



2G-2201：適応の効果と限界を考慮した地域別気候変動適応策立案支援システムの開発

国立研究開発法人国立環境研究所
気候変動適応センター 肱岡靖明

環境研究総合推進費2G-2201シンポジウム（オンライン）

2023年2月22日

研究の背景

- 気候変動影響は世界中で顕在化。我が国でも気象の極端化、健康や農作物への悪影響、生態系の変化等を実感
- 進行する気候変動影響はもはや避けがたく、悪影響を軽減するために如何に備えるか、すなわち**適応への取組が喫緊の課題**
- **地方公共団体**は、気候シナリオや影響予測といった**最新の科学的知見に基づき**、地勢や社会経済状況などの地域特性も考慮して**適応計画の立案・実施**が必要
 - ✓ 多くの**専門的知識と経験が必要**とされるためその**推進は困難**
 - ・ 最新の科学的知見を総合して実現可能な適応策を選ぶ必要性
 - ・ 科学的知見の含有する様々な不確実性、適応策別のコストと効果、限界、実施にかかる時間、適応策間の相乗効果やトレードオフ
- ◆ **地方公共団体の担当者が自ら適応策を選択して実施する際の意味決定の支援が求められている**

研究の目的

- 対象項目：作物収量と水害被害
- 科学的情報に基づき，地域特性も考慮して，地方公共団体の担当者が，**自ら適応策を選択して実施する際の意思決定支援ツールを開発**
- 下記の3つの課題に対する解を提示することを目指す

【課題①】**適応策の選択と実施にかかる諸条件**

(科学的不確実性，適応策のコスト・効果・限界・設置期間等) の**整理**

【課題②】**地域特性に応じた適応策の選択と実施手法の開発**

【課題③】**地方公共団体等の担当者が，開発した手法を実際に利用可能にするシステムの構築**

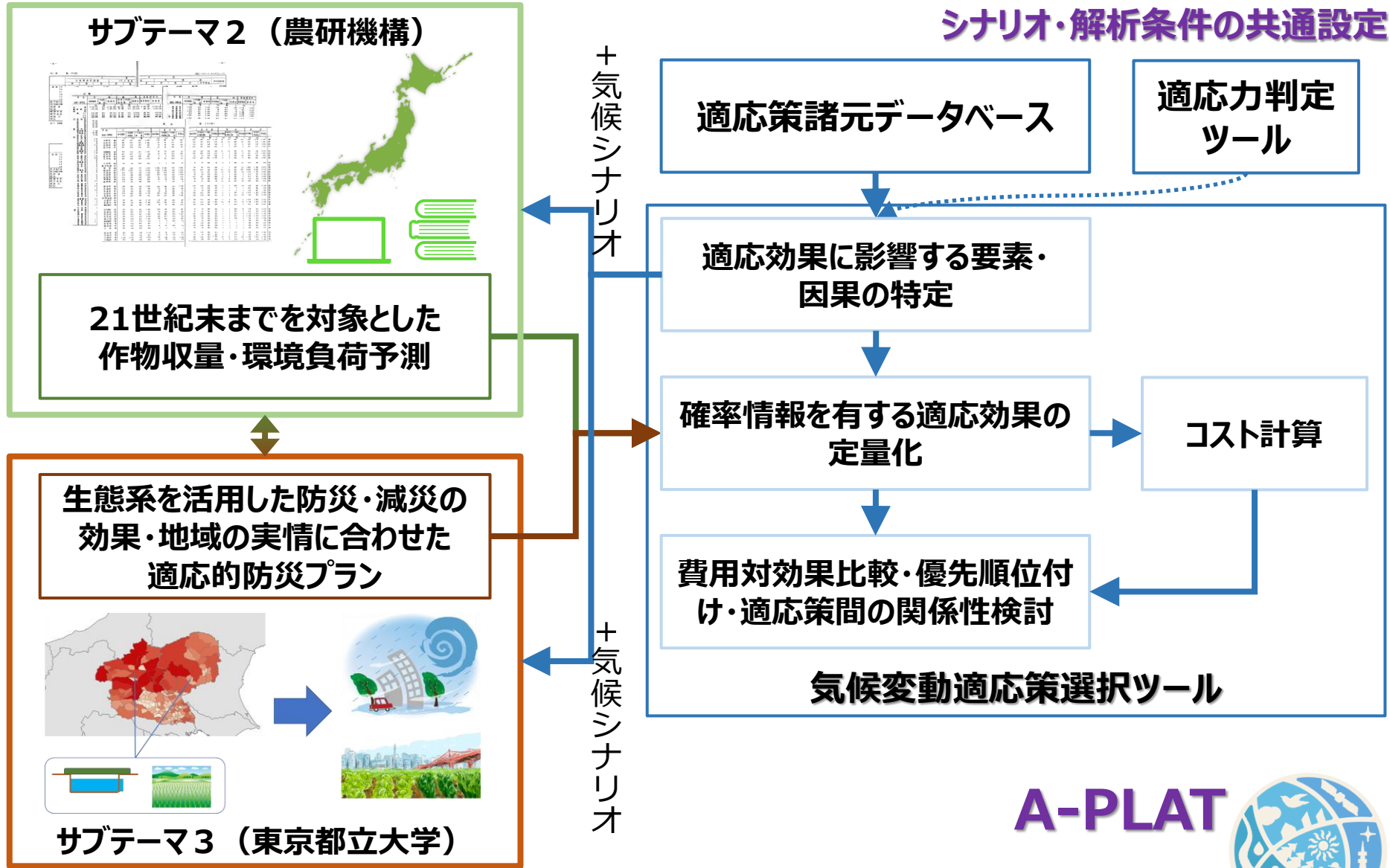
研究目標（全体）

- **地方公共団体の適応推進を科学的に支援**
- **作物収量と防災・減災効果**を研究対象とし、適応策の効果を定量的に評価可能な**影響予測手法を開発**
- 地方公共団体の適応推進にあたり、予測結果を組み込み地域特性を考慮可能な「**気候変動適応策立案支援システム**」を開発
- 開発過程において**地域気候変動適応センターと緊密に連携**し、研究から得られたデータやツール・システムは、研究終了後、**A-PLAT**（気候変動適応情報プラットフォーム）**上で実行可能な形式での公開**を目指す

研究内容（研究概要）

- 日本の市町村レベルにおける**作物収量と環境負荷、生態系を活用した防災・減災効果**
 - ▶▶▶他分野への展開も視野
 - ✓ 2050～2100年まで中長期的期間を対象
 - ✓ 複数の気候シナリオの影響予測 + 予測の誤差分布（科学の不確実性）
- **気候変動適応策立案支援システム**を構築
 - ✓ 影響予測結果を統合．適応策の諸元（コスト，効果，限界，実施にかかる時間，適応策間の相乗効果やトレードオフ等）の**定量化**
 - ✓ 適応策の限界も考慮．実施する**適応策の優先度**を地方公共団体の担当者がステークホルダーと**議論しながら決定可能**
- **3つのサブテーマ（ST）**を構成

研究構成図



環境政策等への貢献、環境産業等への活用

- 地方公共団体は、気候変動適応法の下、地域の実情にあった地域気候変動適応計画の策定が求められている（努力義務）
- **開発する気候変動適応策立案支援システムを活用することで、**
 - ① **地方公共団体担当者が自ら**不確実性を含む**科学的知見を活用し**、地域特性や適応の優先度や限界等を考慮した**適応策の立案が可能**
 - ② 地方公共団体が**自ら収集・整備した適応に関する情報を統合**するモジュールの開発も視野。適応策立案に必要な情報を簡易に収集し自ら検討することが可能
 - ③ システムの開発にあたっては、複数の地域気候変動適応センターと緊密に連携して**実用性の向上**を目指す
- **開発する気候変動適応策立案支援システムは、**
 - ① 本研究で対象としない**他の影響分野へ拡張可能**。地方公共団体だけではなく**事業者への予測情報の提供と適応策の実施支援**。他の研究プロジェクト等で創出される**科学的知見の統合**なども可能
 - ② 現在環境省が改定中の「**地域気候変動適応計画策定マニュアル**」に**組み込む**ことも可能

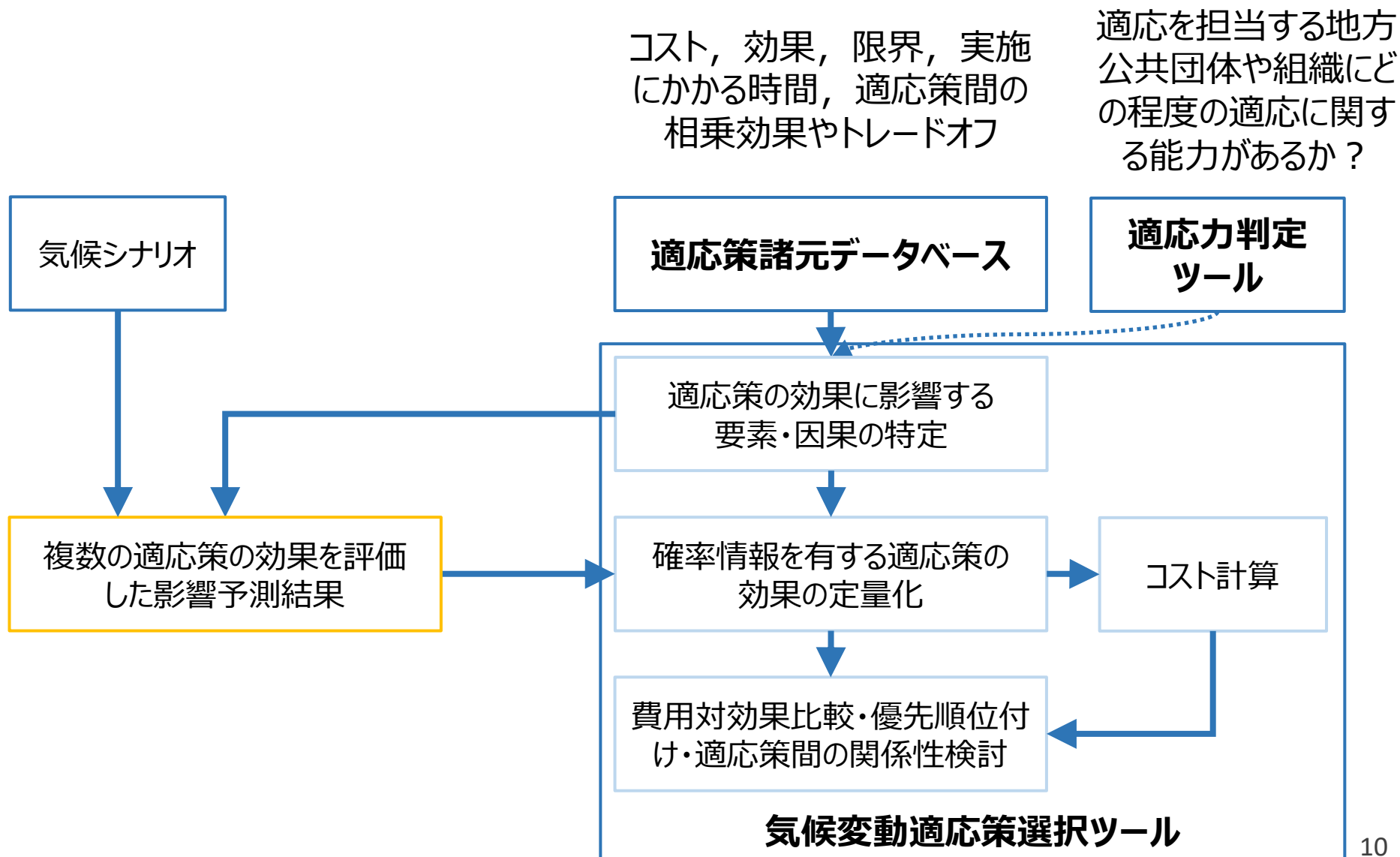
研究の独創性・新規性

- 科学的知見に基づき、選択する**適応策の優先度を決定する手法**はこれまでに複数提案されているが、必要となる科学的知見の不足やその手法の複雑さから十分に活用されておらず**国内での研究はほとんどない**
 - 気候変動適応策立案支援システムの開発により**地方公共団体が中長期的な気候変動影響に適応しうる新たなステージへ進める可能性が高まる**
- **100種弱の作物**についての全国を対象とした気象・土壌と作物収量の関係の解明および将来の影響評価は既存研究よりも**圧倒的に多い作物種数、土壌インベントリーデータを利用して各地域で最適な作物栽培種を特定**するという試みもこれまで**例がない**
 - **前例がない規模で多角的に適応策としての作物栽培種の転換の利点と環境負荷を解析、有用性だけでなく新規性も高い**
- 収量推定と土地被覆を考慮した防災・減災効果の同時評価により、農地が卓越した地域、しない地域それぞれに適切な適応オプションを提示するフレーム
 - 地域の事情に合わせて**農業生産、防災・減災という気候変動に影響を受ける現象を複数同時に考慮する適応オプションは過去に例を見ない実用的な科学的知見の提示**

【ST1】科学的知見に基づく地域特性を考慮した気候変動 適応策立案支援システムの開発

- 気候変動適応策立案支援システムを構成する2つのツールと1つのデータベースを開発
 - ① **適応力判定ツール**：適応実施に関連する主体の能力を定量化
 - **経済・インフラ・技術力・組織体制**
 - ② **気候変動適応策選択ツール**：ST2・3提供の作物収量と防災・減災効果の中・長期的なリスク情報を統合し、地域別の適応策選択を科学的に支援
 - **実施すべき適応策の優先度を地方公共団体の担当者がステークホルダーと議論しながら決定できるよう支援**
 - ③ **適応策諸元データベース**：適応策の優先度や限界等を検討する際の基本データ
 - **コスト、効果、限界、実施にかかる時間、適応策間の相乗効果、トレードオフ**

【ST1】気候変動適応策立案支援システムの開発



【ST1】科学的知見に基づく地域特性を考慮した気候変動適応策立案支援システムの開発

- 気候変動適応策立案支援システムを構成する2つのツールと1つのデータベースを開発
 - ① **適応力判定ツール**：適応実施に関連する主体の能力を定量化
 - 経済・インフラ・技術力・組織体制
 - ② **気候変動適応策選択ツール**：ST2・3提供の作物収量と防災・減災効果の中・長期的なリスク情報を統合し、地域別の適応策選択を科学的に支援
 - 実施すべき適応策の優先度を地方公共団体の担当者がステークホルダーと議論しながら決定できるよう支援
 - ③ **適応策諸元データベース**：適応策の優先度や限界等を検討する際の基本データ
 - コスト、効果、限界、実施にかかる時間、適応策間の相乗効果、トレードオフ

【ST1】科学的知見に基づく地域特性を考慮した気候変動適応策立案支援システムの開発



適応策優先順位付け研究文献のシステマティックレビュー

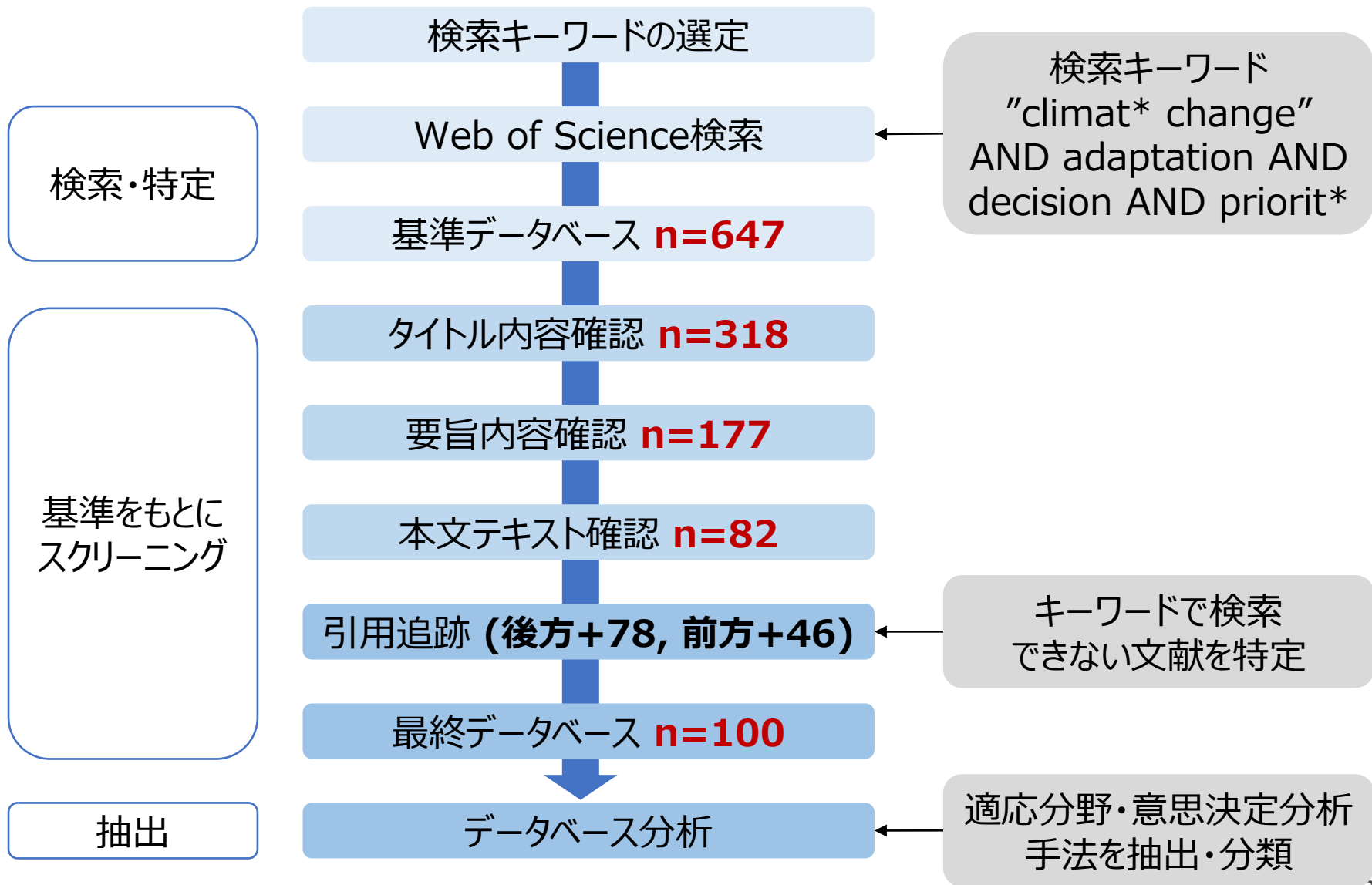


適応策優先順位付けにはどのような意思決定分析手法が必要か？



1. 優先順位付け研究はどのような変遷をたどってきたか？
2. どのような意思決定分析手法が応用されているか？
3. どの適応分野が扱われているか？
4. 意思決定分析手法は分野別にどのような応用がなされているか？

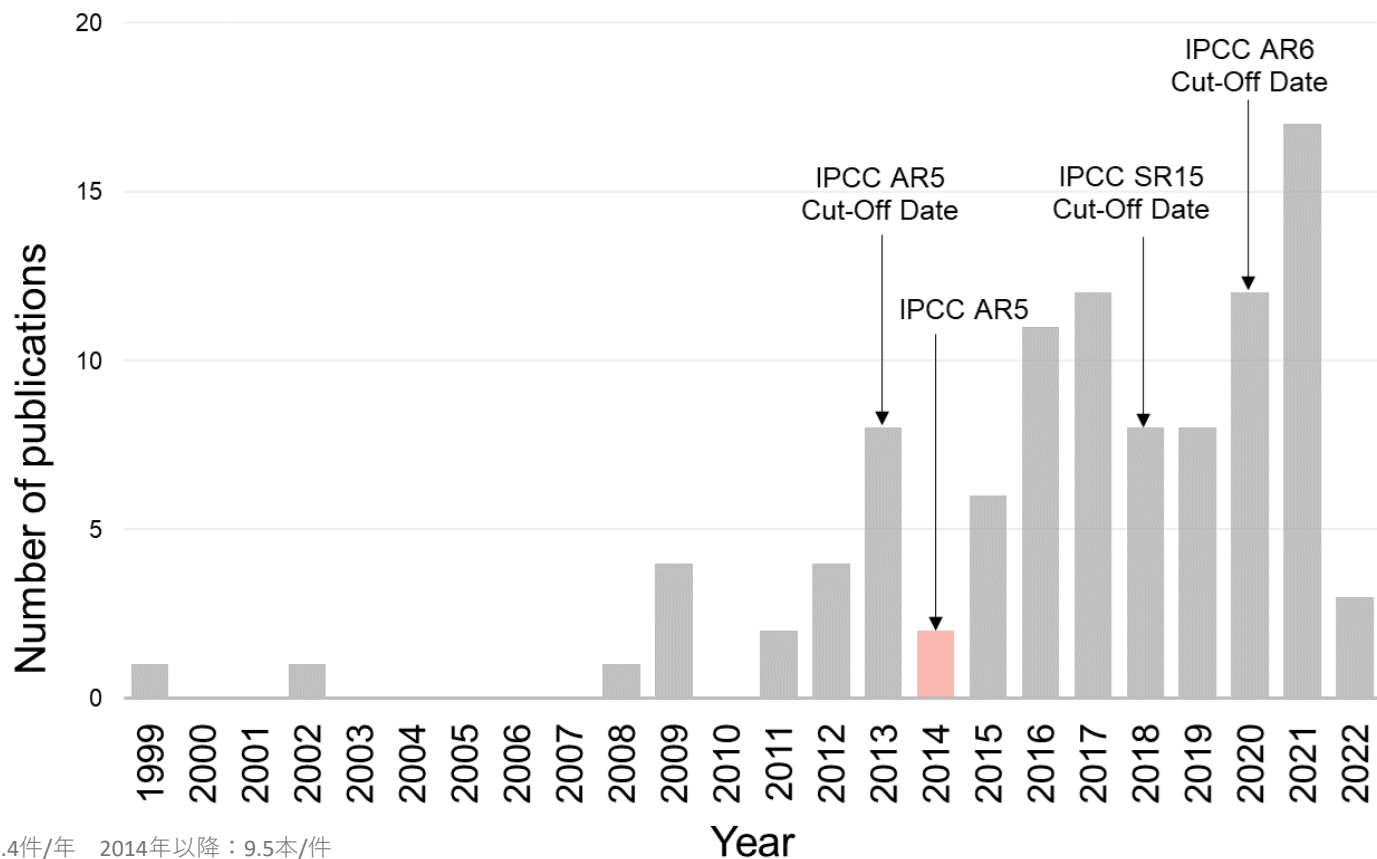
【ST1】科学的知見に基づく地域特性を考慮した気候変動適応策立案支援システムの開発



【ST1】IPCC WGII AR5/AR6から特定した適応分野

分野		項目	
(Chapter 2) Terrestrial and Freshwater Ecosystems and their Services	陸域及び淡水生態系とサービス	Terrestrial Ecosystems	陸域生態系
		Freshwater Ecosystems	淡水生態系
(Chapter 3) Oceans and Coastal Ecosystems and their Services	海洋及び沿岸生態系とサービス	Oceans Ecosystems	海洋生態系
		Coastal Ecosystems	沿岸生態系
(Chapter 4) Water	水	Water resources	水資源
		Coastal Disaster	沿岸災害
		River Flooding	河川洪水
		Disaster/Extremes Inland Waters	内水氾濫
		Disaster/Extremes Others	災害その他
(Chapter 5) Food, Fibre, and other Ecosystem Products	食料、繊維、及びその他の生態系サービス	Crop/agriculture	作物・農業
		Livestock	酪農・畜産
		Forestry	林業
		Fishery	漁業
		Aquaculture	水産養殖
(Chapter 6) Cities, Settlements and Key Infrastructure	都市、開発地及び主要なインフラ	City or cities/urban area	都市
		Settlement	共同社会
		Infrastructure	インフラ
		Tourism	観光産業
(Chapter 7) Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities	健康、福祉及びコミュニケーションの構造変化	Health	健康
		Migration	移住
		Wellbeing	福祉
(Chapter 8) Poverty, Livelihoods and Sustainable Development	貧困、生計及び持続可能な開発	Livelihood	生計
		Poor or poverty/Equity	貧困

【ST1】気候変動適応における意思決定分析を扱った査読付き論文数の変遷 (n=100)



結果：最終データベース：計100件（キーワード検索82件・引用追跡18件），2014年以降6.8倍/年*

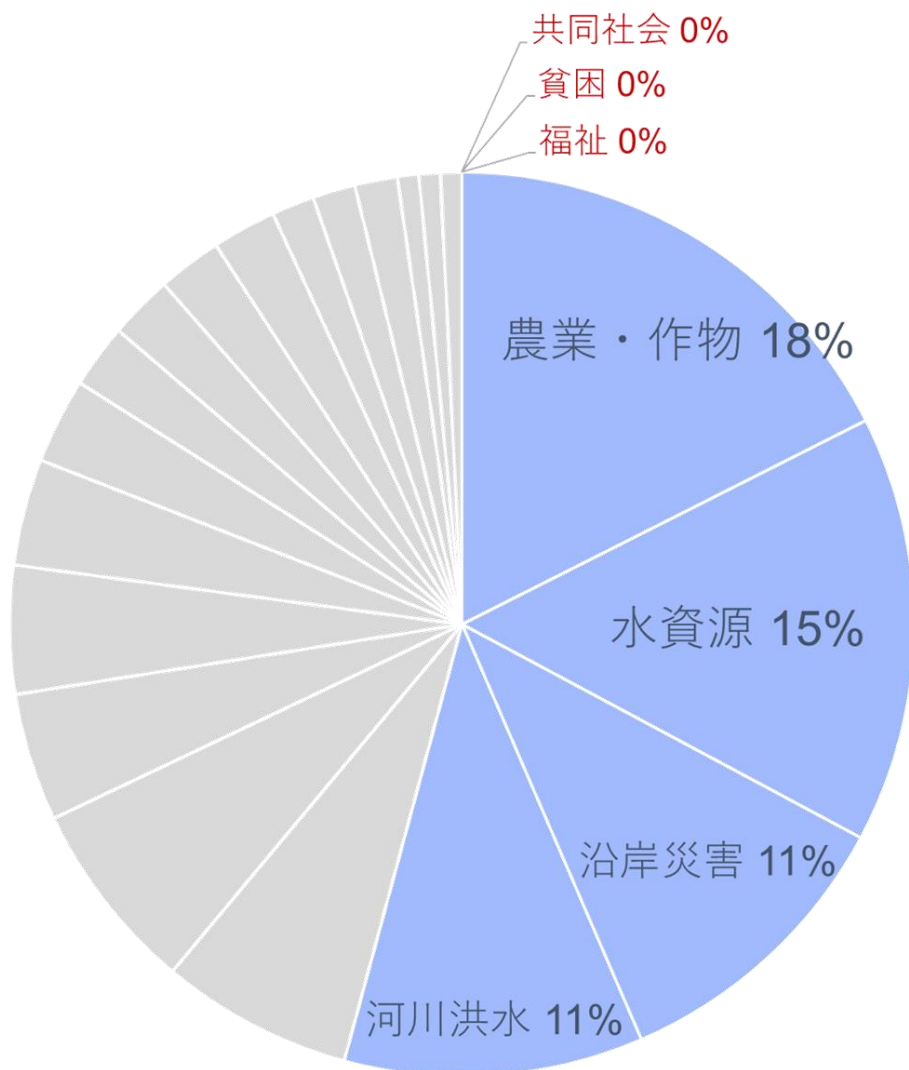
考察①：気候モデルの高度化・可用性

- 地域レベルでの気候変動影響評価研究の進歩，文献数の増加

考察②：IPCC AR5における適応の定義・意思決定分析に関する知見の整理

- AR6では手法分類にも言及され今後も利用が拡大する可能性

【ST1】各適応分野項目における意思決定分析応用数



結果

- **農業(畑作)・水資源・沿岸災害・河川洪水**が全体の過半数
- **貧困・共同社会・福祉**に関する優先順位付け研究は文献無し

考察

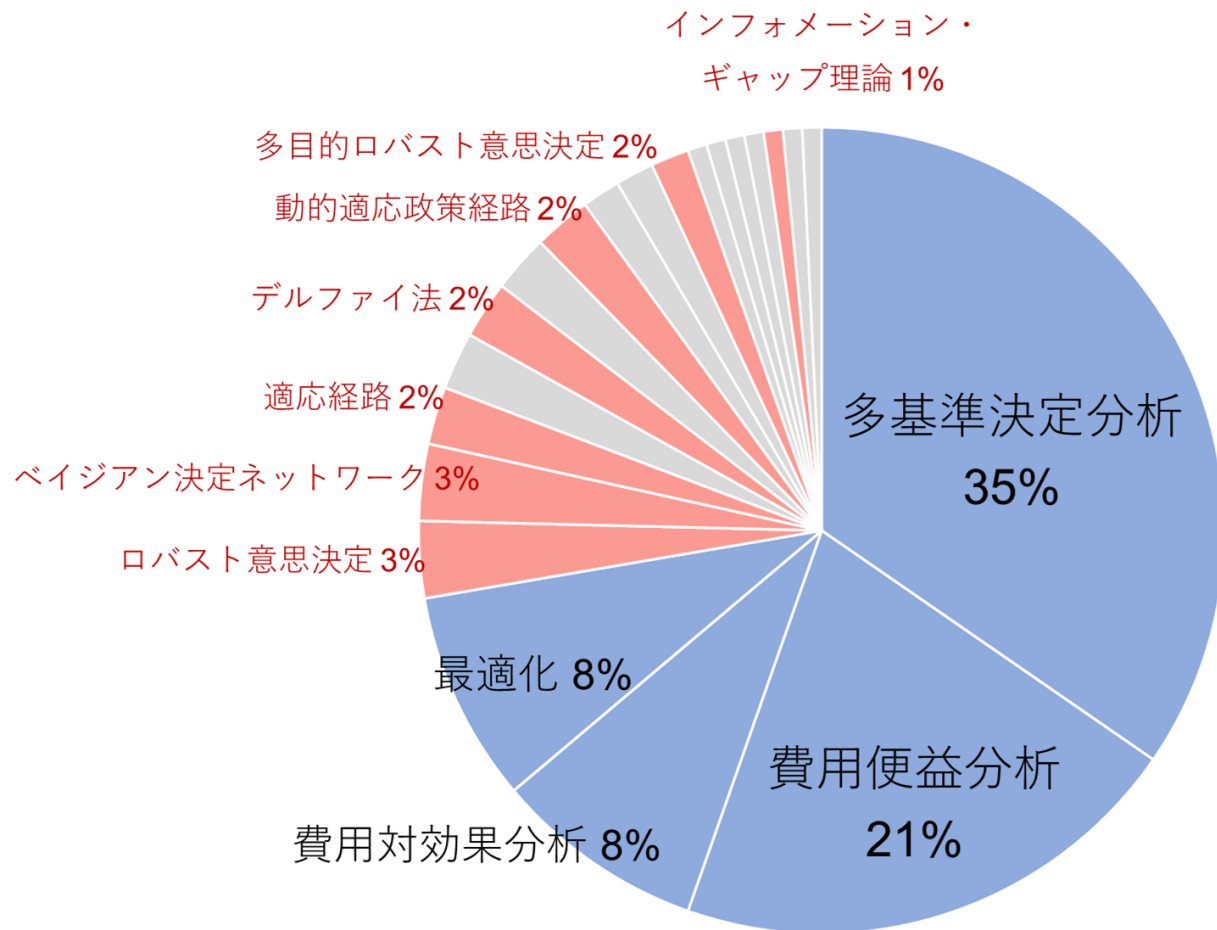
- **上位4項目：**
気候の影響を強く受ける項目
→気候情報を使用した意思決定分析が気候変動の顕在化以前より多数行われてきた経緯
- **下位3分野：**
社会情勢の影響を強く受ける分野
→気候変動影響予測手法が欠如・予測が未発展

※文献1件において複数分野を扱っている場合それぞれ1件としてカウント(N=131)

【ST1】意思決定分析手法のグループ分類

確実に見通せる未来	浅い不確実性下の未来	深い不確実性下の未来
<ul style="list-style-type: none"> 過去データを将来の予測として使用可能と考えられる場合 検討可能な効果基準や不確実性の種類・幅が限定的 決定論的手法が主 	<ul style="list-style-type: none"> 起こりうる未来の知見が限られるが、原因と結果の関係が理解できる場合 外界の確率的・分析的の不確実性あるいは意思決定者の不確実性を検討可能な手法 	<ul style="list-style-type: none"> もっともらしい未来が多く存在 原因と結果の関係は理解不十分・定性的な知識のみ 外界の確率的・分析的の不確実性および/あるいは意思決定者の不確実性を幅広く検討可能な手法
費用便益分析	多基準決定分析	ロバスト意思決定
費用対効果分析	最適化	ベイジアン決定ネットワーク
投票	多目的最適化	デルファイ法
表明選好法	二項ランキング法	動的適応政策経路
	リアルオプション分析	適応経路
	システムモデリング	多目的ロバスト意思決定
	ゲーム理論	インフォメーション・ギャップ理論
	バリューチェーン分析	
	イベントツリー解析	
	ロバスト最適化	

【ST1】気候変動適応における意思決定分析手法の分類と応用割合



結果

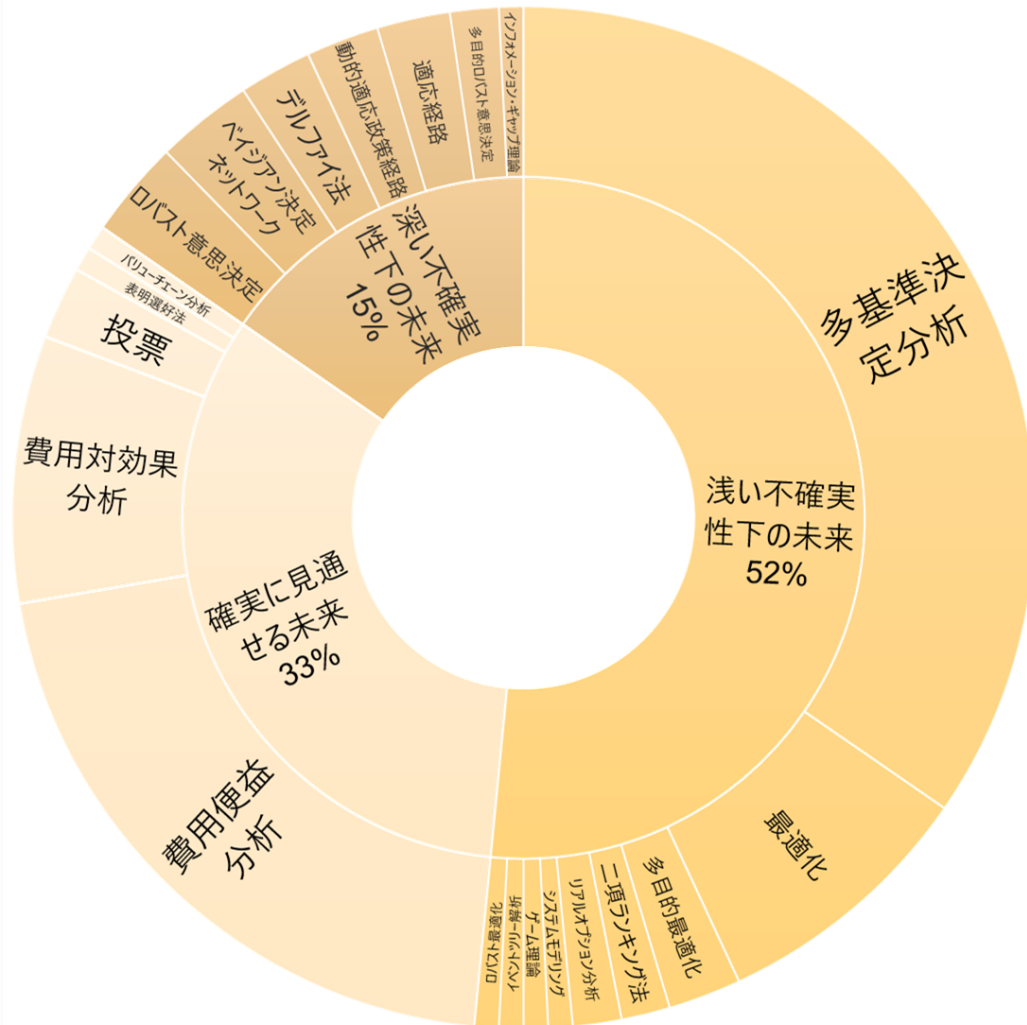
- 上位4手法 (多基準決定分析・費用便益分析・費用対効果分析・最適化) で7割以上

考察

- 上位4手法は考慮可能な不確実性の種類と幅が限られ、気候変動適応の段階的に深い不確実性を考慮することは困難

CLIMATE CHANGE ADAPTATION PLATFORM

【ST1】気候変動適応における意思決定分析手法グループごとの応用割合



結果

- 深い不確実性下の未来グループは全体の約15% (深い不確実性下の意思決定分析手法；**ロバスト意思決定, 適応経路**等)

考察

- 計算機資源・データ資源の制限, 手法・解析の複雑さが要因
- 特に開発途上国での応用が困難^[1]

※文献1件において複数分析を扱っている場合それぞれ1件としてカウント (N=128)

【ST1】各適応分野における意思決定分析手法別の応用件数

分野	項目	確実に見通せる未来			浅い不確実性下の未来										深い不確実性下の未来					Total			
		費用便益分析	費用対効果分析	投票	Stated Preference Method	MCDA	Optimization	Multi-Objective Optimization	Pair-wise ranking	Systems modeling	Real options analysis	Value-Chain Approach	Game Theory	Event Tree	Robust Optimization	Robust Decision Making	DAPP	Bayesian Decision Network	MORDM		Adaptation Pathways	Delphi	Info-gap
Terrestrial and Freshwater Ecosystems and their Services 陸域及び淡水生態系とサービス	Terrestrial Ecosystems	2	3			1	2				1												10
	Freshwater Ecosystems	2	1			2											1				1		6
Oceans and Coastal Ecosystems and their Services 海洋及び沿岸生態系とサービス	Coastal Ecosystems			1		2																	3
	Oceans Ecosystems			1		1																	2
Water 水	Water resources	5	1	1		9	4				1		1		1	1	1	2					27
	River Flooding	5	2	1		8	1								2	2				1			23
	Coastal Disaster	3		1		6		1						1	1	2				1	1	1	18
	Disaster/Extremes Inland Water	1	1			4																	6
	Disaster/Extremes Others	2																					2
Food, Fibre, and other Ecosystem products 食料、繊維、及びその他の生態系サービス	Crop/Agriculture	7	4		1	9	1	2	1	1		1					1		1				29
	Forestry	2			1	6	3										1						13
	Fishery	1	1			2			1														5
	Livestock	1	1		1	1	1																5
	Aquaculture			1		1																	2
Cities, Settlements and Key Infrastructure 都市、開発地及び主要なインフラ	Infrastructure	6				2	2			1				1		1							13
	Tourism					3	2													1			6
	City or Cities/Urban Area					1																	1
	Settlement																						0
Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities 健康、福祉及びコミュニケーションの構造変化	Health	1				4																	5
	Migration	1							1														2
	Wellbeing																						0
Poverty, Livelihoods and Sustainable Development 貧困、生計及び持続可能な開発	Livelihood			1		2																	3
	Poverty/Equity																						0
Total		39	17	4	3	64	16	3	3	2	2	1	1	1	1	5	5	4	3	3	3	1	181



結果

- 最多応用件数：
多基準決定分析
24分野中18分野
- 深い不確実性の検討は
水資源・沿岸災害・
河川洪水分野に集中

考察

- 多基準決定分析
：汎用性の高さ、
データ要件の少なさ
国連が開発途上国で推奨
- 影響予測情報の発展 +
災害の発生頻度の不確実性
→ 適応の深い不確実性検討
の必要性

【ST1】農業分野の優先順位付け研究：背景・目的

- 農業は気候変動にセンシティブかつ脆弱な分野
- 多くの研究で気候変動により作物の平均収量の減少が予測されている (Seo & Mendelsohn, 2008; Varela-Ortega et al., 2016)
- 一方で適度な気温の上昇と蒸発散量の増加によって恩恵を受ける地域もある (Rising & Devineni, 2020)
- 気候変動による生産性の変化は、**農家の作物転換、新しい地域への移動のインセンティブ**となる
- 生産性における地域的な変化の程度と、将来の作付け決定への影響を理解することは、気候変動が農業に与える影響に関する中心的な問題
- しかし作物転換も含めた農家を取り得る適応策について、不確実性を考慮した費用対効果による評価研究は少なく、日本では研究がなされていない

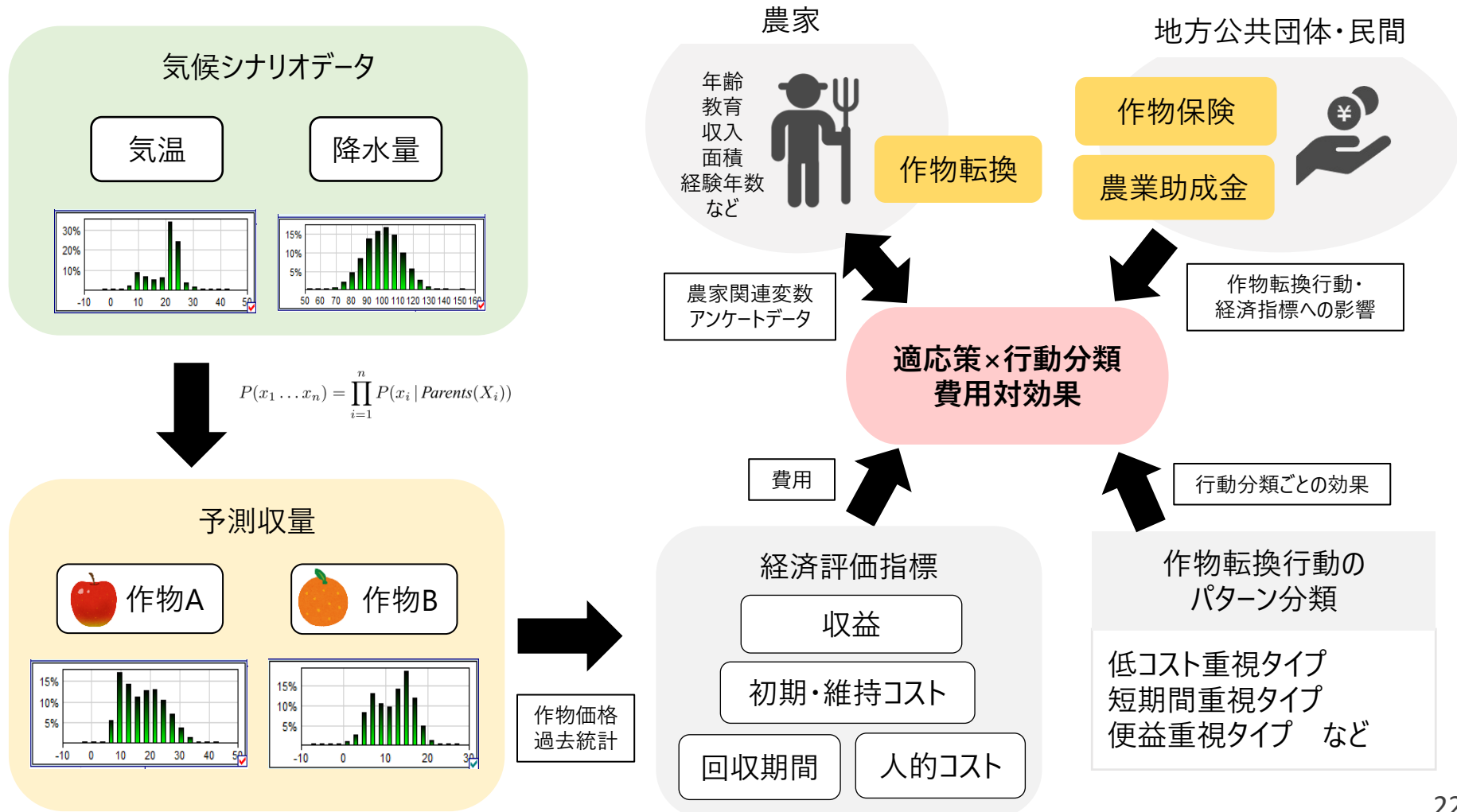


不確実性を考慮しリスク許容度を検討することで

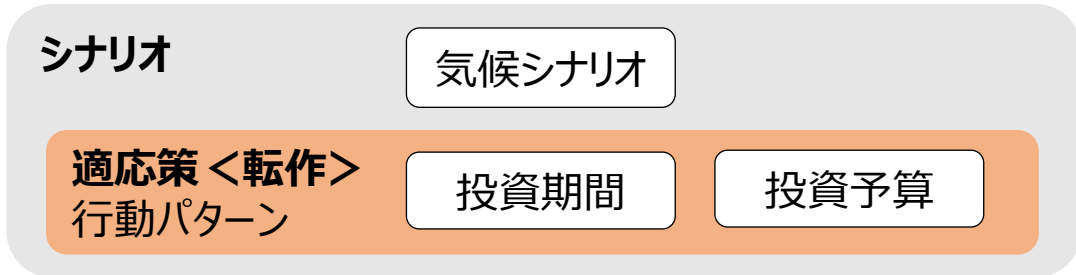
農業分野と農家にとって実践的に使用可能な作物転換に係る適応策優先順位付け手法を提案

【ST1】果樹農家の適応策効果

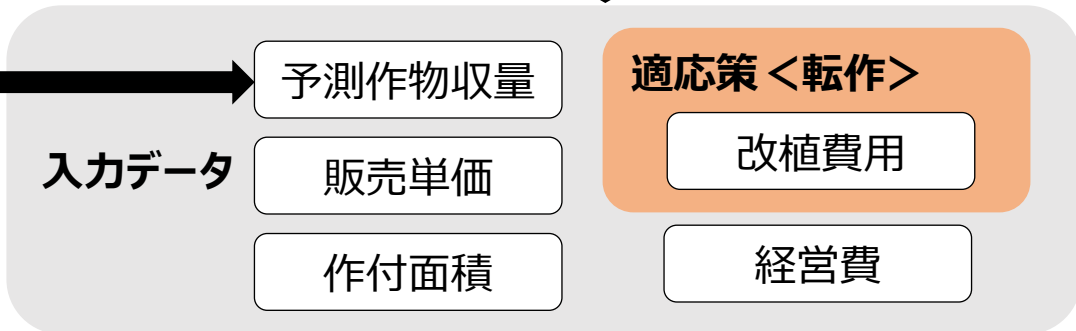
- 影響予測モデルを活用し、BAUシナリオの場合と適応策介入の場合の費用対効果を比較
- 不確実性を持つ将来の降雨と気温を確率的に表すことで、各適応策の効果を確率評価
- 作物転換行動を複数のパターンに分類し、行動分類ごとに適切な適応策を提案



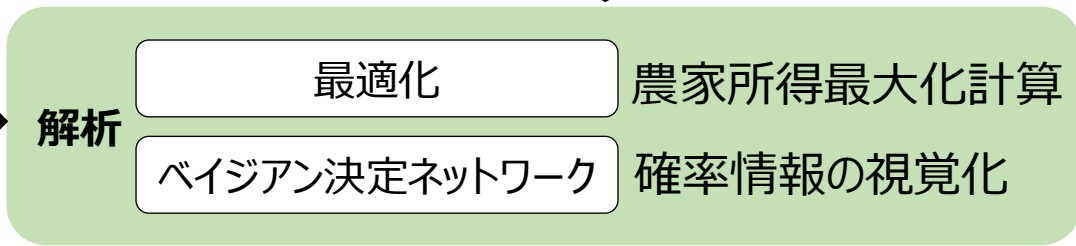
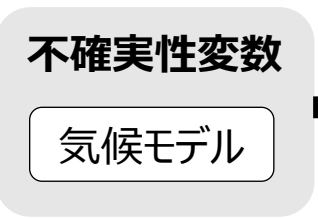
【ST1】果樹農家の適応策費用対効果：手法概要



➤ 気候シナリオ・行動パターン別に計算条件を分類

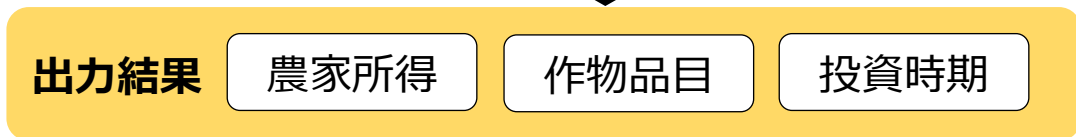


➤ ST2の予測収量を活用し、各作物の粗収益・費用・所得を算出



➤ 所得最大化のための経営計画を算出

➤ 気候モデルの不確実性の可視化

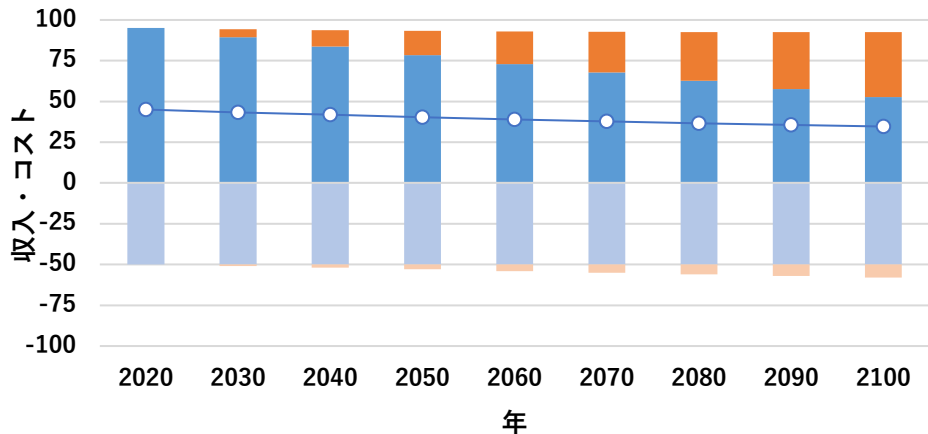


➤ 所得が高くなる可能性が高い計画の提案₂₃

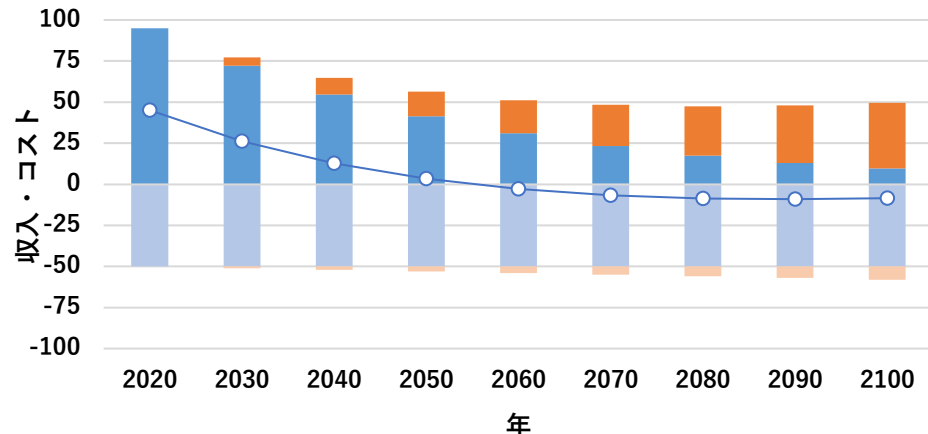
【ST1】解析イメージ

- ある地方公共団体において農家所得の予測を最大とする作物転換の時期を評価

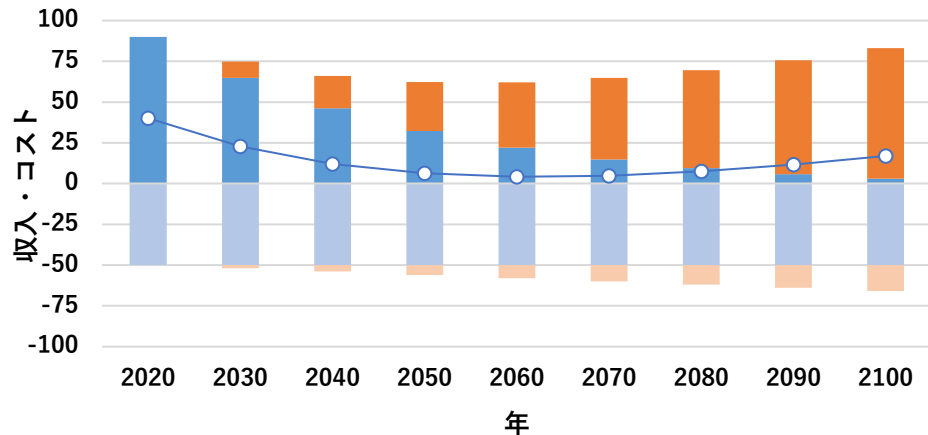
RCP2.6+5%改植



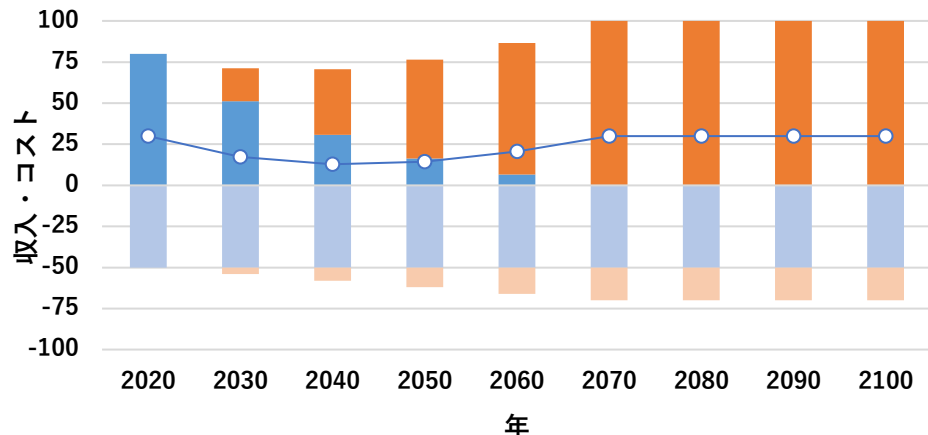
RCP8.5+5%改植



RCP8.5+10%改植



RCP8.5+20%改植



■ 果樹A (収益) ■ 果樹B (収益) ■ 果樹A (費用)
■ 果樹B (費用) ○ 利益

■ 果樹A (収益) ■ 果樹B (収益) ■ 果樹A (費用)
■ 果樹B (費用) ○ 利益

ご清聴ありがとうございました

CCCAが運営するTwitter, Facebook, Youtubeを是非ご覧ください！
A-PLAT更新情報, 独自のコンテンツ紹介, 職員の活動内容を随時発信しています
フォロー, いいね!などの応援を宜しくお願い致します。



[@APLAT_JP](https://twitter.com/APLAT_JP)



(EN) [@ap_plat](https://twitter.com/ap_plat)



[@APLAT.JP](https://www.facebook.com/APLAT.JP)

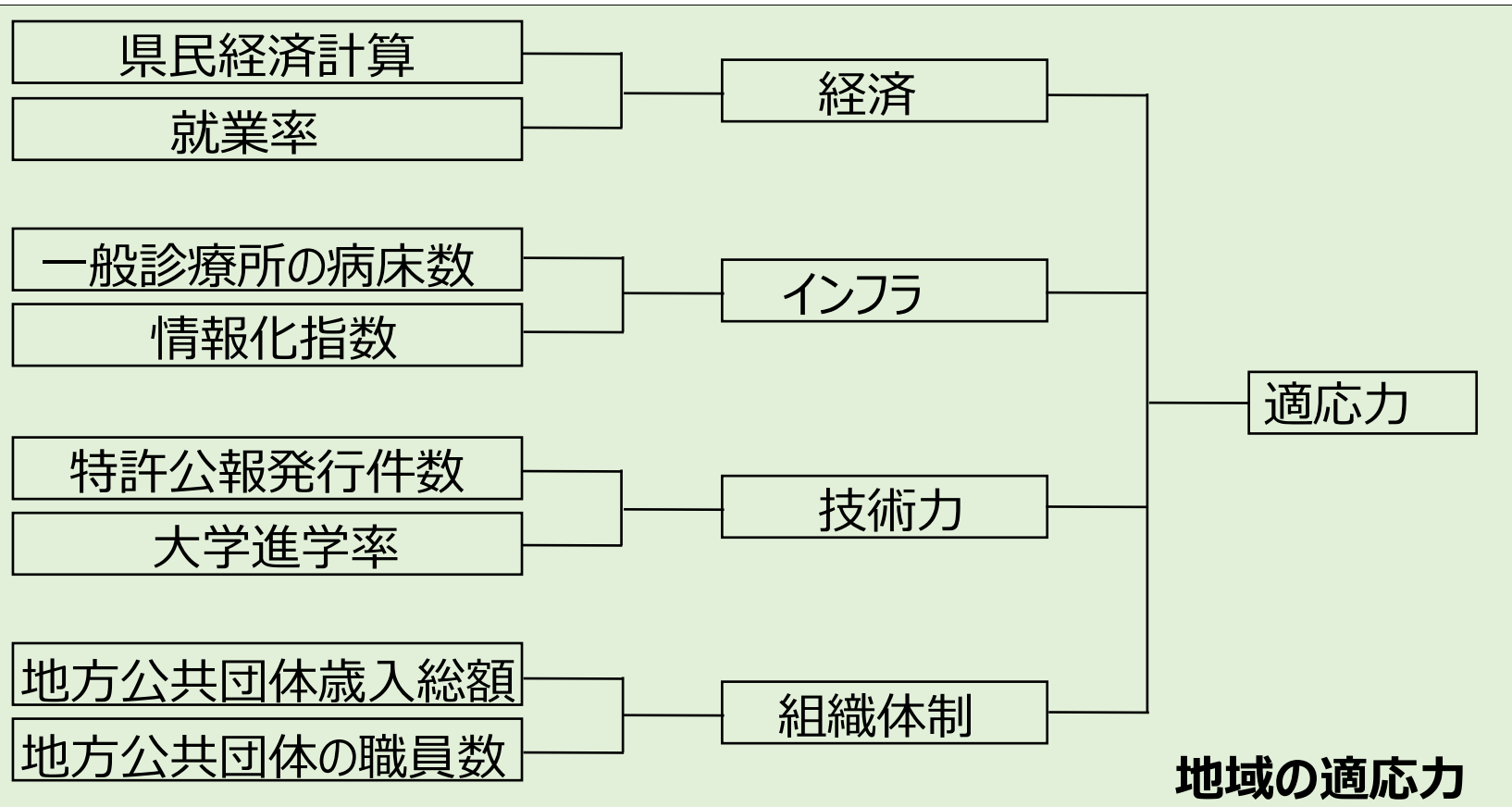


[気候変動適応情報プラットフォーム A-PLAT](https://www.youtube.com/channel/UC...)



【ST1】適応力判定ツール

適応に関する能力とは組織や個人等が気候変動影響に対応するための潜在的な能力



農業分野

防災分野

【ST1】優先順位付け手法：先行研究

分類	優先順位付け手法	長所	短所	出典
古典的手法	費用便益分析	最小のコストで最大のコストメリットを提供するオプションを選択することが可能	すべての適応策に対し共通の費用と便益（金銭価値）の指標を適用することが難しい	Champalle et al. (2015)
	費用対効果分析	非金銭的価値を効果量として考慮し、重要性を示すことができる	相対的な効率性を計り、効果と比較して費用が小さいものから優先されるため、対策ごとの是非の判断は難しい	Alphen et al. (2020) Watkiss et al. (2015)
	多基準分析	様々な基準を使用し、汎用性が高く、潜在的に重要な対策も考慮できる	基準の決め方やプロセスの合意形成が必要であり、利害関係者・専門家のバイアスが入る可能性がある	Haque et al. (2012) Champalle et al. (2015)
不確実性を扱う手法	Robust Decision Making	あらゆるシナリオと選択肢を一つずつ考慮・分析し、長期的に気候の動向を見ながら決定を行うため気候予測の不確実性に対処できる	分析・シミュレーションに多大な時間がかかり、その手法の複雑さと分析の多さから広く採用されていない	Hinkel & Bisaro (2015) Groves et al. (2020)
	リアルオプション分析	戦略の柔軟性に価値を置き、長期タイムスケールで選択肢を延期または調整することも考慮可能	必要な計算やデータ量が多い 将来の様々なタイムスパンでの確率情報を必要とする	DEFRA (2013)
	ベイジアンネットワーク	複数の要因が複雑に絡み合う課題でも因果関係を表すネットワークとして見える化でき、透明性が高い	効果にかかわる要因とその因果関係を事前に理解している必要がある	Catenacci and Giupponi (2013) Phan et al. (2020)