

令和5年度 委託調査報告書

NGFS（気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク） シナリオの活用方法に関する調査

一般財団法人電力中央研究所
2024年3月22日

エグゼクティブ・サマリー

- 本調査では、(1) 金融当局や金融機関のシナリオ分析担当者の理解を深めるため、シナリオ第四版の枠組や方法論・前提条件、及び主要変数の特徴を調査とシナリオ第三版からの更新点の整理、及び、(2) 金融機関の気候関連リスク分析におけるNGFSシナリオ活用方法の考察を目的とした。
- (1)では、「移行リスク」「物理的リスク」「マクロ経済影響」について、分析・考察を行った。

移行リスク：シナリオ第四版では、ポストコロナの経済回復などの要因による足元の排出量の増加と将来の炭素除去技術の導入量が保守的に見直されたことで、「Net Zero 2050」で第三版よりも炭素価格（シャドウプライス）として表現されている移行リスクの全般的な高まりが見られる。一方、シナリオ第四版で新たに追加された「Low Demand」では、行動変容による需要削減を想定することで、移行リスクの高まりが抑えられたが、需要削減による影響が適切に反映されておらず、改善の余地があると考えられた。

物理的リスク：慢性リスクについては、シナリオ第三版と同じく温度上昇幅のダメージ関数としてGDPへの影響が推定されていた。一方、急性リスクについては、シナリオ第四版では新たな方法論によって、「早ばつ」「熱波」「洪水」「熱帯低気圧」がGDPに与える影響の確率論的な推計値が国別に提供されるようになった。

マクロ経済影響：物理的リスクについては、「Current Policies」「Fragmented World」で他よりもGDPへの影響が大きい、ダメージ関数に入力する気温上昇の推計値の違いによるところが大きいと考えられる。移行リスクについては、「Net Zero 2050」で短期的なGDPの落ち込みと中長期的な回復が見られるが、これはカーボンプライシングによる政府収入の還元方法によるものと考えられる。いずれも、マクロ経済影響を計算する際の設定がシナリオ間で異なっていることに起因するものであり、結果の解釈において留意すべきと考えられた。
- (2)では、金融機関による気候シナリオの活用事例の調査から、ポートフォリオ全体を対象とした財務影響の定量的な分析に基づく中長期のリスク分析だけでなく、NGFSシナリオを元に中長期的な「移行リスク」「物理的リスク」の所在や規模、影響などを考察することで、定性的なリスク分析にも活用できると考えられた。加えて、金融機関の戦略・目標の策定や、リスク分析の結果を踏まえた投融資先へのエンゲージメントにも役立てることができると考えられた。その一方で、部門ごとの情報の粒度や物理的リスクの評価、想定されているストレスの大きさや時間軸といった点で、NGFSシナリオには依然として課題もあると考えられた。NGFSは引き続きシナリオの整備・改良に取り組む予定であり、金融機関による活用の拡大に向けて、今後も方法論やデータの充実が期待される。

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（気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク）シナリオの活用方法に関する調査」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. 移行リスクに係る統合評価モデルの概要	10
2.1 シナリオ第四版の主要変数の特徴整理	12
2.2 シナリオ第三版との比較に基づくシナリオ第四版の特徴整理	25
2.3 シナリオ第四版で追加されたシナリオの特徴整理	35
3. 物理的リスクに係る方法論及びデータ	44
3.1 物理的リスクの評価に係る方法論	46
3.2 シナリオ第四版で提供されるデータ	56
4. マクロ経済影響の評価	66
4.1 マクロ経済影響の方法論	66
4.2 移行リスクと物理的リスク（慢性影響）の評価	69
5. 金融機関におけるNGFSシナリオの活用	86
5.1 金融機関における気候シナリオの活用事例	89
5.2 NGFSシナリオの活用に向けた提案	104
略語集・引用文献	112

1. はじめに

本調査の背景

NGFS（気候リスク等にかかる金融当局ネットワーク）によるシナリオ第四版の公表

- 金融庁は、NGFS シナリオ第二版（2021 年 6 月公表）及び第三版（2022 年 9 月公表）についてその概要を取りまとめるとともに、主要な変数について詳細な特徴の分析を行い、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提案を行った。
- NGFS は 2023 年 11 月にシナリオ第四版を公表した。シナリオ第四版では、(1) ポストコロナの経済回復とウクライナ危機による足元の排出量が増加、(2) 炭素除去技術の導入可能量の見直しといった、前提条件の見直しが行われた^{*1}。
- NGFS シナリオは、今後も気候関連リスク分析で参照されると考えられるため、金融機関に向けて、シナリオ第四版の特徴を整理することは有益であると考えられる。

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

- 国内においても NGFS シナリオの基本について周知が進み、国内外で NGFS シナリオに一部アレンジを加えながら金融リスクの分析を進める取り組みが始まっている。NGFS シナリオは金融当局が実施する気候関連の金融リスク分析（気候ストレステスト）を想定して開発・整備が行われてきたが、近年では、市中金融機関等によるシナリオ分析やネットゼロ目標・戦略（移行計画）の策定、投資先へのエンゲージメントなど、様々な用途で活用が進んでいる。
- また、バーゼル銀行監督委員会は、2022年6月に「気候関連リスクの効果的な管理と監督に関する原則」において、金融機関に対し、気候関連のリスク分析におけるシナリオの活用を要請した。
- そこで、国内の金融機関の気候リスク分析において NGFS シナリオの活用が見込まれることから、現時点における、NGFS シナリオを活用した金融機関のシナリオ分析に関する知見を整理し、国内金融機関に向けて提供することは重要である。
- 同時に、NGFS シナリオが活用されている事例を観察しつつ、NGFS シナリオの活用方法に関する検討を行うことで、金融機関のリスク分析等の行動が高度化することは有益と考えられる。

^{*1} NGFS (2023b) P.24-25.

本調査の目的・概要

- 本調査では、以下の2点を目的とする。
 - 金融当局や金融機関のシナリオ分析担当者の理解を深めるため、シナリオ第四版の枠組や方法論・前提条件、及び主要変数の特徴を調査し、シナリオ第三版からの更新点を整理する。
 - 金融機関の気候関連リスク分析におけるNGFSシナリオ活用方法を考察する。

本報告書の構成と概要

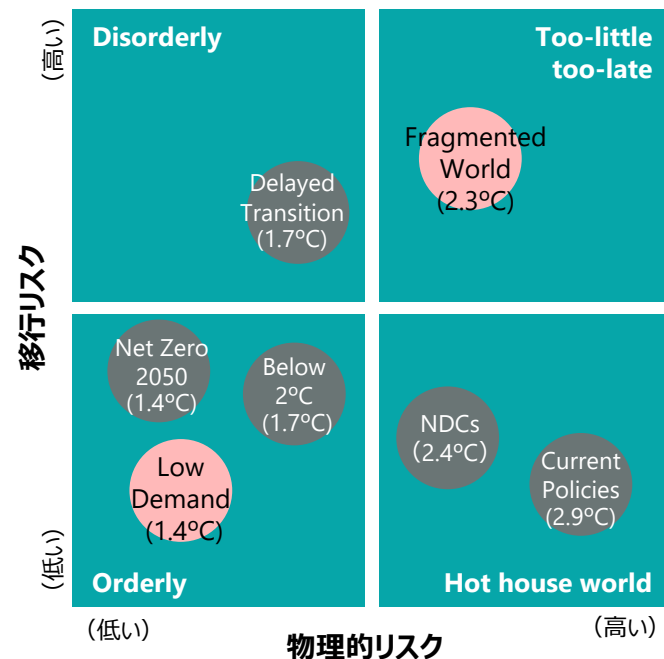
2. 移行リスクに係る 統合評価モデルの 概要	• CO₂排出量・除去量、エネルギー、炭素コストといった主要な変数に着目し、シナリオ第四版を構成する7つのシナリオの特徴を整理する。 • 「Net Zero 2050」「Delayed Transition」「Current Policies」の3つに着目して第三版との比較を行い、シナリオ第四版の特徴を整理する。 • 第四版で追加された「Low Demand」「Fragmented World」の特徴を整理する。
3. 物理的リスクに係る 方法論及びデータ	• 慢性リスク、及びシナリオ第四版で大幅に拡充が図られた急性リスク評価の方法論を解説し、リスク要因ごとにGDPへの影響を概観する。 • シナリオ第四版で提供されている物理的リスク要因に関するデータベースから入手できるデータを概観する。
4. マクロ経済影響の 評価	• マクロ経済影響評価の方法論を概説する。 • 物理的リスク（慢性リスク）及び移行リスクに関する要因が、GDPやインフレ率といった主要なマクロ経済変数に与える影響を整理する。
5. 金融機関における NGFSシナリオの活用	• 金融機関による気候シナリオの活用事例を調査する。 • 2～4の調査結果なども踏まえつつ、金融機関によるNGFSシナリオ第四版の活用方法や課題を考察する。

NGFSシナリオ第四版の枠組

- シナリオ第四版では、第三版から構成が変更され、新たなシナリオが2本追加された。
- Orderlyは、「Net Zero 2050」「Below 2°C」に「Low Demand」を追加した3本構成となった。「Low Demand」は、今世紀末の温度上昇幅が低く炭素除去が保守的な設定となっていることから、「移行リスク」「物理的リスク」ともに最も小さいカテゴリに区分されている。
- 第三版までシナリオが設定されていなかった「Too-little too-late」に、地域間の分断を想定した「Fragmented World」が設定された。
- 第三版までDisorderlyに設定されていた「Divergenet Net Zero」は、第四版で削除された。

NGFSシナリオ第四版の枠組*1

カテゴリ	シナリオ	温度 上昇*2	政策導入	技術 変化	炭素除去	地域間の 政策の違い
Orderly	Low Demand 需要の低下	1.4°C	迅速かつ円滑	速い	中利用	中程度
	Net Zero 2050 2050年ネットゼロ	1.4°C	迅速かつ円滑	速い	中～高利用	中程度
	Below 2°C 2°C抑制	1.7°C	迅速かつ円滑	中程度	中利用	小さい
Dis-orderly	Delayed Transition 移行遅延	1.7°C	遅延	遅い／速い	低～中利用	大きい
Hot House World	Nationally Determined Contributions (NDCs)	2.4°C	NDCs	遅い	低～中利用	中程度
	Current Policies 現行政策	2.9°C	なし (現行政策)	遅い	低利用	低い
Too-little too-late	Fragmented World 分断した世界	2.3°C	遅延かつ分断	遅い／分断	低～中利用	大きい



：シナリオ第四版で追加

*1 NGFS (2023b)より作成; *2 今世紀末の温度上昇（全モデルの平均）

NGFSシナリオ第四版に設定された7つのシナリオのナラティブ

- 「Low Demand」では、排出削減や技術導入だけでなく、エネルギー需要側の行動変容（behavioural change）による需要の削減などにより、「Net Zero 2050」よりも経済的な影響の緩和を想定したものと言える。
- 「Fragmented World」では、ネットゼロ目標を掲げる国の目標は未達（達成度80%）となり、それ以外の国では現行政策を上回る排出削減は想定されていない。

NGFSシナリオ第四版のナラティブ^{*1}

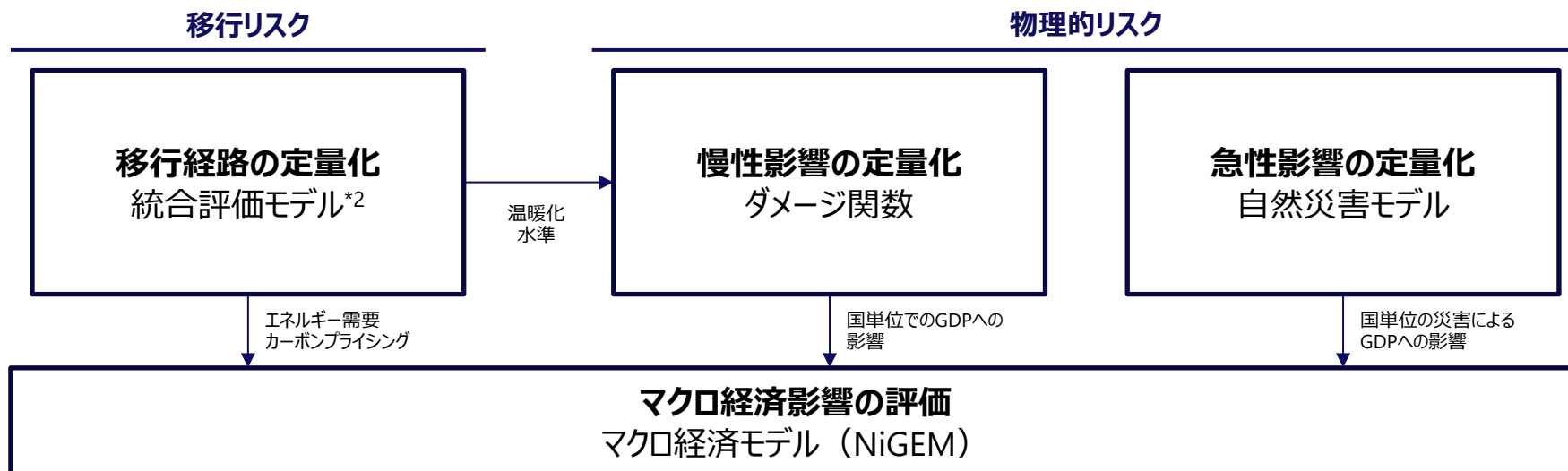
カテゴリ	シナリオ	ナラティブ
Orderly	Low Demand 需要の低下	顕著な行動変容によるエネルギー需要の低下と炭素価格（シャドウプライス）及び技術導入により、2050年に世界全体のCO ₂ 排出量ネットゼロに到達するまでの経済的システムへの圧力を緩和する。
	Net Zero 2050 2050年ネットゼロ	厳格な排出削減政策とイノベーションにより、地球温暖化を1.5°Cに抑制し、2050年に世界のCO ₂ 排出量をネットゼロにすることを目指す。米国、EU、英国、カナダ、豪州、日本などでは、CO ₂ 以外のすべての温室効果ガスについてもネットゼロを達成する。
	Below 2°C 2°C未満	排出削減政策の厳しさが徐々に増し、地球温暖化を2°Cに抑える可能性は67%。
Disorderly	Delayed Transition 移行遅延	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 ₂ 除去は限定的。
Hot house world	Nationally Determined Contributions (NDCs)	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。
	Current Policies 現行政策	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。
Too-little too-late	Fragmented World 分断した世界	気候政策導入が遅れ、国家間で分断されることにより、物理的リスクと移行リスクの両方が高くなる。ネットゼロ目標を掲げる国では目標の80%しか達成されず、それ以外は現行政策に従う。

^{*1} NGFS (2023a,b)より作成; ^{*2} 2023年3月までにUNFCCCのウェブサイトに掲載されたもの

NGFSシナリオ第四版のモデル構成

- NGFSシナリオ第四版は、異なる目的を持った複数のモデルを連結することにより、様々な気候関連リスクを定量的に評価する。
- 移行リスクの評価に係る統合評価モデルの結果は、温度上昇の水準を整合させることで、物理的リスクの評価に係るモデルと連結している。両者の結果をマクロ経済モデルに連結させることで、各シナリオ下で移行リスクの影響と物理的リスク（慢性）の影響を統合的に評価している。

NGFSシナリオ第四版のモデル構成^{*1}



^{*1} NGFS (2023a,b)を参考に電中研作成

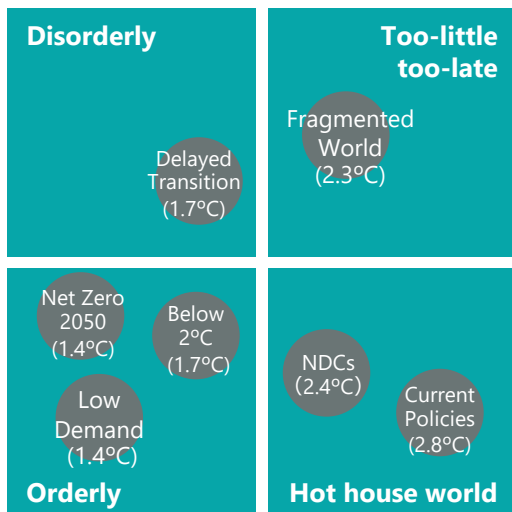
^{*2} NGFSシナリオでは、同一のナラティブを3種類の異なるIAM (REMIND-MAGPIE 3.2-4.6, MESSAGEix-GLOBIOM 1.1-M-R12, GCAM 6.0 NGFS) によって定量化することにより、将来想定の不確実性の幅を示している

2. 移行リスクに係る統合評価モデルの概要

移行リスクに係る統合評価モデルの特徴

- 本パートでは、NGFSシナリオ第四版のうち、主に移行リスクに係る統合評価モデルの主要変数の特徴を整理する。

2.1 主要変数の特徴整理



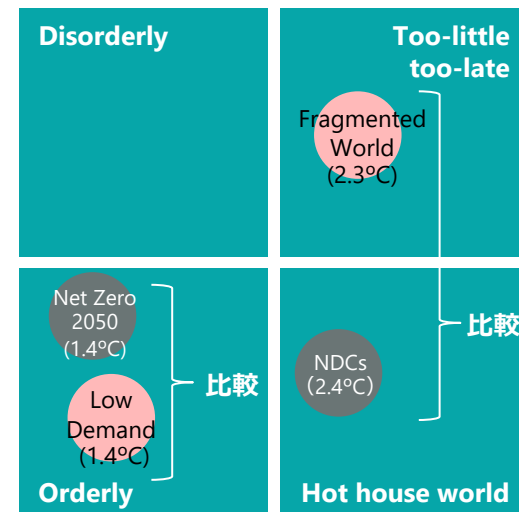
シナリオ第四版の7種類のシナリオについて、主要変数（CO₂排出／除去、エネルギー供給／消費、エネルギーコスト、炭素価格）の特徴を整理する

2.2 シナリオ第三版との比較



当局や金融機関による気候シナリオ分析の多く使用されている3種類のシナリオに着目し、シナリオ第三版との比較を行い、更新点を明らかにする

2.3 新シナリオの特徴整理



シナリオ第四版で新たに導入された2種類のシナリオについて、それぞれの類似のシナリオとの比較を行い、新シナリオの特徴を整理する

2. 移行リスクに係る統合評価モデルの概要

- ▶ 2.1 シナリオ第四版の主要変数の特徴整理
- 2.2 シナリオ第三版との比較に基づくシナリオ第四版の特徴整理
- 2.3 シナリオ第四版で追加されたシナリオの特徴整理

主要変数の特徴整理

- NGFSシナリオ第四版に採用された統合評価モデルはいずれも、エネルギーシステムを中心に、一定の前提条件とCO₂排出量等の制約条件の下で将来の発展を定量化する。本セクションでは、エネルギーシステムの発展とCO₂排出を中心に、シナリオ第四版の7種類のシナリオについて、主要変数の特徴を整理する。

変数の区分

概要

本セクションで取り上げる変数

① CO₂排出 ／除去

温室効果ガスの大部分を占めるCO₂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。

- CO₂排出量
- CO₂除去量

② エネルギー 供給 ／消費

CO₂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。

- 一次エネルギー供給
- 二次エネルギー供給（電力）
- 最終エネルギー消費

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。ここでは、詳細な情報が利用できる電力システムに着目し、電力関連の投資額の増減と内訳を整理する。

- 投資額（電力）

④ 政策コスト

排出削減政策に関連するコストは、炭素価格（シャドウプライス）としてモデル内で計算される。ここでは、排出量の変化に伴う炭素価格の増減と経済への影響の程度を検討する。

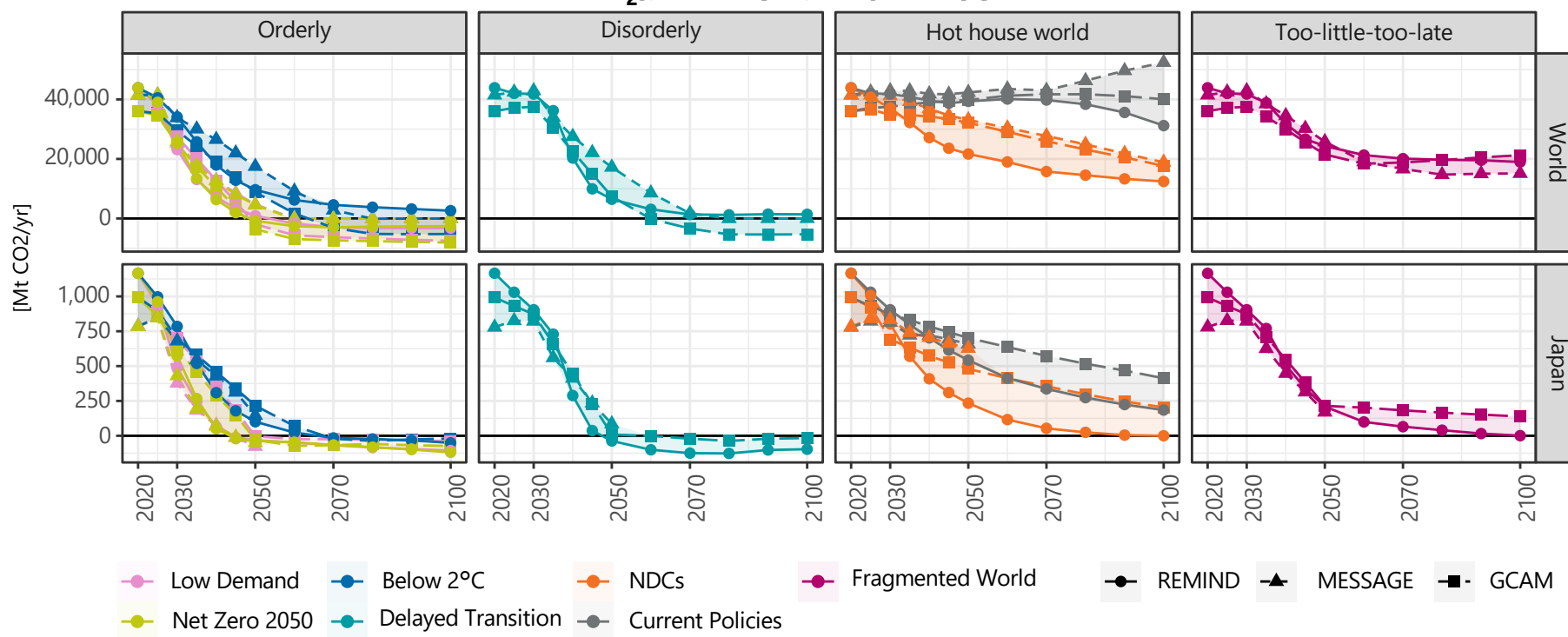
- 炭素価格（シャドウプライス）

次頁から①～④の順に解説

CO₂排出量

- 今世紀末の温度上昇が1.5℃未満となる「Net Zero 2050」「Low Demand」はいずれも、2050年までに世界全体のCO₂排出量がネットゼロとなり、その後は2100年までにゼロ～マイナス排出となった。両シナリオ間のCO₂排出量は、ほぼ同じであった。
- 温度上昇が1.5℃を超えるシナリオのうち「Delayed Transition」は、世界全体とは異なり、日本のCO₂排出量は2050年までにネットゼロとなった。
- 「Fragmented World」では、世界全体のCO₂排出量は2050年まで概ね半減となった。日本では、2050年までは2℃未満シナリオに近く、2050年にはゼロ近傍～200MtCO₂eとなるが、その後は2℃未満シナリオとは異なり、2050年以降も排出が残った。

CO₂排出量（世界全体・日本）



CO₂排出量（部門別）

- 2020年時点で部門別排出量の最も大きな割合を占める電力は、移行シナリオ（Orderly及びDisorderly）では2050年の時点でゼロ～マイナス排出となり、運輸部門や産業部門では残余排出が確認された。
- 「Low Demand」と「Net Zero 2050」を比較すると、2050年時点の部門別排出量の構成に大きな違いは確認できなかった。

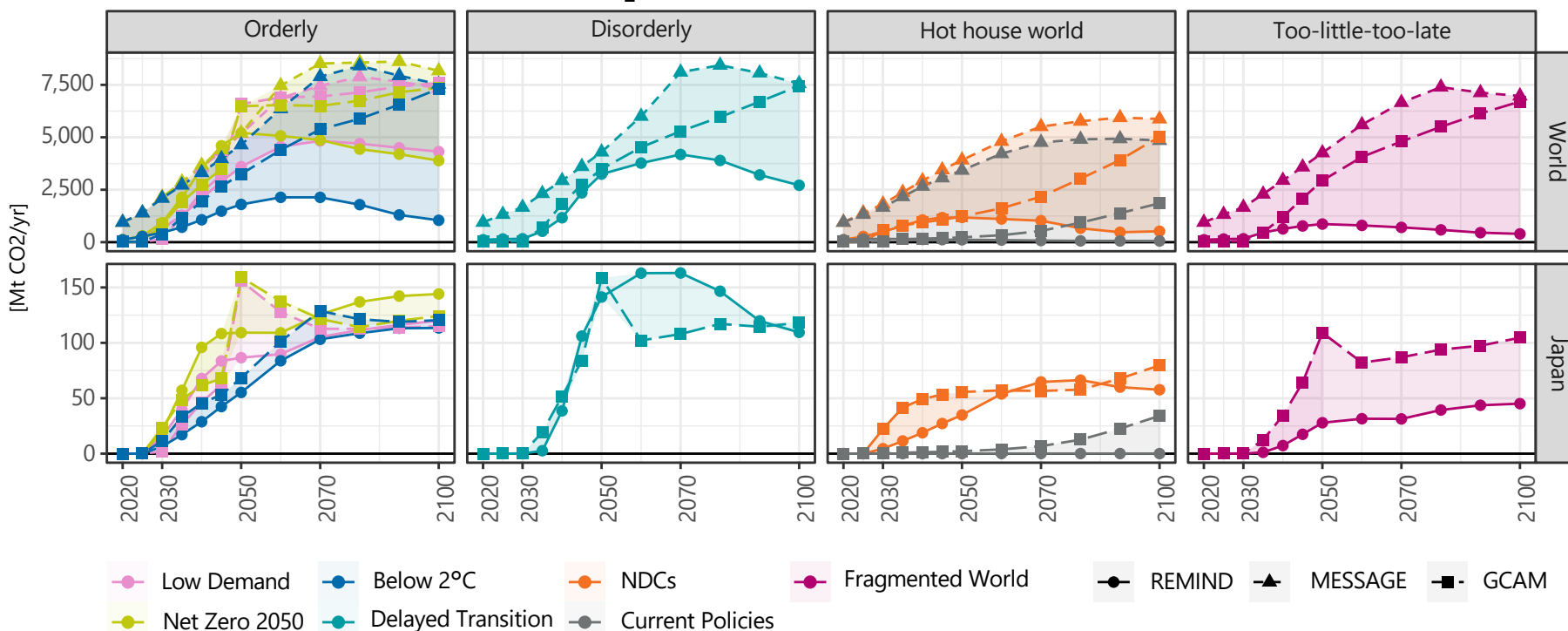
CO₂排出量（部門別、世界全体・日本）



CO₂除去量（BECCS+植林）*1

- 移行シナリオ（Orderly及びDisorderly）では、温暖化シナリオ（Hot house world）よりもCO₂除去量が多く、世界全体・日本の両方で、排出削減目標におけるCO₂除去の役割が確認された。
- 多くのシナリオ・IAMで、CO₂除去量は2050年以降も増加傾向にあり、温度目標を所与とした場合、今世紀後半も引き続きCO₂除去が必要となることが示唆された。
- ただし、REMINDの一部のシナリオでは、今世紀中頃にCO₂除去量がピークとなり、2100年に向けて徐々に減少する傾向が確認された。MESSAGEでは、温暖化水準に関わらず一定のCO₂除去が確認された。

CO₂除去量（世界全体・日本）

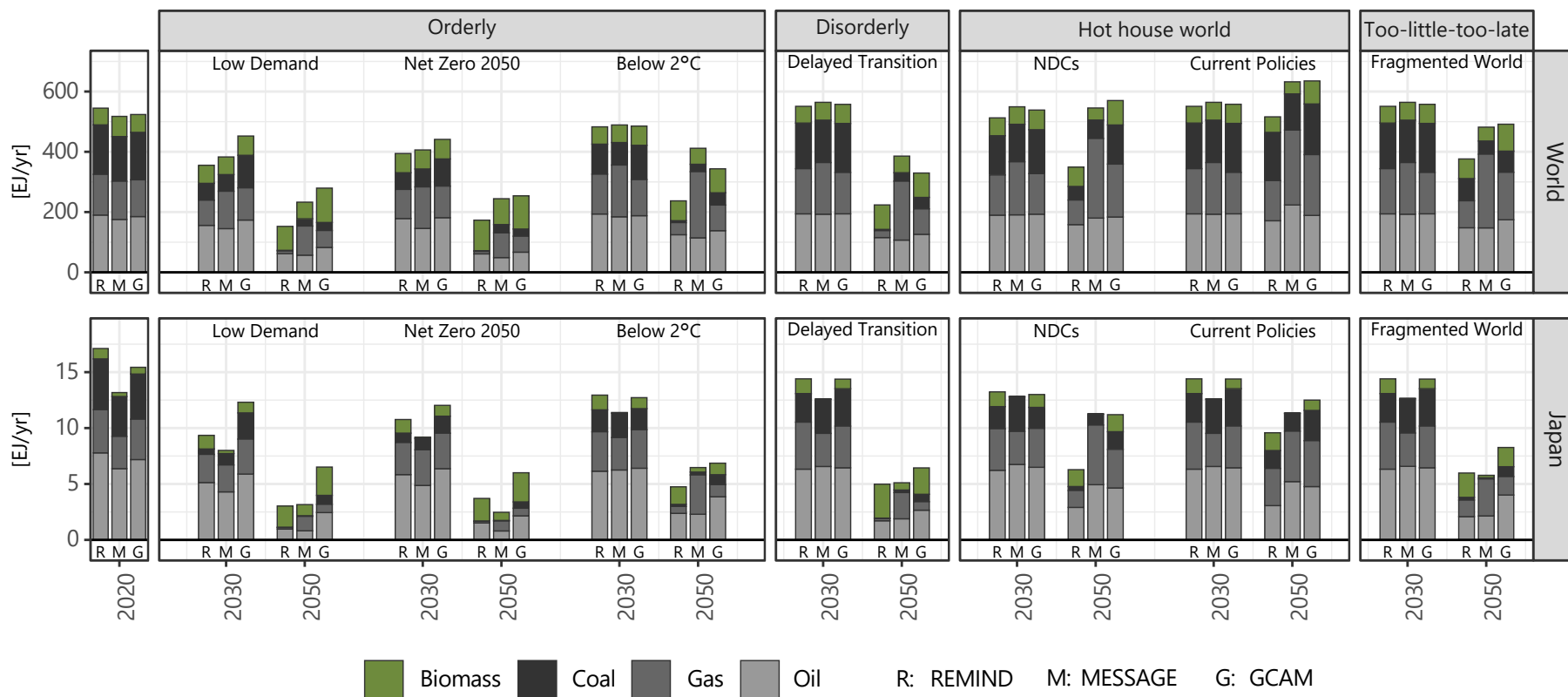


*1 IPCC (2021)は炭素除去を「大気からCO₂を除去し、地中・陸域・海域の貯留地もしくは製品に長期的に貯留する人為的な活動」と定義。ここでは、BECCS（バイオエネルギー + CCS）と植林の量を合計した

一次エネルギー供給

- 一次エネルギー供給（化石燃料及びバイオマス）は、世界全体・日本のいずれにおいても、排出削減が進むシナリオほど減少し、移行シナリオ（Orderly及びDisorderly）では、2050年までに石炭はほぼゼロまで減少した。一方、天然ガスと石油の減少幅は小さく、ネットゼロ排出を達成するシナリオであっても、2050年時点で一定量が残ることが確認された。
- バイオマスの供給量は2050年までに増加する傾向が認められた。

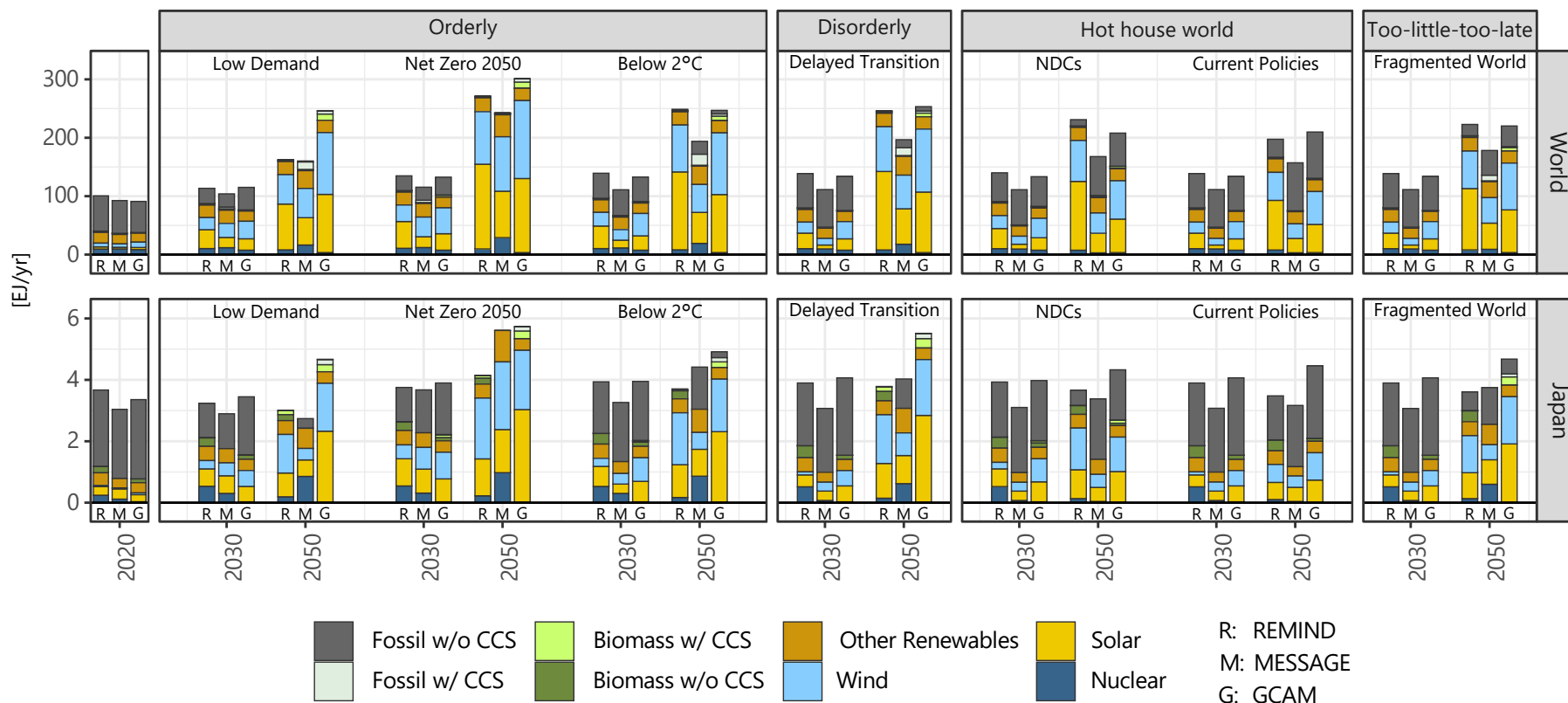
一次エネルギー供給（世界全体・日本）



二次エネルギー供給（電力）

- 電力の供給量は世界全体・日本のいずれのシナリオでも2050年にかけて増加し、化石燃料の減少とともに、風力と太陽*1を中心に、再生可能エネルギーの割合が増加した。この傾向は、排出削減が進むシナリオほど顕著で、「Net Zero 2050」シナリオでは、2050年時点で風力と太陽が大半を占めることが確認できる。

二次エネルギー供給（電力）（世界全体・日本）

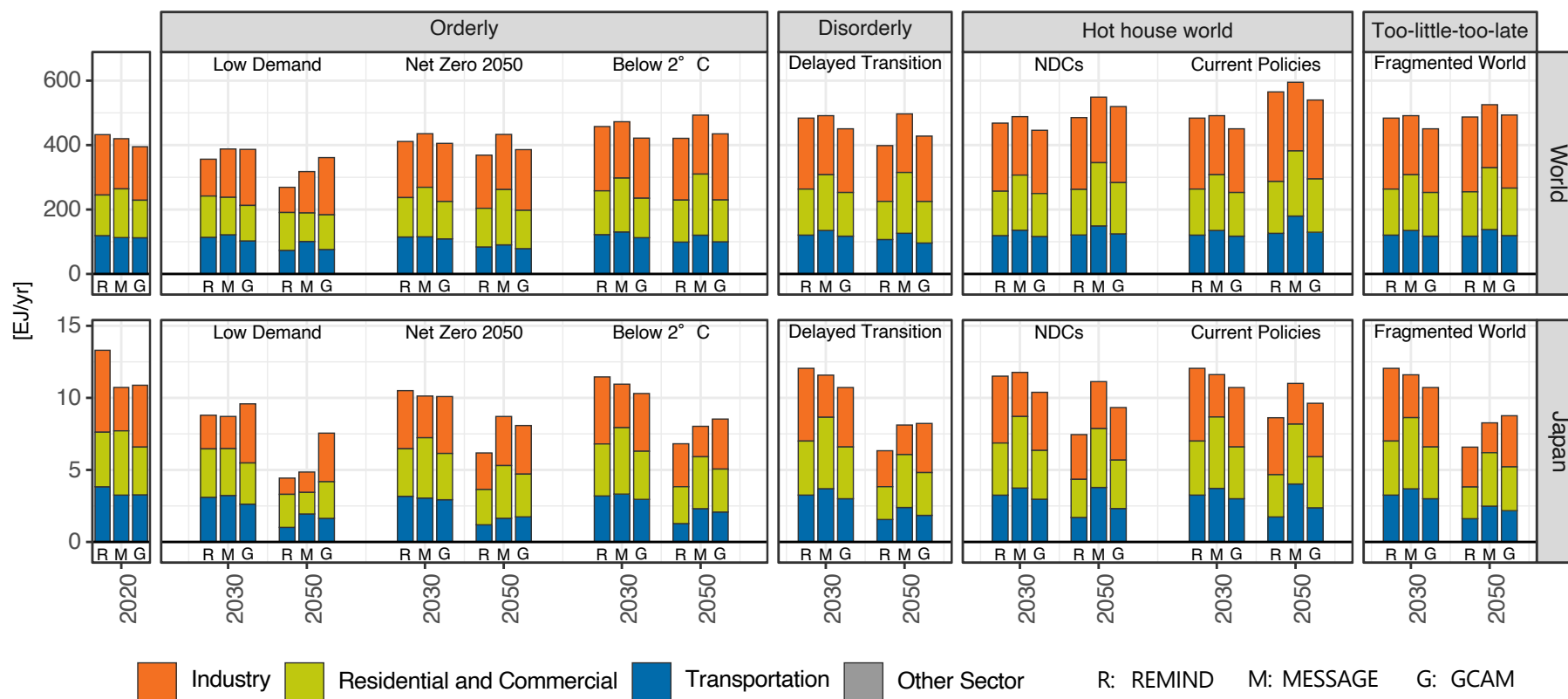


*1 「太陽」には太陽光発電（PV）と集光型太陽熱発電（CSP）の両方が含まれるが、REMINDとMESSAGEでは大半がPVである。一方、GCAMでは世界全体・日本ともに大半がCSPとなっているが、日本におけるCSPの導入ポテンシャルは限られることから、再エネ供給量が過大に評価されていると考えられる（参考：金融庁2022, 2023）

最終エネルギー消費（部門別）

- 「NDCs」「Current Policies」と比較して「Low Demand」「Net Zero 2050」「Below 2°C」は、世界全体・日本のいずれにおいても、最終エネルギー消費がやや小さく、排出削減とともに経済全体でエネルギー効率が向上していることが示唆された。

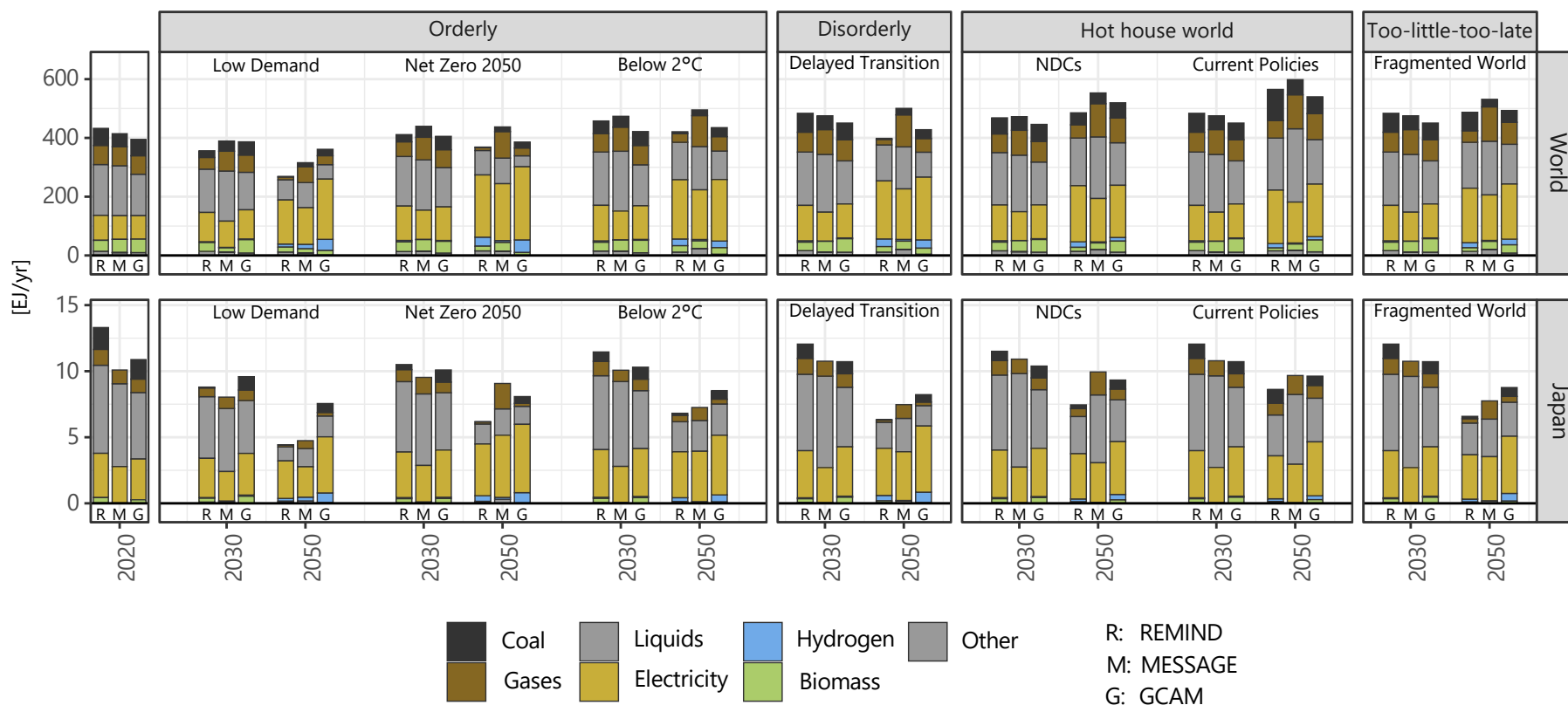
最終エネルギー消費（部門別）（世界全体・日本）



最終エネルギー消費（エネルギー源別）

- 「NDCs」「Current Policies」と比較して、排出削減が進むシナリオでは、世界全体・日本のいずれにおいても、最終エネルギー消費が少なく、電力の割合が増加していることが確認できる。電力の脱炭素化（P.18）と最終エネルギー需要の電化が同時に進むことにより、エネルギー起源の排出削減が進むことが示唆された。

最終エネルギー消費（エネルギー源別）（世界全体・日本）*1



*1 MESSAGEでは数値が報告されていない年があり、前頁と合計の数値が合わない箇所がある

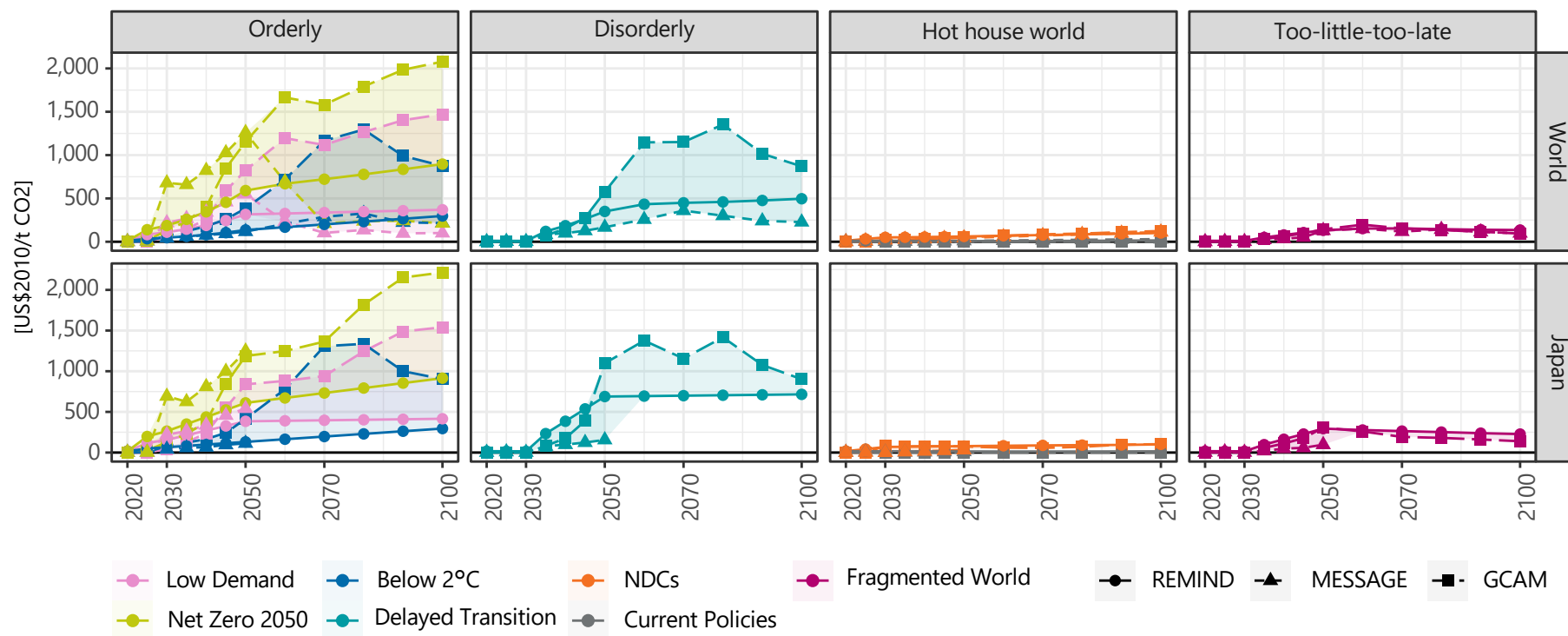
- ## エネルギー関連の投資額（電力）（世界全体・日本）



炭素価格（シャドウプライス）

- NGFSシナリオ第四版で報告される炭素価格は、温室効果ガスの排出削減対策のコストを表す炭素のシャドウプライスとして、統合評価モデルによって事後的に計算される。
- 今世紀末の温度上昇が低いシナリオほど炭素価格が高い傾向があり、温度上昇が1.5°C未満に留まるシナリオ（Net Zero 2050及びLow Demand）では、世界全体及び日本で、2050年時点で300～1,200US\$、2100年には最大で2,000US\$以上まで上昇した。ただし、IAM間の差が大きく、炭素価格の水準の予想には大きな不確実性が伴うことを見て取れる。

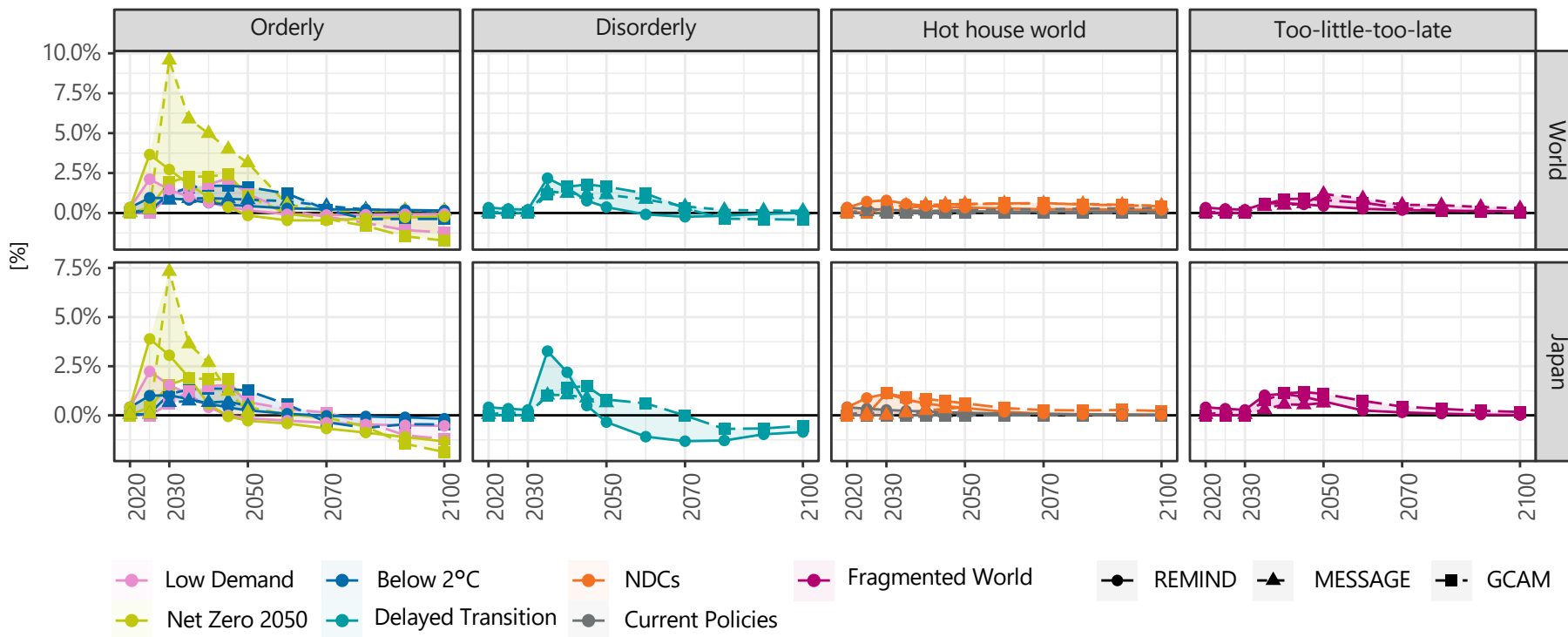
炭素のシャドウプライス（世界全体・日本）



GDPに占めるカーボンプライシングの負担割合

- 前頁の炭素価格（シャドウプライス）の水準でカーボンプライシングを賦課した場合、「Net Zero 2050」では、世界全体・日本のいずれにおいても、REMINDとMESSAGEで2025～2030年にGDPに占める割合が増加した。2030年以降は、2050年までに排出量がゼロに向かうため、炭素価格の水準が上昇しても経済全体で見ればカーボンプライシングの負担は縮小する傾向が認められた*1。
- 排出削減が遅い「Below 2°C」「Delayed Transition」では、GDPに占めるカーボンプライシングの影響は、比較的長期間、持続する傾向が認められた。

GDPに占めるカーボンプライシングの負担割合（世界全体・日本）



*1 一部シナリオでは2050年以降に負担割合がマイナスとなるが、これは排出量がマイナスとなっているためである。この影響は、後段のマクロ経済評価において、Orderlyシナリオ（カーボンプライシングによる政府収入の半分以上を政府投資によって還元する）における政府投資がベースラインに対して僅かにマイナスになるといった形で現れる（P.77, 82）

シナリオ第四版の特徴

① CO₂排出 ／除去

- 今世紀末の温度上昇が1.5°C未満となる「Low Demand」「Net Zero 2050」はいずれも、2050年までに世界全体・日本でCO₂排出量がネットゼロとなり、その後はゼロ～マイナス排出となった。2050年時点では、運輸部門や産業部門に残余排出が確認され、電力部門や土地利用がマイナス排出となった。
- 地域間の分断を想定する「Fragmented World」では、世界全体のCO₂排出は半減であったのに対し、日本は2050年までにほぼゼロに近い水準となった。
- 移行シナリオではいずれも2100年に向けてCO₂除去量が拡大したが、IAM間の差が大きく、除去技術に関する想定の不確実が大きいことが示唆された。

② エネルギー 供給 ／消費

- 一次エネルギー供給量は排出削減が進むほど減少したが、天然ガスと石油の減少幅は比較的小さく、代替が進みづらいことが示唆された。
- 電力（二次エネルギー）の供給量はいずれのシナリオでも増加し、特に「Net Zero 2050」では風力と太陽が大半を占めた。
- 最終エネルギー消費は排出削減が進むシナリオほど小さく、排出削減と合わせて経済全体でエネルギー効率が向上していることが示唆された。

③ エネルギー コスト

- 排出削減が進むシナリオほど電力への投資額は大きいですが、投資が拡大する時期や投資額はIAMによって異なっていた。いずれのシナリオでも、送配電が最も大きな割合を占めた。

④ 政策コスト

- 排出削減が進むほど炭素価格（シャドウプライス）は増加した。
- 「Net Zero 2050」では、2025～2030年にGDPに占めるカーボンプライシング負担が増加し、その後は排出削減の進展によって減少した。

2. 移行リスクに係る統合評価モデルの概要

2.1 シナリオ第四版の主要変数の特徴整理

▶ 2.2 シナリオ第三版との比較に基づくシナリオ第四版の特徴整理

2.3 シナリオ第四版で追加されたシナリオの特徴整理

シナリオ第三版との比較

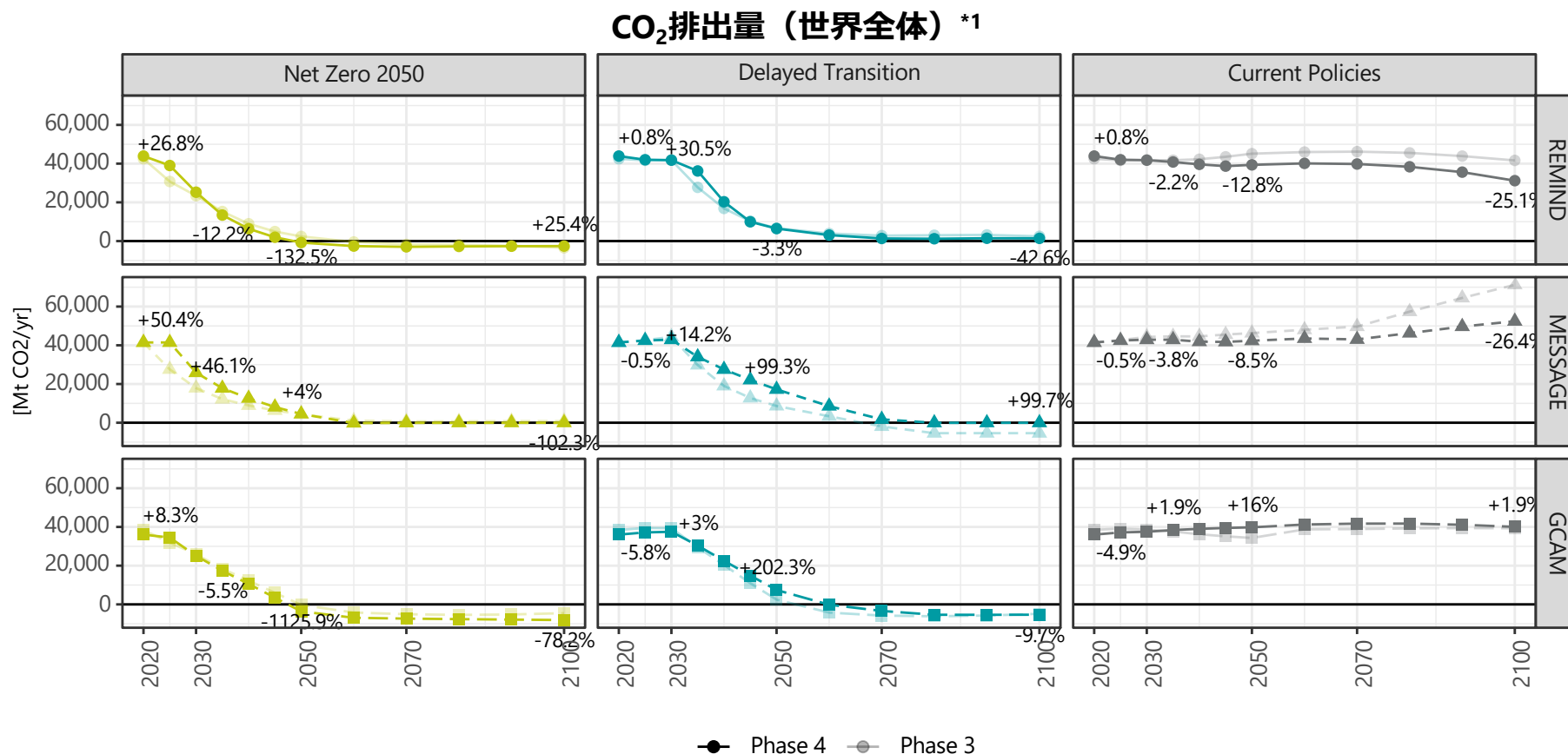
- NGFSシナリオ第四版では、シナリオ第三版公表後の最新の経済情勢が反映されたことに加え、炭素除去技術の導入可能量の想定が見直された*1。本セクションでは、これらの関連する変数を中心に、シナリオ第三版との比較を行う。

変化の要因	概要	本セクションで取り上げる変数
① 最新の状況の反映	ポストコロナの経済回復により、2022年の化石燃料関連のCO ₂ 排出量は、2019年と同水準まで回復し、足元の排出量が増加した。一方、ウクライナ危機を受け、ロシアから欧州への天然ガスの供給が制約されたことにより、世界全体でエネルギーの供給が減少した。	• CO ₂ 排出量
② 炭素除去技術に関する想定の見直し	炭素除去技術（BECCS）の導入可能量が制限され、空气中CO ₂ 回収・貯留（DACCS）は明示的に考慮しないこととした。	• CO ₂ 除去量
③ 前提条件の見直しに伴う変数への影響	足元の排出量が増加することより、温度上昇を一定に抑えるためにより多くの排出削減の努力が必要となる。	• 炭素価格

*1 NGFS (2023b)

CO₂排出量

- 技術文書の記載通り、ポストコロナの経済回復により、REMINDとMESSAGEでは2025～2050年頃まで、第三版よりもCO₂排出量が増加する傾向が認められた。
- 逆に、現行政策の継続を想定する「Current Policies」では、最新の政策（～2023年3月）が反映されたことにより、中長期的な排出量は第三版よりも減少する傾向が認められた。

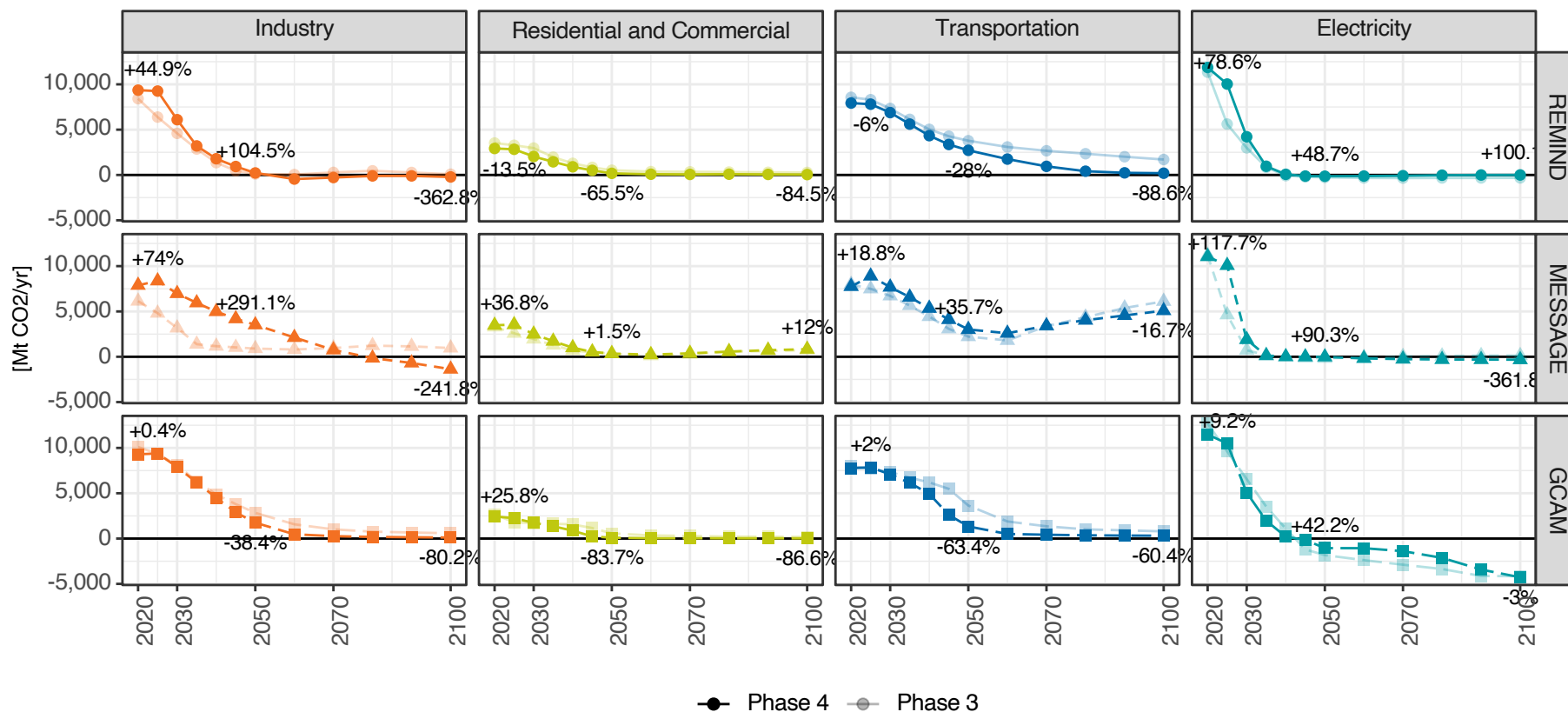


*1 図中の数字は第三版→第四版の変化率を示す

CO₂排出量（Net Zero 2050・部門別）

- 前頁で確認された第三版から第四版のCO₂排出量の違いを部門別に検証した。
- REMINDとMESSAGEでは、産業部門と電力部門で2025年時点の排出量が大幅に増加した。これらの部門では、足元の情勢を踏まえた排出量の見直しが行われたことが確認された。
- 運輸部門では、REMINDとGCAMで排出量が減少した。

CO₂排出量（Net Zero 2050・部門別・世界全体）*1

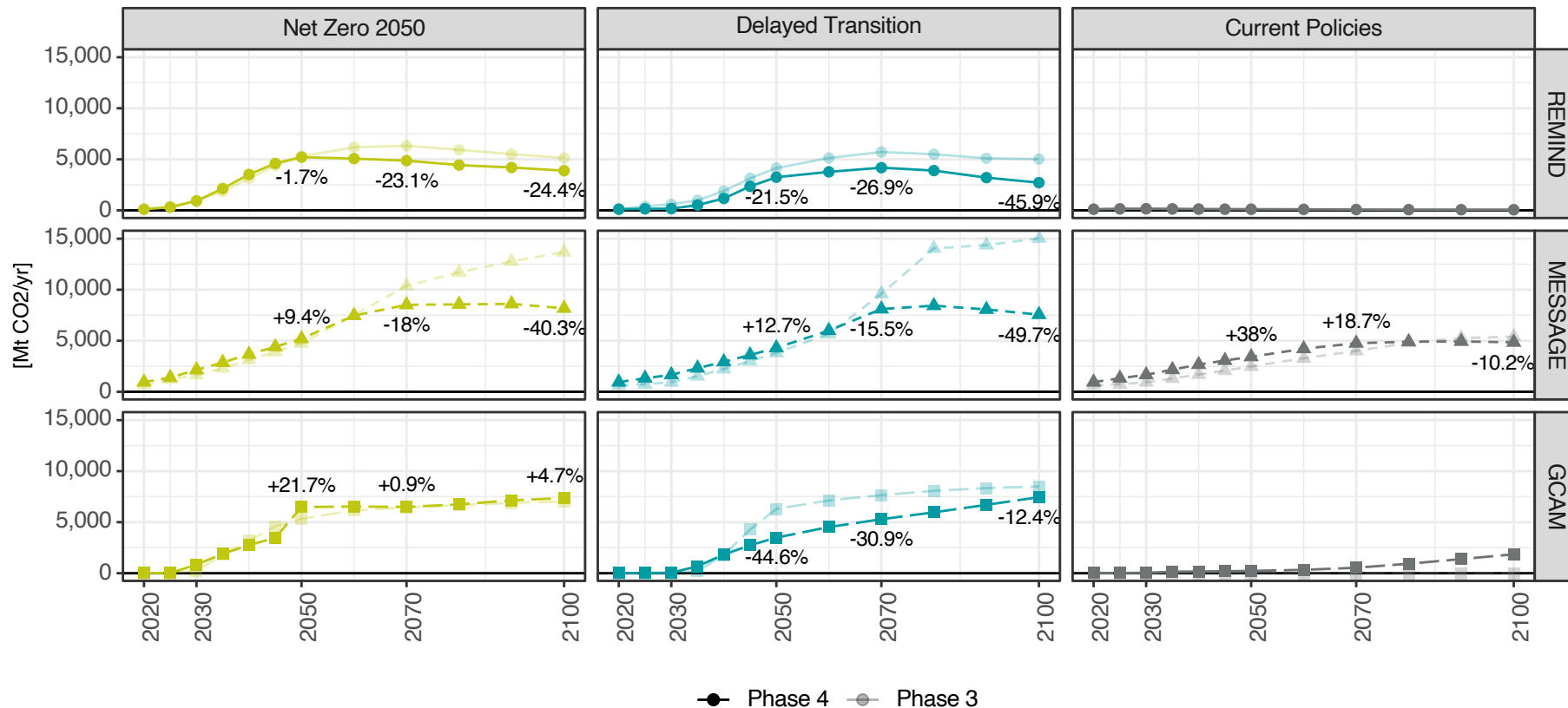


*1 図中の数字は第三版→第四版の変化率を示す

CO₂除去量

- 技術文書によればシナリオ第四版ではCO₂除去技術の導入量が見直されたと記載されている。実際に、REMINDとMESSAGEでは第三版と比較して除去量が減少したことが確認された。また、REMINDとMESSAGEでは、除去量の減少幅は2050年よりも2100年の方が大きかった。

CO₂除去量（世界全体）*1

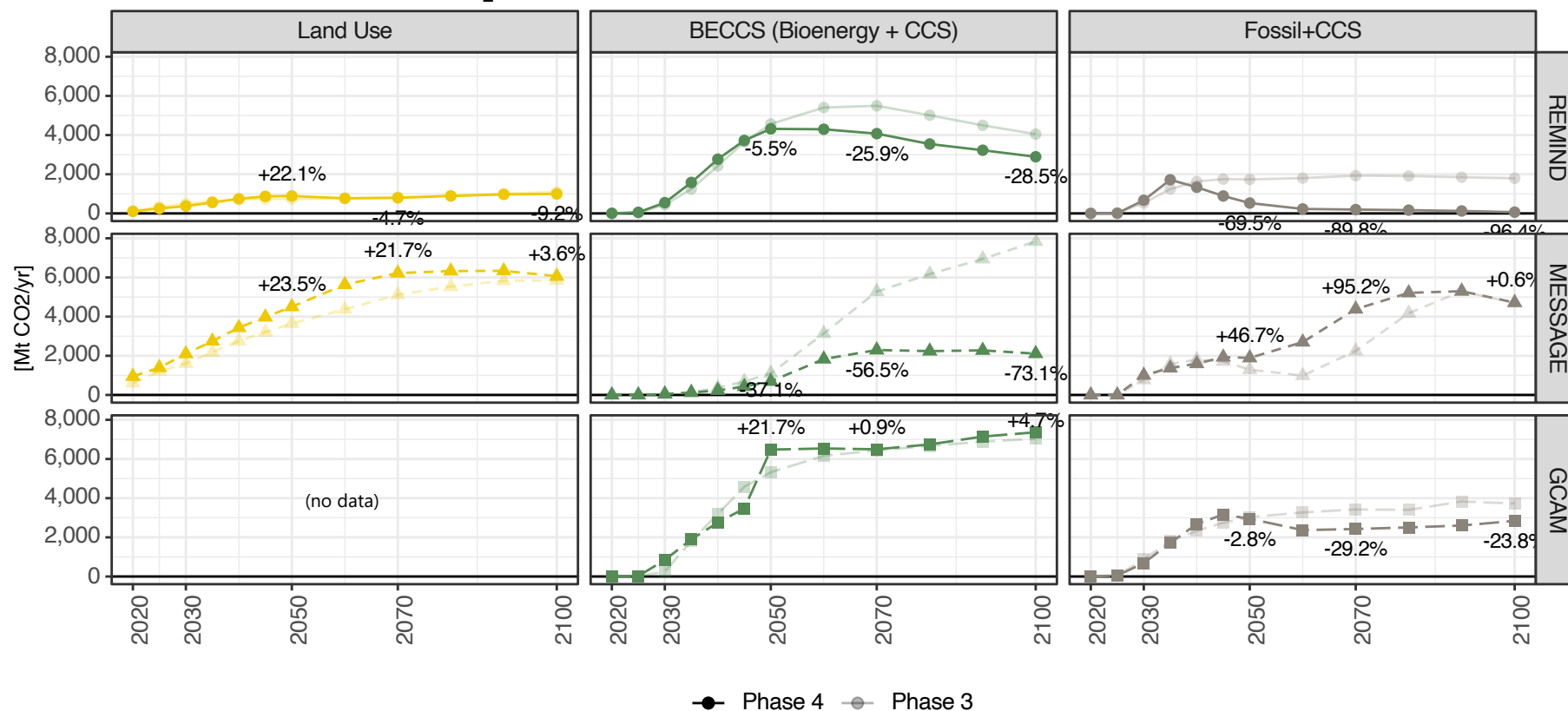


*1 図中の数字は第三版→第四版の変化率を示す

CO₂除去量（Net Zero 2050・部門別）

- 第三版と比較して第四版では、CO₂除去量が大きく減少した。
- 化石燃料+CCSを含め、第四版では、CO₂除去技術に関する想定が保守的となったことが確認された。

CO₂除去量（Net Zero 2050・部門別・世界全体）*1

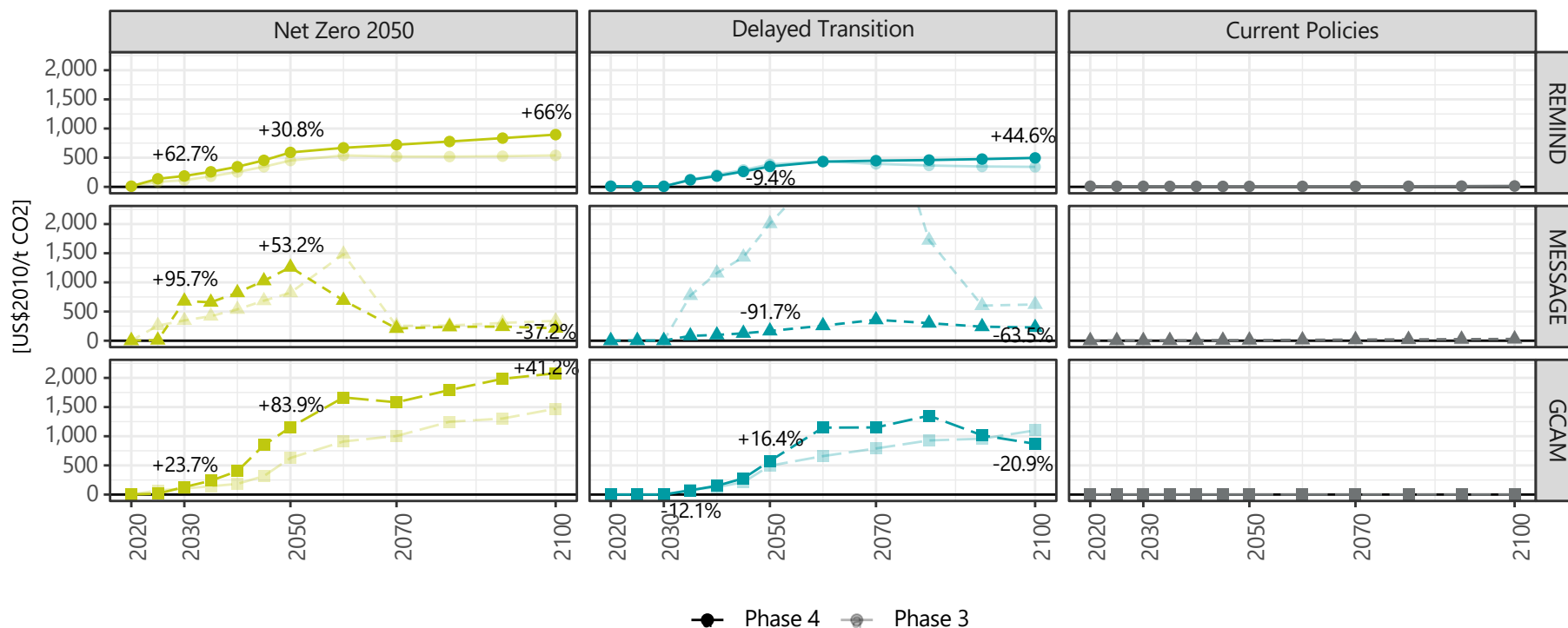


*1 図中の数字は第三版→第四版の変化率を示す

炭素価格（シャドウプライス）

- 排出削減が進むシナリオ（Net Zero 2050及びDelayed Transition）のうち、REMINDとGCAMではほぼ一貫して、第四版の方が炭素価格が高い傾向が認められた。第三版から第四版にかけて足元の排出量が増加し、炭素除去技術の利用可能量が減少したことによる排出削減コストの上昇を反映したものと考えられる。
- 一方、MESSAGEでは、第四版のほうが炭素価格の最大値が小さかった。全体として、第三版と比較して第四版は、将来の炭素価格の想定に関する不確実性の幅（IAM間の値の幅）がやや縮小したと評価できる。

炭素のシャドウプライス（世界全体）*1

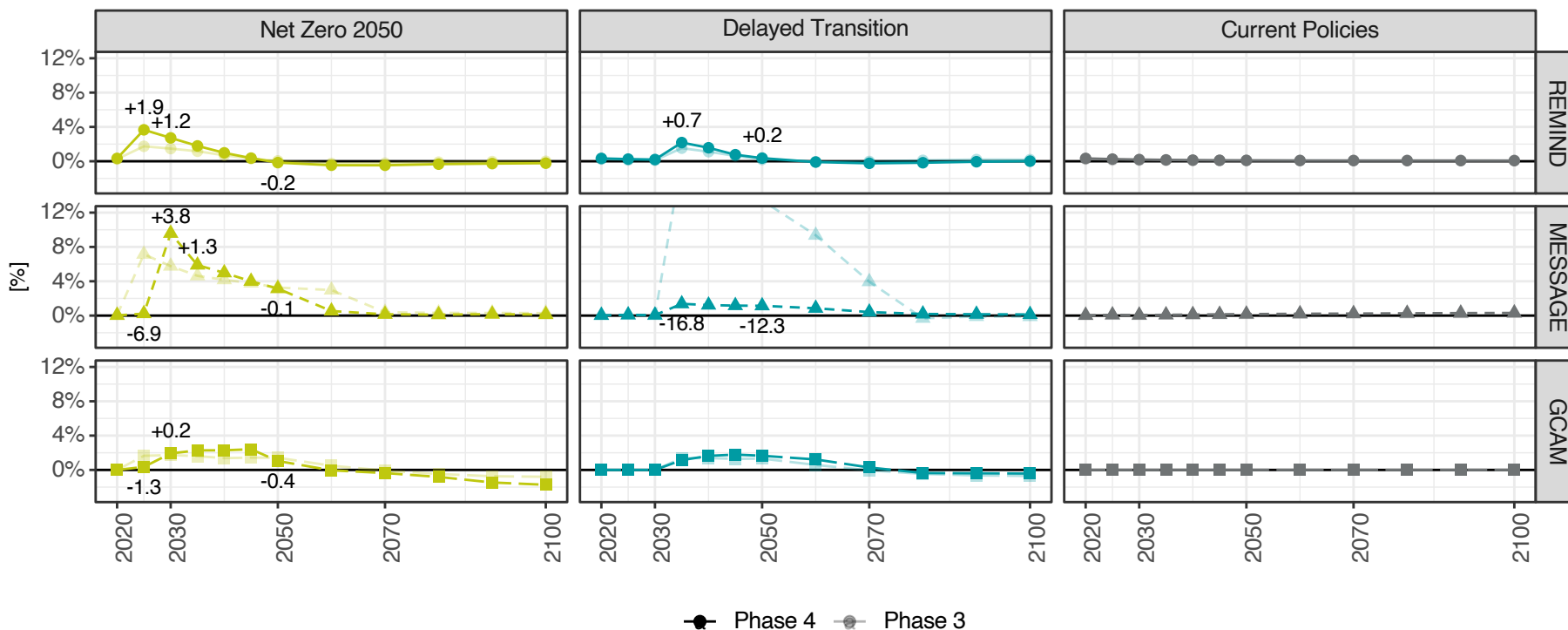


*1 図中の数字は第三版→第四版の変化率を示す

GDPに占めるカーボンプライシングの負担割合

- 炭素価格（シャドウプライス）の水準で炭素排出にカーボンプライシングを賦課した場合、「Net Zero 2050」では、2025～2030年のピーク時点でGDPに占めるカーボンプライシングの負担割合は、第四版の方が大きかった。足元の排出削減の遅れの影響を反映し、カーボンプライシングによる短期的なショックは第四版の方が大きいことが示唆される。

GDPに占めるカーボンプライシングの負担割合（世界全体）*1

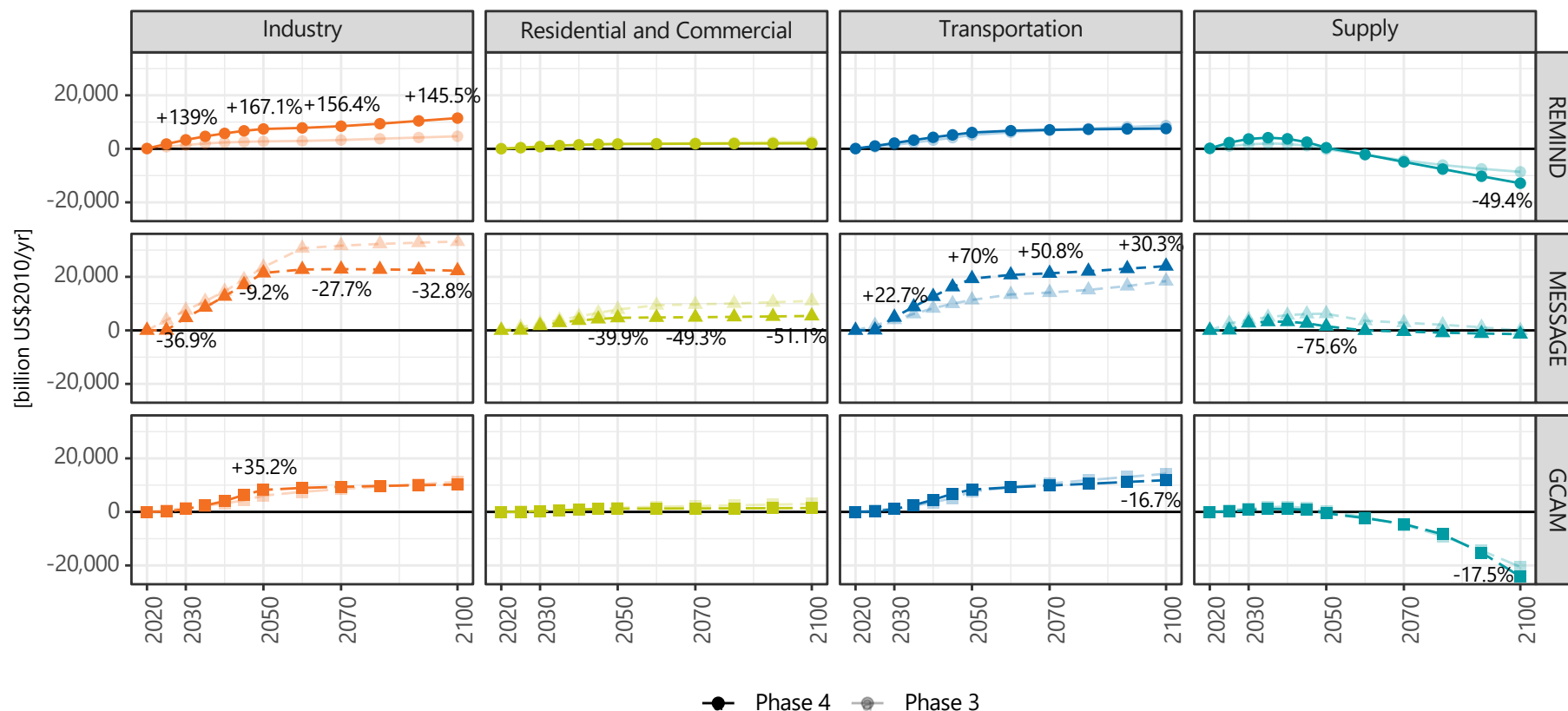


*1 図中の数字は第三版→第四版の変化量を示す

部門別のカーボンプライシング負担（Net Zero 2050）

- 部門別のカーボンプライシング負担はシナリオによって異なっていたが、削減困難部門とされる産業や運輸では今世紀後半にかけて負担の総額が上昇する傾向が認められた。
- 部門別の負担の大きさや第三版からの差に一定の傾向はなく、REMINDでは、第四版で産業部門の負担が大きくなっていた一方、MESSAGEでは産業部門の負担が減少し、運輸部門の負担が増加した。

部門別の炭素価格負担（Net Zero 2050・世界全体）*1



*1 図中の数字は第三版→第四版の変化率を示す

第三版と比較に基づくシナリオ第四版の特徴

① 最新の状況の反映

- 足元の排出削減の見直しにより、「Net Zero 2050」では、2025～2030年時点の排出量が第三版よりも増加した。逆に、各国の最新の政策（～2023年3月）を反映したことにより、「Current Policies」の排出量は長期的に減少した。
- 足元の排出削減の見直しによって特に排出量の増加が認められたのは、産業部門と電力部門であった。

② 炭素除去技術に関する想定の見直し

- 第三版から第四版にかけて、炭素除去技術の見直しが図られた。ただし、CO₂除去量の減少は2050年以降に顕著であった。「Net Zero 2050」では2050年までにCO₂排出量がネットゼロとなるが、2050年時点のネット排出量に対する炭素除去の影響は大きくないと考えられた。
- BECCSだけでなく化石燃料+CCSの量も大幅に減少した。全体として、CO₂貯留のポテンシャルが保守的に見直されたことが確認された。

③ 前提条件の見直しに伴う変数への影響

- 第三版から第四版にかけて、炭素価格（シャドウプライス）の上昇が確認された。足元の排出量の増加と排出削減の遅れに加えて、将来の除去技術の見直しによって、排出削減にかかると想定されるコストが中長期的に上昇したことが確認された。
- GDPに占めるカーボンプライシングの負担割合は、特に「Net Zero 2050」で第三版から増加した。第三版から第四版にかけて、経済全体で、2050年ネットゼロの達成困難度が増加したことが示唆された。^{*1}

^{*1} NGFS(2023a)は、第四版では「気候変動の政策の遅れとウクライナ戦争後のエネルギー危機を受け、OrderlyシナリオはよりDisorderlyになった」と記載している

2. 移行リスクに係る統合評価モデルの概要

2.1 シナリオ第四版の主要変数の特徴整理

2.2 シナリオ第三版との比較に基づくシナリオ第四版の特徴整理

▶ 2.3 シナリオ第四版で追加されたシナリオの特徴整理

新シナリオの特徴整理

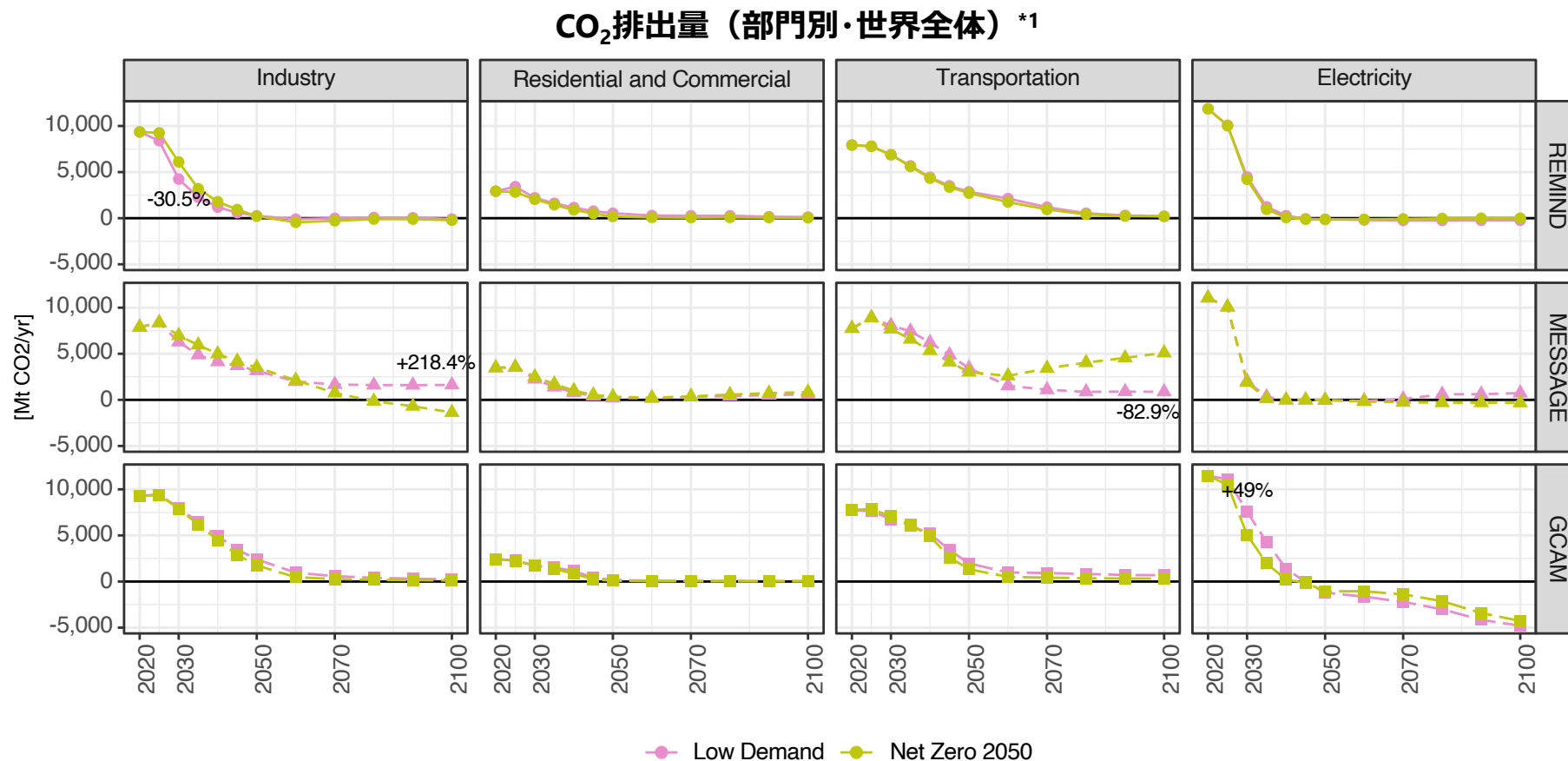
- NGFSシナリオ第四版では、新たなシナリオが2種類導入された。本セクションでは、CO₂排出量が近いシナリオとの比較を行い、これらのシナリオの特徴を整理した。

検討項目	概要	本セクションで取り上げる変数		
① Low Demand シナリオの検討	Net Zero 2050と比較してLow Demandシナリオは、ほぼ同程度のCO ₂ 排出量だが、炭素価格は低い水準にとどまっている。需要が削減される部門や需要削減による影響を検討する。	- CO₂排出量（部門別） - 最終エネルギー消費（部門別） - 生産量（産業部門）		
② Fragmented Worldシナリオの検討	地域によって政策導入の水準が異なることによる、影響を検討する。 ネットゼロ目標が設定されている国と目標年*1 （目標年の記載がない国は2050年） <table><tr><td> - EU - 英国 - ロシア（2060年） - 米国 - カナダ - 日本 - 韓国 - 中国（2060年） </td><td> - インド（2070年） - インドネシア（2060年） - 豪州 - ニュージーランド - アルゼンチン - ブラジル - コロンビア - 南アフリカ </td></tr></table>	- EU - 英国 - ロシア（2060年） - 米国 - カナダ - 日本 - 韓国 - 中国（2060年）	- インド（2070年） - インドネシア（2060年） - 豪州 - ニュージーランド - アルゼンチン - ブラジル - コロンビア - 南アフリカ	- CO₂排出量（部門別） - 炭素価格（地域別）
- EU - 英国 - ロシア（2060年） - 米国 - カナダ - 日本 - 韓国 - 中国（2060年）	- インド（2070年） - インドネシア（2060年） - 豪州 - ニュージーランド - アルゼンチン - ブラジル - コロンビア - 南アフリカ			

*1 NGFS (2023b) Table 38

CO₂排出量（部門別）

- 両シナリオ間で部門別のCO₂排出量に大きな違いは確認されなかったが、REMINDでは、産業部門の2030年時点の排出量が小さい、MESSAGEでは産業部門で2050年以降も排出が残余し続け、代わりに運輸部門の排出量が少ない等の違いが確認された。

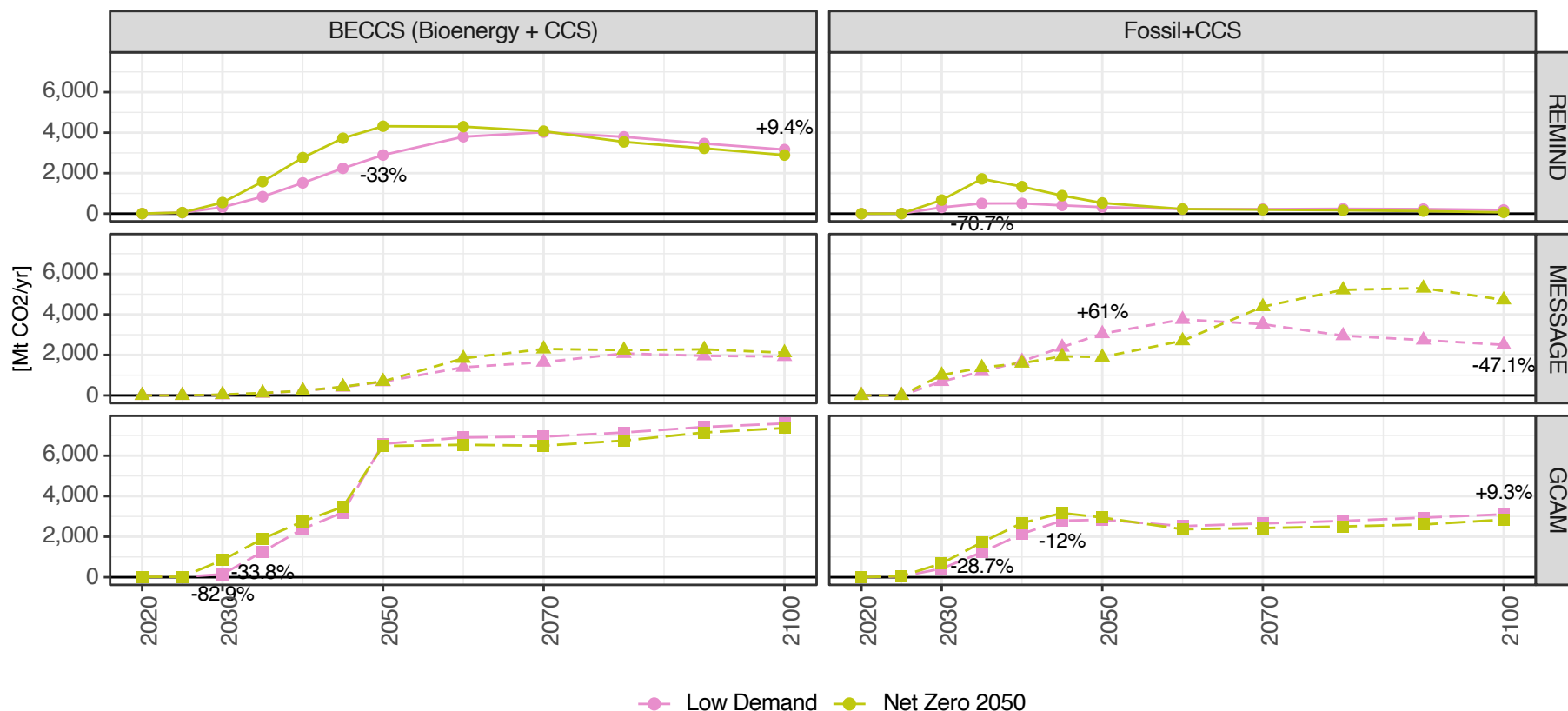


*1 図中の数字は、「Net Zero 2050」に対する「Low Demand」の変化率を示す

CO₂除去量

- REMINDでは、バイオエネルギー+CCS（BECCS）及び化石燃料+CCSによるCO₂除去量が、「Low Demand」で顕著に減少したことが確認された。一方、MESSAGEではBECCSの量はほとんど変わらず、化石燃料+CCSの量は、2050年時点では「Low Demand」の方が多かった。

CO₂除去量（技術別・世界全体）*1

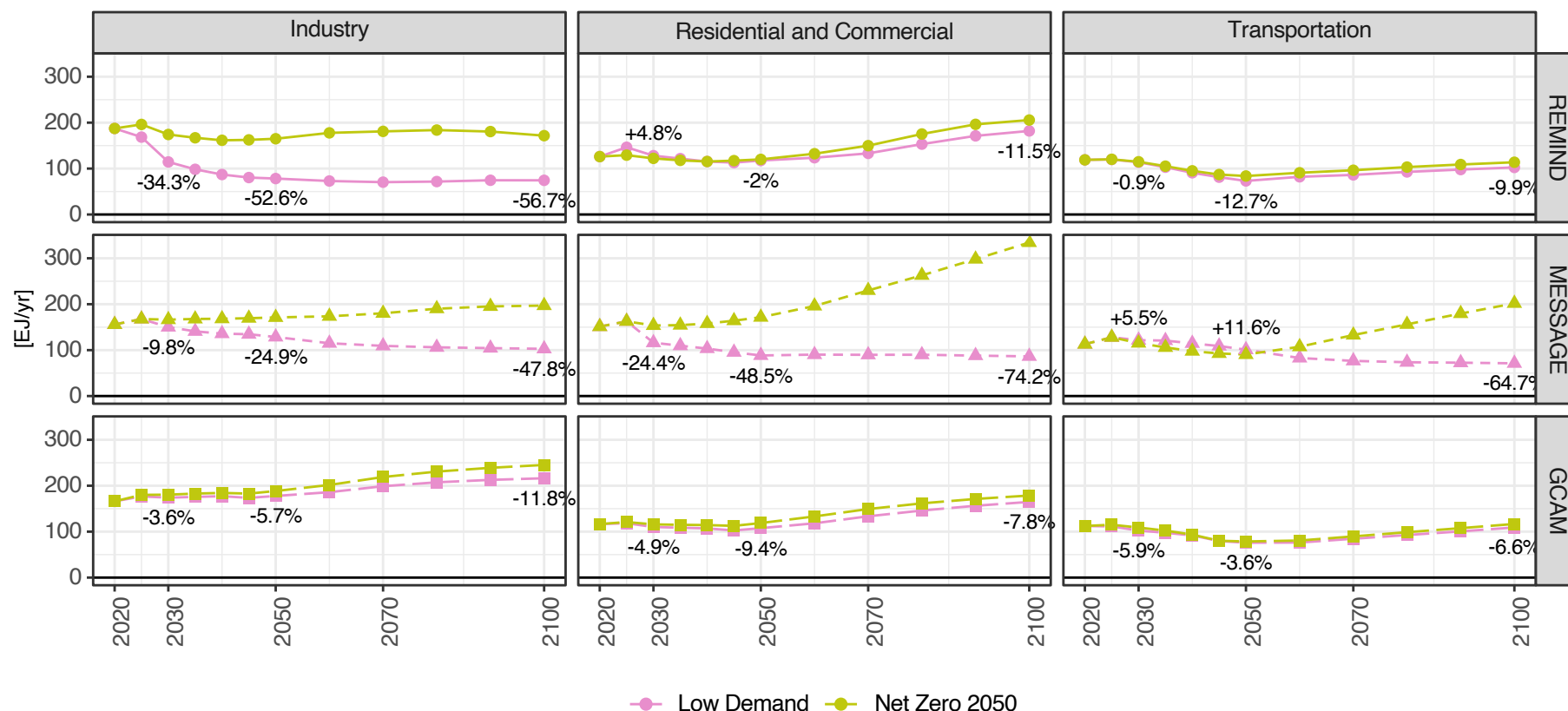


*1 図中の数字は、「Net Zero 2050」に対する「Low Demand」の変化率を示す

最終エネルギー消費（部門別）

- 最終エネルギー消費は、「Low Demand」で減少が確認された。
- REMINDでは産業部門、MESSAGEでは産業部門・民生部門・運輸部門で、エネルギー消費が顕著に減少した。

最終エネルギー消費（部門別）（世界全体）*1

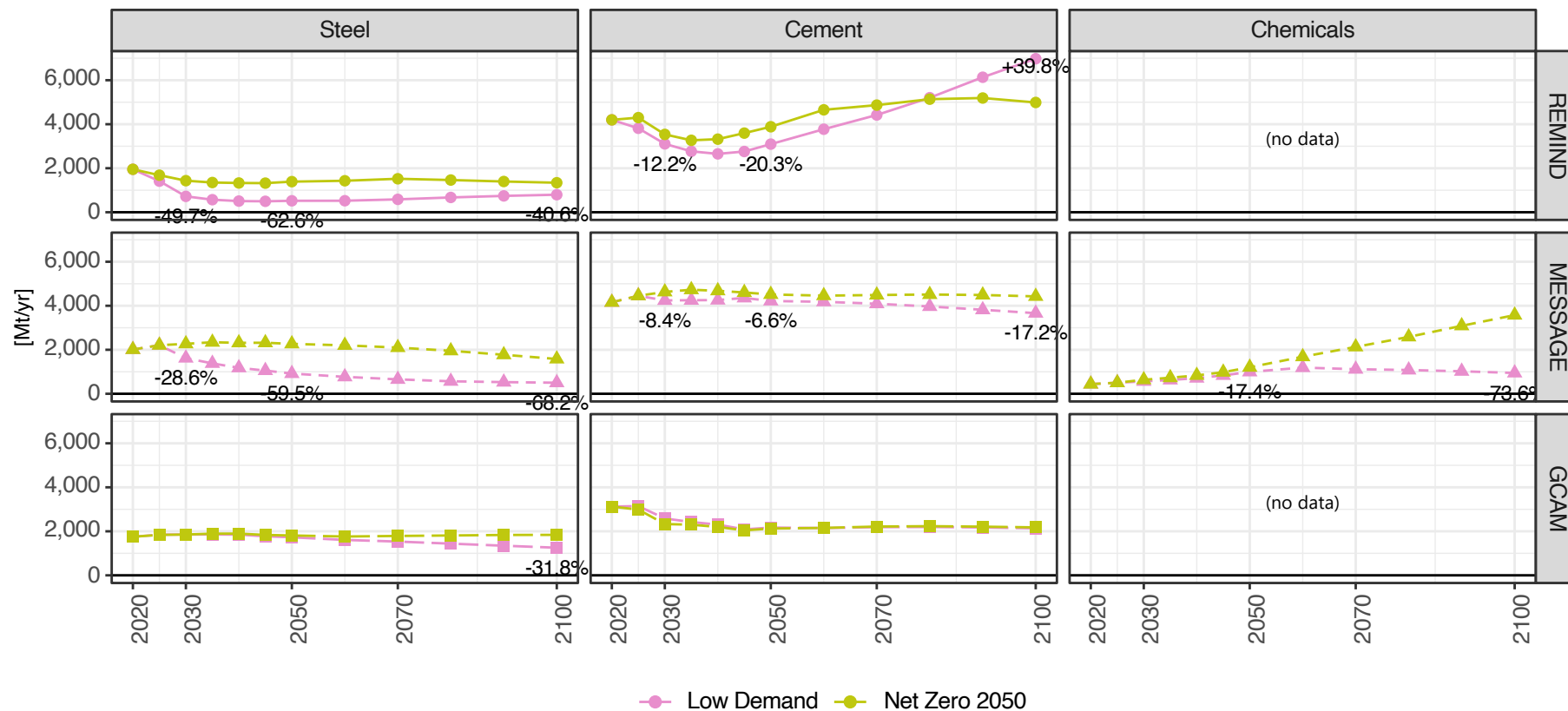


*1 図中の数字は、「Net Zero 2050」に対する「Low Demand」の変化率を示す

生産量（産業部門）

- REMINDとMESSAGEでは、産業部門の生産量が顕著に低下したことが確認された。

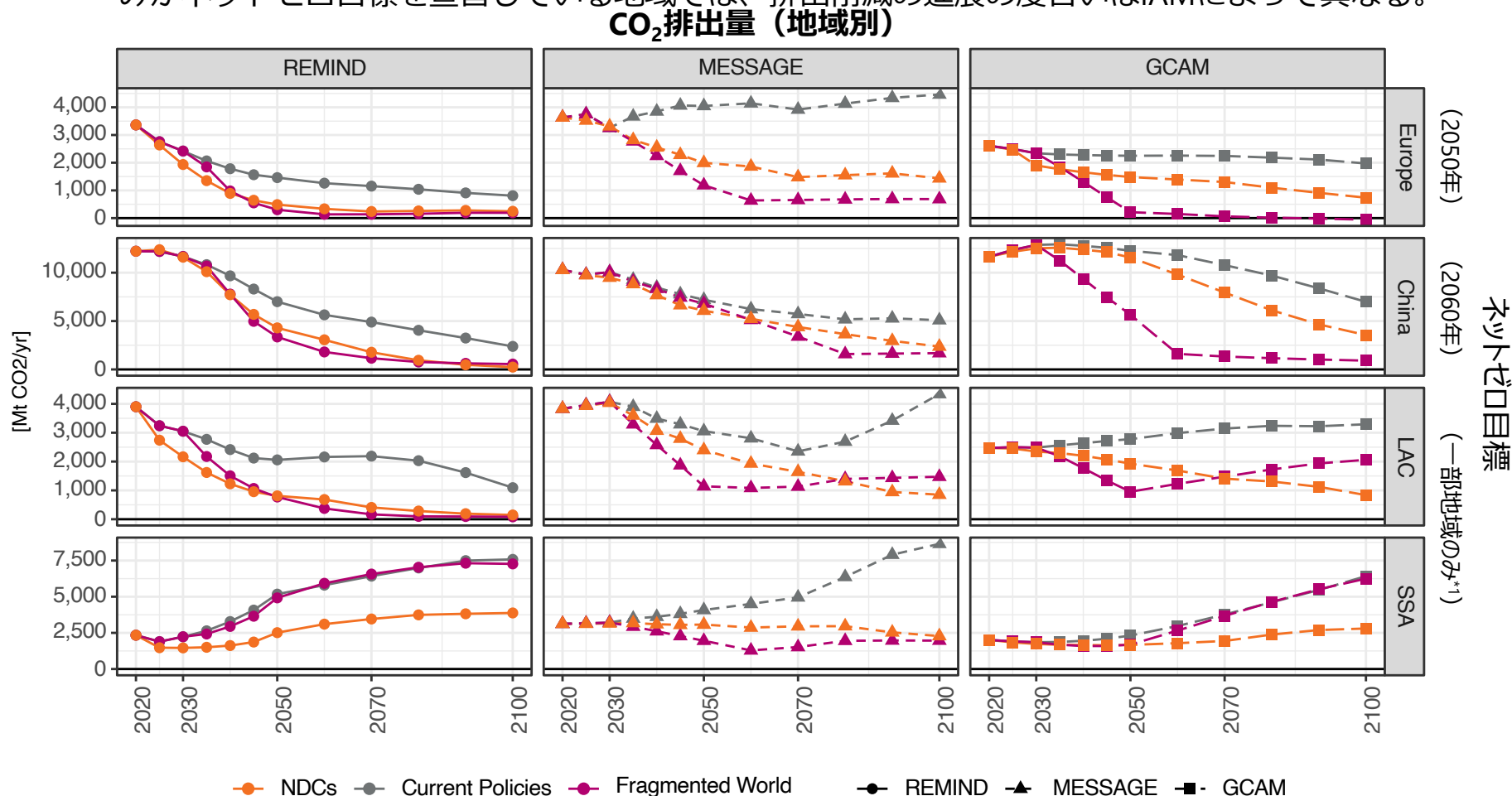
産業部門の生産量（世界全体）*1



*1 図中の数字は、「Net Zero 2050」に対する「Low Demand」の変化率を示す

CO₂排出量（地域別）

- 「Fragmented World」では、ネットゼロ目標を宣言している地域とそうでない地域で、異なる排出経路が設定されている。
- ネットゼロ目標を宣言した地域では「NDCs」と同等かそれ以上に排出削減が進むが、一部地域のみがネットゼロ目標を宣言している地域では、排出削減の進展の度合いはIAMによって異なる。

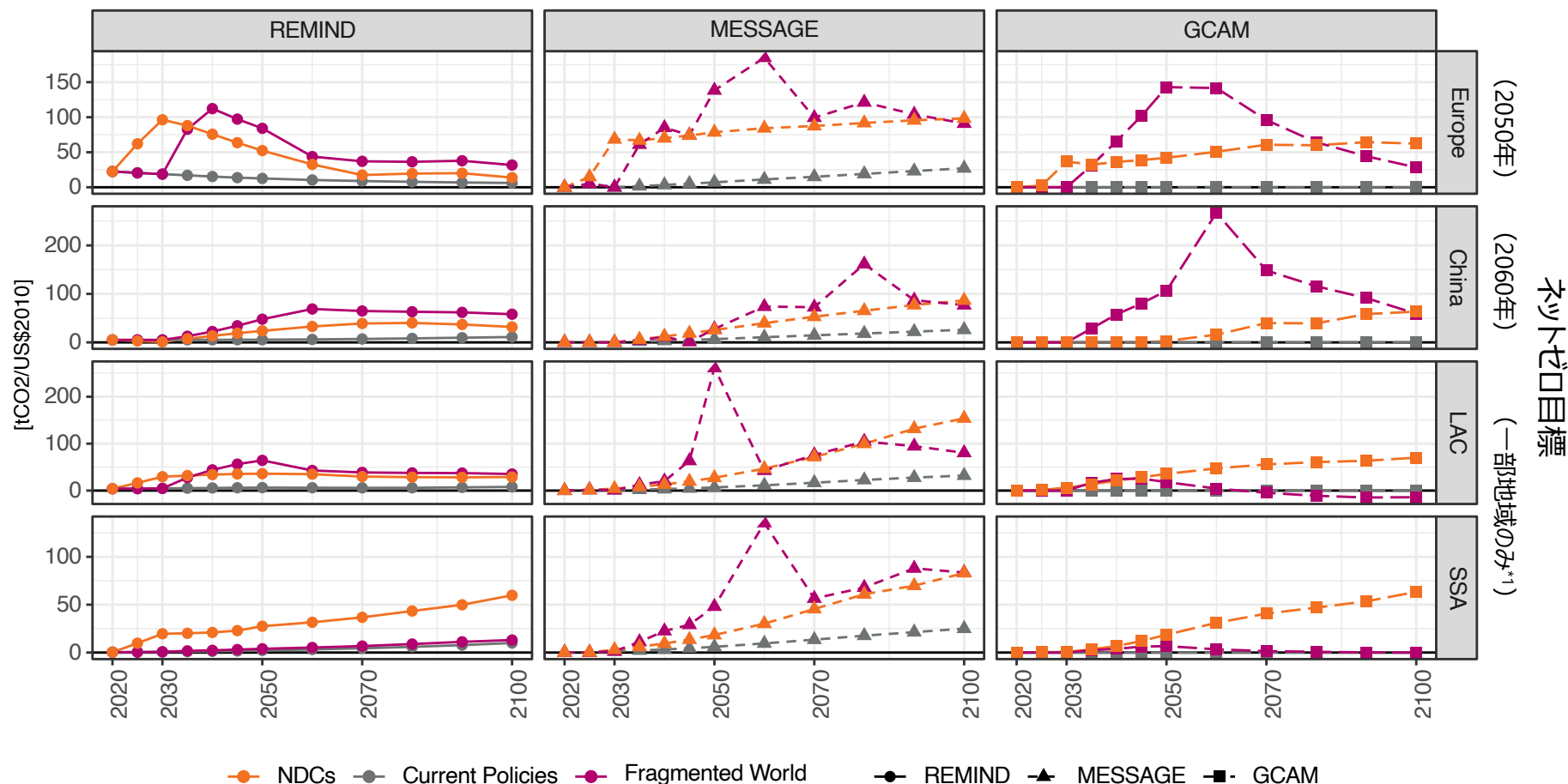


*1 LAC (Latin America and the Caribbean) : アルゼンチン・ブラジル・コロンビア (2050年) 、SSA (Sub-Saharan Africa) : 南アフリカ (2050年)

炭素価格（シャドウプライス）

- CO₂排出量と同じく炭素価格（シャドウプライス）は、ネットゼロ目標を宣言した地域では「NDCs」と同等かそれ以上であるが、一部地域のみがネットゼロ目標を宣言している地域では、IAMによって水準が異なる。

炭素価格（シャドウプライス）（地域別）



*1 LAC : アルゼンチン・ブラジル・コロンビア（いずれも2050年）、SSA : 南アフリカ（2050年）

シナリオ第四版で追加された新シナリオの特徴

① Low Demand シナリオの妥当性

- 「Net Zero 2050」よりも温度上昇が低いが、「行動変容による需要削減」によって、炭素価格（シャドウプライス）も低い水準に抑えられている。部門別にみると、REMINDでは産業部門、MESSAGEでは運輸部門で排出量が小さい。
- エネルギー需要の削減幅は産業部門で特に大きく、鉄鋼や化学といった多排出部門における生産量の減少に起因していることが示唆された。「Low Demand」は、多排出な一部の部門における「需要の削減」によって、「Net Zero 2050」を上回る排出削減を実現するシナリオであると解釈できる。
- 「Low Demand」では、全体として炭素価格の水準は低く抑えられているものの、需要の削減を通じた特定の部門に対する影響は炭素価格には反映されておらず、改善の余地があると考えられる（後段のマクロ経済影響評価では、「Low Demand」のデータが提供されていない）。

② Fragmented Worldシナリオの 影響

- ネットゼロ目標を宣言した地域とそれ以外の地域で、排出量や炭素価格の水準に差が認められた。
- ネットゼロ目標を宣言していない地域は現行政策が継続するとされているが、排出量や炭素価格の水準は、IAMによって異なっていた。IAMでは主要国以外は、複数の国を一つの地域としてモデル化され、この中にはネットゼロ目標を宣言した地域とそうでない地域が混在する。こうした地域では、IAMによって、設定される目標の水準に差が生じていると考えられる。

3. 物理的リスクに係る方法論及びデータ

物理的リスク関連のプロダクトとシナリオ第四版での更新

- 本パートでは、シナリオ第四版のうち、物理的リスクの影響評価に関する方法論やデータの特徴を整理する。

3.1 物理的 リスクの 評価に 係る 方法論

① 慢性リスクの 影響評価

- シナリオ第四版では、第三版と同じく、簡易気候モデル（MAGICC）とダメージ関数によって慢性リスクの影響評価が実装されている。
 - 簡易気候モデルによる、各シナリオの温暖化水準（1850–1900年基準の世界平均気温変化）の算出。
 - 温暖化水準をスケーリングした国別気温変化の算出と、ダメージ関数による国別のGDPインパクトの算出。

② 急性リスクの 影響評価

- シナリオ第四版では、急性リスクのマクロ経済影響に関する方法論・データの充実が図られた。
 - 4種類のハザード（物理的リスク要因）を対象に、新しい方法論で影響を推定。
 - ハザードは、第三版で扱った洪水と熱帯低気圧加え、熱波と干ばつを追加。それぞれについて、最も関連が強いと考えられた波及経路を利用してモデルを構築。
 - 第四版では国単位での影響評価の結果を提供（第三版では世界全体のみ）。

3.2 シナリオ 第四版で 提供される データ

③ 気候・経済 指標の データ

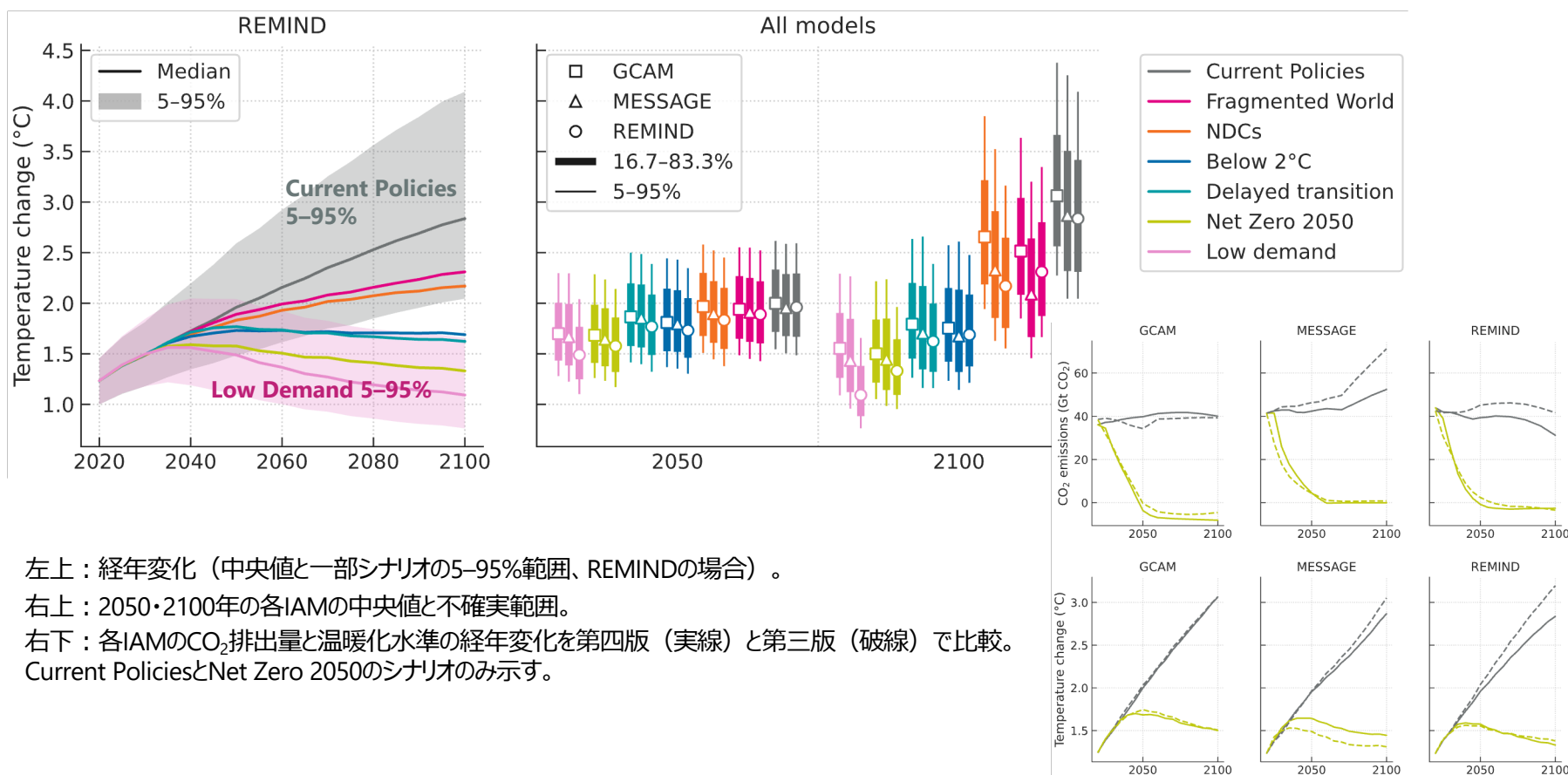
- シナリオ第四版では、第三版と同じく、地球システムモデル・気候影響モデルによって、物理的リスクに関する様々な気候・経済指標のデータが提供されている。
 - 33種類の慢性・急性リスク変数を、温暖化水準に紐付けて国別に提供。

3. 物理的リスクに係る方法論及びデータ

- ▶ 3.1 物理的リスクの評価に係る方法論
- 3.2 シナリオ第四版で提供されるデータ

慢性リスクの評価手順1/4：IAM排出量 ⇒ 温暖化水準

- 方法は第三版と同じ。第四版からの更新はIAMシナリオの構成と排出量に関わるところのみ。
 - Low DemandはNet Zero 2050に近いが、REMINDではより低位に位置する。
 - 第三版と共通するシナリオでも、排出量の違いで温度に差が生じている（右下図）。
- 温暖化水準はIAMの排出量から簡易気候モデル（MAGICC）によって確率論的に算出される。
 - 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。



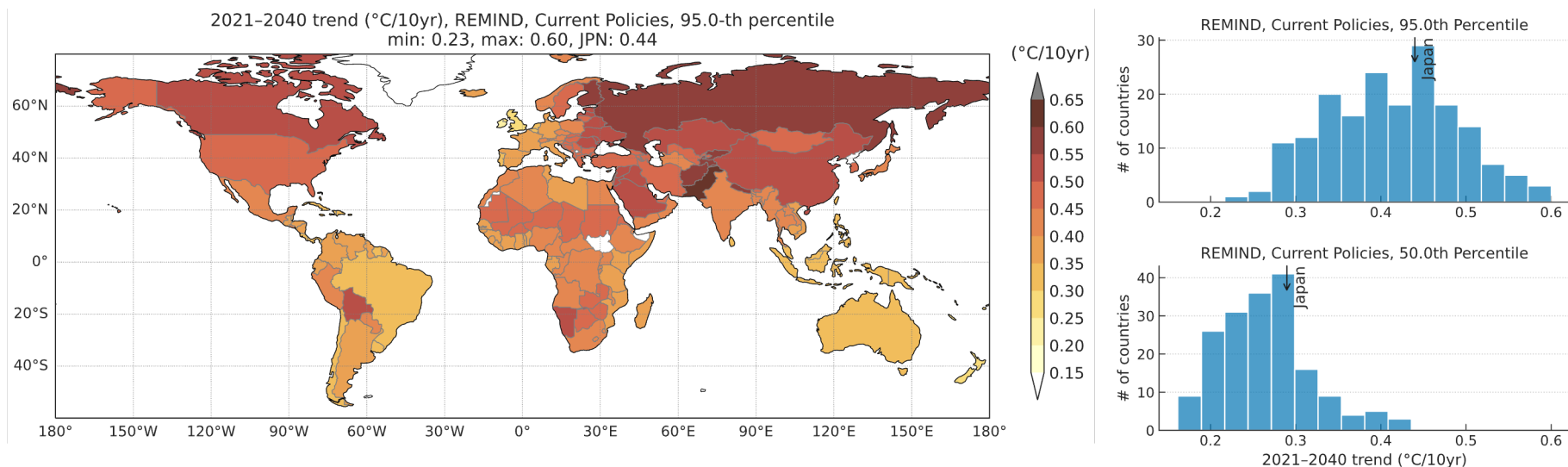
左上：経年変化（中央値と一部シナリオの5-95%範囲、REMINDの場合）。

右上：2050・2100年の各IAMの中央値と不確実範囲。

右下：各IAMのCO₂排出量と温暖化水準の経年変化を第四版（実線）と第三版（破線）と比較。
Current PoliciesとNet Zero 2050のシナリオのみ示す。

慢性リスクの評価手順2/4：温暖化水準 ⇒ 国レベル気温

- 方法は第三版と同じ。温暖化水準が世界180カ国の気温にダウンスケーリングされる。
 - 各国の気温は、2005年の観測値を基準に、複雑な気候モデル計算から得られた国別係数を温暖化水準に乗じて算出される。
 - 温暖化水準には5%, 50%, 95%の各分位値（50%は中央値）が使われる。
- 国別係数によって、北半球の高緯度や内陸の国で気温上昇が大きい傾向が反映される（左図）。
 - 日本は分布の中央よりやや高い方に位置する（右図）。

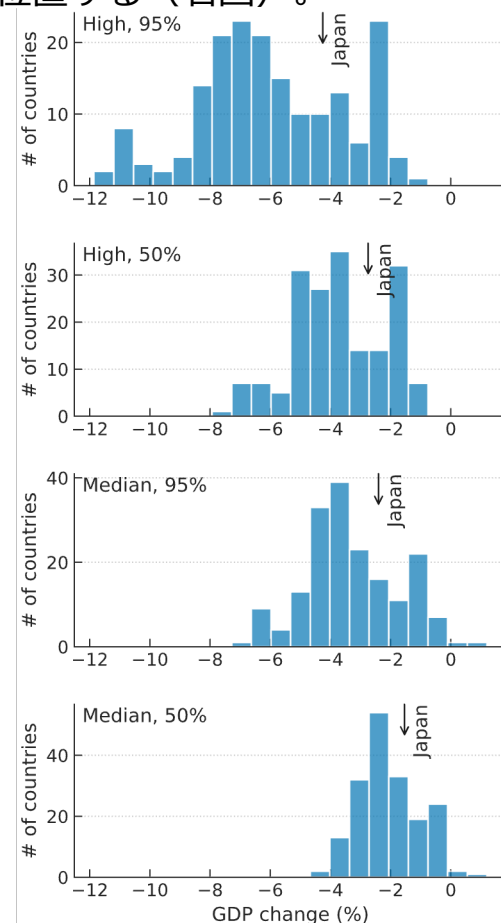
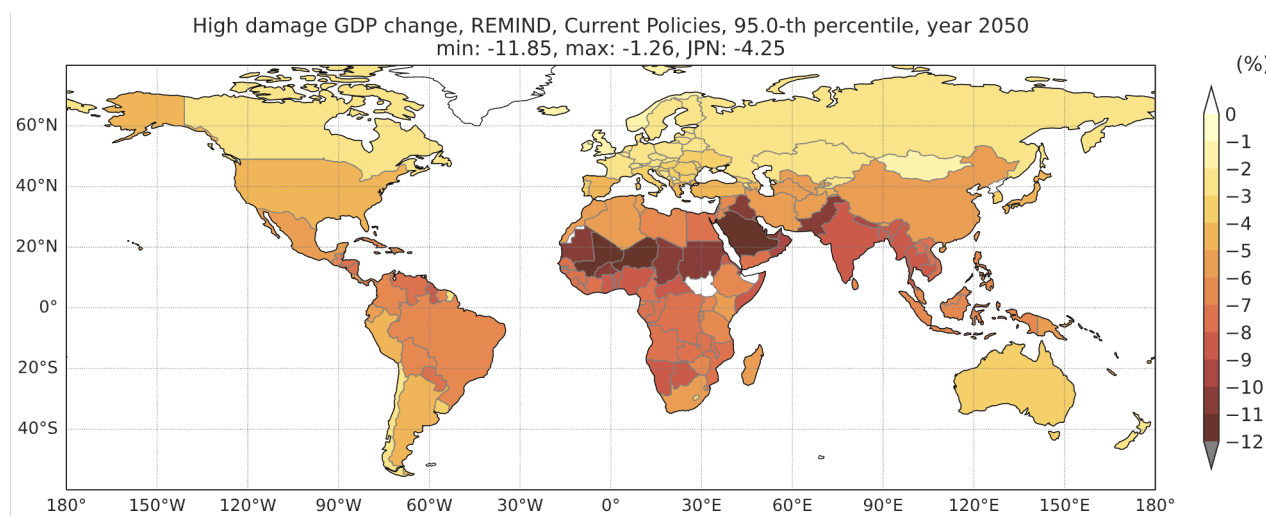


各国の気温変化の典型例として、REMINDのCurrent Policiesシナリオから2020–2040年の線形トレンドを計算した結果を10年当たりの変化として示す。

左：95%値の空間分布。右：95%・50%値のヒストグラム。矢印は日本の位置を示す。

慢性リスクの評価手順3/4：国レベル気温 ⇒ GDP変化

- 方法は第三版と同じ。国レベルの気温がダメージ関数に与えられてGDP変化が推計される。
 - ダメージ関数は中位と高位の2通り（関数パラメータの中央値と95%値の設定）。
 - 気温3通り（5%・50%・95%値）とダメージ2通りの計6通りの組み合わせで推計。
- 用いられるダメージ関数は労働生産性、土地生産性、資本減価を捉えたもの。
 - 低緯度域のGDP損失が大きい（左図）。日本は変化が小さい方に位置する（右図）。



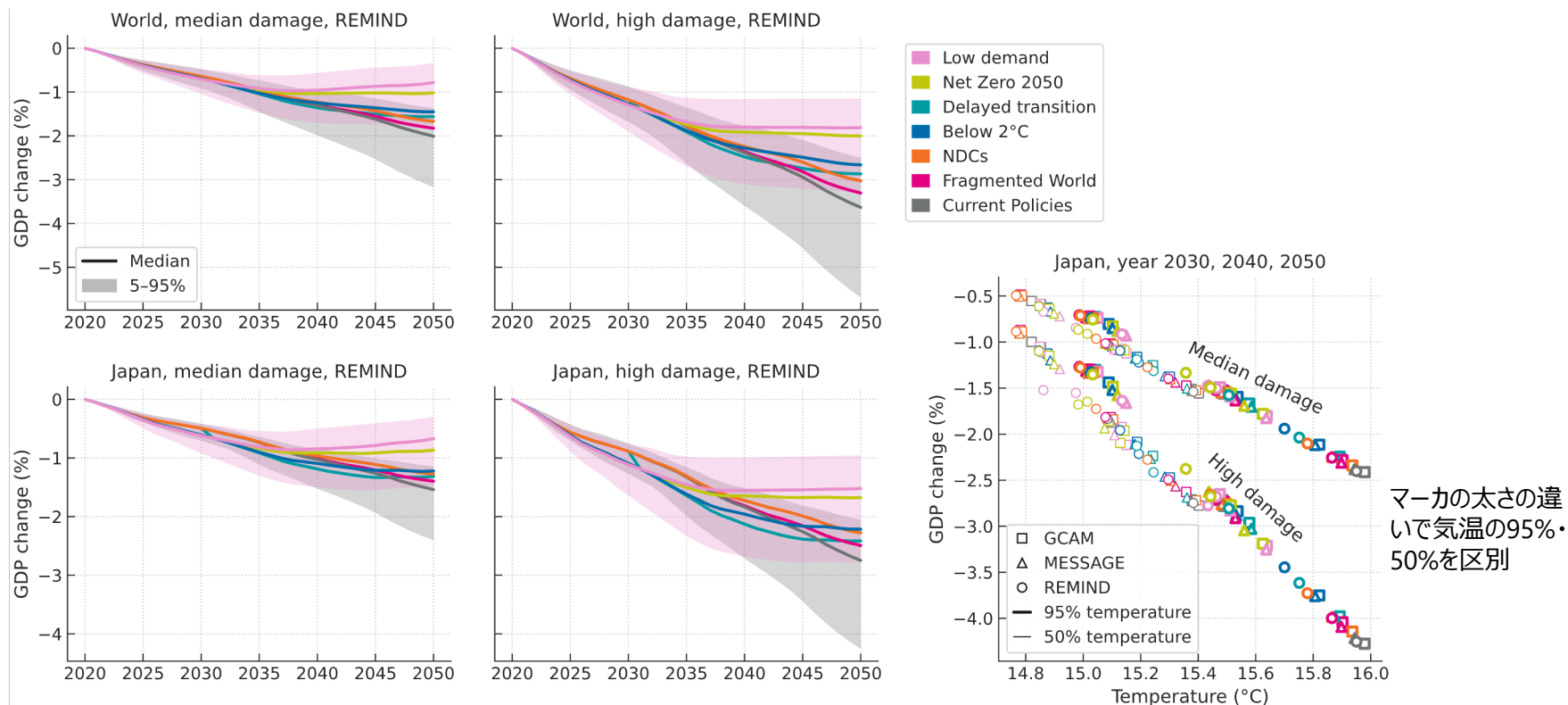
各国のGDP変化の典型例として、REMINDのCurrent Policiesシナリオの2050年の分布を示す。

左：気温95%値とダメージ高位の場合の空間分布。

右：気温とダメージの異なる組み合わせ（気温5%値は省略）で比較したヒストグラム。
矢印は日本の値を示す。

慢性リスクの傾向：世界と日本のGDP変化（ダメージ関数）

- 経年変化は世界と日本で同様の傾向。ダメージ関数によって推定したGDP損失は、日本の方がやや小さい（左・中図）。
 - シナリオ間の差は単一シナリオの気温に関する不確実範囲（5-95%）に収まる程度。
- 各国のGDP変化は気温にほぼ比例^{*1}、ダメージ関数の中位・高位で定量的な差（右下図）。



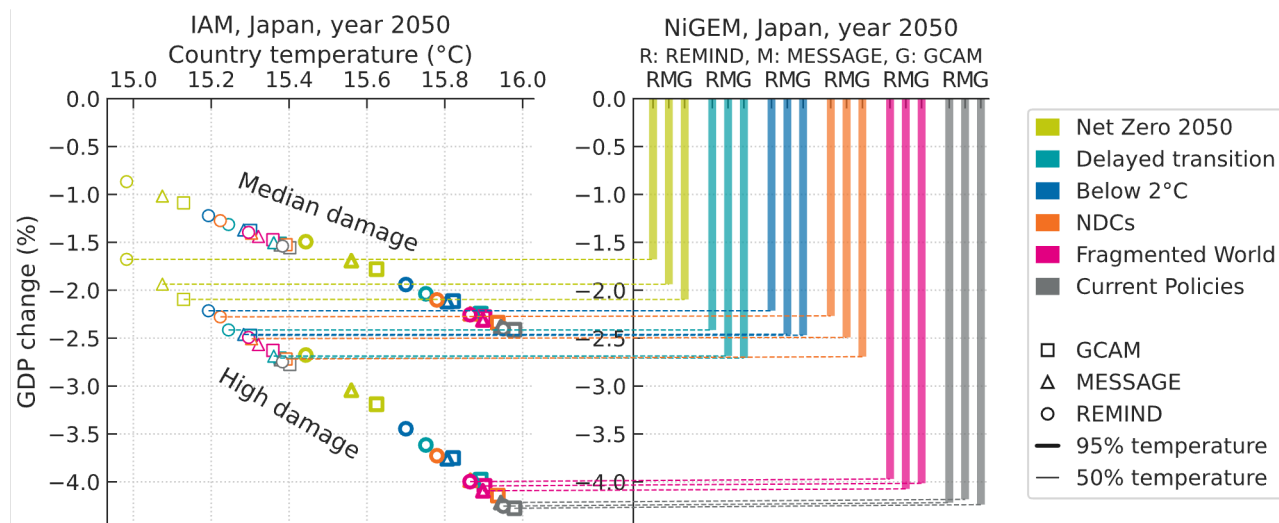
左・中：REMINDモデルの経年変化。各シナリオの気温50%値と一部シナリオの5-95%値の範囲。

右下：日本のGDP変化と気温の関係。各IAMの気温95%・50%値とダメージ中位・高位の4通りの場合から2030・40・50年の値を抜粋。ダメージの中位・高位に分かれて直線的に分布する。気温95%・50%値はマーカの太さを変えて図示。

^{*1} 第四版で使われているダメージ関数(Kalkuhl and Wenz, 2020)は気温のみに依存する。今後の更新では、他の気候変数（降水量、気温の変動性、気候影響の持続性など）も考慮される見通し(NGFS, 2023a, p50)

慢性リスクの評価手順4/4：GDP変化⇒マクロ経済評価へのインプット

- IAMからダメージ関数を介して得られたGDP変化が、マクロ経済モデル（NiGEM）の入力変数となり、様々なマクロ経済変数（GDP、潜在GDP、物価など）への影響が定量化される（P.68）。
- 6通り推計されたGDP変化のうち、NiGEMにインプットされるのは、ダメージが一律高位で、「Current Policies」「Fragmented World」では気温の95%値、それ以外が気温の50%値である*1（下図）。
 - ダメージの高位を使う理由は、海面上昇や気候起因の紛争など、ダメージ関数で捉えられていない要素を加味するため*2。
 - 「Current Policies」「Fragmented World」で気温の95%値を使うのは、慢性物理的リスクのマクロ経済影響のモデリングに固有の不確実性を反映するため*3。



IAMとNiGEMのGDP変化はいずれも%値で提供されるが、元になるGDPはインフレ率の調整が異なる。

NiGEMのデータにはLow Demandシナリオが含まれない。

左：日本のGDP変化と気温の関係。各IAMの気温95%・50%値とダメージ中位・高位の4通りの場合から2050年の値を抜粋。

右：各IAMの気温・ダメージの異なる組み合わせからNiGEMに与えられたGDP変化。

*1 文献（NGFS, 2023b, p191, Table 24）で説明される仕様と異なるが、データを図に示すように比較した結果から筆者が判断

*2 文献（NGFS, 2023b, p127-128, Figure 69）の説明に基づく

*3 文献（NGFS, 2023a, p33）の説明に基づく

急性リスクの評価

- ハザード（hazardまたはperil）、曝露（exposure）、脆弱性（vulnerability）からなる自然災害モデリングの枠組みが基盤となる。
 - ハザードは被害を引き起こす極端事象または物理変数。第三版では洪水と熱帯低気圧が対象、第四版では**干ばつと熱波が追加**された。
 - 曝露は被害を受ける対象（資産、インフラなど）の空間マップで表される。
 - 脆弱性は被害を受ける対象の被害の度合いを評価する関数（個別のダメージ関数）で計算される。
- 第三版では世界レベルのみ推計だったが、第四版では**国レベルの推計に更新**された。
 - 国レベルの推計はストレステストや気候リスク分析の試行への重要な一歩という位置づけ（今後の改善点が多数列挙され、広範なデータ検証と改善が必要であることを示唆）。
- リスク評価の手順は以下の通り。
 - (1) 自然災害モデリングの原理と気温の格子点データを用いて国レベルでの影響を推定する。
 - 第三版の過去データのショックに将来変化の乗数を掛ける方法から改訂された。
 - (2) 影響を温暖化水準のパスに沿って予測する。
 - 温暖化水準は1–3.6°Cの範囲を0.1°C間隔で扱う。影響は、複数モデル^{*1}・複数シナリオの予測を基に、21年×4モデルの計84サンプル^{*2}の分布として推定する。
 - (3) 影響予測をNiGEMの需給ショックに変換して国レベルのマクロ経済影響を評価する。
 - 貿易を通じた国際連関は切り離し、国内影響のみを評価する（慢性リスクと同様）。
 - 第四版ではハザード別に**最も関連性の高い波及経路を使う形に更新**された。

*1 温暖化影響のモデリングは、次項で説明する物理的リスクに係るデータベースの元データと共通する

*2 年々の自然変動とモデル間のばらつきが反映される。不確実性の扱いは、ダメージ高位・中位と気温5–95%値を組み合わせる慢性リスクと異なる

急性リスクの評価：ハザード別仕様

	リスク対象（指標）	NiGEMへのインプット	NiGEMでの波及経路
干ばつ	農作物の収量低下 （SPEI-12）	収量被害	生産性、輸出、価格
熱波	人間の健康 （湿球温度）	熱波の影響を受ける 人口	人口
洪水	河川洪水	資本ストック被害	資本ストック
熱帯低気圧	極端風速	資本ストック被害	資本ストック

干ばつの指標に使われるSPEI-12は、標準化降水蒸発12ヵ月インデックス（当該月を含む過去12ヵ月の降水量と蒸発量から算定）。農作物が深刻な干ばつ状態にさらされる可能性に関係。

熱波の指標に使われる湿球温度は、空気塊に含まれる水蒸気を蒸発させて（熱が奪われる）飽和（湿度100%）に達したところでの温度と定義される。人間の健康に有害な高温多湿の度合いを表し、環境省の熱中症予防情報サイトなどで提供される暑さ指数の主要因子に使われる。NiGEMには、84サンプルに当てはめた極値分布のパラメータがインプットされる。

洪水と熱帯低気圧のリスクの対象と推計は基本的に第三版と同様。

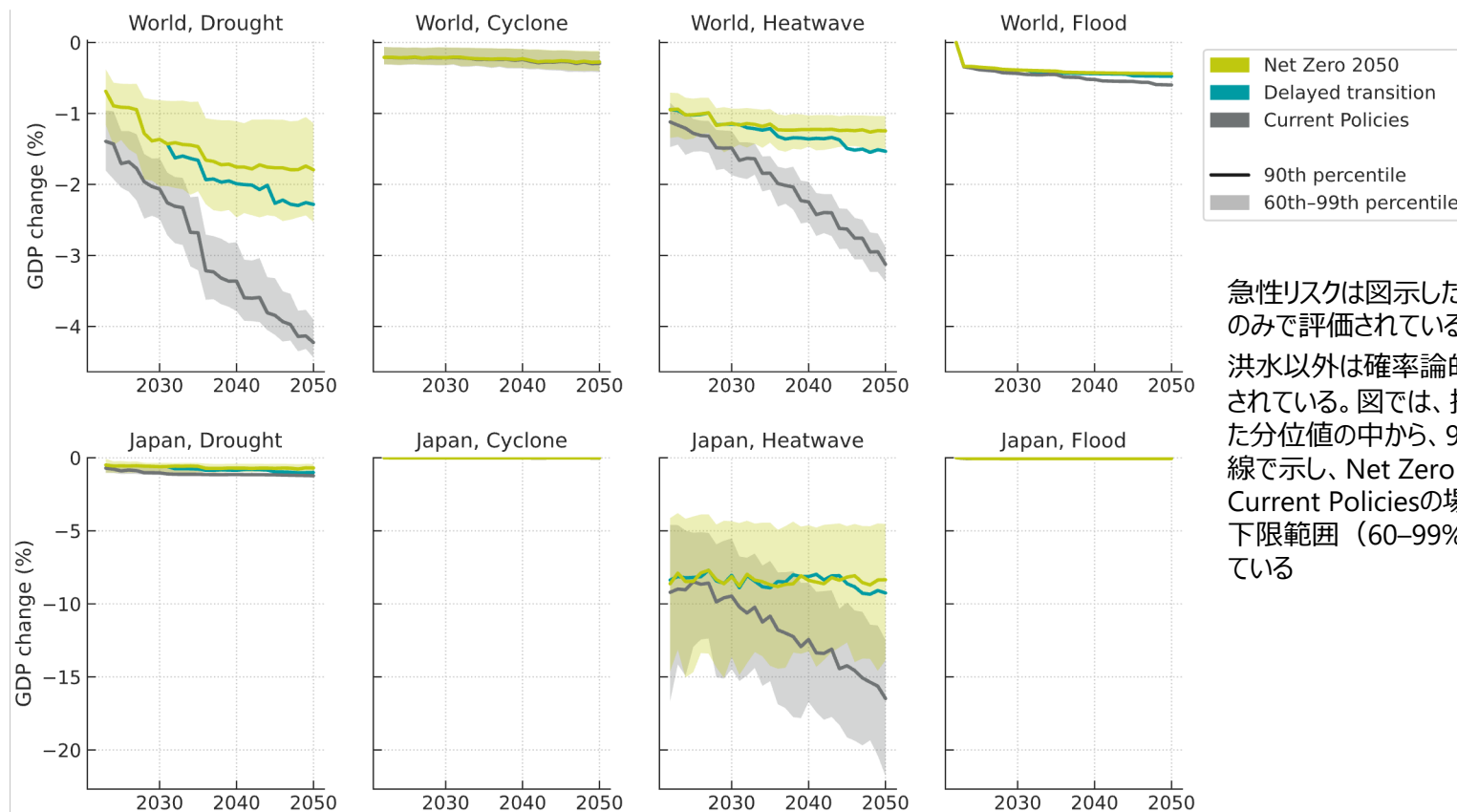
洪水は河川洪水のみで、高潮や内水氾濫は今後の課題とされる。NiGEMへのインプットは平均的な年被害であり、単一ショックの扱い（洪水以外のハザードは確率分布にしたがった繰り返しランダムショックの扱い）。

熱帯低気圧のリスクは風だけが対象。強風による高潮は間接的に考慮される形だが、豪雨や土砂崩れは対象外。

各ハザードとも、評価結果がNiGEMのアウトプット（GDP変化）として提供される。インプットの情報は提供されないが、関連するデータが次項で示すClimate Impact Explorerで得られる。

急性リスクの傾向：世界と日本のGDP変化

- 4つのハザードのうち、世界的には干ばつ（drought）と熱波（heatwave）の影響が大きい。
 - 熱帯低気圧（cyclone）と洪水（flood）は、影響を受ける地域が限られるため相対的に影響が小さくなり、さらに評価方法によって違いが生じていることも考えられる*1。
- 日本は熱波による影響が突出して大きい。

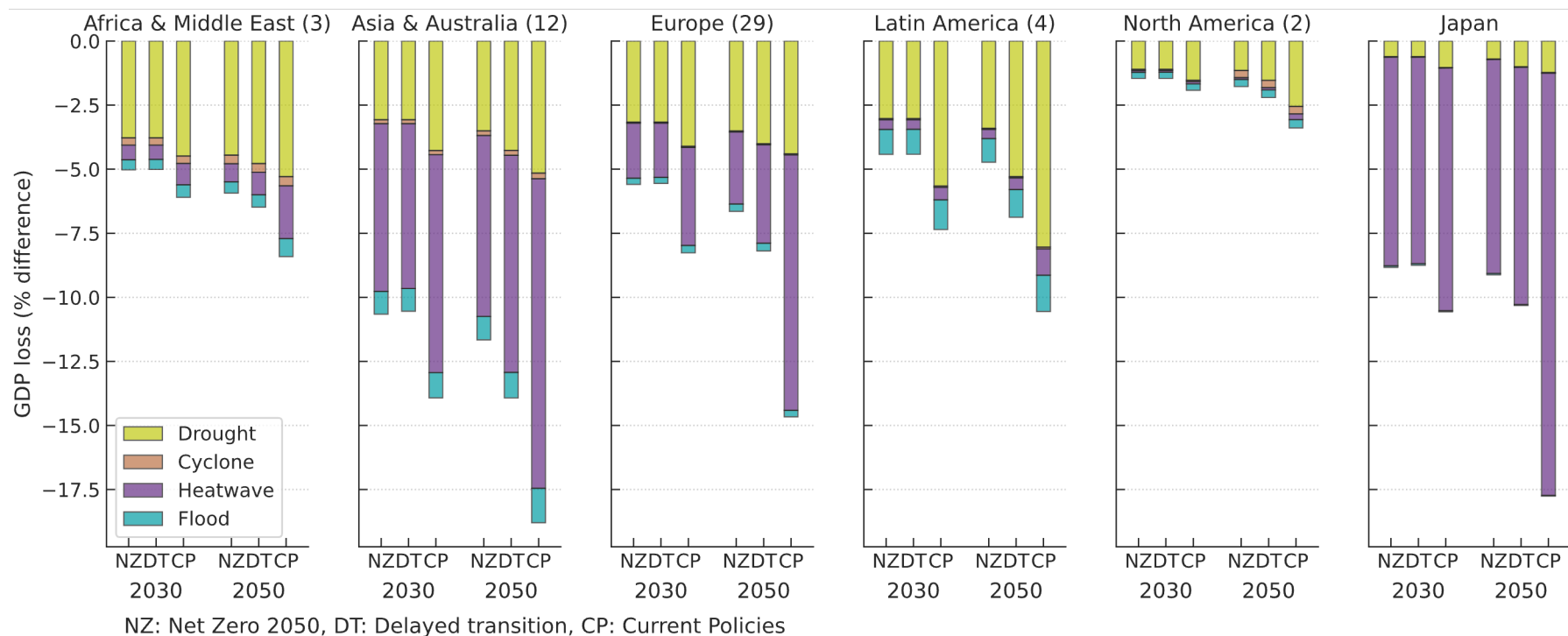


急性リスクは図示した3シナリオのみで評価されている
洪水以外は確率論的に評価されている。図では、提供された分位値の中から、90%値を線で示し、Net Zero 2050とCurrent Policiesの場合で上・下限範囲（60-99%）を示している

*1 文献（NGFS, 2023a, p35）の説明に基づく

急性リスクの傾向：2030・50年の大陸別・日本の比較

- 干ばつは多くの地域でリスク要因。熱波は地域的な偏りが比較的大きい。
 - 熱波は湿球温度を指標とするため、高温多湿の地域で影響が大きい。
- 熱帯低気圧と洪水のリスク要因の度合いは日本では極端に小さい。
 - 筆者見解：気候変動影響評価（環境省、2020年）の水災害関連の評価と異なる印象。熱帯低気圧のリスクが極端風速に限定されていることに注意を要する。



大陸別集計はNGFS Data EnTry Toolの使用例

<https://colab.research.google.com/drive/1iM6dEmthZE9DCZjDH1rwYpZI0eV3etEx?usp=sharing>

になって、個別にモデル化される50カ国を大陸別に平均した。図中の各表題の括弧内の数値は国数を表す。確率論的に評価される干ばつ、熱帯低気圧、熱波については90%値を参照した。

3. 物理的リスクに係る方法論及びデータ

3.1 物理的リスクの評価に係る方法論

▶ 3.2 シナリオ第四版で提供されるデータ

物理的リスクに係るデータベース – 変数の一覧

- 物理的リスクに係るデータはClimate Impact Explorerから取得できる。シナリオ第四版では、利用できる変数が1つ増加した（5日間降水量の最大値）。各指標の種別も明確化された。

Climate Impact Explorerで取得できる指標の一覧*1

指標（変数名）	種別等	指標（変数名）	種別等
1 平均気温（tasAdjust）	〈慢性〉 《気候》 年間/4季節, 面積/人口/GDP加重	17 とうもろこしの年平均収量（yield_maize_co2）	〈慢性〉 《農業》 年間, 面積/人口/GDP加重
2 日最高気温（tasmaxAdjust）		18 米の年平均米収量（yield_rice_co2）	
3 日最低気温（tasminAdjust）		19 大豆の年平均収量（yield_soy_co2）	
4 相対湿度（hursAdjust）		20 小麦の年平均収量（yield_wheat_co2）	
5 比湿（hussAdjust）		21 年間に河川洪水を被る土地の比率（fldfrfc）	〈急性〉 《危機固有ハザード》 年間, 面積加重
6 降水量（prAdjust）		22 年最大河川洪水深（flddph）	
7 降雪量（prsnAdjust）		23 年間に作物不作を被る土地の比率（lec）	
8 地表気圧（psAdjust）		24 年間に作物不作を被る人口の比率（pec）	
9 海面気圧（pslAdjust）		25 年間に林野火災を被る土地の比率（lew）	
10 下向き長波放射（rldsAdjust）		26 年間に林野火災を被る人口の比率（pew）	
11 風速（sfcWindAdjust）		27 年間に熱波を被る土地の比率（leh）	
12 流出量（qs）		28 年間に熱波を被る人口の比率（peh）	
13 河川流量（dis）	〈慢性〉 《淡水》 年間/4季節, 面積/人口/GDP加重	29 熱ストレス起因労働生産性（ec1）	〈慢性〉《労働生産性》 年間, 面積/人口/GDP加重
14 日河川流量の最大値（maxdis）		30 河川洪水による年間予想被害額（ec2）	
15 日河川流量の最小値（mindis）		31 熱帯低気圧による年間予想被害額（ec3）	〈急性〉《経済被害》 年間, 合計
16 土壌水分（soilmoist）	〈慢性〉 《農業》 年間/4季節, 面積/人口/GDP加重	32 100年に1回の熱帯低気圧による予想被害額（ec4）	
		33 5日間極端降水（rx5day）	〈慢性〉《気候》 年間, 面積/人口/GDP加重

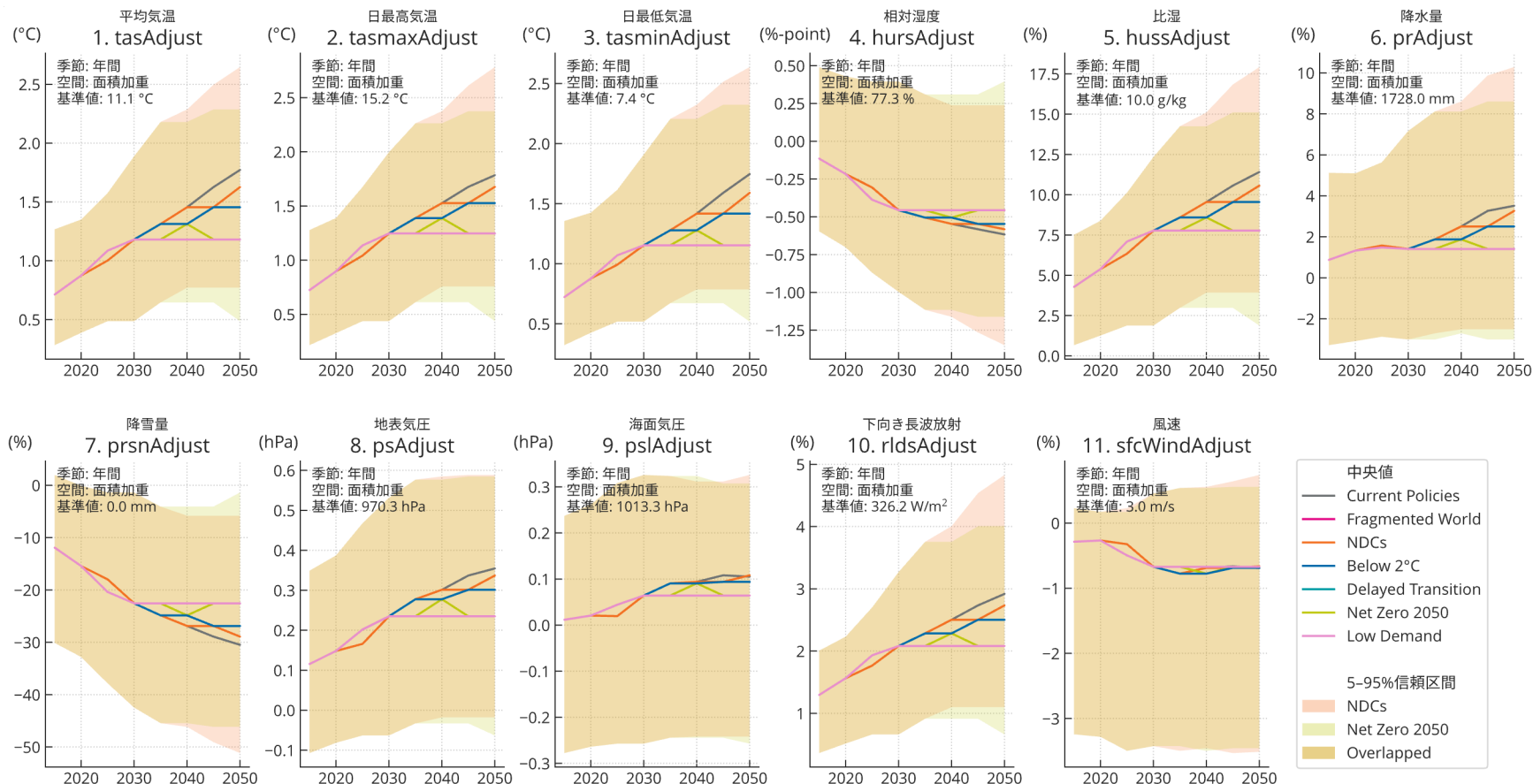
*1 種別欄に、各指標の主・副分類（括弧〈〉・《》で括った用語）、時間平均と空間平均の選択肢を記入

各指標についてのデータの提供元による注意事項（disclaimer）

- 定評のあるモデルで得られたものだが、評価対象の変化を完全な形で表現するものではない。
 - 使用モデル：気候モデル（1-11, 27-29, 33）、陸面・河川・水文モデル（12-16, 21-22, 30）、作物モデル（17-20, 23-24）、植生モデル（25-26）。
 - 作物モデルは各国全てでキャリブレートされていない。CO₂施肥効果が考慮されるが、それが将来の収量に与える影響については相当な不確実性がある。
- 影響評価の前提条件が将来にわたって一定と仮定される。
 - 土地利用と灌漑のパターン（13-15, 21-26）、人間活動のための水利用（13-15, 21-22）、作物栽培の場所、灌漑・天水地域区分（17-20）、洪水防御基準（21-22）、農業経営慣行（23-24）、林野火災管理慣行（25-26）
- 作物の不作（23-24）は、産業革命前の気候で1世紀に平均2-3回発生するような、収量が極端に低下した年を不作年と定義。既に影響を感じるそれほど深刻ではない事象は捉えられない。
- 熱波（27-28）は、気温と気温・相対湿度の組み合わせの両方の指標が非常に高い値に達する事象と定義。**乾燥熱波によるリスクは十分に捉えられない。**
- 労働生産性（29）は湿球温度に関する5個の曝露反応関数で暑熱ストレスを定量化。特定の作業や場所でのフィールド研究から導出されており、世界規模での適用性はかなり不確実。
- 台風等の熱帯低気圧（31-32）は、過去の事象を基に確率論的に経路を生成し、将来の頻度・強度変化を文献による推定から導出。**過去の事象が少ない地域では将来の経路を考慮できない。**
- 評価対象の変化を損害に換算するために、時間非依存のダメージ関数を適用（30-32）。国毎の脆弱性とその将来の変化が考慮されない。
- シミュレーション数が限られるため、短期の変動に自然変動が反映されることがある。
 - 積雪（7）は小規模の特徴（局所的に大きな増加・減少）にも自然変動の影響が反映される。
- 2-3.5℃のような高い温暖化水準では、モデルシミュレーションが少ないため信頼性が低い。

各指標の傾向と品質：日本全国の気候（1-11）の指標*1

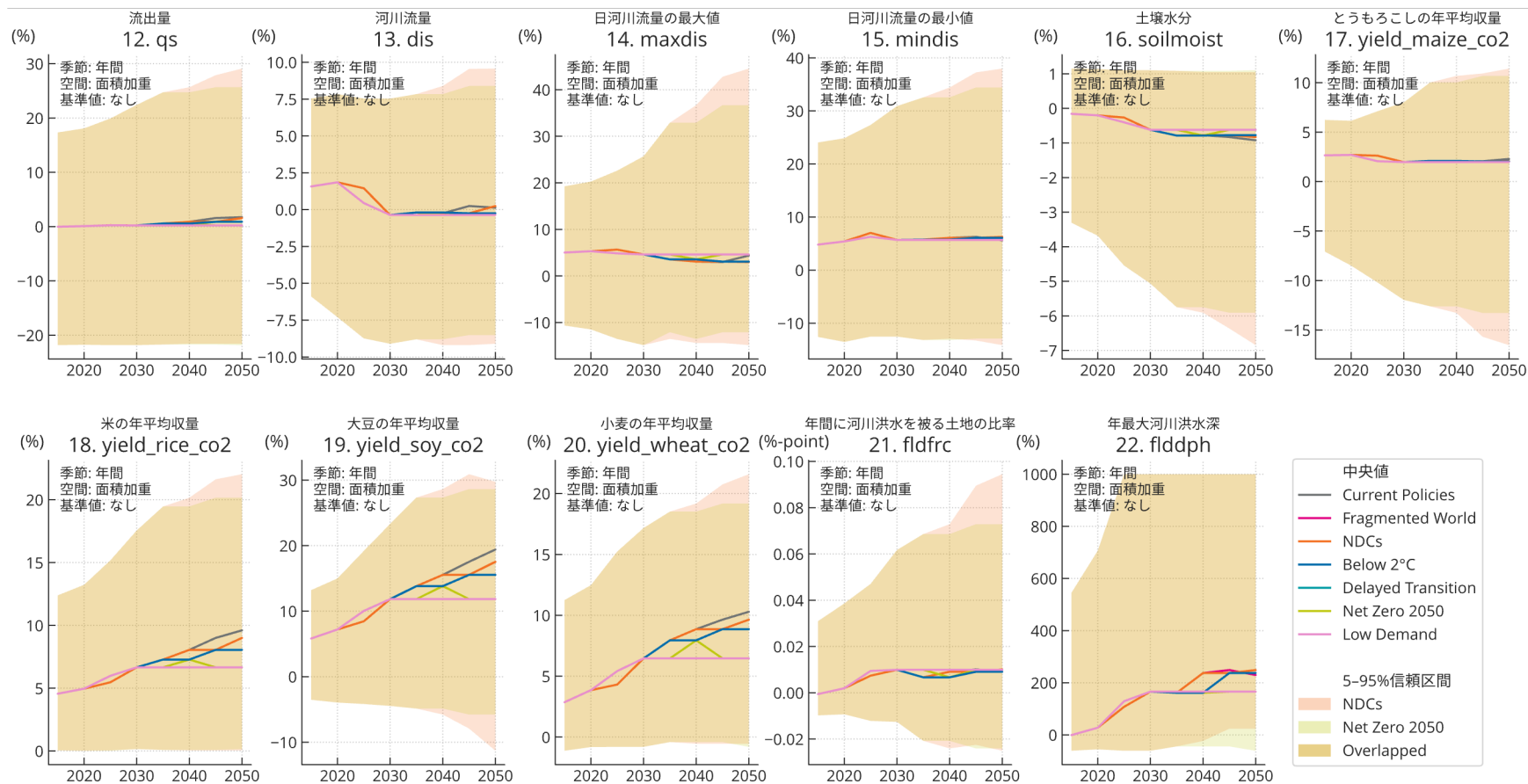
- シナリオ間の差は2030年以降徐々に広がるが、単一シナリオでの不確実幅の方が大きい。
- 気温（1-3）・水蒸気量（5）・降水（6）・下向き長波放射（10）の増加傾向、相対湿度（4）・降雪（7）の減少傾向が比較的明瞭。



*1 各シナリオの中央値と選択した2つのシナリオの5-95%信頼区間を示す。各指標の値は基準値（1986-2006年平均）との差、または基準値に対する変化率（%単位）。%-pointは元が%値の指標の場合の基準値との差

各指標の傾向と品質*1：日本全国の淡水（12-15）、農業（16-20）、洪水（21-22）の指標

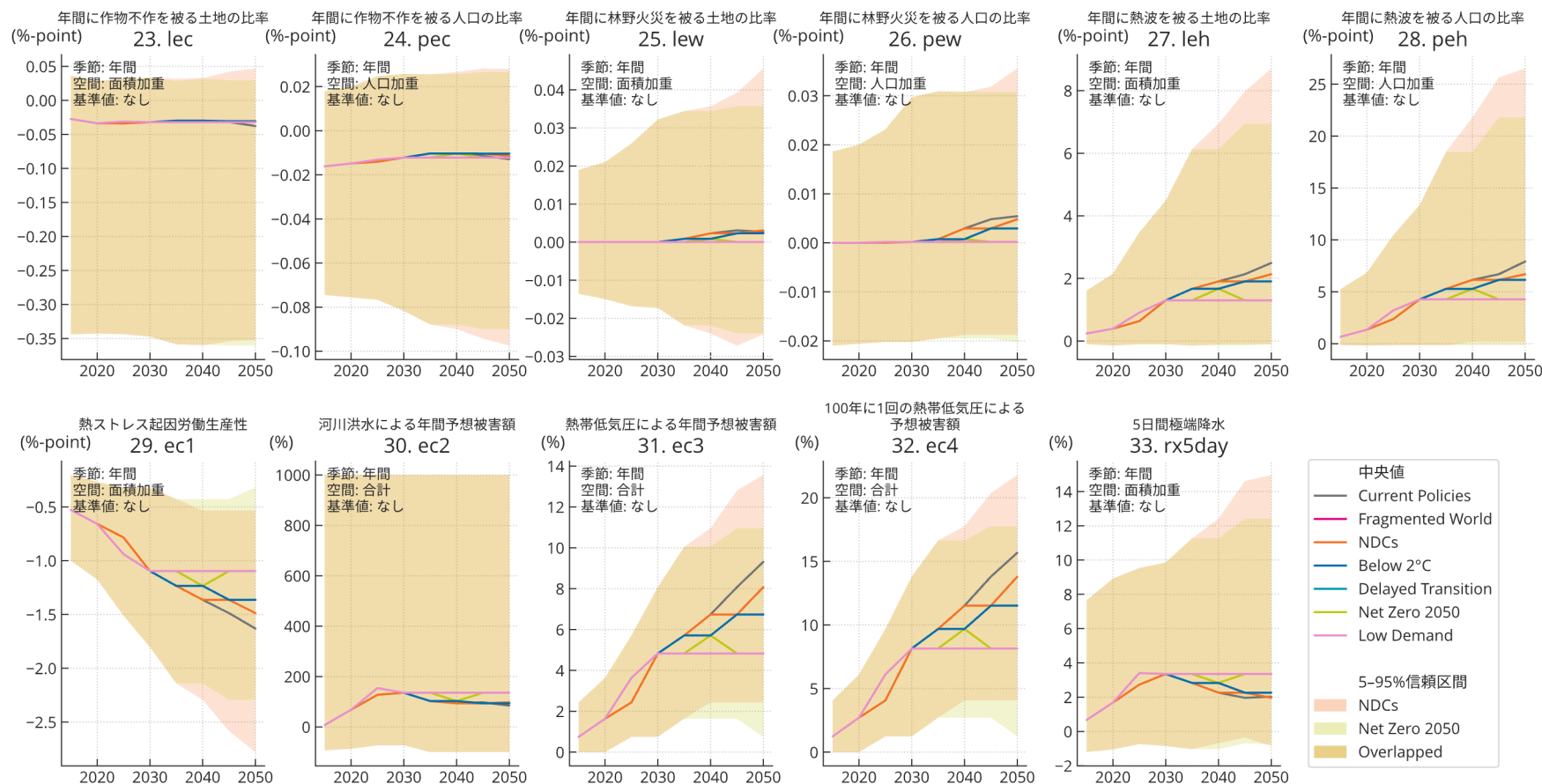
- 作物収量（とうもろこし除く18-20）、洪水域・洪水深（21-22）の増加傾向、土壌水分（16）の減少傾向が認められるが、不確実性が大きい。



*1 1986-2006年の基準値は提供されない。過去データの品質のため、関係するモデル結果のバイアス調整と検証が全地点で完了していないことによる（次ページに示す指標23-33も同様）。洪水深（22）は値が非常に大きくなっており、基礎データに課題があることを示唆（ブラウザ利用環境では図が表示されないが、ここではプログラミング用インターフェイスでダウンロードしたデータを図示）（データの提供元による注意事項）

各指標の傾向と品質*1：日本全国の作物不作（23-24）、林野火災（25-26）、熱波（27-28）、労働生産性（29）、経済被害（30-32）、極端降水（33）の指標

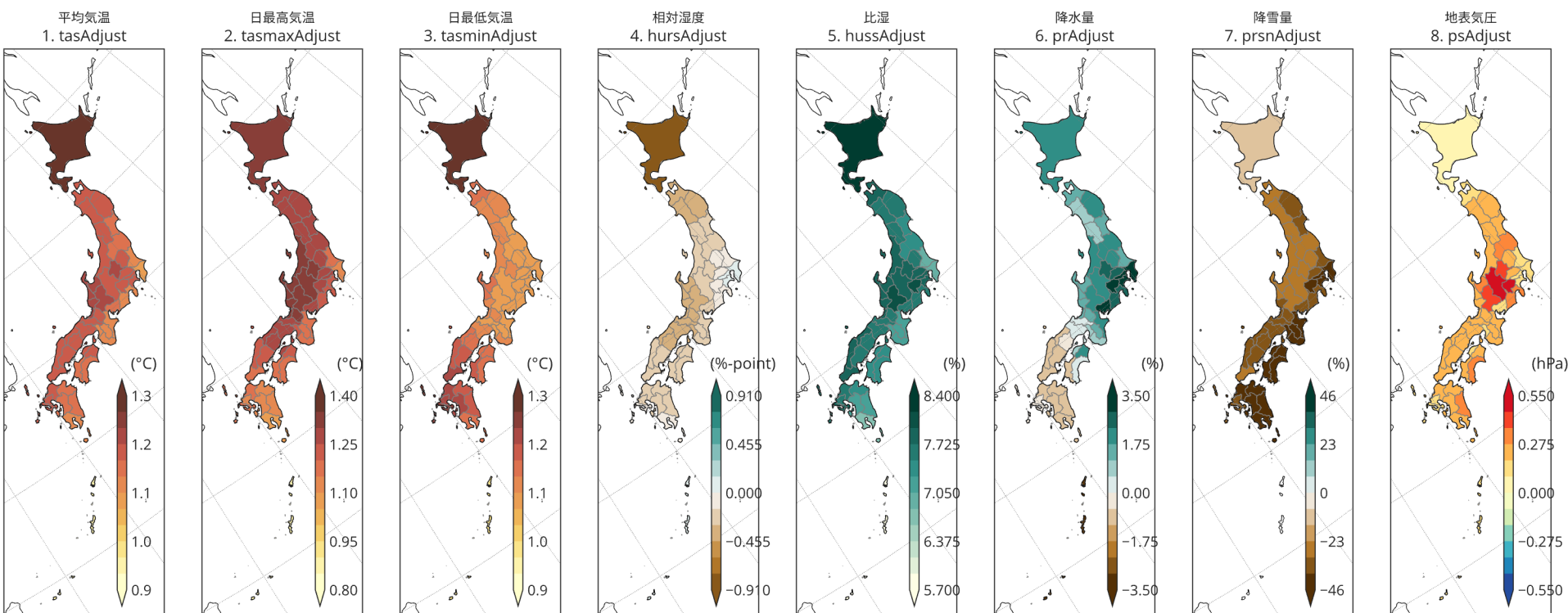
- 熱波（27-28）・熱帯低気圧による経済被害（31-32）の増加傾向、労働生産性（29）の減少傾向が比較的明瞭。
- 極端降水（33）は2030年にかけて増加、その後平均的には減少もしくは横這い。



*1 林野火災を被る土地・人口の比率（25・26）は、国・地域の全域もしくは全人口に適用される割合のため値が小さい。前ページの河川洪水を被る土地の比率（21）も同様。河川洪水による年間予想被害額（ec2）は、洪水事象が稀にしか発生しないところで、相対的な変化が極端に大きくなる（データの提供元による注意事項）

指標1-8の都道府県別値*1：Current Policies・2030年・中央値の場合

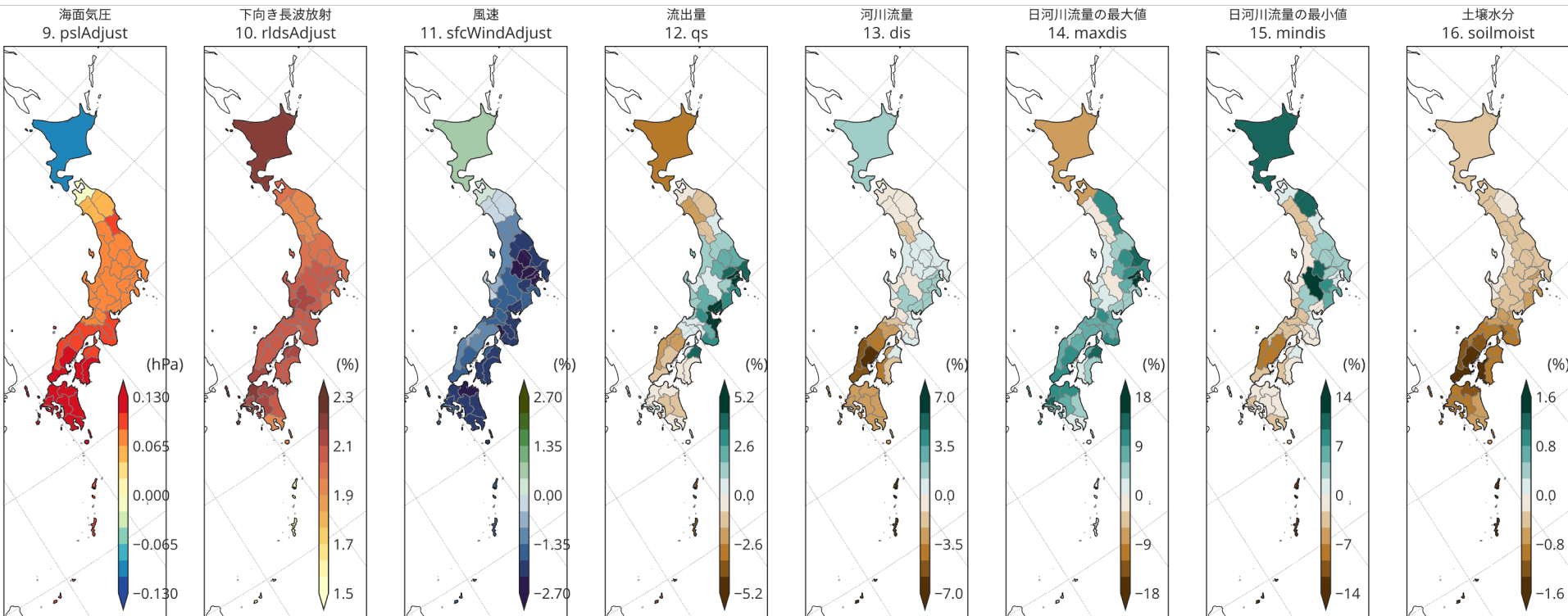
- シナリオ・年の違いは基本的に温暖化水準でスケーリングされる（他の指標も同様）。
 - 他のシナリオ・年でも同様の分布となる。
- 気温の変化は北海道で大きい。中部地方等の最高気温、西日本の最低気温も変化が大きい。
- 降水量は西日本で減少、他は増加。比湿（水蒸気量）は増えるが相対湿度は減少。



*1 各指標とも季節・空間平均は前ページまでの経年変化で示したものと同一。7（降雪量）は沖縄県のデータなし（値が大き過ぎるために非提供扱い）。一般に、降水量の変化パターンは気温の変化パターンと比べて不確実性が高いことに注意が必要

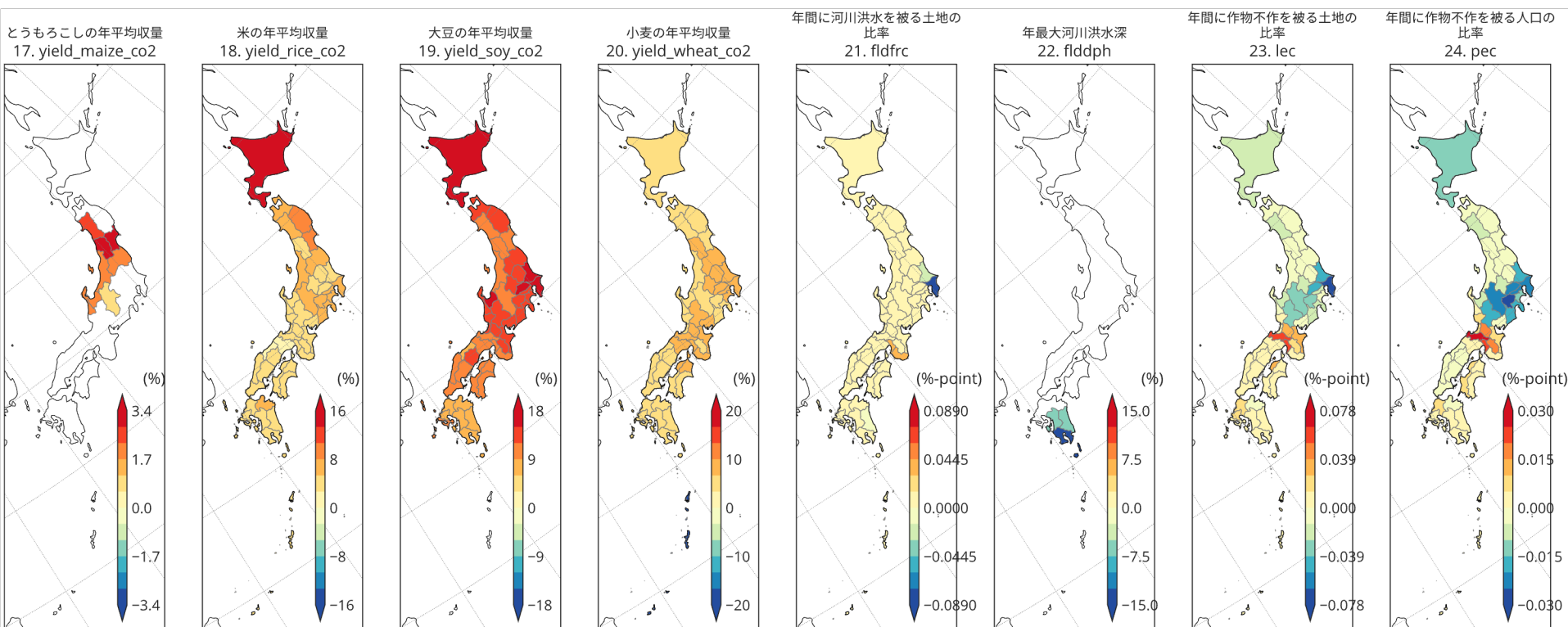
指標9-16の都道府県別値：Current Policies・2030年・中央値の場合

- 海面気圧と風速は南北間のコントラストが明瞭。
- 西日本で、河川流量（年間）が減少（降水量と整合的）。ただし日流量の最大値は増加。
 - 日流量は最大値と最小値で逆の変化傾向が見られる地域がある。



指標17-24の都道府県別値*1：Current Policies・2030年・中央値の場合

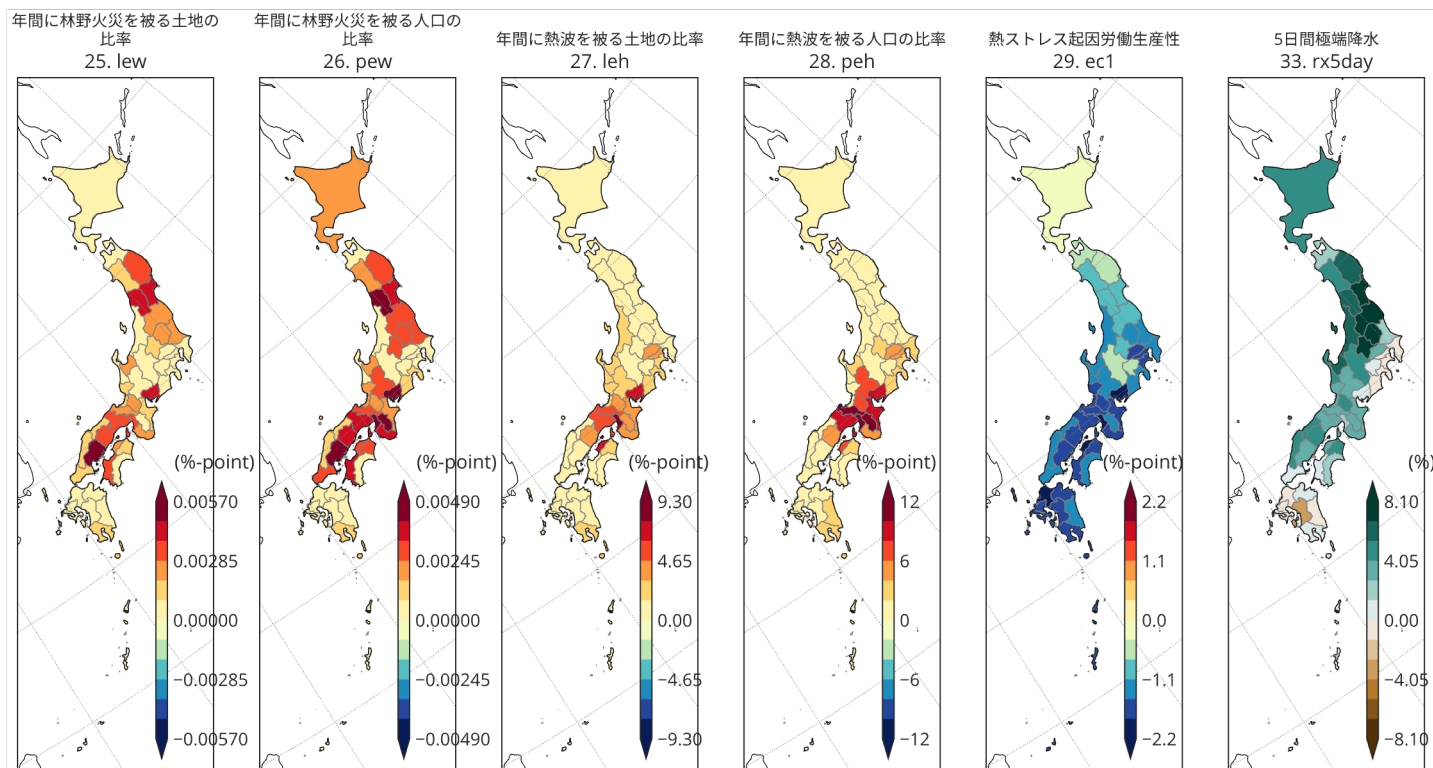
- 作物収量は全体的に増加傾向。
 - 沖縄県の小麦は例外的に減少傾向。
- 急性リスク（洪水、作物不作）は特定の地域で比較的大きい増減を示す。
 - 一般に極端事象はモデル化が難しい。増減が何に起因するか見極めが必要。



*1 17（とうもろこしの年平均収量）は8地域のみ、19（大豆の年平均収量）は沖縄県のデータなし。作物収量の指標は2010年に当該作物が栽培されたところが対象。22（年最大河川洪水深）は3地域のみで、他は値が大き過ぎるために非提供扱い

指標25-33の都道府県別値*1：Current Policies・2030年・中央値の場合

- 急性リスク（林野火災、熱波）は特定の地域で比較的大きい増加を示す。
 - 一般に極端事象はモデル化が難しい。増減が何に起因するか見極めが必要。
- 労働生産性は低下傾向。関東から九州にかけての変化が比較的大きい。
- 5日間極端降水は東北南部・関東北部の一部で比較的变化が大きい。



*1 30-32（河川洪水・熱帯低気圧による年間予想被害額、100年に1回の熱帯低気圧による予想被害額）の都道府県別データは提供されていない

4. マクロ経済影響の評価

- ▶ 4.1 マクロ経済影響評価の方法論
- 4.2 移行リスクと物理的リスク（慢性影響）の評価

マクロ経済影響評価の方法論

- シナリオ第四版では、応用一般均衡モデル（NiGEM）によってマクロ経済影響評価が定量的に評価される。第三版から方法論に大きな変更はないが、一部のモデルやデータが拡充された。

NiGEMの特徴

- 主要国の国別モデル＋その他の地域ブロック（アフリカ、中東、ラテンアメリカ、欧州発展途上国、東アジア）で構成される閉鎖モデル。
- エネルギー転換および物理的気候ショックを通し、気候変動政策影響のモデル分析を実装。IAMsからベースラインと気候変動リスクシナリオの移行リスク影響を、Potsdam Institute (PIK)から慢性リスクによるGDP損失を、Climate Analyticsから急性リスク影響を受け取る。
- 主なモデルの出力：NGFSシナリオのGDP、インフレ率、失業率、消費、投資、輸出、輸入、金利などの主要なマクロ経済および金融変数。

国別モデルの構造

- 内需、貿易量、物価、経常収支、資産保有高の決定式で構成。
- 個々の国別モデルは財・サービスの貿易と資本市場を通じて連結され、特定の国の景気減速が財の輸出や資産価格の変動を通じて他の国・ブロックにも影響を与える。
- 国別モデルは、内需をより細分化し、労働市場と政府部門の情報を組み込んだフルモデルと、簡略版モデルに分かれる。米国、日本、中国等を含む24カ国についてはフルモデル、韓国、ロシア、ブラジル等を含む27カ国、および5つの地域ブロックについては簡略版モデルを採用。

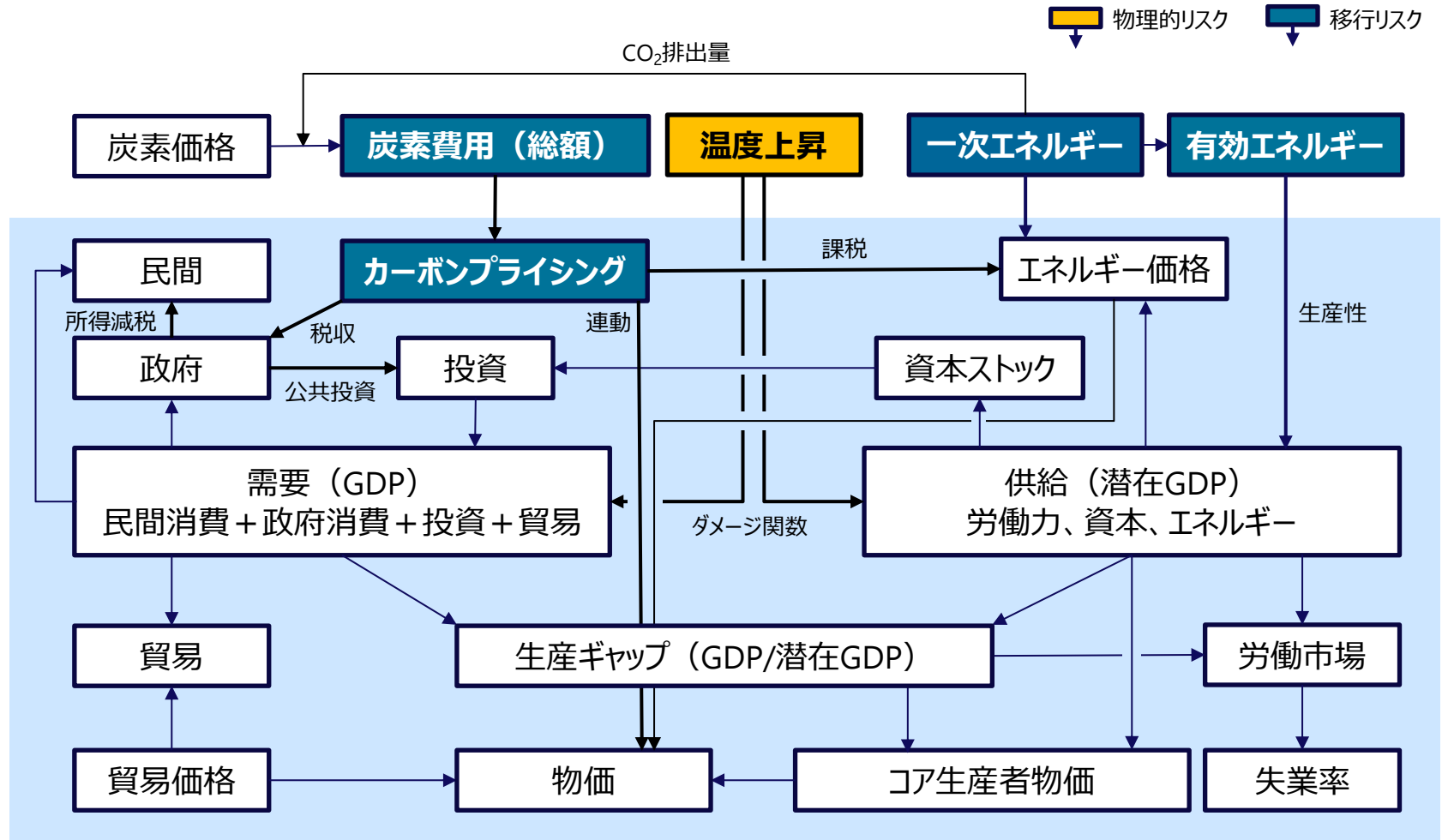
シナリオ第四版での更新点

- 国モデルの追加（マレーシア、クロアチア）、簡易版モデルからフルモデルへの拡張（ルーマニア、南アフリカ）。
- 貿易マトリックスと商品取引のデータを2017年から2019年に更新。
- 急性リスクのモデル化（詳細は3.1節（P.52-55）を参照）。

マクロ経済モデル（NiGEM）の構造とIAMとの接続

- 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)



NIESR (2023), NGFS (2023b) を参考に作成

4. マクロ経済影響の評価

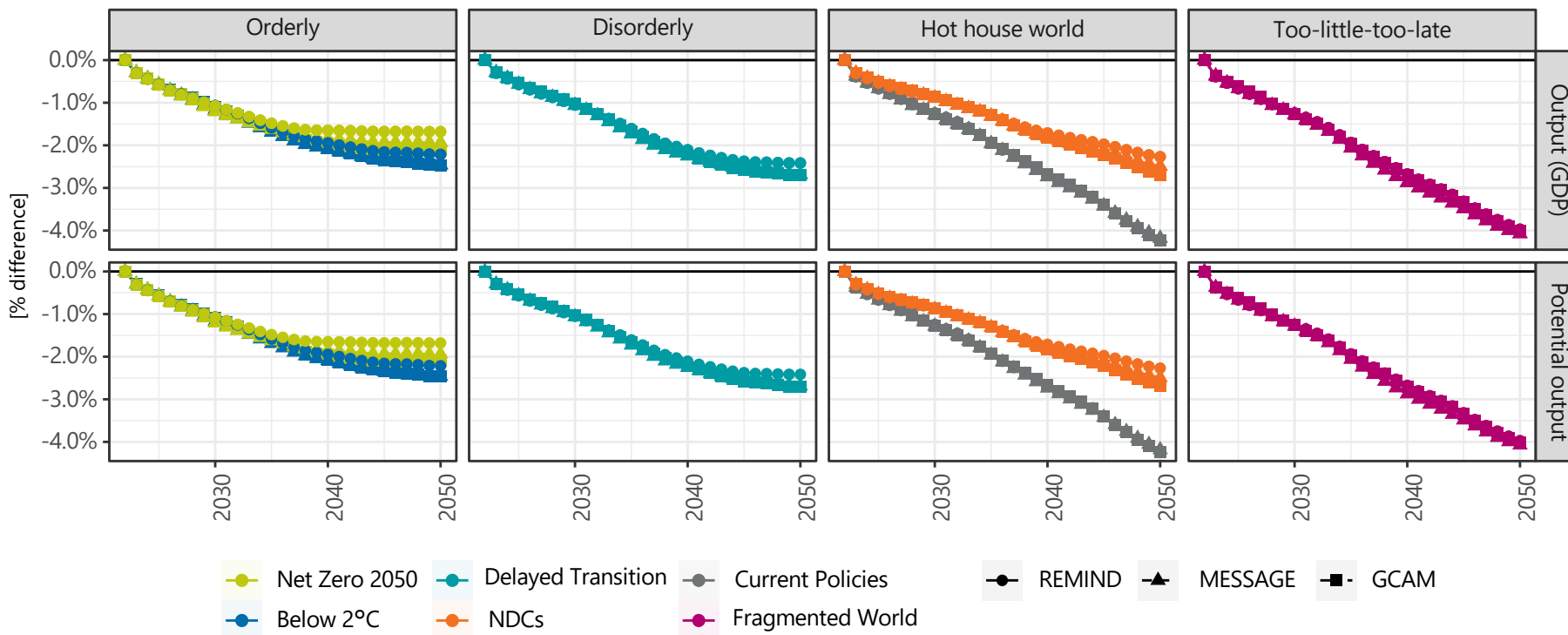
4.1 マクロ経済影響評価の方法論

▶ 4.2 移行リスクと物理的リスク（慢性影響）の評価

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。
- 「Current Policies」「Fragmented World」は、その他のシナリオ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、気温上昇の推計値のうち、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。（P.51）

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）

移行リスク要因に係る入力変数と主な波及経路

- ・ 移行リスクに関するショックは、IAMから外生変数として与えられる。
- ・ ショックの波及経路は、(1) エネルギー使用量（有効エネルギー）の削減とカーボンプライシングの導入によって、短期的な物価の上昇と生産を押し下げる効果、(2) カーボンプライシング収入の経済への還元が複合的に作用して経済・物価全般に波及する効果、(3) 化石燃料需要と価格の低下が物価を押し下げる効果、の大きく3つがある。

① 有効エネルギー^{*1}

- ・ 排出削減にともなうエネルギー需要の低下は、短期的には生産量の押し下げ要因となる。
- ・ シナリオ第四版では、最終エネルギー需要を有効エネルギーに換算。

② カーボンプライシング （政府収入）

- ・ カーボンプライシングの導入は、短期的には生産コスト上昇を通じて、GDPを押し下げ、物価の上昇をもたらす。
- ・ カーボンプライシングの導入によって発生する政府収入は、政府の財政バランスを改善させ、財政政策の余力を生み出す。Orderlyシナリオでは政府収入の半分を政府投資、その他のシナリオでは全額を減税の原資として経済に還元させ、中長期的にGDPを押し上げる要因となる。
- ・ シナリオ第四版では、炭素価格（シャドウプライス）ではなく、カーボンプライシングの導入によって発生する政府収入の総額として、与えられる。

③ 一次エネルギー 需要

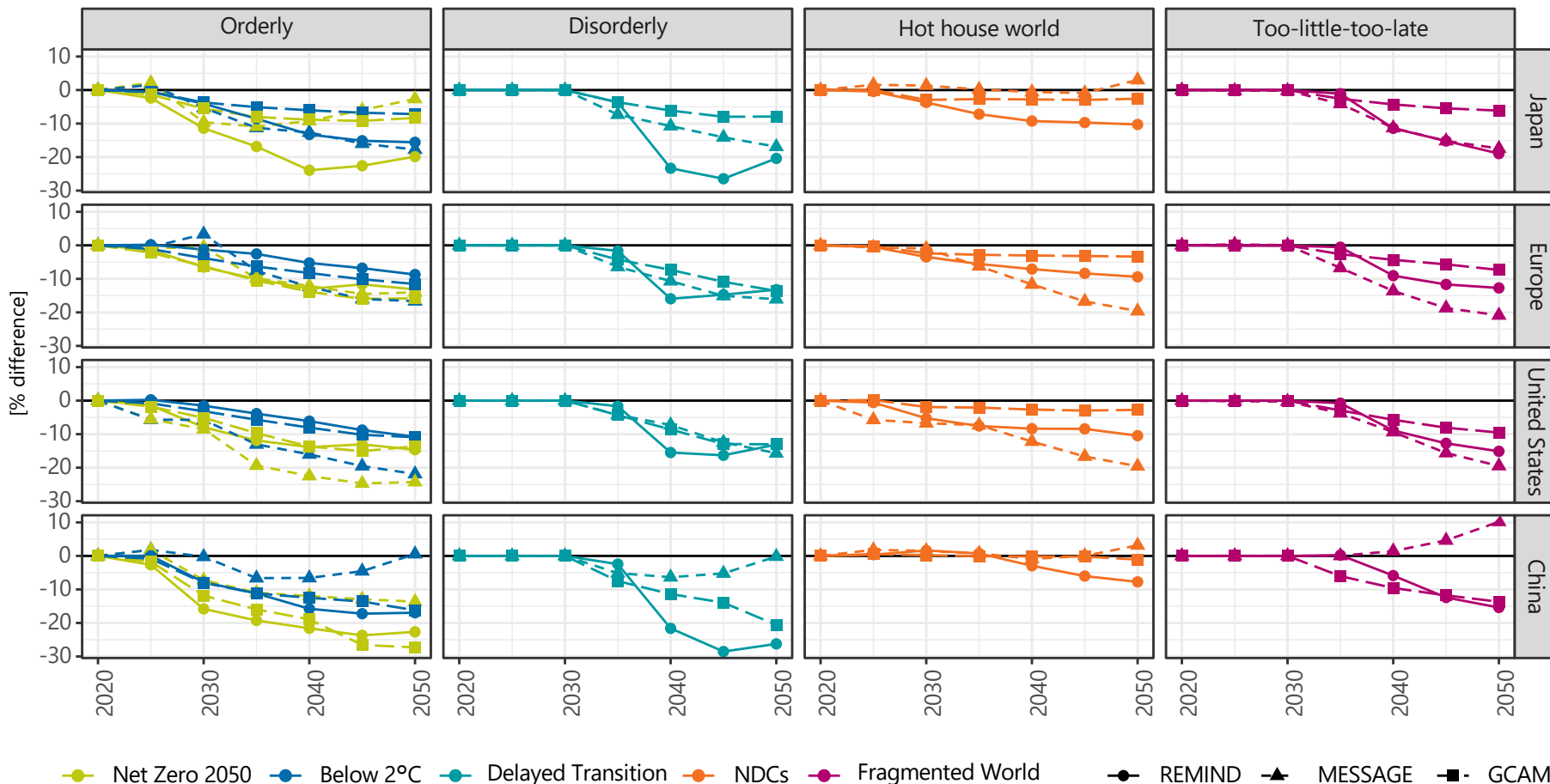
- ・ 一次エネルギー需要の低下は、化石燃料価格の低下を通じて物価の押し下げ要因となる。
- ・ シナリオ第四版では、一次エネルギー需要の変化はIAMからの外生変数として与えられ、そこからエネルギー価格が計算される。

^{*1} 有効エネルギー（useful energy）とは、GDPを構成する要素としてエネルギーサービス（例：人・km、トン・km）に直接関連づけられるエネルギーを指し、最終エネルギーにエネルギー源や部門ごとに異なる定数をかけて算出される（NGFS 2022）

有効エネルギー

- 温暖化政策が強化される局面で短期的には減少するものの、長期的には回復するケースも存在（日本の「Net Zero 2050」、「Delayed Transition」等）。
- 長期的な有効エネルギーの回復は、潜在GDPの押し上げ要因として働く。

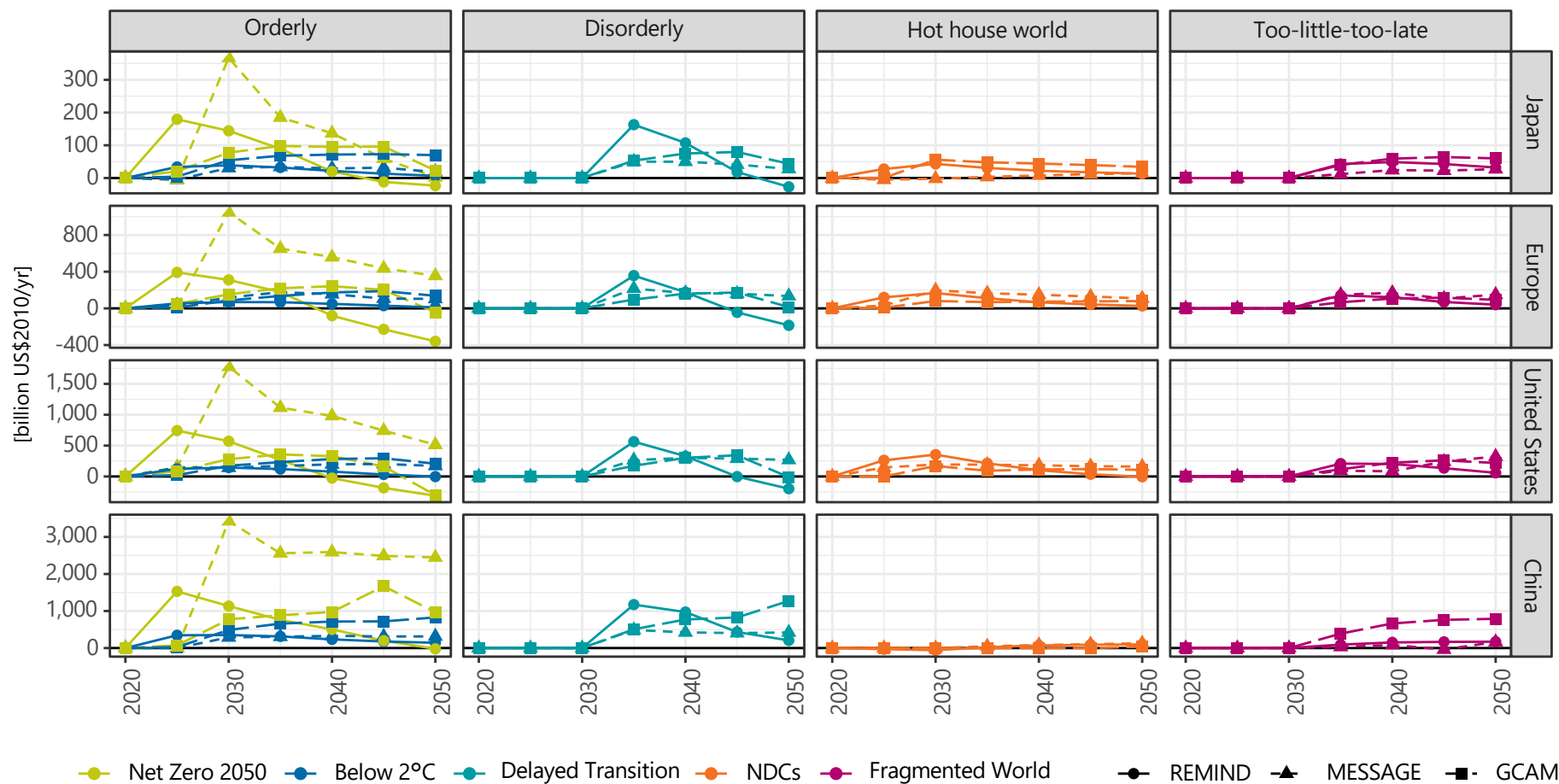
有効エネルギー（地域別・ベースライン比）



炭素収入

- 炭素税は、生産コストを介して物価の上昇（インフレ）をもたらす。
- 同時に発生する炭素収入は、政府の財政バランスを改善させ、財政政策の余力を生み出す。
- Orderlyシナリオでは政府収入の半分を政府投資、その他のシナリオでは全額を減税の原資として経済に還元させ、GDPを押し上げる。

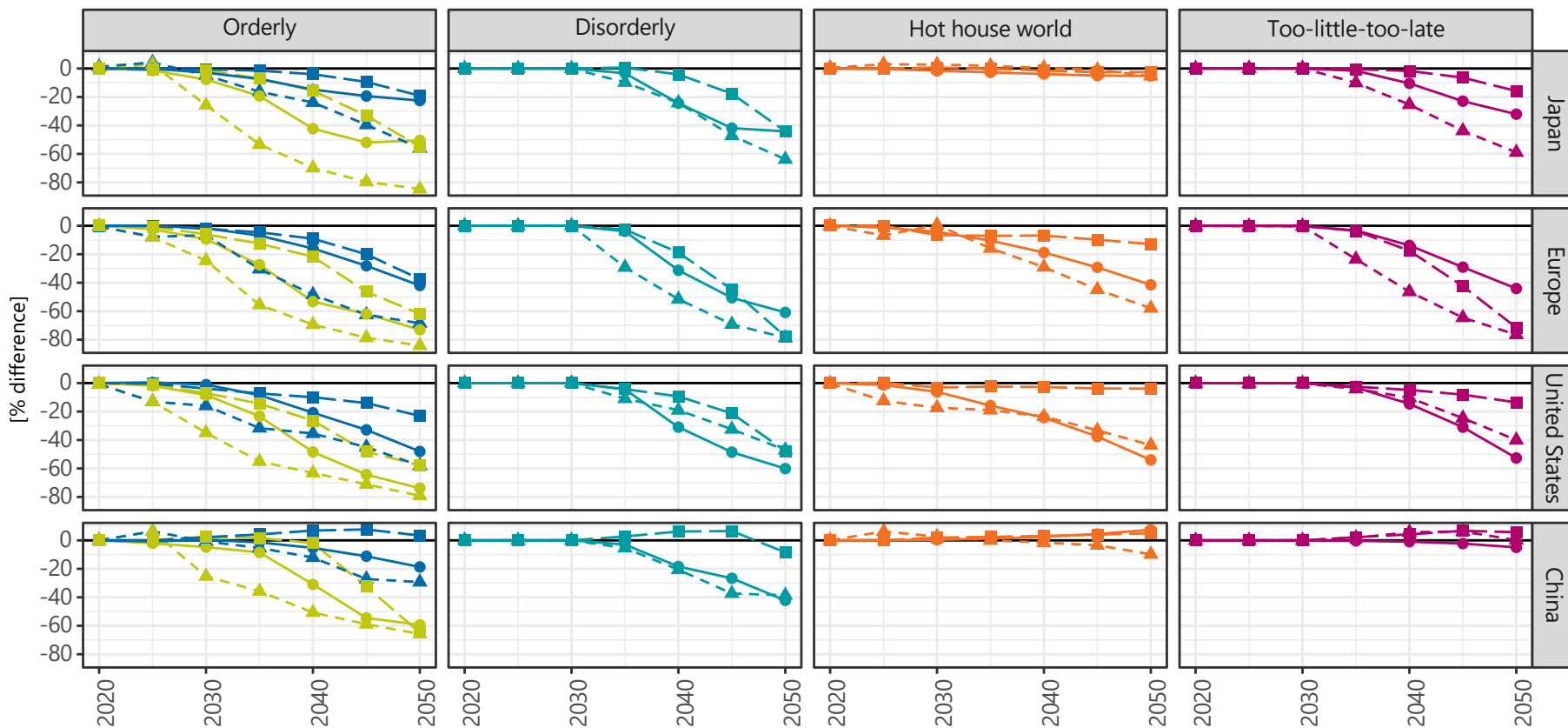
炭素収入（地域別）



一次エネルギー需要（石油）

- 温暖化政策が強化される局面で一次エネルギーの需要が減少し、燃料価格が下落。
- デフレ要因（輸入価格の低下）として働く。

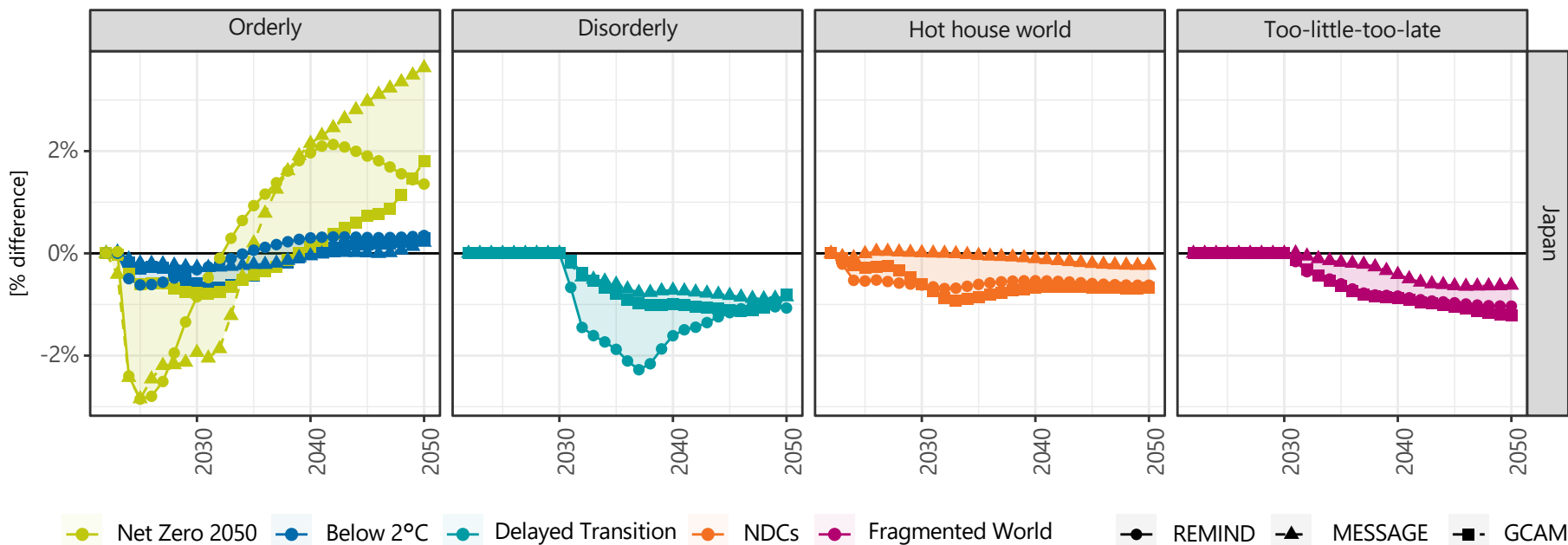
一次エネルギー量（地域別・ベースライン比）



GDP（日本）

- 政策（カーボンプライシング等）の導入直後にはGDP減少するが、その後はシナリオ／モデルによっては回復基調に。
- 「Net Zero 2050」では、短期的にはGDPが減少するものの、長期的には省エネ等のプラス効果がマイナス効果を凌駕。

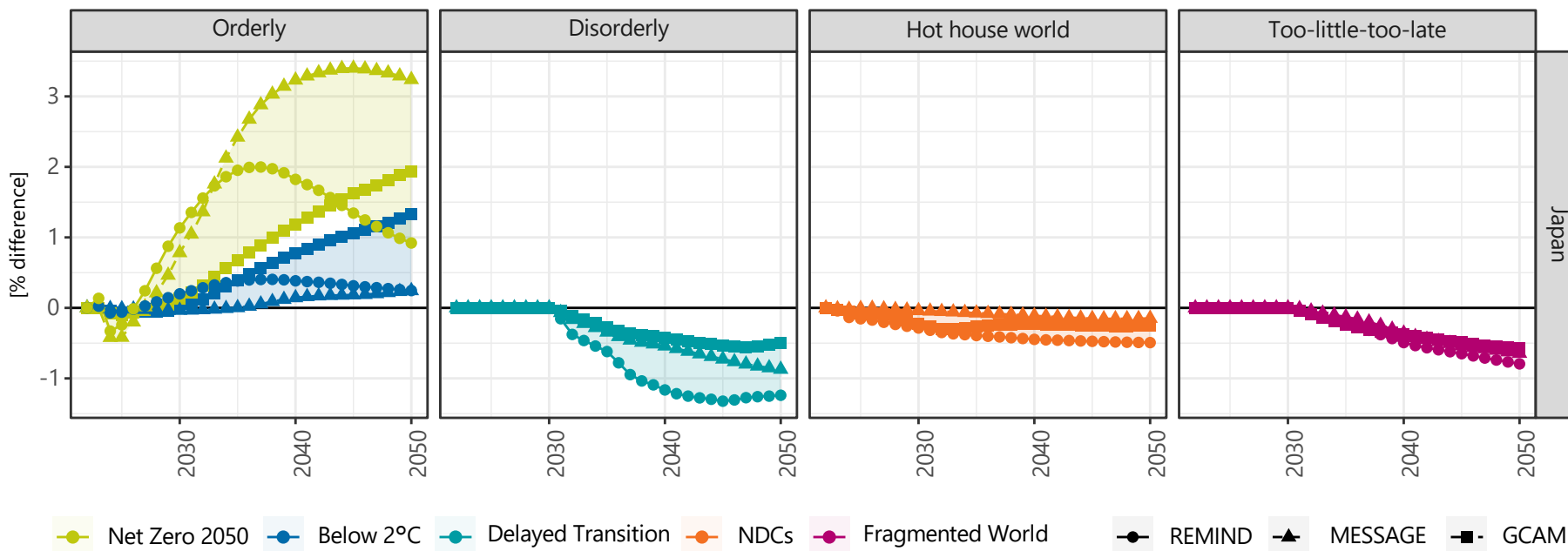
GDPに対する移行リスクの影響（日本・ベースライン比）



潜在GDP（日本）

- 「Net Zero 2050」では、カーボンプライシング導入により一時的に落ち込むが、その後は急速に回復、ベースケースよりも潜在GDPが拡大／生産性が上昇（ただし、IAM間の乖離が大きい）。
- 有効エネルギーの回復、（政府投資による）資本の蓄積等、様々な要因が潜在GDPの拡大に作用した可能性。

潜在GDPに対する移行リスクの影響（日本・ベースライン比）



政府投資（日本）

- Orderlyシナリオ（「Net Zero 2050」「Below 2°C」）では、炭素収入の半分が政府投資として、還元される（その他のシナリオでは、所得減税として還元される）。これらは、資本の蓄積などを通じて、中長期的に潜在GDPの回復に寄与する。

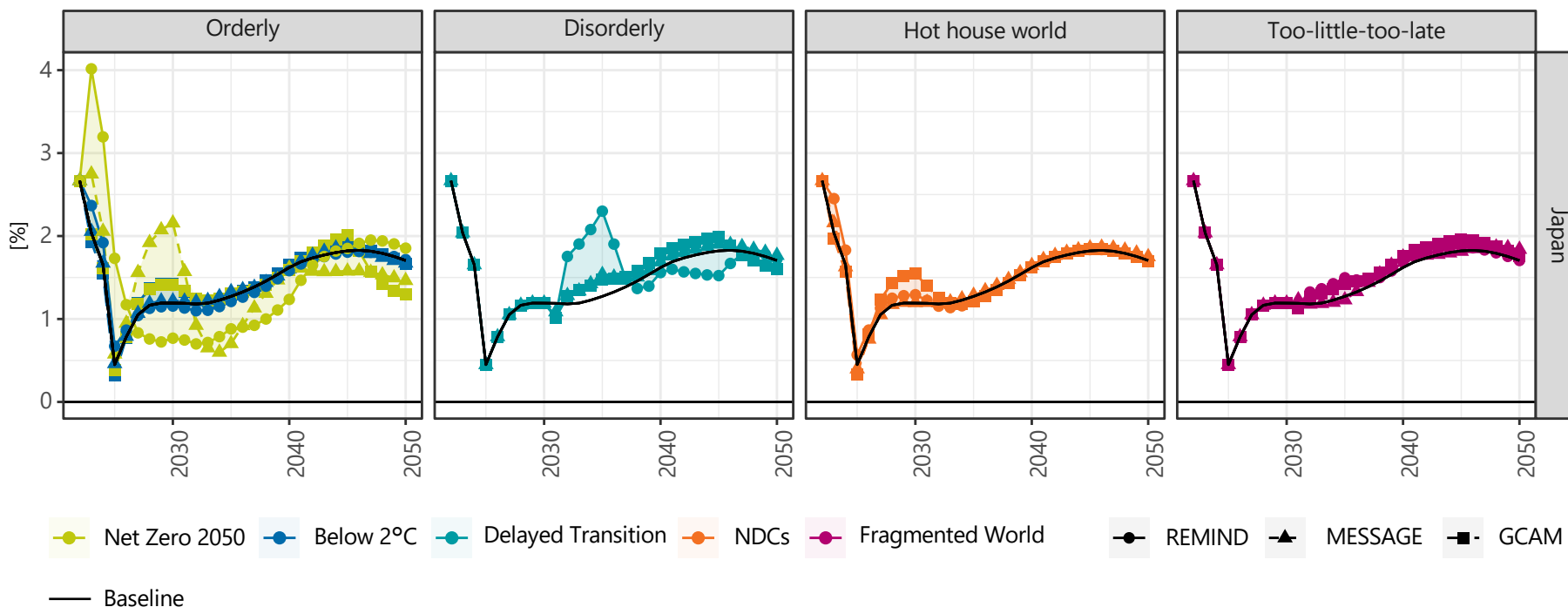
政府投資に対する移行リスクの影響（日本・ベースライン比）



インフレ率（日本）

- 政策（カーボンプライシング）導入直後には短期的にインフレ率が上昇する。
- 排出削減が進むシナリオでは、有効エネルギー需要（IAMからの入力変数）が減少して生産要素におけるエネルギー寄与度が減少する（省エネが進む）ため、長期的にはインフレが落ち着く。
- 加えて、排出削減が進むシナリオでは、化石燃料の需要（IAMからの入力変数）が減少することによって化石燃料（石油・天然ガス・石炭）の価格が下がり、物価の押し下げ要因となる。

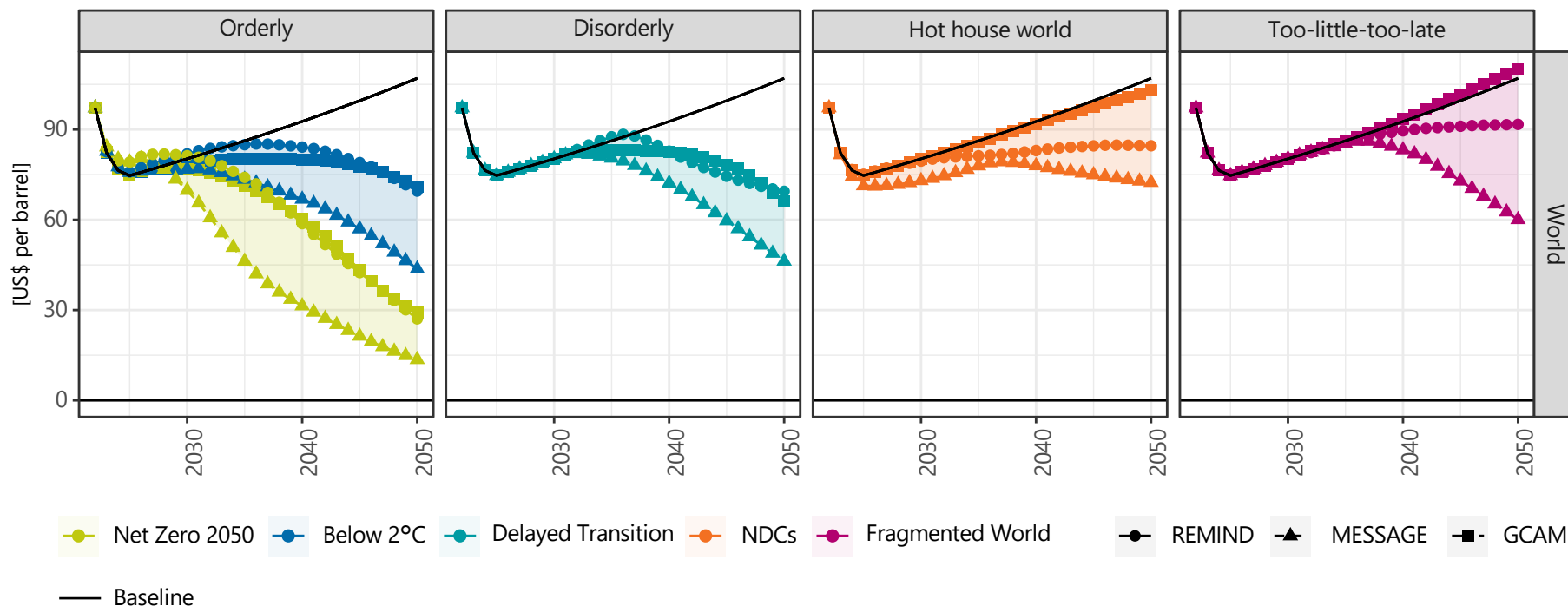
インフレ率に対する移行リスクの影響（日本）



一次エネルギー価格（石油）

- 排出削減が進むほどエネルギー需要が低下するため、世界全体の一次エネルギー価格も低下する。
- 中長期的な一次エネルギー価格の低下は、インフレ率の低下に寄与する。

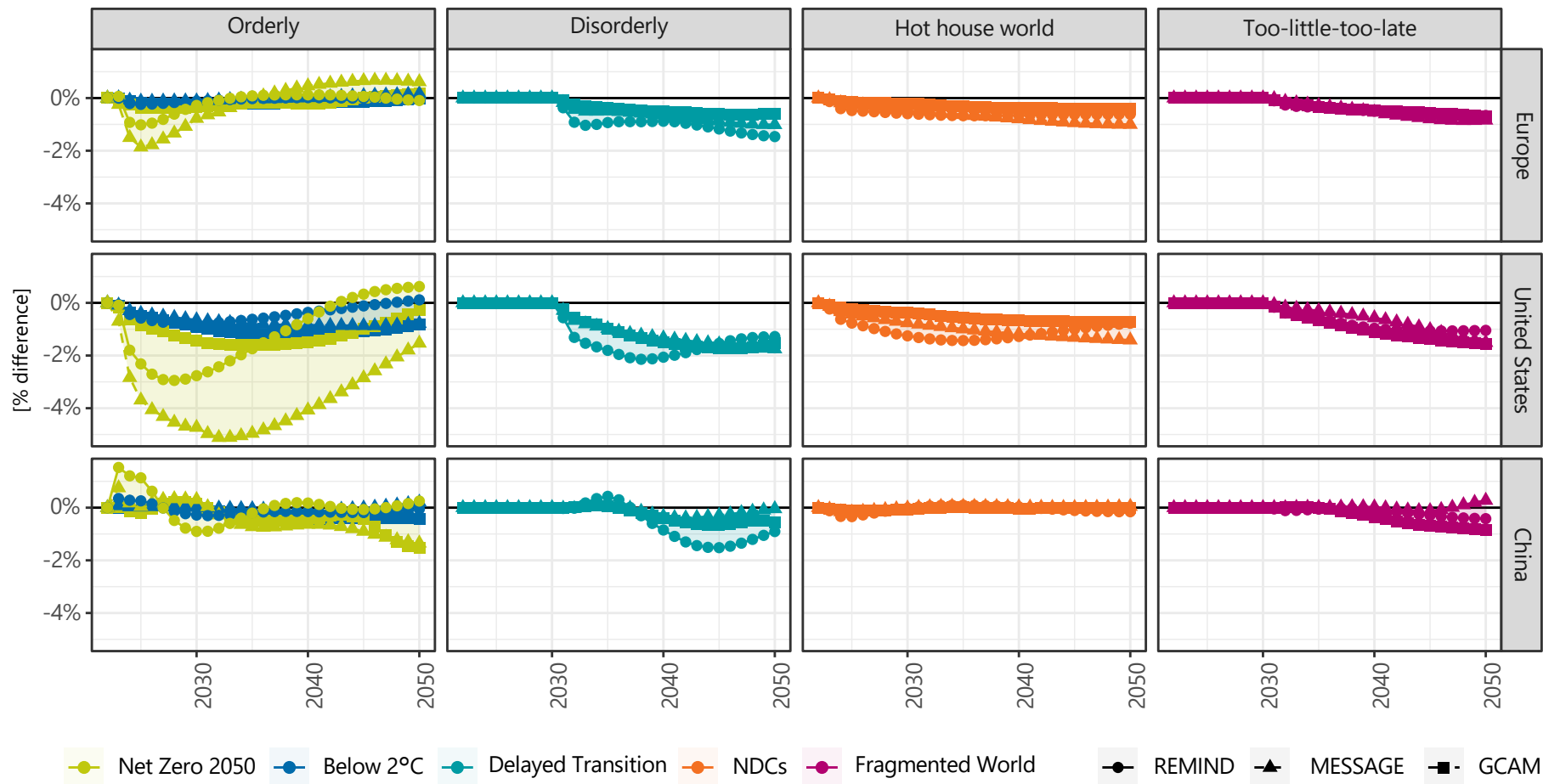
一次エネルギー価格（石油）に対する移行リスクの影響（世界全体）



GDP（欧州・米国・中国）

- 政策導入による落ち込みからの回復のペースは、日本に比べると弱い。

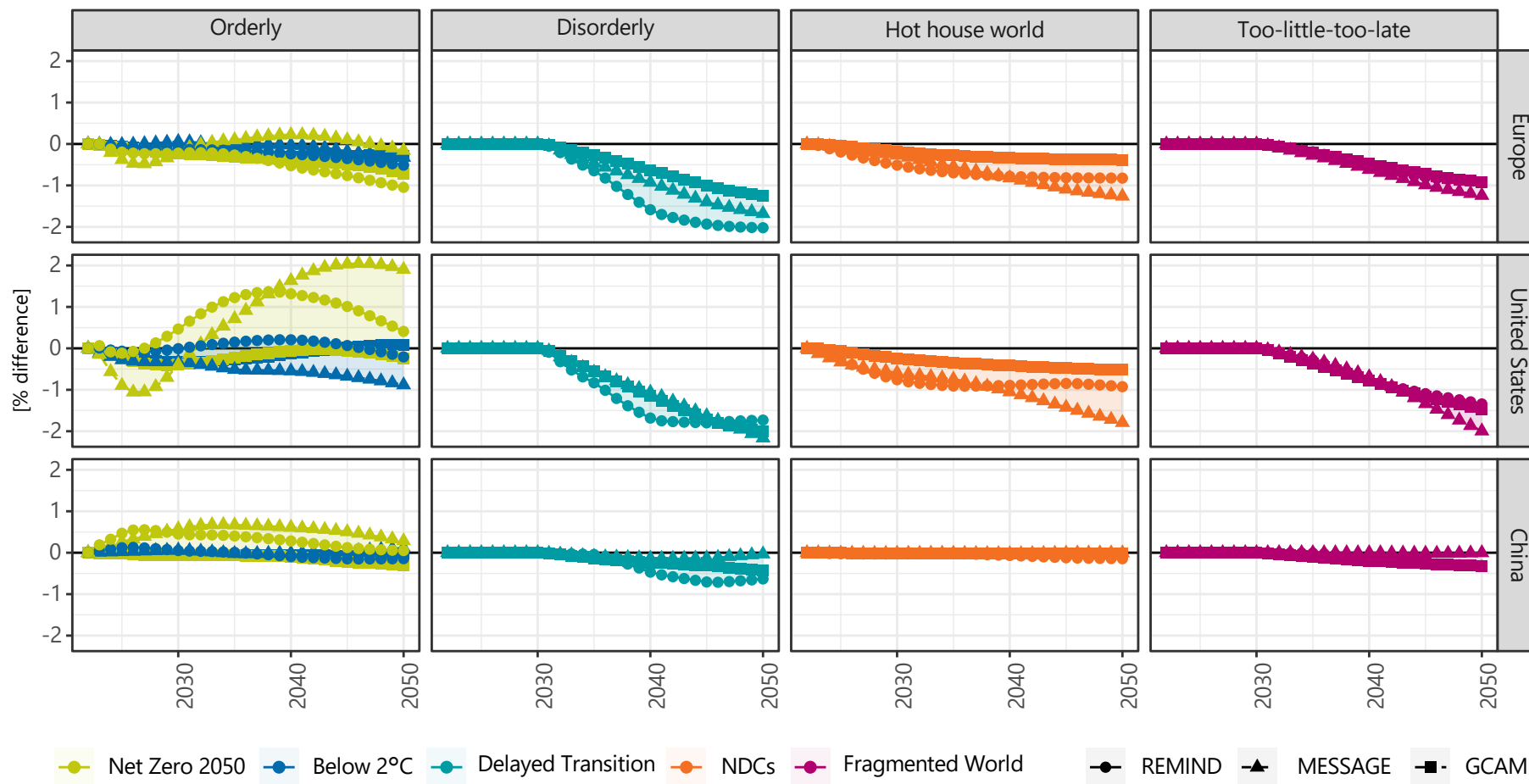
GDPに対する移行リスクの影響（欧州・米国・中国・ベースライン比）



潜在GDP（欧州・米国・中国）

- 「Net Zero 2050」では、カーボンプライシング導入により一時的に落ち込むが、その後は急速に回復、ベースケースよりも潜在GDPが拡大／生産性が上昇（ただし、IAM間の乖離が大きい）。
- 有効エネルギーの回復、（政府投資による）資本の蓄積等、様々な要因が潜在GDPの拡大に作用した可能性。

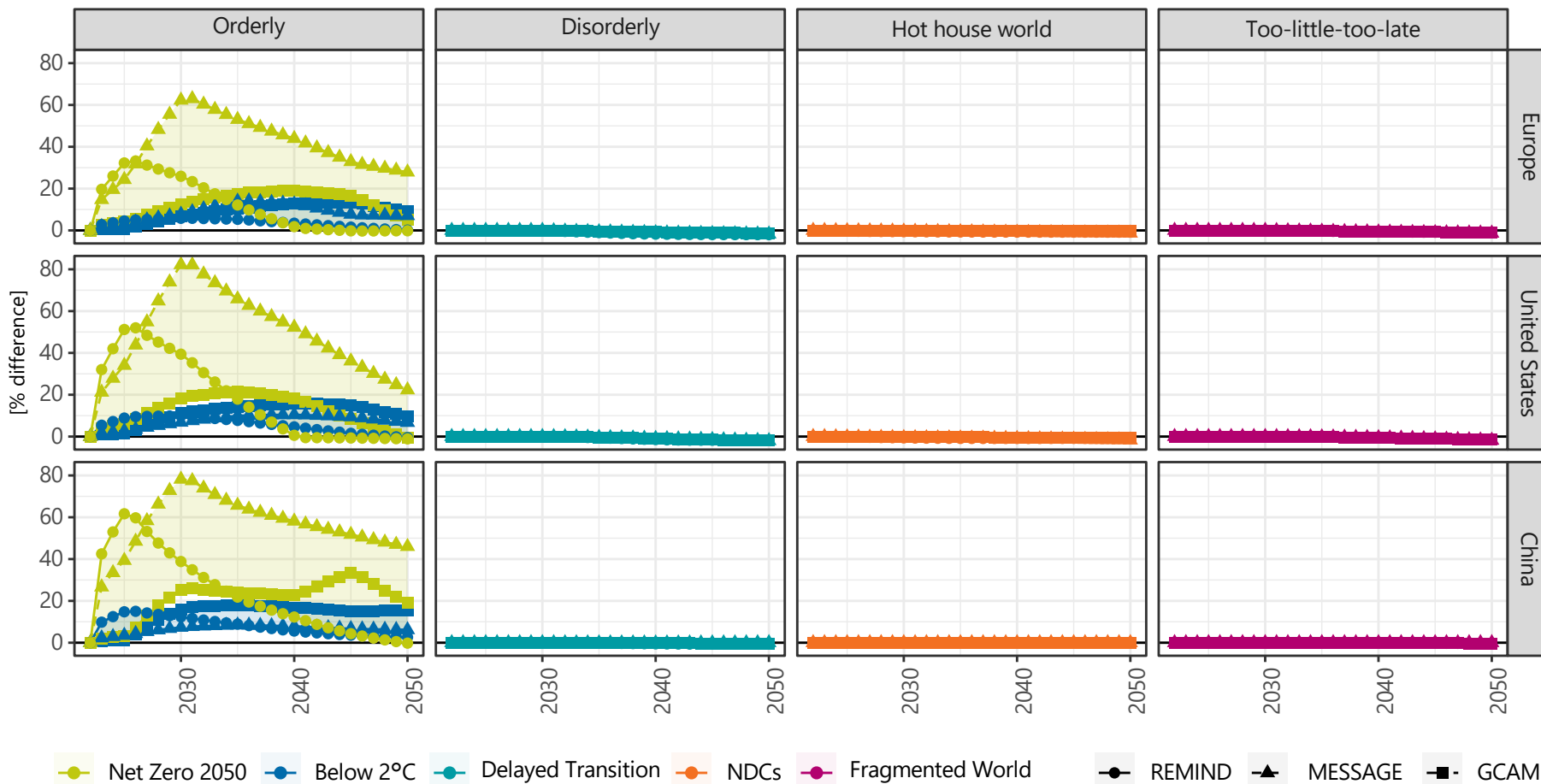
潜在GDPに対する移行リスクの影響（欧州・米国・中国・ベースライン比）



政府投資（欧州・米国・中国）

- Orderlyシナリオ（「Net Zero 2050」「Below 2°C」）では、炭素収入の半分を政府投資として還元。炭素収入を減税で還元するその他のシナリオでは政府投資に変化なし。

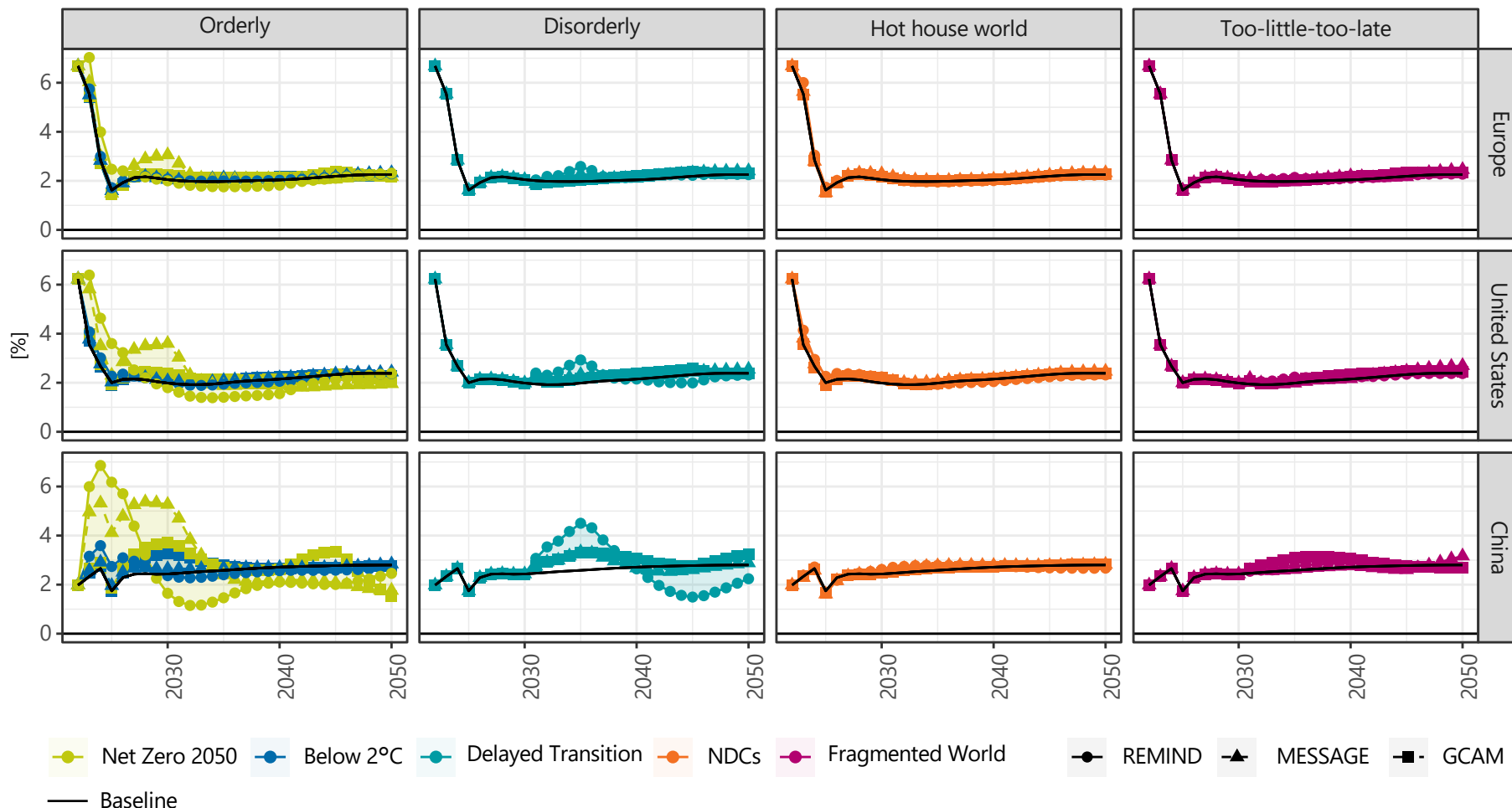
政府投資に対する移行リスクの影響（欧州・米国・中国・ベースライン比）



インフレ率（主要地域）

- 中国の「Net Zero 2050」では、ベースラインに対して高いインフレが見られた。カーボンプライシングの影響に加えて、政府投資に伴う有効需要の増加もインフレを加速したと考えられる。

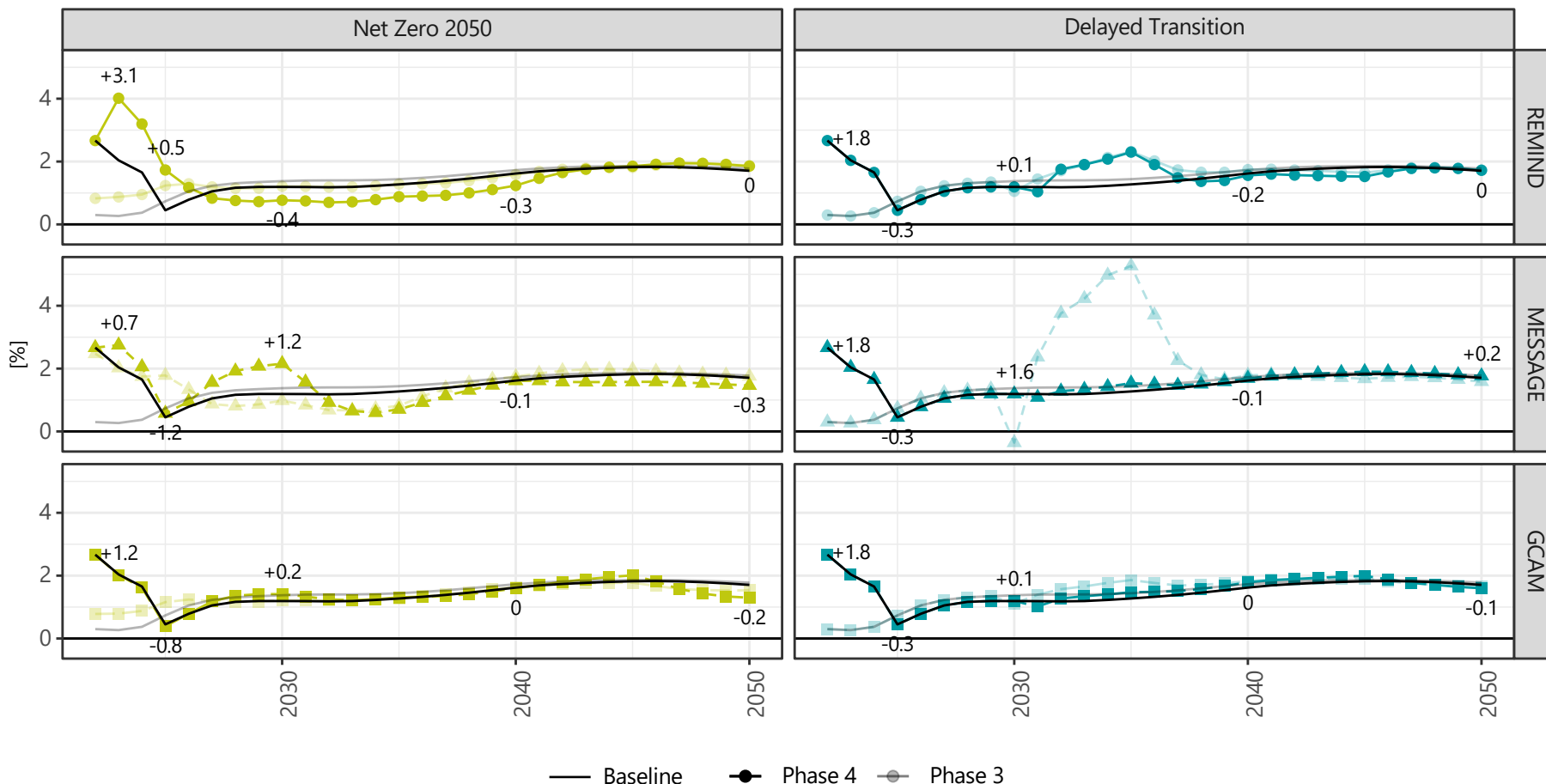
インフレ率に対する移行リスクの影響（欧州・米国・中国）



インフレ率（日本・第三版との比較）

- シナリオ第四版では、足元の物価上昇を反映。
- MESSAGEのDelayed Transitionでは、第三版で政策導入直後に急激なインフレが見られたが、第四版では修正されている。

インフレ率に対する移行リスクの影響（日本・シナリオ第三版との比較）



マクロ経済影響の評価と留意点

物理的リスク 要因に係る マクロ経済 影響

- ・ シナリオ第三版と同じく、温度上昇によってGDPと潜在GDPの両方が低下。
- ・ 「Current Policies」「Fragmented World」では他のシナリオよりもGDP・潜在GDPの低下幅が大きい。これはダメージ関数に与える温度の推計値の違いによるものである（P.51）。結果の解釈には留意が必要。

移行リスク 要因に係る マクロ経済 影響

- ・ カーボンプライシングによって、「Net Zero 2050」では、短期的なGDPの落ち込みとインフレの上昇が見られたが、「Net Zero 2050」では中長期的にGDPは回復し、「Delayed Transition」を上回る。
- ・ これは、「Net Zero 2050」で炭素収入の半分を政府投資として還元することによる効果が大きい。両シナリオの結果の差は、炭素収入の還元方式の違いに起因していることに留意が必要。

シナリオ 第三版からの 更新点

- ・ マクロ経済影響評価の基本的な枠組は第三版と共通。
- ・ シナリオ第四版では、足元のインフレ率などで最近の物価上昇が反映されていると考えられる。

その他の 留意点

- ・ 本報告書では取り上げなかったが、提供されているマクロ経済影響に関する変数のうち、炭素価格（Carbon pricing）はIAMの値と比較すると極めて高い水準まで上昇し、これが国内のエネルギー価格（Oil priceなど）にも影響している。この理由は不明だが、2050年にかけてエネルギー消費がGDP全体に占める割合が減少していくため、GDPやインフレ率といった主要なマクロ経済変数への影響は限定的と考えられる。

5. 金融機関におけるNGFSシナリオの活用

NGFSシナリオの役割と位置付け

- 中央銀行と監督当局の国際的なネットワークであるNGFSは、将来の気候関連のリスクを金融安定化モニタリングや金融監督に率先して組み込むことを奨励し、その一環として2020年6月に、当局向けに気候シナリオ分析のガイダンスと気候シナリオ（NGFSシナリオ）を公表^{*1,2}。
- NGFSシナリオは、当局による、金融システムや個別金融機関のリスク分析（ストレステスト）や気候変動が経済全体に与える影響を分析する用途で開発された^{*1}。そのため、他のシナリオとは異なり、様々な排出経路の元で、「移行リスク」「物理的リスク」「マクロ経済影響」の将来の発展が統合的に定量化されるという特徴がある。
- その一方で、当初想定されていた当局によるリスク分析（ストレステスト）の用途に照らして、改良すべき点も指摘されている（概要はP.108を参照）。そのため、NGFSは、各国の当局や市場関係者、外部の研究機関と連携してシナリオの改良・充実を行っており、それらの成果を踏まえてシナリオの改良が続けられている。
- 加えて、NGFSシナリオは、当初の目的であった当局によるリスク分析を超えて、金融機関や研究機関などによって、さまざまな目的で利用されている^{*3}。

*1 NGFS (2020a); *2 NGFS (2020b); *3 NGFS (2023b)

金融機関における気候シナリオの活用の類型

- NGFSシナリオは、当初の想定されていた用途である当局によるリスク分析（ストレステスト）を超えて、さまざまな用途で活用されている。

金融機関におけるNGFSシナリオの活用*1

A 金融機関によるリスク分析	① 気候シナリオ分析	極端なものを含め、将来の様々なシナリオを想定した上で、金融機関の戦略のレジリエンスを定量的・定性的に検証する。
	気候ストレステスト	極端だが起こりうる将来のシナリオを想定した上で、金融システムや金融機関のレジリエンスを検証する。個別の金融機関において実施される場合、自己資本の十分性や流動性の適切性の検証が行われる。
B 金融機関の戦略策定・実施における活用	② 戦略・目標の設定	気候中立への移行を想定した場合、シナリオに示された排出経路にファイナンス・エミッションを、ポートフォリオやセクター単位で整合させたり、シナリオに示された技術の発展に、金融活動を整合させる。
	③ エンゲージメント	気候中立への移行シナリオに示された技術の発展や温暖化シナリオに示された将来の物理的リスクの進展を踏まえ、特に影響が大きい顧客に対して、対策の実施や事業の転換などを働きかける。



- 上記①～③について、TCFD報告書等から金融機関におけるシナリオの活用事例を調査する（5.1）
- シナリオ第四版の特徴整理、及び、金融機関における活用事例や文献等から、金融機関におけるNGFSシナリオの活用と課題を考察する（5.2）

*1 BCBS (2022)、NGFS (2023b)を参考に作成

5. 金融機関におけるNGFSシナリオの活用

▶ 5.1 金融機関における気候シナリオの活用事例

5.2 NGFSシナリオの活用に向けた提案

金融機関における気候シナリオの活用事例の調査：方法

- CDP Climate Change 2022へ回答した企業のうち、シナリオ分析に関する設問（C3.2a）に回答した金融機関（n=321）の内容から、活用事例の分析の対象とする金融機関の候補を選定。
- 選定された金融機関のウェブサイト上に掲載された最新（2024年3月時点）の気候関連情報開示等から、シナリオ分析に関する記述を確認し、概要を整理した。

調査の手順

STEP 1

該当する事例の検索

- CDP Climate Change 2022回答データを用いて、金融機関によるシナリオ分析の概要を抽出
- シナリオ分析の目的やアプローチ毎に、キーワード検索によって、分析対象の候補となる金融機関を抽出

STEP 2

詳細な事例の調査

- 分析対象の候補とした金融機関のウェブサイト上で公表されている最新の報告書等を、直接確認
- 特に典型的と思われる事例について、概要を整理

STEP 3

活用事例の整理

- 各事例を元に、金融機関によるシナリオの活用事例を整理
- 文献等を参考に、課題等を考察

気候シナリオ分析の目的とアプローチ

- 金融機関は、さまざまな将来のシナリオを想定した上で、気候シナリオ分析を用いて戦略のレジリエンスを定量的・定性的に分析する。

金融機関における気候シナリオ分析の目的*1

(i) レジリエンス分析	気候変動や低炭素経済への移行が、金融機関の戦略やビジネスモデルのレジリエンスに与える影響を分析・評価する
(ii) リスク特定	気候関連のリスク要因を特定する
(iii) エクスポージャー・損失の推定	気候関連のリスクに対する脆弱性を計測し、エクスポージャーや期待損失を推定する
(iv) 分析上の課題の検証	金融機関の気候リスクマネジメントにおけるデータや方法論上の課題を検証する
(v) リスクマネジメントの検証	リスクの緩和策を含め、銀行のリスクマネジメント体制の適切性を検証する

気候シナリオ分析のアプローチ

リスクの種類	- 移行リスク - 物理的リスク（慢性・急性）
対象	- ポートフォリオ全体 - 特定の業種／資産クラス
期間	- 短期（数年） - 中長期（数十年）
分析結果	- 定量的 - 定性的

*1 BCBS (2022)

ポートフォリオ全体を対象としたリスク分析

Invesco Asset Management（米国、運用機関）*1

- NGFSシナリオ第三版を用いて、長期の「移行リスク」「物理的リスク」を定量的に計測し、自社の高排出セクター向けの投資戦略の妥当性を検証。

目的	(i) レジリエンス分析 (ii) リスク特定 (iii) エクスポージャー・損失の推定
リスク	移行リスク・物理的リスク
対象	ポートフォリオ全体
期間	長期（～2050年）
結果	定量的

分析の概要

分析対象	株式（株式運用残高の83.41%）・社債（社債運用残高の39.22%）・ソブリン債*2
シナリオ	- NGFSシナリオ第三版： - Orderly: Below 2°C - Disorderly: Delayed Transition - Hot house world: Current Policies - Forecast Policy Scenario (FPS) 2022（NGFSシナリオの分析を補完する位置付け）
リスクの計測	以下のリスク要因から個別投資先の収益の変化を予測し、2050年までの株式・社債の時価を算出 - 移行リスク：カーボンプライシング、製品需要の変化、排出削減によるコスト減、市場要因 - 物理的リスク：急性リスク・慢性リスクによる直接的な損失、適応によるコスト減
分析結果	- 移行リスクによる負の影響はDisorderlyが最大で、公益事業・素材・エネルギーといった業種で特に大きかった。この結果は、高排出業種向けの投資戦略の妥当性を支持するものであった - 物理的リスクによる損失の影響は相対的に小さかったが、地域による差が大きいことや、モデリングの限界から過小評価されている可能性に言及。将来的な分析能力の向上が課題

*1 Invesco (2023); *2 ソブリン債については、本頁では詳細は省略

ポートフォリオ全体を対象としたリスク分析

a.s.r.（オランダ、保険）*1

- NGFSシナリオに類似した外部シナリオを用いて、「移行リスク」「物理的リスク」両方が運用資産と保険支払準備金に与える長期の影響を計測。

目的	(i) レジリエンス分析 (ii) リスク特定 (iii) エクスポーチャー・損失の推定
リスク	移行リスク・物理的リスク
対象	ポートフォリオ全体
期間	長期（～2050年）
結果	定量的

分析の概要

分析対象	運用資産
シナリオ	- 外部シナリオ（Ortec Finance）： 「パリ協定」への秩序的移行 (1.3-2.4°C; SSP1-2.6) 「パリ協定」への非秩序的移行 (2.1-3.5°C; SSP2-4.5) 「パリ協定」への移行失敗 (3.3-5.7°C; SSP5-8.5) - ベースシナリオ（中立的な政策変化を想定）
リスクの計測	以下のデータからデータプロバイダー（Ortec Finance）が算出したシナリオを元に影響を計測 - 気候データ：IPCC - 経済影響：外部データプロバイダー（Cambridge Econometrics）によるGDPショック
分析結果	- ベースシナリオと比較して、全てのシナリオで運用資産に対する収益は悪化し、「移行失敗」シナリオにおける影響が最も大きい - 全てのシナリオでソルベンシー資本要件の最低基準を確保、投資先が欧州域内中心であることとサステナブル投資ポリシーを有していることが一因

*1 a.s.r (2023)

ポートフォリオ全体を対象としたリスク分析

Bank of America（米国、銀行）*1

- NGFSシナリオを用いて、主に長期の「移行リスク」「物理的リスク」の影響を定量的に評価。
- 独自の短期シナリオや特異的シナリオを併用

目的	(ii) リスク特定 (iii) エクスポージャー・損失の推定
リスク	移行リスク
対象	ポートフォリオ全体
期間	短期・長期（2052年）
結果	定量的・定性的

分析の概要

分析対象	企業向け融資、商業不動産（信用リスク）、トレーディング・カウンターパーティー（市場リスク）、企業向け融資担保デリバティブ（流動性リスク）
シナリオ	NGFSシナリオ： - Net Zero 2050 - Delayed Transition その他： - 短期シナリオ（instantaneous、市場リスクのみ） - 特異的シナリオ（idiosyncratic）
リスクの計測	- 信用リスク：業種ごとの特性を踏まえ、GHG排出や燃料価格の変化などの要因の影響を内部モデルによって計測 - 市場リスク：NGFSの長期シナリオのナラティブを元に短期シナリオを構築し、トレーディングポートフォリオへの影響を計測 - 流動性リスク：突発的な移行ショックシナリオとNGFSの長期シナリオを元に、デリバティブ担保要件と企業向け融資への影響を計測
分析結果	融資ポートフォリオの大半で、気候関連の移行リスクは「低い」「中程度」と評価

*1 Bank of America (2023)

ポートフォリオ全体／一部を対象としたリスク分析

Goldman Sachs（米国、銀行）*1

- 独自のシナリオ／データを用いて、移行リスク及び物理的リスクの影響を定量的に評価（物理的リスクについては、リスクの大きさを定性的に評価）。

目的	(ii) リスク特定 (iii) エクスポージャー・損失の推定
リスク	移行リスク・物理的リスク
対象	ポートフォリオ全体・一部
期間	長期（～2050年）
結果	定量的・定性的

分析の概要

分析対象	移行リスク：融資ポートフォリオ、物理的リスク：不動産担保
シナリオ	移行リスク： - 世界全体でパリ協定の目標（1.5℃目標）を達成するシナリオ（NGFS Net Zero 2050同等のシナリオ、RCP2.6もしくはRCP1.8に相当） - パリ協定の目標が部分的に達成されるシナリオ（RCP3.7もしくはRCP4.5に相当） - ベースライン（NGFS Current PoliciesやRCP6.0に相当） 物理的リスク： - RCP2.6、RCP6.0、RCP8.5
リスクの計測	移行リスク： - 業種・個別貸出先の排出量と過去のリスクファクターに関するデータから、ベースラインシナリオに対する信用格付や企業価値への影響を算出 - 各シナリオの下で、バランスシート上の全ての資産価値の再評価を行い、潜在的な損失を評価 物理的リスク： - 気候モデルのデータから、地点単位で物理的リスク要因の大きさを4段階で指数化し、影響の大きさを定性的に評価
分析結果	移行リスク：他の要因と比較して、気候関連の移行リスクに起因する資産価値への影響は小さい

*1 Goldman Sachs (2023)

ポートフォリオの一部を対象としたリスク分析

Commonwealth Bank of Australia（豪州、銀行）*1

- 豪州国内の2業種（住宅ローン、農業部門向けローン）を対象に、「移行リスク」「物理的リスク」へのエクスポージャーをそれぞれ計測。

目的	(i) レジリエンス分析 (ii) リスク特定 (iii) エクスポージャー・損失の推定
リスク	移行リスク・物理的リスク
対象	特定業種
期間	長期（～2050年）
結果	定性的

分析の概要

分析対象	住宅ローン、農業部門向けローン
シナリオ	- NGFSシナリオ、IEAシナリオ、IPCC RCPシナリオを併用 - 移行遅延シナリオ：NGFS第三版 Delayed Transition + RCP4.5 1.5°Cシナリオ：IEA NZE + RCP2.6 - 物理的リスクシナリオ：NGFS第三版 Current Policies + RCP8.5
リスクの計測	- 住宅ローン： - 移行リスク：豪州域内の化石燃料産業と地域経済の衰退による、デフォルトリスク - 物理的リスク：急性リスク（サイクロン、火災、洪水）及び慢性リスク（海面上昇）へのエクスポージャー - 農業部門向けローン： - 生産性が高い地域の環境変化をモデリング（研究機関と共同）
分析結果	- 住宅ローン（豪州国内の融資残高に占める割合）： - 移行リスク：2.5%でデフォルトリスク高と評価（移行遅延シナリオ） - 物理的リスク：急性リスクで4.6%、慢性リスクで0.3%未満が高リスクと評価（物理的リスクシナリオ）

*1 Commonwealth Bank of Australia (2023)

気候シナリオを参照した定性的なリスクマネジメント

CaixaBank（スペイン、銀行）*1

- 気候シナリオを参照し、移行リスクとなりうる要因を業種単位で抽出し、業種別に移行リスクのヒートマップを作成。

目的	(ii) リスク特定 (iii) エクスポージャー・損失の推定 (v) リスクマネジメントの検証
リスク	移行リスク
対象	ポートフォリオ全体
期間	短～長期（2050年）
結果	定性的

分析の概要

分析対象	ポートフォリオ全体（業種単位）
シナリオ	- NGFSシナリオ： - Orderly transition (Net Zero 2050) - Disorderly transition (Delayed Transition) - Hot House World (Current Policy)
リスクの計測	気候シナリオを参照し、異なる時間軸（2025年・2030年・2040年・2050年）において、業種単位で重大なリスクとなりうる要因（変数）と影響を特定し、リスクのヒートマップを作成
分析結果	エネルギー、運輸、鉄鋼、アルミニウム、セメント、農業、採掘、素材が高リスクと判断され、高リスクかつエクスポージャーの多い業種が特定された

*1 CaixaBank (2022,2023)

気候シナリオを参照した定性的なリスクマネジメント

Lincoln National Corporation（米国、保険）*1

- 気候シナリオを定性的に参照し、リスクマネジメント体制を検証。

目的	(ii) リスク特定 (iii) エクスポージャー・損失の推定 (v) リスクマネジメントの検証
リスク	物理的リスク
対象	ポートフォリオ全体
期間	-
結果	定性的

分析の概要

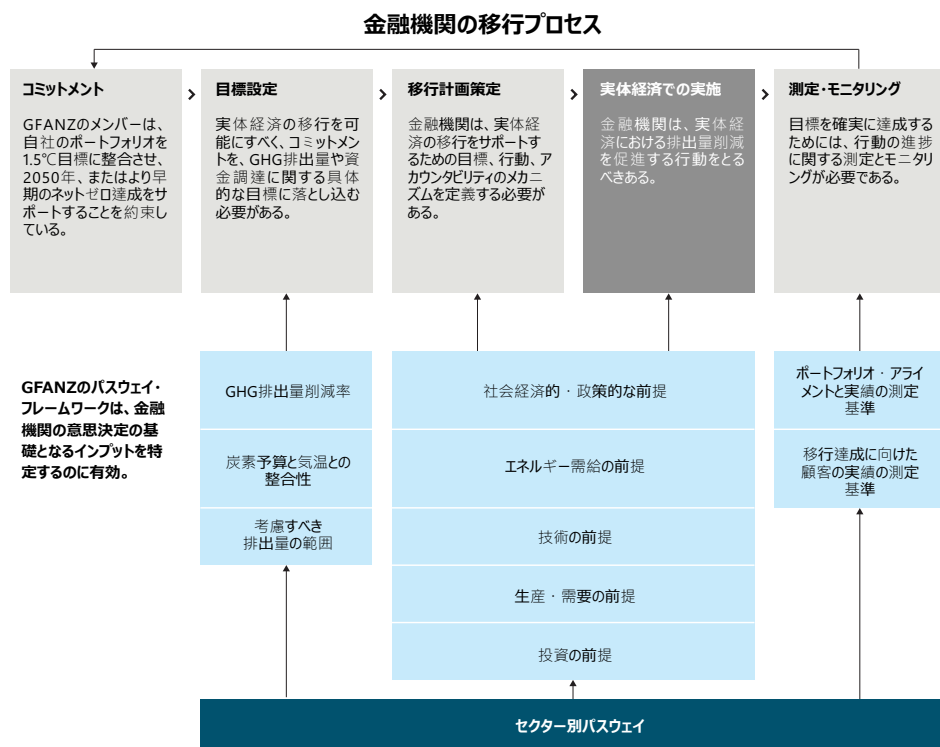
分析対象	-
シナリオ	- IPCC RCPシナリオ： - ベースラインシナリオ：RCP2.6 (1.6-2.0°C) - 極端シナリオ：RCP8.5 (4.1°C)
リスクの計測	- ベースラインシナリオと極端シナリオの比較に基づき、キーとなるリスクカテゴリを定性的に特定。自社のストレステストの一環として、特定したリスクカテゴリの重要度を評価 - リスクカテゴリの特定においては、リスクの緩和策の効果も考慮
分析結果	特定された物理的リスクはいずれも、自社の許容リスクの範囲に収まっていると評価

*1 Lincoln National Corporation (2023)

気候シナリオを参照した金融機関の戦略・目標の設定

- 金融機関は、移行リスクへの対処として、ファイナンスト・エミッションや特定セクターへのエクスポージャーの削減目標を設定する。
- GFANZは2022年6月に公表したセクター別パスウェイに関する技術文書^{*1}で、金融機関の目標設定や移行計画の策定等において、NGFSを含む複数のシナリオを例示。

金融機関の移行プロセスにおけるセクター別パスウェイの役割



■ 金融機関の戦略・計画策定の手順

■ 実体経済の移行

^{*1} GFANZ (2022); ^{*2} University of Technology Sydney

GFANZが例示したシナリオと条件

IEA	Net Zero Emissions by 2050 (NZE2050)
NGFS	- Net Zero 2050 (REMIND) - Net Zero 2050 (MESSAGE) - Net Zero 2050 (GCAM)
UTS ^{*2}	One Earth Climate Model (OECM)

GFANZ (2022)によるシナリオ選定の基準：

- 詳細な方法論や前提条件・データが公表されている
- 一定の部門別の解像度を有している
- 1.5°C目標に求められる野心のレベルと整合している
- すでに広く利用されている（IEA及びNGFS）、もしくは金融機関によって支持されている（UTSはNet-Zero Asset Owners Allianceの支援を受けている）

目標の設定におけるシナリオの参照1/2

- 気候シナリオ分析を実施している金融機関の多くは、2050年までに投融資や保険引受に係るファイナンス・エミッションのネットゼロ目標を表明し、これと整合的な中間目標を設定している。
- ①で取り上げた金融機関の大半は、ポートフォリオ全体もしくは主要なセクター単位で、2030年を期限とする中間目標を設定していた。基準年からの削減率の設定ではIEAやMPPなどのセクター別シナリオが参照されていたが、NGFSシナリオを参照して目標を設定している機関はなかった。

金融機関が設定した中間目標と参照されているシナリオ

Invesco Asset Management	全体：2030年までに排出量を50%削減（2019年比）	IPCC SR15 S1/P2*1
a.s.r.	全体：2030年までにスコープ1,2の原単位を65%削減（2015年比）	-
Bank of America	- 自動車：2030年までにスコープ1,2,3の原単位を48%減（2019年比） - セメント：2030年までにスコープ1,2の原単位を32%減（2019年比） - エネルギー：2030年までにスコープ1,2の原単位を45%減、スコープ3の原単位を29%減（2019年比） - 発電：2030年までにスコープ1の原単位を70%減（2019年比）	IEA NZE2050
	航空：2030年までにスコープ1の原単位を37%減（2019年比）	MPP*2
Goldman Sachs	- 自動車：2030年までに原単位を48%減（2019年比） - エネルギー：2030年までに原単位を17-22%減 - 発電：2030年までに原単位を48-65%減（2019年比）	-

*1 IPCC (2018); *2 Mission Possible Partnership

目標の設定におけるシナリオの参照2/2

金融機関が設定した中間目標と参照されているシナリオ

Commonwealth Bank of Australia	- 発電：2030年までにスコープ1の原単位を53%減（2020年比） - 石油：2030年までにスコープ1,2,3の排出量を27%減（2020年比） - ガス：2030年までにスコープ1,2,3の排出量を17%減（2020年比） - 石炭：2030年までにスコープ1,2,3の排出量を100%減（2020年比）	IEA NZE (2021)
	- 鉄鋼：2023年までにスコープ1,2の原単位を30%減（2021年比） - アルミナ：2023年までにスコープ1,2の原単位を62%減（2021年比） - アルミニウム：2023年までにスコープ1,2の原単位を46%減（2021年比） - セメント：2023年までにスコープ1,2の原単位を23%減（2021年比）	SBTi*1 & MPP
	住宅：2030年までにスコープ1,2の原単位を60%減（2021年比）	SBTi
CaixaBank	- 発電：2030年までにスコープ1の原単位を30%減（2020年比） - 石油・ガス：2030年までにスコープ1,2,3の排出量を32%減（2020年比）	IEA NZE (2021)
Lincoln National Corporation	-	-

*1 Science-based Targets Initiative

気候シナリオを活用したエンゲージメントの事例

Impax Asset Management（米国、運用機関）^{*1}

リスク	移行リスク・物理的リスク
対象	投資先
期間	-
結果	定性的

- ・ 主に定性的なシナリオ分析に基づいて、移行リスク・物理的リスクの観点から高リスクな投資先を特定。
- ・ エンゲージメントでは、気候関連のリスクマネジメントだけでなく、分析に必要なデータ（個別アセットの地点データ）の開示も要求。

分析の概要

シナリオ	・ NGFS Net Zero 2050シナリオ（移行リスク） ・ IPCC RCPシナリオ（詳細不明）（物理的リスク）
分析の概要	・ NGFS Net Zero 2050シナリオの炭素価格と投資先企業の排出量を元に、売上に対する炭素価格の影響が大きい企業を特定 ・ PE及び上場株式を対象に、アセット単位で地点ごとの物理的リスク（降雨・高温・洪水など）への影響を検討
エンゲージメントへの活用	・ 一般的な投資先との対話の一環として、気候リスクのマネジメントや情報公開、物理的リスクに対する備え、アセットの地点データの公表を中心に、エンゲージメントを実施 ・ 重大な懸念が想定された投資先に対しては直ちに改善策を提案・要請。改善が認められない場合は、上位の役職者への働きかけ、他の投資家との共同エンゲージメント、株主提案等を検討

^{*1} Impax Asset Management (2023)

金融機関における気候シナリオの活用

① 気候シナリオ分析

ポートフォリオ全体や特定業種・資産への定量分析

- ・ ポートフォリオ全体、もしくは業種や個別投資先の単位で、移行リスクや物理的リスクの影響を定量的に計測する事例が見られた（ただし、詳細な方法論は公表されていない）。
- ・ 金融機関の中には、自己資本要件などの規制的基準への影響を検証する例もあった。これらの金融機関では、内部ストレステストへの気候関連リスクの統合が図られていると考えられた。
- ・ NGFSシナリオに整合的な独自シナリオや外部シナリオを使用する事例が見られた。

移行リスクの定性的な分析

- ・ NGFSシナリオを参照し、業種単位のリスクの大きさを定性的に分析・考察する事例が見られた。

物理的リスクの定性的な分析

- ・ 物理的リスク関連の変数・外部データを定性的に参照し、エクスポージャーの計測や内部リスクマネジメントの検証に活用する事例が見られた。

② 戦略・目標の設定

- ・ リスク分析にNGFSシナリオを参照している機関であっても、目標設定はIEAなどNGFS以外のシナリオを参照している金融機関が多かった。

③ エンゲージメント

- ・ 個別投資先の物理的リスクへのエクスポージャーを定性的に評価し、エンゲージメントに活用している事例が見られた。エンゲージメントの内容には、リスクマネジメントの確認だけでなく、具体的なデータの取得も含まれていた。

5. 金融機関におけるNGFSシナリオの活用

5.1 金融機関における気候シナリオの活用事例

▶ 5.2 NGFSシナリオの活用に向けた提案

リスク分析におけるNGFSシナリオの活用と課題1/2

- 金融機関における気候シナリオの活用事例から、ポートフォリオ全体の幅広い資産を対象に、「移行リスク」「物理的リスク」による影響の定量的な評価を目的とするリスク分析において、NGFSシナリオを活用している事例が確認された。
- その一方で、リスク分析の用途に照らして現時点のNGFSシナリオには、課題も存在すると考えられた。NGFSは継続的にシナリオを更新する予定であり、今後の改訂において、これらの課題への対処とさらなる情報の充実が期待される。

想定されるNGFSシナリオの活用

現時点の課題と将来的に改良が期待される点

ポートフォリオ全体を対象としたリスク分析

- 「移行リスク」「物理的リスク」の影響を統合的に定量できるため、ポートフォリオ全体を対象としたリスク分析への活用が考えられた^{*1}。
- 炭素価格の上昇やGDPショック（移行リスク）、ハザードに起因する直接的な損失（物理的リスク）などが資産価値や投資収益へ与える影響の分析などが、分析の例として考えられた^{*2,3}。
- 金融機関が独自にシナリオを拡張したり、外部データを使用する必要性も、事例分析から示唆された^{*2,3,4}（P.109-111も参照）。

- リスク分析の目的によってはNGFSシナリオが提供していない変数がある。NGFSでは、部門ごとの粒度の向上や短期シナリオの開発などに取り組んでおり、情報の充実が期待される。
- 物理的リスクの評価に関する方法論は発展途上であり、精度の向上や情報の充実が期待される。

内部ストレステスト

- リスク分析の一環として、自己資本要件などの内部ストレステストへの活用も考えられる^{*2}。

- 現時点のNGFSシナリオを使用する場合、時間軸やストレスの強さなどに関して課題が指摘されている（P.108）
- NGFSは、ストレステストへの活用を想定した短期シナリオに着手している^{*5}。

*1 Invesco (2023); *2 a.s.r. (2023); *3 Bank of America (2023); *4 Goldman Sachs (2023); *5 NGFS (2023c)

リスク分析におけるNGFSシナリオの活用と課題2/2

- 金融機関によるシナリオ分析の事例調査から、リスクの定量的な分析・評価だけでなく、NGFSシナリオが提供する様々な変数を用いて、定性的なリスクの分析・考察や戦略のレジリエンス分析にも活用できると考えられた。

想定されるNGFSシナリオの活用

現時点の課題と将来的に改良が期待される点

移行リスクの定性的な分析

- 炭素価格やエネルギー価格といった指標を用いて、多排出な業種・企業に係るリスクの定性的な分析・考察に活用できると考えられる^{*1,2,3}。
- トップダウン型のシナリオであるNGFSシナリオは、現時点では詳細な技術の発展などのデータが十分ではない。
- NGFSは部門ごとの粒度の向上にも取り組んでおり、今後、情報の充実が期待される。

物理的リスクの定性的な分析

- シナリオ第四版は多様な物理的リスク要因（急性・慢性）に関する変数を提供している。
- 物理的リスクに関する変数の空間的な分布を参照することにより、リスクへのエクスポージャーの定性な分析に活用できると考えられる^{*2,4}。
- 物理的リスクの評価に関する方法論は発展途上であり、精度の向上や情報の充実が期待される。

戦略のレジリエンス分析

- パリ協定や金融機関自身の目標に整合的な移行シナリオ（「Net Zero 2050」など^{*5}）に照らして自社のポートフォリオや投融資戦略への影響を定量的に評価することで、中長期の戦略のレジリエンスの検証へ活用できると考えられる。

*1 Goldman Sachs (2023); *2 Commonwealth Bank of Australia (2023); *3 CaixaBank (2022,2023); *4 Lincoln National Corporation (2023);

*5 戦略のレジリエンス分析にあたって金融機関は、NGFSシナリオを含む様々な移行シナリオの特性を理解した上で、適切なシナリオを選択することが望ましいと考えられる。NGFSシナリオ第四版の移行シナリオの特性については、本報告書の2.2節（P.25-34）も参照のこと

戦略・目標設定、エンゲージメントへの活用と課題

- 金融機関による活用事例の分析から、戦略・目標設定やエンゲージメントなど、リスク分析に限られない、多様な活用事例が確認された。

想定されるNGFSシナリオの活用

現時点の課題と将来的に改良が期待される点

戦略・目標設定

- NGFSシナリオは戦略・目標設定にも活用できると考えられる^{*1}。

排出量などのデータを戦略・目標の設定に活用できると考えられるが、現時点では、IEAなどの技術ボトムアップ型のシナリオが参照される事例が多い^{*2}。

- トップダウン型のシナリオであるNGFSシナリオは、現時点ではまだ、部門ごとの排出量や技術の推移などのデータが十分ではない。
- NGFSは部門ごとの粒度の向上にも取り組んでおり、今後、情報の充実が期待される。

リスク分析を受けたエンゲージメント

- 移行リスクや物理的リスクに関して、NGFSシナリオを元にリスクの性質や大きさを理解したり、リスクへのエクスポージャーを特定することで、個別投資先へのエンゲージメントへ活用できると考えられる^{*3}。
- エンゲージメントは、現在のNGFSシナリオだけでは捉えきれない、詳細な情報の収集にも寄与すると考えられる^{*3}。

- 物理的リスクに関してNGFSの方法論やデータは発展途上であり、今後の充実が期待される。

^{*1} GFANZ (2022)は、金融機関の戦略・目標設定にあたって参照できるシナリオの一つとして、NGFSシナリオの「Net Zero 2050」を挙げている

^{*2} NGFSシナリオとIEAシナリオは構造や目的が異なるものの、エネルギー需要や排出量などの傾向は概ね整合していると評価されている (NGFS, 2023a)

^{*3} Impax Asset Management (2023)

参考：ストレステストにおける活用と課題

- バーゼル銀行監督委員会は、金融機関によるストレステストに気候関連リスクを考慮することを要請^{*1}。同様の要請を金融機関に行っている当局も存在する^{*2}。
- ICAAPやORSAなど、金融機関が実施する通常のストレステストの一環として、気候関連のリスクを考慮している金融機関は一定数、存在する^{*3}。
- その一方で、現時点のNGFSシナリオに対しては、ストレステスト目的には必ずしも適していないという、以下のような批判も存在する。

① 時間軸の不一致

金融機関によるストレステストの時間軸は、通常、短期（～数年）だが、気候シナリオの多くは中長期（5年～今世紀末）を扱う。

② 極端なシナリオの想定^{*4,5}

ストレステストでは、極端だが将来起こりうる様々なシナリオを仮定した上で、金融機関の健全性を評価するが、現在の気候シナリオは必ずしも極端な事態を想定していない。

③ ボラティリティの影響^{*6}

気候シナリオの多くは気候変動に起因する急激な変化（ボラティリティ）のない平準化された移行経路を描いており、損失を過小評価している可能性がある。

^{*1} BCBS (2022); ^{*2} OFSI (2023); ^{*3} ECB (2020); ^{*4} IMF (2023); ^{*5} NGFS (2023c); ^{*6} Aguais and Forest (2023)

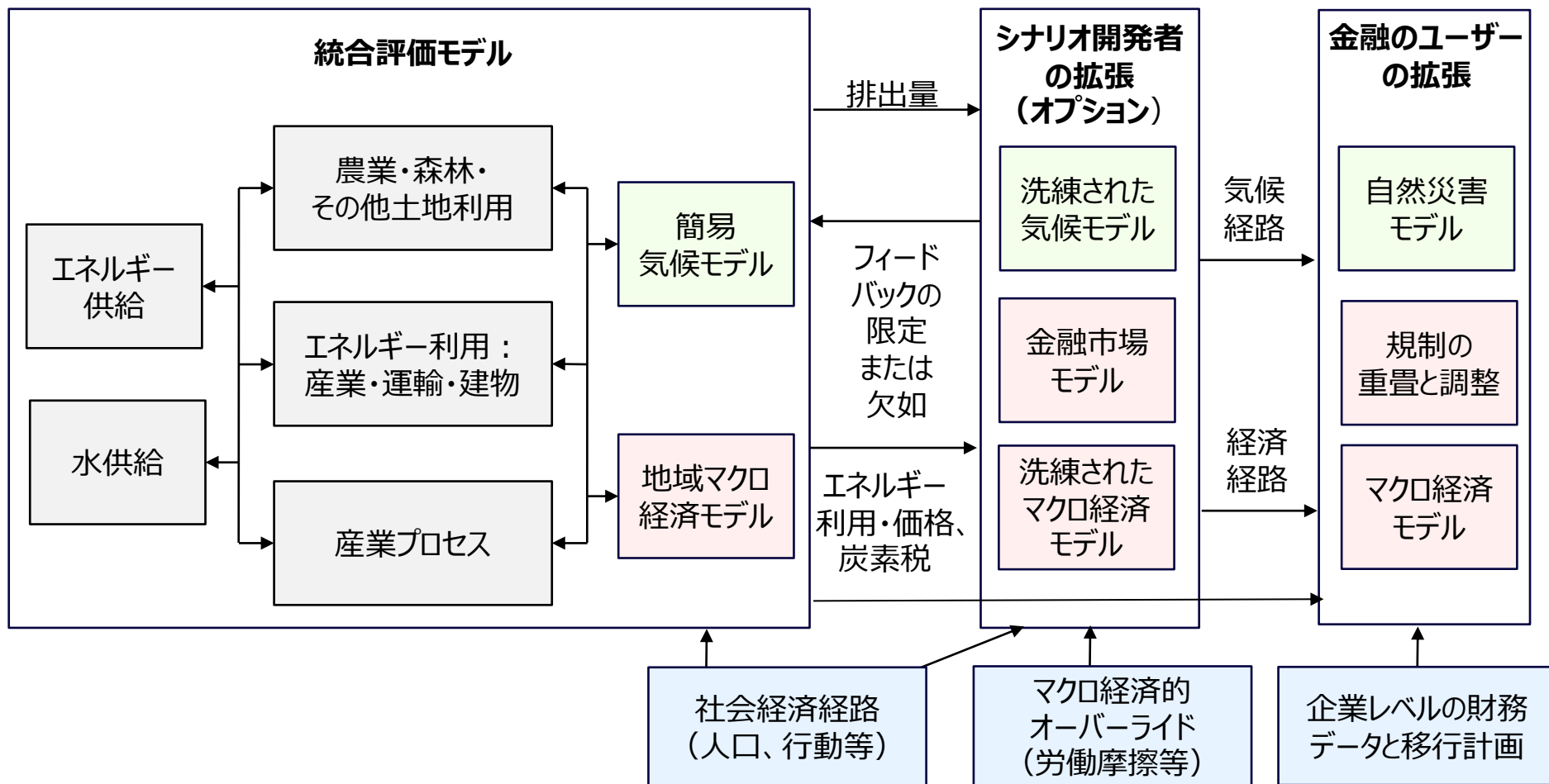
参考：シナリオのユースケースに応じたシナリオ・モデルの特性

- Baer et al. (2023)はシナリオに求められる要件等がユースケースに応じて異なることを提示。
- 「金融機関の事業・戦略」の検討にあたっては、中央的なシナリオや広範なスペクトラムを想定する一方、「ストレステスト」では合理的な範囲でのワーストケースシナリオを想定する（表の「確率分布内でのシナリオの位置」）。
 - 「金融機関の事業・戦略」の検討に対しては、IEA、NGFS、IPCC 等が提供する滑らかな傾向のシナリオが有用であり、その傾向から逸れるショックや摩擦の関連性は高いとは言えず（表の「経済的・財務的な摩擦」）、必要とされる粒度も高くはない（表の「シナリオとモデルの粒度」）。
 - 「ストレステスト」には、分布の末端に位置する合理的な最悪のシナリオを反映する必要があるため、「経済的・財務的な摩擦の関連度」が非常に高い。使用するモデル間の情報伝送チャンネルが簡素化されることで、情報が損失し、テールリスクを捉えられなくなるおそれがあるため（表の「気候モデリングチェーンを通じた情報伝達」）、粒度の高いモデル・シナリオが求められる（表の「シナリオとモデルの粒度」）。

機関のタイプ	ユースケース	重要なシナリオの特徴			モデルの特性					シナリオの広範な考慮事項	
		時間軸	確率分布内でのシナリオの位置	シナリオのバスウェイ	移行モデルのナラティブ	経済的・財務的な摩擦	IAMのリスクパレッジ	気候モデリングチェーンを通じた情報伝達	シナリオとモデルの粒度	緩和進展と政策行動を条件とするシナリオの確からしさ	異時点間のトレードオフの次元
金融機関	中期事業計画	5年	中央シナリオおよび合理的期待シナリオ	コスト最適化かつ比較的肉滑	非常に高い関連性	中程度の関連性	高い関連性	高い関連性	中程度の関連性	中程度の関連性	低い関連性
	戦略計画	5-50年	全スペクトラムの広範な長期シナリオ	コスト最適化かつ肉滑	非常に高い関連性	中程度の関連性	高い関連性	中程度の関連性	低い関連性	非常に高い関連性	非常に高い関連性
	内部ストレステストー バランスシート	バランスシート の速度 (1-3年)	合理的な ワーストケースシナリオ (テールリスク)	短期の混乱と シナリオのバスウェイ 周辺のボラティリティ	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	中程度の 関連性	中程度の 関連性
	内部ストレステストー 事業モデル	10年	合理的な ワーストケースシナリオ (テールリスク)	コスト最適化かつ 比較的肉滑	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	高い関連性	中程度の 関連性
中央銀行・ 監督当局	規制的なストレステスト と資本設定（資本 賦課）	0-5年	合理的な ワーストケースシナリオ (テールリスク)	短期の混乱と シナリオのバスウェイ 周辺のボラティリティ	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	高い関連性
	学習のための ストレステスト演習 (長期の時間軸)	0-30年	合理的な ワーストケースシナリオ (テールリスク)	コスト最適化かつ 比較的肉滑	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性	高い関連性	中程度の 関連性	非常に高い 関連性	非常に高い 関連性

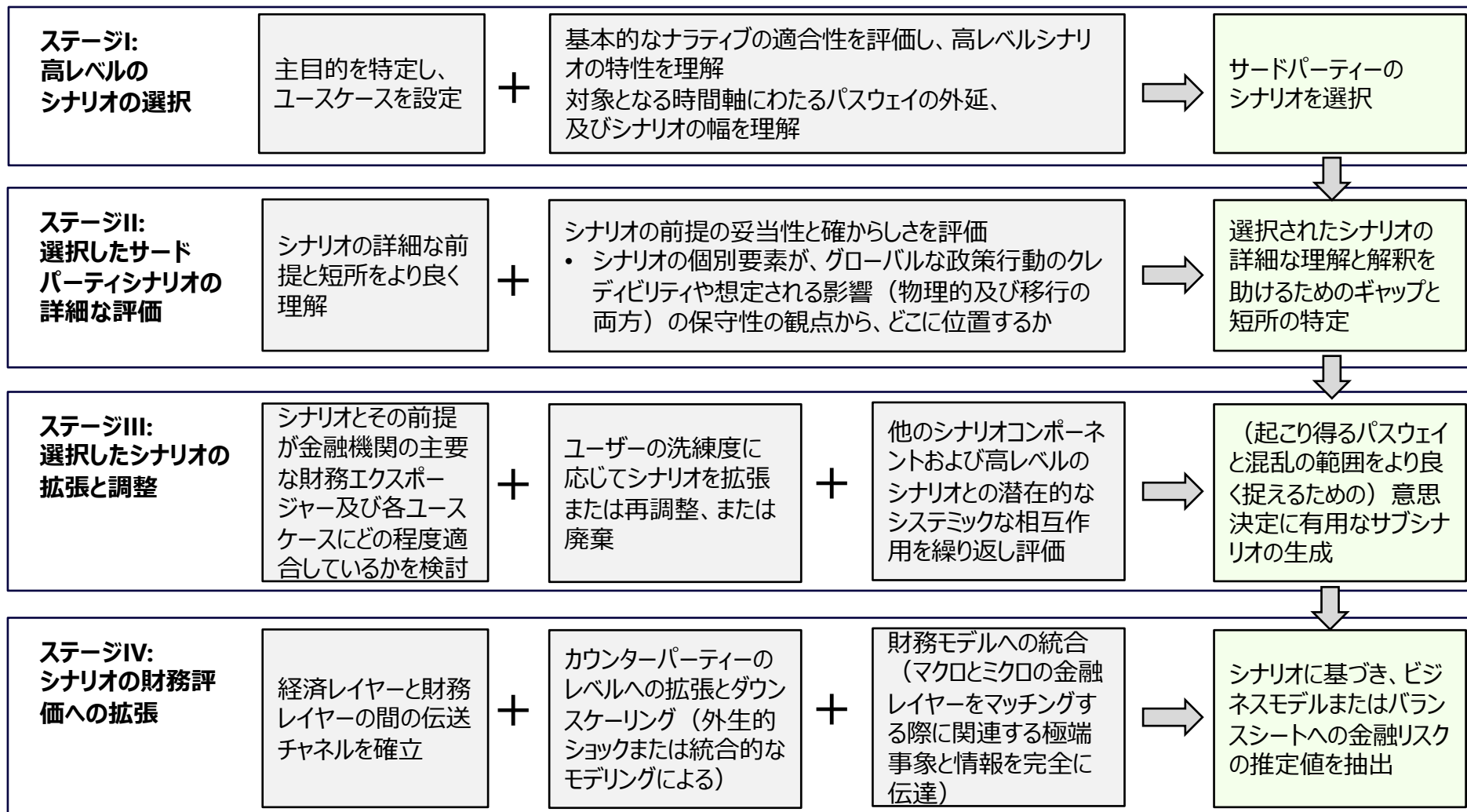
参考：IAMに対する拡張の必要性

- Baer et al. (2023)は、金融機関が必要とする全ての情報をIAMが提供できるわけではないため、金融業界は追加のシナリオ関連のモデリング機能を開発する必要があるとし、図に示すモデリングチェーンを提示。ユースケースが金融機関内部の（短期的な）ストレステストの場合、拡張は不可欠だが、長期計画のための分析であれば、全体的傾向を捉えられれば十分かもしれないと指摘。



参考：シナリオの活用方法に関するガイダンスの一例

- Baer et al. (2023)は、前頁までの問題意識を踏まえつつ、リスク管理とストレステストへの応用を念頭に、図に示すシナリオの活用方法を提案。



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 ₂	Carbon Dioxide	二酸化炭素
DACCS	Direct Air Capture with Carbon Storage	空気中CO ₂ 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	
MPP	Mission Possible Partnership	
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	

引用文献1/3

- a.s.r. (2023) Climate Report a.s.r 2022: Vision, policy and progress. <https://www.asrnl.com/-/media/files/asrnl/duurzaam-ondernemen/ratings-en-benchmarks/2022-climate-report-asr.pdf>
- Aguais, S.D. and L.R. Forest Jr. (2023), "Climate-change scenarios require volatility effects to imply substantial credit losses: shocks drive credit risk not changes in economic trends," *Frontiers in Climate*, 5:1127429. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2023.1127429/full>
- BCBS (2022) Principles for the effective management and supervision of climate-related financial risks. <https://www.bis.org/bcbs/publ/d532.htm>
- Baer et al. (2023) "All scenarios are wrong, but some are useful"—Toward a framework for assessing and using current climate risk scenarios within financial decisions. *Frontiers in Climate*. Volume 5. <https://dx.doi.org/10.3389/fclim.2023.1146402>
- Bank of America (2023) Managing our Transition to a Sustainable Future: 2023 Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) Report. https://about.bankofamerica.com/content/dam/about/report-center/esg/2023/2023_TCFD_Report.pdf
- CaixaBank (2022) CaixaBank – Climate Change 2022. https://www.caixabank.com/deployedfiles/caixabank_com/Estaticos/PDFs/Sostenibilidad/2022_CDP_CLIMATE_CHANGE.pdf
- CaixaBank (2023) CaixaBank – Climate Change 2023. https://www.caixabank.com/deployedfiles/caixabank_com/Estaticos/PDFs/Sostenibilidad/CaixaBank-Climate-Change-2023-CDP.pdf
- Commonwealth Bank of Australia (2023) 2023 Climate Report. <https://www.commbank.com.au/about-us/investors/annual-reports/climate-report-2023.html>
- ECB (2020) ECB report on banks' ICAAP practices. <https://www.bankingsupervision.europa.eu/ecb/pub/pdf/ssm.reportbanksicaappractices202007~fc93bf05d9.en.pdf>
- 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

引用文献2/3

- Goldman Sachs (2023) Task Force on Climate-related Financial Disclosures. <https://www.goldmansachs.com/our-commitments/sustainability/tcfd-report-2023/report.pdf>
- IMF (2023) Energy Transition and Geoeconomic Fragmentation: Implications for Climate Scenario Design. <https://www.imf.org/en/Publications/staff-climate-notes/Issues/2023/11/16/Energy-Transition-and-Geoeconomic-Fragmentation-Implications-for-Climate-Scenario-Design-541097>
- Impax Asset Management (2023) Taskforce on Climate-related Financial Disclosures Report. <https://impaxam.com/wp-content/uploads/2023/01/Impax-Asset-Management-Group-plc-TCFD-2022-FINAL.pdf?pwd=9823>
- Invesco (2023) 2022 Taskforce on Climate-related Financial Disclosure Report. <https://www.invesco.com/content/dam/invesco/emea/en/pdf/Climate-change-report.pdf>
- IPCC (2018) Special Report: Global Warming of 1.5°C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC (2021) AR6 Working Group 1: Annex VII – Glossary. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_AnnexVII.pdf
- 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>
- Lincoln National Corporation (2023) Lincoln National Corporation – Climate Change 2023. https://cdn1-originals.webdamdb.com/13193_136445362...
- NGFS (2020a) Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors. <https://www.ngfs.net/en/guide-climate-scenario-analysis-central-banks-and-supervisors>
- NGFS (2020b) NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors. <https://www.ngfs.net/en/ngfs-climate-scenarios-central-banks-and-supervisors>
- NGFS (2022) NGFS Climate Scenarios Database: Technical Documentation V3.1. https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2022/11/21/technical_documentation_ngfs_scenarios_phase_3.pdf
- NGFS (2023a) NGFS Scenarios for central banks and supervisors. https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_climate_scenarios_for_central_banks_and_supervisors_phase_iv.pdf

引用文献3/3

NGFS (2023b) NGFS Climate Scenarios: Technical Documentation V4.2.

https://www.ngfs.net/sites/default/files/media/2024/01/16/ngfs_scenarios_technical_documentation_phase_iv_2023.pdf

NGFS (2023c) Conceptual note on short-term climate scenarios. <https://www.ngfs.net/en/conceptual-note-short-term-climate-scenarios>

NIESR (2023) National Institute Global Econometric Model (NiGEM) <https://www.niesr.ac.uk/wp-content/uploads/2023/11/NiGEM-Manual-2023.pdf>

OFSI (2023) Climate Risk Management. <https://www.osfi-bsif.gc.ca/en/guidance/guidance-library/climate-risk-management>

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>

金融庁（2023）「NGFSシナリオ第三版に関する調査」2022年度委託成果報告書
<https://www.fsa.go.jp/common/about/research/20230620/20230620.html>