

令和4年度 委託調査報告書

# NGFSシナリオ第三版に関する調査

一般財団法人電力中央研究所  
2023年3月

**執筆担当者：**

富田 基史（サステナブルシステム研究本部 主任研究員）

筒井 純一（サステナブルシステム研究本部 研究参事）

若林 雅代（社会経済研究所 上席研究員）

この報告書は、一般財団法人電力中央研究所が金融庁から委託を受けて実施した「NGFSシナリオ第三版に関する調査」に関する成果をとりまとめたものです。

# 報告書の構成

1. はじめに .....	4
2. 統合評価モデルの世界及び日本の主要変数の特徴整理 .....	9
2.1 統合評価モデルの主要変数（世界全体と日本） .....	9
2.2 主要セクターのネットゼロパスウェイ（日本） .....	30
2.3 IEA等のシナリオやシナリオ第二版との比較に基づく留意点の確認 .....	47
3. 物理的リスクに関する方法論と主要変数の特徴整理 .....	52
3.1 NGFSシナリオにおける温暖化水準と物理的リスクに関する方法論の概要 .....	52
3.2 マクロ経済的ダメージ関数に基づく損失の定量化 .....	56
3.3 移行リスクモデルへのダメージ関数の内部化 .....	61
3.4 気候・影響モデルデータに基づく急進的リスクの評価 .....	65
4. マクロ経済モデル（NiGEM）と統合評価モデルとの 接続に関する情報整理と主要変数の特徴整理 .....	76
4.1 マクロ経済影響に関する既往知見 .....	76
4.2 統合評価モデルや物理的リスクモデルとマクロ経済モデルの接続 .....	80
4.3 主要なマクロ経済変数の特徴 .....	83
略語集・引用文献 .....	105

# 1. はじめに

# 本調査の背景・目的

## 金融当局による気候シナリオ分析の進展とNGFSシナリオ役割の重要性

- 日本を含む多くの金融当局が気候シナリオ分析を実施しており、過去1年間で金融当局による気候シナリオ分析の件数が大幅に増加した\*1。
- 各法域で実施されているシナリオ分析の多くで、NGFS（気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク）が整備・公表している気候シナリオ（NGFSシナリオ）が用いられている、もしくは参照されている。金融当局によるシナリオ分析において、NGFSシナリオは重要な役割を果たしていると言える。

## 気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク（NGFS）によるシナリオ第三版の公表

- 2022年4月に金融庁より公表された報告書\*2は、NGFSのシナリオ第二版（2021年6月公表）に収録された変数のうち、移行リスクの分析に用いられる統合評価モデル（IAM）の主要変数を対象に詳細な分析を行い、我が国における気候関連リスク分析を想定した留意点やシナリオの修正を提案した。
  - 2022年9月、NGFSは、シナリオ第三版を公表した。第三版では、政策、技術の想定、気候科学に関する最新の知見が採用された他、気候変動がマクロ経済に与える影響の評価についても新たな手法が採用された。
- NGFSシナリオ第三版で更新された統合評価モデルの主要変数の特徴を整理し、特に、我が国の気候関連リスク分析を想定した場合の留意点に関し、更新点を確認する。
  - 物理的リスクやマクロ経済影響について、NGFSシナリオ第三版で採用された方法論の概要を整理・解説し、主要変数の特徴を整理する。

\*1 FSB-NGFS (2022), \*2 金融庁 (2022)

# NGFSシナリオ第三版の6つのシナリオ

- 2022年9月に公表されたNGFSシナリオ第三版は、シナリオ第二版のナラティブ（将来の世界の発展の方向性やビジョンを定性的に記述したストーリーライン）を引き継ぎ、移行リスクと物理的リスクの両方をカバーする6つのシナリオを設定した。

## NGFSシナリオ第三版のナラティブ\*1

カテゴリ	シナリオ	ナラティブ
Orderly 秩序的移行	<b>Net Zero 2050</b> <b>2050年ネットゼロ</b>	厳格な排出削減政策とイノベーションにより、地球温暖化を1.5°Cに抑制し、2050年に世界のCO <sub>2</sub> 排出量をネットゼロにすることを目指す。米国、EU、日本等の一部の国では、CO <sub>2</sub> 以外のすべての温室効果ガスについてもネットゼロを達成する。
	<b>Below 2°C</b> <b>2°C抑制</b>	排出削減政策の厳しさが徐々に増していき、地球温暖化を2°Cに抑える可能性は67%。
Disorderly 非秩序的 移行	<b>Divergent Net Zero</b> <b>分岐型ネットゼロ</b>	2050年にネットゼロに到達。セクターごとに導入される政策が異なるため（民生部門と運輸部門の炭素価格を3倍に設定）、全体のコストが高くなり、石油使用のフェーズアウトが早まる。
	<b>Delayed Transition</b> <b>遅延移行</b>	2030年まで排出量が減少しない。温暖化を2°Cに抑えるには強力な政策が必要。CO <sub>2</sub> 除去は限定的。
Hot house world 温暖化進行	<b>Nationally Determined Contributions (NDCs)</b>	各国が約束した全ての政策*2（現時点では実行されていないものも含む）が実施されると想定。
	<b>Current Policies</b> <b>現行政策</b>	現在実施されている政策のみが保持される想定。物理的リスクが高くなる。

\*1 NGFS（2022b）を元に作成

\*2 2022年3月時点でUNFCCCを通じて公開されている情報を反映

# NGFSシナリオ第三版の前提条件

- シナリオ第三版の各シナリオには、第二版と同一の前提条件が設定されている。
- ただし、温暖化水準（1850-1900年を基準とする世界平均気温の変化）で表される政策強度は、第二版からわずかに値が変化している。これは、NGFSシナリオに含まれる簡易気候モデルの更新（最新の科学的知見を反映）によるものと考えられる。
- また、各国の排出削減目標を反映したNDCsシナリオは、第三版では、2022年3月までにUNFCCCから公表された情報を反映し、温暖化水準を設定している。

NGFSシナリオ第三版の前提条件（左）と各シナリオの位置づけ（右）\*1



\*1 NGFS (2022b) を元に作成

## (参考) 異なる統合評価モデルによる移行リスク関連変数の定量化

- シナリオのナラティブは統合評価モデル (IAM: Integrated Assessment Model) と呼ばれる、エネルギー＝経済の相互作用を核とした数値モデルを用いて、定量化される。
- 同じシナリオのナラティブであっても、将来の技術革新等の仮定や最適化計算の方法によって、定量化の結果は異なる。NGFSは、同一のシナリオを3種類の異なるIAMによって定量化することにより、IAMに依存する不確実の幅を示そうとしている。

### NGFSシナリオ (第三版) で採用されたモデルの代表的な諸元

	REMIND-MAgPIE 3.0-4.4*1	MESSAGEix-GLOBIOM 1.1	GCAM 5.3+
開発機関	Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)	International Institute of Applied System Analysis (IIASA)	University of Maryland
経済主体・部門の表現	REMIND：一般均衡モデル MAgPIE：部分均衡モデル	一般均衡モデル	部分均衡モデル
将来の見通し	REMIND：完全予見型 MAgPIE：近視眼的	完全予見型	近視眼的
数学的解法	REMIND：厚生最大化 MAgPIE：コスト最小化	厚生最大化	コスト最小化
空間解像度	世界12地域 (日本含む)	世界12地域	世界32地域 (日本含む)
技術変化	太陽・風力・蓄電は内生変数	外生変数	外生変数
需要側の技術オプション	エネルギー効率、電化 (民生・産業・運輸)、CCS等、15種類	エネルギー効率、電化 (民生・産業・運輸)、CCS等、16種類	エネルギー効率、電化 (民生・産業・運輸)、CCS等、14種類
供給側の技術オプション	太陽、風力、原子力、CCS、水素等、17種類	太陽、風力、原子力、CCS、水素等、20種類	太陽、風力、原子力、CCS、水素等、18種類

\*1 REMIND-MAgPIE 3.0-4.4では、経済表現、将来の見通し、数学的解法が異なるモデル (REMIND 3.0とMAgPIE 4.4) が連結されている。



## 2. 統合評価モデルの世界及び日本の 主要変数の特徴整理

- ▶ 2.1 統合評価モデルの主要変数（世界全体と日本）
- 2.2 主要セクターのネットゼロパスウェイ（日本）
- 2.3 IEA等のシナリオやシナリオ第二版との比較に基づく留意点の確認

# 統合評価モデルを特徴づける主な変数

- 統合評価モデル（Integrated Assessment Model、以下、IAM）とは、エネルギー・マクロ経済・気候システムといった複数の領域にわたり様々な要素とそれらの相互作用の発展を定量的に評価する数値モデルを指す。
- 変数間の相互作用のモデル化は、NGFSが採用する3種類のIAM内部でそれぞれ異なっているが、本報告書ではIAMを特徴づける主な変数を、以下の区分に整理した上で、それぞれの特徴を概観する。

変数の区分	概要	本セクションで取り上げる変数
① CO <sub>2</sub> 排出／除去	温室効果ガスの大部分を占めるCO <sub>2</sub> に着目し、シナリオごとの排出／除去の量とそれらの内訳を整理する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>排出量</li> <li>CO<sub>2</sub>除去量</li> </ul>
② エネルギーシステム	CO <sub>2</sub> 排出の大部分を占めるエネルギーシステムについて、シナリオごとに、一次エネルギー供給（化石燃料・バイオマス）、二次エネルギー供給（電力など）、最終エネルギー消費の構成を整理する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>一次エネルギー供給</li> <li>二次エネルギー供給（電力）</li> <li>最終エネルギー消費</li> </ul>
③ エネルギーコスト	エネルギーシステムの変化は、エネルギーコストの違いとなって、経済に影響を与える。シナリオごとに、一次エネルギー、二次エネルギー、最終エネルギーのコストに着目し、それぞれの特徴を整理する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>一次エネルギー価格</li> <li>二次エネルギー価格</li> <li>最終エネルギー価格</li> <li>投資額</li> </ul>
④ 政策コスト	政策に基づく排出削減対策のコストは、炭素価格に反映される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素価格</li> </ul>

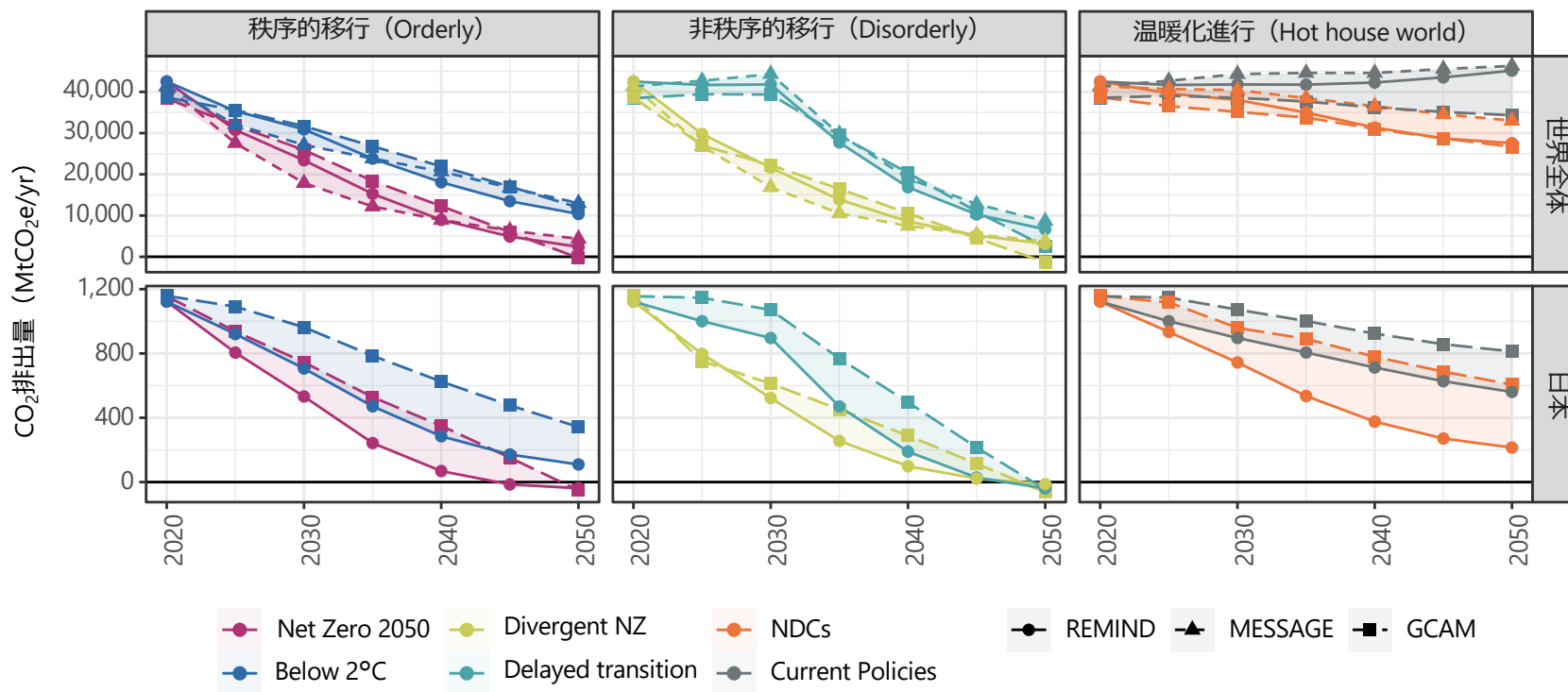
次頁から①～④の順に解説

マクロ影響モデル（NiGEM）の入力変数

# CO<sub>2</sub>排出量

- 世界全体のCO<sub>2</sub>排出量は、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では2050年にかけて減少に向かい、ネットゼロシナリオ（Net Zero 2050 & Divergent NZ）では2050年時点でほぼゼロとなることが確認できる。
- 温暖化水準の制約がない現行政策シナリオ（Current Policies）を除けば、CO<sub>2</sub>排出量のIAM間の差は、大きくない。

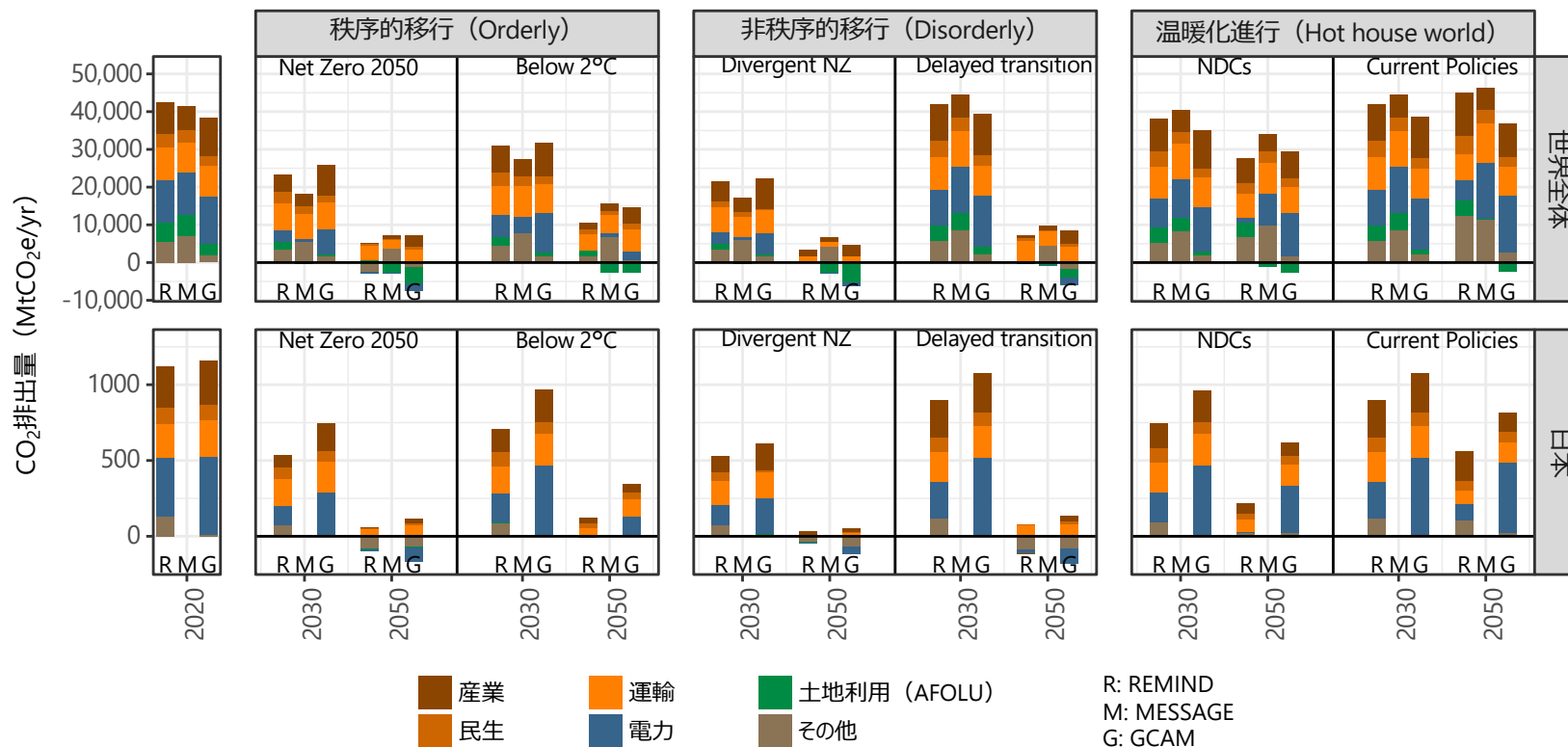
CO<sub>2</sub>排出量（世界全体・日本）



# CO<sub>2</sub>排出量（排出部門別）

- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、2050年にかけてほぼすべての部門でCO<sub>2</sub>排出量は減少することが確認できる。
- ネットゼロシナリオ（Net Zero 2050 & Divergent NZ）では、2050年時点で、運輸部門や産業部門にCO<sub>2</sub>排出が残余し、それらとほぼ同じ量を土地利用（AFOLU）や電力などのマイナス排出で相殺していることが見て取れる。

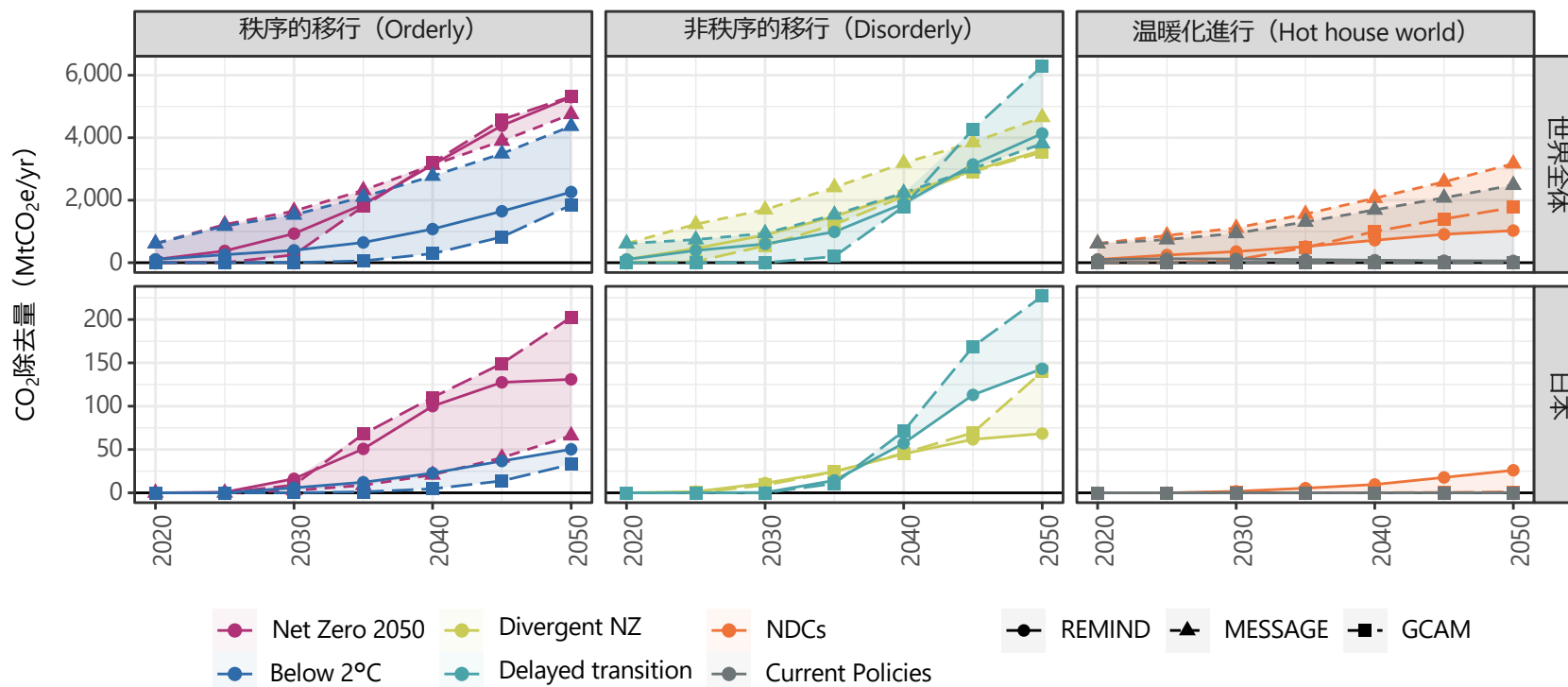
排出部門別のCO<sub>2</sub>排出量（世界全体・日本）



# CO<sub>2</sub>除去量

- CO<sub>2</sub>の排出削減が進んでも、運輸部門や産業部門に一定の残余排出が残るため、CO<sub>2</sub>排出はゼロにはならない。そのため、野心的な政策が導入されるシナリオでは、大気中からのCO<sub>2</sub>除去によって、2050年ネットゼロCO<sub>2</sub>排出が達成される。
- CO<sub>2</sub>除去量は排出削減の政策強度（温度上昇目標）に対応して大きくなる傾向があるが、IAM間の違いも大きい（次ページにCO<sub>2</sub>除去量の内訳）。

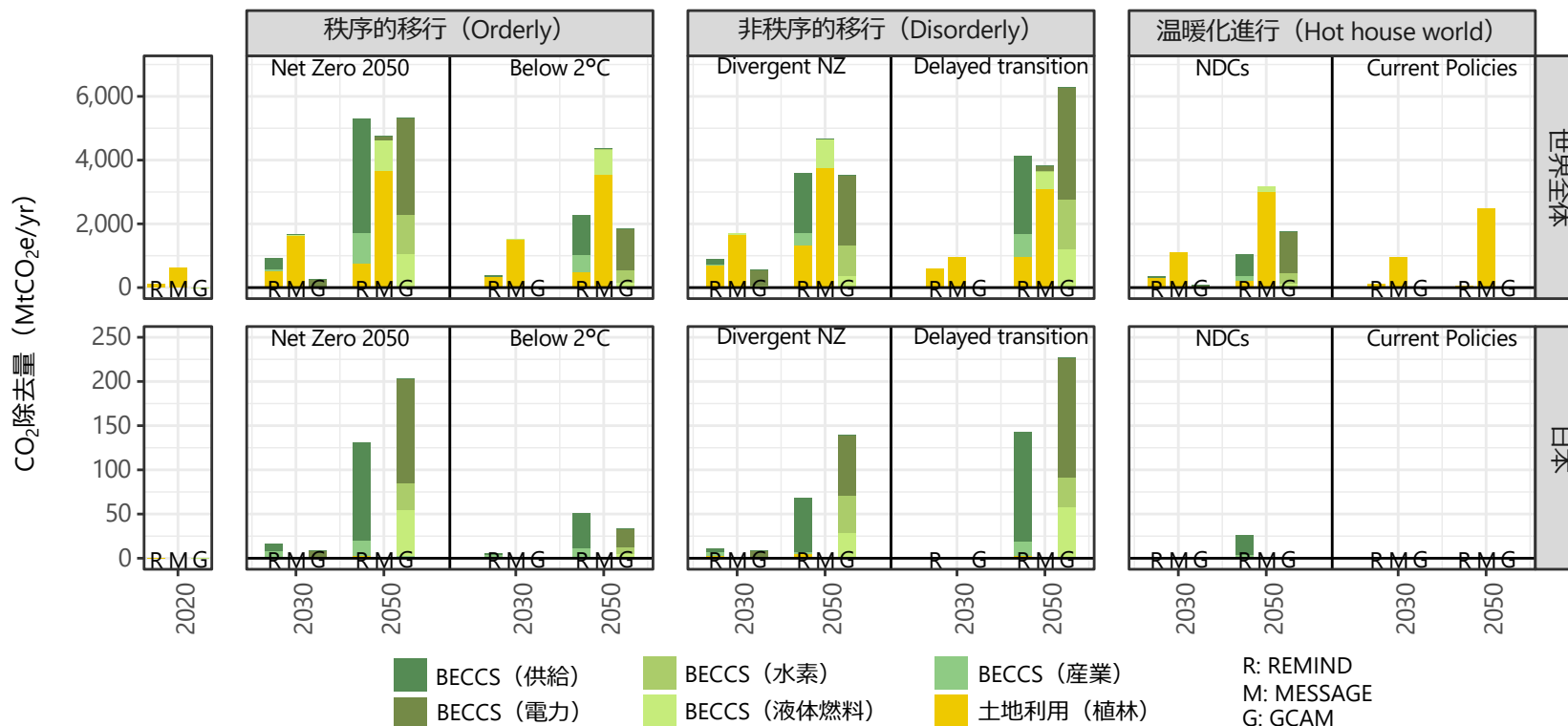
### CO<sub>2</sub>除去量（世界全体・日本）



# CO<sub>2</sub>除去量（除去技術ごとの内訳）

- CO<sub>2</sub>除去技術の種類はIAMによって異なるが、シナリオ第三版では、BECCS（バイオマスと炭素回収の組み合わせ）と土地利用の2種類が報告されている。
- なお、GCAMは土地利用（植林）による吸収分をCO<sub>2</sub>除去として報告していないが、部門別のCO<sub>2</sub>排出量のうち土地利用はマイナス排出である（P.12）。モデル内部では、植林によってもCO<sub>2</sub>除去が行われていると考えられる。
- 空气中CO<sub>2</sub>直接回収・貯留（DACCS）は、NGFSシナリオ第三版でも報告されていない。

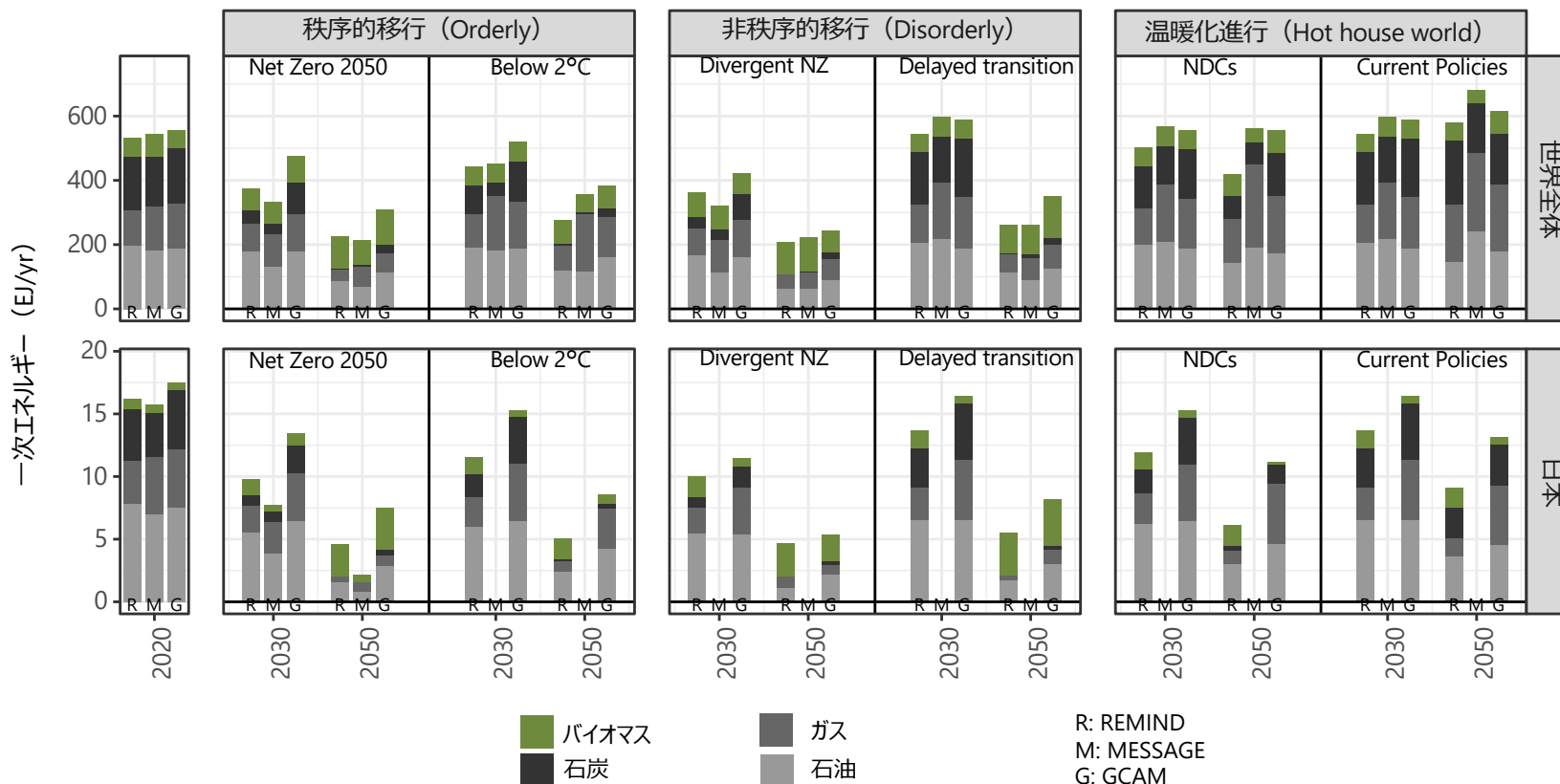
### 技術別のCO<sub>2</sub>除去量（世界全体・日本）



# 一次エネルギー供給（化石燃料とバイオマス）

- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、いずれの場合でも、化石燃料の供給は徐々に減少する。石炭の供給は急速に減少して2050年までにほぼゼロになるが、ガスや石油は2050年時点でも一定量が残る。
- 一方、移行シナリオでは、バイオマスの使用が増加する傾向が見られる。石炭の代替やBECCCSの導入による需要の増加が含まれると考えられる。

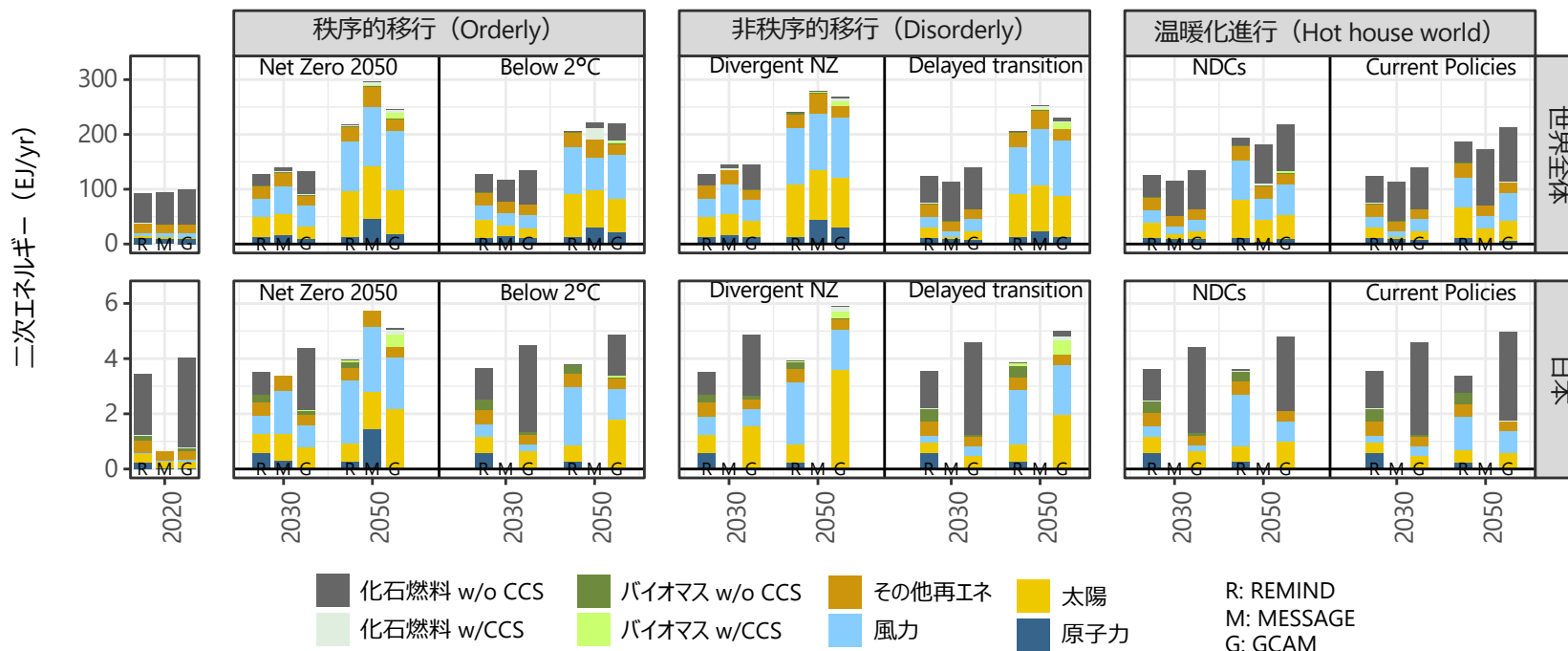
一次エネルギー（化石燃料とバイオマス）の供給量（世界全体・日本）



## 二次エネルギー供給（電力）

- いずれのシナリオにおいても、2020年～2050年にかけて二次エネルギー（電力）の供給量は増加する。増加分の大半は、再生可能エネルギー（主に風力と太陽）の増加によって賄われる傾向は共通している。
- 電力供給の増加は、温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりも移行シナリオ（Orderly & Disorderly）の方が大きく、ネットゼロシナリオ（Net Zero 2050 & Divergent NZ）でより大きい。これは、ネットゼロ排出において最終エネルギー消費の電化が進行するためである（次頁）。
- 温暖化進行シナリオ（Hot house world）は化石燃料が残存するが、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、2050年までに、ほぼ再生可能エネルギーや原子力に置き換わる。CCS（化石燃料／バイオマス）の量は少なく、再生可能エネルギー等を補完する位置づけにあると考えられる。

### 二次エネルギー（電力）の供給量（世界全体・日本）

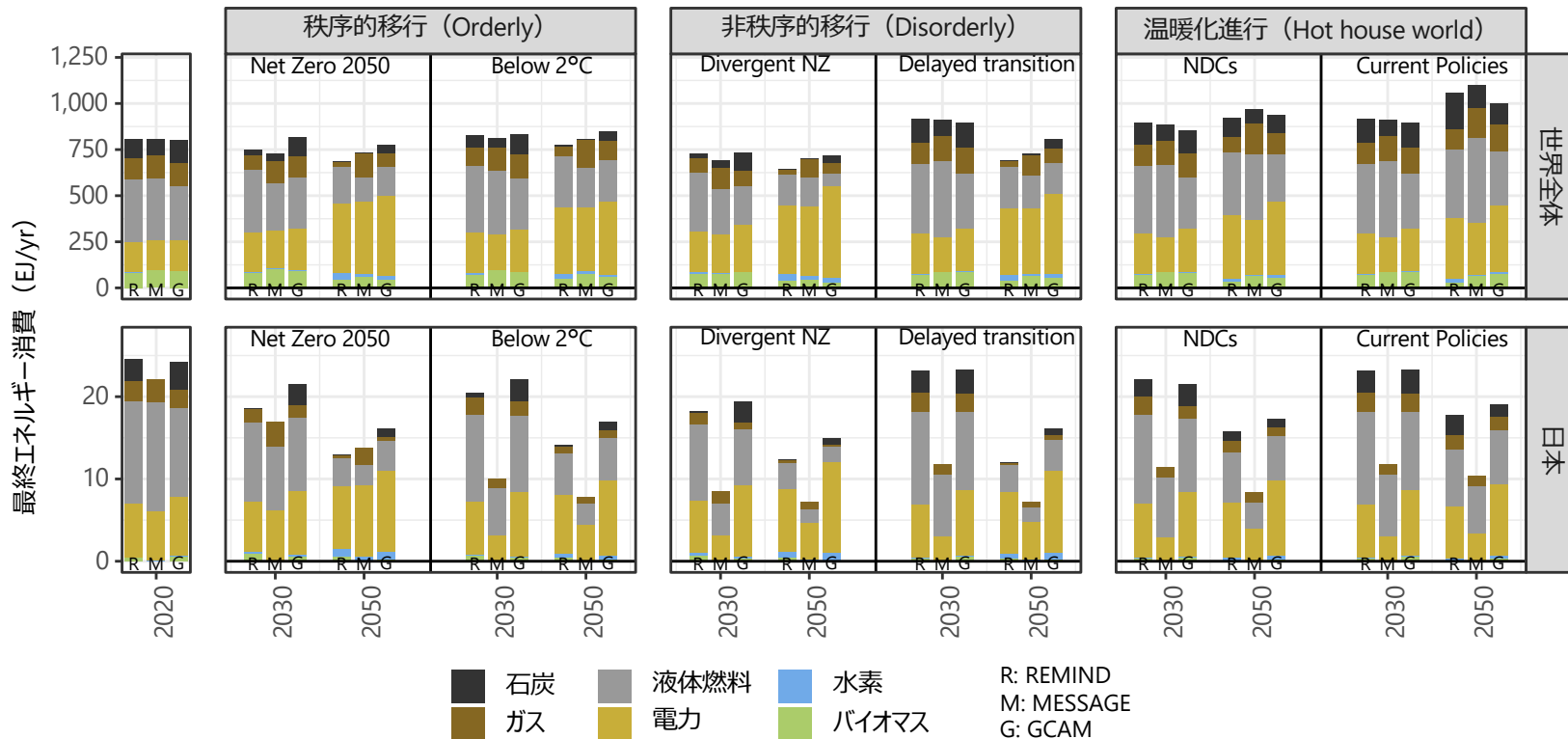




# 最終エネルギー消費

- 温暖化進行シナリオ (Hot house world) と比較して、移行シナリオ (Orderly & Disorderly) では、将来の最終エネルギー消費に占める電力の割合が高い傾向が見られる。再生可能エネルギーによる電力の低炭素化と最終エネルギー消費の電化の組み合わせにより、エネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量の削減が達成される。
- 移行シナリオ (Orderly & Disorderly) では、エネルギー消費の総量も小さい傾向にある。GDPはシナリオ間でほぼ変わらない (GCAMの場合は外生的に与えられ、それ以外は部分的に内生化) ので、経済全体のエネルギー効率 (GDPあたりのエネルギー消費) が向上していることが示唆される。

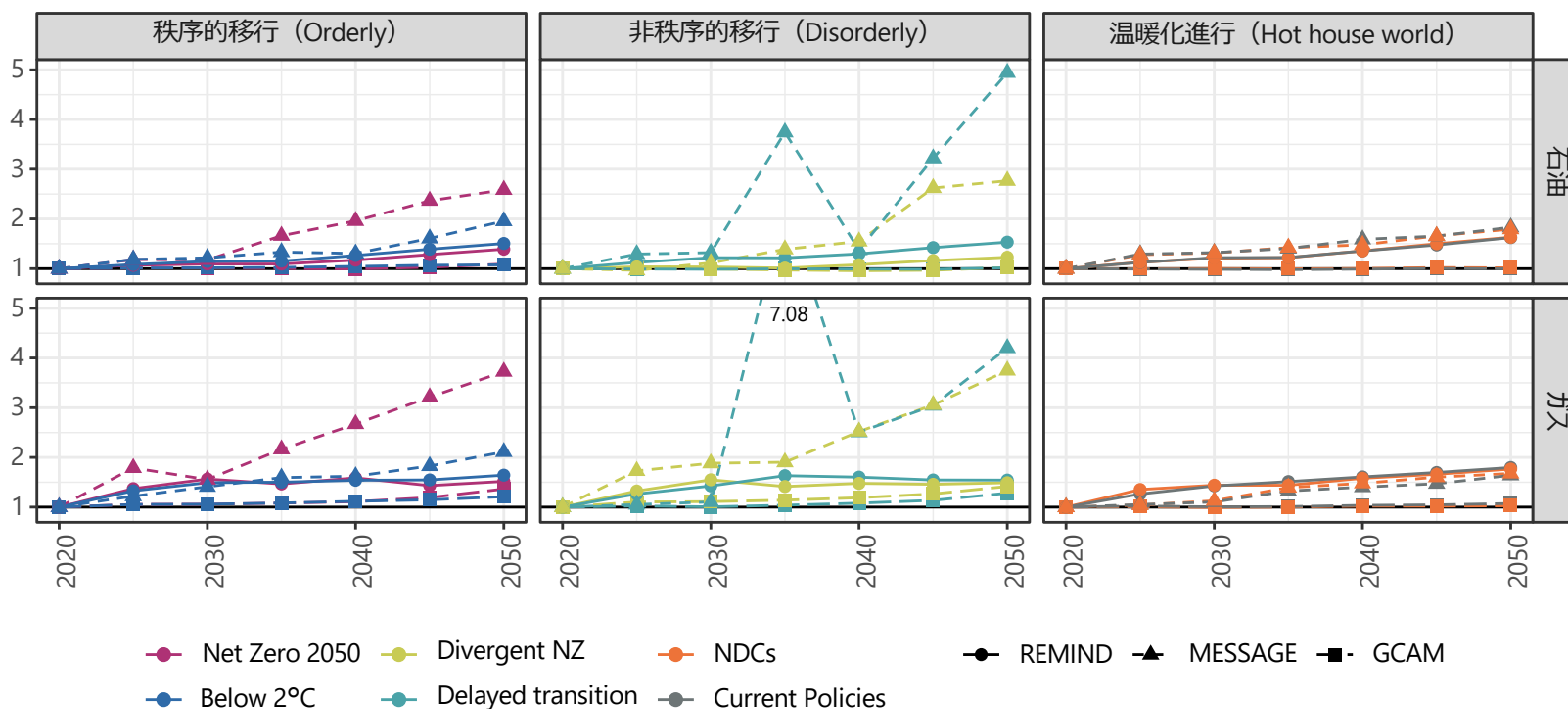
部門別の最終エネルギー消費の消費量 (世界全体・日本)



## 一次エネルギー価格（石油・ガス）

- 一次エネルギー価格は、需要量／埋蔵量や採掘コストといった多様な要因を考慮して計算され、IAM間の差異が大きい。炭素価格の影響は含まれない。
  - REMIND：価格上昇の程度はシナリオ間である程度共通しているが、温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりも移行シナリオ（Orderly & Disorderly）のほうが価格上昇がゆるやかである。これは、排出制約によって、化石燃料の需要が抑制されたためと考えられる。
  - MESSAGE：非秩序的移行（Disorderly）では極端な価格変動がみられる。
  - GCAM：価格はほぼ変化しない。ただし、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では小幅な価格上昇がみられる。

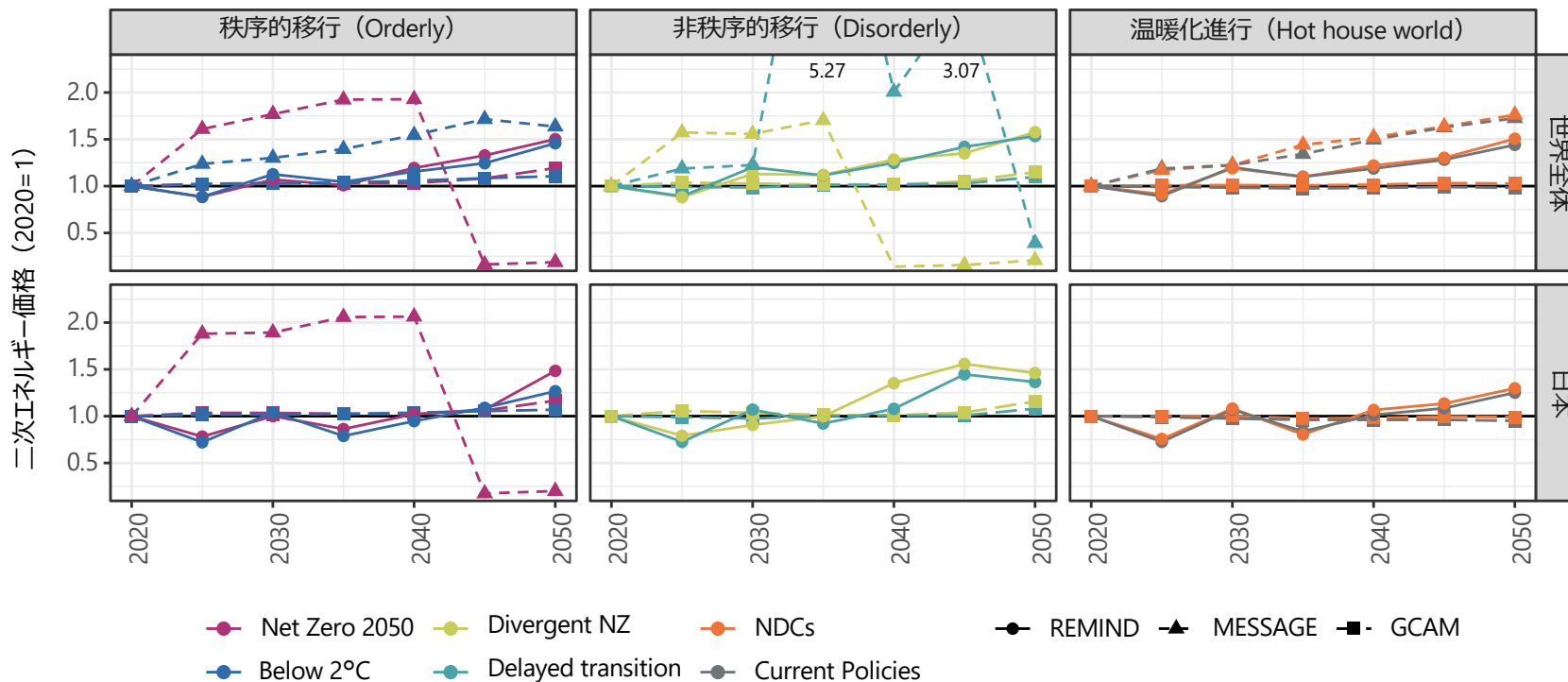
一次エネルギー価格（石油・ガス）（世界全体）



## 二次エネルギー価格（液体燃料）

- 二次エネルギー価格は、一次エネルギー価格（輸入価格）、炭素価格、需要と供給のバランスなどの影響を反映し、シャドウプライスとしてIAM内部で計算される。
- 一次エネルギーの段階でみられたシナリオ間の差は縮小した。移行シナリオ（Orderly & Disorderly）における需要低下の影響が、炭素価格によって相殺されていると考えられる。
  - MESSAGE：一部で極端な価格変動が見られる。

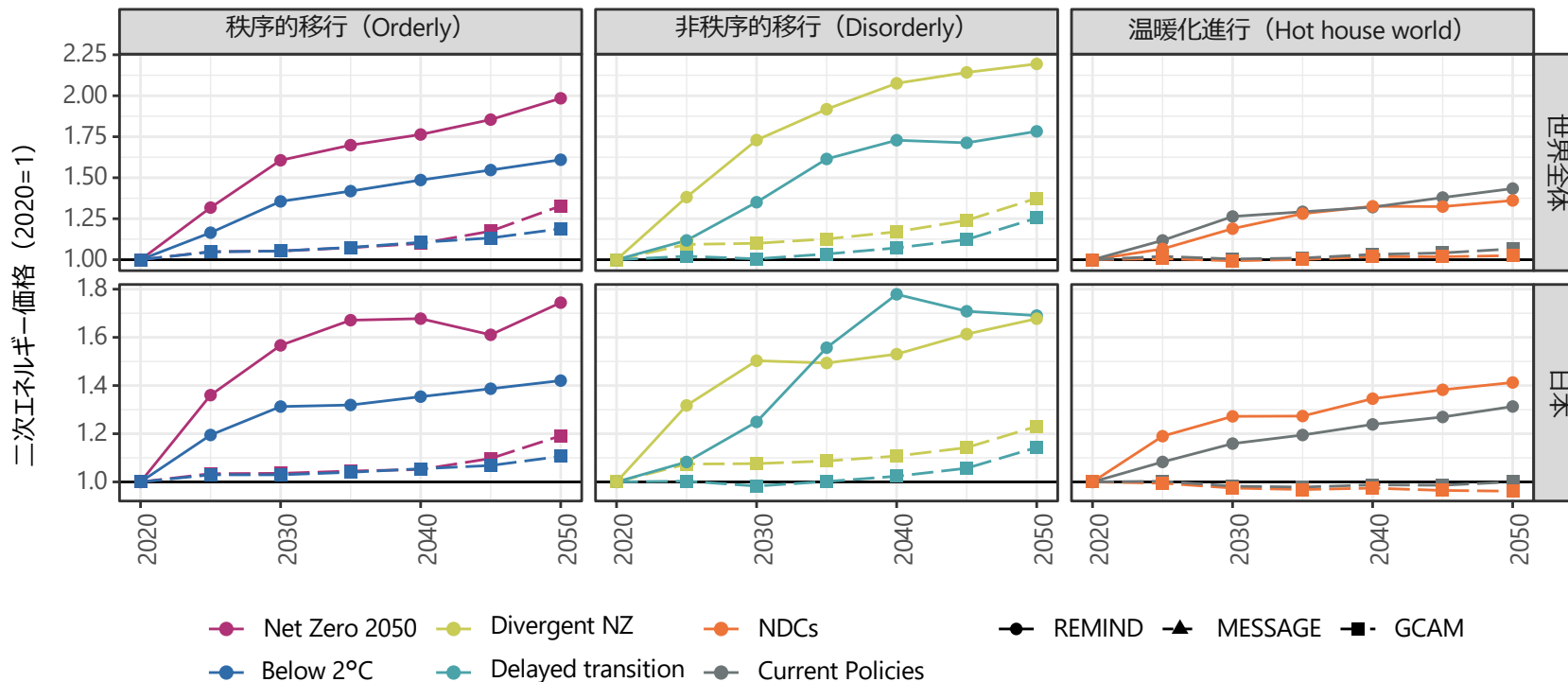
二次エネルギー価格（液体燃料）（世界全体・日本）



## 二次エネルギー価格（ガス）

- 一次エネルギーと比較すると、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）の価格が温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりも高い水準にある。炭素価格の影響が反映されていると考えられる。
  - MESSAGE：結果は報告されていない。

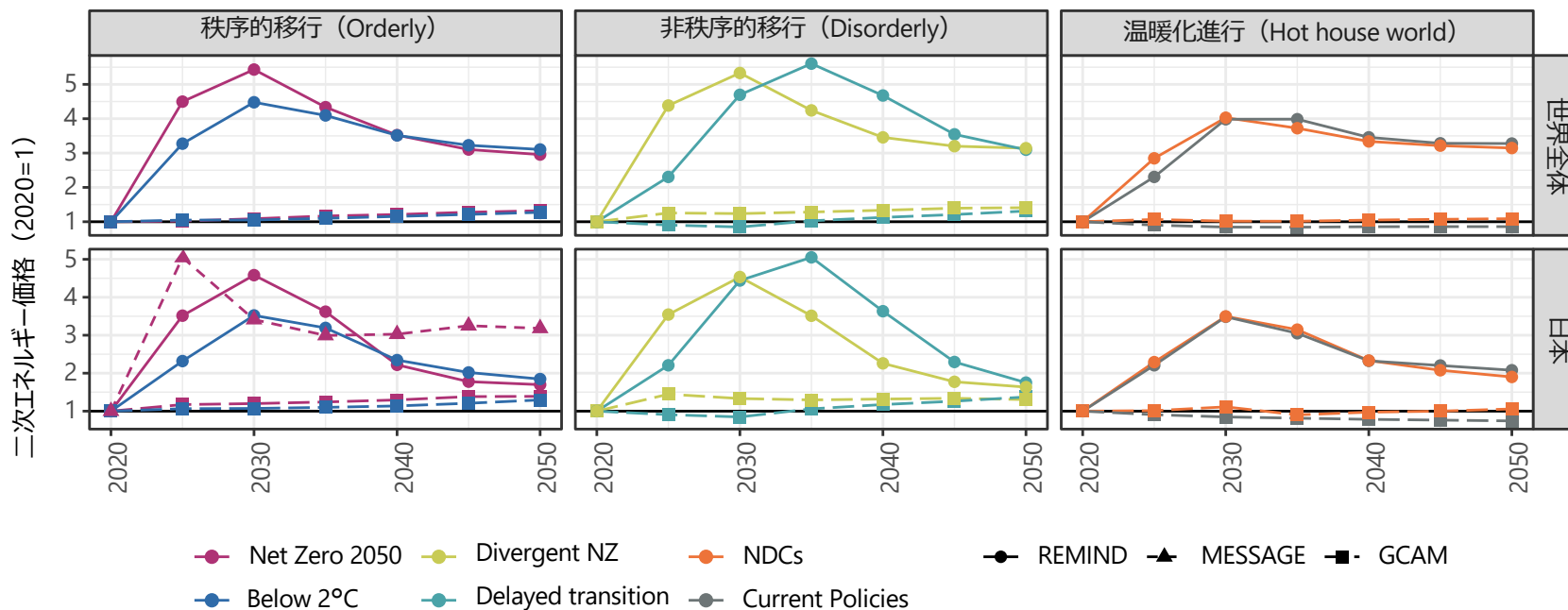
二次エネルギー価格（ガス）（世界全体・日本）



## 二次エネルギー価格（電力）

- 電力の価格は、変動費（燃料費・炭素価格）や資本費（電力への投資）、需要と供給のバランスの影響を反映し、シャドウプライスとしてIAM内部で計算される。
  - REMIND：すべてのシナリオで2030年頃に価格上昇がみられる。これは、燃料費（特に、二次エネルギー：ガスの価格）の上昇を反映している可能性がある。加えて、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）は価格上昇の幅が大きい。これは、再生可能エネルギーへの移行にかかる投資額や炭素価格を反映していると考えられる。なお、2050年頃には、温暖化進行シナリオ（Hot house world）と同じか、やや低い水準まで価格が下がる。
  - MESSAGE：結果は報告されているのは、Net Zero 2050のみ。
  - GCAM：電力価格はほぼ一定である。

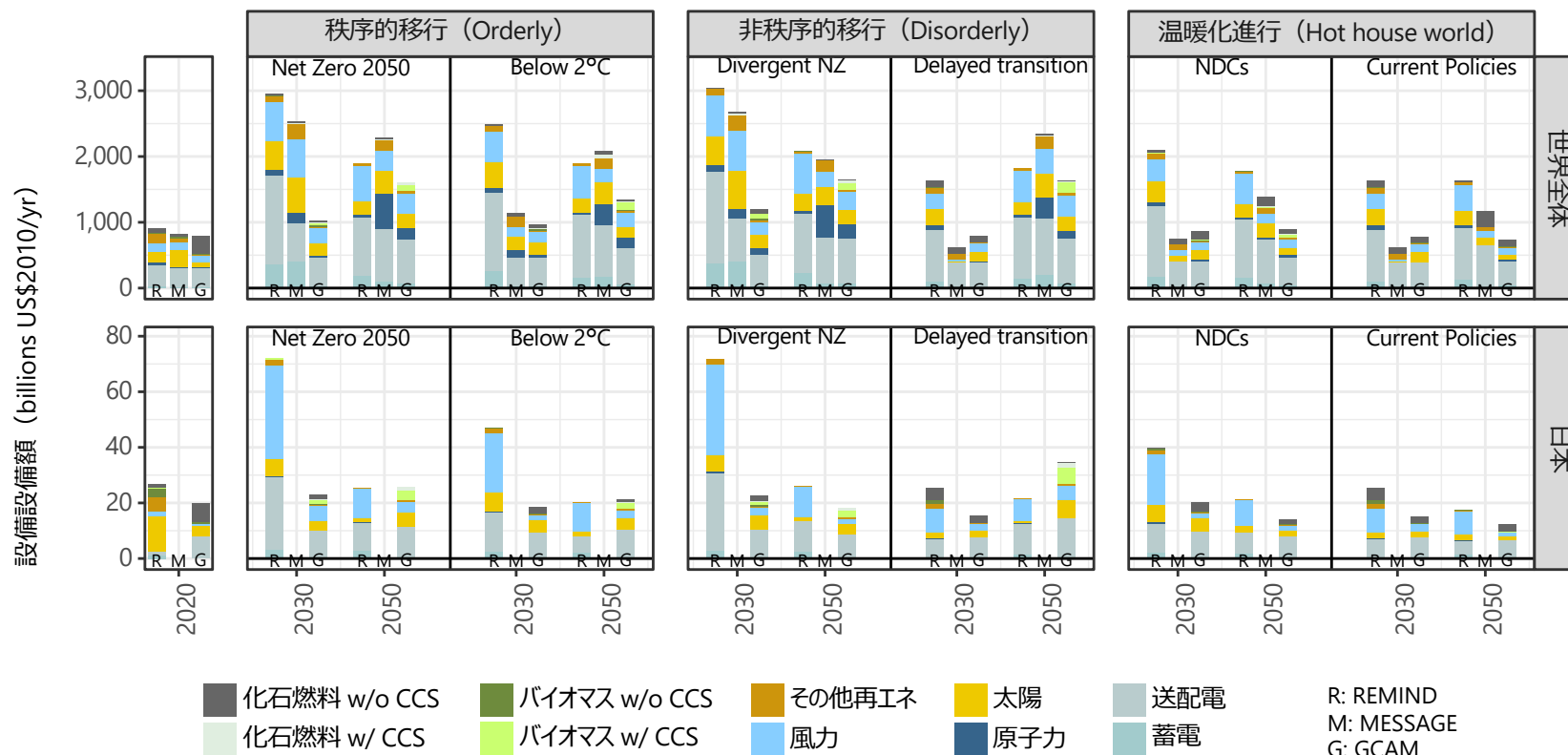
### 二次エネルギー価格（電力）（世界全体・日本）



## 設備投資額（電力部門）

- いずれのシナリオにおいても、将来の電力部門への投資額は2020年よりも増加し、電力ネットワーク関連の投資（送配電・蓄電）がもっとも大きな割合を占める。
- 温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりも移行シナリオ（Orderly & Disorderly）のほうが投資額は大きい。これは、電力システムの脱炭素に関する追加的な投資額を反映しているためと考えられるが、投資のタイミングや内訳はシナリオやIAMによって異なる。

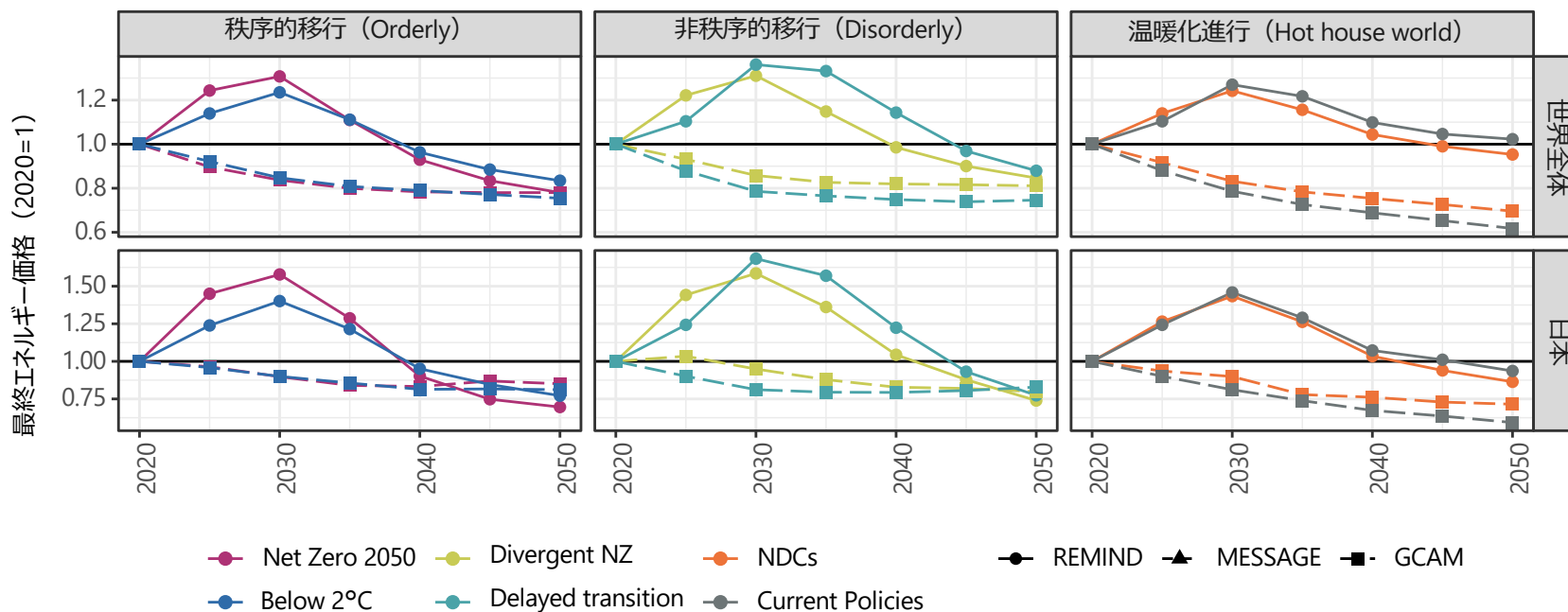
設備投資額（世界全体・日本）



## 最終エネルギー価格（全部門・GDPあたり）

- 最終エネルギーの価格は、化石燃料や電力の価格、CO<sub>2</sub>排出量と炭素価格などの影響を踏まえてIAM内部でシャドウプライスとして計算される。
- GDPあたりの最終エネルギーへの支払額（コスト）に変換すると、IAMによって異なる傾向が見られる。
  - REMIND：2030年をピークにコストの上昇がみられるが、電力価格（二次エネルギー）と比較すると上昇幅は小さい。さらに2050年時点では、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）のほうが温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりもコストが低い。これは、省エネによってエネルギー需要が抑制された効果がコストに反映されたものと考えられる。
  - GCAM：GDPあたりのコストはいずれも低下する。

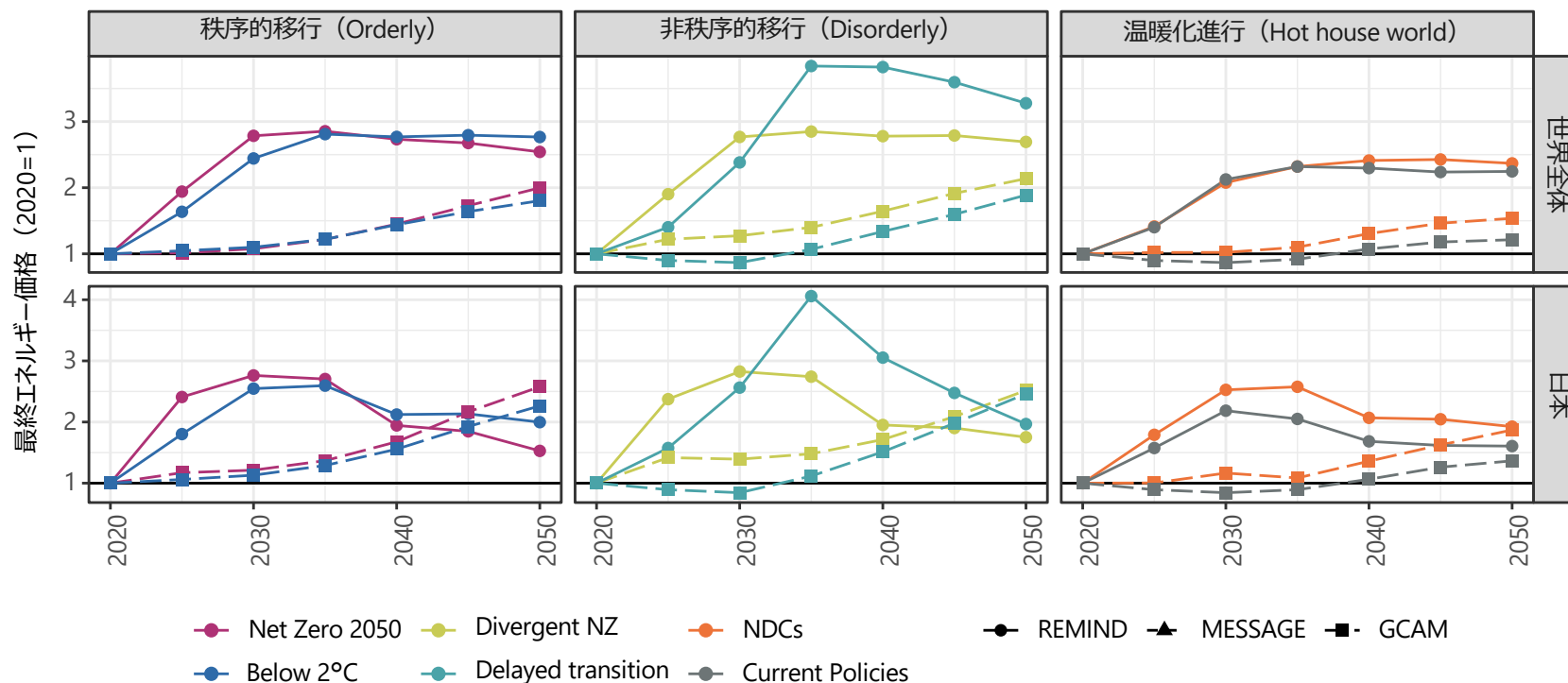
最終エネルギー価格（全部門・GDPあたり）（世界全体・日本）



## 最終エネルギー価格（鉄鋼部門・生産量あたり）

- 生産量あたりの最終エネルギーへの支払額（コスト）は、全体的に上昇する傾向がみられる。
  - REMIND：2030年にかけてコストが上昇し、その後も一定の水準が維持される。ただし、移行シナリオ（特にNet Zero 2050）では、2050年までにコストの低下がみられ、温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりも低水準となる。
  - GCAM：ゆるやかにコストが上昇する。

最終エネルギー価格（産業部門：鉄鋼・生産量あたり）（世界全体・日本）

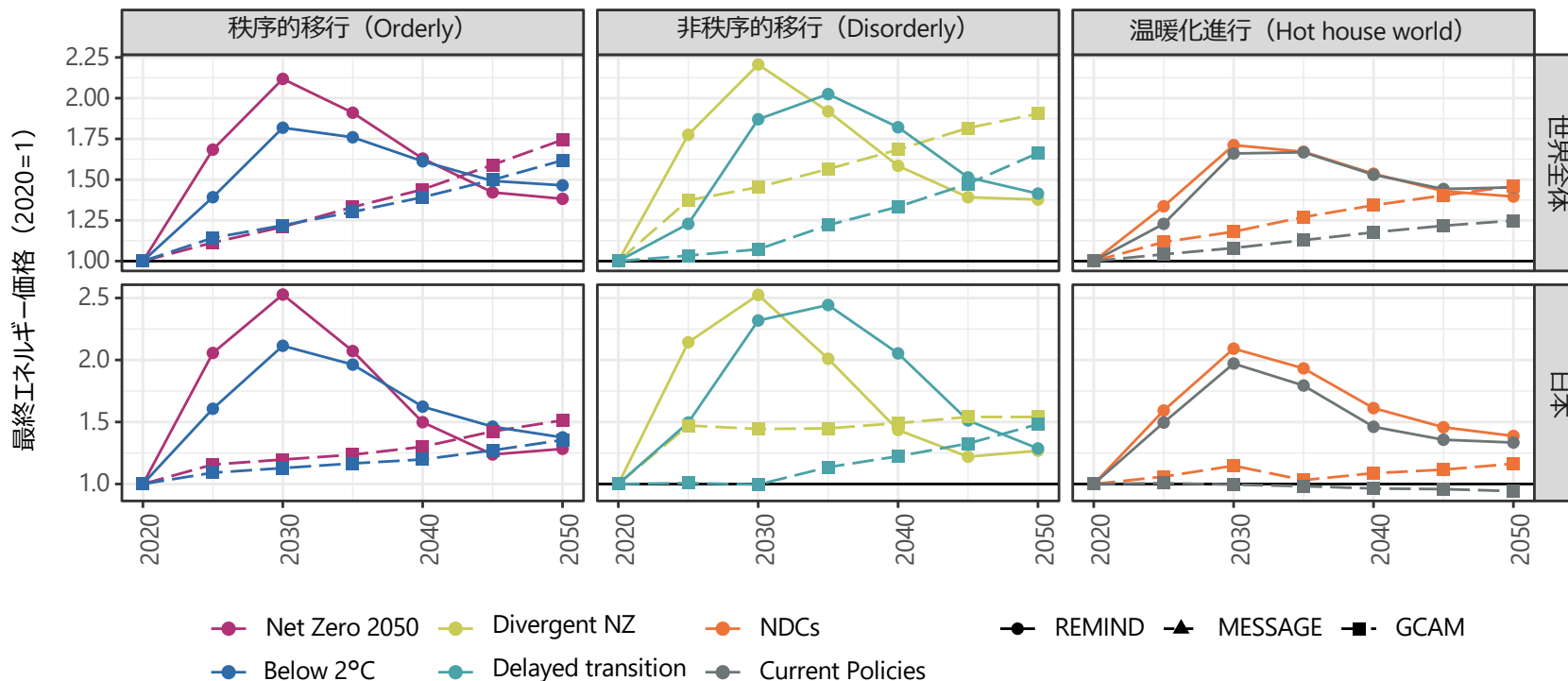




## 最終エネルギー価格（民生部門・床面積あたり）

- 民生部門の床面積あたりの最終エネルギー支払額（コスト）は電力価格と似たような傾向をとる。
  - REMINDでは、2030年頃にピークがみられるが、上昇幅は電力価格よりも小さい。電力以外のエネルギーにより、全体の変動が緩和されたためと考えられる。2050年時点の価格は、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）のほうが温暖化進行シナリオ（Hot house world）よりも低い水準にあり、一時的なコスト上昇によって省エネが進展した効果が反映された可能性がある。
  - GCAMでは、コストはゆるやかに上昇する傾向がみられる。

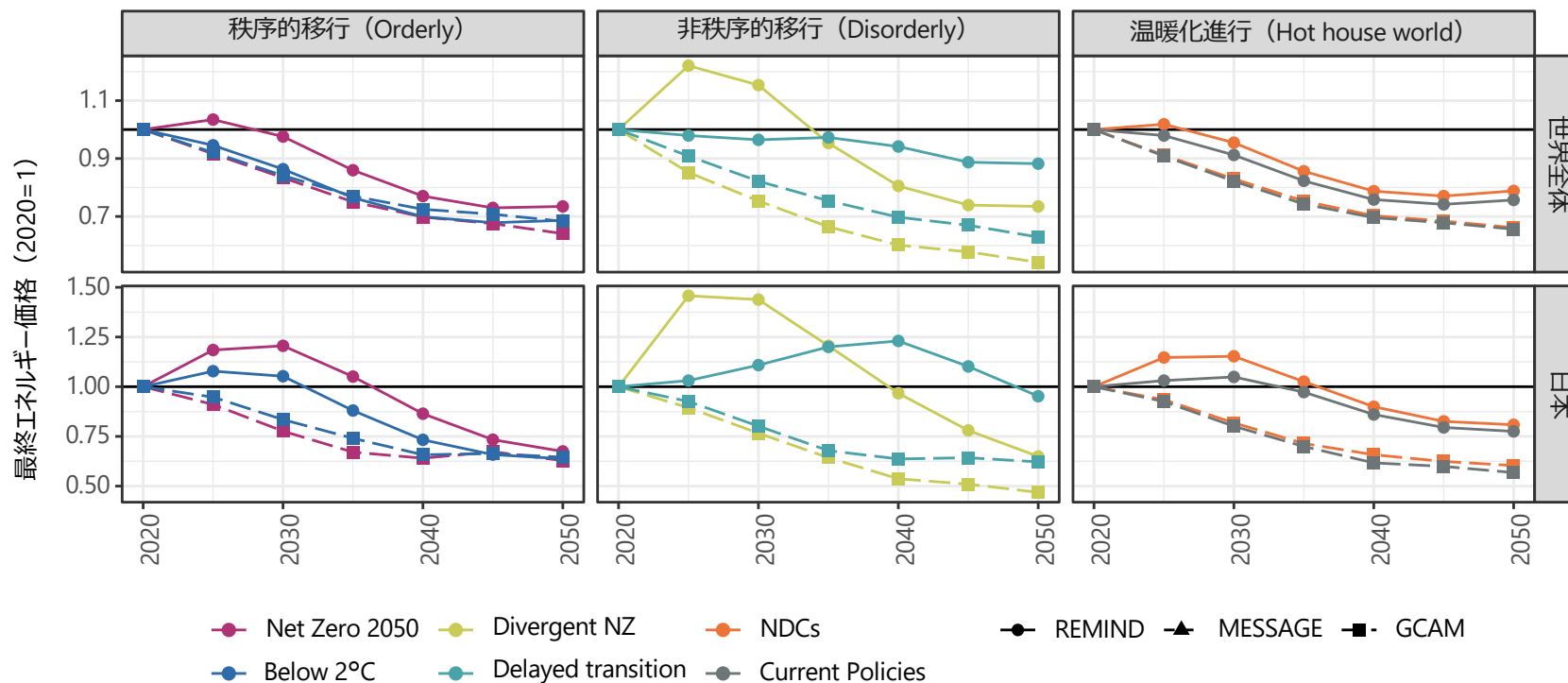
最終エネルギー価格（民生部門・床面積あたり）（世界全体・日本）



## 最終エネルギー価格（運輸部門・走行距離あたり）

- 運輸部門の最終エネルギー価格（自動車走行距離あたりのエネルギーコスト）は、2050年に向けて低下する傾向がみられる。
  - REMIND：Divergent Net Zeroシナリオで2030年にやや上昇するが（運輸部門に対して、高い炭素価格が設定されるため）、その後、化石燃料の需要が抑制され、コストは低下する。
  - GCAM：REMINDと同様、Divergent Net Zeroシナリオのほうが将来のコストが低下する。

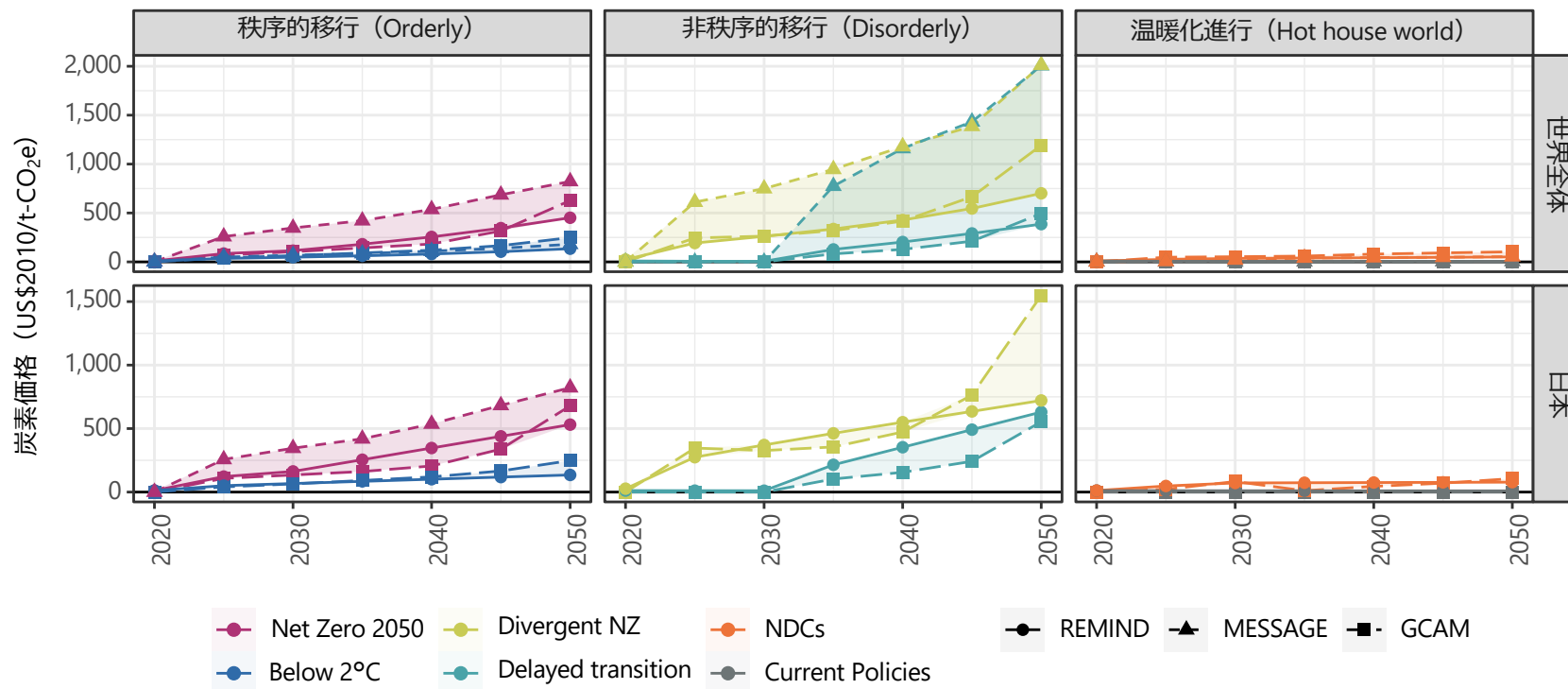
最終エネルギー価格（運輸部門・走行距離あたり）（世界全体・日本）



## 炭素価格

- NGFSシナリオにおける炭素価格は、シャドウプライスとしてモデル内部で事後的に計算される値であり、排出削減の政策強度が反映されている変数である。実際の政策手段として導入される炭素税や排出権取引とは、課税される部門や金額の水準が異なる。
- 非秩序的移行（Disorderly）では、2050年にかけて炭素価格がより高い水準まで上昇するが、IAMによる差が大きい。
- 秩序的移行（Orderly）では、ネットゼロ排出となるか否かで、将来の炭素価格が大きく異なる。Net Zero 2050シナリオの水準は、非秩序的移行（Disorderly）に近いが、Below 2°Cシナリオの水準はNDCsに近い。2050年ネットゼロ目標を達成する政策コストの大きさが、この違いに反映されていると考えられる。

### 炭素価格（世界全体・日本）



# 本セクションのまとめ：2050年までの主要変数の変化

- IAMによっても異なるが、主要変数の傾向は以下のように特徴づけられる。

	移行シナリオ (Orderly & Disorderly)		温暖化進行シナリオ (Hot house world)
① CO <sub>2</sub> 排出 ／除去	CO <sub>2</sub> 排出	ゼロ付近まで減少、土地利用と電力はゼロ～マイナス、産業・運輸部門には残余排出	世界全体ではほぼ一定～やや増加、日本ではやや減少
	CO <sub>2</sub> 除去	植林やBECCSにより、残余排出を相殺する	IAMによっては植林が導入される
② エネルギー システム	一次エネ	化石燃料は減少するが、ガスや石油は残る	化石燃料の需要は残る
	二次エネ	電力需要が増加し、その大半を再エネ（太陽・風力）が占める。化石燃料がほぼゼロ	再エネが増加するが、化石燃料も残る
	最終エネ	総需要は減少するが、電力の割合は増加	電力はやや増加するが、化石燃料の割合が高い
③ エネルギー コスト	一次エネ	上昇するが、IAMによって幅は異なる	IAMによって、増加 / 一定
	二次エネ (液体・ガス)	上昇傾向はIAMによって異なり、石油よりもガスのほうが価格上昇幅が大きい	IAMによって、上昇 / 一定だが、価格上昇幅はやや小さい
	二次エネ (電力)、 最終エネ	(次頁)	
④ 政策コスト	炭素価格	温暖化水準が低いほど上昇し、非秩序的シナリオのほうが価格上昇幅が大きい	ほぼゼロで推移

## 本セクションのまとめ：二次エネルギー(電力)価格、最終エネルギー価格

- シナリオ第三版では、REMINDとGCAMによって二次エネルギー価格／最終エネルギー価格の挙動は異なる。
  - REMIND：2030年前後に価格が急上昇し、その後、低下する。その傾向は、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）のほうが強い。
  - GCAM：ほぼ一定か、2050年にむけてゆるやかに上昇する。
- シナリオ第二版では、REMINDで計算される日本の電力価格が、電力関連の投資額と連動して2030年前後に急上昇し、その後、低下する傾向が確認されている。その傾向は、第三版でも確認されている。これは、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）において、最終エネルギー消費に占める電力の割合が増加する（エネルギー需要の電化が進む）という傾向と、直感的には矛盾しているように見える。
- しかし、最終エネルギー価格を生産量／活動量あたりのコストに変換すると、2030年時点では移行シナリオ（Orderly & Disorderly）が温暖化進行シナリオ（Hot house world）を上回るが、2050年までにその関係は逆転する。
- REMINDは将来の見通しを考慮する「完全予見型」のモデルであり、計算期間全体を通して最適な経路であれば、一時的にコストが急上昇する経路が選択される可能性はある。二次エネルギー価格／最終エネルギー価格の計算結果はREMINDの特性によるものであり、現実には個々の部門がその時点で実際に支払うことができる価格を必ずしも表しているとは限らない点に注意が必要である。

## 2. 統合評価モデルの世界及び日本の 主要変数の特徴整理

2.1 統合評価モデルの主要変数（世界全体と日本）

▶ 2.2 主要セクターのネットゼロパスウェイ（日本）

2.3 IEA等のシナリオやシナリオ第二版との比較に基づく留意点の確認

# ネットゼロパスウェイとNGFSシナリオ

- 金融機関はポートフォリオに係る排出量（ファイナンスト・エミッション）の削減目標の設定や、ネットゼロ経済への移行戦略を策定するにあたって、気候シナリオの様々な変数を参照する。
- ネットゼロに向けたグラスゴー金融同盟（GFANZ）は、2022年6月に「金融機関のためのセクター別パスウェイの利用に関するガイダンス」を公表し、代表的な気候シナリオの特徴を紹介した\*1。その中には、NGFSの3つのIAMによるパスウェイも含まれる。
- 本セクションでは、NGFSシナリオ第三版のNet Zero 2050シナリオのうち、日本のデータが詳細に報告されているREMINDとGCAMの2つを、詳細に解説する。

	概要	本セクションで取り上げる変数
① エネルギーシステム	CO <sub>2</sub> 排出の大部分を占めるエネルギーシステムの変化を、一次エネルギー～二次エネルギー～最終エネルギーまでのフローに着目して整理する。	<ul style="list-style-type: none"><li>エネルギー輸入</li><li>一次エネルギー供給</li><li>二次エネルギー供給</li><li>最終エネルギー消費</li></ul>
② 電力部門	2050年までに需要が大幅に拡大する電力について、CO <sub>2</sub> 排出量の変化と供給構造の変化の視点から整理する。	<ul style="list-style-type: none"><li>発電量</li><li>設備容量</li><li>設備容量の追加／廃止</li><li>資本コスト（風力・太陽光）</li></ul>
③ 産業部門	排出量が多い鉄鋼部門とセメント部門のCO <sub>2</sub> 排出量とそれらの変化の要因を整理する。	<ul style="list-style-type: none"><li>CO<sub>2</sub>排出量</li><li>エネルギー効率</li><li>炭素回収・貯留</li></ul>

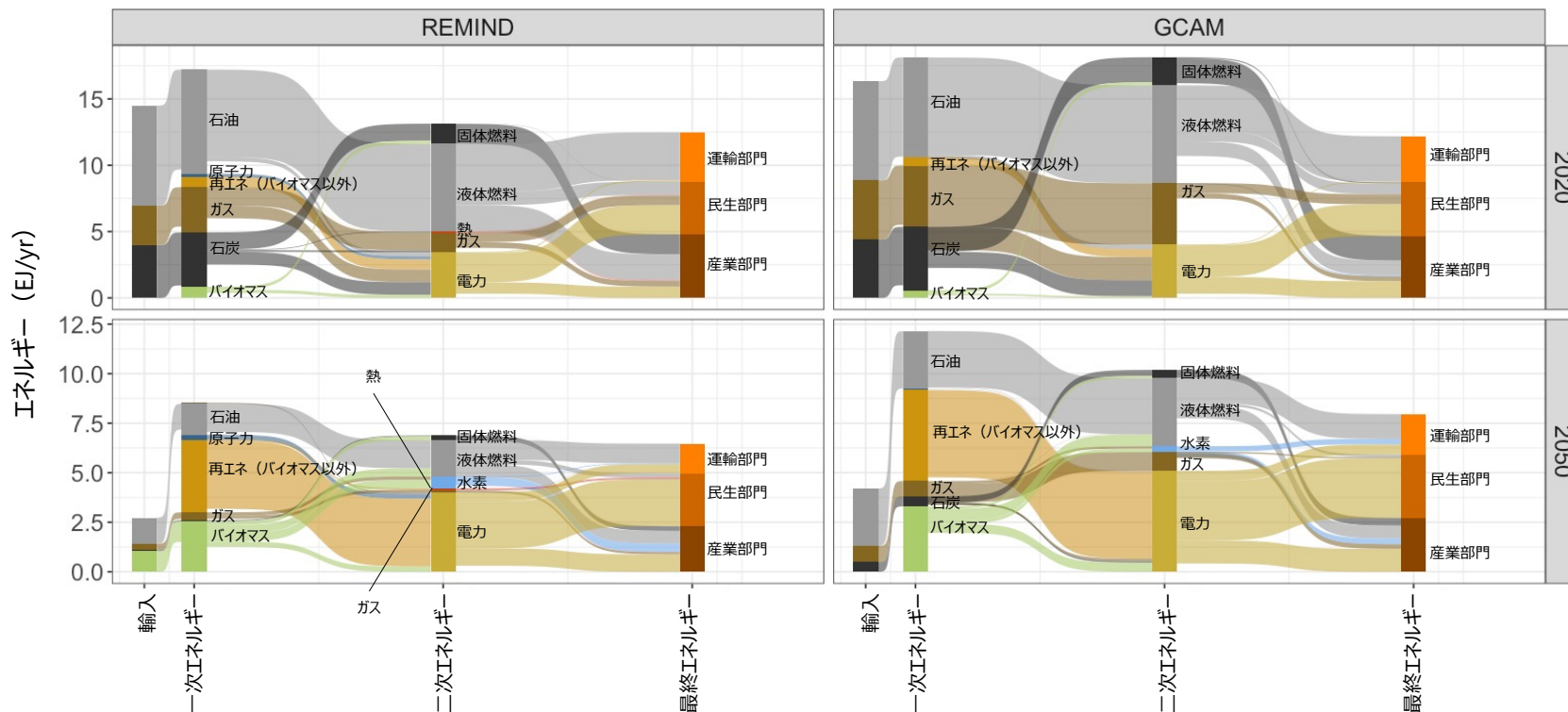
次頁から①～③の順に解説

\*1 GFANZ (2022)

# ネットゼロシナリオにおけるエネルギーの流れ

- ネットゼロへの移行はエネルギーの供給や需要の態様を大きく変化させる。
  - 一次エネルギー：化石燃料の輸入が減少し、再生可能エネルギーが一次エネルギー供給の大半を占める。その一方で、バイオマスの輸入量に増加がみられる。
  - 二次エネルギー：再エネ由来の電力が大半を占め、主にバイオマスに由来する水素がみられる。その一方で、石油由来の液体燃料も残る。
  - 最終エネルギー：民生部門はほぼ電力に置き換わる。運輸部門や産業部門では液体燃料（主に石油由来）が引き続き残るが、一部に水素も導入される。

## ネットゼロシナリオにおけるエネルギーの流れ（日本）

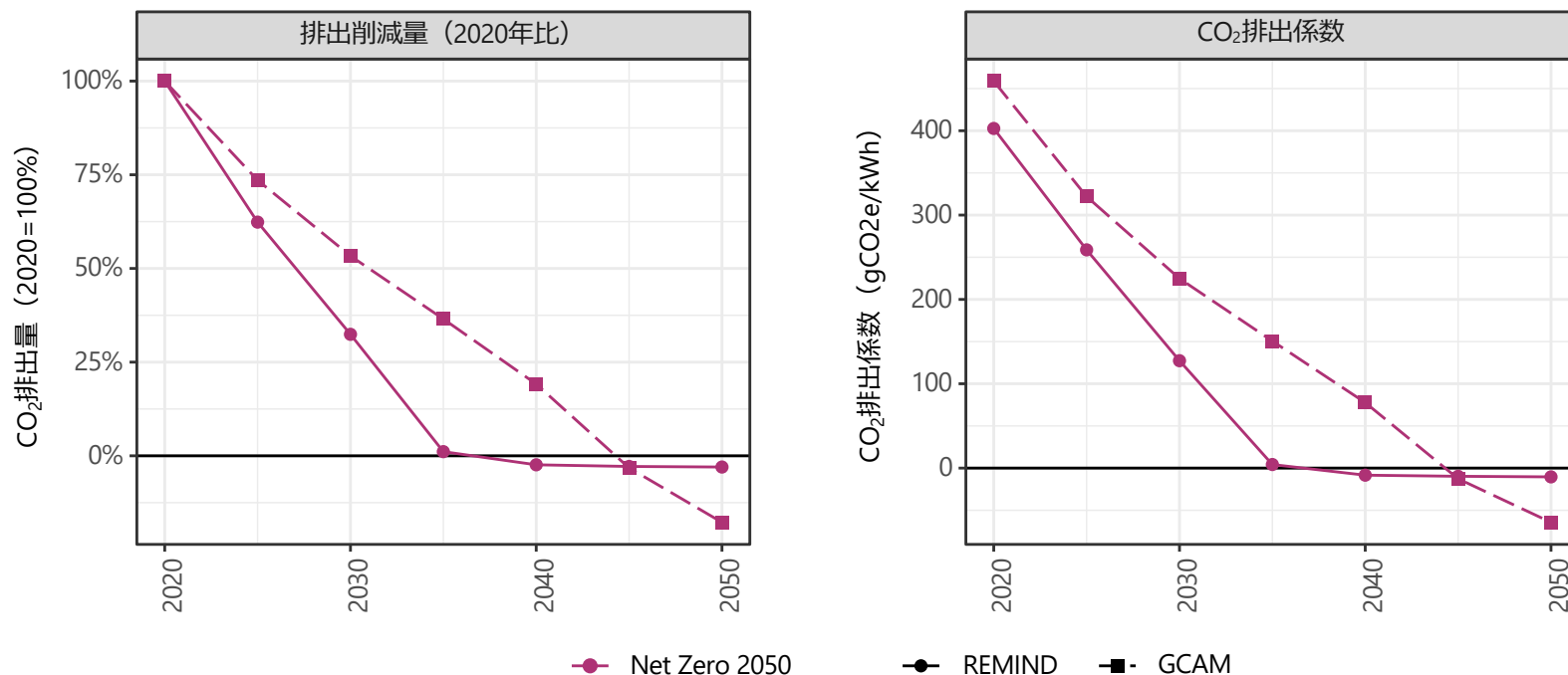




## 電力起源のCO<sub>2</sub>排出量

- IAMが報告する変数の中でも、電力部門は詳細なデータが利用できる。
- 電力起源のCO<sub>2</sub>排出量は2050年までにマイナス排出となるが、排出削減の経路は異なる。
  - REMIND：ゼロ排出となるタイミングは2035年頃だが、マイナス排出は少ない。
  - GCAM：2045年頃までゼロ排出とならないが、2050年時点のマイナス排出の量は多く、電力部門のネガティブエミッションにより、残余排出を相殺している。

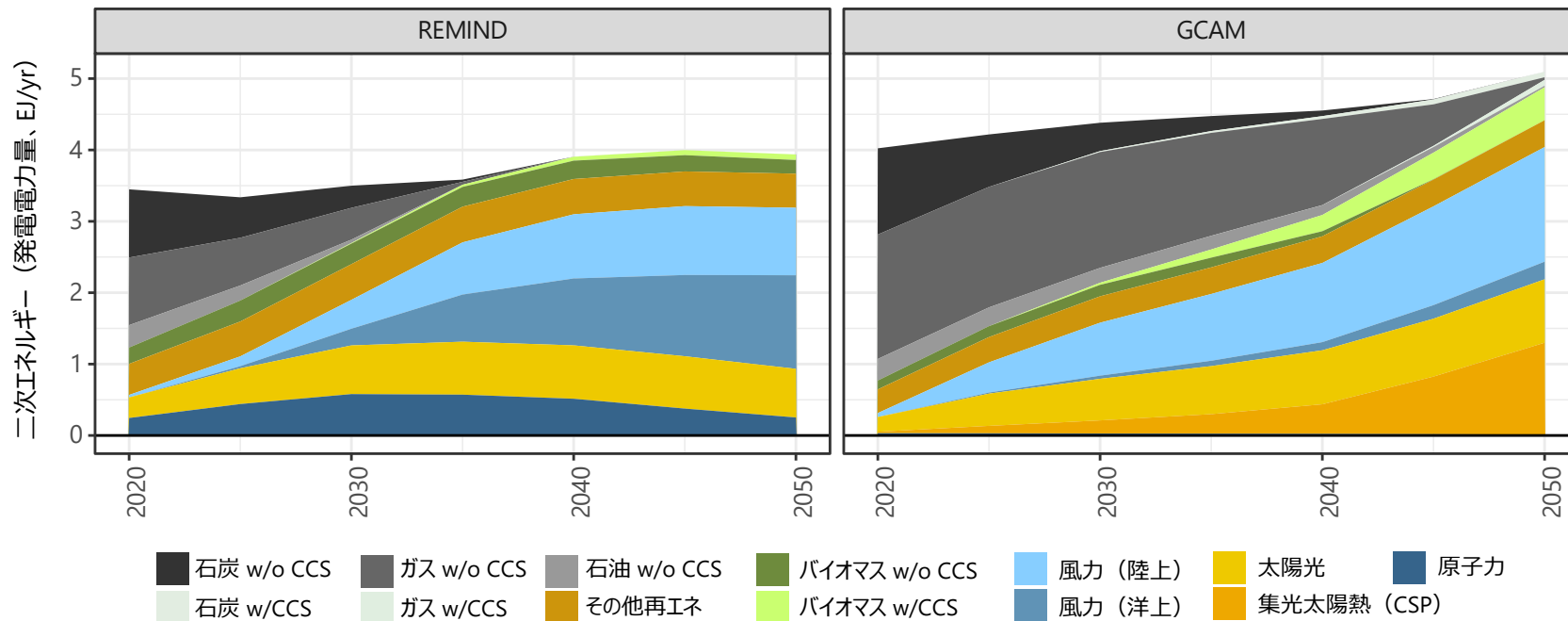
電力部門の排出削減（2020年比、左）と排出係数（右）（日本）



## 発電電力量の変化

- 化石燃料発電が再生可能エネルギーへ置換され、発電量（電力の需要）はほぼ一定～やや増加する。発電量に占める非化石エネルギー（再生可能エネルギーと原子力の合計）が占める割合は、遅くとも2050年までにほぼ100%となるが、そのペースや内訳は、IAMによって異なる。
  - REMIND：再生可能エネルギーの増加ペースは早く、風力発電（陸上・洋上）が大半を占める。原子力発電も一定の割合を占めるが、2030年以降は徐々に減少する。
  - GCAM\*1：再生可能エネルギーの増加のペースは遅く、陸上風力が大半を占める。化石燃料発電の割合も高いが、ネガティブエミッション技術のBECCSも一定の割合を占める。

電源別の発電電力量（日本）

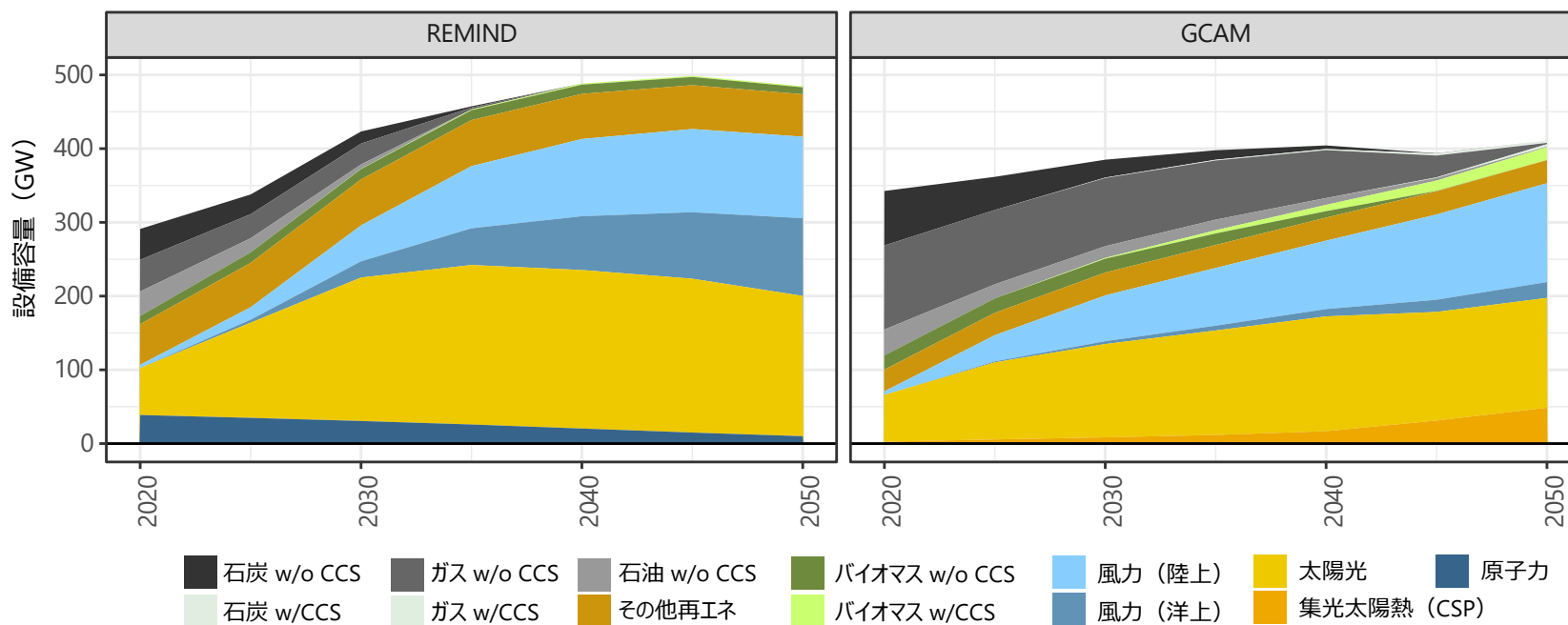


\*1 金融庁（2022）は、シナリオ第二版のGCAMで、2050年の日本の発電電力量のうち「太陽（Solar）」と報告されているものの大半が集光太陽熱（CSP）であることを明らかにした上で、日本におけるCSPの導入ポテンシャルはきわめて限られていることから、計算結果が過大評価である可能性を指摘した。シナリオ第三版でも同様に、GCAMの再エネ導入量は過大評価であると考えられる。

## 電力（発電）設備容量の変化

- 設備容量ベースでも化石燃料発電が再生可能エネルギーに置換される傾向が確認でき、遅くとも2050年までにほぼすべての発電設備が再生可能エネルギーになる。
  - REMIND：設備容量ベースでは太陽光発電が大きな割合を占めるが、2030年以降は風力発電（陸上・洋上）の割合が増加する。原子力発電の設備容量は緩やかに減少する（前頁では2030年頃まで原子力の発電量がやや増加したが、稼働率の上昇によるものと解釈できる）。
  - GCAM：設備容量ベースでは太陽光発電が最大の割合を占める。バイオマス発電が2040年以降にBECCSに置き換わっていることが分かる。

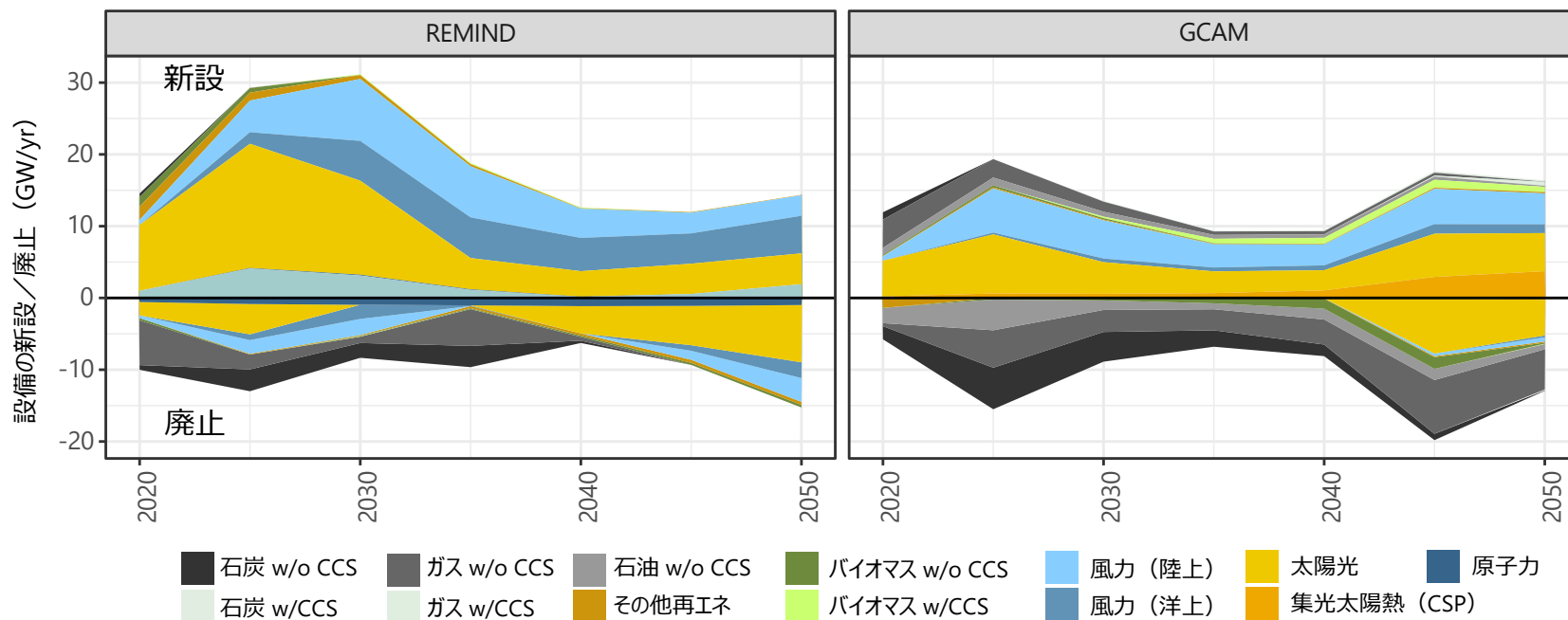
### 電源別の設備容量（日本）



## 電力設備の新設と廃止

- 設備容量の変化（新設と廃止）をみると、化石燃料発電が廃止され、大量の再生可能エネルギー発電が新設される傾向は共通しているが、内訳や変化のタイミングは異なる。
  - REMIND：2025～2030年にかけて大きな新設のピークがあり、その大半を太陽光発電が占める。一方、化石燃料発電は、2040年頃まで徐々に廃止される。
  - GCAM：新設のピークは小さくなく、2050年まで徐々に設備が置き換わることが分かる。2020年以降もCCSなしの化石燃料発電の新設があり、廃止も2050年頃まで続く。

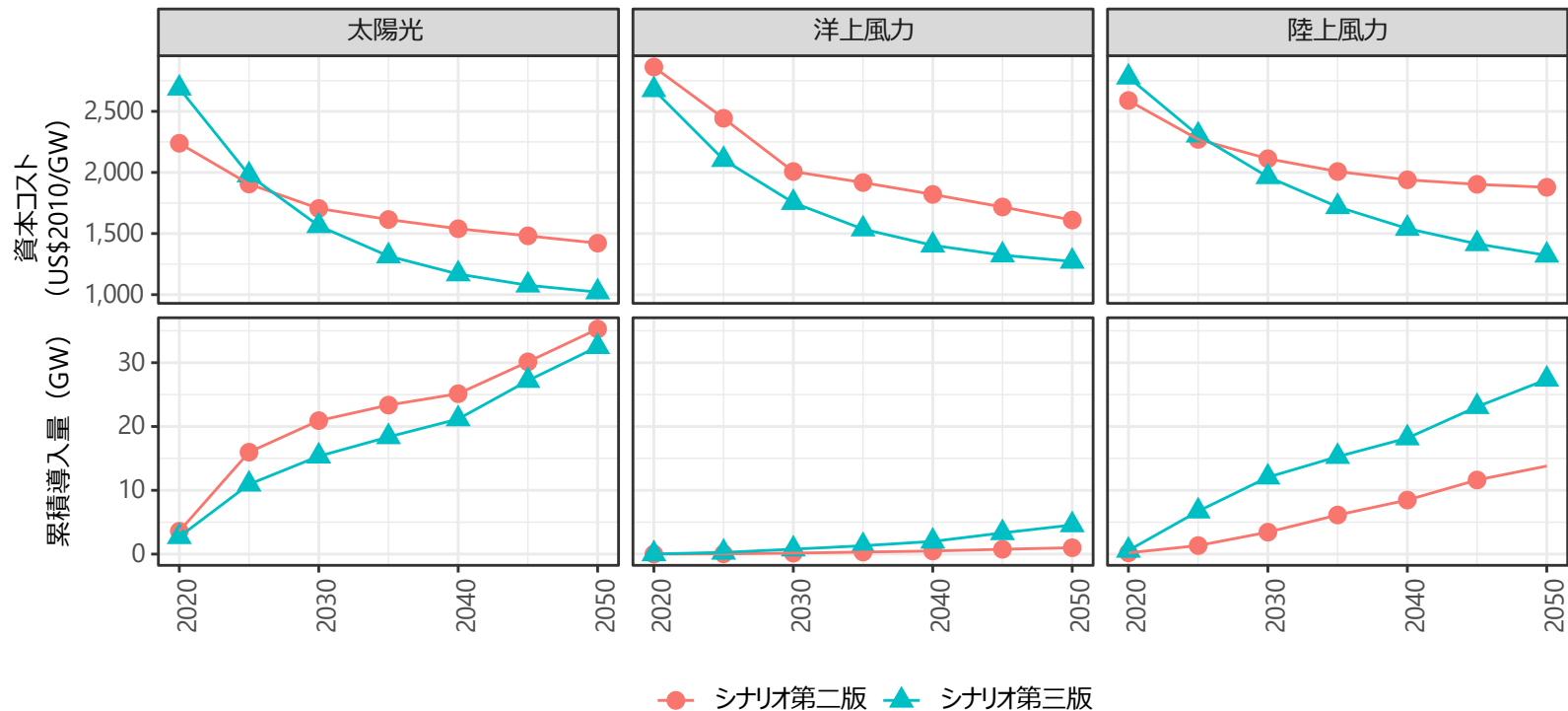
電源別の設備の新設・廃止（日本）



## 資本コストの見直しと導入量の変化（GCAM）

- シナリオ第三版では、再エネ技術の資本コストの見直しが行われ、太陽光や風力（洋上・陸上）のコストが長期的に低下するとされた。
- 風力は導入量（累積ベース）の増加がみられたが、太陽光はコストが低下する見通しであるにも関わらず、第二版と比較して導入量は減少した。コストと導入量の関係は、IAM内のエネルギーシステム全体のバランスで決まるため、必ずしも単純ではないことが見て取れる。

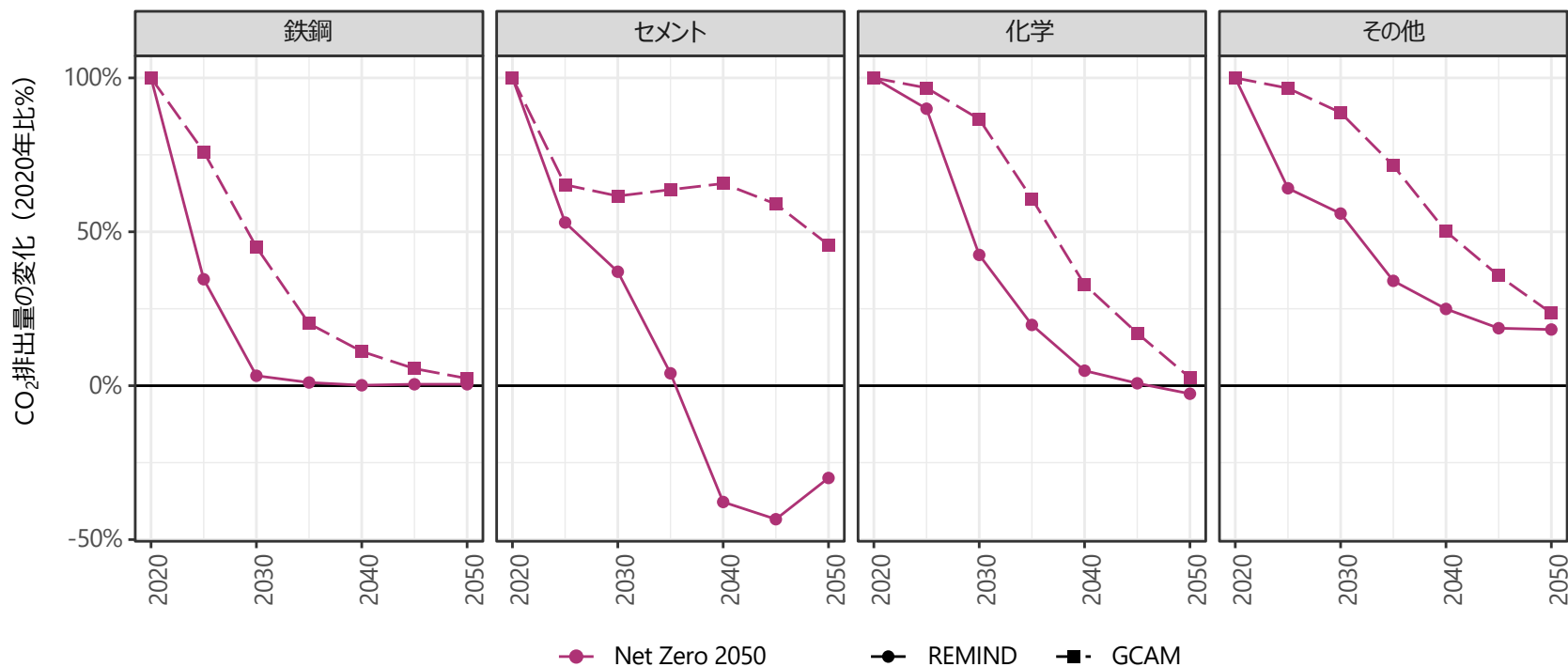
GCAMにおける資本コスト（上）と累積導入量（下）の比較（日本）



## 産業部門のCO<sub>2</sub>排出

- 産業部門では、鉄鋼・セメント・化学の3部門のエネルギー需要やCO<sub>2</sub>排出量のデータが利用できるが、一連のデータが利用できるのは鉄鋼・セメントに限られる。
- 鉄鋼・セメントを含む産業各部門のCO<sub>2</sub>排出削減の量やペースは部門やIAMによって異なり、2050年時点で残余排出が残る部門からマイナス排出となる部門まで多様である。
  - REMIND：全体的にCO<sub>2</sub>排出削減のスピードが早い。鉄鋼は2030年までにほぼゼロ排出、セメントは2035年前後にゼロ排出、2040年までにマイナス排出となる。
  - GCAM：鉄鋼は2050年頃にゼロ排出となるが、セメントは2050年時点でも2020年比で50%程度までしかCO<sub>2</sub>排出削減が進まない。

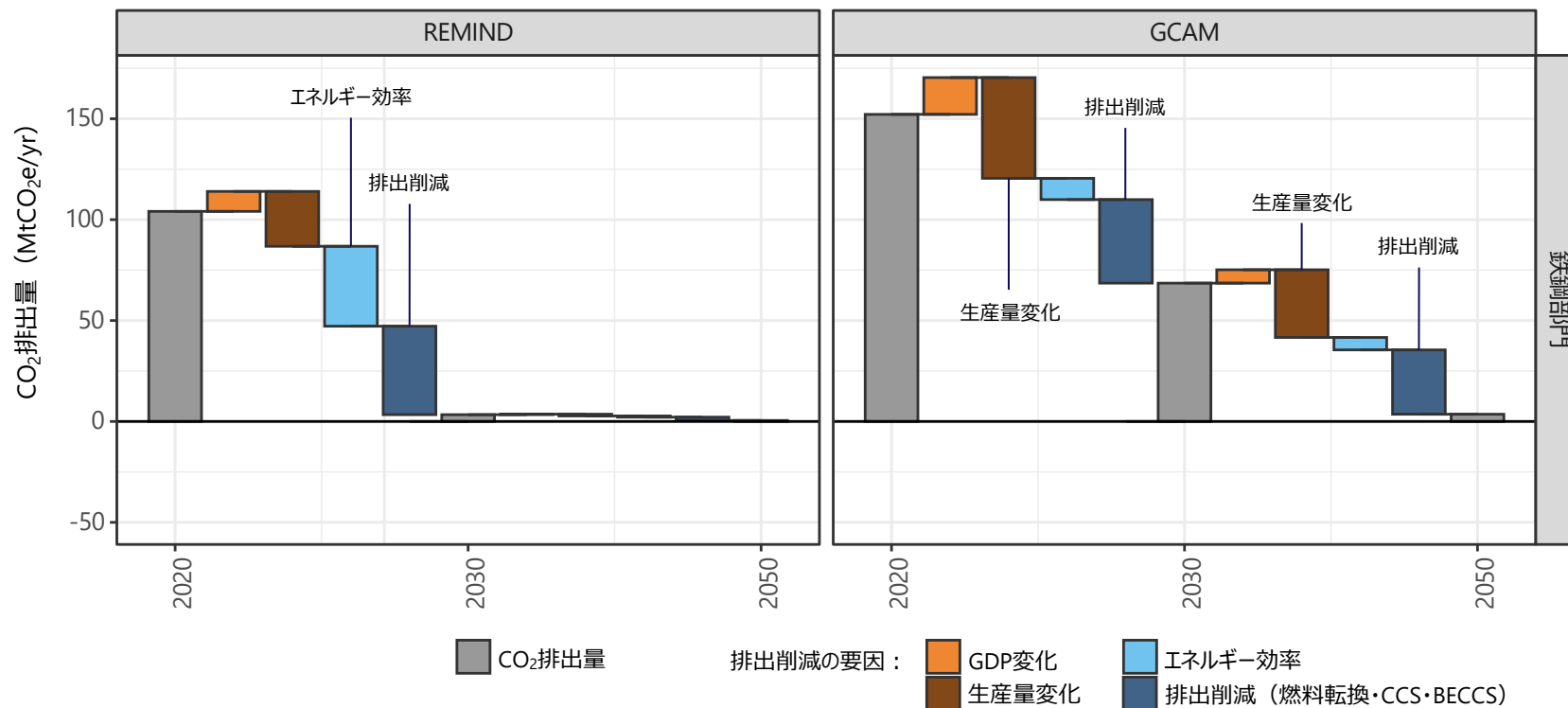
産業各部門の排出削減（2020年比）（日本）



## 鉄鋼部門のCO<sub>2</sub>排出量の変化と排出削減の要因

- CO<sub>2</sub>排出量変化の要因はIAMによって異なる。
  - REMIND：エネルギー効率（省エネ）に加えて、排出削減（燃料転換やCCSなど）によって、2030年までにほぼゼロ排出となる。
  - GCAM：生産量の減少と排出削減（CCSなど）による削減効果が大きく、エネルギー効率の効果は小さい。2030年時点ではCO<sub>2</sub>排出が残り、2050年までにほぼゼロ排出となる。

鉄鋼部門のCO<sub>2</sub>排出量の変化と排出削減の要因（日本）



## 鉄鋼部門のCO<sub>2</sub>排出削減：生産量の変化

- いずれのシナリオでも鉄鋼部門の生産量は低下するが、2030年時点では現行政策シナリオ（Current Policies）との差はそれほど小さくなく、第6次エネルギー基本計画の想定とも整合している。
  - REMIND：シナリオ第二版では、Net Zero 2050の2030年時点の生産量がCurrent Policiesと比較して大幅に落ち込んだ\*1が、第三版ではCurrent Policiesとの差は縮小した。
  - GCAM：Net Zero 2050とCurrent Policiesの差は小さいが、いずれのシナリオでも生産量の減少幅は大きい。

粗鋼生産量の変化（日本）



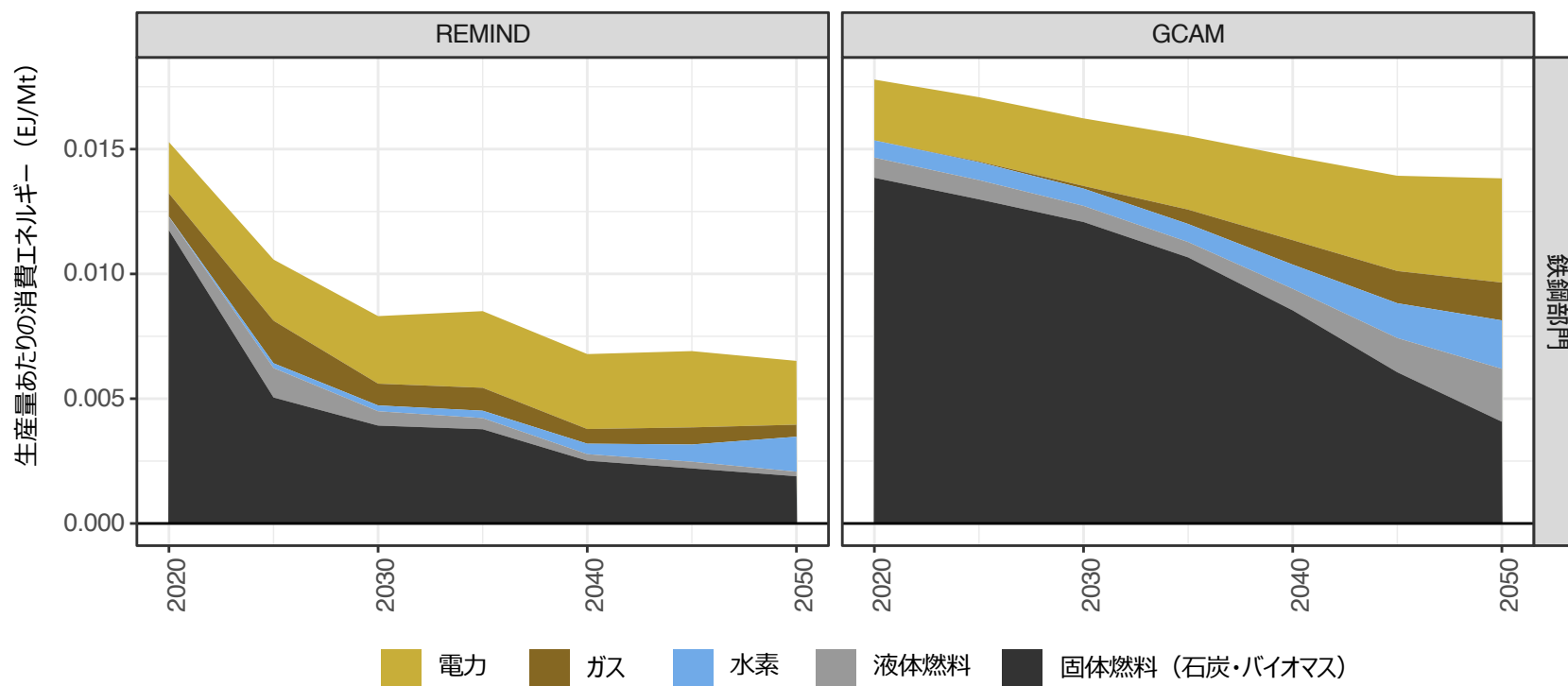
\*1 金融庁（2022）



## 鉄鋼部門のCO<sub>2</sub>排出削減：生産量あたりのエネルギー消費と排出削減

- 生産量あたりのエネルギー消費は減少し、エネルギー効率が改善していることが分かる。また、固体燃料（主に石炭）の割合が減少し、直接排出ゼロとなる水素が含まれることで、排出削減が進む。
  - REMIND：生産量あたりのエネルギー消費の低下の幅が大きく、エネルギー効率改善の効果が大きい。
  - GCAM：エネルギー効率の改善は小さいが、固体燃料（主に石炭）の一部を直接排出ゼロの水素に置き換えることによって、排出削減が進む。

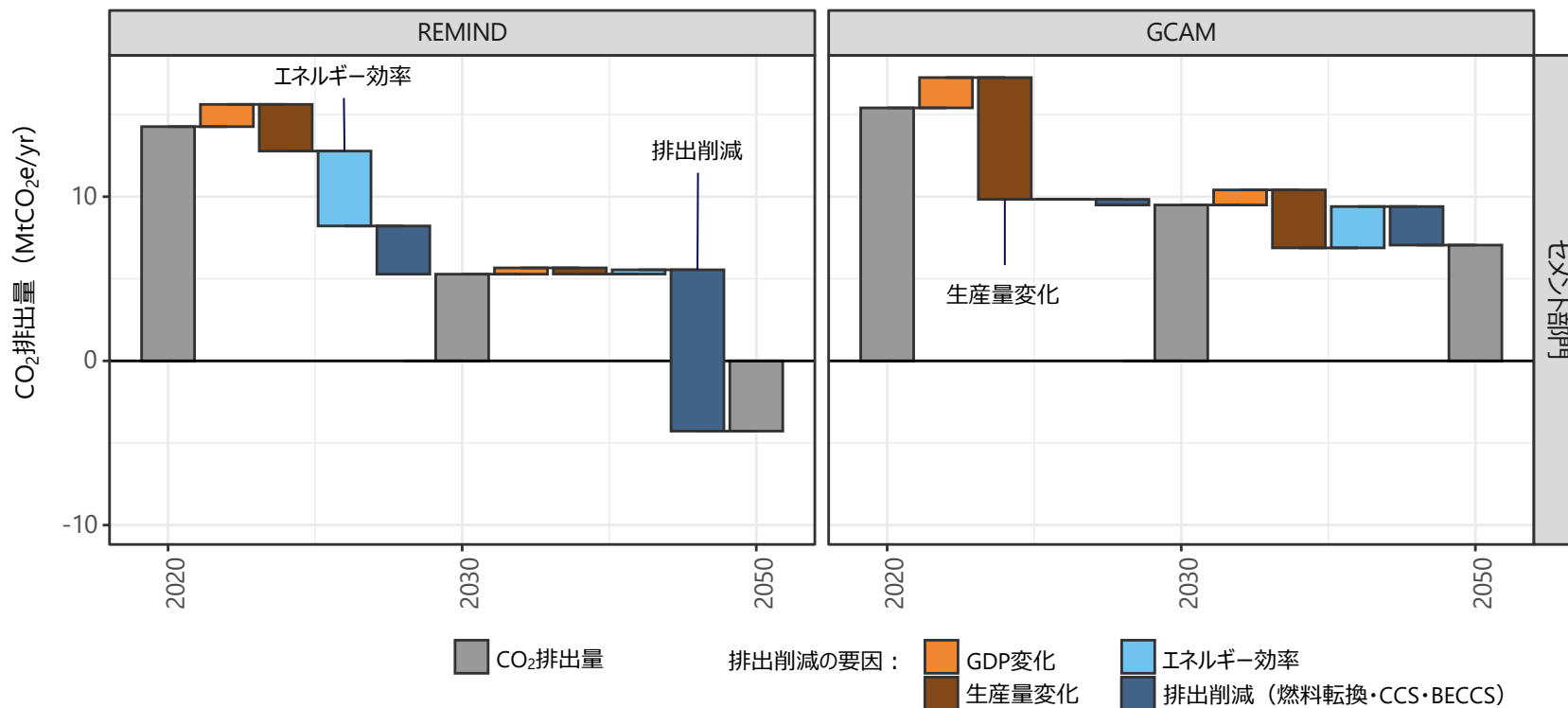
鉄鋼部門の生産量あたりのエネルギー消費（日本）



# セメント部門のCO<sub>2</sub>排出量の変化と排出削減の要因

- CO<sub>2</sub>排出量変化の要因はIAMによって異なり、削減技術の不確実性を反映している。
  - REMIND：エネルギー効率（省エネ）に加えて、2030年以降に排出削減によってマイナス排出となっている。燃料転換だけでなく、炭素除去技術（BECCS）が導入される効果によるものと考えられる。
  - GCAM：足元の生産量の減少による削減効果が大きく、エネルギー効率や排出削減の効果は比較的小さい。

セメント部門のCO<sub>2</sub>排出量の変化と排出削減の要因（日本）



## セメント部門のCO<sub>2</sub>排出削減：生産量の変化

- 生産量の変化はIAMによって異なる。
  - REMIND：Net Zero 2050とCurrent Policiesの差は小さく、2030年時点の生産量は第6次エネルギー基本計画の想定よりもやや多い。
  - GCAM：Current Policiesと対してNet Zero 2050は生産量の落ち込みが大きい。シナリオ第二版では、第6次エネルギー基本計画の想定よりも大幅に生産量が少なかったが、その傾向は第三版でも変わらない。

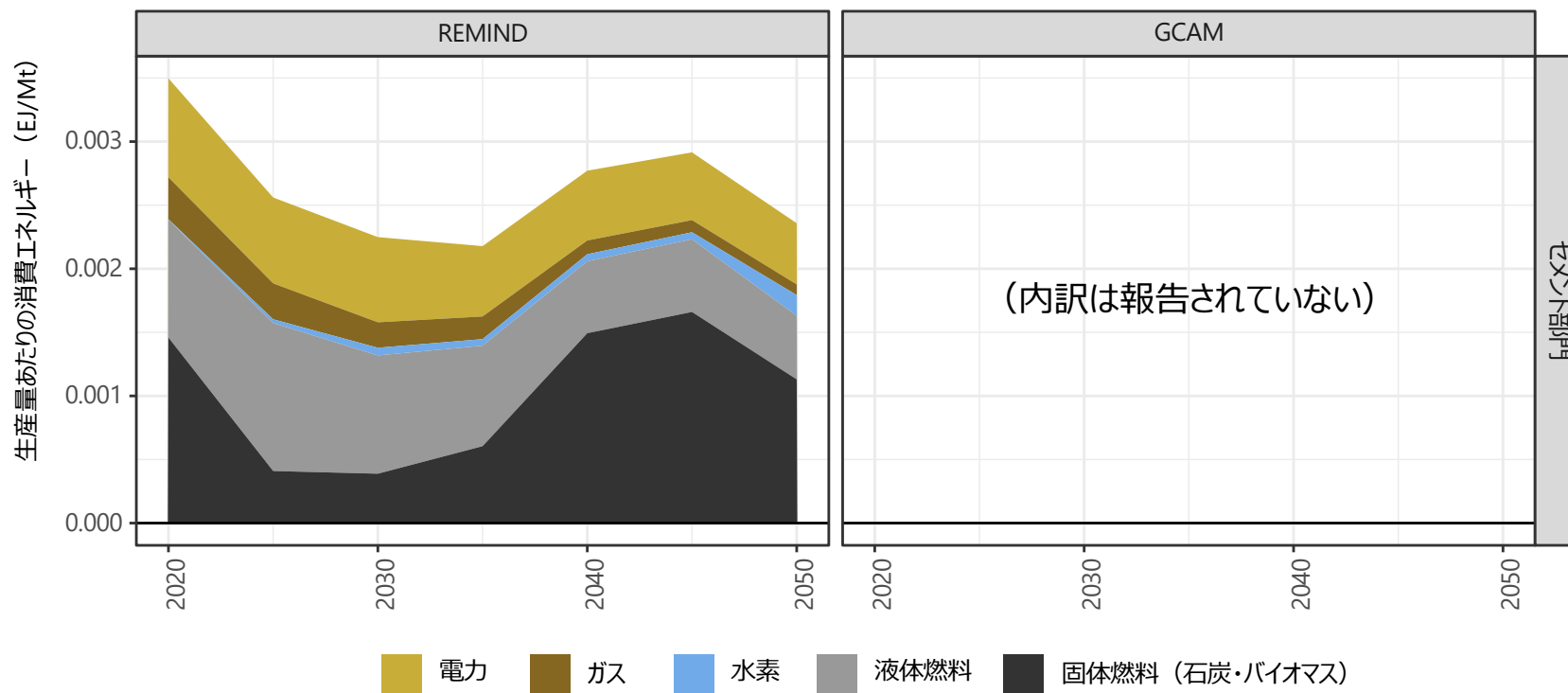
セメント生産量の変化（日本）



# セメント部門のCO<sub>2</sub>排出削減：生産量あたりのエネルギー消費と排出削減

- 日本の場合、エネルギー消費の詳細な内訳が報告されているのはREMINDのみで、GCAMは電力のみが報告されている。
  - REMIND：2030年までにエネルギー消費が減少するが、逆に、2040年以降に固体燃料が増加し、全体で見るとエネルギー効率改善の効果が元に戻る。2050年時点では、固体燃料の大半はバイオマスであり（P.32）、CO<sub>2</sub>排出量がマイナスに転じる（P.38,42）ことと合わせると、2030年以降に炭素除去技術（BECCS）が導入されることによるものと考えられる。

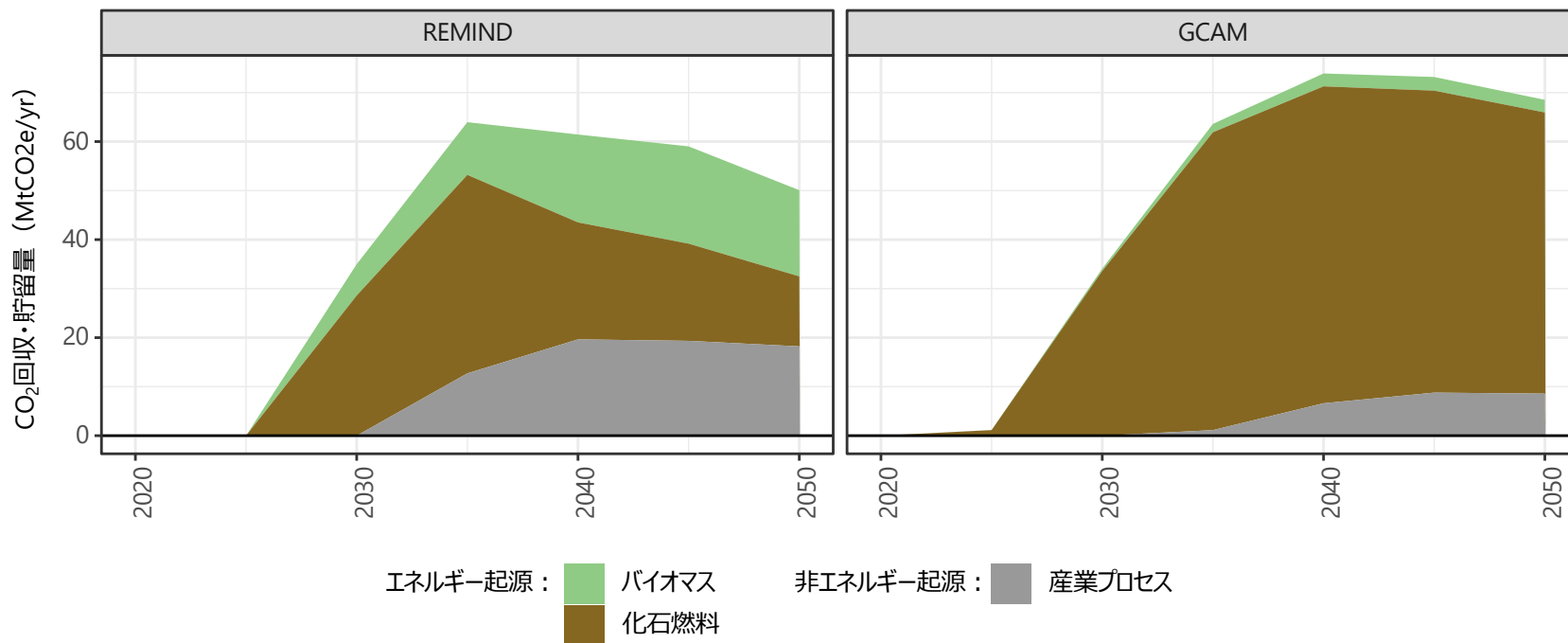
セメント部門の生産量あたりのエネルギー消費（日本）



## 産業部門における炭素回収・貯留

- 個別部門の内訳は示されないが、2030年前後から化石燃料へのCCS（排出削減）やBECCS（炭素除去）といった炭素回収・貯留技術が排出削減に貢献する。
  - REMIND：2025年以降に炭素回収・貯留の量が増加するが、2035年以降はBECCS（炭素除去）の割合が増加する。部門別のCO<sub>2</sub>排出量がマイナスとなっているセメント部門に、主に導入されていると考えられる。
  - GCAM：2025年以降にCCS（排出削減）が導入される。

産業部門全体のCO<sub>2</sub>回収・貯留量（日本）



# 本セクションのまとめ：日本のネットゼロへのパスウェイの特徴

- NGFSシナリオ第三版における日本のネットゼロへのパスウェイはIAMによって異なり、それぞれ以下のように特徴づけられる。

## REMIND

## GCAM

### ① エネルギーシステム

- 化石燃料の需要が減少し、一次エネルギーの輸入も減少する。
- 最終エネルギー消費に占める電力の割合が大幅に増加し、民生部門ではエネルギー需要のほぼ100%が電力に置き換わる。
- 運輸や産業部門では液体燃料（主に石油）の需要が残るが、一部に水素も導入される。

### ② 電力部門

- 2035年までにほぼゼロ排出となり、2050年までその水準が維持される。
  - 2025～2030年にかけて太陽光発電への大きな投資のピークがあり、2030年以降は風力発電（陸上・洋上）の新設が続く。化石燃料発電は2040年までに廃止される。
- 2045年頃までゼロ排出とならないが、2050年時点ではマイナス排出となる。
  - 2050年まで徐々に、化石燃料発電から再生可能エネルギー発電への置き換えが進む。BECCS（炭素除去）が導入される。

### ③ 産業部門

- 鉄鋼部門では、2030年までにゼロ排出となる。これは主に、エネルギー効率と燃料転換によるものと考えられる。
  - セメント部門では、2040年以降にBECCS（炭素除去）が導入されることで、マイナス排出となる。
- 鉄鋼部門では、エネルギー効率改善よりも、主に燃料転換（石炭→水素）による排出削減により、2050年までにゼロ排出となる。
  - セメント部門では、生産量の減少により、排出削減が進むが、2050年時点でもゼロ排出にはならない。

## 2. 統合評価モデルの世界及び日本の 主要変数の特徴整理

2.1 統合評価モデルの主要変数（世界全体と日本）

2.2 主要セクターのネットゼロパスウェイ（日本）

▶ 2.3 IEA等のシナリオやシナリオ第二版との比較に基づく留意点の確認

# 我が国での金融リスク分析を想定した留意点と第三版での更新状況（1/2）

- 2022年4月に金融庁より公表された報告書では、NGFSシナリオ第二版に対し、我が国における気候関連の金融リスク分析を想定した留意点を指摘した。
- 本セクションでは、2.1・2.2の分析を踏まえ、シナリオ第三版でこれらの留意点がどのように更新されたかを確認する。

## シナリオ第二版に対して指摘した留意点

## シナリオ第三版での更新状況

炭素価格	<ul style="list-style-type: none"><li>炭素価格は金融リスク分析において重要な変数であるが、IEA World Energy Outlook 2021との乖離が大きい。</li><li>NGFSシナリオ第二版では、炭素価格は「シャドウプライス」として内生的に計算され、Net Zero 2050シナリオの世界平均は、<b>\$486.2/tCO<sub>2</sub>~\$672.7/tCO<sub>2</sub></b>（2050年時点）。</li><li>IEAのWorld Energy Outlook 2021の炭素価格は外生的に設定され、地域によって<b>\$55/tCO<sub>2</sub>~\$250/tCO<sub>2</sub></b>（2050年）*1。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>第三版の炭素価格でも炭素価格は、「シャドウプライス」としてIAM内部で計算される。Net Zero 2050シナリオの世界平均は、<b>\$451.2/tCO<sub>2</sub>~\$822.4/tCO<sub>2</sub></b>（2050年時点）。（P.27）</li><li>IEAのWorld Energy Outlook 2022の炭素価格も前年のWorld Energy Outlookと同様に外生的に設定され、先進国では<b>\$250/tCO<sub>2</sub></b>、新興国では<b>\$200/tCO<sub>2</sub></b>（2050年）*2。</li></ul>
一次エネルギー価格	<ul style="list-style-type: none"><li>シナリオ第二版では、一部のIAM（MESSAGE）で極端な価格変動が見られた。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>第三版でもMESSAGEの価格は極端に変動する可能性があることが、確認された（P.18）</li></ul>
二次エネルギー価格（電力）	<ul style="list-style-type: none"><li>シナリオ第二版の移行シナリオでは、REMINDの電力価格は投資額の増加に合わせて2030年前後に急激に上昇する（特に日本）。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>第三版でも移行シナリオでは、REMINDの電力価格は、2030年前後に急激に上昇する。この傾向は第二版よりも顕著（P.21）</li><li>ただし、移行シナリオでは2050年までに省エネが進むため、他のエネルギーを含めたGDPや活動量あたりのエネルギー関連のコストは、温暖化進行シナリオを下回る（P.23~26）</li></ul>

\*1 IEA (2021)、\*2 IEA (2022)



# 我が国での金融リスク分析を想定した留意点と第三版での更新状況（2/2）

## シナリオ第二版で報告した留意点

## シナリオ第三版での更新状況

産業部門	<ul style="list-style-type: none"><li>シナリオ第二版で、Net Zero 2050シナリオの産業部門（鉄鋼・セメント）の排出量を我が国の政策（第6次エネルギー基本計画の想定（2030年））と比較した結果、国内生産量が政策の想定以上に落ち込んでいる例が見られた（鉄鋼：REMIND、セメント：GCAM）。</li><li>IAMの計算結果のみから検証することは困難であるものの、他国に排出が移転する炭素リーケージの可能性が懸念された（IAMでは国境炭素調整措置は考慮されていない）。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>第三版では、Net Zero 2050シナリオにおける鉄鋼部門の2030年時点の生産量は、いずれのIAMでも日本の政策の想定と整合していることが確認された（P.40）。</li><li>一方のセメントは、GCAMでは、生産量の大幅な削減によって排出を削減していることが確認された（P.43）。</li></ul>
新技術の想定	<ul style="list-style-type: none"><li>シナリオ第二版では、炭素除去技術として植林とBECCSが考慮されているが、空气中直接CO<sub>2</sub>回収・貯留（DACCS）が考慮されていない。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>一部のIAMはDACCSを技術オプションに含んでいるとされるが、第三版でもDACCSは報告されていない（P.14）。</li></ul>
BECCSによるバイオマスの需要増加	<ul style="list-style-type: none"><li>シナリオ第二版では、日本は、Net Zero 2050シナリオなどで一次エネルギー供給に占めるバイオマスの割合が増加し、バイオマスの輸入量が増加した。</li><li>日本におけるバイオマスの輸入量増加の原因の一つは、炭素除去の技術がBECCSしかないことによるものと考えられた。</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>第三版でも、日本では、Net Zero 2050シナリオなどで、バイオマスの輸入量と一次エネルギー供給に占める割合の増加が確認された（P.32）。</li></ul>

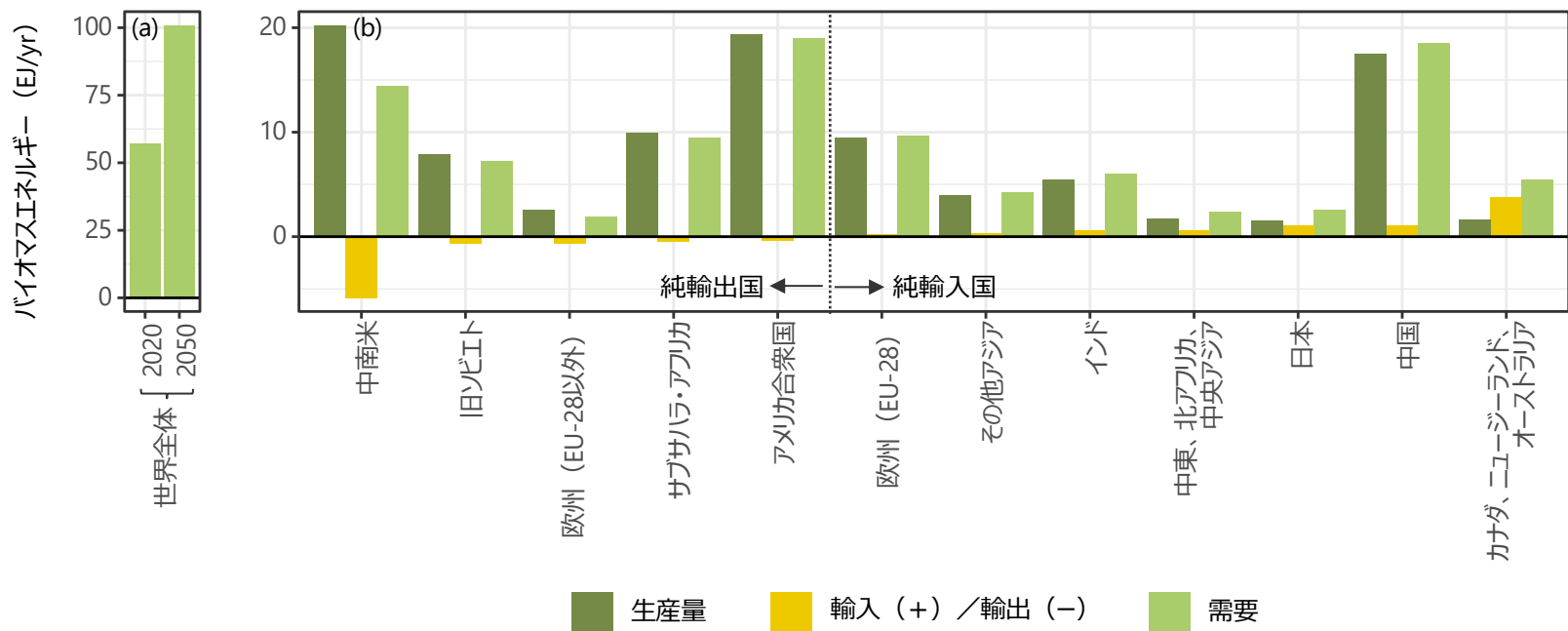


次頁でバイオマス輸入量  
増加の妥当性を考察

# ネットゼロシナリオにおけるバイオマスエネルギーの生産・需要

- 日本を含む各地域のバイオマスエネルギーの輸出入が報告されているREMINDの結果を例に、Net Zero 2050シナリオなどにおける輸入バイオマスの増加の妥当性を検討する。Net Zero 2050シナリオでは、世界全体のバイオマスエネルギーの需要は、2020年から2050年にかけて約1.8倍に増加する（下図(a)）。
- 「日本」「カナダ、ニュージーランド、オーストラリア」では、需要に占める輸入バイオマスの比率が高い傾向が見てとれる。そして、バイオマスエネルギーの輸出の大半は「中南米」である（下図(b)）。
- NGFSシナリオでは、二国間の取引量は報告されていないが、日本を含むバイオマスの輸入国は、中南米地域からの輸出に大きく依存していると考えられる。

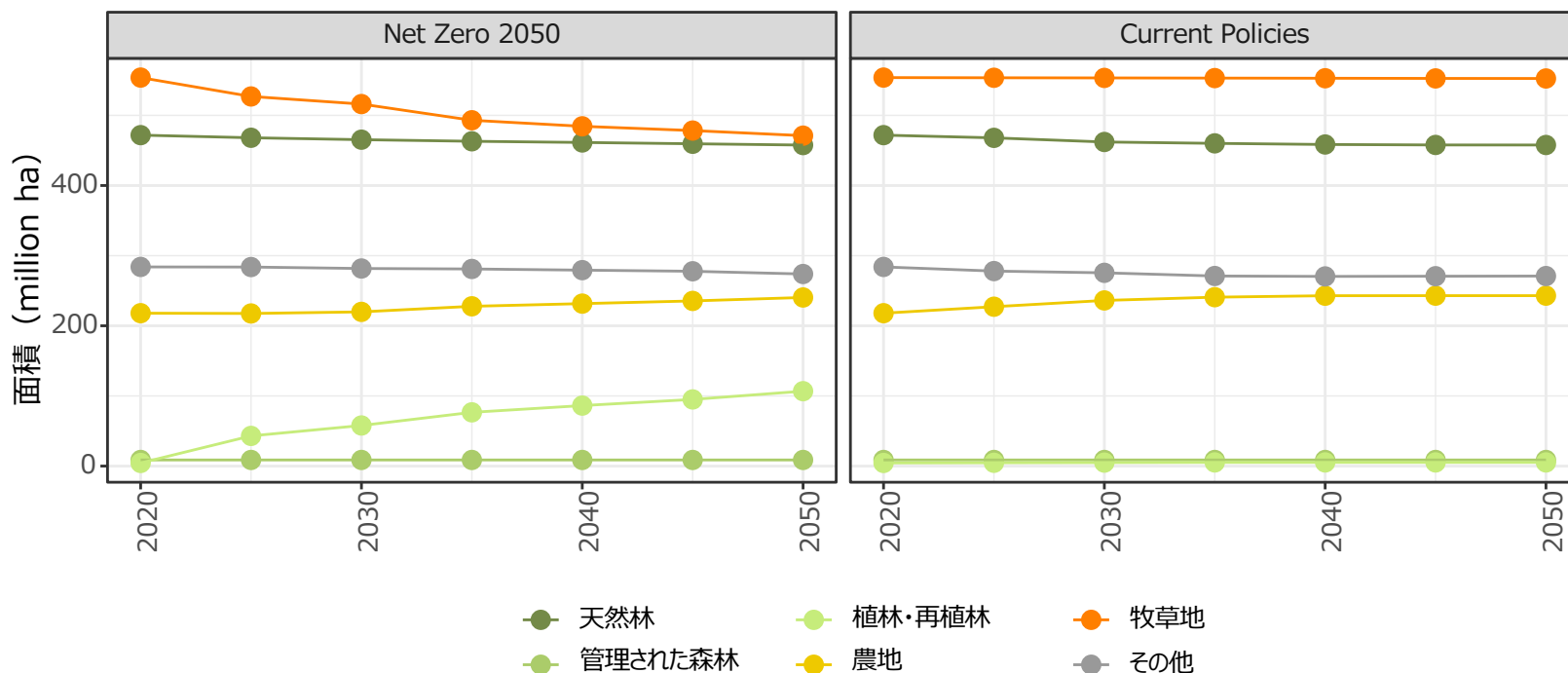
Net Zero 2050におけるバイオマスエネルギーの生産量・需要と輸出入（REMIND、2050年）



# 中南米地域における土地利用の変化

- Current Policiesと比較してNet Zero 2050では、2050年にかけて牧草地の面積が減少し、植林・再植林の面積が増加している。Net Zero 2050シナリオにおいて中南米地域では、過去に牧草地に転換された土地に植林を行うことで、需要を上回るバイオマスエネルギーを生産し、日本などに輸出をしていると考えられる。
- その一方で、天然林や農地の面積はいずれのシナリオでもほぼ一定である。バイオマスへの需要増加による天然林の破壊や食糧生産との競合といった影響は、確認されなかった。

## 中南米地域における土地利用の変化（REMIND）



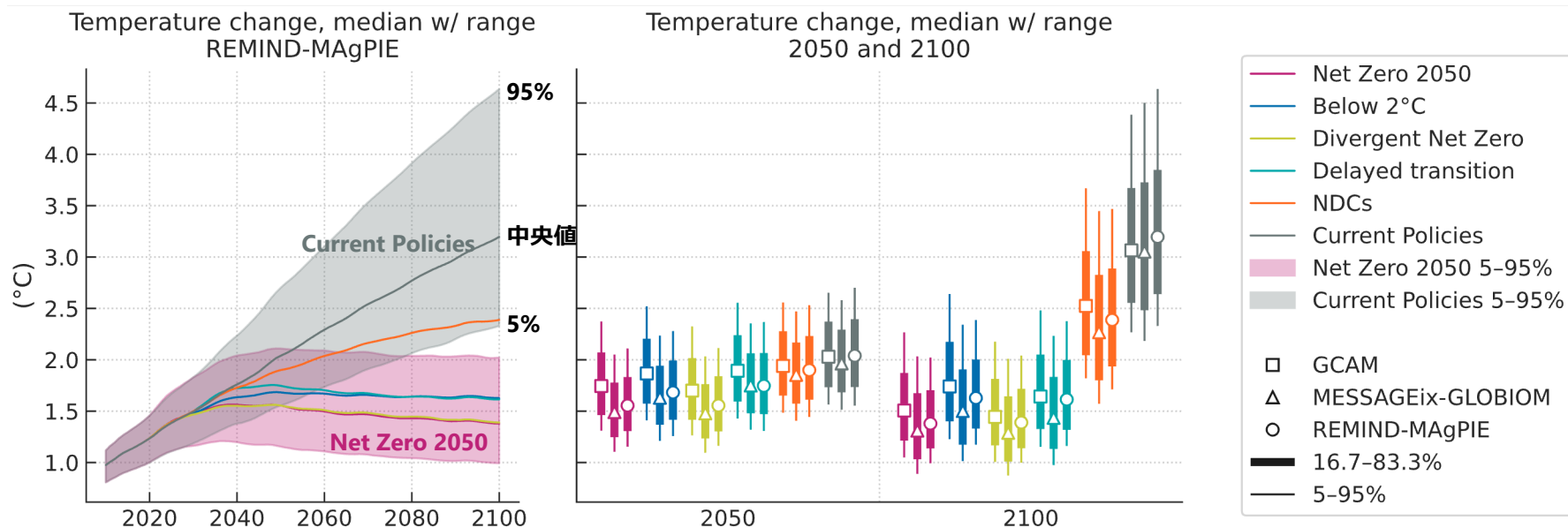
### 3. 物理的リスクに関する方法論と主要変数の特徴整理

- ▶ 3.1 NGFSシナリオにおける温暖化水準と物理的リスクに関する方法論の概要
- 3.2 マクロ経済的ダメージ関数に基づく損失の定量化
- 3.3 移行リスクモデルへのダメージ関数の内部化
- 3.4 気候・影響モデルデータに基づく急性リスクの評価

# GHG排出シナリオから計算される温暖化水準

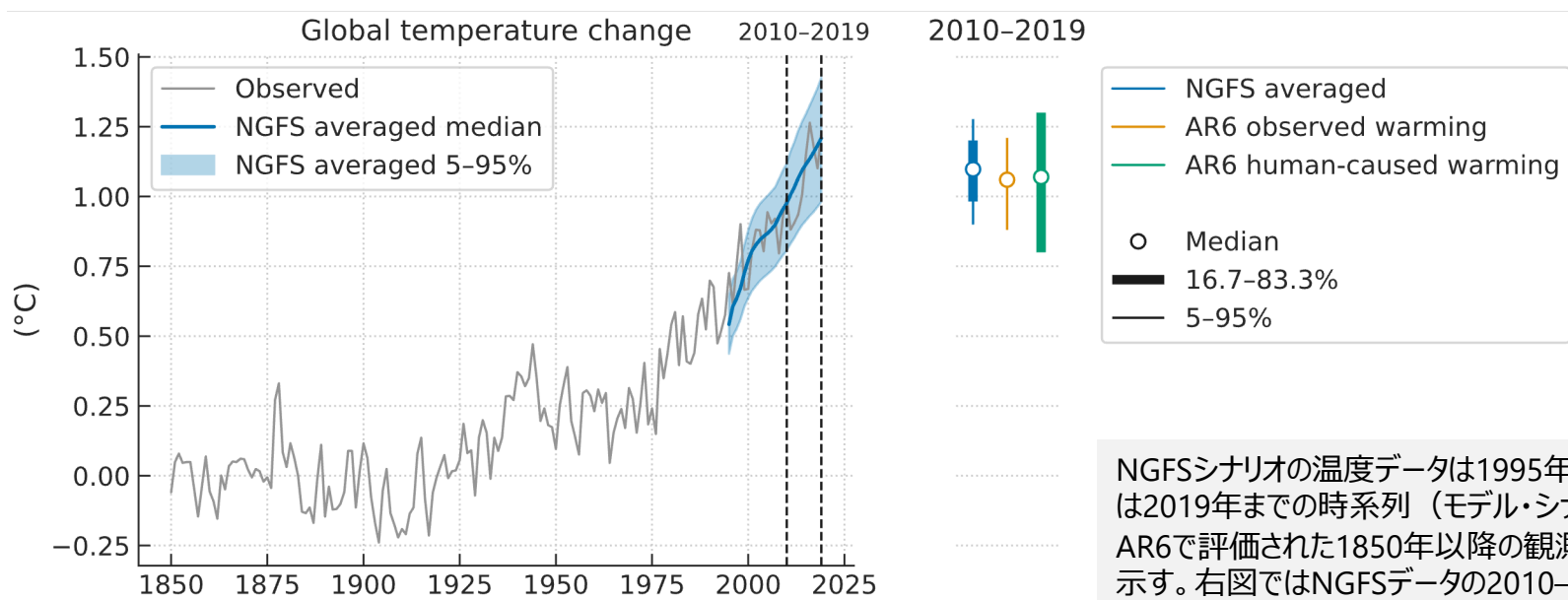
- 「温暖化水準」は、1850–1900年を基準とした世界平均気温の変化として表される。NGFSシナリオでは、IAMによる移行リスクシナリオの定量化の後、簡易気候モデル（MAGICC）を用いて、確率論的に温暖化水準が評価され、気候予測の不確実性を反映した情報も提供される。
- 確率論的に評価された気候予測の不確実幅は、シナリオ間の違いよりも大きい（左図）。また、同一シナリオであっても、IAMによって温暖化水準の中央値に若干のばらつきがある。
  - 今世紀前半は気候予測の不確実幅と比べてシナリオの違いが目立たない。

## REMIND-MAGPIEによる各シナリオ温暖化水準の経年変化（左）と2050・2100年のIAM間比較（右）



# 現在の温暖化水準の妥当性

- シナリオ第三版が出力する温暖化水準のデータは、IPCC第6次評価報告書（AR6）第1作業部会による複数の証拠に基づく評価と整合している。
- シナリオ第三版で温度上昇の計算に使われた簡易気候モデル（MAGICC7）は、IPCCのAR6第1作業部会の知見と整合するよう調整されており、同第3作業部会によるシナリオの評価にも同じ簡易気候モデルが使われている。



AR6第1作業部会データの出典

観測時系列：IPCC (2021) Figure SPM.1 (公開データ)

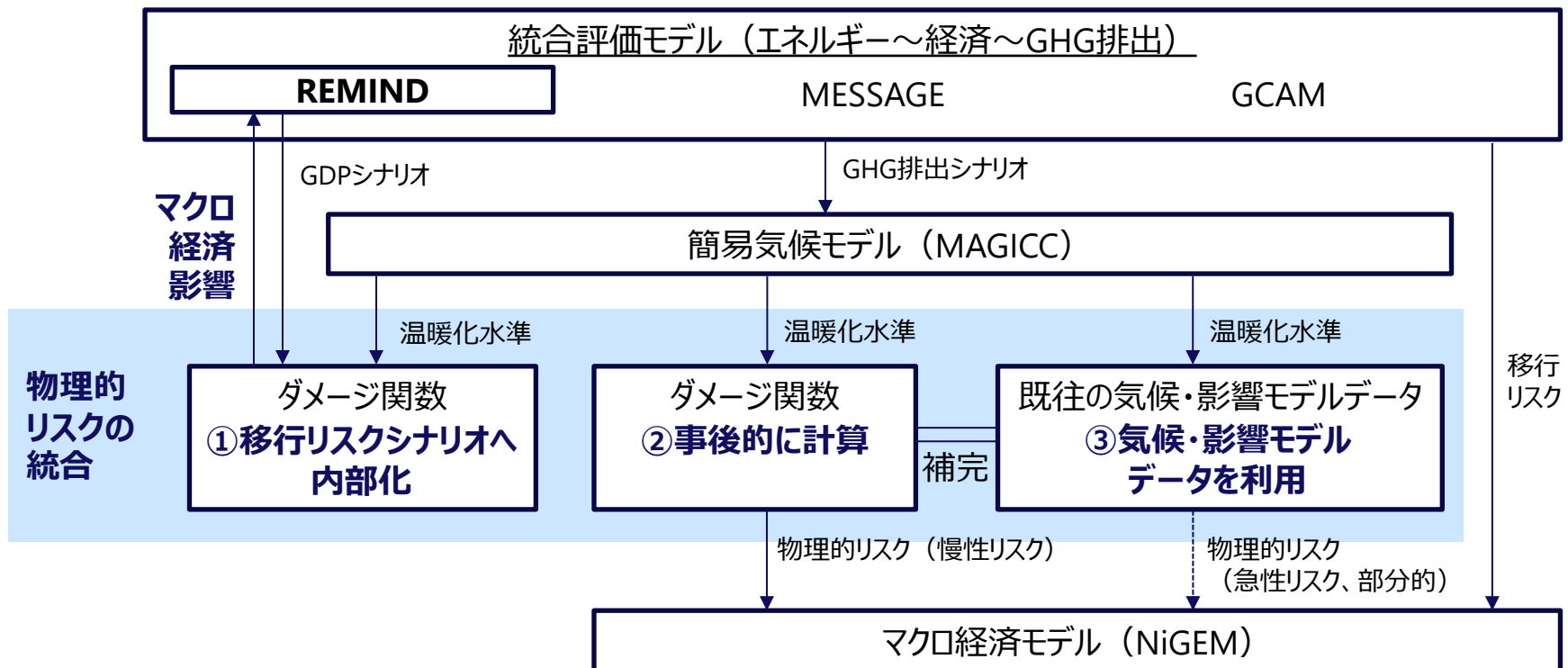
<http://dx.doi.org/10.5285/76cad0b4f6f141ada1c44a4ce9e7d4bd>

2010-2019年の観測と人為寄与：同SPM Footnote 11, A.1.3

NGFSシナリオの温度データは1995年以降。左図では2019年までの時系列（モデル・シナリオ平均）をAR6で評価された1850年以降の観測データとともに示す。右図ではNGFSデータの2010-2019年平均（中央値1.10°C、16.7-83.3%幅0.98-1.20、5-95%幅0.90-1.28°C）をAR6で評価された観測（中央値1.06°C、5-95%幅0.88-1.21°C）および人為寄与（中央値1.07°C、16.7-83.3%幅0.8-1.3°C）と比較。

# NGFSシナリオ第三版における物理的リスクの統合に関する方法論

- 物理的リスクによるマクロ経済への影響は、IAM本体とは別にダメージ関数によって評価される。具体的には、3つのIAMのGHG排出量から計算される温暖化水準とダメージ関数によって、経済への影響が事後的に計算される（下図②）。それとは別に、REMINDのみ、ダメージ関数を移行リスクシナリオへ内部化する方法も採用されている（下図①）。
- 物理的リスクの各種要素については、温暖化水準を介して、移行リスクシナリオと既往の気候・影響モデルデータが対応づけられる（下図③）。
- 後段のマクロ経済モデル（NiGEM）に統合されるのは、主にダメージ関数によって評価される慢性リスクの影響であるが、第三版では急性リスクについては既往データに基づく評価が部分的に適用された。



## 3. 物理的リスクに関する方法論と主要変数の特徴整理

3.1 NGFSシナリオにおける温暖化水準と物理的リスクに関する方法論の概要

▶ 3.2 マクロ経済的ダメージ関数に基づく損失の定量化

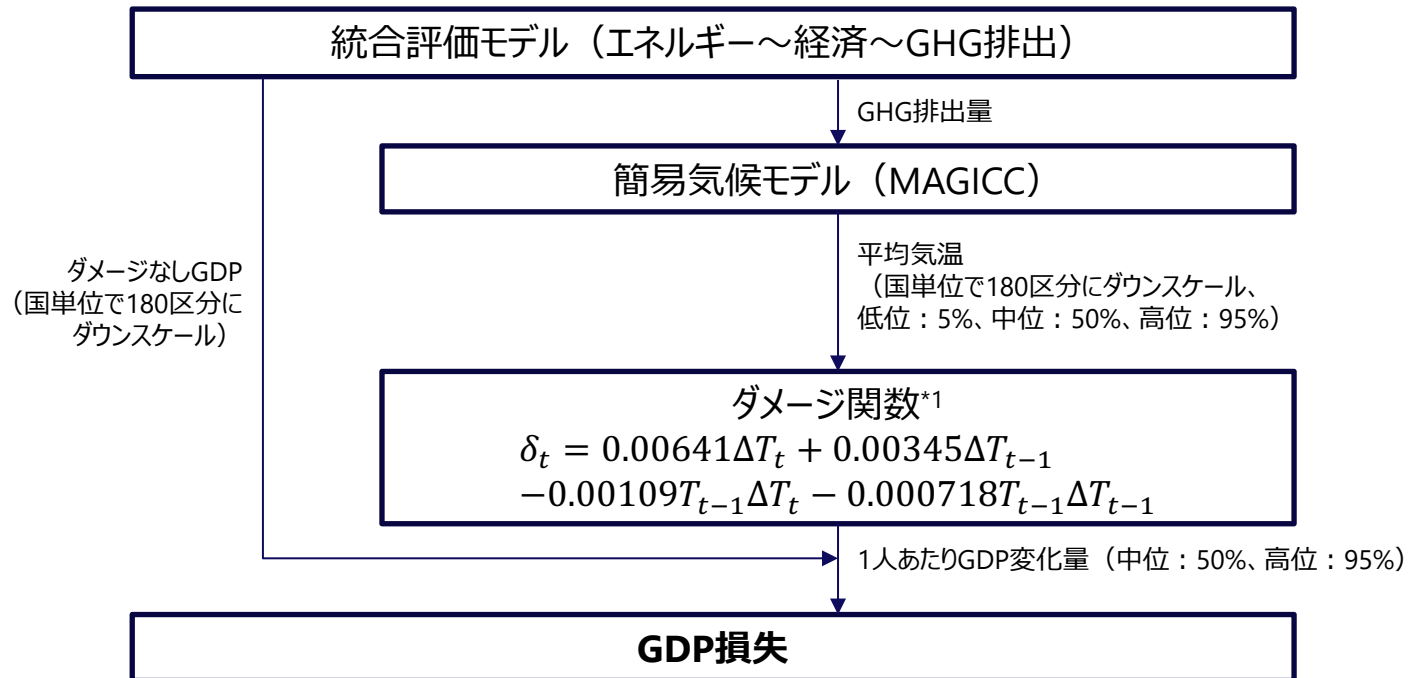
3.3 移行リスクモデルへのダメージ関数の内部化

3.4 気候・影響モデルデータに基づく急性リスクの評価



# ダメージ関数によるマクロ経済的損失の定量化

- 「ダメージ関数」とは、温暖化水準（産業革命前からの平均気温の上昇）と経済の変化の関係を表した経験式であり、気候変動によるマクロ経済への影響の定量化に用いられてきた。
- NGFSシナリオ第三版では、Kalkuhl and Wenz (2020)のダメージ関数が用いられている。これは、1人あたりGDP成長率と気温変化の関係をモデル化した式で、気温の上昇による労働生産性や土地の生産性の低下、資本償却などの影響が反映されている（非市場効果、気候の極端事象、海面上昇、社会影響などの効果は含まれない）。

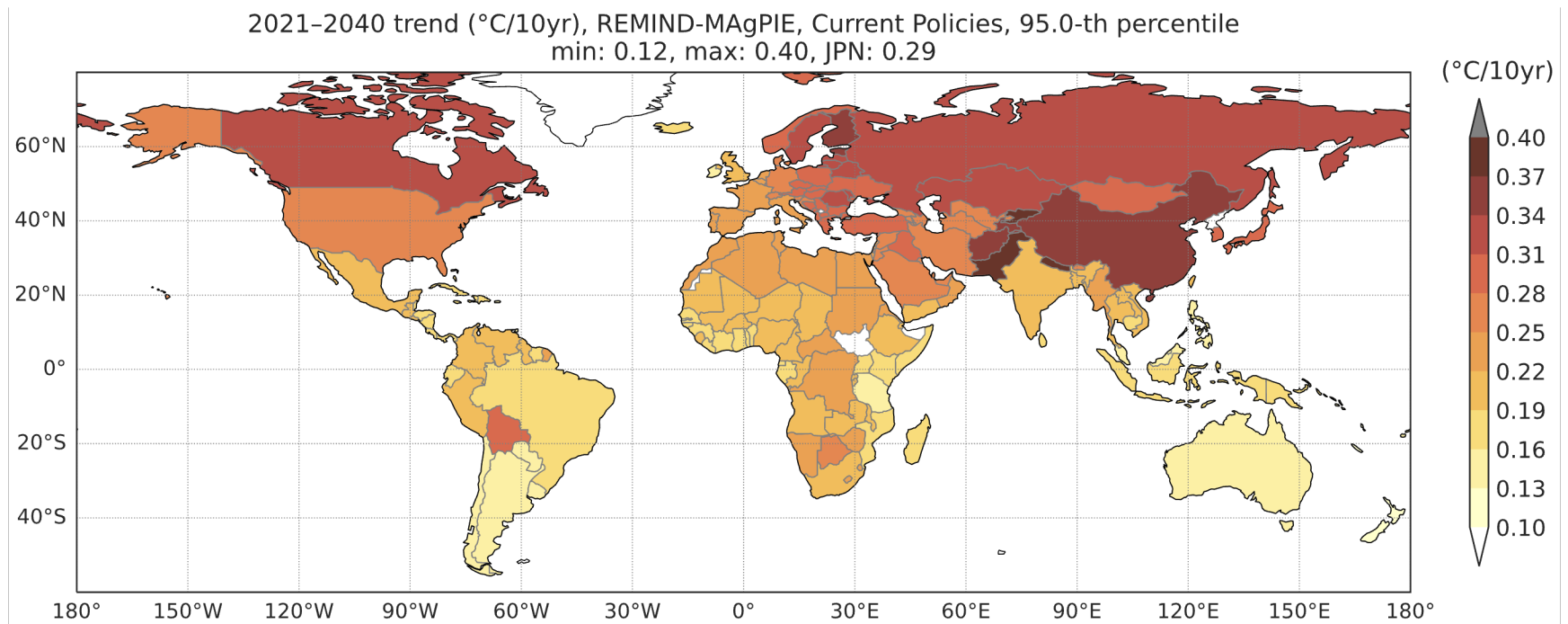


\*1 Kalkuhl and Wenz (2020)をベースに、NGFSでは中位推計値（上記式による）と高位推計値（モデル推定値の信頼区間の95%値）の両方を計算する。（ $\delta_t$  :  $t$ 年における1人あたりGDPの変化、 $T_t$  :  $t$ 年の平均気温、 $\Delta T_t$  :  $t-1$ 年から  $t$ 年の平均気温の変化）

# ダメージ関数に与えられる国別の平均気温上昇幅

- シナリオデータにはダメージ関数の入出力が180の国別値として含まれる。国別の気温は、既存の気候モデルデータを基に（緯度経度格子データを人口で加重平均）、世界平均の温暖化水準からスケーリングされる。
- 以下の図は典型的な空間分布を示すために、REMINDのCurrent Policiesシナリオを例に、2021-2040年のトレンドを10年当たりの変化で示したもの。北半球の高緯度地域や内陸部の国で平均気温の上昇幅が大きいことが分かる。

## ダウンスケールされた国別の平均気温上昇の分布

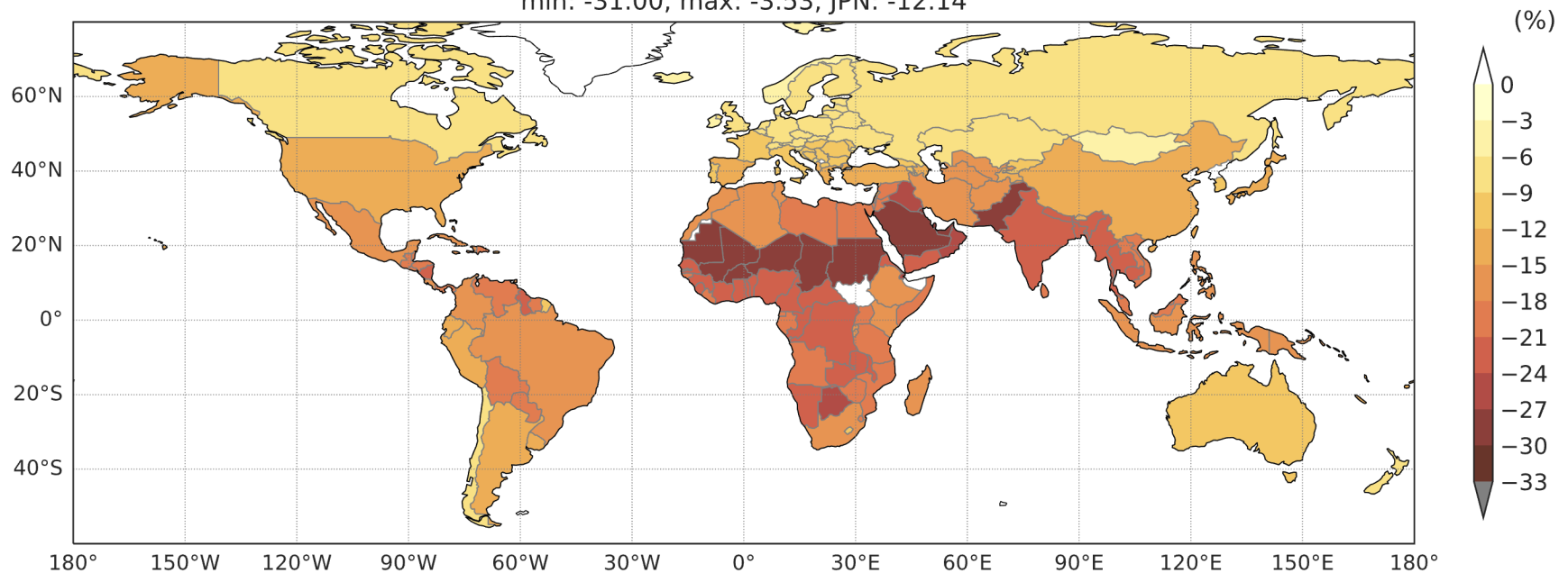


# ダメージ関数から得られるGDP損失率

- ダメージ関数から得られるGDP損失率には、中位推計（50%）と高位推計（95%）の2つの推計がある（高位推計はシナリオ第三版で新たに導入された）。
- 以下の図は、Current Policiesシナリオ、2100年の95%気温に対するGDP損失率の高位推計値（最もGDP損失率が大きくなる条件）を、REMINDの出力をベースに計算したもの。平均気温の上昇幅（前頁図）とは異なり、熱帯域のGDP損失率がより大きくなる傾向が見られる。

## ダウンスケールされた国別の気温上昇に基づく国別GDP損失率の分布

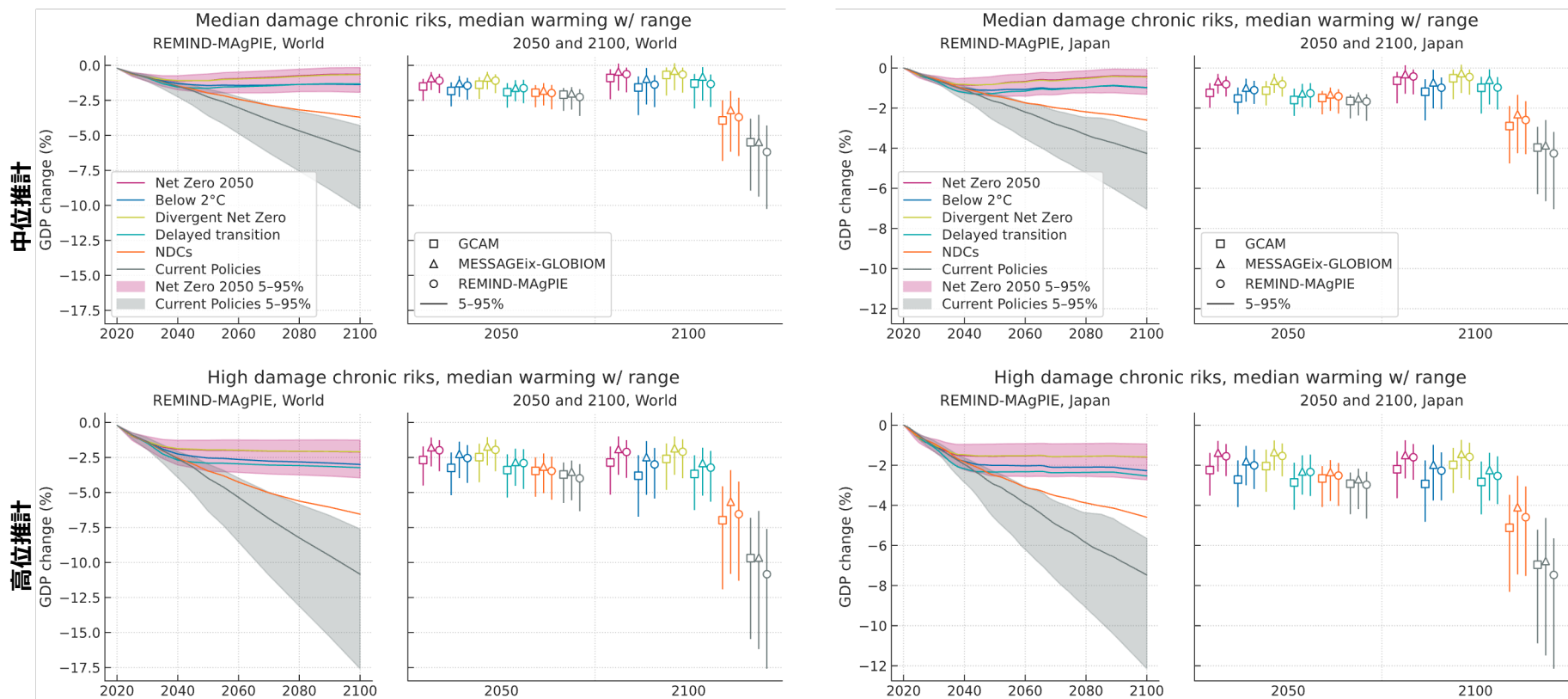
High-damage GDP %-change, REMIND-MAGPIE, Current Policies, 95.0-th percentile  
min: -31.00, max: -3.53, JPN: -12.14



# 通常モデル（ダメージ非内部化）のGDP損失率（世界）

- GDP損失率の中位推計（図上段）と高位推計（図下段）のそれぞれに対して温暖化水準の不確実性が考慮されるため、条件によってGDP損失率の中央値や不確実性の幅は異なる。第三版のマクロ経済影響モデル（NiGEM）では、シナリオによって異なるGDP損失率を用いるため、結果の解釈には注意が必要である（P.75参照）。
- 同じ条件では、2050年時点のシナリオ間のGDP損失率には大きな差がみられない。温暖化進行シナリオ（NDCs & Current Policies）のGDP損失率が拡大するのは、今世紀の後半である。

## ダメージ関数によるGDP損失率（左：世界全体、右：日本）



## 3. 物理的リスクに関する方法論と主要変数の特徴整理

3.1 NGFSシナリオにおける温暖化水準と物理的リスクに関する方法論の概要

3.2 マクロ経済的ダメージ関数に基づく損失の定量化

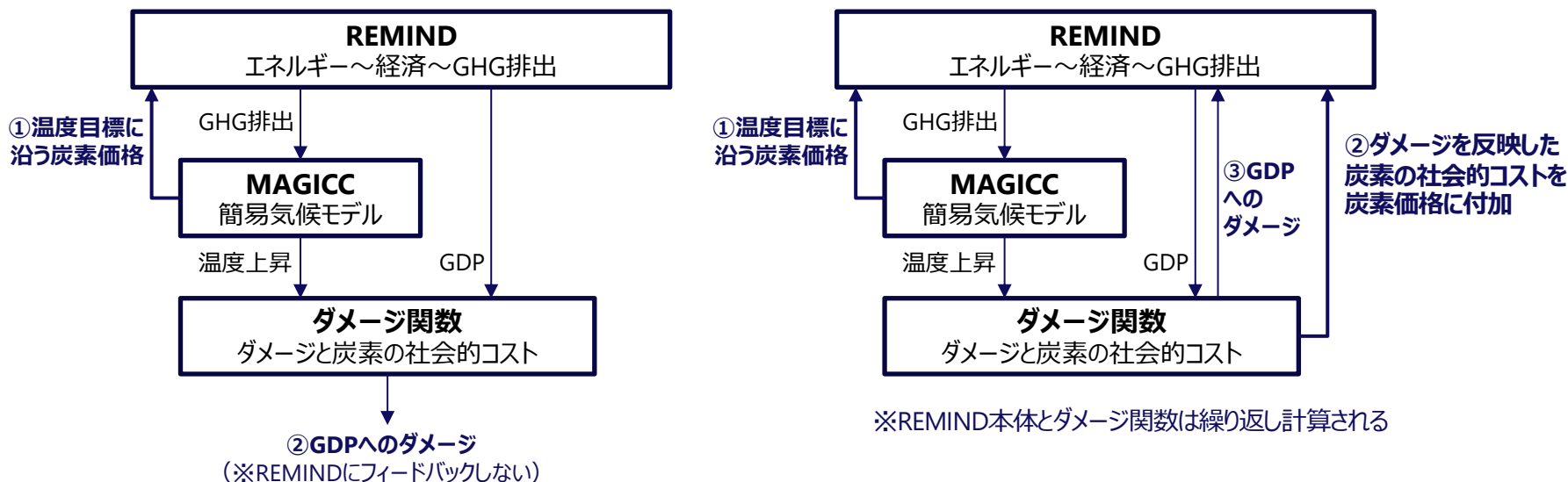
▶ 3.3 移行リスクモデルへのダメージ関数の内部化

3.4 気候・影響モデルデータに基づく急性リスクの評価

# 移行リスクシナリオにダメージを内部化する方法

- シナリオ第三版では、3つのIAMのうちREMINDのみに実装<sup>\*1</sup>されている。
  - 「ダメージ非内部化のIAM」では、温度目標に沿う炭素価格（guardrail tax）で排出量を制約し（下図：左の①）、ダメージ（国別にダウンスケール）によってGDPが減少する（下図：左の②）。
  - 「ダメージ内部化のIAM」では、温度目標に沿う炭素価格に炭素の社会的コスト（SCC：Social Cost of Carbon）<sup>\*2</sup>を付加して、排出量を制約する（下図：右の②）。GDPへのダメージはIAMにフィードバックされ（下図：右の③）、IAM本体とダメージ関数は収束するまで繰り返し計算される。

ダメージ「非内部化」（左）と「内部化」（右）のREMINDモデルの構造<sup>\*3</sup>



\*1 Schultes et al. (2021)の方法に基づく

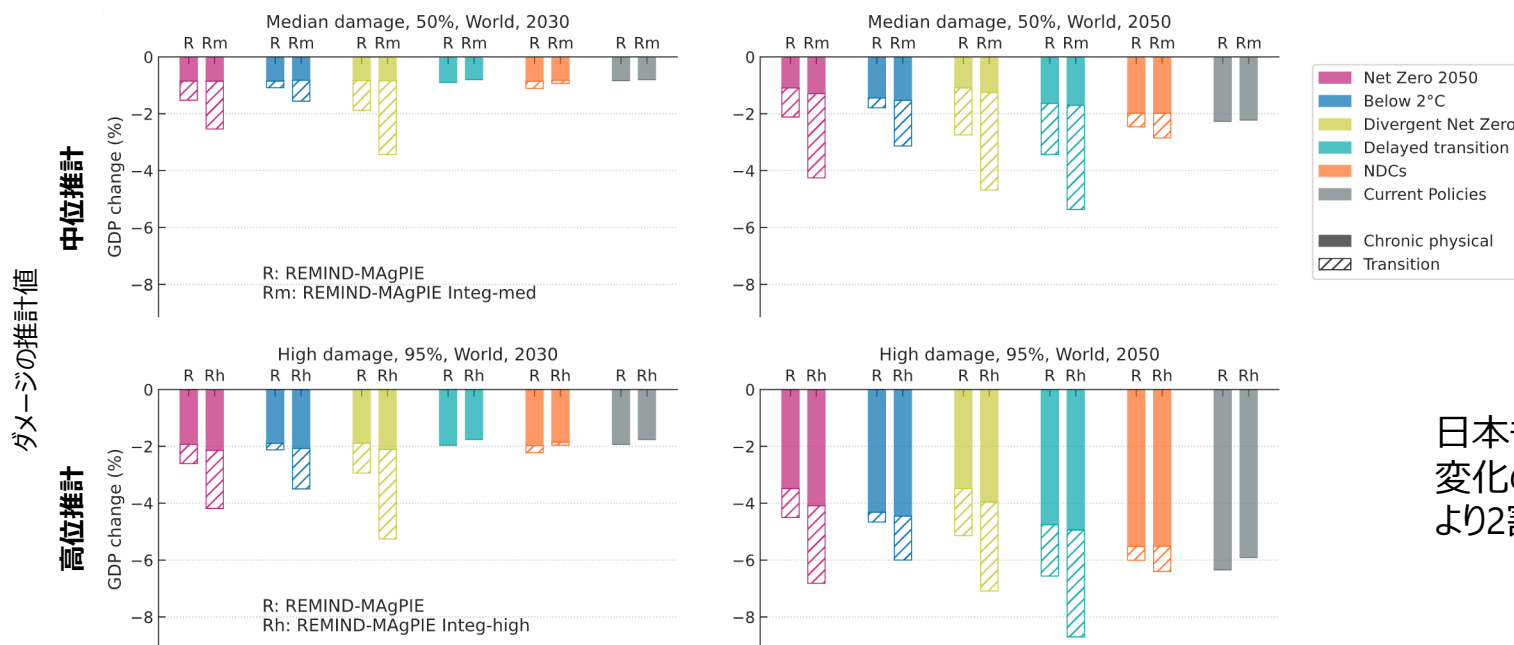
\*2 炭素の社会的コスト（SCC）とは、1トンの追加排出による気候影響被害で、ダメージ関数から計算される

\*3 NGFS (2022a)を参考に作成

# REMINDの物理的リスク内部化：物理的リスクと移行リスクへの影響

- 物理的リスク（※下図における塗りつぶし部分、ダメージ関数ありとなしの差で計算）
  - 内部化あり・なしの差（下図の各パネル内でのRとRmまたはRとRhの差）やシナリオ間の差（下図の各パネル内での6本のRmまたはRhの差）は比較的小さく、ダメージ推計の違い（下図の上・下段のパネル間で対応するRmとRhの差）が相対的に大きい。
- 移行リスク（※下図におけるハッチング部分、Current Policiesとの差で計算）
  - 内部化あり・なしで比較的大きな差が生じる（下図の各パネル内でのRとRmまたはRとRhの差）。（NDCsはSCCがゼロだが（次スライド）その他の仕様の違いで若干の差が生じると見られる）

ダメージ内部化モデル（中位Rm/高位Rh）・非内部化モデル（R）のGDP損失比較（世界全体）\*1



日本も同様の傾向。  
変化の大きさは世界より2割程度小さい。

\*1 物理的（慢性）リスクと移行リスクのインパクトをダメージ中位・高位推計（上段・下段）での2030・2050年断面（左列・右列）で比較

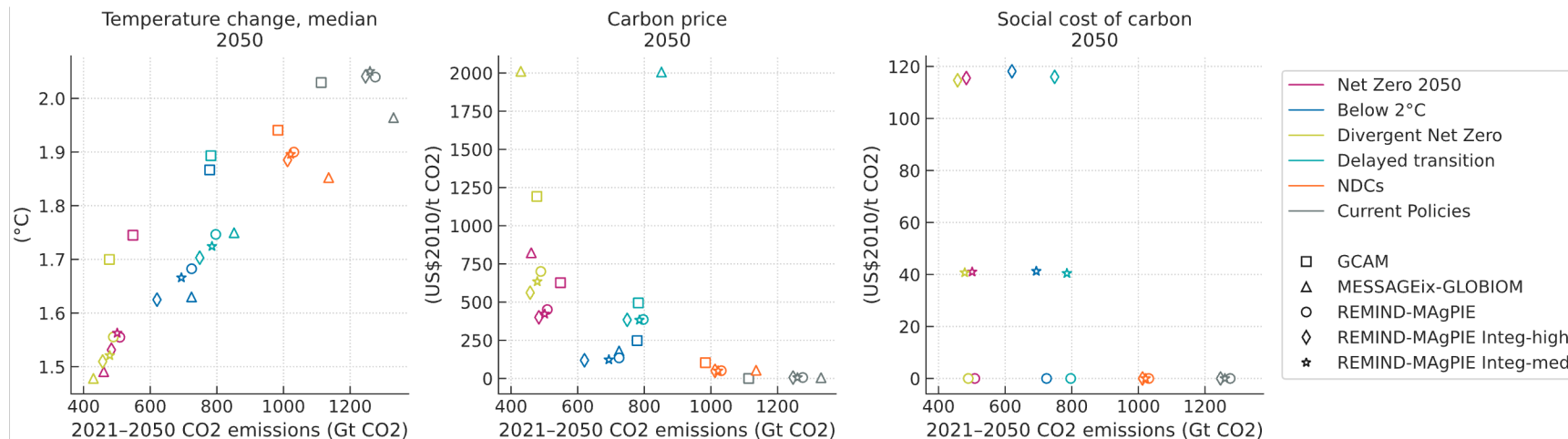
# 温暖化水準、炭素価格、SCCのシナリオ・モデル間比較

- 温暖化水準は累積CO<sub>2</sub>排出量と直線的な関係にある（下図：左）。

基準時点（ここでは2021年）以降の温度目標と整合する累積CO<sub>2</sub>排出量は「残余カーボンバジェット」と呼ばれる。IPCC第6次評価報告書では、残余カーボンバジェットは約500 GtCO<sub>2</sub>（1.5°C）・1350 GtCO<sub>2</sub>（2°C未満）と評価された。図中のIAM間の差は、非CO<sub>2</sub>要因の緩和度（横軸方向）とオーバーシュートの許容度（縦軸方向）によると見られる。

- 累積CO<sub>2</sub>排出量は気候政策の厳しさの目安でもあり、炭素価格は2021年以降の累積CO<sub>2</sub>排出量を抑制するシナリオほど上昇する（下図：中）。
- SCCは所与の年の単位量排出による一定期間先までの将来被害を推計したもので、シナリオに依存する。ただしREMINDの実装では、中位・高位の2通りのモデルで、温暖化進行シナリオ（Hot house world）でゼロ、そのほかのシナリオで同程度の値とする仕様になっている（下図：右）。

## 2050年の温暖化水準中央値（左）、炭素価格（中）、SCC（右）と2021–50年の累積CO<sub>2</sub>排出量の関係





## 3. 物理的リスクに関する方法論と主要変数の特徴整理

3.1 NGFSシナリオにおける温暖化水準と物理的リスクに関する方法論の概要

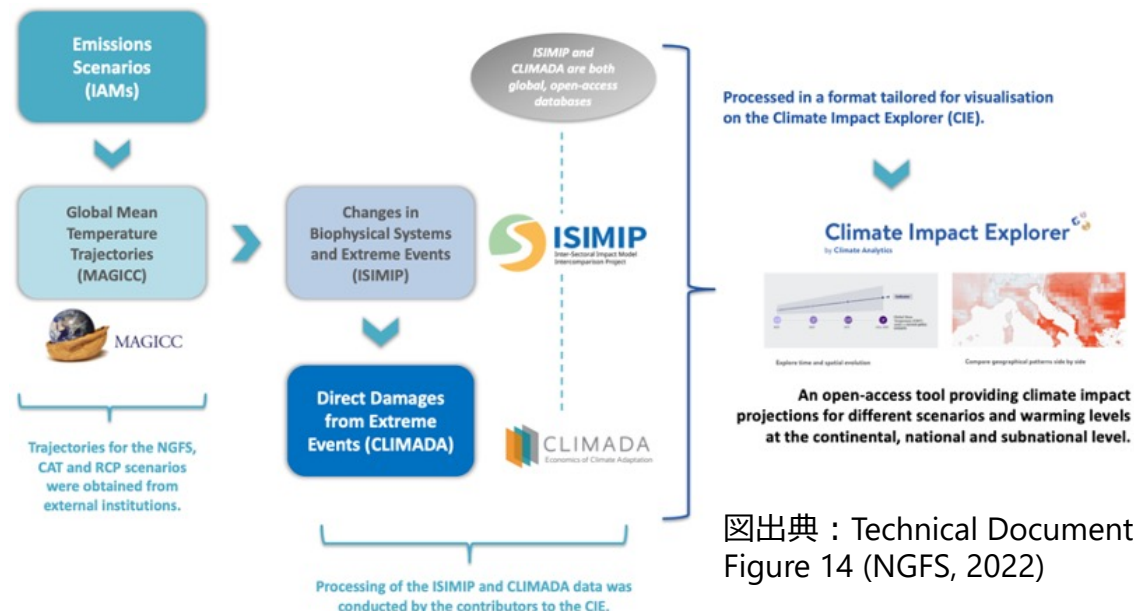
3.2 マクロ経済的ダメージ関数に基づく損失の定量化

3.3 移行リスクモデルへのダメージ関数の内部化

▶ 3.4 気候・影響モデルデータに基づく物理的リスクの評価

# 気象・影響モデルデータによる方法

- NGFSシナリオ第三版では、IAMの移行シナリオと既存データ（ISIMIP & CLIMADAデータベース）を対応づけることによって、各種の物理的な指標を整理している。これらのデータは、Climate Analytics（気候変動を専門とするドイツ・ベルリン拠点の非営利組織）開発のClimate Impact Explorerで閲覧することができる（次頁）。
- 具体的には、以下の手順によってIAMと既存データが対応づけられる。
  1. ISIMIPに登録された物理的指標データを地点別に0.1°C間隔の温暖化水準で区分する。  
（0.1°Cの刻み幅で複数モデル・シナリオの時系列断片が収集される。ISIMIPデータに基づき極端事象によるダメージを評価したCLIMADAのデータ（次頁表の30-32）も同様に区分される）
  2. 0.1°C間隔の区分集合を統計処理し、温暖化水準を基準に移行リスクシナリオと対応付ける。  
（この際に、MAGICCで計算される温暖化水準の不確実性と、物理指標の区分集合に反映されるISIMIPの気候・影響モデルの不確実性の両方が反映される）



ISIMIPはドイツ・ポツダム気候影響研究所（PIK、REMIND-MAGPIE開発機関）が主導する気候影響分野のモデル比較研究で、少数の代表的なシナリオの下で計算された複数の気候・影響予測モデルの結果を提供。

CLIMADAはスイス連邦工科大学チューリッヒ校（ETHZ）の災害リスクモデリングの枠組みで、ISIMIPデータを基に極端事象による経済損失の情報を提供。

複数シナリオ・モデルの気候予測データを温暖化水準で切り分ける方法は、IPCC第1作業部会の第6次評価報告書で全面的に採用。

図出典：Technical Document, Figure 14 (NGFS, 2022)

# Climate Impact Explorerによる物理的リスクデータの取得と可視化

- Climate Impact Explorerのウェブサイトでは、国・指標・シナリオ・時間平均を選択し、以下のデータの時系列と空間マップを取得できる。
- シナリオはNet Zero 2050、Delayed Transition、Current Policies、時間単位は年・四季。時系列データについては、国内の地方（日本では都道府県単位）で、加重平均の方法（面積・人口・GDP）を指定できる。空間マップは、1.5, 2.0, 2.5, 3.0°Cの温暖化水準にスケーリングされている。

## Climate Impact Explorerで取得できる指標の一覧

変数	指標（英語）	指標（日本語）	
1	tasAdjust	Mean air temperature	平均気温
2	tamaxAdjust	Daily maximum air temperature	日最高気温
3	tasminAdjust	Daily minimum air temperature	日最低気温
4	hursAdjust	Relative humidity	相対湿度
5	hussAdjust	Specific humidity	比湿
6	prAdjust	Precipitation	降水量
7	prsnAdjust	Snowfall	降雪量
8	psAdjust	Atmospheric pressure (surface)	地表気圧
9	pslAdjust	Atmospheric pressure (adjusted to sea-level)	海面気圧
10	rldsAdjust	Downwelling longwave radiation	下向き長波放射
11	sfcWindAdjust	Wind speed	風速
12	qs	Surface runoff	流出量
13	dis	River discharge	河川流量
14	maxdis	Maximum of daily river discharge	最大日河川流量
15	mindis	Minimum of daily river discharge	最小日河川流量
16	soilmoist	Soil moisture	土壌水分
17	yield_maize_co2	Annual mean maize yield	年間平均とうもろこし収量
18	yield_rice_co2	Annual mean rice yield	年平均米収量

変数	指標（英語）	指標（日本語）	
19	yield_soy_co2	Annual mean soy yield	年平均大豆収量
20	yield_wheat_co2	Annual mean wheat yield	年平均小麦収量
21	fldfrc	Land fraction annually exposed to river floods	年河川洪水影響地率
22	flddph	Annual maximum river flood depth	年最大河川洪水深
23	lec	Land fraction annually exposed to crop failures	年穀物不作影響地率
24	pec	Fraction of population annually exposed to crop failures	年穀物不作影響人口率
25	lew	Land fraction annually exposed to wildfires	年森林火災影響地率
26	pew	Fraction of population annually exposed to wildfires	年森林火災影響人口率
27	leh	Land fraction annually exposed to heatwaves	年熱波影響地率
28	peh	Fraction of population annually exposed to heatwaves	年熱波影響人口率
29	ec1	Labour productivity due to heat stress	熱波起因労働生産性
30	ec2	Annual expected damage from river floods	年河川洪水起因損失
31	ec3	Annual expected damage from tropical cyclones	年熱帯低気圧起因損失
32	ec4	1-in-100-year expected damage from tropical cyclones	100年に1回の熱帯低気圧起因損失

# 我が国の気候予測データセットとの比較

- NGFSシナリオは、一貫性のあるデータセットを世界全体を対象に整備・提供することにより、**国・地域単位のリスク評価を補完**することを意図している。そのため、急性リスクの評価にあたっては、NGFSシナリオだけでなく国・地域単位のデータセットを活用することが重要である。
- この目的において我が国では、2022年12月に文部科学省・気象庁によって公表された「気候予測データセット2022」（以下、DS2022）が活用できると考えられる。ここでは、DS2022を構成する15データのうち「②日本域気候予測データ」（以下、DS2022②）を参照し、Climate Impact Explorer（以下、CIE）から提供されるデータと特徴を比較する。

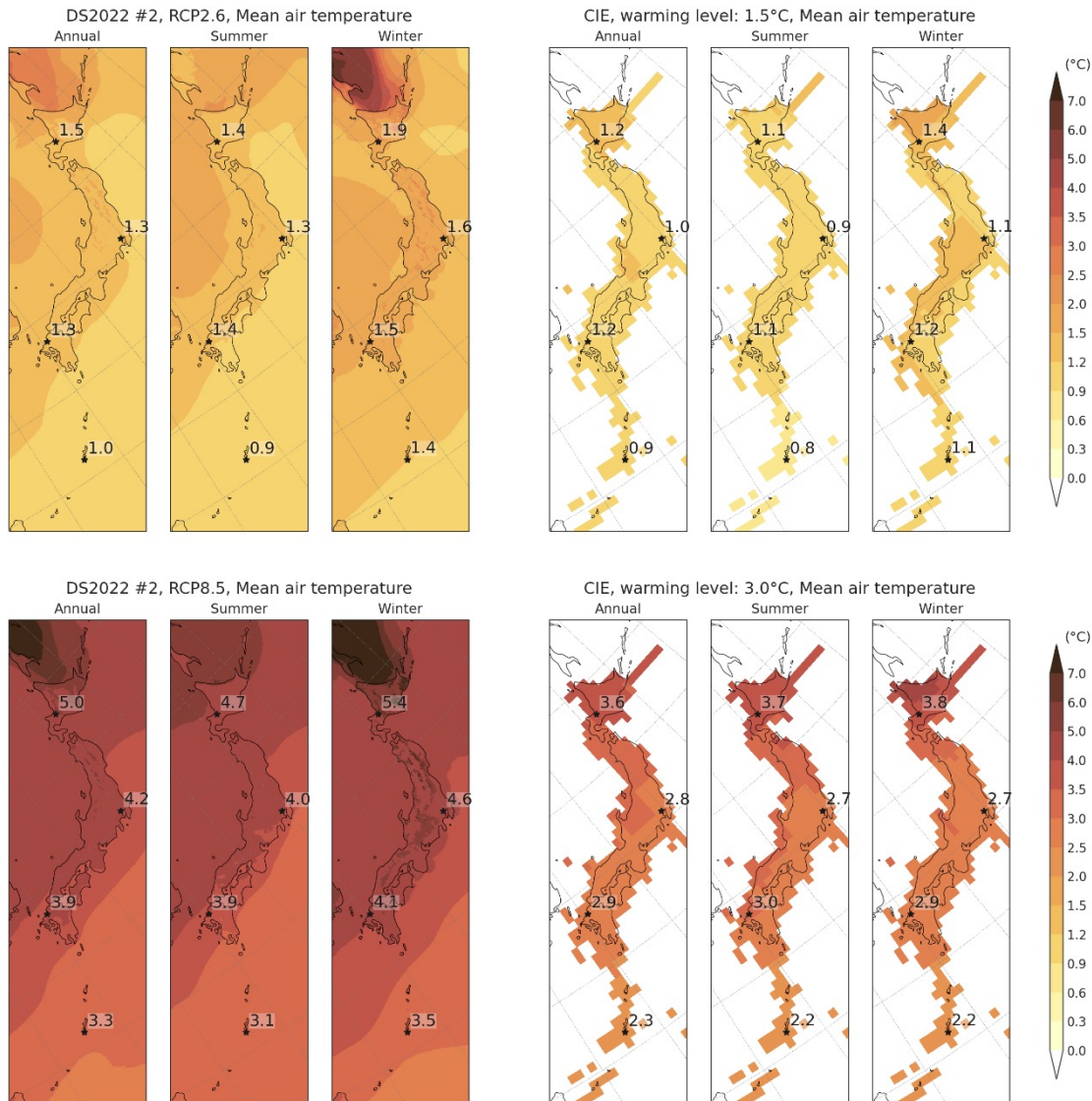
大気予測（力学的ダウンスケーリング）	
No.	データセット名
①	全球及び日本域気候予測データ
②	日本域気候予測データ
③	マルチシナリオ・マルチ物理予測データ
④	全球及び日本域 150 年連続実験データ
⑤	全球及び日本域確率的気候予測データ（d4PDF シリーズ）
⑥	北海道域 d4PDF ダウンスケーリングデータ
⑦	本州域 d4PDF ダウンスケーリングデータ
⑧	日本域台風予測データ
⑨	全球 d4PDF 台風トラックデータ
⑩	日本域 d4PDF 低気圧データ
大気予測（統計的ダウンスケーリング）	
⑪	日本域農研機構データ（NARO2017）
⑫	日本域 CMIP5 データ（NIES2019）
⑬	日本域 CMIP6 データ（NIES2020）
海洋予測（力学的ダウンスケーリング）	
⑭	日本域海洋予測データ
⑮	全球及び日本域波浪予測データ

出典：「気候予測データセット2022解説書」表1

## 日本域気候予測データ（DS2022②）の特徴

- 地方・都道府県別の予測情報として各都道府県気象台ページ等で公開され、地域気候変動適応計画の策定で参照されつつある。データの一部は、「地球温暖化予測情報第9巻」（気象庁、2017年）や「日本の気候変動2020」（文部科学省・気象庁、2020年）で参照された。
- 水平解像度の違いで5 km版（本セクションではこちらを参照する）と2 km版があり、それぞれに格子点データと観測地点データが含まれる。格子点データは、平均気温、最高気温、最低気温、降水量、積雪深、降雪量の各要素の日・月・季節・年別値、観測地点データは、気温・降水階級（日最高気温35°C以上、日降水100 mm以上など）の日数や回数の月・季節・年別値で構成される。
- 気象庁気象研究所が開発した気候モデルを利用して、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム（RCP8.5 シナリオ）及び統合的気候モデル高度化研究プログラム（RCP2.6シナリオ）において計算されたデータを元に作成されたものである。

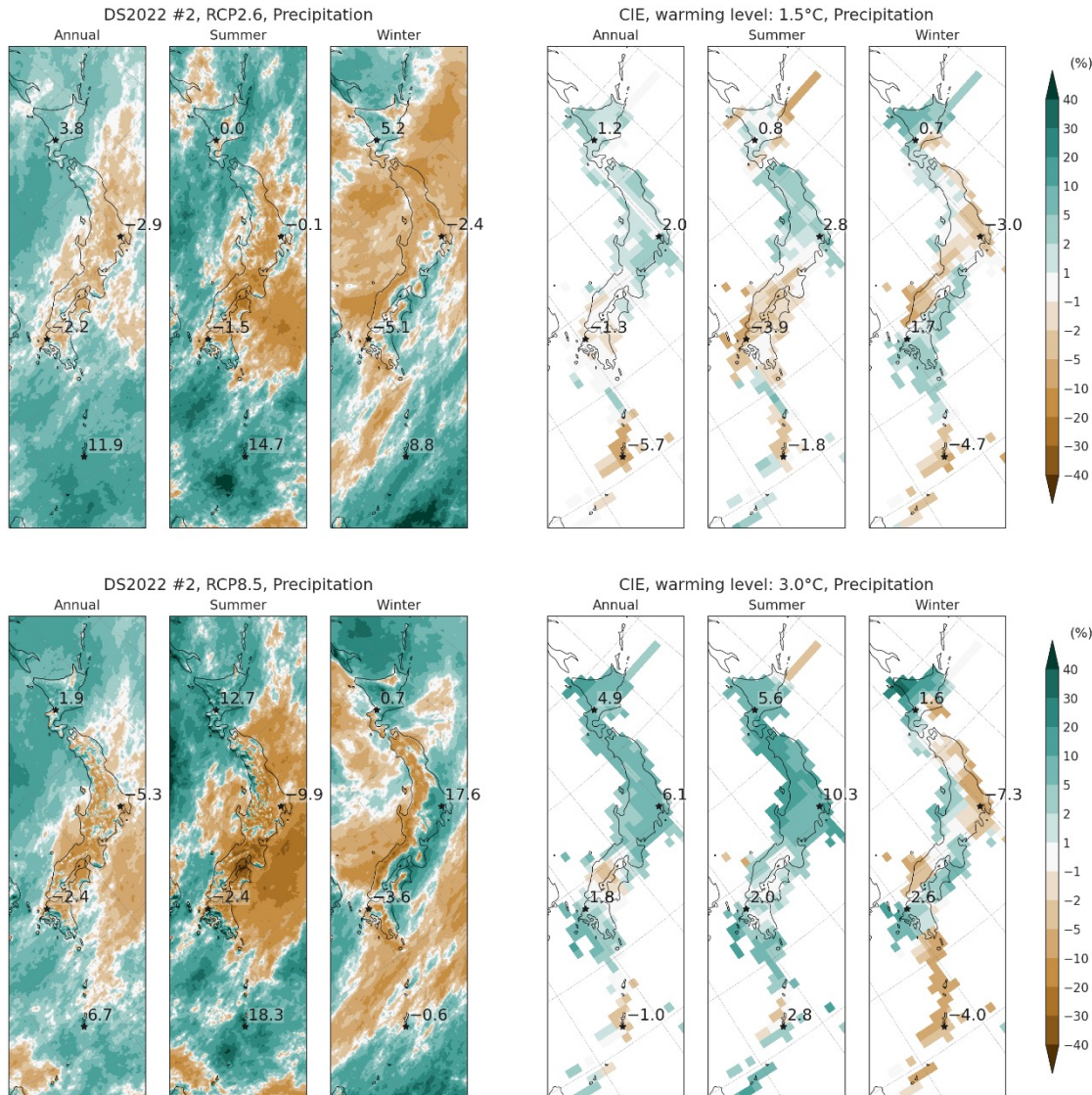
# DS2022②とCIEの空間マップ：平均気温（年間・夏季・冬季）の変化



- DS2022②、20世紀末（1980–99年）と21世紀末（2076–95年）の各20年間の気候計算結果。21世紀末はRCP2.6（2°C未満水準）とRCP8.5（4°C水準）の2つのシナリオで、温暖化パターン（空間分布）が異なる4メンバーがある。図（左側3列）では、各期20年平均の差をメンバー平均した結果を日本付近に焦点を当てて示す。
- CIEのデータは1986–2006年基準の変化が緯度・経度0.5度間隔の陸域で提供される。図（右側3列）では、DS2022②の両シナリオに比較的近いものとして、温暖化水準が1.5°Cと3°Cの場合を示す。
- CIEでは、所定の温暖化水準での表示のほか、異なる温暖化水準、時点（2030・2050・2100年の3点）、シナリオ（NGFSの3本のほかにRCP2.6やRCP8.5を含む5本）での比較にも対応する。ただし、DS2022②の温暖化水準は名目的なもので、時点間の比較も限定的であるため、両データは定量的に比較できるものではない。
- 南北間の温度勾配など、定性的な分布の特徴は両データで類似する。DS2022②の冬季オホーツク海の大きな変化は、海氷の減少に起因すると見られる。

図中のマークと数値は、札幌、東京、福岡、那覇の気象観測地点とその最近隣の格子点値

# DS2022 #2とCIEの空間マップ：降水量（年間・夏季・冬季）の変化

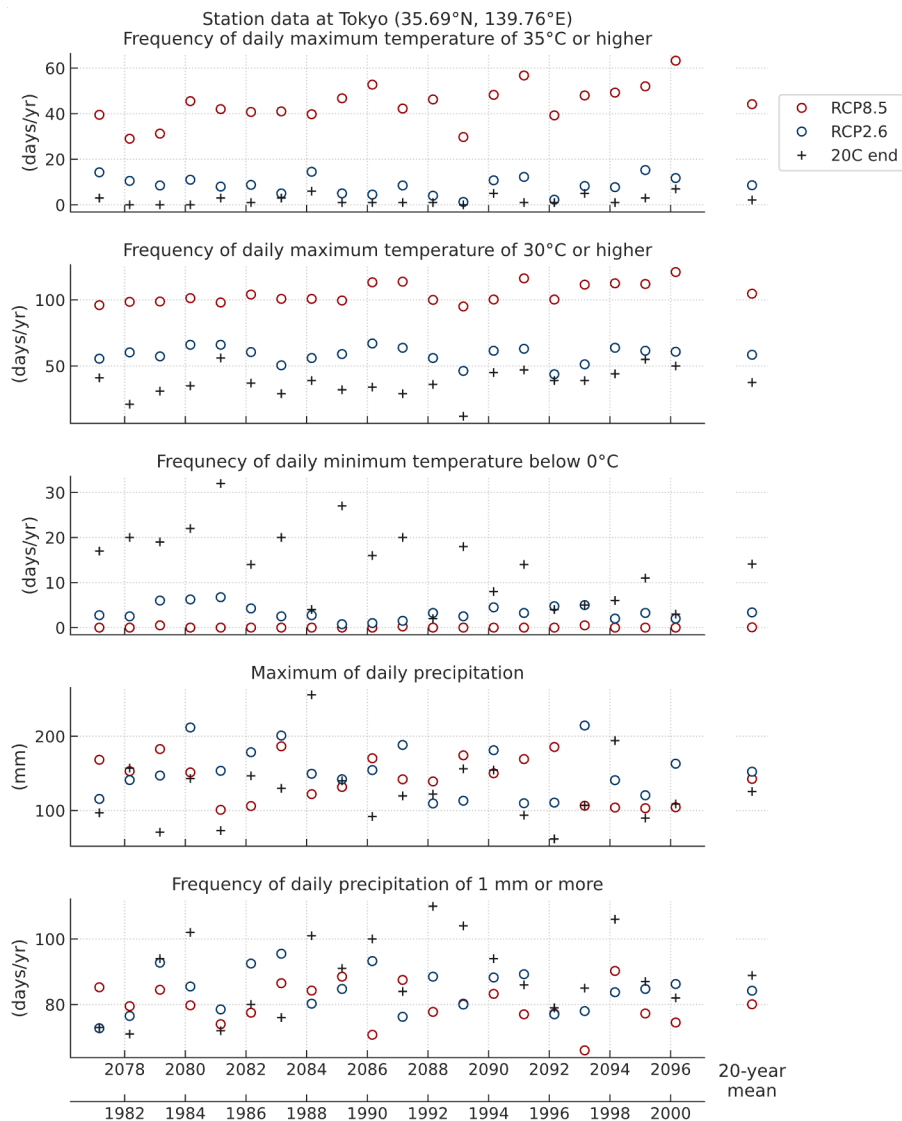
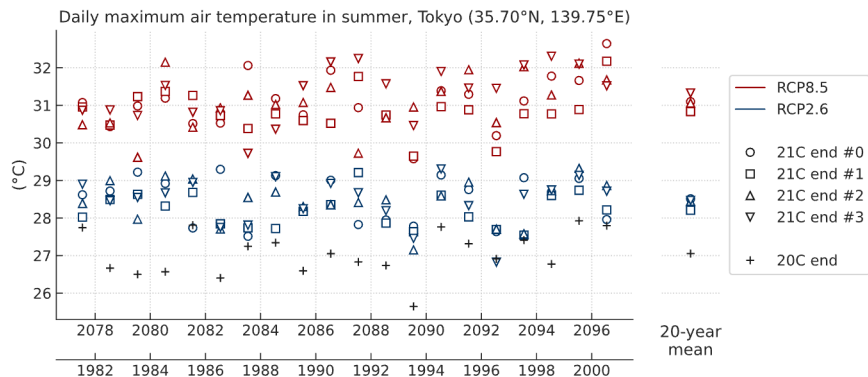


- DS2022②のデータ処理とCIEデータの選定は前ページの平均気温と同様。
- 降水量は、高気圧・低気圧パターンの変化や地形の効果で複雑な分布となる。台風や梅雨前線を気候モデルで表現するにはある程度の空間分解能が必要であり、CIEの元になった気候モデルの分解能は不十分と見られる。
- DS2022②では九州から本州にかけて降水量が減少するところが多く、冬季の分布には地形効果（太平洋側と日本海側の違いなど）が見られる。CIEはこの傾向と部分的に類似するが、地形効果の分解能は不十分。北海道は降水量が増えるところが多く、この傾向は両データで類似する。

ここで示した気温・降水量の平年値（20年程度の時間平均）の変化やそこから派生する要素に関心がある場合、CIEの相対的に粗い分解能は、気温についてはさほど問題ではない（前頁）が、降水量については不足する。

図中のマークと数値は、札幌、東京、福岡、那覇の気象観測地点とその最近隣の格子点値

# DS2022②の格子点・観測地点データの例

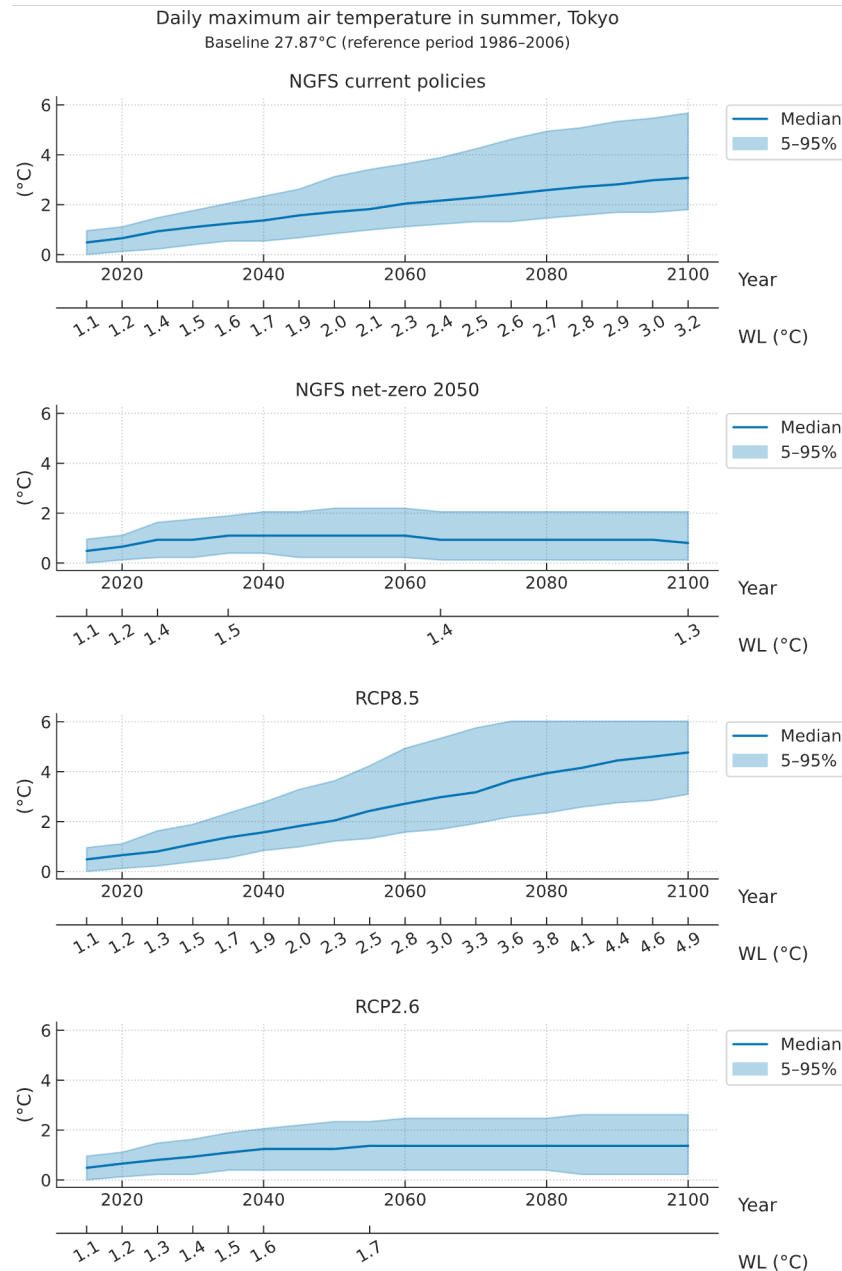


- DS2022②では、緯度・経度5 km間隔（5 km版の場合）のモデル格子点データと、それを基にモデル特有の系統誤差を補正して気象庁アメダス観測地点に対応する格子点で導出した極値のデータ（将来シナリオは4メンバー平均）が提供される。例として、東京に対応する格子点データと観測地点データから、夏季日最高気温（上図）と各種統計量（右図：猛暑日、真夏日、真冬日、最大日降水量、日降水量1 mm以上の日数または値）の時系列と20年平均を示す。
- 気温はシナリオ間の差が明瞭だが、年々の変動やメンバー間の差（主に自然変動による）もある。降水量は自然変動が卓越するが、温暖化による強雨事象の強度増（最大日降水量の増加、ただしRCP2.6とRCP8.5の違いは微妙）や、無降水日数の増加（日降水量1 mm以上の日数の減少）といった極端化の傾向が見られる。

# CIEの地点データの例

- CIEでは、各種指標の時系列が国別および国内の地域別（日本の場合は都道府県別）に提供される。各種指標の値は温暖化水準で一意に定まると仮定される。排出シナリオや時間履歴が異なる場合でも、温暖化水準が同じであれば同じ値になる。例として、東京の夏季日最高気温について、4通りのシナリオの場合を示す（各シナリオの温暖化水準を横軸に併記）。
- 温暖化水準はCO<sub>2</sub>等の排出量からMAGICCで計算され、各種指標は複数の気候・影響評価モデルで計算されたデータから評価される（図横軸のWLが温暖化水準を示す）。
- 時系列は、中央値に加えて5・95パーセンタイル値が提供される。5-95%幅（図中の青色陰影部）には、温暖化水準の不確実性（気候感度などによる）と、各種指標を評価する方法の不確実性（複数の気候・影響モデルのばらつき）の両方が反映されている。自然変動\*1は元の気候モデルデータの処理過程で平滑化されている。

\*1 日々の天気の変り変わりより長い時間規模での人為的な要因によらない気候の揺らぎ。





## DS2022②（日本）とCIE（世界）の比較

- 我が国で利用できる日本域気候予測データ（DS2022②）は、日本を対象に特に品質に注意して開発されたデータセットであり、解像度も極めて高い。その一方で、NGFSシナリオを含むClimate Impact Explorer（CIE）から提供されるデータセットは、空間解像度が低く、各地点のデータに地形などの影響が反映されていない。
- その一方で、日本域気候予測データ（DS2022②）は、現状では、特定のNGFSシナリオ（温暖化水準）と関連付けた評価はできず、温暖化水準の不確実性を考慮することもできない。両データセットの整合性を向上させるための取り組みが望まれる。

	日本域気候予測データ（DS2022②）	Climate Impact Explorer（CIE）
元になる気候モデル	日本域の品質に特に注意して開発された大気モデル	世界一律の仕様（グローバル大気・海洋モデル）
水平解像度	5 km（2 km版あり）	緯度・経度0.5°（約50 km）
ユーザインターフェイス	なし。基本的に専門家向け	あり。ウェブブラウザでの閲覧・ダウンロードとAPIを使うプログラミングに対応
移行リスクシナリオとの対応	特定のシナリオでの21世紀末の20年間。任意のシナリオとの関連づけは不可	温暖化水準を介して任意のシナリオの時系列に沿って関連づける方法を採用
不確実性の考慮	温暖化の空間分布パターンの差異を考慮。単一モデルに依存するため、温暖化水準の不確実性は対象外	温暖化水準の不確実性と複数の気候・影響モデルの不確実性を考慮

## 急性リスクによるマクロ経済への影響の推定方法

- NGFSシナリオ第三版では、試行的に一部の要因（熱帯低気圧と河川洪水）に限って、以下の手順により、急性リスクによるマクロ経済への影響の推定が行われている。
  1. 災害データベースEM-DATから過去インパクトの頻度・強度を計算
  2. 過去インパクトを基に供給・需要ショックを調整
  3. CLIMADAデータから将来の割増率を算出して供給・需要ショックを確率的にサンプリング
  4. 3の結果からGDPダメージを世界全体で集計

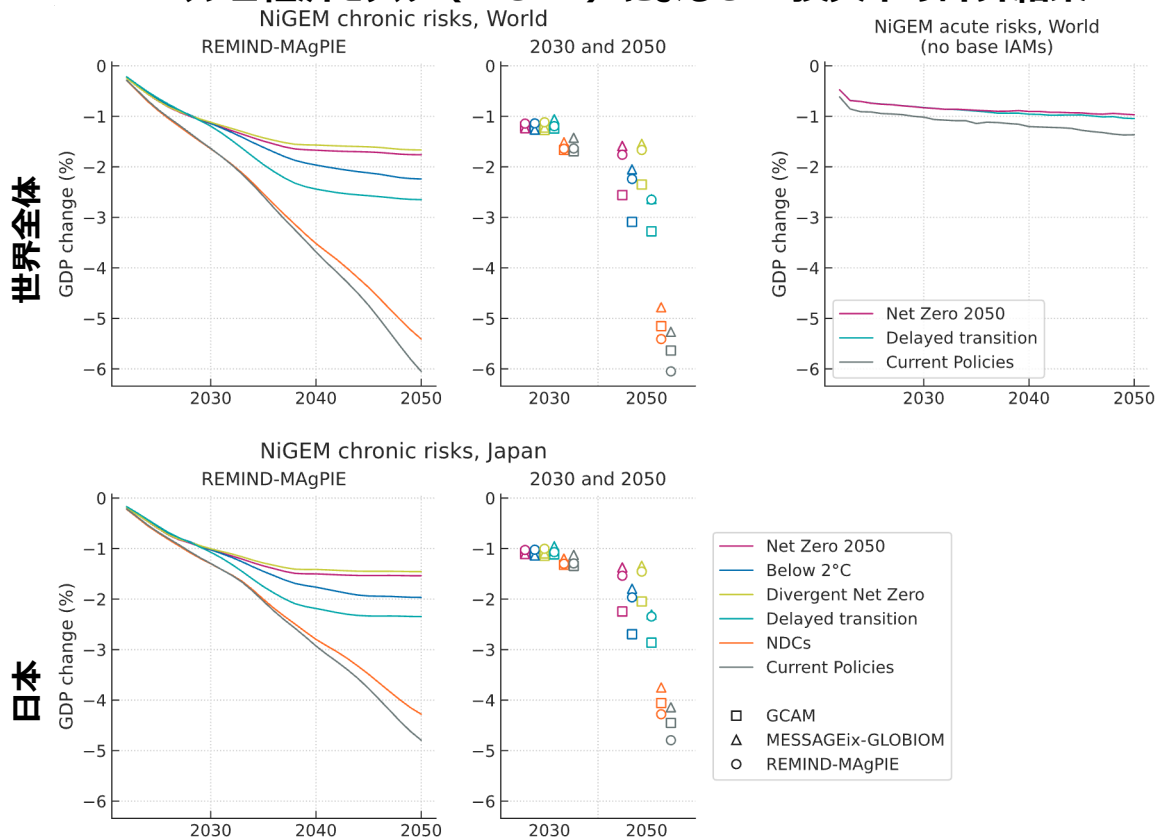
EM-DAT (<https://www.emdat.be/>) は、ベルギー・ルーベンカトリック大学の災害疫学研究センターが管理する、1900年以降の自然災害と技術災害に関する世界的なデータベース。手順1では気象関係の極端事象が参照される。

CLIMADAはETHZ（スイス連邦工科大学チューリッヒ校）の災害リスクモデリング・フレームワーク（次ページ参照）。手順3の割増率は熱帯低気圧と河川洪水（P.65、表30-32）に焦点を当てて算出される。

# (参考) マクロ経済モデル (NiGEM) でのGDP損失率

- マクロ経済モデル (NiGEM) の物理的リスクは主に慢性リスクを扱っており、NGFSで採用されたダメージ関数を模擬するように設計されている。急性リスクは部分的に扱われる (前頁)。
- NGFS第三版の中位・高位のダメージ推計のうち、温暖化進行シナリオ (Hot house world) では高位推計、移行シナリオ (Orderly & Disorderly) では中位推計が参照されるため、両シナリオ間でのGDP損失率の差が大きくなる\*1。

## マクロ経済モデル (NiGEM) によるGDP損失率の計算結果



\*1 NGFS(2022a)によれば、温暖化進行シナリオでは、温度上昇によるテールリスクの影響をとらえるために高位推計 (95%値) を採用しているとのことである。

## 4. マクロ経済モデル（NiGEM）と統合評価モデルとの接続に関する情報整理と主要変数の特徴整理

▶ 4.1 マクロ経済影響に関する既往知見

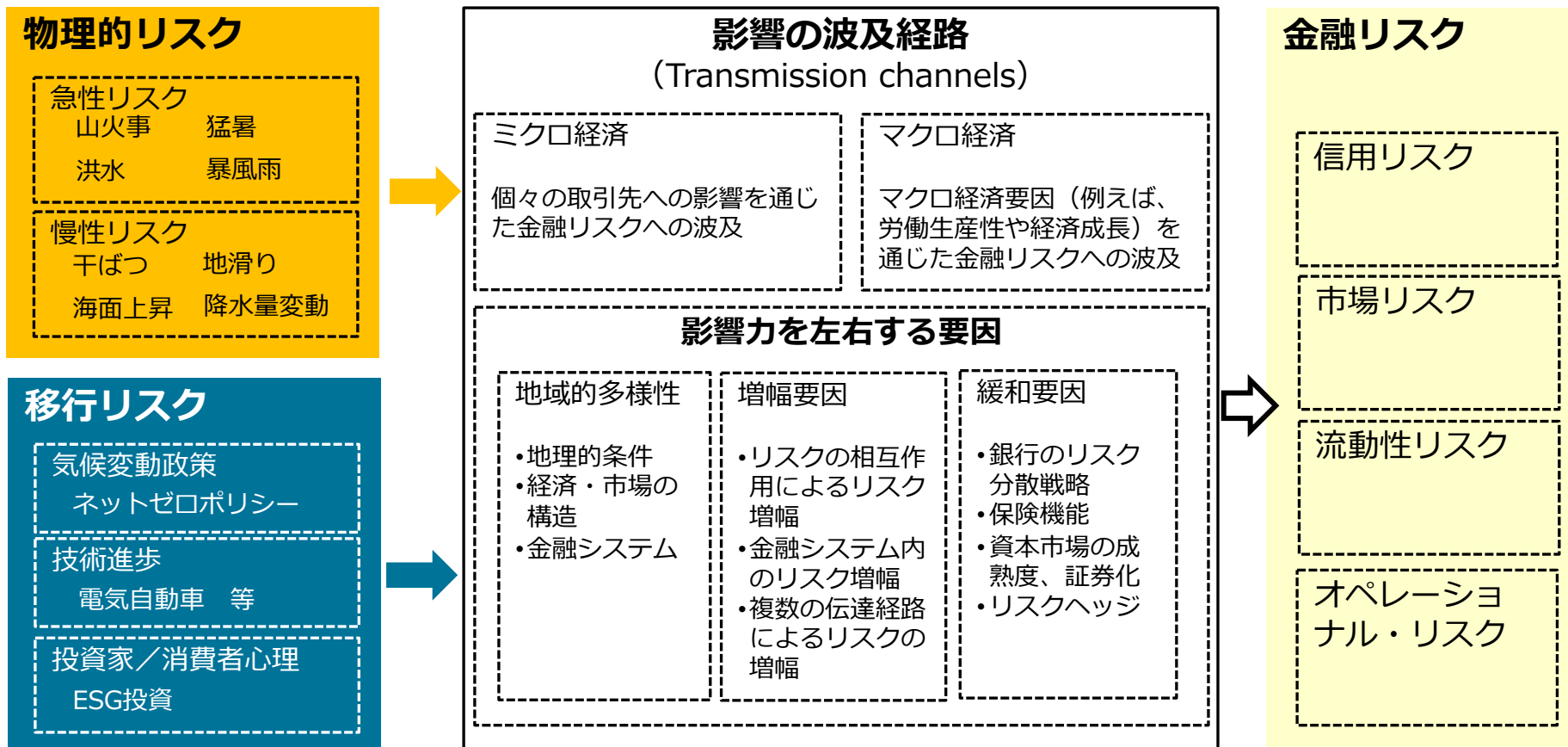
4.2 統合評価モデルや物理的リスクモデルとマクロ経済モデルの接続

4.3 主要なマクロ経済変数の特徴

# 気候関連リスクが金融リスクとして顕在化するメカニズム

- 気候変動による物理的リスクや移行リスクは、様々な影響の波及経路（transmission channels）を通じて、金融機関及び金融システムのリスクとして顕在化する。これらの因果関係は複雑かつ多様であり、かつ、地理的多様性や業種、経済システム、金融システムの状態によっても影響力は左右される。

気候関連の金融リスクと影響の波及経路\*1



\*1 BCBS(2021)を参考に作成。

# 気候関連の金融リスク分析において対象とされる範囲と分析の限界

- 気候変動リスクが金融機関や金融システムに波及する経路は多様であるが、気候関連の金融リスク領域の多くは知見が少ない。
- 一般的なモデル分析では、特定の気候リスク要因が個別の部門や市場に与える影響や、マクロ経済全体に対するトップダウン的な評価が扱われている。モデルによる気候関連の金融リスク分析は、現状では部分的な分析にとどまっており、多くの領域はさらなる分析が必要とされる。

## 気候関連の金融リスクにおけるモデル分析の対象範囲と課題\*1

	一般的なモデル分析で扱われる要因	さらなる分析が必要な領域の例
信用リスク	物理的リスク・移行リスク両ドライバーによる、国レベルの変数や集計値への影響	企業・家計・国家の個別の資産価値の低下やキャッシュフローの悪化による信用力低下
市場リスク	(限定的)	金融資産価値の低下および価格変動の不安定化、資産間の価値の相関関係の変化によるリスクヘッジ効果の低下
流動性リスク	物理的リスクによる経済影響を通じた市場全体での流動性への影響	銀行の与信能力への影響、取引先による預金引き出し・クレジットラインの引き下げ、担保としての資産価値低下
オペレーショナル・リスク	(既存の研究では) 重大なリスクにつながる可能性は小さいと評価されている	影響が連鎖的に波及する中での運用損失、気候変動に配慮した投資や事業に関する法的／規制的なコンプライアンス・リスクの増加

\*1 BCBS(2021)を参考に作成。

# 気候関連リスクの影響力を変化させる要因

- 気候関連リスク要因が金融システム全体に及ぼす影響は、複数の要因間の相互作用、地域、影響力の増幅や緩和策によっても変化すると考えているが、現時点ではこれらは分析モデルに含まれていない。個別の事例を元にした知見の整理とともに、総合的な影響の検証が必要となる。

## 気候関連リスクの影響力を変化させる要因の例\*1

さらなる分析が必要な領域の例	
地域的多様性	気候変動影響の地域的多様性、経済構造や市場構造、金融システムの頑健性、資本システムの成熟度などによる総合的な影響度の差
増幅要因	リスクドライバーの相互作用、取引先の信用度の低下による銀行融資の担保強化、保険料金の見直し、撤退
緩和要因	気候リスクの高い金融資産の圧縮、保険加入の制度化（義務化）による物理リスクの軽減、脆弱なセクター／地域に対するローンの証券化によるリスク分散、気候関連デリバティブ商品の開発

\*1 BCBS(2021)を参考に作成。

## 4. マクロ経済モデル（NiGEM）と統合評価モデルとの接続に関する情報整理と主要変数の特徴整理

4.1 マクロ経済影響に関する既往知見

▶ 4.2 統合評価モデルや物理的リスクモデルとマクロ経済モデルの接続

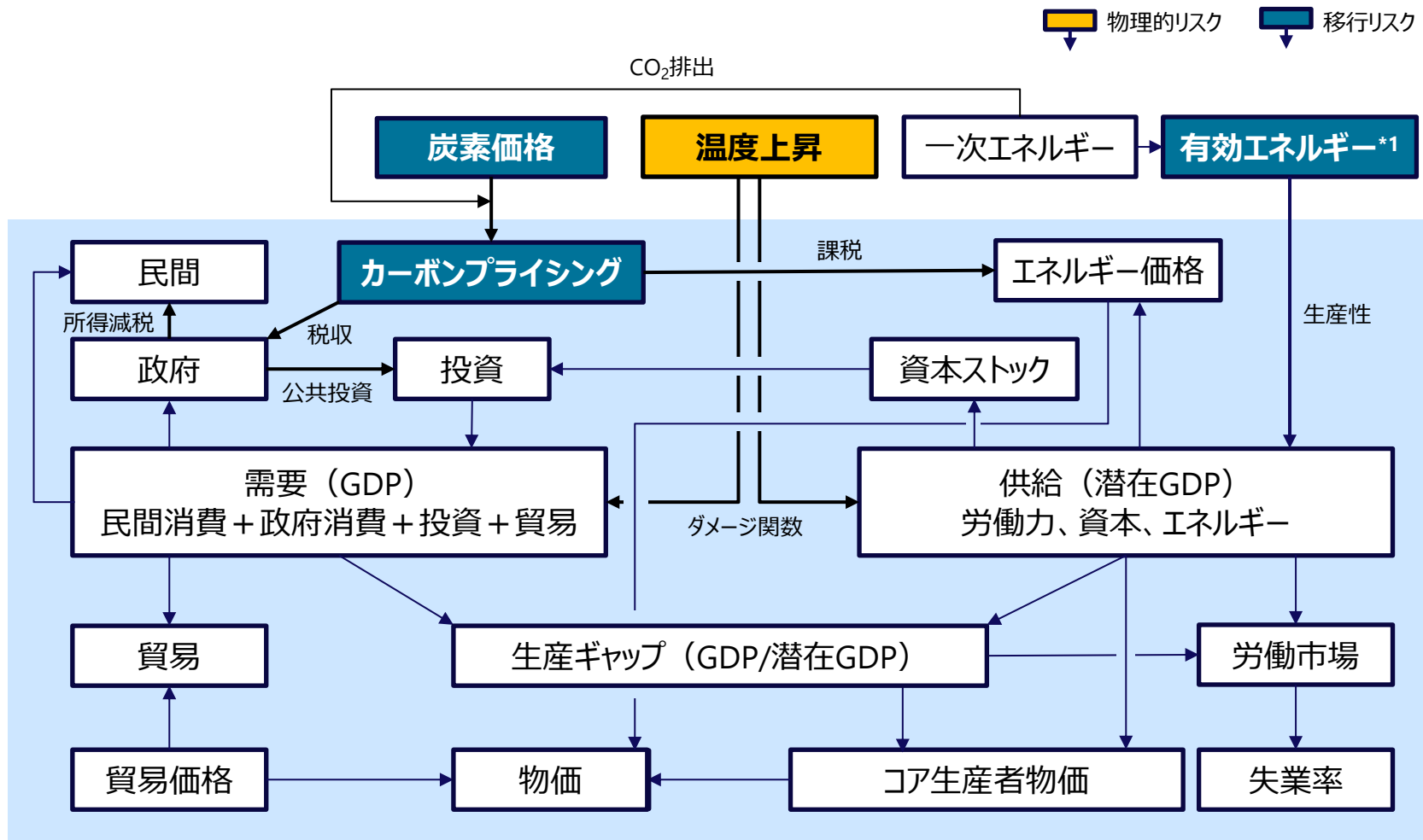
4.3 主要なマクロ経済変数の特徴



# マクロ経済モデル (NiGEM) の構造とIAMとの接続

- シナリオ第三版では、気候変動によるマクロ経済的な影響は、現行政策シナリオ (Current Policies) に整合するように調整されたベースラインに対して、IAMからの外生的な「ショック」を与えることによって評価される。

IAMからの外生ショック  
NiGEMの内部における主要変数の関係  
(典型的な国別モデルの構造)



NiGEM (2020), NGFS (2022a) を参考に作成

\*1 有効エネルギー (useful energy) とは、エネルギーサービス (エネルギーの最終需要) のレベルに関連づけられるエネルギー量であり、NGFSシナリオ第三版では、国別にダウンスケールされた最終エネルギーに燃料・部門別の変換係数を掛けて算出される (NGFS 2022a)。

# マクロ経済評価の前提条件

- マクロ経済モデル（NiGEM）へ外生的に与えるショックの水準やモデル内部の設定といった前提条件は、シナリオによって異なっている。
  - 移行リスク：モデル内部でカーボンプライシング税収の取扱いが異なる。
  - 物理的リスク：慢性的な物理的リスクの影響を評価するための温度上昇は、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では中位推計（中央値）を採用しているのに対し、温暖化進行シナリオ（Hot house world）では高位推計（95%値）を採用している\*1。

## シナリオによるマクロ経済影響評価の前提条件

カテゴリ	シナリオ	カーボン プライシング	カーボンプライシング 税収の取扱い	温度上昇 (物理的リスク)	企業マインド への影響*2
Orderly (秩序的移行)	<b>Net Zero 2050 (2050年ネットゼロ)</b>	グローバル	公共投資拡大の財源 + 政府債務削減	中位推計 (中央値)	なし
	<b>Below 2°C (2°C抑制)</b>	グローバル	公共投資拡大の財源 + 政府債務削減	中位推計 (中央値)	なし
Disorderly (非秩序的移行)	<b>Divergent Net Zero (分岐型ネットゼロ)</b>	グローバル	所得税減税、 個人消費を後押しする	中位推計 (中央値)	ネガティブな 影響
	<b>Delayed Transition (遅延移行)</b>	グローバル	所得税減税、 個人消費を後押しする	中位推計 (中央値)	ネガティブな 影響
Hot House World (温暖化進行)	<b>Nationally Determined Contributions (NDCs)</b>	一部の国	所得税減税、 個人消費を後押しする	高位推計 (95%値)	なし
	<b>Current Policies (現行政策)</b>	なし	税収なし	高位推計 (95%値)	なし

\*1 NGFS(2022a)は、温暖化進行シナリオでは温度上昇にともなうテールリスクの影響をとらえるために高位推計値を採用したとしている。ダメージ関数による物理的リスクの評価方法については、P.57も参照。

\*2 NGFS (2022a)には、非秩序的移行シナリオ（Disorderly）に「政策：企業マインドにネガティブなショック（Policy: Negative shocks to business confidence）」という記述があるが、具体的な方法論は記載されていない。

## 4. マクロ経済モデル（NiGEM）と統合評価モデルとの接続に関する情報整理と主要変数の特徴整理

4.1 マクロ経済影響に関する既往知見

4.2 統合評価モデルや物理的リスクモデルとマクロ経済モデルの接続

▶ 4.3 主要なマクロ経済変数の特徴

# 主要なマクロ変数と気候リスクの影響

- IAMから与えられる物理的リスク・移行リスクそれぞれの影響のほか、NiGEMモデル内で内生的に解かれる両リスクの複合的影響があり、中長期的には経済にプラス影響も与え得る。

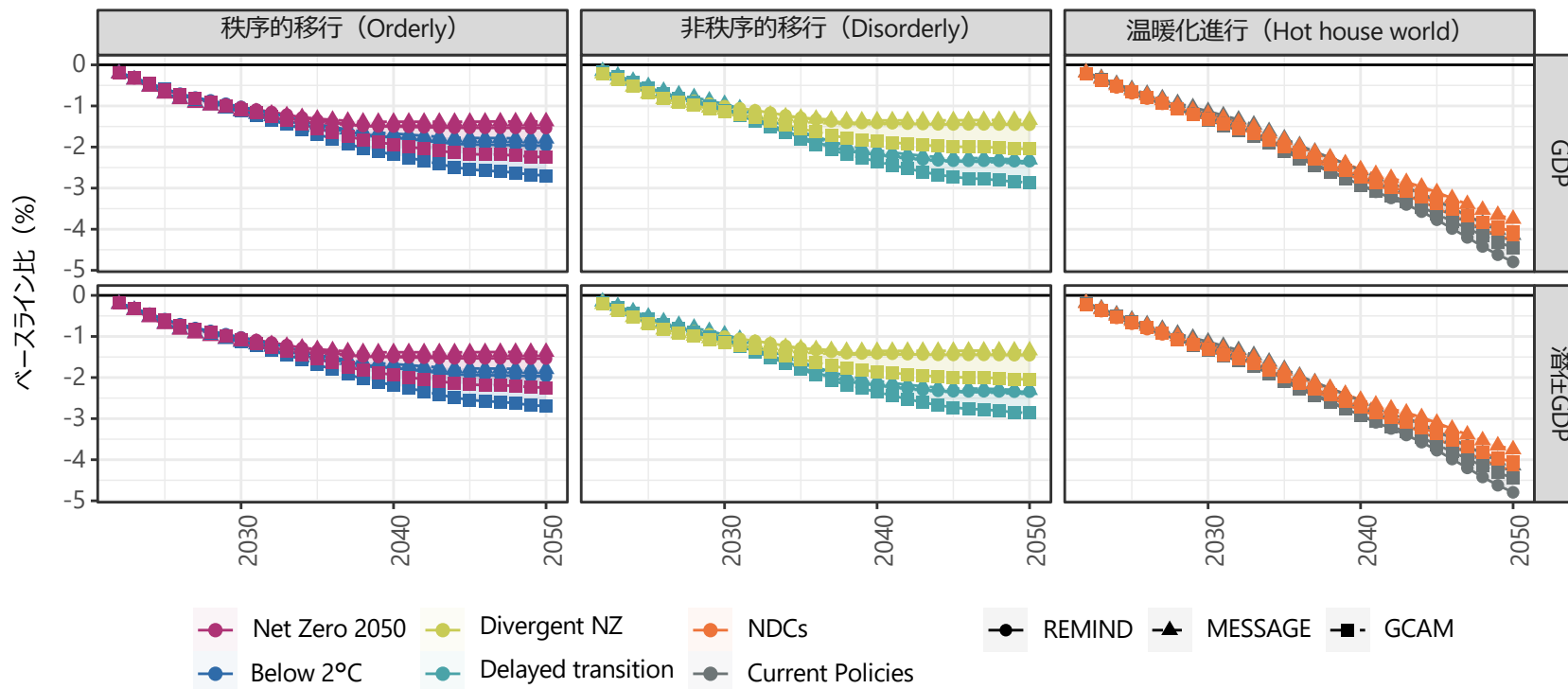
	影響の概要	変数
物理的 リスク 要因	① 温度上昇 温度上昇が経済に与える影響は、需要側（GDP）と供給側（潜在GDP）の両方に対するショックとして、ダメージ関数を用いてモデル化される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生産量（GDP）</li> <li>• 生産能力</li> </ul>
移行 リスク 要因	② カーボン プライシング カーボンプライシングの導入により、国内の最終エネルギー価格が上昇する。  カーボンプライシングの収入は公共投資と債務削減（秩序的移行シナリオ）もしくは所得減税（それ以外のシナリオ）として活用される。収入の活用方法によって、政府・企業・家計の各部門への影響が異なる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 石油価格（国内）</li> <li>• 政府投資／消費</li> <li>• 民間投資／消費</li> <li>• 可処分所得</li> <li>• 生産量（GDP）</li> </ul>
	③ 有効 エネルギー 移行シナリオでは、エネルギー価格の上昇によって生産要素としての投入エネルギーが減少する一方、エネルギーミックスの変化やエネルギー効率の改善によって、中長期的に生産性へのプラスの影響も考えられる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 生産性</li> <li>• 潜在GDP</li> </ul>
複合的 要因 (内生)	④ 貿易 物理的リスクによる需要側へのダメージやカーボンプライシングによって化石燃料の需要がグローバルに抑制されると、国際市場におけるエネルギー価格は低下し、輸入額を押し下げる方向に作用する。逆に、物理的リスクによって供給がタイトになれば、価格は上昇し、輸入額を押し上げる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 石油価格（国際）</li> <li>• 輸入額</li> </ul>
	⑤ 物価 エネルギーコストの上昇は物価を押し上げるが、化石燃料需要の減少や物理的リスクによる需要側へのダメージは逆に物価を押し下げる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• インフレ率</li> </ul>
	⑥ 金利 カーボンプライシングによるエネルギー価格の上昇、国内物価、失業率などに反応して長期金利が変動する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 長期金利</li> </ul>
	⑦ 雇用 供給に対する需要の変化は、労働市場を通じて雇用を変化させる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 失業率</li> </ul>

次頁から①～⑦の順に解説

## GDP／潜在GDPへの影響

- 温度上昇による慢性的な物理的リスクの影響は、需要・供給の双方へのショックとして、ダメージ関数によってモデル化される。GDP（図の上段）および潜在GDP（図の下段）を、それぞれ同程度、低下させることが見て取れる。
- 温暖化進行（Hot house world）シナリオは、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）よりもベースラインからの減少幅が大きい。温暖化水準が高いことに加え、ダメージのGDP損失に、前者は高位推計、後者は中位推計を用いていることが影響している。

GDP（上段）・潜在GDP（下段）に対する物理的リスクの影響（日本・ベースライン\*1比）

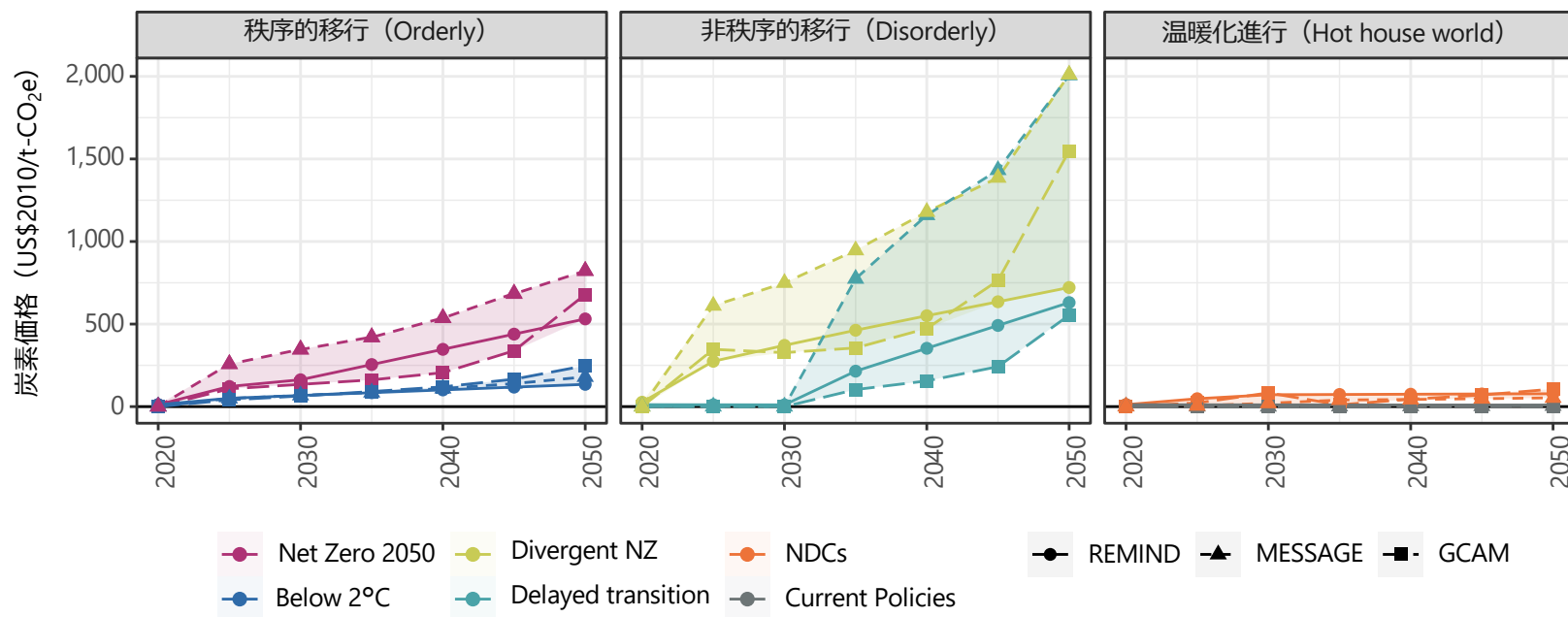


\*1 現行政策シナリオ（Current Policies）の下で物理的リスクの影響がない条件で計算されたベースラインシナリオ（以下、同じ）

## 炭素価格（再掲）

- NiGEMにおける炭素価格はIAMの出力から外生的に与えられる。
- 移行シナリオの中でも非秩序的移行シナリオ（Disorderly）やネットゼロ排出を達成するシナリオ（Net Zero 2050 & Divergent NZ）は、それ以外のシナリオよりも高い水準まで炭素価格が上昇する。さらに、非秩序的移行シナリオ（Disorderly）の炭素価格は、IAM間の差が大きい。
- これらの炭素価格水準の違いが、様々なマクロ経済変数へ影響する。

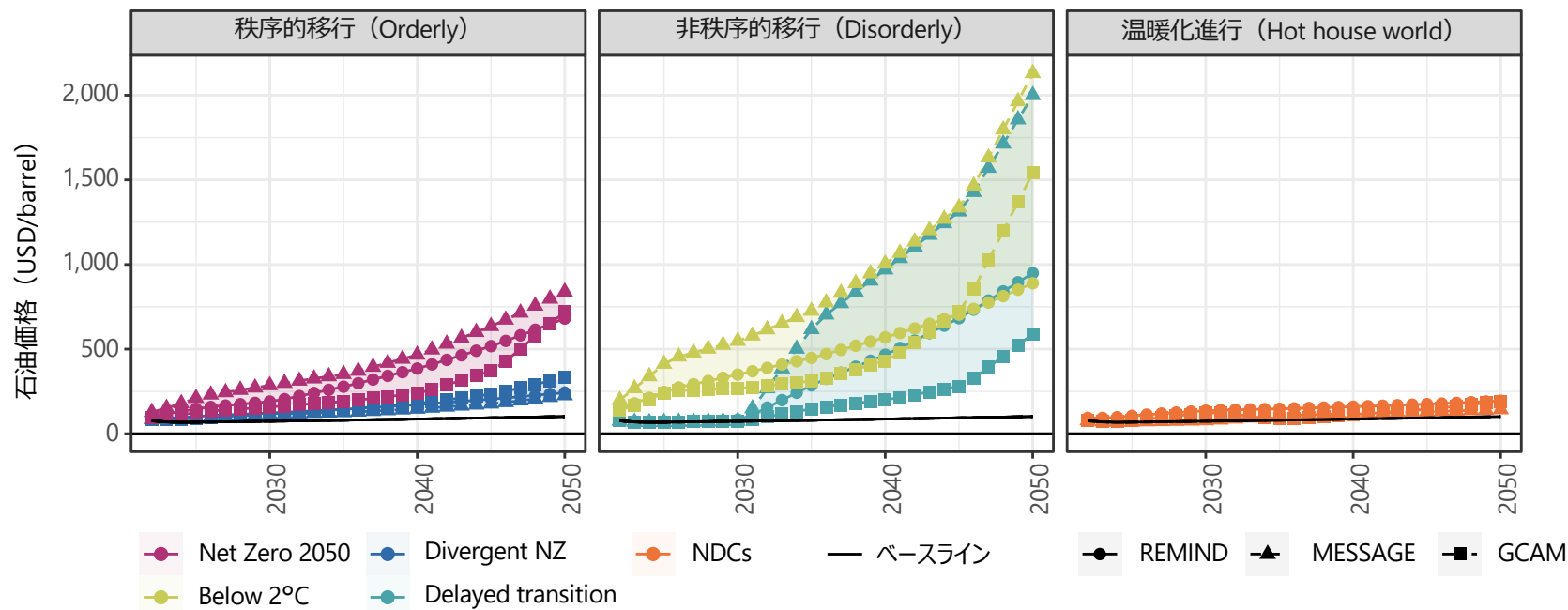
### 各シナリオ・IAMにおける炭素価格の水準（日本）



## 石油価格（日本）

- NiGEMが報告する国内の石油価格には、輸入価格に炭素価格相当分が上乗せされている。
- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、国内の化石燃料の価格は炭素価格の水準と連動して上昇し、最終エネルギーのコストを押し上げる要因となる。
  - 2023年時点のベースライン価格はUS\$69.5/barrelであるのに対し、2050年には秩序的移行シナリオ（Orderly）ではUS\$226～840/barrel、非秩序的移行シナリオ（Disorderly）ではUS\$589～2,130/barrelまで上昇する。
  - Disorderly シナリオではIAM間の差が大きい。この差は、後段の様々な変数へのショックの大きさにも反映される。

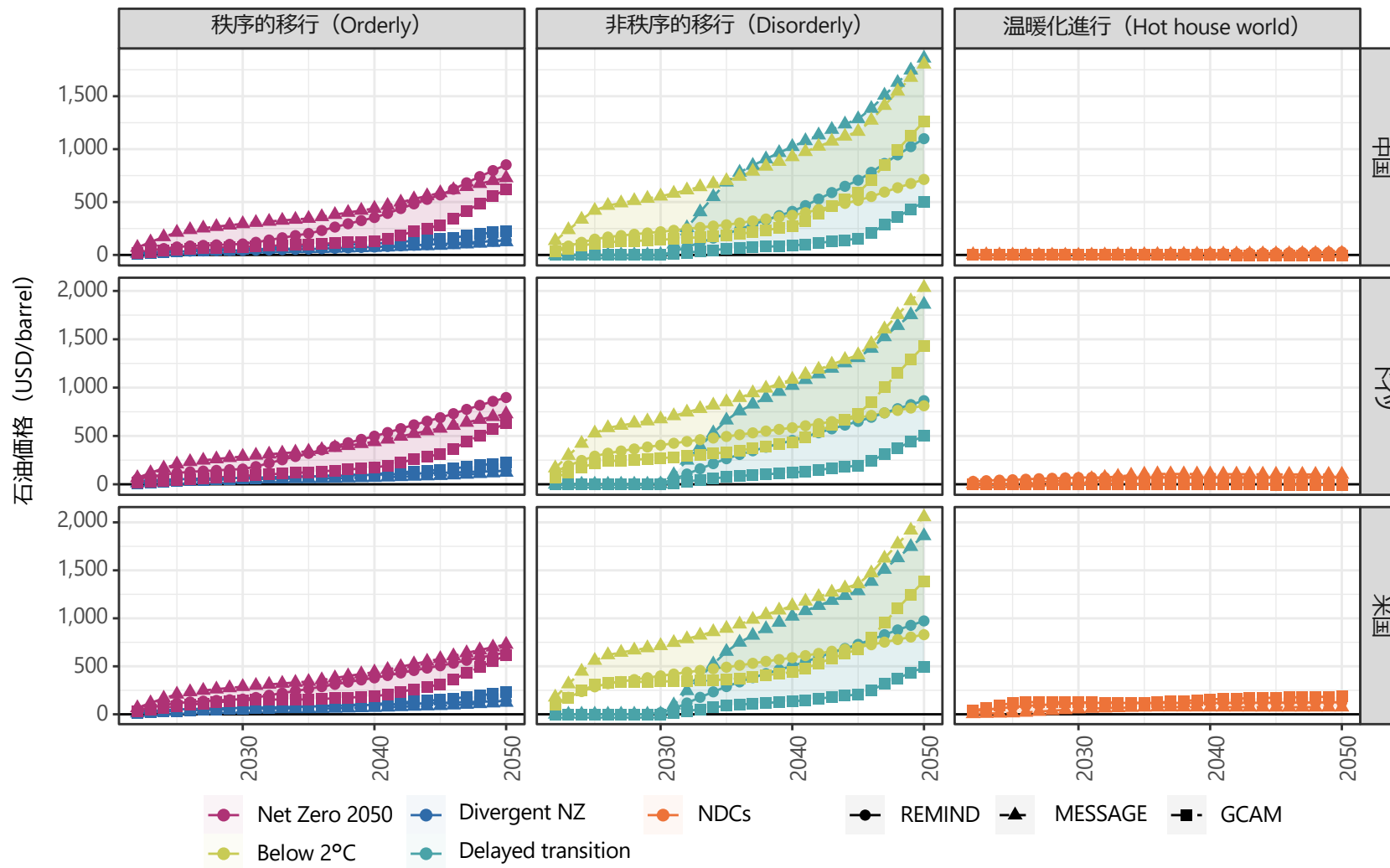
### 移行リスクの影響を含む化石燃料価格（石油価格）（日本）



# 化石燃料価格（石油価格）：主要国

- 世界の主要地域でも日本と同様に、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、炭素価格を反映して石油価格は大幅に上昇する。

移行リスクの影響を含む化石燃料価格（石油価格）（中国・ドイツ・米国）

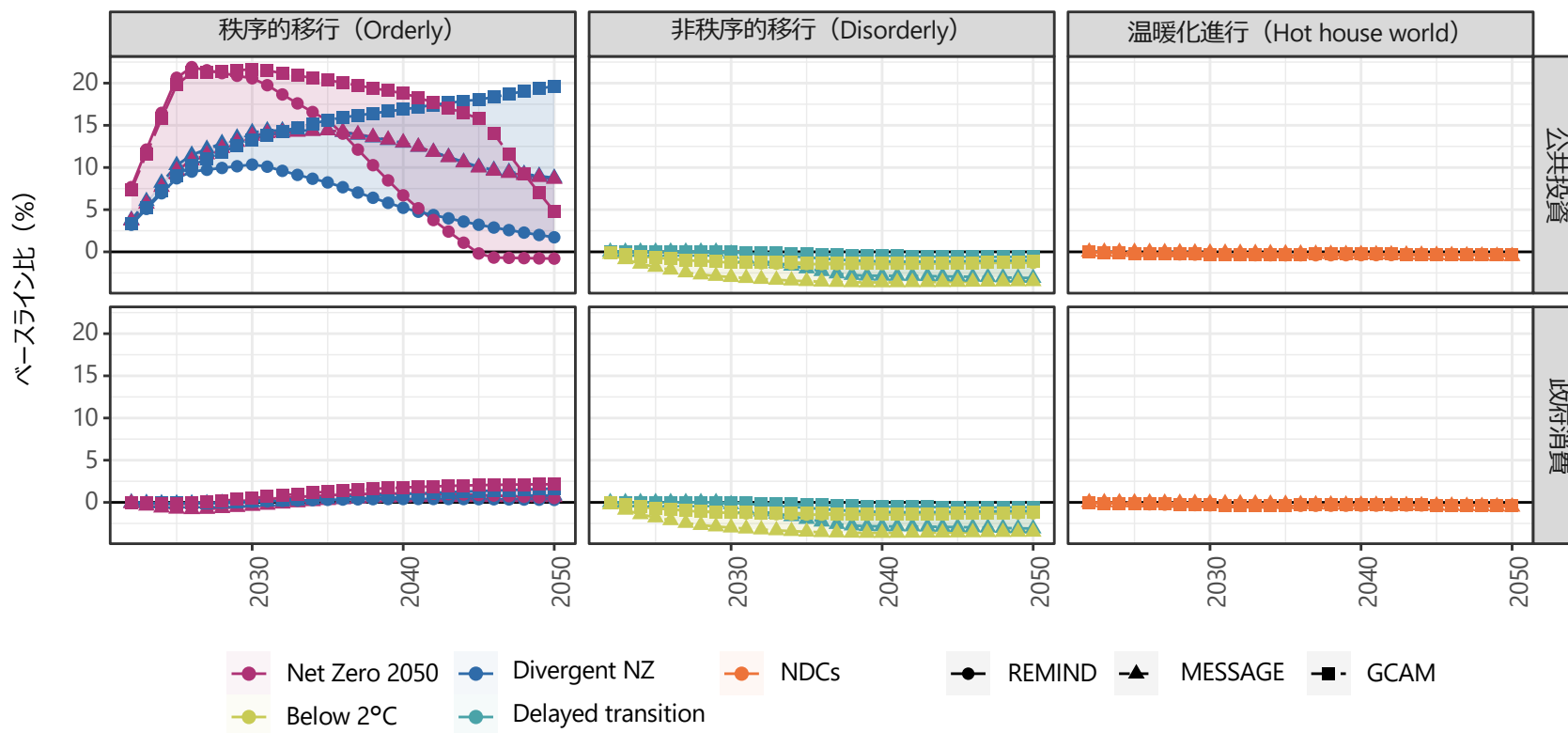




## 政府支出（公共投資／政府消費）

- 秩序的移行シナリオ（Orderly）では、カーボンプライシング収入を政府支出で経済に還元するため、公共投資（図の上段）は高い水準に保たれ、政府消費（図の下段）もややベースラインを上回る。カーボンプライシング収入を所得税減税で還元する非秩序的移行シナリオ（Disorderly）では投資／消費ともにベースラインよりもやや低い水準となる。
- Orderlyシナリオは、2030年以降の公共投資の水準がIAMによって大きく異なる。炭素価格の水準の違いに加え、移行に向けた投資時期の違いが反映されている可能性がある。

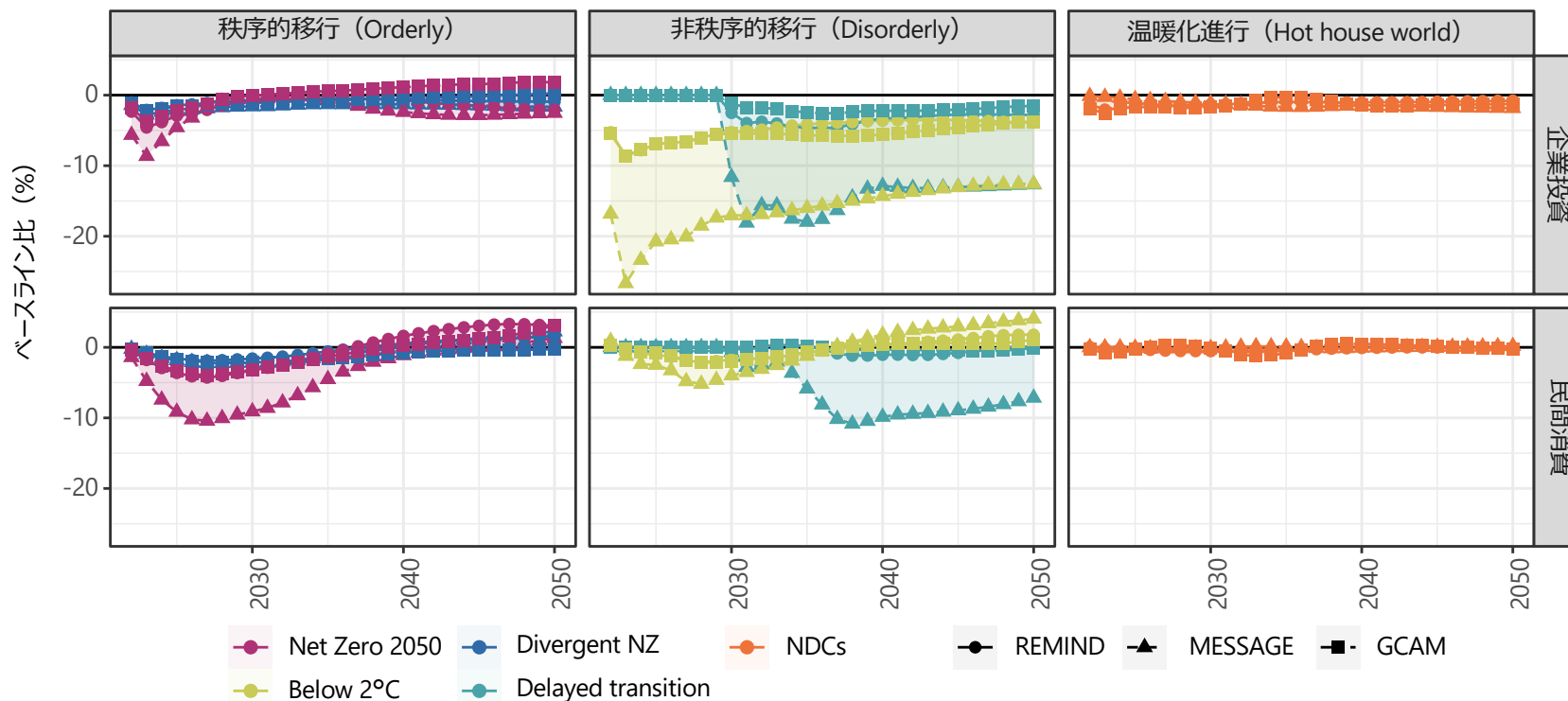
### 政府支出（公共投資：上段、政府消費：下段）への移行リスクの影響（日本、ベースライン比）



## 民間支出（企業投資／民間消費）

- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、カーボンプライシングが導入されるタイミングで、投資（図の上段）／消費（図の下段）の一時的な落ち込みがみられる。
- カーボンプライシング収入を公共投資拡大の財源とするOrderlyシナリオの場合、2030～2050年にかけて、公共投資による需要創出効果が民間部門にも波及し、投資／消費がベースラインを上回る。ただし、一部のIAMは2030年以降ベースラインを下回ることから、この効果は公共投資の水準に依存することが示唆される。
- カーボンプライシング収入を所得減税で還元するDisorderlyシナリオの場合、Orderlyシナリオよりも企業部門への需要創出効果の波及は小さい。

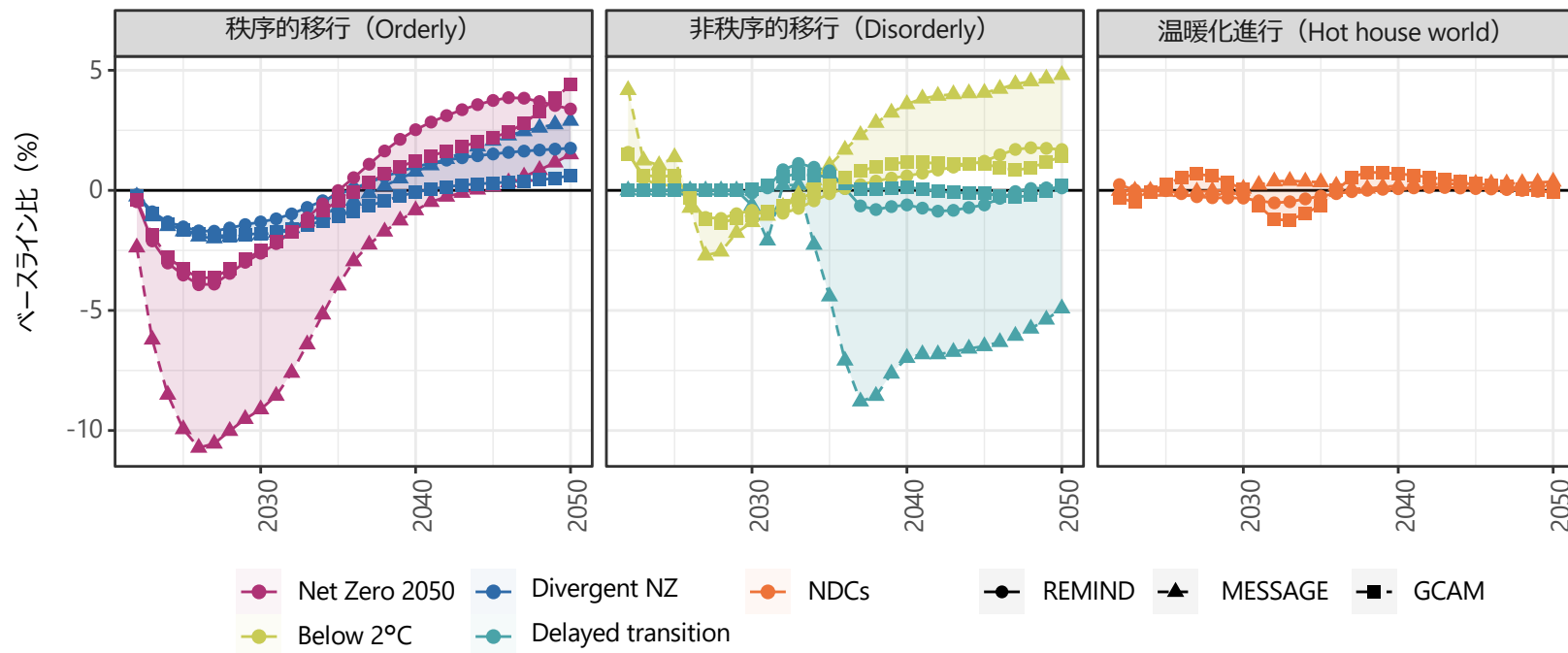
### 民間支出（企業投資：上段、民間消費：下段）への移行リスクの影響（日本、ベースライン比）



## 可処分所得

- 民間消費と同様に、カーボンプライシングが導入されるタイミングで、一時的な落ち込みがみられる。
- カーボンプライシング収入を公共投資拡大の財源とするOrderlyシナリオの場合は、需要創出効果が民間部門にも波及して、2040年頃までに消費がベースラインを上回る。一方、Disorderlyシナリオでもカーボンプライシング収入は所得減税として還元されるが、波及効果はOrderlyシナリオよりも小さい。

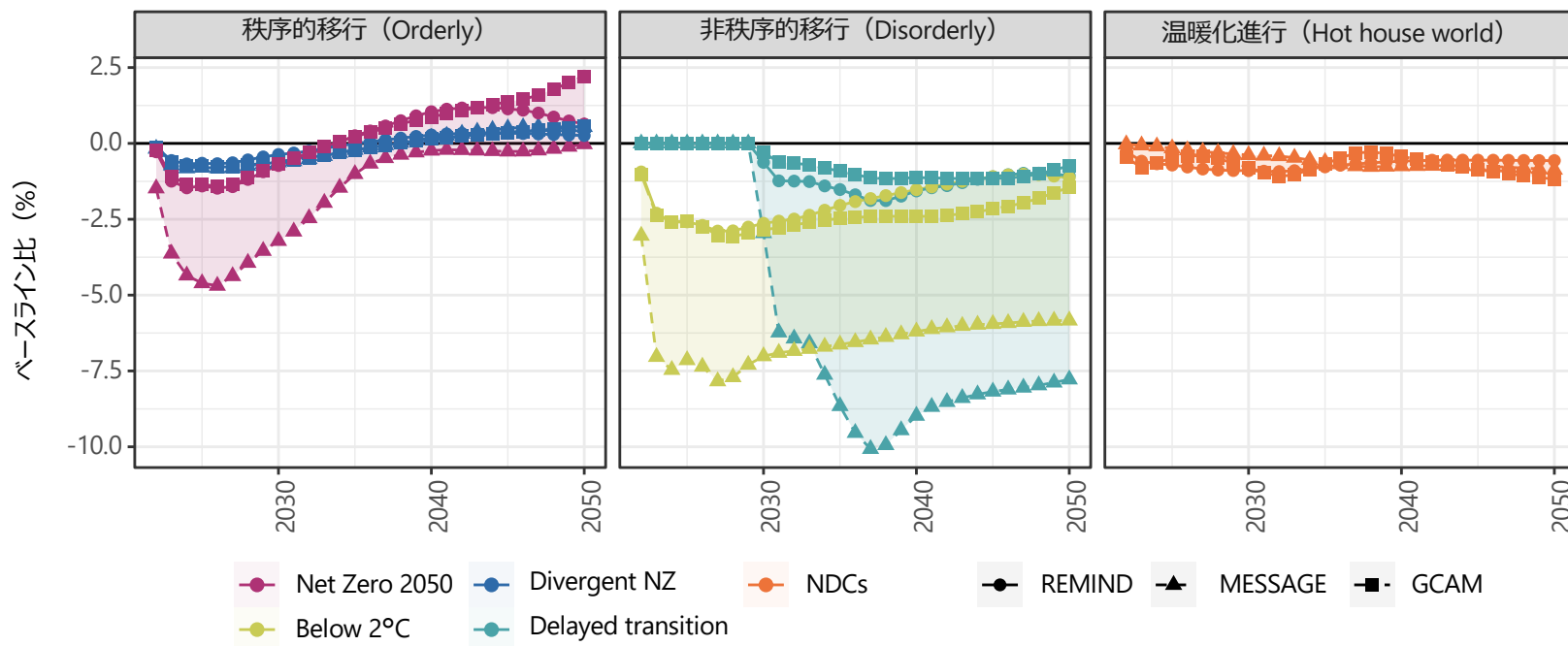
家計（可処分所得）への移行リスクの影響（日本、ベースライン比）



## 生産量 (GDP)

- 前述の内需（政府・民間）の変化に外需（輸出入、次スライド）が加わることで、カーボンプライシングが導入されるタイミングで短期的にはマイナスの影響があるが、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では中長期的にはマイナス影響が縮小／プラスに転じる。
- 秩序的移行シナリオ（Orderly）では、公共投資による需要創出効果により、中長期的には生産量はベースラインを上回る。一方、非秩序的移行シナリオ（Disorderly）では、カーボンプライシングの税収を所得減税によって還元するものの、需要刺激効果は限定的でベースラインまで回復しない。

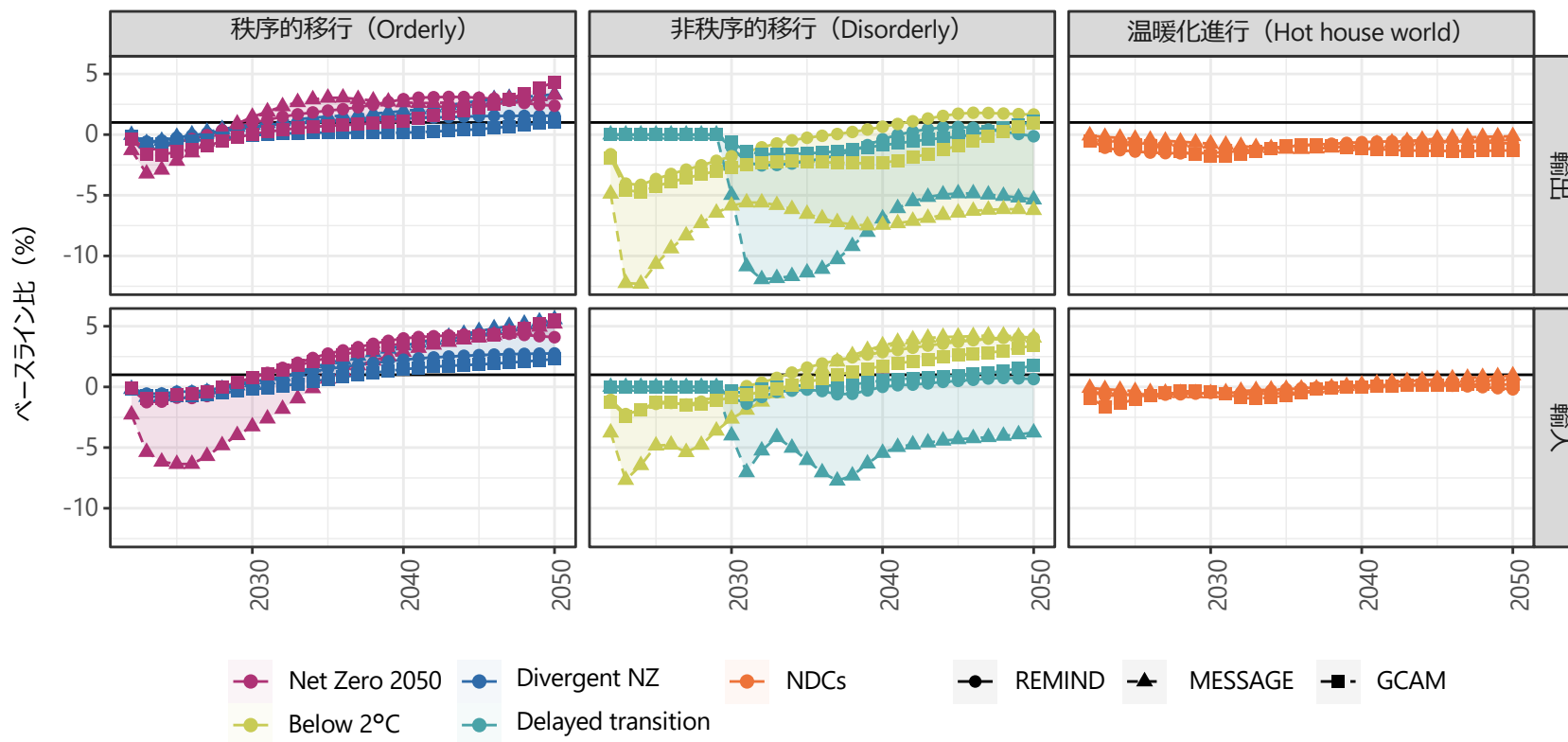
生産量 (GDP) への移行リスクの影響 (日本、ベースライン比)



## (参考) 輸出入

- 移行シナリオ (Orderly & Disorderly) の輸入は、短期的には化石燃料消費の減少によって大きく減少するが、中長期的には国内需要の回復によって上向く。
- 輸出の回復が輸入よりも弱いのは、外需の回復が国内より遅れることによるものと考えられる。

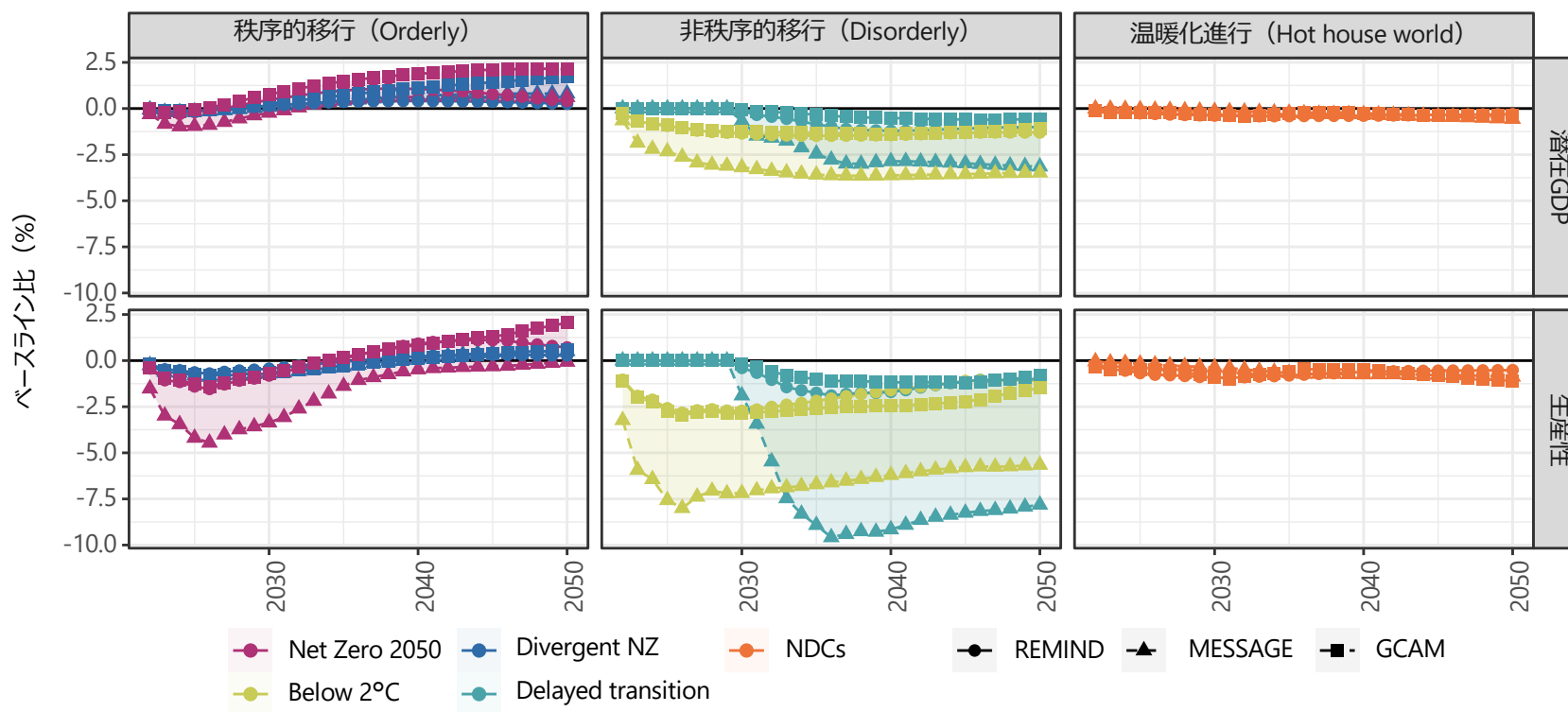
輸出入額への移行リスクの影響 (日本、ベースライン比)



## 潜在GDP／生産性への影響

- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、カーボンプライシングが導入されるタイミングで、有効エネルギーの投入量が落ち込み、経済全体の供給能力（潜在GDPや生産性）も低下する。
- IAMの炭素価格は2050年にかけて上昇するが、供給能力は移行着手後一時的に落ち込んだ先にはある程度回復する。これは、エネルギー価格の相対的上昇により、他の生産要素への代替が進む（より省エネとなる）ためである。特に、Orderlyシナリオでは公共投資の拡大により生産要素としての資本の蓄積が進むことから、供給制約が緩和すると考えられる。

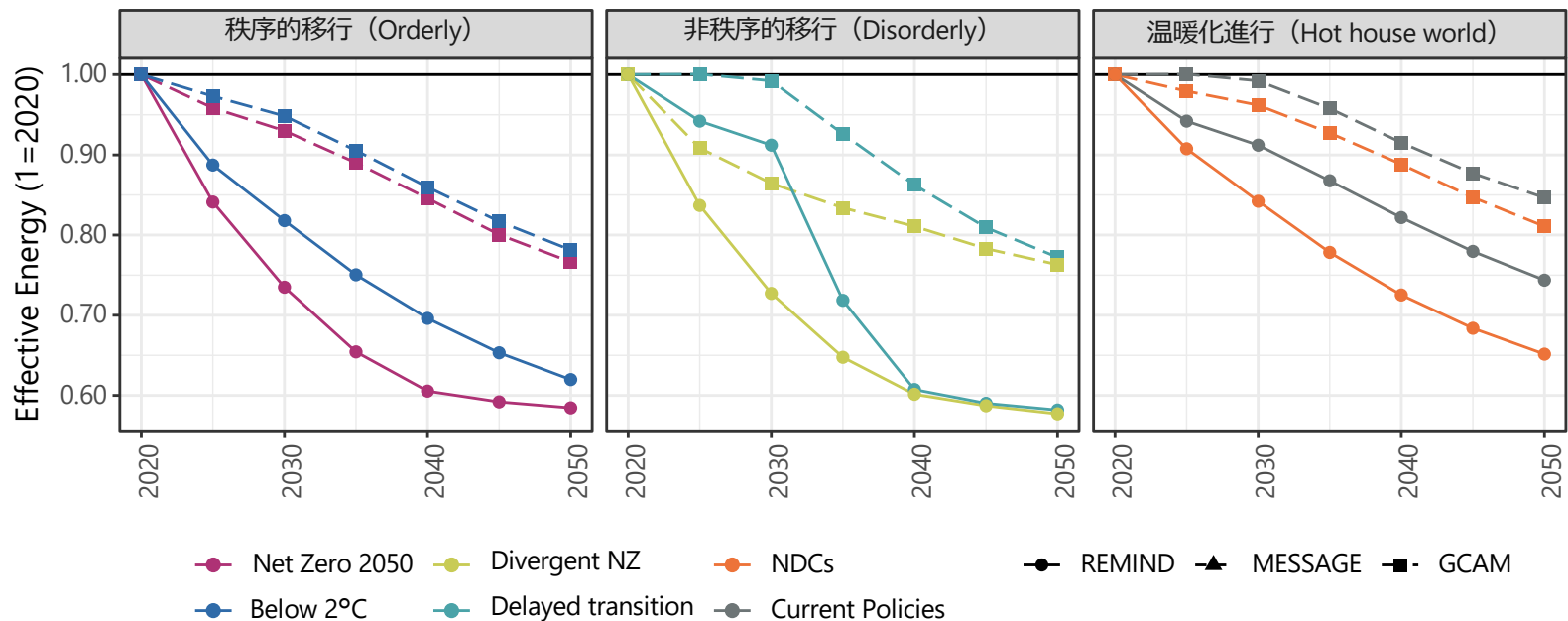
潜在GDP（上段）及び生産性（下段）への移行リスクの影響（日本、ベースライン比）



## (参考) 有効エネルギー量の変化

- NiGEMの気候モジュールは、エネルギー価格から内生的にエネルギー種別の需要を計算することもできるが、技術文書によれば、NGFSシナリオ第三版では、IAMの出力を「有効エネルギー」量に換算<sup>\*1</sup>して、生産関数へのインプットとして外生的に与えている。
- IAMによって計算される有効エネルギー量は、炭素価格の導入によってIAM内部でエネルギー効率が向上し需要が減少するため、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）で減少する。

### IAMから算出される有効エネルギー量の推移（2020年比）

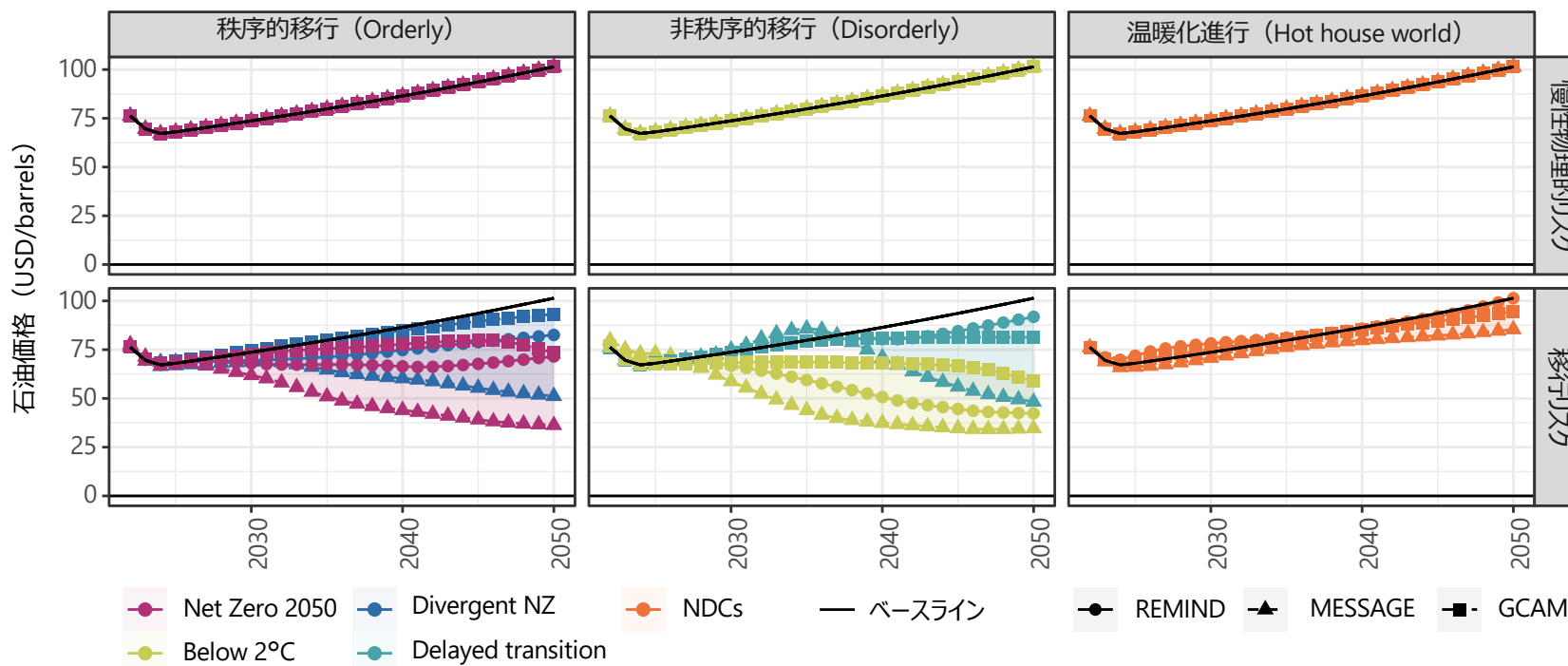


\*1 各エネルギー源と有効エネルギー量の変換係数はNGFS (2022a)を参照

# 石油価格：世界

- 世界全体の石油価格は国際市場における価格であり、炭素価格を含まない。
- 物理的リスクによる影響（図の上段）は確認できない。
- 移行リスクによる影響（図の下段）をみると、移行シナリオ（Orderly & Disorderly）の石油価格はベースラインよりも低く、特にネットゼロシナリオ（Net Zero 2050 & Divergent Net Zero）では価格低下の幅が大きい。これは、炭素価格の上昇によって低炭素エネルギーへの代替が進む結果、化石燃料の需要が縮小するためと考えられる。ただし、価格の絶対値では、IAMによって上昇する場合も低下する場合もある。
- 他方、温暖化進行シナリオ（Hot house world）では、ベースラインからほとんど低下せず、石油価格は上昇傾向を示す。需要の増加を反映しているものと考えられる。

### 市場におけるエネルギー価格（石油）（世界全体）

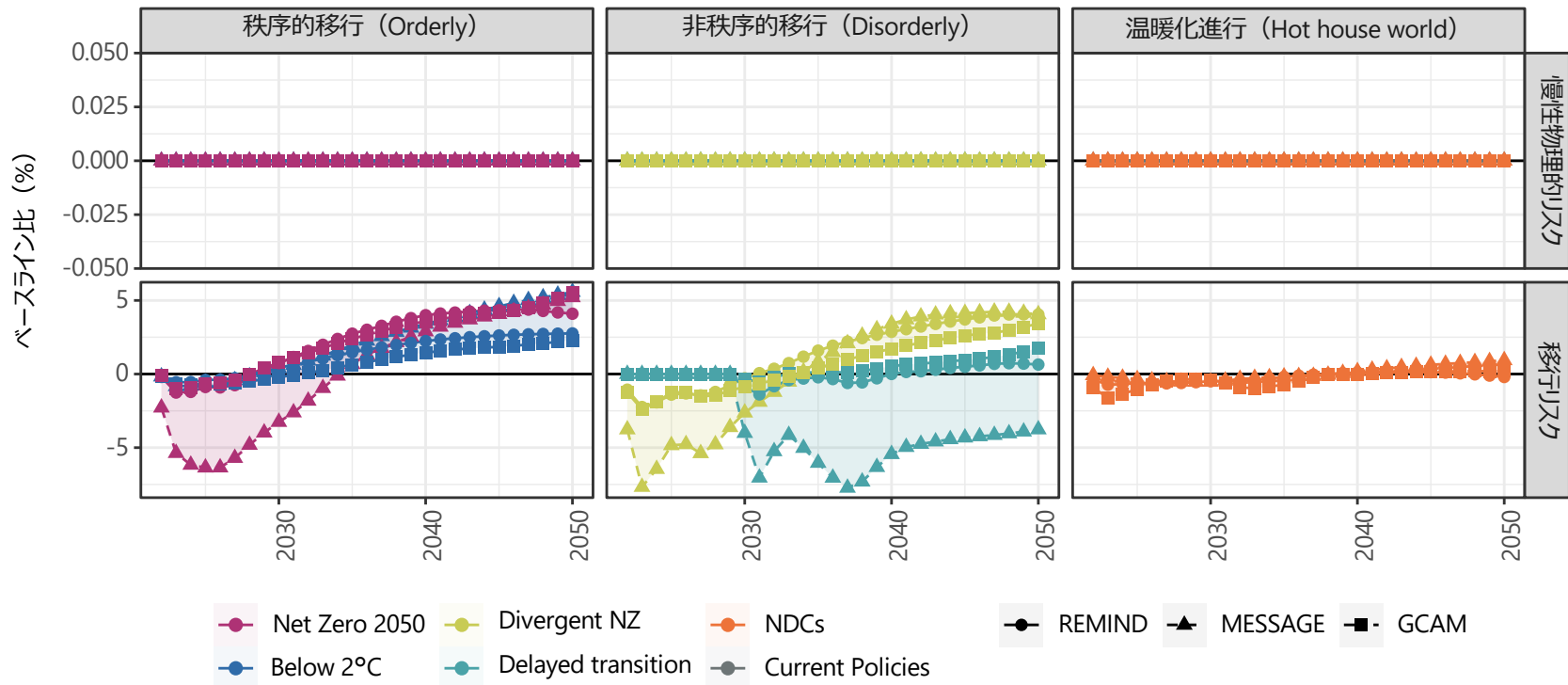




# 輸入額

- 物理的リスクによる影響 (図の上段) は確認できない。
- カーボンプライシングによって化石燃料の消費が減少し価格が低下することで、輸入額を押し下げる効果があると思われる。しかし、移行リスクによる影響 (図の下段) をみると、秩序的移行シナリオ (Orderly) では、2050年にかけて輸入額はベースラインよりも増加している。これは、化石燃料の輸入減少を、その他の財・サービスの需要が上回ったためと考えられる。
- 非秩序的移行シナリオ (Disorderly) では、カーボンプライシングの導入にあわせて、輸入額はベースラインを下回った。

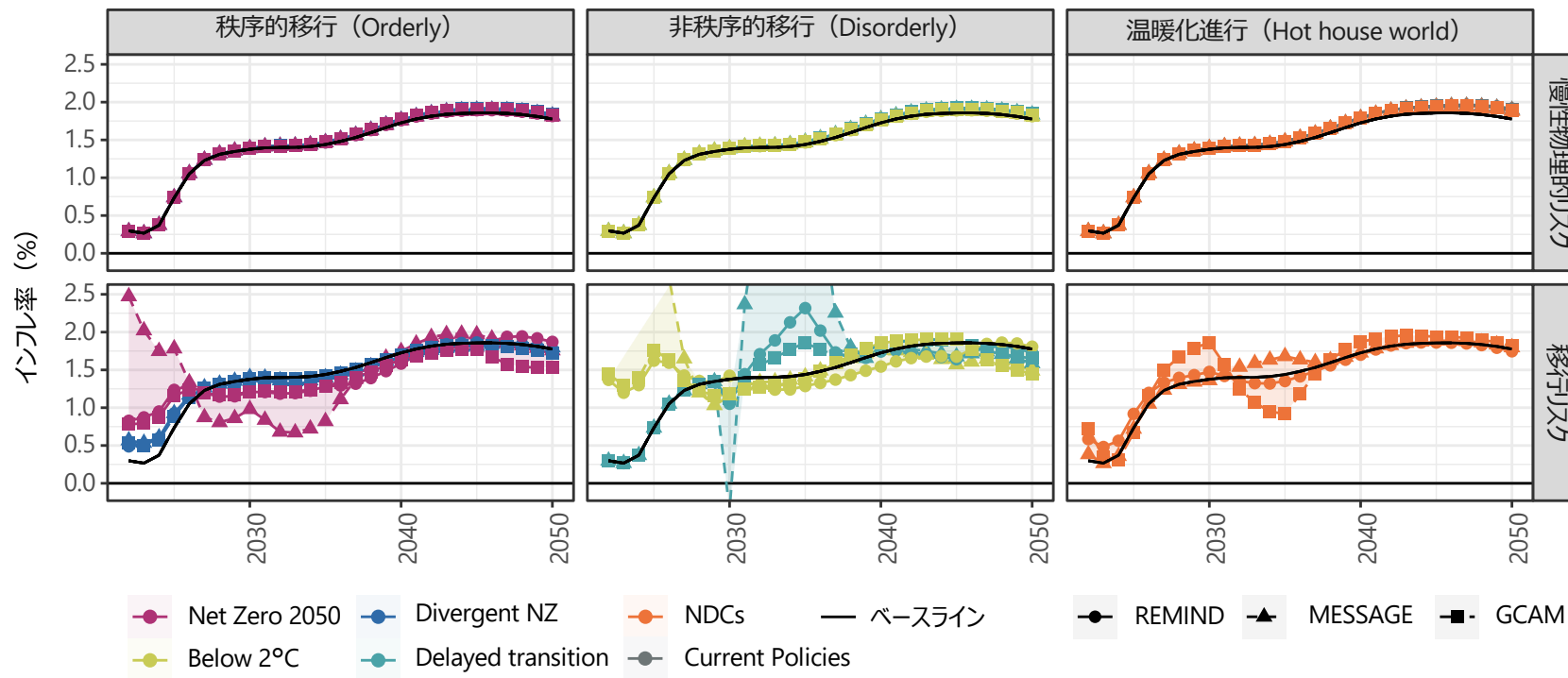
輸入額に対する物理的リスク (上段) 及び移行リスク (下段) の影響 (日本、ベースライン比)



# インフレ率

- 物理的リスクの影響 (図の上段) は、ごくわずか。ベースライン (黒線) とほぼ一致している。
- 移行リスクの影響 (図の下段) は、短期と長期に分けられる。
  - 移行シナリオ (Orderly & Disorderly) では、いずれもカーボンプライシングを導入するタイミングで、一時的にインフレ率が上昇する。
  - ネットゼロシナリオ (Net Zero 2050 & Divergent NZ) では長期的にベースライン (黒線) よりもわずかにインフレ率が低下し、逆に温暖化進行シナリオ (Hot house world) では、わずかな上昇がみられる。様々な要因のうち、世界全体の石油価格 (P.96) に表れる化石燃料の輸入価格の影響も考えられる。

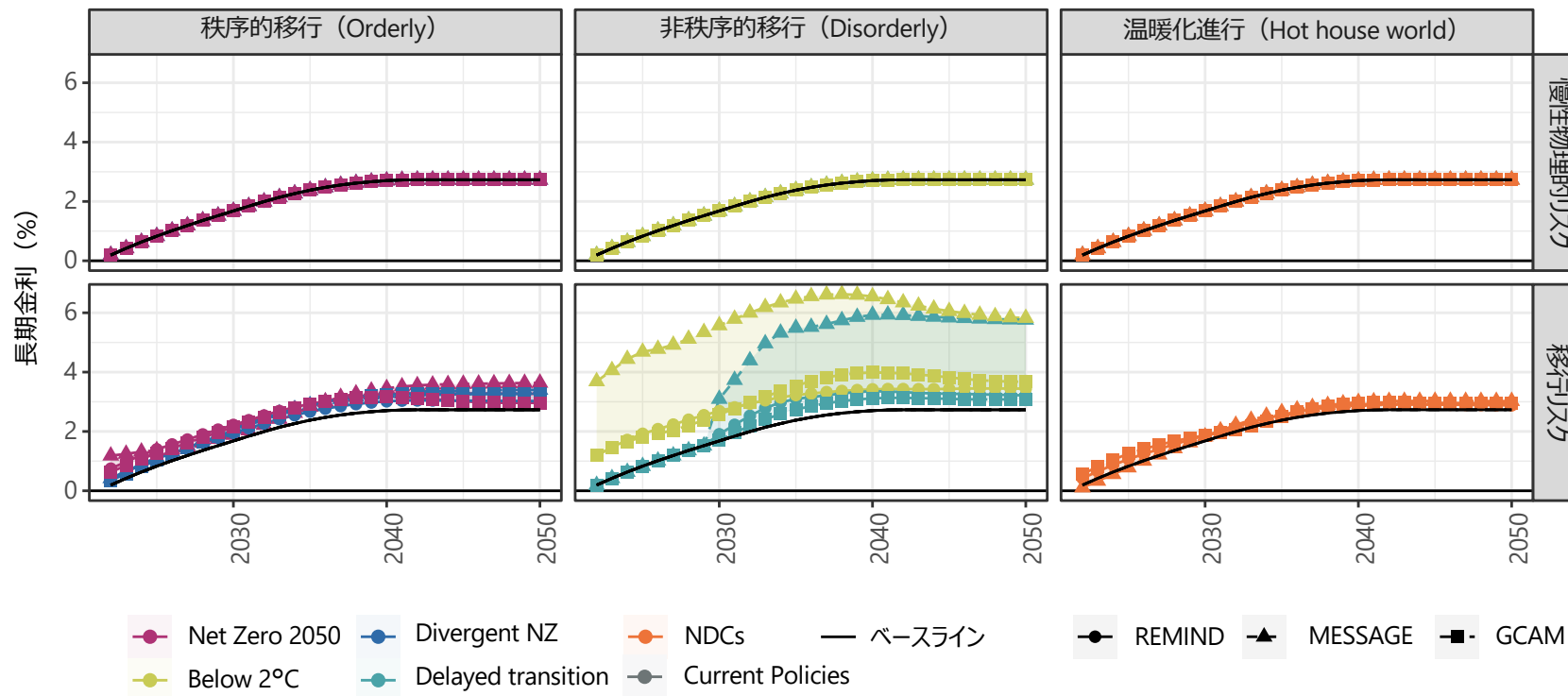
### インフレ率に対する物理的リスク (上段) 及び移行リスク (下段) の影響 (日本)



# 長期金利

- 物理的リスクの影響 (図の上段) はほぼ確認されない。ベースライン (黒線) とほぼ一致している。
- 移行リスクの影響 (図の下段) をみると、移行シナリオ (Orderly & Disorderly) では、いずれもベースラインよりも長期金利が上昇しているが、非秩序的移行シナリオ (Disorderly) の一部 (MESSAGE) を除けば、両者の差異は小さい。

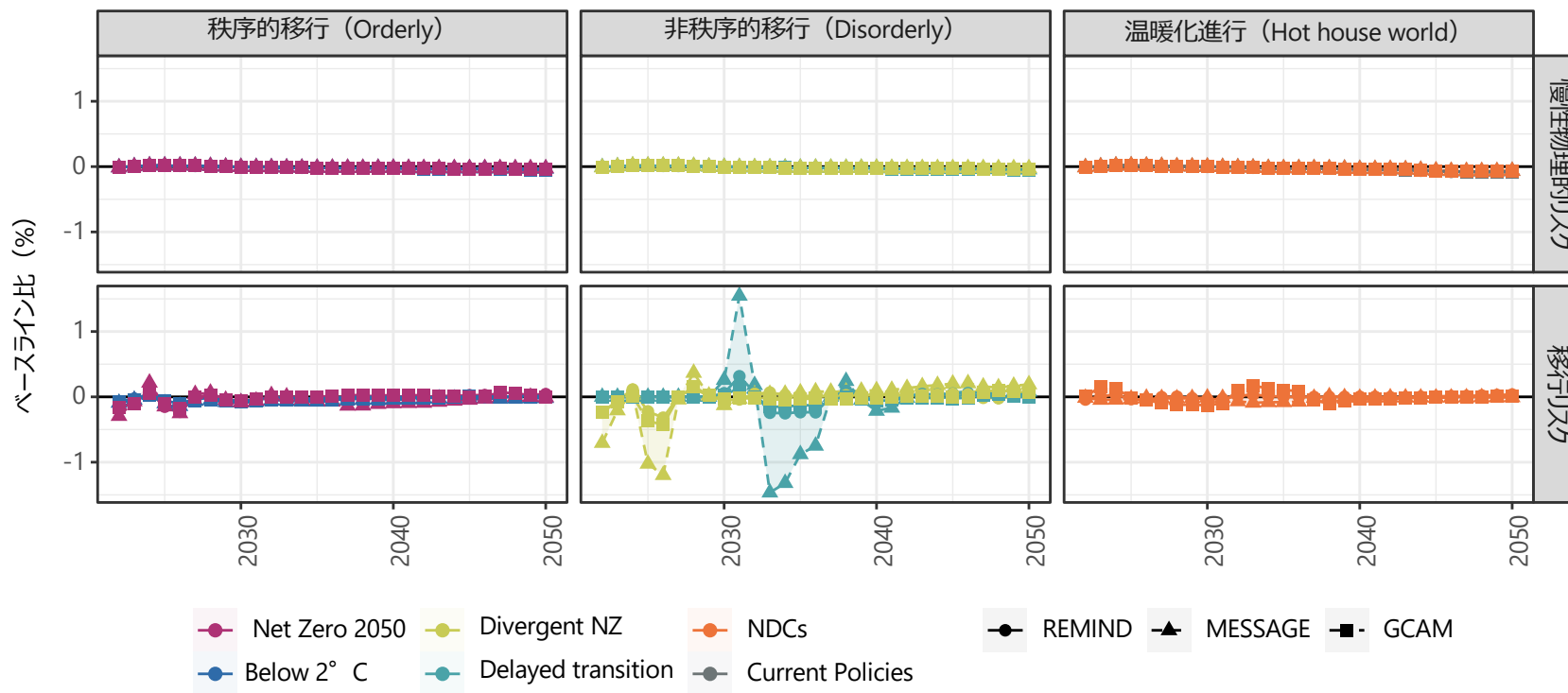
### 長期金利に対する物理的リスク (上段) 及び移行リスク (下段) の影響 (日本)



# 失業率

- 物理的リスク (図の上段) の影響はほぼ確認されない。
- 移行リスク (図の下段) をみると、移行シナリオ (Orderly & Disorderly) では、炭素価格導入のタイミングで、需要の減少に起因すると考えられるわずかな減少がみられるが、全体的にはほぼ一定の水準を維持している。

### 失業率に対する物理的リスク (上段) 及び移行リスク (下段) の影響 (日本)



# 主要なマクロ経済変数の特徴：物理的リスク要因・移行リスク要因

- シナリオ第三版では、マクロ経済への外生的なショックとして、IAMの出力を元に、温度上昇（物理的リスク要因）とカーボンプライシング・有効エネルギー量（移行リスク要因）が与えられる。これらは、いずれも関連するマクロ経済変数に影響を与えるが、影響の大きさは、IAMの出力だけでなく、シナリオごとのマクロ経済モデルの設定の違いにも依存する。

物理的 リスク 要因	① 温度上昇	<ul style="list-style-type: none"><li>温度上昇がマクロ経済に与える影響は、需要側（GDP）と供給側（潜在GDP）の両方に対するショックとして、ダメージ関数を用いてモデル化される。</li><li>温暖化進行シナリオ（Hot house world）は、移行シナリオ（Orderly &amp; Disorderly）と比較して両者へのより大きな影響が確認されたが、参照しているGDP損失が、前者は高位推計、後者は中位推計であることにも起因している。</li></ul>
移行 リスク 要因	② カーボン プライシング	<ul style="list-style-type: none"><li>カーボンプライシングの導入はマクロ経済の様々な部門に影響を与えるが、その規模や時期は、炭素価格の水準や収益の還元方法によって異なる。</li><li>収益を公共投資で還元する秩序的移行シナリオ（Orderly）では、政府支出が増加し、その効果が民間部門にも波及する。一方、収益を所得減税で還元する非秩序的移行シナリオ（Disorderly）では、需要創出効果の波及が政府支出よりも小さく、カーボンプライシングによるマイナス影響が残る。</li></ul>
	③ 有効 エネルギー	<ul style="list-style-type: none"><li>移行シナリオ（Orderly &amp; Disorderly）では、IAMで炭素価格が導入されるタイミングで有効エネルギーの投入量が落ち込み、供給側の潜在GDP／生産性も低下する。</li><li>その後は、他の生産要素への代替が進み（省エネ）、また秩序的移行シナリオ（Orderly）では公共投資の拡大により生産要素としての資本の蓄積が進むことから、潜在GDP／生産性は回復する。</li></ul>

## 主要なマクロ経済変数の特徴：複合的要因（内生変数）

- 輸入額や物価・金利といった一部の内生変数にも、移行リスクの影響が確認されたが、秩序的移行（Orderly）と非秩序的移行（Disorderly）の設定の違いも影響していると考えられる。
- 物理的リスクの影響は、現在のNGFSシナリオでは十分に捉えられていない可能性がある。

### 移行リスク

### 物理的リスク

#### ④ 貿易

- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）では、カーボンプライシングにより化石燃料の消費が減少することで、輸入額を押し下げる効果があると思われたが、秩序的移行シナリオ（Orderly）では、2050年にかけて輸入額はベースラインよりも増加した。化石燃料の輸入減少を、その他の財・サービスの需要が上回ったためと考えられる。
- 一方、非秩序的移行シナリオ（Disorderly）では、カーボンプライシングとあわせて輸入額はベースラインを下回った。
- 中長期には、化石燃料の需要よりも、その他の財・サービスの需要が貿易の規模に影響することが示唆されたが、前述のとおり、中長期の需要は、カーボンプライシングの収益の還元方法に強く影響する。

影響はほとんど確認されない。需要側（GDP）と供給側（潜在GDP）へのショックが同程度であり、結果的に需要と供給のバランスが保たれることが、原因と考えられる。

#### ⑤ 物価

- カーボンプライシング導入のタイミングで一時的にインフレ率の上昇がみられるが、影響は短期間にとどまる。

#### ⑥ 金利

- 移行シナリオ（Orderly & Disorderly）の長期金利はベースラインよりも上昇するが、長期的傾向からはさほど乖離せず、シナリオ間の差異も小さい。

#### ⑦ 雇用

- カーボンプライシング導入による短期的なショックがみられるが、全体的にはほぼ一定の水準を維持しており、影響は限定的。

# 主要なマクロ経済変数の特徴：考察

## シナリオ間の差を生む要因と気候リスク分析における留意点

- マクロ経済変数の中には、シナリオ間の差が明らかなものとそうでないものがあった。
- シナリオ間の差の中には、マクロ経済モデルの前提条件の違いに起因するものもあることが明らかになった。例えば、GDP・潜在GDPに対する物理的リスク（慢性リスク）の影響は、温暖化進行シナリオ（Hot house world）のほうが移行シナリオ（Orderly & Disorderly）よりも大きいことが見て取れたが、これは両方で参照している温暖化水準の値が異なる（前者は高位推計、後者は中位推計）ことが影響している（P.85）。一方、移行リスクの影響についても、秩序的移行シナリオ（Orderly）と非秩序的移行シナリオ（Disorderly）の間で差が認められたが、これはカーボンプライシング税収の活用方法の違いによるものである（P.92,94）。
- シナリオ間の差よりもIAM間の差が顕著な変数もあった。国内の石油価格は、秩序的移行シナリオ（Orderly）よりも非秩序的移行シナリオ（Disorderly）のほうが価格上昇幅が大きい傾向があるものの、特に非秩序的移行シナリオではIAM間の差が大きかった（P.87）。これは、IAMによって計算される炭素価格のモデル間の差を反映しているものと考えられ（P.86）、他の様々な変数にも影響していると考えられた。また、世界全体の石油価格は、IAMによって上昇／低下のいずれの場合もあることがわかった（P.96）。これらはいずれも、IAMとマクロ経済モデルによる将来の定量化の不確実性を反映しているものと言える。
- その一方で、インフレ率（P.98）のように影響がごく短期間に留まる変数や、長期金利（P.99）や失業率（P.100）のようにシナリオ間の差がほぼ見られない変数もあった。
- 各シナリオに対するマクロ経済変数の応答は様々であり、中には、IAMに設定された温暖化水準以外の影響を強く受けるものもある。実際の気候リスク分析にNGFSシナリオを利用する場面では、これらの変数の特性を理解した上で、分析結果を解釈すべきである。

# 主要なマクロ経済変数の特徴：考察

## IAMとマクロ経済モデルの整合性

- NGFSシナリオの枠組では、移行リスクを定量化するIAMの結果を元に、マクロ経済変数への影響が定量化される。
- IAMもマクロ経済モデルも経済をモデル化したものであるが、両者はそれぞれ異なる種類のモデルである。そのため、両者の出力には、互いに整合しない変数も見られる。例えば、マクロ経済モデルの石油価格（国内）は炭素価格を反映して、将来、大幅に価格が上昇するが（P.87）、IAMが出力する石油価格（二次エネルギー：液体燃料）の価格上昇幅は小さい（P.19）。
- マクロ経済モデルからみると、IAMは、エネルギーと経済の相互作用を中心に将来の技術の発展を詳細に定量化することで、温暖化水準に対応した政策コストを「炭素価格」として出力するものと位置づけられる。
- 実際の気候リスク分析では、IAMとマクロ経済モデルの両者から様々な変数が参照される\*1が、その妥当性や分析結果への影響は、今後の検証の課題である。

## 物理的リスクと移行リスクの評価

- NGFSシナリオの枠組は物理的リスクと移行リスクの両方を評価する枠組であるが、移行リスクに対して物理的リスクの評価は部分的なものにとどまっている。現状でマクロ経済変数への評価結果が利用可能なのは、平均気温の上昇に伴う慢性リスクに関する影響のみである\*2。
- また、物理的リスクの影響は今世紀後半により顕在化するが（P.60）、マクロ経済モデルの分析期間は2050年までである。
- 気候リスク分析では、物理的リスクの影響を過小評価している可能性に留意すべきであろう。

\*1 金融庁（2022）は、海外金融当局の気候リスク分析で参照されている変数を分析し、統合評価モデルとマクロ経済モデル、及びシナリオを補完するために様々な外部データが参照されていることを明らかにした。

\*2 シナリオ第三版では試行的な取り組みとして、一部の要因（熱帯低気圧と河川洪水）が世界全体のGDPに与える影響の推計結果が利用できる（P.74）が、国・地域単位のマクロ経済変数への影響評価の枠組（P.81）には統合されていない。



# 略語集

AR6	Sixth Assessment Report	IPCCの第6次評価報告書
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage	炭素回収・貯留付のバイオエネルギー
BCBS	Basel Committee on Banking Supervision	バーゼル銀行監督委員会
CCS	Carbon Capture and Storage	炭素回収・貯留
CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide	二酸化炭素
DACCS	Direct Air CO <sub>2</sub> Capture and Storage	空气中CO <sub>2</sub> 直接回収・貯留
FSB	Financial Stability Board	金融安定理事会
GCAM	Global Change Assessment Model	
GFANZ	Glasgow Financial Alliance for Net Zero	ネットゼロのためのグラスゴー金融同盟
GHG / GHGs	Green House Gas(es)	温室効果ガス
IAM	Integrated Assessment Model	統合評価モデル
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
MAGICC	Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change	
MESSAGE	Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact	
NDCs	Nationally Determined Contributions	国が決定する貢献
NGFS	Network for Greening Financial Systems	気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク
NiGEM	National Institutes Global Econometric Model	
REMIND	REgional Model of Investment and Development	
SCC	Social Cost of Carbon	炭素の社会的コスト

## 引用文献

- BCBS (2021) Climate-related risk drivers and their transmission channels. <https://www.bis.org/bcbs/publ/d517.htm>
- FSB-NGFS (2022) Climate Scenario Analysis by Jurisdictions: Initial findings and lessons. <https://www.fsb.org/2022/11/climate-scenario-analysis-by-jurisdictions-initial-findings-and-lessons/>
- GFANZ (2022) Guidance on Use of Sectoral Pathways for Financial Institutions. [https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ\\_Guidance-on-Use-of-Sectoral-Pathways-for-Financial-Institutions\\_June2022.pdf](https://assets.bbhub.io/company/sites/63/2022/06/GFANZ_Guidance-on-Use-of-Sectoral-Pathways-for-Financial-Institutions_June2022.pdf)
- IEA (2021) World Energy Outlook 2021. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IEA (2022) World Energy Outlook 2022. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Kalkuhl and Wenz (2020) The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. Journal of Environmental Economics and Management. 103: 102360. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069620300838>
- IPCC (2021) AR6 Working Group 1: Summary for Policy Makers. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>
- NGFS (2022a) NGFS Climate Scenario Database: Technical Documentation V3.1. [Richters et al.] [https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical\\_documentation\\_ngfs\\_scenarios\\_phase\\_3.pdf](https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical_documentation_ngfs_scenarios_phase_3.pdf)
- NGFS (2022b) NGFS Scenarios for central banks and supervisors [https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs\\_climate\\_scenarios\\_for\\_central\\_banks\\_and\\_supervisors\\_.pdf.pdf](https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_climate_scenarios_for_central_banks_and_supervisors_.pdf.pdf)
- NiGEM (2020) National Institutes Global Econometric Model (NiGEM) <https://www.niesr.ac.uk/wp-content/uploads/2022/01/NiGEM-Manual-July-2021-1.pdf>
- Schultes et al. (2021) Economic damages from on-going climate change imply deeper near-term emission cuts. Environmental Research Letters. 16 104053. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac27ce>
- 金融庁（2022）「気候変動関連リスクに係るシナリオ分析に関する調査」2021年度委託成果報告書 <https://www.fsa.go.jp/common/about/research/20220412/20220412.html>