

原子力発電の技術革新は 公衆の受容において考慮されているか? 応用研究におけるテキスト分析による米仏中の比較

Are Technological Innovations in Nuclear Power Generation

Considered in Public Acceptance?

A Comparison of the US, France and China through Text Analysis in Applied Research Studies

藤田 智博 (Tomohiro Fujita) * 1

要約 原子力発電をめぐる一般の人々・公衆の受容にかかる研究において、原子力発電の工学的・技術的側面の改善の扱い方には探究の余地がある。本稿では、その探究のための足がかりを得ることを目的とし、原子力発電を活用している各国のあいだでも技術的・工学的な挑戦が一様ではないことに着目した。英文ジャーナル3誌を取り上げ、米仏中の国家間の比較に照準を合わせ、テキスト分析を実施した。結果として、単語やフレーズの出現頻度という点からは、国家間で相関係数が高くなかった。他方、アメリカで nuclear waste、フランスで construction costs、中国で public acceptance といったフレーズの出現頻度が高くなり、cost という単語は中国において出現頻度が低かった。

キーワード 原子力発電、テキスト分析、技術、コスト

Abstract Studies in public acceptance of nuclear energy have not considered sufficiently technological aspects such as an innovation for safety improvement of nuclear power plants. However, there are some differences among countries which utilize nuclear power generation because the various technological challenges they face are not the same. As an initial step to tackle the problem of this insufficient consideration, this study carried out the quantitative text analysis of applied research studies written in English of three journals, focusing on a comparison of the US, France and China. As a result, in terms of the frequencies of certain word usages, correlation coefficients among countries were high. On the other hand, frequently, the bigram "nuclear waste" was found to be used in the U.S., "construction costs" was found in France, and "public acceptance" was found in China. It is noteworthy; the word "cost" was not found to be used much in China.

Keywords nuclear power generation, text analysis, technology, cost

1. はじめに

原子力発電の公衆・一般の人々への受容を考えるうえでのパラドックスは、大事故をはじめとするリスクの認識が公衆の受容に際してネガティブな影響を及ぼすことが予想される一方、自然災害に起因する事故をはじめとして、リスクを低減するような原子力発電所の技術的・工学的な試みが、公衆の受容に際して、ポジティブな影響を必ずしも及ぼすわけではないという、非対称性である。つまり、公衆の受容は、安全の確保をめぐる技術的・工学的な審査とは異なる側面をもつ。リスクコミュニケーションの研究

の必要性が認識されているのも、リスクをめぐる意思決定や判断に、技術的な説明では包摂されない、社会・人間的側面が作用しているからであろう。それゆえ、信頼、感情をはじめ、ヒューリスティックとも呼びうる、論理的な思考様式とは異なる思考様式が動員されることが指摘されてきた (Ho et. al, 2019; Ho et al., 2021)。

公衆の受容の局面において、しばしば前提とされてきたのは、図1に簡略的に図式化したように、原子力発電に対するベネフィットの認識が受容に肯定的に作用し、逆にリスクの認識は受容に否定的に作用するものの、それらの上流側に、事業者に対する信頼を配置するモデルであろう

* 1 (株) 原子力安全システム研究所 社会システム研究所

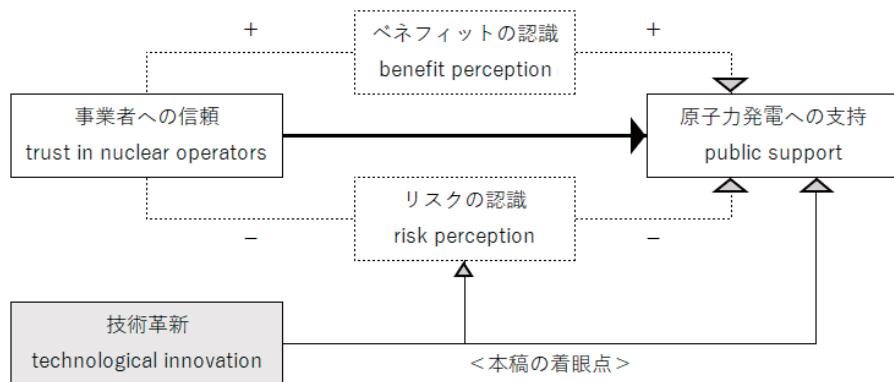


図1 原子力発電受容の心理的メカニズム
注) ただし、パス解析のパス図の記法にはしたがっていない

(e.g. Siegrist & Cvetkovich, 2002). 実証研究・経験的研究からはもう少し複雑であることが指摘されているものの (Ho et al., 2021; Fujita, 2025), このモデルのポイントは, ベネフィット認識やリスク認識が, 事業者に対する信頼に規定されているということである. 換言するならば, 原子力発電事業者に代表されるステークホルダーに対する信頼さえ得られているならば, 具体的なベネフィットやリスクをスキップできるという意味において, 論理的な思考様式では説明され尽くされない, 人間らしい側面を捉えているといってよい (図1の上半分).

しかし、それによって問題が解決されるわけではない。そもそも上流側に配置された信頼が一朝一夕に養われる性質のものではないことに加え、信頼は一度喪失されるならば容易には回復しない (Slovic, 1993; Poortinga & Pidgeon, 2004; Whitfield et al., 2009)。また、信頼をすでに有している人やその反対の人の思考の様式にはうまく当てはまつたとしても、信頼を有していない人から信頼を有している人への変化、どのように信頼が獲得されるのか、が説明されているわけではない。それゆえ、さらなる研究の深化が必要である一方、それとは異なる思考経路の探索がなされてもよいだろう。

一例を挙げるならば、放射性物質の拡散を抑止する工学的な設計の導入や、地震をはじめとする自然災害への追加的な備え・対策等が、自然災害やそれを起因とする事故がもたらすリスクの低減に寄与する側面は無視しえない。それゆえ、工学的・技術的介入と、公衆のリスク認識の低減やベネフィット認識の増進との関連を、より滑らかにするような試みも、研究の意義があるといってよいだろう（図1の下部）。

本稿では、このような試みの一環として、原子力発電の社会的・人的側面を扱った、英語圏の先行研究群を取り上

げ、原子力発電をめぐる工学的・技術的側面が、公衆の受容をはじめとする社会的・人的側面の議論へとどのように接続されるのかを探索したい。既に指摘したように、技術的・工学的な議論と社会・人的側面の議論との接続が滑らかになされてきたとはいがたい。リスクを低減するような試みから当然帰結されるシナリオに対して、論理的に素直な反応を示さないことこそ、人間や社会の側の性質であるとされてきたからである。しかし、技術としての原子力発電の導入や浸透の程度は、国によってバラツキがあり、同時に、各国の事業者や政策担当者はそれぞれの組織や国に応じた技術的・工学的課題を抱えていると考えられる。もちろん、放射性廃棄物の処分や気候変動への対応といった、各国に共通する課題やグローバルな課題もあるものの、高経年化に直面している事業者・国・地域、建て替えや新增設の問題に直面している事業者・国・地域もある。あるいは、2011年のある福島原発事故を踏まえ、安全対策を強化した設計を導入した炉が新たに稼働している国もあるかもしれない。これらの多様性はどの程度考慮に入れられているだろうか。あるいは、このような多様性をどのようにして社会・人的側面を扱う研究へと接続していくのだろうか。

原子力発電の公衆の受容を、単純に扱った先行研究は数多くあり、必ずしも本稿の目的に合致するような研究ばかりではないことから、本稿ではテキストマイニングの手法を援用し、単語やフレーズの頻度、類似性、特徴から、この点を解明していく足がかりを得ることとしたい。

2. 国家間の多様性

世界を見渡してみると、原子力発電の商用利用が開始されてから半世紀以上が経過している。プラントの高

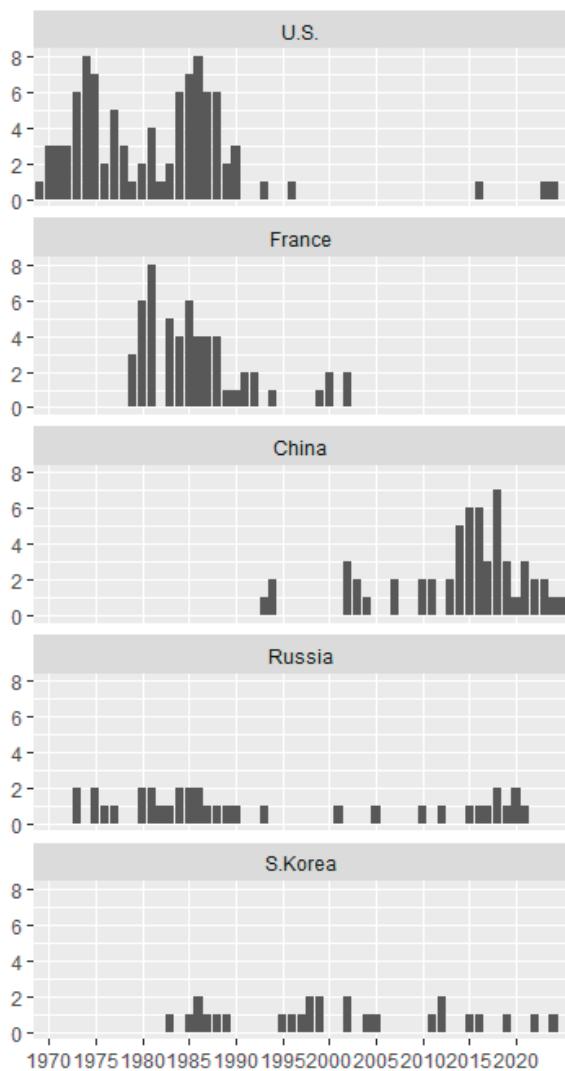


図2 現在稼働中の原子炉の商用運転開始年と基數

注) IAEA PRIS (2025年6月5日時点)

経年化への対策が進められ、廃炉が決断されている場合もある。あるいは、既設炉の退出に伴う供給力の低下や将来の電力需要を脱炭素電源で賄うことを視野に入れ、建て替えも選択肢の一つになっているといつてよいかもしれない。これらの判断や決断は、どこの国においても同じタイミングで同じようになされているわけではない。

図2に、IAEAが公開している各国の発電所のうち、稼働中(operational)のものについて、商用開始年別に原子炉の数をグラフ化した。稼働中の炉を多く持つアメリカ、フランス、中国、ロシア、韓国の5か国を取り上げている。しばしば指摘されているように(村上, 2024)、原子力発電の導入や浸透の程度には、国家間でのバラツキが大きい。

国連に加盟している国が190か国以上あるが、原子力発電を商用利用している国はその4分の1にも満たない。また、稼働している原子力発電所の多くは、ここに掲載しているような一部の国に集中している。

これら5か国の中、商用運転開始がもっとも古いのはアメリカであり、1970年にさかのぼる。図2のアメリカのグラフの形状を確認するならば、目立つ大きな山が2つある。1975年前後と1985年前後である。具体的には、1975年前後であれば、クーパー原子力発電所、カルバートクリフス原子力発電所等が運転を開始しており、1985年前後であれば、バイロン原子力発電所1号機等が運転を開始している。廃炉段階にあるため、図中には含まれていないものの、1979年の事故で知られることになったスリーマイル島原子力発電所2号機は、1978年に商用運転を開始している。ただ、1990年代後半以降、商用運転を開始しているプラントがまったくない期間が長く続き、2016年にワッズバー原子力発電所2号機、最近ではボーグル原子力発電所3号機・4号機が運転を開始している。

続くフランスであるが、グラフの形状を確認すると、アメリカの最初の山から少し右側にずれた位置に盛り上がりを確認することができ、1980年前後になる。具体的には、ブジェ原子力発電所2, 3, 4, 5号機、グラブリーヌ原子力発電所、トリカスタン原子力発電所等が商用運転を開始している。そして、アメリカと類似しているが、2000年代後半以降に商用運転を開始しているプラントは近年に至るまでない。EPR(欧洲加压水型炉)を採用したことしばしば話題になっているフラマンビル3号機は、データ取得時点で商用運転を開始しているわけではないため、図中には含まれていない。

3番目の中国であるが、グラフの形状はアメリカやフランスとはまったく異なっている。グラフの右側、2010年以降に山があることが見て取れる。この時期に運転を開始しているのは、福清原子力発電所、紅沿河原子力発電所、台山原子力発電所、海陽原子力発電所等であり、EPRやAP1000といった第三世代と分類される炉の商用運転が開始されており、中国が自動的に技術開発した華龍1号の商用運転も開始されている(海外電力調査会, 2024)。

ロシアであるが、アメリカと同様、商用運転開始は1970年代にまでさかのぼる。歴史の長さはアメリカ、フランスと類似している。ただ、グラフの形状から明らかにように、アメリカ、フランス、中国のような目立つ山ではなく、特定の時期に商用運転開始が集中しているわけではない。1995年から2000年にかけては停滞していたものの、商用運転を開始している炉が、時期的な偏りなく、あるといってよい。海上浮揚式のアカデミック・ロモノソフも2020年に

商用運転を開始している。韓国の場合も、グラフの形状はロシアを全体として右にずらしたような形状をしており、商用運転開始が特定の時期に集中しているわけではない。2015年以降も、新古里3号機や4号機、新ハヌル1号機や2号機が商用運転を開始している。

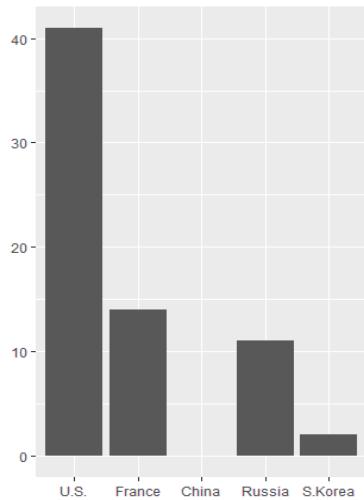


図3 廃炉段階にある炉の数（国別）
注) IAEA PRIS (2025年6月5日時点)

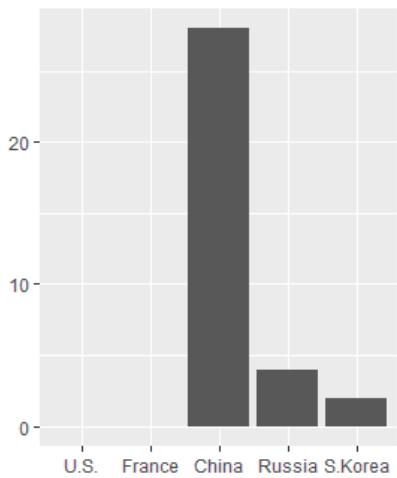


図4 建設中の炉の数（国別）
注) IAEA PRIS (2025年6月5日時点)

図2に示したのが稼働中の炉の数であるのに対して、廃止が決まっている（permanent shutdown）炉の数を示し

たのが図3である。アメリカが突出しており40を上回るのに対し、中国はゼロである。フランスやロシアも10を上回っている。他方で、建設中（under construction）の炉の数を示したのが図4であるが、図3と対照的であり、中国において20を上回っており、突出していることが明らかであるのに対し、アメリカとフランスはゼロである。これらを踏まえると、原子力発電の分野において、中国がいざアメリカに追いつき、そのうち追い抜くという議論も荒唐無稽なものではないことがうかがえよう。

このように、現在から世界を見渡してみると、原子力発電所の商用運転開始に先んじたのがアメリカやフランスであり、商用運転開始から50年や40年を超える炉を多く抱えている。運転開始が特定の期間に集中しているのであれば、運転期間についての制度にもよるが、数十年後には一気に活用できなくなる可能性がある。国や事業者によって想定しているエネルギーミックスや電源ポートフォリオは同じではないことから、他の電源とのバランスや電力需要等を考慮して判断がなされると考えられるものの、アメリカやフランスやそれらの国の事業者にとって、廃炉、建て替え、運転期間等について判断が必要になってくるのは明白であろう。この点と直接に関連するかどうかの検討は本稿の射程外であるが、フランスでは、2022年に応力腐食割れが頻発し、EDF(フランス電力会社)にとって大きな損失になったことも指摘されている（海外電力調査会、2025）。

中国の場合、事情はこれら2つの国とは少し異なるのではないかと考えられる。多くの炉が2011年の福島原発事故後に商用運転を開始している。発電所の設備自体は新しく、アメリカやフランスのような課題に直面するのはまだ先のことであろう。他方で、中国で近年商用運転を開始した炉は、第3世代炉と分類されるような炉も多く含まれている。2011年の事故は、公衆への受容という観点からは、日本においてのみならず、世界の多くの国において、原子力発電に対するネガティブな意見を増加させたといわれる（Kim et al., 2013）。それにもかかわらず、原子力発電の導入を進めるならば、安全性をどのように担保するのかについて懸念が生じたとしてもおかしくない。それは、日本と地理的に近く、近年になって商用運転を開始している炉を抱える韓国も同様であろう。

整理するならば、アメリカやフランスであれば、高経年化が、中国や韓国であれば、2011年の事故後の新しい技術の導入と安全性の担保の仕組みが、技術的・工学的な課題としてのみならず、社会・人的な側面のとも接点を持ちうる課題として注目に値しよう。先行研究において、これらの傾向は反映されているだろうか。

本稿では、議論の着地点を明確にするために、リサーチ・クエスチョンを2つ設定しておきたい。一点目は、ここで確認してきたように、原子力発電の導入の時期や程度が異なるアメリカ、フランス、中国といった国において、国ごとの違いが先行研究においても反映され、見られるだろうか、という点である。とりわけ、アメリカとフランスが類似しており、中国が異なるといった傾向はあるだろうか。二点目は、主に中国を念頭におきつつ、安全性をめぐる技術革新が、公衆の受容の局面において考慮に入れられているだろうか、という点である。入れられているとするならば、それはいかにしてか。

先行研究は、当然のことながら詳細に検討されるべきであるものの、決して少なくない量であることに加え、本稿では国家間の特徴の違いに対応するような技術的・工学的側面に関心がある。それゆえ、テキストマイニングとも呼ばれるテキスト分析を援用し、出現している単語やフレーズの頻度、関連、傾向から、リサーチ・クエスチョンに一定の解を与えることとし、さらに踏み込んだ研究は別の機会に譲ることとしたい。

3. データと方法

3.1 データについて

テキスト分析の対象とするのは、Energy Policy (EP、エルゼビア社), Energy Research and Social Science (ERSS、エルゼビア社), International Journal of Energy Research (IJER、ワイリー社)という、英文ジャーナル3誌の研究論文である。これらは、原子力発電についての研究を含んでおり、かつ、技術的な観点のみならず、社会・人的観点からの研究を多く掲載している。ただ、原子力発電に関連して社会的・人的な側面を扱っていたとしても、下記の検索条件において研究論文の該当件数が少ない場合、論文の主題以上にジャーナルの特性によって、傾向の理解が阻害される可能性もあることから、分析対象から除外した。Risk Analysis誌、Utilities Policy誌がこの場合に該当する。

対象とする研究論文は、上記ジャーナルにおいて、次のような条件で検索し、抽出した。nuclearという単語をタイトルないしアブストラクトに含み、かつ、China, France, U.S.という単語を、タイトルないしアブストラクトに含む論文とした。つまり、検索条件は、nuclear AND China, nuclear AND France, nuclear AND (U.S. OR United States OR USA OR “the US”)である。ショート・コミュニケーション等、研究論文ではないものは除外した。また、テキスト分析の対象は、タイトルとアブストラクトとし、ハイライト

や本文は除いた。タイトルとアブストラクトはすべての論文で公開されており、共通性が高く、分析のためのデータ作成のハードルは高くない。加えて、研究目的のジャーナルであることから、本文の内容を適切に要約する重要な単語や要点を含んでおり、本稿にとって都合がよい。本文まで含めるならば、図表や写真の扱いをはじめ、手続きの統一や分析があまりにも煩雑になる。本稿の目的にとって、タイトルとアブストラクトのみで十分であると判断した。

以上のような条件のため、原子力発電の公衆の受容を正面から主題としている研究ばかりが含まれるわけではない。主要なテーマが、太陽光や風力といった再生可能エネルギーや自然変動電源の公衆の受容であり、原子力発電を比較対象としていることもあれば、純粹に技術的な側面を主題とした研究において国名が含まれていることもある。また、アメリカ、フランス、中国といった国名についても、一つの国のみが含まれる論文ばかりではなく、これらのうち2つあるいはすべてが含まれている論文もある。

表1 分析対象ジャーナルの件数の内訳

年	EP	ERSS	IJER	計
— 1980	7	0	1	8
1980 — 84	12	0	1	13
1985 — 89	6	0	0	6
1990 — 94	11	0	1	12
1995 — 99	5	0	0	5
2000 — 04	6	0	0	6
2005 — 09	26	0	2	28
2010 — 14	52	2	1	55
2015 — 19	42	7	13	62
2020 — 24	27	23	10	60
計	194	32	29	255

分析対象とした論文の概要は表1に示した。論文の数は255件あり、そのうち約75%がEP誌である。ERSS誌は創刊が2014年と比較的新しいことから、2013年以前の論文はない。論文数は最近になるにしたがって、どのジャーナルにおいても多くなっているため、分析結果は比較的最近の傾向を反映することになるといつてよいかもしない。なお、アメリカ関連の単語を含む件数が138件、フランスという単語を含む件数が53件、中国という単語を含む件数が85件になる。合計が255件にならないのは、2つないし3つの国を含む研究論文があるためである。また、分析結果のセクションにおいて、「アメリカでは」、「フランスでは」、「中国では」といった記述がなされている場

合、タイトルないしアブストラクトに、それらの国名を含んでいる研究論文の集合的な特徴に言及していることに留意されたい。

タイトルとアブストラクトの平均単語数をジャーナル別で算出しているのが図 5 と図 6 になる。タイトルの平均単語数は 13 語であり、ERSS 誌のみ 16 語とやや多く、ジャーナル間で分散分析を実施すると有意になる(自由度 2, F 値 8.17, $p < 0.01$)。また、アブストラクトの平均単語数は 185 語であり、EP 誌が 176 語とやや少なくなつており、分散分析を実施すると有意になる(自由度 2, F 値 7.56, $p < 0.01$)。ジャーナル間で平均単語数に相違はあるものの、ウェイトの調整等はしない。なお、タイトルとアブストラクトの平均単語数の算出においては、後述するようなストップワードの除外はしていない。

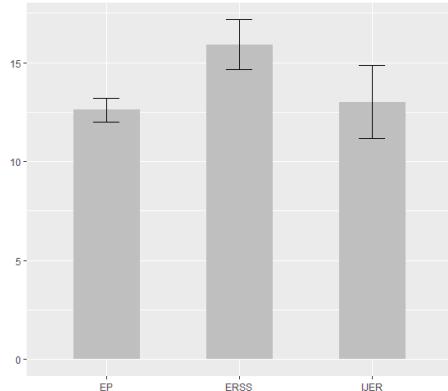


図 5 タイトルの平均単語数

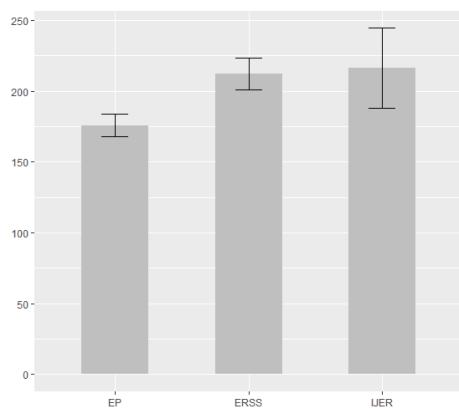


図 6 アブストラクトの平均単語数

3.2 分析の戦略

分析の戦略として、タイトルとアブストラクトをそれぞれ個別に分析する。

タイトルに対して、一単語一行の整然データ (tidy data, ロング形式ともいう) へと変換した後 (トークン化ともいう), the, of, and, in, a, for といった、出現頻度は多いものの本質的な意味を持たないストップワードを除外する。その後、国別で出現頻度の高い順に、出現単語をソートする。上記の検索条件から示唆されるように、nuclear という単語、あるいは France, China, US といった国名に関連する単語が上位に来ることが容易に予想できる。

そして、nuclear energy のように、単一の単語のみならず、2 語連続して用いられるフレーズとして、バイグラム (bigram) も抽出し (この場合、分析として意味をなす単位としてのトークンは 2 単語), 同様に、出現頻度の高い順番で国別にソートする。この際にも、of the, in the, of nuclear, acceptance of というように、1 番目ないし 2 番目の単語の双方もしくはどちらかに、ストップワードを含んでいる場合、除外している。

さらに、単一の単語であっても、バイグラムであっても、国家間での類似度の指標として、ピアソンの積率相関係数を算出している。整然データへの変換、変換した後のテキストマイニングは、フリーソフトウェアである R の tidytext というパッケージを使用しており、以下の分析の多くは、このパッケージ作成者のテキストの手順を参照している (Silge & Robinson, 2016 大橋・長尾訳 2018)。

シングルワードであれ、バイグラムであれ、トークン化した後、単語やフレーズの出現頻度に基づき国別に順位をソートする手順は誤解が少ない。しかし、相関係数の算出に用いている数値については付記しておく。トークン化された単語やフレーズは、アメリカの場合であれ、フランスの場合であれ、出現頻度は同じではない。nuclear (原子・核) という単語の場合、アメリカで 82 件、フランスで 43 件、中国で 46 件である。これらの出現頻度をそのまま相関係数の算出に用いてはいない。国別に、まず、各単語の総出現頻度を算出し、それを分母とする。続いて、nuclear という語の出現頻度を分子として配置し、その結果として得られた数値を、当該単語の出現しやすさの指標として、相関係数の計算に用いる。アメリカであれば、出現単語の総数は 501 語であり、各単語の出現頻度で積和を算出すると、1124 になる。そして、nuclear という単語の出現頻度 82 を分子とし、1124 を分母とすると、0.073 が得られる。これと同じ作業をフランスの場合でも、中国の場合でも

nuclear という語で実施する。アメリカとフランスと中国で、出現している単語のパターンが類似しているのであれば、出現しやすい単語は類似しているはずであり、そうであればこの指標を用いて計算された相関係数は、当然高くなるはずである。

注意点として、アメリカで出現している単語が、他の国で出現していない場合、欠損として扱うと、相関係数の計算の際に除外されてしまう。実際、Silge & Robinson (2016 大橋・長尾訳 2018)の手順に素直にしたがうと欠損値として処理されることになる。そのため、NA ではなく 0 を代入することとする。つまり、ある単語がアメリカの場合においてのみ出現しており、他の国において出現していない場合、他の国での出現しやすさは、欠損値 (NA) ではなく 0 とする。

一単語一行 (ないし一バイグラム一行) の整然データにトークン化した後、トークン化されたデータを改めて見直し、適切に変換されているのかを確認している。そして、不適切であると考えられる場合、読み込む前のデータに修正を加えている。一例として、国名を意味する United States は unite という動詞に変換されカウントされてしまうため、united_states に修正し、Hong Kong の場合、hong と kong に分割されてカウントされてしまうため、hong_kong に修正している。そのほか、全角から半角への修正等も実施している。

タイトルに対して実施した分析と同様のものを、アブストラクトに対しても実施する。タイトルは平均 13 単語であるのに対し、アブストラクトは平均 185 単語であることから、アブストラクトのほうが分析対象となる単語数は多くなるものの、分析内容自体は、タイトルの場合と同様である。

結果のセクションは、タイトル (シングルワード、バイグラム)、アブストラクト (シングルワード、バイグラム) の分析について、先のリサーチ・クエスチョンを念頭に置き、次のような指針におおむねしたがって記述した。

- ① 各国に共通する単語 (ないしフレーズ) について、出現頻度と順位を確認しピックアップする。他方で、その国の特徴と考えられる単語 (ないしフレーズ) は、出現頻度と当該国のなかでの順位、それ以外の国での頻度と順位とともに考慮してピックアップする。
- ② グローバルな課題である気候変動に関する単語 (ないしフレーズ) は、出現頻度と順位を確認し、上位の語をピックアップする。

- ③ 安全性 safety と技術 technology に関する単語 (ないしフレーズ) がどの程度用いられているのかを確認する。
- ④ 国家間のピアソンの積率相関係数を計算 (3 パターン) する。

4. 結果

4.1 タイトルの分析

4.1.1 シングルワード (タイトル)

タイトルにどのような単語が多く用いられているのかを、国別に集計後、降順にソートした結果が表 2 である。ストップワードを除外した後、アメリカであれば 501 語、フランスであれば 261 語、中国であれば 350 語出現しており、各国別の出現頻度上位の語を記載している。

表 2 単語の出現頻度・度数 (タイトル)

アメリカ	フランス	中国
nuclear	82	nuclear
energy	54	energy
power	40	power
united_states	21	france
plant	20	french
policy	20	cost
cost	18	electricity
analysis	11	policy
waste	11	climate
fuel	10	plant
public	9	role
site	9	
electric	8	
reactor	8	
u.s.	8	
electricity	7	
gas	7	
renewable	7	

どの国においても、nuclear, energy (エネルギー), power (力), policy (政策) という語が出現頻度の上位である。

アメリカであれば、waste (廃棄物) が 11 回、site (場所) が 9 回登場している。cost (コスト・費用) という単語は、アメリカやフランスにおいて多く出現しているものの（それぞれ 18 回と 8 回）、中国においては 5 回（20 位・表外）とやや少ない。中国においては、acceptance (受容) という単語は 10 回出現しているものの、アメリカとフランスでは上位に入っていない（ともに 1 回で、順位はアメリカで 179 位、フランスで 72 位）。

グローバルな環境問題である気候変動に関する単語はどの国においても上位にいくつか出現している。単語は完全に一致しているわけではないものの、アメリカで renewable (再生可能) が 7 回、フランスで climate (気候) が 5 回、中国で carbon (炭素) が 11 回、emission (排出) が 6 回出現している。

安全性を意味する safety という単語は、どの国においても上位に登場していない。順位が低いため、表に記載されていないが、アメリカで 5 回（26 位）、フランスで 2 回（33 位）、中国で 2 回（68 位）である。同様に、technology という語は、アメリカで 3 回（56 位）、フランス、中国で 0 回である。

なお、ピアソンの積率相関係数を算出すると、アメリカ・フランス間で 0.86 ときわめて高く、アメリカ・中国間で 0.73、フランス・中国間で 0.69 となっている（検定はいずれも 0.1% 水準で有意）。

4.1.2 バイグラム（タイトル）

続いて、バイグラムを抽出し、同様の分析を実施する。バイグラムについて上位の語を示したのが表 3 になる。トップワードを除去した後、アメリカで 497 フレーズ、フランスで 225 フレーズ、中国で 384 フレーズである。シングルワードと比較して極端に少ないわけでも多いわけでもない。

表 3 バイグラムの出現頻度・度数（タイトル）

アメリカ	
nuclear power	30
power plants	14
nuclear energy	9
energy policy	7
nuclear waste	7
nuclear fuel	5
power plant	5

フランス	
nuclear power	12
nuclear energy	8
climate change	3
construction costs	3
economic growth	3
energy policy	3
energy transition	3
french power	3
power plants	3

中国	
nuclear power	14
nuclear energy	7
public acceptance	6
china's nuclear	5
power sector	5
nuclear fuel	4
power plants	4
china's electricity	3
low carbon	3

nuclear power (原子力), nuclear energy (原子力エネルギー), power plants (発電所) というフレーズはどの国にお

いても出現頻度が比較的多く上位にある。各国に特徴的なフレーズとして、アメリカで nuclear waste (原子力廃棄物) が 7 回, radioactive waste (放射性廃棄物), waste disposal (廃棄物処分) が各 3 回出現している。また、economic growth (経済成長) というフレーズが、アメリカで 3 回、フランスで 3 回出現しているものの、中国では 0 回である。

同様に、construction costs (建設コスト・建設費用) というフレーズが、アメリカとフランスでそれぞれ 3 回出現しているのに対して、中国においては 0 回である。先に、中国においては、acceptance が上位に出現していると述べたが、バイグラムにおいても public acceptance (公衆・国民の受容) というフレーズが 6 回出現しており、アメリカ、フランスでは 0 回である。ただ、アメリカにおいては、public opinion (世論), public preferences (公衆・国民の選好) というフレーズは上位にある。

気候変動に関連するフレーズとして、アメリカで co2 emissions (二酸化炭素排出), renewable energy (再生可能エネルギー) が 3 回、フランスで climate change (気候変動), energy transition (エネルギー移行) が 2 回、中国で low carbon (低炭素) というフレーズが 3 回出現している。

安全性にかかわるフレーズとしては、どの国においても nuclear safety (原子力安全) が 2 回ないし 1 回出現しているものの、アメリカで safety implication (安全にかかわる示唆), safety regulation (安全規制), safety regulator (安全の規制者) はいずれも 1 回、フランスで safety regulatory (安全規定) が 1 回、中国で safety analysis (安全性分析) が 1 回である。

技術に関連するフレーズとしては、アメリカで energy technologies が 2 回、フランスでは含まれておらず、中国で technology diffusion (技術伝搬) が 1 回、technology options (技術のオプション), carbon technology (炭素技術), generation technology (発電技術) がそれぞれ 1 回である。

なお、バイグラムについて相関係数を算出すると、アメリカとフランス間で 0.56、アメリカと中国間で 0.38、フランスと中国間で 0.33 である (検定はいずれも 0.1% 水準で有意)。つまり、アメリカとフランスの類似度がやや高い。

4.2 アブストラクト

4.2.1 シングルワード (アブストラクト)

続いて、アブストラクトについても同様の分析をしていく。トークン化し、ストップワードを除去したところ、アメリカで 2675 語、フランスで 1675 語、中国で 2003 語

である。国別に上位の語を、出現頻度とともに示したのが表 4 である。どの国においても、nuclear, energy, power という語は 100 回以上出現しており、共通している。上位 3 語はタイトルの場合とほぼ同じである。

他方、cost という語は、アメリカにおいてもフランスにおいても 4 位であり、それぞれ 168 回と 76 回登場しているものの、中国においては 32 回 (38 位) と頻度がやや少なく、順位も低い (表外)。また、フランスで特徴的であるのは market (市場) という語であり、36 回 (8 位) 出現しているものの、アメリカでは 32 回 (62 位)、中国では 16 回 (101 位) と上位からは外れる。中国であれば、development (開発・発展) という語が 87 回で上位に登場しているものの、アメリカでは 47 回 (31 位)、フランスでは 12 回 (64 位) であり、同様に、acceptance という語は中国では上位に入っているものの、アメリカでは 3 回 (770 位)、フランスでは 4 回 (254 位) と順位は低い。

表 4 単語の頻度・度数 (アブストラクト)

	アメリカ	フランス	中国
nuclear	462	nuclear	221
energy	344	energy	125
power	211	power	110
cost	168	cost	76
policy	116	france	52
plant	102	electricity	46
fuel	101	plant	43
technology	93	market	36
gas	89	system	36
reactor	81	country	35
increase	72	economic	35
electricity	68	study	35
emission	66	result	34
result	65	french	31
renewable	64	construction	29
united_states	64	reactor	29
country	62		base
			50

気候変動に関連するフレーズとしては、アメリカで renewable が 64 回と上位、フランスで 26 回 (20 位)、中国で 31 回 (42 位) である。中国では carbon が 57 回 (アメリカで 45 回 32 位、フランスで 27 回 17 位)、二酸化炭素排出源と考えられる coal (石炭) が 52 回 (アメリカで 42 回 36 位、フランスでは 4 回 254 位) である。

safety という語は、アメリカで 20 回 (115 位), フランスで 8 回 (111 位), 中国で 29 回 (45 回) と上位とはいがたい. technology という語は、アメリカで 93 回 (8 位), フランスで 24 回 (24 位), 中国で 66 回 (11 位) であり, 比較的上位である.

相関係数を算出したところ、アメリカとフランス間で 0.92, アメリカと中国間で 0.88, フランスと中国間で 0.84 ときわめて高い (検定はいずれも 0.1% 水準で有意). 上位に、同じような語が登場していることからもうかがえるように、同じような表現が用いられていると考えられる.

4.2.2 バイグラム (アブストラクト)

アブストラクトのバイグラムを国別で集計し、出現頻度の順番でソートしているのが表 5 である. アメリカで 4798 フレーズ、フランスで 2085 フレーズ、中国で 3372 フレーズ出現している. これを確認すると、どの国においても共通しているのが nuclear energy, nuclear power, power plants といったフレーズである.

表 5 バイグラムの頻度・度数 (アブストラクト)

アメリカ		フランス	中国
nuclear power	143	nuclear power	73
nuclear energy	61	nuclear energy	35
natural gas	45	economic growth	22
power plants	31	power plants	18
climate change	25	climate change	14
nuclear waste	25	co2 emissions	13
renewable energy	25	energy consumption	10
energy policy	22	energy system	9
power plant	22	construction costs	8
energy sources	21	french nuclear	8
energy efficiency	20	energy transitions	7
nuclear reactors	16	low carbon	7
fossil fuels	15		
nuclear fuel	15		
co2 emissions	14		
economic growth	14		
fuel cycle	12		
spent fuel	12		

国別であれば、アメリカで nuclear waste という語が 25 回 (5 位) 出現しているものの、フランスで 3 回 40 位、中国で 6 回 45 位である。フランスでは construction costs が

8回(アメリカで12回17位, 中国で0回), *energy transition*が7回(アメリカで0回, 中国で1回488位), 出現している。中国で, *public acceptance*というフレーズが35回登場しているが, アメリカで1回572位, フランスで2回(79位)である。

気候変動関連では, *climate change*というフレーズが, アメリカで25回, フランスで14回出現している。そのほか, *renewable energy*, *co2 emissions*, *low carbon*といったフレーズも共通している。

安全性に関連する点であれば, *nuclear safety*というフレーズが, アメリカで7回, フランスで4回, 中国で7回であり, 全体のなかでの順位は必ずしも高くない。アメリカで *safety regulation(s)*が6回, フランスで *safety regulation*, *safety standards*(安全基準)が各1回である。中国では, *safety analysis*, *safety regulation*, *safety standards*, *safety technology*がそれぞれ2回である。技術に関連する点では, *nuclear technology*(複数形も含む)が, アメリカで7回, フランスで3回, 中国で10回である。フランスで *technology innovation*が1回, 中国で, *safety innovation*が2回出現している。

相関係数を確認すると, アメリカとフランス間で0.75であり, アメリカと中国間で0.68であり, フランスと中国間で0.65である(いずれも0.1%水準で有意)。シングルワードの場合より相関係数の値そのものは低いものの, 決して低くない値であるといつてよい。

4.3 直接の比較

これまでの結果の分析はいずれも単語ないしフレーズの国別の出現頻度と順位に基づくものであった。相関係数も算出しているものの, 類似度の程度以上のこととは判明しない。そこで最後に, フレーズの出現しやすさを直接比較する。アメリカ, フランス, 中国におけるあるフレーズの出現のしやすさについて, そのフレーズの出現頻度を分子, それ以外のフレーズの出現頻度を分母として, それぞれの国で数値化する(オッズの算出)。それから, アメリカを基準(分母)とし, それ以外のフランスと中国を分子として, 当該の単語ないしフレーズがどの程度出現しやすいかを数値化する(オッズ比の算出)。この値が1に近い場合, アメリカと比較した際の当該国のフレーズの出現しやすさが大きく変わらないことを意味する。1より大きければ, 出現しやすさがアメリカより大きくなり, 逆に0に近ければ, 出現しやすさはアメリカにおいて大きくなることを意味する。

どの国においても出現頻度が多く, 上位に入っているフレーズ3つ, どの国においても共通の課題であると考えられる気候変動に関連するフレーズ4つ, 各国の特徴的なフレーズを3つ取り上げ, 比率を算出し, 定量的に示したのが次の表6である。

共通する3つのフレーズ(*nuclear energy*, *nuclear power*, *power plants*)については, 比率は0.9から1.4程度であり, 各フレーズの出現のしやすさはどの国においても極端に大きかったり, 小さかったりするわけではないといえる。

続いて, 気候変動に関連する4つのフレーズ(*climate change*, *co2 emissions*, *renewable energy*, *low carbon*)については, 比率は0.5程度から2.2程度とやや差はあるものの, 気候変動というジャンル全体においては, 特定の国において出現のしやすさが極端に大きかったり, 小さかったりするわけではない。*renewable energy*というフレーズの出現しやすさがフランスでやや低く(0.58), *climate change*というフレーズの出現しやすさが中国でやや低かったりする(0.54)程度である。

表6 出現しやすさの比率

	フランス (対アメリカ)	中国 (対アメリカ)
nuclear energy	1.40	1.38
nuclear power	1.25	0.90
power plants	1.42	0.96
climate change	1.36	0.54
co2 emissions	2.26	0.77
renewable energy	0.58	1.14
low carbon	1.55	1.11
nuclear waste	0.29	0.32
construction costs	2.44	0.00
public acceptance	4.87	47.80

そして, 各国に特徴的なフレーズとして, *nuclear waste*であれば, フランスや中国での出現のしやすさは0.3を下回っており, アメリカの3分の1程度である。*construction costs*というフレーズであれば, フランスでもっとも出現しやすく(アメリカの2.5倍), 中国ではまったく出現していない。*public acceptance*というフレーズであれば, 中国での出現のしやすさがアメリカの約50倍である。

表6の比率はバイグラムに基づいて算出しており, 中国において *construction costs*というフレーズは出現していない。そこで補足的に, アブストラクトのシングルワードに照準を合わせて同様の比率を算出してみると, *waste*

という単語で、フランスで 0.29 (対アメリカ), 中国で 0.34 (対アメリカ) でアメリカで高く, *cost* という単語で、フランスで 1.1 (対アメリカ), 中国では 0.27 (対アメリカ) であり、中国において低いことが改めて確認された。

5. 議論と考察

以上、テキスト分析の結果を確認してきた。相関係数を確認すると、タイトルのバイグラムにおいてはやや傾向がはつきりしており、アメリカとフランスの類似性に比して中国との類似性は低かったものの (4.1.2), それら以外は一貫して高い。それらは、社会調査データに代表される、調査票を用いて測定した属性や態度間の関係からは得られない高い水準であるといってよい。ただ、本稿で分析対象としているテキストが、研究論文であり、それもタイトルやアブストラクトという、形式的な制約が他ジャンルのテキストと比較して大きいことを踏まえるならば、その制約に伴う共通性がよりよく反映されていると考えることができるだろう。

他方で、そのような中においても、たとえば、アメリカであれば、*waste* や *nuclear waste* といった単語やフレーズが出現しやすく、フランスや中国の 3 倍程度であった。フランスであれば、*construction costs* というフレーズの出現しやすさによって特徴づけられ、このフレーズは、とりわけ中国においては出現していなかった。これらから、高経年化に直面しつつ、新設がなかなか進まないアメリカとフランス、それらと対照的に建設が進んでいる中国という構図を読み取るのは容易い。*cost* という言葉の出現しやすさは、中国においてアメリカやフランスの 3 分の 1 程度であり、低かった。これら国家間の特徴の相違が、今後の原子力発電の将来性を占ううえで解であると結論づけることは早計であるものの、今後の研究の設計や方向性、るべき制度の設計や方向性を考えるうえでは鍵になるかもしれない。なぜなら、ある国で可能になっているものの、別の国では可能にならないものの中に、原子力発電の今後を占うヒントが隠されていると考えられるからである。しばしば権威主義的な国の一つとして言及される中国であるが、*public acceptance* というフレーズの出現頻度が高いことも指摘しておくべきだろう。

気候変動に関連する単語やフレーズは、西欧の先進国であるアメリカやフランスのみならず、中国の文献にも頻繁に出現していた。*renewable* という単語の頻度からも示唆されるように、再生可能エネルギーや自然変動電源との比較は定番のアプローチであるため、そこから一步進める研究が必要だろう。その一方で、安全性や技術に関連する

単語は、どの国においても上位には必ずしも入っていないかった。技術革新の努力が安全性の向上に向けられることを考慮すると、本稿の冒頭で述べたような課題解決の糸口をつかむためにはテキスト分析以上の深堀が必要であろう。さらに、決してポピュラーではないことを踏まえるならば、研究は一筋縄ではいかないことが予想され、デザインも練る必要があろう。

本稿の限界として、対象としているジャーナルが英文 3 誌と限られており、各国の詳細を探索するうえでは他言語の読解も必要になるだろう。国も日本やドイツのような国にまで拡張していくことも考えられる。さらに、本稿のような関心に対しては、原子力発電を科学技術の一つとして理解することで、技術の伝搬をめぐる社会科学的な枠組みから統一的にアプローチすることも可能であろう。実際、技術伝搬 (diffusion) の社会科学的研究においては、国家間の差をいったん度外視し、統一的な枠組みから考察しようとしているものもある。他方で、国家間の多様性を解消せず、比較に徹しようとする立場もある。そして、両者の折衷的なアプローチも考えられる。

実践や現実的な解への接続も見据えるならば、グローバルな視点を保持しつつ、その中で具体的な課題解決の糸口を見つけ、解きほぐしていくような研究の方向性が今後も必要であろう。

引用文献

- Fujita, T. (2025). Energy Knowledge and Public Response to Restarting Nuclear Plants in Japan Following the Fukushima Accident. *Utilities Policy*, 92, 101858. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2024.101858>
- Ho, S. S., Leong, A. D., Looi, J., Chen, L., Pang, N., & Tandoc Jr, E. (2019). Science Literacy or Value Predisposition? A Meta-analysis of Factors Predicting Public Perceptions of Benefits, Risks, and Acceptance of Nuclear Energy. *Environmental Communication*, 13, 457-471. <https://doi.org/10.1080/17524032.2017.1394891>.
- Ho, S. S., Xiong, R., & Chuah, A. S. F. (2021). Heuristic Cues as Perceptual Filters: Factors Influencing Public Support for Nuclear Research Reactor in Singapore. *Energy Policy*, 150, 112111. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112111>.
- 海外電力調査会 (2024). 海外諸国の電気事業——中国—— 一般社団法人海外電力調査会
- 海外電力調査会 (2025). 海外諸国の電気事業——フランス共和国—— 一般社団法人海外電力調査会

Kim, Y., Kim, M., & Kim, W. (2013). Effect of the Fukushima Nuclear Disaster on Global Public Acceptance of Nuclear Energy. *Energy Policy*, 61, 822-828.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.107>

村上 朋子 (2024). 世界の原子力新設動向——新興国の順調な進展を支えるロシアのプレゼンス——, 日本原子力学会誌, 66, 9, 468-472.

https://doi.org/10.3327/jaesjb.66.9_468

Poortinga W., & Pidgeon N.F. (2004). Trust, the Asymmetry Principle, and the Role of Prior Beliefs. *Risk Analysis*, 24, 1475-86.

<https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00543.x>

Siegrist, M., & Cvetkovich, G. (2002). Perception of Hazards: the Role of Social Trust and Knowledge. *Risk Analysis*, 20, 713-720.

<https://doi.org/10.1111/0272-4332.205064>.

Silge, S., & Robinson, D. (2016). *Text Mining with R: A Tidy Approach*. O'Reilly Media.

(大橋 真也 (監訳) 長尾 高弘 (訳)(2018).Rによるテキストマイニング——tidytext を活用したデータ分析と可視化の基礎—— オライリー・ジャパン)

Slovic, P. (1993). Perceived Risk, Trust, and Democracy. *Risk Analysis*, 13, 675-682.

<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1993.tb01329.x>

Whitfield, S. C., Rosa, E. A., Dan, A., & Dietz, T. (2009). The Future of Nuclear Power: Value Orientations and Risk Perception. *Risk Analysis*. 29, 425-437.

<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01155.x>