

2020 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

1. 成果の概要

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)

サブテーマ 1 では、5 テーマ 19 課題に約 200 名の研究者が参加する大型プロジェクト S-18 の総括班として「総合的なプロジェクトの統一性と研究の多様性をどう両立させるか」を念頭に置いて研究運営を図った。

① プロジェクト運営体制の構築

①-1 総合的な全国的影響予測と適応評価に関する研究フレームワークの構築

2020 年度は、S-18 の研究体制を構築するとともに、2021 年度に予定されている第 1 回影響予測・適応評価の準備を進めた。そのため、第 1 回影響予測・適応評価の全体的枠組みを検討し、年度末には「第 1 回影響予測・適応評価の目標と方針」をまとめるとともに、共通シナリオ (気候シナリオ、社会経済シナリオ) をほぼ策定した。さらに、新型コロナパンデミックの影響の大きさを考え、サブテーマ 3 (2) において気候変動と新型コロナ問題に関する新規テーマを設定することとした。また、S-18 公開シンポジウムや気候シナリオ WG などを通じて、国立環境研気候変動適応センターや文部科学省統合プログラム領域 D との連携を進めた。

①-2 研究推進体制の整備 (図 1)

S-18 運営会議の毎月開催、プロジェクト事務局の設置、気候シナリオ WG、社会経済・適応シナリオ WG の設置を行った。さらに、キックオフ会合 (5/18)、研究計画交流会 (7/14-15)、公開シンポジウム (11/12)、S-18 セミナー (1/13) を開催し、S-18 内部の情報共有と成果発信を行った。さらに、ロゴマーク、HP、パンフレット、情報交換用 Dropbox などの決定・整備を行った。

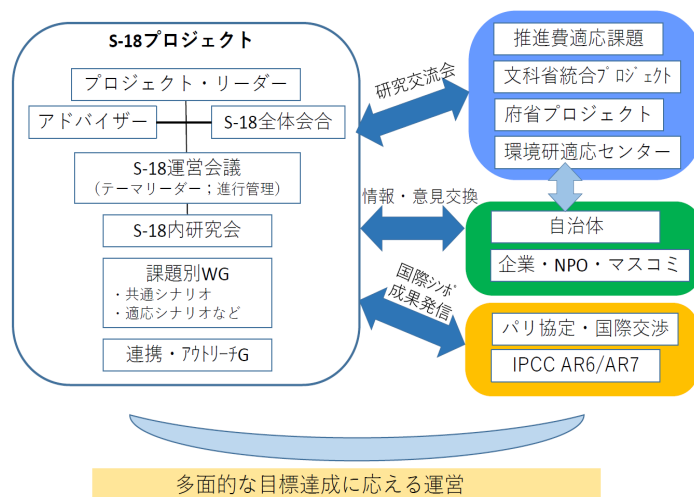


図 1 S-18 の運営体制

② 気候共通シナリオ及び社会経済シナリオに関する検討

○気候共通シナリオ: 気候シナリオ WG (S-18 内外のメンバー 33 名) を設置し、国立環境研究所や統合的気候モデル高度化研究プログラムなどで作成された気候シナリオデータに関する情報共有を図った。また、各課題を対象にニーズ調査を実施し、データ整備方針に反映させた。また、1 km 解像度気候変動予測データと d4PDF データの特性解析やデータ解析ができる環境を構築した。

○社会経済シナリオ: 第 1 回影響予測・適応評価へ向けて、各サブテーマが必要とする社会経済要素に関するアンケートを行った。人口・土地利用の将来シナリオに関する既存の研究を調査し、国立環境研究所が提供するデータを用いることとして、提供用サーバー整備、データ変換、使用説明書の作成等を行った。適応シナリオに関しては、第 1 回影響評価では各サブテーマが想定している適応策を用いることとした。

③ 国際的な情報の収集・整理、気候変動影響と適応策に関するシンポジウムの開催

気候変動を巡る国際的な動向について、気候安全保障 (Climate Security) の観点から、学界での議論、国連や各国の政策等の動向を調査した。学界では、気候変動が各国の安全保障認識に変化を与えた「惑星安全保障」論が注目に値する。また、オホーツク沿岸の海岸環境と流氷量に関する研究に着手し、網走沿岸では、流氷が沿岸に到達する波浪を抑制しており、流氷が少なかった年は汀線位置が陸側にあることを把

握した。

研究成果の発信及び国民との科学対話では、以下の取り組みを行った。

- S-18 公開シンポジウム 2020 年 11 月 12 日、オンライン開催：テーマは「気候危機の現状と将来予測—気候変動リスクに立ち向かう我が国の研究」で、194 名（大学 74, 研究所 52, 自治体 13, 省庁 17, 企業 26, 他 12）が参加。
- Gobeshona Global Conference での企画セッション 2021 年 1 月 22 日、オンライン開催：新型コロナ禍のため国際シンポジウムは延期したが、バングラデシュ ICCAD 主催の標記会議に招待され、セッション「Locally Led Adaptation Action in Japan」を開催。約 100 名が参加。
- S-18 セミナー 2021 年 1 月 13 日（水）オンライン開催：「豪雨・洪水への気候変動影響と治水を巡る社会情勢」をテーマに原田守啓岐阜大学教授の講演と意見交換。76 名（大学 29, 研究所 8, 自治体 5, 企業 21, 他 13）が参加。次年度から S-18 セミナーをシリーズ化することにした。

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）

2020 年度は、影響予測・適応策評価モデルの簡易化に関する検討、影響予測の横断的評価や関連ツールに関する既存の知見の整理、A-PLAT を通じた情報発信の方法についての検討を行った。

① 影響予測・適応策評価モデルの簡易化に関する検討

複雑な影響予測・適応策評価モデルをそのまま影響の横断的評価や適応経路解析に用いるのは計算資源の面で制限が大きい。そこで、コメ品質予測モデル (Masutomi et al., 2019) を例に、機械学習を用いたモデルの簡易化について検討した。線形モデル 6 種と機械学習と用いたモデル (人工ニューラルネットワーク 3 種, ランダムフォレスト 1 種) を試みた結果、畳み込み層+全結合層を持つ人工ニューラルネットワークがもっとも精度よくモデルを再現できた。

② 影響予測の横断的評価や関連ツールに関する既存の知見の整理

推進費 S-8 プロジェクトで構築された AIM/Impact [Policy] ツールと、オランダ Deltares 等が開発した Pathways Generator について整理した。AIM/Impact [Policy] ツールは GHG 排出予測モデル群および影響評価・適応モデル群からなり、1990 年を基準として 2100 年までの GHG 排出経路, GHG 濃度, 気温上昇, 分野別影響を統合的に評価することができる。これを用いて、気候安定化目標と温暖化影響の関係を検討可能である。一方、Pathways Generator は、政策経路 (policy pathways) 決定のための開発されたもので、分野毎にいつどの適応策を取るかを表す適応経路 (adaptation pathway) を複数作成し、有効な経路を視覚的に表示する。ただし、その評価や適応策の選択等は利用者が行うことになっている。

③ A-PLAT を通じた情報発信の方法についての検討

現在 A-PLAT では、気候シナリオをベース (前提条件) としているため、気候シナリオが変更されるたびに再計算が必要となる。これに対して、気温や降水量などの気候値をベースに影響データを整理すれば、気候の変動に対する感受性を評価できる (例: Fronzek et al., 2019 の Impact response surface) が、このような形式のデータ提供を行う気候変動影響プラットフォームは見当たらない。これを実施すれば、地方公共団体等のデータ利用者には有効であり、A-PLAT の優位性にもつながると考えられた。S-18 プロジェクトでは影響予測の出力形式はさまざまであることから、情報提供の方法については引き続き検討が必要である。

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）

① データの収集・整理と可視化

気候変動影響予測モデル適用のための準備として、多種類の統計データの収集、整理、可視化を行った。e-stat の HP 上で公開がされている各種統計データは 1995 年以降のものに限られている。例えば、農林水産省の作物に関する統計では、古いものでは 1960 年前後から、主要な作物からマイナー作物まで、収穫量や作付面積の記録が収集・公開されているため、これらの貴重なデータを収集・整理し、データ可視化を試みた。同様に、水害統計データについても、e-stat および防災科研において公開されているデジタルデータには含まれない 1984-2012 のデータの収集、解析用データへのフォーマット整理を行った。さらに、農研機構が公開しているメッシュ気象データ (3 次メッシュ単位 (約 1km)) を各市町村単位で再集計を行い、市町村単位で統計的解析が行えるようにした。

②統計モデル比較のための候補モデルの探索

②-1 代表的な統計モデル手法による全国データ解析

日本全国での解析として、ソバを対象に、加法モデルを用いた収量予測モデルを構築した。精度については改善する余地はあるものの、作物の市町村レベルの収量データと気象データから統計解析をするアルゴリズムを作成し、他の作物にも応用可能な状況になった。収量データの記録がない市町村では予測ができないため、それを可能にする方法を検討している。

②-2 地域スケールデータによる温暖化影響予測の試行

高時間解像度データを用いた地域スケールの解析事例として、北海道のダム湖の水環境の変化を検討した。九州のダム湖の観測データを事前に学習した LSTM（長短期記憶）モデルを構築し、それを北海道のダム湖に適用して、温暖化の進んだ将来の水温変化を評価した。その結果、遠い将来になるにつれて、冬季に湖面の雪氷が弱まり、夏季に水温上昇が起こる可能性が示唆された。

②-3 気候変動影響解析に適した新手法の開発

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が、出力の判断理由や根拠の説明性に欠ける問題点がある。そのため、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開発し、イネの収量データを対象にした実証を行った。本手法は、収量と平均気温や出穂時の平均気温の関係などを分かりやすい形で提示することができる上に、勾配ブースティング法と同等かそれ以上の予測精度を持つことが明らかになった（図2）。本手法は、より説明性が求められる作物の作柄予測の分野との相性が高く、それ以外の分野でも極めて有効な手法であると考えられる。

ハイブリッド機械学習手法の実証

実証では、日本全国の作柄表示地帯のイネ収量と衛星データ・アメダスデータを用いた（左下）。開発されたハイブリッド手法では、勾配ブースティング手法の高い予測精度（右上）をもちつつ、様々な気象要素と収量の関係をブラックボックスではなく、明示化することができる（右下）。

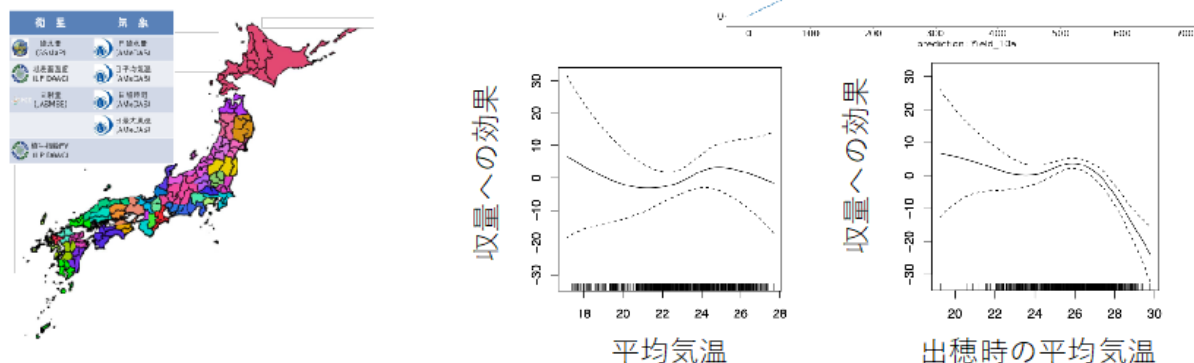


図2 ハイブリッド機械学習法の実証

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)

本研究課題では、他のテーマやサブテーマを補完する形で、多様な分野・項目に適用可能な統計的手法を用いた影響予測手法を開発し、特に健康関連事象に集中して、全国を対象とした影響予測を実施することとして計画してきた。特に、適応政策の評価基盤となる技術開発に向けては、適応的な施策の有無が分離して得られている過去のデータを統計的に分離してモデル化し、適応の効果を推定する手法を開発することとしている。中でも感染症と熱中症の2つの健康被害に注力して個別の課題解決を目指すこととした。

① 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、それぞれデング熱とマラリアを主な契機となる研究対象に据えて研究作業を進めた。特に、それらと気温データの関わりに関して可能な限り網羅的に検討するとともに、デング熱と気象データの関連解析、デング熱・マラリアのリスクマッピングに取り組んだ。関連する論文は投稿中である (Wang X, Nishiura H. 2021 予定, Yuan B, Lee H, Nishiura H. 2021 予定)。

②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。気温や湿度などの気象データと土地利用および輻射熱効果を含めた入力データに基づく熱中症リスクの予測について、理論疫学的研究手法を駆使して抜本的な科学的理解の改善のための資料収集に取り組んだ。具体的には気温、湿度と土地利用情報のミニマムセットに基づく不快指数の推定に取り組み、また、不快指数に基づく熱中症の発生頻度を推定するとともに、それを観察データに適合することでシステム全体としての最適化を図るべく、データ基盤の構築に取り組んだ。

③研究課題3として、空間情報を活用した感染症リスクの定量化に取り組む、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。

そのような中、新型コロナウイルス感染症流行が発生し、その伝播と気温との深い関わりが示唆されたため(図3)、プロジェクトリーダーと議論を通じて研究アジェンダの学術的整理を行い、それを論文として発表した(H. Nishiura, N. Mimura 2021)。

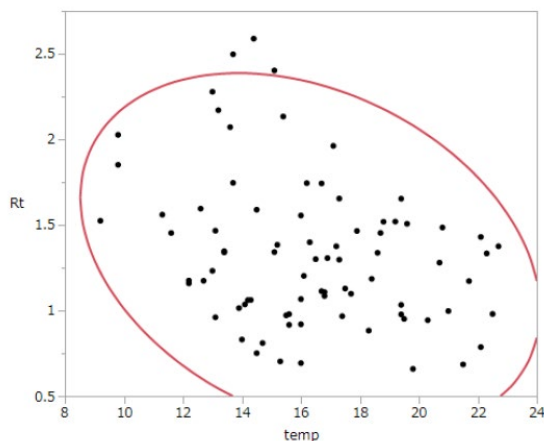


図3 COVID-19の再生産数と日平均気温との関係(札幌、仙台、東京、大阪; H. Nishiura, N. Mimura 2021)

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)

①対象地域における気候変動影響に関する資料収集

統合評価モデルの適用地域ならびに対象項目を決定するために、気候変動影響の項目、適応策および重要度順位についてのデータを長野県と新潟県で収集を行った。あわせて、気候変動の影響の波及を図示するインパクトチェーンを既存研究成果などから作成した。

②CROVERモデルのダウンスケール

統合評価モデルのサブモデルである河川流域における水資源量評価ならびに農作物の収量を推定するモデルの入力データ・パラメータを対象地域の時間空間スケールを反映できるように調整した。このサブモデルはCROVER(Okada et al., 2015)をベースとして、対象領域に適合するようにダウンスケールした。また、モデルの妥当性を検討するために、対象流域各市における2008年の収量データとCROVERモデルの出力とを比較した結果、おおむねモデル推定値と統計値とは一致した。

③エージェントベースモデルのプロトタイプ作成と影響関数による予備的解析

本研究では、セクター毎のステークホルダーによる意志決定が、適応策の普及や効率よく適応策や技術を普及させるための介入にどのように影響するかを解析評価するために、対象セクターのステークホルダー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する(図4右図)。今年度はそのプロトタイプとして、水資源量の環境が変動した際に、適応策が普及する速度の差異を解析した結果、影響関数が上に凸の場合にくらべて下に凸の場合の方が普及速度が大きいことが推定された。さらに環境変動が大きくなると影響関数が上に凸の場合でも普及速度は増加するが、影響関数が下に凸の場合には環境変動が大きくなっても普及速度はそれ以上増加しない傾向があることも分かった。

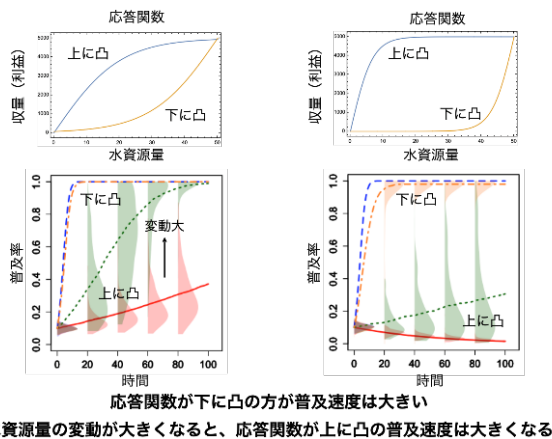
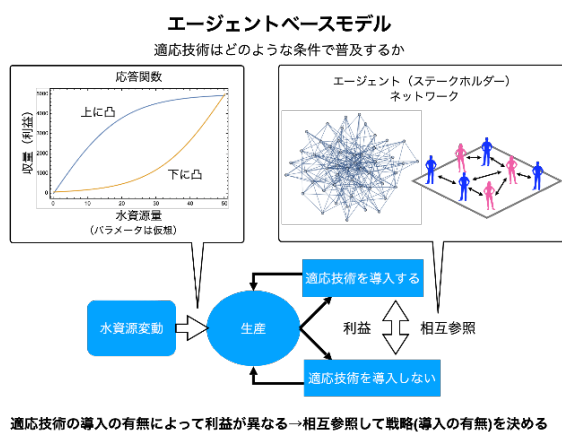


図4 エージェントベースモデルの構造と試行結果

2. 成果一覧 (予定を含む)

○学術論文 (国内誌 3件、国際誌 4件)

<査読あり>

- 1) 【予定】東佑太, 武若聡: 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 特集号, Vol. 77 (2021) オホーツク沿岸の汀線変動と流量に関する研究.
- 2) 【予定】Wang X, Nishiura H.: Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology (under revision) The epidemic risk of dengue fever in Japan: Climate change and seasonality.
- 3) 【予定】Yuan B, Lee H, Nishiura H.: Theoretical Biology and Medical Modelling (Submitted) Analysis of international traveler mobility patterns in Tokyo to identify geographic foci of dengue fever risk.
- 4) Fujimoto M, Nishiura H.: Annals of Translational Research 9(3), 241 (2021) Predicting the cumulative number of disaster deaths during the early stage of earthquakes.

<査読なし>

- 1) H. Nishiura, and N. Mimura: J. Clinical Medicine 10, 770, (2021), Research Agenda of Climate Change during and after the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic.
- 2) 【予定】蓮井誠一郎, 前田幸男: 「環境と批判的安全保障—気候の危機からジオ・パワーへ—」前田幸男・南山淳編著『批判的安全保障論』(法律文化社、2021年夏刊行予定) .
- 3) 真砂佳史, 服部拓也: 情報の科学と技術, 71(2), 48-53, 2021. 気候変動適応の取り組みと情報基盤の役割.

○学会・シンポジウム等における発表 (国内 11件、国外 4件)

<口頭発表>

- 1) N. Mimura, Regional Action on Climate Change 12, STS Forum (2020) Building Resilience for a New Stage of Climate Change Impacts (招待講演) .
- 2) N. Mimura, Gobeshona Global Conference (2021) Locally Led Adaptation Action in Japan.
- 3) Y. MASAGO: Gobeshona Global Conference (2021) Co-creating science-based local adaptation: Japan's experience.
- 4) Y. Masago: KE4CAP Virtual Knowledge Exchange 5: The role of CAPs in supporting monitoring, reporting, and evaluation (MRE) of progress in adaptation. Online (2021) Recent discussion and activities related to monitoring, reporting, and evaluation of adaptation in Japan.
- 5) 木村延明・馬場大地, 土木学会水工学委員会環境水理部会研究集会 2020 (オンライン、国内) (2021) 深層学習モデルを用いた気候変動下におけるダム湖の表層水温予測.
- 6) 櫻井玄, 研究セミナー「食品分野における長期シナリオ及びリスクと機会」(オンライン、国内) (2021) 2050年にむけた世界の食糧生産、需給の展望-作物収穫量モデルによる予測と気候変動による影響-.

- 7) 西浦博、第 79 回日本公衆衛生学会総会 (2020) 新興感染症の制御と数理モデル：SARS、MERS、COVID-19 (教育講演)。
- 8) 西浦博、第 31 回日本疫学会学術総会 (2021) 新型コロナウイルス感染症における感染症疫学の現在と新たな展開。S-06. 感染症数理モデル (シンポジウム)。
- 9) 西浦博、第 46 回札幌市医師会医学会 (2021) 新型コロナウイルス感染症の流行の特徴と見通し (特別講演)。
- 10) 西浦博、東京都医学検査 WEB 学会 (2021) COVID-19 の疫学動態でわかってきたこと (招待講演)。
- 11) 西浦博、第 40 回日本社会精神医学会 (2021) 数理モデルを利用した COVID-19 の制御 (教育講演)。
- 12) 西浦博、第 51 回日本心臓血管外科学会学術総会 (2021) 新型コロナウイルス感染症の 2 次感染の決定要因と見通し (教育講演)。
- 13) 西浦博、第 7 回医療と介護の総合展 (2021) 新型コロナウイルス感染症における疫学的データ分析と対策 (特別講演)。
- 14) 杉岡佑奎、ロッシュフェリックス拓磨、横沢正幸、日本農業気象学会 2021 年全国大会 (2021) 気候変動環境下における流域水資源利用のガバナンスに関する研究。

<ポスター発表>

- 1) 若月泰孝、日本気象学会 2020 年度秋季大会 (2020 年)、関東域の夏季の大気循環と降水における都市効果の評価。

○「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境研究総合推進費 S-18 公開シンポジウム「『気候危機』の現状と将来予測—気候変動リスクに立ち向かう我が国の研究 2020」、2020 年 11 月 12 日オンライン開催。
三村信男、基調報告「気候危機の現状と S-18 の研究計画」
脇岡靖明、講演「国立環境研究所の気候変動適応研究プログラムについて」
中北英一 (京都大学防災研究所)、講演「自然災害に関する気候変動予測と適応戦略」
若月泰孝、講演「気候変化予測研究から影響評価・適応研究への流れ」
その後、テマリーダーを加えてパネル討論を実施
- 2) S-18 セミナー「豪雨・洪水への気候変動影響と治水を巡る社会情勢」、2021 年 1 月 13 日オンライン開催、原田守啓岐阜大学教授による講演と質疑応答。

○新聞・雑誌記事等

- 1) 毎日新聞 (2020 年 12 月 12 日、全国版、13 版 8 頁)、元村有紀子「『人新世』に生きる」(掲載内容) 人新世と呼ばれる「人間が環境を大幅に改変した時代」の象徴として海面上昇の影響を受けるツバルを紹介した。(三村信男)
- 2) 日経 ESG2 月号 (2021 年 1 月 8 日、15 頁)、NEWS×気候変動対策「SDGs と気候変動政策の統合へ」(掲載内容) 公表が近づいている IPCCWG 2 の第 6 次報告書の特徴について取材に対応した。(三村信男)
- 3) m3. 医療維新「『流行予測』など野心的な研究テーマ多々—西浦博・京大教授に聞く◆Vol. 5」(2020 年 10 月 20 日、全国版、<https://www.m3.com/open/iryoiShin/article/814432/>) (西浦博)
- 4) 婦人公論「【コロナ Q&A】西浦博教授に聞く「〈8 割の接触削減〉は今も必要？ワクチンの効果は？」」(2020/12/10、<https://news.yahoo.co.jp/articles/dfd1e13379e29165c69fd441850fba026e580da7?page=3>) (西浦博)
- 5) 東洋経済オンライン「菅政権が「コロナ第 3 波」の対応に遅れたワケ」(2021 年 2 月 6 日、<https://toyokeizai.net/articles/-/410312>) (西浦博)

○知的財産権

特に記載すべき事項はない。

○受賞等

- 1) 第 9 回藤原洋数理科学賞大賞、株式会社ブロードバンドタワー、2020 年 10 月 27 日、西浦博