

# 気候技術導入と ELSI：大規模言語モデルを活用した 倫理的観点の情報抽出フレームワークの提案

## Climate Technology Adoption and ELSI: Proposal of a Framework for Extracting Ethical Perspectives Using Large Language Models

○富田凜太郎<sup>1\*</sup>・江守正多<sup>2\*\*</sup>・寒河江茜里<sup>3\*\*\*</sup>・中野晃作<sup>4\*\*\*\*</sup>・山田健二<sup>4\*\*\*\*</sup>・岩田紘宜<sup>4\*\*\*\*</sup>・田中謙司<sup>4\*\*\*\*</sup>

Rintaro Tomita, Seita Emori, Akari Sagae, Kosaku Nakano, Kenji Yamada, Hiroyoshi Iwata, and Kenji Tanaka

### 1. 背景

脱炭素や気候適応に向けた技術導入の重要性は強調されながらも、技術的課題以外の点が懸念されている。例えば Sovacool ら (2022)は、従来の高炭素技術から新しい気候技術へ置き換えるのみでは、公平性の欠如に繋がるため、気候技術のトランジションは慎重に検討すべきだと主張している。<sup>[1]</sup>技術導入の失敗事例を分析した数多の研究結果によると、倫理的・法的・社会的課題(ELSI: Ethical, Legal, Social Issues: 新規科学技術が社会実装される際に起こり得る、技術的な課題以外のあらゆる課題を含む)への対処の視点が欠如していると言われている。

しかし多分野にわたる専門家による綿密な技術についての分析には時間がかかり、技術導入の失敗事例が多数報告されてから数年経過した後に専門家らによって再整理されるのが通例である。時間がかかる原因の一つは分析の進め方にあり、インタビューや多分野間の共創に時間を費やしている。それでは技術導入のタイミングと、技術についての ELSI が整理されるタイミングとにギャップが生まれてしまう。そこで本研究では時間的ギャップを埋める一助として、気候技術導入時の ELSI における倫理的観点の迅速な抽出をするに当たり、大規模言語モデル(LLMs: Large Language Models)を用いたフレームワークを提案し、風力発電を事例として活用することを試みた。

### 2. 関連研究

時間的ギャップの課題を打開するべく、既存手法のホライズンスキヤニングや RTTA(Real-Time Technology Assessment)、フォーサイトの自動化を試みた先行研究がある。Nishino ら(2023)は、将来起こりうる大規模な社会変化を考慮するためのシナリオ作成の一部である、ホライズン・スキヤニングの自動化を言語処理によって試みた。<sup>[2]</sup>具体的には、word2vec と呼ばれるベクトル表現を扱う手法を用いて、シナリオに類似した文書探索の自動化を試みた。また Ahn ら(2021)はサステナビリティトランジションにおける RTTA にデータ分析を適用した。<sup>[3]</sup>彼らは、トピックモデリングと呼ばれる手法を用いたメディアビッグデータ分析を実行し、国家間における技術的ニッチに関連するトピッククラスターの違いが明らかになることを示した。さらに Soru & Marshall(2024)はフォーサイト研究におけるトレンド抽出とマッピングを、LLMs を用いて代替することを試みた。<sup>[4]</sup>

上記の関連研究はいずれも萌芽的的科学技術が社会にもたらす影響予測の自動化を試みたものである。本研究ではそれらに対し、技術導入段階の技術を対象とする点が異なり、倫理性と気候技術に焦点を当てることに特徴がある。

### 3. 分析手法

本研究では LLMs ベースの分析フレームワークを、3つの段階に分けて構築した。情報抽出タスクにおいて LLMs が優れた能力を発揮することは既に確認されていることから、word2vec やトピックモデリングなどの情報抽出手法ではなく、LLMs を使用することとした。

技術の種類	キーワード
Wind Power	wind energy, wind power, wind turbine, wind farm, offshore wind, on-shore wind, wind resource, aerogenerator

表 1: 記事データを技術ごとに分類する際のキーワード表

<sup>1\*</sup> 東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻 Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail: tomita-rintaro650@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

<sup>2\*\*</sup> 東京大学未来ビジョン研究センター

<sup>3\*\*\*</sup> 東京大学教養学部学際科学科科学技術論コース

<sup>4\*\*\*\*</sup> 東京大学大学院工学系研究科技術経営戦略学専攻

Phase 1)技術種類による記事分類 まず、全ての記事からデータを整理し、欠損値を取り除いた。データには 1900 年代の古い記事も含まれ、それらは OCR で文書化されていることから、文章前後の単語になっていない約物を取り除いた。次に、選択した技術に関連する特定のキーワードを含む記事を抽出し、技術ごとに記事を分類した。

Phase 2)各技術の倫理的観点列挙 1)と並行して、LLMs を用いて特定技術の倫理的側面を論じたデータソースから倫理的観点を抽出した。学術論文には事前起こりうる倫理的な問題についての情報が多く含まれていることから、技術の倫理的観点を列挙するデータソースとして、学術論文を採用した。LLMs を使用したのち、倫理的観点のリストに際しては、不要なデータや重複するデータの除去ができてくるかを目視で確認した。

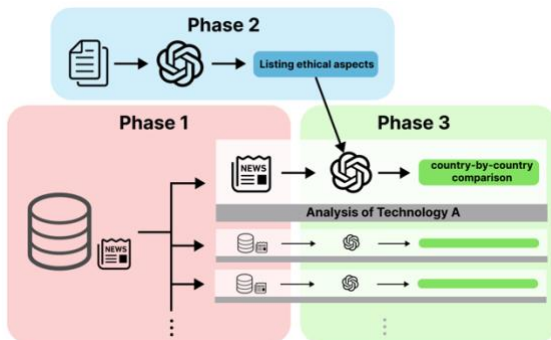


図 1: LLMs ベースの分析フレームワークの図示

#### 4. データ

本研究では、1950 年から 2019 年までの計 70 年間にわたる The Times と呼ばれる新聞記事の約 600 万件のデータを使用した。そのうち、風力発電を例とした施工的な分析では、風力発電に関連する 2,794 件の新聞記事を抽出した。新聞はポジティブな出来事よりも、社会問題やネガティブな出来事に焦点を当てることが多く、Ahn ら(2021)によると、メディアのビッグデータ分析によって、複雑な社会システムや技術システム、そして大衆が議論するトピックやアイデアを理解することができるとされており、本研究では新聞をデータとして採用した。<sup>[3]</sup>

#### 5. 分析結果と考察

分析の結果、本フレームワークの活用可能性を実験的に確認することができた。8 項目の倫理的観点を抽出に成功し、20 カ国以上の地域分類ができた。地域・国ごとに倫理的観点が話題になる時期、内容共に異なり、特徴を見出すことができた。また風力発電の技術導入は個別具体的な地域と期間におけるプロジェクト単位で進む。そのため、プロジェクト単位でも分析をしたところ、初期的な結果によればプロジェクトが中止になる前後での倫理的観点の表出を確認することができた。これについてはさらなる分析が必要である。

またデータセットとして使用した The Times はメディア媒体であり、発信するにあたり政治的立場が結果に影響を与えた可能性がある。加えて、この方法は新聞で取り上げられることの少ない技術には適用しづらい点は、研究の限界である。

今後の研究では DAC や EV など、社会実装段階にある他の技術に広げ、技術間の違いにも着目し分析する必要がある。また、地域や倫理的観点のグループ分けを工夫することにより、技術導入を推進する政策への応用を含めさらなる示唆が得られる可能性がある。本研究におけるフレームワークを用いて検証を進めることにより、技術の社会的受容性の議論にとどまらない、技術の持続可能な実装と開発の一助になるだろう。

#### 参考文献

1. Sovacool BK, Newell P, Carley S, Fanzo J. Equity, technological innovation and sustainable behaviour in a low-carbon future. *Nat Hum Behav.* 2022 Mar;6(3):326–37.
2. Nishino S, Ishigaki T, Washino S, Igarashi H, Murai A, Washida Y, et al. Applying NLP for Automating Horizon Scanning. *Journal of Natural Language Processing.* 2023;30(3):883–906.
3. Ahn SJ, Yoon HY, Lee YJ. Text mining as a tool for real-time technology assessment: Application to the cross-national comparative study on artificial organ technology. *Technology in Society.* 2021 Aug 1;66:101659.
4. Soru T, Marshall J. Trend Extraction and Analysis via Large Language Models. 2024 IEEE 18th International Conference on Semantic Computing (ICSC). 2024;285–8.