する攪乱依存種の重要なハビタットであったが、河川改修や農業の近代化に伴って生育場所が顕著に減少し、その多くが絶滅危惧種となっていた。本研究による植物の確認は、復田が適度な攪乱となり、毎度種子からの植物の再生を促し、生物多様性保全に貢献したものと理解できる。

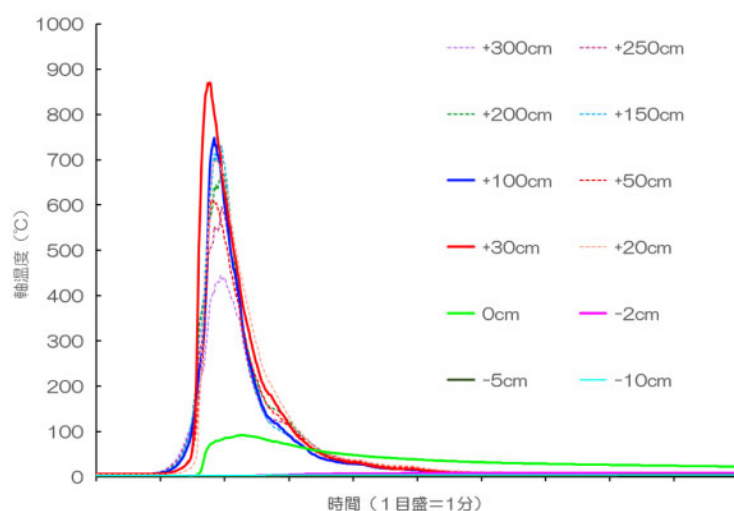


図(2)-4 福祉水田を造成する前後における在来植物種数の変化. レッドリスト種に該当する部分を赤色で示した。

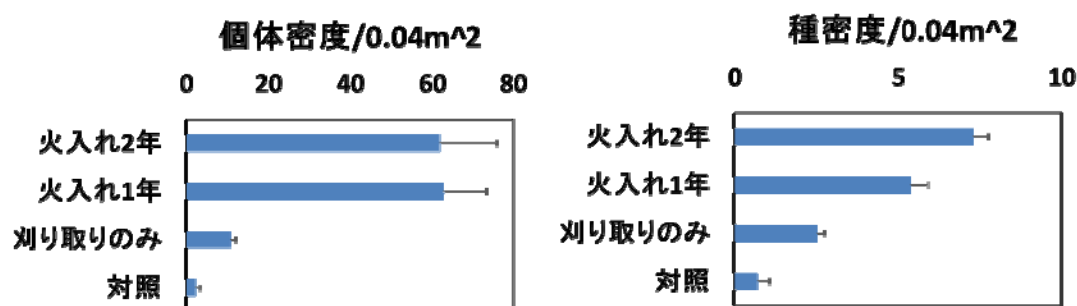
（４－１－２）火入れの効果

火入れ時の温度を測定したところ、地上30cm～100cmの高さでは瞬間的には800℃を超える高温になっていたものの、地表面は最高でも100℃未満であり、また地下わずか2cmにおいても温度変化はまったく認められなかった（図(2)-5）。冬季の火入れは、土中の地下茎や多くの毎度種子にはほぼ悪影響をもたらさないと考えられる。

火入れは春季の実生発生に顕著な正の効果をもたらした。すなわち、コドラート内の在来種の実生密度・種密度とも、火入れ区において、草刈り区や対照区と比べて有意に高いことが確認された。火入れは多くの在来植物に発芽・定着適地を提供し、植物の多様性維持に寄与すると考えられる（図(2)-6）。



図(2)-5 火入れ時における地上300cm～地下-10cmの各高さにおける温度



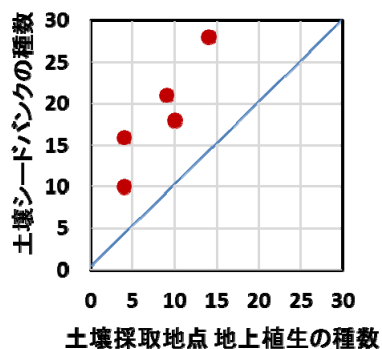
図(2)-6 火入れをした場所（2016年と2017年の2年にわたり火入れをした場所と2017年のみ火入れをした場所）、草刈りのみをした場所、これらの処理を行わなかった場所における在来植物の実生密度と単位面積当たりの種数（種密度）。

（４－１－３）土壌シードバンク調査

実験期間中に記録された種は合計47種でありうち43種が在来種だった。その中には、レッドリスト記載種として、オオアブノメ、タコノアシ、ヤナギヌカボ、ミズアオイ、ミズニラ、シャジクモが含まれていた。これらの種は攪乱依存性の生活史戦略をもつ種である。また土壌を採取した地点の地上植生では認められなかった。麻機遊水地の土壌シードバンク中には絶滅危惧種を含む多様な植物の種子や胞子が含まれており、適度な攪乱を加えることで植物の多様性の回復が実現できることが示唆された。

土壌シードバンク中から確認された種数は、土壌採集地点の地上植生で確認された種数よりも、いずれの場所においても多かった（図(2)-7）。また土壌シードバンクから確認された種数と、採取地点の地上植生で確認された種数の間には正の相関が認められた。この実験を通して、麻機遊水地の土壌シードバンクにおける種多様性の高さが確認され、適度な攪乱による自然再生の可能性が示された。またこの可能性評価研究に障がい者が参加することにより、多様な主体による生物多様性調査が実施できた。

なお、調査によって発芽・成長した植物がコンテナ内に新たに種子を散布し、コンテナ内の土壌における絶滅危惧種を含む植物種子の密度が高まったため、この土壌を遊水地内に運び、新たに造成した池にまきだすプログラムを「シードバンクの里帰り」として静岡北特別支援学校の授業の一環として実施した。土壌シードバンク調査を、自然再生事業のポテンシャル評価の研究として行うだけでなく、障がいを持つ生徒の社会参加プログラムとして行うことができた。



図(2)-7 土壌シードバンク調査で確認された種数(縦軸)と調査対象土壌をサンプリングした場所での確認種数(横軸)

(4-2) 医療・福祉・教育施設による利活用の検討

① 回答者の属性と麻機遊水地の利用実態

勤務日および休日、それぞれの麻機遊水地の利用状況の有無を図(2)-8に示した。選択肢のうち「過去にあり」とは、麻機遊水地の利用をしたことはあるものの、ここ一年來の利用がないことを意味している。これらとあわせても、勤務日および休日それぞれに利用が有る回答者はそれぞれ、11%、ならびに24%といずれの場合においても少なく、利用経験がない人が多数であることがわかった。

② 日常的に利用する緑地タイプの傾向

「日常的に緑地を利用することが有るか？」の設問に対し、597人(63%)の回答者が日常的に緑地を利用することが「ある」と回答していた。日常的に緑地を利用するという回答者が日頃よく利用している緑地のタイプ(都市公園、河川敷、森林、田畑など)を記述式で最大3箇所まであげてもらい、その集計を行った。それらをもとに、土地利用が目的化されている都市公園型の緑地タイプを好んで利用している回答者、人為的な土地利用がされていない自然地(河川敷、森林など田畑も含む)を好んで利用している回答者、ならびにこれら二つのタイプを併用している回答者の3種類の緑地タイプに分類し、回答者属性ごとの緑地タイプの利用状況の集計を行った。性別、年齢、同居する子どもの有無のそれぞれの属性別にまとめたものを表(2)-9に示した。

③ 日常的に利用する緑地タイプと麻機遊水地の利用傾向

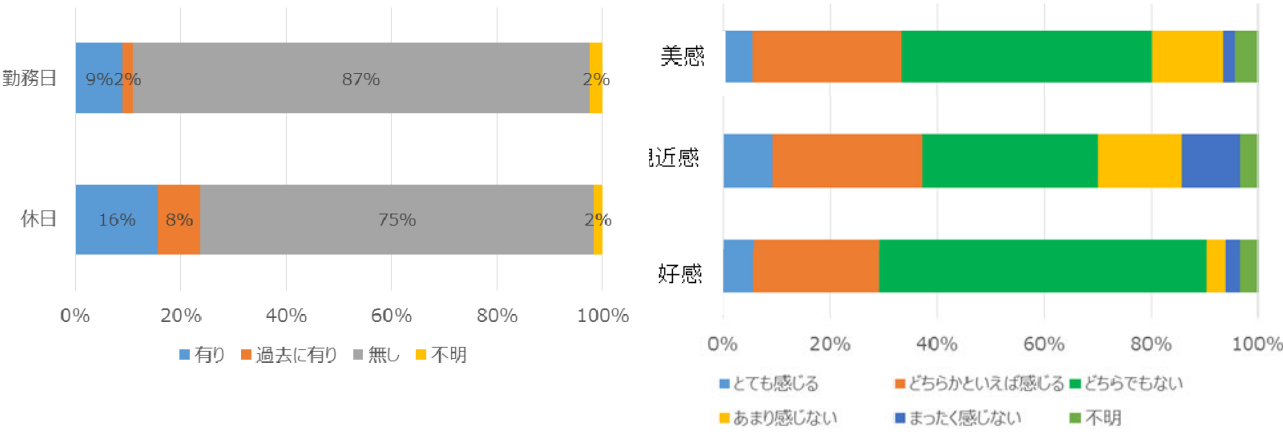
前項で分類したよく利用する緑地タイプごとに麻機遊水地の利用状況の集計を行い、表(2)-10に示した。都市公園を好んで利用している回答者と自然地を好んで利用している回答者の麻機遊水地の利用経験の有無について、フィッシャーの正確確率の検定を行ったところ、オッズ比0.39、 $P < 0.0001$ で有意な偏りが見られた。この結果から、麻機遊水地を過去に一度でも利用したことがある人は、都市公園型よりも自然地型の緑地をよく利用するタイプの人に偏っていることが明らかとなった。

④ 麻機遊水地の主観的評価と利用状況の関係

周辺病院・学校の勤務者が、麻機遊水地に対してどのような主観的感情を抱いているか、調査を行った。具体的な設問としては「あなたは麻機遊水地を美しいと思いますか？(以下、美感)」、「あなたは麻機遊水地を身近に感じますか？(以下、親近感)」、「あなたは麻機遊水地を好きですか？(以下、好感)」の3問を設定し、いずれも「とても感じる」から「まったく感じない」までの5件法にて評価を行った。これらの結果を図(2)-9に示した。

美感、親近感、好感に影響する要因を明らかにするため、これらのそれぞれについて、「とても感じる」あるいは「どちらかといえば感じる」という回答をしたか否かを目的変数、日常的に利用する緑地として自然地型の緑地を挙げたか否か、都市公園型の緑地を挙げたか否か、性別、年齢、子供の有無、

麻機遊水地を利用したことがあるか否かという6項目を説明変数とし、所属機関をランダム要因とする一般化線形混合モデルを構築して解析した。その結果、美感、親近感、好感のすべての項目について、麻機遊水地の利用経験による有意な正の効果が認められた（表(2)-11）。因果関係については今後追加的な検討が必要だが、遊水地への訪問の促進が、好感、美感、親近感の向上・共有に寄与しうることが示唆された。



図(2)-8 近隣病院・勤務者の麻機遊水地の利用実態 図(2)-9 麻機遊水地に対する主観的評価 (n=943)

表(2)-9 属性別の日常的によく利用する緑地のタイプ

利用緑地 タイプ	全体	性別		年代別					未成年子供との同居	
		男性	女性	20代	30代	40代	50代	60代 以上	有り	無し
該当者数(人)	597	167	402	113	169	165	109	19	271	285
都市公園型	26%	20%	29%	31%	27%	21%	25%	22%	29%	23%
自然地形型	25%	35%	21%	28%	21%	27%	24%	39%	19%	31%
併用型	46%	43%	47%	36%	50%	47%	49%	39%	49%	42%
不明	4%	2%	4%	4%	3%	4%	3%	0%	3%	4%

表(2)-10 利用緑地タイプと麻機遊水地の利用経験 (人)

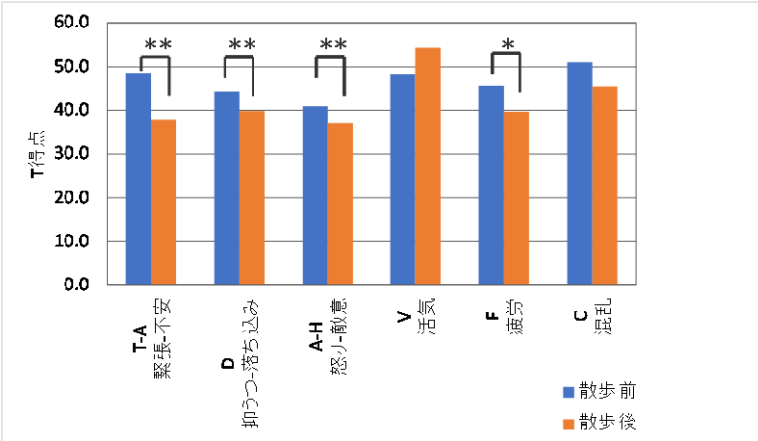
	経験有り	経験無し	小計
都市公園型	39	132	171
自然地形型	69	90	159
併用型	112	169	281
全体	220	391	611

表(2)-11 麻機遊水地に対する美感、親近感、好感と関連性の深い要因の解析（一般化線形混合モデルによる）。係数 ± 標準誤差。* P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001

	美感	親近感	好感
切片	-1.29 ± 0.56*	-0.93 ± 0.64	-2.14 ± 0.67**
都市公園型緑地の利用	0.04 ± 0.24	-0.59 ± 0.25*	-0.37 ± 0.26
自然地形型緑地の利用	0.26 ± 0.24	0.13 ± 0.25	0.56 ± 0.27*
性別（男が正）	0.03 ± 0.21	0.14 ± 0.23	0.56 ± 0.23*
年齢	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.01*	0.02 ± 0.01
子の有無	-0.12 ± 0.20	-0.27 ± 0.19	0.09 ± 0.22
麻機遊水地の利用経験	1.35 ± 0.21***	1.77 ± 0.22***	1.84 ± 0.23***

⑤ 麻機遊水地の散策利用による心理的効果

図(2)-10 に麻機遊水地を1時間程度散策した前後におけるPOMSの変化を示した。緊張 - 不安、抑うつ - 落ち込み、怒り - 敵意、疲労の4種のネガティブな感情が有意に低下していた。本結果は単純な散策による運動効果も含まれてはいると思われるが、緑地で過ごすことによる心理的効果を示唆する先行研究と矛盾しない結果であり、遊水地の散策利用により十分な心理的効果が得られることが明らかとなった。

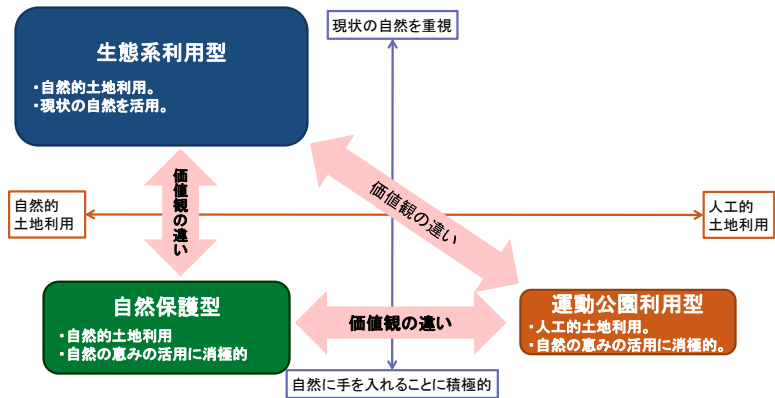


図(2)-10 散策前後における気分状態の変化(n=13)

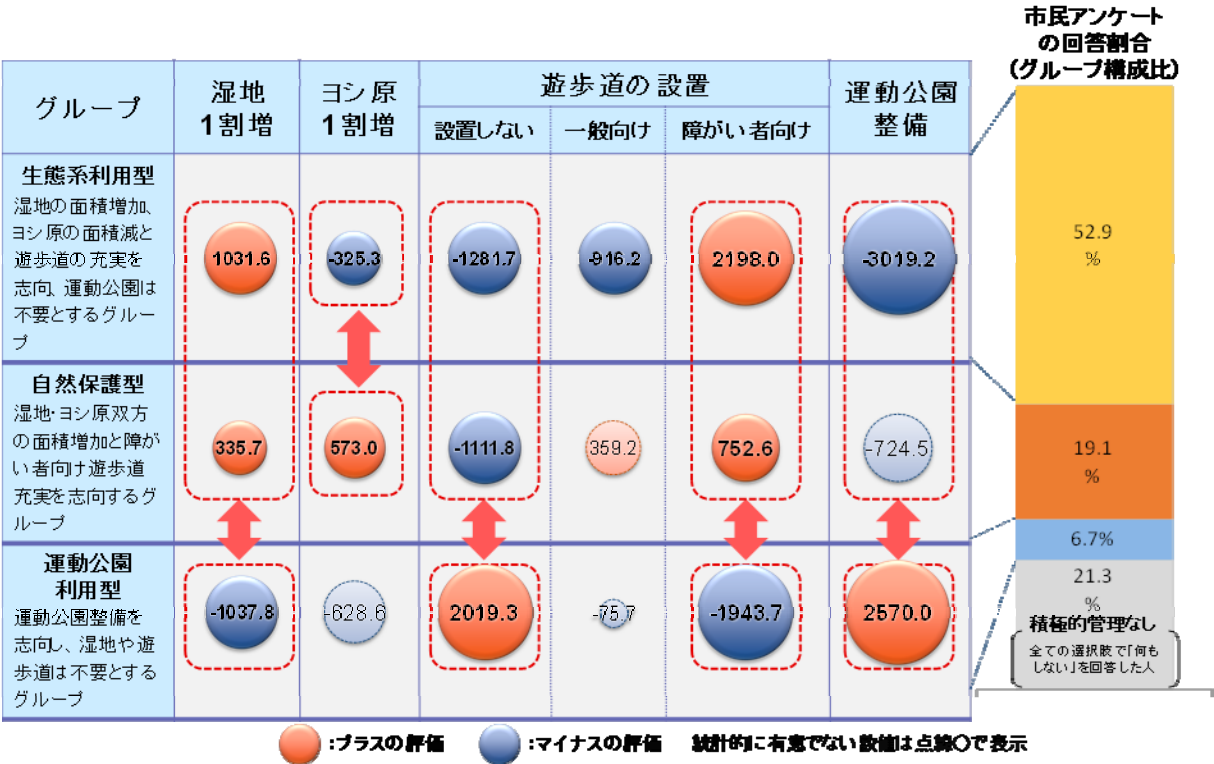
(4-3) 生態系サービス評価と合意形成への活用

(4-3-1) 市民ニーズ

ウェブアンケートの結果を用いたコンジョイント分析の結果、3つの市民ニーズが認識された(図(2)-11)。各市民ニーズを指向の特徴を踏まえ、生態系に積極的に手を入れることを指向する「生態系利用型」のグループ、湿地とヨシ原を重視する「自然保護型」、スポーツ施設を積極的に整備する「運動公園利用型」とした。これに加え、全ての選択肢で何もしないと回答したグループがあり、これを「積極的管理なし」とした。コンジョイント分析によって求められた限界支払意志額に、各ニーズが占める割合(全サンプルを対象とした場合)と静岡市の世帯数(285,655世帯、H27国勢調査)を掛けることによって、土地利用に対する市民の支払意志額を算出した(図(2)-12)。なお、積極的管理なしの支払い意志額は0としている。



図(2)- 11 コンジョイント分析によって把握された各市民ニーズ型



図(2)- 12 市民ニーズ型別限界支払意志額

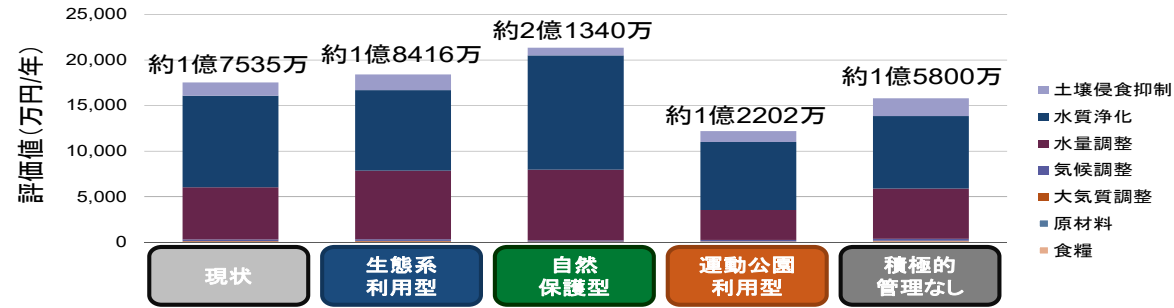
#

(4-3-2) ニーズに沿った土地利用型における生態系サービスの評価値の算出

各市民ニーズに沿った土地利用型の生態系サービスの評価値を図(2)-13に示す。現状よりも生態系サービスの評価値の合計値が低くなるのは、運動公園利用型と積極的管理なしであった。現状よりも生態系サービスの評価値の合計値が高くなるのは、生態系利用型と自然保護型であった。

生態系サービスの機能別にみると、土壌侵食抑制機能は、生態系利用型と積極的管理なしで高い値となり、自然保護型と運動公園利用型では低い値を示した。土壌侵食抑制機能は樹林に依存しており、自然保護型は樹林を少ない状態で管理するものであるため、土壌侵食抑制機能の評価値が低い値となった。水質浄化機能は、自然保護型が他の型よりも高い値を示した。自然保護型は、高い水質浄化機能を持つ湿地やヨシ原を広い面積で維持していくものであり、水質浄化機能の評価値は高い値となった。

土地利用の違いによって得られる生態系サービスの評価値は異なった。管理せず植生遷移が進行すると生態系サービスの評価値は低くなる。運動公園に利用しようとする生態系サービスの評価値は低くなり、生態系サービスを得ようとする、運動公園として利用可能な面積は限られる。また、水質浄化機能を得ようすると土壌侵食機能は減少し、土壌侵食機能を得ようすると水質浄化機能が減少するというトレードオフの関係が確認された。



図(2)- 13 各市民ニーズに沿った土地利用型の生態系サービスの評価値

(4-3-3) 情報共有による価値観の変化

市民を対象としたフォーラムは、午前の部は、麻機遊水地に隣接する施設「スマイル麻機」にて地区住民を対象に実施、午後の部は、静岡市街地の「静岡県産業経済会」にて県市民を対象に実施したものであり、本アンケートの回答者属性は午前の部と午後の部で大きく異なる。回答内容にも違いがあるものと想定されることから、午前の部と午後の部に分けて集計した。

■ 湿地の規模の考え方 (図(2)-14)

「午前の部」

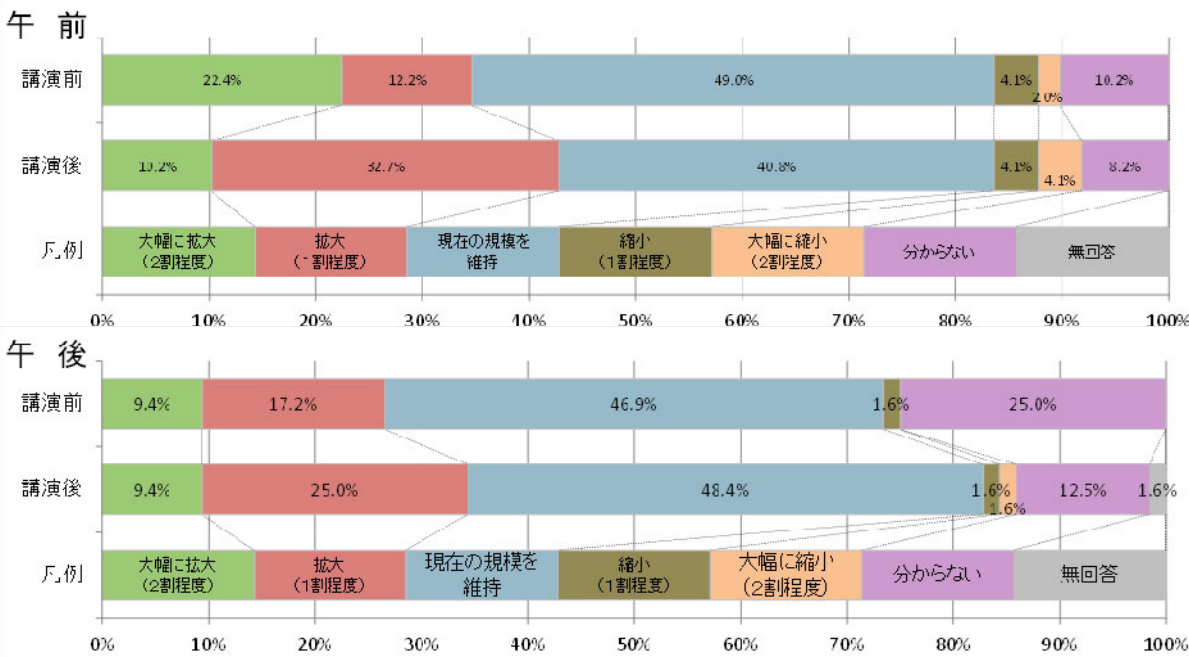
麻機遊水地での湿地（水田程度の水分条件の場所を想定）の規模の考え方を尋ねたところ、午前の部では、講演前後とも「現在の規模を維持」が最も多かった（講演前：49.0%、講演後：40.8%）。2番目以降は、講演前では「大幅に拡大（2割程度）」（22.4%）、「拡大（1割程度）」（12.2%）の順となっていたが、講演後には「拡大（1割程度）」（32.7%）、「大幅に拡大（2割程度）」（10.2%）の順であった。

講演前後での回答の変化によると、講演前に「大幅に拡大（2割程度）」と回答した人（11人）のうち6人、講演前に「現在の規模を維持」と回答した人（24人）のうち6人が、それぞれ「拡大（1割程度）」に回答を変えており、これらの結果を受けて、講演後に「拡大（1割程度）」と回答した割合が大きく増加している（講演前：12.2%→講演後：32.7%）。

「午後の部」

午後の部では、午前の部と同様、講演前後とも「現在の規模を維持」が最も多かった（講演前：46.9%、講演後：48.4%）。2番目以降は、講演前では「分からない」（25.0%）、「拡大（1割程度）」（17.2%）の順となっていたが、講演後は両者の順番が逆転し、「拡大（1割程度）」（25.0%）、「分からない」（12.5%）の順であった。

講演前後での回答の変化によると、講演前に「大幅に拡大」と回答した人（6人）のうち2人、講演前に「現在の規模を維持」と回答した人（29人）のうち4人が、それぞれ「拡大（1割程度）」に回答を変えており、これらの結果を受けて、講演前後で「拡大（1割程度）」と回答した割合が増加している（講演前：17.2%→講演後：25.0%）。また、「分からない」とする回答が半減しており（講演前：25.0%→講演後：12.5%）、回答を変えた9人のうち8人は「現状の規模を維持」に回答を変えている。



図(2)- 14 湿地（水田程度の水分条件の場所）の規模の考え方

■ ヨシ原の規模の考え方（図(2)-15）

「午前の部」

麻機遊水地でのヨシ原の規模の考え方を尋ねたところ、午前の部では、講演前後とも「現在の規模を維持」が最も多く（講演前：32.7%、講演後：34.7%）、次いで「縮小（1割程度）」（講演前：24.5%、講演後：22.4%）であった。講演前では、この次に「大幅に縮小（2割程度）」（14.3%）が続いていたが、講演後は「拡大（1割程度）」（18.4%）が3番目に多かった。

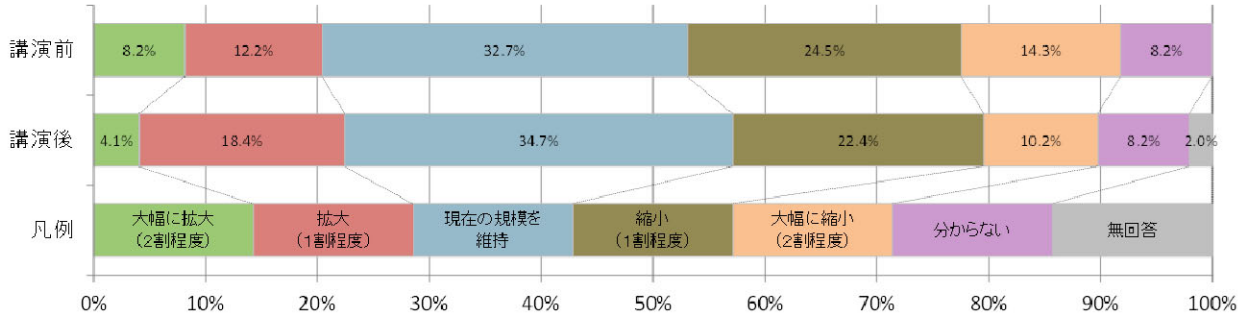
講演前後での回答の変化によると、講演前に「縮小（1割程度）」と回答した人（12人）のうち3人、講演前に「拡大（1割程度）」と回答した人（6人）のうち3人が、それぞれ講演後に「現状の規模を維持」に回答を変えている。また、講演前に「大幅に拡大（2割程度）」と回答した人（4人）のうち3人、「現状の規模を維持」と回答した人（15人）のうち3人が、それぞれ講演後に「拡大（1割程度）」に回答を変えている。これらの結果を受けて、講演前後で「現状の規模を維持」、「拡大（1割程度）」と回答した割合が増加している（「現状の規模を維持」…講演前：32.7%→講演後：34.7%、「拡大（1割程度）」…講演前：12.2%→講演後：18.4%）。

「午後の部」

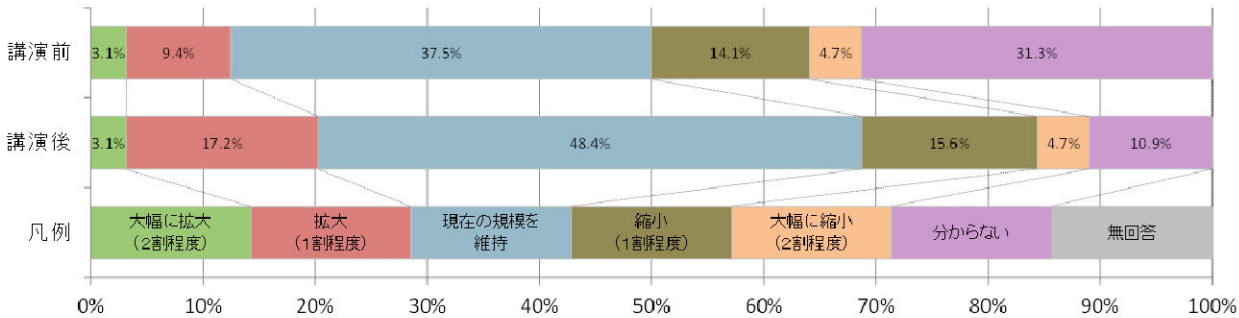
午後の部では、講演前後とも「現在の規模を維持」が最も多かった（講演前：37.5%、講演後：48.4%）。講演前では、これに「分からない」（31.3%）、「縮小（1割程度）」（14.1%）が続いたが、講演後は「拡大（1割程度）」（17.2%）、「縮小（1割程度）」（15.6%）が続いた。

講演前後での回答の変化によると、「分からない」から「現在の規模を維持」への変化が多く、講演前に「分からない」と回答した20人の内8人が「現在の規模を維持」に回答を変えている。また、講演前に「現在の規模を維持」と回答した19人の内4人が「拡大（1割程度）」に回答を変えている。講演前後で「現状の規模を維持」、「拡大（1割程度）」と回答した割合が増加している（「現状の規模を維持」…講演前：37.5%→講演後：48.4%、「拡大（1割程度）」…講演前：9.4%→講演後：17.2%）。

午 前



午 後



図(2)- 15 ヨシ原の規模の考え方

■運動公園・スポーツ施設を作ることに対する考え方（図(2)-16）

「午前の部」

麻機遊水地に運動公園・スポーツ施設を作ることが望ましいと思うかを尋ねたところ、午前の部では、講演前後とも「一部には運動公園をつくるが、範囲を限定する」が最も多かった（講演前：55.1%、講演後：65.3%）。講演前では、「運動公園を作るとは望ましい」（22.4%）が続いた。一方、講演後では「運動公園を作るとは望ましくない」（22.4%）が2番目に多い回答となった。

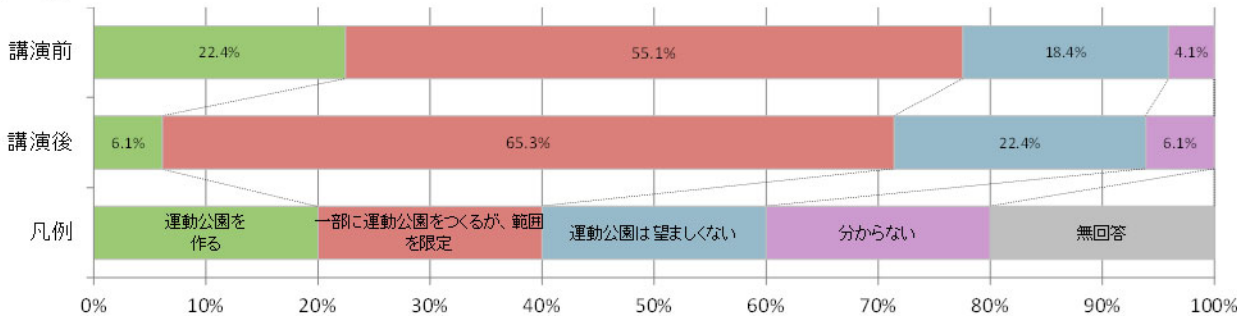
講演前後での回答の変化によると、講演前に「運動公園を作るとは望ましい」と回答した11人の内7人が「一部には運動公園をつくるが、範囲を限定する」に回答を変えている。講演前には他の土地利用への影響を想定せず運動公園を作るとを志向していた地区住民が、講演内容を踏まえ、湿地やヨシ原など、他の土地利用とのバランスを念頭に置いた意識に変化したものと捉えられる。

「午後の部」

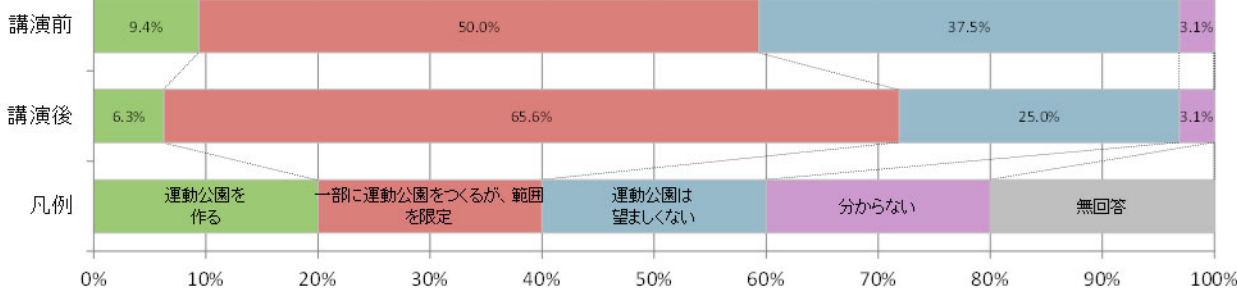
午後の部は講演前・講演後ともに「一部には運動公園をつくるが、範囲を限定する」（講演前：50.0%、講演後：65.6%）が最も多く、次いで「運動公園を作るとは望ましくない」（講演前：37.5%、講演後：25.0%）の順であった。

講演前後での回答の変化は、講演前に「運動公園を作るとは望ましくない」と回答した24人の内8人が「一部には運動公園をつくるが、範囲を限定する」に回答を変えている。講演前には湿地やヨシ原などの自然的土地利用を優先し、人工的な運動公園の設置に反対していた県市民が、講演内容を踏まえ、多様な土地利用を志向するような意識に変化したものと捉えられる。

午 前



午 後



図(2)- 16 運動公園・スポーツ施設を作ることに対する考え方

本調査の全体の傾向を捉えると、湿地、ヨシ原の「大幅に拡大（2割程度）」を志向する人の割合は減少し、利活用のあり方を「分からない」とする回答割合が低下し、生態系サービスの価値評価が極端な意見を減少させ、また生態系サービスの価値に対する理解を深めることが示唆された。特に午前の部では、湿地、ヨシ原ともに、講演前後で「大幅に拡大（2割程度）」の割合が減少している。

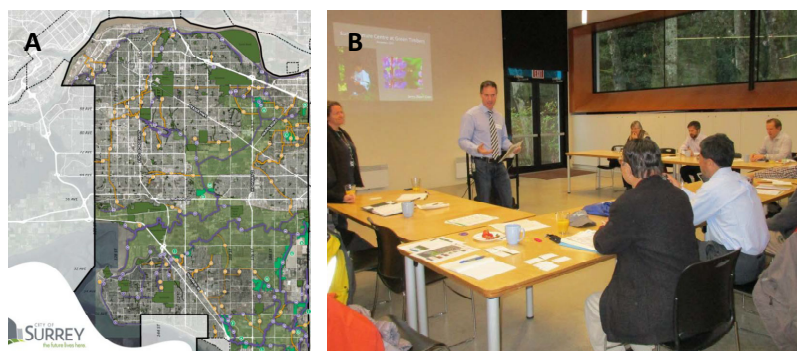
講演前には、湿地、ヨシ原それぞれを「大幅に拡大する」という志向を有していた地区住民の中で、講演内容を理解することによって、その特定の土地利用に対する志向を緩和する方向で意識が変化することが、アンケート結果に表れているものと捉えられる。利活用のあり方について、「分からない」とする回答割合についてみると、講演前に比べて講演後には概ね低下傾向にあり、講演内容が、利活用のあり方を判断する際の情報として有益であったものと捉えられる。特に、午後の部における、湿地・ヨシ原の規模に対する回答で、「分からない」とする回答割合が大きく減少している（湿地の規模：25.0%→12.5%、ヨシ原の規模：31.3%→10.9%）。この要因として、講演前段階では麻機遊水地の湿地やヨシ原の状態・将来像、利活用によってもたらされる効果・影響を具体的に認識できておらず、利活用のあり方に関する考え方を持っていなかった人が、講演を通して麻機遊水地に関する理解が深まり、麻機遊水地の利活用のあり方に対する考え方を明確にできたものと想定される。

フォーラムでの講演を通して生態系サービスの価値を定量的に示すことにより、多様なニーズが存在することと、そのニーズに沿った土地利用で得られる生態系サービスに違いがあることが理解されたと考えられる。このような市民や利用者の意識変化は、自分と異なる意見を容認し、合意形成を容易にする可能性が期待される。

（４－４）カナダSurrey市におけるグリーンインフラ調査

人口増加・経済成長過程にあるサレー市では、将来にわたり生態系サービスを享受し続けるために必要となる河川や樹林などの自然地をGIと位置付け、拠点となる重要な自然地、そしてそれらネットワークするコリドーをマップ化してインターネットで公開していた（以下、GIネットワークマップとする）。これにより、限られた予算の中で守るべき自然地を確実に守りつつ、必要な開発は効率良く進めていくことを実現していることがわかった。市のおよそ13%が保全すべき自然地とされており、今後60年間で430ha程の土地を確保していく予定とされていた。GIネットワークマップでは、市内を14のエリアに分け、23の植生タイプでハビタットタイプを整理し、エリアごとに指標種を設定しHabitat Suitabilityをマップ化していた。なお、指標種は、シカ、渡り鳥、サケなど、一般の人が見て理解でき、親しむことができるようなものを選定していた。Habitat Suitabilityでは、森の隣の湿地は公園の隣の湿地よりも価値が高くなるように、似たハビタットがあっても周辺環境を考慮した定量化がなされていた。こうしてできたHabitat Suitability Mapをベースに、10ha以上の広さの自然地をハブ、それより小さいものをサイトとし、それらをつなぐコリドーを設定していた。コリドーの設定では、まずコンピュータシミュレーションで物理的に合理的な経路の候補を作成し、次に人口密度が低いところや地下にパイプが埋められているところなど、実現可能性を考慮した上で案を絞り、最終的には生態学者の意見を反映してインフラストラクチャーネットワークを作成していた（図(2)-17）。こうしたマップはすべてCOSMOS

(<http://cosmos.surrey.ca/external/>) というデータベースで公開されており、土地所有者や開発業者が確認することもできるようになっていた。



図(2)-17 サレー市のグリーンインフラネットワーク地図の一部（A）、聞き取りの様子（B）

計画の初期段階から詳細まで公開する進め方は、日本社会での適用は容易ではないかもしれない。しかし、保全地や指標種の個体数などの目標値を明瞭にして計画的に推進する手順は日本でも有効だろう。

日本においてGIの考え方を踏まえた土地利用計画を実現する上では、生物多様性地域戦略を、地球温暖化への適応策や国土強靱化地域計画などと綿密にリンクさせることが重要になると考えられる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

生態系サービスの評価を目的とした研究において、生物生産や防災などの評価は広く行われるようになってきた。しかし、人の健康への直接的な効果の検証はきわめて不十分であった。本研究では、遊水地の利活用プログラムを開発するとともに、そこに参加した人への聞き取り調査、アンケート、心理テストなどを通して、生物多様性の高い遊水地の利活用が、緊張、抑うつ、怒り、疲労の軽減など、心理・気分状態に正の効果をもたらすことが検証できた。これは保全生態学と心理学の融合という新しい分野を切り開く点で科学的にも重要な成果である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

遊水地の多面的な機能を引き出す麻機遊水地での取り組みは、「生態系を活用した防災・減災に関する考え方」（環境省自然環境局 平成28年2月）において、防災施設を活用して地域活性化に寄与している事例として紹介された（<http://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr/pamph01.pdf>）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

今後の環境政策において、国連持続可能な開発目標（SDGs）への取り組みは重要度を増すものと考えられる。本研究で明らかにした「防災のために整備された場において、生物多様性を保全しつつ、人の心の健康に寄与する利用が実現できる」という事実は、SDGsにおける目標3（健康・福祉）、目標11（住み続けられるまちづくり）、目標15（陸上の生物多様性保全）が同時実現あるいは相乗効果の発揮が期待できることを示すものであり、今後の政策への活用が期待できる。

また生態系サービス評価の結果を共有することによって、合意形成の素地が形成される可能性を示したことも、重要な成果である。都市域のように多様な主体がかかわる場でのグリーンインフラ整備において、合意形成はきわめて重要な課題である。本研究では、遊水地が持つ治水、公園、ハビタット提供などの機能を説明した上で、市民を対象とした価値評価の結果を共有するフォーラムに参加することにより、運動公園を大幅に拡大するなどの極端な意見が減少し、より中庸な意見が増加する変化が認められた。この変化は、他者の意見を認め、合意形成をより容易にするものと考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Osawa T, Yamanaka T, Nakatani Y, Nishihiro J, Takahashi S, Mahoro S, Sasaki Y: Biodiversity Data Journal, A crowdsourcing approach to collecting insect and plant observation records. (in press)
- 2) 市東美里、古賀和子、西廣淳、岩崎寛： 緑化工学会誌, 43, 267-270 (2017), 都市緑地における自然観察プログラムと健康プログラムの連携実施が参加者の意識や心理に与える影響
- 3) 高橋栞、上野裕介、西廣淳：応用生態工学, 20, 43-47 (2017), 都市における雨水調整池のグリー

ンインフラ化の可能性：千葉県船橋市での検討

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 西廣淳：国立公園、763、16-19（2018）
「静岡市・麻機遊水地における利活用と生物多様性保全の両立を目指した取り組み」
- 2) 西廣淳・古賀和子：緑化学会誌（印刷中）
「公衆衛生の改善に向けた都市のグリーンインフラ：研究の動向と課題」
- 3) 岩浅有記・西田貴明：日本生態学会誌、67、（2）、239-245（2017）
「人口減少・成熟社会におけるグリーンインフラストラクチャーの社会的ポテンシャル」
- 4) 西田貴明：農村計画学会誌、36（2017）
「グリーンインフラ」
- 5) 西田貴明：環境ビジネス2017年秋号（2017）
「グリーンインフラとは何か」
- 6) 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）：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、198-206（2017）
「グリーンインフラとしての遊水地（執筆担当：西廣淳）」
- 7) 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）：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、304-311（2017）
「グリーンインフラとしての海岸湿地・干潟（執筆担当：河口洋一、西廣淳）」
- 8) 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）：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、20-24（2017）
「グリーンインフラとは（執筆担当：吉田丈人、西廣淳、西田貴明、岩浅有記）」
- 9) 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）：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、25-42（2017）
「なぜ今、グリーンインフラが求められるのか（執筆担当：西田貴明、加藤禎久）」
- 10) 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）：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、58-69（2017）
「日本のグリーンインフラに関する政策動向（執筆担当：西田貴明、岩浅有記、中山直樹）」
- 11) 西廣淳：応用生態工学、20、137-142（2017）
「生態系のレジリエンスと生物多様性：「変動の時代」の応用生態工学に向けて」

（２）口頭発表（学会等）

- 1) 白土智子、林紀男、内山香、西廣淳：日本生態学会第64回大会（2017）
「シードバンクを活かした自然再生と市民参加」
- 2) 高橋栞、上野裕介、西廣淳：日本生態学会第64回大会（2017）
「都市の生物多様性：住宅地の空き地や調整池はグリーンインフラストラクチャーになるか？」
- 3) 上野裕介、大澤剛士、西田貴明、西廣淳：日本生態学会第64回大会（2017）
「自然を活用した社会づくり：グリーンインフラによる防災・生物多様性・健康・地域活性化の取り組み」
- 4) Shiratsuchi, S., Hayashi, N., Nishihiro, J, 17th International Symposium on River and Lake Environment and 3rd International Symposium on Aquatic Botany, 2017
“Restoration of ‘extinct’ aquatic plants from the sediment seed banks of ponds in urban parks of Tokyo”
- 5) Takahashi, S., Nishihiro, J, Annual meeting of Ecological Society of America, 2017
“Study on the Green Infrastructure for multifunctional use of open space in urban area”
- 6) Nishihiro, J, Annual meeting of Ecological Society of America, 2017
“Nature restoration and human welfare: research and practices for vegetation restoration through cooperation with disability people”

- 7) 市東実里、古賀和子、西廣淳、岩崎寛：ELR2017（2017）
「都市緑地における自然観察プログラムと健康プログラムの連携実施が参加者の意識や心理に与える影響」
- 8) 高橋栞、西廣淳、徳江義宏、今村史子、上野裕介：ELR2017（2017）
「住宅地の空き地のグリーンインフラストラクチャー化に向けた機能評価」
- 9) 白土智子、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：日本生態学会第63回大会（2016）
「都市公園における湿地再生の可能性～東京都での検討～」
- 10) 宮寄舞、川井田美枝、寺園直美、西廣淳：応用生態工学会第20回大会（2016）
「放棄水田を活用した湿地再生～印旛沼流域・八幡溜での試み」
- 11) 上野裕介、大澤剛士、西廣淳：応用生態工学会第20回大会（2016）
「グリーンインフラが有する多機能性を、いかにして引き出すか？麻機遊水地での防災・生物多様性・健康・地域活性化の取り組み」
- 12) 高橋栞、上野裕介、西廣淳：応用生態工学会第20回大会（2016）
「日本における都市型グリーンインフラストラクチャーの導入可能性：住宅地における雨水調整池と空き地の活用策の検討」
- 13) 白土智子、林紀男、内山香、西廣淳：応用生態工学会第20回大会（2016）
「散布体バンクを活用した水生植物の再生可能性と市民参加型プログラムの検討―東京都内の公園を対象に」
- 14) 白土智子、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：応用生態工学会第19回研究発表会（2015）
「湿地再生の可能性評価に向けた東京都内の散布体バンクの把握」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない。

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 西廣淳「草原の保全と「牧の七草」調査」（（公財）日本自然保護協会・北総アクションプラン研究会、2015年8月21日、白井複合センター）
- 2) 西廣淳「刈り取って守る湿地の自然」（コウノトリ湿地ネット講演会、2015年11月7日、豊岡市立ハチゴロウの豊島湿地管理棟）
- 3) 西廣淳「EcoDRR：防災と保全の両立に向けて」（日本生態学会自然再生フォーラム「仙台湾岸に学ぶ激甚災害後の砂浜植生の再生と保全」、2015年11月14日、東北学院大学土樋キャンパス）
- 4) 西廣淳「仙台湾岸の砂丘と海岸林～グリーンインフラに向けた「再生」の可能性」（第4回森林環境市民講座、2016年4月23日、朝日新聞東京本社読者ホール）
- 5) 西廣淳「豊草原の恵み」（カフェ自愉時間、2016年7月3日、North Lake Cafe & Books）
- 6) 西廣淳「生態系のレジリエンスと生物多様性」（応用生態工学会設立20周年記念公開シンポジウム「気候変動下における自然と地域社会のレジリエンスー応用生態工学の新たな展開ー」、2016年9月4日、東京大学農学部）
- 7) 西廣淳「グリーンインフラ：開発と自然保護の対立を超える」（東邦大学産学官民連携自然環境保全と持続可能な社会作りセミナー「環境を創る：グリーンインフラを創造する人材の育成」、2016年11月2日、東邦大学理学部）
- 8) 西廣淳「タネから考える自然再生のスケジュール」（あいち自然再生カレッジ、2016年11月19日、名古屋大学農学部）
- 9) 西廣淳「生物多様性と防災・減災」（筑波大学自然保護寄附講座公開講座、2016年11月20日、筑波大学）
- 10) 西廣淳「植物の共存を可能にする「ほどほどな攪乱」とは」（国立科学博物館附属自然教育園「やさしい生態学講座」、2017年2月14日）

- 11) 西廣淳「生物多様性とは何か」(第20回ふなばし環境フェア生物多様性シンポジウム、2017年6月11日、船橋市中央公民館)
- 12) 西廣淳、「国内外の遊水地施設とその利活用の紹介」(麻機遊水地の利活用を考える市民フォーラム、2017年7月1日、スマイルあさはた・静岡県産業経済会館)にて講演
- 13) 西廣淳「遊水地の多面的な利活用」(第4回生物多様性に関する日中韓3カ国政策対話、2017年8月31日、静岡市麻機遊水地・静岡てんかん神経医療センター)
- 14) 西廣淳「すてきな水溜り」(カフェ自愉時間、2017年9月3日、North Lake Cafe & Books)
- 15) 西廣淳「人と植物の新しい共存：各地で進む自然再生の取り組み」(日本植物学会公開講演会「植物の生き方・人との共生」、2017年9月10日、東京理科大学野田キャンパス)
- 16) 西廣淳「渡良瀬遊水地の湿地植生のゆくえ」(渡良瀬遊水地ラムサール条約湿地登録5周年記念講演会、2017年10月29日、栃木市藤岡公民館)
- 17) 西廣淳「多目的遊水地と地域の魅力を高めるために」(アーバンみらい東三番街自治会勉強会、2017年11月11日、アーバンみらい東三番街管理事務所)
- 18) 西廣淳「里山グリーンインフラの可能性」(市民フォーラム「里山グリーンインフラの可能性」、2017年12月17日、東邦大学薬学部C館101)
- 19) 西廣淳「グリーンインフラの社会実装に向けて」(建設コンサルタンツ協会東北支部講演会「グリーンインフラの活用と今後の動向について」、2018年1月18日、仙台市TKPガーデンシティPREMIUM 仙台東口)
- 20) 西廣淳「湿地の生物と共生するための利用」(麻機遊水地の植物活用に関する座談会、2018年1月28日、静岡市スマイルあさはた)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 静岡新聞朝刊(2018年1月29日、火入れで草地活性化 葵区麻機遊水地で実験)
- 2) 読売新聞(2018年1月29日、「ヨシ」守るために燃やす…生態系の維持に良し)
- 3) 静岡新聞朝刊(2017年7月7日、「大自在」(七夕豪雨と麻機遊水地についてのコラム))
- 4) 静岡新聞朝刊(2017年1月30日、麻機遊水地火入れ実験「自然環境守り育てたい」葵区住民、大学生)
- 5) 日刊工業新聞(2016年6月24日、可能性広がる・グリーンインフラ (3) 遊水地の活用-“多機能性”で地域活性化)
- 6) 静岡新聞(2016年2月8日、「麻機遊水地で火入れ実験」)
- 7) 静岡新聞(2016年2月7日、麻機遊水地で火入れ実験 植生管理の方法探る 自然再生協)
- 8) 静岡新聞(2015年8月30日、「湿地活用の先進例視察」)

(6) その他

<研究成果に対する表彰>

- 1) 高橋栞、西廣淳、徳江義宏、今村史子、上野裕介：ELR2017最優秀ポスター賞(2017)
「住宅地の空き地のグリーンインフラストラクチャー化に向けた機能評価」
- 2) 市東実里、古賀和子、西廣淳、岩崎寛：ELR2017優秀ポスター賞(2017)
「都市緑地における自然観察プログラムと健康プログラムの連携実施が参加者の意識や心理に与える影響」

<関連する活動の表彰>

- 1) 静岡北特別支援学校による麻機遊水地での活動「麻活」が日本水大賞文部科学大臣賞受賞(2017年5月)
- 2) 麻機遊水地保全活用推進協議会ベータ部会がグリーンレジリエンスアワード最優秀賞受賞(2017年3月)

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない

Ⅱ－３ 海岸低地景観におけるGI：津波・洪水氾濫に耐えられる海岸林、水田の応用生態工学的評価

・研究分担者

国立大学法人 徳島大学 鎌田磨人
 武藤裕則
 渦岡良介（平成27～28年度）
 野田稔 （平成27～28年度）

・その他の研究協力者

渡辺公二郎、佐々木剛、朝波史香（平成27～29年度）、渦岡良介、野田稔（平成29年度）

・実施期間と予算

平成27年度～29年度累計予算額：36,142千円（うち平成29年度：11,837千円）

予算額は、間接経費を含む。

【要旨】

徳島県阿南市の海岸マツ林において、地盤工学および流体力学の観点から防災機能の定量的評価を行い、現在のマツ林が高い防災機能を持つことを明らかにした。また、毎木調査やヒアリング等を通して、植生学的・社会的持続性の評価を行った。住民の意識の違いがマツ林に対するかかわり方の違いとなり、結果的に林分構造の違いを生み出していることを明らかにし、地域の社会特性を考慮した維持管理手法の検討が必要であることを示した。他地域の海岸マツ林での調査結果から、ガバナンスが適切に機能できるよう、関係する主体が積極的に議論していくことが重要であることを示した。水田について、その湛水機能の評価方法として、内水氾濫解析モデルAFRELを用い、洪水調節の定量的評価を行った。水田の一部が宅地に転用されたシナリオでは、下流に流れる水量が増大し、河川の負担を増加させ、下流域での災害リスクを高めることにつながる可能性があることを示した。また、ナベヅルの餌場適地モデルを作成することで、浸水想定区域とナベヅルの餌場適地となる水田域がほぼ一致することを示した。これは、洪水リスクの高い地域の水田を維持することが、その洪水調節機能の活用によるリスク低減と、ナベヅルの生息地の維持につながる事を示唆している。最後に、阿南市の近年の建築活動や浸水想定区域との関係について明らかにし、今後農地をGIとして活かしていくための土地利用施策を提案した。

【キーワード】

海岸マツ林、防災機能、持続可能性、水田、洪水調節機能、ハビタットモデル、土地利用施策

1. はじめに

徳島県阿南市の沖積平野は、海岸の砂浜、海浜堤、氾濫原、微高地からなり、海浜堤上には、防潮・防風のために古くからクロマツが植林されてきた。その内陸側の氾濫原は水田に利用されてきた。居住地は海浜堤上のマツ林背後や、氾濫原内の自然堤防などからなる微高地に形成されていた。1960年代以降、水田であった地域に新たな居住地が作られた。しかし低平地は、今後起こるとされる南海トラフ地震による津波や、河川の氾濫による浸水が想定される地域でもある。一方で、低平地の農地は、食料生産機能のみならず、水生・湿生生物の多様性保持機能を有する。さらに洪水調節機能を持つことは、關東北部の大雨で決壊した鬼怒川の水を水田が受け止めたことから明らかである。今後、人口が減少すると予測される阿南市では、今ある生態系を防災・減災に利用していきつつ、安全な場所に住むよう誘導すること等、土地利用のあり方も含めたリスク管理が求められる。

本研究では、まず阿南市の海岸マツ林において、地盤工学的、流体力学的にみた防災効果について、マツ引き倒し実験、風洞実験、数値流体解析等を行うことにより評価した。合わせて植生調査を行い、生態的持続性を評価した。また、マツ林の所有形態や、地域住民による利用・管理等についてヒアリン

グ等を行い、GIとしての維持管理のあり方について検討した。他の地域のマツ林との比較調査を合わせて行い、当地の特徴を浮き彫りにし、今後生態的かつ社会的に持続可能なマツ林のあり方を検討した。

農地については、阿南市の低平地の水田において、内水氾濫解析を行い、土地利用変化が水田の湛水機能に与える影響を評価した。また、徳島県に飛来するナベヅルのハビタットとしての農地の評価を行い、潜在的な餌場の推定モデルを作成した。さらに、阿南市における近年の建築活動や浸水想定区域との関係について明らかにし、今後農地をGIとして活かしていくための土地利用施策を提案した。

2. 研究開発目的

海岸低地景観におけるGIを対象に、津波・洪水に対する防災機能を応用生態工学的に定量的に評価することで、GIを活用することの有効性を評価し、人口減少地域である阿南市での望ましい土地利用施策の提案を行った。

3. 研究開発方法

(3-1) 海岸マツ林の植生学的・社会的評価

徳島県阿南市の北の脇海岸は長さ1kmあまりにわたる砂浜とクロマツ林からなり、「日本の渚百選」に選ばれ、その美しい景観で知られていることに加え、飛砂防止や防風・防潮といった調整サービスを提供する海岸GIとして重要な役割を果たしていると考えられる。この海岸クロマツ林において、10m × 10mのプロットを16か所設置して毎木調査・実生調査を行い、林分構造を把握することにより、更新の状況やマツ林としての持続可能性について植生学的に検討した。合わせて、GIとしての維持管理のあり方について検討するため、当該マツ林の所有形態や、地域住民による利用・管理等について、行政担当者および地域住民を対象としたヒアリング等から明らかにした。

(3-2) 地域間比較による海岸マツ林の持続性評価

本調査地区である阿南市のマツ林の特徴を浮き彫りにし、持続性評価を行うための比較調査として、マツ林が住民によって自治的に管理されている徳島県海陽町の大里地区において、植生調査、ヒアリングを行った。大里地区での植生調査では、10m × 10mのプロットを28か所設置し、北の脇地区と同じ手法で毎木調査・実生調査を行い、植生学的な持続性を評価した。また、北の脇地区と同様、行政担当者および地域住民を対象とし、住民とマツ林との関わりや意識・関心、管理に対するモチベーションなどについてヒアリングを行った。さらに大里地区については、八幡神社秋祭り、枯れマツ伐倒、マツ苗木の植樹といった行事において参与観察を行った。

(3-3) マツ林の持続性を担保する社会的仕組みの検討

福岡県福津市は、人口はおよそ6万人で、阿南市の人口とよく似ているが、長さ4キロにわたる海岸マツ林を持ち、林床は明るく、天然の実生更新も見られる。この地域で、行政担当者および地域住民にヒアリングを行い、持続可能なマツ林が維持管理できている社会的仕組みについて調査した。

(3-4) 海岸マツ林の地盤工学的評価

津波を想定したマツの根返りに対する耐力を評価することを目的とし、北の脇海岸マツ林において、3本のクロマツを対象とし、深度1mまでの試料を採取し、土粒子の密度試験と粒度試験を行った。また貫入深さ3mを目安とし、スウェーデン式サウンディング試験（SWS試験）および簡易動的コーン貫入試験を行った。その後、マツの引き倒し試験装置を作成したうえで、4本のクロマツを対象とし、津波を受けた場合を想定し、マツの根返りに対する抵抗力を、現場引き倒し試験により評価した。引き倒し試験では伐採されたマツの切り株（切り株径15cm前後）を対象とした。この切り株に鋼管を固定し、反力木の間に設置したレバーブロックで水平荷重を作用させた。試験中は、作用荷重、鋼管の傾斜角を計測すると

ともに、周辺地盤の変状を観察した。

(3-5) 海岸マツ林の流体力学的評価

樹林は、流体力学的には密度によって抵抗係数が決定されるポーラス体として近似できるため、模型を用いた風洞試験によって葉や幹の密度と抵抗係数の関係を明らかにし、数値流体解析を用いてモデル化することにより、海岸マツ林の減風効果および津波減衰効果を把握できると期待される。現地調査として、高所作業車とUAV（ドローン）を用いて林分の画像を撮影し、葉および幹部分の充実率を算出した。その値を元に、マツ林の葉部分を面格子、幹部分を円形断面の平行格子で近似して作成したマツ林模型を製作し、風洞実験を実施し、マツ林の減風効果に対する面格子の空隙率（葉の密度に相当）、格子間隔（植生密度に相当）、格子層数（マツ林の幅に相当）の影響を検討し、マツ林後流域における風速分布の推定式を作成した。並行して、風洞実験と同じ条件についてRANSモデルによる数値流体解析を実施し、減風効果について解析を行った。また、VOF法による数値流体解析によって、一定水位で通過するステップ状の流れ（遡上する津波に相当）に対する遅延・低減効果について検討した。

(3-6) 海岸マツ林の更新に必要な環境の検討

マツ林の持続的な維持管理のためには、マツの実生や苗木の生育に適した環境条件を明らかにしておく必要がある。北の脇地区において、マツ苗が植栽された場所において、明るさの異なる場所に5m×5mまたは5m×10mのプロットを10か所作成し、計178本の苗について、活力度、地際直径、枯死の状況を継続調査した。また同じ場所で照度・開空度の測定により光環境を評価し、生育状態との関係を調べた。8プロットにおいては他の草本類が苗木に及ぼす影響を除去するため草刈りを行ったが、残り2プロットについては草刈りを行わず、草本の繁茂が苗に及ぼす影響を調べた。また、(3-2)の大里地区の毎木調査プロットのうち、マツが優占する19プロットで、同様に照度・開空度から光環境を評価し、上層木密度との関係を調べた。これらの結果を合わせて、マツ苗の健全な成長のためには上層木がどの程度の密度であればよいかを検討した。

(3-7) 水田の洪水調節能力の定量評価

阿南市長生町の大津田川流域の水田・水路網において、すり鉢状の窪地地形となっている対象地域内の一部で、内水氾濫解析モデルAFRELを用い、氾濫解析を行った。解析に先立って、モデルで用いる水田および建物用地の粗度係数について感度分析を行い、モデルから算出した値と実際の浸水深との当てはまりを評価した。解析においては、対象地域内において、宅地変換、水田荒廃（県道側）、水田荒廃（山地側）、河川改修の4種の現状変更案について、3種の異なる降雨規模（小出水時、大出水時、超大規模出水時）に対する氾濫低減効果を評価した。

(3-8) ナベヅルの生息地（餌場）評価

徳島県にはナベヅルが飛来するようになってきている。ナベヅルの生息数は世界で12,000羽程度（2006年）であり、そのうち10,000羽以上が出水市（鹿児島県）に飛来・越冬しており、リスク回避のため分散させる必要がある。警戒心の強いナベヅルは、広い水田地域での採餌を好むが、そうした広大な水田域は氾濫原に作られている。この仮説に基づき、飛来したナベヅルが利用した空間を日本野鳥の会徳島県支部会長からのヒアリングで明らかにし、国土数値情報等から求めた各環境要因（標高、山地植生率、宅地率、平均傾斜角、畑・水田面積率）を説明変数として、ナベヅルの餌場となり得る場所を広域的に推定するための空間モデルを、MaxEntを用いて構築した。ヒアリング結果より、ナベヅルは平地のみを利用することが分かったので、徳島県全域の地質図から平野と考えられる場所のみを抽出し、解析領域とした。メッシュサイズは50mおよび100m、フォーカルエリア100m, 200m, 400m, 800m, 1600mで作成し、AUCの最も高いモデルを選択した。そして、洪水浸水や津波浸水に係るハザードマップとオーバーレイした。

(3-9) 土地利用施策—水田の開発動向分析とGIとしての可能性評価

個人の財産であり、産業の場である水田等の農地において、洪水調節能力や生物多様性保持機能を将来にわたって発揮されることを担保するために、例えば、1) 市街化調整区域等の設定による開発規制を行う、2) 洪水リスクの高さを明示することで宅地への転用を抑制する、3) 農産物の価値を高め価格を高めることで、農家が農地として使い続ける方向に誘導する、4) これらを組み合わせた仕組み、を構築していく必要がある。農地をGIとして活かしていくための今後の土地利用施策を検討するため、まず徳島県内の浸水想定区域内における1976年から2009年までの土地利用の変化を集計し、開発の傾向を調べた。次に阿南市の都市計画区域を対象とし、近年の建築活動について調査し、市街化調整区域等の区域区分、および徳島県が定めたイエローゾーン（津波災害警戒区域）等と重ね合わせた。さらに災害リスクを可視化するため、1) ハザード：危険な自然現象、2) 暴露：ハザードにより被害を受ける対象、3) 脆弱性：暴露の対象がハザードに耐えられるか否か、それぞれにおいて、500mメッシュで算出した。ハザードには津波、洪水の浸水想定域および土砂崩壊の危険区域、暴露には2040年時点での被害人口、脆弱性には2040年の高齢化率を用いた。ハザードと脆弱性の組み合わせで、市全域を4つのゾーンに分け、ゾーンごとに異なる土地利用施策を提案した。

（3－10）英国の湿地再生による先進的GI調査 -Stearth Marsh, Bridgwater, Somerset

英国環境庁と水鳥湿地トラスト(WWT)との連携によって行われている英国最大規模の湿地創出プロジェクトの現場を視察し、WWTスタッフからヒアリング調査を行った。

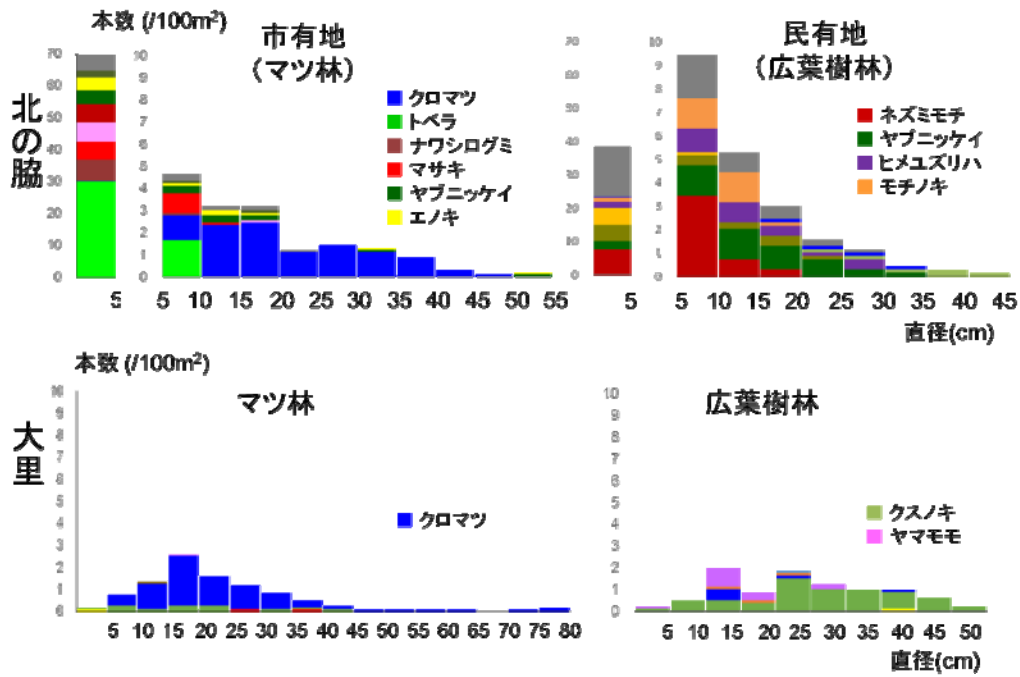
4. 結果及び考察

（4－1） 海岸マツ林の植生学的・社会的評価

阿南市北の脇海岸マツ林における16プロットの毎木調査結果からクラスター分析を行ったところ、大きく2つのグループに分かれた（クロマツ優占林、広葉樹優占林）。それぞれについてデータを合計し、直径階ヒストグラムを個体数、胸高断面積合計について作成した（図(3)-1）。その結果、クロマツは大きな個体しかなく、後継樹が育っていないことがわかった。また、ほとんどの場所で林内に広葉樹が侵入し、現状のままではマツ林の維持は困難なことが明らかになった。ヒアリングの結果、マツ林の所有形態が複雑で、特に民有地ではほとんど管理がなされておらず、住民のマツ林に対する意識も低いことが明らかになった（図(3)-2）。住民の間で、他人の土地には手を出せないというあきらめがあり、自律的なマツ林管理の仕組みがなく、保全事業においても行政主体の事業が多く、行政への依存が高いことが分かった（表(3)-1）。

（4－2） 地域間比較による海岸マツ林の持続性評価

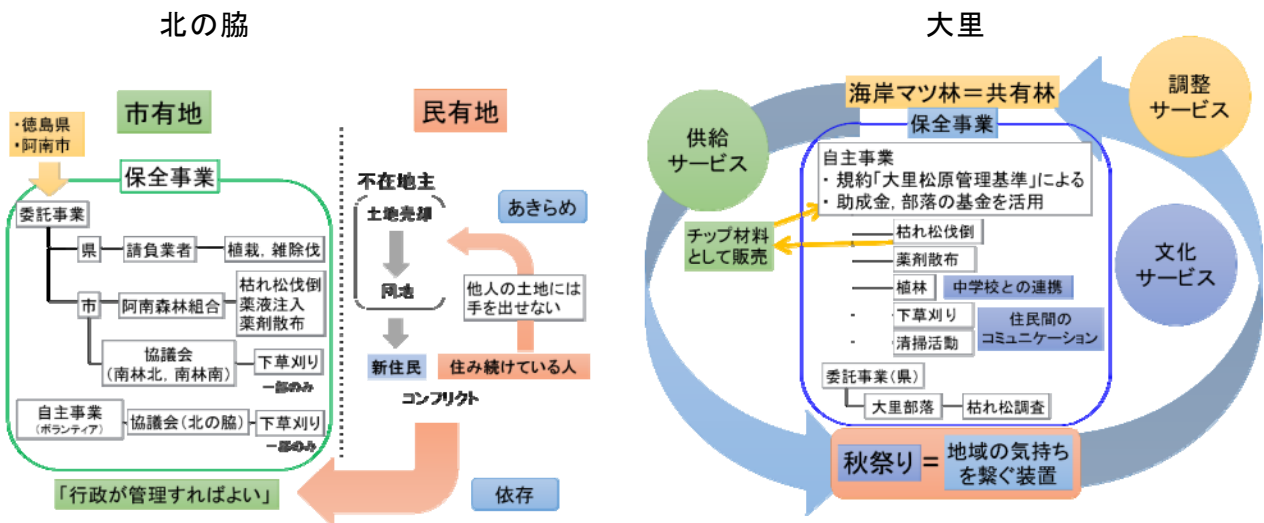
海陽町大里地区でのヒアリング調査の結果から、マツ林は大里部落という自治組織によって管理されていることが分かった。マツ林全域で住民によって下草刈り等の管理が行われており、良好な景観が保たれていた。保全事業として「大里松原管理基準」が定められており、事業の委託を大里部落が受け、事業の主体となって保全事業をおこなっており、事業を運営していくために、助成金を自分たちで獲得し、活用していることが分かった。マツ林と地域に関わる歴史認識と責任感が共有されており、住民へのヒアリングからは「マツ林がなかったらここら住んどられへん」「うちの生命線やもん」「値打ちあるわ」等の言葉が聞かれた。また、特に秋祭りの場としてマツ林が利用されており、秋祭りでの参与観察、住民への聞き取り調査の結果、祭りに対する強い意識、誇りを持っていることが分かった。祭りの時期にあわせ、マツ林内の下草狩りが行われ、綺麗になったマツ林内で遊山を楽しんでいる様子も観察された。これらの結果から、秋祭りが地域住民の意識を繋ぐ行事として機能していることが明らかになった（図(3)-2、表(3)-1）。植生調査の結果からは、クロマツ優占林分、広葉樹優占林分ともに直径の大きな個体が多い一方、小さな個体が少なく、継続的な管理の結果として後継樹が不足している状態になっており、生態学的な持続性の面では問題があることが分かった（図(3)-1）。



図(3)-1 直径階別の個体数

表(3)-1 人とマツ林との関わり

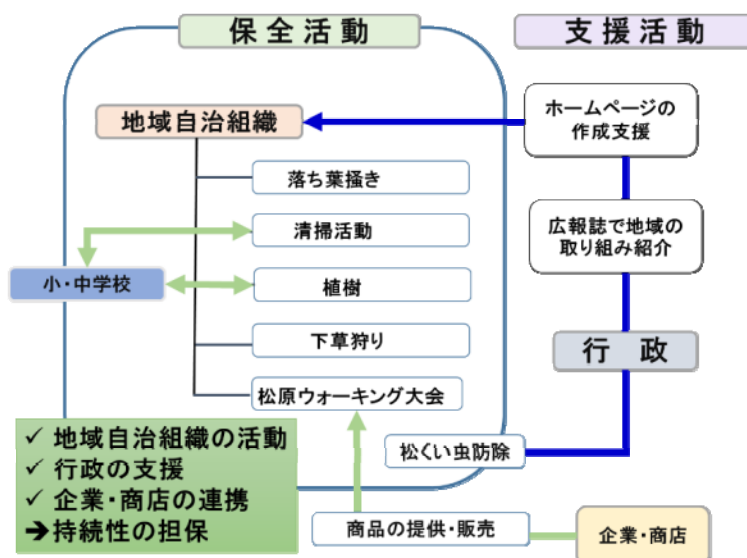
北の脇		大里	
サービス	過去	過去	現在
調整	防風・防潮・防砂		
供給	・肥料・薪(雑木) ・食材(松露) ・焚き付け(マツ葉)	・肥料・薪(雑木) ・食材(松露) ・焚き付け(マツ葉) ・収入源(マツ材)	枯れマツをチップ材として販売
文化	・子供の遊び場	・子供の遊び場	・環境教育(中学生による植樹) ・散歩・ジョギング・森林浴 ・秋祭り



図(3)-2 マツ林の保全事業と住民の関わり方

（４－３）マツ林の持続性を担保する社会的仕組みの検討

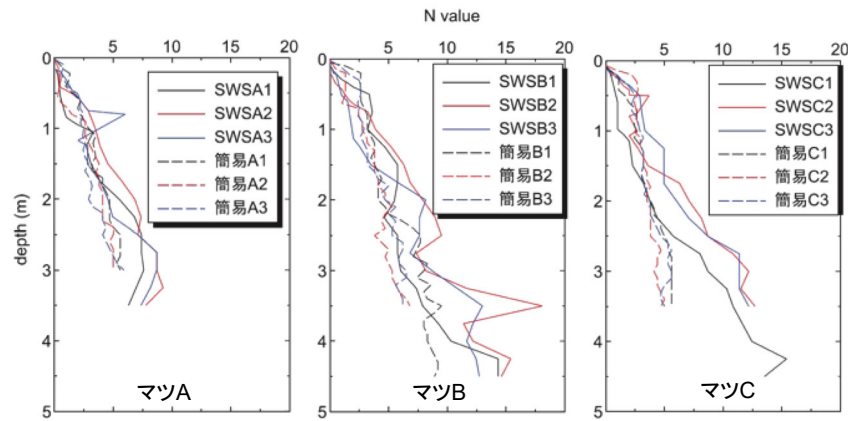
福津市でのヒアリング等の結果、「福津市地域づくり計画」の策定がH17～18年にかけておこなわれたこと、策定にあたっては市民会議を開き、情報共有のためにWSが開催され、地域住民50人と福津市職員9人などが参加したこと、市民会議で議論された課題をもとに「福津市総合計画」が策定され、市の総合計画にマツ林保全が盛り込まれたことが分かった。このような過程の中で、地域の中にあった「マツ林を綺麗にしたい」「守っていききたい」という住民の思いが共有されていき、「みんなでせなあかん」という合意形成が図られていったことが明らかになった。現在は年間1500人もボランティアの参加が得られており、海岸マツ林の保全活動において、十分にしくみが機能し、社会的持続性が高い状態であると評価された（図3-3）。このような過程を明らかにすることを通して、行政等の政策・施策によるしくみと、地域住民による自治のしくみを統合し、関係する主体がその多様性と多元性を生かしながら積極的に関与し、問題解決を図るしくみ、すなわちガバナンスが適切に機能することの重要性を示した。



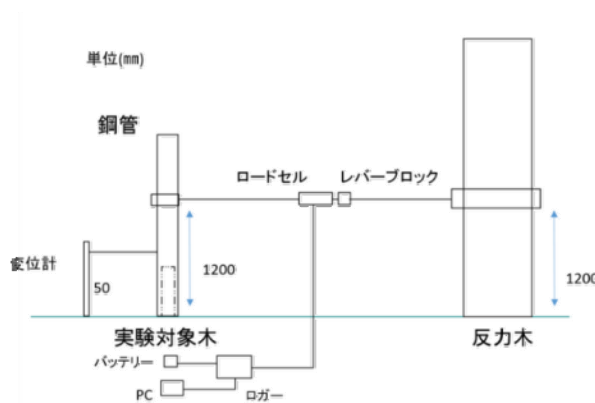
図(3)-3 福津市での海岸マツ林の保全活動

（４－４）海岸マツ林の地盤工学的評価

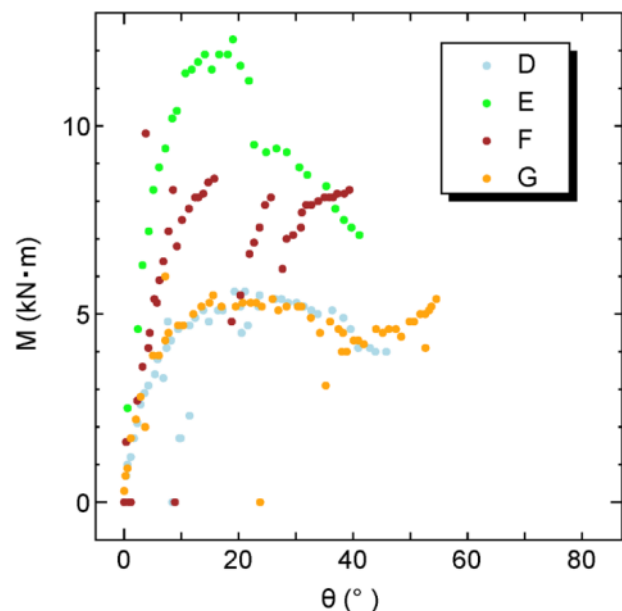
土粒子の試験の結果、現地の土は工学的分類をすると細粒分質砂（SF）ということが分かった。貫入試験の結果、いずれの個体においても、3mまでの深さでは地下深くなるほど地盤が固くなっており、根返りの原因となるほど地下水位は高くないと考えられた（図(3)-4）。引き倒し試験（図(3)-5）の結果より、マツの回転角と作用させた曲げモーメントの関係を整理した。その結果、対象としたマツの根返りに対する最大抵抗曲げモーメントは5～12 kNmであった。マツ（E）については試験中に幹折れが発生したが、その他のマツでは幹折れは発生しなかった（図(3)-6）。幹径15cm程度のマツの丸太の曲げ耐力は10 kNm程度（川口ら、2013）であり、根返りに対する抵抗力が大きいマツの一部では幹折れが生じたものと思われる。また、同程度の胸高直径（約13cm）のマツに対する既往の引き倒し試験結果（川口ら 2013¹⁾）で得られた最大抵抗曲げモーメントは8 kNm程度であり、ばらつきはあるものの今回得られた結果と概ね整合していた。また、幹折れを起こしたE以外の3本のマツでは、引き倒しの際に根が地表付近の土壌にひび割れを作り、地面を持ち上げる様子が見られたことから、根返りに対する抵抗力として十分な強度があると考えられた。以上の結果より、本対象地は根返りに対する抵抗力として十分な地盤強度を持つと考えられた。



図(3)-4 貫入試験結果。N値が大きい方が地盤が堅い。



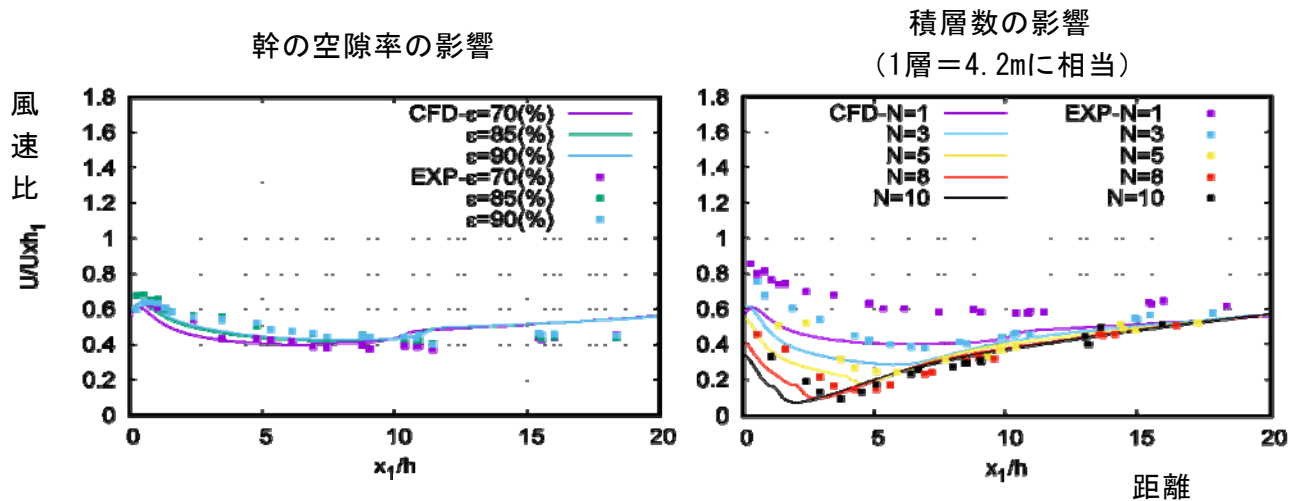
図(3)-5 引き倒し試験の模式図



図(3)-6 マツの回転角と曲げモーメントの関係

(4-5) 海岸マツ林の流体力学的評価

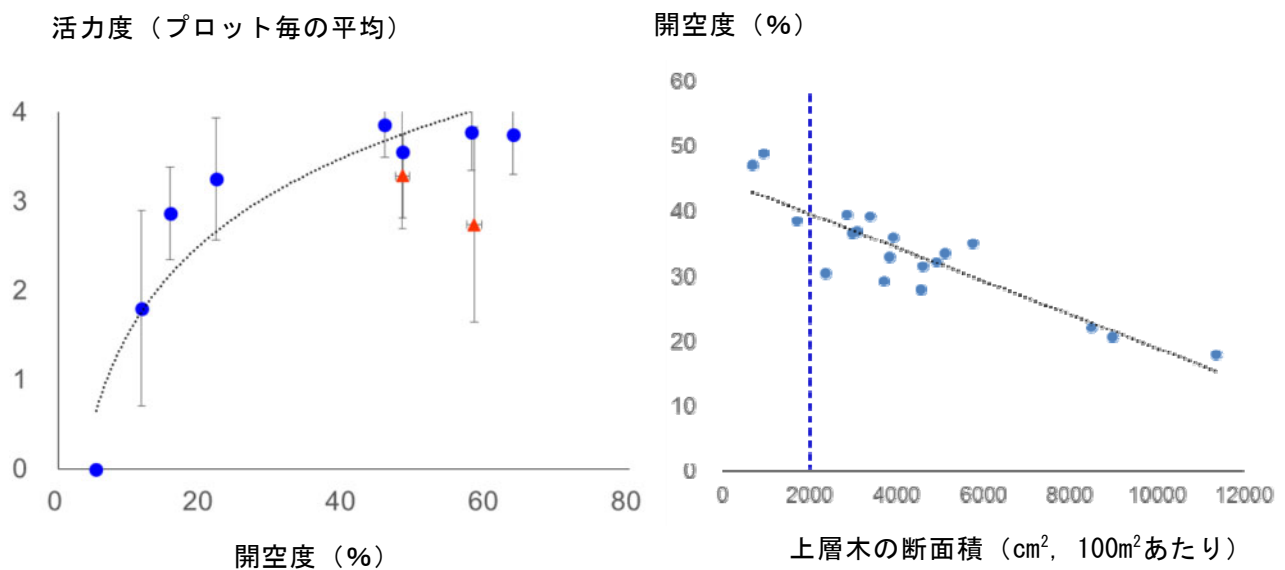
減風効果について、面格子のみの場合、面格子と平行格子を組み合わせた場合いずれの計測・解析においても、風洞実験と数値流体解析の結果は定量的にほぼ同様の結果が得られることが確認され、空隙率の増加により減風効果が減少すること、層数と層間隔の増加が減風効果の向上をもたらすことが分かった。また、解析の結果、幹部分の影響は小さいこと、いずれの密度においても、マツ林背後で50%以上の風速減少の効果があること、また、積層数が増加するほど、減風効果を高めるが、積層数が8（マツ林幅で34mに相当）を超えると、頭打ちとなることが分かった。すなわち、幅34m程度のマツ林維持により、減風効果は十分に保たれることが分かった（図(3)-7）。津波に対する低減・遅延効果に関する検討では、空隙率（マツ林密度）は津波の遡上速度に影響しないが、空隙率の減少による水位の低減効果が認められた。積層数（林帯幅）の増加により、津波の遅延効果が向上することが分かった。



図(3)-7 幹の空隙率および積層数が減風効果におよぼす影響
(CFD: 数値流体解析 EXP: 風洞実験)

(4-6) 海岸マツ林の更新に必要な環境の検討

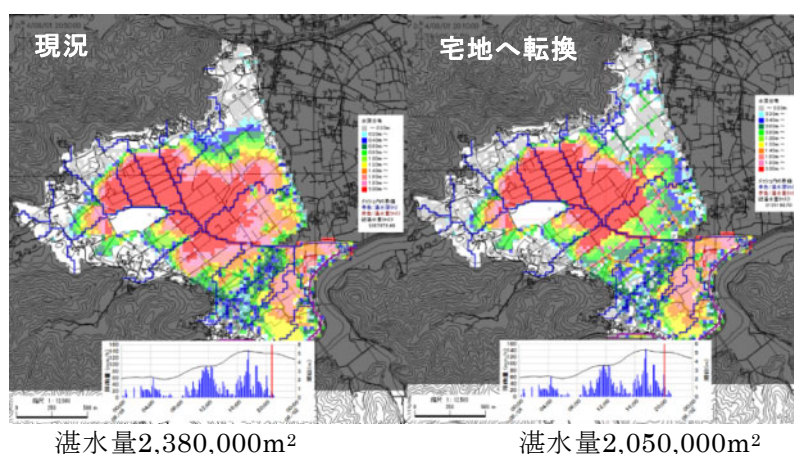
苗木の継続調査の結果、まず開空度約10%以下の場所では苗は生育できず、また、健全な樹勢を保つには、30%~40%程度の開空度が必要であることが分かった(図(3)-8)。ただし草刈りを行わないプロットでは、他の草本類がマツの成長を阻害し、光条件が良くても生育状態が悪かったことから、植栽後には草刈りが必須であることが分かった。また、大里地区での毎木調査・光環境調査の結果から、開空度30~40%を維持するには上層木の胸高断面積は100m²あたりおよそ4,000cm²以下、できれば2,000m²以下が望ましいと考えられた。合計断面積2,000m²/100m²以下とするためには、100m²あたり直径10cmの木が25.5本、20cmの木が6.4本となる。つまり植栽によりマツの更新をはかる場所では、この値以下の密度にする必要があることが示された。



図(3)-8 開空度と活力度(北の脇)および上層木の断面積と開空度(大里)の関係

（４－７） 水田の洪水調節能力の定量評価

2015年台風11号のデータを用い、モデルの再現性の確認を行った。AFRELにより作成されたモデルと実績浸水深との誤差は約0.2m程度に抑えられ、AFRELが洪水調節の定量的評価に利用することの有効性が確認できた。氾濫解析の結果、ほぼ毎年起こるような小出水に対しては河川改修が氾濫水量を最も低減するのに対し、河川改修計画規模を上回る年超過確率1/20程度の大出水に対しては水田後背地での流出の促進に伴う氾濫水量の減少が目立った。さらに、年超過確率1/100以上の超大規模出水に対しては、宅地化による土地嵩上げにより、最大湛水量が大きく減少する結果となった（図(3)-9）。このシナリオでは、最大湛水量は238万 m^3 から205万 m^3 程度に、30万 m^3 以上減少した。この差分量が、解析流域の下端で接する桑野川に流し込まれるようになることを示し、超大規模出水時には宅地化が河川の負担を増加させ、下流域での災害リスクを高めることにつながる可能性があることが示唆された。



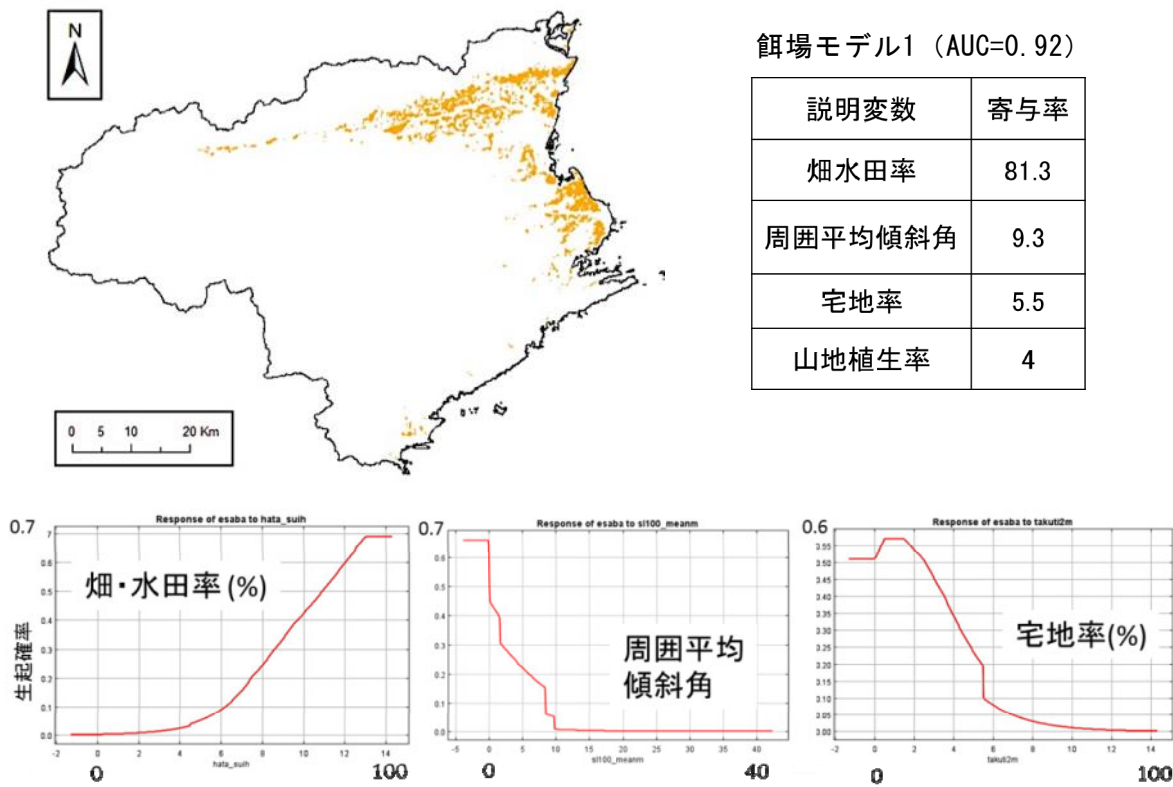
図(3)-9 湛水量ピーク時の比較

（４－８） ナベヅルの生息地（餌場）評価

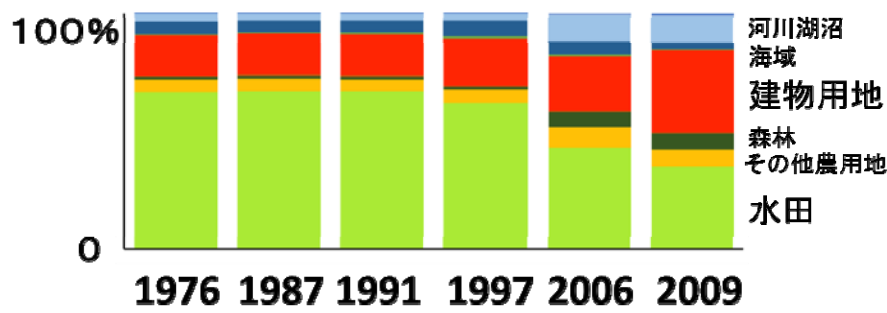
MaxEntを使用しナベヅルの餌場適地モデルを作成した結果、メッシュサイズ100m、フォーカルエリア200mとした場合がベストモデル(AUC=0.92)として選択された。モデルには畑・水田率が寄与率81.3%と最も大きく寄与しており、周囲平均傾斜角、宅地率がそれに続いた。畑・水田面積率が高いほど良く、周囲の傾斜および宅地率が大きくなると不適となることが分かり、低平地にまとまった水田が重要であることが明らかになった（図(3)-10）。得られた潜在的餌場空間を、国および自治体が公表している想定浸水区域とオーバーレイして、浸水深さ階級別に選好度を算出したところ、2つの領域は重なり合い、潜在的な餌場空間のほとんどは浸水想定区域に含まれ、かつ、浸水深が深いほうが選好度が高いことが分かった。すなわち、ナベヅルの餌場を農地として維持することで、浸水災害による被害を軽減できる可能性が示された。

（４－９） 土地利用施策－水田の開発動向分析とGIとしての可能性評価

徳島県の浸水想定区域内における1976年から2009年の土地利用の変化を100m細分メッシュから集計した（図(3)-11）。1997年以降、農地が減って宅地が増加し、洪水による被害が大きくなるような土地利用選択が行われていることが明らかになった。農地のまま維持することで得られる生態系サービス量を見積もり、価値化し、農地として維持するよう規制・誘導し、災害リスクを低減していく必要がある。



図(3)-10 餌場適地モデルにより選択された潜在的餌場空間

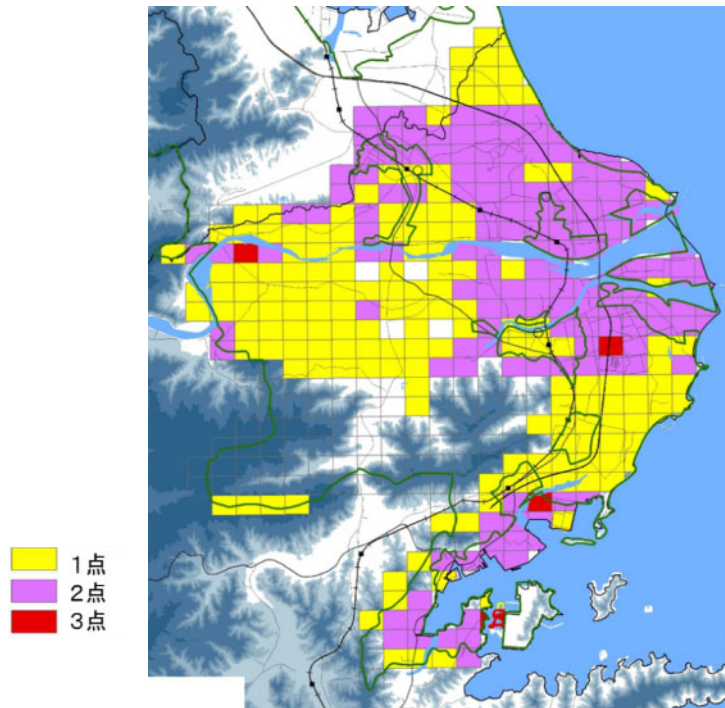


図(3)-11. 浸水想定区域内における1976年から2009年の土地利用の変化

阿南市においては、現在の土地利用は、平地部分では市街地と水田が中心であり、市街化調整区域は大半が水田である。ただし市街化調整区域内にすでに大規模な集落がある場合、その場所の開発規制を除外し、開発を可能にする制度がある。阿南市では、その制度を適用して宅地化された面積がかなり広いことが明らかになった。阿南市における近年の建築活動の調査結果を、市街化調整区域等の区域区分、および徳島県が定めたイエローゾーン（津波災害警戒区域）等と重ね合わせた結果、沿岸域では市街地の大半が浸水域でイエローゾーン内にあること、さらに、北の脇海岸背後の海岸マツ林に接する水田地域でも、市街化が進んでいることが確認された。こうした土地利用は災害リスクを高めることになると思われる。ハザード、暴露、脆弱性それぞれにおいて、500mメッシュで算出した。ハザードには津波、洪水の浸水想定域および土砂崩壊の危険区域を用い、0（ハザードあり）と1（ハザードあり）に分け（表(3)-3）、合成した（図(3)-12）。

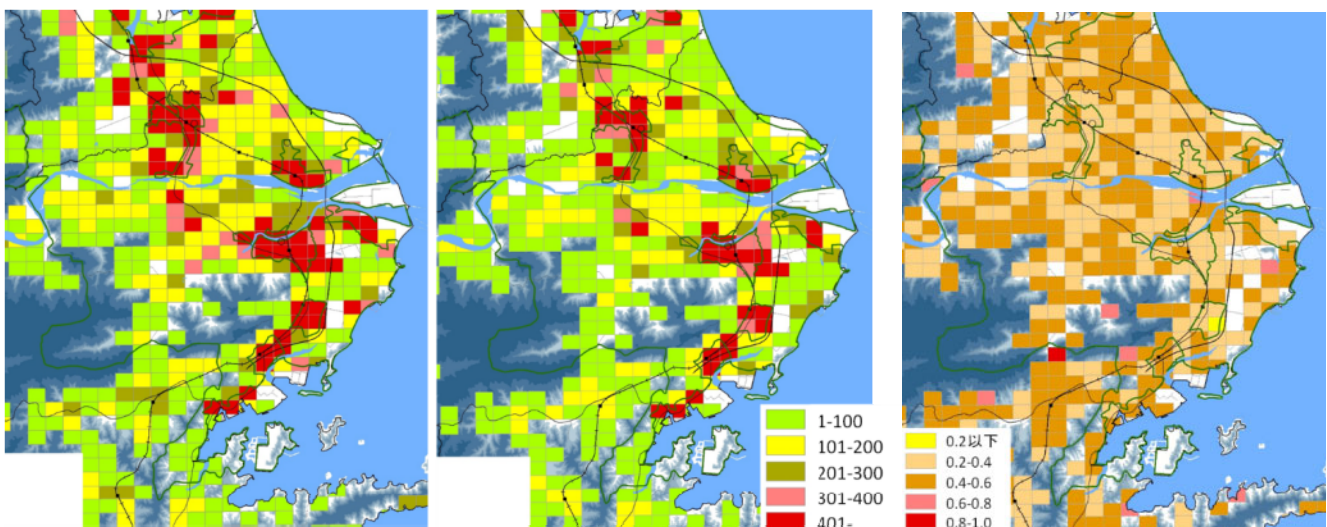
表(3)-3. ハザードの指標

	0(ハザードなし)	1(ハザードあり)
津波	浸水域割合が0.2以下	浸水域割合が0.2以上
洪水	浸水域割合が0.2以下	浸水域割合が0.2以上
土砂崩壊	崩壊域割合が0.2以下	崩壊域割合が0.2以上



図(3)-12 ハザードの合成

暴露（ハザードにより被害を受ける対象）については、2040年の人口をコーホート要因法により4次メッシュ別で予測した（図(3)-13）。脆弱性として、2040年の高齢化率を示した（図(3)-14）。



2010年人口（国勢調査）

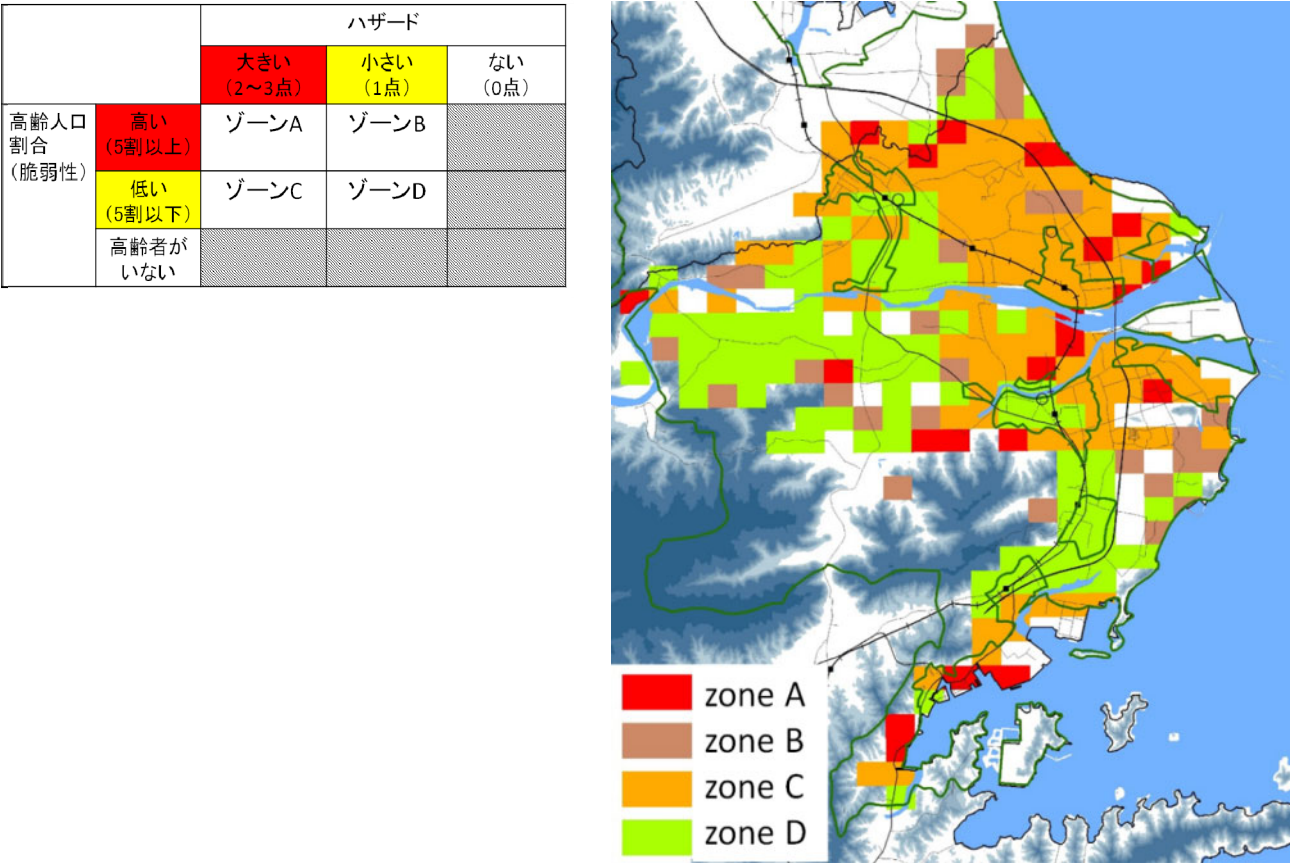
2040年人口（予測値）

図(3)-14 脆弱性

（2040年高齢化人口割合予測値）

図(3)-13 暴露（ハザードにより被害を受ける人口）

ハザードと脆弱性の組み合わせで、4つのゾーンに市全域を分類した（図(3)-15）。ゾーンAはハザードが大きく高齢者割合が高い地域で、市街化区域周辺部ではある程度人口密度も高いことから、被害が大きくなる可能性が高い。水田GIの活用に加え、ある程度市街化している地域でもあるため、グレイインフラと合わせた防災対策が必要である。ゾーンBは調整区域で分散的に判定されている。ハザードは小さいが高齢者割合が高いため、孤立化の防止、避難環境の整備が必要である。ゾーンC（ハザード大、脆弱性小）は、沿岸域である程度まとまって存在することから、水田GIを最大限活用するためにも、分散的な市街化を抑制しつつ、水田の適切な維持管理が必要である。ゾーンD（ハザード小、脆弱性小）は、内陸部である程度まとまって判定されている。那賀川、桑野川付近で判定されていることから、水田GIを適切に維持管理することで、下流域を洪水から守ることができると考えられる。

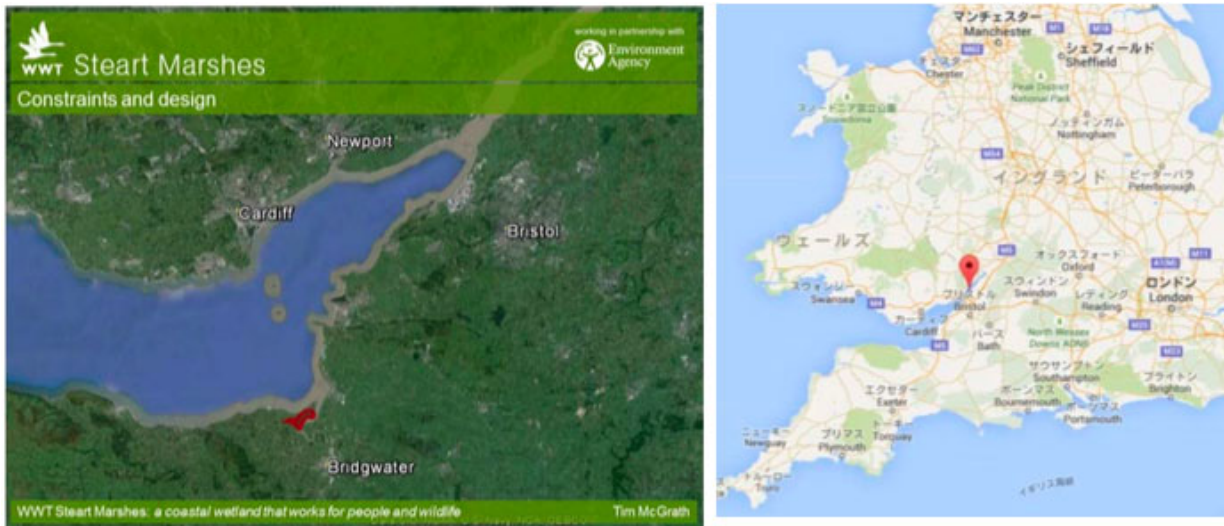


図(3)-15. ハザードと脆弱性の組み合わせ

（４－１０）英国の湿地再生による先進的GI調査 -Steart Marsh, Bridgwater, Somerset

（４－１０－１）事業概要

事業対象地が含まれるセバーン川河口域は世界でも有数の干満の差がある地域で、その潮位差は最高で14mにもなる（図(3)-16）。セバーン川河口域では 200kmに渡る堤防が整備され、84,000件のプロパティ（時価総額 5 億）を守ってきた。しかし、地球温暖化の影響による高潮や洪水による浸食がはげしく維持が困難となったため、堤防の再整備が必要となった。そこで、120 年洪水を想定した新堤防の整備計画を決定したが、一体は EU のハビタット指令、野鳥指令の特別保護地域であったため、堤防再整備により失われる潮間帯ハビタットの消失に対し罰金の支払いまたはミティゲーションの実施が必要であった。



図(3)-16 調査地の位置（イギリス、Somerset州のBridgwaterにあるSteart Marsh）

セバーン川河口域の一部であるSteart半島は、営農による生産高も少なく、居住者も減少していた。そのため、堤防によりエリアを守っていくコストが高くなり始め、費用対効果から見てこれ以上堤防を維持するよりも農地をあきらめた方が良いという結論に達した。そして、パレット川の古い堤防の一部を撤去し、湿地再生を行うミティゲーション事業を実施することとなった。

事業では、以前より1km 内陸に新しい堤防を築く一方で、パレット川の堤防の一部を切り、また、半島内にクリークを掘削し、自然の潮の満ち引きにより半島内に水を入れ（図(3)-17）、湿地が創出された（図(3)-18）。事業実施に際し、掘削による土砂は全て事業地内で再利用することが条件となっていたため、新しく内陸に築く堤防に必要な土砂量を計算した上で約2mの深さで総長2,900m のクリークが掘削された。



図(3)-17 掘削によってクリークが作られ、湿地が再生された

事業費は 2,170万(約42億円)で、この中には土地の買い上げ費用が含まれている。土地買い上げは環境庁が負担しているが、整備後の管理はWWTが環境庁と50年間契約のリースで行っているため、WWTの自主財源による。この背景には、環境庁としてはミティゲーションのため湿地再生をする必要はあったが、現在のWWTのサイトのように一般に開かれたサイトとして管理活用する義務はなかった。そのため、WWTは自己資金を拠出し事業実施、維持管理を行っていくこととした。

事業実施以前は牛の放牧と一部穀物生産での利用をしており、その営農スタイルを引き継ぎ、現在は農地をリースし粗放管理での肉牛の放牧（図(3)-19）、採草地や麦畑に活用されている。リースにより年間 15,000(=300万円弱)ほどの収益がある(わずかな金額のため維持管理等の収入源としてあてにはしていない)。リースした農家へは特に有機農業などの指導はしていないが、現在6軒の農家が肉牛を放牧し Salt Marsh Beefとしてブランド化して販売している。これは、塩性湿地の植物を食むことでミネラルが豊かとなりプレミアム価格がついている。



図(3)-18 再生された湿地



図(3)-19 伝統的品種の牛が放牧されている

(4-10-2) 日本への適用可能性

WWTによるStearth Marshでの取り組みは、気候温暖化による洪水増加への適応策として湿地が創出されたものである。経済条件等が異なるものの、海岸域での高潮や洪水対策として面で防御していこうとする考え方は重要である。また、Stearth Marshでは、湿地再生を行うかたわら、農地も維持し、放牧をととして伝統的な肉牛品種の系統保存や肉のプレミアム化等が図られている。それらは農家が農業を維持していく上でのインセンティブとして作用している。こうしたStearth Marshでの取り組みは、水田をナベヅルのハビタットとして有効に機能させることで農作物のプレミアム化を図り農家のインセンティブとしていくこと、そしてそのことをとおして水田が持つ洪水調節機能を発揮させ続けようとするサブテーマ(3)の考え方とも整合する。土地利用や経済的な条件は異なるが、日本への導入モデルとして非常に参考になる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 地域間比較による手法を用いて、海岸マツ林の持続性について植生学的・社会的評価を行った。ここで用いた評価手法・視点は、グリーンインフラを社会-生態システムとして評価する上で重要なものとなる。
- 海岸マツ林の社会的持続性を担保するためのガバナンスの重要性を示した。
- 海岸マツ林の根返りに対する耐力測定を行い、評価手法を構築した。また、風や津波の減衰効果を風洞実験及び数値流体解析により明らかにした。
- 海岸マツ林の維持に必要な環境を明らかにし、持続可能なマツ林への誘導・管理方法を提案した。
- 水田の洪水調節機能の定量的評価にAFRELを用いることの有用性を示し、氾濫解析によって、土地利用変化に伴い洪水リスクが高まる可能性があることを示した。
- ナベヅルの餌場適地モデルを構築した。そして、餌場が洪水氾濫域と重なることを示した。
- 徳島県の浸水想定区域内において、農地が減って宅地が増加し、洪水による被害が大きくなるような土地利用選択が働いていることを明らかにした。
- ハザードと脆弱性の組み合わせについてシミュレーションを行い、対象地域をゾーンに分け、今後の土地利用施策を提案した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

徳島県治水及び利水等流域における水管理条例（H28年12月22日公布）において、農地等のグリーンインフラとしての活等に係る以下の条文を盛り込むよう働きかけ、第28条に書き込まれた。『農地、森林等を所有し、又は使用収益する権限を有する者は、その土地が有する雨水を浸透させ、及び保持する機能の保全に努める。2. 県は、農地、森林その他の雨水を浸透させ、及び保持する機能を有する土地並びに当該機能の保全のために必要な事項を明らかにするものとする。3. 県は、流域における生態系の有する洪水等及び津波による浸水被害を防止し、又は軽減する機能が持続的に発揮されるよう、生態系の保全及び再生に資する必要な支援に努めるものとする』

<行政が活用することが見込まれる成果>

阿南市における近年の建築活動や浸水想定区域との関係について明らかにし、今後農地をGIとして活かしていくための土地利用施策を提案した。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) Muto Y, Kotani S, Miyoshi M, Kamada M, Tamura T: Proceeding of the IHAR-APD 2018, abstract accepted (2018), Retarding Capacity Change of Wetland Paddy Fields due to House Land Development - toward Wise Land Use against Flood Utilising Paddy Fields as Green Infrastructure -.
- 2) Kamada M, Muto Y, Imai Y: E-proceedings of the 37th IAHR World Congress, 7pp (2017), Paddy

fields as green infrastructure.

- 3) Muto Y, Murata Y, Miyoshi M, Tamura T: E-proceedings of the 37th IAHR World Congress, paper on USB (2017), Retarding Effect Evaluation of Paddy Fields and their Land-use Change.
- 4) 佐々木剛, 丹羽英之, 朝波史香, 鎌田磨人: 日本緑化工学会誌、43, 1, 51-55 (2017), 小型UAVを用いた海岸マツ林の林床光環境の推定
- 5) 野田稔, 末廣聖志, 新谷尚人, 長尾文明: 第24回風工学シンポジウム論文集、127-132 (2016), 多層格子の圧力損失特性および減速効果の風洞試験～マツ林の流体力学的機能の基礎的検討～

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 朝波史香, 伊東啓太郎, 鎌田磨人: 公開シンポジウム 自然を活かして防災する一災害と恵みのかかわりー (2018)
「福津市総合計画におけるガバナンスの仕組みと海岸マツ林の持続的管理」
- 2) 今井洋太, 武藤裕則, 渡辺公次郎, 朝波史香, 鎌田磨人: 公開シンポジウム 自然を活かして防災する一災害と恵みのかかわりー (2018)
「水田をグリーンインフラとして活かすためのシナリオ」
- 3) 岩佐愛恵, 今井洋太, 鎌田磨人: 公開シンポジウム 自然を活かして防災する一災害と恵みのかかわりー (2018)
「ナベヅル受け入れのための餌資源量と農業者意識の評価～研究の枠組み～」
- 4) 佐々木剛, 野田稔, 渦岡良介, 朝波史香, 鎌田磨人: 公開シンポジウム 自然を活かして防災する一災害と恵みのかかわりー (2018)
「グリーンインフラとしての海岸マツ林の機能・持続性評価」
- 5) 朝波史香: 植物生態学研究室ミニシンポジウム (岡山植生研究会) (2018)
「海岸マツ林の持続性を支えるガバナンス」
- 6) 渡辺公次郎, 寺嶋勇輝, 近藤光男: 日本都市計画学会中国四国支部発表会 (2017)
「徳島県阿南市における水田のグリーンインフラストラクチャとしての利用可能性に関する研究」
- 7) 朝波史香, 伊東啓太郎, 鎌田磨人: 第61回日本生態学会中国・四国地区大会 (2017)
「福岡県福津市福間における海岸マツ林の自律的管理」
- 8) 佐々木剛, 堀誠紘, 朝波史香, 鎌田磨人: 第61回日本生態学会中国・四国地区大会 (2017)
「海岸林に植栽したクロマツ苗木の成長と光環境・林分構造」
- 9) 野田稔, 末廣聖志, 長尾文明, 後藤力: 土木学会四国支部技術研究発表会 (2017)
「マツ林の単純化モデルによる減風・津波低減遅延効果の評価」
- 10) 今井洋太, 武藤裕則, 渡辺公次郎, 朝波史香, 鎌田磨人: 日本学術会議公開シンポジウム (生態系インフラストラクチャーを社会実装する) (2017)
「水田をグリーンインフラとして活かすためのシナリオ」
- 11) 佐々木剛, 野田稔, 渦岡良介, 朝波史香, 鎌田磨人: 日本学術会議公開シンポジウム (生態系インフラストラクチャーを社会実装する) (2017)
「グリーンインフラとしての海岸マツ林の機能・持続性評価」
- 12) M. Kamada, Y. Muto, Y. Imai: 37th IAHR World Congress, Kuala Lumpur, Malaysia, 2017

“Paddy fields as green infrastructure.”

- 13) T. Sasaki, F. Asanami, M. Kamada: International Congress of Ecology (INTECOL 2017), Beijing, China, 2017

“Structure of coastal pine forests at two regions with different social conditions in Tokushima prefecture, Shikoku, Japan.”

- 14) 渡辺公次郎：日本建築学会大会（2017）

「徳島県阿南市におけるMaxentモデルを用いた水田の転用可能性に関する研究」

- 15) 朝波史香、伊東啓太郎、鎌田磨人：ELR2017（応用生態工学会・日本景観生態学会・日本緑化工学会合同大会）（2017）

「ガバナンス論に基づく海岸マツ林の持続性評価-3地域における保全活動の比較から」

- 16) 今井洋太、渡辺公二郎、鎌田磨人：ELR2017（2017）

「浸水想定区域内の法的土地利用区分に基づく地域累計-農地が持つ洪水調節機能を活かせるか？-」

- 17) 岩佐愛恵、今井洋太、鎌田磨人：ELR2017（2017）

「ナベヅルの越冬を可能にする水田・畦畔の景観構造」

- 18) 今井洋太、鎌田磨人：対馬学フォーラム2017（2017）

「対馬におけるナベヅルの越冬・中継地推定-餌場を核とした埤創造のあり方」

- 19) 佐々木剛、朝波史香、吉川貴之、藤永真人、鎌田磨人：第63回日本生態学会大会（2016）

「徳島県北の脇地区の海岸クロマツ林の利用変化と林分構造」

- 20) 朝波史香、佐々木剛、藤永真人、吉川貴之、鎌田磨人：第60回日本生態学会中国・四国地区大会（2016）

「徳島県海陽町大里における海岸マツ林の自律的管理」

- 21) 今井洋太、三宅武、竹村紫苑、鎌田磨人：第26回日本景観生態学会大会（2016）

「グリーンインフラ指標としてのナベヅルの潜在的生息適地推定-農地の多面的機能を活かした国土管理に向けて」

- 22) 朝波史香、佐々木剛、鎌田磨人：第26回日本景観生態学会大会（2016）

「グリーンインフラとしての海岸マツ林の持続性評価-地域社会の視点から」

- 23) 佐々木剛、朝波史香、鎌田磨人：第26回日本景観生態学会大会（2016）

「グリーンインフラとしての海岸マツ林の持続性評価-生態学的視点から」

- 24) Y. Imai, M. Kamada: 14th Annual Joint Seminar between Korea & Japan on Ecological Engineering, Pusan, Korea, 2016

“Preserving water storage function of paddy fields through conserving hooded cranes (Grus monacha).”

- 25) M. Kamada: 14th Annual Joint Seminar between Korea & Japan on Ecological Engineering, Pusan, Korea, 2016

“Ecosystem-based Disaster Risk Reduction as adaptation to global warming in an era of depopulation in Japan.”

- 26) Y. Muto, M. Miyoshi, T. Tamura, M. Kamada: 14th Annual Joint Seminar between Korea & Japan on Ecological Engineering, Pusan, Korea, 2016

“Retarding effect evaluation of wetland with land-use change.”

27) 末廣聖志、野田稔、長尾文明、新谷尚人：土木学会四国支部技術研究発表会（2016）

「数値流体解析におけるマツ林の圧力損失係数の評価に関する研究」

28) 野田稔、末廣聖志、新谷尚人、長尾文明：日本流体力学会年会（2016）

「多層格子の流体力学的機能に関する検討」

（３）知的財産権

特に記載すべき事項はない

（４）「国民との科学・技術対話」の実施

1) 鎌田磨人「地域住民の自治管理で守り育てられる海岸林」（ミニシンポジウム “砂丘海岸とのつきあい方”， 2016年7月11日）

2) 徳島県海陽町大里地区での研究会（2017年2月12日）

3) 徳島県海陽町大里地区での研究会（2017年9月16日）

（５）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

（６）その他

1) 岩佐愛恵、今井洋太、鎌田磨人：ELR2017優秀ポスター賞、保全生態、生息地評価系部（2017）

「ナベヅルの越冬を可能にする水田・畦畔の景観構造」

8. 引用文献

1) 川口誠史，甲斐芳郎，今井健太郎，原田賢治，南幸弘，二宮栄一：日本建築学会四国支部研究報告集 13，31-32（2013），海岸林の倒伏耐力評価式の高度化．

III. 英文Abstract

Green Infrastructure with a Declining Population and Changing Climate: Assessment of Biodiversity, Disaster Prevention, and Social Values

Principal Investigator: Futoshi NAKAMURA

Institution: Department of Forest Science, Graduate School of Agriculture,
Hokkaido University, N9 W9 Sapporo, Hokkaido 060-8589, Japan

Tel: +81-011-706-2510 / Fax: +81-011-706-3343

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

Cooperated by: Toho University, Tokushima University, Mitsubishi UFJ Research and Consulting Co.,Ltd, National Institute for Agro-Environmental Sciences,

[Abstract]

Key Words: Biodiversity, Farmland abandonment, Retention basins, Heterogeneous preferences, Vegetation management, Public health

First, we focused on green infrastructure (GI) in farmland. Research in multiple landscape types revealed that abandoned farmland had more wetland bird species, which suggests the practical advantage of abandoned farmland for promoting farmland GI. Then, we examined the potential of existing water retention basins (WRBs) as farmland GI. The biodiversity and species composition of WRBs were higher and distinct compared to other waterbodies. This might be because WRBs provide alternative habitats to floodplain wetlands. Restoring wetland vegetation is essential for enhancing the ecological value of WRBs. We found that seed dispersal through inflowing channels was important for restoration, and creating water-level heterogeneity within WRBs may increase vegetation diversity. Finally, we evaluated diverse demands for ecosystem services provided by WRBs using choice experiments. A town-scale survey showed that the citizens had various demands. By contrast, a Hokkaido-scale survey showed that almost no respondents negatively assessed the ecosystem services.

Second, we focused on GI in urban areas. We studied the contributions of citizen utilization of GI to maintaining multifunctionality of the Asahata WRBs, in Shizuoka. We found that the biodiversity, flood-control, and educational benefits of the existing urban GI can be enhanced by involving diverse stakeholders in, for example, the construction of paddy fields and use of controlled burning. We also found that walking in WRBs positively influenced the mental condition of participants. Next, we shared the information on the ecosystem services of the urban GI with the general public in an open forum. Extreme opinions regarding future GI planning, such as greatly expanding athletic parks, decreased, which suggests that sharing information with stakeholders facilitates consensus-building in GI planning.

Third, we focused on GI in coastal areas. Geotechnical and hydrodynamic evaluations revealed that the current coastal pine forest in Anan had high disaster-prevention function. We also surveyed its vegetation and sustainable management by local communities. The interest and consciousness of the inhabitants and governance were very important for maintaining the pine forests. Then we quantified the flood-control functions of paddy fields using the computer program AFREL. In a scenario in which a paddy field was partly converted into a residential area, the simulation showed that the flood risk increased. By contrast, conserving paddy fields as *Grus monacha* habitat will decrease the flood risk and add economic benefits. Finally, we clarified recent land-use changes in Anan and propose land-use policies aimed at the allocation of farmland GI in coastal lowlands.