

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

金田 規靖¹ 坂地 泰紀²

¹ 日本銀行 ² 東京大学大学院工学系研究科

noriyasu.kaneda@boj.or.jp sakaji@sys.t.u-tokyo.ac.jp

概要

気候変動問題は、グローバルな課題として国内外で積極的に議論されており、気候変動がマクロ経済・物価・市場に与える影響に関する経済ファイナンス研究が盛んに行われてきている。例えば、自然災害の激甚化や政府の環境規制強化が、企業や金融機関の新たな経営・投資リスクになるとの見方がある。そこで、我々は新聞記事データを分析し、気候変動に関する因果（原因＝結果のつながり＜気候変動ナラティブと呼称＞）の抽出、指数化、可視化を行う手法を提案する。近年の気候変動ナラティブをみると、企業や金融機関の認識・行動変化が始まっていること、気候変動とマクロ経済・市場・金融政策との連関が出現している可能性が示唆された。

1 はじめに

気候変動問題は、グローバルな課題として国内外で積極的に議論されている。たとえば、地球温暖化に伴う異常気象や自然災害の激甚化は、企業の経済活動に損失を生じさせ得る（物理的リスク）。また、環境規制強化といった政府の気候変動政策の推進は、企業や金融機関の経営リスクや投資リスクになり得る（移行リスク）。企業、金融機関などの様々な経済主体は、気候変動リスクへの対応を始めており、投資行動の変化や業績パフォーマンスへの影響が生じ始めているとの見方がある。テキスト分析から、気候変動ニュースの報道数、主要トピックの移り変わり、トピック間のつながりを把握することは、政府、企業、市場などが気候変動をめぐる議論や環境規制強化をどのように受容し、対応を進めてきたかを理解することにつながる。本節では、関連研究を紹介し、本研究の位置付けを説明する。

1.1 関連研究

近年、気候変動がマクロ経済・物価・市場に与える影響についての経済ファイナンス研究が盛んに行

われてきている。一つのアプローチとして、気候変動ニュースのテキスト分析が用いられており、現時点では、伝統的な自然言語処理手法が主流となっている。例えば、新聞記事データを用いて、コサイン類似度やLDAを用いて、マクロの気候変動ニュース指数を作成し、気候変動に関する報道の増加（市場の気候変動リスクの認識変化）と、米国や日本の株式リターンとの関係を実証する研究がみられている（Engle et al.[1], Kaneda et al.[2]）。また、Fueki et al.[3]は、気候変動ニュースの増加は、将来の不確実性の高まりを示しており、CO2排出量の多いブラウン企業の設備投資を減少させる可能性を示した。足もとでは、BERTといった深層学習ベースの言語モデルの利用がみられ始めており、企業決算や特許情報といった大容量のテキストデータの分析に活用されている。BERTを用いて、企業の気候変動リスクに関する開示文書を分析した研究としては、例えば、Bingler et al.[4]は、企業の気候変動リスクへの対応状況を情報抽出し、スコア評価している。Kölbel et al.[5]は、企業の物理的リスク・移行リスクをそれぞれ指数化し、個社のCDSスプレッドとの関係を実証している。

1.2 本研究の位置付け

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）を用いて、企業関連ほか、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。本研究の新規性は、BERTおよび因果抽出により得られた二つの分析結果を組み合わせることで、異なるトピック間の因果（原因＝結果のつながり）を抽出している点にある。テキストに含まれる因果は、人々の将来予想や認識変化を捉えており、経済ファイナンスに関する新たな知見が得られる可能性がある。本研究は、Shiller[6]の主張（人々の物語が経済を動かす）における経済ナラティブを具体化する一つの手法になり

得ると考えられ、本稿では、得られた因果を「経済ナラティブ」と呼称し、気候変動に関する経済ナラティブ（気候変動ナラティブ）の抽出を試みている。

2 気候変動ナラティブの抽出

本節では、本研究で提案する分析ワークフローについて説明を行う。我々の分析ワークフローでは、技術として BERT と因果抽出を利用している。気候変動ナラティブを抽出するための分析ワークフローは以下の通りである。

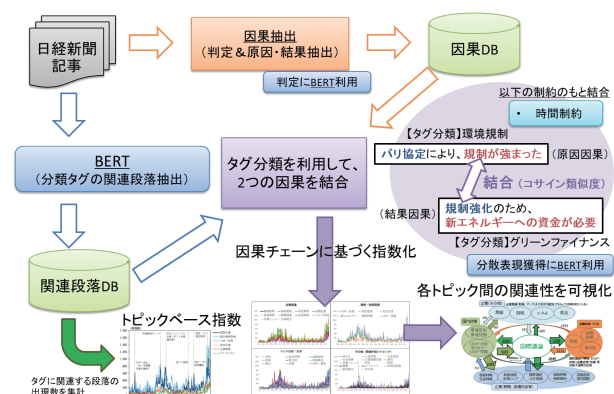


図1 経済ナラティブ抽出・指数化/可視化の全体図

Step 1 BERT を用いて、気候変動に関するトピックを判定する分類モデルを学習し、新聞記事に含まれるトピックを判定する（図1の青矢印）。具体的には、(i) 日本経済新聞記事にデフォルトで付与されている分類タグを用いて、各トピックの教師データを作成する。分類タグは、経済、政治、政策、企業、国際、マーケットに関連する40トピックを選択した。(ii) 教師データを用いて、BERTをファイン・チューニングし、40個の分類モデルを構築する。(iii) 各トピック分類モデルを用いて、各気候変動ニュース記事の段落が、どのトピックに関連しているかを判定し、判定結果を関連段落DBに記録する。

Step 2 各新聞記事に因果関係が含まれているか否かを判定し（BERTにより処理）、因果抽出を用いて、原因＝結果の論理関係を表す表現対を抽出後、因果情報を因果DBに記録する（図1の橙矢印）。因果抽出は、Sakaji et al.[7]で提案された手法であり、係り受け解析に基づく構文パターンを利用し、因果関係が含まれている因果文から原因・結果表現を抽出することができる。

Step 3 Step 1 の BERT による判定結果と、Step 2 の

因果情報を組み合わせ、異なる二つのトピック間の気候変動ナラティブを抽出する（図1中央の紫ボックス）。抽出時には、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制約を仮定し、過去の原因テキストと現在の結果テキストを結合する。図2は、原因因果を環境規制、結果因果を企業戦略とした場合の結合方法の例を示している。企業戦略における原因テキストは、企業戦略の変化を引き起こした背景情報、環境規制における結果のテキストは、環境規制強化を示す情報である。これらのテキストのコサイン類似度が高い組み合わせを、原因＝結果のつながりのある因果とみなして結合し、気候変動ナラティブを得る。具体的に得られた事例を図3に示す。

Step 4 Step 3 で得られた経済ナラティブを指数化する。また、特に重要な動きを示す経済ナラティブ指数に絞って、ネットワーク関連図として可視化する（図1の紫矢印）。手法の詳細は、後述する。

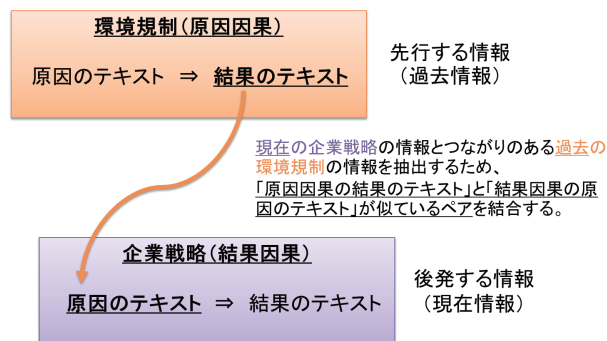


図2 環境規制＝企業戦略の結合方法の例

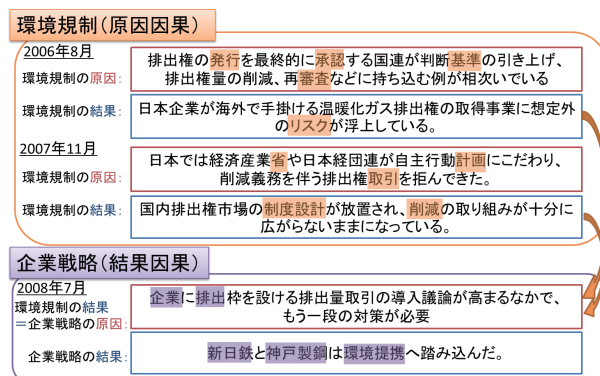


図3 環境規制＝企業戦略の気候変動ナラティブの具体例

3 評価実験と指数化/可視化手法

本節では、BERT による分類精度の評価、指数化および可視化の手法について説明する。

3.1 評価実験

数値例として、表 1 にオリンピック関連の文章を判定するモデルの分類精度を示している。ここでは、日経新聞記事のタグを対象に、BERT の分類性能を確認するため、従来手法として線形回帰やランダムフォレスト、SVM を用いて分類実験を行った。実験結果より、BERT の判定モデルは、従来の機械学習手法を上回る精度を示している。一般的に、BERT は、トピック分類などで高精度を示すことが知られているが、新聞記事のトピック判定についても適切に行えるとみられる。

表 1 「オリンピック」判定モデルの分類精度。RF はランダムフォレストを表す。

	Accuracy	Precision	Recall	F1
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

3.2 指数化/可視化の手法

BERT と因果抽出を用いると、トピック別の気候変動に関する因果を含む気候変動ナラティブが時点毎に得られることを示した。これらをトピック別のニュース指数に変換すれば、経済的解釈が容易になるほか、先行研究と同様に、ニュース指標と金融経済データを用いた実証研究にも応用できる。

3.2.1 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 によれば、2008-2010 年頃は、国際議論、国内環境規制に関するトピックが大半である一方、2018 年以降は、企業戦略やグリーンファイナンスなどに関するトピックも併せて増加している。当指数は、時点毎の主要トピックやトピック間の相関を把握することができるが、トピック別の独立した指数であるため、トピッ

ク間の因果については勘案されていない。

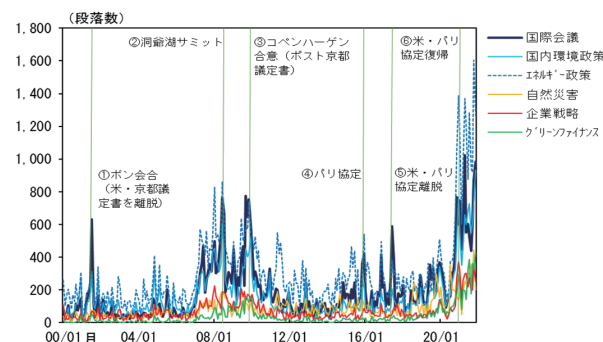


図 4 気候変動トピックベース指数（段落出現数）

3.2.2 気候変動ナラティブ指数

気候変動関連トピックの因果チェーンを定量化した気候変動ナラティブ指数は、以下の通り算出される。原因因果ベクトル $(\vec{i}_{t-d}) < t$ 時点から d 日前の過去情報と結果因果ベクトル $(\vec{j}_t) < t$ 時点の現在情報との因果チェーンのコサイン類似度が高い組み合わせを集計し、式 1 を用いて月次指数を作成する。最新のニュースほど過去とのつながりが増えるバイアスを除くため、古い因果の重みを時間経過に伴い減価させている（ロジスティック関数に従い、5 年で重みが半減）。図 5 は、原因因果を国際会議とした時の結果トピック別の気候変動ナラティブ指数を例示している。

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

ここで、 M は m 月に含まれる因果チェーンの集合、 $L(j)$ は結果因果 \vec{j} と接続している原因因果 \vec{i} (因果チェーン) の集合、 $\cos(\vec{i}_{t-d} \cdot \vec{j}_t)$ は原因因果 \vec{i} と結果因果 \vec{j} の BERT に基づくコサイン類似度、 $t-d$ は結果因果につながる原因因果の観測時点 ($d > 0$)、 t は m 月に含まれる結果因果の観測時点、 d は原因因果と結果因果の時点差 (日数) をそれぞれ表す。また、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している。

3.3 ネットワーク関連図としての可視化

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接続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、気候変動ニュースにおけるトピック間の因果や連関（双方向の因果）の全体像を明らかにしている（詳細は次節

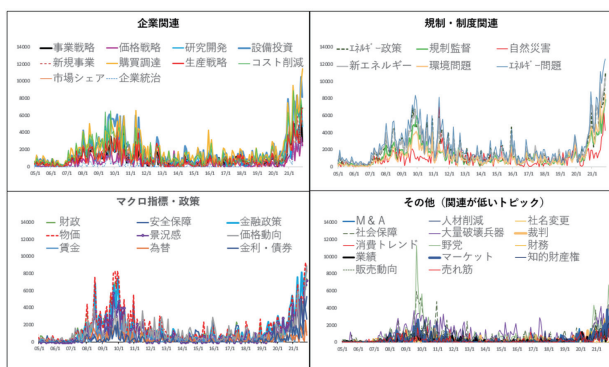


図5 気候変動ナラティブ指数

や付録を参照)。可視化の結果を解釈する際には、経済ファイナンス理論と統合的な動きをしているかという視点が重要である。他方、思わぬ気候変動ナラティブが出現した場合、従来手法では明らかでなかった新たなつながりの発生を示唆している可能性に留意する必要がある。

4 考察

本節では、気候変動トピックベース指数、気候変動ナラティブ指数、ネットワーク関連図を基に、気候変動ニュースの経済的解釈を行った。主要なポイントは以下の通りである。

(1) 推計期間を通じて、気候変動関連の国際会議や国際合意といったイベント発生時に指数が上昇する傾向がある。例えば、2008年洞爺湖サミット、2010年コペンハーゲン合意、2015年パリ協定、2021年米国のパリ協定への復帰などがあげられる。国際的な気候変動議論と、政府による脱炭素・グリーンエネルギーに関する目標設定は、相互に連動しつつ、気候変動ニュースの主要トピックであった。同時に、こうした国内外の政策議論は、他の経済主体の行動・認識変化のきっかけになってきたとみられる。

(2) 2015年に、パリ協定に「2℃目標」が合意されて以降、各国の気候変動政策は、大局的、抽象的な政策議論という段階から、環境規制の強化や政策の検討の段階に移行してきた。こうした動きを踏まえ、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（事業戦略の策定や設備投資など）に対する気候変動ナラティブが、顕著に上昇している。これは、将来の環境規制の強化（移行リスクの高まり）を見据えた企業の認識・行動変化が始まっていることを示唆している。一方、現時点では、気候変動と業績パフォーマンスに関する気候

変動ナラティブは相対的に小さいが、長期的には、移行リスクへの対応状況が、企業業績や株価に影響する可能性を念頭に置く必要がある。また、気候変動政策と市場の気候変動ナラティブに連関がみられ始めている。近年のESG投資拡大や金融機関の気候変動対応の進捗を捉えていると考えられる。

(3) 2018年以降は、気候変動と金融政策・物価・景況感の間の気候変動ナラティブに連関が出現している。国際的な気候変動政策の進捗や、産業横断的な気候変動対応が、マクロ経済・物価の変動を引き起こす新たなチャンネルになりつつある可能性がある。また、気候変動の経済ファイナンス研究の必要性や、中央銀行の政策対応の可能性を議論する動きが話題となり、関連報道の増加を示していると考えられる。

(4) 近年、自然災害の激甚化や頻度増加に関連する気候変動ナラティブが強まってきている。自然災害が、経済活動に与える悪影響が認識され、企業経営や規制当局にとっての新たな論点・課題として受け止められている可能性を示している。同時に、将来、自然災害が激甚化する可能性（物理的リスク）を緩和するための環境規制強化やグリーンエネルギー政策を推進する動きを映じているとみられる。

5 おわりに

本稿では、BERTと因果抽出を用いた気候変動ナラティブの抽出、指数化、可視化を行う手法を提案した。具体的には、「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た。気候変動ナラティブは、気候変動に関する議論が進捗し、環境規制が具体化される中、企業などの認識・行動変化が始まっていることを示唆している。また、気候変動とマクロ経済・市場・金融政策との間に連関が出現しており、気候変動が金融経済に影響を与えている可能性が示唆された。

今後の課題として、気候変動ナラティブが統計的因果を有するか（グレンジャー因果、構造的因果など）、金融経済データの実証研究を通じて、気候変動ナラティブ指数に含まれる情報を評価することが考えられる。また、気候変動以外の金融経済トピック（物価、景気変動など）の経済ナラティブを作成し、有益な示唆が得られるかも検討していきたい。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費（JP21K12010）と、JST さきがけ（JPMJPR2267）の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Robert F Engle, Stefano Giglio, Bryan Kelly, Heebum Lee, and Johannes Stroebe. Hedging climate change news. **The Review of Financial Studies**, Vol. 33, No. 3, pp. 1184–1216, 2020.
- [2] Kaneda Noriyasu, Kimata Tomonori, Hiraki Kazuhiro, and Matsue Tomohiro. Climate change news indices: Are they reflected in japanese stock prices? IMES Discussion Paper Series, 2023(forthcoming).
- [3] Fueki Takuji, Shinohara Takeshi, and Shintani Mototsugu. Climate-change risks and the transmission of monetary policy. the 2022 Annual Meeting of the Central Bank Research Association, 2022.
- [4] Julia Anna Bingler, 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**, Vol. 47, p. 102776, 2022.
- [5] Julian F Kölbel, Markus Leippold, Jordy Rillaerts, and Qian Wang. Ask bert: How regulatory disclosure of transition and physical climate risks affects the cds term structure. **Swiss Finance Institute Research Paper**, No. 21-19, 2020.
- [6] Robert J. Shiller. **Narrative Economics: How Stories Go Viral & Drive Major Economic Events**. Princeton: Princeton University Press, 2019.
- [7] Hiroki Sakaji, Satoshi Sekine, and Shigeru Masuyama. Extracting causal knowledge using clue phrases and syntactic patterns. In **International Conference on Practical Aspects of Knowledge Management**, pp. 111–122. Springer, 2008.

A 参考情報

本研究の手法は、任意の異なる2トピックを選択し、月次の気候変動ナラティブ指数を算出することができる。今回は、日本経済新聞記事、分類タグから経済、政治、政策、企業、国際、市場に関連する40トピックを選び、全ての組み合わせを計算した（原因と結果の順序を考慮、40トピック×39トピック＝1560通り）。様々なトピック間の気候変動ナラティブ指数が総じて大きな上昇を示している2018年から2021年までの期間に注目する。気候変動ナラティブ指数の水準が大きく高まっている組み合わせ（気候変動ニュースにおいて、原因トピック＝結果トピックのつながりが強まっている組み合わせ）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。図6は、各カテゴリーのネットワーク関連図を示しており、カテゴリー間を繋いでいる矢印の大きさは、気候変動ナラティブ指数の強さに概ね対応している。矢印内の数値は、各カテゴリーに属する各トピックの指数を集約し、算出した平均値である。近年、顕著になっている気候変動ナラティブの特徴は、以下の通りである。

（1）気候変動政策に関する国際議論から環境政策・エネルギー政策に関する国内政策へのつながり、及び、国内政策から国際議論へのフィードバックがみられる。気候変動対応が進捗するにつれて、国内政策の具体化や強化が行われた、または、国内政策議論が国際会議において検討される動きを映じているとみられる。

原因：国際会議（グローバル）⇒結果：国内環境規制・エネルギー政策（マクロ）

原因：国内環境規制・エネルギー政策（マクロ）⇒結果：国際会議（グローバル）＜フィードバック＞

（2）気候変動政策に関する国際議論や国内政策から一部の企業関連トピックへのつながりが強まっている。国内の環境政策・エネルギー政策の強化を受け、設備投資や事業戦略などの企業行動の変化が起きており、経営課題として取り込む動きが始まっている可能性を示唆している。ただし現時点では、気候変動と業績パフォーマンス（業績、財務、賃金など）との関連は相対的に小さいことも分かった。

原因：国内環境規制・エネルギー政策（マクロ）⇒結果：企業の事業戦略、設備投資、サプライチェーン（ミクロ）

原因：国内環境規制・エネルギー政策（マクロ）⇒結果：企業収益・財務、市場（ミクロ）

（3）国内外の気候変動政策対応や議論と金融政策・物価・景況感の連関が出現している。気候変動が金融・経済・物価に与える影響に関する議論や気候変動に関する調査研究の増加、金融政策による政策対応の可能性や対応策の検討を反映している可能性が示唆される。

原因：国際会議（グローバル）、国内環境規制・エネルギー政策（マクロ）⇒結果：金融政策、物価、景況感

原因：金融政策、物価、景況感⇒結果：国際会議（グローバル）、国内環境規制・エネルギー政策（マクロ）

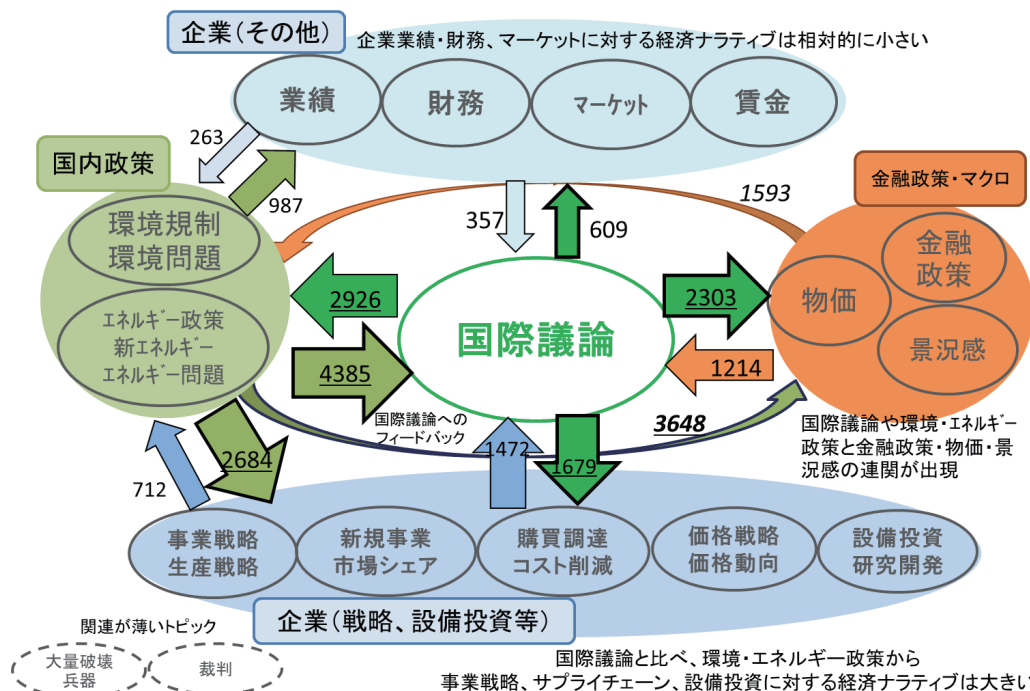


図6 気候変動ナラティブの全体像 (2018-2021年)