研究論文

Wikipedia に学術文献の参照記述を追加する編集の特定手法 A Method to Identify the Edits Adding Bibliographic References to Wikipedia

吉川 次郎^{1*}, 高久 雅生², 芳鐘 冬樹²

Jiro KIKKAWA^{1*}, Masao TAKAKU², Fuyuki YOSHIKANE²

¹ 筑波大学大学院 図書館情報メディア研究科

Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

E-mail: jiro@slis.tsukuba.ac.jp

² 筑波大学 図書館情報メディア系

Faculty of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

〒305-8550 茨城県つくば市春日 1-2

E-mail: masao@slis.tsukuba.ac.jp, fuyuki@slis.tsukuba.ac.jp

* 連絡先著者 Corresponding Author

Wikipedia 上での学術文献の参照記述の追加という事象を明らかにするための前提となる方法論として、参照記述の初出時点を特定するための手法を提案し、評価実験を行った。提案手法は、まず、参照記述の参照先を判定し、ページ情報、文献タイトル、識別子を取得する。次に、対象のページの全編集履歴およびページ本文に対して識別子または文献タイトルを用いた手法を適用し、複数の初出時点候補を取得する。最後に、候補から編集日時が最古のものを選択する。英語版の DOI リンクの初出時点データセットを基に評価実験を行った結果、精度は全体で 93.3%、22 分野中 20 分野で 90% 以上であり、研究分野を問わず概ね高い精度で参照記述の初出時点を特定できる手法であることが明らかになった。

We proposed a method to identify the edits adding bibliographic references to Wikipedia. The proposed method consists of the following steps. (1) The method extracts the references and matches them to a bibliographic database to build the basic data set. (2) It obtains the full revision history of the page that includes the references from dump data of Wikipedia. It also extracts identifiers and titles for each reference from the basic data set. (3) The method gets the candidate edits adding the references by using the ways, which use either identifiers or titles. (4) The method selects the oldest one as the edit adding the reference. We evaluated the proposed method by using the data set based on DOI links referenced on English Wikipedia. As a result, the accuracy was 93.3% as a whole and over 90% in 20 out of 22 research fields. We showed that the proposed method was able to identify the edits adding bibliographic references at a high accuracy regardless of research fields.

キーワード: Wikipedia, Digital Object Identifier (DOI), 学術情報流通

Keywords: Wikipedia, Digital Object Identifier (DOI), Scholarly Communication

1. はじめに

学術情報流通の電子化を背景に、ウェブ上で学術文献が大規模に参照され、流通している。ウェブを通じた学術情報基盤が整備され、普及することにより、従来の学術文献の利用者である研究者や専門家などに限らず、様々な人々やコミュニティによる学

術文献の利活用が生じると考えられる。そのひとつに、Wikipedia からの学術文献へのアクセスが挙げられる。実際に、DOI (Digital Object Identifier, デジタルオブジェクト識別子) の世界最大規模の登録機関である Crossref の 2015 年時点での報告 [1] によると、Web of Science や Scopus などの学術文献データベースに次いで 5 番目にアクセスの多い参

照元は Wikipedia であり、1 日あたり 2.5 万から 3 万件ほどのアクセスがある。

Wikipedia は誰でも編集できるフリーのオンライン百科事典であり、学術的な内容を含む様々なページが存在する。最大規模の言語版である英語版には 2018 年 12 月時点で 577 万件のページがあり、1 ヶ月あたり 74 億件のアクセスがある [2]。また、Alexa Internet によると、Google, YouTube, Facebook, Baidu に次いで 5 番目にアクセスが多く [3]、世界で最も閲覧・利用されているウェブサイトのひとつであるが、不特定多数の協働を通じて編纂されるという性質上、内容がどれくらい正確で信頼できるかには設立初期から多くの批判や議論がある [4, 5]。

より良質な百科事典を目指すために、Wikipedia では内容に関する三大方針として、「検証可能性」、「中立的な観点」、「独自研究は載せない」がある。学術文献が出典や情報源として示されるのは、これらの方針と相性が良く、コンテンツの質を間接的に担保・向上しうるためである。すなわち、学術文献の参照記述はコンテンツの質の側面を捉えるための手がかりとして機能する。実際に、最初期の研究 [6] はコンテンツの質に関する問題意識から行われた。その後、参照記述の件数が増加すると計量書誌学分野を中心に研究が行われている [5]。しかし、大部分は学術文献に着目した研究であり、参照記述を追加する編集の分析事例は僅かである。その理由として、不完全な記述や誤りが含まれる [7] ため、任意のページに初めて追加されたタイミング (以下、「参照記述の初出時点」) の特定が容易ではないことが挙げられる。本研究では、ある観察時点での学術文献の参照記述を取得したうえで、個々の初出時点进行特定する。したがって、同時点で残存する参照記述が対象であり、削除済の参照記述は扱わない。

次章で述べるように、先行研究は、ある観察時点における任意のページ上での学術文献の参照状況を把握するものがほとんどであり、参照記述の初出時点进行特定する手法は確立されていない。これまでに筆者ら [8] は DOI リンクが初めて追加された時点 (以下、「DOI リンクの初出時点」) を特定する手法を提案したが、既存の参照記述に後から DOI リンクを付加する編集が行われることが多いため、参照記述の初出時点进行高い精度で特定可能な手法ではない。また、Halfaker [9] は DOI や PubMed などの識別子が任意のページに初めて追加された時点进行取得するツールを開発したが、特定精度は不明である。

参照記述の初出時点进行特定する手法の構築には複数の意義がある。たとえば、いつ頃から、どれだけの参照記述が追加されてきたかに加え、その経年変化を明らかにするためには必須である。また、初出時点进行分かれば、その編集者を特定でき、編集者に関して同様の分析を実現できる。さらに、編集者ごとの追加件数における偏りや占有状況の分析を通じて、参照記述の持続性などを明らかにできる。このように、削除済の参照記述を扱わない点の制約はあるものの、これまでほとんど明らかにされていない Wikipedia 上での学術文献の参照記述の追加という事象を明らかにするための前提として重要である。

以上の背景から、学術文献の参照記述を追加する編集を特定する手法を構築し、精度の評価を行うことを研究目的とする。その際、低コストで継続的に実行可能な方法論として、人間による手作業の介入を要せずに自動処理可能な手法を目指す。

本研究では、学術文献の参照記述を「特定の学術文献を一意に識別可能なページ本文中の記述」と定義する。したがって、一意の文献を識別可能である必要はあるが、論文の引用文献リストのように、著者名、文献タイトル、雑誌名、出版年、巻・号、ページなどがセットで記述されていることを前提とするものではない。具体的には、URI や特定の識別子のみが示されている場合も、文献を一意に識別可能であれば対象とする。また、コンテンツの質を間接的に担保・向上しうる情報源として参照記述を捉える狙いから、個々の記述が本文中の脚注や出典であるか否かは区別しない。

2. 関連研究

2.1 参照記述の同定と学術文献への適用

本研究のタスクは Wikipedia 上の参照記述の初出時点进行特定であり、表記の揺れなどの曖昧性を伴う文字列に対して学術文献の同定を行う必要がある。このようなタスクはレコード同定問題と呼ばれる。

相澤ら [10] は、「単一あるいは複数の情報源にまたがるレコード集合の中から、同一の実体を参照するペアまたはグループを識別する問題」であるレコード同定問題に関して、「現実のレコード (データベース上のレコードや、既知の書式に従うテキストデータ) は表記の揺れ、入力誤り、登録方針の違い等に起因する様々なノイズを含んでおり、単純な比較だけ

で同一性を判定することは困難である」と述べている。そのうえで、書誌同定を含むレコード同定問題を、重複検出、統合、参照先の判定、共参照関係の分析に分類している。これらのうち、本研究は参照先の判定に該当し、テキストデータの参照先をデータベースのレコードから見つける問題である。

参照先の判定は、Web of Science のような学術文献データベースでの引用索引構築に必須である。McVeigh [11] は引用索引の核となる機能として cited reference capture, cited reference linking, cited reference searching を挙げている。これらのうち、本研究と特に関係する項目は cited reference capture と cited reference linking である。前者は、各文献の引用文献リストおよび個々の引用文献を捉える機能を指す。後述するように、学術文献の生データからの構造化データの抽出を要する場合がある。後者は、個々の引用文献をデータベース内のレコードと対応付ける処理を指す。ある文献がどの文献群から引用されているかを把握するために必要であるが、citation style の違い、記述の正確さ、フォーマットやバージョンの違いなどによる表記の揺れが生じる。そのため、DOI などのグローバルな識別子や、n-gram [12]、編集距離 [13] などを用いた照合が行われる。さらに、厳密な照合のために、専門家による目視での確認を行う場合もある [14]。

Khan ら [15] は学術ビッグデータのサーベイにおいて、データマネジメント、データ分析と応用、可視化を論じている。データマネジメントに関しては、データの収集と統合、情報抽出、前処理、保管と索引付けの4つに整理している。これらのうち、本研究と特に関係する項目は情報抽出である。

情報抽出は、学術文献の生データから本文を抽出し、当該文献の書誌情報、著者詳細、引用文献、章構成などの各種データを取得する処理を指す。生データには PDF 形式などの非構造化データが多いため、テキスト処理や機械学習などの技術を用いて構造化データを生成するための研究開発が行われている。たとえば、ParsCit [16,17] は機械学習のひとつである条件付き確率場を用いて構造化データを生成する。同ツールの引用文献リストの抽出および構造化機能は、計算機科学分野のデジタルライブラリである CiteSeerX [18] で採用されている [19]。同機能のパフォーマンスは、ParsCit, FLUX-CiM [20]、条件付き確率場を用いた別のツール [21] の比較による調査 [22] から、FLUX-CiM よりも優れ、条件

付き確率場を用いた別のツールと同等である。また、Councill ら [17] は複数のデータセットを用いた ParsCit の評価を行い、CiteSeerX データセットでの文献タイトルの抽出の精度は 91.9%、再現率は 93.9%、F 値は 0.93 であることなどを示している。その他、近年では Neural ParsCit [23] のような深層学習を用いた手法やツールの開発が行われている。

以上に示したうち、本研究の提案手法では識別子と編集距離を用いる。さらに、これまでに多くの研究で利用され、文献タイトルを高い精度で抽出できることが報告されている ParsCit を使用する。

2.2 Wikipedia 上の参照記述の特定手法

Wikipedia 上の参照記述の特定手法として、先行研究は表 1 に示すように、(1) 本文テキストや外部リンクを使用する手法、(2) ウェブ検索を使用する手法、(3) その他に大別できる。

(1) 本文テキストや外部リンクを使用する手法には、Nielsen [6]、Teplitskiy ら [24]、佐藤ら [25]、Kikkawa ら [26]、Halfaker [9]、吉川ら [8] が該当する。分析対象の言語版のデータを予め入手する必要があるが、正規表現などによる柔軟な対象の指定が可能である点が優れている。対象は研究ごとに異なるが、いずれもページの本文テキストであるウィキテキスト [30] または Wikipedia 以外のウェブページへのハイパーリンクである外部リンクを対象に抽出を行う。具体的には、Nielsen は出典テンプレート [31] のひとつである Cite journal を用いた記述を抽出した。佐藤ら、Kikkawa ら、吉川らは、外部リンクの URI が特定のドメインに該当するものを抽出した。Halfaker は特定の識別子の記述を抽出した。

(2) ウェブ検索を使用する手法には、Thelwall [27]、Kousha & Thelwall [28]、Pooladian & Borrego [7] が該当する。これらの研究では Bing や Google で wikipedia.org をドメイン指定したうえで、著者名、文献タイトル、出版年などを含むクエリを用いた検索により参照記述を特定する。Wikipedia 全体の参照記述を一括取得できる点が優れているが、調査対象群の書誌記述と、当該文献群の件数分の検索を要する。さらに、参照記述の著者名や文献タイトルなどが、ある程度、正確に書かれている必要がある。

(3) その他、Lin & Fenner [29] は PLOS ALM (Article-Level Metrics) [32] を用いている。PLOS

表 1: 先行研究における参照記述の特定手法と、本研究における提案手法の概要

手法	関連研究	情報源	抽出対象	外部情報源	初出時点 の特定
(1)	Nielsen [6]	ウィキテキスト	出典テンプレート	Journal Citation Reports	×
	Teplitskiy ら [24]	ウィキテキスト	出典記述, DOI 書誌記述	Scopus, DOAJ	×
	佐藤ら [25]	外部リンク	PubMed, CiNii Articles, 機関リポジトリのコンテンツ	学術文献のメタデータ	×
	Kikkawa ら [26]	外部リンク	DOI リンク	Crossref REST API	×
	Halfaker [9]	ウィキテキスト	DOI, PubMed, ISBN, arXiv, ISSN の識別子	なし	△
	吉川ら [8]	外部リンク	DOI リンク	ESI Master Journal List, Crossref REST API	△
(2)	Thelwall [27]	ウェブ検索	書誌記述	Scopus	×
	Kousha & Thelwall [28]		書誌記述	Scopus	×
	Pooladian & Borrego [7]		書誌記述	Web of Science	×
(3)	Lin & Fenner [29]	PLOS ALM	—	PLOS のメタデータ	×
	本論文	ウィキテキスト	ref タグ, 出典テンプレート, 文献タイトル, 識別子	Entrez Programming Utilities, Crossref REST API など	○

△は当該記述を追加した編集者の特定であり、当該文献の参照記述自体を新規追加した編集者の特定ではない。

○は当該文献の参照記述自体を新規追加した編集者の特定である。

のコンテンツへのウェブ上での言及データを活用する手法であるが、対象は PLOS の文献に限られる。

先行研究のうち、参照記述の初出時点を特定可能な手法は表 1 で初出時点の特定に「△」を付した Halfaker [9] と吉川ら [8] のみである。ただし、一定の条件を満たす記述の初出時点の特定であるため、必ずしも参照記述自体の初出時点の特定ではない。

Halfaker は、全編集履歴を含むデータセットを用いて、各ページの過去のすべての版のウィキテキストを対象に抽出を行うことにより、PubMed, DOI, ISBN, arXiv, ISSN の識別子が、どの時点の編集で追加されたかを特定した。ただし、これらの情報を含むデータセットの構築・公開に留まっており、詳細な分析は行われていない。他方で、Halfaker 以外は、吉川ら [8] を除き、調査時点での参照状況を取得するのみであり、各参照記述が、どの編集者によって、いつ追加されたかを特定するものではない。

吉川ら [8] は、Halfaker と同じく編集履歴を用いた方法論として、DOI リンクを追加した編集およびその編集者を特定する手法を提案した。具体的には、研究分野が特定可能な学術文献の参照記述とし

ての DOI リンクを含むページを対象に、当該ページの過去の版における外部リンクをすべて取得することにより DOI リンクを追加した編集を特定した。

本研究の提案手法が Halfaker [9] や吉川ら [8] と異なる点は、特定の識別子や DOI リンクを追加した編集ではなく、参照記述自体を新規追加した編集を特定する点にある。特に、吉川ら [8] は DOI リンクのみを用いた手法であるが、本研究では DOI 名を含む識別子と文献タイトルを用いる点が異なる。

その他、参照記述の補完や拡充、修正を大規模かつ機械的に実行する Bot である Citation bot [33,34] は、Google Books, PubMed, DOI, arXiv などを情報源としている。

中村ら [35] は、Wikipedia のページにおいて特定の記述がいつ追加されたかを単語レベルで追跡する手法を提案・評価した。本研究との共通点は、編集履歴を用いて任意のページの版を古い順に展開し、ある条件を満たす記述を含む最も古い版を特定する点である。他方で、本研究は学術文献の参照記述に特化している点が大きく異なる。

図 1: 提案手法の概要 (1) 基礎情報データセットの構築

図 2: 提案手法の概要 (2) 初出時点データセットの構築

3. 提案手法

3.1 概要

提案手法の概要を図 1, 図 2 に示す。本手法は、(1) 基礎情報データセットの構築, (2) 初出時点データセットの構築から成る。なお、ある観察時点で残存する参照記述の初出時点を特定するための方法論であり、削除済の参照記述は対象としない。

まず、(1) では、任意の言語版において、どのページから、どの学術文献が参照されているかを示すデータセットを構築する。この詳細は 3.2 節で示す。次に、(2) では、同データセットからページ情報を抽出し、全編集履歴および各編集時点でのページ本文を含むダンプデータとの照合によって編集履歴と本文データ群を取得する。その後、基礎情報データセットから文献タイトルと識別子を抽出し、本文データ群に対して、これらの手がかりを用いた手法 A, B, C を適用することにより初出時点候補 A, B, C を取得する。さらに、これらの候補から初出時点を特定することで初出時点データセットを構築する。

本手法で識別子と文献タイトルを手がかりとして用いる理由を述べる。

第一に、これまでに識別子による学術文献の参照

記述の特定手法が提案されてきた [8, 9]。筆者ら [8] は、DOI リンクの初出時点を特定する手法を提案した。さらに、その初出時点と直前の版を目視により調査した結果から、文献タイトルや著者名、雑誌名、出版年などの書誌情報が記述されるよりも過去の版において、当該文献の DOI 名や PubMed の識別子のみが記述されているケースの存在を報告した [8]。このような場合、識別子による特定が必須である。

第二に、2.2 節で示したウェブ検索を使用する手法において、検索クエリとして文献タイトルや著者名を用いる事例 [7] や、これらに加えて出版年や雑誌名などを用いる事例 [28] がある。ただし、著者名や雑誌名、出版年は、参照記述上での要素自体の有無に加え、表記の揺れが生じやすく、取得漏れに繋がりがやすいと考える。具体的には、著者名は姓名の順序やイニシャル、雑誌名は略称表記やそのバリエーション、出版年は媒体が複数存在する等がその原因となる。したがって、このような問題が比較的生じにくいと考えられる文献タイトルを使用する。

3.2 基礎情報データセットの構築

まず、Wikipedia のテキスト群から学術文献の参照記述を特定し、学術文献データベースとの照合による参照先の判定を行う。この処理は 2.2 節の (1) 本文テキストや外部リンクを使用する手法を応用することで実現できる。ただし、学術文献データベースとの照合を伴わない手法の場合は、その処理の追加が必要となる。加えて、ページ情報としてページ ID やページタイトルを取得する。

次に、学術文献データベースから識別子と文献タイトルを取得する。識別子が収録されていない場合や、他の識別子を併用する場合は、別途取得する。

最後に、取得したページ情報、文献タイトル、識別子を基礎情報データセットとして格納する。以下、ある識別子の値を「ID Value」、ある文献タイトルを「Paper Title」、Paper Title の先頭 W 単語を抽出した値を「Paper Title First_W」とする。

3.3 前処理

本節では、初出時点データセットの構築のための前処理について述べる。

3.3.1 編集履歴群の抽出

基礎情報データセットからページ情報を抽出し、Wikipedia のダンプデータ [36] との照合を行い、各ページの編集履歴および本文データ群を取得する。

まず、ダンプデータのうち、すべてのページの全編集履歴と各編集時点でのページ本文を格納したデータ群を入手する。個々の編集は版 (revision) として管理されており、ページ本文以外に、版の ID、編集日時、編集コメント、編集者の情報などが含まれる。また、ここでのページ本文はウィキテキストで記述されたものを指す。以下、ある版のページ本文を「Page Text」とする。

次に、ページ ID またはページタイトルでの照合により、各ページの全編集履歴と全 Page Text を取得し、ページごとに編集日時の古い順にソートする。

3.3.2 参照記述における文献タイトルの抽出

3.4 節で後述する手法 C では、軽微な表記の揺れや入力誤り等が含まれるケースでの初出時点の特定

のために Page Text から参照記述における文献タイトルを抽出し、Paper Title との文字列間の類似度による照合を行う。

まず、それぞれの版の Page Text から参照記述を抽出する。具体的には、<ref> タグで囲まれた脚注と、名称が Cit で始まるテンプレートを用いた記述を抽出する。後者は、Citation や Cite journal などの出典テンプレートを用いた記述の抽出を指す。

次に、参照記述における文献タイトルを特定する。具体例を表 2 に示す。表 2 の例 1 は Cite journal を用いて構造化されており、この場合は title の値を使用する。他方で、例 2 は <ref> タグのみを用いた記述であり、構造化されていないため、これらのタグ情報を除去したうえで ParsCit [16,17] での解析を行い、title と判定された箇所を使用する。例 1 は「Dynamic capabilities and strategic management」、例 2 は「Correlates of (中略) second year.」が参照記述における文献タイトル (以下、「Ref Title」) となる。

3.3.3 テキストの正規化処理

テキストの正規化処理として次の 3 つを設定する。

処理 1 文字列の小文字化とアンエスケープ処理を行う

処理 2 処理 1 に加え、次の記号および文字を削除する:
[] ' ' ? ! , . - " " : _
改行, タブ記号

処理 3 処理 1, 処理 2 に加え、空白文字を削除する

これらの処理は、文字列照合時のノイズを除去するために行う。なお、一部にはウィキテキストの記法として特別な意味を有する記号が含まれる。たとえば、処理 2 での角括弧は文献タイトル内の単語に対応する Wikipedia のページへのリンクを張るために使用される。シングルクオートは文献タイトル内の単語を斜体や太字で表記するために使用される。

正規化処理適用後のデータの名称と説明を表 3 に示す。たとえば、ある識別子の値 ID Value に処理 1 を適用した値を ID Value1 とする。また、ある文献タイトル Paper Title に対し、処理 1 を適用した値を Paper Title1, 処理 2 を適用した値を Paper Title2, 処理 3 を適用した値を Paper Title3 とする。なお、名称の末尾の数字は、適用する処理に対応する。

表 2: 参照記述からの文献タイトルの抽出例

項目	参照記述
例 1	<pre><ref>{{cite journal last1=Teece first1=D. last2=Pisano first2=G. last3=Shuen first3=A. title= Dynamic capabilities and strategic management journal=Strategic Management Journal date=1997 volume=18 pages=509-534}}</ref></pre>
例 2	<pre><ref>Frodi, A., Bridges, L., & Grolnick, W. S. (1985). <u>Correlates of mastery-related behaviour: A short term longitudinal study of infant in their second year.</u> Child Development, 56, 1291-1298.</ref></pre>

※下線部分は文献タイトルを示す。

表 3: 正規化処理適用後のデータの名称と説明

名称	説明
ID Value1	ID Value に処理 1 を適用した値
Paper Title1	Paper Title に処理 1 を適用した値
Paper Title2	Paper Title に処理 2 を適用した値
Paper Title3	Paper Title に処理 3 を適用した値
Paper Title First _W 1	Paper Title First _W に処理 1 を適用した値
Paper Title First _W 2	Paper Title First _W に処理 2 を適用した値
Paper Title First _W 3	Paper Title First _W に処理 3 を適用した値
Ref Title3	Ref Title に処理 3 を適用した値
Page Text1	Page Text に処理 1 を適用した値
Page Text2	Page Text に処理 2 を適用した値
Page Text3	Page Text に処理 3 を適用した値

3.4 初出時点データセットの構築

3.4.1 初出時点候補の取得

正規化処理適用後、以下に示す手法 A, B, C により、任意のページにおいて、任意の参照記述が初めて追加された版の候補 (以下、「初出時点候補」と呼ぶ) として、初出時点候補 A, B, C を取得する。

(1) 手法 A

手法 A では識別子による照合を行う。まず、基礎情報データセットからページ情報と当該ページ上の各 ID Value を取得する。また、編集履歴および本文データ群から各ページのすべての版の Page Text を取得する。そのうえで、正規化処理を適用する。

次に、Page Text1 が ID Value1 を含む版のうち、編集日時が最古のものを初出時点候補 A とする。同

一文献に複数の ID Value1 がある場合は、それらのいずれかを含む版のうち、編集日時が最古のものを選択する。

(2) 手法 B

手法 B では文献タイトルの全体または先頭 W 単語による照合を行う。まず、基礎情報データセットからページ情報と Paper Title を抽出し、さらに Paper Title First_W を得る。また、各ページの編集履歴および本文データ群からすべての版の Page Text を取得する。そのうえで、正規化処理を適用する。

次に、以下の条件 1 から条件 6 までのいずれかを満たす版のうち、編集日時が最古のものを初出時点候補 B とする。

条件 1 Page Text1 が Paper Title1 を含む

条件 2 Page Text2 が Paper Title2 を含む

条件 3 Page Text3 が Paper Title3 を含む

条件 4 Page Text1 が Paper Title First_W1 を含む

条件 5 Page Text2 が Paper Title First_W2 を含む

条件 6 Page Text3 が Paper Title First_W3 を含む

文献タイトル全体だけでなく、先頭 W 単語での照合を行う理由は、前者ではヒットしないが後者ではヒットするケースが考えられるためである。

(3) 手法 C

手法 C では、軽微な表記の揺れや入力誤りなどを含む場合の初出時点候補の検出を意図した処理として、文献タイトル間の類似度を用いた照合を行う。手法 B との相違点は、第一に、手法 B が文献タイトルの全体または一部での完全一致による照合であるのに対し、文字列間の類似度を用いる点である。

第二に、手法 B はページ本文全体での照合を行うのに対し、参照記述における文献タイトルを抽出したうえで照合を行う点である。

まず、基礎情報データセットから、ページ情報と、当該ページの各 Paper Title を取得する。また、各ページの編集履歴および本文データ群から、すべての版の Page Text を取得する。さらに、Page Text に含まれる Ref Title をすべて抽出する。そのうえで、正規化処理を適用する。

次に、Paper Title₃ と Ref Title₃ のペアをすべて取得し、それぞれの編集距離を算出する。編集距離とは、ある 2 つの文字列において、挿入、削除、置換の操作により一方を他方へと変換するために必要な操作回数の最小値 [37] である。本手法ではレーベンシュタイン距離 [38] を使用する。ただし、文字列長を考慮した類似度ではないため、1 文字あたりの平均的な操作回数として、レーベンシュタイン距離をいずれか長いほうの文字列長で除算した値 (以下、「類似度スコア」) を用いる。類似度スコアは 0 から 1 までの値を取り、値が小さいほど類似度が高い。

レーベンシュタイン距離と類似度スコアの算出例を示す。表 2 の例 2 は、Self-determination theory の過去の版 [39] の参照記述であり、Ref Title は “Correlates of mastery-related behaviour: A short term longitudinal study of infant in their second year.” である。同文献は JSTOR で公開されており [40]、JSTOR 上での文献タイトルを Paper Title とすると “Correlates of Mastery-Related Behaviour: A Short-Term Longitudinal Study of Infants in Their Second Year” である。このとき、Ref Title₃ と Paper Title₃ では「behaviour」と「behavior」、「infant」と「infants」の 2 箇所が異なり、レーベンシュタイン距離は 2 である。文字列長は両者ともに 87 であり、類似度スコアは $2/87 = 0.023$ となる。

最後に、類似度スコアがある閾値以下である版のうち、編集日時が最古のものを初出時点候補 C とする。なお、この閾値には任意の値を設定できる。

3.4.2 初出時点の特定

本手法では、任意のページでの任意の参照記述の初出時点として、初出時点候補 A, B, C のうち、編集日時が最古のものを使用する。

4. 評価実験

4.1 実験条件

(1) 文献タイトルにおける先頭 W 単語

手法 B での文献タイトルの先頭 W 単語として、W に 1 から 10 までの値を指定し、それぞれの条件での精度を調査する。そのうえで、精度を踏まえて先頭単語数を設定する。さらに、文献タイトル全体のみでなく、先頭 W 単語での照合を行うことによる初出時点の特定精度への影響を明らかにする。

(2) 文献タイトル間の類似度スコアの閾値

手法 C での文献タイトル間の類似度スコアの閾値として 0 から 1 までの値を 0.05 刻みで指定し、それぞれの条件での精度を調べたうえで閾値を設定する。

4.2 基礎情報データセットの構築

基礎情報データセットとして、DOI リンクの初出時点データセットに一部のデータを追加したものを使用する。その理由として、次の 3 点が挙げられる。

1 点目には、最大規模の言語版である英語版を対象とした大規模なデータセットであることが挙げられる。このことから、提案手法を適用し、精度の評価を行う対象として適切と考える。加えて、もし、英語版に適用可能であることが確認できれば、他の言語版にも適用可能な手法として期待できる。

2 点目には、研究分野が特定可能な学術文献を対象を限定したデータセットであるため、分野ごとの精度の評価や比較が可能であることが挙げられる。

3 点目には、DOI 名と紐付いているため、出版者や学協会などが登録した書誌情報を機械的に入手可能であることが挙げられる。これにより書誌情報を一元的に取得でき、より正確な書誌情報に基づき、後述の初出時点候補の正誤判定を行うことができる。

以下、(1) 学術文献の参照記述の抽出と参照先の判定、(2) 文献タイトルの取得と識別子の追加取得について述べる。

(1) 学術文献の参照記述の抽出と参照先の判定

学術文献の参照記述の抽出と参照先の判定として、DOI リンクの初出時点データセットの構築手法を示す。同データセットは 2017 年 3 月 1 日時点の英語版において研究分野が特定可能な学術文献の参照

記述を抽出し、参照先の判定を行ったものである。DOI 名の延べ数は 926,803 件、異なり数は 611,524 件である。ページの異なり数は 181,162 件である。

学術文献の参照記述は、DOI リンクの抽出により取得した。学術文献データベースとの照合では Crossref REST API [41] により取得した Crossref のメタデータを用いた。そのうえで、百科事典ページを意味する標準名前空間上の DOI リンク、かつ、Crossref DOI に対象を限定した。また、Crossref のメタデータでのコンテンツ種別が学術文献に該当し、かつ、InCites Essential Science Indicators [42] の 2017 年 8 月版の Master Journal List [43] により分野特定可能な雑誌の掲載文献に対象を限定し、ISSN を用いた照合により 22 分野 (以下、「ESI 分類」) との紐付けを行った。ESI 分類の一覧を表 4 に示す。日本語表記は小野寺 [44] を参照した。略記として、日本語表記の先頭 2 文字を用いる。

表 4: ESI 分類の一覧

英語表記	日本語表記	略記
Agricultural Sciences	農学	農学
Biology & Biochemistry	生物学・生化学	生物
Chemistry	化学	化学
Clinical Medicine	臨床医学	臨床
Computer Science	計算科学	計算
Economics & Business	経済学・ビジネス	経済
Engineering	工学	工学
Environment/Ecology	環境・エコロジー	環境
Geosciences	地球科学	地球
Immunology	免疫学	免疫
Materials Science	材料科学	材料
Mathematics	数学	数学
Microbiology	微生物学	微生
Molecular Biology & Genetics	分子生物学・遺伝学	分子
Multidisciplinary	多領域科学	多領
Neuroscience & Behavior	神経科学・行動科学	神経
Pharmacology & Toxicology	薬学・毒物学	薬学
Physics	物理学	物理
Plant & Animal Science	動植物学	動植
Psychiatry/Psychology	精神学・心理学	精神
Social Sciences, General	社会科学一般	社会
Space Science	天体科学	天体

(2) 文献タイトルの取得と識別子の追加取得

まず、文献タイトルの取得では、Crossref のメタデータの「title」を抽出した。空値の場合は DOI リンクを通じて文献にアクセスし、手作業で取得した。

次に、識別子を用いてより多くの初出時点候補を得るために、DOI Suffix, PMID, PMCID, Bibcode, alternative id の追加取得を行った。以下、各識別子の概要と取得方法について述べる。

DOI Suffix は DOI 名の構成要素であり、DOI 名の最初のスラッシュより後ろの部分の指す。一部の出版者やプラットフォームでは自身の識別子の全体または一部が DOI Suffix と同一の場合があるため、DOI 名に加えて DOI Suffix での照合を行う。

PMID は、生物医学および生命科学分野での世界最大規模の学術文献データベースである PubMed の識別子を指す。PMCID は、同分野の論文アーカイブである PMC の識別子を指す。値の形式は、PMID は数値列、PMCID は数値列の前に PMC が付く。出典テンプレートでは「pmid=数値列」、「pmc=数値列」のように記述する場合があるため、いずれも数値列のみを用いる。以下、PMID と PMCID を総称して「PubMed」と表記する。これらの取得には Entrez Programming Utilities [45] を用いた。

Bibcode は、天体物理学分野のデータベースである The SAO/NASA Astrophysics Data System の識別子であり、Abstract Links [46] により取得した。

alternative id は、Crossref のメタデータにおける「alternative-id」の値であり、書誌情報を登録した Crossref のメンバーによって提供された、当該コンテンツに対するその他の識別子 [47] を指す。なお、識別子以外の記述の誤検出を回避するため、文字列長が 10 文字未満のものは予め除外した。

(1), (2) の処理により、ページ情報、文献タイトル、識別子を取得し、基礎情報データセットを構築した。後述の編集履歴群の抽出で 12 件のページが照合できなかったため、これらのページと当該ページ上の 193 件の参照記述は除外した。したがって、基礎情報データセットにおける DOI 名の延べ数は 926,610 件、異なり数は 611,400 件である。ページの異なり数は 181,150 件である。611,400 件の DOI 名のうち、PubMed との対応関係を有するものは 348,563 件 (57.0%) である。また、alternative id は 169,613 件 (27.7%)、Bibcode は 104,903 件 (17.2%) が DOI 名との対応関係を有する。

4.3 前処理

4.3.1 編集履歴群の抽出

2017 年 3 月 1 日時点での英語版のダンプデータ [48] を取得し、基礎情報データセットとの照合により編集履歴と各版のページ本文を抽出した。この際、ページ ID が照合できなかった 12 件のページと、当該ページ上の 193 件の参照記述は除外した。

以上の処理により、181,150 件のページにおける 49,325,731 件の編集履歴および各版のページ本文を取得した。ページごとの編集履歴の件数における最大値は 36,934、最小値は 1、中央値は 213.5 である。

4.3.2 参照記述における文献タイトルの抽出

各版のページ本文に 3.3.2 項の処理を適用した。具体的には、49,325,731 件のページ本文に含まれる 1,377,585,921 件の <ref> タグで囲まれた記述または名称が Cit で始まるテンプレートを用いた記述を取得したうえで、それぞれの文献タイトルを抽出した。なお、この件数は、同一ページ内に同じ記述が存在する場合の重複分を除外した値である。

4.3.3 テキストの正規化処理

テキストの正規化処理として、4.2 節、4.3 節での取得データに 3.3.3 項の処理を適用した。

4.4 サンプルデータの取得と正誤判定

4.4.1 無作為抽出によるサンプルデータの取得

まず、各分野から 50 件ずつのサンプルを無作為抽出した。サンプル数の設定理由は、作業コストの制約によるものである。具体的には、手法 A では 1 通り、手法 B では先頭単語数 W の値による 10 通り、手法 C では類似度の閾値による 21 通りが存在するため、最大で 35,200 件 (22 分野 * 50 件 * 32 通り) に対して後述の初出時点候補の正誤判定を筆頭著者がすべて目視で行う必要があるためである。

次に、各手法での初出時点候補 A, B, C と、それぞれの初出時点候補に対する直前の版を取得した。

4.4.2 初出時点候補の正誤判定

初出時点候補とその直前の版との差分 [49] を目視で確認し、初出時点候補が実際の初出時点であるか否かの正誤判定を行った。初出時点候補での参照記述が当該文献を一意に識別可能であり、かつ、直前の版に同様の記述が存在しない場合は正解とし、それ以外はすべて不正解とした。

初出時点候補に関しては、DOI 名や文献タイトルのほか、Crossref のメタデータにおける著者名、雑誌名、出版年、巻・号、ページなどの情報を踏まえ、検出箇所が当該文献を指す記述か否かを個別に判定した。別の文献を指す可能性がある記述の場合は、ウェブ検索による確認を行ったうえで判定した。

直前の版に関しては、目視で何らかの参照記述に該当する箇所を探したうえで、識別子や文献タイトルのみでなく、著者名、雑誌名、出版年、巻・号、ページなどの記述を踏まえ、当該文献を指す記述か否かを個別に判定した。URI のみが示されている場合は実際にアクセスして判定を行った。リンク切れによりコンテンツが確認できない場合は、その URI が当該文献を指す可能性があることから、初出時点候補に対する判定は不正解とした。

初出時点候補の正誤判定の例を図 3 に示す。なお、ここでの手法 B の先頭単語数は 5、手法 C での類似度スコアの閾値は 0.20 である。ケース番号の真下は判定結果、真横は初出時点の特定対象のページ名、DOI 名、文献タイトル、直前の版との差分の URI である。その下が直前の版との差分の抜粋であり、右側の星印を付したものが初出時点候補、左側がその直前の版を示す。Revision as of の行は編集日時であり、その下は編集者名、編集コメントである。さらに下の枠内はページ本文である。ページ本文の着色部分は、初出時点候補の版で追加された内容を示す。初出時点候補のページ本文中の太字は、当該文献の参照記述として検出された箇所を示す。直前の版での太字は、目視により当該文献の参照記述と判定した箇所を示す。

図 3 のケース 1 は手法 B, C での取得結果であり、正解と判定した。初出時点候補は 2011 年 1 月 8 日 18 時 24 分の版であり、当該文献の参照記述が新規追加されている。ケース 2 は手法 A での取得結果であり、2014 年 1 月 25 日 18 時 58 分の版であるが、既出の参照記述に DOI 名を追加しているため不正解と判定した。ケース 1 とケース 2 の対象ページお

ケース1 正解	<div> <div>ページ名 DOI名 文献タイトル 直前の版との差分</div> <div> Plains zebra 10.1016/j.biocon.2004.08.007 Competition and compensation among cattle, zebras, and elephants in a semi-arid savanna in Laikipia, Kenya https://en.wikipedia.org/w/index.php?diff=406717907&oldid=prev </div> </div>
	<div> <div>Revision as of 18:16, 8 January 2011 Mukogodo (→Interactions with other grazers)</div> <div>★ Revision as of 18:24, 8 January 2011 Mukogodo (→Conservation)</div> </div>
	<div> <div>Some local populations, though, have faced great declines and (省略) They also compete with livestock for food. Poaching is (省略)</div> <div>+</div> <div>Some local populations, though, have faced great declines and (省略) They also compete with livestock for food <ref name=comp>{{Cite journal last = Young first = T.P. coauthors = T.M. Palmer & M.E. Gadd title = Competition and compensation among cattle, zebras, and elephants in a semi-arid savanna in Laikipia, Kenya journal = Biological conservation volume = 121 pages = 351-359 year = 2005}}</ref>, and are sometimes culled. Poaching is (省略)</div> </div>
ケース2 不正解	<div> <div>ページ名 DOI名 文献タイトル 直前の版との差分</div> <div> Plains zebra 10.1016/j.biocon.2004.08.007 Competition and compensation among cattle, zebras, and elephants in a semi-arid savanna in Laikipia, Kenya https://en.wikipedia.org/w/index.php?diff=592361091&oldid=prev </div> </div>
	<div> <div>Revision as of 00:51, 17 January 2014 ClueBot NG m (Reverting possible vandalism by 67.238.196.236 to version by Justlettersandnumbers. False positive? Report it. Thanks, ClueBot NG. (1657239) (Bot))</div> <div>★ Revision as of 18:58, 25 January 2014 Rjwilmsi m (Journal cites, added 2 DOIs using AWB (9887))</div> </div>
	<div> <div>Some local populations, (省略). They also compete with livestock for food, <ref name=comp>{{Cite journal last = Young first = T. P. coauthors = T. M. Palmer & M. E. Gadd title = Competition and compensation among cattle, zebras, and elephants in a semi-arid savanna in Laikipia, Kenya journal = Biological Conservation volume = 121 pages = 351-359 year = 2005}}</ref></div> <div>+</div> <div>Some local populations, (省略). They also compete with livestock for food, <ref name=comp>{{Cite journal last = Young first = T. P. coauthors = T. M. Palmer & M. E. Gadd title = Competition and compensation among cattle, zebras, and elephants in a semi-arid savanna in Laikipia, Kenya journal = Biological Conservation volume = 121 pages = 351-359 year = 2005 doi=10.1016/j.biocon.2004.08.007}}</ref></div> </div>
ケース3 不正解	<div> <div>ページ名 DOI名 文献タイトル 直前の版との差分</div> <div> List of off-season Atlantic hurricanes 10.1175/1520-0493(1975)103<0285:ahso>2.0.co;2 Atlantic Hurricane Season of 1974 https://en.wikipedia.org/w/index.php?diff=208317414&oldid=prev </div> </div>
	<div> <div>Revision as of 13:16, 26 April 2008 Hello32020 (→December: add zeta)</div> <div>★ Revision as of 13:39, 26 April 2008 Hello32020 (add arlene)</div> </div>
	<div> <div></div> <div>+</div> <div> *[[May 6]]-[[May 9]], [[1981]] - A system moved across from (省略). Arlene dissipated east of the [[Bahamas]] and merged with a cloud mass. <ref name="arlenemwr">{{cite web format=PDF author=Miles B. Lawrence; Joseph M. Pelissier title=Atlantic Hurricane Season of 1981 publisher=[[Monthly Weather Review]] accessdate=2008-04-26 url=http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/lib1/nhclib/mwreviews/1981.pdf}}</ref> </div> </div>
ケース4 不正解	<div> <div>ページ名 DOI名 文献タイトル 直前の版との差分</div> <div> Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation 10.1086/526428 The Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation: Instrument Description and First Detections https://en.wikipedia.org/w/index.php?diff=6945668&oldid=prev </div> </div>
	<div> <div>★ Revision as of 19:58, 21 July 2004 Finn-Zoltan</div> </div>
	<div> <div>The "'Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation'", or APOLLO, is a project at the [[Apache Point Observatory]] (省略)</div> </div>

図 3: 初出時点候補の正誤判定の例

よび文献は同一であり、最も編集日時が古いケース 1 の初出時点候補が初出時点として選択される。

ケース 3 は手法 C での取得結果であり、2008 年 4 月 26 日 13 時 39 分の版である。太字で示した要素は直前の版には存在しないが、文献タイトルは「Atlantic Hurricane Season of 1981」であり、特定対象の文献タイトルの末尾は 1974 であるため、別の文献 [50] の参照記述の誤検出による不正解とした。

ケース 4 は手法 B での取得結果であり、2004 年 7 月 21 日 19 時 58 分の版である。当該ページの初版のため、直前の版は存在しない。太字の箇所は参照記述ではないため、誤検出による不正解とした。

4.5 サンプルデータを用いた精度の評価

本節では、サンプルデータを用いた精度の評価について述べる。精度は、正解と判定された初出時点候補（以下、正解数）の割合とする。本節ではサンプル全体の精度を示し、母数はすべて 1,100 である。

4.5.1 手法単体での精度の評価

(1) 文献タイトルの先頭 W 単語と精度の関係

図 4: 先頭単語数ごとの精度

手法 B での先頭単語数ごとの精度を図 4 に示す。精度は先頭単語数が 5 で最大値（84.6%）を取り、6 以降では単語数が増えるにつれて低下する。

この結果から、先頭単語数が 1 や 2 のときは当該文献タイトル以外を誤検出するケースが多く、3 以上では誤検出が減少する。先頭単語数が 5 での精度が最も高いため、文献タイトル全体の照合では検出できないが、先頭 5 単語の照合では検出できるケースが多い。他方で、先頭単語数が 6 以上になると文献タイトル全体での照合との差異が小さくなるため、精度向上への寄与が小さくなると解釈できる。

以上の結果から、先頭単語数の設定は 5 とする。

(2) 類似度スコアの閾値と精度の関係

図 5: 類似度スコアの閾値ごとの精度

手法 C における類似度スコアの閾値ごとの精度を図 5 に示す。まず、閾値が 0、すなわち、文献タイトルが完全に一致する場合のみを検出したときは 59.6% である。0.05 から 0.60 までの範囲では、いずれも閾値が 0 のときよりも高いため、軽微な表記の揺れや入力誤り等を含むケースを検出することで精度の向上に寄与している。他方で、0.65 から 1 までの範囲では、誤検出が増加するために閾値が 0 のときよりも精度が低下すると解釈できる。

次に、精度は閾値が 0.45 のときに最大値（73.6%）を取るため、手法 C 単体での閾値は 0.45 が最適と考えられる。ただし、提案手法では手法 A, B, C を組み合わせて初出時点を特定するため、手法 C 単体と提案手法では、精度が高くなる類似度スコアの閾値が異なる可能性がある。この点を踏まえ、複数の手法を組み合わせた場合の精度を次項に示す。

4.5.2 複数の手法を組み合わせた場合の精度

提案手法での精度が高くなる時の手法 C の類似度スコアの閾値の条件を表 5 に示す。前項の結果を踏まえ、手法 B の先頭単語数は 5 とした。表 5 より、提案手法の精度は閾値が 0.20 のときに 93.3% で最大値を取ることから、閾値を 0.20 に設定する。

表 5: 提案手法において精度が高くなる閾値の条件

順位	閾値	正解数	精度
1	0.20	1,026	93.3
2	0.25	1,025	93.2
2	0.30	1,025	93.2

手法 A, B, C のいずれかで正解できる件数に基づく精度 (以下、「精度の限界値」) は、閾値が 0.40, 0.45 のときに最大値 (94.9%) を取る。手法 C 単体の精度 (図 5) は閾値が 0.40 で 73.0%, 0.45 で 73.6% であるが、この差の 0.6% に相当する 7 件は手法 A または B で正解できるため精度の限界値は等しい。なお、閾値が 0.20 のときに比べ、閾値が 0.40, 0.45 のときは、(i) 手法 A, B では正解できないが手法 C で正解できるケースが増える。ただし、それと同時に (ii) 手法 A または B で正解できるが、手法 C では (正解の版よりも編集日時が古い版を) 誤検出するケースが増えると考えられる。そのため、(i) によって精度の限界値は閾値が 0.40, 0.45 のときのほうが高いが、(ii) によって提案手法の精度は 0.20 のときのほうが高いという結果になると解釈できる。

4.6 初出時点データセットの構築

4.5 節の結果を踏まえ、手法 B の先頭単語数を 5、手法 C の類似度スコアの閾値を 0.20 に設定し、提案手法を適用した。

まず、基礎情報データセットでの 181,150 件のページ上の 926,610 件の学術文献を対象に、初出時点候補を取得した。手法 A では 923,482 件、手法 B では 882,144 件、手法 C では 860,105 件を取得した。

次に、初出時点候補のうち、編集日時が最も古いものを選択することにより、全体の 99.7% (923,894 件) に対する初出時点を特定した。残る 0.3% (2,716 件) は、主に 2 つの理由により、いずれの手法でも初出時点候補を取得できない。すなわち、(1) 他のページを読み込むことで参照記述を表示させている

場合、ページ本文には直接記述されていないため検出されない。(2) 2017 年 3 月 1 日時点から見て直近の編集によって参照記述が追加された場合、ダンプデータに当該編集が含まれていないケースがあり、それらは検出されない。

最後に、研究分野ごとの初出時点の取得件数を表 6 に示す。表 6 の「減少数」は DOI リンクの初出時点データセットからの減少数を示し、4.3.1 項で除外した 193 件と、前述の 2,716 件の計 2,909 件の内訳である。以上から、いずれの手法でも初出時点が特定できないケースは少なく、個別の分野においても著しい減少は生じていない。

表 6: 研究分野ごとの初出時点の取得件数 (n=923,894)

分野	取得件数	減少数	分野	取得件数	減少数
経済	11,525	20	多領	102,139	250
社会	55,407	182	神経	42,186	265
精神	40,016	166	環境	22,370	59
免疫	17,837	31	化学	42,460	219
分子	105,668	299	地球	32,105	197
動植	70,433	108	天体	38,543	31
微生	19,923	172	数学	19,876	160
生物	90,544	165	材料	5,673	10
臨床	124,417	282	物理	26,191	69
薬学	24,914	140	工学	11,198	36
農学	8,460	27	計算	12,009	21

5. 考察

5.1 研究分野ごとの精度

研究分野ごとの手法単体および最終的な精度を表 7 に示す。それぞれの研究分野の精度は、50 件のサンプルにおいて正解と判定された初出時点候補の割合を指す。たとえば、経済学・ビジネスでは、手法 A により 20 件を正解したため手法 A 単体の精度は 40.0% である。また、「手法 A+B+C」は提案手法での精度を示し、経済学・ビジネスでは 94.0% である。

手法単体で見ると、手法 A では薬学・毒物学が最も高く (78.0%)、経済学・ビジネスが最も低い (40.0%)。手法 B では精神学・心理学が最も高く (94.0%)、物理学が最も低い (68.0%)。手法 C では免疫学が最も高く (86.0%)、社会科学一般と化学が最も低い

表 7: 研究分野ごとの手法単体および最終的な精度 (%)

条件/分野	経済	社会	精神	免疫	分子	動植	微生	生物	臨床	薬学	農学	
手法 A	40.0	50.0	42.0	70.0	72.0	66.0	66.0	64.0	70.0	78.0	72.0	
手法 B	88.0	76.0	94.0	88.0	92.0	82.0	80.0	80.0	86.0	84.0	86.0	
手法 C	58.0	56.0	80.0	86.0	82.0	72.0	76.0	74.0	70.0	76.0	76.0	
手法 A+B+C	94.0	90.0	98.0	96.0	96.0	94.0	92.0	90.0	98.0	96.0	94.0	
条件/分野	多領	神経	環境	化学	地球	天体	数学	材料	物理	工学	計算	全体
手法 A	74.0	62.0	58.0	70.0	60.0	76.0	44.0	70.0	60.0	62.0	58.0	62.9
手法 B	88.0	86.0	90.0	72.0	84.0	88.0	86.0	82.0	68.0	88.0	92.0	84.5
手法 C	80.0	76.0	74.0	56.0	78.0	78.0	64.0	68.0	58.0	58.0	60.0	70.7
手法 A+B+C	96.0	94.0	98.0	86.0	94.0	92.0	90.0	94.0	84.0	90.0	96.0	93.3

精度が 80%以上のものは太字, 精度が 90%以上であるものは網掛けで示している。

(56.0%)。どの分野でも手法 B が最も高いため、初出時点において文献タイトルが示されているケースが多いと考えられる。また、手法 A と B の比較では、いずれの分野でも手法 A の値が低いため、分野を問わず、文献タイトルを含む既存の参照記述に対して後から識別子が付加されるケースが多いと考えられる。

最終的な精度は、物理学と化学を除く 20 分野で 90%以上である。値が最も高いのは精神学・心理学、臨床医学、環境・エコロジーである (いずれも 98.0%)。手法単体と比較すると、どの分野も最終的な精度が高い。このことから、編集日時が最古の版を選択することで手法単体よりも精度が向上する。20 分野で 90%以上、残る 2 分野でも 80%以上であるため、編集日時が最古の版を選択することにより、初出時点を高い精度で特定できる。

5.2 手法の組み合わせ別の精度

手法の組み合わせ別の精度を表 8 に示す。「最古の版を選択時」は提案手法での精度を示す。「限界値」は、組み合わせに含まれる手法のいずれかで正解できる件数に基づく精度を示す。たとえば「手法 A+B」では、手法 A、B のいずれかで 1,018 件が正解できるため、92.5%となる。

表 8 より、最も値が高い組み合わせは「手法 A+B+C」であるため、いずれか 1 つの手法のみで正解できるものがあり、精度の向上に貢献している。2 番目に高い組み合わせは「手法 A+B」であり、限界値は 92.5%、最古の版を選択時は 91.3%である。「手法 A+B+C」と比較すると、手法 C の追加により値が

表 8: 手法の組み合わせ別の精度 (%)

手法の組み合わせ	限界値	最古の版を選択時	差
手法 A のみ	62.9	-	-
手法 B のみ	84.5	-	-
手法 C のみ	70.7	-	-
手法 A+B	92.5	91.3	-1.3
手法 B+C	88.5	87.5	-1.0
手法 A+C	83.3	82.9	-0.4
手法 A+B+C	94.8	93.3	-1.5

2%ほど向上するが、手法 C で正解できるものは概ね手法 A または B により正解可能と言える。3 番目に高い組み合わせは「手法 B+C」であり、限界値は 88.5%、最古の版を選択時は 87.5%である。「手法 A+B+C」と比較すると、手法 A の追加により値が 6%ほど向上するため、文献タイトルを用いた手法では正解できないが、識別子を用いた手法では正解できるものが一定数あると言える。

「手法 A+B+C」での限界値と最古の版を選択時の差は 1.5%である。このことから、1,100 件のうち 17 件は、いずれかの手法で正解できるが、最古の版を選択することで不正解の候補が適用される。ただし、この割合は小さいことから、最古の版を選択する方法は概ね妥当と考えられる。

5.3 識別子ごとの初出時点候補の取得率

手法 A に関して、評価実験では DOI 名、PubMed、Bibcode、alternative id を使用した。分野ごとに、どの識別子が初出時点候補の取得に貢献したかを

表 9: 各分野での識別子による初出時点候補の取得件数および取得率, 識別子の種別ごとの取得率

項目/分野	経済	社会	精神	免疫	分子	動植	微生	生物	臨床	薬学	農学
取得件数	5,445	28,558	20,199	13,110	83,303	46,058	15,912	71,396	87,621	19,101	6,066
取得率 (%)	47.2	51.5	50.5	73.5	78.8	65.4	79.9	78.9	70.4	76.7	71.7
DOI 名	42.9	43.9	39.9	38.6	53.5	57.9	52.6	50.0	42.6	47.0	56.3
DOI Suffix	45.8	46.7	40.7	39.4	54.1	61.0	53.7	50.9	43.5	47.9	57.4
PubMed	0.5	9.2	18.6	58.4	66.6	8.6	51.8	62.7	51.6	55.0	27.1
alternative id	4.2	1.7	2.3	1.4	1.3	1.6	2.4	1.3	1.3	2.0	4.7
Bibcode	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
項目/分野	多領	神経	環境	化学	地球	天体	数学	材料	物理	工学	計算
取得件数	82,024	27,671	12,565	33,896	22,178	32,214	10,133	4,297	16,674	7,019	7,203
取得率 (%)	80.3	65.6	56.2	79.8	69.1	83.6	51.0	75.7	63.7	62.7	60.0
DOI 名	60.1	42.0	49.1	73.2	66.0	71.3	44.1	69.8	60.7	58.2	53.8
DOI Suffix	62.9	43.0	51.6	74.3	67.6	71.6	50.3	71.9	62.0	59.0	54.7
PubMed	48.9	45.6	8.7	11.2	0.0	0.2	0.2	4.7	1.8	1.6	8.5
alternative id	0.0	2.4	2.3	2.1	4.0	1.1	1.2	5.5	1.4	7.4	2.5
Bibcode	2.7	0.0	0.1	0.5	2.0	60.7	0.1	1.1	7.3	0.7	0.0

各分野での初出時点候補の取得率が最も高い識別子を網掛けで示している。

考察するために、各分野での識別子による初出時点候補の取得件数と取得率、識別子の種別ごとの取得率を表 9 に示す。たとえば、経済学・ビジネスでは 11,525 件のうち、いずれかの識別子により 5,445 件を取得したため、取得率は 47.2% となる。取得率 (%) 以下の行は、各識別子単体での取得率を示す。

表 9 より、免疫学、分子生物学・遺伝学、生物学・生化学、臨床医学、薬学・毒物学、神経科学・行動科学では PubMed、それら以外の 16 分野では DOI Suffix の取得率が最も高い。DOI 名と DOI Suffix を比較すると、いずれの分野も DOI Suffix の値が高い。この差が最も大きいのは数学 (6.2%) であり、該当ケースの確認結果、主に JSTOR の識別子の記述に DOI Suffix が含まれていた。したがって、DOI 名のみでなく DOI Suffix や PubMed を用いることは、より多くの初出時点候補の取得に有効である。

その他、alternative id は、どの分野も 10% 未満であるため、候補の取得にあまり大きく貢献しないことが示唆される。Bibcode は天体科学での値が高く (60.7%)、同分野において Bibcode のみで候補を取得したものは 4,497 件あり、取得件数を 14.0% 増加させている。このことから、alternative id は分野を問わずあまり貢献しない一方、Bibcode は天体科学分野を対象とする場合には有効と考えられる。

5.4 文献タイトルの先頭 5 単語での照合

評価実験では、手法 B での文献タイトルの先頭単語数を 5 とした。この設定に関して考察を行う。

1,100 件のサンプルのうち、文献タイトル全体と先頭 5 単語の両方で 971 件の初出時点候補を取得し、うち正解は 868 件である。先頭 5 単語のみにより 76 件の候補を取得し、うち正解は 62 件である。したがって、精度は、文献タイトル全体のみでは 78.9%、先頭 5 単語を併用すると 84.5% であるため、先頭 5 単語の併用は精度の向上に有効である。

5.5 手法 C での抽出対象ごとの精度

手法 C では、参照記述として、(a) <ref> タグで囲まれた脚注と、(b) 名称が Cit で始まるテンプレートを用いた記述の 2 種類を対象に文献タイトルを抽出し、基礎情報データセットの文献タイトルとの文字列間の類似度スコアに基づき初出時点候補の取得を行った。

本節では、(a)、(b) の 2 種類の対象を用いたことの精度への影響を考察する。類似度スコアの閾値が 0.20 のときの抽出対象ごとの精度を表 10 に示す。ここではサンプルにおいて初出時点候補とした版に含まれる当該の参照記述を「(a) のみ」、「(b) のみ」、

「(a) と (b) の両方」, 「その他」に分類し, それぞれの件数を正解, 不正解の内訳とともに示している. たとえば, 「(a) のみ」は表 2 の例 2 のような記述を当該文献の初出時点として検出したケースが 804 件あり, そのうち 614 件が正解であったことを示す. このとき, 精度は合計に対する正解数の割合を指し, 76.4%である. なお, その他は初出時点候補を検出できないケースが 66 件あったことを示す.

表 10 より, 正解数は (a) のみでは 614 件, (b) のみでは 646 件であるため, 初出時点において (a), (b) の一方のみを伴うケースが多いことが分かる. したがって, (a), (b) の 2 種類を用いることは, 明示的な脚注として示されているものに限らず, より広範な参照記述の検出に貢献し, 手法 C 全体での精度の向上に寄与することが分かる.

表 10: 閾値が 0.20 のときの抽出対象ごとの精度

抽出対象	(a) のみ	(b) のみ	両方	その他
正解	614	646	482	0
不正解	190	232	166	66
合計	804	878	648	66
精度	76.4	73.6	74.4	0.0

5.6 失敗分析

(1) いずれの手法でも正解できないケース

表 8 での「手法 A+B+C」の限界値より, いずれかの手法で正解できるケースは 94.8%である. 逆に, 残る 5.2%に相当する 57 件は, いずれの手法でも正解できず, その失敗は以下の 4 つに分類できる.

分類 1 文献タイトルも識別子も記述されていない (24 件)

分類 2 文献タイトルによる照合の失敗 (23 件)

分類 3 識別子による照合の失敗 (6 件)

分類 4 その他 (4 件)

分類 1 では, 著者名, 雑誌名, 年, 巻・号, ページなどが記述されているケースが 19 件, URI のみの記述が 4 件, URI と雑誌名のみの記述が 1 件あった.

分類 2 では, 文献タイトルが大きく異なるものが 10 件, 入力誤りや単語の抜けなどがあるものが 13 件あった. 具体的には, Paper Title はドイツ語だが Ref Title は英語であるものや, Crossref のメタ

データ上の Paper Title と当該コンテンツにアクセスした際の文献タイトルが異なるものなどがあった.

分類 3 では, 対応外の識別子 (CiteSeerX) のみが書かれているものが 1 件, DOI 名に誤りがあるものが 1 件, PubMed の識別子は書かれているが DOI 名との対応関係が取得できないものが 4 件あった.

分類 4 では, 参照記述ではない要素を誤検出したケースが 2 件, 2017 年 3 月 1 日時点から見て直近の編集で追加されているものの, 当該の版がダンプデータに含まれていないケースが 2 件あった.

以上から, 識別子と文献タイトルを用いて特定可能なものは概ね正確に特定できたと評価できる. 失敗ケースのうち, 分類 3 での PubMed と DOI 名の対応関係が取得できていないことによる失敗は解消可能と考えられるため, 更に精度の向上を図る場合には優先的に取り組む課題として位置付けられる.

5.1 節で示したように, 分野ごとに比較すると, 化学と物理学の精度が比較的低い. いずれの手法でも正しい初出時点が取得できないケースは, 化学, 物理学ともに 7 件である. その内訳として, 化学では分類 1 が 6 件, 分類 2 が 1 件であり, 物理学では分類 1 が 3 件, 分類 2 が 3 件, 分類 4 が 1 件である. このことから, 化学では初出時点において文献タイトルと識別子がいずれも示されていないために精度が低い. 物理学では, 同様の理由に加え, 文献タイトルが一致しないために精度が低いと言える.

(2) 最古の版を選択することによる失敗

表 8 での「手法 A+B+C」の差より, いずれかの手法で正解できるが, 最古の版を選択することにより不正解となるものは 1.5% (17 件) である. その内訳を表 11 に示す. 「初出時点候補が正解である手法」は, 候補が正解と判定された手法を示す. 「最古の版を選択時に適用される手法」は, 最古の版を取得した手法, かつ, その候補が不正解であるものを示す. たとえば, 件数が 8 件のケースでは, 手法 A, C で正解できるが, 手法 B での候補が最古の版, かつ, 不正解のケースである.

表 11 から, 最古の版を選択することによる失敗のうち, 15 件が手法 A, 1 件が手法 B, 10 件が手法 C で正解可能である. 逆に, 最古の版, かつ, 不正解の候補を取得したケースは, 2 件が手法 A, 16 件が手法 B, 6 件が手法 C によるものである. このことから, 主に手法 A, C で正解可能なものにおいて, 手法 B での不正解の候補が選択された結果, 失

表 11: 最古の版を選択することによる失敗の内訳

初出時点候補が 正解である手法	最古の版を選択時に 適用される手法	件数
手法 A, C	手法 B	8
手法 A	手法 B, C	5
手法 C	手法 A, B	2
手法 A	手法 B	1
手法 A, B	手法 C	1

敗していることが分かる。

5.7 初出時点の特定精度の比較

提案手法と、筆者ら [8] による DOI リンクの初出時点の特定手法 (以下、「DOI リンク手法」) の精度の比較を表 12 に示す。両者ともに、サンプルの抽出条件は無作為抽出であり、サンプル数は各分野 50 件ずつの計 1,100 件である。全体での精度は、提案手法が 93.3%, DOI リンク手法が 36.2% である。

表 12 から、提案手法により、全分野で大幅に精度が向上した。また、DOI リンク手法は分野ごとにばらつきがみられるが、提案手法は化学と物理学がやや低いものの、分野を問わず概ね高い値と言える。

6. 結論と今後の課題

本研究では、ある観察時点で残存する学術文献の参照記述を追加した編集を特定する手法を構築し、その精度の評価を行った。

提案手法は、まず、Wikipedia のテキスト群から参照記述を抽出し、その書誌情報を学術文献データベースと照合することで基礎情報データセットを構築する。次に、ページ情報を用いたダンプデータとの照合により、当該ページの編集履歴と本文データ群を取得する。さらに、基礎情報データセットから文献タイトルと識別子を抽出し、本文データ群に対して識別子または文献タイトルを用いた手法 A, B, C を適用することで初出時点候補 A, B, C を取得する。最後に、編集日時が最古のものを選択することにより初出時点データセットを構築する。

評価実験では、2017 年 3 月 1 日時点での英語版の DOI リンクの初出時点データセットを基に構築した基礎情報データセットを使用した。実験条件として、手法 B での文献タイトルの先頭単語数は 5、

手法 C での文献タイトル間の類似度スコアの閾値は 0.20 とした。また、DOI Suffix, PMID, PMCID, Bibcode, alternative id を追加取得した。そのうえで、提案手法を適用し、各分野から無作為抽出したサンプルに対する初出時点候補の正誤判定を行った。

評価実験の結果、まず、精度は、全体で 93.3%, 20 分野で 90% 以上、残る 2 分野で 80% 以上である。このことから、分野を問わず概ね高い精度で初出時点特定可能であることを示した。さらに、手法単体では、文献タイトルによる照合を行う手法 B の精度が最も高いことを明らかにした。

次に、文献タイトル全体に加えて先頭 5 単語を使用することや、識別子を併用することが精度の向上に有効である点を示した。また、初出時点候補から編集日時が最古のものを選択する方法が概ね妥当であることを示した。その他、識別子による候補の取得では、多くの分野で DOI Suffix, PMID, PMCID が特に有効であることや、天体科学分野では Bibcode が有効と考えられることを示した。

他方で、失敗分析を通じて、いずれの手法でも正しい初出時点を取得できないケースを、(1) 文献タイトルも識別子も記述されていない、(2) 文献タイトルによる照合の失敗、(3) 識別子による照合の失敗、(4) その他に分類した。なお、(3) に関しては DOI 名と PMID および PMCID の対応関係の取得を改善することで解消可能なものが一部含まれるが、識別子と文献タイトルによって初出時点が特定可能なものは概ね正確に特定することができた。

最後に、筆者らが過去に提案した DOI リンクを用いた特定手法と、提案手法との比較により、すべての分野で精度が大幅に向上したことを示した。

本研究の貢献は次の 3 点である。任意の観察時点で残存する参照記述について、(1) 識別子と文献タイトルを手がかりとすることで、分野を問わず概ね高い精度で初出時点特定可能であることを明らかにした。(2) 先行研究における特定の方法論に大きく依存せず、汎用的に適用可能な手法を示した。また、人間による手作業の介在をほとんど要せずに自動処理可能な手法を示した。(3) 不完全な記述や誤りが含まれるために特定が容易でないなどの障壁により、これまでほとんど明らかにされてこなかった Wikipedia 上での参照記述の追加という事象を解明するうえで重要な基盤となる方法論を構築した。

今後の課題は、(1) 英語版以外の言語版への手法の適用と精度の評価、(2) 異なる種類のコンテンツ

表 12: 提案手法と DOI リンク手法での精度の比較 (%)

項目/分野	経済	社会	精神	免疫	分子	動植	微生物	生物	臨床	薬学	農学	
提案手法	94.0	90.0	98.0	96.0	96.0	94.0	92.0	90.0	98.0	96.0	94.0	
DOI リンク手法	34.0	40.0	32.0	30.0	52.0	40.0	36.0	34.0	20.0	38.0	32.0	
項目/分野	多額	神経	環境	化学	地球	天体	数学	材料	物理	工学	計算	全体
提案手法	96.0	94.0	98.0	86.0	94.0	92.0	90.0	94.0	84.0	90.0	96.0	93.3
DOI リンク手法	54.0	26.0	28.0	30.0	38.0	48.0	28.0	52.0	38.0	42.0	24.0	36.2

に対する手法の適用と精度の評価, (3) 初出時点データセットを用いた編集および編集者の分析である。(1) に関しては, 言語版を問わず汎用的に適用可能であるかを明らかにする。(2) に関しては, たとえば学術書を対象とした場合の実験条件や, 参照先の判定に用いる外部データベースの検討を行ったうえでの適用と評価を行う。(3) に関しては, いつ頃から, どれだけの参照記述が追加されてきたかに加え, それらの経年変化の分析を行う。また, 編集者に関しても同様の分析を行う。さらに, 編集者ごとの追加件数の偏りや占有状況の分析を通じて, 参照記述の持続性や安定性の問題の有無の解明に取り組む。

謝辞

本研究の一部は, 科学研究費補助金基盤研究 (C) (課題番号: 17K00449) 「ブラウジング型探索タスクの解明とその支援手法に関する研究」, 同基盤研究 (C) (課題番号: 17K00448) 「サイエンスリンケージの分野横断性に着目した論文・特許間引用の分析」の助成によって行われたものである。

参考文献

- [1] Bilder, Geoffrey: “Geoffrey Bilder: Strategic Initiatives Update #crossref15”, 2015. <https://www.slideshare.net/CrossRef/geoffrey-bilder-crossref15> (2019 年 12 月 31 日参照).
- [2] Wikimedia Foundation: “Wikimedia project at a glance”. <https://stats.wikimedia.org/EN/SummaryEN.htm> (2019 年 12 月 31 日参照).
- [3] Alexa Internet, Inc.: “Alexa Top 500 Global Sites”. <https://www.alexa.com/topsites> (2019 年 7 月 1 日参照).
- [4] 日下九八: 「ウィキペディア: その信頼性と社会的役割」, 情報管理, Vol. 55, No. 1, pp. 2–12, 2012. <https://doi.org/10.1241/johokanri.55.2>.
- [5] Mesgari, Mostafa; Okoli, Chitu; Mehdi, Mohammad; Nielsen, Finn Årup; Lanamäki, Arto: ““The sum of all human knowledge”: A systematic review of scholarly research on the content of Wikipedia”, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, Vol. 66, No. 2, pp. 219–245, 2014. <https://doi.org/10.1002/asi.23172>.
- [6] Nielsen, Finn Årup: “Scientific citations in Wikipedia”, *First Monday*, Vol. 12, No. 8, 2007. <https://doi.org/10.5210/fm.v12i8.1997>.
- [7] Pooladian, Aida; Borrego, Ángel: “Methodological issues in measuring citations in Wikipedia: a case study in Library and Information Science”, *Scientometrics*, Vol. 113, No. 1, pp. 455–464, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2474-z>.
- [8] 吉川次郎; 高久雅生; 芳鐘冬樹: 「DOI リンクに基づく Wikipedia 上の参照記述における編集者の分析」, 情報知識学会誌, Vol. 30, No. 1, pp. 21–41, 2020. https://doi.org/10.2964/jsik_2020_004.
- [9] Halfaker, Aaron: 「mwcites・PyPI」. <https://pypi.org/project/mwcites/> (2019 年 12 月 31 日参照).
- [10] 相澤彰子; 大山敬三; 高須淳宏; 安達淳: 「レコード同定問題に関する研究の課題と現状」, 電子情報通信学会論文誌. D-I, 情報・システム, I-情報処理, Vol. 88, No. 3, pp. 576–589, 2005.
- [11] McVeigh, Marie E.: “Citation Indexes and the Web of Science”, *Encyclopedia of Library and Information Sciences, Third Edition*, pp. 1027–1037, 2009. <https://doi.org/10.1081/e-elis3-120044569>.
- [12] Abdulhayoglu, Mehmet Ali; Thijs, Bart; Jeuris, Wouter: “Using character n-grams to match a list of publications to references in bibliographic databases”, *Scientometrics*, Vol. 109, No. 3, pp. 1525–1546, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2066-3>.
- [13] Lawrence, Steve; Giles, C. Lee; Bolacker, Kurt: “Digital Libraries and Autonomous Citation Indexing”, *Computer*, Vol. 32, No. 6, pp. 67–71, 1999. <https://doi.org/10.1109/2.769447>.

- [14] Lee, Dongwon; Kang, Jaewoo; Mitra, Prasenjit; Giles, C. Lee; On, Byung Won: “Are your citations clean?”, *Communications of the ACM*, Vol. 50, No. 12, pp. 33–38, 2007. <https://doi.org/10.1145/1323688.1323690>.
- [15] Khan, Samiya; Liu, Xiufeng; Shakil, Kashish A.; Alam, Mansaf: “A survey on scholarly data: From big data perspective”, *Information Processing & Management*, Vol. 53, No. 4, pp. 923–944, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2017.03.006>.
- [16] Kan, Min-Yen: “ParsCit: An open-source CRF Reference String and Logical Document Structure Parsing Package”. <https://parscit.comp.nus.edu.sg/> (2019 年 12 月 31 日参照).
- [17] Councill, Isaac; Giles, C. Lee; Kan, Min-Yen: “ParsCit: an Open-source CRF Reference String Parsing Package”, *Proceedings of the Sixth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC’08)*, pp. 661–667. European Language Resources Association (ELRA), 2008. http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2008/pdf/166_paper.pdf.
- [18] “CiteSeerX”. <http://citeseerx.ist.psu.edu/index> (2020 年 1 月 15 日参照).
- [19] Williams, Kyle; Choudhury, Sagnik ray: “CiteSeerX Software”. <http://csxstatic.ist.psu.edu/downloads/software> (2019 年 12 月 28 日参照).
- [20] Cortez, Eli; Silva, Altigran S.da ; Gonçalves, Marcos André; Mesquita, Filipe; Moura, Edleno S.de : “FLUX-CIM: Flexible Unsupervised Extraction of Citation Meta-data”, *Proceedings of the 7th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries, JCDL ’07*, pp. 215–224. ACM, 2007.
- [21] Peng, Fuchun; McCallum, Andrew: “Information extraction from research papers using conditional random fields”, *Information Processing & Management*, Vol. 42, No. 4, pp. 963–979, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2005.09.002>.
- [22] Ororbia, Alexander G., II; Wu, Jian; Khabsa, Madian; Williams, Kyle; Giles, Clyde Lee: “Big Scholarly Data in CiteSeerX: Information Extraction from the Web”, *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web, WWW ’15 Companion*, pp. 597–602. ACM, 2015. <https://doi.org/10.1145/2740908.2741736>.
- [23] Prasad, Animesh; Kaur, Manpreet; Kan, Min-Yen: “Neural ParsCit: a deep learning-based reference string parser”, *International Journal on Digital Libraries*, Vol. 19, No. 4, pp. 323–337, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00799-018-0242-1>.
- [24] Teplitskiy, Misha; Lu, Grace; Duede, Eamon: “Amplifying the impact of open access: Wikipedia and the diffusion of science”, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, Vol. 68, No. 9, pp. 2116–2127, 2016. <https://doi.org/10.1002/asi.23687>.
- [25] 佐藤翔; 吉田光男; 逸村裕: 「Wikipedia 日本語版からの学術論文の引用状況」, 日本図書館情報学会春季研究集会発表論文集, pp. 81–84, 2013.
- [26] Kikkawa, Jiro; Takaku, Masao; Yoshikane, Fuyuki: “DOI Links on Wikipedia”, *Proceedings of the 18th International Conference on Asia-Pacific Digital Libraries (ICADL 2016)*, pp. 369–380, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49304-6_40.
- [27] Thelwall, Mike: “Does Astronomy research become too dated for the public? Wikipedia citations to Astronomy and Astrophysics journal articles 1996–2014”, *El Profesional de la Información*, Vol. 25, No. 6, pp. 893–900, 2016. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.nov.06>.
- [28] Kousha, Kayvan; Thelwall, Mike: “Are wikipedia citations important evidence of the impact of scholarly articles and books?”, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, Vol. 68, No. 3, pp. 762–779, 2017. <https://doi.org/10.1002/asi.23694>.
- [29] Lin, Jennifer; Fenner, Martin: “An analysis of Wikipedia references across PLOS publications”, 2014. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1048991.v3> (2019 年 12 月 31 日参照).
- [30] 「ウィキテキスト - MediaWiki」. <https://www.mediawiki.org/wiki/Wikitext/ja> (2020 年 1 月 15 日参照).
- [31] 「Wikipedia:出典テンプレート - Wikipedia」. <https://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=WP:CT> (2020 年 1 月 15 日参照).
- [32] PLOS: “ALM”. <https://alm.plos.org/> (2020 年 1 月 15 日参照).
- [33] “User:Citation bot - Wikipedia”. https://en.wikipedia.org/wiki/User:Citation_bot (2019 年 12 月 31 日参照).
- [34] Smith, Martin R.: “ms609/citation-bot”. <https://github.com/ms609/citation-bot> (2019 年 12 月 31 日参照).
- [35] 中村晃; 鈴木優; 石川佳治: 「共同執筆コンテンツにおける単語の起源追跡」, 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol. 8, No. 2, pp. 43–56, 2015. <http://id.nii.ac.jp/1001/00142566/>.
- [36] Wikimedia Foundation: “Wikimedia Downloads”. <https://dumps.wikimedia.org/backup-index.html> (2019 年 12 月 1 日参照).

- [37] Gusfield, Dan: “Algorithms on Strings, Trees, and Sequences: Computer Science and Computational Biology”. Cambridge University Press, 1997. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511574931>.
- [38] Levenshtein, V. I.: “Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals”, *Soviet Physics-Doklady*, Vol. 10, No. 8, pp. 707–710, 1966.
- [39] “Self-determination theory - Wikipedia”. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?oldid=332522310> (2009年12月8日17時37分時点の版, 2020年1月15日参照).
- [40] Frodi, Ann; Bridges, Lisa; Grolnick, Wendy: “Correlates of Mastery-Related Behavior: A Short-Term Longitudinal Study of Infants in Their Second Year”, *Child Development*, Vol. 56, No. 5, pp. 1291–1298, 1985. <https://www.jstor.org/stable/1130244>.
- [41] Crossref: “Crossref REST API”. <https://api.crossref.org/> (2019年12月31日参照).
- [42] Clarivate Analytics: “InCites Essential Science Indicators”, 2019. <https://esi.clarivate.com/> (2019年12月31日参照).
- [43] Clarivate Analytics: “Journal List (InCites Essential Science Indicators Help)”. <http://help.incites.clarivate.com/incitesLiveESI/ESIGroup/overviewESI/esiJournalsList.html> (2019年12月31日参照).
- [44] 小野寺夏生: 「論文データベースにおける主題分類—情報分析への利用の視点から—」, *情報の科学と技術*, Vol. 66, No. 6, pp. 272–276, 2016. https://doi.org/10.18919/jkg.66.6_272.
- [45] National Center for Biotechnology Information: “APIs - Develop”. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/home/develop/api/> (2019年12月31日参照).
- [46] The SAO/NASA Astrophysics Data System: “SAO/NASA ADS HELP: Direct Access”. http://ads.nao.ac.jp/abs_doc/help_pages/linking.html (2019年12月31日参照).
- [47] Crossref: “Crossref Metadata API JSON Format”. https://github.com/CrossRef/rest-api-doc/blob/master/api_format.md (2019年12月31日参照).
- [48] “Wikimedia database dump of the English Wikipedia on March 01, 2017 : Wikimedia projects editors : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive”. <https://archive.org/details/enwiki-20170301> (2019年12月31日参照).
- [49] 「Help:差分 - Wikipedia」. <https://ja.wikipedia.org/w/index.php?title=H:DIFF> (2020年1月15日参照).
- [50] Lawrence, Miles B.; Pelissier, Joseph M.: “Atlantic Hurricane Season of 1981”, *Monthly Weather Review*, Vol. 110, No. 7, pp. 852–866, 1982. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1982\)110%3C0852%3AAHS0%3E2.0.CO%3B2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1982)110%3C0852%3AAHS0%3E2.0.CO%3B2).
(2020年1月23日 受付)
(2020年6月9日 採択)
(2020年7月10日 J-STAGE早期公開)