

課題番号:1-2101

体系的番号:JPMEERF20211001

# 世界全域を対象とした技術・経済・社会的な 実現可能性を考慮した脱炭素社会への 道筋に関する研究

研究代表者・説明者: 藤森真一郎

課題代表機関: 京都大学

研究体制: 京都大学 藤森真一郎(サブ1)

京都大学 大城賢(サブ2)

立命館大学 長谷川知子(サブ3)

実施期間: 2021年4月から2024年3月まで

# 研究の背景・目的

## 背景

- パリ協定以降、世界的に脱炭素化が強く求められている
- 日本においても首相がカーボンニュートラル目標を掲げており、社会全体が経済・環境の好循環を作り出すことが求められている
- 気候安定化には今世紀中盤までの短中期でいかに急速かつ大規模に温室効果ガス(GHG)排出量を削減できるかが当面の課題
- IPCC等で世界の削減シナリオはまとめられているが技術的、経済的、社会的な観点から実現可能なのはまだ明らかにされていない
  - ✓ 目標に向けた道筋
  - ✓ 実現可能性をどうやって上げるか？

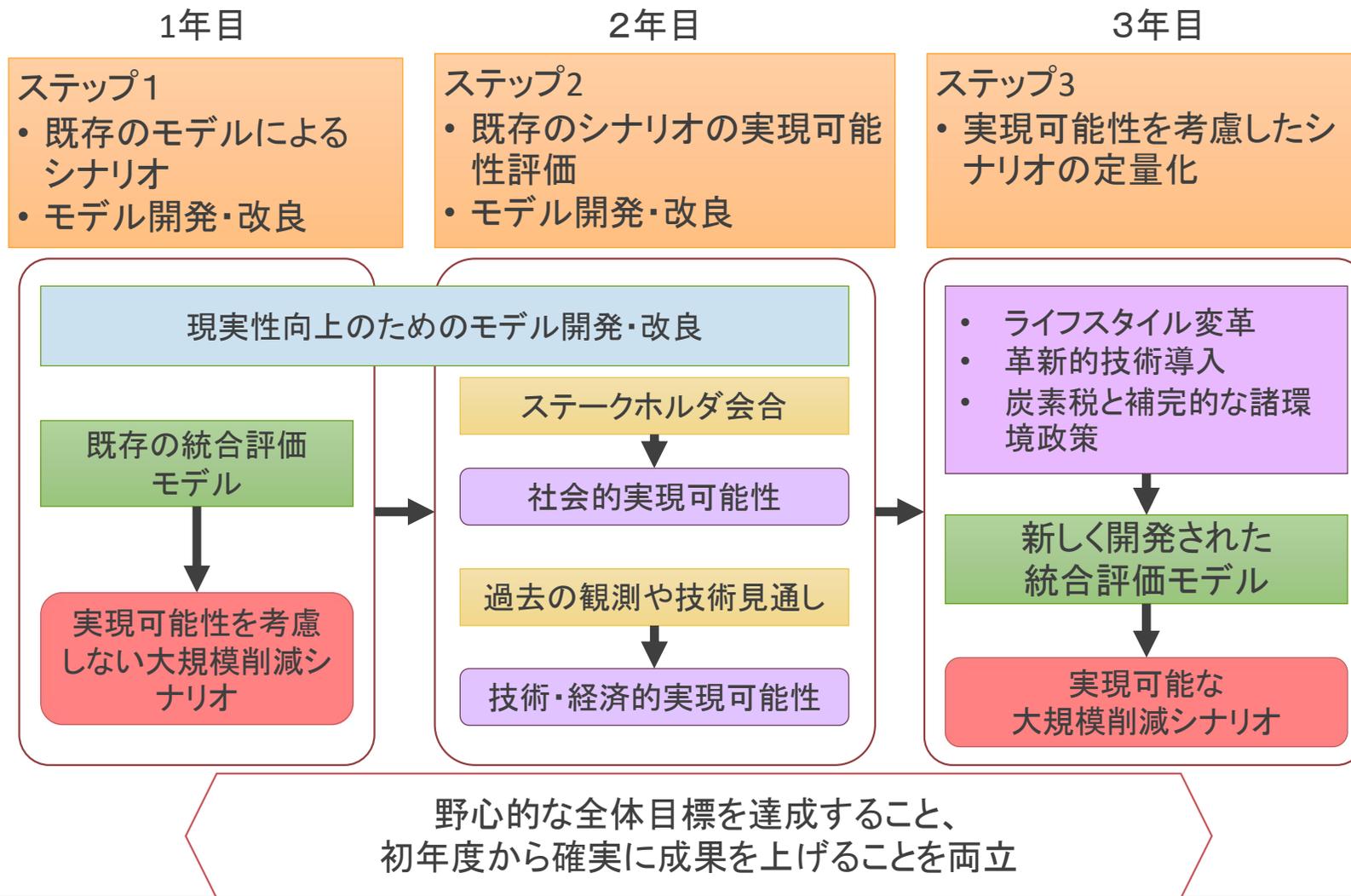
## 目的

- 世界及び日本を対象として短中期的(2030-2050年)将来を対象
  - ✓ 脱炭素社会(全球規模2°C、1.5°C安定化相当)への道筋を技術、経済、社会的実現可能性という観点から評価
  - ✓ 実現可能性を高めるライフスタイル変革、革新技術の導入や環境政策を提示すること

# 研究目標

- 脱炭素社会への道筋の選択肢を**複数**提示する
- 2°C、1.5°C目標の達成に必要な短中期的な削減努力の実現可能性をエネルギー技術だけでなく**経済・技術・社会的**な観点から検討
  - ✓ 経済的観点: マクロ経済影響や所得格差
  - ✓ 技術的観点: 座礁資産や技術の導入スピード
  - ✓ 社会的観点; 一般市民のステークホルダ会合
  - ✓ ライフスタイル変革: 既存文献を参考にしつつ、エネルギー需要低減や環境負荷を低減する(畜産物を減らした)食ライフスタイルを主として検討する。これらを統合評価モデルによるシナリオとして提示
- 成果(シナリオ)の公表
  - ✓ 一般がアクセスデータベースとレポートとして公表
  - ✓ ESGやTCFDなどを含む広く環境に関連する企業戦略策定や日本政府・地方自治体の環境政策策定時に使えるよう

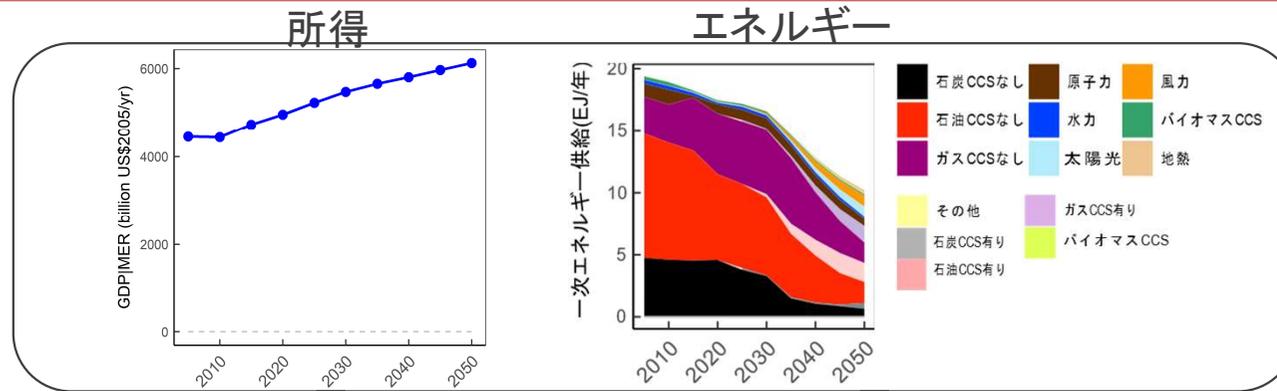
# 研究計画



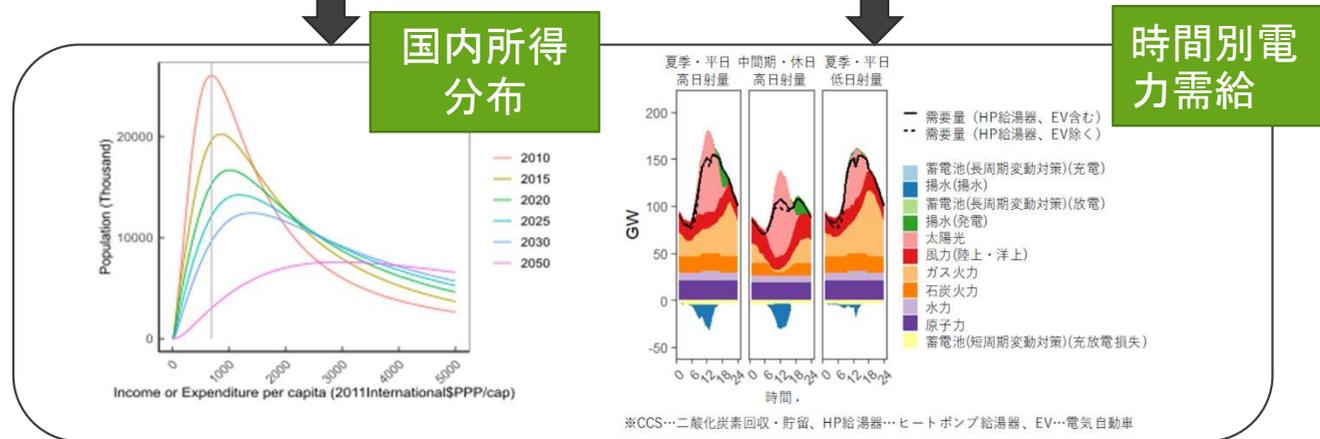
# 研究開発内容

- 統合評価モデルAIMグローバルモデル(AIM/CGE)のアドバンテージを活かしつつ、**世界最先端を行くモデル開発**
  - ✓ エネルギー、農業・食料モデルを新たに開発し特に強化
  - ✓ **マクロからミクロまで**統合的に検討できるモデル

既存モデル  
(低解像度)



新モデル  
(高解像度)

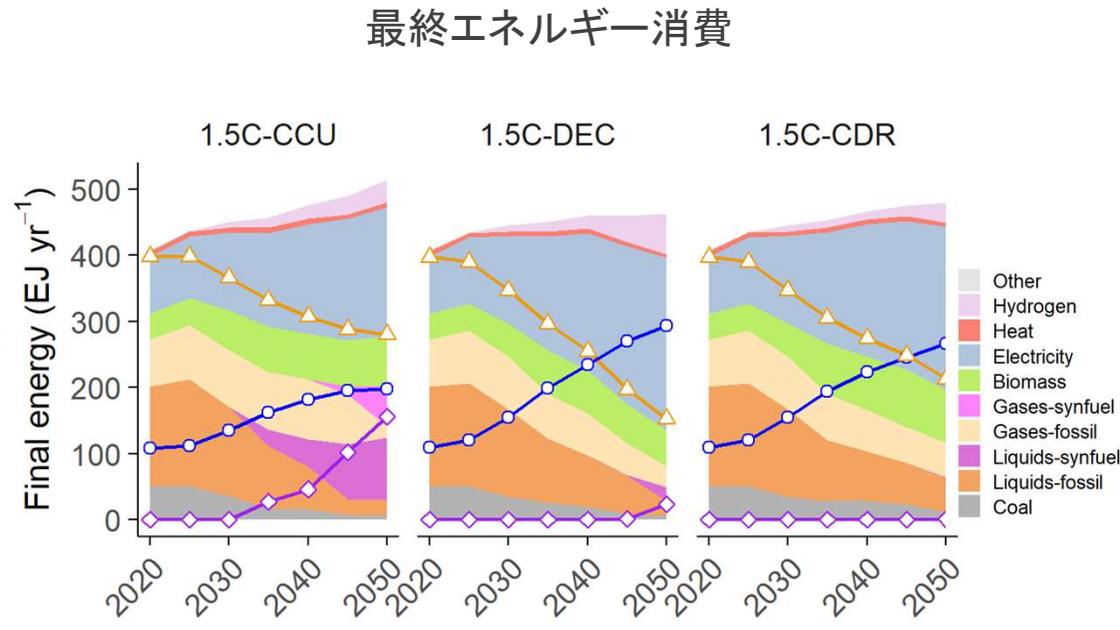
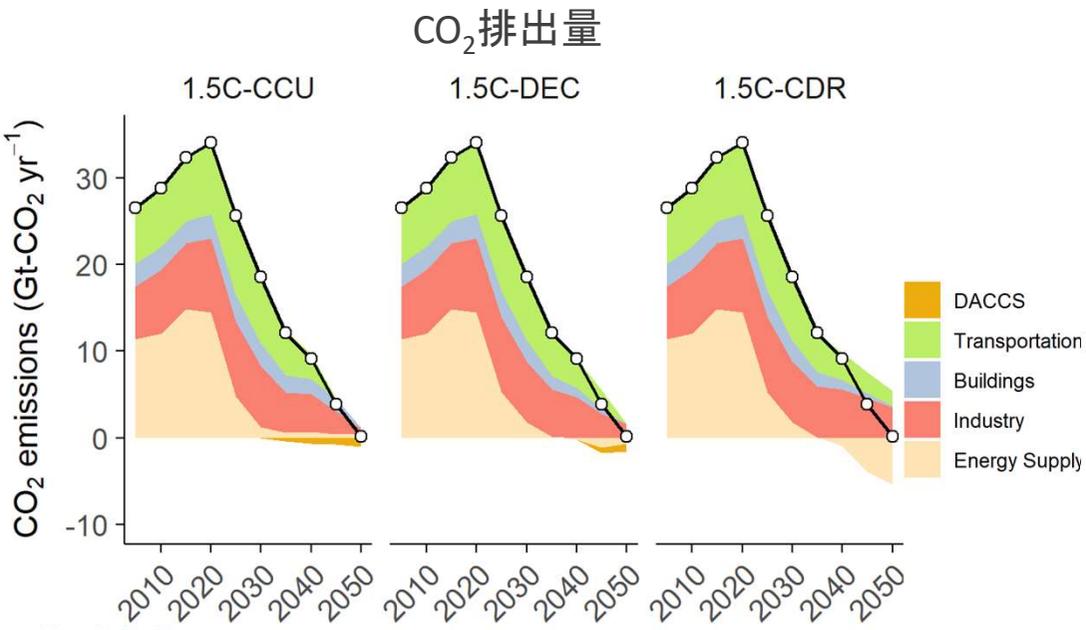


# 成果の概要

研究内容	詳細	成果	SPM	論文成果
脱炭素社会の 選択肢の提示	脱炭素の実現可能性を問う3つの代表的なシナリオの提示	①	①	Oshiro et al., OneEarth
	日本の脱炭素社会の可能性の検討	A	②	大城ら、土木
脱炭素シナリ オの実現可能 性の検討	脱炭素シナリオの実現可能性の公衆認知	②	③	Asayama et al. in prep
	歴史的観測と比較した将来シナリオの実現可能性に関する検討	B		西本ら、土木
	経済的な実現可能性を上げる施策に関する検討	③	④	Fujimori et al., Clim.Act.
	気候緩和策が貧困へ与える影響とその軽減策に関する検討	C	⑤	Fujimori et al., Sust.Sci.
モデル開発・ 改良と応用	経済モデル: CO2直接空気回収(DAC)の導入	D		西浦ら、土木
	エネルギーシステムモデル: アンモニア、合成燃料や水素を導入	E	⑥	Oshiro, App.Ene.
	エネルギーシステムモデル: 火力発電のアンモニア・水素混焼	④	⑦	Oshiro, NatComm
	農業土地利用モデル; 食料需要モデルの開発、食の変革の効果	F	⑧	瓜本ら、土木
それ以外の	政策対応: NDCの更新の影響の評価	H	⑨	筒井ら、土木
生物多様性	国際研究コミュニティの牽引: 国別シナリオの提案	⑤		Fujimori et al., NCC
	IPCCAR7サイクルへ向けた気候分野のシナリオに関する提案	I		Fujimori et al., PLOSClim.
資源・物質 循環	生物多様性と気候変動の相互作用をIIASAと国際共同研究	J		Zhang et al. preparation
	石油化学製品を明示的に考慮したシナリオ解析	K		森ら、土木
	市町村を事例とした脱炭素化シナリオの評価	L	⑩	桑葉ら、土木

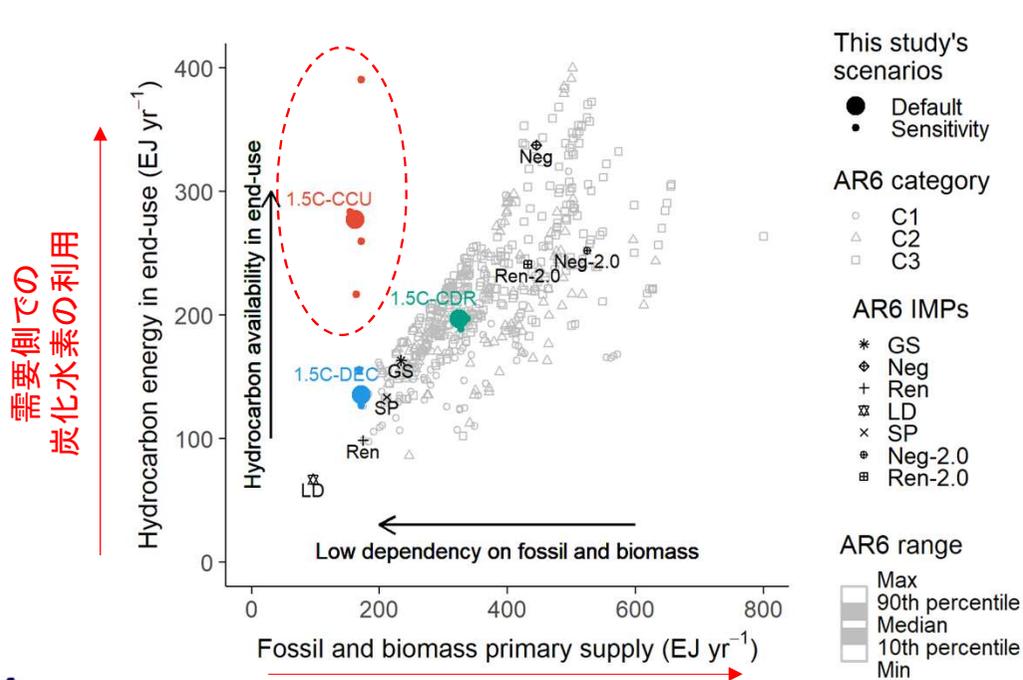
# 3つの異なる脱炭素シナリオの定量化

	シナリオの特徴	実現に向けた課題
1.5C-CDR	エネルギー需給変化が少ない。コストは低い。	大規模な二酸化炭素除去(CDR)が必要。
1.5C-DEC	需要部門の脱炭素化が進む。CDRは少ない。	需要部門の大幅な変化(主に電化)が必要。
1.5C-CCU	炭素回収利用(CCU)の活用。エネルギー需要部門の変化が少ない。CDRは少ない。	大規模な空気直接回収(DAC)、再エネ拡大が必要。コストが高い。

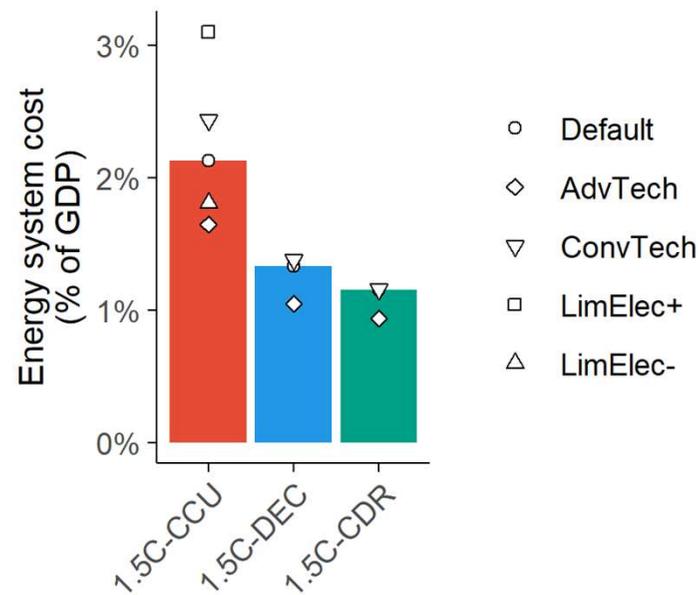


# 新たな脱炭素シナリオ:CCU・合成燃料

- IPCC AR6の代表シナリオには含まれていなかった新たな脱炭素シナリオの可能性として、CCUを活用したシナリオを提示。
- CDRへの依存の回避・ライフスタイルや需要部門の大幅・急速な変化を回避。
- ただしコストの高さが課題。エネルギーシステム費用は他のシナリオの約2倍。

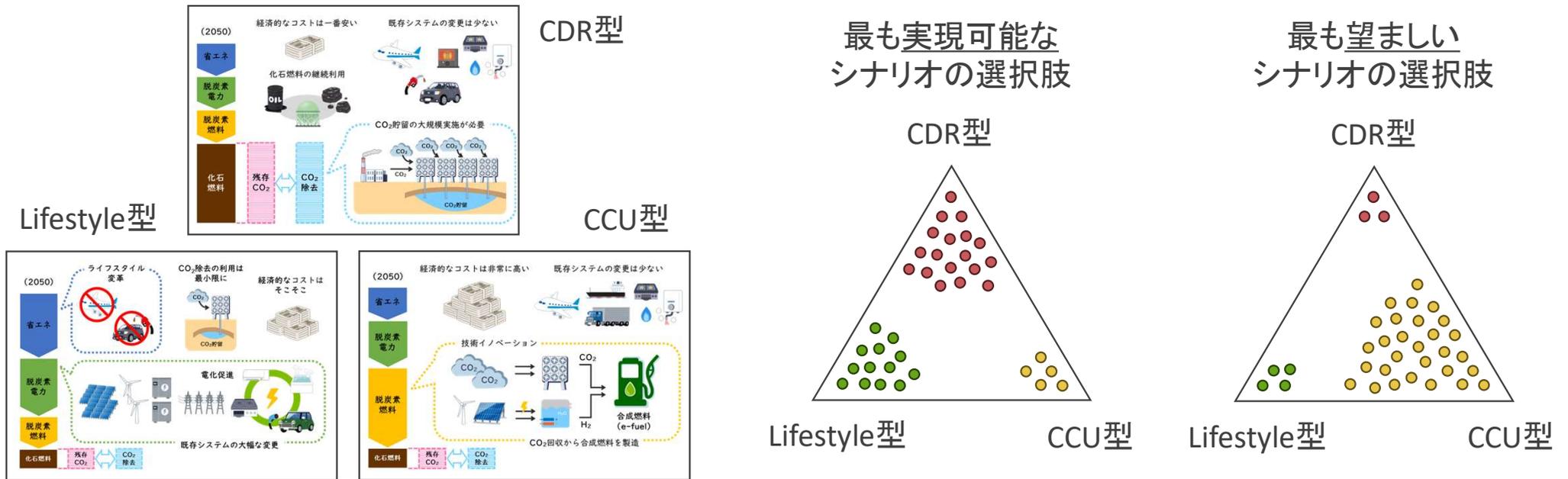


累積エネルギーシステム費用



# 脱炭素シナリオの実現可能性の公衆認知

- 3つの脱炭素シナリオ(CDR型・Lifestyle型・CCU型)の実現可能性・望ましさの公衆認知を一般市民を対象としたステークホルダー会合で定性的に評価。
- CDR型は経済的なコストの観点からより現実的だが望ましくないと捉えられる傾向。
- ライフスタイル変革への忌避感と技術イノベーションへの過度な期待も見られた。



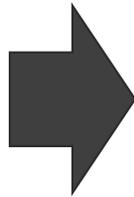
# 経済的な実現可能性を上げる方策

投資の好循環

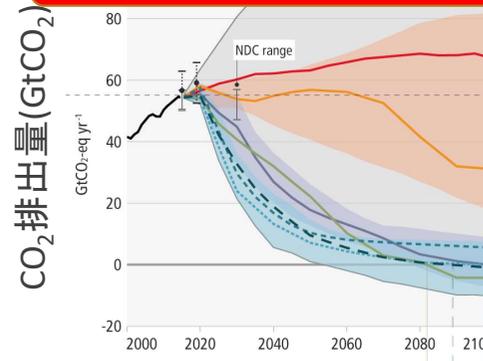
エネルギー供給変革



エネルギー需要変革 食の変革

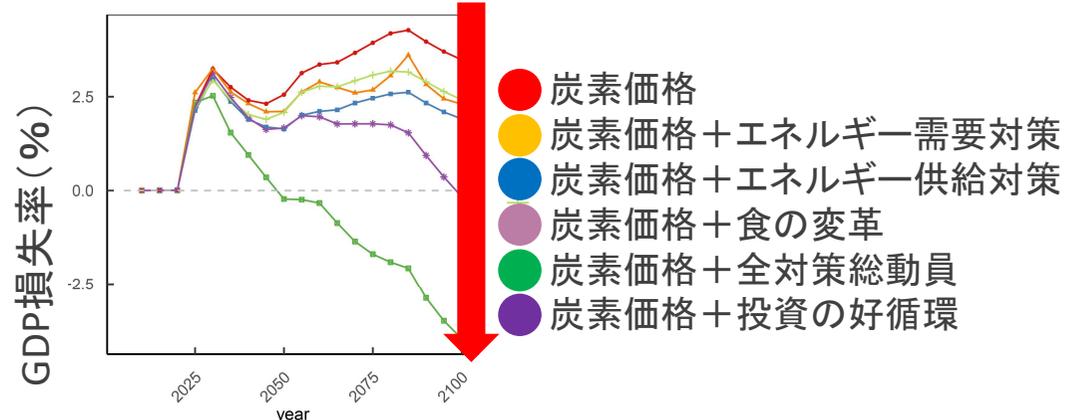


## 社会の脱炭素化



世界全体のCO<sub>2</sub>排出量のイメージ

## 経済的負担の軽減



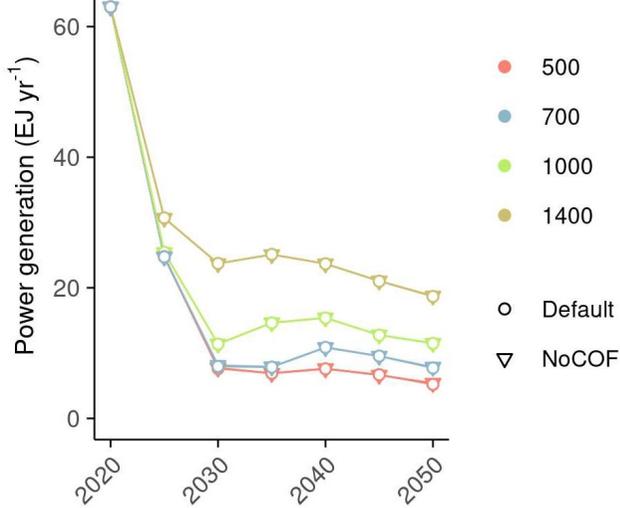
世界全体の気候変動緩和(脱炭素化)費用

# 世界エネルギーシステムモデルによる水素混焼の評価

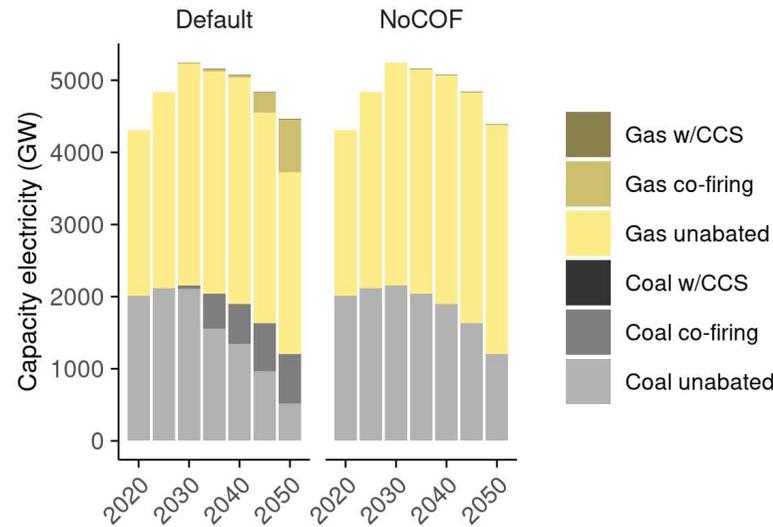
- 世界エネルギーシステムモデルAIM/Technologyを用いて、水素混焼について分析。
- 緩和シナリオにおいて、水素混焼の有無は火力発電電力量にほぼ影響しない。
- 一部の火力発電は水素混焼付きとなるが、費用の高さから設備利用率が低い。
- 座礁資産の回避効果も限定的。

電力全体は2050年で  
約53TW

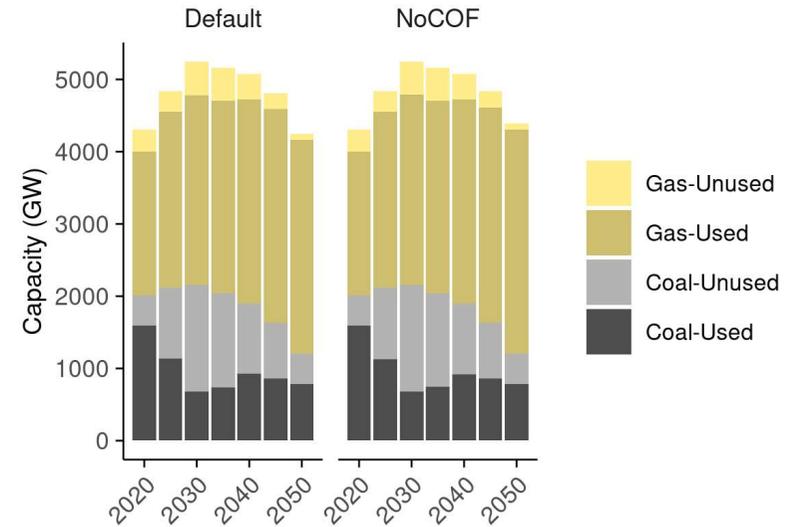
火力による発電電力量  
(CCS・水素混焼含む)



石炭・ガス火力発電容量の内訳

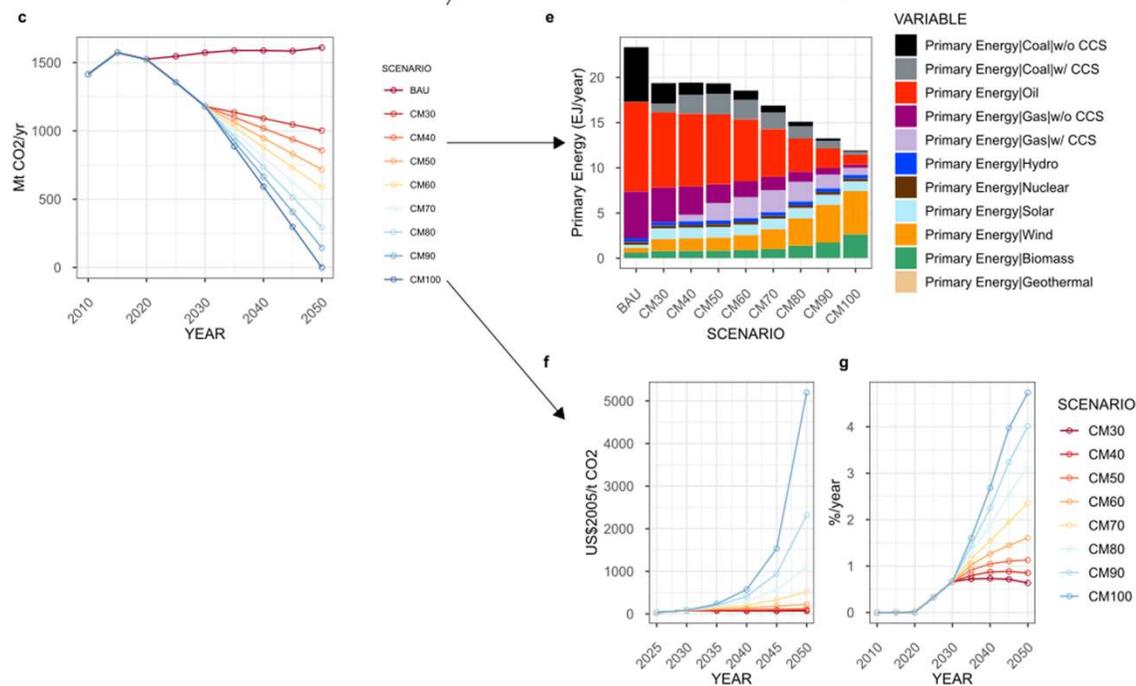


稼働状況別の発電容量



# 国別シナリオのフレームワークの提示

- 気候変動問題はその問題の特性上、長期的な視野に立った目標設定とそれに向けた施策実行が必要
- 近年、国が宣言する長期目標は2030年目標も含めると高頻度で改訂されるようになり(例えば2, 3年に1度)、作成したシナリオがすぐに使えなくなるということが頻繁に起きる
- 各国が気候政策をより真剣に考えるようになってきた今日、各国間での気候政策目標の違いやその意味、実現可能性や困難性を比較評価分析することは必須

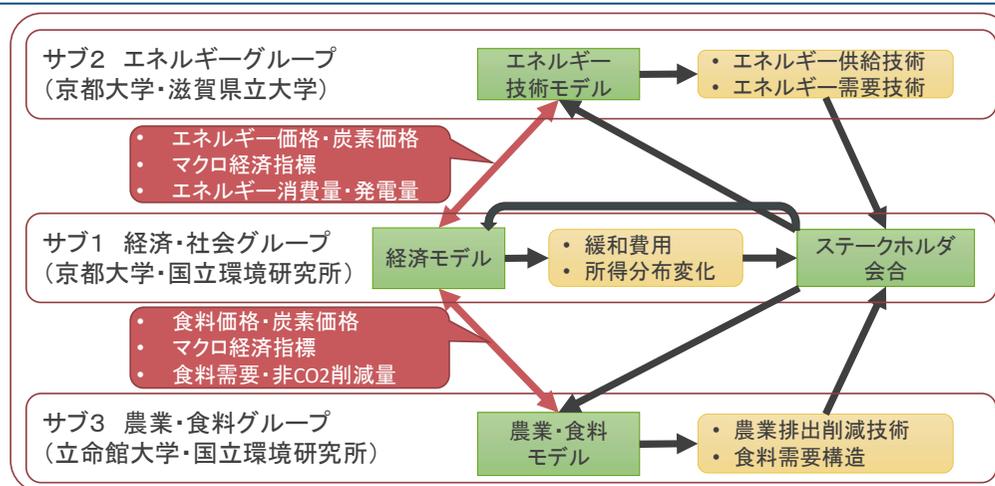


日本の解析例

本研究は、従来考えていなかったような、政策の不確実性に柔軟に対応できるようなシナリオの設計・フレームワークを提案

# 緊密な課題内/サブテーマの連携

- **サブテーマ間でのデータの授受**
  - ✓ 経済モデル、エネルギーモデル、土地利用モデルの出力の相互交換
  - ✓ 一つのプログラムで自動で動くような統合ツールを開発し経済モデル、エネルギーモデル、土地利用モデルの繰り返し計算の運用→次世代統合評価モデルへ
- フォーカスグループミーティング(ステークホルダ会合)へむけたシナリオのインプット
- モデル開発の技術的な事項に関する月例会合を開催実施⇒**モデル開発で着実な成果**
- 2か月に1回の進捗確認会合を実施⇒**研究進捗とともに最新の研究関連情報の交換**
- 多くの研究がサブテーマを跨いだ共同研究として実施⇒**課題全体がほぼ一体となって動いた**



# 環境政策等への貢献

- 国際的な貢献を通じた環境行政への貢献
  - ✓ IPCC第6次評価報告書(特に第3作業部会報告書)への貢献を通じて、環境政策、特に国連気候変動枠組条約パリ協定の下で行われた第1回グローバルストックテイクへの貢献
    - 多くの成果が引用される。(Fujimoriの引用は合計174件、複数章引用による重複を除くと84件)
    - 多くのシナリオを提供した。特に国シナリオの提供数は非常に多かった
    - 本研究の分担者には同報告書の主執筆者(長谷川:第3章)、貢献執筆者(藤森:第3章、第7章)が含まれた
  - ✓ 2022年7月に国連で開催されたECOSOC(国連経済社会理事会)ハイレベルセグメントにおいて長谷川が研究成果を紹介し、国際的な環境経済政策への貢献が期待される
  - ✓ COP26のPolicy Briefの提供、第14回気候変動枠組条約(UNFCCC)科学上及び技術上の助言に関する補助機関(SBSTA)にてポスター発表し、国際的な場を通じて行政貢献
- 国内委員会が活用した成果
  - ✓ 資源エネルギー庁の総合資源エネルギー調査会基本政策分科会第44回(2021年6月30日)の資料7 P15-16に、本研究成果であるAIM/Hub、AIM/Technology(当時はAIM/Enduse)による試算結果が掲載され、カーボンニュートラルに向けた方策検討に貢献した

# 研究成果：学術的な成果

- 業績
  - ✓ 査読付き論文55編（うち英文20編）：**Nature Climate Change**、**Nature Sustainability**、**Nature Communications**を主著とした論文を含む多数の国際誌での研究成果公表
  - ✓ 口頭発表98件、査読なし論文30編、その他発表25件：精力的に成果発表とその議論を行った
- 国内外の受賞20件
  - ✓ 国内科学界トップクラス：**日本学術振興会賞（藤森）**、**ジュンアシダ賞（長谷川）**
  - ✓ 国外学会：IAMCで2021年に最も貢献のあった人への賞（藤森）
  - ✓ 国内での学会賞（次世代の学生が中心）：土木学会論文賞など5件
- 国際的な研究コミュニティ、報告書への貢献
  - ✓ IPCCの第6次評価報告書
  - ✓ Global Environmental Outlook 7（UNEP）；（藤森：第17章統括執筆者）

# 研究成果：アウトリーチ等

- 「国民との科学・技術対話」11件
  - ✓ 一般公開シンポジウムの実施→ERCA YouTubeチャンネル掲載
  - ✓ 日本学術会議等の招待講演
  - ✓ 高校への出前講義
  - ✓ 高校生の藤森研究室への訪問・講義
- プレスリリース:9件
- マスメディア等での発表:41件
- 国際共同研究を通じた研究コミュニティへの成果発信
  - ✓ EU-Horizon2020でのプロジェクトENGAGEと連携しての国際共同研究
  - ✓ Nature Climate Change(Fujimori et al., 2021)、Nature Sustainability(Hasegawa et al., 2021, Riahi et al., 2021)での論文計3本は共同研究

オンライン配信・対面の機会を最大限活用し、積極的に对外発信に努め、推進費自体の認知度の向上にも一定程度の貢献

The screenshot shows the ERCA YouTube channel interface. At the top, it says '環境再生保全機構公式動画チャンネル' (Official Video Channel of the Environmental Restoration and Conservation Agency). Below the channel name, there are statistics: '@ercachannel · チャンネル登録者数 8550人 · 429 本の動画'. The main content area displays several video thumbnails with titles like 'ネットゼロシナリオの公衆認知' and 'ネットゼロを達成するエネルギーシステムの定量評価'. Below the videos, there are social media-style interaction buttons for 'いいね' (Like), 'コメント' (Comment), and '共有' (Share). At the bottom, there is a newspaper clipping with the headline '気候変動 危機の連鎖' and '農業と食を守るために'.

**研究成果紹介 /** 環境研究総合推進費の研究成果について、各研究機関から2021年度に出されたプレスリリースを紹介します

2021年10月8日リリース [http://www.ritsumei.ac.jp/profita/pressrelease\\_detail/749-524](http://www.ritsumei.ac.jp/profita/pressrelease_detail/749-524)

**大規模な二酸化炭素除去技術に依存しない温室効果ガス排出削減とそれが土地利用と食料システムへ与える影響**

立命館大学の長谷川 知子准教授<sup>1)</sup>、京都大学大学院工学研究科の藤森 真一郎准教授<sup>2)</sup>の国際共同研究チームは大規模な二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)除去に依存せずに、パリ協定の1.5℃、2℃目標に相当する温室効果ガス排出削減を実施することによる土地利用・食料システムの影響を明らかにしました。

IPCCの1.5℃特別報告書で用いられたシナリオは、今世紀半の全球平均気温上昇のみをターゲットとし、現在から今世紀末までの排出経路と気候変化の経路は規定されていませんでした。そこで今回、CO<sub>2</sub>除去技術に依存しない排出シナリオを準備し、国際的によく用いられている7つの統合評価モデルを用いてモデル比較分析を実施しました。そして、今世紀後半の食料の排出に依存せず、早期に排出を削減することによる、土地利用と食料システムへの影響を明らかにしました。その結果、CO<sub>2</sub>除去に依存しないシナリオでは、早期の排出削減を行い、今世紀後半のCO<sub>2</sub>除去によって引き起こされる劇的な土地利用変化を回避できることが示されました。また同時に、CO<sub>2</sub>除去に依存せず気候目標を達成するには、必然的に早期かつ迅速な排出削減対策が求められますが、これも中期には課題をもたらすことを意味しており、これらの課題に対処する方策を検討する必要性を示唆しています。

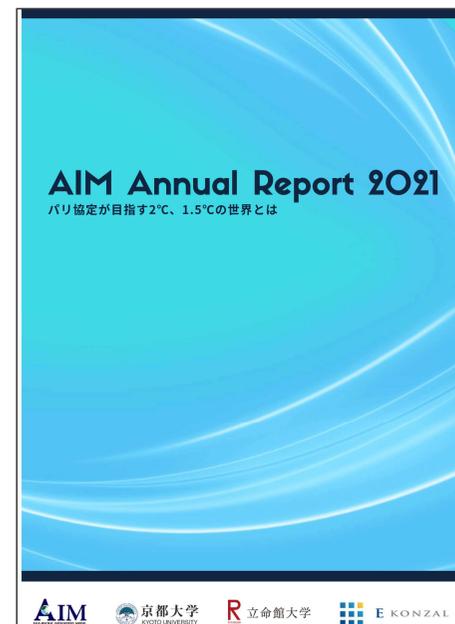
二酸化炭素除去技術に依存しないケースの世界の農業・土地利用由来の温室効果ガス排出削減(a)と土地利用による影響(依存するシナリオ) (b)

<sup>1)</sup> 課題番号1-2101世界全域を対象とした技術・経済・社会的な実現可能性を考慮した脱炭素社会への遷移に関する研究 (研究代表者:藤森 真一郎 研究分担者:長谷川 知子)  
<sup>2)</sup> 課題番号2-2101世界を対象としたネットゼロ排出削減のための気候変動緩和及び持続可能な開発 (研究代表者:高橋 誠 研究分担者:長谷川 知子、藤森 真一郎)

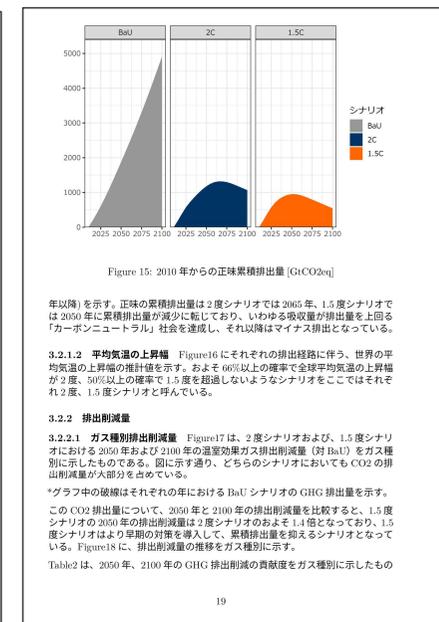
# シナリオデータベース・年次レポート



## 表紙



## 中身の例



- 社会一般での本課題成果の活用を狙ったデータベースとレポート

[https://athehost2.env.kyoto-u.ac.jp/projectdb/AIM\\_report2023/](https://athehost2.env.kyoto-u.ac.jp/projectdb/AIM_report2023/)

# 研究目標の達成状況

- 年度計画に沿って、研究作業
  - ✓ 本課題の提示する3つの世界観に基づく脱炭素シナリオの提示
  - ✓ 社会・経済・技術的な実現可能性の評価
  - ✓ 経済モデル、エネルギーシステムモデル、農業・土地利用モデルの改良(国内外ジャーナルにて掲載)
- 国際的な研究活動に貢献
  - ✓ 欧州モデル比較プロジェクトへの参画
  - ✓ IPCC第6次報告書にLA、CAとして参画
- 当初計画になかったが、環境政策上重要と思われ追加実施
  - ✓ 国別のシナリオの提案(Nature Climate Changeで主著掲載)
  - ✓ 国際研究コミュニティIAMCでタスクグループを作り、座長を務める
  - ✓ 日本の脱炭素戦略の提示(土木学会論文集)
- 中間報告で指摘を受けた部分についても実施
  - ✓ 生物多様性と気候変動緩和策の関係に関する研究の着手(参考資料 研究成果8)
  - ✓ 資源循環の観点から鉄鋼セメントの建築物を木材へ置き換えたときの炭素蓄積効果の分析(参考資料 研究成果9)

①計画通りの研究目標の達成

②経費に対する成果は豊富にあり、学界・社会への影響力の強い学術誌での出版(Nature Climate Change, Nature Communicationsなど)

③IPCCなどの国際的研究活動への大きな貢献

④環境行政に重要なインプット

⑤中間評価コメントへの対応

「5段階中の5、目標を大きく上回る成果をあげた」と自己評価する