

多言語/多リソース横断検索結果活用による 文化的・社会的多様性を反映する検索クエリ拡張を促すデザイン

原田真喜子^{†1} 渡邊英徳¹

本研究の目的は、検索クエリ候補となる語彙の拡張を促すデザインの検討である。そこで、英語-日本語-スペイン語において、ユーザが入力する語についてマイクロブログ、検索予測候補、ウェブニュースで多言語横断検索し、その結果から特徴語を抽出した結果を9マスの表で提示するビジュアルイゼーションアプリケーションを実装した。

Design for Search Query Expansion Reflecting Cultural and Social Diversity Using Multilingual/Multi-Resource Search

MAKIKO HARADA^{†1} HIDENORI WATANAVE^{†1}

The purpose of this study is to explore the design that encourages the expansion of vocabulary for search query candidates. To achieve this, a visualization application was implemented that presents the results of cross-lingual searches in English, Japanese, and Spanish, using Micro-Blog, Suggests, and Web News, to extract characteristic terms related to the word. The extracted results are then presented in a 9-grid table.

1. はじめに

本研究の目的は、検索クエリ候補となる語彙の拡張を促すデザインの検討である。そこで、英語-日本語-スペイン語において、ユーザが入力する語についてマイクロブログ、検索予測候補、ウェブニュースで多言語横断検索し、その結果から特徴語を抽出した結果を9マスの表で比較提示するビジュアルイゼーションアプリケーションを実装した[図1]。さらに、生成系AIを用いて、検索語句に関する各言語での一般的な概念を提示する。提案する手法は、特定言語空間での検索では気づきにくい、文化的・社会的な多様性を反映する語彙の拡張を促すことができ、ユーザの検索クエリを拡張する効果が期待される。

本稿では、制作するアプリケーションの設計について紹介する。

2. 背景

ウェブには多種多様な情報が存在するため、ウェブ上の情報にアクセスする検索は、言葉の意味や使われ方を調べる場として広く活用されている。通常は、母国語を用いて検索を行う。しかし、日本のように単一民族かつ単一言語が常用され、さらにその単一言語が一か国のみで使用される場合、ウェブで得られる検索結果は、その国の文化や課題を反映したものになる。従って、その国特有のステレオタイプや慣習に依存した結果が提示されやすくなる。つまり、特定の言語環境に潜むステレオタイプやバイアスに気づかないことが予想される。多面的・多角的に情報を吟



図1 実装結果

Figure 1 Result of visialization

味し、把握するための手法の一つとして、検索クエリの拡張がある。通常、検索クエリは、ユーザの言語概念空間から生み出されるものである。ウェブで提示された情報から自らでクエリを修正し、次の検索に繋げることもできるが、母国語の言語環境を抜け出すことは容易ではない。鈴木は、異なる言語の情報閲覧を支援するためのインターフェース設計において、言語知識レベルごとに検索の問題点をまとめているが、いずれのレベルにおいても、検索要求の作成時の困難を指摘している[9]。

そこで、本研究では、母国語の言語環境を超えた検索クエリ獲得のために、クロスリンガルによる検索と検索結果の一斉表示を可能にするビジュアルイゼーションアプリケーションを開発する。これにより、母国語外での言語使用環境の取得を促し、文化的・社会的な多様性を反映するクエリ拡張を促すことを試みる。

^{†1} 東京大学大学院情報学環
The University of Tokyo III

3. 関連研究

3.1 クエリの拡張のためのリソースの検討

クエリ拡張において、ユーザが入力したキーワードに関連した単語を提案するシステムがある。クエリ拡張のリソースとして、静的な資料を参照する場合とウェブ上のユーザログを参照するものがあるが、本稿では、多様性を反映したいという狙いから、ウェブ上の情報をリソースとするものを調査する。

大石ら[1]は、ユーザが入力するクエリによって検索エンジンで返される文書に対し、ユーザが適合性を判定、その結果を元に新たなクエリを生成し再検索を行うシステムを開発した。堀ら[2]は、関連単語抽出の情報源として Web 上の百科事典 Wikipedia を使った関連単語提案システムを提示する。大塚ら[3]は大規模な WWW アクセスログから関連語を抽出する研究を行った。彼らは、既存の検索エンジン履歴上の不特定多数のユーザによる検索ログを用いて関連語を提案する手法によって、Google Suggest と同等またはそれ以上の関連語を提示していることを示している。大久保ら[4]は検索ログから検索語間の関連度を使用頻度と時間間隔から計算し、グループ化する手法を提案することで、情報ニーズをタイムリーに反映する語関係の提示を実現した。大塚ら[5]は、話題の周期性に着目したコミュニティ QA の質問記事分類手法を提案し、分類した質問記事を用いたクエリ拡張を実装した。実験では、周期性に基づいて収集したデータセットから実装したクエリ拡張の方が、全質問記事を用いて実装した時よりも、より季節独自のクエリが推薦できることを明らかにしている。これらの研究より、ウェブ検索でのクエリの拡張においては、ユーザージェネレーテッドのウェブ情報を使用する傾向にあるといえる。また、[4][5]にあるように、時事に着目することで、より優位な提示ができるといえる。また、いずれの事例においても、文章で提示するのではなく、クエリとしてすぐに使用可能な単語/キーワードで抽出することが有効であると言える。

3.2 多言語検索結果の理解を促す手法

鈴木ら[6]は、多言語の検索結果一覧から文書の取捨選択を容易にするために、各文書中の主要キーワードを利用者の言語に翻訳して提供する枠組みを考案した。Resnik[7]は、コンテンツのうち、1件が数行程度のものを対象として、名詞部分の翻訳結果を提示する情報提示を提案した。Ordin[8]は、ユーザが対象文書を読めないと仮定し、その際に有効な手段として文書の「翻訳された要約」の提示を行なっている。菊井[9]は、言語横断情報検索の手法を「クエリ翻訳型：検索語句を文書の語に翻訳して文書側言語をベースとして関連度計算を行う方法」、「文書翻訳型：検索語句側の言語に文書を翻訳する方法」、「中間言語型：検索語句の言語でもなく、文書側言語でもない第三の言語

で関連どの計算を行う方法」の3つに分けて紹介するが、リソースの性質や分野や言語によって適性について一概に結論は出せないと述べている。なお、クエリ翻訳型よりも文書翻訳型の方が性能がよく、前者を補償する性質があるが、前処理時間、翻訳処理の複雑さなどの点でコストがかかる点を挙げている。本研究では、ウェブ情報をリソースとして用いたため、既存の言語翻訳システムがあればそれに対する検索 API のみの情報で言語横断検索が実現できるクエリ翻訳型を用いたい。

また、[6][7][8]にあるように、多言語検索においては、対象言語を読めないことを想定し、結果を翻訳して提示することが、ユーザにとって易しいと言える。

3.3 クエリ拡張と多言語横断検索のためのデザイン検討

[1][2][4][6][8][9]では、クエリ候補の提示デザインについて言及していない。[7]は翻訳結果のリスト表示のみである。[3]ではクエリ候補を Table で種別に一斉表示するデザインをしている。[5]では、クエリの親階層をタブで分類し、クエリはタグクラウドを用いて描写する。[8]は、原文と翻訳文の二つを併記し、リスト表示する。いずれの例も、提示デザインよりもシステム重視の研究であり、視認性が良いとは言い難い。

また、単語や概念を、それぞれが意味する関連性の有無や強弱によって結びつけ、グラフ化した階層的ネットワークを応用する提示例もある。ら[10]はオントロジを用いて、ヨーロッパの多言語教育リソースを提示するシステムを提案している。PATENTSCOPE[11]はクエリとして活用可能な単語をハイライトする手法をとっている。階層的ネットワークを表現に用いることは情報の整理に有効であるが、階層の下位にある情報へのアクセシビリティが低くなる。本研究では、社会的・文化的な背景を汲む情報を提示したい。マイノリティな情報が下位なることを避けたいため、階層ネットワークを応用する提示は適さないと考える。一方、情報理解のために独自の手法を実装した事例である TITAN[12]では、文書表示時にアイコンを提示することで、リソースを明示する手法をとっている。[13]は、検索結果の状態を把握するために、検索結果の話題を表す語句の判別に基づいて検索結果の状態を可視化する機能を添えた。また、検索クエリ変更時の効果を理解するために、検索クエリ変更前後における検索結果の状態の可視化を比較することができる環境を構築した。

本研究は、[12][13]のように研究目的に沿って独自に情報理解のためのデザインを検討する。

デザインを検討する上で、鈴木ら[14]による、言語横断検索を行うインターフェースの動向調査を参考にしたい。鈴木らは、要件として、マルチメディアコンテンツの検索、時系列的な発信情報をウォッチする、非言語間コミュニケーションを支援するの3つを必要として述べている。

3.4 本研究のアプローチ

ここまでの議論より、本研究クエリを拡張するリソースとして、1) ウェブ上のユーザジェネレーテッド情報を使用する 2) 時事に着目する 3) クエリとして使用可能な単語/キーワードで抽出する 4) 結果文書からキーワードを抽出 5) キーワードを翻訳して提示 というアプローチを取ることで、多言語空間に拡張するクエリの提示をできると考える。ここで、1) 2)において、本研究ではソーシャルセンサとして使用される SNS に注目する。榊ら[15]は、マイクロブログと呼ばれる SNS の X(旧称 Twitter)ユーザを「ソーシャルセンサ」と捉え、ソーシャルメディアを通じて、実世界を観測する研究の現状の紹介および分析を行い、ユーザ=ソーシャルセンサを通してソーシャルメディアを観測することは、実世界の全く新しい捉え方を提供すると述べている。つまり、ソーシャルメディアはクエリを拡張するユーザログとして使用できると考える。一方、ソーシャルメディアの遂になるものとしてマスメディアが存在する。遠藤[16]は「メディアが発達した現在においても、対面メディアが消滅したわけではなく、対面メディア、マスメディア、ソーシャルメディアが重層的複合的に併存するようになったということを見逃すべきではない」と述べており、筆者らはソーシャルメディアの対となるマスメディアからもクエリの参考となる語句を抽出できると考える。そこで、ウェブ上でマスメディアの情報が配信される Google News のニュースタイトルもクエリを抽出する場として活用することを試みる。

さらに、[3]でクエリ拡張の比較対象として提示されている既存のクエリ入力サポートシステムである Google Suggest も加えることで、他ユーザの検索ログの活用を補う。

ここで、本研究では、検索結果の可視化に焦点を当てることに注目したい。デザインを検討する上で、[3][5]のようにクエリの分類リソースをグルーピングした上で、クエリ候補を一斉に表示することは、スムーズな検索に繋げるために有効であると考えられる。さらに、鈴木らによる言語横断検索における要素であるマルチメディアコンテンツの検索、時系列的な発信情報をウォッチする、非言語間コミュニケーションを支援する、検索リソースの明示とクエリ候補の一斉提示及び母国語への翻訳済みテキストを提示するデザインの検討を試みる。

4. 多言語リソースからクエリ取得

本章では、多言語横断検索を行うための翻訳について検

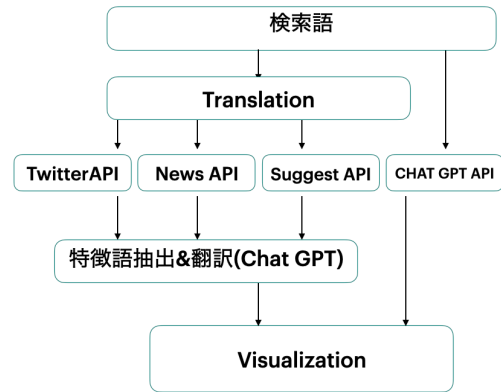


図 2 データ生成の流れ
Figure 2 Flow of data generation

討する。

まず、多言語検索の対象となる言語を選定する。インターネット環境では、中国語、英語、スペイン語、ヒンディー語の順に言語コンテンツが存在する[17]。しかし、中国語とヒンディー語は日本語と同じように、一つの国家で使用されているため、多様性の提示としては適さない。そこで、さまざまな国を跨いで使用されている英語とスペイン語の情報を取得することを試みる。

本アプローチでは、日本語話者を対象として制作を進める。検索語はユーザの母国語(日本語)で入力することが最も容易であるため、クエリ翻訳型の検索を行う。検索と翻訳の流れを図 2 に示す。ユーザが入力した検索語を英語とスペイン語に翻訳する。この翻訳では、言語翻訳で最も活用されているサービスの一つであり、最新の話語もフォローしている Google 社の Translation API を用いる。

次に、翻訳した検索語を用いて、Google 社の Cloud Search API の suggest メソッド^cと、マイクロブログである X(旧称 Twitter)からデータを取得する Twitter API^d、Google のニュースを取得する News API^eで言語指定をした状態で文書検索を行い、この結果から特徴語を抽出する。日本語の文章から特徴語を抽出する場合は、MeCab^fや Janome^gを用いることが一般的である。しかし、これらは英語とスペイン語に対応していない。また、日本語に特化した解析ツールと英語に特化した解析ツールを別々に用いた場合、計算の精度や仕様に差が出ることが懸念される。均一な特徴語の抽出を行うためには、同じ言語解析技術背景を持つツールを使用することが望ましい。

結果提示のためには、各言語で抽出した特徴語をさらに日本語に翻訳することが、ユーザにとって易しいと考える。多言語の言語解析を可能なものとして、Google Natural

b Google Inc.: Translation API, [https://cloud.google.com/translate?hl=ja\(2023\)](https://cloud.google.com/translate?hl=ja(2023))

c Google Inc.: Cloud Search, [https://developers.google.com/cloud-search/docs/reference/rest/v1/query/suggest?hl=ja\(2023\)](https://developers.google.com/cloud-search/docs/reference/rest/v1/query/suggest?hl=ja(2023))

d X Corp.: Twitter API, [https://developer.twitter.com/en/docs/twitter-api\(2023\)](https://developer.twitter.com/en/docs/twitter-api(2023))

e News API: News API, [https://newsapi.org/s/google-news-api\(2023\)](https://newsapi.org/s/google-news-api(2023))

f 京都大学情報学研究所-日本電信電話株式会社コミュニケーション科学基礎研究所 共同研究ユニットプロジェクト: MeCab, [http://taku910.github.io/mecab/#feature\(2023\)](http://taku910.github.io/mecab/#feature(2023))

g Tomoko Uchida: Janome, [https://mocabeta.github.io/janome\(2023\)](https://mocabeta.github.io/janome(2023))

表 1 リソース・言語ごとの特徴語抽出結果

(検索語：教育)

Table 1 Result of keywords for each resource/language
(Search word: Education)

	英語	日本語	スペイン語
マイクロ ブログ	ユニオン 業種 特化の 住宅 直面する 時計 安定した状態 教育する 追い払う 嘘 プロジェクト 少数派 挿入する 火災 飲み込む 確認する 関連 気候緊急事態 学校 選択券 今日 ゴルフ エビア 影響力 私は	戦争 日常生活 金剛玉石 ヒーローマイ ンド 兄 獣 背中で見せる 一般会員 関係づくり 指摘 政治家 洗脳教育 配信 周知 心身 レイプ 男女差 ビッグモータ ー	楽しませる 道路 判断基準 渡る 報告する 不可欠な 男性 歩く 叫び声 怒り 夜 崇拜する 押し付ける 導く 夜 怒り メディア
検索予測 候補	教育する 教育 意味 用事	教育ローン 教育基本法 教育実習 教育部の難問 教育 お礼状 教育訓練給付 制度 教育実習 教育委員会 教育勅語	金沢 意味 教育 大学 アカデミー
ニュース	ウォレットハブ テキサス ミルウォーキー AL.com ペタルマ 拡張 トレド サンタローザ ブレード 米国 研究 教育都市 アラモ アラバマ州 プレス民主党 世紀 マディソン ミルウォーキー ベーカーズフ ールド 銃の安全性	J-CAST ニュ ース Yahoo! ニュ ース 学校教育 反響 長 向け 無償化 盛り上がる 教育機関 呼ぶ 先生 Twitter ガイド教材 無償配布 役に立つ 子供と IT 予 約	イエズス会グ ローバル 会議 新規 イエズス会 カレンダー シリーズ 機能 教師 ローマ アクティビテ イ 利用可能 グローバル 公共放送プロ グラム
ChatGPT	海外留学などで 多様な文化を取り 入れ、また職業 への知識などを 身につけること が重要であると 考えられている	伝統的に学問 の全般的な習 得が重視され てきたが、近 年では関心の 重点が専門知 識に移る傾向 にある	専門的な知識 と、ライフスタ イルの構築な どを重視して おり、学校で学 ぶだけでなく 独学や交流な ども重視して いる

Language AI(GNL)hがある。そこで、各言語を GNL で分析し、それをさらに Translation API を用いて日本語にする API を作成した。しかし、3 つのリソースから情報を取得し、外部 API を用いて分析、翻訳すると、セッションがオーバーしてしまい、結果の取得ができないという不具合に見舞われた。そこで、生成系 AI に分析のプロンプトを出して結果を取得するようにしたところ、セッション内に日本語に再翻訳された特徴語を取得することができた。本研究では、プロトタイプとして、生成系 AI である ChatGPT API を用いてテキスト解析を行う。ChatGPT は大規模言語モデル Transformer[18]を使用している。Transformer は単語の並列計算に特化しており、単語間の関係性の分析や自然言語処理を得意とする。さらに、英語を中心に多言語の学習データを持つため、「時事的な語彙」を補完する辞書を幅広く備える。

表 1 に、「教育」で検索した時に表示される語の結果を示す。他の自然言語処理結果と比較は行っていないが、検索語に対する語の広がりには十分であるといえる。

一方、マイクロブログやニュース、検索予測候補はどれも最新の話題を追従することに長けており、検索語についての一般的な解釈や背景を取得することが難しい場合がある。そこで、特徴語の抽出に用いた生成系 AI を用いて「[言語圏]における[検索語]についての一般的な認識あるいは概念、特徴を書きなさい」というプロンプトによって、一般的な思想を取得する。これにより、時事的な要素を持たない、一般意志の取得が可能になる。

5. 特徴語表示デザイン

これまで述べたように、本研究では、日本語、英語、スペイン語でマイクロブログ、ニュース、検索予測候補の文書を取得し、特徴語を抽出して提示する。そのため、3×3 の 9 種と、概念の合計 12 枠を持つことになる。本稿 3.4 節で述べたように、分類項目ごとに結果を閲覧できるようにすることが望ましいが、12 の種類をタブで表示することや、見出しをつけてリスト表示することは比較と認識を複雑にすることが予想される。そこで、9 マスのチャートに概念を追記するデザインで結果を提示することを試みる。これにより、各言語圏とリソースの枠組みが明確になり、容易な比較が実現できる。

実装結果の図 1 において横軸に言語を、縦軸にリソースを配置する。抽出された特徴語は、マスの中に配置される。特徴語には、重みづけができるため、重みの度数に比例してフォントサイズを決定する。

ユーザの能動的な操作閲覧を促すためには、マウスアク

whisper-apis(2023)

1 OpenAI: ChatGPT API, <https://openai.com/blog/introducing-chatgpt-and->

ションを加えることが効果的である。そこで、マウスオーバーでテキストを拡大すると共に、該当の枠の背景色の明度を下げることで、テキストを読みやすくする。さらに、検索に繋げる時間を短縮するために、クリックでクエリを拡張して別のタブで google 検索できるようにする。

6. おわりに

本研究では、検索クエリ候補となる語彙の拡張を促すデザインの検討を目的とし、英語-日本語-スペイン語において、ユーザが入力する語についてマイクロブログ、検索予測候補、ウェブニュースで多言語横断検索し、その結果から特徴語を抽出した結果を9マス目の表で比較提示するビジュアライゼーションアプリケーションを実装した。さらに、生成系 AI を用いて、検索語句に関する各言語での一般的な概念を提示する。既存のユーザジェネレイトドリソースを用いて特徴語を抽出することで、時事的な話題や、世間の関心の対象を提示することができた。提案する可視化手法は、特定言語空間での検索では気づきにくい、文化的・社会的な多様性を反映する語彙の拡張を促すことが期待される。

なお、本稿執筆時において、本制作物についてのユーザ検証は未着手である。今後、以下の手法にて、検証する予定である。

1. 被験者が常用する検索語を1つ設定する
2. 検索語に関する概念マップを作成してもらう
3. 被験者を A 群と B 群に分け、検索を行う。

A 群) 既存のウェブで多言語・多リソース間検索を行う

B 群) 提案手法で検索を行う

4. A 群、B 群共に、概念マップに新たな語を追記する上記手法によって、A 群と B 群の語の増加傾向や探索時間を調査し、本提案手法の優位性を分析する。

一方、ChatGPT の API を特徴語抽出と一部翻訳に利用しているため、しばしば特徴語が翻訳されていないことや、プロンプトの一部が表示されるという不具合もある。安定した情報提示のための改良も求められる。

謝辞

本研究は JSPS 特別研究員奨励費 21J40074 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 大石哲也, 倉元俊介, 峯恒憲: 関連単語抽出アルゴリズムを用いた Web 検索クエリの生成, 電子情報通信学会論文誌, Vol.92, No. 3, pp. 281-292(2009).
- 2) 堀憲太郎, 大石哲也, 峯恒憲, 長谷川隆三, 藤田博, 越村三幸: Wikipedia からの拡張クエリ生成による Web 検索とその評価, 人工知能学会第二種研究会資料, Vol.2009, No.SWO-020, pp. 13-(2009).

- 3) 大塚真吾, 喜連川優: 大規模アクセスログを用いた検索支援システムの提案, 日本データベース学会 letters, Vol.5, No. 1, pp.13-16(2006).
- 4) 大久保雅且, 杉崎正之, 井上孝史, 田中一男: WWW 検索ログに基づく情報ニーズの抽出, 情報処理 Vol. 39, No.7, pp. 2250-2258(1998).
- 5) 大塚淳史, 関洋平, 佐藤哲司: 話題の周期性に着目した情報要求言語化のためのクエリ拡張手法の提案, データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM Forum 2013) 論文集, C9-1(2013).
- 6) 鈴木雅実, 井ノ上直己, 橋本和夫: クロスリンガル情報検索の結果の選択閲覧を支援する翻訳情報提示方法の比較, 全国大会講演論文集データベースとメディア, pp. 169-170 (1998).
- 7) Resnik, P.: Evaluating Multilingual Gisting of Web Pages, in AAA! Symposium on Cross-Language Text and Speech Retrieval (1997), <http://www.clis.umd.edu/dlrg/filter/sss/papers/>.
- 8) Ogden, W., Cowie, J., Davis, M., Ludovik, E, Molina-Salgado, H. and Shin, H.: Getting Information from Documents You Cannot Read: An Interactive Cross-Language Text Retrieval and Summarization System, Joint ACM Digital Library/SIG IR Workshop on Multilingual Information Discovery and Access Electronic Working Notes, [https://www.researchgate.net/publication/2312226_Getting_Information_from_Documents_You_Cannot_Read_An_Interactive_Cross-Language_Text_Retrieval_and_Summarization_System\(1999\)](https://www.researchgate.net/publication/2312226_Getting_Information_from_Documents_You_Cannot_Read_An_Interactive_Cross-Language_Text_Retrieval_and_Summarization_System(1999)).
- 9) 菊井玄一郎: 言語の壁を越えて文書を検索する一クロスランゲージ情報検索一, 人工知能学会, Vol.15, No.4(2000).
- 10) Knoth, Petr; Collins, Trevor; Sklavounou, Elsa and Zdrahal, Zdenek: Facilitating cross-language retrieval and machine translation by multilingual domain ontologies, Workshop on Supporting eLearning with Language Resources and Semantic Data (2010).
- 11) 高間康史, 加藤大登, 柴田祐樹: Web からの情報収集における関連文探索の有効性に関する予備的検討, 知能と情報, Vol.35, No.2, pp.668-672(2023).
- 12) Hayashi, Y., Kikui, G. and Susaki, S.: TITAN: A Cross-linguistic Search Engine for the WWW, in AAAI Technical Report "Cross-Language Text and Speech Retrieval", SS-97-05, pp.56-62(1997).
- 13) 真野宗和, 小尻智子: 検索リテラシ育成のための検索結果可視化システム, 関西大学インフォメーションテクノロジーセンター年報, Vol. 11, pp.13-25(2021).
- 14) 鈴木雅実: 異なる言語の情報閲覧を支援する: クロスランゲージ情報検索のインタフェース(<特集>マルチリンガル情報アクセス), 人工知, Vol.15, No.4, pp.559-566 (2000).
- 15) 榊剛史, 松尾豊: ソーシャルセンサとしての Twitter: ソーシャルセンサは物理センサを凌駕するか?(<特集>Twitter とソーシャルメディア), 人工知能, Vol. 27, No. 1, pp. 67-74(2012).
- 16) 遠藤薫: 間メディア民主主義と〈世論〉, 社会情報学, Vol. 5, No. 1(2016).
- 17) statista: Languages Most Used on the Web vs. IRL, <https://www.statista.com/chart/4140/low-diversity-of-languages-on-the-web-hinders-accessibility/#:~:text=With%20almost%2055%20percent%20of,like%20Hindi%2C%20Arabic%20or%20Bengali> (2023).
- 18) Ashish Vaswani and Noam Shazeer and Niki Parmar and Jakob Uszkoreit and Llion Jones and Aidan N. Gomez and Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin: Attention Is All You Need}, <https://arxiv.org/abs/1706.03762> (2023).