

2021 年度 S-18 プロジェクト研究成果報告

テーマ番号	S-18-1
研究課題名	総合的な気候変動影響予測・適応評価フレームワークの開発
研究代表者氏名	三村信男（茨城大学）

1. 研究成果の概要

S-18 プロジェクトの全体目標は、「我が国の気候変動適応を支援する影響予測・適応評価に関する最新の科学的情報の創出」である。気候変動の影響は、温暖化・気候変動の将来経路と温暖化対策（緩和策・適応策）、我が国の社会条件の変化によって異なる。これらを踏まえた我が国への影響と対策に関する総合的で体系的な見通しを得るため、テーマ1では、総合的な研究フレームワークを開発し、プロジェクト全体の推進を図ることを目的にしている。そのための研究開発は、①研究フレームワークの構築（サブテーマ1）、②S-18 全体の成果の集約・分析と社会への発信（サブテーマ2）、③気候変動影響に関する統計的評価手法の開発（サブテーマ3（1））、特に健康影響評価に関連する評価手法の開発（サブテーマ3（2））、④適応評価手法の開発（サブテーマ4）であり、図-1 に示のように5つのサブテーマが連携している。以下では、2021 年度における研究内容と成果を紹介する。

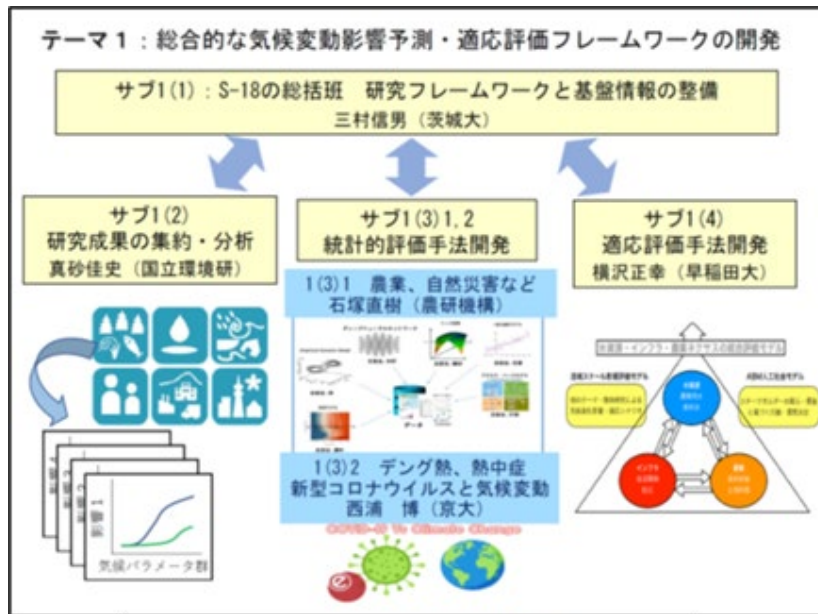


図-1 テーマ1の構成

サブテーマ1(1) 統合的な気候変動影響予測のためのフレームワーク構築と基盤情報の整備（研究代表者：三村信男（茨城大学））

(1) 研究開発内容

本サブテーマでは、S-18 研究の基盤フレームワークの構築とプロジェクト運営の2つの役割を担っている。

1) 総合的評価のためのフレームワークの構築と共通シナリオの整備・配信

S-18 プロジェクトの総括班として、影響予測・適応評価研究の基盤となる研究フレームワークを構築し、プロジェクト全体で共有した。影響予測・適応評価研究の共通枠組みは、①温暖化レベル3種類（RCP 8.5, 4.5, 2.6）、②気候モデル（5種類）、③社会経済シナリオ（3種類）、④適応の有無、の条件を組み合わせ

せ、多様な条件の下での将来予測を示すというものである（図2）。

- 気候シナリオ：国立環境研究所、東京大学大気海洋研究所、気象研究所、農研機構、海洋研究開発機構、及び推進費課題 2-1904（気候変動影響評価のための日本域の異常天候ストーリーラインの構築）と連携して気候シナリオ WG を設置し、日本域にダウンスケールした気候シナリオ（国土数値情報 3 次メッシュ（1 km×1km））を設定・配信した。全球気候モデル（GCM）は、モデルによる差を見るため、気象研究所と東京大学が開発した 2 モデルを含めて 5 モデルを用いている。
- 社会経済シナリオ：国立環境研究所、推進費課題 2-1805（気候変動影響・適応評価のための日本版社会経済シナリオの構築）と連携して社会経済シナリオ WG を設置し、2100 年までの社会経済シナリオ（人口及び土地利用分布の変化）を作成した。

S-18 で用いる社会経済シナリオは、IPCC で用いられている世界版 SSP シナリオをベースに日本の社会条件を考慮して構成した日本版 SSP 注1）と社会条件を単純化した人口・土地利用の現状固定シナリオである。本研究では、SSP1（脱炭素・持続可能社会経路）と SSP5（化石燃料継続使用・高度成長社会経路）を用いた。したがって、温暖化レベルと社会経済シナリオの組み合わせは、RCP2.6-SSP1、RCP8.5-SSP5、RCP2.6 及び 8.5-現状固定の 4 種類になる。これらの人口及び土地利用分布も 3 次メッシュ及び市町村ごとのデータである。

注1）S-18 中間成果報告書で SSP シナリオと示されているのは日本版 SSP シナリオを意味する。

- 緩和と適応の関係：「緩和策に相乗効果のある適応策検討 WG」を設置し、適応策の有効性評価の一環として、適応策の分類と特性評価を開始した。
- プロジェクト工程：2021 年度に試行を含めた第 1 回影響・適応全国評価を行った。2023 年度には全面的な第 2 回全国評価を行う計画であるが、そのために、1.5℃シナリオを加えるなど脱炭素社会をめざす目標に対応させて気候シナリオと社会経済シナリオの拡充を進めている。

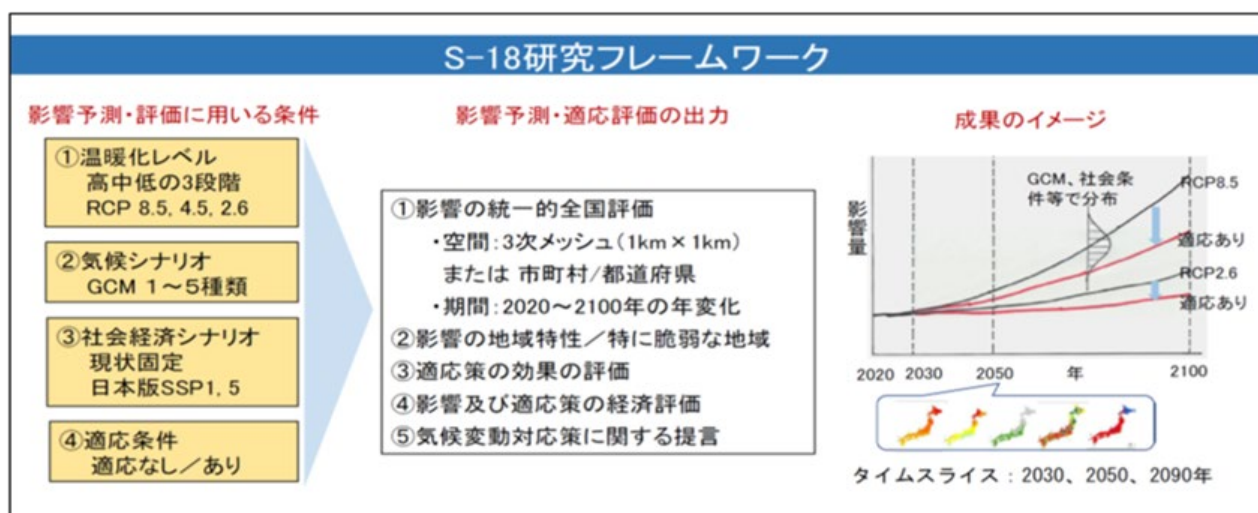


図2 S-18 の研究フレームワーク

2) IPCC AR7 やパリ協定における国際的取組への貢献

緩和・適応による気候安全保障に関する研究を行うとともに、世界気候研究計画(WCRP)の Great Challenge 研究や地域気候変動適応に関する Gobeshona Global Conference Network などに参加し、国際的連携・発信を進めた。

3) 研究プロジェクトや関係者との研究交流及びアウトリーチ

他の研究プロジェクトや行政・企業関係者との研究交流及び意見交換、成果アウトリーチを進めるため、S-18 公開シンポジウム（2020 年 10 月）や IPCC 報告書連携シンポジウム（2022 年 4 月）、S-18 セミナーの連続開催（5 回）、地方自治体・企業を対象にした適応策に関するアンケート等を実施した。これに加えて、テーマ及び研究者個人も多数のアウトリーチ活動を行った。

4) プロジェクト運営体制の整備

19 サブテーマで構成される S-18 プロジェクトを統合的に運営するため、運営会議の毎月開催、キックオフ会合や全体・アドバイザー合同会合、テーマ会合、分野横断的なワーキンググループ（緩和策と適応策の相乗効果）、若手会や S-18 勉強会、情報共有の仕組みなどによる運営体制を構築した。

（２）研究成果

1) 総合的評価のためのフレームワークの構築

2021 年度の第 1 回全国評価では、S-18 全体で、日本全国を対象にして、気候変動適応法の 6 分野（生態系以外の分野）における影響予測・適応評価を行い、全国評価 40 項目、地域評価 10 項目以上の評価結果が得られた。これは共通化した条件の下での影響予測研究ではこれまでにない規模である。こうした成果の創出には、S-18 共通の研究フレームワークと共通シナリオを設定した効果が大きい。なお生態系への影響は国立環境研究所でプロジェクト研究が行われており、両者の研究成果をまとめる計画である。

さらに、全テーマ横断で「緩和策と相乗効果を持つ適応策検討 WG」を設置し、適応策の分類及び効果に関する研究を進めている。2023 年度の第 2 回評価の中で代表的な適応策集をまとめ、地方自治体や企業における適応策検討に提供する計画である。

2) 共通シナリオの整備・配信

共通気候シナリオは全てのサブテーマで用いられて、社会経済シナリオは 10 サブテーマの評価に用いられた。今後の影響評価研究において、社会経済シナリオを踏まえた予測は重要になると考えられる。

2021～2022 年に公表された IPCC 第 6 次報告書では、2040 年前後の近未来予測と 1.5℃上昇による影響評価に焦点を当てている。脱炭素社会を目指す我が国の目標に合わせて、第 2 回評価では、温暖化レベルに 1.5℃（RCP1.9）を加える予定であり、そのための気候シナリオを準備している。また、社会経済シナリオに対しても、土地利用分布の再検討や産業変化などに関する要望があり、第 2 回評価に向けて拡充を検討している。

3) IPCC AR7 やパリ協定における国際的取組への貢献

IPCC 第 6 次報告書への貢献や世界気候研究計画（WCRP）の Great Challenge 研究、地域気候変動適応に関する Gobeshona Global Conference Network への参加など国際的連携・発信の取り組みを進めた。気候安全保障は今後さらに重要視される課題であり、今後も研究を継続する。

4) 研究プロジェクトや関係者との研究交流及びアウトリーチ

IPCC 報告書連携シンポジウム（2022 年 4 月）や S-18 セミナーの連続開催（5 回）、地方自治体・企業を対象にした適応策に関するアンケート施など他の研究プロジェクトや地方自治体・企業の関係者との多様な連携・意見交換・アウトリーチを進めたのは大きな成果である。テーマ 1 のアウトリーチの総数は、2022 年 7 月までで 45 件に達している。

5) プロジェクト運営体制の整備

柔軟な運営体制を構築したことによって、新型コロナウイルス感染症や適応策・緩和策の相乗効果等の新規課題を取り込んだこと、テーマ・サブテーマ間の連携が促進されたこと、他プロジェクトや関係者との連携・意見交換の進展などの成果があった。

サブテーマ 1(2) 計画策定支援のための統合データベース構築と分析ツールの開発（研究代表者：真砂佳史（国立環境研究所））

（１）研究開発内容

本サブテーマでは、S-18 プロジェクトの成果を集約・統合し、科学的根拠に基づく適応策推進につなげることを目的にしている。そのため、「いつ」「どこで」「どのような」影響が表れるか、また「いつ」「どのような」適応策の発動が必要になるかについて解析する手法を開発する。具体的には、幅広い分野の気候変動影響の類型化と地域分布（影響の地域差）を把握する手法や、気候変動適応の緊急性（適応策の発動時期）を評価する手法の開発を進めている。これら開発した手法を S-18 の影響予測・適応策評価の結果に適用し、地方自治体や企業による適応策の立案・推進に資する知見を創出する。

また、S-18 で生み出されるデータや知見は、国立環境研究所が運用する「気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT)」等で広く社会に提供する計画である。研究成果を政策決定者が活用できる形で提供するため、地域における適応推進の担い手である地域気候変動適応センター (LCCAC) の適応能力を評価し、またセンターが持つ課題やニーズについて調査した。

(2) 研究成果

1) 幅広い分野の気候変動影響の類型化と地域分布 (影響の地域差) を把握する手法開発

過去に実施された4分野にまたがる7指標の影響予測結果 (コメ収量、洪水被害額、斜面災害リスク、熱中症搬送者数、熱ストレス超過死亡者数、松枯れ病のリスク、竹の生息可能域) を用いて、影響指標と気候指標および影響指標間の相関分析を行った。影響予測モデルでの気候指標の用いられ方や気候以外の要素の強さにより、例えば洪水被害額や斜面災害リスクのように地理的要因が強く影響する指標は、気候指標との相関が比較的低かった。また、一部の影響指標間 (熱中症搬送者数、松枯れ病のリスク、竹の生息可能域) に強い相関がみられ、これらの現象と気候との理論的關係、あるいは影響予測モデルの構造や気候指標の用いられ方に関連があることが示唆された。

次に、気候変動影響の地域分布を把握するため、7指標の類似度に基づきk平均法により国内地域を8グループに類型化した (図3)。その結果、気候指標との相関が比較的低い単独の指標が卓越するグループと、気候指標との相関が比較的高く、互いの相関係数も比較的高い複数の指標の組み合わせで決まるグループが見られた。また、前者は気候の類似性にあまり関係なく分布し、後者は気候条件の似た地域に分布していた。以上より、気候指標と気候以外の要素の組み合わせにより気候変動影響の現れ方が異なり、それを反映して地域ごとの気候変動影響が異なることが示された。

このような解析を今後S-18の影響予測結果に対して行うことにより、S-18で構築される多数の影響予測項目のグループ化や、影響の地域分布の把握、同時に影響が発現し適応が必要となる指標の解析などを可能にする。

2) 気候変動適応の緊急性 (適応策の発動時期) を評価する手法の開発

個々の影響項目における気候変動適応の緊急性や優先度は、気候変動影響がある閾値に達するまでの期間、あるいは適応策の発動が必要になる時期を指標として考えることができる。この検討のため、サブテーマ2(1)から提供を受けたコメ収量の予測データを用いて、コメ収量の減少が一定レベルになる時期を試算した。この結果を地図化することで、高温耐性品種の導入などの適応策が必要になる時期を地域別に表示することができる。今後、他の分野の影響指標についても同様な解析を行う。

3) 地域気候変動適応センターの適応能力の評価

地域気候変動適応センター (LCCAC) が抱える課題についてのアンケート調査の結果、人的資源や予算、従事時間の不足はすべてのグループに共通していること、一方、比較的経験の浅いLCCACはそれらに加え専門的な知識や技術の不足、LCCACに求められる役割の理解などに課題を抱えていることが分かった。S-18の成果を含めてLCCACに対する知見の提供や支援において、LCCACの適応能力や課題を考慮した情報発信や能力向上の支援が重要だと言える。

この結果を踏まえ、今後は政策決定者が必要とする情報や活用可能なデータ形式などについてLCCACとの議論を進め、引き続きS-18の成果の提供方法を検討する。

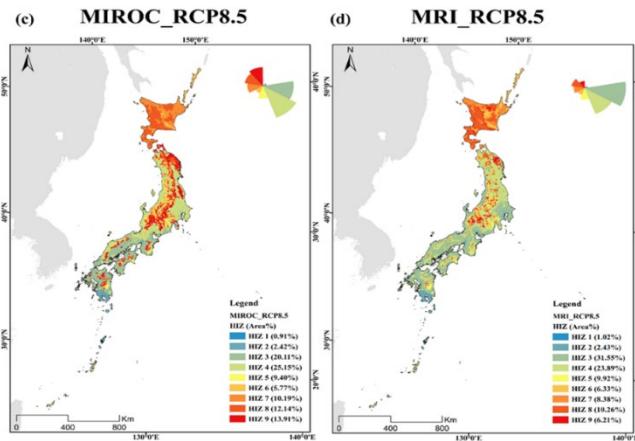


図3 気候変動影響による地域の類型化（1kmメッシュ）
既存のコメ収量、洪水被害額、斜面災害リスク、熱中症搬送者数、熱ストレス超過死亡者数、松枯れ病のリスク、竹の生息可能域への影響に基づいて類似の特徴を示す地域を類型化したもの。

サブテーマ1(3)1 統計的な手法によるデータ・ドリブンな気候変動影響予測手法の開発と適応効果の解析
(研究代表者：石塚直樹（農研機構）)

(1) 研究開発内容

本サブテーマでは、①複数の統計・機械学習手法を比較し、その特性を明らかにし、気候変動影響解析に有用な統合的解析手法を開発する、②過去のデータをもとに適応策の効果を統計的に定量化する、③全国レベルで将来におけるデータ・ドリブンな気候変動影響評価を実施する、④地域レベルで気候変動影響予測・適応策評価が可能なマニュアルを作成する、という目標の達成を目指している。

中間評価までには、上記の①から③に取り組む計画であり、目標に対応する形で、各分野のデータを収集し、デジタル化、フォーマット整理を行い、解析データを蓄積した。これまでに蓄積したデータは水稻、4 麦、ダイズ、キャベツ、ネギ、モモ、ブドウなど農産物 100 種以上の収量、栽培面積、単収などのデータや水害データ、水温データである。プロジェクト前期は、主に農林水産業データ（作物収量・品質など）を中心として、一般化加法混合モデルやリッジ回帰、ニューラルネットワーク、勾配ブースティングなど主要な統計・機械学習手法の有効性を検証するとともに、有効な応用解析手法を検討した。また、ダム湖の水温という水環境を対象として、温暖化影響予測に機械学習手法を用いる際に、転移学習^{注2)}を行うことの有効性を検証した。これまでの解析に基づき、日本全国を対象として統計・機械学習手法による市町村レベルでの将来影響予測第一版を作成した。

注2) 転移学習とは、あるデータ領域で学習されたモデルを別のデータ領域に応用する手法である。これにより、データが少ない、もしくは無い領域に、データが手に入る領域で学習させたモデルを適応させることができる。

(2) 研究成果

1) データの収集と整理

気候変動影響予測モデル適用のための準備として、統計データの収集、整理を行った。日本では、デジタル化した各種統計データが e-Stat 上で公開がされているが、近年のものに限られており、過去の貴重なデータがデジタル化されないまま蓄積されている。例えば、作物の栽培暦は、野菜の各品種・地域に関する世界に例がないほど細かなデータであり、これをデジタル化することで野菜に対する影響を統計的、網羅的に解析できるようにしている。このような貴重なデータについては、プロジェクト終了時に公開することも検討する。

2) 統計モデル比較のための候補モデルの探索や新手法の開発

気候変動影響予測に適切な統計モデルを探索するため、代表的な統計モデルによる全国解析の試行や新たな手法の比較・開発などを行った。これらの結果を踏まえつつ、最終的な目標達成に向け、モデルの探索や新手法の開発を継続して行う。

- 【統計モデルによる適応効果の解析】コムギを対象に加法モデルを用い解析する際に、気温に対するレスポンスカーブに地域の気候などの交互作用を入れるか入れないかによって、適応あり・なしが議論可

能なことを示し、適応の効果を検討できる統計的手法を開発した。これまで、統計モデルにおける適応の効果の表現について十分議論をされてこなかったが、統計モデルによって適応の潜在性を検証することができることを示した。

- **【説明可能な機械学習手法の提案】** 深層学習を始めとする機械学習は、気候変動影響評価にも非常に有効な手段の一つと考えられる。しかしながら、機械学習は、精度は高い一方で、判断プロセスがブラックボックスであり、判断理由や根拠の説明性に欠けるといった問題点がある。この問題を解決するために、勾配ブースティング法と呼ばれる機械学習手法と一般化加法モデルと呼ばれる統計モデルのハイブリッド手法を提案した。この手法では、単に予測性が高いだけではなく、予測結果に対する説明性が高くなり、機械学習の適用可能な領域が格段に広がることが期待できる。
- **【開花日などの影響の解析】** 統計モデルによって気候変動に対する作物の応答を検討できる手法を開発した。特にソバに注目して、開花日を予測しつつ、開花日の情報を説明変数に加える統計モデルを作成し、積算日射量などと収量の関係を解析した結果、これまでの知見と異なり、積算日射量が収量の増加にあまり寄与しないことが明らかになった。今後、この手法を他作物にも適用し、解析を行う予定である。
- **【手法の比較】** 果樹 11 種を対象に、Robust regression, GAM (統計的手法) と Neural network (NN), Gradient boosting (機械学習的手法) の予測能力を比較した。その結果、両者がほぼ同程度の予測能力を有していることが確認され、説明変数 (特徴量) 構成を変えても同様の結果が得られた (図 4)。このことは、モデルの解釈可能性を考慮すると加法モデルなど統計的手法の有用性が高い場合があることを示唆している。加えて、機械学習的手法は気候モデル間のバラツキが大きく、僅かな気象条件の違いに大きく反応するのに対し GAM を用いた予測の方が、バラツキが小さくなるが多かった (図 5)。この結果の違いに関する要因として、気象要素のデータが外挿的になっていることが挙げられ、NN は過去に経験のない気象条件に対してうまく予測が出来ないということになる。この問題への対処策として、転移学習という手法が挙げられる。本課題では転移学習の有効性を確認するため、北海道のダム湖の水温予測を DNN で行うのに際し、学習に九州のデータを導入した。その結果、北海道で未経験の気温に対する水温度予測が可能になることを確認し、将来の温暖化影響予測に転移学習が有効であることを確認した。

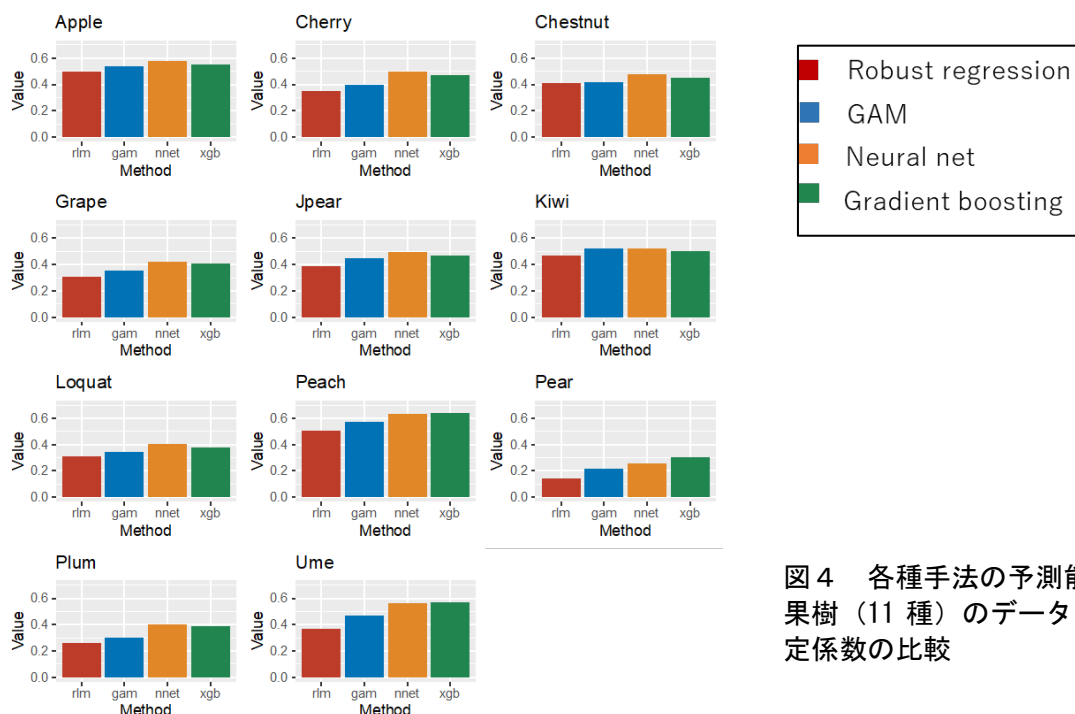


図 4 各種手法の予測能力の比較
果樹 (11 種) のデータに対する決定係数の比較

3) 全国市町村単位での将来予測と視覚化

水稲、大豆、小豆、インゲン、落花生、裸麦、小麦、六条大麦、二条大麦、りんご、日本なし、西洋なし、かき、びわ、もも、すもも、おうとう、うめ、ぶどう、パイナップル、キウイフルーツ、みかん、くりを対象に、5つのGCM (全球気候モデル) を用いて、2050年の将来予測を行った結果、多くの作物について、

温暖化によって収量が増加することが予測された。

この計算結果を行政の政策決定者が政策決定に活かせるようにするため、当初、計画していなかった予測結果の可視化プログラムのプロトタイプを作成した。日本全国を市町村単位で予測した農作物の収量変化を、温暖化レベルを変えるなどしながらシームレスに表示することができる web サイトを試験的に作成した。現時点では、りんご、日本なしなど 11 種類の果樹について、2050 年を中心とした収量変化予測値と確度を、色と 3 次元の高さで表現している。現在は開発段階であり、今後、ブラッシュアップし、公開に向けた準備を行っていく予定である。

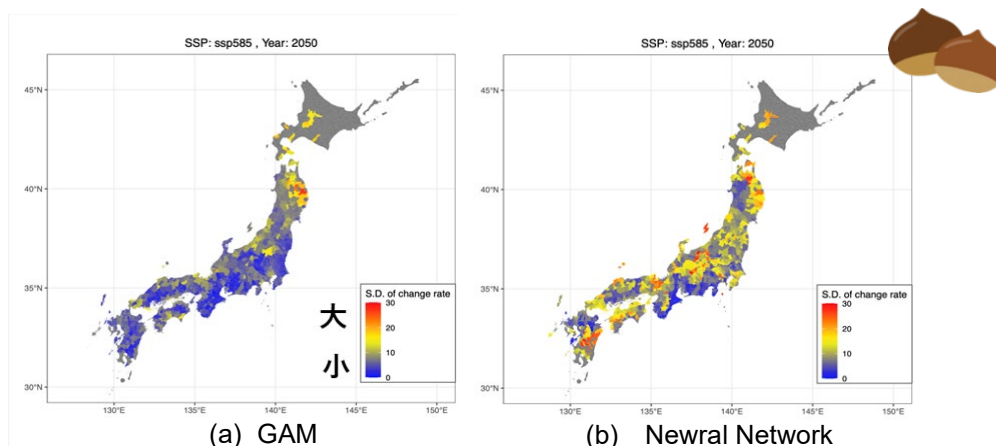


図 5 異なる GCM によるくりの予測結果のバラツキ（標準偏差）

サブテーマ 1(3)2 統計的な手法によるデータ・ドリブンな気候変動影響予測手法の開発と適応効果の解析 (研究代表者：西浦博（京都大学）)

(1) 研究開発内容

本サブテーマでは、気候変動に伴う健康影響評価に資するデータ分析手法の開発に取り組んでいる。令和 2 年度において、研究課題 1 では、気候変動が蚊やダニが媒介する感染症の感染ダイナミクスに与える影響について、デング熱とマラリアを対象に研究作業を進めた。特にそれらと気温データのかかわりに関してデング熱と気温データの関連解析、デング熱・マラリアのリスクマッピングを進めた。研究課題 2 では気温、湿度、輻射熱、土地利用などを予測因子とした熱中症の予測モデリングに取り組むべく文献調査を進めた。また、気温データと土地利用情報セットに基づく不快指数推定を行い、データ基盤の構築に取り組んだ。研究課題 3 については空間情報を活用した感染症リスクの定量化に取り組み、3 次メッシュ (1km×1km) あるいは町丁字レベルでの高解像度空間レベルでのリスク推定を実現するための準備を開始した。

2020 年に拡大した新型コロナ感染症の猛威を踏まえて、新型コロナ感染症と気候変動の関係を研究課題に加えるという S-18 の方針に従い、令和 3 年度以降の研究課題を以下に修正した。

研究課題 1: デング熱の国内流行リスクの定量化及び適応効果の評価：気温、降水量、土地利用による空間情報及び外国からの感染者輸入リスクを加味したモデル実装

研究課題 2: 気候変動に伴う熱中症患者の増加とそれに伴う国内の夏季における疾病負荷の定量化

研究課題 3: 気温、湿度、土地利用に係る空間情報を加味した健康影響評価のモデル実装とマッピング

研究課題 4: 新型コロナウイルス感染症の気温と伝播の関係に関する研究

研究課題 1 では気温データの特に平均気温を変数としたデング熱の実効再生産数の定式化を試み、デング熱の地図上でのリスクマッピングと長期時系列予測をシナリオごとに行った。研究課題 2 では暑さ指数を基準とした 2100 年までの気候変動の確認と熱中症発症者の予測式の検討、熱中症発症者の半数以上を占める高齢者集団における熱中症の実態調査を行った。研究課題 3 では課題 1 および 2 で得られた結果を利用して、高解像度の空間上で予測を実装する作業に取り組んだ。研究課題 4 を設定し、新型コロナウイルス流行に関連する気候変動との相互作用等の関連データの集積と分析を行った。

(2) 研究成果

1) 研究課題 1

デング熱と気象データの関連解析では、平均気温を変数としたデング熱の実効再生産数の定式化を終えた。これによりデング熱が輸入された際の各 1km×1km 内での絶滅確率の計算をし、デング熱の地図上でのリスクマッピングと長期時系列予測をシナリオごとに行った。また、シナリオデータを用いた分析を行い、既に流行確率が高いとされている 7 月や 8 月に加えて、今後、気温上昇により 6 月や 9 月でも流行リスクが上昇することが示された (図 6)。気温の影響よりも輸入数(流行国からの渡航者数)の増加が大きくデング熱流行確率の上昇に寄与することが示唆される研究結果を得た。

2) 研究課題 2

東京都において 2100 年までの間で暑さ指数(WBGT)において熱中症発症の厳重警戒である 28 度以上を超える日(ハイリスク日)の年間日数が増加することが示された。東京都の 2015 年から 2019 年までの熱中症搬送者数と WBGT の関連から予測式を作成し、MIROC6 と MRI-ESM-2.0 の 2 シナリオへ適合した。両シナリオにおいて RCP2.6 であっても熱中症発症者が今後増加することが示された。また、実態調査を通じて今後の適応政策を見据えた高齢者の熱中症発症リスク因子(独居、自力飲水不可能、エアコン不所持)を特定した。

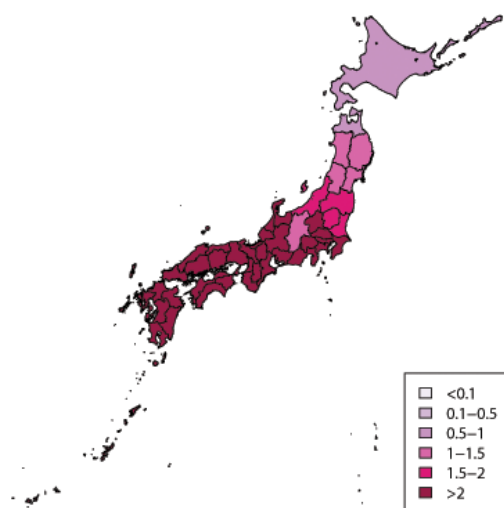
3) 研究課題 3

空間情報を活用した感染症リスクおよび熱中症リスクの定量化を実施した。その際、デング熱の侵入リスクが高い地域の特定のために、外国人がスマートフォンを利用して移動した位置情報を基に外国人の訪問地域を明らかにし、それによってデング熱の集団発生が開始する高リスク地域を特定することが可能であるのかを検討した。

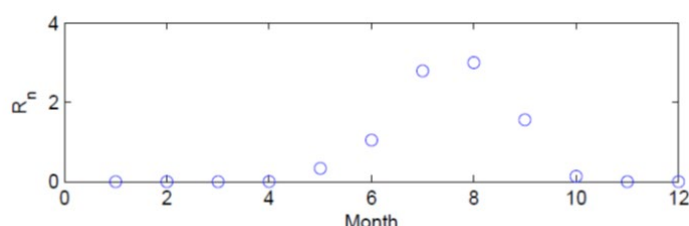
4) 研究課題 4

新型コロナウイルス感染症に注目して行い、特定地域(北海道、東京都、愛知県、大阪府、福岡県、沖縄県)において、気温とヒトの移動、リスク認識を入力変数としてある時点のデータに適合すると、それより未来の実効再生産数が補足できることを発見した。摂氏で 1 度低下すると、実効再生産数が 0.02 上がることを実証した。

Mean reproduction number in summer



(a) 夏季の再生産数の分布



(b) 侵入月別の再生産数(東京)

図 6 デング熱の再生産数の予測

サブテーマ 1(4) 適応策のシナジー・トレードオフを考慮した気候変動適応計画の評価に関する研究 (研究代表者: 横沢正幸 (早稲田大学))

(1) 研究開発内容

本サブテーマでは、対象地域を近年でも洪水・渇水が発生している千曲川・信濃川流域とした。河川水資

源は農業用水に全体の70%から80%が利用され、残りは生活用水ならびに工業用水に利用されている。環境変動に伴って河川流量が減少した場合には農業用水から取水制限が実施されるが、気候変動によってこれらセクター間での水資源のさらなる競争が懸念されている。そのようなトレードオフの解消ひいてはシナジー効果を生み出す気候変動適応計画の分析手法の開発を最終目標として、これまでに実施した事項は以下のとおりである。

1) 長野県ならびに新潟県の気候変動適応センターにおいて、農業用水資源利用に関する現状と今後懸念される事象について聞き取り調査を行うとともに、モデル開発・統合評価に必要な検証・入力用データなどの収集と整理を行った。

2) 対象流域における水資源量の変化を推計するために全球スケールの既存モデルをダウンスケールするとともに、作物の生育・成長過程に必要な水資源量、供給可能な水資源量、ならびに流域市町村単位での作物収量を推定できるようにした。また、モデル推定結果の妥当性検証を行った。

3) ステークホルダーの適応に対する取り組みの加速や協力醸成のために有効なガバナンスを調べるために、適応策を実施した際の利得とコスト、情報交換のネットワーク様式などを考慮に入れた意思決定過程を記述するエージェントベースモデルを作成した。それを利用して、水稻栽培における高温障害を避けるための掛け流しを行う際の水量節約を指向した ICT 技術の普及、ならびに栽培期間中で最も水使用量が多くなる代かき期をシフトして水利用の集中を避ける方策について分析を行った。

(2) 研究成果

1) 対象地域における農業用水の利用状況調査の結果、水田水利用の多い時期は5月上中旬の代かき期、8月上中旬の出穂期ならびに8月下旬の登熟期である。現状でも出穂期を中心として高温障害を避けるために有効とされる掛け流しはなるべく行わないよう指導するとともに、ICT技術を利用した節水技術の導入・普及を進めている。また、生活用水の利用状況とその環境応答を調べるために、平成13年度～令和元年度(19年分)の水道統計資料を用いて月別・市町村別の取水量をデータベースとして整備した。今後は洪水も含めた災害に対する意識調査を現地で行い2)、3)の基礎データを整備する。

2) 影響評価モデルはエネルギー収支、作物生育・成長、河川流下、ダム操作ならびに取水過程を記述する。本モデルの特徴は、水文過程と作物の生育・成長過程がオンラインで結合することで、作物の生育・成長過程に従って作物にとって必要な水量を算出するとともに、灌漑可能な水量ならび供給された水量に対応した生育・成長量を経時的に推計することができることにある。2008-2017年の10年間を対象として、流域における土壌水分量、蒸発散量、河川流量および水稻収量を推計し、おおむねモデル推定値と統計値が一致することを確認した。モデルのアウトプットである水需給量と作物収量との関係(図7)は3)のエージェントベースモデルに利用した。今後は水稻以外の作物を取り込むとともに洪水頻度や規模なども推定するように拡張する。

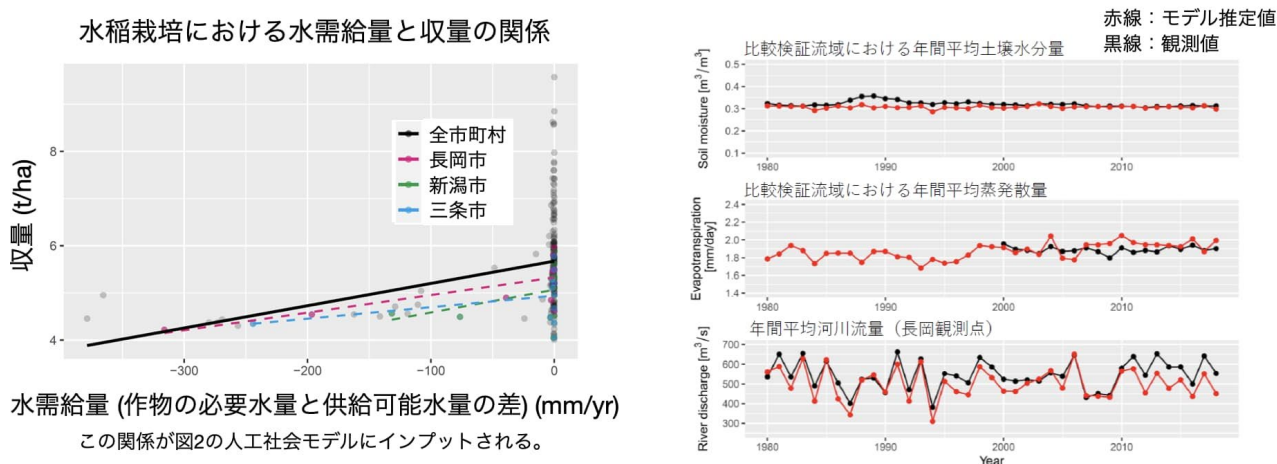


図7 影響評価モデル：対象領域での検証と水需給量-収量関係

3) 上で述べた ICT 技術を利用した圃場水管理システムの普及促進を図ること、ならびに大量の水利用が集中する代かき時期のシフトを促進する方策を探るため、農家をエージェントとするエージェントベースモデルを作成して分析した。前者では、2)の影響評価モデルによる水稻収量データを与え、技術導入による利得の情報に関する農家間の情報共有ネットワークの様式を様々に変化させて解析した結果、いわゆるインフルエンサー（コミュニティの顔役など）に情報を流すよりもランダムに農家間の情報交換ができるようにネットワークを構成する方が普及を促進することが示された。

後者では、施策促進の補助金を公共財とする公共財ゲームとして分析した結果、農家をオーバーラップしたグループに分け、分散化に協力した割合に応じて補助金を配分することによって、罰則を科さなくても協力者割合をすみやかに増やせることが示された（図8）。また補助金額の算出において重要となる協力者数を衛星画像情報を推定する方法についても提案した。これは政策を実施した際の有効性実証に利用できる。本研究では影響評価モデルとエージェントベースモデルをつなげることにより適応策の有効性をより詳細に検討できることが示された。今後は影響評価モデルとの結合を行い影響と適応策の効果を統合的に評価できるように拡張する。

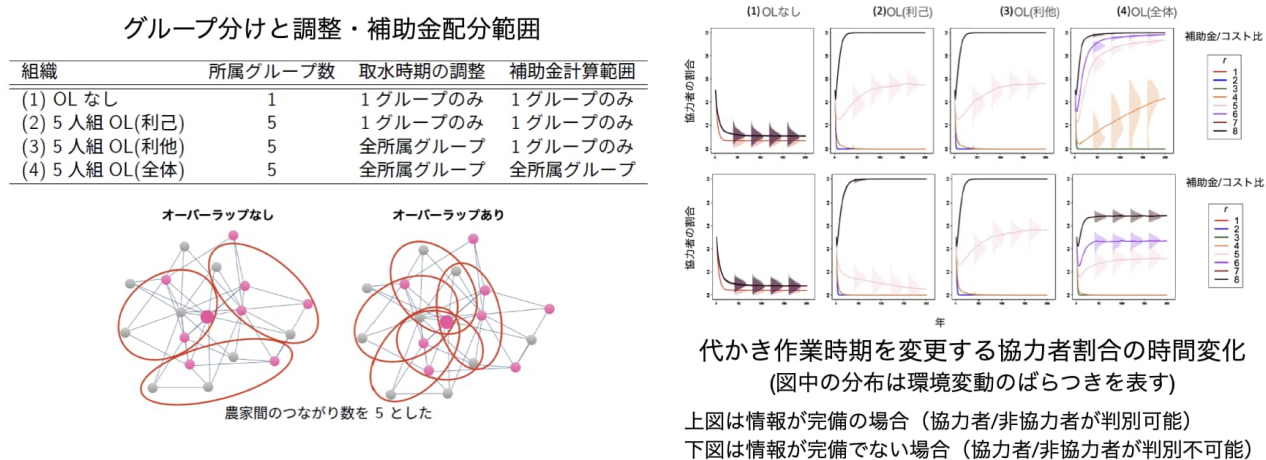


図8 人工社会モデル：代かき時期シフトの協力醸成過程

2. 成果一覧（予定を含む）

○学術論文（国内誌 7件、国際誌 8件）

<査読あり>

- 1) Hasui, S., H. Komatsu: Politics and Governance, 9(4), 79-90 (2021) Climate Security and Policy Options in Japan.
- 2) 東佑太, 武若聡: 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 特集号, 77, 2 (2021) オホーツク沿岸の汀線変動と流水量に関する研究
- 3) 木村延明, 石田桂, 皆川裕樹, 福重雄大, 馬場大地: AI・データサイエンス論文集 (土木学会), 2(J2) 157-164 (2021) リカレントニューラルネットワークを用いた複数の気候変動データに基づくダム湖水温予測.
- 4) Kimura, N., Ishida, K., and Baba D.: Water, 13, 1109 (2021) Surface water temperature predictions at a mid-latitude reservoir under long-term climate change impacts using a deep neural network coupled with a transfer learning approach.
- 5) Kishi, S.: Japan. Ecology and Evolution, 12, e8743 (2022). Nested structure is dependent on visitor sex in the flower-visitor networks in Kyoto.
- 6) 【予定】櫻井玄, 石塚直樹, 岡部範和: 応用統計学会誌. in press (2022) 気候変動の影響予測研究 - 作物生産性予測における研究の概説と統計手法 -
- 7) Wang X., Nishiura H.: 2021:6699788 (2021) The Epidemic Risk of Dengue Fever in Japan: Climate

Change and Seasonality. Can J Infect Dis Med Microbiol.

- 8) Yuan B, Lee H, Nishiura H.: Theor Biol Med Model. 18(1):17 (2021) Analysis of international traveler mobility patterns in Tokyo to identify geographic foci of dengue fever risk.
- 9) Jung SM, Endo A, Akhmetzhanov AR, Nishiura H.: Int J Infect Dis. 113:47-54 (2021) Predicting the effective reproduction number of COVID-19: inference using human mobility, temperature, and risk awareness.

<査読なし>

- 1) N. Mimura: Nature Climate Change, VOL. 11, p.297 (2021) Rising seas and subsiding cities.
- 2) (著書) N. Mimura, Y. Hijioka: Our Warmong Planet- Climate Change Impacts and Adaptation, 498-525, World Scientific (2021) Lecture 19 Climate Change and Natural Disasters in Japan, in: Cynthia Rosenzweig, Martyin Parry, Manishka Del Mel(eds).
- 3) 三村信男: 学術の動向、Vol. 2、No. 2、59-63、日本学術協力財団(2022) 気候変動への適応と社会のレジリエンス構築.
- 4) (著書) 蓮井誠一郎: 平井・横山・小山編『平和学のいまー地球・自分・未来をつなぐ見取図』, 法律文化社 (2020) 「開発・安全保障パラダイムから脱『安全保障』へ」.
- 5) (著書) 前田幸男・蓮井誠一郎: 前田幸男・南山淳編『批判的安全保障論』, 法律文化社 (2021) 「環境と批判的安全保障ー気候の危機からジオ・パワーへ」.
- 6) 林克磨, 西浦博: 経営の科学 66(4) (通号 724) 2021-04 p. 207-215 (2021) 感染症の伝播と気候変動 (特集 感染・伝播・伝搬) オペレーションズ・リサーチ = Communications of the Operations Research Society of Japan.

○学会・シンポジウム等における発表 (国内 17 件、国外 10 件)

<口頭発表>

- 1) 三村信男、JST 研究開発戦略センター環境・エネルギーセミナー「気象・気候研究開発の基盤と最前線」、2021 年、IPCC における議論の動向と気候変動研究の課題.
- 2) 三村信男、自動車技術会シンポジウム「2050 年カーボンニュートラルへの挑戦と大気質予測」基調講演、2021 年、2050 年カーボンニュートラルに向けた国際的取り組みとその影響.
- 3) 三村信男、第 25 回海岸シンポジウム基調講演、全国海岸事業促進連合協議会、2021 年 11 月 19 日、気候変動の将来予測と対応策に係る世界の動向、
- 4) 三村信男、学術フォーラム「地球環境変動と人間活動ー地球規模の環境変化にどう対応したらよいかー」、日本学術会議、2021 年、気候変動への適応と社会のレジリエンス構築.
- 5) N. Mimura, CISD 2021 Keynote Lecture, VNU Vietnam Japan University, 2021, Integration of Mitigation and Adaptation Toward Climate Change Resilient Development.
- 6) N. Mimura, International symposium Hanoi Geoengineering 2022 Keynote Lecture, 2022, Integration of Mitigation and Adaptation Toward Climate Resilient Society.
- 7) 三村信男、第 7 回沖ノ鳥島・小島嶼国プログラム研究会、東京大学海洋アライアンス、2022 年、海面上昇適応策の 30 年ー南太平洋の島嶼国を中心にして.
- 8) Yoshikawa S., Watanabe M., Kanae S., Japan Geoscience Union Meeting 2021, Online (2021), Temperature rises and extreme rainfall intensity derived from observations and d4PDF in Japan.
- 9) Yoshikawa S., Mimura N., Hiroshima International Conference on Peace and Sustainability 2022, online (2022) Setting Common Socioeconomic Scenarios.
- 10) Masago, Y., KE4CAP EU-Japan Bilateral Knowledge Exchange Event #1: 'Enhancing Connections across National and Local Platforms to Support Adaptation Action'. Online, 2021. Introduction to CCCA's adaptation activities linking to local action and challenges faced.
- 11) Masago, Y. The 27th AIM International Workshop, Online, 2021. Towards comprehensive assessment of climate change impacts and adaptation in Japan.
- 12) Masago, Y., T. Fujita, K. Oka, and Y. Hijioka. 6th International Climate Change Adaptation Conference (Adaptation Futures 2020), Online, 2021. Promoting climate change adaptation through online platform: the case of Japan (A-PLAT).

- 1 3) Oka, K., Y. Masago, T. Fujita, and Y. Hijioka. 6th International Climate Change Adaptation Conference (Adaptation Futures 2020), Online, 2021. Development of the Asia-Pacific Climate Change Adaptation Information Platform (AP-PLAT) and its Future Prospects.
- 1 4) Masago, Y. Hiroshima International Conference on Peace and Sustainability 2022, Online, 2022. Enhancing national and local adaptation strategies in Japan through the S-18 project.
- 1 5) Liu, F., Y. Masago. 2022 年日本地理学会春季学術大会, オンライン, 2022 年, Characterizing spatial differences in climate change impacts for cross-sectoral adaptation strategies in Japan.
- 1 6) Okabe, N., Sakurai, G., and Ishitsuka, N., International Symposium on Agricultural Meteorology 2022, 2022, Comparison of machine learning and classical statistical methods for predicting future fruit tree yields.
- 1 7) 西浦博、国内(オンライン)、第 80 回日本公衆衛生学会学術総会(2021)、「COVID-19 の実効再生産数に関する時系列データからの異常検出」.
- 1 8) 林克磨、西浦博、国内(オンライン)、第 32 回日本疫学会学術総会(2022)、「Assessing future risk of dengue in the context of climate change」.
- 1 9) 藤本万理恵、西浦博、国内(オンライン)、第 32 回日本疫学会学術総会(2022)、「気候変動の適応政策評価を見据えた高齢者の熱中症発症リスクに関する社会調査研究」.
- 2 0) 林克磨、西浦博、国内(オンライン)、第 92 回日本衛生学会学術総会(2022)、「気候変動下でのデング感染症の国内リスク評価」.
- 2 1) 藤本万理恵、西浦博、国内(オンライン)、第 92 回日本衛生学会学術総会(2022)、「長期的な高齢者の熱中症発症リスクに関する予測モデル化の模索」.
- 2 2) 藤本万理恵、西浦博、国内(オンライン)、第 92 回日本衛生学会学術総会(2022)、「長期的な高齢者の熱中症発症リスクに関する予測モデル化の模索」.
- 2 3) 西原是良、岡田将誌、中河嘉明、横沢正幸、水文・水資源学会/日本水文科学会・2021 年度研究発表会・プロポーズドセッション(2021)、「求められる利水と治水のインターリンクージ:気候変動への適応の過程に注目して」.
- 2 4) 岡田将誌、中河嘉明、西原是良、横沢正幸、地理学会秋季学術大会(2021)、「全球作物生産性予測モデル CROVER の信濃川流域への適用」.
- 2 5) 岡田将誌、中河嘉明、横沢正幸、日本農業気象学会(2022)、「日照りに不作あり? 気候変動に伴う水需給変動が及ぼす日本の水稲収量変動」.
- 2 6) 横沢正幸、中河嘉明、岡田将誌、日本農業気象学会(2022)、「気候変動が引き起こす水田水資源不足状況に対する適応 ステークホルダーの協力醸成」.

<ポスター発表>

- 1) 岡部憲和、櫻井玄、石塚直樹、第 69 回日本生態学会大会(2022) 気候変動が一年生作物の開花・結実へ及ぼす影響の評価.

○「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 三村信男、水戸東ロータリークラブ卓話、2021 年、2050 年カーボンニュートラルの影響.
- 2) 三村信男、海外環境協力センター「橋本道夫記念シンポジウム」基調講演、2021 年、IPCC における議論の最新動向と海外環境開発協力.
- 3) 三村信男、茨城大学カーボンニュートラル・オープンセミナー、2021 年、2050 年カーボンニュートラル事始め—CO₂ 発生源の把握・対策に関する日本と世界の動き.
- 4) 三村信男、JICA 緒方貞子平和開発研究所ナレッジフォーラム、2021 年、気候変動適応の動向と国際協力の課題.
- 5) 三村信男、JICA 講演、2021 年、気候変動の将来予測と 2050 年カーボンニュートラルに向けた課題.
- 6) 三村信男、茨城県経営者協会環境セミナー、2021 年、カーボンニュートラルの基礎知識と企業に求められる対応~CO₂ 削減に関する世界と日本の動向~.
- 7) 三村信男、自動車技術会シンポジウム基調講演、2021 年、2050 年カーボンニュートラルに向けた国際的取り組みとその影響.

- 8) 三村信男、茨城県河川協会・海岸協会合同講演会、2022年、気候変動を踏まえた治水・海岸保全。
- 9) 三村信男、茨城大学カーボンニュートラル・オープンセミナー、2022年、気候変動への対応が切り拓く社会の姿—最近の研究が示す新しい可能性—。
- 1 0) 三村信男、いばらきコープ環境基金座談会、2022年。
- 1 1) 三村信男、日本港湾協会、2022年、気候変動対策をめぐる科学の進展と国際動向。
- 1 0) 三村信男、東京大学海洋アライアンス沖ノ鳥島・小島嶼国プログラム研究会、2022年、海面上昇適応策の30年—南太平洋の島嶼国を中心にして。
- 1 1) 三村信男、国際ロータリー第2820地区RYLAセミナー、2022年、SDGsを学ぶ—地球環境とサステナビリティ—。
- 1 2) 三村信男、日本電線工業会環境活動発表会講演、2022年、カーボンニュートラルの基礎知識と企業に求められる対応～CO2削減に関する世界と日本の動向～。
- 1 3) 西浦博、第95回日本感染症学会学術講演会、2021年、COVID-19の数理的な分析の履歴とあり方について。
- 1 4) 西浦博、第13回未来戦略室フォーラム、2022年、生命科学の未来。
- 1 5) 西浦博、第122回日本耳鼻咽喉科学会総会・学術講演会、2021年、新型コロナウイルスの感染経路とリスクのモデル化。
- 1 6) 西浦博、国立感染症研究所創立記念シンポジウム開催、2021年、数理モデルを利用した流行動態分析。
- 1 7) 西浦博、第62回日本臨床ウイルス学会、2021年、新型コロナウイルス感染症の疫学モデル。
- 1 8) 西浦博、第60回日本生体医工学会大会・第36回日本生体磁気学会大会、2021年、数理モデルを活用した新型コロナウイルス感染症対策。
- 1 9) 西浦博、第57回日本肝臓学会総会、2021年、新型コロナウイルス感染症の疫学とモデル化：今後を見通す。
- 2 0) 西浦博、福井県医学会総会 第100回記念大会、2021年、新型コロナウイルス感染症の流行データ分析からわかってきたこと。
- 2 1) 西浦博、第48回自然科学研究教育センター講演会、2021年、新型コロナウイルス感染症の疫学、数理モデルと制御。
- 2 2) 西浦博、第76回日本消化器外科学会学術総会、2021年、新型コロナウイルス感染症についてわかってきたことと今後の見通し。
- 2 3) 西浦博、第62回全日本病院学会、2021年、デルタ株の感染性とその過程、今後について。
- 2 4) 西浦博、近畿医師会連合定時委員総会、2021年、新型コロナウイルス感染症の流行メカニズム研究と今後の見通し。
- 2 5) 西浦博、第6回LMC研究集会（特定非営利活動法人 地域医療・介護研究会 JAPAN）、2021年、新型コロナウイルス流行の見通しとコミュニケーションの困難。
- 2 6) 西浦博、第31回日本数理生物学会大会、2021年、わが国における新型コロナウイルス感染症の緊急事態宣言の評価。
- 2 7) 西浦博、第23回日本救急看護学術総会、2021年、新型コロナウイルス感染症の制御のこれまでと今後の見通し。
- 2 8) 西浦博、第80回日本脳神経外科学会総会、2021年、パンデミック流行予測モデルの構築と感染症対策。
- 2 9) 西浦博、第8回日経・FT感染症会議、2021年、議題5：重点テーマ④医療提供体制」、「議題6：重点テーマ⑤データ活用」。
- 3 0) 西浦博、第1回ASHBi 数理ヒト生物学研究会（MathHuB研究会 / ASHBi workshop for Mathematical Human Biology）、2021年、感染が広がるメカニズムはどこまで大切か。
- 3 1) 西浦博、日本感染症学会西日本地方会学術集会、2021年、感染症数理モデルを利用した新型コロナウイルス感染症の現状分析、評価と予測。
- 3 2) 西浦博、京都医学会、2021年、COVID-19の疫学モデルと制御の困難。
- 3 3) 西浦博、第24回情報論的学習理論ワークショップ（IBIS2021）、2021年、新型コロナウイルス感染症のデータサイエンス。
- 3 4) 西浦博、新しい感染症対策のあり方に関するシンポジウム、2021年、新しい感染症対策のあり方に関

するシンポジウム。

- 35) 西浦博、京都府保険医協会 第 670 回 社会保険研究会、2021 年、新型コロナウイルス感染症の流行メカニズム研究と今後の見通し。
- 36) 西浦博、第 44 回日本分子生物学会年会、2021 年、On the use of mathematical techniques in response to COVID-19 pandemic.
- 37) 西浦博、日本産業衛生学会全国協議会、2021 年、新型コロナウイルス感染症の疫学、数理モデルと今後。
- 38) 西浦博、日本外科感染症学会、2021 年、新型コロナ感染症の疫学。
- 39) 西浦博、日本公衆衛生学会学術集会メインシンポジウム、2021 年、理論疫学の立場から。
- 40) 西浦博、第 92 回日本衛生学会学術総会、2021 年、気候変動による健康影響予測と適応-デング熱、熱中症、新型コロナウイルス感染症-。

○新聞・雑誌記事等

- 1) (三村信男) 環境省 50 年史、Online 出版、環境省、2021 年 12 月、34. 気候変動適応法の制定 (2018 年)。
- 2) (三村信男) 常陽産研ニュース、375 号、12-13、常陽産業研究所、2022 年 1 月 1 日発行、2050 年カーボンニュートラルの意味と今後の見通し。
- 3) (三村信男) 俯瞰ワークショップ報告書 気象・気候研究開発の基盤と最前線に関するエキスパートセミナー、2-13、国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター、2022 年 2 月、IPCC における議論の動向と気候変動研究の課題。
- 4) (三村信男) 港湾、99 巻、3 月号、6-9、日本港湾協会、2022 年 3 月、気候変動対策をめぐる科学の進展と国際動向。
- 5) (三村信男) 茨城大学 HP NEWS、2022 年 3 月 12 日公開、気候変動の影響は？ IPCC 最新報告書発表一作成に関わった三村信男前学長に広報学生 PJ が直撃！
- 6) (三村信男) NewsPicks、2022 年 3 月 25 日公開、【超入門】IPCC 報告書から読み解くリスクとチャンス。
- 7) (西浦博) 毎日新聞 (2021 年 4 月 28 日、全国版)、西浦博・京大教授に聞く (上・中・下)。
- 8) (西浦博) 朝日新聞 (2021 年 6 月 9 日、全国版)、「8 月に宣言総統の流行」21 日解除なら、西浦教授試算。
- 9) (西浦博) 日本経済新聞 (2021 年 8 月 2 日、全国版)、日本経済新聞、感染拡大の指標、宣言後も上昇デルタ型・人出が影響。
- 10) (西浦博) 読売新聞 (2021 年 12 月 8 日、全国版)、オミクロン株の「実効再生産数」、デルタ株の 4.2 倍…西浦・京大教授らのチームが分析。
- 11) (西浦博) 時事通信 (2021 年 12 月 30 日)、オミクロン、市中感染拡大 デルタ株の最大 4 倍かー専門家「今が勝負」・国内確認 1 カ月。

○知的財産権

特に記載すべき事項はない。

○受賞等

- 1) 第 14 回海洋立国推進功労者内閣総理大臣表彰「気候変動問題のパイオニア」、2021 年 9 月 30 日、三村信男
- 2) 第 17 回統計学会統計活動賞、一般社団法人日本統計学会、2021 年 9 月 6 日、西浦博
- 3) 第 17 回ヘルシー・ソサエティ賞、ヘルシー・ソサエティ賞事務局、2021 年 9 月 8 日、西浦博
- 4) 科学技術ジャーナリスト賞 2021、日本科学技術ジャーナリスト会議、2021 年 12 月 4 日、西浦博
- 5) 集中医療大賞 2021、集中出版社、2021 年 12 月 10 日、西浦博
- 6) 2021 年度日本衛生学会若手優秀発表賞、一般社団法人日本衛生学会、2022 年 3 月 23 日、林克磨