



平成28-令和3年度
環境研究総合推進費
戦略的研究開発領域課題(S-15)

テーマ2 陸域における生態系サービスがもたらす 自然的価値の予測評価

テーマ代表

森林総合研究所

中静 透

サブテーマ2 正木 隆・森林総合研究所

サブテーマ3 吉田丈人・東京大学

サブテーマ4 柴田英昭・北海道大学

2. 研究開発目的



テーマ2：陸域における自然資本・生態系サービス がもたらす自然的価値の予測評価

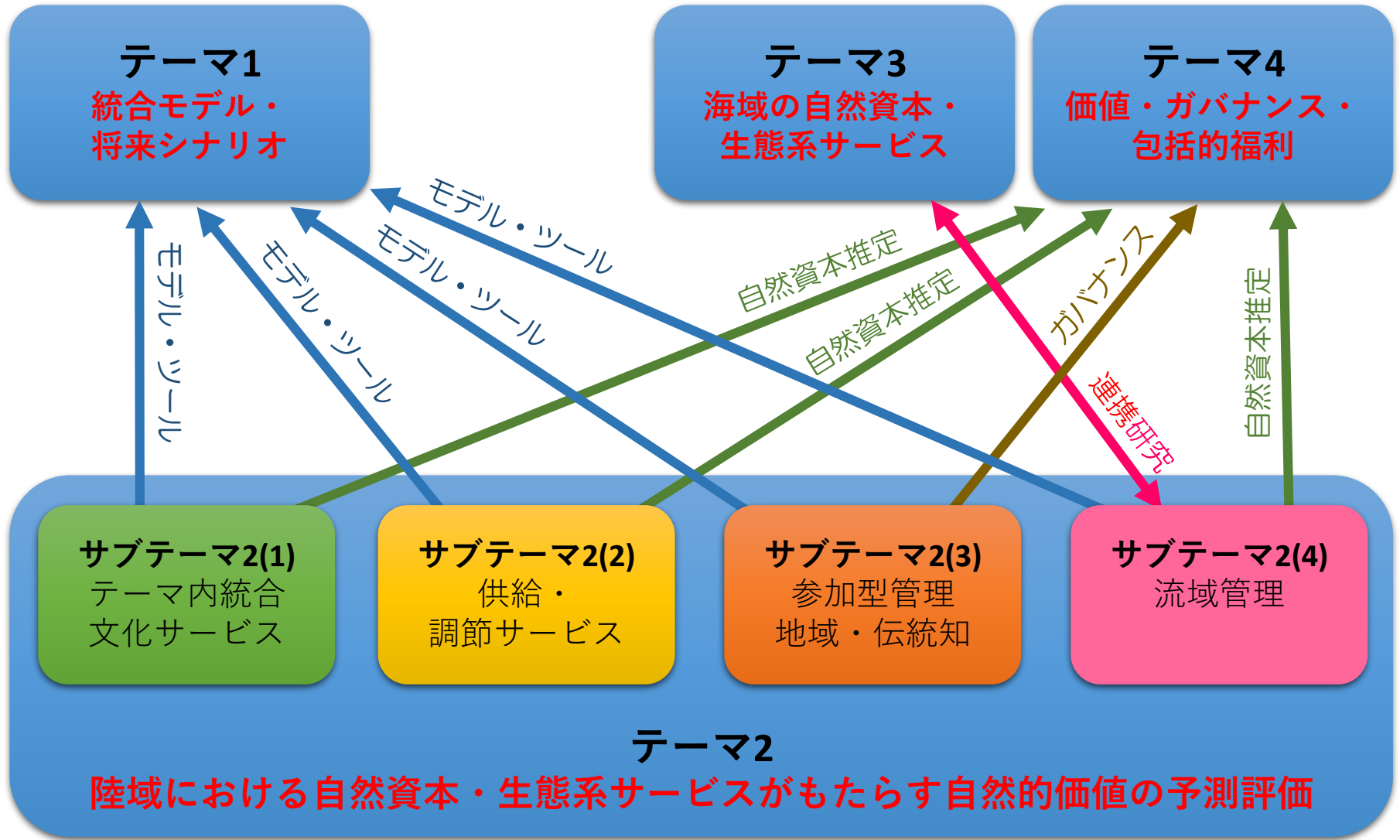
成果目標：

既存の研究蓄積を活用して、陸域における生態系サービスの定量化地理情報化や、それらの変化要因（直接、間接）の分析手法、自然資本としての評価手法を開発する。また、文化的サービス（食文化、レクリエーション、環境教育等）の定量化・地理情報化や参加型生態系管理と伝統知の果たす役割の検討を行うとともに、テーマ3と共同で、陸域と海域の相互作用を解明する。検討結果に基づき、テーマ1で構築予定の将来シナリオ毎の展開が可能なモデル化に向けたサブモデルおよびツール開発を行う。

サブテーマ構成

- 2-1. 生態系の文化的サービスの評価および多面的な自然資本・生態系サービスの統合
- 2-2. 陸域生態系の供給・調整サービスの定量化と予測
- 2-3 自然資本・生態系サービス管理における参加型管理オプションと伝統・地域知の評価
- 2-4. 流域・河川生態系における自然資本・生態系サービス評価と沿岸域へのつながり

テーマ・サブテーマ間の協力関係



サブテーマ2(1) 生態系の文化的サービスの評価および 多面的な自然資本・生態系サービスの統合



研究目的・目標

研究・評価の遅れている**文化的サービス**(食文化、レクリエーション、伝統行事・祭事等)の定量化・地理情報化に取り組む。またその**変化要因(直接、間接)の分析手法、自然資本としての評価手法**を開発する。さらに他のサブテーマと共同して、将来シナリオ下で予期される生態系サービスの**変化について評価を行う**。また、生態系サービス間の**関係の解析を行い、生態系サービスの多面性の評価手法を開発する**。

研究開発内容

- **ウェブ情報、アンケート調査、モバイル空間統計等**を活用した**文化的サービスの定量化・地理情報化**
- **文化的サービスと様々な自然・社会環境の関係の機械学習によるモデル化と生態系要素の重要性の解明**
- テーマ1で開発されたシナリオと機械学習モデルを組み合わせた**文化的サービスのシナリオ分析**
- 他のサブテーマと共同した、多様な**生態系サービス間の関係(シナジー/トレードオフ、生態系サービスバンドル)の解析**

文化的サービスのモデル化

レクリエーションサービスとしての登山記録数

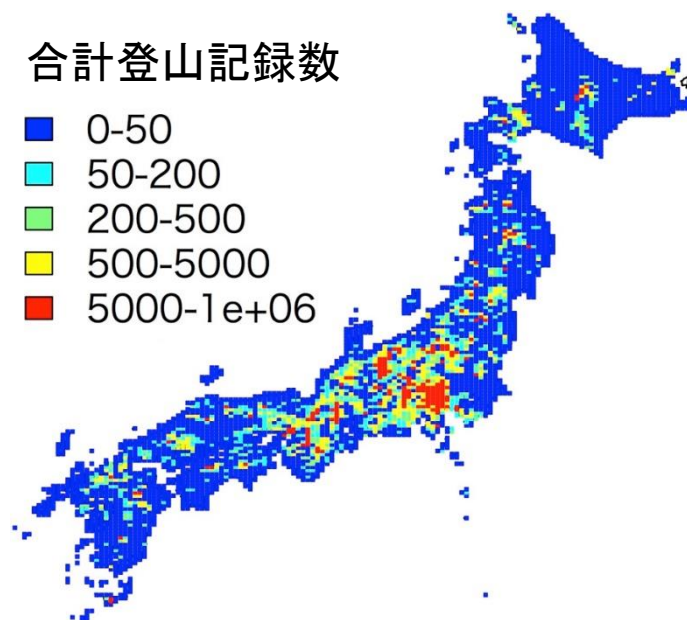
標高、気候などの物理環境に加えて、植生の量や質などの生態系要素、周辺人口や交通アクセス等の社会環境が複雑に影響

レクリエーションサービスとしてのキャンプ場立地確率

大きな空間スケールでは周辺人口や交通アクセス等の社会環境が、小さな空間スケールでは自然林率等の自然環境が重要

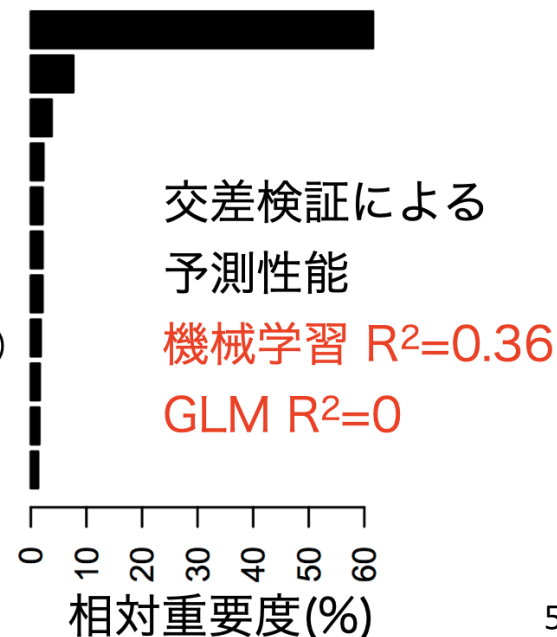
中学校の野外学習におけるトラベルコスト

目的地の自然環境だけでなく、出発地の学校周辺の自然環境もトラベルコストに影響



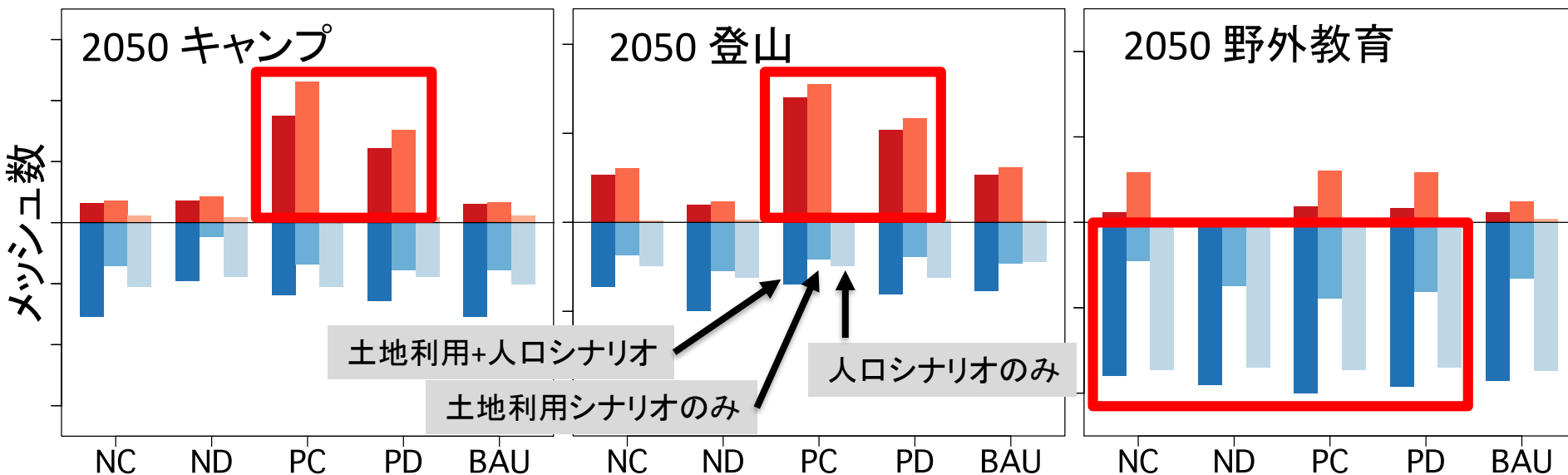
(Aiba et al. 2018 Sustainability Science)

- 最大標高(10km)
- 年降水量
- 人口密度(50km)
- 文化的観光資源(50km)
- 最大標高(50km)
- 最大積雪深
- 人口密度(30km)
- 文化的観光資源(100km)
- 最低標高(10km)
- 原生林率(10km)
- 最低標高(100km)



文化的サービスのシナリオ分析

- 3つの文化的サービスについて、メッシュごとの増減を集計
- 土地利用と人口の重要性を比較



NC:自然資本・コンパクト型
 ND:自然資本・分散型
 PC:人工資本・コンパクト型
 PD:人工資本・分散型

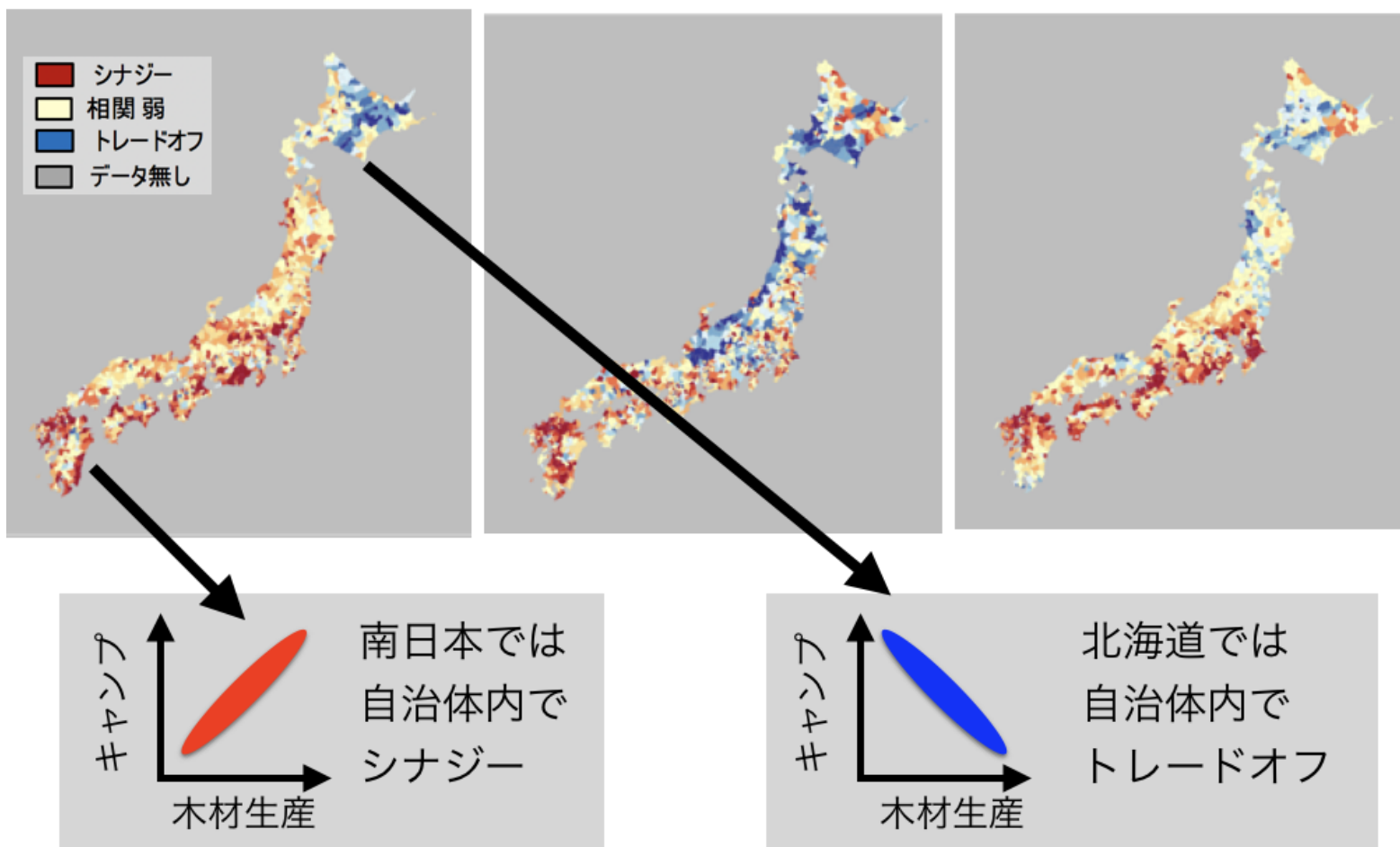
- 土地利用の影響のシナリオ間差は大きく、特に人工資本シナリオにおけるキャンプ・登山サービスの増加が大きい
- 人口の影響のシナリオ間差は小さく、シナリオに関わらず人口減少によるサービスの減少が大きい(特に野外学習)

生態系サービス間のシナジー/トレードオフ

木材生産 vs キャンプ

炭素吸収 vs 水質浄化

木材生産 vs 炭素吸収



- 隣接自治体間でも、サービス間関係が逆転することが珍しくない。
- 不用意に単一のサービスに特化した施策は、サービス多面性を損なう。
- サービス間の関係に応じて、自治体ごとに異なる施策が必要。

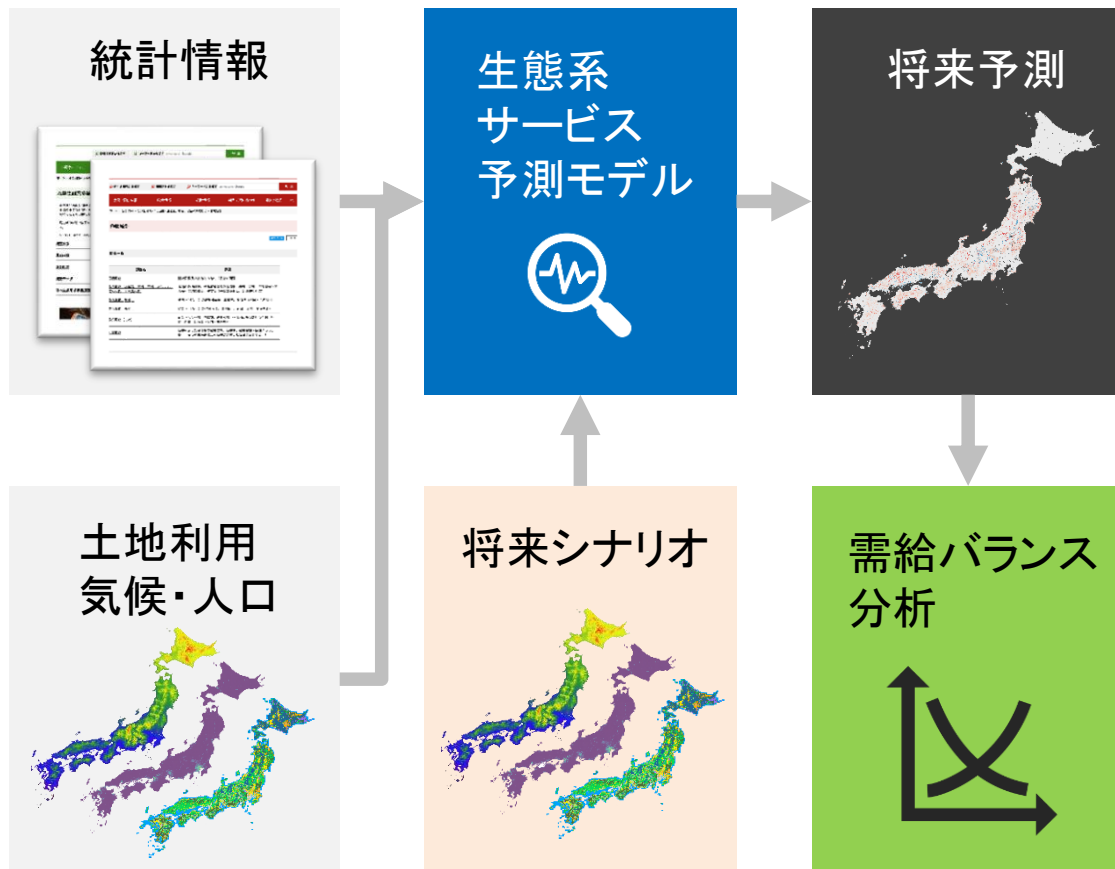
サブテーマ2(2) 陸域生態系の供給・調整サービスの定量化と予測

研究の目的と目標

陸域の自然資本や生態系サービスがもたらす自然的価値の予測評価のため、**陸域生態系の供給・調整サービスを定量化し、その空間的差異をもたらす要因**を明らかにする。得られた知見を元に供給・調整サービスをモデル化し、さまざまな**将来シナリオ**の自然的・社会的条件に応じた変化を**全国レベルで予測**する。

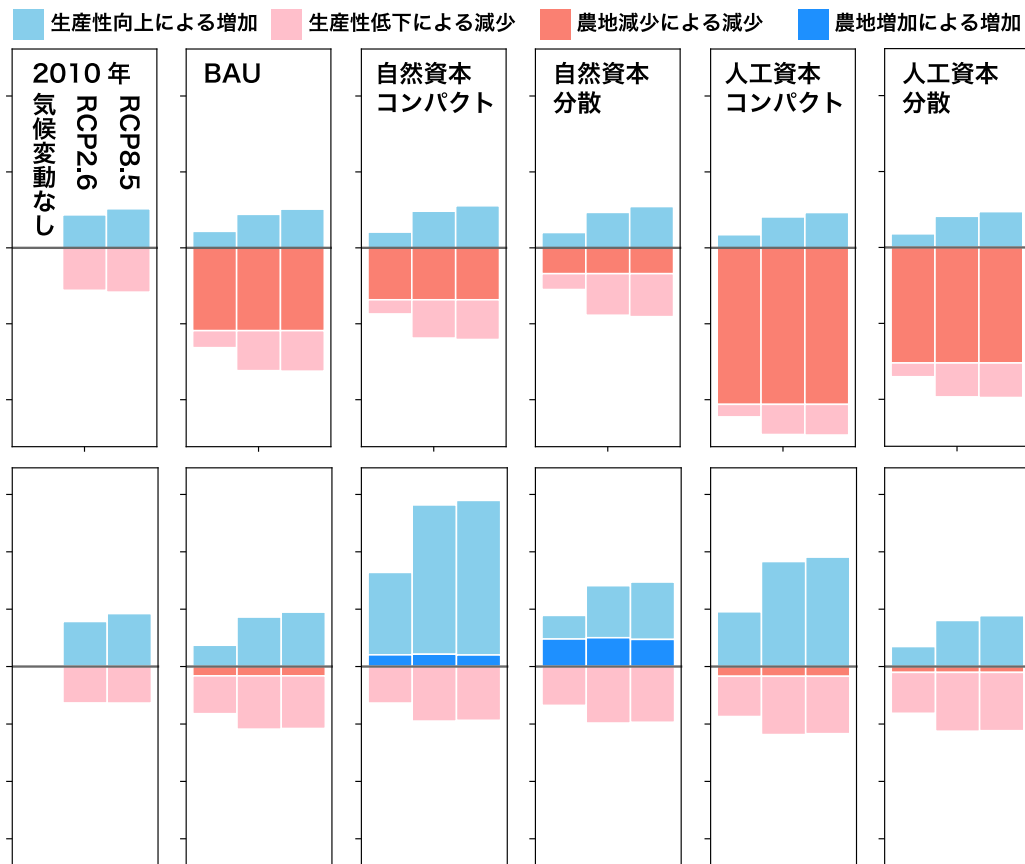
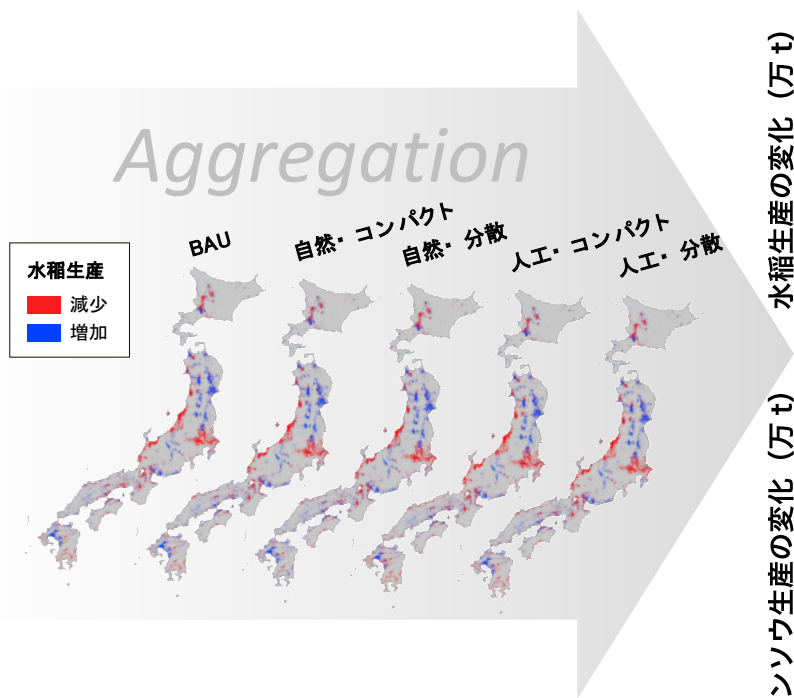
研究内容

- **農作物供給サービス**(コメ・ほうれんそう)・**木材供給サービス**(スギ・ヒノキ)・**調整サービス**(水質)を土地利用・気候・人口分布で説明する**機械学習モデル**を作成(1(2), 2(1), 2(4)と協力)。
- 現在および**PANCESシナリオ**条件下での供給・調整サービスの空間分布を地理情報化し、**将来のサービス変化や変化をもたらす要因を解析**(2(1)と協力)。
- PANCES将来シナリオ条件下での**供給サービスの需給バランスを解析**(1(2)と協力)。



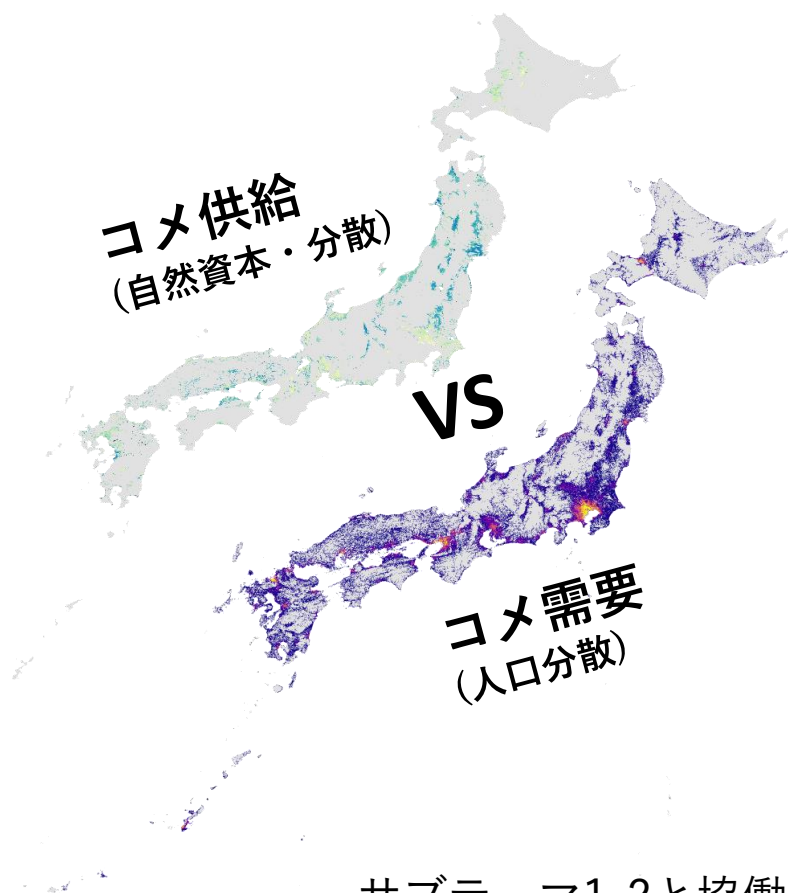
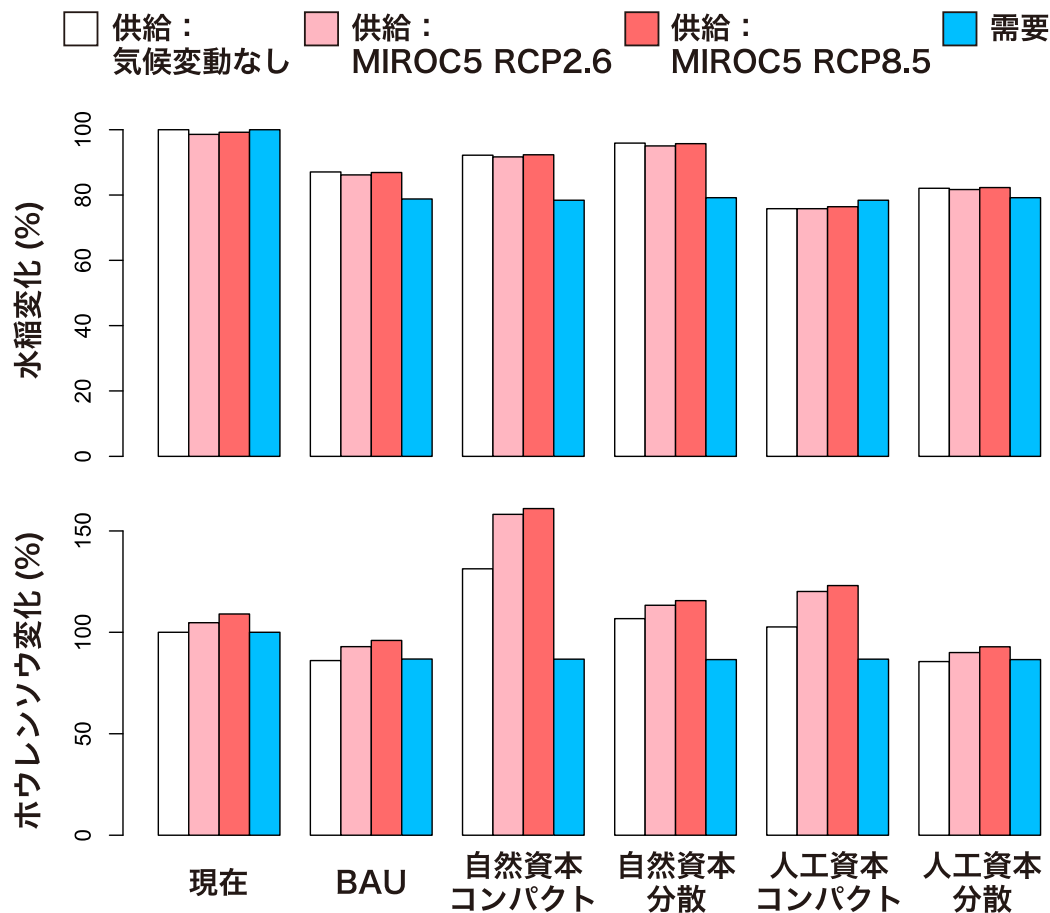
サブテーマ2(2) 農作物供給のシナリオ分析

- 水稲生産はほとんどのシナリオで主に耕作放棄によって減少。気候変動や人口分布変化による生産性の変化の影響は小さい。
- 一方、ほうれんそうの生産への畑地の増減の影響は小さい。気候変動などによる生産性の変化の影響が大きい。
- → 作物によってサービス変化を起こす要因が異なる。

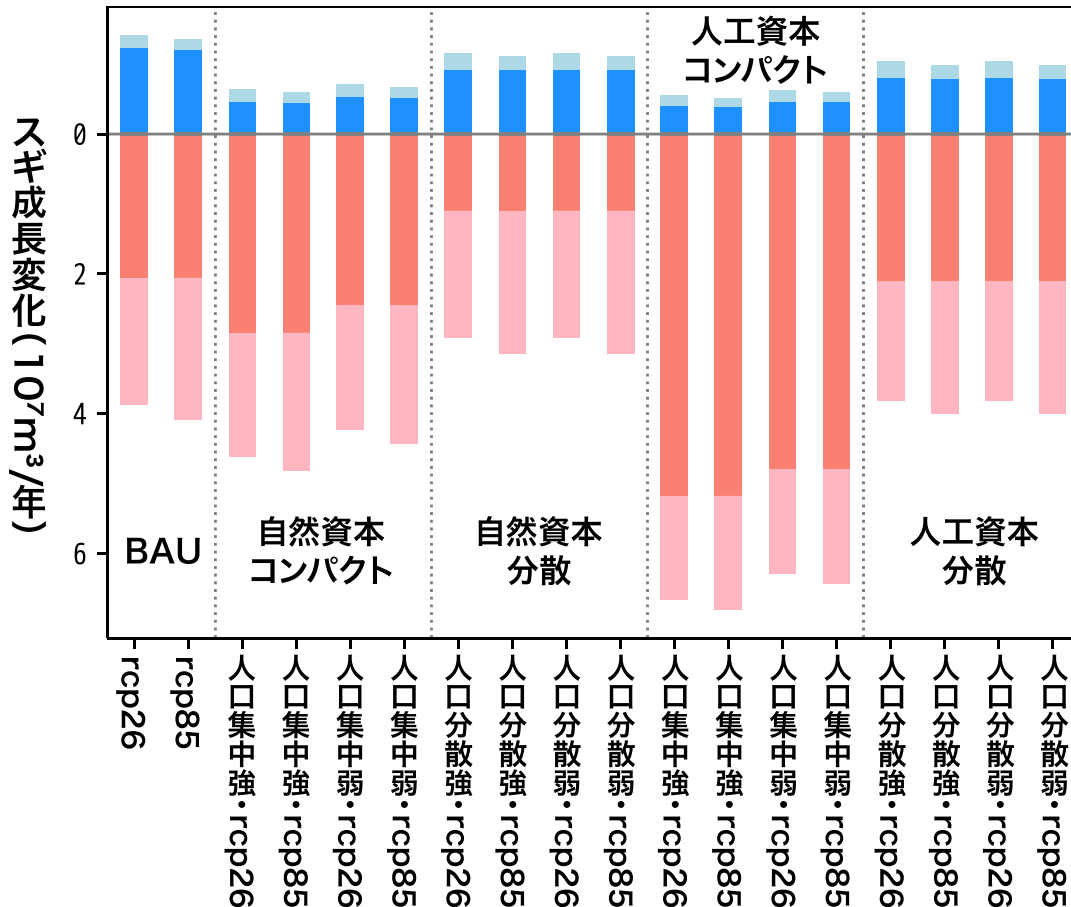


サブテーマ2(2) 農作物需給バランスのシナリオ分析

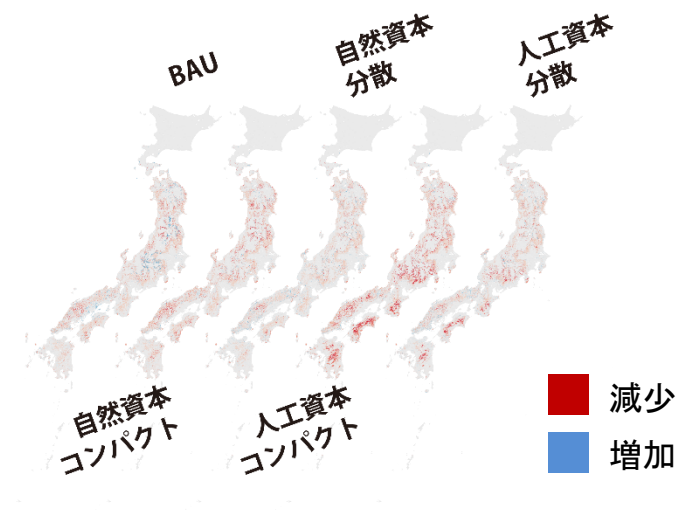
- ほとんどの将来シナリオで需要の減少が供給の減少を上回る。
- ➔ 耕作放棄地を他の土地利用に転換し、農作物生産以外の生態系サービスを向上させるために用いることができる可能性。



サブテーマ2(2) 木材供給のシナリオ分析



- 森林増加による増加
- 森林減少による減少
- 生産性増加による増加
- 生産性減少による減少



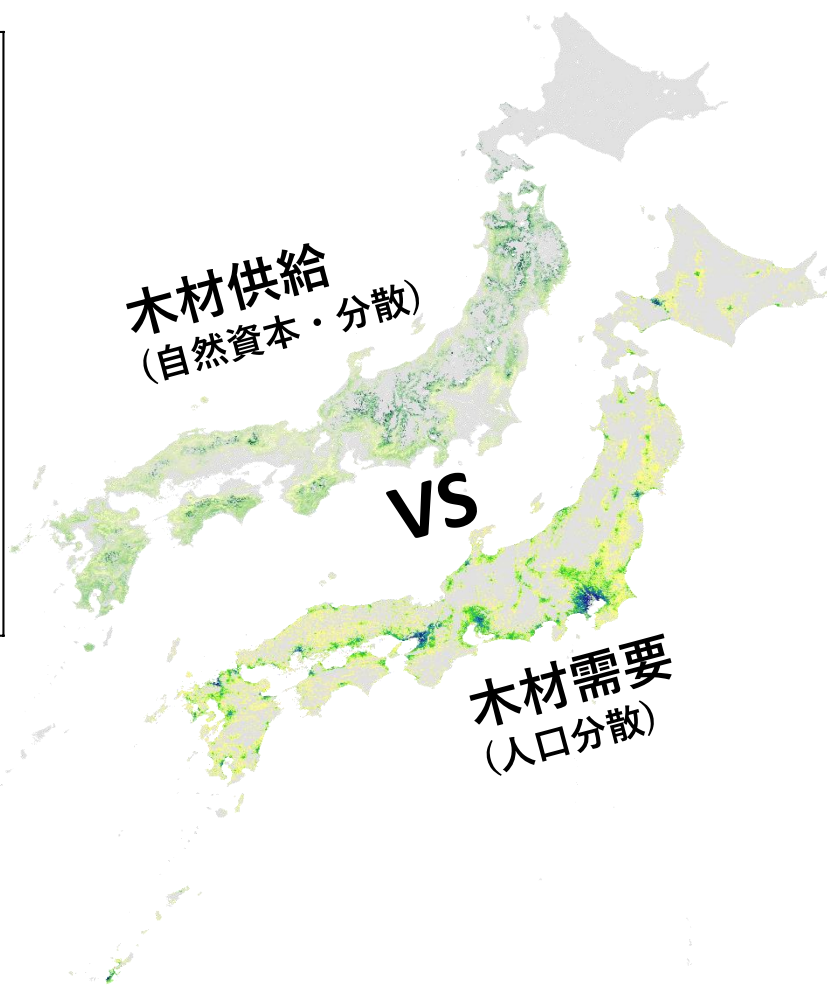
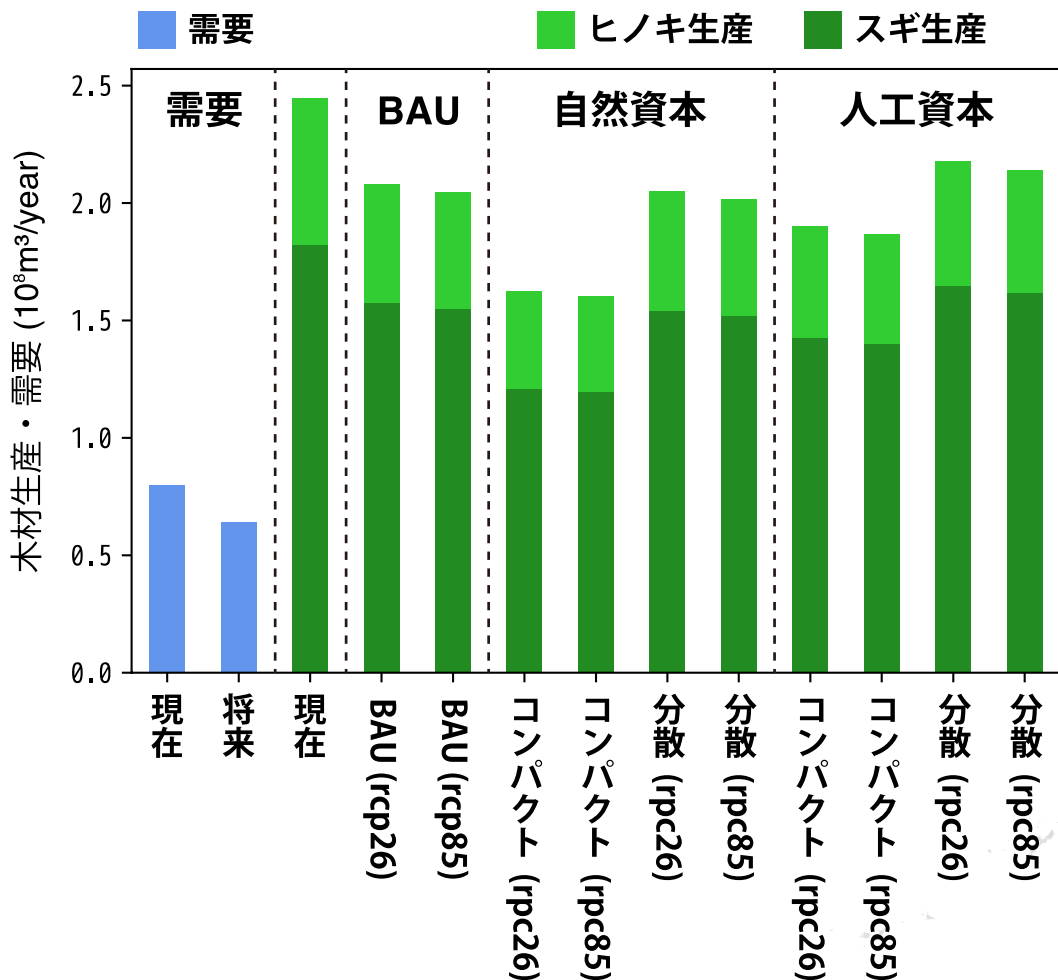
スギ生産変化の空間分布

- 全シナリオでスギ生産（成長量）の減少は増加を上回った。
- 森林減少と生産性減少の相対的重要性はシナリオによって異なっていた。

サブテーマ2(2) 木材需給バランスのシナリオ分析



- 全てのシナリオで木材の生産可能量は需要より多いと予測された。

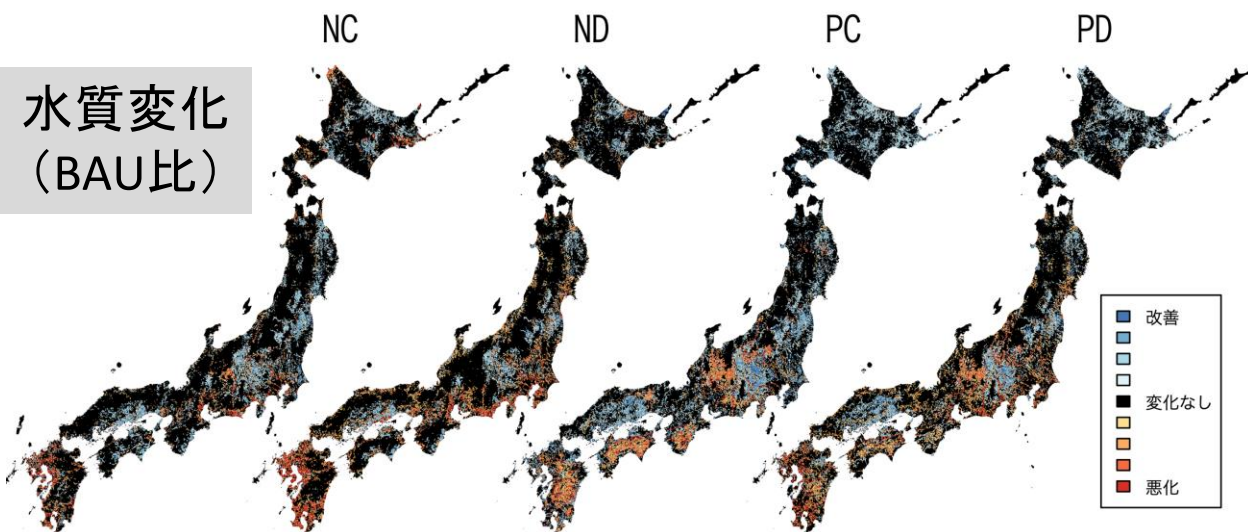


サブテーマ1-2と協働

河川水質のモデル化とシナリオ分析

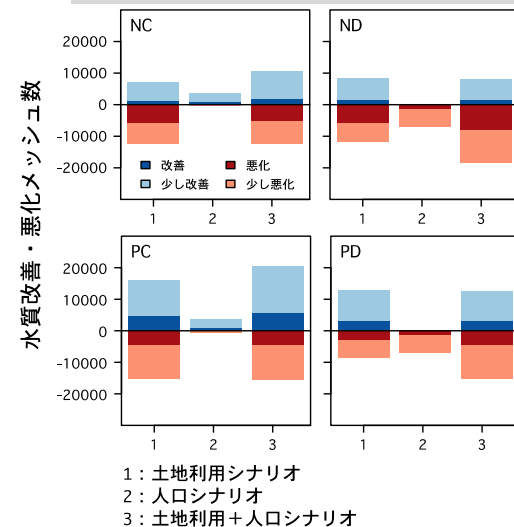
- 河川の水質を様々な自然・社会環境の関数として機械学習でモデル化し、4シナリオのもとでの変化を予測した

水質変化
(BAU比)



NC:自然資本・コンパクト型
ND:自然資本・分散型
PC:人工資本・コンパクト型
PD:人工資本・分散型

水質の改善・悪化メッシュ数
(BAU比)

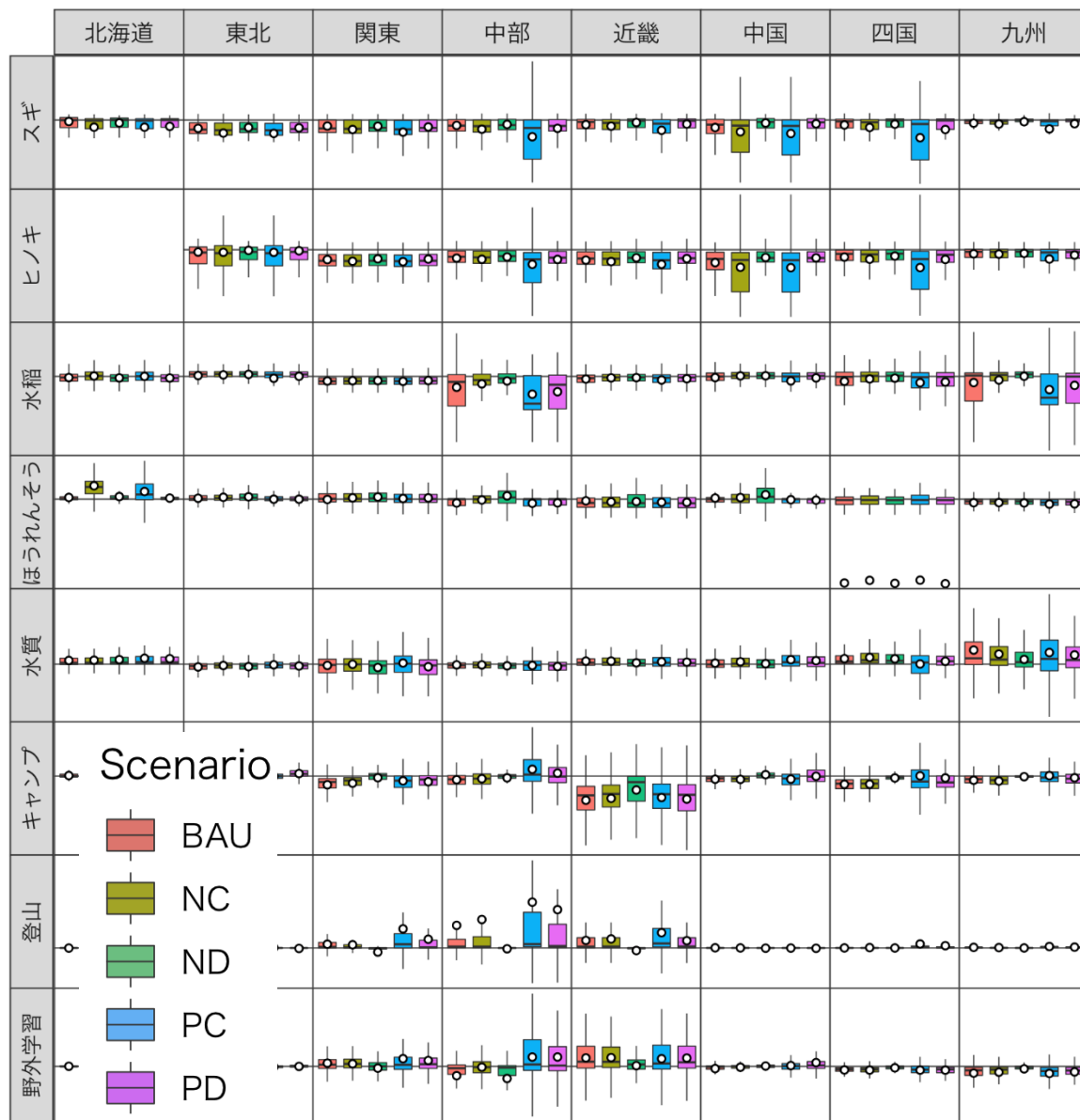


- どのシナリオにおいても、水質の改善・悪化双方の変化が予測されたが、水質変化の空間パターンはシナリオ間で大きく異なる
- 将来の水質悪化を防止するためには、地域ごとの人口・土地利用動態に応じた適切な対応が不可欠

陸域の生態系サービスシナリオ分析まとめ

地域

サービス



- 全国的な人口減少の結果、いずれのシナリオでも多くのサービスの減少が予測されたが、ほとんどのケースで人口あたりのサービス量は減少しないことが予測された(結果割愛).
- サービスの変化量は地域間で大きく異なった。
- 人工資本・人工集中シナリオでは、しばしば地域内の変化のばらつきが非常に大きいことが予測された。
- 水稲の収量や文化的サービスでは、自然資本/人工資本の違いが重要なのにに対し、木材生産ポテンシャルでは、人口分散/人口集中の違いが重要であった

サブテーマ2(3) 参加型管理オプションと伝統・地域知の評価



研究の目的と目標

地域の生態系管理における**参加型管理オプションと伝統知・地域知活用の現状**を評価するとともに、それらが**地域の社会-生態系に与える影響**を明らかにする。また、**伝統知・地域知の時系列変化や伝承経路の課題**について評価する。これらの研究成果を、行政担当者などと連携しつつ、政策提言などにまとめて公表する。

研究内容

- **生物多様性地域戦略と聞き書き甲子園**を用いて、生態系管理の事例収集を全国スケールで行い、データベースを整備
- 収集した**事例のメタ分析**により、**多様な主体の参加と伝統知・地域地活用の効果**やそれらに**影響する要因**を評価
- 伝統知・地域知の**世代間変化**や**伝承経路の変化**について、**共通地域サイト**などでアンケート調査により評価

生物多様性地域戦略(70市区町村)



S15合同アンケート調査の実施⇨
一次集計結果の公開



聞き書き甲子園(森の名人1,168人の知識)



植物資源利用の希少な知識が、数多く見られた

植物(405分類群, 利用頻度のランク順)



サブテーマ2(3) 参加型管理オプションと伝統・地域知の評価

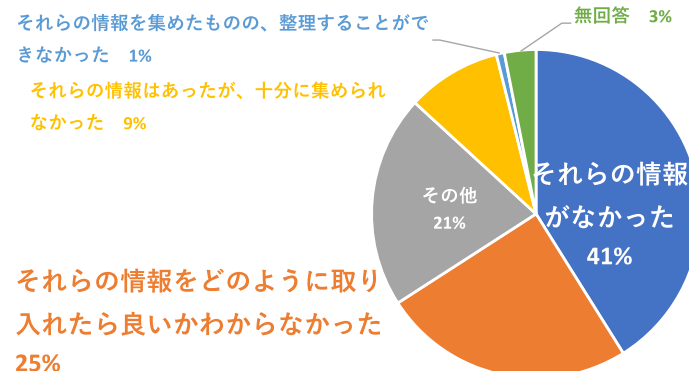
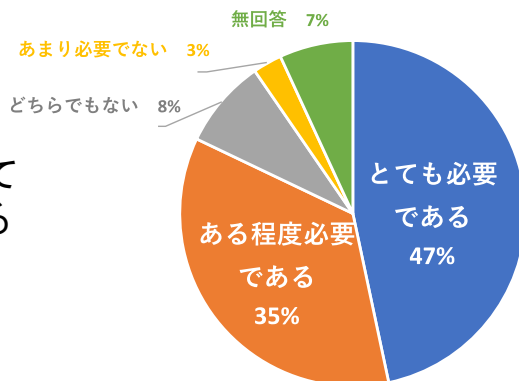


- 生物多様性地域戦略における**伝統知・地域知の重要性は高く認識されているものの、実際の活用には至っていない**現状が明らかになった
- 情報収集や活用方法の検討に課題 ⇒ **ポリシーブリーフ**で提言

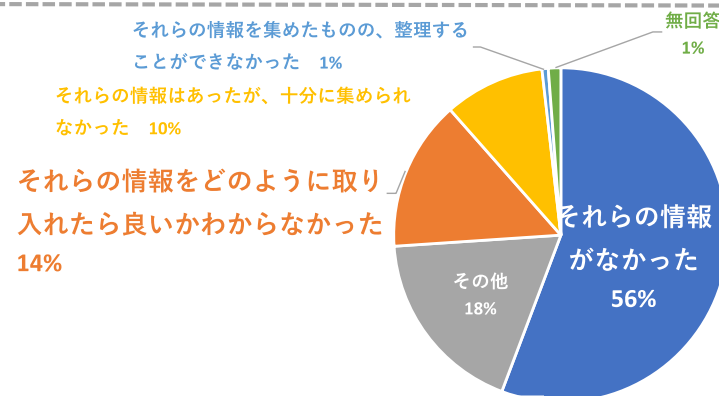
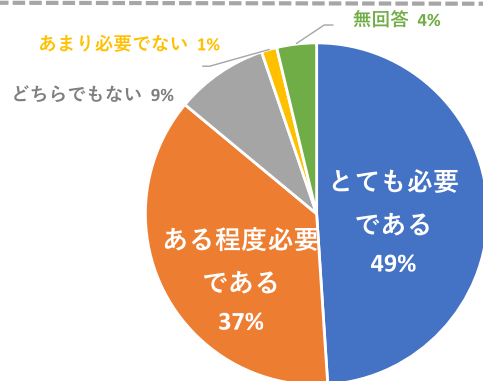
地域戦略に取り入れる重要性

活用できていない理由

伝統知
(世代を超えて受け継がれる知識や技術)



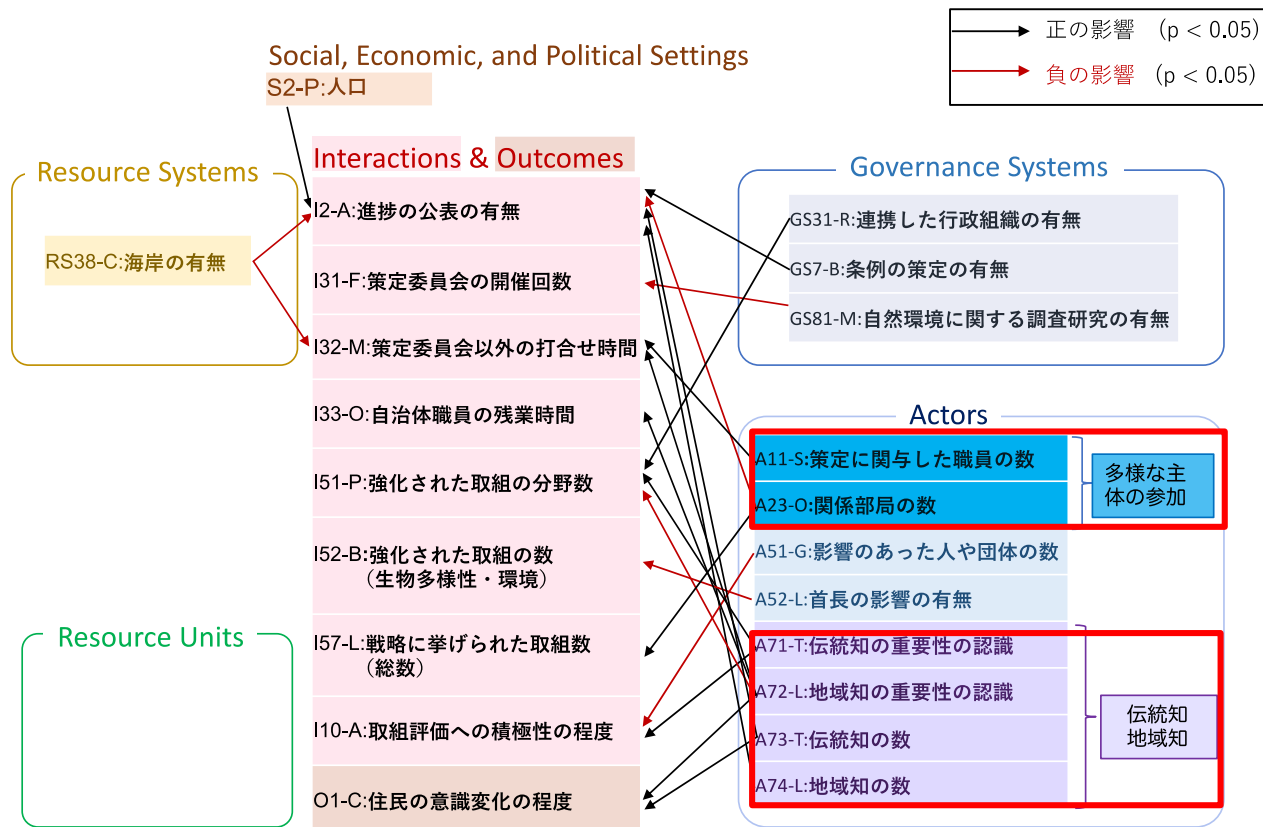
地域知
(地域に特有の知識や技術)



サブテーマ2(3) 参加型管理オプションと伝統・地域知の評価



- 生物多様性地域戦略のメタ分析により、多様な主体の参加と伝統知・地域知活用に影響する社会-生態的要因、および、多様な主体の参加と伝統知・地域知活用が与える生物多様性地域戦略の策定や取組みへの効果が明らかになった



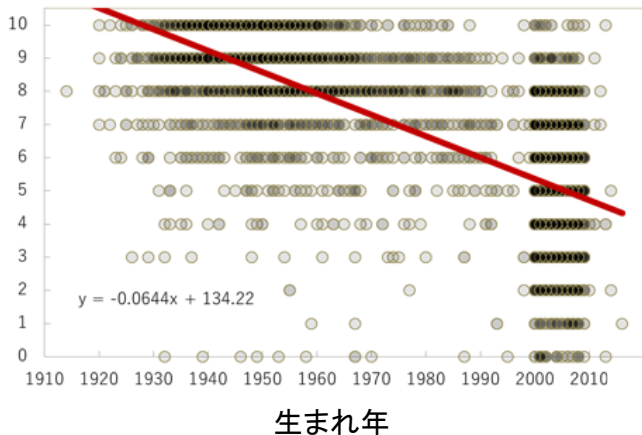
生物多様性地域戦略に関わる活動や取組みに対する効果
(Ostromらの分析枠組みを利用した分析結果)

サブテーマ2(3) 参加型管理オプションと伝統・地域知の評価

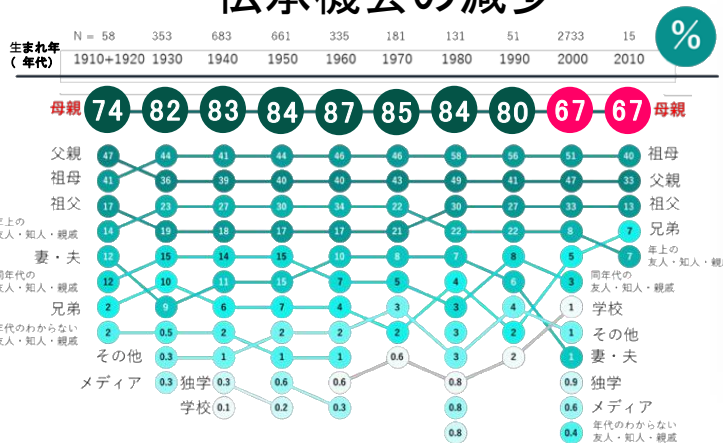
- 佐渡の海藻利用文化や石川県の伝統食文化などが、世代を経るごとに衰退している傾向が明らかになった
- 伝統知・地域知の**伝承に課題** ⇒ リーフレットやポリシーブリーフで提言

佐渡の海藻利用文化

食利用経験のある海藻種数

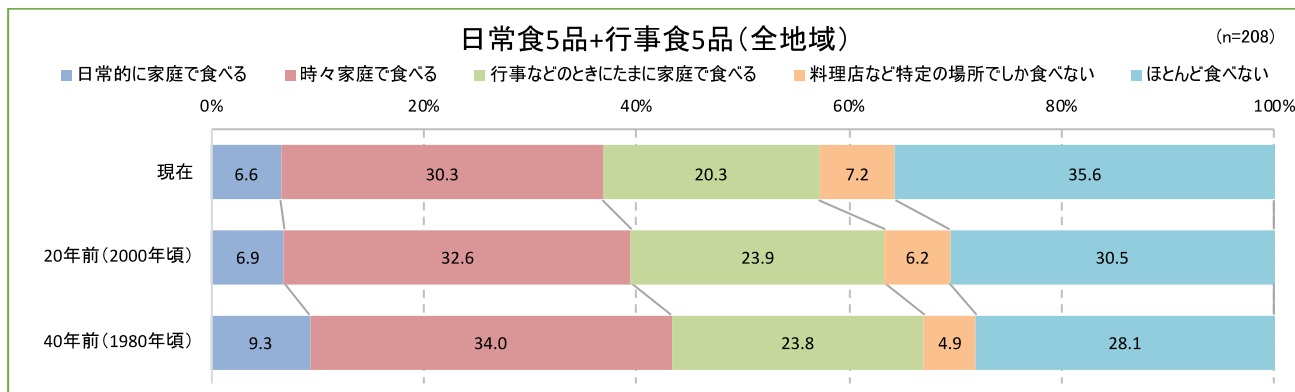


伝承機会の減少



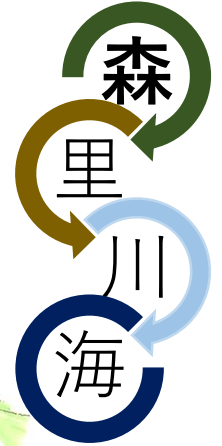
地域の小学校授業でも活用

石川県の伝統食文化



研究の目的と目標

流域の**自然資本**や**生態系サービス**による**自然的価値**を現地調査、モデル解析など多角的な手法を用いて評価し、**気候変動**や**土地利用変化の影響**を解析する。また、**流域河川**における人為改変が**自然資本**、**生態系サービス**に及ぼす影響を解明する。さらに、**流域・河川生態系と沿岸域の連結性**について、沿岸への物質フローが沿岸生態系、生態系サービスに及ぼす影響を調べ、**森川里海の相互関係**を解明する。



研究開発内容

・森林生態系の炭素貯留サービスの評価

大規模風倒攪乱地での現地調査、**生態系プロセスモデル予測**
風倒後管理に関わるライフサイクルアセスメント

・農地生態系から河川への栄養塩循環の評価

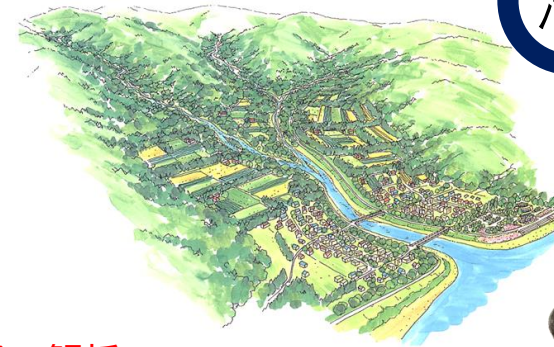
農地窒素収支：農家への聞き取り調査（施肥管理、営農状況など）
河川近傍の河畔域における**土壌微生物群集調査**、**脱窒等機能遺伝子の解析**

・河川生態系の自然資本・生態系サービスと生物指標（**3(2)**と連携）

森川里海の連結性を示す生物指標としてサクラマス・カワシンジュガイの現地調査
拠点流域における魚類および**環境要因の調査**・**構造方程式モデリング**を用いた要因解析

・陸域の自然資本・生態系サービス、沿岸域への連結性に及ぼす影響（**1(2), 2(1), 2(2), 3(2)**と連携）

北海道東部に位置する**別寒辺牛川流域**を拠点とした現地調査およびモデル解析
人口分布・土地利用変化の将来シナリオを設定し、**自然資本・生態系サービスの将来予測**。
森川里海連結性の生物指標である**コガタカワシンジュガイの稚貝の生残率推定モデル**による検討
全国スケールでの集水域から沿岸への窒素栄養塩流出濃度の推定と沿岸域への影響評価

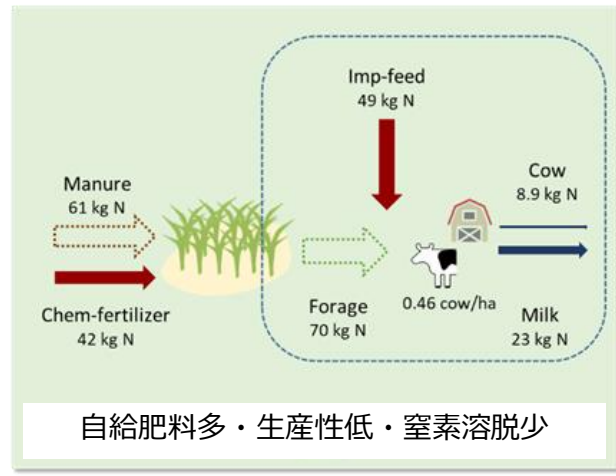
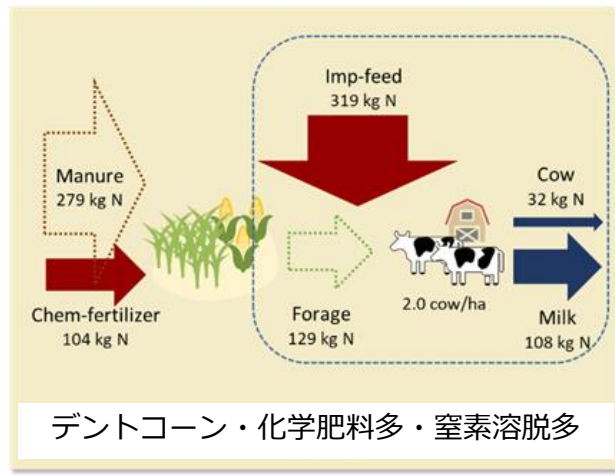


サブテーマ2(4)

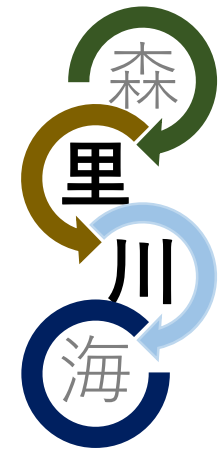
陸域の自然資本・生態系サービス、沿岸域への連結性に及ぼす影響の予測



酪農地での営農法による窒素循環・収支の比較 (kgN/ha/year)

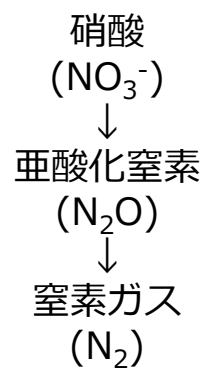
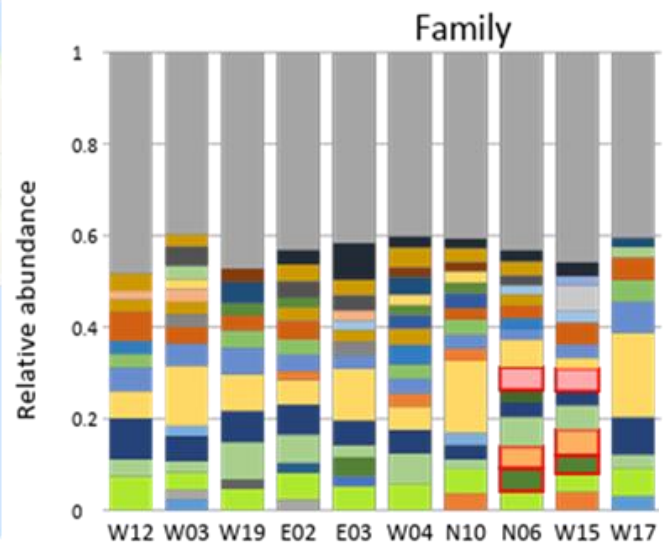
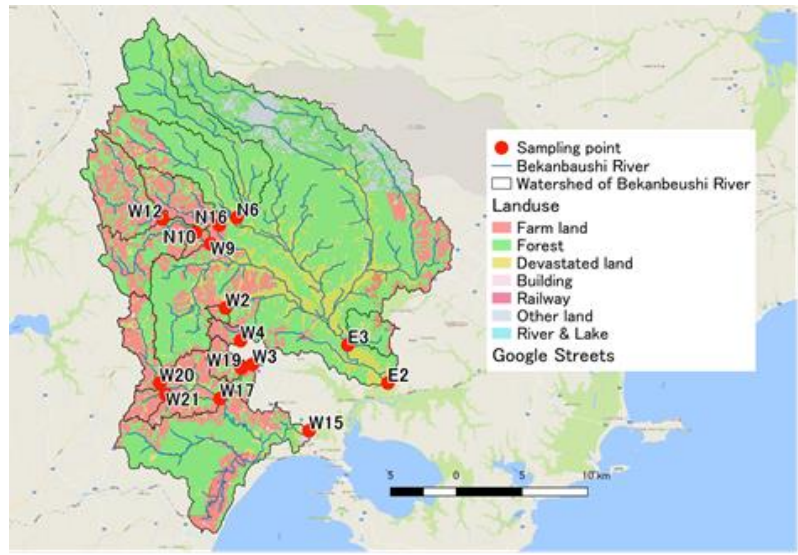


土地利用
(営農法) 変化
↓
窒素循環変化
↓
河川への栄養塩
流出変化



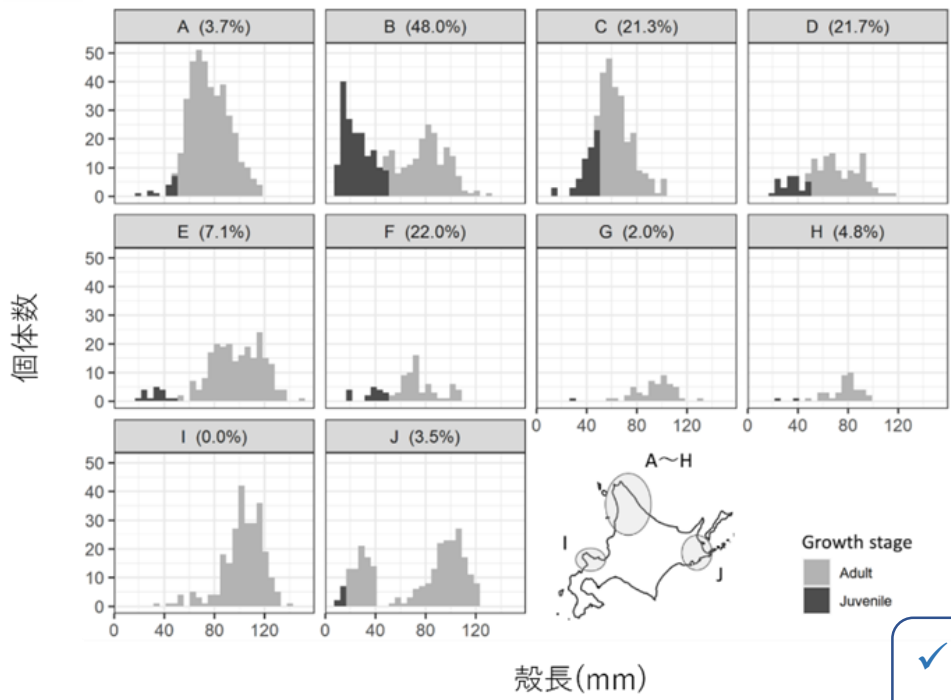
河畔域における土壤微生物群集 | 窒素除去機能

✓ Methanobacteriaceae, Nitrososphaeraceae
による脱窒ホットスポットの検出



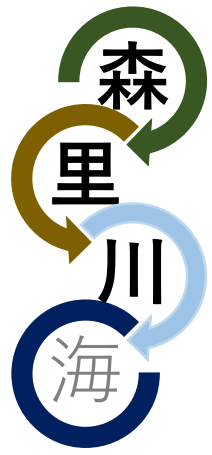
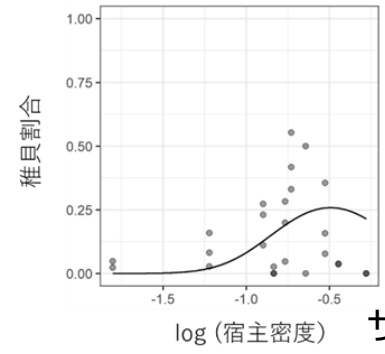
サブテーマ2(4)

陸域の自然資本・生態系サービス、沿岸域への連結性に及ぼす影響の予測



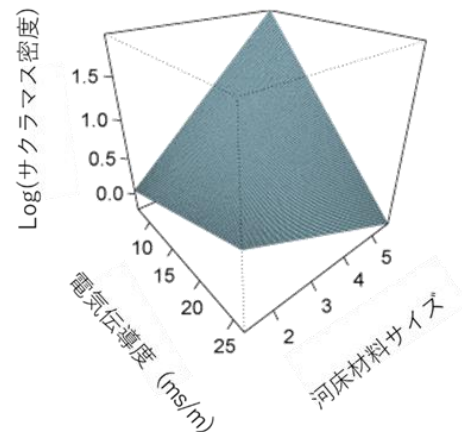
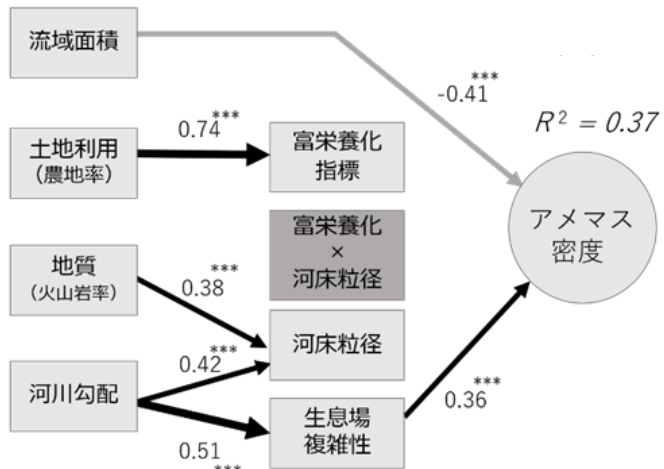
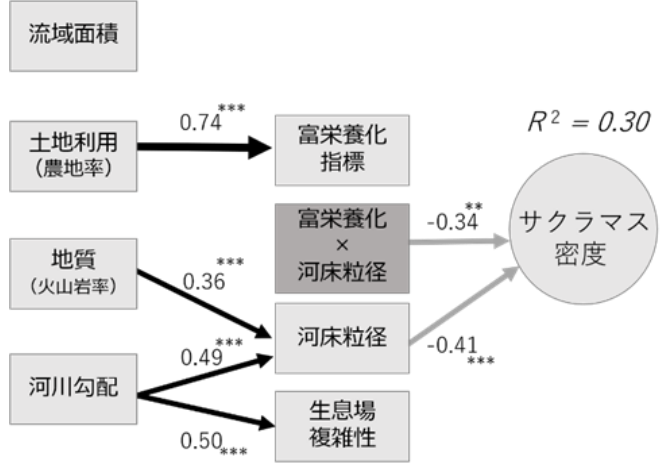
連結性の生物指標である カワシジユガイの殻長頻度分布

黒色：稚貝（10歳以下）
灰色：成貝



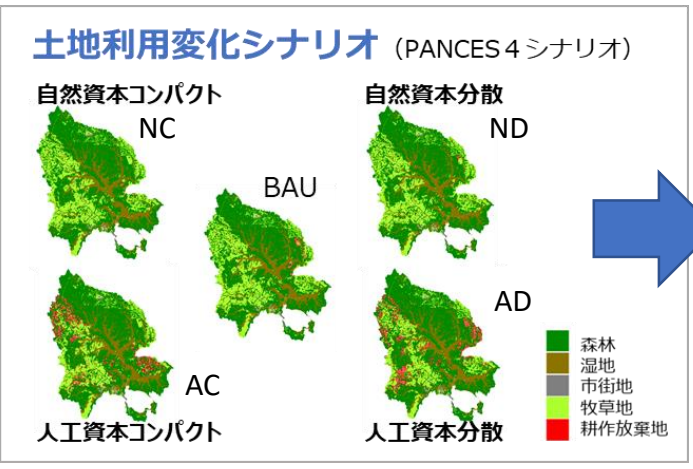
✓ 土地利用、河川水質、河川の物理環境の変化が
宿主密度、カワシジユガイ密度に強く影響

宿主変動の要因パス解析

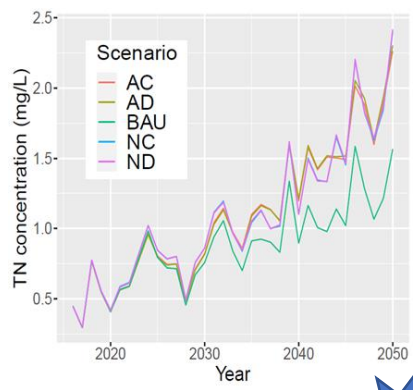


サブテーマ2(4)

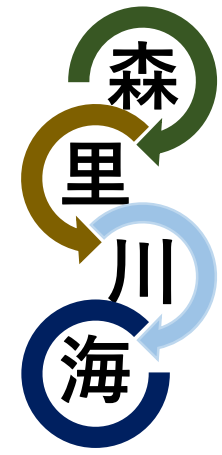
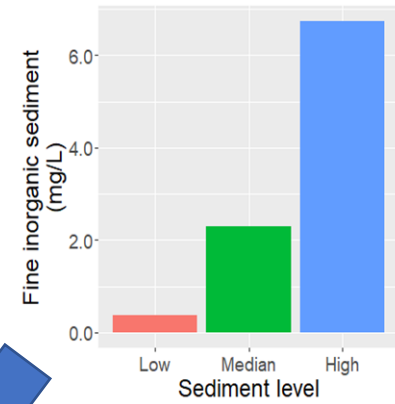
陸域の自然資本・生態系サービス、沿岸域への連結性に及ぼす影響の予測



栄養塩流出モデル

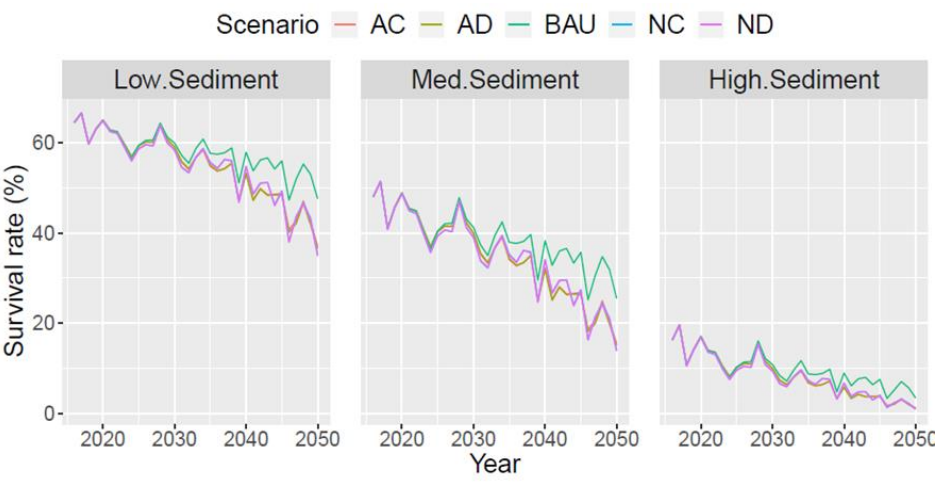


土砂流出モデル



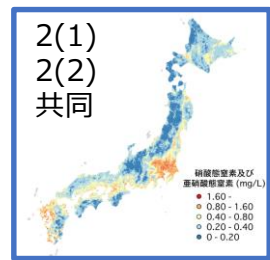
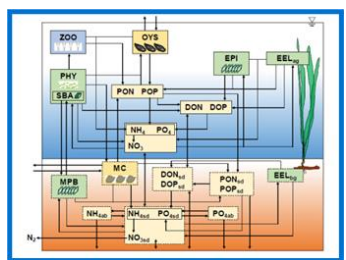
カワシジユガイ生残率への栄養塩と土砂濃度の影響予測

カワシジユガイ生残率



✓ 流域からの栄養塩流出や土砂流出、河川構造の変化が、連結性の生物指標であるカワシジユガイの生残に強く影響する

沿岸域へのつながり・全国評価 (サブテーマ3-2と共同)



土地利用変化と栄養塩・土砂濃度別シミュレーション

◆ 国際レベルの貢献

- 2016年の**CBD COP13**では、プレナリーで成果を活用して講演した、また送粉サービスに関する成果が日本政府により活用された。
- **IPBES Regional Assessment Report** にはこのテーマの関係者が3名リードオーサーとして参加し、プロジェクトの成果を反映した。また、2016年の**シナリオワークショップ**でこのプロジェクトにおける分析を紹介した。
- SI-CATなどとの共同研究で行った竹林の分布拡大の将来予測は**IPCC AR6** 報告書ドラフトに引用される予定である。

◆ 国・地方レベルでの貢献

- 2021年に公開された**生物多様性総合評価 (JBO3)**において、その検討委員会に、当テーマから2名が委員として参加し、複数の研究成果が活用されている。
- **次期生物多様性国家戦略** (2021年策定予定)の研究会に、当テーマから2名が委員として参加し、成果をインプットした。
- **北海道の環境審議会**で風倒の森林影響に関する結果が紹介され、答申に貢献した。
- 海藻利用文化に関する結果が**佐渡市の小学校の授業**で活用された。
- シナリオ分析によって予測された生態系サービスの動向、森里川海の連結性評価や生物指標については、**地域・自治体レベルの産業・土地利用、自然公園などの計画**などに活用可能である。
- **生物多様性地域戦略**の分析は自治体での策定や主流化に貢献する。
- 成果全体は、**地域循環共生圏**の設計や具体的手法として活用できる。

研究目標の達成状況

テーマ・サブテーマ	自己評価	目標との対応
テーマ全体	目標を上回る成果をあげた	効果的な連携により、目標通りの成果を上げたことに加え、困難な対象に新しい手法を導入したことや、全国レベル・地域自治体レベルでの適用可能な予測・計画技術を開発できた。
サブテーマ2(1): 生態系の文化的サービスの評価および多面的な自然資本・生態系サービスの統合	目標を上回る成果をあげた	文化的サービスに関しては、これまで定量的評価が難しいと言われており困難度が高かったが、 新たな手法を導入することで予想を超える成果 をあげた。また、他の課題と効果的な連携を行い、分野融合的な成果をあげた。
サブテーマ2(2): 陸域生態系の供給・調整サービスの定量化と予測	目標を上回る成果をあげた	目標通り、供給・調整サービスの予測モデルを作成し、PANCESシナリオ条件下での将来予測を行った。さらに、他の課題と協力して、 計画になかったディスプレイサービスの評価や耕作放棄地の森林転換シナリオの作成 を行い、成果の一部はScience誌に掲載された。
サブテーマ2(3): 自然資本・生態系サービスにおける参加型管理オプションと伝統・地域知の評価	目標どおりの成果をあげた	生態系管理事例のメタ分析により、多様な主体の参加や伝統・地域知の重要性を明らかにした。また、伝統知・地域知の減少や伝承経路の変容を示した。これらの研究成果をもとに、生態系管理や知識伝承に関する政策提言を行なった。
サブテーマ2(4): 陸域の自然資本・生態系サービス、沿岸域への連結性に及ぼす影響の予測	目標を上回る成果をあげた	目標通り、気候変動・土地利用変動下における自然資本・生態系サービスの変化を解明した。また、陸域と沿岸の相互作用に関する生物指標を開発し、連結性の評価や人為改変の影響を解析した点は、 これまでにない新しいアプローチ である。さらに、 全国レベルでの陸域-海域の相互作用に関しては、当初予定されていなかった成果 である。

10 Key Publications from Theme 2



- 1) Aiba, M., Shibata, R., Oguro, M. & Nakashizuka, T. (2019). The seasonal and scale-dependent associations between vegetation quality and hiking activities as a recreation service. *Sustain Sci*, 14, 119-129.(IF:5.301)
- 2) Oka, C., Aiba, M. & Nakashizuka, T. (2019). Phylogenetic clustering in beneficial attributes of tree species directly linked to provisioning, regulating and cultural ecosystem services. *Ecol Indic*, 96, 477-495.(IF:4.229)
- 3) Tachibata, K., Uchida, K., Aiba, M. & Sasaki, T. (2021). National geographic distribution and number of TV nature programs across the Japanese archipelago. *Ecol Indic*, 121 (IF:4.229)
- 4) Dicks, L.V., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M.d.C., Cunningham, S.A. et al. (2016). Ten policies for pollinators. *Science*, 354, 975-976. (IF: 41.846)
- 5) Oguro, M., Taki, H., Konuma, A., Uno, M. & Nakashizuka, T. (2019). Importance of national or regional specificity in the relationship between pollinator dependence and production stability. *Sustainability Science*, 14, 139–146. (IF: 5.301)
- 6) Ogawa, M., Soga, M. & Yoshida, T. (2021) Participation of diverse actors and usage of traditional and local knowledge in local biodiversity strategies and action plans of Japanese municipalities. *Ecol. Soc.* in press (IF:4.1)
- 7) Okui, K., Sawada, Y. & Yoshida, T (2021) “Wisdom of the elders” or “loss of experience” as a mechanism to explain the decline of traditional ecological knowledge: a case study in Awaji Island, Japan. *Hum. Ecol.* in press (IF:1.6)
- 8) Kumagai, J., Wakamatsu, M., Hashimoto, S., Saito, O., Yoshida, T., Yamakita, Y., Hori, K., Matsui, T., Oguro, M., Aiba, M., Shibata, R., Nakashizuka, T. & Managi, S. (2021) Natural capitals for nature’s contributions to people: the case of Japan. *Sustain. Sci.*, <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00891-x>. (IF:5.3)
- 9) Hotta, W., Morimoto, J., Inoue, T., Suzuki SN., Umebayashi, T., Owari, T. et al. (2020). Recovery and allocation of carbon stocks in boreal forests 64 years after catastrophic windthrow and salvage logging in northern Japan. *For. Ecol. Manage.*, 468, 118169. (IF:3.170)
- 10) Ishiyama, N., Miura, K., Inoue, T., Sueyoshi, M. & Nakamura, F. (2021). Geology - dependent impacts of forest conversion on stream fish diversity. *Conserv. Biol.*, (In press) (IF:5.405)