

IMES DISCUSSION PAPER SERIES

BERTと因果抽出を用いた 気候変動ナラティブの可視化・指数化

かねだのりやす さかじひろき
金田規靖・坂地泰紀

Discussion Paper No. 2023-J-7

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。

BERTと因果抽出を用いた 気候変動ナラティブの可視化・指数化

かねだのりやす ^{さかじひろき}
金田規靖*・坂地泰紀**

要 旨

本研究では、BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) と因果抽出という二つの自然言語処理手法を用いて、気候変動に関する新聞記事をテキスト分析することにより、「気候変動ナラティブ」(本稿では気候変動に関する原因事象と結果事象のつながりに関するストーリー)を抽出し、可視化・指数化する手法を提案する。テキストの書き手が想定する因果関係に注目して、情報抽出・定量化を行った点に手法上の新規性がある。抽出された気候変動ナラティブを時系列でみると、2018年以降、気候変動に関する議論の進展や気候変動に関連する政策の実施が企業行動やマクロ経済・物価動向に与える影響に注目したナラティブが増えていることが判明した。また、最近では、気候変動関連政策と金融政策のつながりに注目したナラティブが出現していることも確認された。さらに、気候変動に関連するとみられる自然災害(水害等)が経済活動に与える悪影響に関する認識が強まっており、企業や当局にとっての新たな課題として受け止められている可能性が示された。本研究の手法は、様々な経済トピック間の因果関係を分析可能であることから、幅広い分野への応用が期待される。

キーワード：気候変動、自然言語処理、ナラティブ分析、BERT

JEL classification: C55, Q54

* 日本銀行金融研究所主査 (現日本銀行ワシントン事務所、E-mail: noriyasu.kaneda@boj.or.jp)

** 東京大学大学院工学系研究科 (E-mail: sakaji@sys.t.u-tokyo.ac.jp)

本稿の作成に当たっては、新谷元嗣教授(東京大学)、金融研究所ファイナンスワークショップ参加者、言語処理学会第29回年次大会参加者ならびに日本銀行のスタッフ等から有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝したい。本稿に示されている意見は、筆者たち個人に属し、日本銀行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たち個人に属する。

1. はじめに

気候変動は、様々な経路を通じて金融経済に影響を及ぼす可能性（気候変動リスク¹⁾）があり、グローバルな課題として国内外で積極的に対応策が議論されている。気候変動リスクに対する認識の高まりを受けて、企業、金融機関など様々な経済主体が気候変動対策を進めてきており、それが企業活動や投資行動に影響を与え始めている。また、気候変動が実体経済や金融市場、金融システムにもたらす影響に関する調査研究も活発化している²⁾。企業、家計、市場、政府などの経済主体が、気候変動をめぐる議論や、気候変動に関連する環境規制（CO₂排出削減など）の実施強化にどのように対応してきたかを理解することは、気候変動が直接的、間接的に金融経済に与える影響の把握や、適切な政策対応の検討に役立つと考えられる。

近年、気候変動問題を分析する一つのアプローチとして、気候変動に関するニュースをテキスト分析し、市場や企業の気候変動に対する関心や懸念の高さを把握する試みが行われている。例えば、気候変動に関するニュースの出現頻度を指数化し、指数が気候変動リスクへの懸念の大きさを示すと解釈したうえで、株式リターンの関係を分析する研究が報告されている。

テキスト分析には、既存の統計データからは把握できなかった新たな情報を抽出できる可能性がある。ただし、金融経済分野で利用されているこれまでのテキスト分析の多くは、テキストを単語単位に切り分け、特定の単語の出現頻度や異なる単語同士の共起関係から文章のトピック判定などの情報抽出を行っており、文脈や文章の論理構造の情報は用いていない。

本研究は、テキストにおける文脈や文章の論理構造の情報を落とさずに、文章全体を構文分析³⁾することで、気候変動問題が金融経済に与える影響の経路や大きさに関するインプリケーションを得ることを試みている。例えば、気候変動に関するテキストにおいて、次のような企業行動に関する記述が出現したとする。

「当局による環境規制の強化を受けて、企業がグリーン投資を増やした。」

テキストの書き手は、経済学の知識、企業による説明、専門家による業界見通しな

¹ NGFS [2022]は、気候変動リスクを「移行リスク」と「物理的リスク」に大別している。ここで、移行リスクは、低炭素社会への移行に伴う、政策・規制の強化、技術進歩、消費者の選好の変化等に起因するリスクを指す。物理的リスクは、気候変動に伴い物理的な被害が生じるリスクを指し、気温や降水量の変化といった長期的要因に起因する慢性リスク、熱波や水害といった短期的要因に起因する急性リスクに分けられる。

² 日本銀行は、2021年7月に公表した「気候変動に関する日本銀行の取り組み方針」において、気候変動問題による影響の分析深化や分析手法の高度化等に触れている。

³ 従来のテキスト分析手法では、文章を品詞単位（形態素）に分解して、品詞間の関係性（係り受け関係）を表す単語は捨象している。一方、本手法では、文章内の係り受け関係の情報を保持したまま分析している。

どの様々な情報を踏まえて、「企業がグリーン投資を増やした」という結果事象が「当局による環境規制の強化」という原因事象により引き起こされている、というストーリーを想定している。本研究では、テキストの書き手が想定しているストーリーを構成している原因と結果の関係を「因果関係」と呼称する。

テキストにおける因果関係を考慮した分析は、経済データだけでは分からない経済事象の背景にある情報の把握、すなわち因果関係の認知のされ方に関する理解につながり、金融経済予測や経済・ファイナンス理論の検証に有益となる可能性がある。イェール大学のロバート・シラー教授⁴は、人々の興味や感情を表す物語（ナラティブ）の広がりや時間を通じたナラティブの変化から、経済変動を考察する、“Narrative Economics”を提唱した（Shiller [2017]）。また、Shiller [2019]においては、「ナラティブの感染が人々の経済的な意思決定に影響する」、という仮説⁵を示している。

この仮説に立てば、「ナラティブは、多くの人々の間に広まることで、人々の将来に対する予想や行動の変化を引き起こし、結果としてマクロ経済を変動させる」、という推論が成り立つ。文献、マスメディア、ソーシャルメディアといった多くの人々が目にするテキストデータから、経済を動かすナラティブを抽出することができれば、経済主体の認識・行動の背景にある因果関係を読み解くことが可能になる。本研究では、テキストから読み取った因果関係に基づくストーリーを「経済ナラティブ」と呼称する。

本研究は、二つの自然言語処理手法を用いて、新聞記事の書き手が想定している因果関係を示す表現に注目し、気候変動に関する経済ナラティブ（本研究では「気候変動ナラティブ」と呼称する）を抽出し、それを可視化・指数化する手法を提案する。一つ目は、深層学習ベースの汎用言語モデルのBERT（Bidirectional Encoder Representations from Transformers）である⁶。二つ目は、Sakaji *et al.* [2008]で提案された因果抽出である。因果抽出は、テキスト内の因果関係を含む文章を探索し、原因と結果の論理関係を表す表現対を抽出する手法である。

二つの手法による分析結果を組み合わせることで、時点やトピックをまたぐ原因事象と結果事象の因果関係を見いだすことができ、「気候変動ナラティブ」として抽出できる。本研究は、テキスト内の文脈情報を解析し、原因と結果の関係にある表現の組合せを抽出することで、因果関係を考慮したテキスト分析を行っている点に手法上の新規性がある。

⁴ バブルの発生や市場参加者の心理的要因といった金融市場における不合理性に着目した、多数の研究や著作を有する。2013年、資産価格の実証分析に対してノーベル経済学賞を受賞。

⁵ “An economic narrative is a contagious story that has the potential to change how people make economic decisions” (Shiller [2019], p 3).

⁶ 当モデルの詳細は、Devlin *et al.* [2018]を参照。英語や日本語などの様々な言語に対応するBERTモデルが開発、公開されている。

今回抽出した気候変動ナラティブを指数化し、ネットワーク図として可視化したところ、以下の4点が示唆された。

(1) 気候変動に関する国際会議での合意といったイベントの発生時に、国内の環境・エネルギー政策への因果性を示す気候変動ナラティブが増加する傾向がある。

(2) 2018年以降、国内の環境・エネルギー政策から企業行動や金融市場への因果関係に注目した気候変動ナラティブが顕著に増加している。このことは、将来の環境規制の強化を見据えて、企業や市場の認識・行動変化が始まっていることを示唆している。

(3) また、「国際会議や国内の環境・エネルギー政策」と「金融政策・物価・景況感」の間に新たに気候変動ナラティブが出現している。国内外の気候変動関連規制がマクロ経済活動に何らかの影響を及ぼす可能性が意識されているとみられる。また、中央銀行による政策対応の可能性につなげたナラティブも登場している。

(4) さらに、近年では自然災害に関連する気候変動ナラティブが増加してきている。自然災害の激甚化や頻度の増加が経済活動に与える悪影響が、企業や当局にとっての新たなリスク要因となっていることが示唆される。

本研究で提示した手法は、気候変動に限らず様々な金融経済トピック間の経済ナラティブを分析可能であることから、今後、幅広い分野への応用が期待される。本研究の構成は次のとおりである。2節では、本研究に関連する先行研究を紹介する。3節では、気候変動ナラティブの推計方法の全体像を概説したうえで、4節では、気候変動ナラティブの抽出方法、5節では、気候変動ナラティブの指数化・可視化の手法、をそれぞれ示す。6節では、気候変動ナラティブの分析結果を示す。7節では、まとめと若干の考察を行う。

2. 先行研究

本節では、テキスト分析を用いた気候変動ニュース分析や、BERTを用いた経済・ファイナンス研究を紹介し、テキストに含まれる因果関係の見だし方について概説する。

(1) 気候変動ニュース分析

近年、気候変動に対する分析アプローチの一つとして、気候変動関連テキスト（ニュース報道や新聞記事など）を分析する研究が多くみられている。例えば、LDA (Latent Dirichlet Allocation) などのトピックモデルを用いて、気候変動ニュース指数を作成し、株式リターンとの関係を実証するファイナンス研究がみられている (Bua *et al.* [2022]、Engle *et al.* [2020]、Faccini *et al.* [2023]、Hiraki *et al.* [2023]、Pastor *et al.* [2022]など)。Fueki *et al.* [2022]は、気候変動関連の報道数が増加する局面において企業の将来収益

への不確実性が高まるため、CO2 排出量の多いブラウン企業を中心に設備投資を抑制する傾向があることを指摘した。また、Arseneau *et al.* [2022]は、中央銀行の気候変動関連スピーチを分析し、気候変動がマクロ経済、金融政策、金融安定に影響を及ぼす可能性への言及が増加していることを示した。このように、気候変動ニュースのテキスト分析から、市場、企業、中央銀行による気候変動リスクへの関心や懸念を定量化したり、金融経済に対する影響を実証する研究が増加している。

(2) BERT を用いた経済・ファイナンス研究

BERTは、Devlin *et al.* [2018]で提案された深層学習ベースの汎用言語モデルであり、テキストから重要な情報を抽出したり、文章のトピック判定などに活用されている。複数の注意機構（attention mechanism）を核に持つTransformer⁷を12層重ねたモデル構造により、テキストにおける重要度の高い単語や文章を判別し、テキストの文脈を学習できるため、様々な言語処理タスクを高精度で行える点が特長である。BERTは、大量のテキストデータを用いて、汎用的言語（一般的な文法や語彙）を事前学習した状態で公開されている。そのため、ユーザーは、少数のラベル付き教師データを用いて追加学習（ファイン・チューニング）することで、特定のタスクを目的とした学習モデルを得ることができる。近年のBERTの普及は、目的に応じた追加学習が行える汎用性の高さが背景にある。

近年、経済・ファイナンス研究においても、企業決算や特許情報などの大容量テキストデータをBERTで分析し、テキスト分類、情報抽出、金融データの実証を行う研究がみられ始めている。気候変動関連の分析では、Bingler *et al.* [2022]は、企業の気候変動対応の進捗状況を情報抽出し、スコア評価を行っている。Köbel *et al.* [2022]は、物理的リスク・移行リスクに関するセンチメント指数を作成し、個社のCDSスプレッドとの関係を実証研究している。本研究と同様に、日本語テキストに対応したBERTで分析した事例としては、毛利ほか [2022] が、新聞記事データから脱炭素技術に関するキーワードの出現数を計測し、各国の脱炭素関連投資の進捗状況をスコア評価している。このように、先行研究では、大容量データを用いて気候変動関連の金融経済トピックの分類モデルを構築し、文章におけるニュース指標やスコア評価を作成し、株式リターンや企業行動、経済活動の分析を行っている。

(3) テキストに含まれる因果関係

テキストで記述されている因果関係については、明確な定義が必ずしも存在しているわけではない。言語学的な説明としては、「原因や理由」と「既に起こった事実」が順接的に接続された文章（「～から」、「～のため」、「～により」、「～ので」などの手がかかり表現により、原因と結果の論理文が接続された文章）に因果関係が含まれる、と

⁷ 当モデルの詳細は、Vaswani *et al.* [2017]を参照。

いう見方がある（庵 [2012]）。

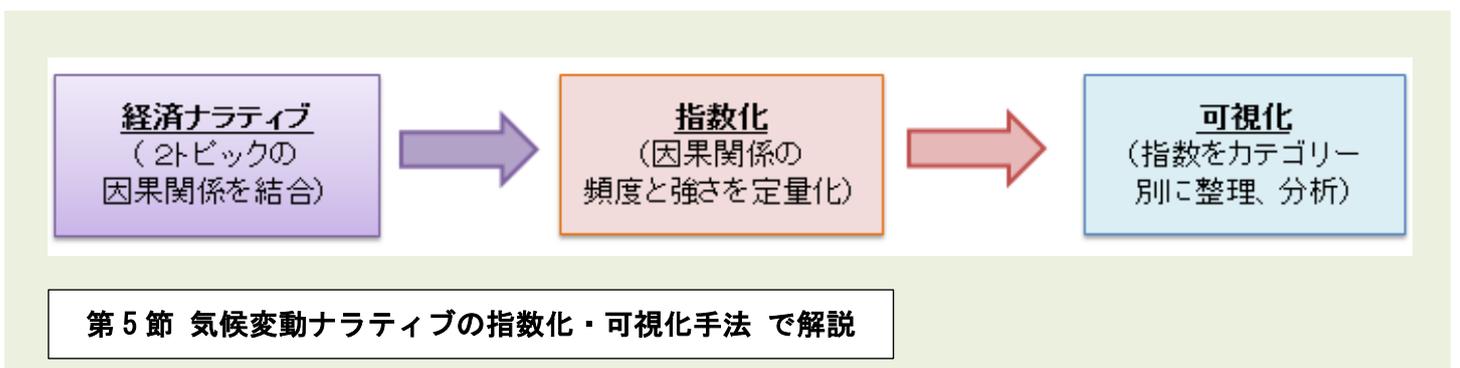
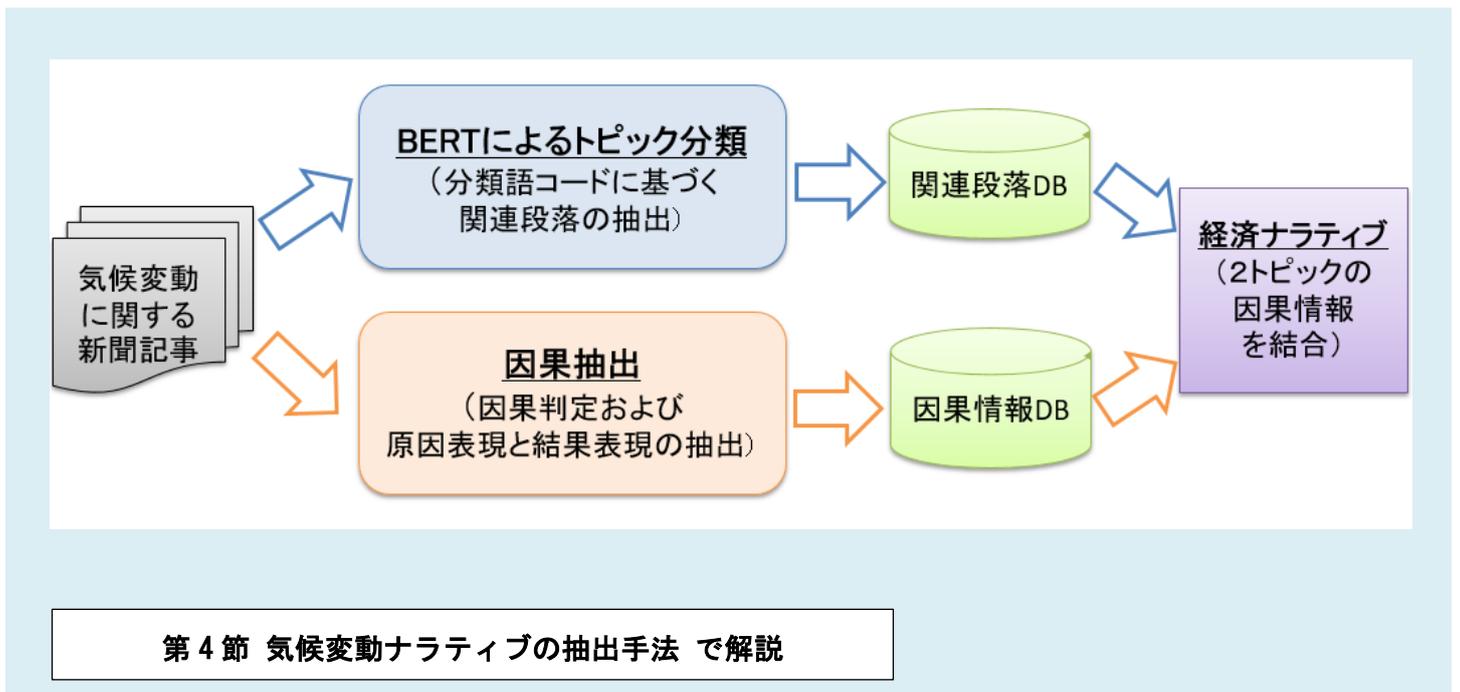
本研究では、この見方に立ち、テキストに含まれる因果関係を見いだすために、Sakaji *et al.* [2008]で提案された手法である「因果抽出」を用いる。因果抽出は、手がかり表現により、テキスト内の因果関係を含む文章を探索し、原因と結果の論理関係を表す表現対を抽出することができる。例えば、「サブプライムローン問題により、世界経済の後退が生じる」という文章には、「サブプライムローン問題」を原因句、「世界経済の後退」を効果句とする因果関係が記述されている。このように、文章中の因果関係は、「～のため」や「～により」といった手がかり表現を基に、係り受け解析を行うことで見いだされる。

なお、本節の(1)、(2)で提示したいずれの先行研究も、単語や記事の出現頻度に基づく指数の分析をするにとどまっており、テキストの中に含まれる経済ナラティブを明示的に考慮したものは存在しない。ニュースの文章内に含まれる、原因事象と結果事象の間の因果関係を考慮してテキスト分析し、因果性を持つナラティブを抽出した点が、本研究における新たな貢献である。

3. 気候変動ナラティブの推計方法

本節では、本研究で提案する気候変動ナラティブの推計方法の全体像は、図1のとおりである。「気候変動ナラティブの抽出手法」と「気候変動ナラティブの指数化・可視化手法」の二つのパートから構成されており、それぞれを第4節、第5節で後述する。

図1 気候変動ナラティブの推計方法の全体像



4. 気候変動ナラティブの抽出手法

本節では、気候変動ナラティブを抽出するために用いるデータ、および抽出手法について説明する。以下では、BERT と因果抽出を利用して、気候変動ナラティブの抽出を行うための具体的な方法について述べる。

(1) データ

本研究は、2000年1月から2021年11月までの日本経済新聞（朝刊、平日）における気候変動ニュース（約1万7千記事）に含まれる、企業関連、国際会議、国内政策、金融機関などの様々な気候変動関連トピックを分析対象としている⁸。各記事にはトピックが付与されており、本研究では日本経済新聞が設定したトピック群のなかから、企業、政治、経済、社会に関連する40トピックを選択した（表1）。これらのトピックは、企業行動、マクロ経済、政策、規制に関連するもののほか、政治や社会に関連するものも含めている。

表1 トピック（分類語コード）

【企業】		【政治】	【経済】	【社会】
①新規事業進出	⑪企業統治	②野党	⑲金融政策	⑳大量破壊兵器
②事業・企業の買収	⑫人材削減	③規制・監督	⑳物価	㉑自然災害
③事業戦略	⑬社名変更	④国家財政	㉒景況感	㉓裁判
④価格戦略	⑭賃金	⑤エネルギー政策	㉓マーケット	㉔エネルギー問題
⑤生産戦略	⑮財務	⑥安全保障	㉔為替	㉕環境問題
⑥コスト削減	⑯業績	⑦首脳会議	㉕金利・債券	㉖消費トレンド
⑦購買・調達	⑰販売動向	⑧社会保障	㉖新エネルギー	
⑧知的財産権	⑱価格動向			
⑨研究開発	⑲市場シェア			
⑩設備投資	⑳売れ筋			

(2) 気候変動ナラティブの抽出手法

気候変動ナラティブの抽出手法について具体的に解説する。本研究は日本語の金融関連文書の分析に特化したものであるため、BERTを追加的に事前学習した「金融BERT」(Suzuki *et al.* [2023])を使用する（以下、単にBERTと呼称する）。まず、新聞記事の段落をトピック分類する手法を決定するために、事前実験として分類精度の比較を行った。日経新聞の各記事に対し、ひも付けされたトピック（分類語コード）を教師データ（正しい分類）と仮定して、各種分類手法（BERT、線形回帰、ランダム・フォレスト、サポート・ベクター・マシン）の分類性能を確認した。例えば、トピック「オリンピック」に関連する記事の分類精度を比較した事例が表2である。

⁸ 当新聞記事データは、記事の内容を示す関連するトピック（分類語コード）が記事毎に付与されているため、BERTによるトピック判定モデルの学習に用いることができる。

表2 「オリンピック」判定モデルの分類精度

	Accuracy rate	Precision rate	Recall rate	F1 score
線形回帰	0.958	0.958	0.958	0.958
RF	0.950	0.951	0.950	0.950
SVM	0.954	0.954	0.954	0.954
BERT	0.960	0.960	0.960	0.960

(注) RF はランダム・フォレスト、SVMはサポート・ベクター・マシンの表す。

比較の結果、BERT による判定モデルは、どの基準値で評価しても従来の機械学習手法を若干ではあるが、上回る分類精度を示している⁹。一般的に、BERT は様々なタスクで高精度を示すことが知られているが、本研究の分析対象であるトピック判定についても高精度で行えることが確認できたことを踏まえて、本研究においてもBERTを採用した。

以下では、BERT を採用した気候変動ナラティブを抽出する手法を提案する。具体的には、STEP1 から STEP4 で構成される。

【Step1】BERTによる新聞記事のトピック判定

気候変動に関するトピック判定モデルを学習させたBERTを用いて、新聞記事に含まれるトピックを判定する（図1の青矢印）。具体的な手順は以下の通り。

(1)日本経済新聞記事にデフォルトで付与されている分類語コード（トピック）を用いて、各トピックの教師データを作成する。日本経済新聞の記事は、複数の話題について書かれた記事の場合、複数の分類語コードが付与されていることがある。教師データを作成する際には、学習するトピックの分類語コードが付与されており、かつ付与された分類語コードが2つ以下である記事を正例（正解）とし、学習するトピックが含まれていない（他のトピックの分類語コードのみが付与されている）記事を負例（不正解）として抽出する¹⁰。

⁹ Accuracy rate（正解率）は「あるトピックに属するか否かが正しく判定された割合」。Precision rate（適合率）は「あるトピックに属するという判定が、実際に正解トピックである割合」。Recall rate（再現率）は「正解トピックが、正しくトピック判定されている割合」。F1 score は、適合率と再現率の調和平均で、適合率と再現率を両立するモデルを高く評価する指標。

¹⁰ 分類語コードが3つ以上付与されている記事は、複数トピックが記述された記事であるため、トピック判定の正例として学習することでモデルの判定精度が低下する可能性を考慮し、使用しないことにした。

(2)トピックに関する正例を教師データとして、追加学習(ファイン・チューニング)を行い、正例と負例を見分けるトピック判定モデルを推計する。40トピックのそれぞれに対しモデル学習を行い、40個のトピック判定モデルを得る。

(3)上記(2)で作成した40個のトピック判定モデルを用いて、全ての気候変動関連の新聞記事の各段落が、40トピックのそれぞれに関連しているか否かを判定し、判定結果を関連段落データベース(DB)に記録する。全記事の各段落に対し、各トピックに関連しているか否かの40個の判定フラグが立てられる¹¹。

なお、各トピックに関連すると判定された段落数をカウントすることで、先行研究と同様に「気候変動トピックベース指数」を作成することができる。当指数を集計することで、気候変動ニュース全体の動向に関する基礎的な分析を行うことが可能となる(5節を参照)。

【Step2】因果抽出による新聞記事から因果情報を抽出

坂地・増山 [2011]で提案されたアルゴリズムを用いて、新聞記事に因果関係を含んだ文章が存在しているか否かを判定する¹²。次に、Sakaji *et al.* [2008]で提案された因果抽出を用いて、因果関係が含まれていると判定された新聞記事から、原因と結果の論理関係を表す表現対を抽出し、因果情報(原因表現と結果表現のペア)として、因果情報DBに記録する(図1の橙矢印)。

【Step3】気候変動ナラティブの抽出

Step 1のトピック判定結果と、Step 2の因果情報を紐付けることで、トピック間を跨る因果情報のセットを整理することができる。関連段落DBと因果情報DBに格納された2種類の情報を引き出し、任意の2トピックにおける因果情報として結合することで、「異時点間の2トピック間の気候変動ナラティブ」を抽出する(図1左の紫ボックス)。すなわち、過去のニュースは将来のニュースに波及するという時間関係を仮定して、過去の原因事象と現在の結果事象を結合する。当作業は、Izumi and Sakaji [2019]で提案されている因果チェーンの構築に相当する。以下、原因事象を環境規制、結果事象を企業戦略とした場合の結合方法を例示する(図2)。

まず、現在時点の企業戦略(結果事象)における原因表現と、過去時点の環境規制(原因事象)における結果表現の組合せ(ペア)に対し、そのコサイン類似度¹³(表

¹¹ 記事全体のトピックを示す分類語コードを基に学習した判定モデルを、記事の各段落のトピック判定に適用しているため、教師データとテストデータのテキストの粒度は異なっている。ただし、事前実験では高い分類精度を示しており、採用することにした。

¹² 文章が因果関係を含むか否かは、BERTを用いて判定している。

¹³ コサイン類似度を計算するため、BERTを用いて、因果情報の原因表現と結果表現のテキスト情報をベクトル形式(分散表現)に変換している。

現がどの程度似ているかを示す指標)を計算する。各ペアのコサイン類似度が一定の閾値を上回る場合、それらを結合する。最後に、結合されたペアにおいて原因事象が属するトピックと結果事象が属するトピックの間に「ナラティブが存在する」とみなす。

これは、

- ① あるトピック A の記事において因果関係「X ならば Y」が存在する、
- ② トピック A の記事の掲載日より後の時点で、別のトピック B の記事で因果関係「Y' ならば Z」が存在する、
- ③ 「Y と Y' の類似度が高い」、

という 3 つの条件を満たせば、推移律によって、

- (i) 「X ならば Z」が成立する、
- (ii) 原因事象 X が属するトピック A から、結果事象 Z が属するトピック B への「ナラティブ」(原因事象と結果事象のつながり)が存在する、

とみなしていることに相当する。

図 2 環境規制→企業戦略の気候変動ナラティブ (概念図)

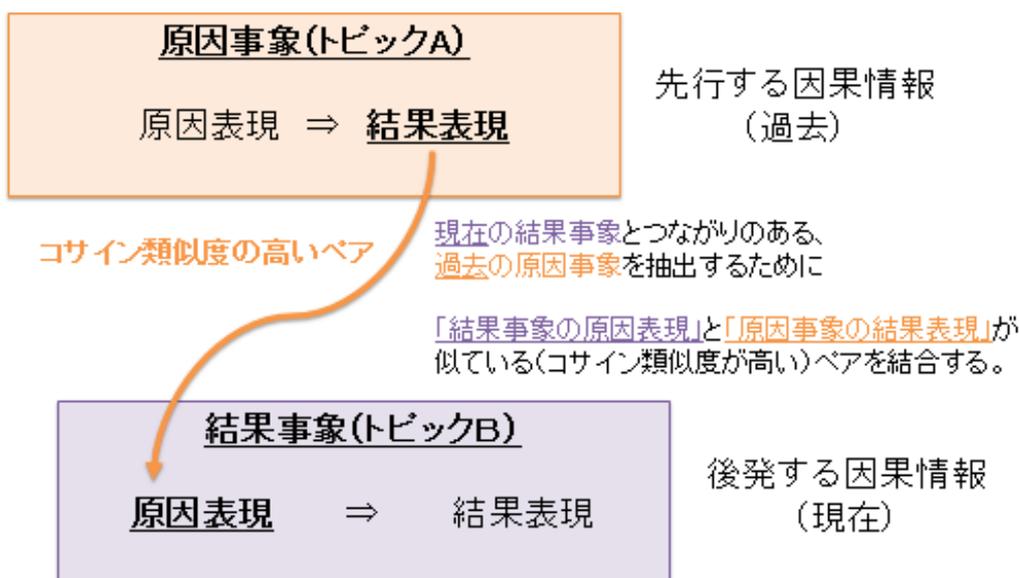


図 3 は、日本経済新聞の記事から抽出された「環境規制を原因、企業戦略を結果とする」気候変動ナラティブの原因表現と結果表現の文章例である。2008 年 7 月の記事に記述された「企業戦略における原因表現」とコサイン類似度の高いと判定された 2006 年 8 月および 2007 年 11 月の「環境規制における結果表現」を結合することで、環境規制(原因事象)から企業戦略(結果事象)への気候変動ナラティブを見いだすことができる。

図3 環境規制→企業戦略の気候変動ナラティブの文章例

環境規制(原因事象)

2006年8月

環境規制の**原因表現**:

排出権の発行を最終的に承認する国連が判断基準の引き上げ、排出権量の削減、再審査などに持ち込む例が相次いでいる

環境規制の**結果表現**:

日本企業が海外で手掛ける温暖化ガス排出権の取得事業に想定外のリスクが浮上している。

2007年11月

環境規制の**原因表現**:

日本では経済産業省や日本経団連が自主行動計画にこだわり、削減義務を伴う排出権取引を拒んできた。

環境規制の**結果表現**:

国内排出権市場の制度設計が放置され、削減の取り組みが十分に広がらないままになっている。

企業戦略(結果事象)

2008年7月

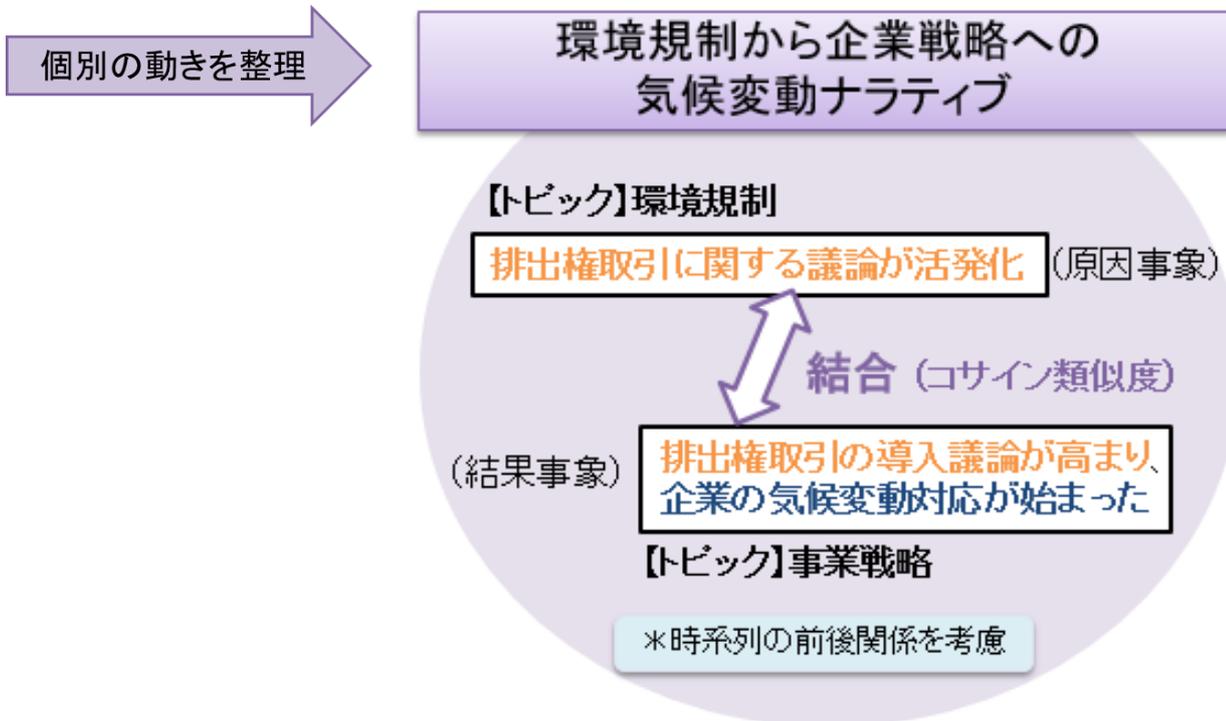
環境規制の**結果表現**
= 企業戦略の**原因表現**:

企業に排出枠を設ける排出量取引の導入議論が高まるなかで、もう一段の対策が必要

企業戦略の**結果表現**:

製鉄会社Aと製鉄会社Bは環境提携へ踏み込んだ。

(注) 橙や紫のハイライトは、BERTがトピック判定のために重要であると判断した(モデル最終層においてattentionの重みが高めに設定されている) 単語。個社は匿名化している。



5. 気候変動ナラティブの指数化・可視化手法

前節までの手順により、あるトピックから別のトピックへの気候変動ナラティブが日次で得られる。これらナラティブ指数は、先行研究における気候変動ニュース指数と同様に、金融経済データを用いた実証研究にも応用できる。

本節では、まず、BERT によるトピックの分類が妥当であるかを評価するために、気候変動トピックベース指数の時系列データを先行研究と同様の手法で作成した。同データを国際的な関連事象の発生時期と比べながら確認する。次に、本研究で提案する気候変動ナラティブの指数化・可視化の手法について説明する。原因事象（40 トピック）と結果事象（39 トピック）の間の気候変動ナラティブ（ $40 \times 39 = 1,560$ 個）を抽出している。得られた気候変動ナラティブ指数を指数化し（図 1 の紫矢印）、特に重要なつながりを示した指数を選択し、ネットワーク関連図として可視化する（図 1 の赤矢印）。最後に気候変動ナラティブの指数化・可視化の結果を分析し、経済的解釈を行う。

(1) 指数化・可視化の手法

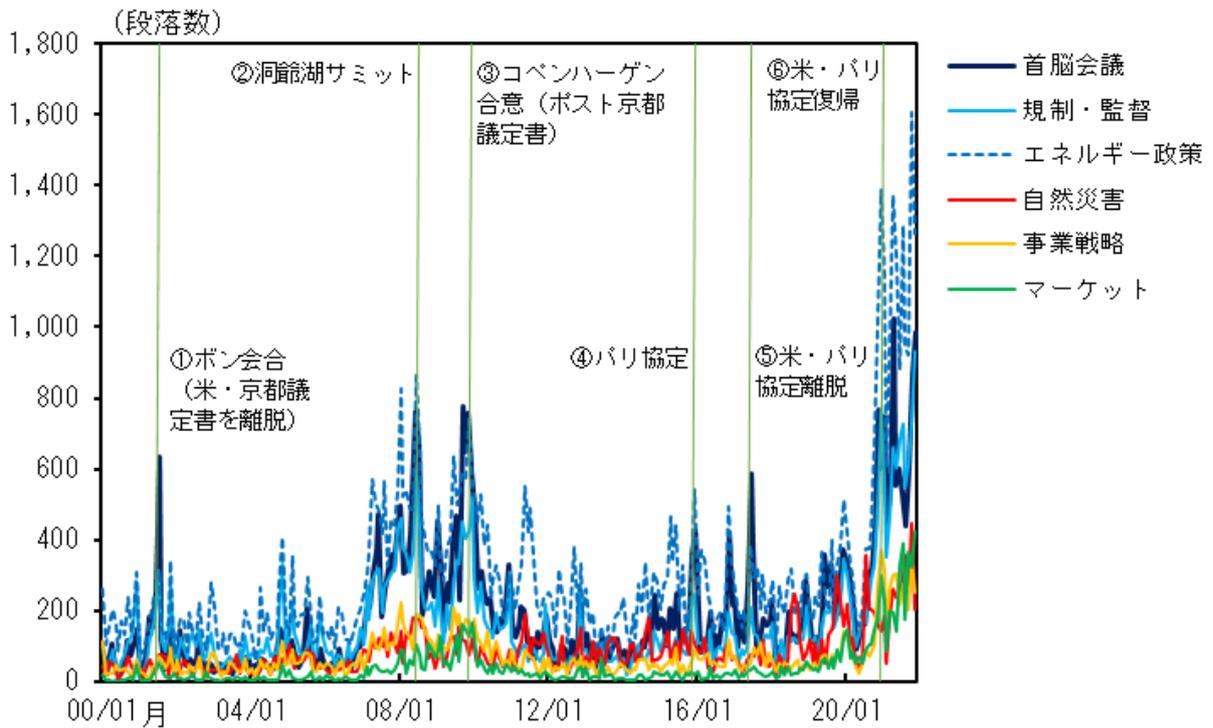
(i) 気候変動トピックベース指数

まず、BERT の判定結果のみを用いて、任意のトピックに関連すると判定された段落数を月次でカウントした「気候変動トピックベース指数」を算出する。BERTを用いた先行研究と同様に、あるトピックを含む文章の出現回数を指数化している。図4の通り、2008年（洞爺湖サミット）、2009年（コペンハーゲン合意）、2015年（パリ協定）などのイベント発生時に指数が上昇しており、首脳会議の開催や国際合意の前後で、気候変動に関する報道が増加する傾向を示している。また、2008-2010年頃は、国際議論や国内環境規制に関するトピックが大半であり、気候変動は、国内外の政策議論が中心的な話題であったことを反映している。

一方、特に2018年以降は、企業の気候変動対応や金融機関によるグリーン・ファイナンスに関する報道といった事業戦略やマーケットなどに関するトピックも併せて増加している。気候変動に関する報道が様々なトピックに広がっていることを示している。

当指数は、気候変動議論にとって重要なイベントの把握や、時点毎の主要トピックやトピック間の相関をおおまかに把握することができる点で有用であるといえる。しかし、トピック別に関連する段落の出現数を計算した指数であるというその性質上、トピック間の因果関係を考慮したものではない。

図4 気候変動トピックベース指数（関連段落出現数）



(ii) 気候変動ナラティブ指数

次に、トピック間の因果関係を考慮した気候変動ナラティブ指数の作成方法を説明する。「異時点間の2トピックの気候変動ナラティブ」を式1のように指数化する。

$$(式1) \quad Index_monthly_m = \sum_{j=0}^M \sum_{i=0}^{L(j)} \frac{1}{1 + ae^{bd}} \cos(\vec{l}_{t-d} \cdot \vec{j}_t)$$

$$\cos(\vec{l}_{t-d} \cdot \vec{j}_t) = \frac{\vec{l}_{t-d} \cdot \vec{j}_t}{|\vec{l}_{t-d}| |\vec{j}_t|}$$

M: m月に含まれる因果チェーンの集合
 L(j): 結果事象jと接続している原因事象l(因果チェーン)の集合
 cos($\vec{l}_{t-d} \cdot \vec{j}_t$): 原因事象 \vec{l}_{t-d} と結果事象 \vec{j}_t のBERTに基づくコサイン類似度
 t-d: 結果事象につながる原因事象の観測時点(d>0)
 t: m月に含まれる結果事象の観測時点
 d: 原因事象と結果事象の時点差(日数)
 (注) ロジスティック関数のパラメーターa, bはニュースの減衰期間に応じて設定。

原因事象ベクトル \vec{i}_{t-d} <t時点からd日目の過去情報>と結果事象ベクトル \vec{j}_t <t時点の現在情報>の因果チェーンのコサイン類似度が高い組み合わせ ($\cos(\vec{i}_{t-d} \cdot \vec{j}_t) \geq 0.7$) に絞って集計し、月次指数を作成する。情報は時間とともに増大するため、最新のニュースほど過去とのつながりが増えるというバイアスが生じる。これを除くため、古い因果関係の重みを時間経過に伴い減少させている。具体的には、ロジスティック関数に従うと仮定し、パラメータのa、bはニュースの減衰期間に応じて設定した。本研究では5年で重みが半減するように設定している。

次に、任意の異なる2トピック間の因果関係を考慮し、原因事象と結果事象の順序を指定して、40トピック×39トピック=1,560個の気候変動ナラティブ指数を推計した。図5は、原因事象（「国際会議」）から結果事象（その他の39トピック）への気候変動ナラティブ指数を例示している。企業関連、規制・制度関連、マクロ指標・政策といった指数が2008年から2010年頃に上昇しているほか、近年も顕著に上昇し、高水準となっていることが示された。また、時点毎に気候変動ナラティブの大きさに変化が生じていることも確認された。一方、気候変動とは関連が低いトピックについては、ほとんど上昇がみられないことも分かる。このように、様々なトピックを網羅的に推計することで、データに語らせる形で、因果関係の探索を行い、指数の動向から、気候変動に関する因果関係の有無を検討することができる。

図5 気候変動ナラティブ指数（国際会議→各トピックのつながり）

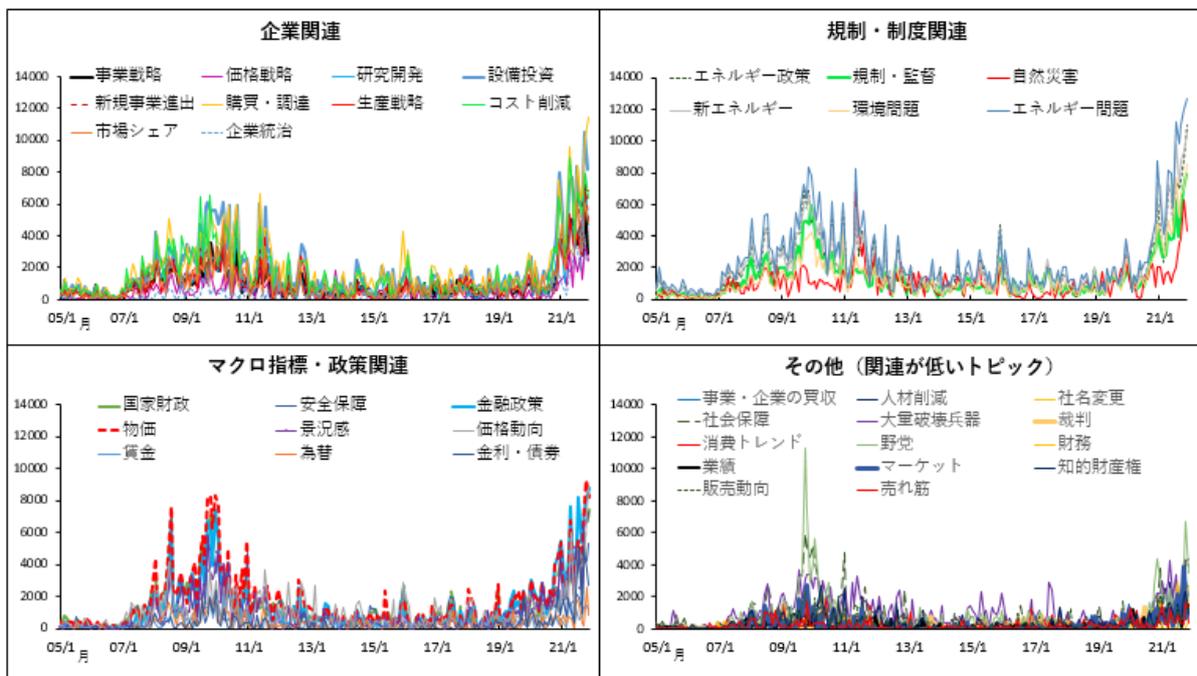


図6は、推計した1,560個の気候変動ナラティブ指数の2000年から2017年の月次平均値を算出し、マトリックス表示している（行は原因事象のトピック、列は結果事象のトピックを意味している）。図7は、同様に、2018年から2021年の月次平均値をマトリ

ックス表示している。各トピック間の気候変動ナラティブ指数の水準が大きい（強いつながりがある）ほど濃い緑色で表示している。

図6と図7を比較すると、濃い緑色の箇所が増加しており、気候変動ナラティブが様々なトピック間で強まっていることを示唆している。実際、2000年から2017年までの動き（図6）をみると、気候変動に関する国際会議、環境政策・エネルギー政策に関連するトピックにのみナラティブが集まっていることが確認できる。一方、2018年から2021年までの動き（図7）をみると、引き続き、気候変動に関する国際会議、環境政策・エネルギー政策から幅広いトピックにナラティブが集中していることが確認できる。加えて、企業関連と環境政策・エネルギー政策の間、企業関連内（設備投資・購買調達から事業戦略・価格動向など）、さらには気候変動関連規制や自然災害と金融政策・物価・景況感の間にもナラティブが出現していることが確認できる。このように、近年、多くの気候変動ナラティブ指数が大きく上昇しており、新たなトピック間のナラティブが出現していることが確認された。

図6 気候変動ナラティブ指数のマトリックス（2000-2017年平均）

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚	㉛	㉜	㉝	㉞	㉟	㊱	㊲	㊳	㊴	㊵	㊶	㊷	㊸	㊹	㊺
①新規事業進出		116	203	257	282	272	192	133	237	192	100	147	55	143	98	91	201	409	268	118	190	768	886	464	556	885	265	377	666	279	70	97	84	181	364	430	73	233	198	94					
②事業・企業の買収	12		32	35	32	29	30	19	45	19	17	18	9	20	18	14	26	58	27	14	32	77	120	98	82	115	39	58	101	45	14	20	18	51	57	52	14	91	59	15					
③事業戦略	229	112		247	267	214	185	133	198	234	93	145	55	141	98	94	200	429	275	124	172	859	886	530	521	868	248	364	654	269	62	89	74	171	352	441	65	168	173	91					
④価格戦略	135	51	108		132	132	156	61	172	173	43	69	25	65	46	47	86	96	124	51	85	389	397	280	230	392	116	182	251	127	35	48	41	176	159	183	34	168	204	40					
⑤生産戦略	223	102	184	219		233	98	118	272	110	84	125	49	123	93	83	159	305	222	103	162	784	775	439	489	738	224	363	530	239	66	94	73	172	321	382	54	272	185	80					
⑥コスト削減	435	172	367	375	440		418	208	510	355	153	220	80	222	157	134	284	618	437	168	320	1009	1283	704	836	1308	434	588	963	415	113	151	133	396	588	606	116	407	371	132					
⑦購買・調達	790	272	736	584	740	939		317	831	901	228	332	114	318	241	199	441	852	704	257	483	1417	1941	761	1237	1717	624	920	1438	637	168	240	194	314	829	976	167	623	274	217					
⑧知的財産権	47	32	62	62	78	85	73		47	92	34	39	15	38	35	23	44	103	57	27	67	106	214	163	145	196	76	110	171	73	21	33	27	94	100	95	28	152	105	28					
⑨研究開発	316	130	262	300	385	446	323	153		437	109	160	58	155	121	100	231	498	344	145	205	900	981	454	602	958	286	404	726	295	68	101	84	155	415	489	79	250	102	119					
⑩設備投資	503	200	485	448	486	502	452	233	594		167	249	91	238	174	157	325	698	496	193	345	1462	1428	623	953	1445	462	648	1072	458	124	171	146	266	625	727	115	383	336	159					
⑪企業統治	32	11	31	24	30	28	54	16	38	41		12	5	14	13	8	16	41	24	9	31	58	75	109	73	96	33	39	71	28	11	15	14	83	46	36	12	82	76	12					
⑫人材削減	60	27	57	57	46	38	94	36	85	42	27		14	29	33	24	37	105	53	25	59	239	188	231	148	210	68	102	147	68	25	34	29	152	100	89	22	172	209	25					
⑬社名変更	1	2	4	7	3	1	4	4	7	1	1	3	2		4	3	3	6	11	4	3	6	21	20	17	14	22	7	11	17	9	4	3	3	4	10	9	3	10	14	3				
⑭買金	77	24	62	49	72	72	172	33	81	96	26	26	11		26	21	35	86	54	17	58	237	151	254	129	195	45	85	85	53	22	28	31	220	81	78	24	154	244	22					
⑮財務	23	13	39	31	48	44	81	19	46	67	15	21	7	22		12	23	45	37	12	34	25	114	148	80	132	44	47	102	42	14	18	16	100	48	41	14	116	49	12					
⑯業績	32	12	27	24	20	17	53	17	46	20	12	13	8	16	14		18	44	25	13	25	142	109	105	69	112	37	52	82	33	12	17	14	75	43	41	9	75	111	12					
⑰販売動向	112	36	89	72	70	108	181	43	142	71	31	47	19	46	33	35		119	70	33	62	379	302	194	180	293	89	137	185	86	27	39	33	122	115	135	20	81	108	29					
⑱価格動向	344	105	360	191	293	507	339	117	412	507	85	141	42	127	90	85	178		280	100	192	655	731	474	515	714	244	353	438	250	79	105	86	378	321	373	63	492	246	88					
⑲市場シェア	164	82	160	165	162	230	193	94	206	183	74	104	37	98	77	70	119	246		71	135	567	533	545	391	553	187	258	383	182	59	85	65	237	257	277	50	306	245	67					
⑳売れ筋	55	19	26	37	60	73	91	24	55	86	16	28	13	23	20	19	29	62	26		30	203	148	240	87	149	42	67	101	49	12	18	15	120	55	71	12	73	60	18					
㉑野党	125	41	101	74	111	209	313	64	127	242	52	58	19	58	46	29	52	138	107	26		364	175	409	219	149	124	194	221	125	47	61	57	498	182	138	58	452	445	50					
㉒規制・監督	1400	416	1315	846	1308	1828	2216	532	1808	2245	407	524	147	512	374	287	616	1362	1138	338	972		2803	2284	1989	2364	1104	1480	2204	1051	322	431	362	2068	1436	1414	341	2278	1182	367					
㉓国家財政	731	228	652	414	669	1116	1648	301	788	1276	247	293	85	287	205	159	304	708	606	146	599	1092		1844	1026	912	620	718	843	559	227	294	240	1882	840	699	214	1301	1438	224					
㉔エネルギー政策	1462	402	1433	899	1371	1865	2074	503	1578	2076	360	513	157	485	344	295	675	1443	1200	393	846	2818	2943		1978	2843	1043	1458	2238	983	267	384	315	532	1394	1474	283	970	280	371					
㉕安全保障	401	131	348	203	369	613	773	181	421	706	136	152	48	131	109	79	157	398	346	80	376	640	570	806		152	371	536	717	346	109	160	122	923	372	389	135	1080	527	134					
㉖首脳会議	727	232	654	392	669	1119	1331	296	786	1285	235	279	83	244	195	150	297	692	608	149	636	931	964	1383	807		649	827	1133	586	200	271	219	1433	785	714	208	1771	823	221					
㉗社会保障	181	52	154	110	159	288	438	78	190	334	68	77	22	81	64	42	75	183	151	36	141	395	121	665	334	465		176	156	138	58	73	71	660	219	159	65	540	671	55					
㉘金融政策	278	95	250	175	278	437	671	125	295	494	108	133	35	124	84	76	131	273	240	61	246	560	84	968	507	485	237		167	173	102	126	103	930	357	268	86	886	851	92					
㉙物価	540	151	498	304	471	791	1034	196	577	900	158	208	59	203	139	120	228	441	415	117	369	1049	392	1248	828	925	371	384		321	150	188	160	1187	575	487	124	1085	962	146					
㉚景況感	198	64	188	123	171	291	416	77	212	294	65	87	25	77	58	54	87	175	143	46	146	557	155	561	347	375	152	80	61		65	82	68	511	228	193	47	487	511	61					
㉛マーケット	30	12	26	24	33	50	76	14	30	59	18	18	6	16	12	10	16	28	26	7	33	69	32	120	59	64	35	6	23	29		11	11	122	39	27	10	121	149	11					
㉜為替	51	20	45	36	51	90	125	24	53	94	22	28	8	23	19	17	26	51	45	12	52	109	27	216	92	67	55	14	32	35	17		21	218	68	48	17	206	263	20					
㉝金利・債券	38	16	31	27	40	62	104	18	39	80	18	22	5	20	15	12	19	43	38	9	44	59	12	159	87	82	39	3	27	25	14	17		164	54	35	14	154	178	14					
㉞新エネルギー	1696	440	1620	975	1456	2082	2162	548	1685	2128	396	561	175	533	371	326	732	1670	1264	426	901	2749	3167	1073	2178	2889	1118	1561	2407	1071	294	421	345		1505	1618	299	1038	295	398					
㉟大量破壊兵器	263	84	250	143	243	406	414	111	285	415	81	100	32	80	67	54	109	246	226	56	220	548	440	411	156	222	220	336	466	216	66	97	74	473		277	78	567	363	88					
㊱自然災害	392	85	390	210	362	532	743	109	419	602	70	108	35	100	66	67	162	380	288	112	181	1045	725	477	491	747	201	293	498	217	48	77	61	525	351		62	486	126	117					
㊲裁判	31	11	27	17	26	44	68	14	34	56	12	13	5	15	12	8	12	28	25	8	35	18	79	93	54	74	34	45	67	27	11	14	13	119	36	26		100	102	11					
㊳エネルギー問題	1470	401	1386	915	1361	1893	2030	502	1564																																				

図7 気候変動ナラティブ指数のマトリックス（2018-2021年平均）

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚	㉛	㉜	㉝	㉞	㉟	㊱	㊲	㊳	㊴	㊵	㊶	㊷	㊸	㊹	㊺
①新規事業進出		314	475	407	582	418	327	252	487	206	357	384	52	219	280	250	265	814	612	213	209	1539	1790	592	695	1473	331	1075	1185	719	212	147	321	261	476	716	115	407	381	193					
②事業・企業の買収	86		148	84	112	127	142	55	164	77	65	71	14	50	63	50	53	165	86	44	72	264	380	271	188	331	88	223	290	183	68	48	104	125	120	124	34	276	190	44					
③事業戦略	391	275		348	423	288	249	220	290	284	293	315	38	176	224	208	225	754	538	188	158	1485	1617	614	576	1277	262	932	986	595	159	116	245	270	396	640	89	262	314	169					
④価格戦略	242	129	210		254	192	228	97	296	284	147	171	20	97	112	111	95	140	242	84	89	678	808	300	286	634	146	497	440	306	103	77	149	235	192	282	49	230	315	84					
⑤生産戦略	459	265	369	349		468	100	206	525	180	289	308	41	174	222	213	208	582	459	184	187	1379	1611	610	623	1228	269	945	934	574	180	139	265	316	414	628	93	442	318	164					
⑥コスト削減	696	422	646	519	809		503	334	808	434	473	494	69	291	365	326	344	1005	874	272	302	1381	2418	879	961	1397	469	1622	1626	979	294	210	458	500	644	904	159	587	639	255					
⑦購買・調達	1633	712	1505	917	1506	1771		555	1615	1434	809	880	113	468	595	556	590	1637	1576	469	568	3002	4098	980	1644	2913	802	2668	2652	1651	490	375	752	543	1105	1626	280	1031	622	451					
⑧知的財産権	90	77	113	81	144	119	158		72	153	101	88	14	58	77	55	51	188	104	43	80	225	361	240	163	295	100	307	290	195	61	44	96	156	120	134	48	228	257	56					
⑨研究開発	536	320	420	421	671	657	565	255		614	361	384	42	208	269	239	267	922	682	228	205	1680	1897	681	709	1464	333	1107	1179	720	184	130	295	332	478	708	118	482	333	233					
⑩設備投資	1073	562	1020	737	1098	1098	681	440	1205		629	676	90	378	480	442	460	1391	1185	371	425	2814	3173	904	1333	2928	620	1965	2083	1244	396	288	600	462	873	1296	207	756	682	342					
⑪企業統治	173	69	166	84	163	191	349	66	193	227		88	15	60	75	53	50	194	156	45	103	187	273	410	231	414	117	198	301	179	78	56	128	279	142	126	48	369	205	56					
⑫人材削減	197	96	171	121	140	128	259	80	238	118	125		18	58	105	73	71	275	163	67	110	555	533	506	276	509	119	381	351	226	96	70	147	341	181	192	50	382	480	69					
⑬社名変更	2	3	9	8	6	2	3	2	13	1	4	2		4	6	5	6	18	5	4	6	42	44	16	15	31	8	27	26	18	6	4	8	10	3	6	32	3							
⑭賞金	116	54	89	55	103	107	249	44	115	140	74	37	8		58	43	36	137	99	34	61	332	206	334	147	289	46	160	115	102	55	37	81	323	88	99	31	243	418	41					
⑮財務	86	33	90	48	93	92	192	37	100	111	28	48	7	32		27	28	108	77	22	47	75	157	234	106	239	57	80	171	96	41	27	67	161	67	67	22	230	127	25					
⑯業績	133	47	109	64	95	80	191	46	144	95	57	46	10	37	53		40	143	97	33	55	426	328	277	142	309	72	196	214	126	51	37	80	191	92	110	23	240	266	33					
⑰販売動向	190	88	166	99	107	217	201	67	235	118	99	111	14	67	75	76		165	122	58	67	682	535	260	217	473	99	306	278	169	70	53	98	159	143	218	30	133	195	56					
⑱価格動向	797	307	782	332	650	985	556	227	872	855	346	403	46	208	260	257	244		668	210	261	1460	1628	582	786	1368	353	1057	943	671	237	188	343	594	486	702	120	883	409	211					
⑲市場シェア	388	220	394	265	330	469	396	172	460	355	269	271	39	162	211	186	166	495		145	194	1017	1168	840	560	1038	265	757	737	492	180	135	277	440	376	485	97	539	452	150					
⑳売れ筋	114	46	65	57	77	127	173	37	92	150	51	5	35	40	3	107	51		34	315	284	348	109	238	50	174	175	111	30	25	42	254	65	100	16	166	98	37							
㉑野党	177	80	133	75	152	239	421	62	161	317	130	104	11	57	73	50	51	207	185	40		507	278	451	213	292	136	422	373	259	103	87	142	595	185	155	85	528	748	75					
㉒規制・監督	2701	1052	2327	1211	2390	3312	3900	849	2553	3767	1352	1317	160	711	946	765	778	2639	2431	640	1254		4399	3954	2890	3509	1411	3921	4017	2759	876	697	1319	3539	1903	2249	611	4107	2408	789					
㉓国家財政	1747	693	1418	712	1483	2269	3270	548	1629	2716	951	853	103	476	660	484	443	1674	1566	372	964	2277		3208	1618	1685	965	1048	1934	1696	653	523	956	3339	1267	1284	472	3694	2890	520					
㉔エネルギー政策	3628	977	2405	1243	2464	3166	2975	764	2642	3159	1130	1259	153	643	802	751	808	2505	2398	659	875	4667	5363		8413	4000	1187	3749	3683	2331	681	526	1046	689	1617	2168	428	1362	506	679					
㉕安全保障	839	339	676	334	739	1127	1461	281	780	1362	476	428	53	215	287	221	233	895	805	191	529	1221	1100	1415		227	513	1613	1540	1009	308	292	451	1746	497	650	282	1955	1399	300					
㉖首脳会議	1710	667	1417	688	1471	2297	2836	535	1901	2694	909	832	106	428	593	460	468	1682	1593	380	958	1979	1996	2624	1360		960	2594	2824	1791	593	505	879	2946	1227	1376	467	3449	2146	534					
㉗社会保障	303	124	243	128	254	407	652	102	286	480	185	153	19	92	130	97	78	299	292	68	149	626	245	738	355	598		325	246	292	129	94	179	809	232	210	83	689	941	95					
㉘金融政策	877	353	715	370	727	1152	1717	280	820	1303	483	436	53	254	360	263	223	787	767	189	474	1355	267	1855	1008	1207	462		536	624	345	248	488	1864	678	619	211	1967	1753	250					
㉙物価	1146	416	928	455	920	1468	1906	325	1057	1709	565	531	58	301	407	328	287	918	933	256	514	2038	617	1977	1179	1512	528	846		773	379	289	552	1917	780	821	243	1940	1844	316					
㉚景況感	580	215	496	249	452	752	1018	168	553	753	272	264	31	153	213	174	145	461	443	132	266	1398	347	1941	660	923	277	241	186		197	142	289	1090	412	433	112	1001	1028	160					
㉛マーケット	97	43	74	44	81	128	209	32	84	151	57	51	6	33	47	32	26	89	77	20	58	166	50	232	120	207	58	2	59	71		28	30	251	73	57	23	261	277	26					
㉜為替	113	49	88	50	99	156	233	38	98	179	71	65	7	36	51	41	35	119	100	26	80	197	27	309	132	101	72	44	68	87	47		69	386	108	77	34	332	484	38					
㉝金利・債券	166	78	135	77	144	240	374	56	159	267	108	89	9	52	87	54	42	165	166	30	106	199	23	441	203	322	87	11	120	135	58	54		452	129	103	41	461	466	43					
㉞新エネルギー	5913	1100	2622	1360	2694	3674	3390	876	2799	3483	1285	1395	173	735	934	839	890	2847	2584	735	992	4657	5865	1696	2752	4524	1335	4074	4046	2624	784	601	1210		1628	2433	483	1785	560	760					
㉟大量破壊兵器	601	233	488	236	516	786	878	190	552	865	312	297	38	144	185	158	166	567	560	127	337	998	904	770	189	313	336		1098	1024	660	203	198	288	961		479	183	1104	934	194				
㊱自然災害	1002	289	899	409	911	1240	1677	251	948	1431	344	393	41	203	247	251	270	950	835	253	279	2325	1959	1008	906	1674	385	1215	1287	802	196	148	298	1238	575		141	1194	275	290					
㊲裁判																																													

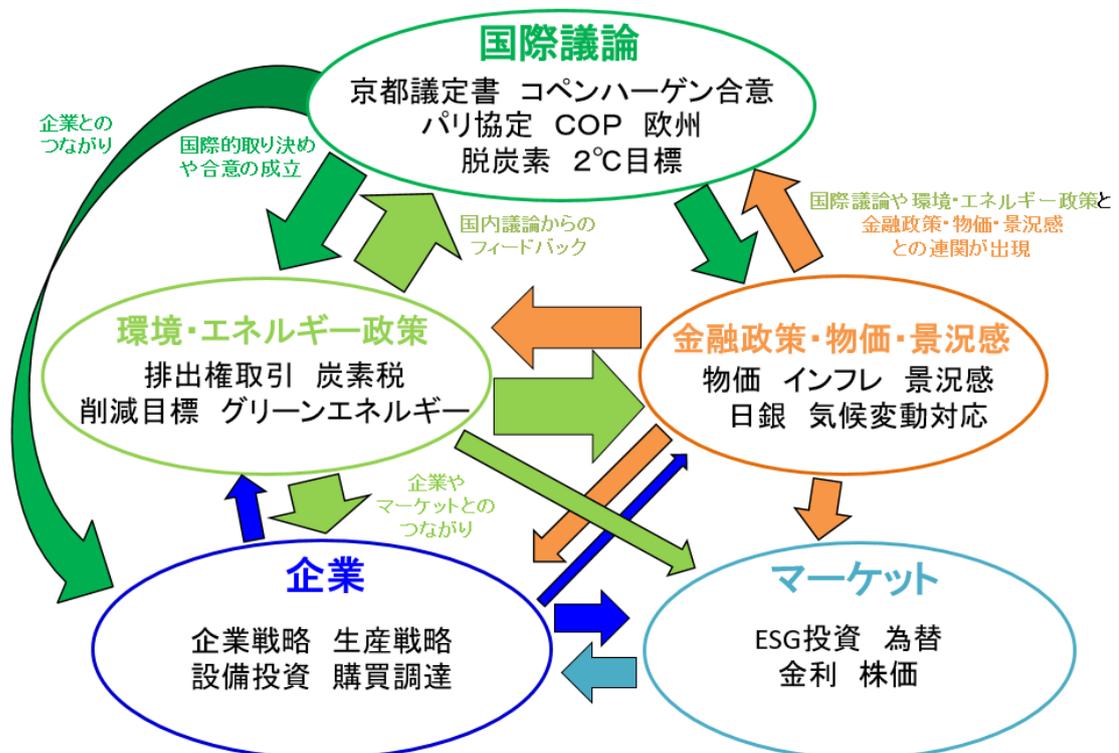
(2) ネットワーク関連図による可視化

ネットワーク関連図とは、気候変動ニュースを構成するトピック同士がどのように結合されているかを可視化するものである。トピック別の気候変動ナラティブ指数を組み合わせることで、トピック間の因果関係のつながり（一方向／相互方向）を明らかにし、気候変動関連ニュース内のナラティブの全体像を示すことができる。

気候変動ナラティブ指数は、現在のニュースが、過去のニュースからどの程度影響を受けているかを示すもので、影響が強いほど指数が上昇する。本節では、多くの気候変動ナラティブ指数が大幅に上昇し、新たなトピック間のナラティブが出現した2018年～2021年に注目する。気候変動ナラティブ指数が大幅に上昇した組合せは、主に国際会議、国内政策、企業関連、金融政策・マクロ経済といったカテゴリーに関連していることが分かった。これらを近年の気候変動の中心的な話題であったとみなして分析を行う。

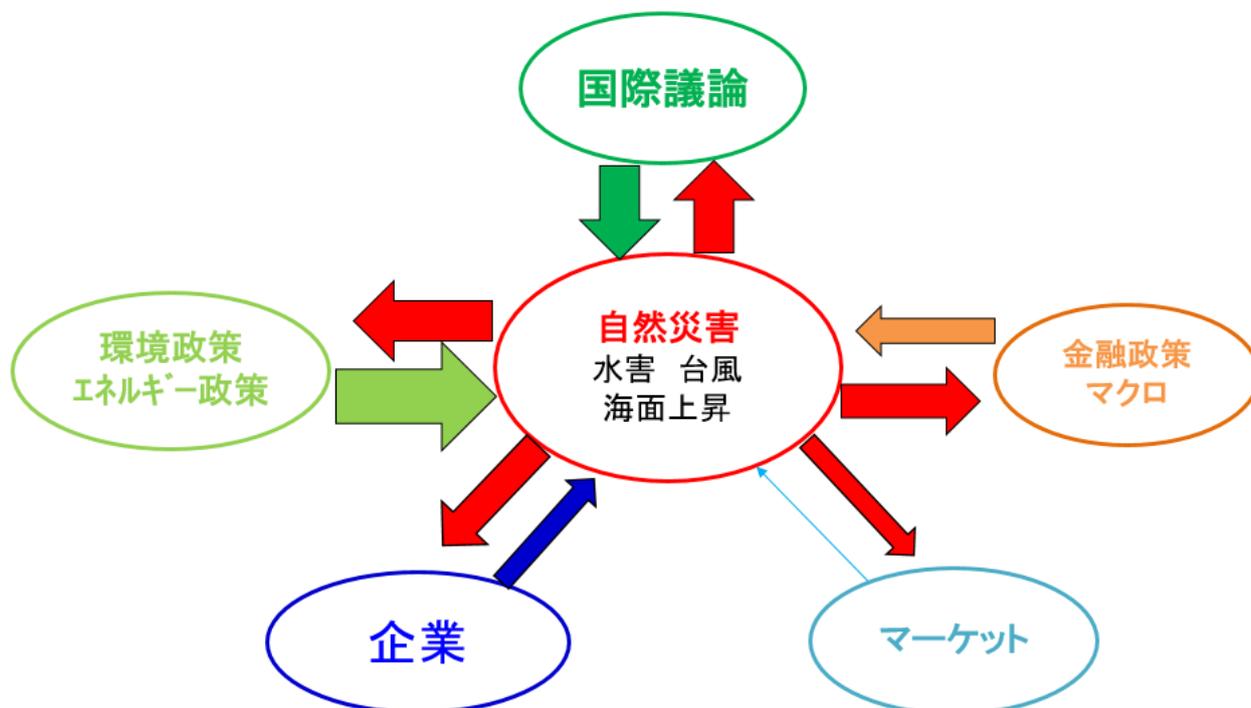
図8は、主要なカテゴリー別に、気候変動ナラティブ指数のつながりを集約表示したネットワーク関連図を示している。カテゴリー間をつないでいる矢印の大きさは、気候変動ナラティブ指数の水準に概ね対応しており、トピック間の因果関係の強さを意味している。また、カテゴリー別に、新聞記事内に出現していた主要なキーワードを抜粋して記載している。

図8 主要な気候変動ナラティブ（2018-2021年）



また、異なる経路の気候変動ナラティブとして、気候変動に起因するとみられる自然災害（水害等）を中心とするネットワーク関連図も作成できる（図9）。

図9 自然災害に関連する気候変動ナラティブ（2018-2021年）



6. 気候変動ナラティブの分析から得られた主要な結果

前節で検証した気候変動ナラティブ指数やネットワーク図分析からは以下の4点が示唆される。

（1）気候変動ナラティブ指数の時系列データ（図5）をみると、気候変動関連の国際会議や国際合意といったイベント時に、気候変動ナラティブが強まる傾向がある。例えば、2008年洞爺湖サミット、2009年コペンハーゲン合意、2015年パリ協定採択、2021年米国のパリ協定への復帰などがあげられる。図5（右上）をみると、国際会議（国際的な気候変動に関する議論）から規制・制度関連（各国政府による脱炭素・グリーンエネルギーに関する政策目標の設定等）への因果性を示す気候変動ナラティブは、他のトピックと比べて一貫して高水準で推移しており、気候変動をめぐるニュースの主要なトピックであったことが窺われる。

（2）2015年のパリ協定で「2℃目標」が合意されて以降、各国の気候変動関連政策は、大局的、抽象的な政策議論の段階から、環境規制の強化など政策の実施を検討する段階に移行してきた。図6と図7の中部（行方向のトピック22～26行目）および図8をみると、2018年以降は、国内の環境政策やエネルギー政策の強化から企業関連（事業戦略や設備投資など）に対する気候変動ナラティブが、顕著に増加している。図6と図7の上部（行方向のトピック1～10行目）をみると、企業関連では、購買調達、設

備投資、事業戦略といったトピックのナラティブが強まっている。この時期から、将来の環境規制の強化、およびそれに伴う移行リスクが顕在化する懸念などを見据えた企業や市場の認識・行動変化が始まっていることが示唆される。

(3) 図6と図7の下部(行方向のトピック28~30行目)および図8をみると、2018年以降は、国内外の環境規制・エネルギー政策と金融政策・物価・景況感の間の気候変動ナラティブに新たに相互方向のつながりが出現している。国際的な気候変動関連政策の進捗や産業横断的な気候変動対応が、マクロ経済活動・物価の変化を引き起こすことが意識されるようになってきたものと推測できる。また、中央銀行の気候変動に関する政策対応についての話題が増加していることも反映していると考えられる。

(4) 図9をみると、近年、水害などの自然災害の激甚化や頻度の増加を受けて、自然災害に関連する気候変動ナラティブが強まってきていることが示唆される。すなわち、気候変動が規制強化だけでなく自然災害を介して経済活動に与える悪影響が認識されるようになり、企業経営者や当局にとっての新たなリスク要因として受け止められている可能性が示唆される。同時に、気候変動関連政策から自然災害への気候変動ナラティブが増加しており、環境規制強化やグリーンエネルギー政策の推進によって、将来の物理的リスクが緩和されることが期待されているとみられる。

以上が今回得られた気候変動ナラティブの分析結果である。本研究の気候変動ナラティブは、様々なトピック間の時系列変化を比較することで、気候変動ニュースの全体像を考察することができる。指数やネットワーク関連図の結果を解釈する際には、経済・ファイナンス理論と整合的な動きをしているかという視点が重要である。

7. まとめと考察

本研究は、BERTと因果抽出を用いて「気候変動ナラティブ」を抽出・指数化・可視化する手法を提案した。具体的には、「異時点・異なるトピック間の気候変動ナラティブ」を定量化し、気候変動ナラティブを指数化する手法を示した。さらに、主要な気候変動ナラティブをネットワーク関連図として可視化し、気候変動関連ニュースをめぐる因果関係のつながりの全体像を示した。

気候変動ナラティブ指数を解釈すると、気候変動に関する国際的な議論が進捗し、国内の環境規制・エネルギー政策が具体化される過程で、企業や市場参加者などの認識・行動変化が始まっていることが示唆された。また、国内外の環境規制とマクロ経済・物価・市場・金融政策の間に新たなつながりが出現している可能性も示唆された。本手法で得られた分析結果は、気候変動がマクロ経済・物価・市場に与える影響や、中央銀行による政策対応の可能性を検討するための材料を提供し、今後のデータによる検証などに向けた新たな知見になると考えられる。

最後に、今回分析した気候変動ニュースの分析に限定せず、本研究の「経済ナラティブ」が捉える因果関係について若干の考察を行い、今後の課題について検討する。

既述の通り、シラー教授は、「ナラティブの感染が人々の経済的な意思決定に影響する」、という仮説を示している (Shiller [2019])。人々の興味や感情を表すナラティブは、ニュースを通じて多くの人々の間に共有される (社会に広まる) ことで、個人々の経済活動の動機となり、最終的にはマクロ経済に影響する可能性が示唆されている。例えば、Goetzmann, Kim, and Shiller [2022]は、1987年のブラックマンデーにおける米国株式市場の暴落時の報道から、投資家の暴落懸念に関するナラティブ (“crash narratives”) を抽出し、ナラティブが米株のボラティリティの変動を有意に説明することを明らかにしている。

本研究は、テキストデータから経済ナラティブを抽出する新たなアプローチを提案し、気候変動をテーマにナラティブの強さを指数化し、指数の解釈を試みたものである。一方、本研究で作成したナラティブ指数が株価のような金融経済データとどのような関係を有しているかを実証分析することも可能であり、ナラティブ指数の様々な活用法が考えられる。

また、近年着目されている統計的因果推論は、データの間の原因と結果の因果関係を統計的に検証するアプローチである。本研究における、テキストから経済ナラティブを探索するアプローチと方法論は異なるが、因果関係の検証を行ううえで両者は相互補完的に機能すると考えられる。Shiller [2019]では「経済ナラティブが経済事象の真の原因と結果を示しているかを見極めることが重要である」とナラティブ分析の留意点を指摘している¹⁴。例えば、テキストデータに含まれる「ナラティブ」と、数値データを解析して得られる「統計的な情報」を統合することで、金融経済を巡る因果関係の構造をこれまでと異なるアプローチによって一段と精緻に明らかにすることが可能となろう。例えば、本研究のアプローチで抽出した経済ナラティブが統計的因果 (グレンジャー因果、構造的因果など) を有するか、という検証などが考えられる。

そのほか、今後の研究の発展の方向性として、本研究のアプローチを気候変動以外の金融経済トピック (物価、景気変動など) に応用することが挙げられる。例えば、過去に経済の不確実性が高まった局面において、企業や市場参加者が注目する話題や懸念材料を把握し、テキストデータから抽出した「経済ナラティブ」を金融経済データの予測やマクロ経済理論の検証に応用することが考えられる¹⁵。具体的には、1. バブルの発生 (資産価格のファンダメンタルズからの乖離) やその崩壊の背景にある、人々の間で注目されていた話題を把握する、2. 物価や賃金動向に関するナラティブが、どのように家計や企業のインフレ予想を形成するか検証する、といった問題設定が考えられる。例えば、値上げは回避するが賃上げもしないなど、社会規範 (ノルム) がどのように形成されるかを分析することは重要な研究テーマである。

¹⁴ 詳細は、Shiller [2019] Chapter7 “Causality and Constellations” を参照。

¹⁵ Shiller [2019]は、経済ナラティブは、時代状況や経済環境を映じて変異しているが、時代を超えて反復する (過去とのアナロジーで現在が語られる、同じ経済ロジックが繰り返し使われる) 性質を有すると指摘している。詳細は、Shiller [2019] Chapter9 “Recurrence and Mutation” を参照。

経済ナラティブ分析を通じて、経済主体の現象認知や認知の変化のプロセスなどを検証することや先行きに関する期待形成のなされ方を分析することも考えられる。期待形成のメカニズムが明らかになることで、政策当局の情報発信のあり方を改善していくことができる。こうした応用研究は、今後の重要な研究テーマと考えられる。

以 上

参考文献

- 庵功雄、「新しい日本語学入門 ことばのしくみを考える」、スリーエーネットワーク、2012年
- 坂地泰紀・増山繁、「新聞記事からの因果関係を含む文の抽出手法」、電子情報通信学会論文誌 D、J94-D(8)、2011年、pages 1496-1506.
- 毛利研・春日剛・成宮仁・大場久永・関本和穂、「脱炭素トピック毎における相対的な進捗度合いの可視化」、人工知能学会研究会資料、SIG-FIN-028、2022年
- Arseneau, David M., Alejandro Drexler, and Mitsuhiro Osada, “Central Bank Communication about Climate Change,” Finance and Economics Discussion Series 2022-031, Board of Governors of the Federal Reserve System, 2022.
- Bua, Giovanna, Daniel Kapp, Federico Ramella and Lavinia Rognone, “Transition Versus Physical Climate Risk Pricing in European Financial Markets: A Text-Based Approach,” ECB Working Paper No. 2022/2677, 2022.
- Bingler, Julia, Anna, Mathias Kraus, Markus Leippold, and Nicolas Webersinke, “Cheap Talk and Cherry-Picking: What ClimateBert Has to Say on Corporate Climate Risk Disclosures,” *Finance Research Letters*, 47 (B), 2022.
- Devlin, Jacob, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova, “BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding,” arXiv:1810.04805, 2018.
- Engle, Robert F., Giglio Stefano, Kelly Bryan, Lee Heebum, and Stroebe Johannes, “Hedging Climate Change News,” *Review of Financial Studies*, 33 (3), 2020, pp. 1184-1216.
- Faccini, Renato, Rastin Matin, and Skiadopoulos George, “Dissecting Climate Risks: Are they Reflected in Stock Prices?,” Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3795964>, 2023
- Fueki, Takuji, Takeshi Shinohara, and Mototsugu Shintani. “Climate-Change Risks and the Transmission of Monetary Policy,” paper presented at the 2022 Annual Meeting of the Central Bank Research Association, 2022.
- Goetzmann, William, N., Dasol Kim, and Shiller Robert J., “Crash Narratives,” NBER Working Paper, No. 30195, 2022
- Hiraki, Kazuhiro, Noriyasu Kaneda, Tomonori Kimata, and Tomohiro Matsue, “Climate change news indices: Are they reflected in Japanese stock prices?,” IMES Discussion Paper Series, 2023, forthcoming.
- Izumi, Kiyoshi, and Hiroki Sakaji, “Economic Causal-Chain Search using Text Mining Technology,” the First Workshop on Financial Technology and Natural Language Processing in conjunction with the 28th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2019, pp. 61-65.

- Kölbel, Julian, F., Leippold Markus, Jordy Rillaerts, and Qian Wang, “Ask BERT: How Regulatory Disclosure of Transition and Physical Climate Risks Affects the CDS Term Structure,” *Journal of Financial Econometrics*, nbac027, 2022.
- NGFS, “NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors,” Network for Greening the Financial System, 2022.
- Pastor, Lubos, Robert F. Stambaugh, and Lucian A. Taylor, “Dissecting Green Returns,” *Journal of Financial Economics*, 146 (2), 2022, pp. 403-424.
- Sakaji, Hiroki, Satoshi Sekine, and Shigeru Masuyama, “Extracting Causal Knowledge Using Clue Phrases and Syntactic Patterns,” 7th International Conference on Practical Aspects of Knowledge Management, 2008, pp. 111-122.
- Suzuki, Masahiro, Hiroki Sakaji, Masanori Hirano, and Kiyoshi Izumi, “Constructing and analyzing domain-specific language model for financial text mining,” *Information Processing & Management*, 60 (2), 2023.
- Shiller, Robert, J., “Narrative Economics,” *American Economic Review*, 107 (4), 2017, pp. 967-1004.
- Shiller, Robert J., *Narrative Economics: How Stories Go Viral and Drive Major Economic Events*, Princeton University Press, 2019（山形浩生訳『ナラティブ経済学 経済予測の全く新しい考え方』、東洋経済新報社、2021年）。
- Vaswani, Ashish, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin, “Attention is All You Need,” arXiv:1706.03762, 2017