

推進費S-24 テーマ3

都市域の気候変動リスク評価と適応戦略の解析

真砂佳史（国立環境研究所）

【ST3(1)】 水供給における気候変動リスクと適応戦略の提案と評価
真砂佳史（国立環境研究所）

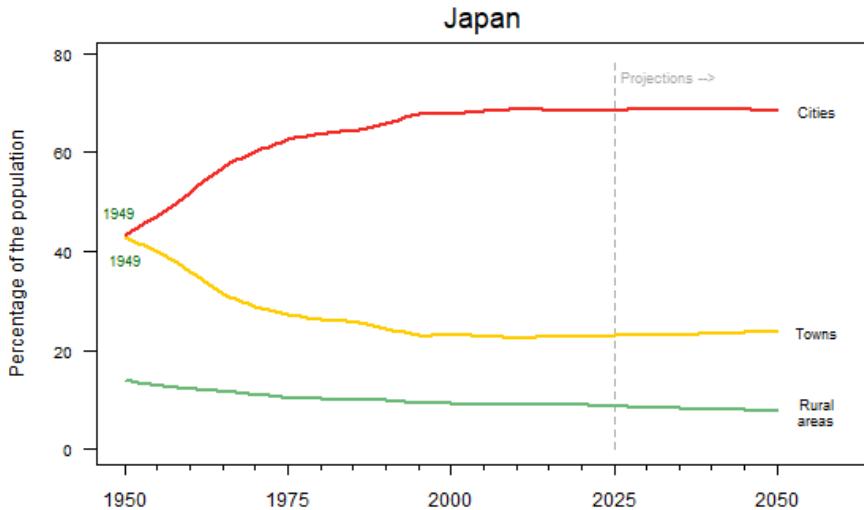
【ST3(2)】 都市の規模に応じた洪水や海面上昇に対する適応戦略の提案と評価
横木裕宗（茨城大学）

【ST3(3)】 都市域熱環境の広域評価と緩和策を含む暑熱リスク低減策の提案と評価
高根雄也（国立環境研究所）

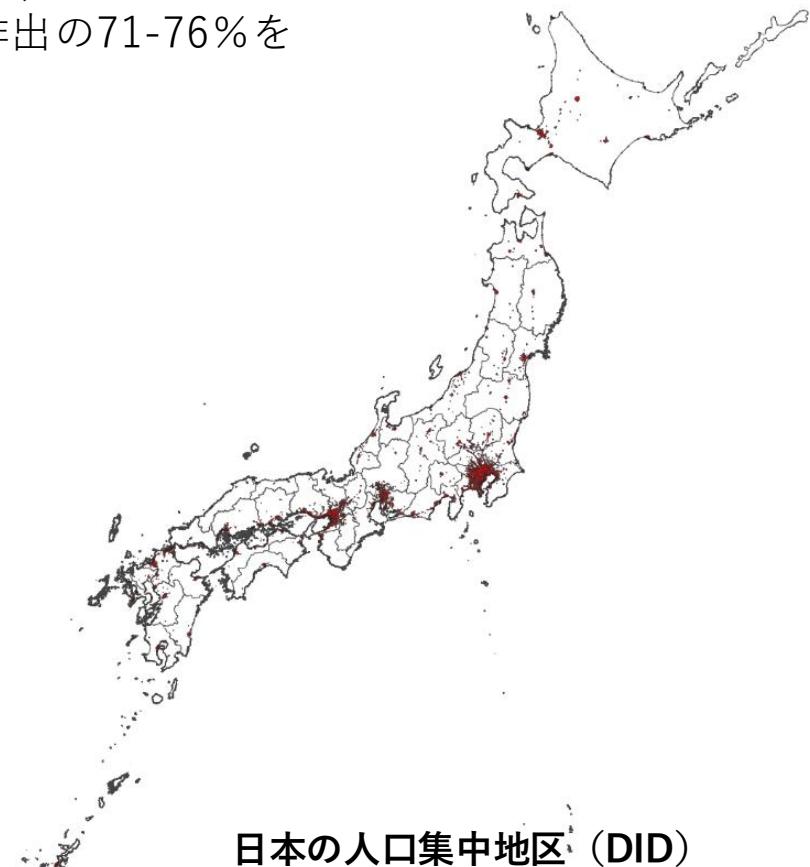
「都市」の特徴と脆弱性

- 限られた地域に多くの人や資本が集中している
 - 日本の人団の70.0%が国土の3.4%（人口集中地区：DID）に住んでいる¹
 - 世界では、陸地の約3%を占める都市²において、エネルギーの67-76%を消費し、最終エネルギー起源CO2排出の71-76%を占める³。

Percentage of population living in cities, towns and rural areas:



© 2025 United Nations, DESA, Population Division. Licensed under Creative Commons license CC BY 3.0 IGO.
United Nations, DESA, Population Division. *World Urbanization Prospects 2025*. <https://population.un.org/wup/>



日本の人口集中地区（DID）

出典：A-PLAT

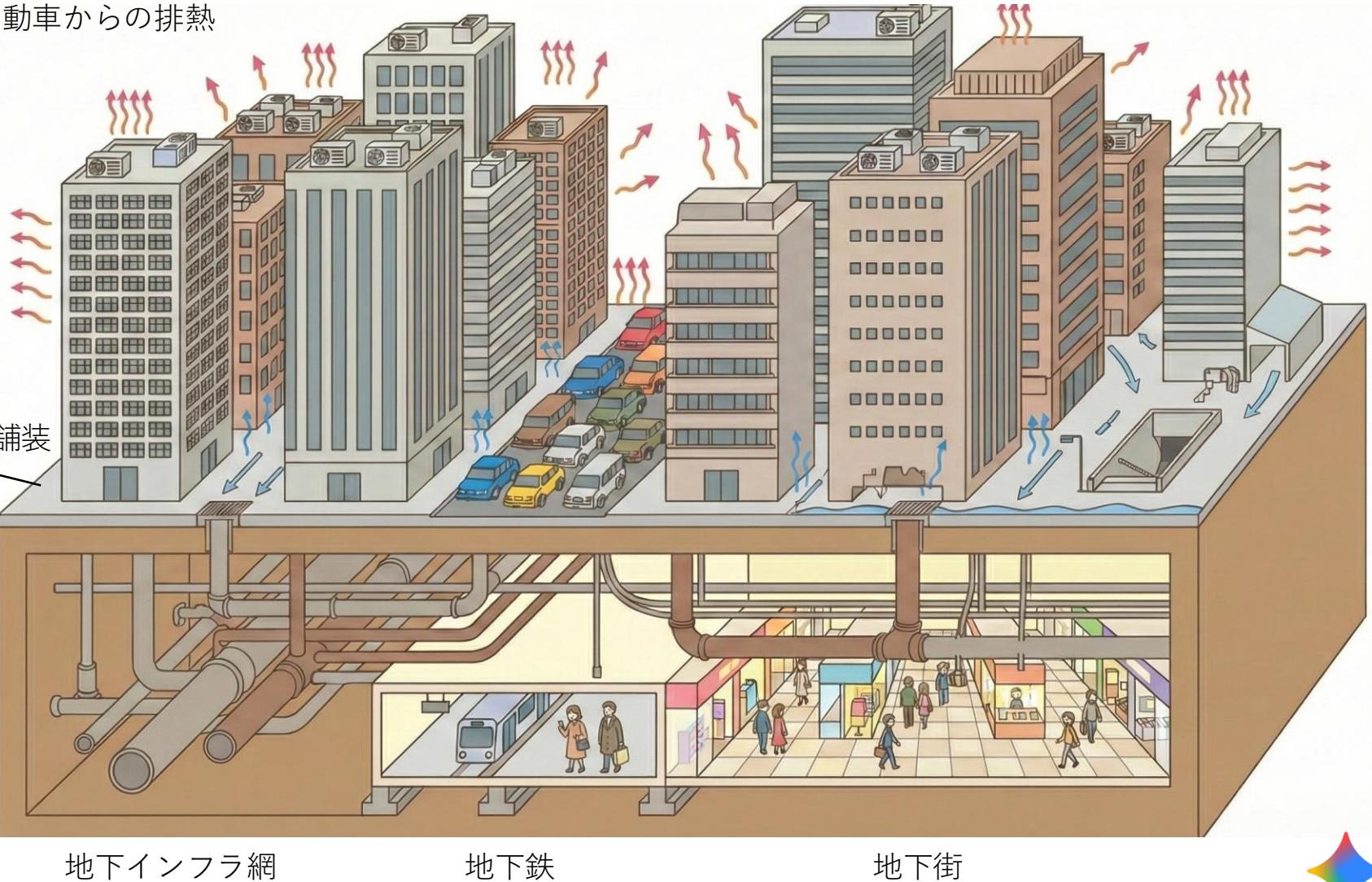
1: 総務省統計局「令和2年国勢調査 人口集中地区の概要」

2: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

3: IPCC, AR5 WGIII Chapter 12, AR6 WGIII Chapter 8

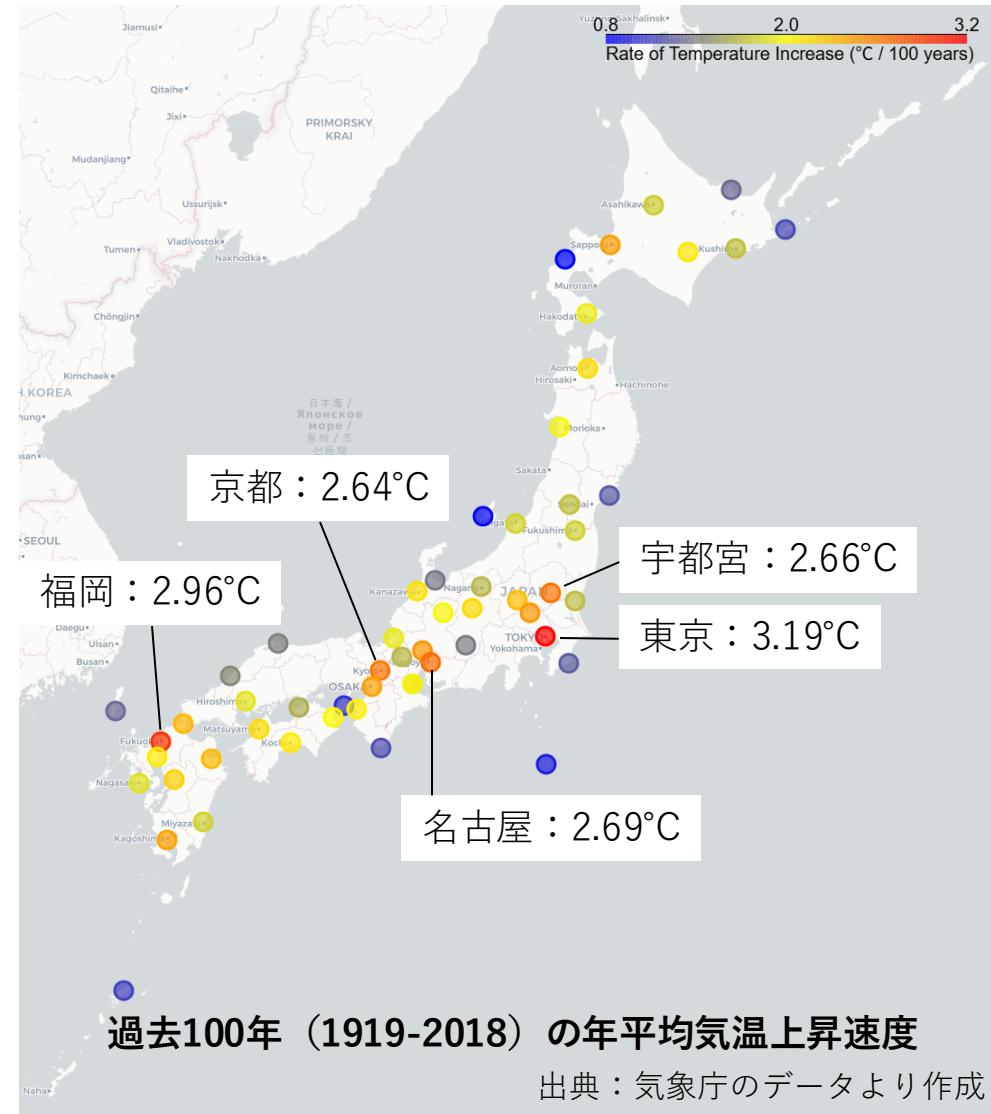
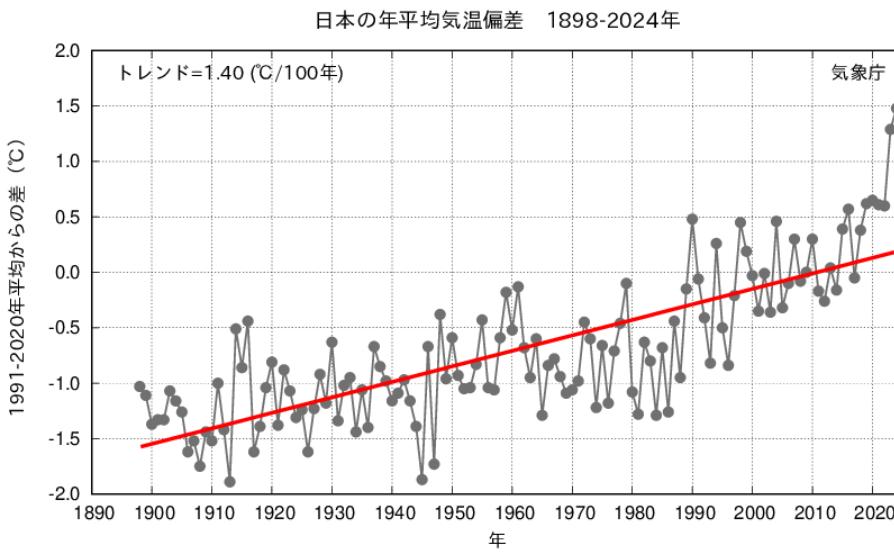
「都市」の特徴と脆弱性

建物・自動車からの排熱



気候変動 + ヒートアイランド現象

- 日本全体（都市化の影響が小さい地域）では $1.4^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ だが、都市域ではより速く上昇している
- 気候変動に加えヒートアイランド現象の影響が大きい



複合リスク、連鎖的リスク

- 複合リスク

- 同時・同所で発生した複数のハザードが相互に作用し、被害が増幅されること
- 例：高潮+大雨による浸水

- 連鎖的リスク

- あるハザードが引き金となり、セクターや地域を超えて新たなリスクを誘発すること
- 例：豪雨／洪水→停電→断水

Compound risks

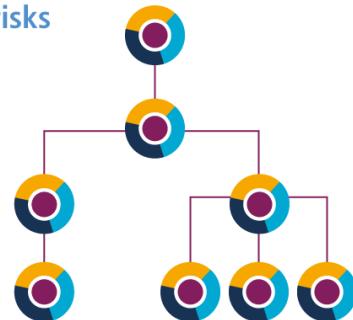
undirectional



bidirectional



Cascading risks



Vulnerability

Exposure

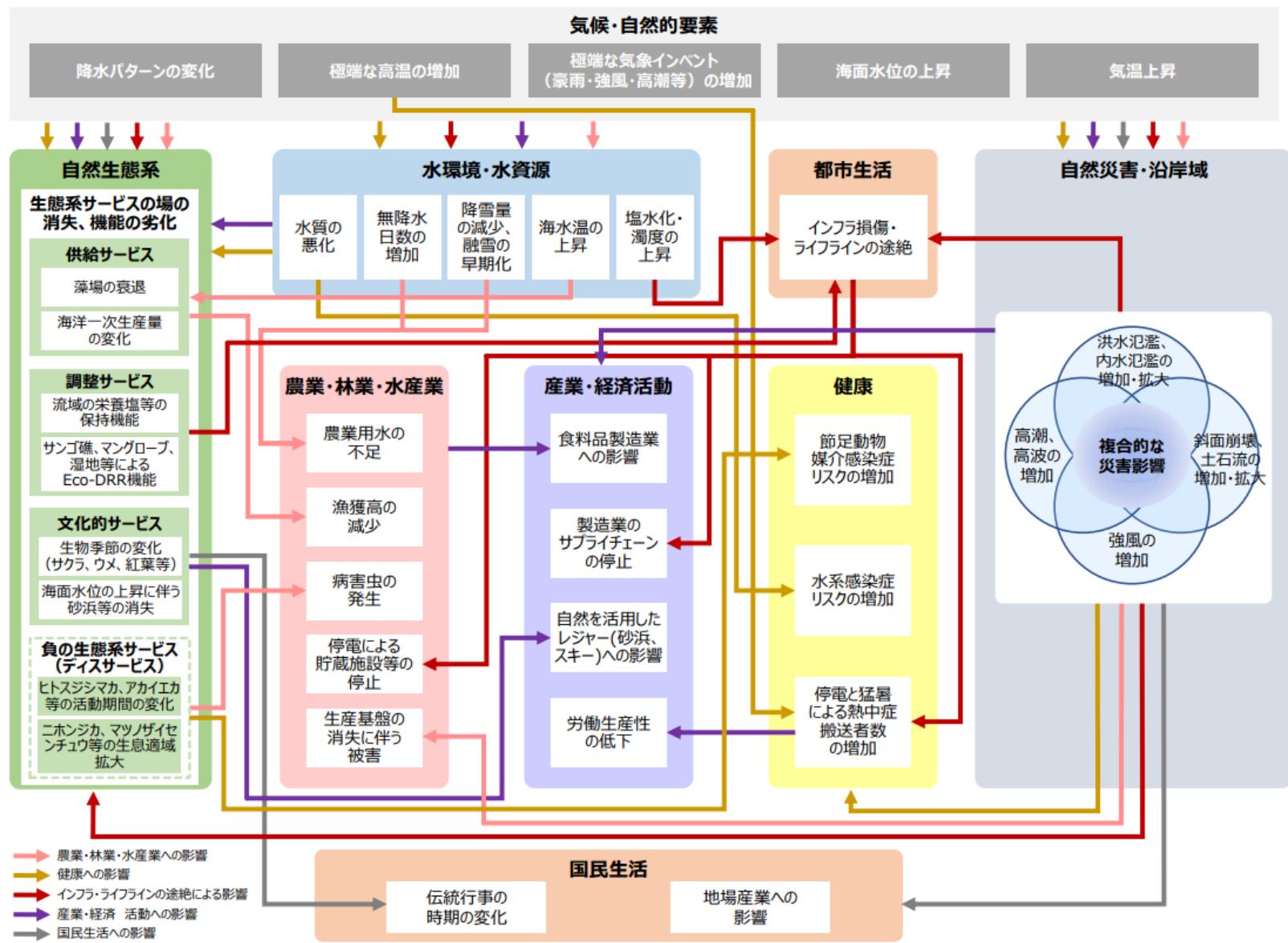
Hazard

Risk



Source: IPCC AR6 WG2 Figure TS.10を改変

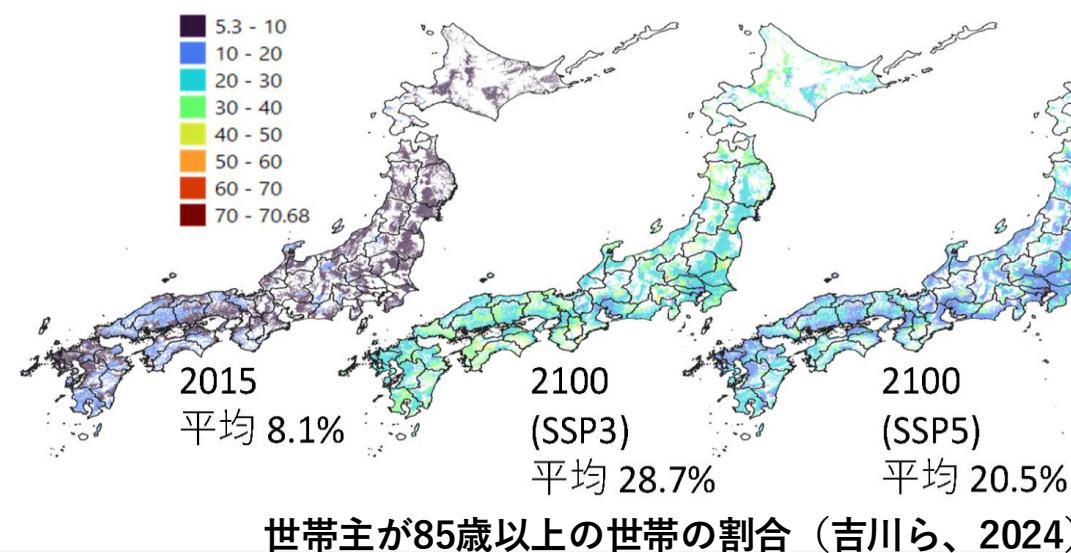
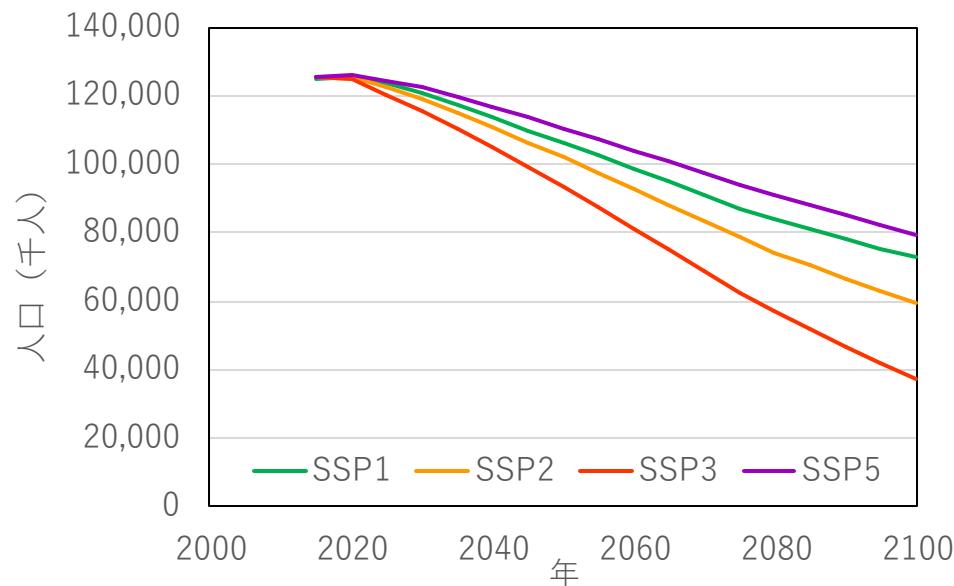
複合リスク、連鎖的リスクの例



Source: 環境省、気候変動影響評価報告書

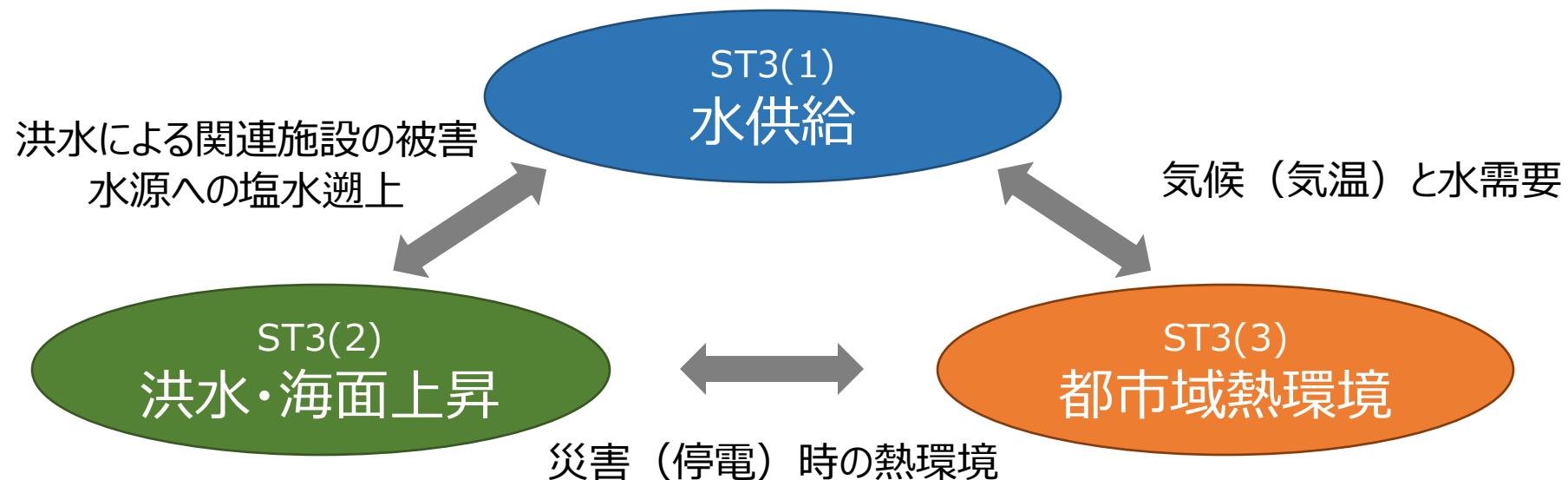
人口減少によるリスクの増幅

- 脆弱性の深刻化
 - 高齢者の増加：暑熱・避難行動への耐性低下
- インフラの機能不全
 - 需要減少による水道事業等の収支悪化
- 管理不全エリアの拡大
 - スポンジ化（空き地の散在）による内水氾濫・火災リスクの増大



テーマ3 全体の研究目標

- 日本の都市域を対象として、都市の規模による気候変動影響や有効な適応策の違いを評価するなど、**都市における気候変動影響と適応戦略**に関する幅広い分析を行う。
- 分野間の相互影響や緩和策との関連、人口減少、超高齢化、土地利用変化などの社会的課題も考慮する。
- 成果の受け手である地方公共団体や地域気候変動適応センター等と議論を深め、提示する適応戦略の実効性を高める。



サブテーマ1 水供給における気候変動リスクと適応戦略の提案と評価

サブテーマリーダー：真砂佳史（国立環境研究所）

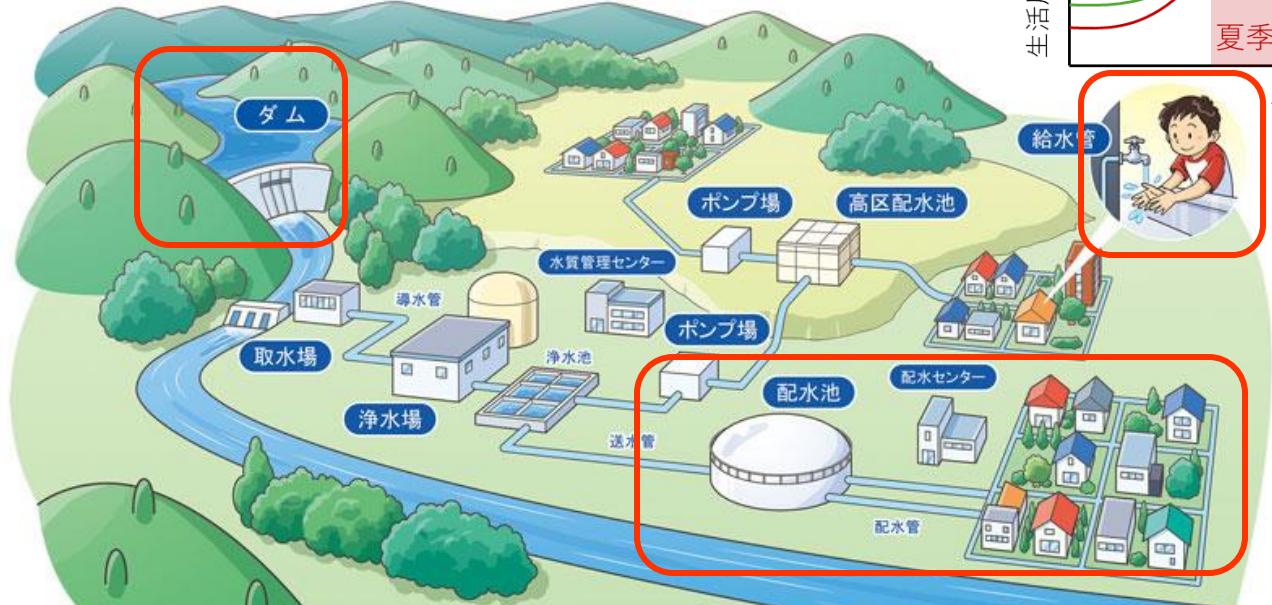
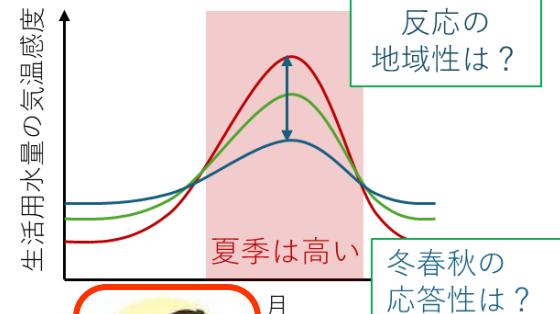
目標

- 水供給分野の気候変動影響および適応策を評価する。
- 閉鎖性水域における藻類異常発生、配水管内の水温上昇による残留塩素減少、気象応答を踏まえた生活用水需要の変化を将来予測モデルで解析する。
- また、予測されている人口減少が土地利用や適切な適応策の選択に与える影響を評価する。
- そのうえで、社会変化も考慮した実効的な適応策を、関連機関との連携を通じて検討・提示する。

貯水池における藻類の異常発生

- 影響予測としての**長期予測**（数十年）と
適応策としての**短期予測**（数週間）
- 機械学習を活用した全国評価

生活用水量の気象応答



テーマ3で使用する社会経済指標整備

- 人口予測データの整備
- ST1(3)と連携してS-24共通の社会経済シナリオとして活用
- 人口減少下の土地利用変化の評価

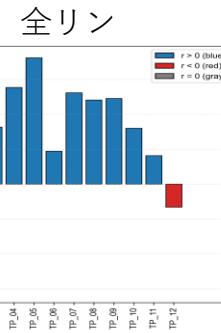
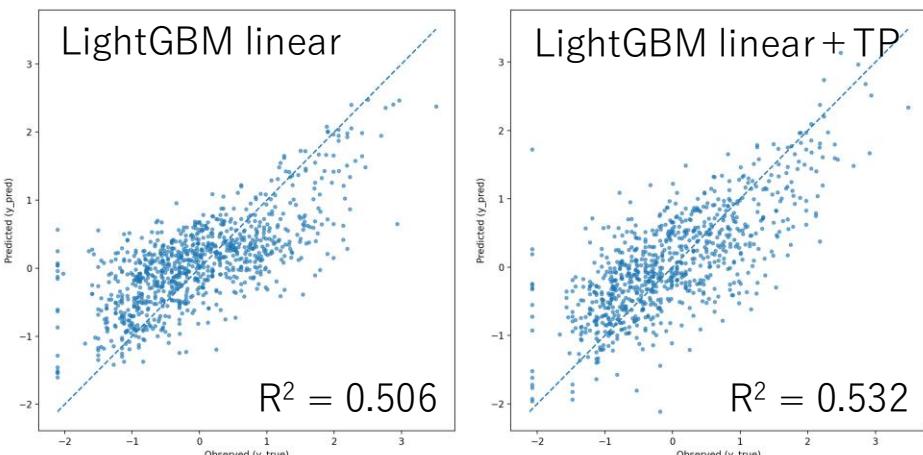
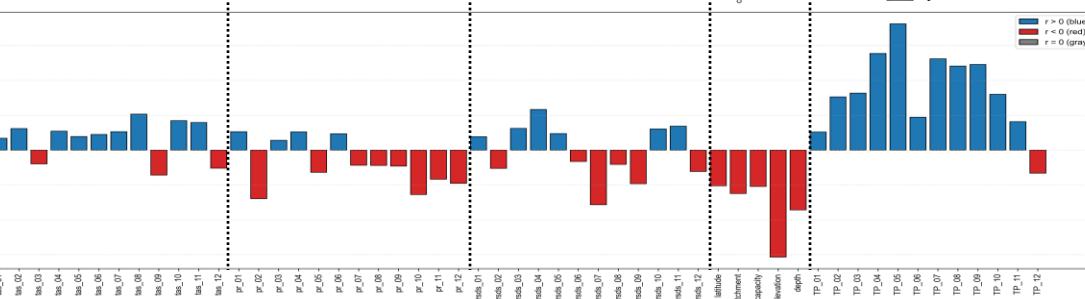
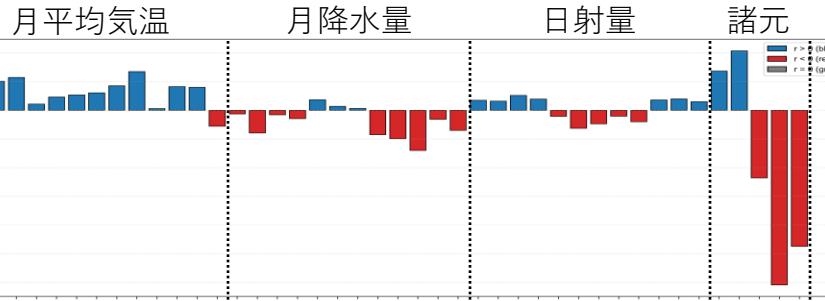
配水管網における残留塩素の減衰

- 統計モデルや機械学習などにより**残留塩素減衰予測**モデルを構築
- 気候や人口等の将来シナリオに基づく予測
- 配水池の塩素濃度の最適化



アオコ発生リスクの将来予測

- 国内貯水池のクロロフィルa (chl-a) 濃度を予測するモデルを開発する
 - 可能な限り多くの日本の貯水池を対象とする
 - 将来シナリオが利用可能な説明変数の使用
 - 外挿に対して頑健な機械学習手法を採用する
- 予備的検討
 - 指標間の相関係数
 - 正：気温、冬季日射量、流域面積
 - 負：秋～冬季降水量、標高、水深



モデルの精度（上）と
説明変数の寄与度（左）
(真砂ら、2026)

サブテーマ2 都市の規模に応じた洪水や海面上昇に対する 適応戦略の提案と評価

サブテーマリーダー：横木裕宗（茨城大学）

目標

- 主に沿岸都市域を対象に、洪水や海面上昇による複合的リスクを評価し、都市の規模など地域の実情に応じた適応戦略の解析を行う。
- 評価に際してはインフラ・ライフライン等への波及的影響など複合的な影響も対象とするのに加え、都市の構造や人口特性等の脆弱性も加味する。また、幅広い適応策について、自然生態系を活用した適応策(EbA)を含めてその効果やコスト等を評価する。
- これらの知見をもとに、人口減少や土地利用の変化など気候変動以外の要素も考慮し、地域の実情に応じた最適適応戦略（適応策のミックス等）を評価、提案する。

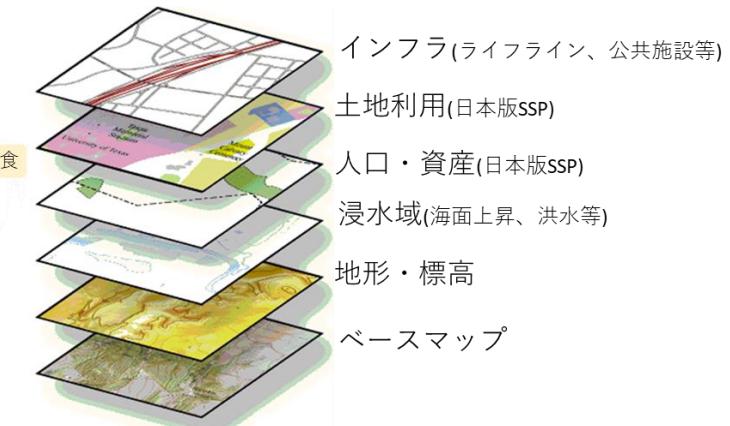
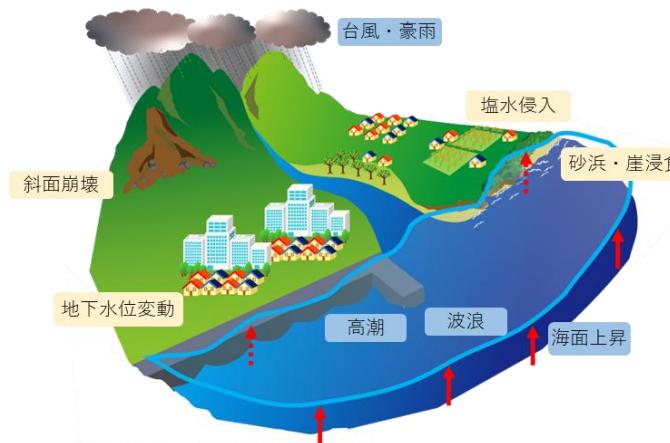
研究方法

- 全国影響評価の研究実績に基づき、さらに地域性を考慮した影響評価と最適適応戦略を提案する
 - 最新の日本版SSP人口、土地利用(資産分布を含む)を活用
 - インフラ・ライフラインへの複合影響分析
- 三大湾と地方都市(有明海沿岸、茨城など)を中心に地域特性を分析する
 - 茨城県等の集団移転事業も分析対象

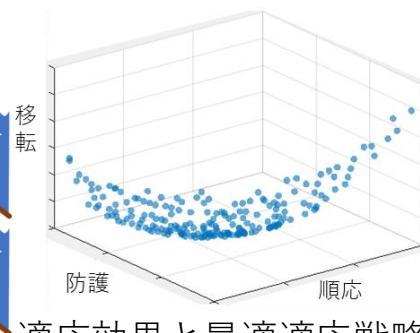
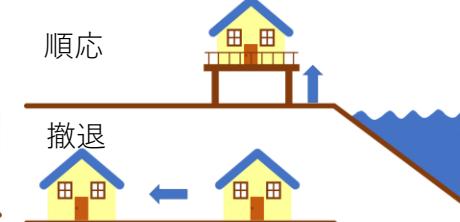
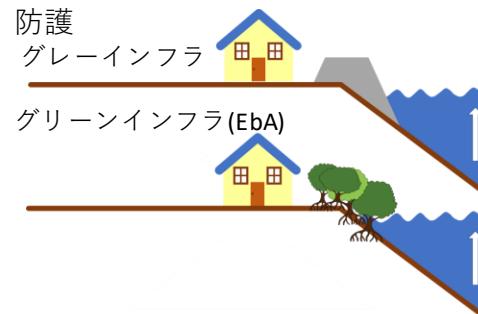
- 洪水・海面上昇によるインフラ・ライフラインなどへの波及的影響
- EbAを含む適応オプションの評価(効果、コスト、時間)
- 都市規模に応じた最適適応戦略の提案(防護・移転・順応)
- 人口減少、高齢化、土地利用変化を考慮

都市の規模に応じた洪水や海面上昇に対する 適応戦略の提案と評価

洪水・海面上昇等への影響予測



適応評価と最適適応戦略の提案



適応効果と最適適応戦略
(イメージ)

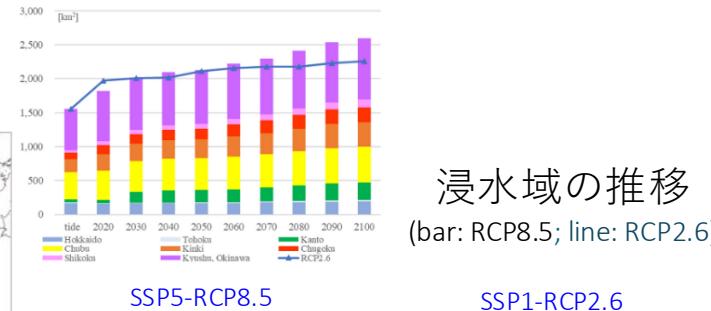
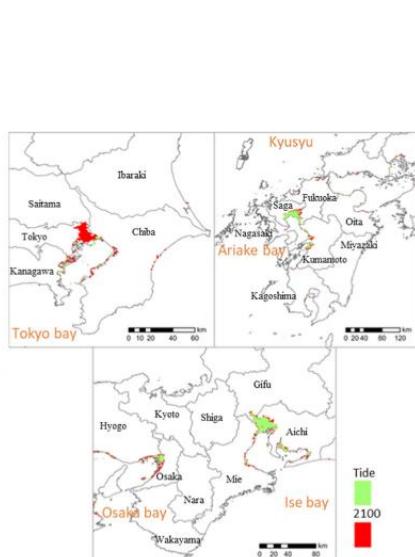
日本全国の沿岸影響と適応策

海面上昇の影響予測

- 日本沿岸域の海面上昇の浸水影響を3次メッシュ(1km)の解像度で全国一律に評価
- 影響はSSP5-8.5>SSP1-2.6、適応費用も同様
- 適応策にとっても緩和策が重要

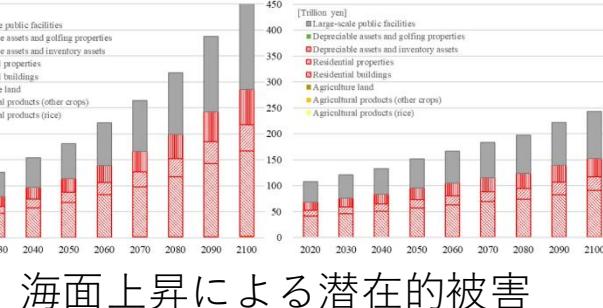


潜在的浸水域(RCP8.5)



浸水域の推移
(bar: RCP8.5; line: RCP2.6)

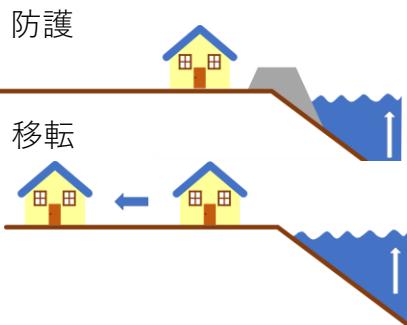
SSP1-RCP2.6



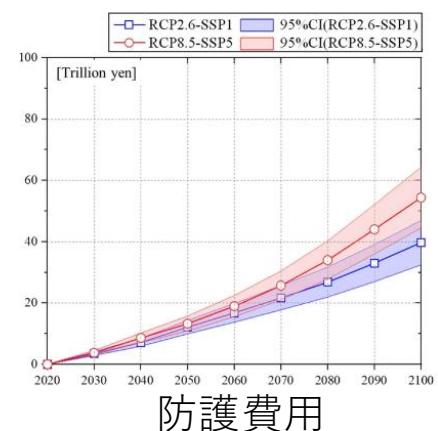
海面上昇による潜在的被害

適応効果と適応費用推計：防護か移転か？

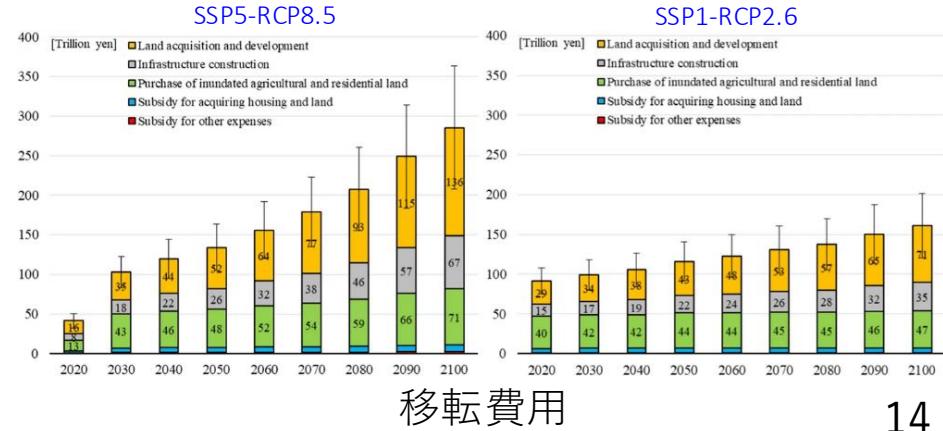
- 全国では「防護費用<移転費用」
 - しかし、人口密度、資産分布等で地域(大都市、地方都市、郊外等)によって大小関係が異なる



沿岸域の適応



防護費用

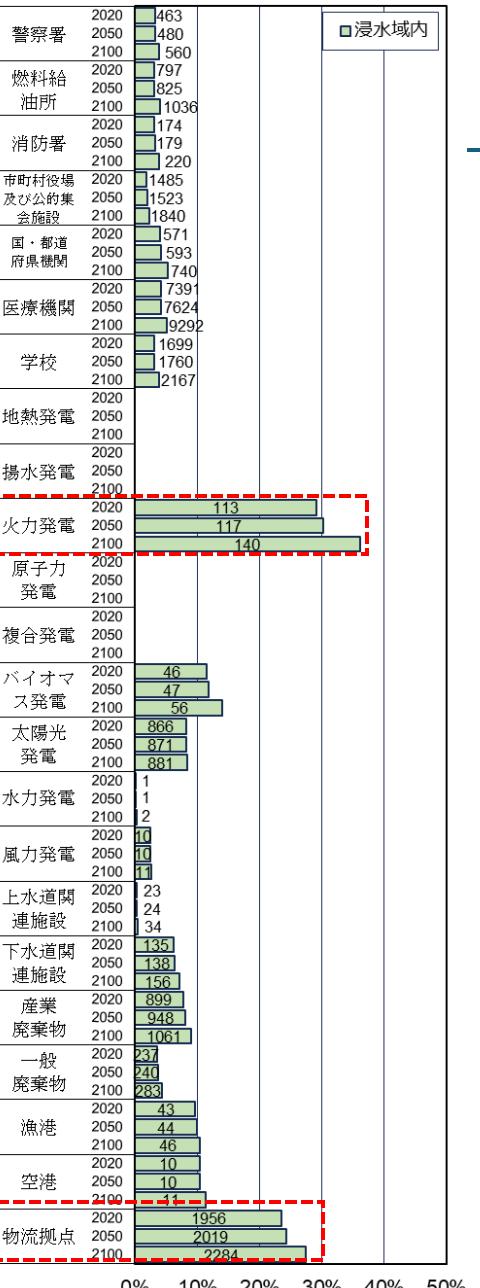
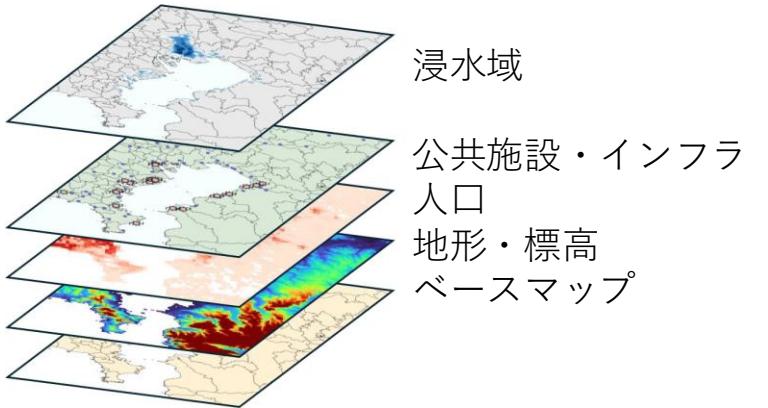


移転費用

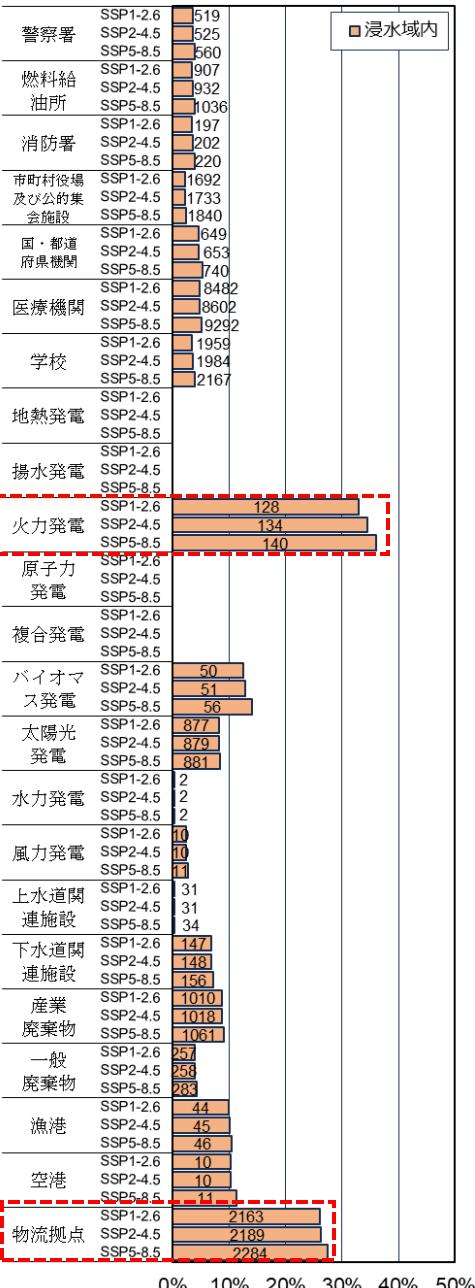
インフラへの影響

- 海面上昇による社会基盤・公共施設の浸水リスク評価
 - 海面上昇はMIROC6、潮汐はTPXO10を使用
 - インフラは国土数値情報
- 火力発電所、物流拠点、医療機関等へ特に浸水リスク
 - その他、PV、バイオマス発電、産廃関連、下水道関連施設等も

重ね合わせ



年代別の各施設の浸水数・浸水率(SSP5-8.5)



SSP別の各施設の浸水数・浸水率(2100年)15

まとめ

- 海面上昇による浸水影響評価

- 浸水域、影響人口、被害額の推計
 - インフラ・ライフラインへの浸水影響評価 (岩間・横木, 2025; Iwama et al. 2025)

- 適応オプションの提案と適応効果評価

- 適応(防護)効果評価
 - 堤防防護情報を考慮した浸水影響評価(山本他, 2025)
 - 浸水域クラスターによる効率的防護の評価、提案(児玉他, 2024; Tamura and Yokoki, 2025)

- 移転シミュレーションと移転費用推計(Tamura et al. 2024, Tamura and Yokoki, 2025)

- 沿岸域適応策データベースを拡充中

- 沿岸域の防護・移転・順応に関して地域毎の適応オプションを評価する

サブテーマ3 都市域熱環境の広域評価と 緩和策を含む暑熱リスク低減策の提案と評価

サブテーマリーダー：高根雄也（国立環境研究所）

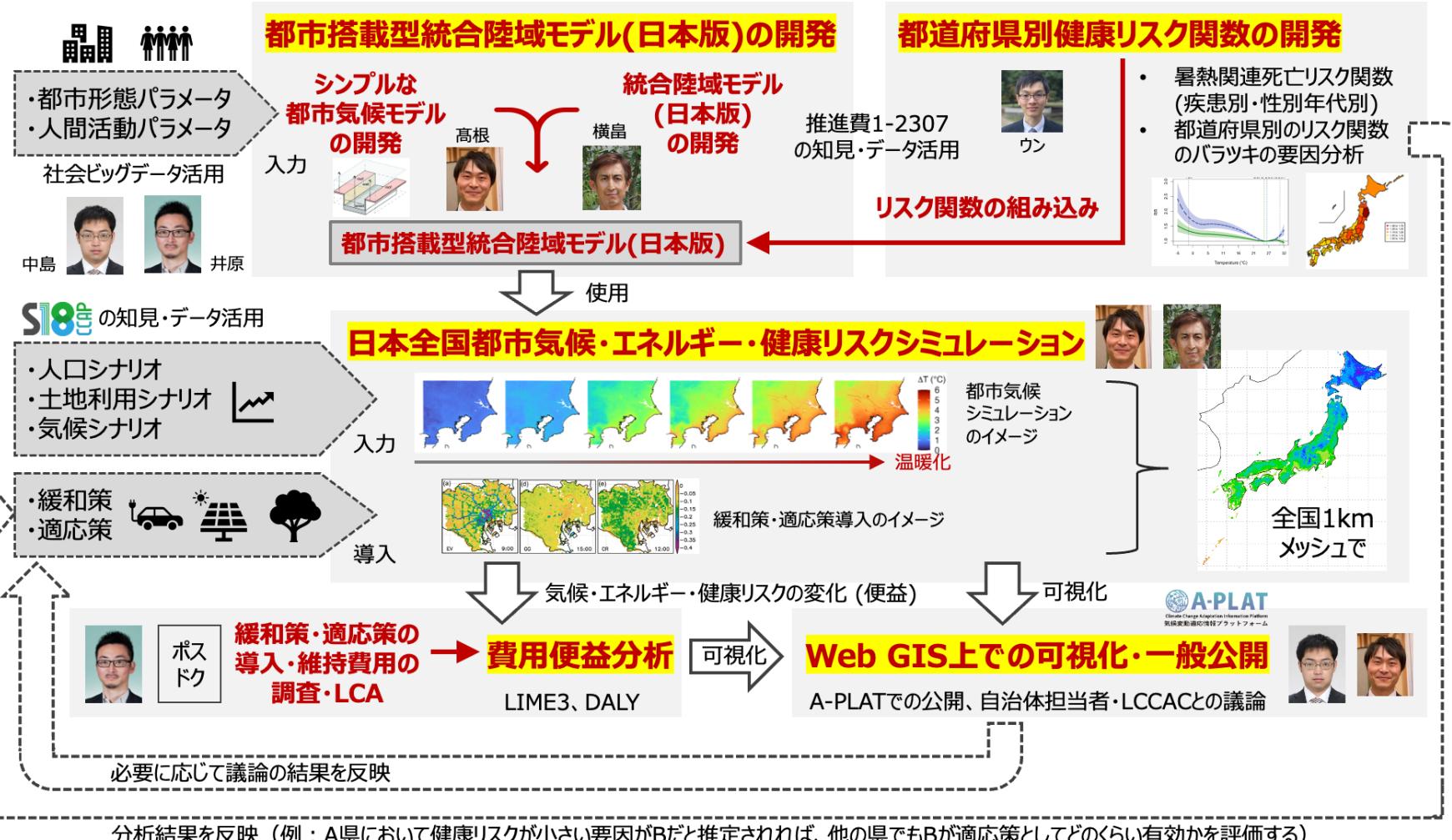
目標

- ・各地方公共団体による暑熱関連リスク低減のための対策の実装支援
- ・そのために、以下1-3を明らかにする：
 1. 各緩和策・適応策の導入でどの程度暑熱環境が緩和し健康リスクを抑制できるか？
 2. 各緩和策・適応策導入と維持にかかる費用はどのくらいか？
 3. それぞれの都市にあった費用対効果の高い緩和策・適応策は何か？

都市域熱環境の広域評価と緩和策を含む暑熱リスク低減策の提案と評価

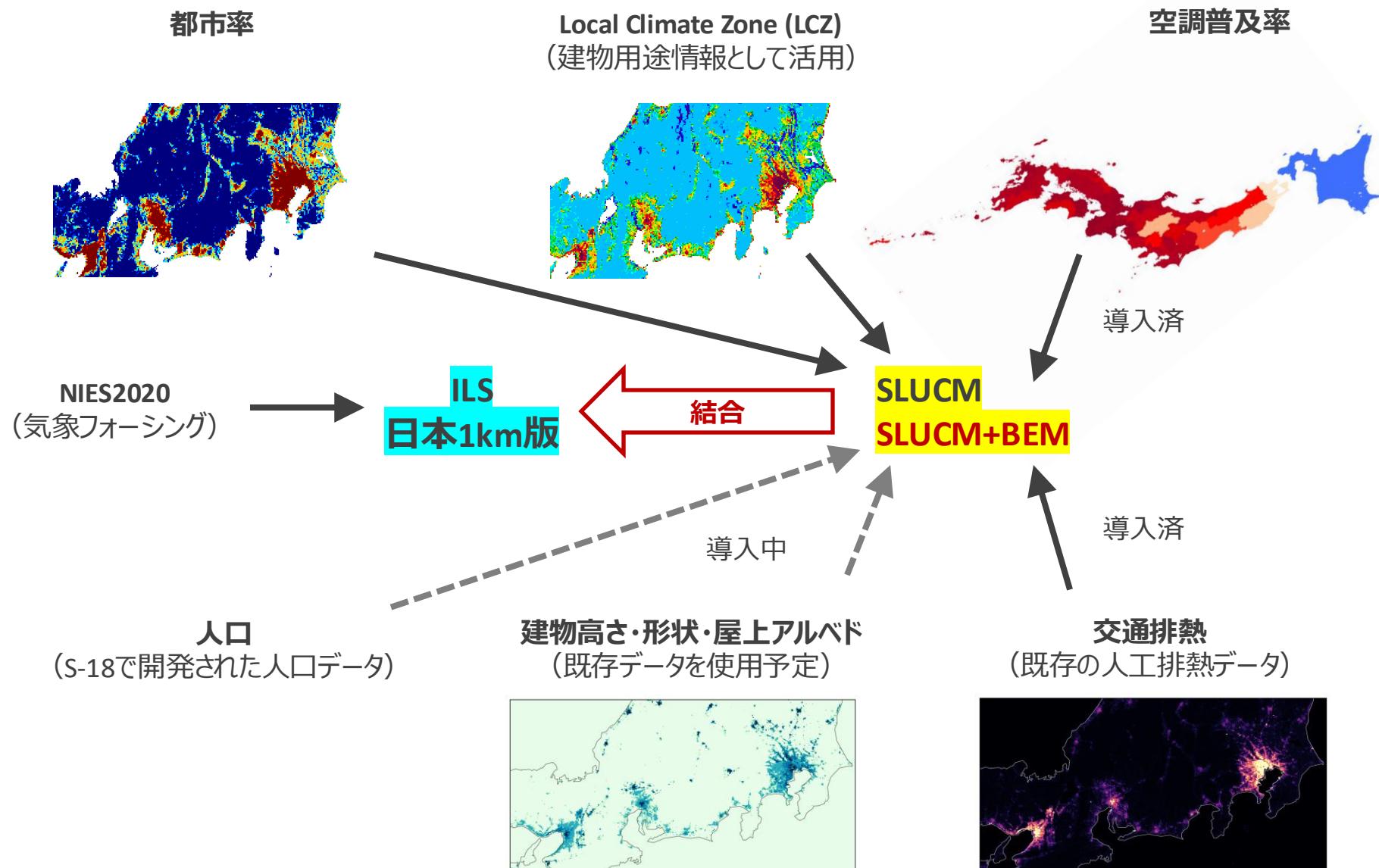
産業技術総合研究所

目的：都市空間の熱環境・エネルギー・健康リスク予測とこれらを改善するための効果的な適応策・緩和策の全国マッピング

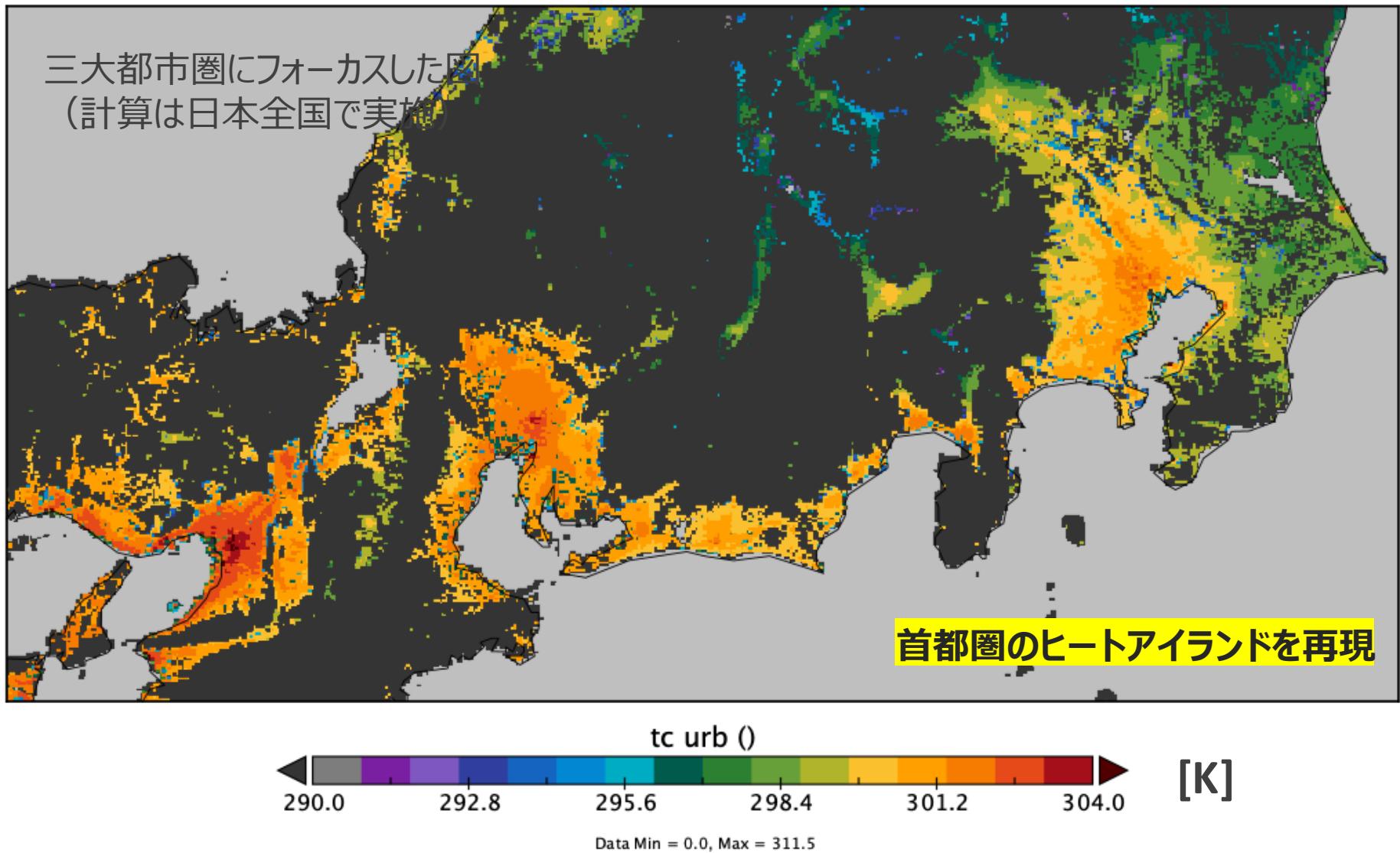


SLUCM+BEM v2.0 の統合陸域モデル (ILS) への結合

目的：都市暑熱シミュレーションの広域・高速化（日本全国1km→全世界の都市）



日本全国1kmメッシュでのシミュレーションの例 (都市の屋外気温)



今後の予定： 入力データの追加 → モデルの精度検証 → 予測・適応策評価

都道府県別・疾患別・性別年代別の暑熱関連死亡リスク関数の開発

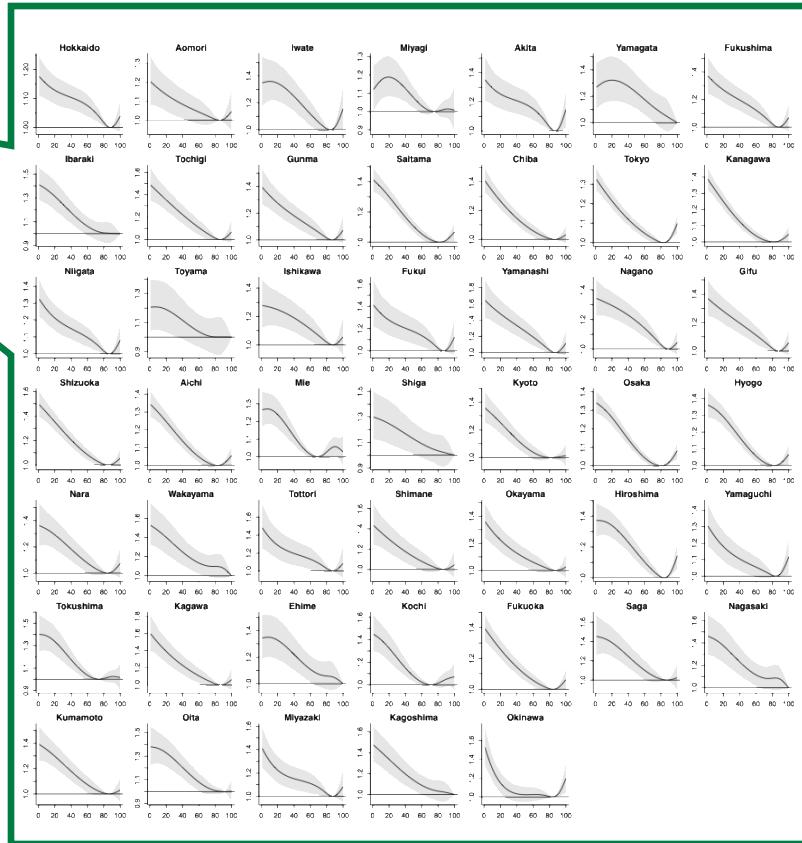
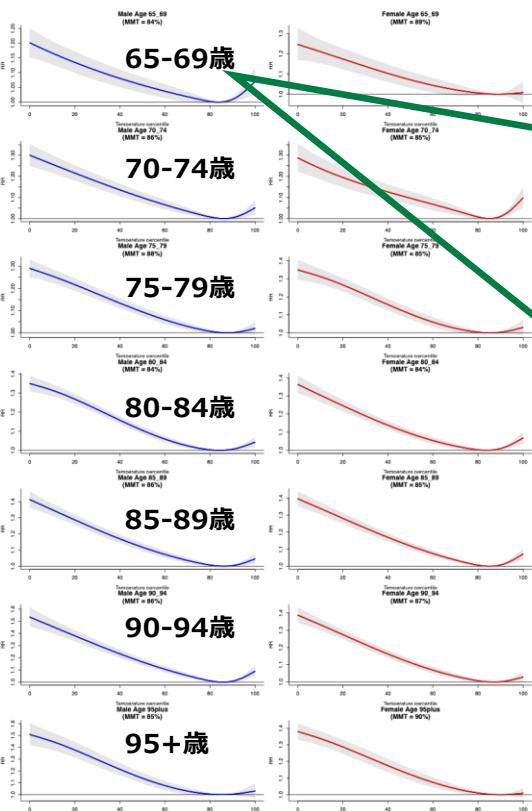
性別年代別の
全暑熱関連死亡リスク関数

例：男性、65-69歳、
都道府県別

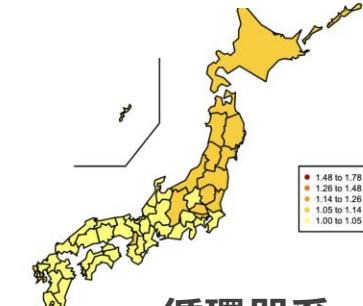
疾患別：
暑熱関連死亡相対リスク

男性

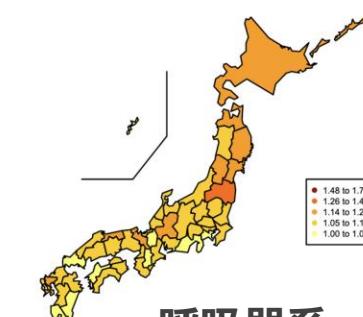
女性



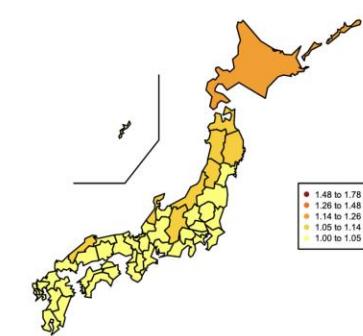
全死亡



循環器系



呼吸器系



今後の予定：

- 都道府県別の健康リスク関数に違いが生じる要因の分析
- リスク関数の統合陸域モデルへの組み込み → 将来気候下における緩和策・適応策の導入効果の評価