

大規模言語モデルによる気候変動対応評価と株式リターン

沖本竜義* 五島圭一† 八木厚樹‡

概要

本研究は、大規模言語モデル (LLM) を用いて有価証券報告書から企業の気候変動対応指標を構築し、株式リターンとの関係を分析する。2015 年から 2025 年までの有価証券報告書と月次株式リターンを用いた実証分析の結果、気候変動対応の水準が高い企業および前年から対応を改善した企業ほど、その後の株式リターンが高い傾向が確認された。一方、気候変動リスクへの曝露度については一貫した有意性は確認されなかった。さらに、対応指標に基づくロング・ショート戦略では有意なアルファが観察された。これらの結果は、気候変動対応に関する開示情報が株式市場において有用な情報を含む可能性を示唆している。

キーワード: 有価証券報告書、気候変動対応、気候変動曝露、株式リターン、LLM、テキスト分析

1 はじめに

気候変動は、企業および金融市場に影響を及ぼす最も重要な経済的リスク要因の一つとして注目されている。より詳細には、気温上昇や異常気象といった物理的リスクに加え、気候政策、技術革新、消費者選好の変化から生じる移行リスクは、企業のキャッシュフロー、投資機会、資金調達条件を決定する要因となっている。その結果、気候関連リスクが企業行動および財務パフォーマンスにどのように反映されるのかを理解することは、ファイナンス分野における中心的課題となっている。

近年の多くの研究は、物理的リスクと移行リスクの双方が、企業の期待キャッシュフローおよび割引率を通じて資産価格に織り込まれ、最終的には資本コストに影響を及ぼしていることを示している。物理的リスクについては、[Addoum et al. \(2023\)](#) が、短期的な気温ショックが業種レベルの利益に影響を与え、それが株式リターンに反映されることを示している。これを補完するものとして、[Pankratz et al. \(2023\)](#) は、企業レベルの猛暑リスク指標を構築し、より高い猛暑リスクが営業パフォーマンスを低下させ、それが投資家の決算発表時の反応に反映されることを確認している。また、実物資産価格に関する研究は、市場が長期的な物理的気候リスクも価格付けしていることを示唆している。例えば、[Bernstein et al. \(2019\)](#) は、海面上昇リスクにさらされている住宅物件が割安価格で取引されていることを示し、[Baldauf et al. \(2020\)](#) は、この価格ディスカウントが長期的な気候変動リスクに関する地域的信念に依存していることを明らかにしている。同様に、[Giglio et al. \(2021\)](#) は、不動産キャッシュフロー請求権を用いて、気候変動の影響評価に関する長期割引率を推計している。さらに資産価格を超えた分析として、[Pankratz and Schiller \(2024\)](#) は、物理的気候リスクがグローバルなサプライチェーンを通じて波及し、営業パフォーマンスを低下させるとともに、企業にサプライヤー関係の適応を促すことを示し、気候リスクの実体経済への影響を浮き彫りにしている。

*慶應義塾大学. E-mail: tatsuyoshi.okimoto@gmail. :: com

†横浜国立大学. E-mail: goshima-keiichi-vh@ynu.ac.jp

‡Asset Management One USA Inc. E-mail: atsuki.yagi@am-one-usa.com

移行リスクについては、Chava (2014) が、環境上の懸念を抱える企業は資本コストがより高くなることを確認し、環境外部性のリスクが資金調達条件に影響することを強調している。これと整合的な研究として、Bolton and Kacperczyk (2021) は、炭素排出量の多い企業がより高い期待リターンを実現している傾向にあることを示し、炭素リスク・プレミアムが存在する証拠と解釈している。Bolton and Kacperczyk (2023) は、この結果を国際的に拡張し、炭素移行リスクがグローバルな体系的リスク要因として価格付けされている可能性を示している。また、Ilhan et al. (2021) は、オプションのインプライド指標を用いて、炭素集約的なビジネスモデルを有する企業ほど下方テールリスクに対するヘッジコストが高いことを確認し、特に気候変動への社会的関心が高まる局面において、その傾向が顕著であることを報告している。これは、移行関連のテールリスクがオプション市場に反映されていることを示唆していると言える。同様に、Li et al. (2023) は、環境政策レジームの不確実性に関連した有意な汚染プレミアムの存在を示し、規制変化に対するリスクが体系的リスク・プレミアムを伴うことを明らかにしている。投資家の観点からは、Krueger et al. (2020) が、機関投資家が気候リスクを財務的に重要であると認識し、ポートフォリオ決定に組み込んでいることを示しており、移行リスクが要求リターンおよび企業の資本コストに影響する可能性を議論している。

気候リスクが信用市場にも影響を及ぼすことを示唆する研究も拡大している。例えば、Capasso et al. (2020) は、炭素排出量の多い企業ほど社債スプレッドが拡大することを示し、移行リスクが社債市場に反映されている可能性を明らかにしている。同様に、Okimoto and Takaoka (2024) は、日本企業のクレジット・デフォルト・スワップ (CDS) データを用いて、炭素排出量と CDS スプレッドの関係が時間とともに変化していることを確認している。具体的には、2000 年代後半、排出量は CDS スプレッドと負の関係にあったが、投資家の ESG 意識の高まりとともにこの負の関係は弱まり、2010 年代後半には一部のセクターでは正に転じることもあり、CDS 市場において炭素リスク・プレミアムが形成されつつあることを報告している。銀行貸出に焦点を当てた Delis et al. (2024) は、気候政策リスクが大きい企業、特に厳格な規制の下で座礁資産となり得る化石燃料保有量が多い企業ほどシンジケートローン・スプレッドが拡大することを示している。これは、銀行が気候政策の不確実性に関連する将来的な移行リスクを価格付けしていることを示唆している。

この分野における重要な方法論的進歩の一つは、細かな開示情報から企業レベルの気候リスクを定量化するテキスト分析手法の活用である。Loughran and McDonald (2011) は、テキスト分析を用いて、企業報告書から体系的かつ経済的に意味のある情報が抽出可能であることを示した先駆的な研究であり、それ以降、多くの研究が先見的な気候リスクを評価するテキスト指標を開発している。例えば、Sautner et al. (2023a) は、決算説明会の議事録から企業レベルの気候変動リスク指標を構築し、それが企業の政策や市場の評価に関して情報を有することを確認している。さらに Sautner et al. (2023b) は、企業レベルの気候リスクに関連する時变的なリスク・プレミアムを推計し、テキスト分析に基づく気候リスクが資本市場で価格付けされている証拠を示している。より一般的に、年次報告書から抽出した財務制約指標 (Buehlmaier and Whited, 2018) や、決算説明会に基づく企業レベルの政治リスク指標 (Hassan et al., 2019) など、テキスト分析手法は、資産価格と関連する企業特性の測定に活用されている。概ね、これらの研究は、詳細な開示情報が気候関連リスクを定量化する体系的な基盤を提供し、企業や期待リターンの評価に重要であることを報告している。

しかしながら、既存研究は主としてリスクへの「曝露」に焦点を当てており、リスクへの「対応」には十分に着目してこなかった。曝露指標は企業の気候リスクに対する外生的な脆弱性を捉えるが、企業がどのようにそれらのリスクを管理・軽減し、戦略的に適応しているかまでは明らかにしていない。経済学的な観点からは、この区別は極めて重要である。同程度の気候リスクに直面する企業であっても、排出削減、ガバナンス改革、技術投資、適応計画などに関して、大きく異なる戦略を採用する場合があり、それが将来のキャッシュフローやリスク特性に異質性をもたらす可能性がある。例

えば、Khan et al. (2016) は、財務的に重要なサステナビリティ課題に沿った投資が優れた業績と関連することを確認している。気候リスクへの曝露が類似する企業の間でも、対応の質・具体性・戦略的統合度によって将来キャッシュフローやリスク特性が異なるならば、対応情報は期待リターンの横断的差異を説明する要因となり得る。

このような問題を背景に、本研究の中心的な問いは「有価証券報告書から観察される企業の気候変動への対応水準と改善は、気候リスクへの曝露とは独立して株式リターンと関連するか」である。具体的には、まず、公式な規制開示書類において、企業がリスク軽減策や適応戦略をどの程度具体的に明示しているかを捉える対応指標（Response）を主たる関心変数として構築する。次に、対応情報と曝露情報を区別するため、企業が気候変動から受ける影響の大きさを捉える曝露指標（Exposure）も構築し、同時に回帰モデルに導入する。曝露をコントロールしたうえで対応の係数が有意であれば、それは開示上観察される対応情報が、既存の企業特性や気候曝露指標では捉えきれない株式リターン情報を含んでいる可能性と整合的である。気候対応は、一方では規制不確実性や下方リスクを低減し、要求リターンを低下させる可能性がある。他方で、将来キャッシュフローの改善、成長機会の拡大、または市場による不完全な情報反映を通じて、事後的な株式リターンと正に関連する可能性もある。一方、気候関連投資は短期的な調整コストを伴うため、そのコストが大きいと判断されれば、株式リターンは低下する可能性もある。したがって、係数の符号と有意性はいずれも実証的に検証すべき問題であり、本稿はこの点に対して新たな証拠を提供するものである。

気候変動リスク評価、サステナビリティ会計、テキスト分析の知見を統合することで、本研究は三つの点で文献に貢献する。第一に、規制開示文書から経済的に意味のある情報を抽出するために、LLM ベースのテキスト分析を提案する。第二に、既存研究が主に焦点を当ててきた気候リスクへの曝露ではなく、有価証券報告書から観察される企業の気候変動に対する戦略的対応を主たる関心変数として評価する対応指標を構築し、曝露をコントロールしたうえで対応情報と株式リターンの関係を検証する。第三に、提案した手法を日本企業の有価証券報告書に応用し、株式リターンとの関係を調べることで、新たな実証的証拠を提供する。

本研究の結果は、以下のようにまとめられる。まず、本研究で構築した気候変動対応指標は平均的に上昇傾向が見られるものの、企業や業種でばらつきが見られ、気候変動への対応開示の異質性を捉えていることが示唆された。次に、気候変動曝露指標をコントロールしたうえでも、気候変動対応指標と株式リターンの間に一貫した正の関係が確認された。一方、曝露指標については、一部の移行リスク曝露で限定的な有意性が観察されるものの、対応指標ほど一貫した正の関係は確認されない。さらに、業種別分析では、金融・保険業で対応水準との関係が特に強く、非製造業においても移行リスク対応および総合評価で有意な正の関係が確認されるなど、対応情報と株式リターンの関係が業種特性に依存することも明らかになった。加えて、気候変動対応指標に基づくロング・ショート戦略は、7ファクターモデル制御後も有意な正のアルファを生み出しており、対応を重視した投資戦略の経済的有効性も示された。

本稿の構成は以下のとおりである。2節では気候変動対応・曝露指標の構築について述べる。3節では分析デザイン、4節ではデータ、5節ではパネル回帰・業種別異質性分析・ロング・ショート戦略による分析結果を報告する。6節では結論をまとめる。

2 気候変動指標の構築

本研究の主たる関心は、有価証券報告書から観察される企業の気候変動への「対応（Response）」が、リスクへの「曝露（Exposure）」とは独立して株式リターンと関連するかどうかにある。気候対応は企業の内生的選択であり、投資行動、リスク管理体制、ガバナンス設計、資本配分方針などを通

じて将来キャッシュフローおよびリスク特性に影響を及ぼし得る。一方、気候曝露は企業の外生的な脆弱性、すなわち気候変動が事業・財務にどの程度影響するかを示す概念であり、対応情報の独立した関連を識別するためのコントロール変数として位置づける。同程度の気候リスクにさらされた企業の間でも、開示上観察される対応の質・具体性・戦略的統合度によって株式リターンとの関係が異なるならば、対応指標は曝露指標とは異なる情報を含むと考えられる。本節では、この仮説を検証するための両指標の構築方法を説明する。

気候曝露指標の構築にあたっては、LLMによる段階的評価（第2.2節）を用いる。加えて、指標の頑健性を確認するため、Sautner et al. (2023a)が開発した辞書ベース・機械学習アルゴリズムを日本語の有価証券報告書に応用した代替指標も構築しており、その詳細は付録Aに示す。

企業の気候変動曝露および対応は、有価証券報告書において主としてテキスト形式で開示されている。その内容には、物理的リスクおよび移行リスクへの認識、数値目標の設定、対策の実施状況、組織体制の整備、財務戦略への統合状況など、多面的かつ文脈依存的な情報が含まれる。これらは相互に関連しながら記述されるため、実質的な曝露度や対応水準を把握するには、語彙頻度ではなく、開示内容の具体性および戦略的統合度を総合的に評価する必要がある。

従来の辞書ベースの分析では、特定キーワードの出現頻度に基づく指標構築が一般的であった。しかし、この方法では、抽象的な方針表明と、KPI設定や財務影響の定量化を伴う実質的な戦略対応とを十分に区別することが困難である。また、開示文量の増加が必ずしも実質的改善を意味しないという問題もある。

本研究では、こうした限界を克服するために大規模言語モデル（LLM）を用いる。LLMは長文テキストの文脈理解能力を有し、研究者が事前に設計した明示的な評価基準を一貫して適用することが可能である。本研究では評価基準を固定した上で全企業・全年度に適用しており、LLMは基準を生成するのではなく、統一的に適用する評価装置として機能する。

さらに、本研究では単年度水準のみならず、前年からの質的变化も測定する。そのため、企業の前年および当年の開示テキストを同時に提示し、到達水準（Level）と進展度（Change）を比較評価する枠組みを採用する。

分析対象は、日本企業の有価証券報告書である。各企業について連続する前年および当年の報告書を取得し、気候変動に関連する記述を抽出した。対象セクションは「事業等のリスク」である。したがって、本研究の指標は企業の気候変動対応や曝露の全体像ではなく、リスク開示に表れる対応水準および曝露認識を捉える開示ベースの指標として解釈する必要がある。抽出したテキストは前処理を施し、企業ごとに前年・当年のテキストペアを構築した。

本研究では、評価の頑健性を確保するため、Google Gemini（API model: gemini-2.5-flash）を主たるモデルとして使用する。加えて、OpenAI GPT-5 mini（API model: gpt-5-mini）を用いた結果を付録Bに示し、主要結果がモデル選択に依存しないことを確認する。LLM評価では、評価基準と出力形式を固定し、全企業・全年度に同一プロンプトを適用する。なお、モデルエイリアスの更新可能性や生成設定の違いが再現性に影響し得る点は、結果の解釈における留意点である。

2.1 気候変動対応指標

気候変動対応指標は、企業がリスク軽減策や適応戦略をどの程度具体的に明示しているかを捉えるものである。評価は、物理リスク対応、移行リスク対応、総合評価の三側面について実施する。各側面について、到達水準（Level）と進展度（Change）の二つの指標を生成する。到達水準は1から7の範囲で定義され、抽象的言及にとどまる段階から、シナリオ分析に基づく財務影響の定量化や資本配分への反映を含む戦略的統合段階までを区別する。進展度は-3から+3の範囲で評価し、KPI

導入、数値目標の明示、実績値開示の開始、財務影響の定量化などの質的变化を進展とみなす。単なる文量の増減や形式的修正は進展とはみなさない。

LLM への指示文では、前年および当年のテキストを同時提示し、差分を厳密に比較するよう求めた。また、バズワードへの依存を排除し、文量バイアスを抑制し、「検討中」と「実施済み」を区別するなどの評価原則を明示的に組み込んだ。出力形式は JSON 構造に限定し、すべての企業・年度に対して同一基準を適用した。本研究で使用了気候変動対応指標の評価プロンプトを以下に示す。

本研究で使用した評価プロンプト（全文）

あなたは金融機関で働く経験豊富な ESG アナリストです。
これから上場企業の有価証券報告書を精読し、各企業の気候変動リスク対応を評価します。
与えられた前年・今年のテキストを根拠として、今年の到達水準（Level）と前年差（Change）を判定してください。

【評価対象：定義】

1. 物理リスク（Physical Risk）：異常気象や気候変動に伴う物理的損害への対応状況。
2. 移行リスク（Transition Risk）：低炭素経済への移行に伴う規制・市場・技術変化への対応状況。
3. 全体評価（Overall Evaluation）：物理・移行リスクの網羅性、ガバナンス、戦略への統合度を統合した総合評価。

【入力テキスト】

同一企業の前年・今年（評価対象年）の記載です。差分と水準を厳密に読み取ってください。

【前年】（ここに前年の有価証券報告書テキストが挿入される）

【今年】（ここに今年の有価証券報告書テキストが挿入される）

【Level（到達水準：1-7）判定基準】

- 1: [None] 関連する記載がほぼない。
- 2: [Superficial] 概念的言及のみ（方針の表明、キーワードの羅列）。
- 3: [Qualitative] 定性的対応（自社への具体的な影響項目を特定・説明している）。
- 4: [Operational] 標準的対応（具体的な KPI を設定し、対策のタイムラインを提示）。
- 5: [Performance] 実装・運用（全社的な体制で運用し、単年度の実績値を継続開示）。
- 6: [Strategic] 戦略的統合（シナリオ分析による財務影響の定量化と、投資計画への反映）。
- 7: [Leader] 先進的リーダー（第三者保証、サプライチェーン全体管理、ビジネスモデル転換の実証）。

【Change（前年差：-3～+3）判定基準】

- +3: 劇的な改善（例：未記載から Level 4 以上へ、または財務影響定量化の開始）
- +2: 明確な改善（例：方針のみから具体的な KPI 導入、または実施範囲の劇的な拡大）
- +1: 部分的な進展（例：既存 KPI の解像度向上、具体策の追加、数値の更新）
- 0: 実質変化なし（例：前年の踏襲、文言の微修正、形式的な日付更新のみ）
- 1: 部分的な後退（例：記載が抽象化、一部の具体的数値や施策の消失）
- 2: 明確な後退（例：主要 KPI の削除、目標の撤回、開示範囲の大幅な縮小）
- 3: 劇的な後退（例：前年まであった詳細なリスク管理や財務影響試算の完全な消失）

【分析の鉄則（ショートカット学習抑制）】

1. バズワード加点の禁止：'TCFD' '1.5 °C' 等の用語に依存せず、具体的な実態（投資・体制・数値）を評価せよ。
2. 文量バイアスの排除：記述が増えても、内容が前年の言い換えであれば 'Change: 0' とせよ。
3. 意欲と事実の峻別：'検討中' ではなく '反映した' 等の実績を重視せよ。
4. 内部比較の徹底：前年と今年の差分を一字一句照合せよ。
5. 全体評価の論理：Overall は物理・移行の単純平均ではなく、網羅性・ガバナンス体制の具体性・戦略的一貫性を総合的に判断せよ。

【出力形式（厳守）】

余計な説明やコードブロックは一切含まず、以下の JSON 構造のみを出力せよ。

```
{
  "Physical_Risk": {"Level": 1-7, "Change": -3-3},
  "Transition_Risk": {"Level": 1-7, "Change": -3-3},
  "Overall_Evaluation": {"Level": 1-7, "Change": -3-3}
}
```

2.2 気候変動曝露指標

気候変動曝露指標は、企業が気候変動から受ける影響の大きさを捉えるものであり、企業の戦略的対応とは独立した外生的な脆弱性の代理変数として機能する。評価は、物理的曝露（Physical Exposure）、移行リスク曝露（Transition Exposure）、気候関連機会（Climate Opportunity）、および総合曝露評価（Overall Exposure）の四側面について実施する。各側面について、到達水準（Level）と進展度（Change）の二つの指標を生成する。

到達水準は1から7の範囲で定義される。1（None）は気候変動リスク・機会への実質的言及がない状態を示し、7（Critical）は気候変動が事業継続、競争力、成長性にとって中心的テーマとして扱われている状態を示す。進展度は-3から+3の範囲で評価し、記述量の変化ではなく、曝露認識・影響範囲・重要性の変化を進展とみなす。また、Climate Opportunityは単純な「良い評価」ではなく、気候関連市場・技術・需要変化への依存度として評価する点に留意が必要である。

対応指標との重要な差異として、曝露指標は企業がリスクにどれだけさらされているかを評価するものであり、対策の質や戦略的整合性は評価しない。したがって、対応指標と曝露指標を同時に回帰モデルに導入することで、曝露水準の違いをコントロールしたうえで、開示上観察される対応情報が株式リターンと独立に関連するかを検証することが可能となる。本研究でを使用した気候変動曝露指標の評価プロンプトを以下に示す。

気候変動曝露指標の評価プロンプト（全文）

あなたは金融機関で働く経験豊富な ESG アナリストです。

これから上場企業の有価証券報告書を精読し、各企業の気候変動リスク・機会への曝露度（Exposure）を評価します。

本評価は、気候変動への対応水準ではなく、企業が気候変動から受ける影響の大きさを評価するものです。与えられた前年・今年のテキストを根拠として、今年の曝露水準（Level）と前年差（Change）を判定してください。

【評価対象：定義】

1. Physical_Exposure：異常気象、水害、気温上昇、海面上昇などの物理的気候影響への曝露。
2. Transition_Exposure：炭素規制、エネルギー転換、需要変化、技術転換など、低炭素経済への移行に伴う曝露。
3. Climate_Opportunity：再エネ、省エネ、EV、低炭素材など、気候関連市場・技術・需要変化への曝露。
4. Overall_Exposure：気候変動が当該企業にとってどの程度重要な経営・財務テーマであるかの総合評価。

【入力テキスト】

同一企業の前年・今年（評価対象年）の記載です。差分と水準を厳密に読み取ってください。

【前年】（ここに前年の有価証券報告書テキストが挿入される）

【今年】（ここに今年の有価証券報告書テキストが挿入される）

【Level（到達水準：1-7）判定基準】

- 1: [None] 気候変動リスク・機会への実質的言及がない。
- 2: [Minimal] 一般論としての言及のみで、自社事業への影響は不明。
- 3: [Limited] 一部事業・地域・費用項目に限定的な影響がある。
- 4: [Moderate] 複数事業領域に関係し、経営上の重要項目として扱われている。
- 5: [High] 売上、コスト、投資、調達、需要などへの明確な影響がある。
- 6: [Very High] 気候変動リスク・機会が複数の事業・財務・戦略領域に広範に関連付けられている。
- 7: [Critical] 気候変動が事業継続、競争力、成長性にとって中心的テーマとして扱われている。

【Change（前年差：-3～+3）判定基準】

- +3: 曝露認識が劇的に増加（例：主要事業・財務への重大影響が新たに明記された）
- +2: 曝露認識が明確に増加（例：対象事業・地域・市場影響の範囲が大幅に拡大した）
- +1: 部分的な増加（例：新たなリスク・機会・影響項目が追加された）
- 0: 実質変化なし（例：文言更新のみ、説明量のみ増加、影響範囲に変化なし）
- 1: 部分的な低下（例：一部の影響記載が縮小した）
- 2: 明確な低下（例：主要な気候影響や市場影響の記載が削除・縮小された）
- 3: 劇的な低下（例：前年までの中核的な気候影響記載がほぼ消失した）

【分析の鉄則（ショートカット学習抑制）】

1. 本評価は「対応度」ではなく、「入力テキストから観察される気候変動への曝露認識」を評価する。
2. 記述量、ESG 用語、TCFD 等の枠組み導入のみで加点してはならない。
3. Change は記載量の変化ではなく、曝露認識・影響範囲・重要性の変化を評価する。
4. 業種や一般知識のみでスコアを決定してはならない。入力テキスト中の事業・財務・戦略への影響記述に基づけ。
5. Climate_Opportunity は「良い評価」ではなく、気候関連市場・技術・需要変化への依存度として評価する。

【出力形式（厳守）】

余計な説明やコードブロックは一切含まず、以下の JSON 構造のみを出力せよ。

```
{
  "Physical_Exposure": {"Level": 1-7, "Change": -3-3},
  "Transition_Exposure": {"Level": 1-7, "Change": -3-3},
  "Climate_Opportunity": {"Level": 1-7, "Change": -3-3},
  "Overall_Exposure": {"Level": 1-7, "Change": -3-3}
}
```

3 分析デザイン

第2節で構築した企業年レベルの気候変動対応指標（CR）および曝露指標（CE）が株式リターンとどのように関連するかを検証するため、月次パネルデータを用いた回帰分析を行う。分析単位は企業-月であり、被説明変数には企業 i の翌月の株式トータルリターン $R_{i,m+1}$ を用いる。

有価証券報告書は年次で提出される一方、株式リターンは月次で観察されるため、情報利用可能時点との対応付けが重要である。本研究では、企業 i について月 m の末時点で投資家が利用可能な最新の有価証券報告書に対応する会計年度を $\tau(i,m)$ と定義し、当該報告書から構築した気候変動指標を翌月リターンに対応させる。これにより、将来の開示情報を過去のリターン説明に用いる look-ahead bias を避ける。

推定する基本モデルは次式である。

$$R_{i,m+1} = \alpha + \beta_1 CE_{i,\tau(i,m)} + \beta_2 CR_{i,\tau(i,m)} + \delta' Z_{im} + \text{Sector FE} + \text{Year FE} + \text{Month FE} + \varepsilon_{i,m+1}. \quad (1)$$

ここで、 $CR_{i,\tau(i,m)}$ は月 m 時点で利用可能な最新の有価証券報告書から構築した気候変動対応指標（主たる関心変数）、 $CE_{i,\tau(i,m)}$ は同様に構築した気候変動曝露指標（識別のためのコントロール変数）、 Z_{im} はコントロール変数ベクトルである。

本研究の主要な関心は係数 β_2 にある。 $\beta_2 > 0$ かつ統計的に有意であれば、曝露水準が等しい企業の間でも、より積極的な気候対応を示す企業ほどその後の株式リターンが高いことを意味する。ただし、この関係は、将来キャッシュフローの改善、下方リスクの低減、リスクプレミアム、または市場による不完全な情報反映など、複数の経済的メカニズムと整合的であり、直ちに因果効果や市場による高評価そのものを意味するものではない。 $\beta_2 < 0$ の場合は、気候関連投資に伴う短期的コストや既に高い評価水準がリターンに反映されている可能性を示唆する。係数 β_1 は、曝露それ自体とリターンの関係を示す。曝露指標を同時に導入することで、リスク量の違いによる企業間のリターン差をコントロールしたうえで、対応情報が追加的なリターン情報を含むかどうかを検証する。気候変動曝露指標には LLM ベースの指標（第 2.2 節）を用いる。なお、Sautner et al. (2023a) 定義による辞書ベース曝露指標を用いた頑健性分析は付録 A に示す。

コントロール変数ベクトル Z_{im} には、企業特性、リスク特性、および直近のパフォーマンス指標を幅広く含める。表 1 はコントロール変数の一覧をまとめたものである。まず、企業規模を表す指標として時価総額の自然対数値を用いる。また、簿価時価比率（純資産額／時価総額）を加えることで、バリュー特性に起因する期待リターンの差異をコントロールする。企業の収益性および財務構造を捉えるため、株主資本利益率（普通株主割当純利益／普通株主資本（平残））およびレバレッジ比率（短期・長期債務／総資産）を含める。さらに、投資行動をコントロールするため、資本的支出／総資産を用いる。また、実物資産規模の代理変数として、有形固定資産（純額、減価償却累計額控除後）の自然対数値を加える。株式市場におけるリスクおよび直近パフォーマンスをコントロールするため、直近 1 年間の株式トータルリターン、直近 1 年間のマーケットリターンに対するベータ、ならびに直近 1 年間の株式トータルリターンの年率ボラティリティを含める。さらに、企業の成長性および利益変動を捉える指標として、（当年度売上高 - 前年度売上高）／前月時価総額、および（当年度 1 株当たり利益 - 前年度 1 株当たり利益）／株価を含める。これらのコントロール変数を導入することで、規模、バリュー特性、収益性、投資行動、財務構造、資産規模、リスク特性、直近パフォーマンスおよび成長性に起因するリターン差を包括的にコントロールする。

本モデルでは三種類の固定効果を導入する。Sector FE は業種固有の構造的差異（技術特性、規制環境、競争状況等）をコントロールする。Year FE は年ごとのマクロ経済環境や市場全体のショック

表 1: コントロール変数の定義一覧

変数	定義
RET	株式の月次トータルリターン.
LOGSIZE	時価総額. 自然対数値を使用.
B/M	簿価時価比率. 純資産額/時価総額.
ROE	株主資本利益率. 普通株主割当純利益/普通株主資本 (平残).
LEVERAGE	レバレッジ比率. 短期・長期債務/総資産.
INVESTMENT/ASSET	資本的支出/総資産.
LOGPPE	有形固定資産 (純額、減価償却累計額控除後). 自然対数値を使用.
MOM	直近 1 年における株式のトータルリターン.
BETA	直近 1 年におけるマーケットリターンに対するベータ.
VOL	直近 1 年における株式トータルリターンのボラティリティ (年率).
SALESGR	(当年度売上高 - 前年度売上高) / 前月時価総額.
EPSGR	(当年度 1 株当たり利益 - 前年度 1 株当たり利益) / 株価.

を吸収する。Month FE は 1 月から 12 月までの暦月に固有の季節性をコントロールする。これらを同時に導入することで、業種横断的差異および時間的変動を考慮したうえで、気候変動指標と株式リターンの関係を検証する。標準誤差は企業単位でクラスタリングする。なお、市場共通ショックに対してより保守的な推論を行うためには、年月固定効果や企業・年月の二方向クラスタ標準誤差を用いる仕様も考えられるが、本稿の主要表では年固定効果と暦月固定効果を用いた推定結果を報告する。

本研究で用いる気候変動指標の一覧を表 2 に示す。指標は、気候変動対応 (CR) と気候変動曝露 (CE) の二系統に大別される。対応指標は物理リスク・移行リスク・総合の三側面について、水準 (Level) と前年からの変化 (Δ) を測定する。曝露指標は LLM ベース (CE) と Sautner 定義 (SVVZ) の二種類を構築し、いずれも物理・移行・機会・総合の各側面を対象とする。

4 データ

本研究では、日本の上場企業を対象に、企業開示情報、株式市場データ、および財務データを統合したパネルデータを構築する。有価証券報告書の取得期間は 2015 年から 2025 年までである。ただし、Change スコアの構築には前年との比較が必要であるため、主たる評価対象年は 2016 年から 2025 年とする。気候変動対応指標および曝露指標の構築には、金融庁の EDINET より取得した有価証券報告書を用いる。株式リターンには月次株式トータルリターンを用いる。財務変数および企業特性は各企業の会計年度ベースで取得し、情報の利用可能日 (提出日) をキーとして月次リターンと整合するように対応付ける。サンプルは、(i) 有価証券報告書が取得可能であること、(ii) 株式リターンおよび必要な財務データが利用可能であること、を条件に構築する。主要変数については外れ値の影響を抑制するため、上下 0.5% でウィンザー化を行う。また、株式リターンに対しては、月次で -60% 以下もしくは 100% 超を示すものについては欠損値として処理している。業種分類については、東証業種分類 (大分類) を用いる。ただし、水産・農林業、鉱業および電気・ガス業については、サンプルサイズが他業種と比して顕著に少ないことから、業種固定効果の推定においてその他分類 (Others) として合算する。なお、業種別の係数推定 (第 5.4 節) および表 3 の集計では、主要 3 業種 (Manufacturing、Non-manufacturing、Financials) に対象を限定し、Others は含めていない。

表 2: 気候変動指標の一覧

変数名	系統	側面	定義
気候変動対応指標 (<i>Climate Response, CR</i>)			
CR_Phy	対応・水準	物理リスク	物理リスク対応の到達水準 (1~7)
CR_Tra	対応・水準	移行リスク	移行リスク対応の到達水準 (1~7)
CR_Ovr	対応・水準	総合	対応の総合的な到達水準 (1~7)
ΔCR_Phy	対応・変化	物理リスク	物理リスク対応の前年差 (-3~+3)
ΔCR_Tra	対応・変化	移行リスク	移行リスク対応の前年差 (-3~+3)
ΔCR_Ovr	対応・変化	総合	対応総合の前年差 (-3~+3)
気候変動曝露指標 (<i>Climate Exposure, CE</i>)			
CE_Phy	曝露・水準	物理リスク	物理的気候影響への曝露水準 (1~7)
CE_Tra	曝露・水準	移行リスク	移行リスクへの曝露水準 (1~7)
CE_Opp	曝露・水準	機会	気候関連機会への曝露水準 (1~7)
CE_Ovr	曝露・水準	総合	曝露の総合水準 (1~7)
ΔCE_Phy	曝露・変化	物理リスク	物理的曝露の前年差 (-3~+3)
ΔCE_Tra	曝露・変化	移行リスク	移行リスク曝露の前年差 (-3~+3)
ΔCE_Opp	曝露・変化	機会	機会曝露の前年差 (-3~+3)
ΔCE_Ovr	曝露・変化	総合	曝露総合の前年差 (-3~+3)
気候変動曝露指標 (SVVZ) — <i>Sautner et al. 2023a</i> 定義 (付録)			
SVVZ_Gen	曝露	一般	一般気候語ヒット数/総トークン数
SVVZ_Phy	曝露	物理リスク	物理リスク語ヒット数/総トークン数
SVVZ_Opp	曝露	機会	機会語ヒット数/総トークン数
SVVZ_Reg	曝露	規制	規制語ヒット数/総トークン数

気候変動対応指標 (CR) および財務変数の記述統計に用いる企業 - 月観測数は約 252,402 件である。このうち、対応指標、曝露指標、およびすべてのコントロール変数が利用可能なベースライン回帰サンプルは 252,255 件であり、主要回帰では比較可能性を確保するためこの共通サンプルを用いる。表 3 は主要 3 業種別・年度別の分析対象企業数の推移を示す。サンプル企業数は 2016 年の 1,758 社から 2024 年の 3,464 社へと増加しており、これは EDINET からの有価証券報告書の取得可能企業数の拡大を反映している。なお、2025 年については報告書の提出が完了していない企業が含まれるため、サンプル数が前年を下回っている。業種別では、非製造業 (Non-manufacturing) が一貫して最大のウェイトを占めており、製造業 (Manufacturing) がこれに次ぐ。金融・保険業 (Financials) は相対的に少数であるが、業種別分析において気候変動対応との関係が強く確認されている。表 4 は主要変数の記述統計量を示す。

表 3: 主要 3 業種別・年度別の分析対象企業数

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Manufacturing	762	960	1,025	1,147	1,192	1,194	1,205	1,263	1,348	1,237
Non-manufacturing	922	1,121	1,228	1,423	1,562	1,637	1,689	1,800	1,960	1,877
Financials	74	100	110	118	129	129	136	139	156	148
Total	1,758	2,181	2,363	2,688	2,883	2,960	3,030	3,202	3,464	3,262

株式月次リターン (RET) の平均は 0.851%、標準偏差は 10.06% であり、分布は右に歪んでいる。財務変数については、時価総額の対数 (LOGSIZE) は平均 23.8、簿価時価比率 (B/M) は平均 1.13 と分析期間中の日本株市場の特性を反映している。気候変動対応指標 (Gemini 評価) を見ると、物理リスク対応の水準スコア (CR_Phy) の平均は 2.25、移行リスク対応 (CR_Tra) は 1.55、総合評価 (CR_Ovr) は 1.84 であり、いずれも 1 から 7 のスケールにおいて低位に集中している。これは、多くの企業が依然として気候変動対応の初期段階にあることを示唆する。一方、Change スコアの平均は正であるものの小さく (overall: 0.22)、年次での改善が緩やかであることを示している。LLM ベー

スの曝露指標 (CE_Ovr) の平均は 2.30、辞書ベースの Sautner 定義による曝露指標 (SVVZ_Gen) の平均は 0.045 であり、いずれも企業間に相当のばらつきがあることが確認される。

表 4: 主要変数の記述統計量

変数	平均	標準偏差	最小値	Q1	中央値	Q3	最大値
株式月次リターン							
RET (%)	0.851	10.058	-59.938	-3.916	0.282	4.683	100.000
財務変数及び企業特性							
LOGSIZE	23.845	1.715	20.760	22.540	23.594	24.880	29.357
B/M	1.129	0.846	-0.036	0.489	0.945	1.539	4.423
ROE	0.053	0.173	-1.207	0.029	0.068	0.115	0.575
LEVERAGE (%)	18.369	17.955	0.000	2.664	13.419	29.248	79.963
INVESTMENT/ASSET	0.029	0.034	0.000	0.006	0.019	0.041	0.222
LOGPPE	22.212	3.142	0.000	20.960	22.626	23.962	28.666
MOM	0.098	0.394	-0.635	-0.128	0.033	0.234	2.437
BETA	0.782	0.401	-0.051	0.486	0.785	1.065	1.842
VOL	0.352	0.165	0.024	0.236	0.318	0.430	1.049
SALESGR	0.045	0.386	-1.898	-0.046	0.030	0.137	2.058
EPSGR	0.001	0.096	-0.518	-0.020	0.004	0.024	0.538
気候変動指標 (対応)							
CR_Phy	2.246	0.895	1.000	1.000	2.000	3.000	6.000
CR_Tra	1.549	0.927	1.000	1.000	1.000	2.000	7.000
CR_Ovr	1.838	0.889	1.000	1.000	2.000	2.000	7.000
ΔCR_Phy	0.172	0.528	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
ΔCR_Tra	0.147	0.554	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
ΔCR_Ovr	0.219	0.611	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
気候変動指標 (曝露)							
CE_Phy	2.518	1.054	1.000	2.000	2.000	3.000	7.000
CE_Tra	1.767	1.206	1.000	1.000	1.000	2.000	7.000
CE_Opp	1.336	0.906	1.000	1.000	1.000	1.000	7.000
CE_Ovr	2.302	1.243	1.000	1.000	2.000	3.000	7.000
ΔCE_Phy	0.120	0.462	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
ΔCE_Tra	0.125	0.519	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
ΔCE_Opp	0.059	0.374	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
ΔCE_Ovr	0.186	0.595	-3.000	0.000	0.000	0.000	3.000
気候変動指標 (曝露, <i>Sautner et al. 2023a</i> 定義)							
SVVZ_Gen	0.045	0.021	0.000	0.028	0.043	0.059	0.218
SVVZ_Phy	0.023	0.014	0.000	0.013	0.021	0.032	0.118
SVVZ_Opp	0.005	0.006	0.000	0.000	0.003	0.007	0.102
SVVZ_Reg	0.021	0.011	0.000	0.014	0.020	0.027	0.116

5 分析結果

5.1 気候変動対応指標の推移

図1は、気候変動対応指標の年度別平均値を示している。

2016年から2018年にかけては、物理リスク対応、移行リスク対応、および総合評価のいずれにおいても平均値はほぼ一定で推移している。総合評価は1.5前後で安定しており、前年差(Change)もほぼゼロである。この期間においては、企業の気候変動対応に顕著な進展は観察されない。

2019年には小幅な上昇が確認されるものの、変化は限定的である。これに対し、2020年には全指標で明確な水準の上昇が見られる。総合評価は1.6から2.0へと上昇し、Changeスコアも0.6と分析期間中で最大の値を示している。この結果は、2020年前後に企業の開示内容や対応戦略に実質的な強化が生じた可能性を示唆する。

2021年以降は、水準指標はやや変動しつつも概ね高止まりしており、Changeスコアは縮小している。これは、急速な改善局面を経た後、対応水準が一定の段階に到達し、追加的改善のペースが緩やかになったことを示している可能性がある。

指標の構成要素を見ると、物理リスク対応の上昇幅は移行リスク対応よりも大きく、特に2020年において顕著である。この点は、企業がまず物理的リスクへの対応強化を進め、その後移行リスク対応を段階的に拡充している可能性を示唆する。

以上の結果は、気候変動対応が分析期間を通じて非線形的に進展してきたことを示している。同時に、年度内平均値が2前後にとどまっていることは、依然として企業間で相当の異質性が存在することを示唆しており、後続の回帰分析に必要な横断的変動が存在することを確認できる。

5.2 気候変動対応と株式リターン

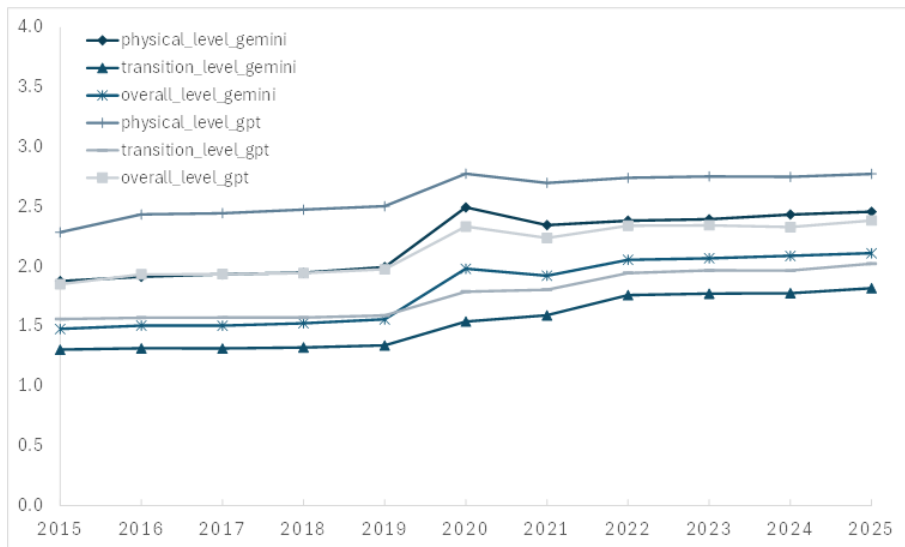
表5は、気候変動対応・曝露指標(Levelスコア)と月次株式リターンの関係を示している。推定は3つのパネルに分けて報告する。Responseパネル(列1~3)は気候変動対応指標のみを含む基本推定、Exposureパネル(列4~7)は気候変動曝露指標のみを含む推定、Response & Exposureパネル(列8~10)は両指標を同時に導入した推定である。Response & Exposureパネルでは、各対応指標に対応する同側面の曝露指標を組み合わせて導入する。すべての推定にはSector FE、Year FE、および暦月Month FEを含め、標準誤差は企業単位でクラスタリングしている。なお、[Sautner et al. \(2023a\)](#) 定義による辞書ベース曝露指標を用いた頑健性分析の結果は付録Aに示す。

まず、Responseパネルを見ると、物理リスク対応(CR_Phy)の係数は0.091(標準誤差0.050)、移行リスク対応(CR_Tra)は0.107(0.038)、総合評価(CR_Ovr)は0.152(0.054)であり、移行リスクおよび総合評価については統計的に有意な正の関係が確認される。これらの結果は、より高い気候変動対応水準を示す企業ほど月次株式リターンが高いことを示唆している。

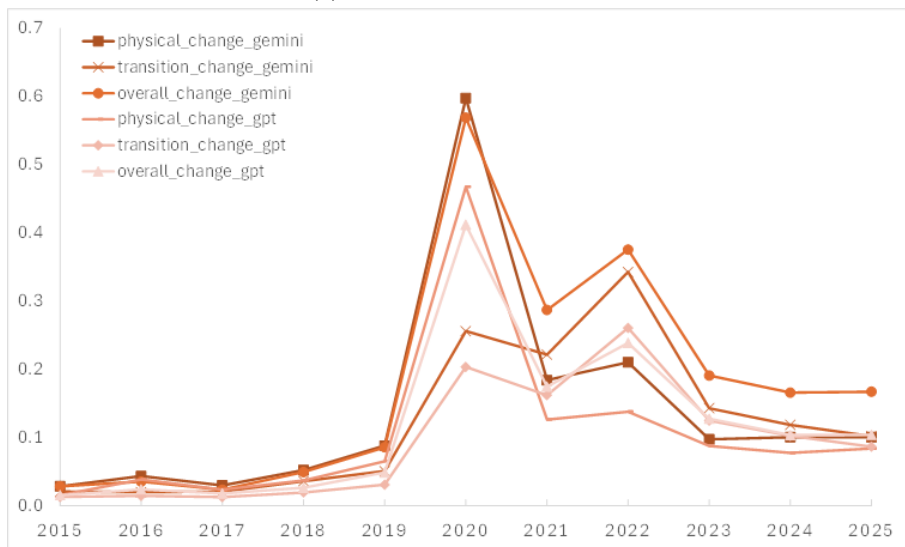
次に、Response & Exposureパネルでは、対応指標と曝露指標を同時に導入しても、対応指標の係数はResponseパネルとほぼ同一(物理:0.091、移行:0.108、総合:0.152)であり、変化しない。一方、LLMベースの曝露指標については、単独推定でCE_Traが10%水準で有意となるものの、対応指標を同時に導入した推定では、CE_Phy、CE_Tra、CE_Ovrのいずれも統計的有意性は確認されない。この結果は、気候変動対応に関する開示情報が、気候変動リスクへの曝露度とは異なる株式リターン情報を含んでいる可能性と整合的である。

コントロール変数については、企業規模(LOGSIZE)は一貫して負の係数(約-0.15~-0.18)、簿価時価比率(B/M)は正で有意(約0.47)、ベータ(BETA)は正で有意(約1.05)であるなど、

既存の資産価格文献と整合的な結果が得られている。調整済み決定係数は全列で約 2.0%であり、月次リターン回帰として標準的な水準である。



(a) 到達水準 (Level) の推移



(b) 進展度 (Change) の推移

図 1: 気候変動対応指標の年別平均の推移

表 5: 気候変動対応と株式リターン (水準スコア)

	Response			Exposure			Response & Exposure			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
CR_Phy	0.091*							0.091*		
	(0.050)							(0.050)		
CR_Tra		0.107***							0.108***	
		(0.038)							(0.038)	
CR_Ovr			0.152***							0.152***
			(0.054)							(0.054)
CE_Phy				0.000				0.000		
				(0.015)				(0.015)		
CE_Tra					0.019*				0.019	
					(0.011)				(0.012)	
CE_Ovr						0.006				0.006
						(0.011)				(0.012)
CE_Opp							0.013			
							(0.016)			
LOGSIZE	-0.159***	-0.168***	-0.175***	-0.151***	-0.151***	-0.151***	-0.151***	-0.159***	-0.168***	-0.175***
	(0.057)	(0.055)	(0.056)	(0.056)	(0.056)	(0.056)	(0.056)	(0.057)	(0.055)	(0.056)
B/M	0.476***	0.466***	0.465***	0.479***	0.479***	0.479***	0.479***	0.476***	0.466***	0.465***
	(0.079)	(0.081)	(0.081)	(0.079)	(0.079)	(0.079)	(0.079)	(0.079)	(0.081)	(0.081)
LEVERAGE (%)	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)	(0.003)
MOM	-1.023	-1.018	-1.018	-1.023	-1.023	-1.023	-1.023	-1.023	-1.018	-1.018
	(0.624)	(0.625)	(0.623)	(0.625)	(0.625)	(0.625)	(0.625)	(0.624)	(0.624)	(0.623)
INVESTMENT/ASSET	-1.382**	-1.433**	-1.461**	-1.231*	-1.233*	-1.232*	-1.232*	-1.382**	-1.434**	-1.462**
	(0.650)	(0.669)	(0.668)	(0.642)	(0.641)	(0.642)	(0.643)	(0.650)	(0.668)	(0.667)
ROE	0.129	0.136	0.143	0.110	0.111	0.110	0.110	0.129	0.137	0.143
	(0.506)	(0.502)	(0.506)	(0.499)	(0.499)	(0.499)	(0.499)	(0.506)	(0.502)	(0.506)
LOGPPE	0.044	0.044	0.042	0.048	0.048	0.048	0.048	0.044	0.044	0.042
	(0.040)	(0.041)	(0.040)	(0.042)	(0.042)	(0.042)	(0.042)	(0.040)	(0.041)	(0.040)
BETA	1.050***	1.048***	1.056***	1.044***	1.043***	1.044***	1.044***	1.050***	1.047***	1.055***
	(0.313)	(0.313)	(0.311)	(0.314)	(0.314)	(0.314)	(0.314)	(0.313)	(0.313)	(0.311)
VOL	-0.526	-0.558	-0.540	-0.546	-0.544	-0.545	-0.544	-0.526	-0.557	-0.540
	(2.007)	(1.998)	(1.997)	(2.003)	(2.002)	(2.002)	(2.002)	(2.007)	(1.998)	(1.996)
SALESGR	0.206**	0.205**	0.203**	0.205*	0.205*	0.205*	0.205*	0.206**	0.205**	0.202**
	(0.104)	(0.104)	(0.103)	(0.105)	(0.105)	(0.105)	(0.105)	(0.104)	(0.104)	(0.103)
EPSGR	-0.021	-0.018	-0.023	-0.011	-0.010	-0.010	-0.009	-0.021	-0.018	-0.022
	(0.601)	(0.602)	(0.600)	(0.600)	(0.600)	(0.600)	(0.601)	(0.602)	(0.603)	(0.600)
Year + Month FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sector FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255
Adj. R ² (%)	2.005	2.007	2.013	1.999	2.000	1.999	1.999	2.004	2.007	2.012

(図表注) 括弧内は企業単位でクラスターバスタ標準誤差である。***、**、*はそれぞれ、両側確率1%、5%、10%で回帰係数が有意であることを示している。表 6、7 も同じ。

5.3 気候変動対応の変化と株式リターン

表 6 は、気候変動対応・曝露指標の前年差 (Change スコア) と月次株式リターンの関係を示している。Change スコアは前年から当年にかけての変化を捉えるものであり、水準スコアとは独立して「改善の勢い」自体が株式リターンと関連するかを検証する。推定は水準スコアと同じく Response (列 1~3)、Exposure (列 4~7)、Response & Exposure (列 8~10) の 3 パネル構成とし、固定効果・標準誤差の処理も同様である。

Response パネルを見ると、物理リスク対応の変化 (Δ CR_Phy) の係数は 0.183 (標準誤差 0.083)、移行リスク対応 (Δ CR_Tra) は 0.132 (0.058)、総合評価 (Δ CR_Ovr) は 0.195 (0.084) であり、いずれも 5%水準で統計的に有意な正の関係が確認される。これらの結果は、気候変動対応を積極的に改善した企業ほど月次株式リターンが高いことを示しており、水準の高さのみならず改善の過程自体も株式リターン情報を含んでいる可能性を示唆する。

経済的有意性の観点では、総合評価の Change スコアの係数 0.195 は、指標が 1 単位改善した場合に月次リターンが約 0.20 パーセントポイント上昇することを意味する。この関係は年率換算では相当な大きさとなるが、因果効果や実現可能な投資収益を直ちに意味するものではない。また、水準スコア (0.152) と比較しても同程度の大きさを持つ点が注目される。

Response & Exposure パネルでは、曝露指標の Change スコア (Δ CE_Phy、 Δ CE_Tra、 Δ CE_Ovr)

を同時に導入しても、対応指標の係数は Response パネルとほぼ変わらない（物理：0.183、移行：0.132、総合：0.195）。一方、曝露指標の Change スコアはいずれも統計的に有意ではなく、対応の改善とは独立したリターンとの関係は確認されない。この結果は水準スコアの場合と整合的であり、気候変動曝露の変化よりも対応の改善の方が、より安定した株式リターン情報を含んでいる可能性を示唆する。

コントロール変数は Level スコアの推定結果と概ね一致しており、LOGSIZE・B/M・BETA が有意、INVESTMENT/ASSET および SALESGR も一部の列で有意である。調整済み決定係数は約 2.0%であり、標準的な水準である。

表 6: 気候変動対応と株式リターン (変化スコア)

	Response			Exposure			Response & Exposure			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
ΔCR_Phy	0.183** (0.083)							0.183** (0.083)		
ΔCR_Tra		0.132** (0.058)							0.132** (0.058)	
ΔCR_Ovr			0.195** (0.084)							0.195** (0.084)
ΔCE_Phy				-0.004 (0.040)				-0.005 (0.040)		
ΔCE_Tra					-0.018 (0.033)				-0.016 (0.033)	
ΔCE_Ovr						0.026 (0.026)				0.026 (0.026)
ΔCE_Opp							-0.032 (0.040)			
LOGSIZE	-0.159*** (0.058)	-0.160*** (0.058)	-0.168*** (0.059)	-0.151*** (0.056)	-0.151*** (0.056)	-0.151*** (0.056)	-0.151*** (0.056)	-0.159*** (0.058)	-0.160*** (0.058)	-0.168*** (0.059)
B/M	0.471*** (0.080)	0.471*** (0.079)	0.466*** (0.081)	0.479*** (0.079)	0.479*** (0.079)	0.479*** (0.079)	0.479*** (0.079)	0.471*** (0.080)	0.471*** (0.079)	0.466*** (0.081)
LEVERAGE (%)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
MOM	-1.018 (0.622)	-1.018 (0.624)	-1.015 (0.621)	-1.023 (0.625)	-1.023 (0.625)	-1.023 (0.625)	-1.023 (0.626)	-1.018 (0.621)	-1.019 (0.624)	-1.015 (0.621)
INVESTMENT/ASSET	-1.237* (0.638)	-1.285** (0.647)	-1.277** (0.645)	-1.232* (0.642)	-1.230* (0.642)	-1.234* (0.641)	-1.229* (0.641)	-1.237* (0.639)	-1.284** (0.647)	-1.279** (0.644)
ROE	0.108 (0.497)	0.119 (0.499)	0.116 (0.498)	0.110 (0.498)	0.110 (0.499)	0.111 (0.499)	0.111 (0.498)	0.108 (0.497)	0.119 (0.499)	0.117 (0.498)
LOGPPE	0.047 (0.041)	0.047 (0.042)	0.046 (0.041)	0.048 (0.042)	0.048 (0.042)	0.048 (0.042)	0.048 (0.042)	0.047 (0.041)	0.047 (0.042)	0.046 (0.041)
BETA	1.046*** (0.312)	1.044*** (0.313)	1.045*** (0.312)	1.044*** (0.314)	1.044*** (0.314)	1.044*** (0.314)	1.044*** (0.314)	1.046*** (0.312)	1.045*** (0.313)	1.046*** (0.312)
VOL	-0.562 (1.987)	-0.555 (1.997)	-0.564 (1.986)	-0.545 (2.003)	-0.546 (2.003)	-0.546 (2.003)	-0.546 (2.003)	-0.561 (1.988)	-0.555 (1.996)	-0.564 (1.986)
SALESGR	0.204* (0.105)	0.205** (0.104)	0.202* (0.104)	0.205* (0.105)	0.205* (0.105)	0.205* (0.105)	0.205* (0.105)	0.205* (0.105)	0.205** (0.104)	0.202* (0.104)
EPSGR	-0.004 (0.596)	-0.014 (0.600)	-0.007 (0.596)	-0.011 (0.599)	-0.011 (0.599)	-0.011 (0.600)	-0.011 (0.599)	-0.011 (0.596)	-0.014 (0.600)	-0.008 (0.597)
Year + Month FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sector FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255
Adj. R ² (%)	2.008	2.004	2.011	1.999	1.999	1.999	1.999	2.007	2.004	2.011

5.4 業種別異質性

本節では、気候変動対応と株式リターンの関係が業種によってどのように異なるかを検証する。表 7 は、Manufacturing (製造業)、Non-manufacturing (非製造業)、Financials (金融・保険業) の 3 業種について、対応指標 (CR) と曝露指標 (CE) の係数を業種別に推定した結果を示している。各列は総合的な回帰モデルにおける業種別の交差項係数であり、すべての推定に Year FE、暦月 Month FE および Sector FE を含む。

まず、対応指標の水準スコアを見ると、金融・保険業 (Financials) において 3 指標すべてが 1% 水準で有意な正の係数を示す (CR_Phys : 0.502、CR_Tra : 0.657、CR_Ovr : 0.704)。金融業は融資ポートフォリオや投資資産を通じて気候関連リスクに直接的にさらされる業種であるため、リスク管理体制や戦略的統合の強化が将来的な損失リスクの低減や事業機会の管理に関する情報を含む可能性がある。

非製造業 (Non-manufacturing) においても、移行リスク対応 (CR_Tra : 0.115) および総合評価 (CR_Ovr : 0.127) が 1% 水準で有意な正の係数を示す。一方、製造業 (Manufacturing) の対応指標はいずれも非有意であり、製造業では気候対応の投資コストが短期的なリターンを相殺している可能性がある。

曝露指標については、金融業の移行リスク曝露 (CE_Tra : 0.145) が 5% 水準で有意な正の係数を示すが、その他の業種・曝露指標はすべて非有意である。

以上の結果は、気候変動対応情報と株式リターンの関係が業種によって異質であることを示している。特に金融業での対応指標の強い正の係数は、同業種における気候リスク管理の財務的重要性を反映している可能性がある。

表 7: 業種別異質性：気候変動対応・曝露指標と株式リターン

		(1)	(2)	(3)
気候変動対応指標 (CR)				
CR_Phy	Manufacturing	0.097 (0.090)		
	Non-manufacturing	0.048 (0.038)		
	Financials	0.502*** (0.106)		
CR_Tra	Manufacturing		0.050 (0.054)	
	Non-manufacturing		0.115*** (0.040)	
	Financials		0.657*** (0.166)	
CR_Ovr	Manufacturing			0.113 (0.087)
	Non-manufacturing			0.127*** (0.040)
	Financials			0.704*** (0.180)
気候変動曝露指標 (CE)				
CE_Phy	Manufacturing	-0.005 (0.018)		
	Non-manufacturing	0.006 (0.018)		
	Financials	-0.037 (0.060)		
CE_Tra	Manufacturing		-0.001 (0.020)	
	Non-manufacturing		0.022 (0.024)	
	Financials		0.145** (0.064)	
CE_Ovr	Manufacturing			-0.009 (0.018)
	Non-manufacturing			0.013 (0.019)
	Financials			0.050 (0.067)
Year + Month FE		Yes	Yes	Yes
Sector FE		Yes	Yes	Yes
Observations		252,255	252,255	252,255
Adj. R^2 (%)		2.010	2.021	2.024

5.5 ロング・ショート戦略によるポートフォリオ分析

パネル回帰によって得られた気候変動対応と株式リターンの関係が既存のリスクファクターでは説明されない独立したものであるかを検証するため、本節では気候変動指標に基づくロング・ショート戦略を構築し、7ファクターモデルによるリスク調整後アルファを推定する。このアプローチは、参照論文(沖本・五島・八木 [2024])と同様の手法に基づくものであり、関係の経済的有意性をポートフォリオの観点から評価するものである。

各業種 (Manufacturing・Non-manufacturing・Financials) について、各月に利用可能な最新の気候変動指標に基づいて企業を順位付けし、上位企業群をロング、下位企業群をショートするゼロコスト・ポートフォリオを構築する。ポートフォリオは月次でリバランスし、ロング群とショート群のリターン差を $LS_{p,t}$ と定義する。得られたロング・ショート収益系列に対し、次式の時系列回帰を推定する。

$$LS_{p,t} = R_{p,t}^H - R_{p,t}^L = c_0 + \sum_k \beta_k F_{k,t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

ここで $R_{p,t}^H$ は上位企業群のリターン、 $R_{p,t}^L$ は下位企業群のリターンであり、 $LS_{p,t}$ は自己資金ゼロのロング・ショート収益である。ファクターセット $\{F_{k,t}\}$ には MKT-RF (市場超過収益)、HML (バリュー)、SMB (サイズ)、RMW (収益性)、CMA (投資)、MOM (モメンタム)、LIQ (流動

性)の7ファクターを採用する。ファクター・リターンデータは金融データソリューションズ提供のものを使用する。標準誤差はラグ12のNewey-West推定量を用い、系列相関および不均一分散に対して頑健な推論を行う。主要な関心は切片 c_0 (アルファ)であり、 $c_0 > 0$ かつ有意であれば、当該気候変動指標に基づくロング・ショート収益が既存リスクファクターでは説明しきれないことを意味する。

表8は対応指標 (Panel A: Level スコア、Panel B: Change スコア) を用いた結果を示す。

まず対応水準スコア (Panel A) を見ると、CR_Ovr について金融業のアルファは月次0.6% ($t = 3.00$ 、1%有意)、非製造業は0.4% ($t = 2.00$ 、5%有意)であり、高い対応水準を示す企業群が7ファクターモデルでは説明しきれない正のロング・ショート収益を示す。CR_Traでも金融業(0.5%、 $t = 2.50$ 、5%有意)および非製造業(0.6%、 $t = 2.00$ 、5%有意)で有意な正のアルファが得られた。これらの結果は、気候変動対応の水準が既存ファクターとは異なる株式リターン情報を含んでいる可能性を示唆する。

次に対応変化スコア (Panel B) を見ると、 Δ CR_Traでは製造業(0.5%、 $t = 2.50$ 、5%有意)および非製造業(0.5%、 $t = 1.67$ 、10%有意)で正のアルファが得られた。 Δ CR_Ovrについても製造業(0.4%、 $t = 2.00$ 、5%有意)で有意であり、対応の改善プロセス自体が、水準の効果とは別に株式リターン情報を持つ可能性が示唆される。この結果は、気候戦略の静学的特性(水準)と動学的更新(改善)の双方が株式リターンと関連するというパネル回帰の解釈と整合的である。

表9は曝露指標 (Panel A: Level スコア、Panel B: Change スコア) を用いた結果を示す。CE_Traの金融業(0.4%、 $t = 2.00$ 、5%有意)では正のアルファが観察されるものの、その他の曝露指標ではアルファは統計的に非有意である。この結果はパネル回帰の知見と整合的であり、曝露指標については一部の移行リスク曝露を除き、一貫したリスク調整後収益は確認されないことを示している。

以上の結果は、パネル回帰の知見をポートフォリオ分析の観点から補完するものである。気候変動対応指標(特にCR_OvrおよびCR_Tra)に基づくロング・ショート戦略は、7ファクターモデルの制御後も有意な正のアルファを示しており、開示上観察される気候変動対応が投資リターンに関する情報を含む可能性を示す。一方、曝露指標に基づく戦略では有意なアルファは限定的であり、対応指標の方がより安定した株式リターン情報を含んでいるという本研究の主要結果と整合的である。

表 8: ロング・ショート戦略のアルファ：対応指標（CR）

Panel A: 水準スコア（Level）

	CR_Phy			CR_Tra			CR_Ovr		
	Mfg	Non-mfg	Fin	Mfg	Non-mfg	Fin	Mfg	Non-mfg	Fin
c_0	-0.003 (0.003)	0.000 (0.002)	0.006** (0.003)	-0.002 (0.002)	0.006** (0.003)	0.005** (0.002)	-0.001 (0.002)	0.004** (0.002)	0.006*** (0.002)
MKT-RF	0.023 (0.065)	-0.160 (0.040)	-0.024 (0.080)	0.253 (0.053)	-0.137 (0.059)	0.084 (0.065)	0.140 (0.049)	-0.166 (0.051)	-0.022 (0.073)
HML	0.395 (0.207)	0.288 (0.126)	0.299 (0.111)	0.293 (0.110)	0.199 (0.110)	0.216 (0.079)	0.262 (0.099)	0.226 (0.120)	0.222 (0.091)
SMB	-0.369 (0.154)	-0.299 (0.144)	-0.279 (0.158)	-0.689 (0.146)	-0.488 (0.135)	-0.393 (0.193)	-0.692 (0.192)	-0.442 (0.120)	-0.457 (0.178)
RMW	0.085 (0.376)	0.149 (0.306)	0.004 (0.269)	0.003 (0.202)	-0.039 (0.247)	-0.088 (0.176)	0.017 (0.232)	0.106 (0.264)	-0.015 (0.245)
CMA	-0.139 (0.174)	0.505 (0.178)	0.064 (0.191)	-0.014 (0.138)	0.454 (0.223)	-0.053 (0.231)	0.072 (0.123)	0.595 (0.181)	-0.024 (0.185)
MOM	0.303 (0.100)	0.048 (0.059)	-0.025 (0.085)	0.126 (0.061)	0.081 (0.054)	-0.043 (0.071)	0.192 (0.057)	0.030 (0.044)	-0.003 (0.071)
LIQ	0.070 (0.076)	0.102 (0.057)	0.048 (0.067)	0.016 (0.031)	0.087 (0.058)	0.102 (0.054)	0.052 (0.059)	0.086 (0.061)	0.091 (0.058)
Obs.	113	113	108	113	113	108	113	113	108
Adj. R^2 (%)	17.2	34.5	13.3	43.3	38.0	14.8	30.3	42.7	12.7

Panel B: 変化スコア（Change）

	Δ CR_Phy			Δ CR_Tra			Δ CR_Ovr		
	Mfg	Non-mfg	Fin	Mfg	Non-mfg	Fin	Mfg	Non-mfg	Fin
c_0	-0.004 (0.003)	0.003 (0.003)	0.004** (0.002)	0.005** (0.002)	0.005* (0.003)	0.004** (0.002)	0.004** (0.002)	0.006 (0.004)	0.003 (0.002)
MKT-RF	0.020 (0.116)	0.022 (0.045)	-0.064 (0.079)	0.120 (0.084)	-0.011 (0.047)	0.013 (0.067)	0.102 (0.070)	-0.023 (0.077)	0.000 (0.062)
HML	0.112 (0.105)	0.088 (0.108)	0.148 (0.118)	-0.032 (0.148)	-0.055 (0.145)	0.082 (0.093)	-0.047 (0.125)	-0.051 (0.199)	0.143 (0.091)
SMB	-0.471 (0.227)	-0.046 (0.096)	-0.305 (0.173)	-0.403 (0.275)	0.078 (0.257)	-0.545 (0.237)	-0.593 (0.282)	-0.146 (0.161)	-0.457 (0.243)
RMW	0.043 (0.219)	-0.065 (0.171)	-0.438 (0.141)	-0.167 (0.216)	-0.199 (0.149)	-0.183 (0.160)	-0.136 (0.183)	-0.150 (0.252)	-0.169 (0.147)
CMA	0.024 (0.229)	0.057 (0.173)	-0.278 (0.173)	-0.084 (0.252)	0.228 (0.164)	0.084 (0.181)	0.035 (0.211)	0.465 (0.206)	0.009 (0.178)
MOM	0.250 (0.080)	0.097 (0.059)	-0.144 (0.145)	0.070 (0.075)	0.019 (0.074)	-0.010 (0.070)	0.141 (0.073)	0.049 (0.088)	-0.027 (0.070)
LIQ	0.150 (0.068)	0.077 (0.038)	0.088 (0.083)	0.035 (0.054)	0.052 (0.045)	0.091 (0.070)	0.053 (0.043)	0.027 (0.062)	0.108 (0.084)
Obs.	112	112	108	113	113	108	113	113	108
Adj. R^2 (%)	8.4	-2.9	17.0	2.7	0.6	15.4	8.9	9.1	14.2

（図表注）括弧内は Newey-West 標準誤差である。*、**、***はそれぞれ、両側確率 10%、5%、1%で回帰係数が有意であることを示している。表 9 も同じ。

表 9: ロング・ショート戦略のアルファ：曝露指標（CE）

Panel A: 水準スコア（Level）

	CE_Phy			CE_Tra			CE_Ovr			CE_Opp		
	Mfg	Non	Fin	Mfg	Non	Fin	Mfg	Non	Fin	Mfg	Non	Fin
c_0	-0.001 (0.001)	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	-0.001 (0.002)	0.003 (0.002)	0.004** (0.002)	0.001 (0.002)	0.001 (0.001)	0.001 (0.002)	0.000 (0.002)	0.006 (0.004)	-0.001 (0.002)
MKT-RF	0.082 (0.065)	0.034 (0.063)	-0.246 (0.058)	0.129 (0.056)	0.020 (0.064)	-0.251 (0.092)	0.098 (0.038)	0.035 (0.068)	-0.213 (0.079)	0.140 (0.071)	-0.075 (0.071)	-0.076 (0.047)
HML	-0.030 (0.087)	0.043 (0.074)	0.318 (0.116)	-0.156 (0.167)	-0.061 (0.071)	0.317 (0.092)	-0.131 (0.110)	0.075 (0.062)	0.261 (0.098)	-0.154 (0.144)	-0.082 (0.161)	0.199 (0.116)
SMB	0.281 (0.163)	0.229 (0.214)	0.044 (0.151)	0.213 (0.169)	0.255 (0.274)	0.074 (0.139)	0.284 (0.159)	0.276 (0.255)	0.037 (0.145)	-0.167 (0.169)	0.177 (0.195)	0.143 (0.108)
RMW	-0.332 (0.155)	-0.390 (0.157)	0.239 (0.278)	-0.325 (0.240)	-0.255 (0.118)	0.180 (0.200)	-0.419 (0.165)	-0.170 (0.121)	0.145 (0.208)	-0.471 (0.337)	-0.188 (0.261)	0.108 (0.170)
CMA	-0.263 (0.148)	-0.239 (0.283)	-0.263 (0.260)	-0.134 (0.182)	-0.250 (0.204)	-0.474 (0.223)	-0.193 (0.176)	-0.269 (0.230)	-0.355 (0.263)	-0.271 (0.235)	-0.058 (0.268)	-0.359 (0.189)
MOM	0.012 (0.059)	0.009 (0.057)	0.046 (0.107)	0.087 (0.127)	-0.027 (0.067)	-0.007 (0.058)	0.044 (0.083)	-0.008 (0.045)	0.064 (0.082)	0.069 (0.064)	-0.140 (0.123)	-0.060 (0.095)
LIQ	-0.019 (0.054)	0.055 (0.075)	0.044 (0.050)	-0.064 (0.061)	0.046 (0.051)	0.048 (0.079)	-0.089 (0.041)	0.046 (0.065)	0.018 (0.057)	0.018 (0.050)	-0.004 (0.075)	0.025 (0.048)
Obs.	113	113	108	113	113	108	113	113	108	112	113	108
Adj. R^2 (%)	-0.3	-0.3	5.6	2.4	-2.2	7.0	3.2	-1.3	2.6	0.2	-2.7	-1.2

Panel B: 変化スコア（Change）

	Δ CE_Phy			Δ CE_Tra			Δ CE_Ovr			Δ CE_Opp		
	Mfg	Non	Fin	Mfg	Non	Fin	Mfg	Non	Fin	Mfg	Non	Fin
c_0	-0.001 (0.003)	0.002 (0.002)	0.000 (0.003)	-0.002 (0.003)	0.001 (0.002)	0.001 (0.002)	0.001 (0.003)	0.001 (0.002)	0.001 (0.003)	-0.004 (0.003)	-0.002 (0.002)	-0.002 (0.002)
MKT-RF	0.015 (0.065)	0.014 (0.059)	-0.192 (0.094)	-0.103 (0.085)	0.023 (0.058)	-0.138 (0.084)	0.036 (0.066)	-0.026 (0.070)	-0.109 (0.112)	0.172 (0.094)	-0.093 (0.060)	0.000 (0.089)
HML	-0.076 (0.114)	0.004 (0.037)	0.238 (0.141)	0.187 (0.136)	-0.005 (0.041)	0.319 (0.193)	-0.021 (0.166)	0.031 (0.076)	0.148 (0.141)	-0.121 (0.174)	0.019 (0.103)	0.028 (0.157)
SMB	0.057 (0.165)	0.248 (0.262)	0.159 (0.095)	0.483 (0.199)	0.265 (0.282)	-0.151 (0.100)	0.257 (0.193)	0.237 (0.259)	0.002 (0.102)	-0.084 (0.143)	-0.134 (0.167)	0.071 (0.112)
RMW	-0.102 (0.312)	-0.085 (0.103)	0.543 (0.341)	-0.107 (0.214)	0.097 (0.104)	0.635 (0.415)	-0.300 (0.332)	0.041 (0.129)	0.437 (0.318)	-0.662 (0.329)	0.304 (0.191)	0.099 (0.286)
CMA	0.199 (0.240)	-0.219 (0.212)	0.130 (0.257)	-0.220 (0.204)	-0.045 (0.177)	0.419 (0.257)	-0.003 (0.287)	-0.168 (0.251)	0.234 (0.259)	-0.347 (0.210)	0.363 (0.219)	0.128 (0.197)
MOM	-0.145 (0.110)	0.029 (0.039)	0.123 (0.094)	0.138 (0.143)	-0.019 (0.042)	0.203 (0.100)	-0.066 (0.145)	-0.012 (0.066)	0.141 (0.078)	0.173 (0.104)	-0.002 (0.079)	0.091 (0.130)
LIQ	-0.119 (0.073)	0.040 (0.054)	-0.071 (0.045)	-0.038 (0.051)	0.028 (0.047)	-0.168 (0.060)	-0.091 (0.067)	0.016 (0.062)	-0.118 (0.034)	0.096 (0.048)	-0.013 (0.039)	-0.112 (0.048)
Obs.	112	113	108	112	113	108	112	113	108	111	112	108
Adj. R^2 (%)	-1.9	-2.5	5.6	8.4	-2.3	12.6	-0.4	-3.2	1.8	5.0	-1.0	-3.4

6 結論

本研究は、有価証券報告書の「事業等のリスク」セクションから観察される企業の気候変動への対応が、リスクへの曝露とは独立して株式リターンと関連するかどうかを実証的に検証した。既存研究が主として気候変動リスクへの「曝露」の価格付けに焦点を当ててきたのに対し、本研究は「曝露をコントロールしたうえで、開示上観察される対応情報が株式リターンと関連するか」という問いを立て、対応指標を主たる関心変数として分析した点に特徴がある。

方法論的には、日本企業の有価証券報告書を対象として、大規模言語モデル（LLM）を用いた段階的評価により、気候変動対応指標（CR）を構築した。対応指標は、単なるキーワード頻度ではなく、リスク認識の具体性、KPI 設定、実行体制、戦略統合度といった文脈依存的要素を総合的に評価するものである。また、対応情報と曝露情報を区別するために、LLM ベースの気候変動曝露指標（CE）を同時に構築し、回帰モデルに組み込んだ。

実証分析の主要な発見は以下のとおりである。第一に、気候変動対応の水準（Level）は、曝露指標をコントロールしたうえでも株式リターンと一貫した正の関係を有することが確認された。第二に、

対応の前年差 (Change) も正で有意であり、水準の高さだけでなく改善の過程自体も株式リターン情報を含む可能性が示される。第三に、曝露指標については、一部の移行リスク曝露で限定的な有意性が観察されるものの、対応指標ほど一貫した正の関係は確認されない。第四に、業種別分析では、金融・保険業において対応水準との関係が特に強く、非製造業においても移行リスク対応・総合評価で有意な正の関係が確認されるなど、対応情報と株式リターンの関係が業種特性に依存することも明らかになった。第五に、ロング・ショート戦略によるポートフォリオ分析では、対応指標 (CR_Ovr および CR_Tra) に基づく戦略が既存の 7 ファクターモデルでは説明しきれない正のアルファを示しており、気候変動対応が投資リターンに関する情報を含む可能性が示された。一方、曝露指標に基づく戦略では有意なアルファは限定的であり、パネル回帰の結果と整合的である。

これらの結果は、気候変動対応に関する開示情報が、将来キャッシュフロー、リスク管理、成長機会、または市場による情報反映の程度と関連する情報を含んでいる可能性を示唆する。もっとも、観察される正のリターン関係は、直ちに市場が企業を高く評価していることや、気候対応の因果効果を意味するものではない。むしろ、本研究の結果は、気候変動対応の水準および改善が、既存の企業特性や気候曝露指標では十分に捉えられない株式リターン情報を含む可能性と整合的である。

本研究は、テキスト開示情報から企業の戦略的対応を定量化する手法を提示するとともに、気候変動対応の独立した経済的意義に関する新たな実証的証拠を提供するものである。

もっとも、本研究にはいくつかの限界も存在する。第一に、本研究の指標は有価証券報告書の「事業等のリスク」セクションに限定して構築されているため、企業の気候変動対応の全体像ではなく、リスク開示に表れる対応水準および曝露認識を捉える開示ベースの指標である。サステナビリティ関連記載、統合報告書、ウェブ開示などを含めた分析は今後の課題である。第二に、LLM による評価は明示的な基準に基づいているものの、モデル選択やプロンプト設計に依存する側面がある。第三に、本分析は株式市場に焦点を当てており、債券市場や銀行貸出市場における価格付けの検証は今後の課題である。第四に、観察される関係は必ずしも因果関係を示すものではなく、さらなる識別戦略の導入が望まれる。なお、Sautner et al. (2023a) 定義による辞書ベース曝露指標を用いた頑健性分析は付録 A に、Gemini と GPT のモデル比較は付録 B に、クロスセクション平均の除去による頑健性分析は付録 C にそれぞれ示す。

参考文献

- Addoum, J. M., Ng, D. T., and Ortiz-Bobea, A. (2023). Temperature shocks and industry earnings news. *Journal of Financial Economics*, 150(1):1–45.
- Baldauf, M., Garlappi, L., and Yannelis, C. (2020). Does climate change affect real estate prices? only if you believe in it. *Review of Financial Studies*, 33(3):1256–1295.
- Bernstein, A., Gustafson, M. T., and Lewis, R. (2019). Disaster on the horizon: The price effect of sea level rise. *Journal of Financial Economics*, 134(2):253–272.
- Bolton, P. and Kacperczyk, M. (2021). Do investors care about carbon risk? *Journal of Financial Economics*, 142(2):517–549.
- Bolton, P. and Kacperczyk, M. (2023). Global pricing of carbon-transition risk. *The Journal of Finance*, 78(6):3677–3754.

- Buehlmaier, M. M. M. and Whited, T. M. (2018). Are financial constraints priced? Evidence from textual analysis. *Review of Financial Studies*, 31(7):2693–2728.
- Capasso, L., Gianfrate, G., and Spinelli, M. (2020). Climate change risk and credit risk. *Journal of Cleaner Production*, 266:121634.
- Chava, S. (2014). Environmental externalities and cost of capital. *Management Science*, 60(9):2223–2247.
- Delis, M. D., de Greiff, K., Iosifidi, M., and Ongena, S. (2024). Being stranded with fossil fuel reserves? climate policy risk and the pricing of bank loans. *Financial Markets, Institutions & Instruments*, 33(3):239–265.
- Giglio, S., Maggiori, M., Rao, K., Stroebel, J., and Weber, A. (2021). Climate change and long-run discount rates: Evidence from real estate. *Review of Financial Studies*, 34(8):3527–3571.
- Hassan, T. A., Hollander, S., van Lent, L., and Tahoun, A. (2019). Firm-level political risk: Measurement and effects. *Quarterly Journal of Economics*, 134(4):2135–2202.
- Ilhan, E., Sautner, Z., and Vilkov, G. (2021). Carbon tail risk. *Review of Financial Studies*, 34(3):1540–1571.
- Khan, M., Serafeim, G., and Yoon, A. (2016). Corporate sustainability: First evidence on materiality. *The Accounting Review*, 91(6):1697–1724.
- Krueger, P., Sautner, Z., and Starks, L. T. (2020). The importance of climate risks for institutional investors. *Review of Financial Studies*, 33(3):1067–1111.
- Li, K., Hsu, P.-H., and Tsou, C.-Y. (2023). The pollution premium. *The Journal of Finance*, 78(3):1343–1392.
- Loughran, T. and McDonald, B. (2011). When is a liability not a liability? textual analysis, dictionaries, and 10-ks. *The Journal of Finance*, 66(1):35–65.
- Okimoto, T. and Takaoka, S. (2024). Credit default swaps and corporate carbon emissions in japan. *Energy Economics*, 133:107504.
- Pankratz, N., Bauer, R., and Derwall, J. (2023). Climate change, firm performance, and investor surprises. *Management Science*, 69(12):7352–7398.
- Pankratz, N. M. C. and Schiller, C. M. (2024). Climate change and adaptation in global supply-chain networks. *Review of Financial Studies*, 37(6):1729–1777.
- Sautner, Z., van Lent, L., Vilkov, G., and Zhang, R. (2023a). Firm-level climate change exposure. *The Journal of Finance*, 78(3):1449–1498.
- Sautner, Z., van Lent, L., Vilkov, G., and Zhang, R. (2023b). Pricing climate change exposure. *Management Science*, 69(12):7540–7561.

A Sautner et al. (2023) 定義による曝露指標を用いた頑健性分析 指標の構築

本付録では、Sautner et al. (2023a) (以下、SVVZ) が決算説明会の議事録を対象として開発したテキスト分析アルゴリズムを、日本企業の有価証券報告書の日本語テキストに応用した代替曝露指標の構築方法を説明する。SVVZのアプローチは、辞書ベースの seed ラベリング、機械学習による文分類、および頻度ベースの曝露スコア計算の三段階から構成されており、LLM のような大規模モデルを必要とせず再現性が高い。LLM ベース指標とは指標構築の原理が根本的に異なるため、両者で総合的な結果が得られれば、曝露指標の推計が特定の手法設計に依存しないことの証左となる。

本研究における実装は以下の手順に従う。

ステップ 1: 前処理 有価証券報告書の「事業等のリスク」セクションから抽出したテキストを、形態素解析器 SudachiPy を用いてトークン化する。文境界は句点・感嘆符・疑問符で分割し、各文を名詞・動詞・形容詞・副詞のみのトークン列に変換する。文字列は Unicode NFKC 正規化・小文字化を施し、ストップワードおよび 1 文字語は除外する。

ステップ 2: seed ラベル付け SVVZ に倣い、気候変動関連の初期辞書 (seed 語彙) を用いて各文にラベルを付与する。seed 語彙は、一般気候語 (general)、機会語 (opportunity)、規制語 (regulatory)、物理リスク語 (physical) の 4 カテゴリから構成される。各文のトークン列にいずれかの seed 語が含まれる場合、当該カテゴリの positive 文として分類する。

ステップ 3: 文分類器による拡張 seed 文を positive、非 seed 文を negative として、カテゴリごとに LinearSVC を学習する。特徴量は CountVectorizer によるユニグラムの bag-of-words であり、ハイパーパラメータは Optuna によるベイズ最適化 (TPE サンプラー、30 試行、3 分割交差検証) で選択する。全文の decision function をシグモイド関数で 0-1 に変換したスコアを計算し、閾値 (0.8) 以上の非 seed 文も target 文として追加する。ここで分類器は辞書語彙そのものを拡張するのではなく、各カテゴリに関連する target 文集合を拡張する役割を担う。

ステップ 4: 曝露スコアの計算 文分類器は辞書語彙そのものを拡張するのではなく、各カテゴリに属すると判定される target 文集合を拡張するために用いる。文書ごとに、seed 語彙を含む文および分類器によって追加された target 文を対象として、当該カテゴリの語彙ヒット数を総トークン数で除した値を曝露スコアとする。具体的には、general、opportunity、regulatory、physical の各カテゴリについてスコア $\widehat{CE}_{i,cat}$ を次式で定義する。

$$\widehat{CE}_{i,cat} = \frac{\sum_s \mathbf{1}[\text{doc}(s) = i] \mathbf{1}[s \in \mathcal{T}_{cat}] \cdot \text{hits}_{s,cat}}{\text{total_ngrams}_i} \quad (3)$$

ここで \mathcal{T}_{cat} は seed 語彙または分類器によって当該カテゴリに属すると判定された target 文集合、 $\text{hits}_{s,cat}$ は文 s における当該カテゴリの辞書ヒット数、 total_ngrams_i は文書 i の総トークン数 (ユニグラム) である。

ステップ 5: 拡張スコアの計算 さらに、TF-IDF 重み付き曝露スコア、センチメント条件付き曝露スコア (ポジティブ・トーン語およびネガティブ・トーン語が同一文に共起する hit 数の比率)、およびリスク語条件付き曝露スコアを計算する。TF-IDF 重み付きスコアは次式で定義される。

$$\widehat{CE}_{i,\text{tfidf}} = \frac{1}{\text{total_ngrams}_i} \sum_{s:\text{doc}(s)=i} \sum_{w \in s \cap \mathcal{G}} \log\left(\frac{N}{df_w}\right) \quad (4)$$

ここで \mathcal{G} は general カテゴリの辞書語彙、 N は総文書数、 df_w は語 w が出現する文書数である。なお、SVVZ のオリジナル手法は英語の決算説明会議事録を対象としているが、本研究では日本語の有価証券報告書に応用するため、SudachiPy による日本語形態素解析を前処理として導入し、seed 語彙を日本語に翻訳・拡張した。また、対象セクションを「事業等のリスク」に限定している。

回帰分析結果

本付録では、Sautner et al. (2023a) (SVVZ) 定義による辞書ベース曝露指標を用いた場合の回帰結果を報告する。表 10 は、LLM ベース曝露指標の代わりに SVVZ 定義の曝露指標 (SVVZ_Gen、SVVZ_Phy、SVVZ_Opp、SVVZ_Reg) を説明変数として用いた推定結果であり、本文の表 5 の頑健性を確認するものである。

結果を見ると、SVVZ_Gen (0.270)、SVVZ_Phy (2.086)、SVVZ_Reg (0.931) の係数はいずれも正であるものの、標準誤差が大きく統計的有意性は確認されない。SVVZ_Opp (-2.939) も非有意である。これらの結果は、LLM ベース曝露指標を用いた本文の結果と概ね整合的であり、曝露指標の計測方法を変更しても、曝露そのものについて一貫した有意な関係は確認されないことを示している。コントロール変数の符号・有意性は本文の結果と同様である。

表 10: 気候変動対応と株式リターン（水準スコア、Sautner 定義曝露指標）

	Exposure (Sautner)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
SVVZ_Gen	0.270 (1.422)			
SVVZ_Phy		2.086 (2.281)		
SVVZ_Opp			-2.939 (5.532)	
SVVZ_Reg				0.931 (2.091)
LOGSIZE	-0.151*** (0.055)	-0.152*** (0.056)	-0.150*** (0.056)	-0.152*** (0.055)
B/M	0.477*** (0.079)	0.473*** (0.080)	0.481*** (0.079)	0.477*** (0.079)
LEVERAGE (%)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
MOM	-1.023 (0.625)	-1.024 (0.625)	-1.024 (0.627)	-1.023 (0.625)
INVESTMENT/ASSET	-1.234* (0.650)	-1.213* (0.627)	-1.180* (0.613)	-1.236* (0.643)
ROE	0.110 (0.499)	0.112 (0.499)	0.108 (0.498)	0.109 (0.499)
LOGPPE	0.047 (0.041)	0.046 (0.041)	0.048 (0.042)	0.047 (0.042)
BETA	1.043*** (0.314)	1.042*** (0.315)	1.046*** (0.314)	1.044*** (0.314)
VOL	-0.543 (1.999)	-0.531 (2.003)	-0.535 (2.018)	-0.547 (2.003)
SALESGR	0.205* (0.105)	0.206* (0.105)	0.205* (0.105)	0.205* (0.105)
EPSGR	-0.012 (0.596)	-0.015 (0.599)	-0.009 (0.597)	-0.011 (0.600)
Year + Month FE	Yes	Yes	Yes	Yes
Sector FE	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	252,255	252,255	252,255	252,255
Adj. R ² (%)	1.999	2.000	1.999	1.999

注：括弧内は企業単位でクラスタリングした標準誤差。

B 頑健性分析：LLM モデルの比較（Gemini と GPT-5 mini）

本付録では、気候変動対応指標の構築に用いる LLM モデルを Google Gemini (API model: gemini-2.5-flash) から OpenAI GPT-5 mini (API model: gpt-5-mini) に変更した場合の回帰結果を報告し、主要結果がモデル選択に依存しないことを確認する。表 11 は水準スコア (Level)、表 12 は変化スコア (Change) を用いた回帰結果をそれぞれ Gemini と GPT-5 mini で並列に示している。なお、いずれも曝露指標を含まない Response パネルのみを報告するため、本文のベースライン回帰とは異なり、CR が利用可能な企業 - 月サンプル 252,402 件を用いる。

水準スコアの結果 (表 11) を見ると、Gemini による推定では物理リスク対応 (0.094、5%有意)、移行リスク対応 (0.112、1%有意)、総合評価 (0.157、1%有意) がいずれも有意な正の係数を示す。GPT-5 mini による推定でも物理 (0.103)、移行 (0.087)、総合 (0.156) のすべてが 1%水準で有意であり、係数の大きさ・有意性ともに両モデルで整合的な結果が確認される。変化スコアの結果 (表 12) においても、Gemini および GPT-5 mini の両モデルで有意な正の係数が確認されており、GPT-5 mini の方がやや大きいものの、方向・有意性ともに整合的である。これらの結果は、本研究の主要結果が LLM モデルの選択に依存しないことを示している。

表 11: 気候変動対応と株式リターン (水準スコア、Gemini と GPT-5 mini の比較)

	Gemini			GPT-5 mini		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CR_Phy	0.094** (0.047)					
CR_Tra		0.112*** (0.038)				
CR_Ovr			0.157*** (0.053)			
CR_Phy_GPT				0.103*** (0.034)		
CR_Tra_GPT					0.087*** (0.026)	
CR_Ovr_GPT						0.156*** (0.051)
LOGSIZE	-0.160*** (0.053)	-0.169*** (0.051)	-0.175*** (0.052)	-0.157*** (0.053)	-0.163*** (0.051)	-0.168*** (0.051)
B/M	0.465*** (0.085)	0.456*** (0.086)	0.455*** (0.087)	0.465*** (0.085)	0.457*** (0.087)	0.455*** (0.087)
LEVERAGE (%)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.002 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.002 (0.003)
MOM	-1.033* (0.627)	-1.029 (0.627)	-1.029 (0.626)	-1.035* (0.627)	-1.032 (0.628)	-1.033* (0.627)
INVESTMENT/ASSET	-1.248** (0.623)	-1.290** (0.640)	-1.315** (0.639)	-1.224* (0.626)	-1.254** (0.636)	-1.312** (0.642)
ROE	0.115 (0.511)	0.125 (0.508)	0.128 (0.511)	0.104 (0.507)	0.116 (0.508)	0.113 (0.508)
LOGPPE	0.045 (0.037)	0.044 (0.038)	0.042 (0.037)	0.045 (0.038)	0.044 (0.038)	0.041 (0.037)
BETA	1.038*** (0.308)	1.035*** (0.309)	1.042*** (0.307)	1.033*** (0.309)	1.037*** (0.309)	1.041*** (0.308)
VOL	-0.480 (2.026)	-0.507 (2.020)	-0.491 (2.019)	-0.472 (2.024)	-0.494 (2.023)	-0.476 (2.022)
SALESGR	0.203* (0.105)	0.201* (0.105)	0.199* (0.105)	0.203* (0.105)	0.201* (0.105)	0.202* (0.105)
EPSGR	-0.010 (0.595)	-0.008 (0.595)	-0.010 (0.593)	-0.012 (0.595)	-0.019 (0.599)	-0.012 (0.596)
Year + Month FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sector FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	252,402	252,402	252,402	252,402	252,402	252,402
Adj. R ² (%)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

注：括弧内は企業単位でクラスタリングした標準誤差。

表 12: 気候変動対応の変化と株式リターン (Gemini と GPT-5 mini の比較)

	Gemini			GPT-5 mini		
	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
ΔCR_Phy	0.183** (0.083)					
ΔCR_Tra		0.135** (0.059)				
ΔCR_Ovr			0.196** (0.085)			
ΔCR_Phy_GPT				0.241** (0.098)		
ΔCR_Tra_GPT					0.229** (0.095)	
ΔCR_Ovr_GPT						0.315*** (0.121)
LOGSIZE	-0.159*** (0.054)	-0.160*** (0.054)	-0.168*** (0.055)	-0.158*** (0.053)	-0.162*** (0.053)	-0.166*** (0.054)
B/M	0.460*** (0.085)	0.461*** (0.085)	0.455*** (0.086)	0.460*** (0.086)	0.459*** (0.086)	0.455*** (0.087)
LEVERAGE (%)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
MOM	-1.029* (0.624)	-1.029 (0.626)	-1.026 (0.624)	-1.029* (0.625)	-1.030* (0.626)	-1.027* (0.624)
INVESTMENT/ASSET	-1.107* (0.612)	-1.146* (0.622)	-1.139* (0.618)	-1.095* (0.611)	-1.153* (0.612)	-1.120* (0.611)
ROE	0.098 (0.503)	0.110 (0.506)	0.106 (0.504)	0.093 (0.500)	0.112 (0.506)	0.109 (0.504)
LOGPPE	0.047 (0.038)	0.047 (0.038)	0.046 (0.038)	0.047 (0.038)	0.047 (0.038)	0.046 (0.038)
BETA	1.036*** (0.307)	1.033*** (0.309)	1.034*** (0.307)	1.036*** (0.307)	1.032*** (0.309)	1.034*** (0.307)
VOL	-0.514 (2.009)	-0.505 (2.018)	-0.514 (2.008)	-0.511 (2.010)	-0.503 (2.018)	-0.513 (2.008)
SALESGR	0.201* (0.106)	0.201* (0.105)	0.199* (0.106)	0.201* (0.105)	0.201* (0.105)	0.199* (0.105)
EPSGR	0.004 (0.590)	-0.006 (0.594)	0.001 (0.590)	0.007 (0.591)	-0.005 (0.595)	0.005 (0.590)
Year + Month FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sector FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	252,402	252,402	252,402	252,402	252,402	252,402
Adj. R^2 (%)	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.02

注：括弧内は企業単位でクラスターリングした標準誤差。

C 頑健性分析：クロスセクション平均の除去

本付録では、気候変動対応指標のクロスセクション平均を除去した場合の結果を報告する。これは、全市場的なトレンドや共通ショックによって結果が駆動されている可能性を排除するための検証である。

表 13 は、気候変動対応・曝露指標のクロスセクション平均を除去した場合の結果を報告する。左パネル（列 1~3）は各年度内で指標の平均を差し引いた年平均中心化、右パネル（列 4~6）は年度および業種内で平均を除去した年・産業平均中心化の結果である。前者はマクロ的な時系列トレンドを、後者はトレンドに加えて業種共通ショックも除去したより厳格な仕様に対応する。

年平均中心化の結果（列 1~3）を見ると、移行リスク対応（CR_Tra）の係数は 0.096（標準誤差 0.033）、総合評価（CR_Ovr）は 0.109（0.033）であり、いずれも 1%水準で有意である。物理リスク対応（0.040）は有意ではないものの正の係数を示す。曝露指標については、移行リスク曝露（CE_Tra）の係数が 0.022（0.011）と 5%水準で有意である一方、物理・総合曝露は非有意である。

年・産業平均中心化の結果（列 4~6）においても、移行リスク対応の係数は 0.081（0.026）、総合評価は 0.096（0.026）と、いずれも 1%水準で有意な正の関係が確認される。係数の大きさはベースラインおよび年平均中心化と比較してやや縮小するものの、有意性は維持されている。移行リスク曝露も 0.022（0.011）と 5%水準で有意であり、同じパターンが観察される。

これらの結果は、気候変動対応と株式リターンの正の関係が、単なる時系列的上昇トレンドや業種

全体の共通ショックのみによって説明されるものではなく、同一年度・同一業種内における企業間の相対的差異に基づいていることを示唆する。なお、中心化後の仕様では移行リスク曝露にも有意な係数が観察されるため、曝露指標については一部に限定的な有意性が存在する。もっとも、対応指標の有意性は中心化後も維持されており、コントロール変数の符号および有意性もベースライン結果と整合的である。

表 13: 頑健性分析：クロスセクション平均の除去

	年平均中心化			年・産業平均中心化		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CR_Phy	0.040 (0.032)			0.034 (0.031)		
CR_Tra		0.096*** (0.033)			0.081*** (0.026)	
CR_Ovr			0.109*** (0.033)			0.096*** (0.026)
CE_Phy	0.002 (0.014)			0.001 (0.013)		
CE_Tra		0.022** (0.011)			0.022** (0.011)	
CE_Ovr			0.009 (0.011)			0.009 (0.011)
LOGSIZE	-0.154*** (0.057)	-0.166*** (0.056)	-0.168*** (0.057)	-0.154*** (0.057)	-0.164*** (0.056)	-0.166*** (0.057)
B/M	0.478*** (0.078)	0.468*** (0.080)	0.469*** (0.080)	0.478*** (0.078)	0.470*** (0.079)	0.471*** (0.079)
LEVERAGE (%)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)	-0.001 (0.003)
MOM	-1.023 (0.625)	-1.019 (0.625)	-1.020 (0.625)	-1.023 (0.625)	-1.019 (0.625)	-1.019 (0.625)
INVESTMENT/ASSET	-1.296** (0.644)	-1.412** (0.664)	-1.396** (0.661)	-1.286** (0.642)	-1.381** (0.659)	-1.373** (0.659)
ROE	0.119 (0.499)	0.134 (0.502)	0.135 (0.502)	0.118 (0.499)	0.130 (0.500)	0.131 (0.501)
LOGPPE	0.046 (0.041)	0.045 (0.041)	0.043 (0.041)	0.046 (0.041)	0.045 (0.041)	0.044 (0.041)
BETA	1.046*** (0.315)	1.046*** (0.313)	1.051*** (0.313)	1.046*** (0.315)	1.045*** (0.314)	1.049*** (0.314)
VOL	-0.533 (2.006)	-0.553 (1.999)	-0.535 (2.003)	-0.535 (2.005)	-0.551 (2.001)	-0.535 (2.003)
SALESGR	0.205* (0.105)	0.205** (0.104)	0.203* (0.104)	0.205* (0.105)	0.205** (0.104)	0.203* (0.104)
EPSGR	-0.016 (0.599)	-0.017 (0.603)	-0.019 (0.601)	-0.015 (0.599)	-0.014 (0.602)	-0.017 (0.600)
Year + Month FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Sector FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255	252,255
Adj. R ² (%)	2.000	2.005	2.006	1.999	2.004	2.004

注：括弧内は企業単位でクラスタリングした標準誤差。