

IMES DISCUSSION PAPER SERIES

気候ファイナンス: 研究の進展と今後の課題

ひらきかずひろ
平木一浩

Discussion Paper No. 2024-J-16

IMES

INSTITUTE FOR MONETARY AND ECONOMIC STUDIES

BANK OF JAPAN

日本銀行金融研究所

〒103-8660 東京都中央区日本橋本石町 2-1-1

日本銀行金融研究所が刊行している論文等はホームページからダウンロードできます。

<https://www.imes.boj.or.jp>

無断での転載・複製はご遠慮下さい。

備考：日本銀行金融研究所ディスカッション・ペーパー・シリーズは、金融研究所スタッフおよび外部研究者による研究成果をとりまとめたもので、学界、研究機関等、関連する方々から幅広くコメントを頂戴することを意図している。ただし、ディスカッション・ペーパーの内容や意見は、執筆者個人に属し、日本銀行あるいは金融研究所の公式見解を示すものではない。

気候ファイナンス: 研究の進展と今後の課題

ひらきかずひろ
平木 一浩*

要 旨

本論文では、急速に研究が進展する気候ファイナンスの文献について、「価格発見およびリスク移転機能」、「主体間の資金仲介機能」、「異時点間の資源配分機能」という、金融市場の3つの基本的機能を切り口にサーベイした。第一の切り口からは、気候関連リスクは徐々に資産価格に織り込まれているものの、引き続きミスマッチが残存している可能性が指摘されている。また、気候関連リスクのヘッジに関する研究が進展を見せている。第二の切り口に関して、サステナブル投資の急速な規模拡大に合わせる形で、こうした投資行動が資産価格に与える影響を実証した結果の蓄積が進んでいる。一方、サステナブル投資が、より実効性を高めていき、低炭素社会への移行をさらに後押ししていくためには、発行体企業に対するインセンティブや、データ整備などの、さまざまな課題が存在することも明らかになってきている。最後に、第三の切り口に関連して、社会的割引率に関する主要なアプローチである、規範的アプローチ・実証的アプローチ・持続可能性アプローチをサーベイし、社会的割引率を取り巻く議論のポイントを整理した。近年の気候ファイナンス研究は、市場参加者に対するサーベイの多くにおける指摘と共通する形で、気候変動リスクの資産価格への織り込みが十分ではないことや、ESG 投資家層の拡大やデータ面での整備が今後の課題であることを示唆している。引き続き、金融実務の発展とファイナンス研究の知見の蓄積の両者が相俟って、気候変動対応において金融市場が重要な役割を果たしていくことが望まれる。

キーワード：気候変動、気候ファイナンス、物理的リスク、移行リスク、サステナブル投資、資産価格評価、社会的割引率

JEL classification: E52、G11、G12、G14、Q54、Q56

* 日本銀行金融研究所企画役（現・国際通貨基金、E-mail: khiraki@imf.org）

本稿の作成に当たっては、内山朋規氏（東京都立大）に査読いただき、多岐にわたる貴重なコメントを頂戴した。また、竹原浩太氏、室町幸雄氏、吉羽要直氏、ならびに金融研究所スタッフから有益なコメントを頂戴した。ただし、本稿に示されている意見は、筆者個人に属し、日本銀行、国際通貨基金および同理事会の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りはすべて筆者個人に属する。

1 はじめに

気候変動は現在人類が直面する最も大きな問題の一つであり、その緩和や適応に向けてさまざまな対応が進んでいる。こうした気候変動問題への対応を進めるうえでは、気候変動がもたらすリスクや機会を的確に評価することが、適切な対応手段をとっていくうえで重要である。なかでも、金融市場が適切に気候変動リスクを資産価格に反映することや、十分かつ効率的に資金仲介機能を発揮することで、気候変動問題への対応を後押ししていくことの重要性が指摘されている（Giglio, Kelly, and Stroebel [2021], G20 [2023]など）。

金融市場の主要な機能としては、不確実性・リスクに関する価格発見機能やヘッジ手段の提供、資金余剰主体と資金不足主体間での資金仲介機能、貯蓄手段の提供による異時点間の資源配分機能があげられる。気候変動問題に対処していくためには、こうした金融市場の機能を活かしていくことが重要となる。まず、気候変動問題は、多岐にわたる大きな不確実性・リスクをもたらす。このため、気候関連リスクが資産価格に適切に反映されることは、効率的な資源配分の達成や金融安定の観点から極めて重要である。また、気候変動問題への対応にあたっては、膨大な資金が必要になることが指摘されている¹。このため、こうした膨大な投資資金が十分かつ効率的に調達できるよう、発行体や投資家のインセンティブを踏まえた金融市場の制度設計を行っていくことが望まれている。さらに、気候変動問題は、極めて長期の時間軸で人々の経済厚生に影響を及ぼすという特徴がある。このことは、気候変動対策の費用便益分析にあたっては、将来世代の便益をどのような割引率で割り引いて現時点での対策費用と比較するかという点が課題となることを意味する。

こうした気候変動問題に関する金融面の論点について、金融経済学の立場から研究する分野は「気候ファイナンス」（climate finance）と呼ばれており、近年、急速に研究が発展している。また、研究の急速な蓄積に合わせて、多くのサーベイ論文も公表されている。たとえば、Furukawa, Ichiue, and Shiraki [2020] は、金融安定の観点から気候ファイナンス関連論文をサーベイしている。また、Giglio, Kelly, and Stroebel [2021] は、金融経済学理論を意識しつつ、気候ファイナンス研究のサーベイを行い、今後の研究の展望を示している²。

本論文における気候ファイナンス研究のサーベイは、以下の点が特徴である。まず、既存の気候ファイナンスの実証研究では、データ制約などの問題もあり、企業のグリーン度指標と株価リターンの関係をはじめとして、正反対の実証分析結果が得られるケースが散見され

¹ たとえば、GFANZ (Glasgow Financial Alliance for Net Zero) の試算によると、低炭素社会への移行のためには、総額 100 兆ドルを超える資金が必要とされている。また、IMF [2023a]は、新興国・発展途上国を中心に、2030 年までに移行ファイナンス投資額を年額 2 兆ドルまで増加させる必要があると指摘している。

² 経済・ファイナンス分野において気候変動問題に関する研究が急速に進展することにあわせて、気候ファイナンスに限らず、気候変動の経済学に関するサーベイ研究もみられている。統合評価モデルや最適課税（炭素税）に関する研究など、気候変動問題に関する代表的な経済学研究をサーベイしたものとしては有賀ほか [2022] がある。

ている。こうした状況のもとでは、理論的枠組みをガイドラインとして、既存の研究成果を整理していくことが、学術研究・投資実務の双方の面から有益と考えられる。このため、本論文ではまず、資産価格評価理論（asset pricing theory）に基づいた理論研究をサーベイすることで、気候変動問題が資産価格に影響を与える経路を整理したうえで、実証研究を概観している。次に、気候ファイナンス研究は、データの蓄積やサステナブル投資の発展といった実務面での取り組み進展に応じる形で、日進月歩で発展している。本論文では、こうした最先端の研究、なかでも、グリーンウォッシュや、サステナブル投資の実効性に関する研究などの、気候変動対応の実効性を高めるうえで、実務的にも極めて重要なテーマをカバーしている。最後に、気候変動への政策対応を考えるうえで極めて重要なパラメータである、社会的割引率に関するサーベイを行っている点も特長である。

本論文の以下の節では、冒頭にあげた金融市場の3つの機能を意識しつつ、気候ファイナンス論文をサーベイしていく。はじめに、気候関連リスクに関する価格発見機能やヘッジ機能を取り上げる。もし、気候関連リスクが資産価格に適切に反映されていない場合、非効率な資源配分につながるだけでなく、気候関連リスクが顕現化した場合に資産価格が急落する可能性がある。資産価格の急落は、投資家や金融機関の健全性に影響を与えることを通じて金融システムの安定を脅かす懸念があることから、金融監督当局などを中心に、気候関連リスクに関するシナリオ分析の整備などが進められている。このため、気候関連リスクが資産価格に及ぼす影響について、理論・実証の両面から理解を深めていくことは、学術的観点からだけでなく、政策対応の観点からも必要不可欠である。

まず2節では、気候関連リスクや投資家行動の変容が資産価格に与える影響を描写する理論的枠組みを紹介する。具体的には、ESG投資を明示的に考慮した資産価格評価モデルの代表例である Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] のモデルを概観しつつ、理論的なポイントを整理する。そのうえで、3節では、気候関連リスクの資産価格への織り込み状況に関する実証研究を中心としたサーベイを行う。まず、気候関連リスクが資産価格に与える影響を分析した研究を、気候変動等に伴う異常気象などの自然災害がもたらす物理的リスクと、低炭素社会移行の過程で資産価値が毀損する移行リスクに関するものに分けて整理する。次に、気候関連リスクのヘッジや、ミスプライシング（気候関連リスクの不十分な織り込み）に関する研究を概観する。

次に、気候変動対応のための資金仲介に関連する話題を取り上げる。気候変動の緩和や気候変動への適応のために必要となる巨額の資金は、公的部門のみでカバーすることは不可能である。また、低炭素社会への移行計画と整合的な形で投融資を進めていくことも、気候変動対応の実効性の観点から重要である。このため、金融市場・金融システムの適切なデザインを通して、気候変動対策に資する形で、民間投融資を進めるインセンティブが確保されることが重要である。近年では、こうした取り組みが進む中で、サステナブル投資の規模が急速に拡大している。また、民間投資主体だけではなく、中央銀行においても、気候変動問題

を考慮した金融政策運営や保有資産の管理について情報発信がみられている³。

4節では、サステナブル投資に関連する研究を取り上げる。まず、サステナブル投資から非金銭的効用を得ている投資家が存在するか、という論点に関連して、グリーンium（グリーン銘柄と通常銘柄のリターン格差）に関する研究を概観する。次に、サステナブル投資が資産価格にどのような影響を与えているかを確認したうえで、サステナブル投資の実効性に関する論点として、企業行動への影響、グリーンウォッシュ懸念、気候関連データの整備に向けた課題に示唆を与える研究を紹介していく。4節の最後では、中央銀行に関連する研究を取り上げる。具体的には、中央銀行が金融政策運営にあたって、気候変動問題をどのように考慮すべきかや、資産買入れにあたって買入れ対象資産のグリーン度をどのように考慮すべきか、といった論点を取り上げる。

最後に、異時点間の資源配分に関連して、社会的割引率に関する議論を概観する。冒頭で述べた通り、気候変動対策を考える際には、短期的に発生する対策費用と極めて長期ホライズンにわたって発生する便益に関する費用便益分析を行う必要があるため、社会的割引率の設定が分析結果に大きな影響を及ぼす。もっとも、どのような割引率が適切かについてはさまざまな考え方が存在しており、現状では必ずしもコンセンサスが得られていない。このような中で、金融経済学の観点から、社会的割引率に関する規範的・実証的な研究成果や議論を整理することは、統合評価モデルによる分析の解釈や情報発信、炭素価格に対する理解を深めるなどの観点から、重要な貢献になると考えている。本論文の5節では、社会的割引率の設定に関する3つの代表的なアプローチである、規範的アプローチ、実証的アプローチ、持続可能性アプローチをそれぞれ概観する。

2 気候変動問題と資産価格：理論

気候変動問題は、主に2つの経路を通して資産価格に影響を与えられられる。まず、気候変動は、金融資産のファンダメンタルに影響を及ぼすリスク要因となる。たとえば、海面上昇や自然災害の激甚化といった物理的リスクは、企業活動や不動産価値などに影響を与える。また、低炭素社会への移行がもたらす制度変更や技術進歩、人々の行動変化が企業活動に及ぼす移行リスクも、株式や債券をはじめとする資産価格に影響を与える。もう一つの経路は、投資家・発行体の行動変化を背景とした需給の変化である。たとえば、ESG要素を考慮して投資を行う市場参加者が増加した場合、各銘柄のESG特性に応じて需給が変化することで、資産価格に影響が及ぶ可能性がある。

気候変動問題が資産価格形成に与える影響を分析する理論的枠組みとしては、現代ファイナンス理論における基本モデルである資産価格評価モデル（Capital Asset Pricing Model; CAPM）を拡張する研究がみられている。本節では、ESG-adjusted CAPMとも呼称されるこうしたモデルの代表例である Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] の理論モデルを、古

³ 日本銀行による情報発信の一例としては、日本銀行[2022]を参照。

典型的な CAPM と対比しつつ概観することで、理論面でのポイントを整理する。

2.1 古典的 CAPM の概要

Sharpe [1964]、Lintner [1965]、Mossin [1966] が提唱した CAPM は、市場均衡理論に基づいて、個別株式の期待超過リターン（リスクプレミアム）の理論式を導出しており、現代ファイナンス理論におけるもっとも基本的なモデルの一つとなっている。

CAPM の主要な仮定と理論的結果は、以下の通りである。ただし、ここでは、危険資産（株式）に加えて、無リスク資産も取引可能な状況を考える。

- 危険資産のリターンや分散共分散行列に関する投資家の予想は同質的であり、平均分散効用を最大化するように投資ポートフォリオを選択する。
- 最適な投資ポートフォリオは、シャープ・レシオ（Sharpe ratio、ポートフォリオの期待リターンの期待標準偏差に対する比率）が最大となる。とくに、市場ポートフォリオのシャープ・レシオは、（選択可能なポートフォリオの中で）最大となる。
- 最適ポートフォリオは、市場ポートフォリオと無リスク資産の 2 資産の組み合わせで構成できる。この結果は、「2 資産分離定理 (two-fund separation theorem)」と呼ばれる。
- 個別株式の期待超過リターンは、次式の通り、マーケット・ベータをもとに定まる。

$$E[r_t^i] - r_t^f = \beta^i (E[r_t^M] - r_t^f) \quad (1)$$

ただし、 r_t^i, r_t^M はそれぞれ、銘柄 i と市場ポートフォリオのリターン、 r_t^f は無リスク金利、 $\beta^i = Cov(r_t^i, r_t^M) / Var(r_t^M)$ はマーケット・ベータである。

CAPM では、現実とは必ずしもそぐわない強い仮定が置かれている。たとえば、将来のリターンやボラティリティに関する各投資家の予想が異なる可能性があるほか、非金銭的効用などの存在から投資家ごとに効用関数の形状が異なる可能性などが指摘されている⁴。こうした論点を考慮した後続研究は多数存在するが、なかでも、Fama and French [2007] が著名である。当該論文は、各投資家が想定する危険資産リターンの確率分布が異なる可能性 (disagreement) や、特定の資産への投資から非金銭的効用を得る投資家が存在する可能性 (taste) を考慮して、CAPM を拡張している。

気候変動問題の文脈に即して Fama and French [2007] の着眼点をみると、ESG 関連情報を活用するかどうかに応じて、各投資家の想定リターンの確率分布が異なる可能性や、ESG 投資から非金銭的効用を得る投資家が存在する可能性が考えられる。これらの論点を具体的に定式化することで、ESG 投資を考慮する形で CAPM を拡張したのが、以下で解説する

⁴ このほか、投資家ごとに直面する制約条件（たとえば、担保制約や借入制約）が異なる可能性もある。制約条件の異なる投資家の存在を考慮して CAPM を拡張した研究としては、たとえば Frazzini and Pedersen [2014] を参照。

Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] の理論モデルである。

2.2 Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] による ESG-adjusted CAPM

2.2.1 モデル設定

Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] のモデルでは、各銘柄は「ESG スコア」と呼ばれる特性を持っている。ESG スコアは、各銘柄の将来株価を予測するうえで有用な情報を含んでおり、ESG スコアと予想配当額に（たとえば高 ESG スコア銘柄ほど予想配当額が高いといった）関係があることが仮定されている⁵。このため、ESG スコアを予想形成の際に考慮することで、より効率的な投資判断を下すことができる設定となっている。

当該論文では、CAPM の同質的投資家の条件を緩めて、以下の 3 タイプの投資家が存在する状況を分析している。

1. タイプ U (Unaware): ESG スコア情報を利用しない (ESG スコアの有用性を認識していない) 投資家。平均分散効用を最大化するようにポートフォリオを選択するが、その際に利用する予想リターン・共分散には ESG スコア情報は反映されていない。
2. タイプ A (Aware): ESG スコアの有用性を認識している投資家。平均分散効用を最大化するようにポートフォリオを選択する点はタイプ U 投資家と同じだが、利用する予想リターン・共分散には ESG スコア情報が反映されている。
3. タイプ M (Motivated): ESG 投資意欲がある投資家。ESG スコア情報を考慮して平均と分散の予想を形成する点はタイプ A 投資家と同じだが、タイプ M 投資家はさらに、ESG 投資から非金銭的効用を得ることが仮定されている。

各投資家の効用最大化問題は、以下の通り、期待効用 U を最大化するように危険資産の「ポートフォリオ」(各危険資産銘柄への投資ウェイトのベクトル) x を決定する問題として定式化できる⁶。

$$\max_x U = E[\widehat{W}^x | I] - \frac{\gamma}{2} \text{Var}(\widehat{W}^x | I) + W \cdot f(\bar{s}). \quad (2)$$

ただし、 γ は絶対的リスク回避度パラメータ、 W は初期時点での総資産額、 $\widehat{W}^x = W(1 + r^f + x'r)$ はポートフォリオ運用後の総資産額である。将来の総資産額 \widehat{W}^x の条件付き期待値・分散を算出する際に投資家が利用する情報集合は I であらわす。また、 \bar{s} はポートフォリオの加重平均 ESG スコアであり、 s を銘柄別 ESG スコアのベクトルとしたとき、 $\bar{s} = x's/x'1$ である。 $f(\bar{s})$ は ESG 投資による非金銭的効用を表す項である。非金銭的効用項は

⁵ モデル上、ESG スコアと予想配当額の対応関係は正負どちらにもなりうる。詳細については、2.2.3 節を参照。

⁶ 初期時点での総資産の一部は、無リスク資産でも運用される。このため、ポートフォリオ・ウェイト x の総和は必ずしも 1 とはならない。

\bar{s} について非減少（ESG スコアが高いほど非金銭的効用も高まる）である。

タイプ U 投資家は、平均や分散の予想を形成する際に ESG スコア情報を利用しないため、 $E[\widehat{W}^x|I] = E[\widehat{W}^x]$ となる（条件付き分散も同様）。一方、タイプ A およびタイプ M 投資家は、ESG スコア情報を利用した予想形成を行うことから、 $E[\widehat{W}^x|I] = E[\widehat{W}^x|s]$ となる。また、タイプ U およびタイプ A 投資家の非金銭的効用項は $f(\bar{s}) \equiv 0$ である一方、タイプ M 投資家の非金銭的効用項は正の値を取りうる。

2.2.2 各投資家の最適投資行動

上述の定式化のもと、まず、3 タイプの投資家それぞれの期待効用最大化問題（式(2)）を解くことで、それぞれの投資家の最適ポートフォリオを導出できる。タイプ U およびタイプ A 投資家の最大化問題は非金銭的効用項を含まないため、最適ポートフォリオは通常のアポート分散ポートフォリオとなる。ただし、条件付き期待リターン・分散に ESG スコア情報が織り込まれているかどうか異なることから、両者の最適ポートフォリオは異なる。

タイプ M 投資家については、非金銭的効用項が含まれることから、最大化問題の解法は複雑になる。この点、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] は、タイプ M 投資家の最大化問題が以下の最大化問題に帰着できることを示している（Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021], Proposition 1）。

$$\max_{\bar{s}} SR(\bar{s})^2 + 2\gamma f(\bar{s}) \quad (3)$$

ただし、 $SR(\bar{s})$ はポートフォリオの加重 ESG スコアが \bar{s} に等しいという制約条件下で達成可能なシャープ・レシオの最大値を表す。

式(3)によると、タイプ M 投資家は、以下の二段階の最適化によってポートフォリオを決定していると解釈できる。まず、加重平均 ESG スコアを所与としてシャープ・レシオを最大化する問題を解く。次に、この結果を所与として、式(3)を最大化する最適な加重平均 ESG スコアが選択される。なお、式(3)は、リスク調整済の収益性を表すシャープ・レシオの二乗項と、非金銭的効用項の加重和を最大化する問題である。この結果は、代表的投資家がシャープ・レシオを最大化するポートフォリオ（市場ポートフォリオ）を選択する、という CAPM の結果を拡張したものとなっていると捉えることができる。

このように期待効用最大化問題を解くことで、タイプ M 投資家の最適ポートフォリオを次の通り導出できる。

$$x = \frac{1}{\gamma} \Sigma^{-1} (\mu + \pi(s - 1\bar{s})). \quad (4)$$

ここで、 r を各危険資産銘柄の（無リスク・リターン対比の）超過リターンのベクトルとすると、 $\mu = E[r|s]$ 、 $\Sigma = Var(r|s)$ である。すなわち、 μ, Σ はそれぞれ、ESG スコア情報を考慮した条件付き期待超過リターンと条件付き分散共分散行列である。また、 π はモデル・

パラメータや加重平均 ESG スコアから定まる正の定数である。

式(4)は、タイプ M 投資家の最適ポートフォリオが、通常のアVERAGE分散ポートフォリオ ($\Sigma^{-1}\mu/\gamma$) と比べてときに、期待リターン部分を ESG スコアに応じて「調整」した形になっていることを示している。実際、ESG スコア項を無視すると、式(4)は通常のアVERAGE分散ポートフォリオに帰着する。ESG スコア項を考慮すると、平均より高い(低い) ESG スコアの銘柄は、期待リターンが高め(低め)に調整されることで、オーバーウェイト(アンダーウェイト)される。さらに、式(4)は、タイプ M 投資家の最適ポートフォリオが「アVERAGE分散ポートフォリオ ($\Sigma^{-1}\mu$)」、「ESG ポートフォリオ ($\Sigma^{-1}s$)」、「最小分散ポートフォリオ ($\Sigma^{-1}\mathbf{1}$)」、および「無リスク資産」の 4 資産の組み合わせで構築できることを示している。この結果は、CAPM における 2 資産分離定理(任意の最適ポートフォリオは市場ポートフォリオと無リスク資産の 2 資産から構築可能)の拡張となっており、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] は「4 資産分離定理 (four-fund separation theorem)」と呼んでいる。

2.2.3 ESG-adjusted CAPM

通常のアVERAGE CAPM では、投資家の最適化条件から導出されるアVERAGE分散ポートフォリオ(需要)が、市場ポートフォリオ(供給)と一致するという均衡条件に基づいて、個別銘柄の期待リターンに関する式(式(1))が導出される。ESG 情報をリターン分布の予想形成に利用しているかどうかや、ESG 投資から非金銭的効用を得ているかどうか異なる複数タイプの投資家が存在する場合でも、原理的には、各投資家の投資需要の総和が市場ポートフォリオと均衡するという条件から、個別銘柄の期待リターンを導出することが可能である。もっとも、このときの均衡は、各投資家タイプの構成比率や ESG スコア情報とファンダメンタルとの関係性にも依存するため、一般的な状況における式を明示的に導出することは難しい。このため、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] は、ESG スコア情報とファンダメンタルとの関係性に一定の仮定を置いたうえで、すべての投資家が 3 タイプの投資家のいずれか 1 タイプになっている状況それぞれについて、CAPM と類似した個別株期待リターンの表現を得ている。

具体的には、ESG スコアとファンダメンタル(配当金額) v_t の関係について、 $E[v_t|s] = \hat{\mu} + \lambda(s - s^m)$ という線形関係が仮定されている。ただし、 s^m は市場ポートフォリオの加重平均 ESG スコアである。 λ は ESG スコアに対して期待配当金額がどのように変化するかを表すパラメータで、 λ が正のとき、ESG スコアが高い銘柄ほど将来の配当金額も高いことを意味する。ESG 経営が将来のリスク軽減や消費者の信頼獲得といった正の効果につながる場合、このような関係が成立すると考えられる。一方、 λ が負のとき、ESG スコアが高い銘柄ほど将来の配当は低くなる。環境対策やチャリティー活動などが、費用面から業績を圧迫する場合などで、このような負の関係となると考えられる。このように、 λ の符号は理論的には定まらず、実証的な問題である。関連する議論については、3.2.1 節を参照されたい。

以下では、説明の簡単化のため、 λ が正であるとの前提を置いて、定常状態における期待リターンを、いくつかの投資家構成比率のもとで導出する(λ が負の場合は、以下で説明す

る各種の関係性や符号は反転する)。

まず、すべての投資家がタイプ U のとき、市場ポートフォリオはタイプ U 投資家の平均分散ポートフォリオと一致し、通常の CAPM と同様の公式が成り立つ。すなわち、個別銘柄の期待リターンは、 $E[r_t^i] - r_t^f = \beta^i(E[r_t^m] - r_t^f)$ を満たす。ただし、期待値やマーケット・ベータ中に現れる共分散は、ESG スコア情報を考慮せずに形成された、ESG スコア s によって条件付けられていない期待値や共分散に基づいたものとなる。

この状況下では、ESG スコアに含まれる有益な情報が一切活用されずに株価が形成されている。このため、ESG スコアが高い(低い)銘柄が、割安(割高)となっていると考えられる。実際、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] は、ESG スコア情報で条件付けた期待リターンが、以下の通りとなることを示している (p^i は株価を表す)。

$$E[r_t^i|s] - r_t^f = \beta^i(E[r_t^m] - r_t^f) + \lambda \frac{s^i - s^m}{p^i}. \quad (5)$$

すなわち、ESG スコアが高い銘柄 ($s^i > s^m$) は、右辺第 2 項が正であるため、通常の CAPM の場合と比べて期待リターンが高くなる。このことは、当該銘柄が割安となっていることを意味している。この結果は、大多数のタイプ U 投資家の中に、(マーケット・インパクトを与えない規模の) ごく少数のタイプ A 投資家が存在する場合、タイプ A 投資家が ESG スコア情報を活用することで、CAPM 対比のアルファを獲得できることを意味している。

次に、すべての投資家がタイプ A のとき、市場ポートフォリオはタイプ A 投資家の平均分散ポートフォリオと一致するため、通常の CAPM と同様の式が成り立つ。上記のタイプ U 投資家のケースとの違いは、期待リターンやマーケット・ベータの算出において、ESG スコア情報を考慮している点である。このように、ESG スコア情報が投資家行動に織り込まれることから、このケースでは、式(5)が示すようなアルファ獲得機会は発生しない。

最後に、すべての投資家が同一の非金銭的効用関数を持つタイプ M 投資家であるケースを考える。このとき、期待リターンは下記の通りとなる (Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021], Proposition 7)。

$$E[r_t^i|s] - r_t^f = \bar{\beta}^i(E[r_t^m|s] - r_t^f) - \pi(s^i - s^m). \quad (6)$$

ただし、 $\bar{\beta}^i$ は ESG スコアで条件づけた共分散等をもとに算出されるマーケット・ベータである。 π は、式(4)内のものと同じ正の定数である。

式(6)は、タイプ M 投資家が市場を占有しているとき、ESG スコアの高い銘柄ほど期待リターンが CAPM 対比で低くなることを示している。これは、高い ESG スコアから非金銭的効用を得る投資家は、低い期待リターンであっても投資を行うため、均衡リターンが低下するためである。別の解釈として、高 ESG スコア銘柄に対しては、非金銭的効用に起因する強い需要が発生することから、(タイプ M 投資家が存在しないケースに比べて) 高 ESG 銘柄が割高化すると理解することも可能である。

本節の冒頭で、気候変動問題が資産価格に影響を及ぼす2つの経路として、ファンダメンタルへの影響と投資家行動の変化を指摘した。この点について、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] は、いくつかの理論的示唆をもたらしている。たとえば、ESG スコアがファンダメンタルに関する有益な情報を含むとしても、こうした情報が株価に織り込まれるためには、ESG スコアを予想形成に活用する投資家が十分存在する必要があることが示唆される。逆に、($\lambda > 0$ の仮定のもとでは) 有用な ESG スコア情報を利用しない投資家が多く存在する場合、高 ESG スコア銘柄は割安となり、その後のリターンが高くなることも示唆される。また、投資家行動に関連する論点として、ESG 投資から非金銭的効用を得る投資家が多い場合、高 ESG スコア銘柄に強い需要が生まれることで割高化につながる。この点は、4.1 節で詳しく紹介するグリーンアムムの存在と統合的な理論的結果といえる。

2.3 その他の理論研究

ESG 投資を考慮した理論モデルとしては、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] 以外にも多くの研究がみられている。Baker et al. [2022] は、タイプ A およびタイプ M 投資家の2種類の投資家が存在するモデルを、タイプ M 投資家の非金銭的効用項がポートフォリオの加重平均 ESG スコアに等しいという設定のもとで解いている。そのうえで、CAPM 対比でみて ESG スコアが高い銘柄ほど期待リターンが低くなるという、式(6)に相当する表現を導出し、ドイツ国債におけるグリーンアムムの存在の理論的根拠としている。Zerbib [2022] は、CAPM を拡張した枠組みに基づいて、サステナブル投資手法が資産価格に与える影響を分析している。具体的には、通常の投資家、一部の銘柄への投資を行わない(スクリーニング)投資家、外部性によるコストを考慮した最適化行動(ESG インテグレーション)を行う投資家の3タイプの平均分散効用投資家が存在するモデルを分析し、スクリーニングや ESG インテグレーションが資産価格に与える影響を表す理論式を導出している。

Pastor, Stambaugh, and Taylor [2021] は、ESG 投資への選好の強さが異なる様々な M 投資家が存在する状況を分析している。具体的には、各投資家の ESG 選好パラメータを d_i 、式(2)の非金銭的効用項を $f(\bar{s}) = d_i \bar{s}$ としている。この具体的な非金銭的効用関数のもとで、さまざまな有用な式や理論的予想を導出している。たとえば、Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] の4資産分離定理と類似する定理として、最適ポートフォリオが「無リスク資産」、「マーケット・ポートフォリオ」、「ESG ポートフォリオ」の3資産の組み合わせで構築できるという「3資産分離定理」を導出している。また、各株式の超過リターンが、市場ポートフォリオ・ファクターと ESG ポートフォリオ・ファクターの2ファクターを用いて、次式の通り表せることも示している。

$$\tilde{r} = \beta_m \tilde{r}_m + \beta_g \tilde{r}_g + \tilde{v} \quad (7)$$

ただし、 \tilde{r}_m, \tilde{r}_g は、それぞれ市場ポートフォリオと ESG ポートフォリオの超過リターン、 \tilde{v} はノイズ項である。

式(7)は、高 ESG スコア銘柄(グリーン銘柄)のリターンの振舞いについて重要な示唆を

与える。まず、ESG ベータ β_g は、ESG スコアに比例することが示されており、グリーン銘柄は ESG ファクターが正となる局面でオーバーパフォームする。Pastor, Stambaugh, and Taylor [2021] は、ESG ファクターが正となる局面として、消費者によるグリーン選好が予想外に強まることでグリーン財生産銘柄の業績が予想外に上振れる状況や、投資家のグリーン選好 (非金銭的効用項のパラメータ d_i) が予想外に上昇する状況が該当する、と論じている。このように、消費者や投資家のグリーン選好が強まる局面では、グリーン銘柄はアウトパフォームすることとなる。一方、平均的な投資家が ESG 投資を選好する場合、グリーン銘柄の ESG ファクター項の期待値は負となる。このことは、消費者や投資家のグリーン選好の高まりは、一時的にグリーン銘柄のリターンを押し上げるものの、期待リターンを押し下げることを意味する。新倉・内山・角間[2023] も同様の理論モデルを導出している。こうした理論モデルから導出されるインプリケーションは、最近のグリーン銘柄の好調なパフォーマンスを考える際によく言及される点である。詳細については、3.4 節で改めて議論する。

これまでみてきた理論モデルでは、企業が生産する財の異質性は捨象されてきた。もっとも、各企業が生産する財のグリーン度は実際には異なっており、環境意識の高い消費者はグリーン財をより選好していると考えられる。このような財のグリーン度に関する異質性は、投資行動に一見逆説的な影響を与えうることを複数の研究が指摘している (Baker, Hollifield, and Osambela [2022]; Sauzet and Zerbib [2024]; Chen, Garlappi, and Lazrak [2023])。すなわち、ある個人が、消費者としてはグリーン財の消費をより選好する場合、投資家としてポートフォリオを選択する際には、むしろブラウン銘柄への投資を選択するメカニズムの存在が指摘されている。

この結果は、以下の通り理解可能である。まず、消費者としてグリーン財を選好する主体は、予期せぬショックによりグリーン財生産が落ち込む局面で経済厚生が大きく悪化する⁷。さらに、グリーン財の需要の価格弾力性が高い場合、生産減少による価格上昇は限定的であることから、グリーン財の生産減少は生産企業の業績悪化につながり、株価を低下させる⁸。このように、グリーン財を選好する消費者にとって、グリーン銘柄は経済厚生悪化時にリターンが低迷するという意味で、リスクな投資対象である。逆に、グリーン財生産ショックの発生時には、グリーン財からブラウン財への代替によりブラウン財への需要が増加するため、ブラウン銘柄への投資はグリーン財生産ショックをヘッジする働きを持つ。このヘッジ動機によるブラウン銘柄への投資需要は、ブラウン (グリーン) 銘柄の期待リターンの下押し (押し上げ) 効果がある。このリターンの下押し・押し上げ効果は、上述の議論を踏まえると、需要の価格弾力性が高い財を生産している企業ほど大きくなると考えられる。この理論的予想と整合的な形で、Chen, Garlappi, and Lazrak [2023] は、推計された需要の価格弾力性をも

⁷ Sauzet and Zerbib [2024] は、グリーン財生産を低下させるショックの例として、地政学上の要因によるレアメタルの禁輸や天然ガス火力発電から石炭火力発電への切り替えを挙げている。また、景気低迷は安価な石炭火力発電などのウェイトを引き上げる傾向にあるため、景気へのショックもグリーン財生産を低下させるショックとなることを指摘している。

⁸ 化石燃料とグリーンエネルギーに関する分析などから、グリーン財とブラウン財の代替の弾力性は十分に大きいことが知られている (たとえば、Papageorgiou, Saam, and Schulte [2017])。

とに企業をグループ分けしたところ、需要の価格弾力性が高い企業のグループにおいて、グリーン銘柄とブラウン銘柄のリターン格差がより大きいことを実証している。

この財の異質性に起因する経路は、多くの ESG-adjusted CAPM が描写するメカニズムとは逆に、ブラウン銘柄の期待リターンを押し下げる方向に働きうる。このため、財市場における消費者の嗜好の変化や、グリーン度が異なる財の間の代替の弾力性が資産価格に及ぼす影響についても、より理解を深めていくことが今後の課題と考えられる。

2.4 本節のまとめ

本節では、ESG 投資が資産価格や期待リターンに与える影響を、CAPM を拡張したモデルに基づいて理論的に分析した研究を紹介してきた。これらのモデルは、詳細な定式化では異なる部分があるものの、以下のインプリケーションを持つ点では共通している。

- ESG スコアが持つ有用な情報を無視するタイプ U 投資家が存在するとき、ミスプライシングが発生する。たとえば、高 ESG スコアが将来の好業績を意味する場合、タイプ U 投資家の存在は、グリーン銘柄の割安化につながる。
- ESG 投資から非金銭的効用を得るタイプ M 投資家が存在するとき、グリーン銘柄（ブラウン銘柄）の期待リターンは、CAPM ベンチマーク対比、低く（高く）なる。
- 投資家のグリーン選好が強まるとき、グリーン銘柄はアウトパフォームする。

こうした理論的インプリケーションを踏まえつつ現実のデータを観察していくうえでは、いくつかの重要な論点が存在している。まず、理論モデルでは、ESG スコアが企業業績に関する有益な情報を含むことが所与となっていた。しかし、現実には、ESG スコアをはじめとする気候変動・環境関連データと企業業績や株価パフォーマンスとの関係は、必ずしも明確ではない。また、4.3 節で述べるとおり、気候変動・環境関連データがノイズやバイアスを含んでいる可能性が、近年の研究によって指摘されている点にも留意が必要である。

また、実証分析結果の解釈を複雑にする要因として、上述の通り、グリーン銘柄リターンの押し上げ・下押しにつながる理論的メカニズムがどちらも存在している点が挙げられる。このため、どの理論的経路が優勢となるかは実証的な問題であり、分析対象時期や対象市場によって異なると考えられるほか、各経路の寄与度の識別も容易ではない。この点については、主に 3.4 節で改めて触れる。

このほか、M タイプ投資家が実際に存在しているかや、資産価格にどの程度影響を与えているかは、実証研究のみならず実務的観点からも重要な論点である。とくに、グリーン投資家による投資ポートフォリオ選択実務においてはさまざまな手法が存在しているため、各手法の特徴や効果について、理論面・実証面双方から分析を進めていくことが重要である。

3 気候変動問題と資産価格：実証

本節では、気候関連リスクの資産価格への織り込み状況に関連する実証研究を概観する⁹。気候関連リスクは、豪雨・海面上昇・酷暑などの自然災害が激甚化することで、企業活動や不動産価格などに悪影響を及ぼす物理的リスクと、低炭素社会への移行に伴って、化石燃料関連事業などを中心に企業や資産の価値が毀損する移行リスクに大別される。なお、気候変動はこうした負の影響である「リスク」だけではなく、正の影響である「機会」をもたらす可能性もある¹⁰。たとえば、温暖化の進展は現在の寒冷地での活動に好影響を与える可能性があるほか、低炭素社会への移行はグリーン財・技術を供給する企業のビジネスチャンスにつながると考えられる。もっとも、以下では、これまでの先行研究の蓄積や足もとでの発展動向を踏まえて、気候変動がもたらす負の影響である気候関連リスクに焦点を当てて関連研究を紹介する。3.1 節では主に物理的リスクに関する研究、3.2 節では主に移行リスクに関する研究を紹介する。3.3 節では、これらの気候関連リスクのヘッジに関連する議論を紹介する。

現時点では、気候関連リスクの資産価格への織り込みは完全ではなく、ミスプライシングが存在していることが、学術研究だけでなく市場参加者を対象としたサーベイでも指摘されている。このようなミスプライシングが存在する状況では、2 節で解説した Pedersen, Fitzgibbons, and Pomorski [2021] のモデルが描写するメカニズム以外にも、ミスプライシングの方向（割安だったか割高だったか）に応じて、ミスプライシング修正の仮定でグリーン銘柄のアウトパフォーマンスやアンダーパフォーマンスが生じうる。3.4 節では、こうした議論も踏まえつつ、気候関連リスクの織り込み状況や、グリーン銘柄とブラウン銘柄の相対的パフォーマンス格差に関する分析を整理する¹¹。

3.1 物理的リスク

気候変動がもたらす物理的リスクには、海面上昇やハリケーン等の風水害リスクや、酷暑・熱波リスクなどがある。研究面では、とくに海面上昇が不動産価格などに与える影響に関する分析が多くみられている。たとえば、Keenan, Hill, and Gumber [2018]、Bernstein, Gustafson, and Lewis [2019]、Baldauf, Garlappi, and Yannelis [2020] などは、海面上昇リスクが海岸沿いの不動産価格に対して有意に負の影響を与えていることを実証している。一方で、Murfin and

⁹ 近年では、気候関連リスクのほかに、自然関連リスク（nature-related risk）や、その代表例である生物多様性リスク（biodiversity risk）に関する注目度が高まっている。たとえば、生物多様性が失われることによる、第一次産業などへの悪影響や自然災害の激甚化リスクや、こうしたリスクが金融システムに及ぼす影響について検討が進んでいる。詳細については、NGFS [2023] を参照。

¹⁰ ファイナンス研究における「リスク」は、ペイオフやリターンの不確実性を指すものであり、上下両方向の不確実性を含むものである。一方、気候関連の文脈では、下方向の不確実性を「リスク」、上方向の不確実性を「機会」と表現することが多い点に留意されたい。

¹¹ 本論文の以下の記述では、ブラウン（グリーン）銘柄は、炭素排出量や環境負荷が高く気候変動に関する負の外部性を与える銘柄を指す言葉として利用する。

Spiegel [2020] は、海面上昇リスクの不動産価格への影響は有意には観察されないと報告しているほか、Hino and Burke [2021] は、リスク量対比、価格への織り込みは十分ではないと指摘している。日本を対象とした研究では、齋藤[2005] は水害リスクが首都圏の地価に有意な負の影響を与えているとする一方、森・西村・谷口[2016] や佐藤ほか[2016] は水害リスクが地価に与える影響は有意ではない、または極めて限定的であると報告している。不動産価格以外を対象とした分析としては、Painter [2020] や Goldsmith-Pinkham et al. [2023] が、長期債を中心として、海沿いの自治体が発行する地方債の спреッドが高いことを報告している。このほかの風水害リスクに関する研究として、Correa et al. [2022] は、ハリケーン・リスクへのエクスポージャーが貸出スプレッドに影響を与えていることを報告している。

このように、海面上昇を含む水害リスクの織り込み状況に関する分析結果はまちまちとなっているが、その理由として、不動産保有者や投資家のリスク認識のばらつきが影響している可能性が指摘されている。たとえば、Murfin and Spiegel [2020] は、海面上昇リスクの影響が有意に確認されなかった要因として、海岸沿いの居住者が気候変動問題について懐疑的な傾向にあることが影響している可能性があることを指摘している。また、Hino and Burke [2021] は、気候関連リスク認識が強い投資家が多い商業用不動産については、海面上昇リスクが有意な影響を与えていることを報告している。Muller and Hopkins [2019] は、水害に対する意識が高い地域ほど、2012 年のハリケーン・サンディ後の不動産価格下落率が大きかったことを示している。理論面では、Bakkensen and Barrage [2022] が、海面上昇リスクに関する信念が人々によって異なるモデルを構築し、米国ロードアイランド州で実施したサーベイ調査などに基づいてカリブレーションしている。その結果、海岸沿いの居住者は海面上昇リスクを過小評価する傾向にあり、海岸沿いの不動産価格の過大評価（6%から 13%程度）につながっている可能性があることがわかった。

水害リスク以外では、干ばつ被害が食品会社の株価に与えた影響を分析した Hong, Li, and Xu [2019] が著名である。当該研究では、31 か国の食品会社の株価と各国の干ばつリスク指標の関係を分析し、干ばつリスクの株価への織り込みが十分ではないことを指摘している。また、近年、気温上昇や酷暑がもたらすリスクに関する研究が進展している。まず、Bansal, Ochoa, and Kiku [2016] は、長期的な気温トレンドとリターンの共分散が大きい株式銘柄ほどリターンが高い傾向にあること、すなわち、長期的な気温上昇リスクがリスクプレミアムとして価格付けられていることを報告している。一方、Cuculiza et al. [2022] は、月次の気温変動に対するリターン感応度が高い株式ほど将来のリターンが低い傾向にあることを報告している¹²。この結果を得た理由として、Cuculiza et al. [2022] は、気温変動へのリターン感応度が高い銘柄が過大評価されている可能性を指摘しており、その傍証として、投資家が気候変動リスクを過小評価していることや、株式アナリストがリスクを適切に評価できないことを示唆する分析結果を示している。このほか、Acharya et al. [2022] は、IPCC（気候変動

¹² Bansal, Ochoa, and Kiku [2016] は、年次の平均気温の 10 年変化幅に対するリターン感応度を計測しているため、長期的な気温変動への感応度の計測値とみなせる。一方、Cuculiza et al. [2022] は、各月の平均気温の平年からの乖離の絶対値に対する感応度を計測しているため、短期的な気温変動への感応度の計測値とみなせる。こうした違いが、両者の結果が異なる要因となっている可能性がある。

に関する政府間パネル) が公表している気候変動シナリオの一つである RCP8.5 シナリオのもとで、2100 年までに最高気温の確率分布がどのようにシフトするかを米国の郡レベルで推計し、熱波リスク指標を構築している。そのうえで、熱波リスクは GDP の下押しにつながることや、当該地域の地方債スプレッドや所在企業の社債スプレッドや株式リスクプレミアムを押し上げる効果があるとの推計結果を得ている。

なお、投資家が豪雨や猛暑などに関するリスク認識を改めた場合に、資産価格へのリスクの織り込みが進むことを指摘する研究がみられている。たとえば、Hallstrom and Smith [2005] は、1992 年のハリケーン・アンドリューが「かすめた (near-missed)」地域の不動産価格が大きく下落したことを示している。このことは、ハリケーンの直接的な被害がなくても、風水害リスク認識の高まりが不動産価格の下落につながることを示している。また、Addoum et al. [2023] は、2012 年のハリケーン・サンディ襲来は、直接被害を受けたニューヨークのほか、同じ東海岸北部の都市であるボストンの物件価格の下落につながった一方、シカゴの物件価格には影響がなかったことを報告している。この結果は、直接被害がなかった地域であっても、被災地域との地理的近接性に応じてリスク認識が更新されることで、不動産価格に影響が及ぶことを示唆している。猛暑についても同様の結果が得られている。たとえば、Choi, Gao, and Jiang [2020] は、平均以上の高温を経験した地域では、(グーグル検索件数などに基づいて計測した) 気候変動に対する関心度が高まるほか、高温の発生地域に所在する企業のうち、炭素排出強度の高い企業の株価がアンダーパフォームすることを示している。Alekshev et al. [2022] は、高温等の異常気象の発生時における投資家行動の変化(保有ポートフォリオの変化)をもとに、気候変動リスク指標を作成している。

3.2 移行リスク

移行リスクは、低炭素社会への移行が進む過程で、既存の事業や資産の価値が毀損するリスクである。たとえば、炭素排出量規制や炭素税の導入などにより化石燃料関連の事業資産が座礁資産化するリスク、消費者のグリーン嗜好が強まることでブラウン財の売上が急落するリスク、投資家や金融機関がグリーン投資を進めることでブラウン事業向けの資金調達が困難化するリスクなどが具体例として考えられる。移行関連政策の展開や消費者・投資家の行動変化には不確実性が大きいことから、移行リスクへのエクスポージャーが大きい企業は、大きな不確実性に直面していると考えられる。

実際の自然災害に関するリスクである物理的リスクに比べると、移行リスクは、その源泉が多岐にわたるほか、定量化も難しい。そうした中で、移行リスクが資産価格に与える影響を分析した研究では、(1) 企業のグリーン度指標(炭素排出量や ESG スコア)と資産価格の関係を分析する、(2) ニュース記事のテキストデータから移行リスク指標を作成して資産価格との関係を分析する、(3) 移行リスクに大きな影響を与えたイベントに着目してイベントスタディを行う、といったアプローチがとられている。以下では、それぞれのアプローチについて関連研究を概観する。

3.2.1 グリーン度指標と株価パフォーマンス

企業の炭素排出量や ESG スコアなどは、当該企業の移行リスクの代理変数と考えられる。すなわち、炭素排出量の少ない企業や ESG スコアの高い企業は、低炭素社会への移行過程における座礁資産化リスクが少ないことから、移行リスクへのエクスポージャーが小さいと捉えることができる (Ambec and Lanoie [2008])¹³。一方で、Friedman [1970] による議論以来、環境対策投資は企業の収益性を悪化させるコスト要因であるため、環境関連変数と企業業績や株価は負の関係になりうる、とする指摘もみられている。こうした中で、企業のグリーン度指標と株価の関係について、多数の実証研究が行われてきた¹⁴。

Bolton and Kacperczyk [2021, 2023] は、炭素排出量の多い銘柄ほど平均リターンが高い傾向にあることを報告している。この結果は、炭素排出量の多い銘柄に対して、リスクプレミアム (カーボン・プレミアム) が生じていることを示している。同様に、Hsu, Li, and Tsou [2023] は、有害物質排出量の多い銘柄に対してリスクプレミアムが発生していることを示す結果を得ている。Ilhan, Sautner, and Vilkov [2021] は、オプション価格データを分析し、炭素排出量の増加が株価のダウンサイドリスクを高めていることを示している。Cao et al. [2023] も、投資家はオプションを利用して ESG 関連事象に起因して株価がジャンプするリスクをヘッジしている可能性があるため、低 ESG スコア銘柄のオプションが割高になっていると論じている。Cenedese, Han, and Kacperczyk [2023] は、ネットゼロ排出量目標とのアライメントを意識した形で移行リスク指標を作成している。具体的には、2050 年のネットゼロ目標達成と統合的な炭素排出量上限のパスに沿って年次で定まる「炭素予算」を満たすポートフォリオ (ネットゼロ・ポートフォリオ、NZP) を考え、ある銘柄が NZP から除外されるまでの残り年数である「distance-to-exit (DTE)」を算出している。DTE は、当該銘柄がダイベスト¹⁵されるリスクを定量化しており、移行リスク指標の一種と捉えることができる。Cenedese, Han, and Kacperczyk [2023] は、DTE が短い銘柄、すなわち移行リスクへのエクスポージャーが大きい銘柄ほど、リターンが高いとの結果を報告している。

上記の研究は、移行リスクへのエクスポージャーは、正のプレミアム要因であり、炭素排出量の多いブラウン銘柄のリターンが高いことを示唆している¹⁶。もっとも、逆の結果を得ている研究も少なからず存在している。In, Park, and Monk [2019] や Cheema-Fox et al. [2021]

¹³ このほか、積極的な環境対策を行うことは、顧客や取引先などの、株主以外のステークホルダーからの信頼を獲得することにつながるため、移行リスクの低減や企業業績の向上に資するとの指摘が多くみられている (Jensen and Meckling [1976], Porter and Kramer [2011])。

¹⁴ 企業のパフォーマンス (利益率や資本コスト等) とグリーン度指標との関係についても多数の研究がみられている。詳細については、有賀・五島・千葉[2021] による文献レビューなどを参照。

¹⁵ グリーン投資などの観点から、ブラウン銘柄などを投資対象から除外すること。詳細は 4.2 節参照。

¹⁶ この結果は、資産価格評価理論に基づく、移行リスクへのエクスポージャーが大きい銘柄ほど、不況期やマーケット下落時に低リターンになる可能性 (を投資家が想定していること) を示唆している。気候関連リスクの顕現化は移行対策を強化する方向に働くと考えられるため、この可能性は、気候関連リスクの顕現化が経済活動に負の影響を与えるという、いわゆる “disaster view” と整合的である (disaster view の詳細については、5.3 節を参照)。

は、とくに 2010 年代以降の米国や欧州の株式市場において、グリーン銘柄がアウトパフォームする傾向にあることを報告している。また、日本の株式市場を分析した五島・八木[2022]、久保・小田[2023] も、グリーン銘柄がアウトパフォームする傾向にあるとの結果を得ている。伊藤[2023] は、日本市場に関するサブサンプル分析を行っており、パリ協定採択以降の時期にあたる 2016 年以降では、グリーン銘柄がアウトパフォームしていたことを報告している。また、同時期におけるブラウン銘柄のアンダーパフォームの背景として、これらの銘柄に対して投資家が要求するプレミアムが上昇していた可能性を指摘している。こうした相反する実証分析結果がみられている背景については、3.4 節で改めて議論する¹⁷。

3.2.2 ニュース記事と移行リスク

気候変動リスク、とりわけ移行リスクを定量化する有力な手法として、ニュース記事などのテキストデータを用いる方法がある¹⁸。ニュース記事には、新しい情報を伝達することで、人々の認識をアップデートさせる機能がある。一方、報道機関が読者の興味関心を意識して掲載記事を選択する傾向にあること踏まえると、掲載されたニュース記事は人々のそのときどきの関心を映じている側面もあると考えられる。いずれにせよ、気候変動に関するニュース記事データを利用することで、新たなニュースによる気候リスク認識の変化や、人々の気候変動問題への関心度の動向に関する定量的な指標を作成できると考えられる¹⁹。

このアプローチにおける先駆的な研究は、Engle et al. [2020] によるものである。当該研究では、2 つの気候変動ニュース・インデックスが作成されている。1 つ目の指数は、国連や IPCC などの公式文書と、Wall Street Journal (WSJ) の記事の類似度に基づいて作成されており、ある日の WSJ の記事が気候関連公式文書と似ている場合、高い指数値となる²⁰。2 つ目のインデックスは、記事のトーン情報を含むデータベース上で集計した、“climate change”を本文に含むネガティブなニュースの記事数である。1 つ目の指数と異なり、リスクの高まりを示す記事のみを集計している点が利点である。Engle et al. [2020] は、ESG スコアをもとに構築したポートフォリオのリターンが、2 つの気候変動ニュース・インデックスの変動と正の相関を持つことを示している。このことは、気候変動ニュース・インデックスを気候関連リスク指標とみなしたときに、ESG スコアを利用することで、気候関連リスクをある程度ヘッジ可能なポートフォリオを構築できることを意味している。

¹⁷ なお、炭素排出量と株式リターンに関する研究の多くでは、Scope 1・Scope 2 排出量に基づいた分析が行われている。その一方で、Scope 3 排出量に基づいた分析の重要性に関する指摘もみられている（詳しくは、佐々木[2023] を参照）。

¹⁸ なお、ニュース記事には自然災害に関する記事も含まれるため、物理的リスクも一部反映されるが、説明の便宜上、移行リスクを扱う本節において解説する。

¹⁹ ニュース記事のテキストデータから不確実性やリスクに関する指標を作成する研究は、経済学・ファイナンス分野で多くみられており、Baker, Bloom, and Davis [2016] による経済政策不確実性指数などが有名である。日本を対象とした研究としては、たとえば、篠原・奥田・中島[2020] を参照。

²⁰ 具体的には、WSJ 記事と気候関連公式文書に現れる単語について、それぞれ「tf-idf スコア」を算出し、そのコサイン類似度を算出している。なお、tf-idf スコアは、ある文章に特徴的な単語に高いスコアを付与するもので、特定の文章内でのみ多く現れる単語ほど高いスコアとなる。

後続の研究では、Engle et al. [2020] の手法をさまざまに拡張する試みがみられている。まず、気候変動問題全体に関する単一の指数ではなく、より細分化されたトピックに関する指数の作成が試みられている。たとえば、Bua et al. [2022] は、Engle et al. [2020] の WSJ 指数と同様の作成手法を採用しており、公的文書とロイターのニュース記事テキストの類似度を算出している。このとき、物理的リスクと移行リスクのそれぞれに別々の公的文書を利用することで、物理的リスク指標と移行リスク指標をそれぞれ作成している。Faccini, Martin, and Skiadopoulos [2023] は、Latent Dirichlet Allocation (LDA) と呼ばれる教師無し自然言語処理手法を利用して記事コーパスのトピック構造を推計している。これにより、自然災害・米国政治・国際会議などのトピックを特定し、それぞれのトピックに関する気候変動インデックスを作成している。このほか、記事のトーンや不確実性に関する単語も考慮しつつ指数を構築する手法も考えられている。たとえば、Bessec and Fouquau [2024] や Ardia et al. [2023] は、気候変動関係の単語に加えて、トーンや不確実性の度合いを表す単語の個数も考慮した気候変動ニュース・インデックスを作成している。これらの研究では、作成された指数が上昇する局面では、グリーン銘柄がアウトパフォームするといった実証的結果が報告されている。

上記の研究は、いずれも米国の株式市場を念頭に置いた研究であるが、それ以外の市場を対象とした研究もみられている。Hiraki et al. [2024] は、日本経済新聞の日本語テキストデータに対して、Faccini, Martin, and Skiadopoulos [2023] と同様に LDA を適用することで、自然災害・国際会議・グリーン投資などの 10 トピックに関する気候変動ニュース・インデックスを作成している。Kapfhammer, Larsen, and Thorsrud [2020] は、資源国 8 か国（ロシア、豪州、カナダ等）それぞれについて、気候変動が当該国に及ぼす懸念の大きさを指標化している。これらの指標を用いた分析からは、気候変動への懸念が高まると資源国通貨が減価することを示している。

3.2.3 イベントスタディ

上記の 2 つのアプローチは、将来発生する可能性のある移行リスクについて、炭素排出量データや人々の気候変動問題への関心度などに基づいて分析したものといえる。一方、パリ協定採択や、米国のインフレ抑制法をはじめとする気候変動対策の政策パッケージの成立など、移行リスクに大きな影響を与えるイベントがすでに発生している。こうした実際に発生した移行イベントの影響を分析することは、移行リスクの定量的インパクトを把握するうえで有益な情報を与えるものであり、実際に、多くのイベントスタディが行われている。

対象となる移行イベントとしては、米大統領選の結果判明やパリ協定の採択などの、今後の政策対応見通しに大きな影響を与えたイベントが考えられる。こうしたイベントを対象とした研究として、たとえば、Ramelli et al. [2021] は、2016 年と 2020 年の米国大統領選に着目した分析を行っており、炭素排出強度の高い銘柄は、トランプ氏が当選した 2016 年の選挙後にアウトパフォームした一方、バイデン氏が当選した 2020 年の選挙後にはアンダーパフォームしたことを報告している。また、Barnett [2023] は、2015 年のパリ協定採択などをはじめとする移行リスクに関連するさまざまなイベントのリストを作成したうえで、気候変動対応の厳格化につながるとみられたイベントの発生時では、原油価格変動へのリターン感

応度が高い銘柄ほどリターンが低かったことを示している。Cassidy [2024] は、ホワイトハウスによるプレスリリース情報とイントラデイの株価データを組み合わせることで、気候関連政策の発表が株価に影響を与えていることを示している。

また、炭素税や補助金政策の導入または否決など、実際の移行イベントの発生を対象とした研究もみられている。Carattini and Sen [2019] は、米国ワシントン州において炭素税法案が否決されたイベントに着目した分析を行い、当該法案否決イベントにワシントン州所在の企業株価が大きく反応していたことを示している。Bauer, Offner, and Rudebusch [2023] は、米国における大規模な気候変動対応の政策パッケージである「インフレ抑制法 (IRA)」採択の行方に大きな影響を与えた Manchin 上院議員²¹の動向に着目したイベントスタディを行っている。その結果、炭素排出強度の高い（低い）銘柄は、IRA 成立見込みが低下（上昇）したイベント後に相対的にアウトパフォーム（アンダーパフォーム）するなど、移行イベントに対して想定される反応を示したことが確認された。Känzig [2023] や Hengge, Panizza, and Varghese [2023] は、EU 域内排出量取引制度 (EU ETS) における制度変更に着目した分析を行い、EU ETS の制度変更が欧州企業の株価や経済活動に影響を与えていたことを示している。

株価以外を対象とした分析としては、Du and Karolyi [2023] が、2010 年代以降に産出量や雇用が急減した米国の石炭産業に着目した分析を行い、石炭産業の衰退が石炭産出地域に所在する銀行収益の悪化や貸出量の減少につながったことを報告している。また、4.2 節でより詳しく述べる通り、京都議定書の批准やパリ協定の採択が、銀行貸出や財務レバレッジに与えた影響をイベントスタディした研究もみられている (Nguyen and Phan [2020]; Ginglinger and Moreau [2023]; Reghezza et al. [2022])。

3.3 気候関連リスクのヘッジ

将来の不確実性に対するヘッジ手段の提供は、金融市場や金融機関が果たす重要な役割の一つである。ヘッジ手段の存在は、価格変動リスクに対する許容度の低い経済主体から、許容度やリスク管理能力が高い経済主体へのリスク移転を可能とすることで、社会厚生を改善できる。気候関連リスクに関するリスクヘッジ手段の提供についても、効果的なリスク管理や効率的な資源配分達成のために重要と考えられる。その具体例として、天候デリバティブの登場により、天候要因によるキャッシュフローの不確実性を抑制できるようになったことから、電気・ガス企業の借入、設備投資や時価総額が増加したことを示す研究がみられている (Perez-Gonzalez and Yun [2013])。この結果は、天候デリバティブ市場の発達により局地的な天候リスクのヘッジが可能となり、社会厚生が改善したことを示唆している。

²¹ Bauer, Offner, and Rudebusch [2023] によれば、Manchin 上院議員は、ウェストバージニア州選出の民主党議員。共和党とも近い中道派議員であり、2020 年以降民主党と共和党がどちらも 50 議席を有している上院において、票決に最も大きな影響を及ぼす議員となっている。IRA 関連では、2022 年 7 月 14 日に「新たな気候変動関係法案を支持しない」と語ったとの報道により IRA 不成立の可能性が高まったものの、7 月 27 日に Manchin 議員と Schumer 上院院内総務が IRA 成立に合意したとのアナウンスにより、IRA 成立が織り込まれた。

一方、一般的な気候関連リスクを直接ヘッジする金融商品の組成は容易ではないことが指摘されている。これは、気候変動問題は、極めて広範な経済主体に対して共通の影響を及ぼす性質を持つことから、大数の法則を利用したリスク管理という保険の原理を働かせづらいためである (Engle et al. [2020])。こうした中、Engle et al. [2020] 以降の研究では、取引が容易な個別株をもとに気候関連リスクのヘッジ・ポートフォリオを構築する手法を中心に研究が進められている²²。こうした研究では、銘柄ごとの気候関連リスクへの反応の違いを利用して、ロングショート・ポートフォリオを構築することが基本的な考え方であり、主に以下のいずれかのアプローチがとられることが多い。

- グリーン度の高い銘柄（炭素排出量が少ない銘柄や ESG スコアが高い銘柄など）をロング、低い銘柄をショートする。
- 気候ベータ（気候関連リスク・ファクターへのリターン感応度）の高い銘柄をロング、低い銘柄をショートする²³。
- 実際に気候関連ショックが発生した際に需要が増加する銘柄をロング、減少する銘柄をショートする。

1つ目のアプローチは、環境負荷の低い銘柄ほど気候関連リスクに耐性があるとの考えに基づいている。気候関連ショックが発生したとき、耐性の高いグリーン銘柄が相対的にアウトパフォームすることで、ロングショート・ポートフォリオは正のリターンを得ることとなり、気候関連ショックに対するヘッジとなる。3.2.2 節で述べた通り、Engle et al. [2020] は、ESG スコアに基づいて構築したロングショート・ポートフォリオが、彼らが作成した気候変動ニュース・インデックスの変動と正に相関していることから、気候関連リスクに対する有効なヘッジ手法の構築に成功したと主張している。

2つ目のアプローチは、ファクターモデルに基づいた資産価格評価の理論的枠組みと整合的な手法である。気候ベータは、気候関連ショックへのリターン感応度そのものである。このため、（ベータが正しく推計されている限り）構成上、このロングショート・ポートフォリオは気候関連ショック発生時に正のリターンを得ることから、ヘッジ手段として機能する。Faccini, Martin, and Skiadopoulos [2023] は、彼らが作成したトピック別の気候変動ニュース・インデックスのうち、「米国の気候変動関連国内政策」インデックスについて詳細に分析し、当該インデックスの上昇は、移行リスクの低下を示唆することを示している。また、当該インデックスに対する個別銘柄のリターン感応度に基づいてロングショート・ポートフォリオを構築したところ、標準的なファクターモデルでは説明できない正の超過収益（アルファ）

²² なお、Huynh and Xia [2021] は、気候関連リスク上昇時に価格が上昇する傾向にある社債銘柄（高気候ベータ銘柄）ほど、リターンが低いことを報告している。このことは、気候変動リスクに対するヘッジ手段として働く銘柄については、社債投資家は低リターンを許容していることを示唆している。

²³ ここでは、気候関連リスク・ファクターの符号について、リスクが増加した際により大きな値をとるものとしている。後述の通り、テキスト分析などから作成されたインデックスを分析に用いる場合は、当該インデックスの上昇が、リスクの増加または低下のどちらに対応するのかを確認する必要がある。

を獲得したことを報告している。すなわち、当該ロングショート・ポートフォリオの逆ポジションは、気候関連リスクが上昇する際に高いリターンをあげるヘッジ・ポートフォリオとなっており、そのアルファは負であることから、彼らの結果はヘッジの議論と整合的である。

なお、第2のアプローチにおいては、気候ベータの安定的な推計を行えるかどうか制約となる。すなわち、気候関連リスクが株価のリスク要因として認識されてから、さほど時系列データが蓄積されていない現時点では、気候ベータを高い精度で推計することが難しい可能性がある。さらに、気候関連リスクへの感応度は、市場参加者のリスク認識の変化などに応じて変化する、時变的なパラメータである可能性が高い。この点は、気候変動問題に対する投資家の認識が大きく変化している局面ではとくに重要である。また、気候ファクターは様々な特定手法が提案されているが、異なる手法間での相関は必ずしも高くないことから、利用する気候ファクターに応じて計測される気候ベータの結果も相応に変化する点にも留意が必要と考えられる。

Alekseev et al. [2022] が提案する第3のアプローチは、気候変動ショック発生時における実際の投資家の売買行動に基づいており、顕示選好に基づくアプローチと捉えることができる。すなわち、米国の郡レベルで計測された気候関連ショック²⁴に対する、当該郡に拠点を置くファンド・アドバイザーの反応を計測している。具体的には、運用する投資信託ポートフォリオの産業分類ウェイトが気候関連ショックにどのように反応したかを、産業分類ごとに推計している。そのうえで、推計された感応度をウェイトとして各産業ポートフォリオを保有するポートフォリオをヘッジ・ポートフォリオとしている。この構成方法は、郡レベルの「局所的な」気候変動ショック発生を受けて、投資信託が保有量を増やす産業をロング、減らす産業をショートすることで、「広域的な」気候変動ショックに対するヘッジが可能という考え方に基づいている。このように構成されたポートフォリオは、そのほかのヘッジ・ポートフォリオ（グリーンETFのロング、ブラウンETFのショート、ESGスコアに基づいて作成したポートフォリオなど）と比べて、幅広い気候変動リスク指標をヘッジできているとの結果が報告されている。このような良好な結果には、実際の投資家行動に基づいた顕示選好に基づく構成手法であることが寄与している可能性がある。この点は、グリーン度指標とリターンの関係性や気候ベータなどの、高精度の推計が必ずしも容易ではない関係性に依拠した他の2つのアプローチにはない特長と考えられる。

3.4 気候関連リスクとミスプライシング

気候関連リスクが資産価格に適切に反映されていない場合、金融市場における効率的な資金配分を阻害する可能性があるほか、リスクの顕現化時やリスク認識の急変時に急激な資産価格の調整が起こる可能性がある。とくに、低炭素社会への移行に伴って化石燃料関連事業をはじめとして座礁資産が相応の規模で発生することが懸念されている。座礁資産の発生は、当該資産へ投融資を行っている投資家や金融機関の健全性への影響を通じて、金融安定上の

²⁴ 具体的な気候変動ショックとしては、異常気象発生時の超過死亡者数、農産物の作付け不良に関する保険金支払額、気温の長期平均からの乖離、の3つを考えている。

問題を引き起こす可能性が指摘されている²⁵。このため、気候関連リスクの織り込み状況をモニターすることは、投資家や金融機関のみならず政策当局にとっても非常に重要である。

現状における市場参加者のリスク認識については、各種のサーベイ調査結果が参考となる。まず、米国等の市場参加者等を対象として行われたサーベイでは、気候変動リスクの資産価格への織り込み状況は完全ではないとの評価となっている。たとえば、**Krueger, Sautner, and Starks [2020]** は、「一部の株価については気候変動リスクを十分には反映していない²⁶」と指摘している。また、**Stroebel and Wurgler [2021]** は、「極めて多くの回答者は、資産価格は気候変動リスクを過小評価していると考えている²⁷」とのサーベイ結果を報告している。

日本市場については、2022年より日本銀行金融市場局が「気候変動関連の市場機能サーベイ」を開始し、投資家・金融機関のほか、事業法人や格付け会社等を含む幅広い市場関係者に対して、日本の株式市場や社債市場における気候変動リスクの織り込み状況や今後の課題などに関する設問について調査を行っている。2022年に行われた第1回調査では、気候変動リスクの織り込み状況について、「一定の織り込みは見られるものの、一段の織り込み余地がある」との評価している（日本銀行金融市場局[2022]）。2023年に行われた第2回調査では、「気候関連リスク・機会は、価格にある程度織り込まれているものの、一段の織り込みの余地がある」との見方を示している（日本銀行金融市場局[2023]）。このように、気候関連リスクの株価や社債価格への織り込みは十分ではないものの、徐々に織り込みが進展していることが窺われる。

気候関連リスクの織り込みが不十分なとき、リスクが十分に価格に反映されていないという意味でミスプライシングが発生しており、ブラウン銘柄が割高、グリーン銘柄が割安になっていると考えられる。こうしたミスプライシングが生じる背景には、**Pastor, Stambaugh, and Taylor [2021]** のモデルにおけるタイプ U 投資家のように、気候関連リスクを適切に考慮しない投資家層の存在が考えられる²⁸。逆に言えば、タイプ U 投資家が減少し、タイプ A・タイプ M 投資家が拡大していくことで、こうしたミスプライシングは修正されていくと考えられる。この修正過程では、割安（割高）状態が修正されるグリーン（ブラウン）銘柄はアウトパフォーマンス（アンダーパフォーマンス）する。ただし、このような修正過程が完了すると、タイプ M 投資家が十分存在するもと、グリーン銘柄はブラウン銘柄対比、低リターンになることが理論的に予想される。このように、ミスプライシングの修正段階に応じて、グリー

²⁵ 気候変動問題と金融安定に関する研究については、**Furukawa, Ichiue, and Shiraki [2020]** によるサーベイを参照。また、気候変動リスクに関するシナリオ分析の概要や課題については、**竹山・松井・南井[2023]** や、**Noels et al. [2023]** を参照。

²⁶ [...] some equity valuations do not fully reflect climate risks, [...] (**Krueger et al. [2020]**, p.1067).

²⁷ By an overwhelming margin, respondents believe that asset prices underestimate climate risks rather than overestimate them. (**Stroebel and Wurgler [2021]**, p.487).

²⁸ 本節では、株価形成に関係する気候関連情報を考慮しない投資家が存在することに起因する価格の歪みを「ミスプライシング」と呼んでいる。これは、理念的には、**Pastor, Stambaugh, and Taylor [2021]** モデルにおいてタイプ U 投資家が存在しない場合の株価を基準とした判断に対応している。

ン銘柄とブラウン銘柄の相対的なパフォーマンスは複雑に変化することが予想される。

3.2.1 節でみたとおり、グリーン度指標と株価リターンの関係に関する実証分析結果はまちまちとなっているが、このことは上記の議論をもとに整合的に理解可能である。たとえば、グリーン銘柄が相対的に高いリターンを獲得していることを報告している Engle et al. [2020]、五島・八木[2022]、久保・小田[2023] は、ミスプライシングの修正過程を捉えていた可能性がある。一方、Bolton and Kacperczyk [2021] などが報告するカーボン・プレミアムは、気候関連リスクが一定以上織り込まれた状況下で観察されている可能性がある。Karolyi, Wu, and Xiong [2023] は、この議論と整合的な結果として、全期間サンプル（2012年11月～2021年12月）からはグリーン銘柄の相対的なアウトパフォーマンスが観察されたものの、2021年のデータに限定すると、ブラウン銘柄がアウトパフォームし始めていることを報告している。なお、需給面に着目した場合、グリーン銘柄の割安感の修正過程では、グリーン銘柄に投資資金が流入することが予想される。実際に、グリーンETFのリターンを分析した Briere and Ramelli [2022] は、グリーン銘柄への投資資金の流入という需給要因を背景として、グリーンETF銘柄のアウトパフォーマンスが観察されたことを報告している。

なお、気候関連リスクの織り込み状況は、リスクの適切な反映という市場機能や金融安定上の観点以外にも、グリーン投資を推進する観点からも重要な論点となりうる。すなわち、グリーン投資を推奨する根拠の一つとして、上記の一部先行研究でも観察されたような、グリーン銘柄の相対的アウトパフォーマンスが挙げられることがある点に留意が必要である²⁹。仮に、グリーン銘柄の相対的アウトパフォーマンスがミスプライシングの修正に起因していた場合、こうした良好なパフォーマンスは一時的なものにとどまる可能性がある。とくに、ESG情報を考慮する投資家層の増加が一段落した段階で、ブラウン銘柄とリターン成績が逆転する可能性がある点には留意が必要である³⁰。

いずれにせよ、気候変動問題を受けた投資家行動やリスク認識の変化が進展したのは、ここ10年程度のこととみられる。このため、頑健な実証分析結果を得るためには、データの蓄積が十分ではない可能性があるほか、国・地域によってその進展度合いには相応のばらつきがあると考えられる。このため、個別株のリスクプレミアムと気候関連リスクの関係を扱った文献をフォローするうえでは、分析対象国や時期などに留意する必要があるほか、データの蓄積が進む中で関係性が変化していく可能性にも留意する必要がある。

²⁹ たとえば、年金基金の運用を行う機関投資家に対するサーベイ調査では、回答先の約70%が、ESG投資の運用パフォーマンスへの影響について「中長期的なリターン向上が期待できる」と回答している（企業年金連合会[2023]）。

³⁰ 一方、2.3節で紹介したとおり、Chen, Garlappi, and Lazrak [2023] や Sauzet and Zerbib [2024] は、グリーン財に対する需要動向まで含めて考えると、グリーン銘柄のリスクプレミアムが高まる経路が存在することを指摘している点にも留意が必要と考えられる。

4 低炭素社会への移行と金融市場

3 節では、気候変動問題が資産価格に与える影響のうち、資産のファンダメンタルズに関連する研究を中心に紹介してきた。すなわち、気候変動がもたらす物理的リスクや移行リスクが資産価格に与える影響に関する研究のほか、こうしたリスクの織り込み状況やヘッジに関する研究をまとめてきた。このように、リスク要因が資産価格に適切に織り込まれているかどうかは、気候関連リスクに限らず、あらゆるリスク要因に共通する重要な論点である。一方、気候ファイナンスに特徴的な論点として、金融市場がより能動的な役割を果たすことを期待されている点が指摘できる。すなわち、金融市場が効果的に金融仲介機能を発揮することで、気候変動の緩和策や気候変動への適応策を実行するために必要となる膨大な資金需要に応え、低炭素社会への移行を後押しすることが期待されている点が、気候ファイナンスの特徴である³¹。

こうした背景のもと、金銭的リターンのみならず社会や環境に好ましい影響を生み出すことも目的とした「インパクト投資」や、投資戦略や運用資産を気候変動目標（2050年までのネットゼロ排出量の達成など）と整合的なものとする「アライメント」をはじめとするサステナブル投資に対する注目度が高まっている³²。サステナブル投資の代表的な手法としては、ダイベストメントやエンゲージメントと呼ばれる手法などがある。各サステナブル投資手法が資産価格にどのような影響を与えるかや、どの手法がより望ましい結果をもたらすかは、学術的にも実務的にも重要な論点である。また、サステナブル投資の究極的な目的は、低炭素社会への移行を促進することである。このため、サステナブル投資が意図通りに企業活動のグリーン化を後押ししているかや、「グリーンウォッシュ」と呼ばれる、みせかけの取り組みとなっていないかなどを明らかにしていくことも極めて重要である。

サステナブル投資は、民間部門だけではなく、中央銀行とも関連する論点である³³。たとえば、中央銀行が政策運営にあたって気候変動問題をどのように考慮していくべきかについて

³¹ 気候変動の緩和（mitigation）は、再生可能エネルギー比率の向上や、炭素税・排出権取引などを通して温室効果ガスの排出量を抑制すること、気候変動への適応（adaptation）は、防災インフラへの投資などを通して、気候変動の影響に対応していくことを指す。本節で取り上げる研究の主要分析対象である先進国の金融市場では、低炭素社会に移行することで気候変動の緩和を進めることが念頭に置かれることが多い。一方、新興国・発展途上国を中心に、気候変動への適応にも膨大な投資が必要となるため、様々な政策対応が必要であることが指摘されている。たとえば、IMF [2022] は、パリ協定の平均気温上昇目標が達成されない場合、2050年以降の適応策への投資必要額は最大年額 1.75 兆ドルに達するとの試算値を示している。

³² ESG 投資は、環境(E)・社会(S)・ガバナンス(G)要素を考慮した投資、サステナブル投資は、持続可能な社会を実現するために気候変動・環境問題・人権問題などを考慮した投資、グリーン投資は、気候変動を含む環境問題を考慮した投資、インパクト投資は、社会や環境に望ましい影響を及ぼすことを目指した投資を指す。このように、これらの用語が指すものは、重なる部分が多いものの同一ではない。本節では、簡単のため、主にサステナブル投資という用語を用いる。

³³ 中央銀行等が結成したネットワークである NGFS (Network for Greening Financial System) では、“Net Zero for Central Banks” をテーマとした作業部会が設置されており、中央銀行自身が保有する資産のグリーン化や、中央銀行の業務運営に関する環境関連開示の整備などが議論されている。

ては、政策当局者からさまざまな情報発信がみられている。また、中央銀行の責務である物価安定との関係において、どのように気候変動問題を考慮すべきかや、中央銀行が金融政策を通じて気候変動問題に取り組む場合に、どのような政策手段を用いて、どのように政策運営を行っていくことが望ましいか、などの論点に関する研究も急速に発展している。

本節では、まず4.1節で「グリーンニウム」(グリーン資産の利回りが、グリーン特性以外同等な商品の利回りよりも低い現象)に関する研究をまとめる。グリーンニウムの存在は、サステナブル投資から非金銭的効用を得ている投資家が実際に存在していることを示唆する。このため、サステナブル投資を考えるうえでの基礎的かつ主要な実証研究トピックである。4.2節では、ダイベストメントやエンゲージメントなどのサステナブル投資手法が、資産価格などに及ぼす影響を分析した研究を概観する。4.3節では、サステナブル投資が実効性を持つ形で、低炭素社会への移行の後押しにつながっているかという論点を念頭に、サステナブル投資が企業行動に与えるリアル・エフェクト、グリーンウォッシュ、環境・ESG関連データに関する研究を紹介する。4.4節では、グリーン金融政策に関連する研究をまとめる。

4.1 サステナブル投資による非金銭的効用

サステナブル投資による非金銭的効用の存在を検証するためには、グリーン特性の有無のみが異なり、その他の商品性が同じ資産のペアを比較する方法が考えられる。たとえば、サステナブル債への投資から非金銭的効用を得る投資家は、グリーン債の利回りが相対的に低い(価格が相対的に高い)場合でも、グリーン債に対して投資を行うと考えられる。これは、サステナブル投資家がプレミアムを支払ってでもグリーン債への投資を行っている、と解釈できる。このため、サステナブル投資から非金銭的効用を得る投資家が十分に存在する場合は、「グリーンニウム (greenium)」と呼ばれる利回り格差が生じる。

グリーンニウムが存在しているかどうかを検証した先行研究では、債券市場を対象とした分析が多くみられている³⁴。初期の研究としては、Zerbib [2019] が2017年までのグローバルな債券流通市場でデータが利用可能だった110銘柄のグリーン債を分析し、2bps程度のグリーンニウムが存在すると報告している。Pastor, Stambaugh, and Taylor [2022] は、ドイツ国債には数bps程度のグリーンニウムが存在していることを報告している。Baker et al. [2022] は、米国の地方債や社債の発行市場において、6bps程度のグリーンニウムが存在することを報告している。Fricke, Jank, and Meinerding [2024] によるユーロ圏の流通市場に関する分析からは、期間平均で3bps程度のグリーンニウムが存在していたほか、グリーンニウムが年々拡大傾向にあることを報告している。このほか、Dorfleitner, Utz, and Zhang [2022] は1,200銘柄を超えるグリーン債の流通市場データを分析しており、最大で5bps程度のグリーンニウムが観察されたとしている。一方、Larcker and Watts [2020] は、米国の地方債発行市場では有意な

³⁴ 債券以外では、不動産賃料を対象とした研究がみられており、たとえば、東京では環境性能や省エネ性能が高いオフィスの賃料が2~5%程度高くなっていることが報告されている。詳細については、Onishi, Deng, and Shimizu [2021] および同論文中の引用文献を参照。このほか、株価リターンにおけるカーボン・プレミアムの存在 (Bolton and Kacperczyk [2021]) は、グリーンニウムと表裏一体の議論といえる。

グリーンニームは観察されなかったと主張しているほか、Flammer [2021] や Tang and Zhang [2020] も同様にグリーンニームの存在に否定的な結果を得ている。

ここで、グリーンニームの推計に関する留意点として、社債市場を中心として、グリーン特性のみが異なる債券ペアのサンプル数を十分に得るのが難しいことが挙げられる。このため、先行研究では、一定程度の満期日の違いなどを許容することで債券ペア数を確保しているケースがみられる。このほか、税制面での扱いの違いや、発行規模の違いに起因する流動性の違いなども、グリーン債と通常債の利回り格差に影響を与える (Baker et al. [2022])。こうしたさまざまな要因を考慮しつつ適切にグリーンニームを推計することは、必ずしも容易ではない。このことが、グリーンニームの存在を支持する研究が多くみられる一方で、少なくない数の研究が相反する結果を報告している背景にあると考えられる。

上述の分析結果は、平均的なグリーンニームに関するものである。一方で、グリーンニームの大きさは、銘柄の属性に応じて相応の異質性を持つことが明らかになってきている。たとえば、グリーン認証を受けている銘柄 (Kapraun et al. [2021]) や、政府や国際機関が発行する債券 (Fatica, Panzica, and Rancan [2021]) などの、グリーンウォッシュ懸念が相対的に低い銘柄ほど、グリーンニームが大きくなることが明らかになってきている。また、Fatica, Panzica, and Rancan [2021] は、大企業事業法人の社債ではグリーンニームが観察された一方、金融機関が発行する社債ではグリーンニームは観察されなかったと報告している。当該論文では、その理由として、グリーン事業に直接投資を行うことが多い事業法人に比べて、金融機関が調達したグリーン資金は、最終的な投資先に関する透明性が低いためと指摘している。

どのような投資主体が、どのような特徴を持つ銘柄にグリーンニームを支払っているかは、現状把握や今後の政策対応を考えるうえで重要な論点である。まず、グリーン債への投資主体については、Baker et al. [2022] が、グリーン債の保有主体は一部の (社会的責任投資などを標榜する) グリーン投資家に集中していることを明らかにしているほか、Fricke, Jank, and Meinerding [2024] は、ユーロ圏の債券保有主体データを分析し、銀行、投資ファンド、保険会社が、グリーン債の主な保有主体かつグリーンニームの払い手となっていることを明らかにしている。Pietsch and Salakhova [2022] は、個人投資家の動向がグリーンニームに大きな影響を与えている可能性を指摘している。これらの結果は、個人投資家をはじめとするグリーン投資選好を持つ投資家や、こうした投資家からの資金調達を進める投資ファンド・保険会社などが、グリーンニームの主な支払い手となっていることを示唆している。また、サーベイ調査からも、グリーン債への強い選好を示す機関投資家や事業法人が存在していることが確認されている (Sangiorgi and Schopohl [2023]; Krueger, Sautner, and Starks [2020])。

以上のとおり、債券市場に関する多くの先行研究は、グリーンニームが存在することを示唆している³⁵。もっとも、すべてのグリーン債にグリーンニームが発生しているわけではなく、

³⁵ なお、機関投資家が非金銭的効用のために金銭的リターンを犠牲にすることが受託者責任上認められるかについては、さまざまな議論がみられている。英米法における当該議論の概要については、小藪[2020] を参照。なお、米国では2021年に従業員退職所得保障法 (ERISA 法) が改正され、気候変動やその他の ESG 要素を考慮した年金基金の運用が可能であることが明記された。このほか、気候変動目標へのアライメントと受託者責

グリーン投資の実行に対する信認が高い銘柄にのみグリーンiumが発生するという、一定の選別メカニズムが働いている可能性が示唆されている。

4.2 サステナブル投資が資産価格に与える影響に関する研究

インパクト投資や気候変動目標へのアライメントを進めるにあたっては、ダイベストメント (divestment、投資撤退) と呼ばれる手法が著名である。ダイベストメント法は、環境負荷の大きい企業から投資資金を引き揚げる一方で、環境負荷の小さい企業に資金を振り向けることを企図している。このような投資資金の再配分によって、環境負荷の高い企業の資本コストを (相対的に) 上昇させることで、各企業に気候変動問題に対応するインセンティブを与えることや、グリーン投資案件向けの資金調達を容易にすることが期待されている。

ダイベストメントが資産価格に与える影響については、Heinkel, Kraus, and Zechner [2001] 以来、多く研究がみられている³⁶。初期の著名な論文である Hong and Kacperczyk [2009] では、酒・たばこ・ギャンブル関連銘柄を分析している。こうした銘柄は“sin stocks”と呼ばれており、倫理的な観点から投資を禁止するファンドが存在している。Hong and Kacperczyk [2009] は、年金基金などで sin stocks への投資を実際に控えている先があることや、sin stocks 銘柄が割安 (発行体企業からみると高資本コスト) であることを示している。こうした現象は、軍需関連企業・ゲーム関連企業・環境負荷の高い企業などでも確認されている (Fabozzi, Ma, and Oliphant [2008]; El Ghouli et al. [2011]; Salaber [2013]; Chava [2014]; Statman and Glushkov [2016]; Barber et al. [2021]; Boustanifar and Schwarz [2023] など)。関連する研究として、Hartzmark and Sussman [2019] は、2016年に投資調査会社 Morningstar が投資信託のサステナビリティ・スコアの公表を始めたことに着目したイベントスタディを行っている。その結果、スコアの低い (高い) 投信への投資資金の流入 (流出) が相応の規模で起きていたことがわかった。この結果は、投資家が投信のサステナビリティ特性を考慮した投資行動をとっていることを示している。

では、ブラウン銘柄に対するダイベストメントは、資産価格に対してどの程度影響を与えているだろうか? Berk and van Binsbergen [2021] は、ダイベストメントを考慮した資産価格評価モデルを構築し、投資家全体に占める (ダイベストメントを行う) グリーン投資家の割合や、ダイベストメントの対象となる銘柄が全銘柄に占める割合などが、ダイベストメントの定量的効果の決定要因であると指摘している。そのうえで、当該理論モデルとデータに基づいた分析から、ダイベストメントが株価リターン・資本コストに与える影響は数 bps 程度と、非常に小さいと主張している。一方、Cheng et al [2024] は、ダイベストメントは無視できない規模の効果を有しており、対象企業の資本コストを 20bps 以上押し上げると報告している。Cheng et al. [2024] が、Berk and van Binsbergen [2021] と異なる結果を得た理由としては、パッシブ投資家の存在を考慮していることが挙げられる。グリーン投資家によるダイベ

任の関係については、Gosling and MacNeil [2023] を参照。

³⁶ 社会的責任投資 (SRI) や ESG 投資と株価リターンに関する研究については、Renneboog, Ter Horst, and Zhang [2008], Friede, Busch, and Bassen [2015], 湯山・白須・森平 [2019] などのサーベイを参照。

ストメントは、ブラウン銘柄の期待リターンを押し上げる。このとき、金銭的リターンを追求するアクティブ投資家は、期待リターンの高まりに応じてブラウン銘柄への投資需要を高めることから、ダイベストメント効果が減殺される。このため、アクティブな投資行動をとらないパッシブ投資家の割合が多いほど、ダイベストメント効果が大きくなる。このように、ダイベストメントの効果は、理論上も実証上も、グリーン投資家、(非グリーン・) アクティブ投資家、パッシブ投資家の割合に大きく依存すると考えられる。

ダイベストメントは、投資を撤退してブラウン企業と関係を断つ手法であるが、その対極にある手法である、株主として積極的に経営に関与することで気候変動への対応を促す「エンゲージメント」手法も幅広く実践されている。たとえば、機関投資家にサーベイを行った Krueger, Sautner, and Starks [2020] は、ダイベストメントを行う投資家は 20%程度と必ずしも多くなく、むしろ株主として経営陣との対話や議決権行使などにエンゲージすることが主流だと報告している。なお、McCahery, Sautner, and Starks [2016]、Dimson, Karakas, and Li [2015]、Krueger, Sautner, and Starks [2020] によると、半数程度の機関投資家は、気候変動への対応方針について、経営陣とプライベートな対話を行っているほか、こうした対話に満足できない場合に、議決権の行使や公開の場での経営陣の批判などへとエスカレートするというステップを取る傾向にある。

では、ダイベストメントとエンゲージメントは、どちらがより効果的な手法だろうか？ 上述の Berk and van Binsbergen [2021] は、ダイベストメントが資本コストに与える影響は限定的という結果を踏まえて、積極的なエンゲージメント活動にリソースを投下する方がより効果的である、と主張している。より理論的に両手法を比較分析した研究としては、Broccardo, Hart, and Zingales [2022] がある³⁷。当該論文のモデルでは、企業は生産の際に h の被害を及ぼす環境汚染を起こすが、環境対策コスト δ を支払うことで汚染を防ぐことができる。企業は、環境対策コストを支払わずに環境を汚染する「ダーティ企業」か、コストを支払って汚染対策をする「クリーン企業」のどちらにとなる。社会的には、汚染を防ぐコストが被害額よりも小さい($\delta < h$)場合に、クリーン企業となることが望ましい。もっとも、投資家の最適化行動の結果が、社会的に望ましい選択と一致するとは限らない。実際に、当該論文は、投資家全員が金銭的リターンのみしか考えない場合、環境汚染による外部性は内部化されず、全企業がダーティ企業となることを示している。

Broccardo, Hart, and Zingales [2022] は、少なくとも一部の投資家が「社会的責任投資家」、すなわち、他の経済主体の効用も考慮して最適化を行う投資家である状況を想定して、エンゲージメント（環境対策を実施するように議決権を行使）と、ダイベストメント（ダーティ企業からの投資撤退）、それぞれの理論的性質について分析している。その結果、社会的責任投資家が過半数を占める場合は、エンゲージメントによって社会的に最適な企業行動（対策コストが汚染被害額を上回る企業が環境対策を行い、それ以外の企業は環境対策を行わない）を達成できることを示している。一方、社会的責任投資家が少数派となっている場合は、

³⁷ なお、当該論文では、投資ポートフォリオ選択だけではなく、消費バスケットの選択問題も定式化されており、消費者によるブラウン財のボイコットがもたらす効果も分析されている。

エンゲージメントはあまり効力を発揮できず、ダイベストメントの方が相対的に社会厚生
の改善度合いが大きくなる。もっとも、ダイベストメントでは、社会的な最適解は達成でき
ないことも示されている。たとえば、ダイベストメントでは、環境対策コストが被害額を上
回るような、環境対策を行うことが（ネットでみた経済的利得の意味で）望ましくない企業も
対象になりうるといった欠点が存在している。Jagannathan et al. [2023] も同様に、ダイベ
ストメント、エンゲージメント、ボイコットの効果を分析しており、いずれの手法についても、
十分なアクティビストが存在する場合、ダーティ企業の株価下落や環境対策の実施につな
がることを示している。さらに、ダーティ企業の行動変容を引き起こすために必要なアク
ティビスト割合の閾値が相対的に低いという意味で、エンゲージメントがより効果的な手
法であることを示している。

ダイベストメントとエンゲージメントは、それぞれ、完全な投資撤退または企業経営へ
の積極的な関与を意味しており、ある意味で両極端な手法といえる。より中間的な投資
手法としては、ティルト (tilt) と呼ばれる手法がある。ティルトでは、グリーン銘柄に
投資ウェイトを傾斜するものの、ブラウン銘柄から完全にはダイベストしない。Pastor,
Stambaugh, and Taylor [2024] は、市場ポートフォリオからの銘柄別保有ウェイトの乖
離をティルトと定義し、米国の機関投資家の株式保有データをもとに、機関投資家の
ESG 投資に起因するティルトの状況を分析している。その結果、当該論文のデータ終
期である 2021 年時点では、ESG ティルトは総運用資産残高の 6%強の規模であること
が報告されている。総運用資産残高対比ではティルトの規模は大きくないように映る
が、運用資産の約 3 分の 1 を占めるアクティブ運用資産残高対比では、ESG ティ
ルトは年々増加傾向にあり、2021 年時点で約 22%に匹敵している。この ESG ティ
ルトの増加は、グリーン銘柄の保有ウェイトの増加（インテンシブ・マージン）でほ
ぼ説明可能であり、ブラウン銘柄のダイベストメント（エクステンシブ・マージン）
によるティルトへの寄与はわずかであることも報告している。

4.3 サステナブル投資の実効性に関連する研究

サステナブル投資を行う究極的な目的は、持続可能な社会・低炭素社会への移行を
促進していくことである。このため、サステナブル投資が単に投資ポートフォリオの
グリーン度を高めるだけに留まらず、実効性を伴う形で社会全体のグリーン化に寄与
していくことが重要である。言い換えると、Atta-Darkua et al. [2023] の論文タイ
トルにある通り、サステナブル投資が「地球のグリーン化を進めている (helping to
green the planet)」のか、「単にポートフォリオをグリーン化している (just green
ing your portfolio)」のかを明らかにすることが重要である。

以下、3つの論点からこの問いについて議論する。第一の論点は、サステナブル投
資がリアル・エフェクトを持つか、すなわち、実体的な企業行動の変化につなが
っているかである。サステナブル投資が企業行動を望ましい方向に変容させてい
るかは、低炭素社会への移行を効果的に進めていくために極めて重要である。第
二の論点は、「グリーンウォッシュ」である。株式や債券の発行体側も、ESG
ファンド等の投資家側も、環境対策やサステナブル投資

への積極姿勢をアピールするインセンティブを持つ³⁸。一方で、こうしたアピールが見せかけのものにとどまり、実際には適切な対応がとられていないことを懸念する声が多くみられている。このため、グリーンウォッシュを抑制することは実務上の主要課題の一つとなっている。最後の論点は、データ整備である。的確な投資判断のためには、透明性とカバレッジの高いデータの存在が不可欠である。このため、環境情報開示の推進や ESG スコアの透明性向上をはじめとするデータ面の整備は、サステナブル投資の実効性を高めていくうえでの重要な論点である。

4.3.1 サステナブル投資のリアル・エフェクト

サステナブル投資のリアル・エフェクトについては、銀行貸出の撤退およびそれに伴う財務レバレッジへの影響を分析した研究がみられている。これらの研究は共通して、脱炭素化の流れの中、炭素排出強度の高い企業では、財務レバレッジの低下や貸出の減少がみられていることを示している。たとえば、Nguyen and Phan [2020] による京都議定書の批准に着目したイベントスタディや、Ginglinger and Moreau [2021]、Reghezza et al. [2021] によるパリ協定採択に着目したイベントスタディは、こうしたグリーン・イベントの発生に直面したブラウン企業が、増大したリスクに対応する形で、財務レバレッジを低下させる傾向にあることを示している。

もっとも、ブラウン企業の資本コスト上昇が、望ましい結果につながっているかという点については、否定的な結果を示唆する研究がみられている。まず、米国の上場企業の炭素排出強度と資本コストの関係について分析した Hartzmark and Shue [2023] は、排出強度の低いグリーン企業は、資本コストが低下したとしても排出強度が有意に変化しなかった一方、排出強度の高いブラウン企業は、資本コストが上昇した場合に有意に排出強度が上昇するとの関係性を報告している。Lanteri and Rampini [2023] も同様に、ブラウン企業が資本コスト上昇時に炭素排出量を増やすことを示している。このような関係性が生じる要因として、一般に環境対策投資は投資コストの回収に長い期間を要する点がある。すなわち、資本コストが上昇し借入制約が厳しくなった企業は、短期的な収益確保のために、負担の大きいグリーン技術からブラウン技術への傾斜を強める傾向にあることが示されている。この結果は、ダイベストメントの進展が、産業全体の排出強度をむしろ高めてしまうことを意味しており、サステナブル投資が「逆効果 (counterproductive)」となりうる可能性を示している。また、Cohen, Gurun, and Nguyen [2024] は、再生可能エネルギーに関する特許の多くは化石燃料企業が保有しているため、現在の炭素排出量が多いことを理由にこうした企業をスクリーニングすることは、グリーン技術の発展のためにはむしろ逆効果である、と指摘している。

こうした研究結果は、サステナブル投資が実効性を持つためには、将来の炭素排出量の削減につながる設備投資等を進めるインセンティブを企業に与えるように、投資先企業の選定基準などを設計していく必要があることを示唆している。この観点からは、現時点での炭素

³⁸ たとえば、社債発行企業に対してサーベイ調査を行った Sangiorgi and Schopohl [2023] は、投資家からの評判を高めることが、企業がグリーン債を発行する主要な動機だと指摘している。

排出量の水準を基準とした投資行動は望ましくない可能性がある。たとえば、上述の Cohen, Gurun, and Nguyen [2024] が指摘するように、この基準は化石燃料企業による再生可能エネルギー技術への研究開発などをむしろ阻害する可能性がある。また、Hartzmark and Shue [2023] は、環境へのインパクトを考えると、排出量の変化率ではなく変化幅に着目することが、効果的な排出量削減の観点から適切であると主張している。Edmans, Levit, and Schneemeier [2023] は、ブラウン企業からの単純なダイベストメントではなく、環境対策を行わない場合にブラウン企業からダイベストメントするという条件付き手法によって、ブラウン企業が環境対策を行うインセンティブを持たせることが効果的なことを理論的に論じている。Oehmke and Opp [2024] も、社会的責任投資ファンドが、投資先が生み出す社会的コストの水準のみを考慮する「狭義の責任 (narrow mandate)」を追求する場合、単にグリーン企業のみ投資が行われることになり、リアル・エフェクトを生まないことから、望ましくないと指摘している。むしろ、社会的責任投資を実行することで削減される社会的コストの大きさに基づいた「インパクト責任 (impact mandate)」を追及することで、社会的コスト削減余地の大きいブラウン企業にも投資が行われることとなり、リアル・エフェクトが生じることを理論的に示している。

関連して、多様な投資家が存在する世の中において、ゴーイング・コンサーンとしての企業活動をどのようにグリーン化すべきかという点、も論点となろう。4.2.1 節で議論した通り、グリーン投資家がダイベストを進めたとしても、(金銭的リターンのみを追求する) アクティブ投資家からのサポートにより、ブラウン企業は大きな支障なく企業活動を継続できる可能性がある。これに類似する議論として、Duchin, Gao, and Xu [2022] は、環境汚染物質を排出する工場を売却した企業は ESG 的観点から名声を高めるものの、売却先が工場の操業を継続するため、社会全体の汚染状況には大きな変化はみられなかった、と指摘している。

4.3.2 グリーンウォッシュ

グリーンウォッシュに関する研究は、足もと急増しており、その多くはグリーンウォッシュが実際に懸念すべき問題であることを示唆する結果を報告している。まず、Kacperczyk and Peydro [2022] は、脱炭素化を推進する銀行は Scope1 排出量の多い企業への貸出を減少させていることを示したうえで、その後の企業の反応を調べている。その結果、貸出が減少した企業では、環境意識に関するスコアは改善したものの、炭素排出量などのハードデータについては改善がみられなかったと報告している。Giannetti et al. [2023] は、ユーロ圏の商業銀行を対象とした分析を行い、環境開示に積極的な銀行が、実際にはブラウン企業への貸出を維持していることを示している。さらに、こうした貸出が環境技術への投資に利用されていないことも示しており、イメージ戦略と貸出実態には大きな乖離がみられると主張している。Couvert [2020] は、ESG 投信の議決権行使ガイドラインと投資先企業の企業行動の関係を分析し、被投資企業は、投信のガバナンス(G) 関連ポリシーには対応を進めていることが窺われる一方、環境(E)・社会(S) 関連ポリシーには特段の対応を取らない傾向にあることを報告している。このため、被投資企業は投信の E・S 関連ポリシーを単なるマーケティング上の条項と認識している可能性がある、と指摘している。また、Bingler et al. [2022] は、TCFD

(気候関連財務情報開示タスクフォース)に賛同した企業の年次報告書を、自然言語処理手法に基づいて分析し、TCFD への賛同後でも環境関連の情報開示は増加していないことを指摘している。この結果は、TCFD への賛同は、実効性のある開示行動につながっていないという意味で、チープトーク（コストがかからず拘束力もない情報発信）となっている可能性を示唆している。

投資家サイドについても、グリーンウォッシュを示唆する研究が多くみられている。Parise and Rubin [2023] は、代表的な ESG 指数 (MSCI USA ESG Leaders Index) に対する投資信託の日次リターンの感応度 (ESG ベータ) を推計し、毎四半期末最終営業日の直後に ESG ベータが急低下することを示している。毎四半期末最終営業日は、米国の投信に義務付けられた保有資産情報の開示基準日にあたるため、この結果は、米国の投信が開示基準日に高 ESG 銘柄を保有するものの、基準日の直後に銘柄を入れ替えていることを示唆している。実際に当該論文では、開示基準日時点の保有ポートフォリオを固定して算出したその後の日次リターンの推移が、実際の投信の日次リターンよりも低いことなどを報告している。このため、当該論文はこのパターンを「グリーン粉飾 (green window dressing)」と呼んでいる。Atta-Darkua et al. [2023] は、Carbon Disclosure Project (CDP) や Climate Action 100+ などの取り組みに賛同する投資家について、保有ポートフォリオ構成企業の炭素排出量の推移を分析している。その結果、ポートフォリオ構成企業の炭素排出量は減少していたものの、その主因は炭素排出量の少ない銘柄への入れ替えであり、各構成企業の排出量減少による影響は有意には確認できなかった。この結果は、グリーン投資家はエンゲージメント活動を行っておらず、社会全体のグリーン化には寄与していない可能性があることを示唆している。このほか、Ceccarelli, Glossner, and Homanen [2023] は、責任投資原則 (PRI) 署名ファンドのサステナブル投資動向を分析し、PRI ファンドの運用資産が多い国、すなわち社会的責任投資を行う投資家が多い国でのみ、ESG レポートで好スコアを獲得したファンドへの資金流入がみられたとしている。

4.3.3 環境・ESG 関連データの整備

環境関連変数の開示推進や ESG スコアの透明性向上などのデータ面での整備は、気候関連リスクの正確な理解や、効果的なサステナブル投資のために必要不可欠である (たとえば、TCFD [2017]; 日本銀行金融市場局[2022, 2023])。情報開示の進展や信頼性の高い ESG スコアの存在は、企業と投資家間の情報の非対称性を軽減し、より効率的な投資の意思決定に寄与すると考えられる。もっとも、利用可能な環境関連データや ESG スコアにノイズやバイアスが含まれる場合、非効率的な投資行動につながり、低炭素社会への移行の観点からも悪影響が生じる可能性がある。このような問題意識のもと、ごく最近の学術研究では、環境関連変数や ESG スコアに含まれるノイズやバイアスに関する分析がみられている。

現在、複数のデータベンダー等によってさまざまな ESG スコアが算出されているが、各 ESG スコアには相応のばらつきがみられている。ESG スコアのばらつきは、それがスコア作成者の評価軸の違いに起因する場合は、多様な観点からの評価を提供するというメリットがある。一方で、評価軸は類似のものであるにもかかわらず、データ計測方法やスコア算出

方法に起因してばらつきが生じる場合は、ある種のノイズとして好ましくない影響を与える可能性がある。こうした観点を踏まえて、ESG スコアの特性やばらつきの発生原因を分析した研究がみられている。Berg, Kolbel, and Rigobon [2022] は6つの代表的な ESG スコアを比較し、ESG スコア間の違いは、算出に利用する項目のカバレッジの違いではなく、各項目の計測方法の違いに起因していることを指摘している。また、湯山・白須・森平[2020] は、4つの ESG スコアを分析し、企業の収益性に関する変数が ESG スコアに大きく影響していることを指摘している。株価形成への影響という観点では、Avramov et al. [2022] は、観察される企業の ESG 特性に観測誤差があり真の ESG 特性の観測が難しい場合、当該銘柄への需要が減少し、リスクプレミアムやベータが上昇するという好ましくない影響が生じることを理論的に示している。そのうえで、ESG スコアのばらつきが大きい銘柄を、真の ESG 特性の観察がより難しい銘柄とみなしたときに、理論的予想と統合的な実証的な結果が得られたことを報告している。

ESG 投資が低炭素社会への移行に向けてリアル・エフェクトを持つためには、投資判断の材料となる ESG スコアが、企業がもたらす将来の環境負荷に関するフォワード・ルッキングな指標になっていることが望ましいと考えられる (van Binsbergen and Brogger [2023])。この観点からは、ESG スコアや関連する環境関連変数が、将来の環境負荷の大きさに関する予測力を持っているかどうか論点となる。この点、いくつかの研究は、こうした変数の作成手法に留意すべき点があることを指摘している。van Binsbergen and Brogger [2023] は、ESG スコアと炭素排出量の変化の関係についてグレンジャーの因果性分析を行ったところ、ESG スコアは将来の炭素排出量の変化に予測力を持たない一方、炭素排出量の変化はその後の ESG スコアの変化に予測力を持つとの結果を得ている。この結果は、ESG スコアはバックワード・ルッキングな情報に基づいて算出されており、将来の環境インパクトに関する予測力を持たないことを示唆している。Aswani, Raghunandan, and Rajgopal [2024] は、企業の炭素排出量データについて、企業が報告した実績値とデータベンダーによる推計値に分けて分析している。その結果、実際に企業が報告した実績値データに限定して株価リターンとの関係をみた場合、Bolton and Kacperczyk [2021] などが報告する有意な関係性が消滅するという結果を報告している。同論文では、データベンダーによる炭素排出量の推計値が売上高や収益などと強く相関していることを示しており、推計ベースのデータを含めた排出量と株価リターンの有意な関係は、単に企業業績と株価リターンの関係を捉えているだけの可能性がある。

4.4 気候変動問題と金融政策

気候変動問題は、金融システム・金融市場を含む社会全体に広範な影響を及ぼす問題であり、中央銀行もさまざまな観点から対応を進めている³⁹。金融政策運営の観点では、中央銀行の本来の責務である物価安定との関係において、どのように気候変動問題を考慮すべきかが重要な論点となっている。また、中央銀行が金融政策を通じて気候変動問題に取り組む場合、どのような政策手段を用いて、どのように政策運営を行っていくことが望ましいか、

³⁹ 日本銀行における気候変動問題に対する取り組み内容については、日本銀行[2021] を参照。

といった論点も非常に重要である。こうした背景から、政策当局者によるさまざまな議論や情報発信がみられている⁴⁰ほか、関連研究も急速に発展している。以下では、グリーン資産買入れ政策などの、金融市場にかかわる研究結果を中心に関連研究を紹介する⁴¹。

気候変動問題と金融政策運営を扱った理論的研究としては、ニューケインジアン・モデルに気候ブロックを加えたモデルに基づいたものがみられている (Abiry et al. [2022]; Nakov and Thomas [2023] など)⁴²。こうした理論分析は、概ね以下の2点を支持する結果を得ている。第一に、気候変動問題への対応ツールとしては炭素税が最も効果的であり、伝統的な政策金利操作に基づく金融政策は、気候変動対策ツールとしては限定的な役割しか果たさない。たとえば、Nakov and Thomas [2023] は、最適な炭素課税が行われているもとでは、中央銀行は物価安定に専念することが最適になるという理論的結果を導出している。また、炭素課税が最適税率から乖離する場合でも、標準的なモデル・カリブレーションのもとでは、最適金融政策は厳格な物価安定政策とさほど異なること、すなわち、中央銀行は物価安定に大きなウェイトを置いていくことが望ましいことを示している。

二つ目は、グリーン部門・ブラウン部門を区別して資産買入れを行う、いわゆる「グリーンQE (量的緩和)」には、最適な炭素課税が行われていない際に、炭素税を一定程度代替する効果がある点である。すなわち、グリーン企業の社債を傾斜的に買い入れることは、ブラウン企業の資本コストを相対的に高めるため、炭素税に類似した効果を生むこととなる (Abiry et al. [2022]; Nakov and Thomas [2023]; Ferrari and Nispi Landi [2024]; Diluio et al. [2021])⁴³。関連する研究として、Giovanardi et al. [2023] は、中央銀行に社債を担保として差し入れ

⁴⁰ Powell [2023] は、気候関連リスクに関連する金融監督業務を除いて、立法府の法制化なしに米国連邦準備制度が気候変動問題に取り組むことは不適切であるとしている。一方、欧州中央銀行は、2021年に公表した金融政策の戦略レビュー結果の中で、気候変動問題は経済構造や景気変動への影響を通して物価安定に大きな影響を与えることを理由に、金融政策運営にあたって気候変動問題を考慮することを宣言している (ECB [2021])。雨宮[2022] は、『物価の安定』と『金融システムの安定』を責務とする中央銀行の立場から、民間における気候変動への対応を支援していくことは、長い目でみたマクロ経済の安定に資するもの」と指摘している。

⁴¹ 気候変動問題と金融政策に関する研究では、グリーン経済移行がインフレ率や経済成長率などのマクロ経済変数に与える影響が焦点となっているが、気候ファイナンスを扱う本論文の範囲からは外れるため、詳細は省略する。マクロ経済モデルに基づいた分析としては、Del Negro, Giovanni, and Dogra [2023]、Nakov and Thomas [2023]、Olovsson and Vestin [2023]などを参照。気候変動がインフレ率に与える影響に関する政策当局者の情報発信としては、たとえば Schnabel [2022] を参照。

⁴² これらの研究では、Golosov et al. [2014] 型の気候ブロックと、標準的なニューケインジアン・モデルを組み合わせた理論モデルが分析されている。Golosov et al. [2014] モデルは、化石燃料使用による負の外部性を内部化する税率として、最適な炭素課税率を導出した著名論文である (詳細については、日本銀行金融研究所 [2021a] を参照)。このモデルにおける金融政策は、最終財価格が粘着的なもとのインフレ率・景気の安定という伝統的な役割のほか、生産活動への影響を通して、生産に伴う炭素排出による負の外部性の大きさに影響を与える働きがある。

⁴³ グリーンQEの理論的分析においては、通常、Gertler and Karadi [2011] 型の金融摩擦の存在が仮定され、社債スプレッドが民間部門での社債保有量に応じて拡大する。このため、中銀による社債買入れは、社債スプレッドを縮小させる効果を持つ。さらに、グリーン社債とブラウン社債間での裁定行動を抑制するために、民間主体による社債取引に取引コストが発生することが仮定される。

る際にグリーン企業とブラウン企業で異なる担保掛目を適用することで、グリーン QE と同様の効果が生じることを示している。

なお、中央銀行がマーケット・オペレーションを通して気候変動への対応を進めるにあたっては、市場中立性との関係性が議論となる。すなわち、中央銀行は、可能な限りミクロの資源配分に介入しないことが基本となる中で、グリーン QE をどう位置づけるか、という論点が存在する。この点を議論する際には、市場中立性の意味を検討することが有益であろう。たとえば、雨宮[2022] は、民間投資家が炭素排出による負の外部性を考慮していない場合、現状の投資動向に中立であることは、ブラウン部門への偏った資源配分を温存することになる、と指摘している。この考え方のもとでは、負の外部性を内部化する配分に基づいた買入れを行うことが中立的となる。Papoutsi, Piazzesi, and Schneider [2022] は、市場中立性を、すべての企業の資本コストを比例的に低下させることと定義している。そのうえで、市場ポートフォリオの構成比率と同じ比率でグリーン社債とブラウン社債を買い入れる政策は、彼らの定義する市場中立性を満たさないことを指摘している。この指摘の根拠として、当該論文では、資産買入れによる資本コスト押し下げ効果は、リスクの高いセクターほど大きくなることを示している。ブラウン・セクターは、環境関連リスクに起因して事業リスクが高いほか、財務レバレッジも高い傾向にあることが実証的に知られているため、市場ポートフォリオに沿った買入れは、ブラウン銘柄の資本コストを相対的により大きく下げることが示唆される。この結果は、市場中立性の観点からは、グリーン企業に傾斜した買入れを行うことが望ましいことを示唆している。

5 社会的割引率に関する研究

温室効果ガスは長期間大気中に残存するため、現時点での温室効果ガスの排出は、極めて長期間にわたって人々の効用を押し下げる。カーボン・プライシングなどを通して、こうした炭素排出に伴う負の外部性を内部化していくためには、その外部性のコストを適正に値付けすること、すなわち「炭素の社会価格」(Social Cost of Carbon; SCC) を適正に設定することが重要となる。もっとも、SCC の算出にはさまざまな困難が伴う。具体的には、SCC の算定のためには、(1) 一単位の温室効果ガスの追加的排出が将来の経済活動に与える損害額の算定、(2) 将来の損害額を割引現在価値に割り戻す際に用いる割引率の設定、の2点が重要となるが、いずれについても明確なコンセンサスが得られていない。

(1) については、温室効果ガスの増加が気温に与えるインパクト、一定の気温上昇が引き起こす異常気象や海面上昇の規模、これらの物理的リスクが経済活動に与える影響、のそれぞれについて大きな不確実性が存在しており、IPCC 等による試算値にも大きな幅がある⁴⁴。とくに、気候変動がもたらすコストは、気温上昇がある閾値(ティッピング・ポイント)を超えた際に発生しうる破局的な災害に起因するものが多くを占めるなど、非線形性が高い

⁴⁴ たとえば、平衡気候感度(大気中の二酸化炭素濃度が倍になった際の平均表面気温の上昇幅)について、IPCC [2021] の最良推計値は3℃、5%~95%範囲は2℃から5℃となっている。

ことが推計を困難にしている (Pindyck [2019])。もっとも、こうした物理的コストの推計はファイナンス研究の範囲を超えることから、本論文では取り扱わない。

(2) について、SCC 算出において用いられる割引率は「社会的割引率」と呼ばれる。社会的割引率は、より一般に、気候変動対策や公共インフラ投資などの、便益の発生が将来世代を含む長期にわたって発生する投資案件の費用便益分析に用いられる割引率であり、政策判断に大きな影響を与えうる重要な変数である。たとえば、気候変動問題の文脈では、一単位の炭素排出削減によって得られる便益は SCC に他ならないことから、ある気候変動対策の (削減量一単位あたりの) 費用が SCC を下回る場合には、その対策を行うことが望ましいとの判断になる。遠い将来に発生する排出量削減がもたらす便益の現在価値は、わずかな社会的割引率の違いでも、大きく変化する。たとえば、50 年後の 1 単位の便益の現在価値は、社会的割引率が 1% の場合は 0.6 程度であるが、社会的割引率が 2% となると 0.37 程度まで大きく減少する。このように、社会的割引率の違いによって、SCC が大きく変化し、ひいては推奨される気候変動対応の強度も大きく変化するという、政策上極めて重要な影響をもたらす。このため、どのような考え方に基づいて、どの程度の値に社会的割引率が設定されるかについて、多くの議論が繰り広げられてきた。

社会的割引率の設定にあたっては、大きく分けて 3 つの考え方が存在している。1 つ目は、「規範的 (normative) アプローチ」と呼ばれるもので、世代間の衡平性に関する倫理的基準をもとに社会的割引率を設定する考え方である。このアプローチは *ethical approach* や *prescriptive approach* と呼ばれることもある。規範的アプローチは、現役世代と将来世代を等しく扱うことが倫理的に正しいとする立場のため、将来世代の効用をあまり割り引かないよう、社会的割引率を非常に低い値に設定する。2 つ目は、「実証的 (positive) アプローチ」と呼ばれるもので、市場で観察される国債金利や資本収益率などをもとに社会的割引率を設定する考え方である。このアプローチは *market-based approach* や *descriptive approach* と呼ばれることもある。後述の通り、規範的アプローチと実証的アプローチでは、設定される社会的割引率が相応に異なり、費用便益分析が示唆する最適な気候変動対策の強度も大きく異なる。このことから、両陣営間で激しい論争が繰り広げられてきた。3 つ目は、本論文では「持続可能性アプローチ」と呼ぶ考え方で、持続可能性 (sustainability) 条件と呼ばれる制約を課した多期間の貯蓄・消費最適化問題を考え、持続可能性条件を満たす最適な消費パスと整合的な「割引率」を社会的割引率とする方法である。

以下では、まず、5.1 節で社会的割引率を考える際の基本的な枠組みである Ramsey モデルを導入する。5.2 節以降では、3 つのアプローチそれぞれについて概観していく。なお、社会的割引率に関する日本語による包括的なサーベイとしては、赤尾・大沼・阪本[2016] が非常に参考になる。

5.1 社会的割引率を考える際の枠組み

社会的割引率に関する研究の歴史は古く、Ramsey [1928] の最適成長理論より始まる。当該理論では、以下の将来期間にわたる効用を代表的経済主体が最大化する問題を考える。

$$U_t = \int_t^{\infty} e^{-\rho(s-t)} u(C_s) ds \quad (8)$$

ただし、 ρ は純粋時間選好率、 $u(C_t)$ は各時点の消費から得られる効用を表す。このとき、効用最大化問題の最適化条件から、次式が成り立つ。

$$r_t = \rho + \eta \cdot \% \Delta C_t = \rho + \eta g \quad (9)$$

ここで、 r_t は無リスク資産の資本収益率、 η は限界効用の消費弾力性（相対的リスク回避度）、 $\% \Delta C_t$ は実質消費成長率である。右辺の 2 つ目の等号は、消費成長率が実質経済成長率 g （定数）に等しいという追加的な仮定をおいて導出したものである。

式(9)は、代表的個人が異時点間の効用を比較する際に用いる割引率を定めており、両辺のどちらも社会的割引率を定める式である。もっとも、この等号が成り立つのはシンプルなモデルに限られており、現実的な様々な摩擦が存在するもとでは、式(9)の等号は成り立たないことが知られている。このとき、式(9)のどちらの辺に着目して社会的割引率を考えるかに応じて、異なるアプローチが存在することとなる。具体的には、左辺の資本収益率に着目して社会的割引率を設定するアプローチが実証的アプローチ、右辺の代表的経済主体のパラメータなど（ $\rho + \eta g$ ）に着目して設定するのが規範的アプローチに概ね対応する。

式(9)は、消費の成長率に不確実性が存在しないという設定のもと導出される点に留意が必要である。もっとも、一般に消費（経済）成長率は不確実に変動するものであり、この不確実性は社会的割引率にも影響を与えることから、多くの研究がみられてきた（概要については、Gollier [2012] や Arrow et al. [2014] を参照）。以下、この論点について簡単にポイントを述べる。

まず、消費に不確実性があるもとでは、効用最大化問題（式(8)）は、期待効用最大化問題

$$\bar{U}_t = E \left[\int_t^{\infty} e^{-\rho(s-t)} u(C_s) ds \right] \quad (10)$$

に置き換えられる。そのうえで、式(9)がどのように変化するかは、消費の不確実性に関するモデル定式化に依存する。まず、もっとも単純な、消費の成長率が独立同分布な正規分布 $\Delta \% C_t \sim N(g, \sigma_g^2)$ に従うケースを考える。このとき、最適化条件は以下のとおりとなる。

$$r_t = \rho + \eta g - \frac{1}{2} \eta (\eta + 1) \sigma_g^2$$

すなわち、不確実性がない場合（式(9)）と比較すると、不確実性の大きさ σ_g^2 に比例して割引率が低下することがわかる。右辺第 3 項は、予備的貯蓄を表す項と解釈される。すなわち、不確実性が存在する場合、経済主体は将来のショックに備えて貯蓄を行う動機が生じるため、より低い金利でも貯蓄を行うというメカニズムを捉えている。なお、先進国での消費成長率の時系列データを基にすると、この予備的貯蓄動機による割引率の下押し幅は 0.4%ポイント程度と、さほど大きくないことが指摘されている。この点に関連する研究として、非常に

低い発生確率ではあるものの発生時に極めて大きな被害をもたらす災害を定式化した rare disaster モデル (Barro [2006] など) がある。Pindyck and Wang [2013] は、rare disaster モデルに基づいて気候変動などが引き起こしうる破局的事象の影響を分析し、破局的事象の発生可能性を考慮すると、割引率は1%ポイント以上低下しうる、と指摘している。

上記の設定のもとでは、割引対象のキャッシュフローの年限にかかわらず社会的割引率は一定、すなわち、社会的割引率の期間構造はフラットとなる。一方、消費成長率に対するショックが正の自己系列相関を持つ場合は、長期年限ほど割引率が小さくなり、社会的割引率は右下がりの期間構造となることが指摘されている。割引率が年限に関して減少することから、この特徴は DDR (Decreasing Discounting Rate) と呼ばれることが多い (詳細については、Gollier [2012]などを参照)。これは、ショックの自己相関が大きい場合、遠い将来の消費ほど不確実性が高くなるため、より長期年限ほど予備的貯蓄動機が強くなるため、と解釈される (Arrow et al. [2014])。気候変動問題のように非常に長い期間に関する費用便益分析を行う際には、超長期年限の割引率が割引現在価値に大きく影響する。このため、期間構造の形状は、SCC に大きな影響を与える非常に重要な論点である。

Weitzman [2001] は、消費成長率の不確実性だけでなく、割引率そのものに関する不確実性も DDR を生じさせることを指摘している。当該論文では、2,000 人を超える経済学者を対象に、望ましい割引率に関するサーベイを行っている。その結果、回答値の平均値は約4%、標準偏差は約3%と、専門家の中でも大きなばらつきがあることを報告している。このように、望ましい割引率に関する専門家の意見にばらつきがみられるときには、以下の「平均的な」割引率を用いることが考えられる。専門家 i が望ましいと考える割引率を r_i としたとき、 t 年先のキャッシュフローは、 $(1/(1+r_i))^t$ が割引係数となる。この割引係数は専門家によって異なるため、回答値の分布に関して割引係数の期待値を取ったうえで、その期待値に対応する確実等価割引率 r_t^y を、以下の関係式をもとに定めることができる。

$$\left(\frac{1}{1+r_t^y}\right)^t = E\left[\left(\frac{1}{1+r_i}\right)^t\right]$$

Weitzman [2001] は、専門家の回答値の分布 (上式の期待値 E の算出に用いる分布) がガンマ分布でよく近似できることから、 r_t^y をガンマ割引率と呼んでいる。ガンマ割引率は、DDR になることが示されている。これは直感的には、年限が長くなると割引率が高い回答者の割引係数は急速にゼロに近づくため、長期年限の期待割引率の決定にあたっては、割引率が低い回答者の回答値が支配的になるためである。

5.2 規範的アプローチ

規範的アプローチでは、式(9)の右辺にあらわれる3つのパラメータ、 ρ, η, g を与えることで社会的割引率を設定する (Drupp [2018])。ここで、 g は実質経済 (消費) 成長率に関する観察データから定まるため、規範的アプローチにおける社会的割引率の設定は、純粋時間選好率 ρ と限界効用の消費弾力性 (相対的リスク回避度) η という、代表的個人に関する2つ

のパラメータをどう設定するか、という問題と言い換えることができる。

純粋時間選好率 ρ を高く設定する場合、たとえば50年先の世代の割引現在効用は極めて小さいものとなり、実質的に将来世代の効用を無視することとなる。Ramseyは、世代間衡平性の観点から、このような事態となることについて否定的な立場をとっており、純粋時間選好率 ρ はゼロであることが望ましいとしてきた。Cline [1992], Stern [2007], Stern and Stiglitz [2021]なども同様の立場を支持している。たとえば、Stern [2007]は、時間選好率は $\rho = 0.001$ (0.1%)という非常に小さい値とし、 $\eta = 1$ 、 $g = 1.3\%$ という設定と合わせて、社会的割引率は1.4%弱が望ましいと主張している。一方、Nordhaus [2007]は、規範的アプローチは実際の人々の消費・貯蓄行動に関する観測事実を考慮せずに、時間選好率 ρ を非常に小さい値に設定していると批判している。また、低い社会的割引率を背景に強力な気候変動対策の実行を主張するStern Review (Stern [2007])を批判的に論じている。具体的には、Nordhaus [2007]は、後述の実証的アプローチに基づいた推計により、2015年時点のSCCを35ドルと算出している一方、Stern Reviewに基づいた場合のSCCは360ドルと、大きく乖離した値となることを報告している。そのうえで、算出手法によってこのような大きな乖離が生じることを踏まえて、Stern Reviewの強力な政策提言の根拠について疑義を呈している⁴⁵。

このように、規範的アプローチでは、消費者の選好に関するパラメータを規範的な観点から外生的に設定することとなる。このため、専門家(経済学者)がこれらのパラメータについてどのような考えを持っているかを把握することは、社会的割引率に関する立場にかかわらず有益であろう。Drupp et al. [2018]は、経済学者に対するサーベイを行い、この論点に関する興味深い結果を報告している。当該サーベイの設問には、望ましい社会的割引率のほかに、実質無リスク金利(式(9)左辺)および、式(9)右辺に現れる3つのパラメータそれぞれに関する定量的評価が含まれている。また、社会的割引率の設定の際に、規範的アプローチと実証的アプローチを、それぞれ、どれくらいのウェイトで重視するかという問も設けている。この設問設計から、各回答者の社会的割引率を「要因分解」することが可能である。

サーベイの主要な結果は以下のとおりである。まず、社会的割引率の平均値は約2.3%、メディアンは2.0%であり、Weitzman [2001]によるサーベイ結果対比、やや低めである。次に、純粋時間割引率 ρ は0が最頻値であり、規範的アプローチの立場をとる経済学者が相応に存在することを示唆している。もっとも、メディアンは0.5%、平均は1.1%であるため、Drupp et al. [2018]は、純粋時間割引率が(ほぼ)0であることに幅広いコンセンサスが存在しているとはいえない、と述べている⁴⁶。このほか、規範的アプローチには約7割、実証的アプローチには約3割のウェイトをおいて社会的割引率を決定すべき、との回答結果も得られている。この結果は、規範的・倫理的な観点と、実証的なデータに基づいた観点の双方が重要だと多くの経済学者が考えていることを示唆している。

⁴⁵ より最近のNordhaus [2017]による推計でも、2015年のSCCは、Stern Reviewに基づいた場合は197.4ドル、実証的アプローチに基づいた場合は31.2ドルと大きな乖離がみられている。

⁴⁶ [...] we cannot confirm the IPCC's [...] conclusion that "a broad consensus for a zero or near-zero pure rate of time preference" exists among experts. (Drupp et al. [2018] p.120)

5.3 実証的アプローチ

実証的アプローチは、式(9)の左辺に着目して、無リスク資産の資本収益率として社会的割引率を定める考え方である。実証的アプローチを採用する根拠として、Nordhaus [2019] は、気候変動対応向け投資の割引率は気候変動対応以外の投資案件も含めた、投資の機会費用と整合的である必要があるため、市場金利や資本収益率をもとに社会的割引率を設定する必要がある、と論じている。実証的アプローチは、気候変動がマクロ経済に及ぼす影響を分析する際に標準的に用いられる、マクロ経済モデルと気候変動モデルを統合した「統合評価モデル (Integrated Assessment Model, IAM)」で広く採用されている。たとえば、William D. Nordhaus が 2018 年にノーベル経済学賞を受賞した業績としても著名な、代表的 IAM である DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy) モデルでは、実証的アプローチに基づいた高めの社会的割引率が利用されることが多い (Nordhaus [1994] など) 47。

DICE モデルの発展期にあたる 2000 年代前半までは、市場金利が高かったこともあり、実証的アプローチに基づく社会的割引率は 4~6%程度とされることが多く、規範的アプローチと比べて大幅に高い値となる状況が続いてきた。もっとも、市場から観察される実質金利は趨勢的に低下してきており、とくに世界金融危機以降、継続的な低金利環境について様々な議論が行われている (たとえば、Rachel and Summers [2019]; IMF [2023b]; Obstfeld [2023])。このような実質金利の低下は、実証的アプローチに基づいて設定される社会的割引率の低下につながる。実際、Bauer and Rudebusch [2021] は社会的割引率の期間構造を推計し、社会的割引率も実質金利と同様、趨勢的に低下してきたことを報告している。さらに、推計された社会的割引率の期間構造を DICE 型モデルに投入することで、1990 年から 2019 年にかけて SCC がどの程度変化したかを算出している。その結果、社会的割引率の推計モデルの定式化によるばらつきはあるものの、約 30 年間で SCC は 2 倍から 5 倍程度 (最大で 10 倍以上) になったとの結果を示している。こうした結果を踏まえて、近年の低金利環境のもとでは、規範的アプローチと実証的アプローチの立場の違いがもたらす社会的割引率の差は小さくなっており、低い社会的割引率と高い SCC を前提とした、相応に厳格な気候変動対応をとることが望ましい、と主張している。

実証的アプローチに関連するもう一つの論点として、超長期年限の実質金利の推計がある。すなわち、十分な流動性のある長期債市場は通常 30~40 年程度の年限までに限られているため、気候変動問題で考慮すべき遠い年限に関する金利は、何らかの方法で推計する必要がある。この点、理論的には、5.1 節で紹介したとおり、DDR (右下がりの期間構造) を支持する研究がみられている。また、Newell and Pizer [2003] は、200 年にわたる米国債の長期時系列データを用いた実証分析から DDR が成立することを報告しており、実質金利は短期年限では 4%、年限 100 年では 2%、年限 200 年では 1%と低下するとしている。また、上述の Bauer and Rudebusch [2021] の推計値も右下がりの期間構造を示唆している。

ただし、こうした研究は国債市場のデータに基づいた推計であるため、気候変動対策プロ

47 DICE モデルの概要については、日本銀行金融研究所[2021b] を参照。

プロジェクトのリスク特性を考慮した割引率に必ずしもなっていないことを Giglio et al. [2021] が指摘している。当該論文では、気候変動対策プロジェクトの評価に用いるべき割引率は、気候変動が損害をもたらすタイミングが好況期か不況期かによって異なることを指摘している。気候変動がもたらす損害と景気循環との関係としては、「気候変動は破局的な自然災害を引き起こすことで経済活動にも大きなショックを加える」という “disaster view” (Weitzman [2012, 2014]) と、「好況期ほど温室効果ガス排出量が増加し、(気温上昇などに起因する) 損害が大きくなる」という “tax view” (Nordhaus [2008]) という正反対の考え方が存在する。Disaster view のもとでは、気候変動がもたらす損害は景気後退期に発生することになる。このとき、気候変動対策プロジェクトは、景気後退期における損害を軽減する、言い換えれば景気後退期にペイオフが発生する「ヘッジ」として機能する。このため、気候変動対策プロジェクトに対する割引率は、無リスク資産の割引率よりも低くなる。一方、tax view のもとでは、気候変動がもたらす損害は好況期ほど大きくなる。言い換えると、気候変動対策プロジェクトの対策効果（ペイオフ）は、好況期ほど大きくなるという意味で、気候変動対策は「リスク」なプロジェクトとなる。このため、disaster view とは逆に、気候変動対策プロジェクトの割引率は無リスク金利よりも高くなる。

Giglio et al. [2021] は、気候変動対策プロジェクトに対する割引率の期間構造についても検討を加えている。その際、気候災害の発生は、短期的には大きな損害を与えるものの、中長期的には新しい気候への適応が進むことで、気候災害がもたらす負の影響が減衰していくという観測事実がカギとなる。このことは、短期年限のキャッシュフローは気候リスクの影響を大きく受ける一方、長期年限のキャッシュフローへの影響は減衰していくことを意味しており、年限が長くなるほど割引率は無リスク金利に近づいていくことを意味している。このため、前段の結果と合わせると、短期の割引率が無リスク金利対比下振れる disaster view のもとでは割引率の期間構造は右上がりになる一方、tax view では逆に右下がりの期間構造になることが示唆される。Giglio et al. [2021] は、disaster view に基づくカリブレーションによって、観測データとモデルをマッチできたことと報告している。そのうえで、気候科学や気候変動と経済の相互関係に関するさらなる研究の発展は、気候変動対策の費用便益分析や SCC の推計精度の改善のために重要であると指摘している。

5.4 持続可能性アプローチ

5.1 節でみたとおり、社会的割引率を理論的に考える際の出発点は、無限期間にわたる効用最大化問題（式(8)、(10)）であった。この最大化問題は、現時点（ t 時点）での（期待）効用最大化のみを考えており、将来のそれぞれの時点での効用については直接的には考慮されていない。このため、最適消費経路の上での消費が、今期や近い将来に過剰に消費する一方で、遠い将来の消費が極めて低水準な経路である可能性もある。もっとも、こうした消費経路は、将来時点を起点に効用を考える将来世代にとっては、公正なものとはいえないだろう。

こうした点を踏まえて提唱されたのが、持続可能性アプローチである。持続可能性アプローチでは、各時点の期待効用 \bar{U}_t （式(10)）が減少しない、すなわち $d\bar{U}_t/dt \geq 0$ となるという

条件を課すことで最適消費経路を求めるアプローチである⁴⁸。この制約条件は、将来世代が少なくとも現役世代と同等かそれ以上の生活水準を達成できるという条件を表しており、World Commission on Environment and Development [1987] が提唱した「持続可能性 (sustainability)」を具現化したものである。

持続可能性に関する研究の概要をまとめた論文としては、Arrow et al. [2004] が参考になる。当該論文では、持続可能性条件が満たされる具体的な条件として、経済が財を生み出すために必要な「生産基盤 (production base)」が非減少となる必要がある、という条件に着目している。なお、ここでいう生産基盤は、機械をはじめとする有形資本のほか、人的資源、天然資源や、社会制度や社会的共有知なども含まれる概念である。Arrow et al. [2004] は、世界各国の生産基盤の構成要素の変化について分析を行い、一部のアフリカ諸国などでは、天然資源の減少を補うだけの有形資本や人的資本の蓄積が進んでおらず、持続可能性条件が満たされていない、と報告している。

Arrow et al. [2004] をはじめとする多くの研究は、経済成長に不確実性の無い設定を考えている。一方、近年の研究では、経済成長の不確実性と持続可能性条件の関係に関する理論的分析が進展している。たとえば、Campbell and Martin [2021] は、消費成長率が確率的に変動する連続時間モデルに基づいて、持続可能性条件を満たす資産消費比率 ($\theta_t = C_t/W_t$) と、それに対応する割引率を解析的に導出している⁴⁹。とくに、持続可能性条件を満たす資産消費比率の最大値 θ_{sus} は、純粋時間割引率 ρ によらず、消費の成長率や不確実性に関するパラメータから定まる定数となる。これは、消費の成長率などから定まる閾値よりも多く消費してしまうと持続可能性条件が満たされないという、直感的な結果である。また、持続可能性条件を考慮しない場合の最適資産消費比率 θ_{unc} が、下式で与えられることを示している。

$$\theta_{unc} = \frac{\rho}{\gamma} + \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \theta_{sus} \quad (10)$$

式(10)は、 θ_{unc} が θ_{sus} と純粋時間割引率 ρ の加重平均として表されることを示しており、いくつかの重要な示唆を持つ。まず、 θ_{unc} は時間割引率 ρ が高いほど高くなる。これは、 ρ が高いほど、より現在の消費を重視することから、資産消費比率が高まると解釈可能である。次に、純粋時間割引率が $\rho > \theta_{sus}$ を満たすほど高い場合、 $\theta_{unc} > \theta_{sus}$ となる。このことは、純粋時間割引率がある一定以上の水準の場合、持続可能性の制約を考慮しない最適消費が、持続可能性条件を満たさないという意味で過剰になることを意味している。言い換えると、

⁴⁸ 規範的アプローチ・実証的アプローチとともに、Ramsey モデルにおける効用最大化原則に基づいて導出されることから、「帰結主義」の考え方に基づくものと分類される (Drupp et al. [2018])。一方、持続可能性アプローチでは、将来世代の効用水準が減少すべきではないという制約を課していることから、「義務論」の考え方に基づくものと分類される。とくに、持続可能性アプローチは、Rawls [1999] の正義論とも整合的な議論であることが指摘されている (Campbell and Martin [2021])。

⁴⁹ Campbell and Martin [2021] などでは、相対的リスク回避度が一定の CRRA 型効用関数を仮定している。このとき、最適な資産消費比率は資産の水準によらず一定となる。

制約なしの最適解が持続可能性条件を満たすためには、純粋時間割引率が十分低いこと、具体的には $\rho \leq \theta_{sus}$ となる必要があることを式(10)は示している。

Pindyck [2024] は、人口成長を考慮する形で Campbell and Martin [2021] モデルを拡張している。人口成長は、一人あたり消費への影響を通して経済厚生に直接的な影響を与えるほか、人口成長それ自体も社会厚生に影響を与えると考えられてきた。もっとも、人口増加の具体的な評価としては、(人間の生それ自体に内在的価値があることから) そもそも倫理的に望ましいとする考え方、労働力供給や技術革新の観点から望ましいとする考え方がある一方で、環境問題を悪化させることから望ましくないとする考え方も存在するなど、コンセンサスは得られていない。Pindyck [2024] は、人口成長と社会厚生との関係は、持続可能性条件に大きな影響を与えることを示している。また、もっともらしいパラメータ設定のもとでは、持続可能性条件を満たすためのコスト(持続可能性条件を考慮しない場合に得られる社会厚生との差分)は、相応の大きさとなることを示している。このため、持続可能性の達成を政策目標とするかどうかについて、十分に議論されることが望ましいと主張している。

以上でみてきたとおり、社会的割引率の設定にあたっては多数の論点が存在している。なかでも、規範的アプローチや持続可能性アプローチが示すように、世代間衡平性や人間の存在の内在的な価値に関する規範的な判断が主要な要素となっている。この点、論者によって規範的な立場に相応の違いが存在しているなかで、建設的な政策的議論を進めていくためには、どのような規範的立場がどのような政策上や社会厚生面での帰結と対応するかを、経済理論面から理解することが重要と考えられる。このほか、金融市場から得られる割引率のデータは、規範的な立場をとる場合であったとしても、有益な参照点を提供する。5.3 節でみたように、気候変動問題特有のリスク特性や時間軸の長さを踏まえると、金融市場のデータから気候変動問題に関する割引率を推計するという実証研究の次元においても、さらなる研究の発展が望まれている。

6 おわりに

本論文では、急速に研究が進展する気候ファイナンスの文献について、価格発見およびリスク移転機能、主体間の資金仲介機能、異時点間の資金配分機能という、金融市場の3つの基本的機能を切り口としてサーベイを行った。

金融市場は、将来の不確実なキャッシュフローに関する価格発見機能やリスクの移転機能を提供することが基本的な役割の一つである。気候関連リスクは、とりわけ不確実性が高く、広範囲に大きな影響を与えるリスクであることを踏まえると、金融市場が適切な価格発見機能やリスク移転機能を発揮することが重要である。この点、3節でみたように、気候変動がもたらす物理的リスクや移行リスクは、徐々に資産価格に織り込まれているとみられるものの、ミスマッチングがいまだに残存していることを示唆する研究も多くみられている。今後も、気候関連リスクへの投資家のリスク認識の高まりや、グリーン投資を志向する投資家層の拡大が進むもとの、気候関連リスクの資産価格への織り込みが進んでいくものとみられ

る。今後も、継続的に分析を積み重ねていくことで、こうした状況の進展を把握していくことは、投資家や政策当局者にとっても重要と考えられる。

気候変動の緩和や低炭素社会への移行のためには莫大な資金が必要となることから、金融市場が円滑な資金仲介機能を果たすことが期待されている。これに加えて、投資や貸出面から経済のグリーン化を促進することが期待されているほか、パリ協定をはじめとする気候変動対策目標と統合的な資産運用を行うことの重要性が指摘されており、ESG 投資やインパクト投資などの投資手法の規模は拡大傾向にある。4 節でみたとおり、こうしたサステナブル投資から非金銭的効用を得る投資家が一定数存在することや、サステナブル投資が資産価格に影響を及ぼしていることを示す実証的結果の蓄積が進んでいる。一方で、サステナブル投資が、より実効性を高めていき、低炭素社会への移行をさらに後押ししていくためには、発行体企業に対するインセンティブ面での工夫や、データ面の整備など、さまざまな課題が存在することも、近年の研究から明らかになってきている。

異時点間の資金配分機能について、金融市場で形成される金利の期間構造は、将来時点のキャッシュフローの評価と密接にかかわっている。気候変動問題の文脈では、気候変動対策に関する費用便益分析を行う際に必要となる社会的割引率と密接に関連する。5 節でみたとおり、社会的割引率の設定にあたっては、世代間衡平性などの倫理的な観点が重視されているが、これと同時に、金融市場で形成される金利の期間構造も重要な参照点となっている。社会的割引率については様々な立場が存在しており、必ずしもコンセンサスは得られていない。もっとも、金融市場のデータをもとに、実証的根拠を伴う形で将来の割引率に関する参照点を提供することは、立場にかかわらず重要な貢献であると考えられる。

なお、学術研究が指摘する今後の課題は、市場参加者が課題とする点と共通する部分が多い。たとえば、日本銀行が市場参加者などを対象として 2022 年より実施している「気候変動関連の市場機能サーベイ」では、現状は気候変動リスクの織り込みが十分ではないことや、ESG 投資家層の拡大が課題であることを指摘している（日本銀行金融市場局[2022, 2023]）。また、情報開示推進などを通じたデータのアベイラビリティの向上、データの標準化や ESG 評価基準の透明化といった、環境・ESG 関連データのカバレッジと質の拡大も課題として指摘されている。引き続き、金融実務面での進展、理論・実証両面でのファイナンス研究の知見の蓄積の両者が相俟って、気候変動対応において金融市場が重要な役割を果たしていくことが望まれる。

参考文献

- Abiry, R., Ferdinandusse, M., Ludwig, A., and Nerlich, C., “Climate Change Mitigation: How Effective Is Green Quantitative Easing?”, IMES Discussion Paper Series 2022-E-11, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, 2022.
- Acharya, V. V., Johnson, T., Sundaresan, S., and Tomunen, T., “Is Physical Climate Risk Priced? Evidence from Regional Variation in Exposure to Heat Stress”, NBER Working Paper, No. 30445, 2022
- Addoum, J. M., Eichholtz, P., Steiner, E., and Yonder, E., “Climate Change and Commercial Real Estate: Evidence from Hurricane Sandy”, *Real Estate Economics*, forthcoming, 2023.
- Alekseev, G., Giglio, S., Maingi, Q., Selgrad, J., and Stroebel, J., “A Quantity-Based Approach to Constructing Climate Risk Hedge Portfolios”, NBER Working Paper, No. 30703, 2022.
- Ambec, S. and Lanoie, P., “Does It Pay to Be Green? A Systematic Overview”, *Academy of Management Perspectives*, 22(4), pp.45–62, 2008.
- Ardia, D., Bluteau, K., Boudt, K., and Inghelbrecht, K., “Climate Change Concerns and the Performance of Green Versus Brown Stocks”, *Management Science*, 69(12), pp. 7607–7632, 2023.
- Arrow, K., Dasgupta, P., Goulder, L., Daily, G., Ehrlich, P., Heal, G., Levin, S., Maler, K.-G., Schneider, S., Starrett, D., and Walker, B., “Are We Consuming Too Much?”, *Journal of Economic Perspectives*, 18(3), pp.147–172, 2004.
- Arrow, K. J., Cropper, M. L., Gollier, C., Groom, B., Heal, G. M., Newell, R. G., Nordhaus, W. D., Pindyck, R. S., Pizer, W. A., Portney, P. R., Sterner, T., Tol, R. S. J., and Weitzman, M. L., “Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis?”, *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(2), pp.145–163, 2014.
- Aswani, J., Raghunandan, A., and Rajgopal, S., “Are Carbon Emissions Associated with Stock Returns?”, *Review of Finance*, 28(1), pp.75–106, 2024.
- Atta-Darkua, V., Glossner, S., Krueger, P., and Matos, P., “Decarbonizing Institutional Investor Portfolios: Helping to Green the Planet or Just Greening Your Portfolio?”, Working Paper, 2023.
- Avramov, D., Cheng, S., Lioui, A., and Tarelli, A., “Sustainable Investing with ESG Rating Uncertainty”, *Journal of Financial Economics*, 145(2), pp. 642–664, 2022.
- Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., and Wurgler, J., “The Pricing and Ownership of U.S. Green Bonds”, *Annual Review of Financial Economics*, 14, pp.415–437, 2022.
- Baker, S. D., Hollifield, B., and Osambela, E., “Asset Prices and Portfolios with Externalities”, *Review*

of Finance, 26(6), pp.1433–1468, 2022.

Baker, S. R., Bloom, N., and Davis, S. J., “Measuring Economic Policy Uncertainty”, *Quarterly Journal of Economics*, 131(4), pp.1593–1636, 2016.

Bakkensen, L. A. and Barrage, L., “Going Underwater? Flood Risk Belief Heterogeneity and Coastal Home Price Dynamics”, *Review of Financial Studies*, 35(8), pp.3666–3709, 2022.

Baldauf, M., Garlappi, L., and Yannelis, C., “Does Climate Change Affect Real Estate Prices? Only If You Believe In It”, *Review of Financial Studies*, 33(3), pp.1256–1295, 2020.

Bansal, R., Ochoa, M., and Kiku, D., “Climate Change and Growth Risks”, NBER Working Paper, No. 23009, 2016.

Barber, B. M., Morse, A., and Yasuda, A., “Impact Investing”, *Journal of Financial Economics*, 139(1), pp.162–185, 2021.

Barnett, M., “A Run on Fossil Fuel? Climate Change and Transition Risk”, Working Paper, 2023.

Barro, R. J., “Rare Disasters and Asset Markets in the Twentieth Century”, *Quarterly Journal of Economics*, 121(3), pp.823–866, 2006.

Bauer, M. D., Offner, E. A., and Rudebusch, G. D., “The Effect of U.S. Climate Policy on Financial Markets: An Event Study of the Inflation Reduction Act”, CESifo Working Paper No. 10739, 2023.

Bauer, M. D. and Rudebusch, G. D., “The Rising Cost of Climate Change: Evidence from the Bond Market”, *Review of Economics and Statistics*, 105(5), pp. 1255–1270, 2021.

Berg, F., Kolbel, J. F., and Rigobon, R., “Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings”, *Review of Finance*, pp. 1–30, 2022.

Berk, J. B. and van Binsbergen, J. H., “The Impact of Impact Investing”, SSRN Working Paper, 2021.

Bernstein, A., Gustafson, M. T., and Lewis, R., “Disaster on the Horizon: The Price Effect of Sea Level Rise”, *Journal of Financial Economics*, 134(2), pp.253–272, 2019.

Bessec, M. and Fouquau, J., “A Green Wave in Media, a Change of Tack in Stock Markets”, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, forthcoming, 2024.

Bingler, J. A., Kraus, M., Leippold, M., and Webersinke, N., “Cheap Talk and Cherry-Picking: What ClimateBert Has to Say on Corporate Climate Risk Disclosures”, *Finance Research Letters*, 47, pp.102776, 2022.

Bolton, P. and Kacperczyk, M., “Do Investors Care about Carbon Risk?”, *Journal of Financial Economics*, 142(2), pp.517–549, 2021.

Bolton, P. and Kacperczyk, M., “Global Pricing of Carbon-Transition Risk”, *Journal of Finance*, 78(6),

pp.3677—3754, 2023.

Boustanifar, H. and Schwarz, P., “Measuring Business Social Irresponsibility: The Case of Sin Stocks”, SSRN Working Paper, 2023.

Briere, M. and Ramelli, S., “Green Sentiment, Stock Returns, and Corporate Behavior”, SSRN Working Paper, 2022.

Broccardo, E., Hart, O., and Zingales, L., “Exit versus Voice”, *Journal of Political Economy*, 130(12), pp.3101–3145, 2022.

Bua, G., Kapp, D., Ramella, F., and Rognone, L., “Transition versus Physical Climate Risk Pricing in European Financial Markets: A Text Based Approach”, ECB Working Paper Series, No.2677, 2022.

Campbell, J. Y. and Martin, I. W. R., “Sustainability in a Risky World”, NBER Working Paper, No. 28899, 2021.

Cao, J., Goyal, A., Zhan, X., and Zhang, W. E., “Unlocking ESG Premium from Options”, SSRN Working Paper, 2023.

Carattini, S. and Sen, S., “Carbon Taxes and Stranded Assets: Evidence from Washington State”, CESifo Working Paper, No. 7785, 2019.

Cassidy, W., “Elections Have Consequences: The Impact of Political Agency on Climate Policy and Asset Prices”, Working Paper, 2024.

Ceccarelli, M., Glossner, S., and Homanen, M., “Catering through Transparency: Voluntary ESG Disclosure by Asset Managers and Fund Flows”, SSRN Working Paper, 2023.

Cenedese, G., Han, S., and Kacperczyk, M. T., “Carbon-Transition Risk and Net-Zero Portfolios”, SSRN Working Paper, 2023.

Chava, S., “Environmental Externalities and Cost of Capital”, *Management Science*, 60(9), pp.2223–2247, 2014.

Cheema-Fox, A., LaPerla, B. R., Serafeim, G., Turkington, D., and Wang, H., “Decarbonization Factors”, *Journal of Impact and ESG Investing*, 2(1), pp.47–73, 2021.

Chen, X., Garlappi, L., and Lazrak, A., “Responsible Consumption, Demand Elasticity, and the Green Premium”, Working Paper, 2023.

Cheng, G., Jondeau, E., Mojon, B., and Vayanos, D., “The Impact of Green Investors on Stock Prices”, NBER Working Paper, No. 32317, 2024.

Choi, D., Gao, Z., and Jiang, W., “Attention to Global Warming”, *Review of Financial Studies*, 33(3), pp.1112–1145, 2020.

- Cline, W. R., *The Economics of Global Warming*, Columbia University Press, 1992.
- Cohen, L. H., Gurun, U. G., and Nguyen, Q. H., “The ESG-Innovation Disconnect: Evidence from Green Patenting”, NBER Working Paper, No. 27990, 2024.
- Correa, R., He, A., Herpfer, C., and Lel, U., “The Rising Tide Lifts Some Interest Rates: Climate Change, Natural Disasters, and Loan Pricing”, International Finance Discussion Papers, No. 1345, Board of Governors of the Federal Reserve System, 2022.
- Couvert, M., “What Is the Impact of Mutual Funds’ ESG Preferences on Portfolio Firms?”, Swiss Finance Institute Research Paper, No. 21-42, 2020.
- Cuculiza, C., Kumar, A., Xin, W., and Zhang, C., Climate Sensitivity, Mispricing, and Predictable Returns, Working Paper, 2022.
- Del Negro, M., Di Giovanni, J., and Dogra, K., “Is the Green Transition Inflationary?”, Federal Reserve Bank of New York Staff Reports, No. 1053, 2023.
- Diluiso, F., Annicchiarico, B., Kalkuhl, M., and Minx, J. C., “Climate Actions and Macro-Financial Stability: The Role of Central Banks”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 110, 102548, 2021.
- Dimson, E., Karakaş, O., and Li, X., “Active Ownership”, *Review of Financial Studies*, 28(12), pp.3225–3268, 2015.
- Dorfleitner, G., Utz, S., and Zhang, R., “The Pricing of Green Bonds: External Reviews and the Shades of Green”, *Review of Managerial Science*, 16(3), pp.797–834, 2022.
- Drupp, M. A., Freeman, M. C., Groom, B., and Nesje, F., “Discounting Disentangled”, *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(4), pp.109–134, 2018.
- Du, D. and Karolyi, S. A., “Energy Transitions and Household Finance: Evidence from U.S. Coal Mining”, *The Review of Corporate Finance Studies*, 12(4), pp.723–760, 2023.
- Duchin, R., Gao, J., and Xu, Q., “Sustainability or Greenwashing: Evidence from the Asset Market for Industrial Pollution”, Working Paper, 2022.
- Edmans, A., Levit, D., and Schneemeier, J., “Socially Responsible Divestment”, ECGI Working Paper Series in Finance, No. 823/2022, 2023.
- El Ghouli, S., Guedhami, O., Kwok, C. C., and Mishra, D. R., “Does Corporate Social Responsibility Affect the Cost of Capital?”, *Journal of Banking & Finance*, 35(9), pp.2388–2406, 2011.
- Engle, R., Giglio, S., Lee, H., Kelly, B., and Stroebel, J., “Hedging Climate Change News”, *Review of Financial Studies*, 33(3), pp.1184–1216, 2020.

European Central Bank (ECB), “The ECB’s Monetary Policy Strategy Statement”, European Central Bank, 2021.

Fabozzi, F. J., Ma, K., and Oliphant, B. J., “Sin Stock Returns”, *Journal of Portfolio Management*, 35(1), pp.82–94, 2008.

Faccini, R., Matin, R., and Skiadopoulos, G., “Dissecting Climate Risks: Are They Reflected in Stock Prices?”, *Journal of Banking & Finance*, 155, 106948, 2023.

Fama, E. F. and French, K. R., “Disagreement, Tastes, and Asset Prices”, *Journal of Financial Economics*, 83, pp.667–689, 2007.

Fatica, S., Panzica, R., and Rancan, M., “The Pricing of Green Bonds: Are Financial Institutions Special?”, *Journal of Financial Stability*, 54, 100873, 2021.

Ferrari, A. and Nispi Landi, V., “Whatever It Takes to Save the Planet? Central Banks and Unconventional Green Policy”, *Macroeconomic Dynamics*, 28(2), pp.299–324, 2024.

Flammer, C., “Corporate Green Bonds”, *Journal of Financial Economics*, 142(2), pp.499–516, 2021.

Frazzini, A. and Pedersen, L. H., “Betting Against Beta”, *Journal of Financial Economics*, 111(1), pp.1–25, 2014.

Fricke, D., Jank, S., and Meinerding, C., Who Finances the Green Transition? Evidence from the Green Bond Market, SSRN Working Paper, 2024.

Friede, G., Busch, T., and Bassen, A., “ESG and Financial Performance: Aggregated Evidence from More than 2000 Empirical Studies”, *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 5(4), pp.210–233, 2015.

Friedman, M., “A Friedman Doctrine– The Social Responsibility of Business Is to Maximise Its Profits”, *New York Times Magazine*, p. 33, 1970.

Furukawa, K., Ichiue, H., and Shiraki, N., “How Does Climate Change Interact with the Financial System? A Survey”, Bank of Japan Working Paper Series, 20-E-8, 2020.

Gertler, M. and Karadi, P., “A Model of Unconventional Monetary Policy”, *Journal of Monetary Economics*, 58(1), pp.17–34, 2011.

Giannetti, M., Jasova, M., Loumiotis, M., and Mendicino, C., “‘Glossy Green’ Banks: The Disconnect Between Environmental Disclosures and Lending Activities”, Working Paper, 2023.

Giglio, S., Kelly, B., and Stroebe, J., “Climate Finance”, *Annual Review of Financial Economics*, 13, pp.15–36, 2021.

Giglio, S., Maggiori, M., Rao, K., Stroebe, J., and Weber, A., “Climate Change and Long-Run

- Discount Rates: Evidence from Real Estate”, *Review of Financial Studies*, 34, pp. 3527–3571, 2021.
- Ginglinger, E. and Moreau, Q., “Climate Risk and Capital Structure”, *Management Science*, 69(12), pp. 7352–7398, 2023.
- Giovanardi, F., Kaldorf, M., Radke, L., and Wicknig, F., “The Preferential Treatment of Green Bonds”, *Review of Economic Dynamics*, 51, 657676, 2023.
- Goldsmith-Pinkham, P., Gustafson, M., Lewis, R., and Schwert, M., “Sea Level Rise Exposure and Municipal Bond Yields”, *Review of Financial Studies*, 36, pp. 4588–4635, 2023.
- Gollier, C., *Pricing the Planet’s Future: The Economics of Discounting in an Uncertain World*, Princeton University Press, 2012.
- Golosov, M., Hassler, J., Krusell, P., and Tsyvinski, A., “Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium”, *Econometrica*, 82(1), pp.41–88, 2014.
- Gosling, T. and MacNeil, I., “Can Investors Save the Planet? NZAMI and Fiduciary Duty”, *Capital Markets Law Journal*, 18(2), pp.172–193, 2023.
- Group of Twenty (G20), “2023 G20 Sustainable Finance Report Volume I”, 2023.
- Hallstrom, D. G. and Smith, V. K., “Market Responses to Hurricanes”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 50(3), pp.541–561, 2005.
- Hartzmark, S. M. and Shue, K., “Counterproductive Sustainable Investing: The Impact Elasticity of Brown and Green Firms”, SSRN Working Paper, 2023.
- Hartzmark, S. M. and Sussman, A. B., “Do Investors Value Sustainability? A Natural Experiment Examining Ranking and Fund Flows”, *Journal of Finance*, 74(6), pp.2789–2837, 2019.
- Heinkel, R., Kraus, A., and Zechner, J., “The Effect of Green Investment on Corporate Behavior”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 36(4), pp.431–449, 2001.
- Hengge, M., Panizza, U., and Varghese, R., “Carbon Policy Surprises and Stock Returns: Signals from Financial Markets”, IMF Working Paper, WP/23/13, 2023.
- Hino, M. and Burke, M., “The Effect of Information about Climate Risk on Property Values”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17), e2003374118, 2021.
- Hiraki, K., Kaneda, N., Kimata, T., and Matsue, T., “Climate Change News Indices: Are They Reflected in Japanese Stock Prices?”, IMES Discussion Paper Series, forthcoming, 2024.
- Hong, H. and Kacperczyk, M., “The Price of Sin: The Effects of Social Norms on Markets”, *Journal of Financial Economics*, 93, pp.15–36, 2009.
- Hong, H., Li, F. W., and Xu, J., “Climate Risks and Market Efficiency”, *Journal of Econometrics*,

208(1), pp.265–281, 2019.

Hsu, P.-H., Li, K., and Tsou, C.-Y., “The Pollution Premium”, *Journal of Finance*, 78(3), pp. 1343–1392, 2023.

Huynh, T. D. and Xia, Y., “Climate Change News Risk and Corporate Bond Returns”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 56(6), pp.1985–2009, 2021.

Ilhan, E., Sautner, Z., and Vilkov, G., “Carbon Tail Risk”, *Review of Financial Studies*, 34(3), pp.1540–1571, 2021.

In, S. Y., Park, K. Y., and Monk, A., “Is ‘Being Green’ Rewarded in the Market?: An Empirical Investigation of Decarbonization and Stock Returns”, SSRN Working Paper, 2019.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers”, Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2021.

International Monetary Fund (IMF), “Scaling up Private Climate Finance in Emerging Market and Developing Economies: Challenges and Opportunities”, *Global Financial Stability Report*, October 2022, 2022.

International Monetary Fund (IMF), “Financial Sector Policies to Unlock Private Climate Finance in Emerging Market and Developing Economies”, *Global Financial Stability Report*, October 2023, 2023a.

International Monetary Fund (IMF), “The Natural Rate of Interest: Drivers and Implications for Policy”, *World Economic Outlook*, April 2023, 2023b.

Jagannathan, R., Kim, S., McDonald, R., and Xia, S., Environmental Activism: Endogenous Risk and Asset Prices, Working Paper, 2023.

Jensen, M. and Meckling, W., “Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure”, *Journal of Financial Economics*, 3, pp.305–360, 1976.

Kacperczyk, M. T. and Peydro, J.-L., Carbon Emissions and the Bank-Lending Channel, SSRN Working Paper, 2022.

Känzig, D. R., “The Unequal Economic Consequences of Carbon Pricing”, Working Paper, 2023.

Kapfhammer, F., Larsen, V., and Thorsrud, L. A., “Climate Risk and Commodity Currencies”, SSRN Working Paper, 2020.

Kapraun, J. and Scheins, C., “(In)-Credibly Green: Which Bonds Trade at a Green Bond Premium?”, SSRN Working Paper, 2021.

Karolyi, G. A., Wu, Y., and Xiong, W. W., “Understanding the Global Equity Greenium”, SSRN Working Paper, 2023.

Keenan, J. M., Hill, T., and Gumber, A., “Climate Gentrification: From Theory to Empiricism in Miami-Dade County, Florida”, *Environmental Research Letters*, 13(5), 054001, 2018.

Krueger, P., Sautner, Z., and Starks, L. T., “The Importance of Climate Risks for Institutional Investors”, *Review of Financial Studies*, 33(3), pp.1068–1111, 2020.

Lanteri, A. and Rampini, A. A., Financing the Adoption of Clean Technology, Working Paper, 2023.

Larcker, D. F. and Watts, E. M., “Where’s the Greenium?”, *Journal of Accounting and Economics*, 69(2-3), 101312, 2020.

Lintner, J., “The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets”, *Review of Economics and Statistics*, 47(1), pp.13–37, 1965.

McCahery, J. A., Sautner, Z., and Starks, L. T., “Behind the Scenes: The Corporate Governance Preferences of Institutional Investors”, *Journal of Finance*, 71(6), pp.2905–2932, 2016.

Mossin, J., “Equilibrium in a Capital Asset Market”, *Econometrica*, 34(4), pp.768, 1966.

Muller, N. and Hopkins, C., “Hurricane Katrina Floods New Jersey: The Role of Information in the Market Response to Flood Risk”, NBER Working Paper, No. 25984, 2019.

Murfin, J. and Spiegel, M., “Is the Risk of Sea Level Rise Capitalized in Residential Real Estate?”, *Review of Financial Studies*, 33(3), pp.1217–1255, 2020.

Nakov, A. and Thomas, C., “Climate-Conscious Monetary Policy”, ECB Working Paper Series, No. 2845, 2023.

Network for Greening the Financial System (NGFS), “Nature-Related Financial Risks: A Conceptual Framework to Guide Action by Central Banks and Supervisors”, Network for Greening the Financial System Technical document, 2023.

Newell, R. G. and Pizer, W. A., “Discounting the Distant Future: How Much Do Uncertain Rates Increase Valuations?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 46(1), pp.52–71, 2003.

Nguyen, J. H. and Phan, H. V., “Carbon Risk and Corporate Capital Structure”, *Journal of Corporate Finance*, 64, 101713, 2020.

Noels, J., Pouille, C., Jachnik, R., and Rocha, M., “Climate change mitigation scenarios for financial sector target setting and alignment assessment: A stocktake and analysis of their Paris-consistency, practicality and assumptions”, OECD Environment Working Papers, ENV/WKP(2023)15, Organisation for Economic Co-operation and Development, 2023.

- Nordhaus, W. D., *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, 1994.
- Nordhaus, W. D., “A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change”, *Journal of Economic Literature*, 45, pp.686–702, 2007.
- Nordhaus, W. D., *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, 2008.
- Nordhaus, W. D., “Revisiting the Social Cost of Carbon”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), pp.1518–1523, 2017.
- Nordhaus, W. D., “Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics”, *American Economic Review*, 109(6), pp.1991–2014, 2019.
- Obstfeld, M., “The Mayekawa Lecture: Perspectives on \bar{r} and r^* ”, *Monetary and Economic Studies*, 41, pp.31–48, 2023.
- Oehmke, M. and Opp, M. M., “A Theory of Socially Responsible Investment”, *Review of Economic Studies*, forthcoming, 2024.
- Olovsson, C. and Vestin, D., “Greenflation?”, Sveriges Riksbank Working Paper Series, No. 420, 2023.
- Onishi, J., Deng, Y., and Shimizu, C., “Green Premium in the Tokyo Office Rent Market”, *Sustainability*, 13(21), 12227, 2021.
- Painter, M., “An Inconvenient Cost: The Effects of Climate Change on Municipal Bonds”, *Journal of Financial Economics*, 135(2), pp.468–482, 2020.
- Papageorgiou, C., Saam, M., and Schulte, P., “Substitution between Clean and Dirty Energy Inputs: A Macroeconomic Perspective”, *Review of Economics and Statistics*, 99(2), pp.281–290, 2017.
- Papoutsis, M., Piazzesi, M., and Schneider, M., “How Unconventional Is Green Monetary Policy?”, Working Paper, 2022.
- Parise, G. and Rubin, M., “Green Window Dressing”, SSRN Working Paper, 2023.
- Pastor, L., Stambaugh, R. F., and Taylor, L. A., “Sustainable Investing in Equilibrium”, *Journal of Financial Economics*, 142(2), pp.550–571, 2021.
- Pastor, L., Stambaugh, R. F., and Taylor, L. A., “Dissecting Green Returns”, *Journal of Financial Economics*, 146(2), pp.403–424, 2022.
- Pastor, L., Stambaugh, R. F., and Taylor, L. A., “Green Tilts”, NBER Working Paper, No. 31320, 2024.
- Pedersen, L. H., Fitzgibbons, S., and Pomorski, L., “Responsible Investing: The ESG-efficient Frontier”, *Journal of Financial Economics*, 142(2), pp.572–597, 2021.

- Perez-Gonzalez, F. and Yun, H., “Risk Management and Firm Value: Evidence from Weather Derivatives”, *Journal of Finance*, 68(5), pp.2143–2176, 2013.
- Pietsch, A. and Salakhova, D., “Pricing of Green Bonds: Drivers and Dynamics of the Greenium”, ECB Working Paper Series, No. 2728, 2022.
- Pindyck, R. S., “The Social Cost of Carbon Revisited”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 94, pp.140–160, 2019.
- Pindyck, R. S., “Population, Productivity, and Sustainable Consumption”, *American Economic Journal: Macroeconomics*, forthcoming, 2024.
- Pindyck, R. S. and Wang, N., “The Economic and Policy Consequences of Catastrophes”, *American Economic Journal: Economic Policy*, 5(4), pp.306–339, 2013.
- Porter, M. and Kramer, M., “Creating Shared Value”, *Harvard Business Review*, 89(1-2), pp.62–77, 2011.
- Powell, J. H., “Statement by Chair Jerome H. Powell on Principles for Climate-Related Financial Risk Management for Large Financial Institutions”, Board of Governors of the Federal Reserve System, 2023.
- Rachel, L. and Summers, L., “On Secular Stagnation in the Industrialized World”, *Brookings Papers on Economic Activity*, Spring 2019, pp.1–54, 2019.
- Ramelli, S., Wagner, A. F., Zeckhauser, R. J., and Ziegler, A., “Investor Rewards to Climate Responsibility: Stock-Price Responses to the Opposite Shocks of the 2016 and 2020 U.S. Elections”, *Review of Corporate Finance Studies*, 10(4), pp.748–787, 2021.
- Ramsey, F. P., “A Mathematical Theory of Saving”, *Economic Journal*, 38(152), pp.543–559, 1928.
- Rawls, J., *A Theory of Justice*, revised edition, Belknap Press of Harvard University Press, 1999.
- Reghezza, A., Altunbas, Y., Marques-Ibanez, D., Rodriguez d’Acri, C., and Spaggiari, M., “Do Banks Fuel Climate Change?”, *Journal of Financial Stability*, 62, 101049, 2022.
- Renneboog, L., Ter Horst, J., and Zhang, C., “Socially Responsible Investments: Institutional Aspects, Performance, and Investor Behavior”, *Journal of Banking & Finance*, 32(9), pp.1723–1742, 2008.
- Salaber, J., “Religion and Returns in Europe”, *European Journal of Political Economy*, 32, pp.149–160, 2013.
- Sangiorgi, I. and Schopohl, L., “Explaining Green Bond Issuance Using Survey Evidence: Beyond the Greenium”, *British Accounting Review*, 55(1), 101071, 2023.
- Sauzet, M. and Zerbib, O. D., “When Green Investors Are Green Consumers”, SSRN Working Paper,

2024.

Schnabel, I., “A New Age of Energy Inflation: Climateflation, Fossilflation and Greenflation”, Speech at a panel on “Monetary Policy and Climate Change” at The ECB and its Watchers XXII Conference, 2022.

Sharpe, W. F., “Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk”, *Journal of Finance*, 19(3), pp.425–442, 1964.

Statman, M. and Glushkov, D., “Classifying and Measuring the Performance of Socially Responsible Mutual Funds”, *Journal of Portfolio Management*, 42(2), pp.140–151, 2016.

Stern, N., *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.

Stern, N. and Stiglitz, J., “The Social Cost of Carbon, Risk, Distribution, Market Failures: An Alternative Approach”, NBER Working Paper, No. 28472, 2021.

Stroebel, J. and Wurgler, J., “What Do You Think about Climate Finance?”, *Journal of Financial Economics*, 142(2), pp.487–498, 2021.

Tang, D. Y. and Zhang, Y., “Do Shareholders Benefit from Green Bonds?”, *Journal of Corporate Finance*, 61, 101427, 2020.

Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD), “Final Report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures”, 2017.

van Binsbergen, J. H. and Brøgger, A., “The Future of Emissions”, SSRN Working Paper, 2023.

Weitzman, M. L., “Gamma Discounting”, *American Economic Review*, 91(1), pp.260–271, 2001.

Weitzman, M. L., “Rare Disasters, Tail-Hedged Investments, and Risk-Adjusted Discount Rates”, NBER Working Paper, No. 18496, 2012.

Weitzman, M. L., “Fat Tails and the Social Cost of Carbon”, *American Economic Review*, 104(5), pp.544–546, 2014.

World Commission on Environment and Development, “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future”, 1987.

Zerbib, O. D., “The Effect of Pro-Environmental Preferences on Bond Prices: Evidence from Green Bonds”, *Journal of Banking & Finance*, 98, pp.39–60, 2019.

Zerbib, O. D., “A Sustainable Capital Asset Pricing Model (S-CAPM): Evidence from Environmental Integration and Sin Stock Exclusion”, *Review of Finance*, 26(6), pp. 1345–1388, 2022.

赤尾健一・大沼あゆみ・阪本浩章、「割引率は何を意味しどのように発展してきたか」、『環境経済・政策研究』、第9巻第2号、1–20頁、2016。

雨宮正佳、「気候変動と金融（日本金融学会における講演）」、2022.

有賀涼・五島圭一・千葉貴司、「CO2 排出量と企業パフォーマンス：Double Machine Learning を用いた日本の実証研究」、IMES Discussion Paper Series、2021-J-11、日本銀行金融研究所、2021.

有賀涼・池田大輔・篠原武史・笛木琢治・武藤一郎・米山俊一、「『気候変動の経済学』：欧米における主要研究の紹介」、『金融研究』、第 41 巻第 3 号、88-122 頁、2022.

伊藤敬介、「グリーン企業のリターンが高いのはいつか」、『証券アナリストジャーナル』、第 61 巻第 3 号、46-52 頁、2023.

企業年金連合会、「資産運用会社におけるスチュワードシップ活動に関する実態調査（資産運用会社へのアンケート調査結果）」、2023.

久保太基・小田剛正「本邦株式市場における気候関連要因の反映状況 一 個別銘柄株価にもとづく定量分析一」、『日銀レビュー』、2023-J-4、2023.

五島圭一・八木厚樹、「東京株式市場におけるカーボンプレミアム」、『証券アナリストジャーナル』、第 60 巻第 8 号、67-80 頁、2022.

小菌めぐみ、「ESG 投資と機関投資家の受託者責任の関係についての一考察：英国における取締役の義務の捉え方を足掛かりとして」、IMES Discussion Paper Series、2020-J-12、日本銀行金融研究所、2020.

齋藤良太、「首都圏における浸水危険性の地価等への影響」、『住宅土地経済』、第 58 号、19-27 頁、2005.

佐々木隆文、「気候変動リスクとリスクプレミアム」、『証券アナリストジャーナル』、第 61 巻第 10 号、48-53 頁、2023.

佐藤慶一・松浦広明・田中陽三・永松伸吾・大井昌弘・大原美保・廣井悠、「災害リスク情報と不動産市場のヘドニック分析」、ESRI Discussion Paper Series、No. 327、内閣府経済社会総合研究所、2016.

篠原武史・奥田達志・中島上智、「マクロ経済に関する不確実性指標の特性について」、日本銀行ワーキングペーパーシリーズ、20-J-7、日本銀行、2020.

竹山梓・松井祐依・南井敬晶、「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 —」、日本銀行ワーキングペーパーシリーズ、23-J-8、日本銀行、2023.

新倉広子・内山朋規・角間和男、「サステナブル投資の機能とポートフォリオ選択への応用」、『証券アナリストジャーナル』、第 61 巻第 10 号、85-99 頁、2023.

日本銀行、「気候変動に関する日本銀行の取り組み方針について」、2021.

日本銀行、「FOCUS→BOJ[39] 日本銀行の気候変動に関する取り組み 総力戦で世界が直面する課題に挑む日本銀行の気候連携ハブ」、『にちぎん』、No.69、2022 年春号、22-27 頁、2022.

日本銀行金融研究所、「気候変動の経済学 初回号:気候変動とマクロ経済の関係を捉える」、『金研ニューズレター』、日本銀行金融研究所、2021a.

日本銀行金融研究所、「気候変動の経済学 第 2 号:気候変動と最適課税」、『金研ニューズレター』、日本銀行金融研究所、2021b.

日本銀行金融市場局、「気候変動関連の市場機能サーベイ (第 2 回) 調査結果—市場機能向上の進展状況と今後の課題—」、日本銀行調査論文、2022.

日本銀行金融市場局、「気候変動関連の市場機能サーベイ (第 1 回) 調査結果—市場機能向上の進展状況と今後の課題—」、日本銀行調査論文、2023.

森英高・西村洋紀・谷口守、「水害リスク情報提示が地価の変動に与える影響 —『地先の安全度マップ』を活用して—」、『公益社団法人日本都市計画学会都市計画報告集』、第 14 巻、276-280 頁、2016.

湯山智教・白須洋子・森平爽一郎、「ESG 開示スコアとパフォーマンス」、『証券アナリストジャーナル』、第 57 巻第 10 号、72-83 頁、2019.

湯山智教・白須洋子・森平爽一郎、「ESG スコアに関する実証分析」、青山学院大学経済研究所ワーキングペーパー第 13 号、2020-3、2020.