



# **BOJ** *Reports & Research Papers*

2023年10月

## 気候関連金融リスクにかかるトップダウン型シナリオ分析 —シナリオの時間軸と産業間波及の考慮—

日本銀行金融機構局

安部 展弘

川澄 祐介

高野 優太郎

仲 智美

平形 尚久

松村 浩平

宗 像 晃

本稿の内容について、商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行金融機構局までご相談ください。転載・複製を行う場合は、出所を明記してください。

2023年10月  
日本銀行金融機構局

安部 展弘<sup>1</sup>  
川澄 祐介<sup>2</sup>  
高野 優太郎<sup>3</sup>  
仲 智美<sup>4</sup>  
平形 尚久<sup>5</sup>  
松村 浩平<sup>6</sup>  
宗 像 晃<sup>7</sup>

## ■要 旨■

気候関連金融リスクにかかるシナリオ分析の活用が、各法域で進んでいる。本稿では、わが国銀行の移行リスクについて、トップダウン型のシナリオ分析を試みた。シナリオ分析では、30年程度といった長期シナリオが用いられることが多いが、本稿では、短期（5年間）のシナリオを採用したうえで、炭素価格の上昇への企業の対応度について、スムーズに対応するケースと対応が遅れるケースの2つを想定した。さらに、多部門動学的一般均衡モデルを用いて、産業間の相互連関を考慮した。

本稿の主要な結果は2点ある。第1に、企業の対応度の想定の違いは信用コスト率に相応の違いをもたらすと試算結果となった。この点は、企業の炭素価格の上昇への対応度を考慮することの重要性を示唆している。第2に、炭素価格の上昇は、直接的に影響を受ける重要セクターだけでなく、産業間の相互連関を通じて間接的にそれ以外のセクターにも波及し、信用コスト率が上昇する試算結果となった。これは、重要セクターに対するエクスポージャーが小さい地域金融機関でも、移行リスクに注視する必要があることを示唆している。

<sup>1</sup> 金融機構局<E-mail; nobuhiro.abe@boj.or.jp>

<sup>2</sup> 金融機構局（現総務人事局）<E-mail; yuusuke.kawasumi@boj.or.jp>

<sup>3</sup> 金融機構局<E-mail; yuutarou.takano@boj.or.jp>

<sup>4</sup> 金融機構局（現情報サービス局）<E-mail; tomomi.naka@boj.or.jp>

<sup>5</sup> 金融機構局<E-mail; naohisa.hirakata@boj.or.jp>

<sup>6</sup> 金融機構局（現イングランド銀行）

<sup>7</sup> 金融機構局<E-mail; kou.munakata@boj.or.jp>

本稿の執筆に当たっては、奥田達志氏、高口博英氏、須藤直氏、竹山梓氏、中村康治氏、西崎健司氏、橋本龍一郎氏、正木一博氏の各氏および日本銀行のスタッフから有益な助言やコメントを頂いた。記して感謝の意を表したい。残された誤りは全て筆者に帰する。なお、本稿の内容や意見は、筆者に属するものであり、日本銀行および金融機構局の公式見解を示すものではない。

## 1. はじめに

気候関連金融リスクにかかるシナリオ分析については、金融当局において、その有用性に対する認識が広がっており、活用する法域が増加している<sup>1</sup>。バーゼル銀行監督委員会（BCBS: Basel Committee on Banking Supervision）は、2022年6月、気候関連金融リスクの管理に係る実務の改善などを企図して「気候関連金融リスクの実効的な管理と監督のための諸原則」を公表し、シナリオ分析について、リスク・ファクターの特定やポートフォリオ・エクスポージャーの計測等のために、金融当局は利用を検討すべきと位置付けた（BCBS, 2022）。この間、分析に用いるシナリオについては、中央銀行のイニシアティブである気候変動リスク等に係る金融当局ネットワーク（NGFS: Network for Greening the Financial System）が2020年に共通シナリオを公表し、その後もシナリオの精緻化・拡充を続けている<sup>2</sup>。こうした中で、金融安定理事会（FSB: Financial Stability Board）とNGFSが公表した調査（FSB・NGFS, 2022）では、金融当局が実施したシナリオ分析の数は1年程度の間には4から35に増加し、31の分析が実施中、ないし実施を検討中の段階と報告されているなど、シナリオ分析の利用が急速に拡大している。

シナリオ分析では、長期的な気温上昇目標を達成するための炭素価格の上昇が、実体経済や金融システムに与える影響を分析する<sup>3</sup>。このため、NGFSの共

---

<sup>1</sup> 当局のみならず金融機関においてもシナリオ分析の活用が進んでいる。この背景として、気候変動に関するリスク・機会の分析にシナリオ分析の活用を推奨した気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）による提言の公表や、国連環境計画・金融イニシアティブ（UNEP FI）やグラスゴー金融同盟（GFANZ）など、民間主体のイニシアティブが果たしてきた役割も大きい。わが国の金融機関の取組状況をみると、3メガ行など大手行は世界に先駆けて定量的な結果を公表するなど先駆的な取組を続けているほか、地域金融機関にも分析に着手する先が広がっている。地域金融機関の気候変動への取組状況は、日本銀行金融機構局（2023）を参照。

<sup>2</sup> NGFSにおける共通シナリオの作成は、統合評価モデル（IAM: Integrated Assessment Model）を開発する外部の研究機関と連携して進められており、2020年に第1版を公表して以降、シナリオの精緻化・拡充が続けられている。IAMには複数の種類があるが、NGFSが採用しているプロセス細分型モデルは、気候・エネルギーシステムや社会経済部門などの複数領域を炭素価格により関連付け、領域横断的な課題に対する部門間の相互作用の評価に使われる（電力中央研究所, 2022）。IAMとシナリオ作成への利用についての詳細は、竹山ほか（2023）を参照。

<sup>3</sup> 炭素価格については、排出権取引、炭素税、カーボンクレジットなど、いくつかの制度が考えられる。制度の仕組みは異なるものの、経済主体が排出する炭素に対して価格をつけ、排出量をコントロールするという点は共通している。本稿では、分析における

通シナリオをベースに、移行リスクと物理リスクの双方を分析対象としつつ、分析対象期間を 30 年程度の長期に設定しているものが多くなっている（FSB・NGFS、2022）<sup>4</sup>。シナリオ分析において長い時間軸を採用するメリットは、炭素価格上昇によって脱炭素技術の導入や産業・企業の対応が進むなど、社会・経済の構造変化を考慮できることや、温暖化の進行度合いが鈍化することによって物理リスクが抑制される効果なども想定できることなどである。もっとも、移行過程において、短い時間軸では、ビジネス構造の転換が十分に進まないなかで炭素価格が上昇する状況も考えられる。この結果、構造変化が進む場合と比べて、業況や企業財務への悪影響が大きくなる可能性がある。また、30 年程度という長期間で考えれば、平均的な信用コストは限定的であっても、期間を通じて信用コストの発生は一様ではない可能性も考えられる。炭素価格が上昇してからビジネス構造の転換が進むまでの過渡期には、信用コストが相対的に大きくなると考えられる。このため、同期間に焦点を当てた短期的な時間軸での分析の重要性は高いと考えられる。

そこで、本稿では、5 年間という短期のシナリオを用いて、脱炭素社会への移行過程における過渡期のリスクに焦点を当てて分析した。短期の時間軸に焦点を当てることで、炭素価格の上昇に対し、社会・経済の構造変化や企業のビジネス転換が十分に進まないことが、企業財務、金融機関の移行リスクに与える影響について、明示的な想定を置いて分析している。具体的には、産業や企業の対応度合いに違いがある 2 つのケース、①企業がスムーズに対応するケースと、②企業の対応が遅れるケース、を想定する。そのうえで、企業の対応に関する想定の違いが、金融機関の信用コストに与える影響を試算した。なお、5 年間という短期の時間軸では炭素排出量の多寡が気候変動に与える影響は小さいと考えられることから、本稿では物理リスクは分析対象外としているほか、炭素価格上昇に対応するための脱炭素技術の導入の効果なども捨象している。

これまで、金融当局が手掛けた短期の移行リスク分析は、NGFS シナリオの普及前に公表されたオランダ中央銀行の分析（Vermeulen et al., 2018）など幾つかは存在していたが、少数であった。ただし、新型コロナウイルス感染症の影響緩

---

便宜上、炭素税を仮定しているものの、ほかの制度に基づいて炭素価格が上昇した場合も同様の結果となる。

<sup>4</sup> 例えば、欧州（ECB（European Central Bank）, 2022; Alogoskoufis et al. 2021）、フランス（ACPR（Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution）, 2021）、英国（BoE（Bank of England）, 2022）、日本（金融庁・日本銀行, 2022）では、先行き 30 年程度の長期のシナリオを用いている。

和やウクライナ情勢などにより、エネルギー価格は急激な価格変動に直面した。こうした中で、脱炭素社会への移行の際に生じるリスクを短期的な時間軸で考えることへの関心も高まっている。例えば、ECB は 2022 年に実施したシナリオ分析では、従来の長期シナリオに加えて 3 年の短期シナリオを採用した (ECB, 2022)。このほか、NGFS でも短期シナリオの開発を検討している (FSB・NGFS, 2022)<sup>5</sup>。今後、経済・社会における脱炭素への取り組みがより本格的になってくれば、長期シナリオに加えて、移行過程における影響をより精緻に把握する観点から、短期シナリオの重要性が高まっていくと考えられる。

上記のシナリオ分析の時間軸に関する論点に加え、本稿では、多部門一般均衡モデルを用いることで産業間の相互連関を通じた、二酸化炭素排出量の多い産業以外への影響についても試算する。これまでの気候変動に係るシナリオ分析では、二酸化炭素排出量等により潜在的に気候関連金融リスクにおける移行リスクが大きい「重要セクター」を中心としたものが多かった。もっとも、炭素価格の上昇は、「重要セクター」の生産量を減少させるだけでなく、産業間の相互連関を通じて、それ以外のセクターの生産量も減少させ得る。こうした二酸化炭素排出量が必ずしも大きくない産業の生産量の低下は、「重要セクター」へのエクスポージャーが大きい金融機関にも影響を与えることから、金融システムの安定を考えるうえで重要である。

以上の 2 つの論点について、得られた結果は次の通りである。第 1 に、企業の対応度の想定の違いは、企業財務の悪化および信用コスト率の上昇幅に違いをもたらすと試算結果となった。この点は、短い時間軸におけるシナリオ分析において、企業の炭素価格の上昇への対応度を考慮することの重要性を示唆している。第 2 に、炭素価格の上昇は、直接的に影響を受ける重要セクターだけでなく、産業間の相互連関を通じて間接的にその他のセクターにも波及し、そうしたセクターでも信用コスト率が上昇する試算結果となった。これは、重要セクターに対するエクスポージャーが小さい地域金融機関でも、移行リスクの影響を受ける可能性があることを示唆している。

もっとも、本稿における試算に関して、以下の点に留意すべきである。まず、企業の対応度合いについての 2 種類の想定は、いずれも非常に極端なものとなっている。企業がスムーズに対応するケースでは、炭素価格の上昇による生産の

---

<sup>5</sup> 米国 (FRB (Federal Reserve Board), 2023) では、NGFS シナリオをベースに、ボトムアップ型分析を実施している。この分析における予測期間は、気候変動リスクの性質として長期の時間軸での分析が必要である一方、予測における不確実性や経営における意思決定やリスク管理などの材料としての有用性とのバランスを踏まえ 10 年としている。

減少に対して、余剰となる生産設備や雇用が迅速に調整されることで、企業財務の悪化が抑制される。もっとも、実際には、雇用調整や設備の除却などに要する調整費用が発生するため、経済の下押しによる信用コストの大きさを過小評価している可能性がある。他方、企業の対応が遅れるケースでは、5年間という短期とはいえ、生産量の減少に直面した企業が全く生産能力を調整しない極端な想定となっており、需給ギャップの拡大に伴う信用コストの大きさを過大評価している可能性がある。このため、いずれの試算結果についても、相応の幅をもってみる必要がある。また、試算結果は、リスク管理上、考慮すべきテールリスクとして考えるよりも、むしろ、経済・社会や企業の対応によって、その影響が大きく変わり得ることの一例として解釈すべきものである。今後の課題として、脱炭素社会への移行過程で、どの程度の調整費用が生じ得るのか、さらに、生産技術やビジネスモデルの確立がどの程度のペースで進みうるのか、といった点について、より詳細な分析が必要である。次に、産業間の相互連関についても、産業間の波及の大きさは、財やサービス間の代替可能性の程度など、計測が難しいパラメータに大きく依存している。重要セクター以外への波及の大きさや、それによる信用コストへの影響については相応の幅をもって考える必要がある。

本稿の具体的な構成は以下の通りである。第2章では、分析手法を解説する。第3章では、シナリオ分析の結果を述べる。第4章では、今後の課題について述べる。

## 2. 分析の枠組み

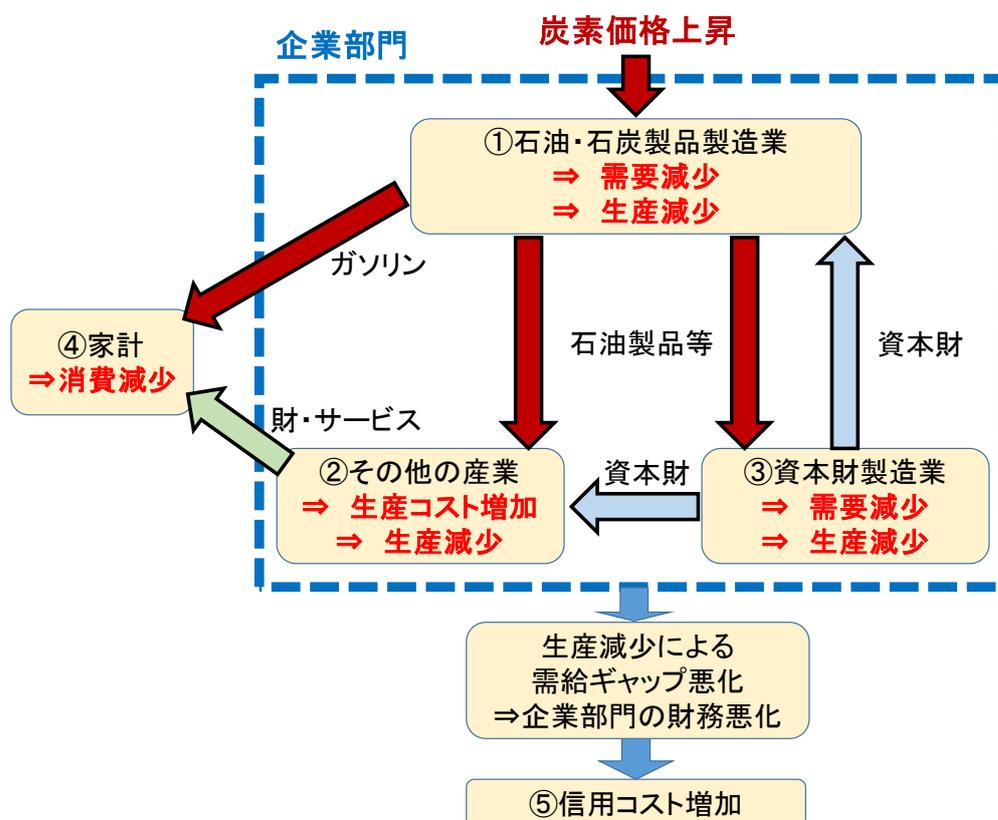
本稿の分析では、炭素価格の上昇が国内金融機関の国内外法人向け貸出金にかかる信用コストをどの程度変化させるかを試算した。試算に当たって想定している炭素価格の上昇のトランスミッションメカニズムは次のとおりである（図表1）<sup>6</sup>。まず、炭素価格の上昇により、石油・石炭製品製造業が生産する石油・石炭製品の価格が上昇する（図表1①）。価格の上昇は、石油・石炭製品に対する需要を減少させ、石油・石炭製品製造業における生産が減少する。同時に、これらを生産要素として投入し、二酸化炭素を排出する電力業や鉄鋼業をはじめとする製造業など、その他の産業では、生産コストの上昇により、生産量が減少する（図表1②）。こうした幅広い産業における生産量の減少により、設備投

---

<sup>6</sup> 図表1②「その他の産業」のうち窯業・土石製品や農林水産業などでは、生産過程で化石燃料以外の原料に由来する温室効果ガスが発生するため、炭素価格の上昇に伴い追加的な生産コストの増加が生じうる。こうしたメカニズムは、図表1では簡単化のため捨象しているものの、本稿のモデルには織り込まれている。

資も減少する。この結果、資本財に対する需要減少により、資本財製造業の生産も減少する（図表 1③）。また、炭素価格の上昇は、家計の購入するガソリンや財・サービスの価格を上昇させるため、家計消費も減少する（図表 1④）。このように、炭素価格の上昇のトランスミッションを考えるうえでは、産業間の相互連関を考慮することが重要である。また、特に企業が、こうした広い産業における生産の減少に応じて雇用や設備などを迅速に調整できず、余剰の雇用や設備を抱えることになった場合、需給ギャップが大きく悪化する。これによる企業財務の悪化は、金融機関の信用コストの増加につながる（図表 1⑤）。

（図表 1）炭素価格上昇の波及経路



次に、図表 2 で本稿の分析の枠組みをまとめている。まず、本稿では、日本銀行の取引先金融機関のうち、銀行及び信用金庫を分析の対象としている。重要セクターへのエクスポージャーが相対的に小さい地域金融機関も分析対象とすることで、炭素価格が上昇した際の産業間の相互連関を通じた重要セクター以外への波及が、地域金融機関に及ぼす影響も分析している。また、短期シナリオ（5年間）を採用することで、炭素価格上昇に対する企業の構造調整を前提としている長期シナリオ（30年間）とは異なり、脱炭素社会に向けた移行過程における企業の対応度の違いが、企業財務や信用コストに与える影響を分析している。この点、炭素価格の上昇に対する企業の対応度に関して、①炭素価格の上昇を受けて、企業がある程度迅速に雇用者数や設備を調整し、収益の悪化を緩和する場合

と、②雇用者数や設備の調整が遅れて利益が大幅に悪化する場合の 2 パターンを想定し、信用コストの推計値がどの程度異なり得るのかを分析している。

(図表 2) 分析の枠組み

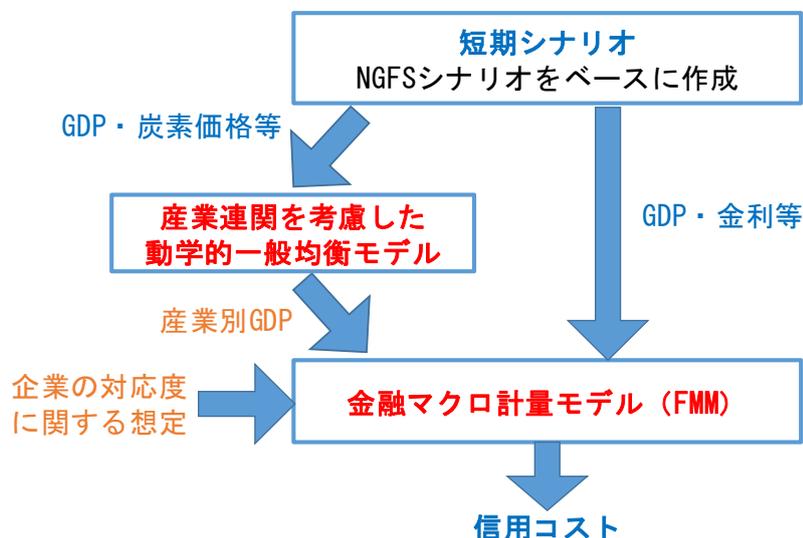
	本稿のトップダウン型分析	<参考> 金融庁・日本銀行（2022）の ボトムアップ型分析
対象金融機関	日本銀行の取引先金融機関 （銀行・信用金庫）	3メガ行
シナリオ	NGFS シナリオ（第3版）をベースに 作成した3つ ①炭素価格上昇シナリオ ②炭素価格急上昇シナリオ ③現行政策シナリオ	NGFS シナリオ（第2版）のう ち以下の3つ ①Net zero 2050 ②Delayed transition ③Current policies
分析期間	2022～26年度（5年間）	2021～50年（30年間）
企業の対応度に関する想定	「スムーズに対応するケース」と、 「対応が遅れるケース」を想定	参加各行による想定

ここで、上記で説明した、炭素価格の上昇に対する企業の対応度に関する想定についての留意点を2つ挙げておく。1点目は、炭素価格が上昇した場合、企業や社会において、研究開発が進み、エネルギー節約的な技術進歩が生じることで、生産量の減少が抑制される可能性も考えられる。一方、本稿では、こうしたエネルギー節約的な技術進歩が生じることは想定していない。すなわち、炭素価格上昇による生産の減少を所与としたうえで、企業が雇用や設備をどの程度迅速に調整するかといった対応度合いの違いが、企業収益や信用コストに与える影響に焦点を当てる。2点目は、調整費用についてである。本稿では、余剰となった雇用や設備を調整する際に、調整費用が生じない一方、余剰となった雇用や設備を抱える（需給ギャップが悪化する）ことが、企業収益を悪化させると想定している。もっとも、実際には、企業が炭素価格の上昇に対応する際には、設備の除却などに伴う調整費用が生じると考えられ、それも、企業収益に大きな影響を及ぼし得る。炭素価格上昇への対応に際しては、様々な費用が発生し得るが、ここでは、余剰な雇用や設備を抱えることのコスト（需給ギャップの悪化）の違いが、企業収益、信用コストに与える影響に焦点を当てている。

本稿における分析プロセスは、以下の3つを組み合わせている（図表3）。第1に、Matsumura et al. (2023) により開発された多部門動学的一般均衡モデルを用いて、炭素価格の上昇による産業別の付加価値（以降、産業別 GDP）の悪化度合いを推計する。第2に、産業別 GDP の悪化が、各産業の企業財務をどの程

度悪化させるか推計する。第3に、銀行の与信先企業の財務悪化が、どの程度信用コストの増加に繋がるかを推計する。第2および第3の推計には、日本銀行が金融システムの安定性の評価のために開発した「金融マクロ計量モデル（FMM: Financial Macro-econometric Model）」を用いる。

(図表3) 分析プロセス



### (1) シナリオ設定の考え方

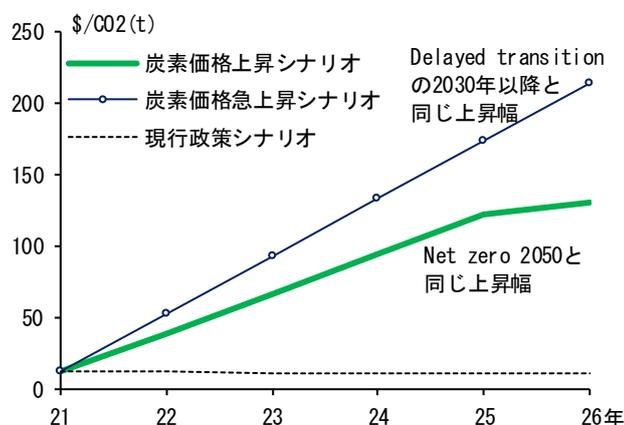
本稿の分析のシナリオ期間は5年であり、従来の30年程度の長期間を前提とするシナリオ分析と比べて、大幅に短い期間の想定となっている。具体的には、3つのNGFSシナリオ（第3版）、Net Zero 2050、Delayed transition、Current policiesに基づいて、5年間（2021～2026年）のシナリオを作成した<sup>7</sup>。

本稿の短期シナリオ分析では、炭素価格の上昇を直接のストレス事象とした。まず、炭素価格の上昇を想定しないシナリオとして、NGFSにおけるCurrent policiesに対応する「現行政策シナリオ」をベースラインとした。そのうえで、炭素価格の上昇幅・速度が異なる2つのシナリオを作成した（図表4）。1つ目のシナリオは、「炭素価格上昇シナリオ（以降、上昇シナリオ）」である。このシナリオでは、2050年頃に世界の二酸化炭素排出量の正味ゼロを目指したNet Zero 2050の最初の5年間と同様の炭素価格上昇が、2021年から始まると想定する。2つ目のシナリオは「炭素価格急上昇シナリオ（以降、急上昇シナリオ）」である。このシナリオでは、2030年以降に強力な排出削減政策がとられる

<sup>7</sup> 各シナリオの詳細なナラティブはNGFS（2022）を参照されたい。

Delayed transition の 2030 年から 5 年間の炭素価格上昇が、2021 年から前倒しで始まると想定する。

(図表 4) 炭素価格シナリオ



一国全体の GDP や長期金利、原油価格などその他の変数も、同様に、上述の 3 つの NGFS シナリオに基づいて作成した<sup>8</sup>。

## (2) 産業別 GDP の算出

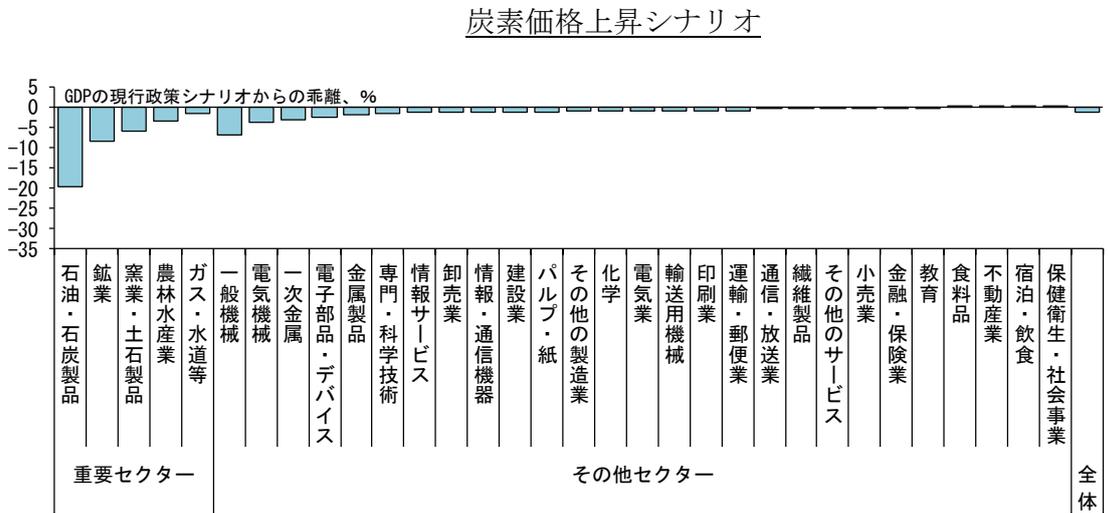
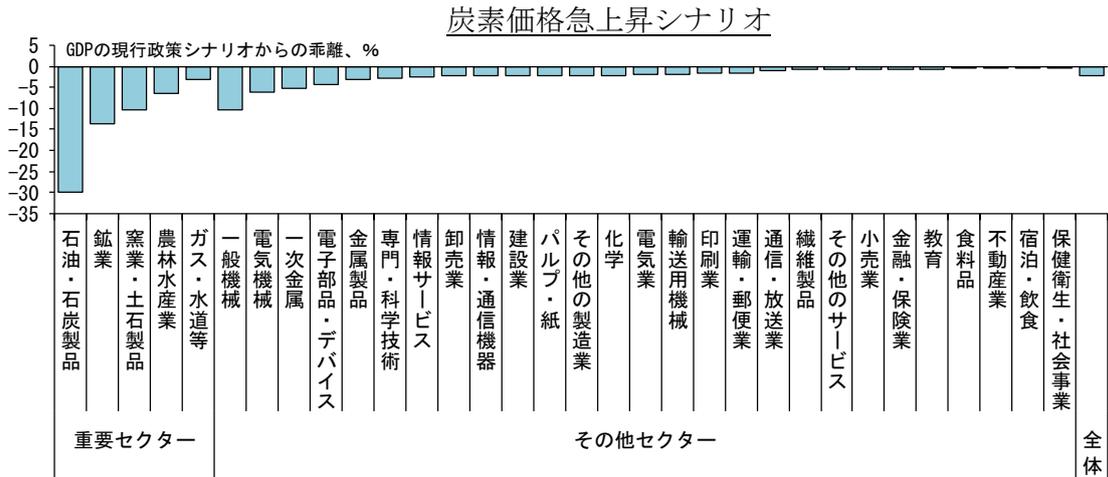
炭素価格の上昇が各産業の生産に与える影響は、企業や産業の生産構造によって大きく異なり得ることから、GDP については産業別に算出している。この算出には Matsumura et al. (2023) による産業連関を考慮した動学的一般均衡モデルを用いており、炭素税が課されることによる企業の間接投入や設備投資行動の変化が他の産業に波及するメカニズムが勘案されている<sup>9</sup>。

産業別 GDP 算出の過程では、まず、NGFS の炭素価格をもとに、Matsumura et al. (2023) により、炭素価格以外の外部要因が一定という想定の下で、一国全体および産業別の付加価値のパスを算出する。ここで、炭素価格はモデル内で炭素税に変換されるが、産業別の付加価値の算出の際には、産業ごとに異なる税率や課税方式が当てはめられる。具体的には、税率は各産業の温室効果ガス排出量に依存する。また、課税方式については、温室効果ガスの排出が化石燃料の燃焼による場合、化石燃料の中間投入に課税されるが、セメントの生産など、生産過程で排出される場合には売り上げに課税すると仮定する。こうして算出された付加価値のパスを、一国全体の GDP が NGFS シナリオと整合的になるように調整している。海外についても、国内での方法を援用している。

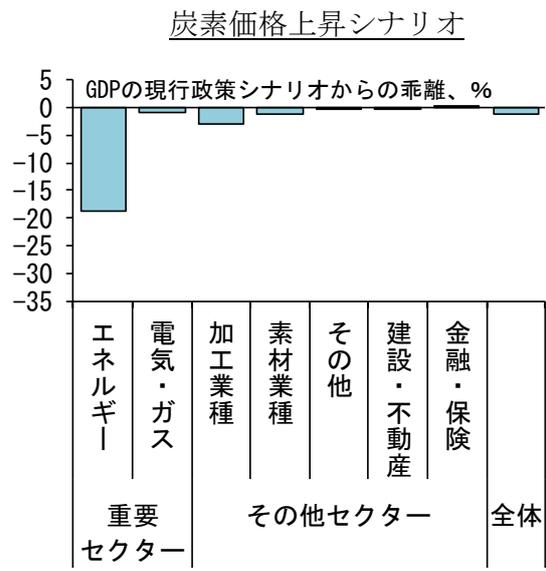
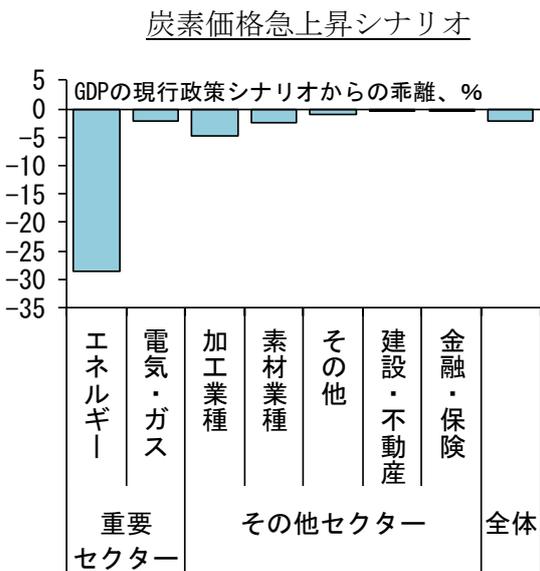
<sup>8</sup> 炭素価格以外のシナリオ変数の動向については、補論 1 を参照。

<sup>9</sup> モデルの解説については、補論 2 を参照されたい。

(図表 5) 産業別 GDP : 国内 (分析期間平均)



(図表 6) 産業別 GDP : 海外 (分析期間平均)



図表 5、6 では、算出された国内外の産業別 GDP を示している。炭素価格上昇の結果、石油・石炭製品の価格は大幅に上昇するため、同産業は大きな需要の減少に直面し、結果として付加価値は大きく減少する。窯業・土石製品、農林水産業、ガス・水道等では、生産過程で温室効果ガスを排出するため、炭素価格上昇によって生産コストが増加する結果、付加価値が大きめに減少している。また、これらの産業では将来にわたって大きな需要の減少に直面するため、設備投資が大きく減少する。その結果、一般機械では資本財の需要の減少から、付加価値が減少する。この設備投資を通じた産業連関の経路は、Devulder and Lisack (2020)、Frankovic (2022) といった先行研究で捉えられていない、本稿独自の貢献といえる。

### (3) 企業の対応度と企業財務への影響

次に、多部門動学的一般均衡モデルにより算出された産業別 GDP を用いて、各産業の企業財務を計算する。ここでは、GDP をトレンドからの乖離、すなわち需給ギャップに変換し、それが ROA やインタレスト・カバレッジ・レシオ (ICR) といった企業財務に与える影響を計算している<sup>10</sup>。

需給ギャップ算出に用いる GDP のトレンドは、各産業の生産設備、雇用をもとにした供給能力を示していると解釈できる。GDP のトレンドの想定について、30 年程度の長期的な時間軸で考えると、炭素価格上昇に伴う生産量の低下に対して、生産設備や雇用の調整が進み、トレンドも変化すると考えることができる。もっとも、短期的な時間軸で考える場合には、生産設備や雇用の調整が十分に進まず、トレンドが変化しない可能性も考えられる。こうした点を踏まえ、今回の短期でのシナリオ分析では、以下の 2 つのケースを考える。

1 つ目は、炭素価格上昇による GDP の落ち込みに対して、ある程度迅速に生産設備や雇用が調整されるケースであり、「企業がスムーズに対応するケース」と呼ぶ。このケースでは、炭素価格の上昇シナリオと急上昇シナリオの双方において、ショック発生による GDP 下落に対して、ある程度の時間が経過すると、生産設備や雇用の調整が進むことから、GDP トレンドも GDP の下落に追いつき、需給ギャップのマイナス幅は小幅になると想定する (図表 7)<sup>11</sup>。このケー

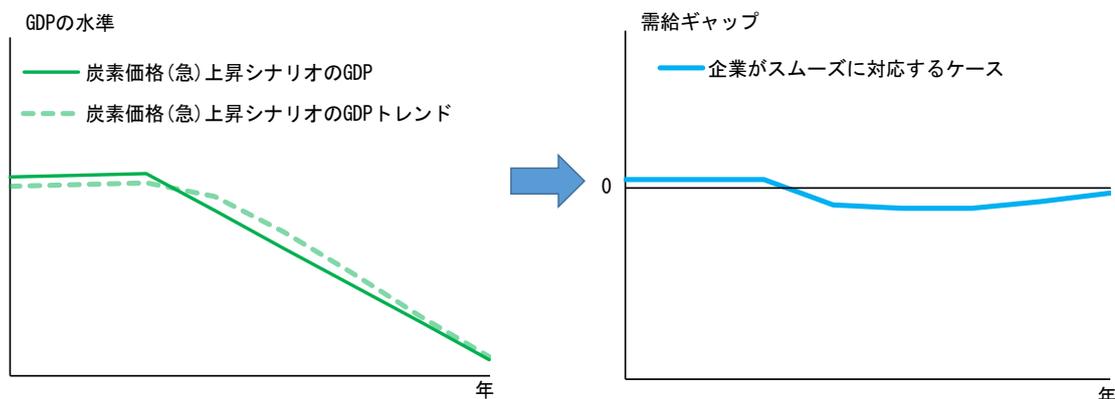
---

<sup>10</sup> GDP そのものの水準ではなく、トレンドからの乖離としているのは、被説明変数である企業財務の変数が比率となっており、長期的なトレンドを持たないと考えられるためである。

<sup>11</sup> 炭素価格上昇による落ち込みを反映した産業別 GDP に対して、片側 Hodrick-Prescott (HP) フィルターでスムージングしてトレンドを推計する。

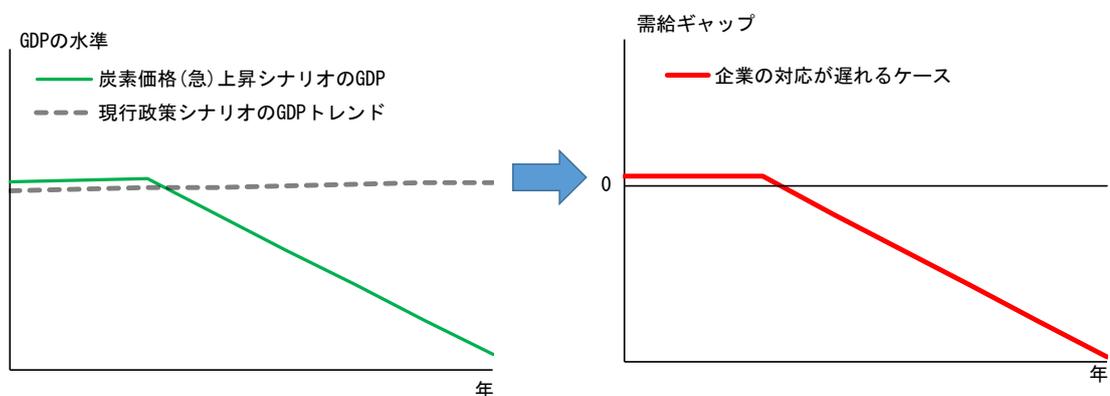
スでは、企業収益の悪化が緩和され、金融機関への影響は抑制されると考えられる。

(図表7) 「企業がスムーズに対応するケース」の需給ギャップ



2つ目は、炭素価格上昇により **GDP** が落ち込んでいるにも関わらず、企業による雇用者数や設備の調整が遅れるケースであり、「企業の対応が遅れるケース」と呼ぶ。このケースでは、炭素価格上昇により **GDP** が大きく減少する産業であっても、生産設備や雇用の調整が進まず、**GDP** トレンドは低下しない結果、需給ギャップのマイナス幅は非常に大きくなると想定する(図表8)<sup>12</sup>。このケースでは、企業財務の悪化が大きなものとなり、金融機関への影響も大きくなると考えられる。

(図表8) 「企業の対応が遅れるケース」の需給ギャップ



「企業がスムーズに対応するケース」と「企業の対応が遅れるケース」のいずれも、極端な状況を想定している。すなわち、企業がスムーズに対応するケースでは、企業財務の悪化が相応に抑制される。もっとも、これは、炭素価格上昇による生産量の減少に対して、雇用や設備の調整に要する費用が非常に小さいという極端な状況を想定している。他方、企業の対応が遅れるケースでは、5年間

<sup>12</sup> このケースでは、炭素価格上昇による **GDP** の落ち込みを想定しない現行政策シナリオにおける産業別の **GDP** に対して、片側 HP フィルターでスムージングしてトレンドを推計する。

という短期とはいえ、生産量の減少に直面した企業が全く生産能力を調整しない、極端な想定となっている。本稿での分析では、2つの極端なケースを想定することで、企業の対応の違いが、信用コスト率にどの程度の影響を与えうるかの把握に主眼を置いている。

#### (4) 信用コストの算出

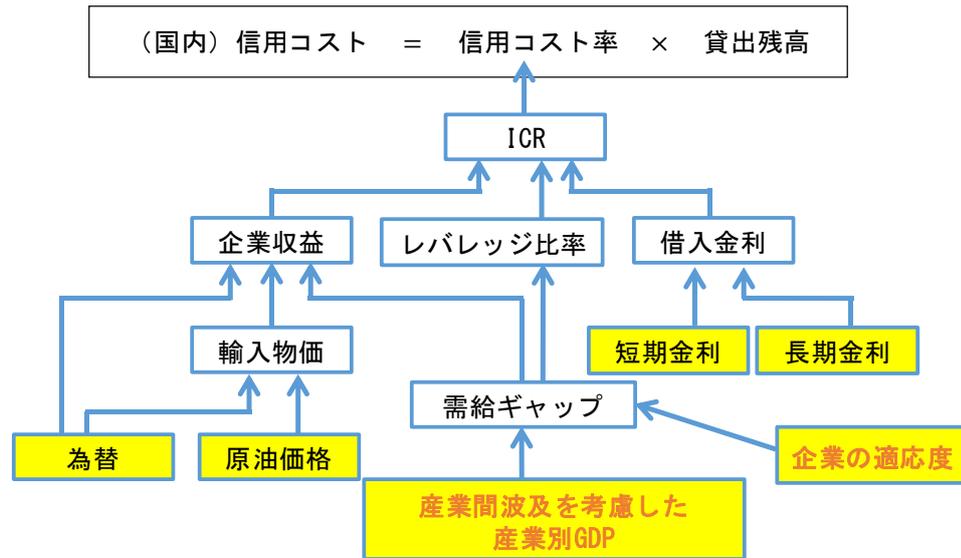
次に、産業別の需給ギャップをもとに、信用コスト率を産業別に推計する<sup>13</sup>。信用コスト率は企業財務の関数となっており、企業財務は需給ギャップなどのマクロ変数の関数となっている。産業別に推計した信用コスト率を、各金融機関の与信先企業の産業構成ウエイトで加重平均し、金融機関における信用コスト率を算出する。

産業別の信用コスト率の推計についてやや詳しく説明する。国内の信用コスト率の決定に重要な企業財務の変数であるインタレスト・カバレッジ・レシオ（ICR）は、図表9で図示している通り、（a）企業収益 ROA、（b）レバレッジ比率、および（c）借入金利によって構成される。（a）企業収益 ROA については、為替相場（ドル/円）、輸入物価、および需給ギャップの関数となっている。為替相場が円高に振れるほど、あるいは輸入物価が上昇するほど、あるいは需給ギャップが悪化するほど、企業収益 ROA は悪化する。これらのマクロ変数に対する ROA の感応度は、産業間で共通としている。もっとも、需給ギャップについては産業別に異なるため、炭素価格上昇による ROA の悪化幅や、それに基づいて算出される信用コスト率の上昇幅も、産業別に異なったものになる。（b）レバレッジ比率については、需給ギャップ悪化がレバレッジ比率を高めるほか、（c）借入金利については、長短金利が高まるほど上昇するモデルとなっている。こうした財務変数の変化をもとに、産業別の信用コスト率を算出している。海外信用コスト率については、上記の国内信用コスト率よりも幾分単純な定式化になっているが、需給ギャップだけでなく金利などの要素が勘案されている点は、国内と同様である。

---

<sup>13</sup> 信用コスト率を推計する具体的な方法などについては、奥田ほか（2022）を参照されたい。

(図表 9) FMM の信用コストモデルにおける主要経路



(注) 黄色ハイライトは外生。

最後に、国内外別・産業別の信用コスト率を、金融機関の与信先企業の産業構成ウエイトで加重平均することで、金融機関別の信用コスト率を算出する。このウエイトには、2022年3月末の実績値を、シミュレーション期間に亘って用いる。こうした静的バランスシート (static balance sheet) の仮定は、他法域で実施されている多くの移行リスクに関する分析でも採用されている。仮に、炭素価格の上昇を踏まえて、金融機関が能動的にバランスシートの産業構成を変化させる場合、石油・石炭製品など、炭素価格上昇によってGDPが大幅に減少する産業へのエクスポージャーを相対的に減らすことが想定される。こうした能動的なポートフォリオの変化を織り込まない本稿のシミュレーションは、信用コスト率が大きくなる方向にバイアスしているという意味で、保守的な推計といえる。

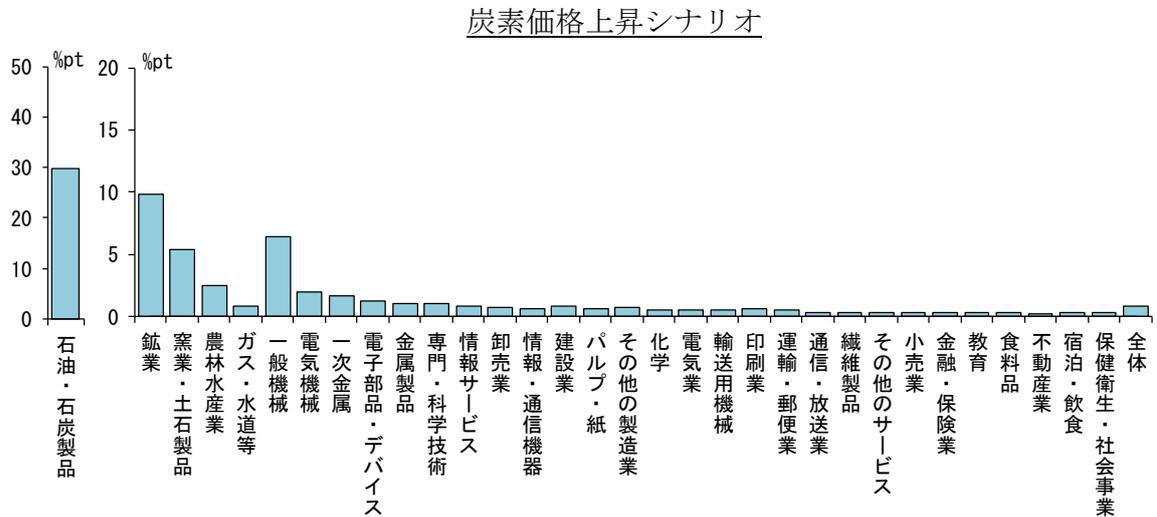
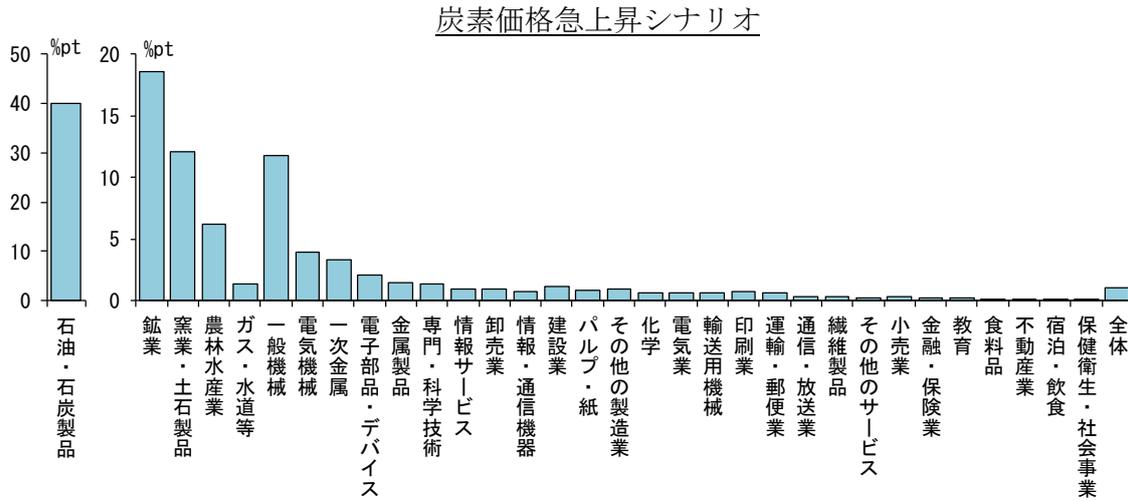
### 3. 分析結果

本章では、第2章で解説した方法に即して推計された信用コスト率の結果を紹介する。第1節では産業別の特徴、第2節では銀行業態別の特徴を述べる。

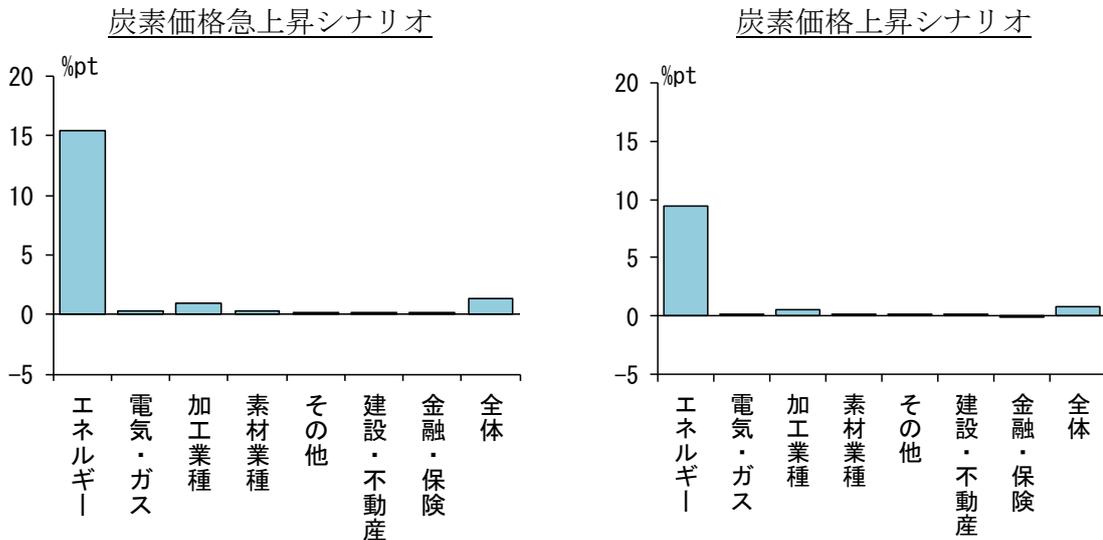
#### (1) 産業別の特徴

第2章第4節で解説した通り、本稿の分析では、国内外別・産業別の信用コスト率を各金融機関の与信先企業の産業構成ウエイトを用いて加重平均することで、各金融機関が直面する信用コスト率が計算される。ここでは、国内外別・産業別の信用コスト率の結果を説明する。

(図表 10) 「企業の対応が遅れるケース」における産業別信用コスト率：国内  
(分析期間累計、現行政策シナリオ対比)



(図表 11) 「企業の対応が遅れるケース」における産業別信用コスト率：海外  
(分析期間累計、現行政策シナリオ対比)



図表 10、11 は、それぞれ国内および海外について、「企業の対応が遅れるケース」（第 2 章第 3 節を参照）における分析期間（5 年間）累計の産業別信用コスト率の推計結果である。図表 10（図表 11）では、上図（左図）は急上昇シナリオ、下図（右図）は上昇シナリオについて、それぞれ現行政策シナリオとの信用コスト率の差を表している。これらの図表からは、次の 3 つの特徴がみてとれる。第 1 に、急上昇シナリオ、上昇シナリオのいずれにおいても、国内の石油・石炭製品や海外のエネルギーなどの重要セクターにおいて、大きな信用コストが発生する。これは、他法域で実施された移行リスクに関する分析と整合的である。第 2 に、重要セクター以外についても、国内の一般機械など資本財を生産する産業を中心に、相応に大きな信用コストが発生する。これは、先述したように、石油・石炭製品などの重要セクターにおける GDP 低下による設備投資の減少が、資本財への需要を押し下げることが影響している。第 3 に、急上昇シナリオと上昇シナリオを比べると、全産業計の信用コスト率<sup>14</sup>は、炭素価格の上昇が大きい急上昇シナリオのほうが上昇シナリオよりも大きい。これらの 3 つの特徴については、第 2 章第 2 節の産業別 GDP における特徴（前掲図表 5、6）と整合的である<sup>15</sup>。

図表 12（図表 13）では、上図（左図）は急上昇シナリオ、下図（右図）は上昇シナリオについて、「企業がスムーズに対応するケース」の国内（海外）の産業別信用コスト率（現行政策シナリオからの乖離、分析期間累計値）の推計結果を示している。上記の「企業の対応が遅れるケース」と比較すると、とりわけ産業別 GDP の落ち込みが他産業対比で相対的に大きい重要セクターや資本財関連産業において、信用コストの悪化幅が小さいことがみてとれる。

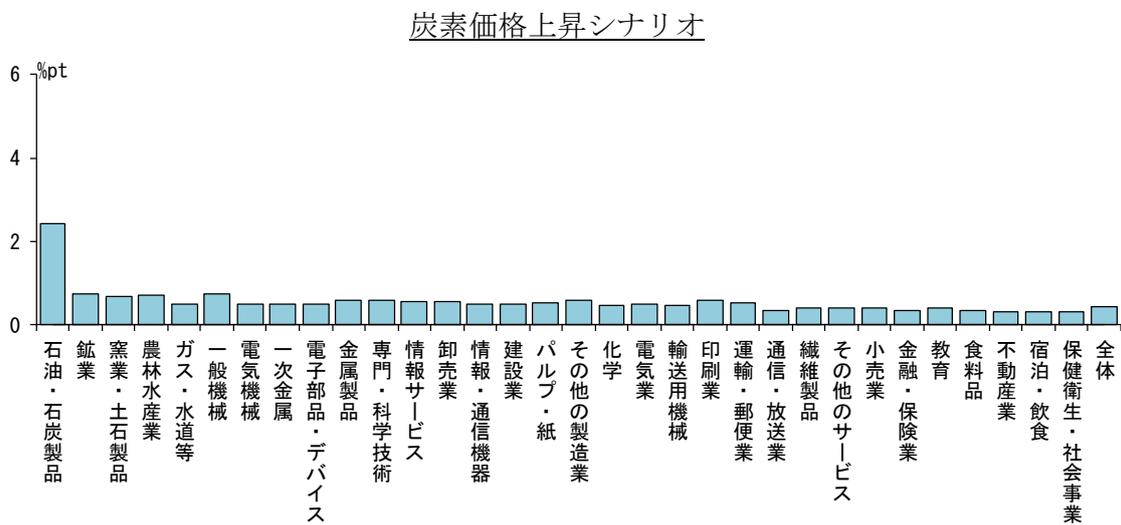
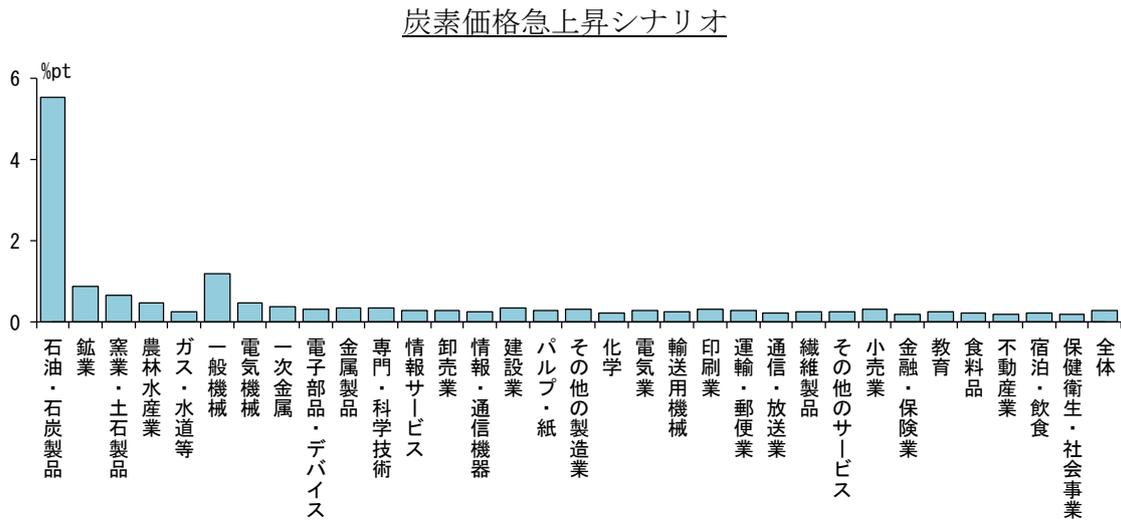
先に述べたように、「企業の対応が遅れるケース」では信用コストへの影響が大きくなっているが、このケースは、シミュレーション期間中、企業による炭素価格上昇への対応を全く考慮しない非常に極端な想定である。したがって、このケースについては、リスク管理上、考慮すべきテールリスクとして考えるよりも、むしろ、経済・社会や企業の対応によって、その影響が大きく変わり得ることの一例として理解すべきものであると考えられる。

---

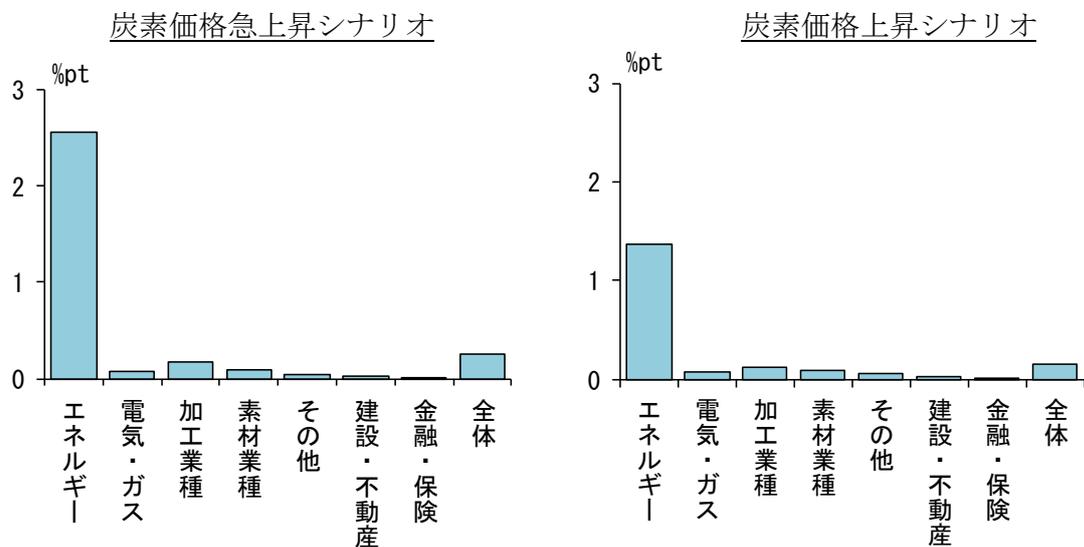
<sup>14</sup> 全金融機関の与信先企業の産業構成ウエイトの平均を用いて算出したもの。

<sup>15</sup> 図表 10 におけるもう 1 つの特徴として、重要セクター以外の業種のうち、保健衛生・社会事業や宿泊・飲食など、移行リスクがあまり大きくない（図表の右端に位置する）産業で、上昇シナリオの信用コスト率が急上昇シナリオよりも大きくなる点があげられる。これは、上昇シナリオにおいて長短金利が相対的に高いことが、企業の借入金利を通じて ICR を下押しする効果によるものである。

(図表 12) 「企業がスムーズに対応するケース」における産業別信用コスト率：国内  
(分析期間累計、現行政策シナリオ対比)



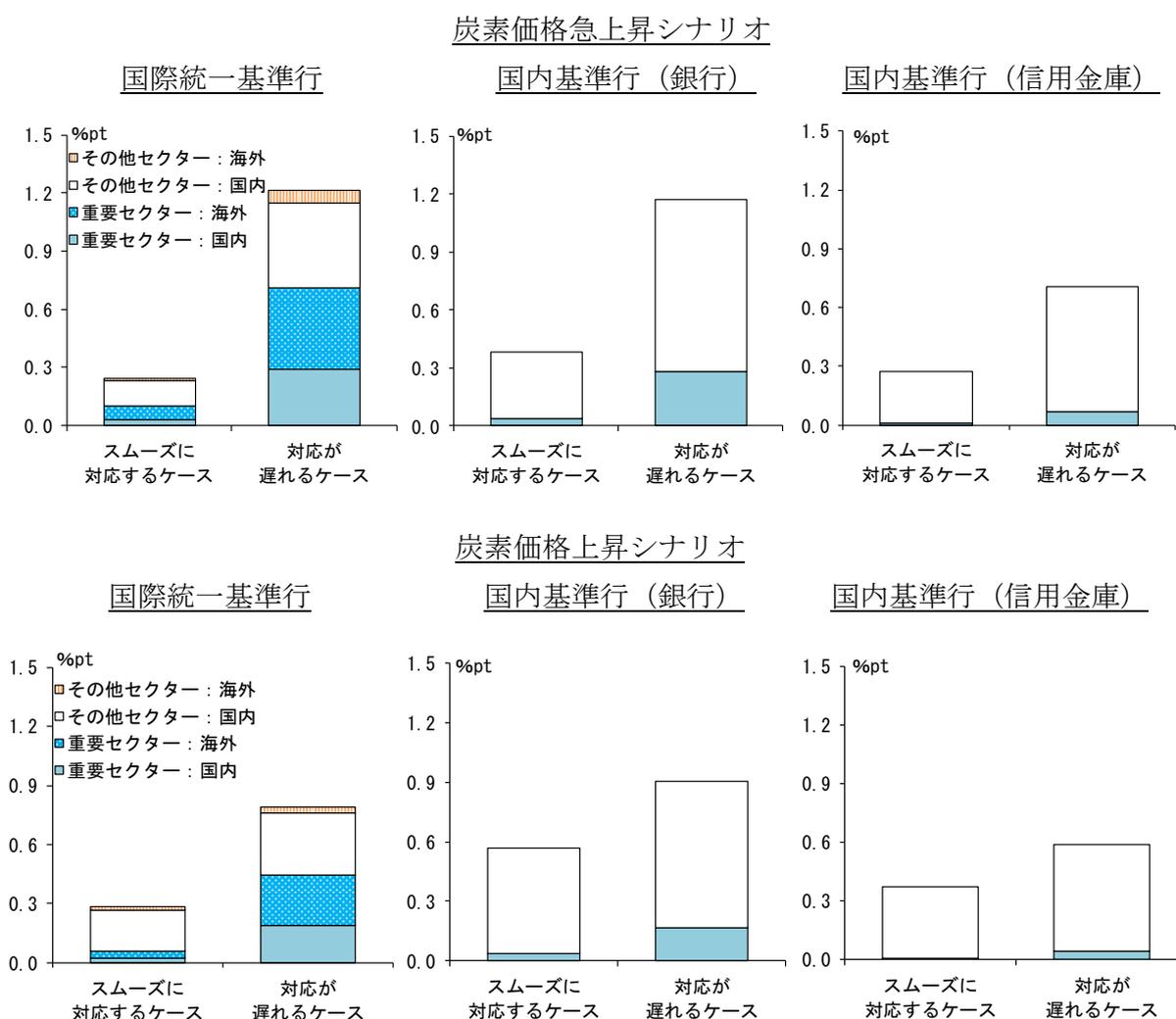
(図表 13) 「企業がスムーズに対応するケース」における産業別信用コスト率：海外  
(分析期間累計、現行政策シナリオ対比)



## (2) 金融機関業態別の特徴

各金融機関の直面する信用コスト率は、前節で解説した産業別の信用コスト率を各金融機関の与信先企業の産業構成ウエイトで加重平均して推計される。この信用コスト率を、「企業がスムーズに対応するケース」と「企業の対応が遅れるケース」のそれぞれについて、金融機関の業態別（国際統一基準行、国内基準行<銀行>、国内基準行<信用金庫>）に集計したものが図表 14 である。上段は急上昇シナリオ、下段は上昇シナリオの結果である。

(図表 14) 銀行業態別の信用コスト率（分析期間累計、現行政策シナリオ対比）



これをみると、以下の3つが確認できる。第1に、前節の産業別の結果と同様ではあるが、いずれの金融機関の業態においても、信用コスト率がもっとも大きくなるのは、急上昇シナリオにおける「企業の対応が遅れるケース」となる。第2に、金融機関の業態別にみると、国際統一基準行においては、海外の重要セクターへのエクスポージャーが相応にあるもとの、とりわけ「企業の対応が遅れるケース」では、こうした海外エネルギー企業向け貸出に伴う信用コストの悪化が

相応に大きな寄与をもたらす。第3に、国内基準行では、国内重要セクターへのエクスポージャーはそれほど大きくないものの、その他産業の信用コストが資本財関連の産業を中心に悪化する影響の寄与が大きい。

第3の点には、本稿の分析の特徴が表れている。すなわち、移行リスクに係るシナリオ分析では、ECB（2022）やBoC（Bank of Canada）・OSFI（Office of the Superintendent of Financial Institutions）（2022）といった他法域で実施された分析や金融庁・日本銀行（2022）など、炭素価格上昇によって直接的に影響を受ける産業（本稿における重要セクター）に主たる分析上の焦点を当てている分析も多い。この点、本稿の分析でも、各産業における信用コスト率については、重要セクターにおける悪化幅がその他の多くの産業対比で大きい。もっとも、とりわけ国内基準行においては、その他の産業の方が貸出構成に占めるウェイトが大きいことから、その他産業からの信用コストのほうが大きいという結果となる。これは、重要セクターに対するエクスポージャーが相対的に小さい地域金融機関においても、産業間の波及を通じた移行リスクの伝播に注視する必要があることを示唆している。

#### 4. おわりに

本稿は、金融機関の移行リスクについてのトップダウン型のシナリオ分析を行った。分析では、企業の移行過程における対応度の違いの影響を考慮するため、時間軸を短期化（5年）し、企業の対応度に関して異なる2つの想定を導入した。さらに多部門動学的一般均衡モデルを用いて、産業間の相互関連を考慮し、産業間の波及の影響を分析した。分析における試算結果は以下である。まず、炭素価格上昇に対する企業の対応度の違いは、短期のシナリオにおいて、銀行の信用コスト率に相応の違いを生み出し得るとの結果が得られた。次に、炭素価格上昇は、その影響を直接受ける重要セクターだけでなく、産業間の相互関連を通じて、それ以外のセクターにも影響を及ぼす。この結果、重要セクターへのエクスポージャーが相対的に小さい地域金融機関でも、信用コスト率が上昇する試算結果となった。

こうした試算結果は、以下の点を示唆している。まず、企業の対応度に関する想定の違いが、信用コスト率に大きな影響を与えるとの試算結果は、移行リスクのシナリオ分析を行う際に、企業の対応が十分に進まない可能性のある短い時間軸での分析の重要性を示している。また、この点は、企業の対応度合いやペースに関する想定が重要であることも示唆している。次に、移行リスクについては重要セクターに焦点を当てた分析がなされることが多いが、重要セクターへの

エクスポージャーが小さい地域金融機関においても間接的な影響の波及による移行リスクに留意する必要がある。

本稿では、炭素価格の上昇の影響を分析しているが、今回の分析結果は、炭素価格の上昇を起点としない移行リスクの分析にも適用できる可能性がある。例えば、家計や企業などの幅広い経済主体が、温室効果ガスを多く排出する産業の財・サービスを忌避しはじめ、そうした産業の需要が減少することを通じて移行リスクが発現するというシナリオも考えられる。こうしたシナリオは、本稿における分析の範疇には直接的には含まれていない。もっとも、温室効果ガスを多く排出する産業の生産量が低下し、それが産業連関を通じて資本財の需要を押し下げるといったメカニズムや、そうした需要変化への企業の対応度合いによって信用コストが相応に変わりうるといった、本稿における分析の枠組みは、こうしたシナリオを分析する上でも有用であると考えられる。

最後に本稿の残された課題として3点挙げておく。1点目は、企業の対応度合いに関する想定である。分析結果からも、対応度合いは、信用コスト率の試算結果に影響を与える。もっとも、今回の分析では、企業の対応度合いの想定については、簡便的な方法をとっていることから、試算結果については、相応の幅をもってみる必要がある。今後の課題として、脱炭素社会の実現に向けた生産技術やビジネスモデルの確立がどの程度のペースで進みうるのか、また、どの程度の投資が必要となるのか、といった点について、モデルの構築のほか、より具体的な想定を置くためのデータや各種情報の収集が必要である<sup>16</sup>。

2点目は、設備等の調整費用についてである。この点は、1点目の課題とも関連するが、本稿では、炭素価格の上昇時に、需給ギャップが企業財務を悪化させる想定としている。もっとも、実際には、炭素価格の上昇時に、設備等の調整費用が生じ、企業財務を悪化させることも考えられる。今後の課題として、脱炭素社会への移行過程で、温室効果ガスの排出が大きい企業における設備等の除却にかかる調整費用を考慮したモデルを構築するとともに、そうした調整費用を試算するためのデータについても収集する必要がある。

3点目は、短期シナリオに関する国際的な共通認識はまだ醸成されていないという点である。短期シナリオの設定方法や長期シナリオとの関係性は、先に述べた脱炭素社会への移行過程において、どのような想定を置くかという論点にも関連する。今後、こうした移行過程を分析するための動学的モデルの開発や活用

---

<sup>16</sup> 気候変動に対する各種政策と技術革新の関係については、Acemoglu et al. (2012)などで議論されている。

に加え、短期シナリオと長期シナリオといった分析の時間軸の考え方について整理が必要だと思われる。

## 参考文献

- 奥田達志・金井健司・川澄祐介・近松京介・中山功暉・宗像晃（2022）「金融マクロ計量モデル（FMM）—2022年バージョン—」、日本銀行調査論文、2022年9月。
- 金融庁・日本銀行（2022）「気候関連リスクに係る共通シナリオに基づくシナリオ分析の試行的取組について」、2022年8月。
- 竹山梓・松井祐依・南井敬晶（2023）「気候関連リスク分析のためのシナリオ作成—統合評価モデルの応用と課題」（未定稿）
- 電力中央研究所（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」2022年3月。
- 日本銀行金融機構局（2023）「地域金融機関の気候変動対応の現状」、金融システムレポート別冊シリーズ、2023年3月。
- Acemoglu, Daron, Philippe Aghion, Leonardo Bursztyn, and David Hemous. (2012) "The Environment and Directed Technical Change." *American Economic Review*, 102 (1): 131-66.
- Allen, Thomas, Stéphane Dees, Jean Boissinot, Carlos Mateo Caicedo Graciano, Valérie Chouard, Laurent Clerc, Annabelle de Gaye, Antoine Devulder, Sébastien Diot, Noémie Lisack, Fulvio Pegoraro, Marie Rabaté, Romain Svartzman, and Lucas Vernet (2020) "Climate-Related Scenarios for Financial Stability Assessment: an Application to France," Banque de France Working Paper No. 774.
- Alogoskoufis, Spyros, Nepomuk Dunz, Tina Emambakhsh, Tristan Henning, Michiel Kaijser, Charalampos Kouratzoglou, Manuel A. Muñoz, Laura Parisi, and Carmelo Salles (2021) "ECB's economy-wide climate stress test," ECB Occasional Paper Series No. 281.
- Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution, (2021) "A first assessment of financial risks stemming from climate change: The main results of the 2020 climate pilot exercise," May 2021.
- Bank of Canada and Office of the Superintendent of Financial Institutions (2022) "Using Scenario Analysis to Assess Climate Transition Risk: Final Report of the BoC-OSFI Climate Scenario Analysis Pilot," January 2022.
- Bank of England (2022) "Results of the 2021 Climate Biennial Exploratory Scenario (CBES)," May 2022.
- Basel Committee on Banking Supervision (2022) "Principles for the effective management and supervision of climate-related financial risks," June 2022.
- Devulder, Antoine, and Noémie Lisack (2020) "Carbon Tax in a Production Network: Propagation and Sectoral Incidence," Banque de France Working Paper No. 760.
- European Central Bank (2022) "2022 climate risk stress test", July 2022.
- European Central Bank and European Systemic Risk Board (2022) "The macroprudential challenge of climate change," July 2022.
- Federal Reserve Board (2023) "Pilot Climate Scenario Analysis Exercise: Participant Instruction," January 2023.
- Financial Stability Board and Network for Greening the Financial System (2022) "Climate Scenario Analysis by Jurisdictions: Initial findings and lessons," November 2022.
- Frankovic, Ivan (2022) "The Impact of Carbon Pricing in a Multi-region Production Network Model and an Application to Climate Scenarios," Deutsche Bundesbank Discussion Papers, No.07.
- Matsumura, Kohei, Tomomi Naka, and Nao Sudo (2023) "Analysis of the Transmission of

Carbon Tax using a Multi-Sector Dynamic Stochastic General Equilibrium Model,” Bank of Japan Working Paper Series, No.23-E-2.

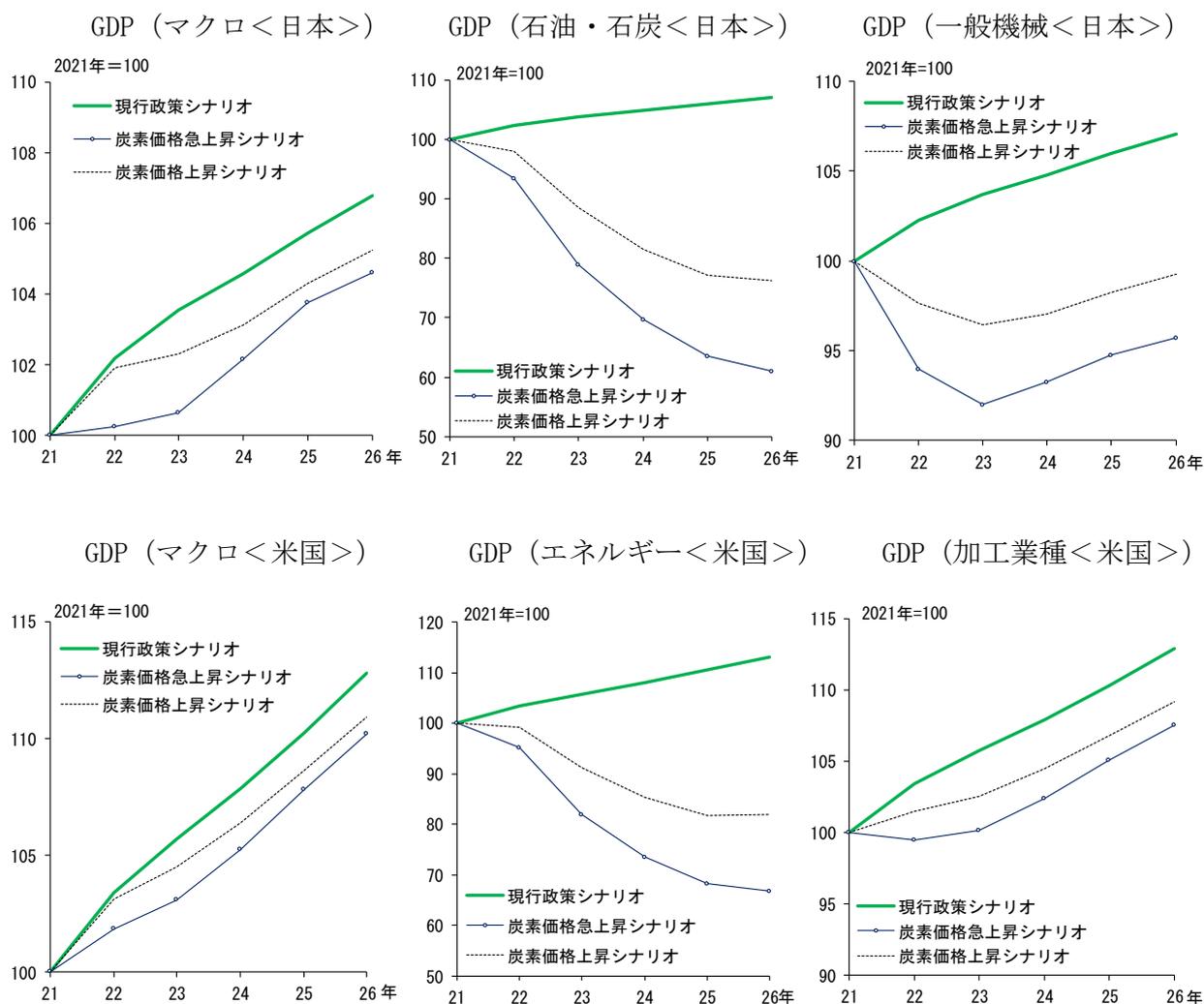
Network for Greening the Financial System (2022) “NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors,” September 2022.

Vermeulen, Robert, Edo Schets, Melanie Lohuis, Barbara Kölbl, David-Jan Jansen, and Willem Heeringa (2018) “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands,” De Nederlandsche Bank Occasional Studies, Vol. 16-7.

## 補論 1：各種シナリオ変数

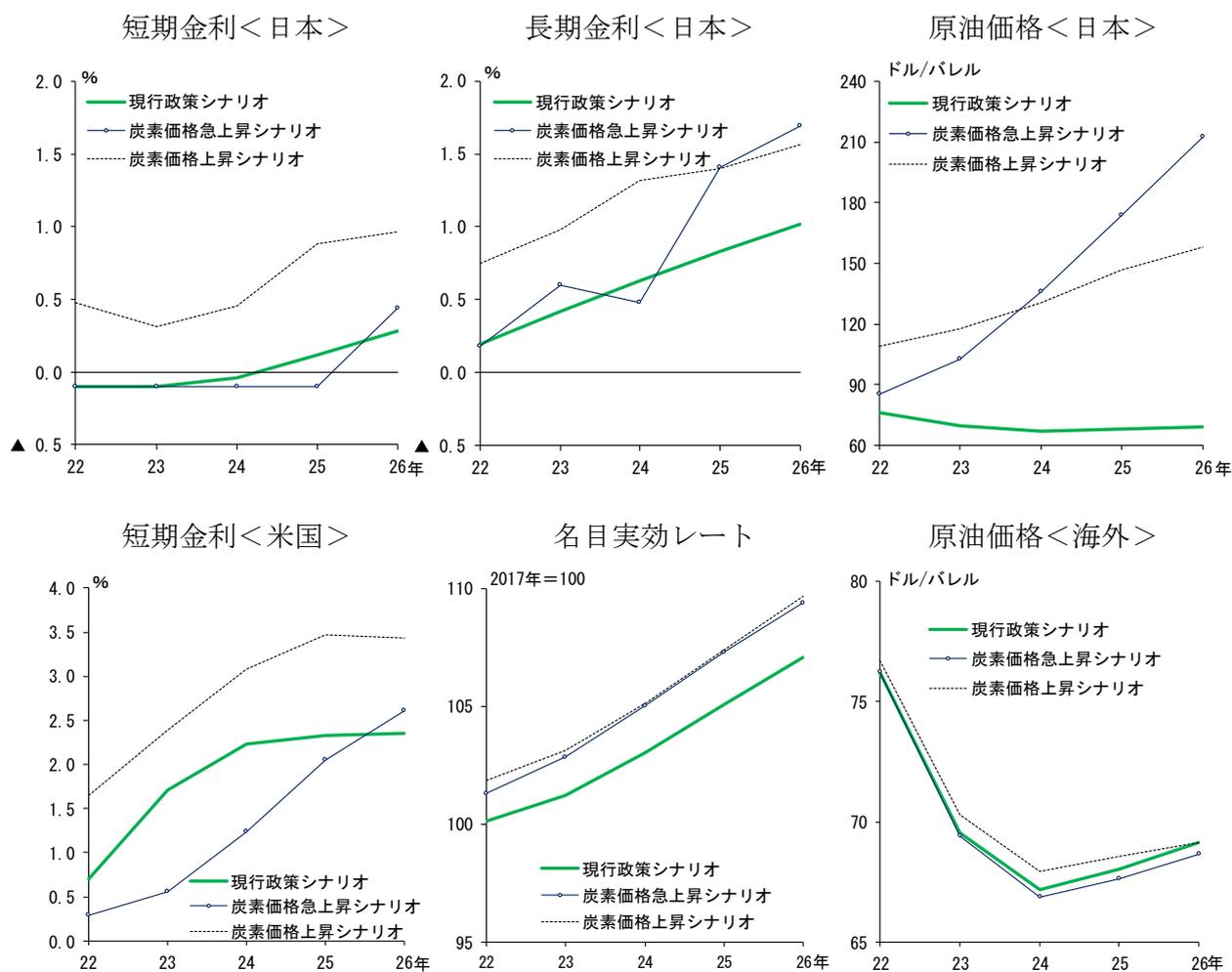
補論 1 では、今回の分析で用いた主なシナリオ変数の動きを俯瞰する。まず GDP は、NGFS シナリオ (第 3 版) のうち Net zero 2050、Delayed transition、Current policies の GDP シナリオ (日本) をベースに、上昇シナリオ、急上昇シナリオ、現行政策シナリオをそれぞれ作成した。このマクロの GDP を基に、本文第 2 章第 2 節で詳述した方法で産業別 GDP を算出した。前掲図表 5、6 の通り、多くの産業において、現行政策シナリオ対比で上昇シナリオや急上昇シナリオの GDP は下振れる。特に炭素価格の上昇による影響を直接的に受けやすい産業である石油・石炭製品や、窯業・土石等の生産過程で相対的に多くの温室効果ガスを排出する産業での悪化が顕著である。加えて、資本財を生産する一般機械では、設備投資の減少の影響を受けて GDP が相応に悪化する (補論図表 1)。

(補論図表 1) GDP



内外金利については、上昇シナリオでは炭素価格の上昇を映じて上昇する一方、急上昇シナリオでは景気悪化を受けて低下する（補論図表2）。国内の原油価格（炭素税込み）については、炭素価格の上昇に応じて大幅に上昇し、国内企業の収益下押し要因となる。他方、海外の原油価格（炭素税抜き）は、需要減少を受けて下落し、海外エネルギー産業の収益を下押しする。

（補論図表2）金利・為替・原油価格



## 補論 2：産業連関を考慮した動学的一般均衡モデルの概要

炭素価格が企業の信用力へ与える影響は、産業ごとに大きく異なる。したがって、移行リスクの分析に当たっては、少なくとも産業別の粒度で影響を算出する必要がある。NGFS は気候シナリオに応じて多岐に亘る変数を提供しているが、業種別の変数の提供については、第3版時点では限定的な範囲に留まっている。そこで、Allen et al. (2020)や ECB・ESRB (European Systemic Risk Board) (2022)などの他中銀のシナリオ分析でも、Devulder and Lisack (2020)、Frankovic (2022)といった産業連関を取り込んだ一般均衡モデルによる分析結果を援用しながら分析を行っている。

本稿では、Matsumura et al. (2023)に基づき、産業別のシナリオ変数を作成した。同論文は、先行研究である Devulder and Lisack (2020)、Frankovic (2022)と違い、日本経済のみに着目しており国際貿易を捨象している一方で、設備投資をモデルに取り込んだ動学モデルであり、企業のフォワード・ルッキングな設備投資行動を通じた波及経路も描写ができるようになっている。この補論では、その概要を直観的に解説する。数式の記述も含めた厳密なモデルの解説は、Matsumura et al. (2023)を参照されたい。

このモデルは、産業連関を考慮した動学的な一般均衡モデルである。加えて、資本ストックの調整費用や価格の硬直性など、景気循環を分析する標準的なモデルと共通の構造を持っている。同モデルには、32の産業が存在しており、各産業が、他産業が生産する財を中間投入としながら、財の生産を行う。同モデルは、産業連関を通じた波及効果を捉えることができ、例えば主要な炭素の排出源である化石燃料の使用に炭素税が課された場合、各産業は中間投入を別の財に代替するメカニズムが働くため、化石燃料セクターは大幅な需要の減少に直面し、当該産業の付加価値は大きく減少する。また、化石燃料への依存度が高いセクターについては、生産コストの大幅な上昇に直面し、販売価格が上昇する一方、生産量は減少する。

加えて、資本財も、他の産業が財を生産する際の間接投入として用いられる。例えば、一般機械は多くの産業が設備投資をする際に需要する財である。化石燃料の使用に炭素税が課されることで、石油・石炭産業への需要は先行き大幅に調整することが予見され、結果として設備投資を大幅に削減する。これにより、一般機械の生産量も減少することになる。

このモデルでは、炭素価格の上昇は、炭素税の導入によるものとして定式化する。具体的には、温室効果ガスの排出量に応じた、3種類の炭素税を想定する。①中間投入段階では、エネルギー・燃焼に係る温室効果ガスの排出に炭素税が課

される。すなわち、中間財としてエネルギー（石油・石炭製品）を使用する際に、その購入に対し課税される。②生産段階では、エネルギー燃焼を伴わない温室効果ガスの排出に対し課税される。例えば、セメントを生産する際、石灰石の燃焼に伴い、温室効果ガスが発生する。この場合、セメントの生産（＝売上）に対し課税される。③最終消費段階では、家計の消費活動で排出される温室効果ガスに炭素税が課される。例えば、家計が自動車の運転を行った場合、ガソリンの燃焼に伴う二酸化炭素の排出が起こるため、家計のガソリン購入に対し課税される。なお、家計が排出する温室効果ガスのうちほとんどが、ガソリンを含む石油・石炭製品由来であると推測されることから、本分析では石油・石炭製品の消費にのみ課税すると考える。

このモデルのパラメータは、2015年の産業連関表を用いて決定し、NGFSシナリオで提供される炭素価格を所与として、それと整合的な産業別GDPのパスを推計している。同モデルによれば、需要の減少に直面する石油・石炭産業では特に大きめにGDPが減少するほか、生産段階で温室効果ガスを多く排出する窯業・土石等の産業についても比較的大きなGDPの減少に直面する。一般機械は、石油・石炭産業等からの設備投資需要が減少することで、付加価値が減少する。産業別GDPの先行きは、技術革新や消費者の嗜好の変化等、様々な要因によって決まり得るが、本推計では、炭素価格の上昇によってもたらされる影響のみに限定している。また、この結果はモデルにおける生産関数や効用関数に関する仮定に依存するという点にも留意が必要である。