

2023 年度 S-18 プロジェクト研究成果報告

テーマ番号	S-18-2-1
研究課題名	水稲、畑作物、野菜、果樹を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価
研究代表者氏名	長谷川利拡

1. 研究成果の概要

本サブテーマでは、可能な限り多くの作目・品目を対象にし、新規開発あるいは高度化した影響予測モデルを用い、サブテーマ 2(2)および 2(3)と同じ NAR02017 を軸とするプロジェクト全体の共通気候シナリオのもとで、人口や土地利用などの社会経済シナリオは現状固定とした将来影響予測を行ってきた。また各品目について適応オプションを整理し、実現性の高い適応策の効果を定量化しようとしている。プロジェクト 4 年目となる R5 年度は、R2 年度に一部で実施した品目の将来予測を拡大し、複数の品目（水稲、コムギ、ダイズ、トマト）で影響評価を実施するとともに、一部の品目では適応オプションの組み合わせの効果を定量化した。結果の概要は下記のとおりである。

1) 水稲

(1) 研究方法

水稲では、オリジナルの水稲生育収量予測モデルに高温・高 CO₂ 複合影響を組み込んだ改良版影響予測モデル (Ishigooka *et al.*, 2021) を使用し、CMIP6 をベースにした最新の日本域気候シナリオデータ (NIES2020 データ: Ishizaki *et al.*, 2021) を入力値とした影響評価を実施した。改良版影響予測モデルでは、FACE 実験で明らかになった高 CO₂ 増収効果の温度依存性と高 CO₂ による白未熟粒率発生助長の組み合わせが組み込まれており、従来のモデルと比較して、収量、品質ともに将来予測される高温・高 CO₂ 条件下において負の影響が強く現れる傾向が見られる。

今回、主要水稲品種ごとの高温耐性を定量化し、高温耐性ランク別白未熟粒発生モデルを構築した。これを利用して、高温耐性品種の導入の効果の評価手法を検討するとともに、従来の移植期移動との組み合わせによる複数適応策導入効果の評価を試みた。

北海道を除く国内の主要水稲品種の高温登熟性の分類結果 (農研機構 2017) に基づき、5 段階の高温品種耐性ランク (HTR3:弱~HTR7:強) 毎に、出穂後 20 日間の高温指標(HD_m26)、平均日射量、平均相対湿度を入力値とした白未熟粒発生率のモデルを構築した (Wakatsuki *et al.*, 2024)。このモデルを利用し、CMIP6 シナリオ (NIES2020) を外力としたモデルシミュレーション (5GCM、3SSP、1981-2100) により出力された上記気象値から、高温品種耐性ランク毎の白未熟粒発生率を各年各メッシュ(1km)について算出した。このシミュレーションでは、移植日は作柄表示地帯毎の統計値を基準移植日とし、-70 日~+70 日の範囲で 7 日毎に移動させ、それぞれの移植日について計算を行った。品種は各都道府県に作付面積が最大の品種を基準とした。

(2) 結果の概要

各都道府県で基準とされた品種の高温登熟耐性ランクは、西日本を中心に 12 府県で選択されたヒノヒカリが HTR3(弱)、2 県で選択されたキヌヒカリが HTR4(やや弱)であり、その他は概ね HTR5(中)である (但し、北海道品種等一部の高温耐性ランクは不明)。ここで、各都道府県における品種の耐性が 1 ランク向上した場合のモデル出力結果の変化から、適応策として高温耐性品種を導入したことによる効果を見ることとする。茨城県西部における結果を、一例として図に示す。この地域の基準品種は高温耐性が“中”であるコシヒカリであり、移植日と収量、品質の関係は左図に示される。白未熟粒率(PCG)30%以下 (PCG≤30%) を品質重視の基準として移植日との関係を見ると、基準移植日では全収量 609.5(kg/10a)に対し PCG≤30%収量の割合は 21.4%と算定され、これを増加させ品質向上を図るための移植日は基準移植日から大幅に早期化あるいは晩期化する必要があることが分かる。ここで高温耐性を 1 ランク上の“やや強”に変えた場合の移植日と収量、品質の関係を示したのが右図である。基準移植日での PCG≤30%収量の割合は 61.94%であり、移植期の移動をしなくても品質は大きく向上した。また、移植日の 3 週間程度の早期化でも品質は更に向上することが判明し、高温耐性品種の導入と移植期の移動を同時に実施することの有効性が示唆された。

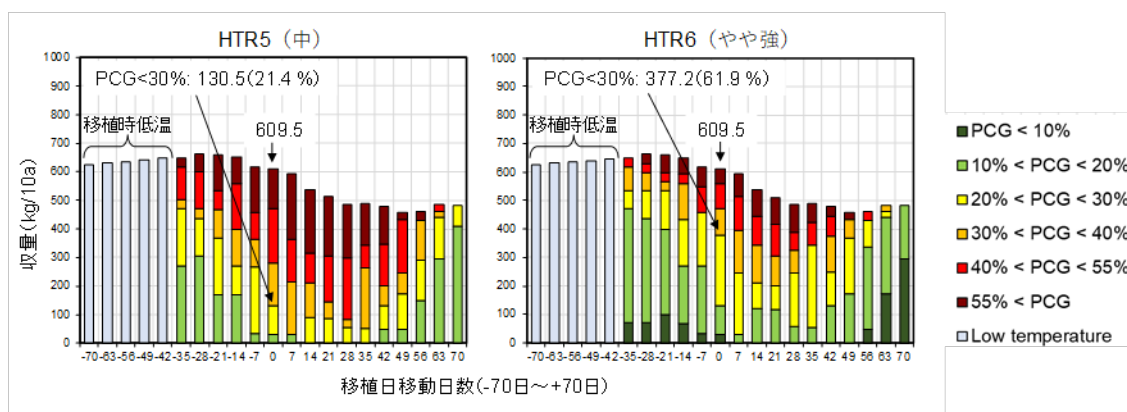


図1 高温品種耐性ランクの違い（左図：耐性“中”、右図：耐性“やや強”）による移植日と収量・品質（白未熟粒率、PCG）の関係（MIROC6_SSP585、2041-2060、茨城県西部の例）。

引用文献

Ishigooka et al., 2021. <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-20-00038>

Ishizaki et al., 2022. <https://doi.org/10.1029/2022EA002451>

Wakatsuki et al., 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109303>

担当者：石郷岡康史、若月ひとみ、長谷川利拡、桑形恒男、西森基貴、滝本貴弘、麓多門、伊川浩樹

2) コムギ

<適応技術の開発>

(1) 研究方法

つくばにおいて、昨年度に続き前作および施肥による収量・品質の違いを明らかにするため、温暖地向け秋播型コムギ品種「さとのそら」を対象に、水稻後およびダイズ後圃場において窒素施肥総量と配分を変えた試験を実施し期間中の生育量及び収量・品質を調査した。安濃において品種「あやひかり」を対象に水稻後圃場において麦踏みの効果を高める条件（鎮圧機の違い、土壤水分）を検証した。

麦踏みの効果を評価するために、最も効果の高い2葉期の踏圧を想定して、出芽から積算気温で葉令を予測し、踏圧後30℃・日になるまで発育が停止(DVR=0)する過程をモデルに取り入れた。近未来の気候シナリオ（2050-2059年、MRI-ESM2-0、SSP126）により三重県における踏圧の効果を試算した。

(2) 結果の概要

ダイズ後の圃場では、水稻後と比較して生育初期から生育量が高く、同量の施肥でも収量およびタンパク含量が高くなった。また水稻後では追肥増量による収量・タンパクの向上効果が高く、ダイズ後と比較して追肥の重要性が高いという昨年度の結果が確認された。麦踏みによる茎立ち期遅延効果が確認されたが、収量において鎮圧機の違い（小型鎮圧機とトラクター牽引型ローラ）による効果の差はなかった。土壤水分と茎立期遅延日数に負の相関が認められたことから、麦踏みの効果を高めるためには土壤水分が低い状態で実施する必要があることが示された。

現在の播種期では、三重県での踏圧による増収効果は地域により異なり、平地では効果が認められなかったものの、標高が高く気温の低い地域では増収の効果が認められた（図2）。踏圧は播種早限を早め播種期間の拡大による規模拡大に有効とされていることから、今後予測期間・地域を拡大し効果を試算する予定である。

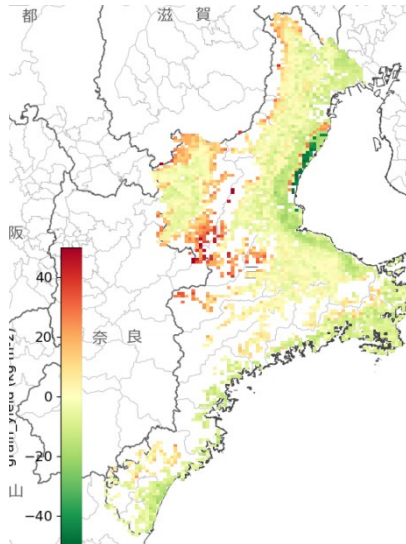


図2：2050年代における踏圧あり、踏圧なしの収量推定値の差 (gm⁻²)
 数値が高いほど踏圧による増収効果が高いことを示す。

担当者：中園江、松山宏美、水本晃那

3) ダイズ

1) 研究方法

ダイズにおける高温年や干ばつ年に発生する莢先熟（青立ち）、しわ粒および裂皮粒の発生量を予測するモデルの構築と検証を行った。まず、2008年から2023年にかけて、農研機構の東北農業研究センター（秋田県大仙市）、作物研究部門（茨城県つくばみらい市）、西日本農業研究センター（香川県善通寺市）、九州沖縄農業研究センター（熊本県合志市）で実施された生産力検定試験のデータを収集した。このデータには、播種日、開花日、青立ち、しわ粒、裂皮粒の発生程度（0-5の6段階スコア）が含まれる。

次に、収集したデータセットを基に、各種障害の発生程度を予測するモデルの構築と検証を行った。緯度・経度、年次、播種日、土壌物理性パラメータなどの情報を使用し、「農研機構メッシュ農業気象データ」から気象要素を取得した。また、土壌水分推定モデル（熊谷ら、2018）により、播種日以降の土壌体積含水率を推定し、開花日を起点に開花・登熟期間全体をいくつかの期間に区切り、気温と体積含水率の平均値を計算した。これらのデータと品種情報（5品種）を説明変数として、青立ち、しわ粒、裂皮粒の発生程度を目的変数とする機械学習モデルを構築し、その精度を検証した。

さらに、青立ち、裂皮粒、しわ粒の発生予測モデルおよび開花期予測モデルと、シナリオデータ（気候モデル：MRI-ESM2-0、排出シナリオ：SSP126 (RCP2.6)、SSP245 (RCP4.5)、SSP585 (RCP8.5)）を用いて、1995年から2100年までの障害の発生程度を算出した。この算出は、現在の普及品種と慣行の播種時期を想定して行った。

(2) 結果の概要

国内の主要な普及5品種を対象に、合計500点以上のデータを収集した。青立ち、しわ粒、裂皮粒の発生程度予測の機械学習モデルは、モデル構築段階および検証段階で良好な精度を示した。

開花期は全地点で年代の進行に伴い前進し、高い排出シナリオ（SSP585）ほどその前進の程度が大きくなった。青立ちと裂皮粒の発生は、いずれの地点でも年代の進行に伴い増加し、高排出シナリオでその増加が顕著だった。特に青立ちの増加は、九州沖縄農業研究センターと比較して、東北農業研究センター、作物研究部門、西日本農業研究センターで顕著だった。裂皮粒の増加は、九州沖縄農業研究センターと東北農業研究センターと比較して、作物研究部門と西日本農業研究センターで顕著だった。しわ粒の発生は、東北農業研究センターや作物研究部門では年代の進行に伴い増加し、高排出シナリオでその発生が大きくなった。一方、西日本農業研究センターや九州沖縄農業研究センターではしわ粒の発生の増加は認められなかった。これは、現在の慣行品種がしわ粒の発生が少ないことに起因する。

ダイズにおける温暖化に伴う青立ち、裂皮粒、しわ粒の発生を軽減する適応策としては、晩期播種（晩播）と品種転換が考えられる。将来、これらの発生量が顕著となる脆弱地域において、晩播と品種転換による適応効果の試算を今後実施する予定である。

担当者：熊谷悦史、山崎諒、松尾直樹、野見山綾介、白岩立彦

4) 野菜

<施設果菜>

(1) 研究方法

共通気候シナリオに基づくデータセットを用い将来気候下での生育や収量への温暖化の影響を定量的に評価するための施設園芸作物の乾物生産モデルを整備した。整備したモデルを活用し、トマトへの影響評価を実施する準備を行った。具体的には、短期（2021-2040）および中期（2041-2060）この将来気候シナリオを取得し、温室内気象を推定することで収量への影響を評価した。

(2) 結果の概要

施設で栽培する果菜類の例として、トマトを対象とし影響評価の試行を行った。具体的には MIROC RCP2.6/8.5 を参照し短期（2021-2040）および中期（2041-2060）の将来気候シナリオデータを準備した。大規模施設（施設面積 1.0ha）での周年栽培（8月定植、翌年6月終了）を前提とし、屋外気象から温室内気象を機械学習（XGboost）により推定した。推定した温室内気象データを用い温室内のトマトの収量に及ぼす影響を予測した。結果、短期および中期の期間では、積算収穫量への影響は基準年に対し-5%程度であり大きな減少はないと考えられた。一方で、月毎の収量の変化としてみた場合には、9月の収量が約15%減少すると予測され、これは夏期の気温が高いことによることが示唆された。

担当者：菅野圭一

<ハウレンソウ>

(1) 研究方法

2020年から2023年に善通寺拠点圃場試験で取得した地温を説明変数、出芽率および葉長を目的変数とした生育阻害モデルを作成した。さらに、5つの気候モデル（MRI-ESM2-0、ACCESS-CM2、IPSL-CM6A-LR、MIROC6、MPI-ESM1-2-HR）を用いて2つの社会経済シナリオ（SSP126、585）条件下で、善通寺拠点における推定気温を算出し、そこから前述生育阻害モデルを元に近未来（2031~2050年）、遠未来（2081~2100年）に温暖化がハウレンソウの生育に与える影響について推定した。また、適応策試験では、二重遮光（ハウス外張りに遮光資材 + ハウス内トンネルに遮光資材）の最適条件の検討を行った。善通寺拠点は夏作ハウレンソウ産地ではないため、夏作ハウレンソウの産地である京都府京丹波町の雨よけハウス2棟から環境データを収集し、収集データと気候温暖化シナリオから産地における将来のハウレンソウ生産を推定した。

(2) 結果の概要

生育阻害モデルは2023年度のデータを追加することでモデルの精度向上に活用した。また、葉長の生育阻害モデルから播種後25日目の正常な葉長は平均143.0mmであることが推定された。葉長の将来予測では、近未来の6月までは正常に生育するが、7月~9月は近未来、遠未来共に25日目の葉長は140mm以下となり正常に生育しないことが示唆された。適応策では、遮光率が高い被覆資材を用いるほど葉長の伸長は回復傾向を示したが、最も暑い時期では70%遮光資材を用いても25日目の葉長は140mm以下となり、完全には回復できなかった。次年度は70%以上の遮光資材を用いて再検討を行う。京丹波町ハウスの将来予測では、2棟ハウス共に8月の栽培が現時点以上に厳しくなることが示唆された。引き続き次年度も京丹波町ハウスのデータを収集し、前述生育阻害モデルの汎用性の検討も行う。

担当者：米田有希、村上健二、遠藤みのり

<トマト葉先枯>

共通気候シナリオに基づくデータセットを用い、市町村単位で将来気候下での施設栽培におけるトマト葉先枯れ症の発症葉率の予測を実施した。温室内環境、発症葉率の推定は中小規模のトマト生産農家をモデルとした岐阜県農業技術センターの温室（施設面積 123m²）で取得したトマトの少量培地による養液栽培手法である独立ポット耕を対象とした影響評価とした。

（２）結果の概要

トマト葉先枯れ症は葉のカリウム濃度が局所的に欠乏することで発生すると示唆されており、灰色かび病発症要因の 83.6%を占めると報告されている。この課題では、SSP126 および SSP585 の 2 つの気候シナリオに基づく MRI-ESM2-0 の気候データから温室内環境を予測し、葉先枯れ症の発症予測を行った。その結果、SSP126 シナリオにおける 2050 年代の温室内温度は、2030 年代と比較して冬季は 0.2℃未満の上昇にとどまり、夏季も 0.6℃未満の上昇にとどまると予測された。一方、SSP585 では 2090 年代に冬季で 0.5℃程度の温室内温度の上昇が見られ、6～7 月には地域によっては 2℃以上の上昇が予測された。葉先枯れ症の発症葉率は、SSP585 では栽培初期の 10～11 月に 20%近く増加すると予測された。栽培初期にこの症状が多発した場合、灰色かび病の蔓延が想定され、収穫量の大幅な減少につながる恐れがある。

担当者：上野広樹、前田健、棚橋寿彦、馬橋美野里

＜野菜細菌病＞

（１）研究方法

ハクサイ主産地である茨城県における軟腐病の発生状況について、過去 40 年間分の発生面積および発生程度を集計した。アメダスデータを利用して軟腐病多発年における気象要因間の相関解析を行う。一方で野菜類細菌性病害の病原細菌株の再同定を行うと共に病原細菌種の再同定および識別手法を開発して多発生時に備えた適応策を検討する。

（２）結果の概要

ハクサイ主産地における軟腐病多発年における気象要因として、夏季の雨量および気温が軟腐病発生面積を助長する傾向が見られたが、月別平均データからは有意な相関までは認められなかった。日別データおよび地温データ等を加えたモデル解析を進める予定である。また、日本産軟腐病菌を構成している 10 種以上の細菌種は 16S rDNA では識別できないが、別な指標遺伝子で識別可能であることを確認した。また、未判別種については新種提案を行った。

担当者：染谷信孝、菅野圭一

5) 果樹

＜ウンシュウミカン・アボカド＞

（１）研究方法

わが国で最も生産量の多い果樹であるウンシュウミカンおよびわが国ではほとんど生産されていない亜熱帯果樹のアボカドへの気候変動の将来の影響を明らかにするため、ウンシュウミカンおよびアボカドの栽培適地について、3 つの温室効果ガス排出シナリオ（SSP126、SSP245、SSP585）、2 つの GCM（MRI-ESM2-0 と MIROC6）に基づく予測気温から算出された年平均気温（ウンシュウミカン：15℃～18℃）および年最低気温（ウンシュウミカン：-5℃以上、アボカド：-3℃以上）を用いてシミュレーションにより、3 次メッシュ単位で推定し、その結果を評価した。

（２）結果の概要

ウンシュウミカンの適地は、SSP126 では 21 世紀半ば（2040～2059 年）まで、SSP245 と SSP585 では 21 世紀末（2080～2099 年）まで北上すると予測された。基準年（1990～2009 年）のウンシュウミカンの適地のうち、将来も適地にとどまる割合は、温室効果ガス排出シナリオによって大きく異なり、21 世紀末でみると、0%（SSP585）から約 80%（SSP126）であった（図 3）。このことより、気候変動緩和対策が現在のウンシュウミカン産地に極めて大きな影響を与えることが示された。アボカドの適地は、すべての温室効果が

ス排出シナリオにおいて、将来は確実に拡大すると予測され、基準年におけるウンシュウミカンの適地の半分以上は 21 世紀半ばにはアボカドの適地となすと推定された。とくに、基準年におけるウンシュウミカンの適地のうち、将来、ウンシュウミカン栽培には気温が高すぎてしまう地域の多くが、アボカドの適地となった（図 3）。これは、現在のウンシュウミカンの適地のうち、将来ウンシュウミカンの生産には暖かくなりすぎてしまう地域の多くで、アボカドが生産できる事を示す。したがって、現在のウンシュウミカン産地ではアボカドへの改植が適応の選択肢となることが示された。

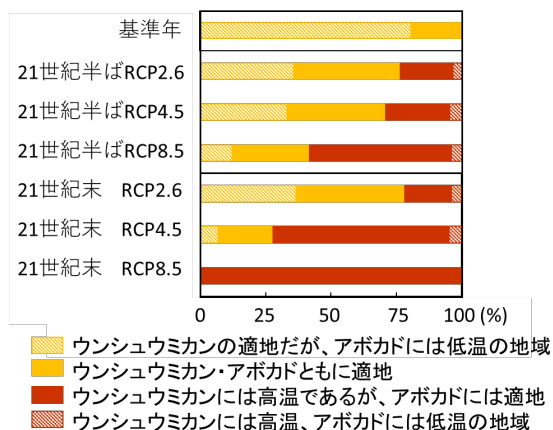


図 3 基準年におけるウンシュウミカン適地の将来の変化。

担当者：杉浦俊彦、杉浦裕義、紺野祥平

<レイシ>

(1) 研究方法

亜熱帯果樹のレイシについて、生理的な低温限界温度を明らかにするため、2023年1月に、取り木後1年間育成したポット植えレイシ‘佐多系’および‘ノーマイチ’を恒温恒湿器に搬入し、暗黒条件下で低温処理を行った。レイシの処理温度は-2℃～-6℃の5水準で、0℃に0.5時間、各温度までの下降時間に0.5時間、各温度に3時間、0℃までの上昇時間に0.5時間、0℃に0.5時間処理した。試験は3反復し、処理7日後および30日後の枯死葉数を、低温処理4か月後に枯死樹数を調査した。

(2) 結果の概要

‘佐多系’および‘ノーマイチ’間において、処理7日後および30日後の枯死葉率に差は認められなかった。処理温度間において、-5℃（実温 -4.7℃）の処理7日後の枯死葉率は79.4%で、-4℃（実温 -3.7～-3.8℃）の2.7%よりも大きく、-4℃の処理30日後の枯死葉率は62.9%で、-3℃（実温 -2.7～-2.8℃）の8.9%よりも大きかった。低温処理4か月後、-4℃以下の供試樹は全て枯死した。

担当者：吉松孝宏、篠原和孝、前野欽哉

2. 成果一覧（予定を含む）

○学術論文（国内誌 2 件、国際誌 8 件）

<査読あり>

- 1) Wakatsuki, H., Takimoto, T., Ishigooka, Y., Nishimori, M., Sakata, M., Saida, N., Akagi, K., Makowski, D., Hasegawa, T., (2024) Effectiveness of heat tolerance rice cultivars in preserving grain appearance quality under high temperatures in Japan – A meta-analysis. *Field Crops Research*. 310, 109303. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109303>
- 2) Wakatsuki, H., Takimoto, T., Ishigooka, Y., Nishimori, M., Sakata, M., Saida, N., Akagi, K., Makowski, D., Hasegawa, T. (2024). A dataset for analyzing the climate change response of grain quality of 48 Japanese rice cultivars with contrasting levels of heat tolerance. *Data in Brief*. 110352.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110352>

- 3) Mizumoto A., Tanio M., Nakazono K., Watanabe K., Uchino A., Azuma T. (2023) Early ground rolling is highly effective in delaying spikelet initiation in early-sown spring wheat. *Plant Production Science* 26 (4): 402–410.
- 4) 中園江, 黒瀬義孝, 松山宏美, 中川博視 (2024): 低温要求性と日長反応性を考慮したモデル式によるコムギの茎立期の予測, 日作紀 93 (1), 49-56 <https://doi.org/10.1626/jcs.93.49>
- 5) 木崎賢哉, 吉松孝宏, 内野浩二, 杉浦俊彦 (2024) .アボカド‘ペーコン’における冬季の気温および葉温と寒害発生の関係. 熱帯農業研究 (印刷中)
- 6) Sugiura, T., N. Fukuda, T. Tsuchida, M. Sakurai, H. Sugiura (2023) Modeling the relationship between apple quality indices and air temperature, *The Horticulture Journal*, 92: 424-430, <https://doi.org/10.2503/hortj.QH-076>
- 7) Sugiura, T., Sugiura, H., Konno, S., Fukuda, N. (2024). Model for predicting Apple bloom date based on bud response experiments in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 331, 113144.
- 8) Sawada, H., Someya, N., Morohoshi, T., Ono, M., Satou, M. (2024) *Pectobacterium araliae* sp. nov., a pathogen causing bacterial soft rot of Japanese angelica tree in Japan. *Int J Syst Evol Microbiol* 74:006326
- 9) Yamazaki, R., & Kawasaki, Y. (2023). Effect of high temperature during the late seed filling period on green stem disorder in soybean. *Field Crops Research*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109092>
- 10) Kawasaki, Y., Yamazaki, R., Nakano, S., & Hamaguchi, H. (2024). Yield and dry matter production of soybean response to late planting in southwestern Japan. *Plant Production Science*, 27(2), 56-65. <https://doi.org/10.1080/1343943x.2023.2299646>

○学会・シンポジウム等における発表 (国内 21 件、国外 5 件)

<口頭発表>

- 1) Nishimori M., Tonouchi M., Satoda H., Kadarsah, Sabana Hadi A., Gunawan D., 20th Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS2023), Future Changes in Monsoon Precipitation Over the Indonesian Region Obtained by Bias Correction and Statistical Downscaling Methods: Including the Differences Between CMIP5 and CMIP6 GCMs.
- 2) 西森基貴・滝本貴弘・石郷岡康史・若月ひとみ・長谷川利拡. 環境科学会 2023 年会、気候変動と農耕地面積の減少を考慮した将来の日本におけるコメ生産像.
- 3) 西森基貴・若月ひとみ・坂田雅正・齋田直哉・滝本貴弘・長谷川利拡. 日本気象学会 2023 年度秋季大会. イネ高温耐性別白未熟粒発生予測モデルの地域への適用—高知県における 2022 暑夏年の例—.
- 4) 西森基貴、令和 6 年度日本水産学会春季大会シンポジウム (東京) (2024) 農業分野の影響評価に用いるデータセットと影響評価・適応策.
- 5) 長谷川利拡・西田瑞彦 (2024) 日本農業気象学会 2024 年 (仙台市) 温暖化が水田の持続的生産性に及ぼす影響と有機物施用のモデル解析
- 6) 長谷川利拡、アジア生産性機構シンポジウム (2023) *Climate Actions in the Asian Agricultural Sector*
- 7) 長谷川利拡、第 6 回 JISNAS (農学知的支援ネットワーク) -FAO 合同セミナー (2023) IPCC 第 2 作業部会 (WG2) 第 6 次報告書: 影響、適応と脆弱性 日本にとっての重要性
- 8) 長谷川利拡、OECD-CRP 統括会合オープンフォーラム (フランス共和国・パリ市) (2023) *The Role of Agricultural Systems Conservation and Regeneration to Adapt to and Mitigate Climate Change.*
- 9) 長谷川利拡、令和 6 年度日本水産学会春季大会シンポジウム (東京) (2024) IPCC の報告書における農業・食料分野の影響評価・適応策.
- 10) 長谷川利拡・若月ひとみ・吉本真由美・酒井英光、2023 年夏季高温の特徴と水稻作での影響評価 (水戸) (2024) 令和 5 年度茨城県作物研究会講演会
- 11) 長谷川利拡・若月ひとみ・戸田悠介・滝本貴弘・吉本真由美・酒井英光、令和 5 年度東北農業試験研究推進会議 生産環境推進部会 農業気象研究会 (盛岡) (2024) 東北地方における 2023 年夏季高温の水稻への影響
- 12) 長谷川利拡、令和 5 年度関東東海北陸農業試験研究推進会議 (オンライン) (2024) 北陸地方における 2023 年夏季高温の水稻への影響 (2024)
- 13) 若月ひとみ・杉山秀樹・櫻井沙季・常楽愛子・下山博之・小川三菜美・荒川直也・望月篤・松本政行・中村充・中山幸則・安田規良・熊谷信嗣・坂田雅正・齋田直哉・荒井裕見子・石郷岡康史・篠遠善哉・福嶋陽・大平陽一・石川哲也・石丸努・寺崎亮・長田健二・石川淳子・吉本真由美・小野圭介・滝本貴弘・戸田悠介・酒井英光・西森基貴・長谷川利拡、日本作物学会第 256 回講演会(2023) 2022 年の夏季

高温が玄米品質に及ぼした影響と高温耐性品種導入効果の推定

- 14) Wakatsuki H., Kuwagata T., Ishigooka Y., Takimoto T, Ishikawa R., Nishimori M., Hasegawa T., International Symposium on Agricultural Meteorology 2024 (仙台市) Recent trends in summer relative humidity and their impacts on heat stress indices in agriculture in Japan.
- 15) 若月ひとみ・森 拓也・生井幸子・櫻井沙希・杉山秀樹・吉本真由美・酒井英光・長谷川利拡、日本作物学会第 257 回講演会 (2024) 2023 年夏季の異常高温が茨城県の水稲品質に及ぼした影響とその変動要因の解析
- 16) 吉松孝宏, 篠原和孝, 内野浩二, 杉浦俊彦, 日本熱帯農業学会第 134 回講演会 (奈良市) (2023) レイシの葉および幼木を用いた耐寒性の評価.
- 17) 松山宏美・澤田寛子・山脇賢治・福嶋陽, グルテン研究会(2024) 前作と地目の違いがパン用小麦品種「ゆめかおり」の子実タンパク質含有率および製パン適性関連形質に及ぼす影響

<ポスター発表>

- 1) 長谷川利拡、西森基貴、樋口浩二、平田泰雅、木所英昭、気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) Projection of Climate Change Impacts and Evaluation of Adaptation Options for Agriculture, Forestry, and Fisheries
- 2) 長谷川利拡、若月ひとみ、気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) 気候変動が 4 主要作物の収量に及ぼす影響に関するグローバルデータセット
- 3) 石郷岡康史、西森基貴、長谷川利拡、桑形恒男、滝本貴弘、若月ひとみ、気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) Climate change impacts on Japanese rice productivity and adaptation measures using modified assessment model considering the uncertainty in input climate data
- 4) 長谷川利拡、吉本真由美、酒井英光、若月ひとみ、気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) Daytime warming during early grain filling offsets the CO2 fertilization effect in rice
- 5) 若月ひとみ、滝本貴弘、石郷岡康史、西森基貴、坂田雅正、斎田直哉、赤木浩介、David Makowski、長谷川利拡、「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) Effectiveness of heat tolerance rice cultivars in preserving grain appearance quality under high temperatures - A meta-analysis
- 6) 中園江、松山宏美、水本晃那、気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) Risk of frost injury in winter wheat under global warming.
- 7) 水本晃那 (2023) 早播栽培における小麦の安定多収技術の開発. 博士論文 (神戸大学).
- 8) 山中武彦・岸茂樹・越智直、**個体群生態学会第 39 回札幌大会** (2023) 50 years of rice pest records in Japan revealed dynamical changes of pest composition.
- 9) 山中武彦・岸茂樹・越智直、気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョンー適応・緩和研究の展望」(2023) 50 years of rice pest records in Japan revealed dynamical changes of pest composition.

○「国民との科学・技術対話」の実施

※発表者氏名、発表した場所、発表した年、発表題目を記載してください。

- 1) 長谷川利拡、IPCC アウトリーチイベント(タイ・バンコク市) (2023) Impacts, Adaptation and Vulnerability in Food Systems
- 2) 長谷川利拡、IPCC シナリオ WS 報告会 (オンライン) (2023) IPCC シナリオワークショップ報告、WG2 の観点から
- 3) 長谷川利拡、気候変動対策フォーラム・ゼロから分かる気候変動(つくば市) (2023) 気候変動と農業・食料との関わり
- 4) 長谷川利拡、IPCC 執筆者セミナー (オンライン) (2024) IPCC WG2 第 5 章「食料・繊維その他の生態系産物」の統括執筆責任者を務めて
- 5) 長谷川利拡、新潟県農業総合研究所令和 5 年度研究職員相互向上研修(先端技術セミナー) (長岡市) (2023) 令和 5 年の夏季異常高温の影響について
- 6) 長谷川利拡、JA 京都にのくに生産振興大会 (オンライン) (2024) 京都府における近年の温暖化傾向が農作物に及ぼす影響と対策
- 7) 長谷川利拡、令和 5 年度大崎地方米づくり推進研修会～ 気候変動に適応した米づくり ～ (大崎市)

(2024) -近年のイネの高温障害の実態とその対策について

○新聞・雑誌記事等

1) 諸星 知広, 染谷 信孝 (2023) クオラムセンシング阻害技術と生物農薬の適用拡大への可能性. アグリバイオ 7(14): 54-56

○知的財産権

特に記載すべき事項はない。

○受賞等

令和 5 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 (科学技術賞)、 気候変動に対応する農業生産技術の振興、
2023 年 4 月 19 日、杉浦俊彦

テーマ番号	S-18-2-2
研究課題名	畜産を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価
研究代表者氏名	樋口浩二

1. 研究成果の概要

本サブテーマでは、将来の温暖化が家畜の生産性へ及ぼす影響を推定するためのモデルの構築を目的として、これまで気候変動の影響予測について十分な検討が行われていなかった家畜種である泌乳牛、採卵鶏および肥育後期豚を対象とした動物実験によるデータ収集、モデル化および温暖化影響予測、ならびに既存のデータと影響予測モデルのある育成牛、肉用鶏および肥育前期豚への温暖化影響予測の高度化をおこなってきた。今年度は実験データの収集を継続するとともに、一連の実験を終えた家畜種についてはモデルの構築および将来予測に着手した。

1) 泌乳牛

(1) 研究方法

ホルスタイン種泌乳牛延べ 36 頭を供試し、環境調節室に収容、温度 3 水準 (18, 23, 28℃)、相対湿度 3 水準 (60, 70, 80%) の 9 通りの条件に 2 週間ずつ暴露し、その間の体重、飼料摂取量、乳量・乳成分、体温・呼吸数、エネルギー代謝等を測定した。計 36 点 (温度 3 水準×湿度 3 水準×各 4 頭) の乳量データより乳量減少モデルを検討した。

(2) 結果の概要

飼養試験結果から温度と湿度をあわせた温湿度指数 (THI) を説明変数とする乳量減少予測モデルを作成した (未公表)。NIES2020 のデータベース (全国 1km メッシュ) に基づき、SSP シナリオとしては SSP126、SSP245、SSP585 それぞれについて、1900 年代 (1900~1910)、2000 年代 (1995~2005)、2030 年代 (2025~2035)、2050 年代 (2045~2055)、2100 年代 (2090~2100) の各年代について各年の 7~9 月における平均気温および平均相対湿度を ACCESS-CM2、IPSL-CM6A-LR、MRI-ESM2-0、MRI-EMS1-2-HR、MIROC6 の各モデルより抽出、その平均値、最大値および最小値を算出し、これを上記乳量減少予測モデルに代入し、適温環境 (18℃、60%) に対する生産性低下割合を算出、地図化、不確実性予測を実施した。NIES2020 の SSP245 のシナリオかつ 5 つの温暖化モデルより得られた各年代における平均気温、最低気温および最高気温の推移を図 1 に示した。平均気温の推移は 1900 年代から 2000 年代まではなだらかな上昇 (約 0.8℃) であるが、2000 年代から 2030 年代へはやや急な上昇 (約 1.2℃) が見られ、その後は再びなだらかな上昇 (約 1.4℃) となった。また平均相対湿度は各年代ともに約 79% でほぼ一定であった。泌乳牛の SSP245 シナリオにおける 2030 年代の影響予測地図をみると、適温条件が 18℃以下であり元来暑熱の影響を強く受ける泌乳牛では本州のほぼ全域で強い生産性低下が予測された (図 2)。また年代毎の影響予測を見ると、2030 年代で生産性低下が拡大し、そのまま拡大が継続することが示された。これは暑熱の影響を強く受ける泌乳牛において、全国の平均気温が 2030 年代では 23℃程度となり、以降で上昇することと連動した予測結果になったと考えられた (図 3)

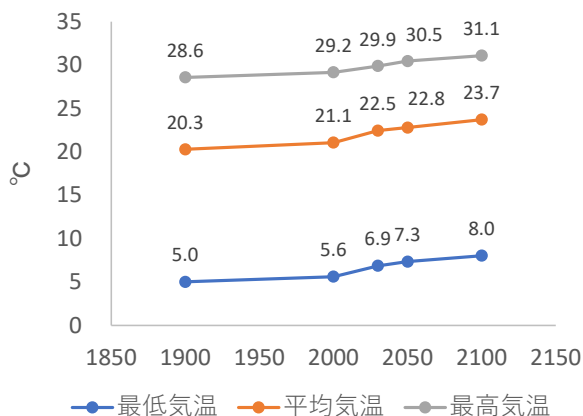


図 1. 1900, 2000, 2030, 2050, 2100 の各年代における日本全国の平均気温、最低気温および最高気温の推移

影響予測条件：

- SSP245
- 2025-2035
- CMIP6の5モデルにおける日平均気温・湿度の平均値より

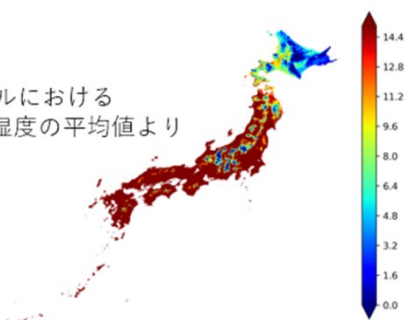


図2. 適温条件と比較した場合の生産性低下率予測地図

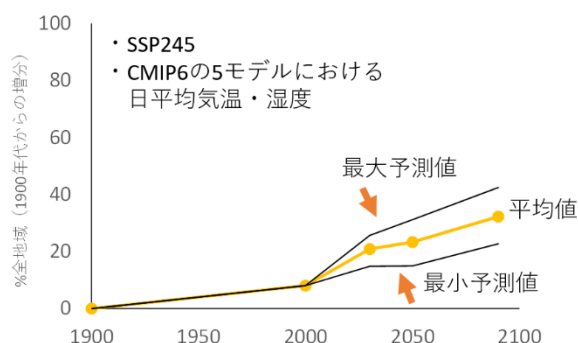


図3. 10%以上の生産性低下が予測される地域割合の1900年代との比較、およびその予測範囲(2030年代以降がシナリオによる予測値)

担当者：樋口浩二、澤戸利衣、野中最子、宇喜多 遥

2) 採卵鶏

(1) 研究方法

市販の鶏種A(28~31週齢)192羽、鶏種B(28~30週齢)120羽を供試した。環境温度が22、28および33℃前後の部屋に収容し、4週間の産卵試験を実施した。各室、相対湿度が60%に近づくよう加湿機で調整した。卵重は毎日記録し、飼料摂取量および体重は毎週測定した。週に一度全ての卵について、卵殻強度、卵殻厚およびハウユニットを測定した。

(2) 結果の概要

環境調節実験では、環境温度が高くなるにつれて飼料摂取量、体重が減少し、産卵率および卵質(卵殻強度、卵殻厚、卵殻重量)が低下した。環境温度を説明変数とし、適温環境(22℃)に対する日産卵量減少率を予測するモデル式を作成した(未公表)。日産卵量減少予測モデルを用いて、泌乳牛と同様の方法により将来の気候変動の影響予測を検討した。その結果、生産性の低下が予測される地域は他の畜種に比べて大幅に少なかった(図4)。これは適温環境が22℃程度である鶏では、平均気温の推移が約20~24℃程度の推移では温暖化の影響を受けにくいと考えられた(図1、5)。また、鶏種により暑熱の影響が異なることも示された。鶏種Aでは関東以南、四国および九州沿岸で10%以下程度の生産性低下が予測された。一方、鶏種Bではやはり関東以南、四国および九州沿岸での10%程度の生産性低下が予測された。

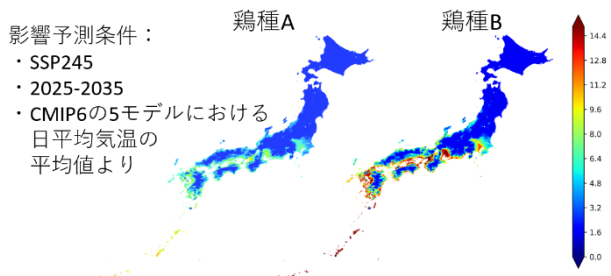


図4. 適温条件と比較した場合の生産性低下率予測地図

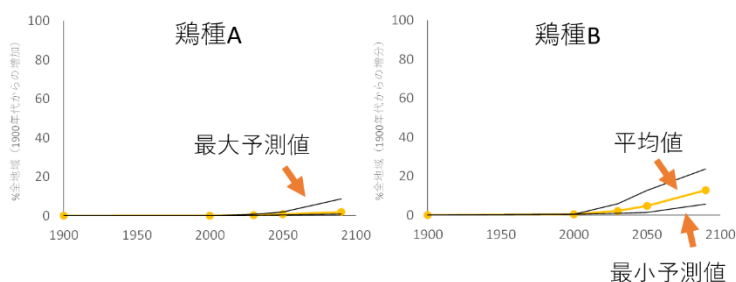


図5. 10%以上の生産性低下が予測される地域割合の1900年代との比較、およびその予測範囲(2030年代以降がシナリオによる予測値)

担当者：大津晴彦、原文香、依馬朋香、松下浩一、芦沢咲知

3) 肥育後期豚

(1) 研究方法

LWD交雑種去勢雄豚(体重約70kg)を48頭供試し、環境調節室の単飼豚房に収容、温度4水準(20, 24,

28, 30℃)、相対湿度 2 水準 (60, 80%) の合計 8 つの温度・湿度条件で 4 週間飼養、その間の体重、飼料摂取量、体温、呼吸数等を測定した。

(2) 結果の概要

環境温度の上昇とともに 1 日あたりの体重増加量 (日増体量) は減少した。また環境温度 30℃において、相対湿度 80%では 60%に比べて体重増加はさらに少なくなった。環境温度、湿度、体重等を説明変数とし、適温環境 (20℃、60%) に対する日増体量比を予測するモデル式を作成した (未公表)。日増体量予測モデルを用いて、他の家畜と同様の方法により将来の気候変動の影響予測を検討した。その結果、2030 年代で生産性への影響が拡大し、以降の年代でも拡大を続けることが予測された (図 7)。これは日増体量予測モデルにおいて 20~21℃程度の環境温度ではほとんど影響を受けないが、22~23℃程度より体重減少が顕在化し始め (1~2kg)、24℃では体重減少がさらに大きくなる (6kg) ことが示されており、このことを反映して、平均気温が 23℃程度となる 2030 年代以降で温暖化の影響が顕在化し、拡大すると考えられた。影響予測地図では関東以南、四国および九州の沿岸・平野部において生産性が 10%以上低下することが予測された。関東・東山の内陸や東北 (一部沿岸・内陸部を除き)・北海道では暑熱の影響は小さいことが予測された (図 6)。

影響予測条件：

- SSP245
- 2025-2035
- CMIP6の5モデルにおける日平均気温・湿度の平均値より



図 6. 適温条件と比較した場合の生産性低下率予測地図

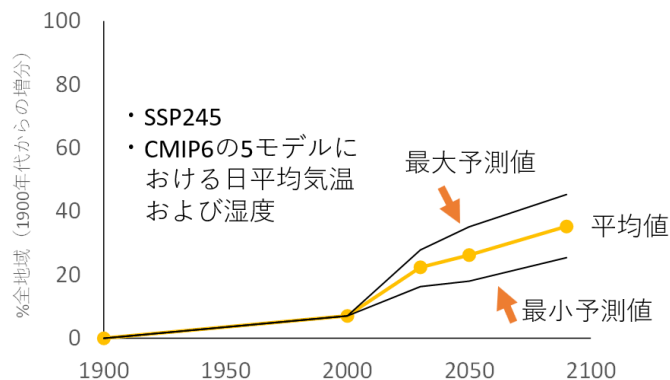


図 7. 10%以上の生産性低下が予測される地域割合の 1900 年代との比較、およびその予測範囲 (2030 年代以降がシナリオによる予測値)

担当者：井上寛暁、大森英之、石田藍子、芦原 茜、村上 斉

2. 成果一覧（予定を含む）

○学術論文（国内誌 0件、国際誌 1件）

<査読あり>

F. Nanto - Hara, M. Yamazaki, H. Murakami and H. Ohtsu (2023) Chronic heat stress induces renal fibrosis and mitochondrial dysfunction in laying hens. Journal of Animal Science and Biotechnology 14:81

<査読なし>

特に記載すべき事項はない。

○学会・シンポジウム等における発表（国内 3件、国外 2件）

<口頭発表>

<ポスター発表>

樋口浩二、大津晴彦、井上寛暁（2023）ホルスタイン種育成雌牛の夏季増体量に及ぼす温暖化の影響予測 / Projection of Climate Change Impacts for Growth Performance of Holstein Heifers at Summer Season, 気候変動国際シンポジウム（研究交流ポスターセッション）

井上寛暁、大津晴彦、樋口浩二（2023）肥育前期豚の夏季飼養成績に及ぼす温暖化の影響予測 / Projection of Climate Change Impacts for Growth Performance of Growing Pigs at Summer Season, 気候変動国際シンポジウム（研究交流ポスターセッション）

大津晴彦、井上寛暁、樋口浩二（2023）夏季の鶏肉生産に対する温暖化の影響予測 / Projection of Climate Change Impacts for Growth Performance of Broilers at Summer Season, 気候変動国際シンポジウム（研究交流ポスターセッション）

K. Higuchi, R. Sawado, I. Nonaka, F. Terada, Y. Saitoh, R. Tatebayashi and A. Nishiura (2023) Effect of once daily milking on energy and nitrogen metabolism in primiparous lactating cow under hot environment, Animal - Science Proceedings, The 11th International Symposium on the Nutrition of Herbivores. P11.

H. Ukita, K. Higuchi, K. Hara, M. Yamashita, M. Tsubokura, R. Sawado, I. Nonaka, F. Ohtani, F. Terada, M. Fujimori, S. Takizawa, T. Shinkai, Y. Saitoh, R. Tatebayashi, A. Nishiura (2023) Effect of temperature and humidity change on milk yield of Holstein dairy cow under artificially controlled environment, Animal - Science Proceedings, The 11th International Symposium on the Nutrition of Herbivores. P11.

○「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

○新聞・雑誌記事等

特に記載すべき事項はない。

○知的財産権

特に記載すべき事項はない。

○受賞等

特に記載すべき事項はない。

テーマ番号	S-18-2-3
研究課題名	林業を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価
研究代表者氏名	平田泰雅

1. 研究成果の概要

本サブテーマでは、地域に応じた最適な地域系統を選択することを目的として、地域系統の情報を考慮した適地推定を行なって将来気候を考慮した地域系統ごとのゾーニングを行うことにより、複数の共通シナリオのもとで適地推定モデルを活用した最適なスギ、地域系統選択指針を提示した。また、成長量予測と山地災害リスクを考慮して適応策を評価することを目的として、共通シナリオ第二版を用いて、全国スケールあるいは地域スケールにおける適応策オプションの効果を考慮に入れた人工林への影響を予測し、成長量予測と山地災害リスク、さらには経済性等を考慮した適応策評価モデルを開発した。

1) 地域に応じた最適な地域系統選択指針の提示

(1) 研究方法

最初にスギの地域系統の将来気候下における脆弱性を評価するため、MRI-ESM2 及び SSP1-2.6、SSP 5-8 シナリオのもとで、遺伝的変異の分布と World Clim v2.0 から抽出した bio1-19 (1970-2000 年の平均値) の気候変数を用いて Gradient Forest によりモデリングを行った。2030、2050、2090 年時の地域系統の遺伝的オフセットを算出し、共通シナリオの MRI-ESM2 および MIROC6 を用いた場合で予測結果を比較した。また、スギの地域系統の環境適応幅を直接評価するため、遺伝的変異に基づいて分類したオモテスギとウラスギ各系統が生育する地域について bio1-19 を抽出し、主成分分析を行なって地域系統の分布に重要な環境変数を検討した。また、各環境軸における地域系統ごとのカーネル密度分布を算出した。

続いて、地域系統毎のスギ人工林の成長量と炭素吸収量を将来予測するため、全国スケールのスギ人工林モデルによる計算を行った。我が国では、少子高齢化に起因する人工林の再造林率低下により、木材生産のための人工林の面積は将来にかけて減少するとみられている。その一方で、将来的な気候変動に対する緩和効果(森林の炭素吸収機能)も依然として期待されている。そのため、今年度は全国スケールのスギ人工林の減少を見込んだ、林業の適応策オプションの将来シナリオを作成した。具体的には、全国約 430 万ヘクタール相当のエリアを対象に、2010 年時点のスギ人工林の齢級構造と資源蓄積を再現し、将来にかけてスギの伐採速度(10 年で 5%と 15%)と再造林率(25%と 75%)にもとづき、1) 現状維持、2) 積極的再造林、3) 消極的再造林、4) 広葉樹二次林拡大、の 4 つの林業シナリオを作成した。同シナリオを、昨年までに整備した炭素循環モデル Biome-BGC に入力し、2050 年、2090 年の純生態系生産量(森林の炭素吸収量に相当)を推定した。気候シナリオは共通シナリオ第二版の CMIP6 の 5 つの気候モデルを利用し、SSP1-2.6 と SSP5-8.5 シナリオを評価した。

最後に、成長量予測に将来気候下での遺伝的オフセット予測の結果を加味し、現在植栽されている地域系統及び将来的な人口問題(共通シナリオにもとづく市町村レベルの少子高齢化)の 2 つを軸として選択指針を検討した。

(2) 結果の概要

MRI-ESM2 を用いた予測では最も温暖化が進んだタイミング(ssp5-8.5 の 2090 年時)での遺伝的オフセットの広がり、MIROC6 の結果と同様、西日本を中心に、関東の低地および日本海側の海岸沿いにおいて顕著であった。一方で、2050 年時においては、MIROC6 では九州四国内陸の一部で散在的に遺伝的オフセットが高まるのに対し、MRI-ESM2 では、中国地方や関東の低地などで広く遺伝的オフセットが高まることが予測された。これらの違いは、気候モデル間の予測気候値の地域差(降水量の差など)によって生じていると考えられる。

現在の分布域の環境変数を用いた主成分分析ではオモテスギとウラスギの分布には冬季降水量が最も大き

く影響しており、これは Gradient Forest でのモデリングによる結果と合致した。また、ウラスギが環境軸に対して広い分布を持つことが示された（図1）。

スギ人工林モデルの4つの林業シナリオは程度の差はあるが、いずれも2010年に対し2050年、2090年の純生態系生産量の低下を示し、その主たる要因は広葉樹二次林の拡大とスギ林の高齢化の2つであった。すなわち、現実的なスギ林の伐採速度と再造林率の範囲では、スギ林の面積は減少し、残存するスギ林は今後数十年にわたり高齢化する。スギ林に置き換わった広葉樹二次林はスギ林よりも純生態系生産量が低く、またスギ自身も高齢化により純生態系生産量が低下する。以上により2050年（SSP1-2.6）の純生態系生産量（炭素吸収量）は2010年に対し、シナリオ平均で約2割低下すると推定された（図2）。

人工林モデルの2つ目の成果として、上記の全国的な純生態系生産量の低下を緩和するために、地域に応じた林業オプションをとることが有効であることが、全国モデルのシミュレーションから示された。具体的には、オモテスギ主体の温暖な林業地域（例：九州地方）では積極的再造林（短伐期化）が、人工林の成長と炭素吸収量を比較的高く保つ唯一の方策であると考えられた。一方、ウラスギ主体の相対的に冷涼な地域（例：東北地方の日本海側）では消極的再造林（長伐期化）も可能性のある選択肢と考えられた。両地域の違いは、気候の違いに加え、分布する地域系統の成長パターンの違いを反映したものである。このとき、東北地方の太平洋側も含めたオモテスギ分布域の中で、遺伝的適合度の低下が予測される一部地域においては、環境適応幅の広いウラスギ系統（図1）の導入も検討すべきと考えられた。反対に、ウラスギ植栽地域に環境適応幅の狭いオモテスギを導入することは、残存するスギ天然林に対する遺伝的攪乱リスクの観点から、今後も難しいと考えられる。

以上の結果を踏まえ、地域系統毎の選択指針を作成した。オモテスギの林業地域では、①少子高齢化の進行が著しいと予測される自治体において現状のスギ林の維持または広葉樹林への誘導、②少子高齢化の進行が限定的な自治体では積極的再造林・短伐期化によるスギ林業の継続を図る。さらに、より高い再造林率を維持できる自治体では遺伝的オフセットの結果を踏まえ、系統転換や樹種転換も検討する。一方、ウラスギの林業地域では③少子高齢化問題の大きい地域では現状のスギ林の維持、④少子高齢化問題の限定的地域では長伐期化も含めたスギ林業の継続を図る、というパッケージを暫定的指針としてまとめた。

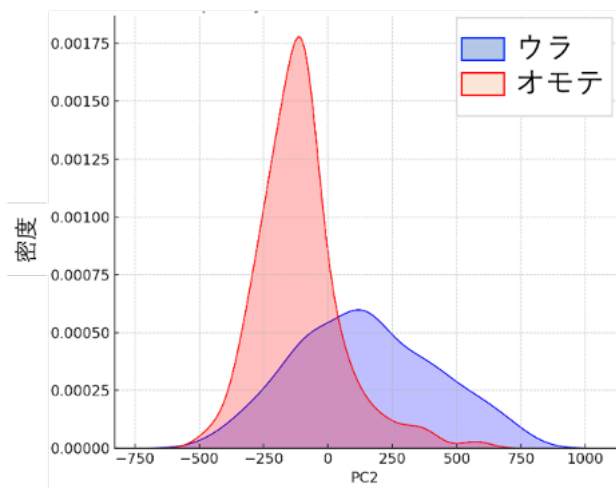


図1. オモテスギとウラスギの環境軸上での分布

分布する地域の環境変数による主成分分析でオモテとウラスギを分ける PC2 軸上での分布を示す。PC2 には冬季（最寒四半期）降水量が最も大きく影響した。

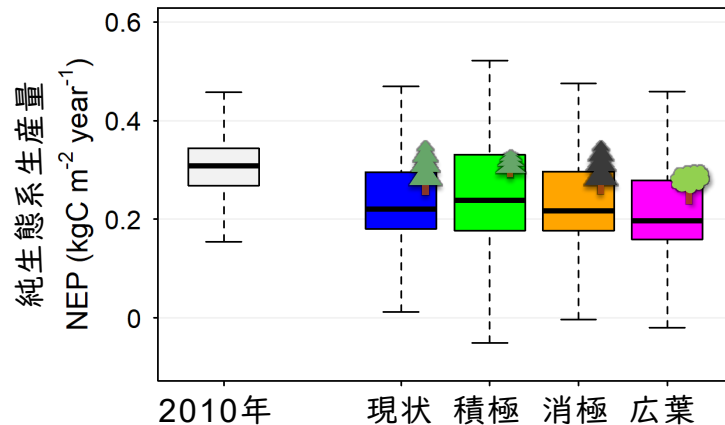


図2. 純生態系生産量の将来予測

$N = 49440$ (3次メッシュの数)。5つの気候モデルの平均による SSP1-2.6 の結果を示す。純生態系生産量が高いほど、森林の炭素吸収量が高い。右側のバーは4つの林業シナリオの2050年の結果を示す。現状：スギ林の面積をできるだけ高く保つ(現状維持、BAU)、積極：積極的再生林による短伐期策、消極：消極的再生林による長伐期策、広葉：広葉樹二次林の拡大。

担当者：伊原徳子、内山憲太郎、森英樹、鳥山淳平、橋本昌司、西園朋広

2) 成長量予測と山地災害リスクを考慮した適応策評価モデルの開発

(1) 研究方法

地域スケール(市町村などの自治体単位の広さを想定)において、スギ人工林の樹高成長予測モデル及び降雨条件に基づいた土砂災害リスク予測モデルを用いて、将来気候下においてスギの成長と土砂災害の発生危険性を予測した。それぞれで予測した結果及び維管束植物の生物多様性に関する情報を統合し、地域スケールで適応策を評価するモデルを構築した。適応策評価モデルは、予測モデル構築、将来予測、シナリオ解析の3つの要素から構成される。

最初に、スギ人工林の樹高予測モデルは、航空機 LiDAR から得られる樹高情報と樹齢や環境要因との関係を機械学習の手法である random Forest から構築した統計モデルであり、予測精度は現場データに基づく検証においても十分に高い。一方、土砂災害リスク予測モデルは、対象地域の3日間積算雨量の100年確率雨量を閾値として土砂災害が発生する危険性の高い将来降雨を判定する経験的なモデルである。このモデルについては、過去に日本で大規模な土砂災害を引き起こした計10事例の降雨を対象とした検証により、十分な判定精度が確認されている。

次に、それぞれの予測モデルを用いて、モデル地域において将来予測を行った。将来気候シナリオには、GCMとして日本周辺域の再現性が高いとされる MIROC5 を用い、濃度シナリオは最も顕著な将来の気温上昇を想定した RCP8.5 を用いた。土砂災害リスク予測モデルでは、同様の将来気候シナリオと濃度シナリオの予測雨量データを用いて、2100年までの各日の3日間積算雨量を算出した。そして、この予測3日間積算雨量が、対象地域の現在気候下における100年確率雨量に到達した場合に、その降雨を土砂災害発生リスクの高い危険降雨として判定した。予測雨量データの各グリッド(約1km²)において、この危険降雨が発生する回数を集計してマップ化した。スギ成長量、土砂災害リスクの予測は、2030年代(2021-2040)、2050年代(2041-2060)、2100年代(2081-2100)の3期間で算出し、これらの予測結果及び既存の維管束植物の多様性に関する分布情報をGIS上で統合した。

最後に、将来的な土地利用改変を適応策とし、現状維持、気候条件のみ変化、炭素蓄積最大化、土砂災害被害軽減、生物多様性保全優先の合計5つのシナリオを設定した。シナリオ解析では、炭素蓄積、土砂災害リスク、生物多様性に寄与する面積を評価基準とし、これら3つの要素間のシナジーやトレードオフを既往研究に基づいて設定し、初期値を変えながら繰り返し計算を行った。

(2) 結果の概要

モデル地域において、将来気候シナリオに基づくスギ樹高成長と土砂災害リスク頻度を予測した(図 3.)。スギ樹高成長モデルを用いて地域内の樹高成長を規定する要因を定量評価したところ、スギの樹高成長量に影響を及ぼすパラメータとしては、林齢と気候条件(気温や降水量)に比べ、地形条件(TWI: 土壌湿潤度を指標する指数)が最も影響の大きい支配的なパラメータであることが分かった。構築したモデルを用いて、将来気候下におけるスギ樹高成長について予測したところ、これらのパラメータが同地域内において空間的に異なるため、成長パターンも空間的に異なっており、将来に渡ってスギの高い成長量が望める場所もあれば、相対的に成長量が低くなる場所も生じると予測され、スギ成長量は空間的な差異が大きいことが明らかになった。なお、このような気候変動を考慮した場合のスギ成長量の空間的な配置パターンは、現在気候条件が維持すると仮定した BAU シナリオの予測結果とは異なっており、将来気候下における成長量の変化を考慮した林業の適応策の必要性を示唆する。

土砂災害リスク頻度の解析では、使用した将来気候シナリオ(MIROC5 RCP8.5)の降雨データに基づく試算では、2030年代は土砂災害を引き起こす危険性のある危険降雨(3日間の積算雨量が対象地域の100年確率降雨量を超える雨)が、対象地域全域で発生しないと予測された。しかし一方で、2050年代にはモデル地域の北東部で、危険降雨が発生することがわかった。また、危険降雨の発生回数は、空間的なばらつきが生じており、特に対象地の東側では高リスクな地域が生じることが予測された。2100年代には、危険降雨が予測される領域が縮小するものの、依然としてモデル地域の西側で危険降雨の頻度が高く、土砂災害の発生リスクが相対的に高いことが予測された。

シナリオ解析の結果、炭素蓄積を最優先するシナリオでは、気候シナリオのみの場合と比較して、炭素蓄積は増加するが、土砂災害リスクが最大30%程度上昇すると予測された(図 4.)。一方、生物多様性を優先した場合、炭素蓄積は11%程度減少するが、生物多様性を20%程度高め、土砂災害リスクを10%程度低減する可能性が予測された。全体としては、適応策の効果は最大でも30%であり、効果に対し要素間のシナジーやトレードオフが働くことが明らかになった。地域の中で将来的にどのような土地利用を行なっていくかは、科学的な合理性だけで決めることはできない。しかし、今回開発した森林域の気候変動適応策効果評価モデルは、地域スケールにおける意思決定をサポートするツールになり得る。

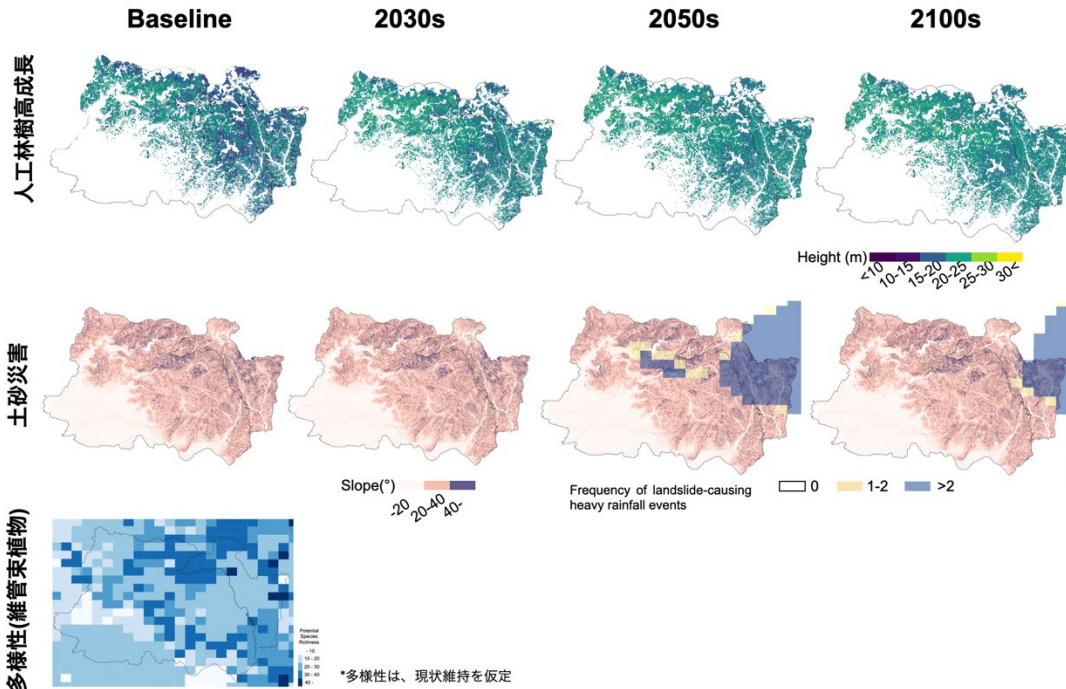
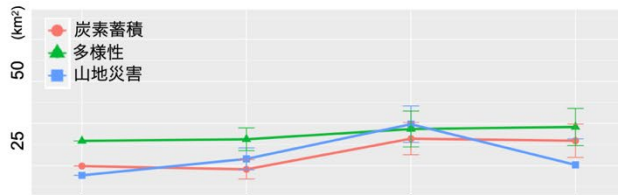


図 3. 将来の気候シナリオにおけるスギ人工林の樹高成長(上段、土砂災害リスク(中段)、多様性(下段))。

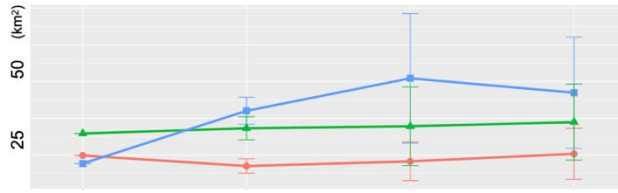
BAU

標準伐期(50年)



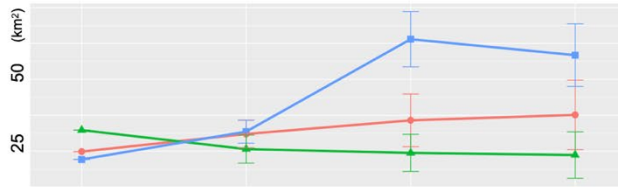
気候シナリオのみ

気候シナリオ
+標準伐期(50年)



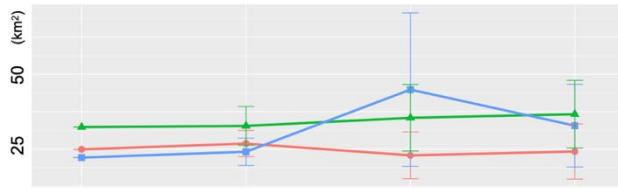
炭素蓄積重視

気候シナリオ
+短伐期(30-40年)
+人工林の拡大



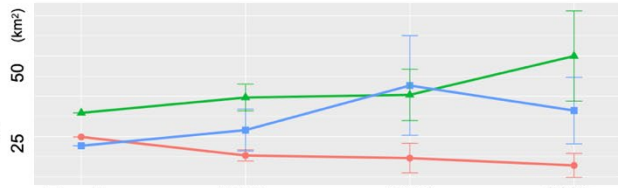
山地災害リスク重視

気候シナリオ
+標準伐期+長伐期
+高リスク域樹種転換



生物多様性重視

気候シナリオ
+標準伐期
+人工林の広葉樹への転換



適応策効果

正の効果 負の効果

*気候シナリオのみの場合と比較

	2030s	2050s	2100s
炭素蓄積	14%	23%	27%
山地災害	7%	31%	22%
多様性	-8%	-18%	-21%
炭素蓄積	4%	-3%	1%
山地災害	-9%	-12%	-21%
多様性	2%	3%	2%
炭素蓄積	-2%	-7%	-11%
山地災害	-7%	-8%	-10%
多様性	4%	12%	23%

図 4. シナリオ解析の結果。左側(折れ線グラフ): 5つのシナリオに基づく炭素蓄積(スギ人工林成長)、土砂災害、生物多様性に寄与する面積の変化。エラーバーは、GCM と RCP の違い、および各シナリオで実施された 1000 回の試行回数に由来する誤差を示す。右側: 気候シナリオのみの場合と比較した場合の 3つの要素における適応策効果を示す。青色が正の効果、赤色が負の効果。

担当者: 村上亘、経隆悠、中尾勝洋

2. 成果一覧 (予定を含む)

○学術論文 (国内誌 3件、国際誌 0件)

<査読あり>

1) 田中憲蔵, 大曾根陽子, 橋本昌司: 森林立地, 65(1), 29-37 (2023) 1950年以降のスギとヒノキの生理生態学的研究に関する文献数の変化とその社会・環境的な背景

<査読なし>

1) 平田泰雅: 山林, 1671:2-9 (2023) 気候変動と森林

2) 田中憲蔵, 大曾根陽子, 橋本昌司: 森林技術, 975:26-30 (2023) スギとヒノキの能力をめぐる研究誌—過去70年の歴史とその背景—

○学会・シンポジウム等における発表 (国内 4件、国外 1件)

<口頭発表>

1) 鳥山淳平, 橋本昌司, 中尾勝洋, 齋藤琢, 西園朋広, 内山憲太郎, 荒木眞岳, 村上亘, 平田泰雅: 第135回日本森林学会大会 (2024) スギ人工林域の炭素吸収量の将来予測—スギの面積縮小と高齢級化の影響—

<ポスター発表>

- 1) 経隆悠, 村上亘, 中尾勝洋. 令和5年度(公社)砂防学会研究発表会(2023)土砂災害危険雨量の発生頻度の将来変化.
- 2) Tokuko Ujino-Ihara, Kentaro Uchiyama, Seiichi Kanetani, Yoshihisa Suyama, and Yoshihiko Tsumura. 気候変動シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョン—適応・緩和研究の展望」(2023) Gene expression differentiation in Japanese cedar trees with different origins growing in common gardens. (由来地域の異なるスギの産地試験地における遺伝子発現の分化).
- 3) Katsuhiro Nakao, Haruka Tsunetaka, Wataru Murakami, ESA 2023 (アメリカ生態学会、ポートランド) (2023) Adaptation measures timeline for conservation and sustainable use of forest resources under uncertainty future.
- 4) 中尾勝洋. 第135回日本森林学会大会(2023). 流域界ごとの環境不均一性とスギ樹高成長

○「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 橋本昌司. 東京大学森林科学セミナー(東京)(2023)「講演者 山川博美: どうなる人工林: 現状、問題、将来—九州からの報告」
- 2) 中尾勝洋. 森林総合研究所一般公開講演会(東京)(2023)時間軸も考慮した資源管理—自立できる山づくりのために.

○新聞・雑誌記事等

特に記載すべき事項はない。

○知的財産権

特に記載すべき事項はない。

○受賞等

特に記載すべき事項はない。

テーマ番号	S-18-2-4
研究課題名	水産業を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価
研究代表者氏名	木所英昭

1. 研究成果の概要

本課題では、プロジェクトにおける共通シナリオを用いて水産重要種の漁期・漁場の変化を予測し、各地域における漁業の影響評価を行う。特に、気候変動への影響に関する知見の少ない底魚類を対象として、各地の底びき網で漁獲される主要底魚類の分布・漁期・漁場の変化を把握、環境要因を考慮した予測モデルを作成し、精度向上を図ったうえで評価する。また、増養殖業においても藻場漁場への高精度の影響把握に不可欠な地理的特性による局地的要因の抽出と、栄養塩供給過程の変化が与えるワカメ養殖への影響を把握して影響を評価する。その結果を基に、各地の増養殖業における適応策オプションの有効性を評価し、地方自治体レベルでの経済的な視点も含めた適応策策定を支援する情報提供を行う。

プロジェクト4年目となるR5年度はこれまでに作成した予測モデルと将来の気候シナリオをもとに将来予測を実施し、水産業への気候変動の影響予測を行った。漁業資源については、海洋環境データを用いた底びき網漁業の主要対象魚に関する分布密度予測モデルを作成して将来予測を試みた。ワカメ養殖に関しても前年度にパラメータ調整を行った成長モデルを用いて三陸海域と瀬戸内海における将来予測を行った。藻場資源についても藻場構成種の変化を予測すると共に、藻場の構成種によるアワビの発育段階別の成長・生残に係る順位モデルを作成し、将来予測を行うと共に適応策の効果も検討した。これらの予測結果は令和6年度日本水産学会春季大会の水産環境保全委員会シンポジウムで話題提供し、関係者と意見交換を行った。

1) 海洋における気候シナリオのデータセット

水産業を対象とした気候変動影響予測を行うには、水温をはじめとする海洋環境の将来予測データが必要となる。海洋環境の将来予測に関するデータセットは陸域のデータと比べて解像度も低く、本プロジェクトの共通シナリオに対応したデータセットは数少ない。そのような背景のもと、本課題の将来予測には複数の気候シナリオに対応し、適切なGCMの組み合わせのデータセットとして公表され、信頼性が確認できるFORP-NP10ver2とFORP-JPN02ver4 (Nishikawa et al. 2021)、瀬戸内海の水環境に関する気候変動影響予測データセット ver2021 (Higashi 2022、瀬戸内海のワカメ養殖で利用)を用いた。FORP-NP10ver2とFORP-JPN02ver4ではRCP2.6と8.5シナリオ、瀬戸内海の水環境に関する気候変動影響予測データセット ver2021ではRCP2.6、4.5、6.0、8.5の各シナリオを用いた。なお、影響評価には気候変数の絶対値が必要なため、データ同化モデル、現場データ、衛星データなどを基準値とし、バイアス補正して利用した。

担当者：瀬藤 聡ほか

2) 底びき網対象の漁業資源の変化と将来予測

気候変動による水温上昇によって各地域の漁獲物組成が変化している。しかし、底びき網漁業の主対象種(底魚類)では底層の環境データの入手が困難であることから、日本周辺海域では、底魚類の気候変動による影響把握と将来予測の研究が遅れているのが現状である。そこで本課題では、まず底魚類のこれまでの分布域の変化を把握した。続いて、底層環境(水温、塩分)の再解析値を基に海洋環境と底魚類の分布密度の関係をモデル化し、それを基にした将来予測を行った。

これまでの気候変動が与えた影響を把握するため、1982-2020年における日本海中西部海域の主要7魚種(Kawauchi et al. 2023)、太平洋北部海域の主要9魚種の分布域の変化をVASTモデルで推定した。日本海中西部では、アカムツとマダラの分布が1990年代中盤以降に南西方向へ偏り、ハタハタの分布域は長期的に北東方向へ移動した。また、深場のズワイガニ、アカガレイ、ヒレグロの分布は安定的であった。一方、太平洋北部では2010年代後半以降、アカガレイ、ババガレイ、サメガレイ、マダラ、キチジといった北方種や深場の魚種では分布の南端が北偏していた。このように、日本海中西部と太平洋北部では、同じ種でも海域間の環境条件や生物特性の違いによって分布域の変化が異なっていることが示された。

一方、将来予測として、東北太平洋沿岸域の底層水温・塩分をもとに底魚資源の分布密度を説明させる統計モデルを作成し、水温と塩分の将来予測値をこのモデルに適用することで分布の変化を予測した。作成したモデルではマダラ等の冷水性種では低温・低塩、ヒラメ等の暖水性種では高温・高塩、キチジ等の深海性種は低温・高塩で高い CPUE が観測される傾向がみられ、それぞれ親潮系水、黒潮系水および深層の環境に多く分布するという各魚種の分布特性を反映することができた。将来予測の結果として、底層環境の温暖化が進むに従って暖水性種では漁場が北方に移動または拡大する一方で、マダラをはじめとする冷水性種では漁場が縮小することが示された（図 1）。さらに、深海性種では漁場の南北移動は小さいものの、漁場がより深場へと移動すると予測された。

担当者：鈴木勇人、矢野寿和、川内陽平、八木佑太、瀬藤 聡、木所英昭

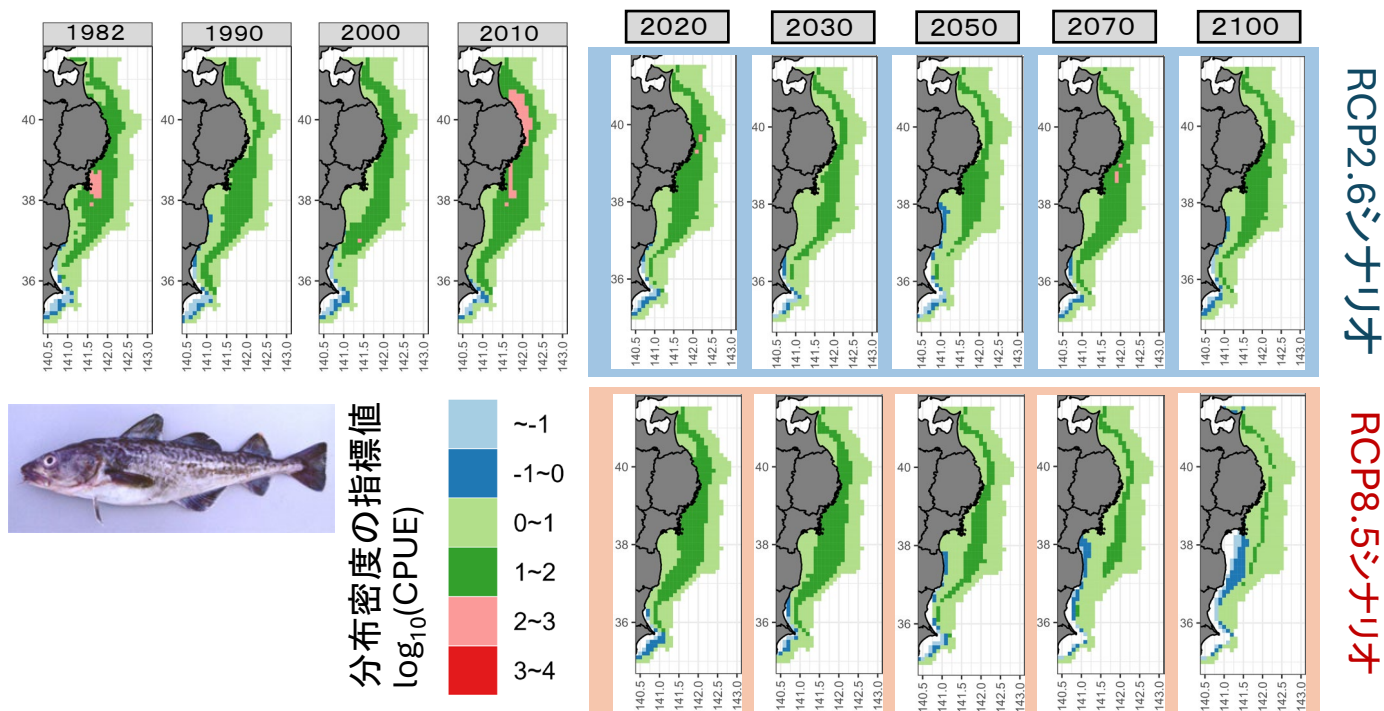


図 1 東北地方太平洋岸におけるマダラの分布密度の変化予測結果
資源量は 2010 年の推定資源量を用いて予測した。

3) ワカメ養殖の将来予測

ワカメ養殖はノリ養殖に次ぐ収穫量を有する重要な海藻養殖業であり、三陸地方（岩手県・宮城県）で全体の約 7 割の生産を占めているほか、瀬戸内海の鳴門海域でも生産されている。本課題では、気候変動がワカメ養殖に及ぼす影響と、地域による影響の違い、および有効な適応策検討するため、三陸地方と瀬戸内海における影響予測と適応策の評価を行った。

三陸海域では、岩手県大槌町船越湾においてワカメの生育環境と生長過程をモニタリングし、得られたデータに基づいてワカメの生長モデルを構築し、将来予測を行った。将来予測の結果、RCP2.6 シナリオでは養殖スケジュールに大きな変化はなく、生産量増大の可能性があり、ワカメ養殖業にとってプラスの効果が期待された（図 2）。RCP8.5 シナリオでは、収穫量は現在と同程度が見込まれるものの、養殖終了日が早期化するため、収穫作業や販売等のスケジュールの大幅な前倒し等の適応策が必要となると考えられた（図 2）。

一方、鳴門海域では、水温上昇に伴う養殖開始時期の遅れや DIN 濃度の低下により、RCP2.6 シナリオを除いて 2090 年代には 1990 年代に比べて 3 月末時点の全長が大きく減少した（図 3）。一方、高温耐性を備えた新品種を想定した計算では、RCP8.5 シナリオでも全長の減少が抑えられると予測され、高温耐性品種は気候変動に対する適応策となり得ることが示された（図 3）。なお、感度解析の結果、瀬戸内海でも冬季

水温の低い海域では、水温上昇はワカメの生長にプラスの影響（生育最適温度に近づくことによる生育の促進）があり、海域によって水温上昇の影響の度合いが異なることが示唆された。

担当者：鬼塚 剛、笥 茂穂、吉田吾郎、木所英昭

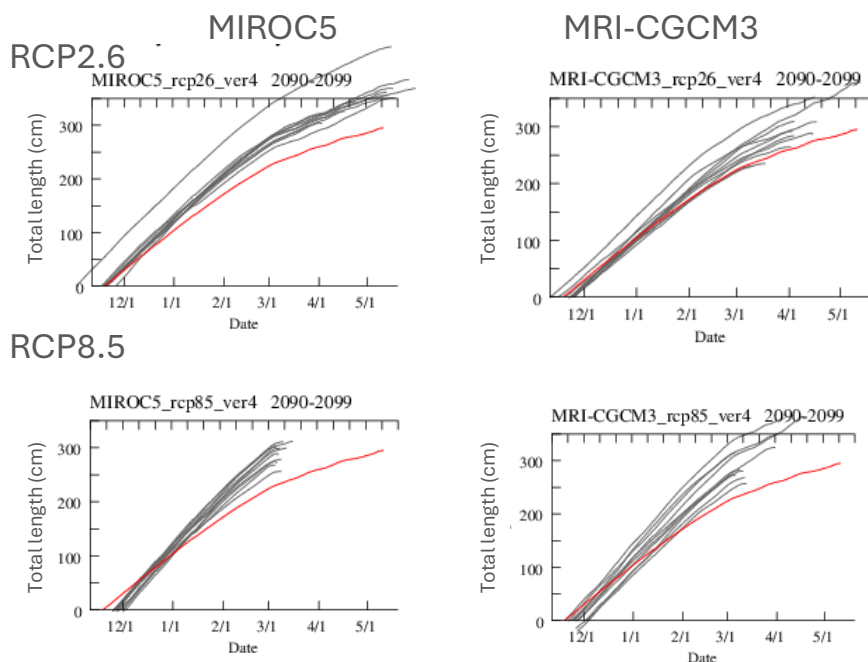


図2 三陸海域の今世紀末（2090-2099年）におけるワカメの成長予測
赤線は成長モデルを元に計算した現在の環境下における成長予測結果

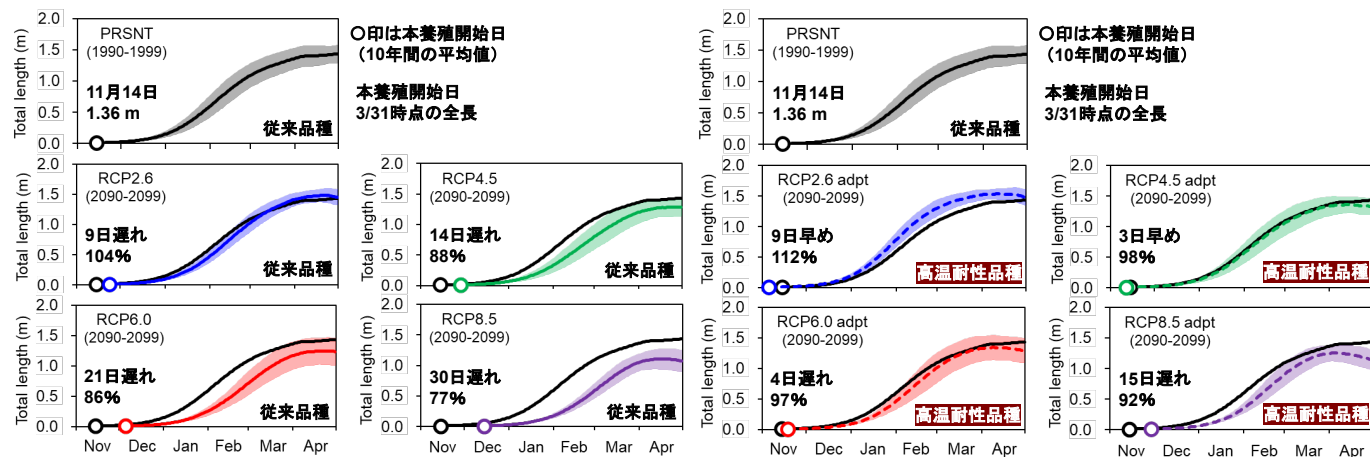


図3 瀬戸内海（鳴門海域）の今世紀末（2090-2099年）におけるワカメの成長予測
左半分は従来品種による予測、右半分は高温耐性品種を導入した場合の予測結果 Onitsuka et al.(2024)より

4) 藻場の変化とアワビ漁業への影響予測

気候変動による海水温上昇によって沿岸域の藻場生態系が変化している。藻場生態系への影響は、温度による直接的な影響に加え、植食性動物の増加などによっても影響を受け、各地で磯焼けが進行している。藻場生態系の変化によって磯根資源と呼ばれる藻場生態系を基盤とした水産資源も影響を受ける。その典型であるアワビ類は藻場を生息場所として利用するだけでなく、藻場を構成する大型褐藻類そのものを主要餌料とするため、藻場の衰退は資源崩壊の大きなトリガーとなる。本課題では、東北太平洋岸と瀬戸内海を対象

に、気候変動に伴う藻場分布変化がアワビ類に及ぼす影響を予測すると共に種苗放流をはじめとする適応策の有効性を検討した。

将来予測の結果、瀬戸内に比べ東北地方沿岸域では温度変化が大きく、藻場生態系が大きく変わることが示された（図4）。さらに海藻は分散速度が遅いことから、寒海性から暖海性の種への置換が起こるまでの間、植食性魚類による磯焼けが発生する可能性が示唆された。なお、東北地方では暖流の影響により海藻は南からのみではなく、津軽海峡を通じて日本海側からも拡大する可能性も示された。アワビ類への影響として、RCP8.5シナリオではアラムをはじめ多くの藻場構成種が東北地方沿岸域では大きく衰退するため（図4）、エゾアワビが大きく減少すると予測された。その一方で、種苗放流等により残存するアラム藻場への加入率を人為的に増加させれば、資源量の減少率を緩和できる可能性も示唆された。

担当者：須藤健二、堀 正和、島袋寛盛、高見秀輝

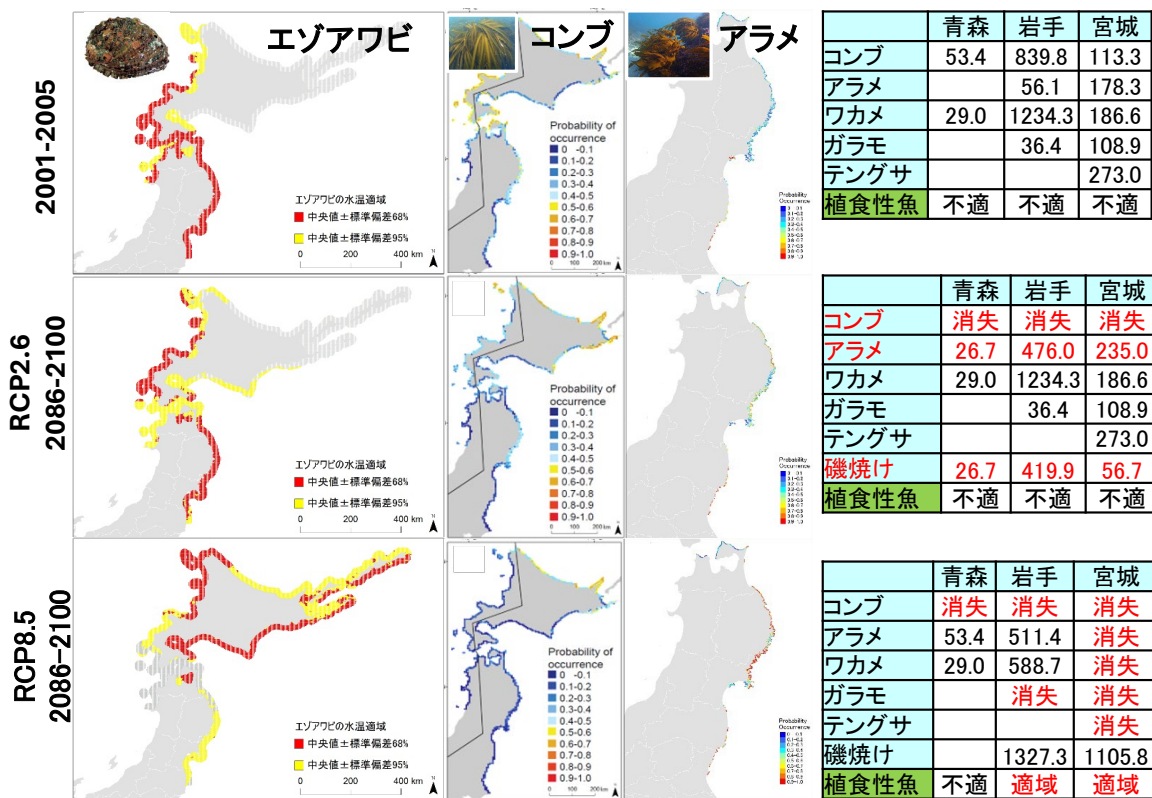


図4 エゾアワビの分布適水温域の変化と、餌環境（藻場面積（ha））の変化

5) 社会経済シナリオを用いた日本の水産業の将来予測と適応策

適応策の実行可能性・有効性は将来の社会構造によって変化し、現在の社会構造では容易・効果的と想定される適応策も将来の社会構造によっては困難・非効果的となる場合も予想される。特に日本の水産業を取り巻く社会状況は魚介類の消費量の低下、就業率や地方における急速な人口減少による担い手不足など大きく変化しており、これらの影響を考慮することも重要となる。そこで、本課題では社会経済シナリオを水産分野に拡張することで、社会経済的な変化も考慮して適応策の有効性を検討した。検討の結果、水産物の消費量は今後も減少するものの、日本の漁業者数はそれ以上に減少することから、国内需給バランスを維持するには、技術革新によって漁獲効率を上昇させる必要がある。気候変動への適応の1つとして、現状の供給量を確保するために効率的な漁獲が必要となるが、今回の社会経済シナリオによる漁業者数の減少を考慮すると、技術確認による更なる効率化が必要であること、つまり適応がより困難になることが想定された。

担当者：木所英昭、須藤健二、瀬藤 聡

参考文献

- Higashi, H. Prediction Dataset of Climate Change Impact on Water Environment in the Seto Inland Sea. NIES 2022, DOI:10.17595/20240119.001.
- Nishikawa S, Wakamatsu T, Ishizaki H, Sakamoto K, Tanaka Y, Tsujino H, Yamanaka G, Kamachi M, Ishikawa Y. Development of high-resolution future ocean regional projection datasets for coastal applications in Japan. Progress in Earth and Planetary Science 2021; 8-7. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00399-z>
- Kawauchi, Y., Yagi, Y., Yano, T., Fujiwara, K. Multi-decadal distribution changes of commercially important demersal species in the central-western Sea of Japan based on a multi-species spatiotemporal model. Reg. Stud. Mar. Sci. 2023; 102899. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102899>
- Onitsuka, G., Yoshida, G., Shimabukuro, H. et al. Modeling the growth of the cultivated seaweed *Undaria pinnatifida* under climate change scenarios in the Seto Inland Sea, Japan. J Appl Phycol 2024. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03291-1>

2. 成果一覧（予定を含む）

○学術論文（国内誌 2 件、国際誌 1 件）

<査読あり>

- 1) Onitsuka, G., Yoshida, G., Shimabukuro, H. et al. (2024) Modeling the growth of the cultivated seaweed *Undaria pinnatifida* under climate change scenarios in the Seto Inland Sea, Japan. J Appl Phycol. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03291-1>
- 2) 木所英昭. (2024) 気候変動による回遊性魚介類の資源動態や分布海域の変化と日本の水産業における対応. 地球環境 【2024年予定】
- 3) 筧 茂穂・成松 庸二 (2024) 三陸沿岸における魚種変化と水産利用面の変化. 地球環境 【2024年予定】

<口頭発表>

- 1) 木所英昭. (2023) 令和5年度日本水産学会秋季大会ミニシンポジウム：東北地方太平洋岸におけるヤリイカ研究 近年の研究成果と安定的利用に向けた課題, 震災以降のヤリイカの漁業と海洋環境の変化.
- 2) 木所英昭. (2023) 令和5年度水産海洋学会研究発表大会シンポジウム：北日本周辺における水産資源の分布の北上とその対応, 分布域が北上した資源の有効利用方策と近年の状況.
- 4) 瀬藤 聡 (2023) 第10回東北太平洋岸の水産業と海洋研究集会：東北太平洋岸における気候変動の水産資源への影響と解析手法、気候変動予測データセット.
- 5) 筧 茂穂 (2023) 第10回東北太平洋岸の水産業と海洋研究集会：東北太平洋岸における気候変動の水産資源への影響と解析手法、調査船調査における底層水温.
- 6) 鈴木勇人 (2023) 第10回東北太平洋岸の水産業と海洋研究集会：東北太平洋岸における気候変動の水産資源への影響と解析手法、底層水温と分布適水温を用いた将来予測.
- 7) 木所英昭. (2023) 第10回東北太平洋岸の水産業と海洋研究集会：東北太平洋岸における気候変動の水産資源への影響と解析手法、気候変動の影響と適応策.
- 8) 瀬藤 他 (2024) 水産分野の気候変動評価に必要な海洋環境データセット. 令和6年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 9) 筧 茂穂・瀬藤 聡・木所英昭・鬼塚 剛 (2024) 三陸におけるワカメ養殖業の将来予測と適応策. 令和6年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 10) 鬼塚 剛 他 (2024) 瀬戸内海におけるワカメ養殖業の将来予測と適応策. 令和6年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 11) 須藤健二・島袋寛盛 (2024) 日本周辺海域の藻場生態系の将来予測と適応策. 令和6年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 12) 堀 正和・高見秀輝・須藤健二・島袋寛盛 (2024) 日本周辺海域におけるアワビ資源の将来予測と適応策. 令和6年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 13) 八木佑太・川内陽平・鈴木勇人・瀬藤 聡・木所英昭・矢野寿和 (2024) 日本周辺海域における底層資源の分布変化. 令和6年度日本水産学会春季大会シンポジウム

- 1 4) 鈴木勇人・八木佑太・川内陽平・瀬藤 聡・木所英昭・矢野寿和 (2024) 東北海域における底魚資源の分布の将来予測. 令和 6 年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 1 5) 木所英昭・瀬藤 聡・須藤健二 (2024) 社会経済シナリオを用いた日本の水産業の将来予測と適応策. 令和 6 年度日本水産学会春季大会シンポジウム
- 1 6) 笥 茂穂 (2024) 東北太平洋岸における海洋の変化が漁業や養殖業に及ぼす影響. 第 9 回全球エネルギー水循環プロジェクト国際会議環境省ステークホルダーセッション.
- 1 7) Shigeho Kakehi (2024) Influence of oceanographic conditions on fishery and aquaculture in the Pacific coast of northeastern Japan. Stakeholder Session by the Ministry of the Environment in 9th GEWEX-OSC (Global Energy and Water Exchanges Open Science Conference) 2024.

○「国民との科学・技術対話」の実施

※発表者氏名、発表した場所、発表した年、発表題目を記載してください。

- 1) 木所英昭. (2023) 日本海北部海域栽培漁業推進協議会通常総会公演、気候変動による天然水産資源への影響と日本の対応 —これからの海と社会の変化に向けて—.
- 2) 木所英昭. (2023) 日本海中西部海域栽培漁業推進協議会通常総会公演、気候変動による天然水産資源への影響と日本の対応 —これからの海と社会の変化に向けて—.
- 3) 木所英昭. (2023) 太平洋北海域栽培漁業推進協議会通常総会公演、気候変動による天然水産資源への影響と日本の対応 —これからの海と社会の変化に向けて—.
- 4) 木所英昭. (2023) 太平洋南海域栽培漁業推進協議会通常総会公演、気候変動による天然水産資源への影響と日本の対応 —これからの海と社会の変化に向けて—.
- 5) 木所英昭. (2023) S18 セミナー、気候変動による天然水産資源への影響と日本の対応 —これからの海と社会の変化に向けて—.
- 6) 木所英昭 (2023) ノーステック財団シンポジウム 気候変動が第一次産業や日常生活に与える影響と適応の取り組み、北海道における暖水性魚介類の増加と有効利用・適応策.
- 7) 木所英昭 (2023) 第 1 回地域特性に即した気候変動影響評価手法検討会 農林水産業、水産物に関する気候変動影響の最新動向.
- 8) 木所英昭 (2023) 富山県漁業経営者研修事業、気候変動と日本海の漁業資源—温暖化と資源変動—.
- 9) 瀬藤 聡・木所英昭 (2023) 気候変動国際シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョン—適応・緩和研究の展望」、海洋データセットと水産資源の将来予測事例
- 10) 笥 茂穂 (2023) 気候変動国際シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョン—適応・緩和研究の展望」、ワカメ養殖への気候変動の影響と適応策
- 11) 須藤健二、島袋寛盛 (2023) 気候変動国際シンポジウム「気候変動対策と未来ビジョン—適応・緩和研究の展望」、気候変動による海藻藻場の将来予測と影響.