

学術機関に向けた研究データの管理と共有のための 共通基盤の開発

込山悠介¹ 林正治¹ 加藤文彦¹ 大向一輝¹ 山地一禎¹

概要: オープンサイエンス推進に向けての政策的な動きが、国際的に活発化している。公的研究資金を受けた研究成果としての論文は原則オープンアクセスとすることに加え、そのエビデンスとなる研究データについても積極的に公開することが、研究者やその所属機関に求められている。国際的な研究データ流通の観点からも標準化された研究データ基盤の整備は必要不可欠だが、研究者の着想から論文執筆に至る研究ライフサイクルを一貫して支援し、研究公正も実現する汎用的な研究データ基盤を、国内全土の学術機関から利用できるような設計にし、さらに階層構造化された共通規格上で専門分野のIT基盤構築を支援するフレームワークは十分に成熟されていない。本研究では、研究者と所属機関が研究データを管理・共有し、さらに研究データを検索可能なように公開することで研究推進を支援するオープンサイエンスのための共通基盤（NII Research Data Cloud: NII RDC）を開発することを目的とした。NII RDCは、研究データのライフサイクルに沿って、研究データを管理・公開・検索するための三つの基盤から構成される。研究データの扱いに関する分野特性を考慮し、管理と公開のための基盤は、拡張性と柔軟性を満足するアーキテクチャを採用した。研究促進のみならず、特に研究機関として必要とされている研究公正にも対応できる機能を有する。検索機能は、多角的な研究成果の再利用が促進されるように、分野融合型の大規模な学術知識情報をもつ基盤として構成した。システムの側面に加え、本格的な運用に向けてのサービスの段階的な実証実験の結果についても報告する。なお、NII RDCのソフトウェアの最新版はGitHub上でオープンソースソフトウェアとして公開している (<http://github.com/RCOSDP>)。

キーワード: 研究データ基盤, 研究データ管理, 学術情報流通, オープンサイエンス

Development of a Common Infrastructure for Managing and Sharing Research Data for Academic Institutions

YUSUKE KOMIYAMA^{†1} MASAHARU HAYASHI^{†1}
FUMIHIRO KATO^{†1} IKKI OHMUKAI^{†1}
KAZUTSUNA YAMAJI^{†1}

Abstract: Recently, policy actions to promote open science have become active internationally. Researchers and research institutions are becoming responsible for making research papers with public research funds open in principle. Furthermore, research data that provide evidence of the paper is also required to be actively disclosed to the public. Also, establishing a standardized research data infrastructure is essential from the viewpoint of international research data distribution. A general-purpose research data infrastructure framework that consistently supports the research lifecycle from researcher inspiration to paper writing and achieves research integrity is not mature enough. The framework is designed to be used by academic institutions across the country and is structured to support the construction of hierarchically IT platforms in specialized academic fields on common standards. The purpose of this research was to develop a common infrastructure NII Research Data Cloud (NII RDC) for managing and sharing research data to support open science. NII RDC consists of three platforms for managing, publishing, and discovering research data along the life cycle of research data. In consideration of the domain specificity regarding the handling of research data, the infrastructure for management and disclosure adopts an architecture that satisfies the extensibility and flexibility. In addition to promoting research, it has the function of responding to research integrity, which is especially needed as a research institution. The discovery function is structured as a base with large-scale academic knowledge information that is integrated with domains so that the reuse of multi-disciplinary research results is promoted. In addition to system aspects, the results of step-by-step demonstration tests of services for full-scale operation are also reported. The source code and documentation for the latest version of NII RDC are available as open source software on GitHub and can be downloaded for free (<http://github.com/RCOSDP>).

Keywords: Research Data Platform, Research Data Management, Scholarly Information Distribution, Open Science

1. はじめに *

昨今、国際的なオープンサイエンス時代の実現に向けて学術情報流通の促進や研究データ共有・公開の実現に向けた研究開発が各地域で進んでおり、研究データ同盟 Research Data Alliance (RDA) での研究データに関連する議

論は政策・産業・技術レイヤーまで多岐にわたる [1]。また、研究データ基盤を実際に研究者が利用するための施策が各地域で実施されている [2]。米国や英国では日本と比べ先行して、公的研究費による研究成果公開のポリシー策定が進んでいることから、これに対応する形で学術機関が利用する研究データ基盤の導入が進んでいる [3]。研究データ基

* 1 国立情報学研究所
National Institute of Informatics

盤の先行研究として、米国の NPO 法人 Center for Open Science (COS) が運営する研究データ管理・公開サービス Open Science Framework (OSF) [4]、英国の The COncnecting REpositories (CORE) プロジェクト [5]、欧州の統合的な研究データ基盤の先行研究として、欧州の研究とイノベーションのためのフレームワークプログラム Horizon 2020 が出資し、EUDAT Collaborative Data Infrastructure (CDI) の構成機関が連携して提供しているサービス EUDAT [6] がある。NPO 法人 OpenAIRE A.M.K.E が運営する OpenAIRE [7], [8] では各国のリポジトリに登録されている研究データを横断的に検索できる機能を有する。また、オープンサイエンスの先進的な分野である生命科学、高エネルギー物理学、材料科学、社会科学などでは分野固有の研究データ基盤が既に整備されている [9]。国際的な動きを受けて、日本国内においては研究データ管理・共有について省庁からの政策文書やガイドライン [10]–[12] より要求されており、大学 ICT 推進協議会による研究データ管理に関する提言書 [13] により、大学や研究所などの学術機関による所属研究者の研究データの管理・共有する必要性が提言されている。

加えて、資金配分機関の要請により、研究者が競争的資金の申請の際に研究データ管理・公開の方法や期間について、研究データ管理計画 (DMP: data management plan) を提出することも求められている [14], [15]。例として、科学技術振興機構 (JST)、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、日本医療研究開発機構 (AMED) の競争的資金のプロジェクトから DMP の提出の義務化が始まっている [16]。DMP 提出が義務化されると研究者は競争的資金の申請書や報告書にて、論文の証拠となるデータを管理・公開の状況を申告する必要がある。データ管理・共有のために研究者は IT 基盤を準備する調達・運用コストが発生するが、小規模な学術機関では IT 基盤を十分に維持管理することは費用面で難しい。

次に、研究データ基盤の開発の観点では、日本国内の学術情報流通において、国立情報学研究所 (NII: National Institute of Informatics) は学術機関の図書館向けコンテンツサービスとして学術情報検索サービス CiNii [17]、機関リポジトリサービス JAIRO Cloud [18], [19] や科学研究費助成事業データベース KAKEN [20] などを提供している。また、学術機関の情報基盤センター向けに、学術情報用の情報通信ネットワーク SINET [21]、学術認証 (学認) フェデレーション [22]、全国共同電子認証基盤 UPKI [23] などのサービスを提供している。共通研究データ基盤の実現にはこれらの先行研究のサービスもベースにしながらか開発する必要がある。

本研究では、共通研究データ基盤 NII Research Data Cloud (NII RDC) のシステム開発の手法と実装結果、および実証実験において国内の学術機関と協働しながら進めている機関単位での研究データ基盤導入のユースケースにつ

いて述べる。NII RDC の研究開発の目的は、国内の学術機関・広範な学問分野で利用可能な共通研究データ基盤の整備を行うことによるシステム共通化によるコストダウンと、研究データの共有・公開の効率化による学術情報流通の促進がある。オープンサイエンスの時代の学術情報基盤のサービスアーキテクチャはネットワーク、クラウドコンピューティングや認証などの情報システム基盤を下層とし、その上層に図書館が管轄するような緻密なメタデータも管理できる研究データ基盤のアプリケーションが整備されている必要がある。これにより、研究データ基盤の技術スタックを海外の主要な学術機関と合わせることができ、仕様の標準化やシステム連携などの面で海外機関と協働しやすくなる。

その実現のために、NII RDC は研究データ基盤として管理・公開・検索を目的とした 3 つのサービスを内包するように設計する。それぞれのサービス名称は、GakuNin RDM (管理) [24], [25]、JAIRO Cloud (公開)、CiNii Research (検索) [26] であり、管理サービスは論文出版前の非公開の研究データを取り扱い、公開・検索サービスはインターネット上で公開可能な研究データを対象として取り扱う。図 1 に NII RDC のコンセプトが持つ 3 つのサービスの全体構成を示す。

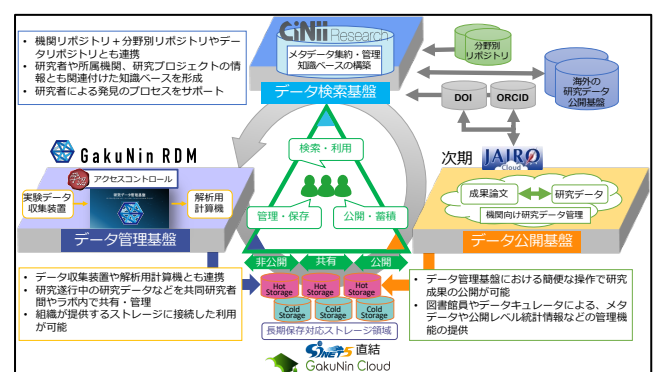


図 1 共通研究データ基盤 NII RDC の全体構成

2. 研究データ基盤 NII RDC のシステム開発

2.1 研究データ管理サービス GakuNin RDM

研究データ管理サービス GakuNin RDM は、研究者が NII RDC 上で研究データ管理 (RDM: research data management) 業務を行う際に、それをサポートする Web アプリケーションである。

(1) GakuNin RDM のシステム設計

GakuNin RDM のシステム設計では米国 COS が開発したオープンソースソフトウェアの研究データ管理ツール OSF をベースに用いた。主要部分の開発言語は Python であり、Web フレームワークは Django [27] と Flask [28]、Java Spring

では Ember.js [29] を採用している。また, GakuNin RDM のサービスはマイクロサービスアーキテクチャで構成されている。GakuNin RDM では Web アプリケーションサーバ OSF, 管理用サーバ OSF Admin, レンダリングサーバ Modular File Renderer (MFR), ファイル中継サーバ Water Butler, API サーバ, 認証サーバ Central Authentication Service (CAS) [30], Wiki サーバと細分化した。GakuNin RDM のマイクロサービスで使用されているミドルウェアは, 全文検索エンジンの Elasticsearch [31], データベースの PostgreSQL [32], メッセージブローカーの RabbitMQ [33], 分散タスクキュー Celery [34], 定期タスク Celerybeat, 画像変換ライブラリの unoconv がある。図 2 に GakuNin RDM のマイクロサービスアーキテクチャを示した。

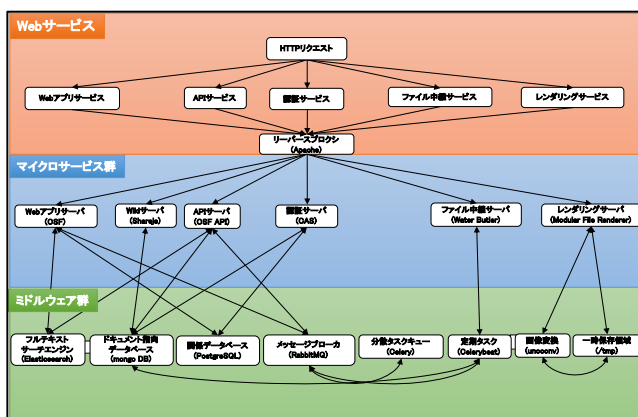


図 2 GakuNin RDM のマイクロサービス構造

GakuNin RDM に登録された非公開の研究データを公開する際は, 次節で紹介する機関リポジトリソフトウェア専用のアドオンを通じ研究データ公開サービスに送られる。

(2) GakuNin RDM のアプリケーション実装結果

GakuNin RDM は利用者のクライアント端末 (PC, スマートフォン等) にあるファイルを, ブラウザからネットワーク経由でファイルをアップロードして保存・共有する機能を有する。GakuNin RDM は研究者が産出する研究データの所在を明確にし, 所属機関の研究データ管理ガイドラインに準拠した RDM 業務を支援することができる。と考える。

また, 著者らは時刻認証局の発行するタイムスタンプトークンを用いた研究証跡保存機能を開発した, 具体的には NII UPKI 提供のタイムスタンプサービスを利用している。GakuNin RDM サービス中に保存された研究データは, 第三者機関の時刻認証局が発行したタイムスタンプトークンにより, ファイルのハッシュ値が存在した時刻をデータベース中に記録している。これにより, データ改ざんなどの不正を抑止し, 不正が発覚した際に追跡調査できる仕組みを持つため, 組織における情報管理のガバナンスの観点からも有用と考える。

次に, 著者らは OSF のマイクロサービス構造を継承しつつ, 日本の学術機関の需要に合わせ Microsoft Azure Blob Storage [35], OpenStack Swift [36], Nextcloud [37], S3 互換ストレージを GakuNin RDM へ RESTful API 経由で接続するためのストレージアドオンを実装した。利用者は GakuNin RDM のアドオンを介して, 外部オブジェクトストレージや研究用ツールのクラウドサービスと連携して研究データ管理を実施できる。図 3 に GakuNin RDM の Web アプリケーションの各機能のユーザーインターフェースを示した。

加えて, 著者らはサービス利用機関のシステム管理者向けにアドオンを有効・無効にするアドオン制御機能を管理機能 GakuNin RDM Admin 内に実装した。また, GakuNin RDM サービス中で機関別に標準使用するストレージを RESTful API 経由で選択的にマウントする機関ストレージ機能も実装した。

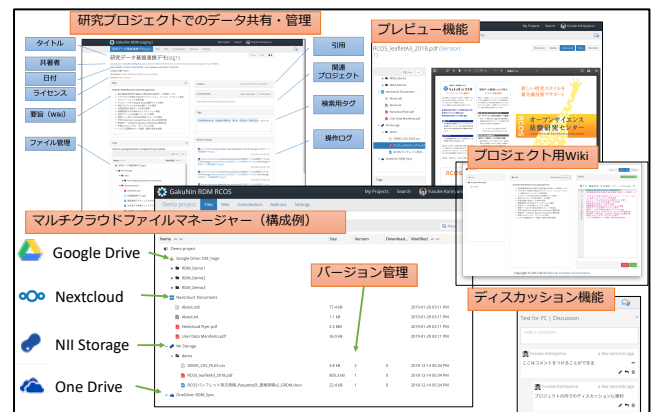


図 3 開発中の GakuNin RDM のフロントエンドの機能

NII RDC のサービス運用面では, パブリッククラウドとプライベートクラウドを併用し, プロジェクトの性質や運用・開発状況に応じて併用しながらハイブリッドクラウドの形態で運用している。GakuNin RDM のアプリケーションでは, この実現にコンテナ仮想化 Docker, コンテナオーケストレーション環境 Kubernetes を前提に運用している [38]。

(3) GakuNin RDM のユースケース

GakuNin RDM の利用ユースケースとしては, 学術機関の機関単位での参加を対象に, 2020 年後半までオープン参加でのログラン実証実験を開催している。2019 年 8 月現在は東京大学・京都大学・名古屋大学・北海道大学・九州大学・金沢大学・富山大学の 7 機関が参加している。実験参加機関の研究者は GakuNin RDM サービスの Web サイト (<https://rdm.nii.ac.jp>) から所属機関が発行する全学共通 ID を用いて GakuNin RDM へログインして試用することができる。実験では, GakuNin RDM の名称の由来にもなっている学認フェデレーションの機関 IdP を用いて認証を行っている。また分野応用のユースケースとして, 東京大学定量生命科学研究所では生命科学分野での画像における研究不

正防止を目的とした業務システムで GakuNin RDM を試験導入中である。この研究不正防止システムでは GakuNin RDM を介して組織内の全採録決定の論文中で使用されている画像を抽出し、研究所内の研究倫理部門の担当者が点検を実施している。

2.2 研究データ公開サービス JAIRO Cloud

JAIRO Cloud はオープンアクセスリポジトリ推進協会 (JPICOR) と NII が開発・共同運営している、学術機関向けの機関リポジトリのクラウドサービスの Web アプリケーションである。現行の JAIRO Cloud サービスでは、WEKO2 という NII が開発したリポジトリソフトウェアをベースに構築されている [39]。オープンアクセスリポジトリ推進協会 (JPICOR) と NII が共同運営している。2019 年 7 月時点で 570 機関が利用している。これは国内の機関リポジトリ総数 796 件の 71% に当たる。しかしながら、既存の機関リポジトリは、学術論文、博士論文、そして大学紀要などの文書の公開が中心であり、研究データのバージョン管理 [40]、分野特有のメタデータ [41]、ストレージ管理 [42]への対応など、研究データ対応は十分でない。このため著者らは、2020 年後半の JAIRO Cloud サービスのリプレースに向けて、ベースソフトウェア WEKO3 の新規開発を進めている。

(1) WEKO3 版 JAIRO Cloud のシステム設計

WEKO3 版 JAIRO Cloud は欧州原子核研究機構 (CERN) が開発するリポジトリソフトウェアのフレームワークである Invenio [43] を採用した。著者らは Invenio をベースソフトウェアとして、WEKO2 が有する機関リポジトリ機能に加えて、バージョン管理、メタデータ管理、ストレージ管理機能を強化した WEKO3 を開発した。この WEKO3 をベースにした WEKO3 版 JAIRO Cloud では、サービスを構成するタスク管理、全文検索、画像処理、統計処理、外部 API などの機能がモジュールとして実装されている。WEKO3 のマイクロサービスで使用されているミドルウェアは、全文検索エンジンの Elasticsearch、データベースの PostgreSQL、インメモリのキーバリュデータベース Redis [44]、メッセージブローカーの RabbitMQ、分散タスクキュー-Celery がある。図 4 に WEKO3 版 JAIRO Cloud のマイクロサービスアーキテクチャを示した。

WEKO3 版 JAIRO Cloud に登録された論文や研究データはサービス中でメタデータが付与され、学術機関リポジトリデータベース (IRDB: Institutional Repository Data Base) にメタデータが集約された後、次節で説明する研究データ検索サービスの学術情報ナレッジグラフに取り込まれる。

(2) WEKO3 版 JAIRO Cloud アプリケーション実装結果

WEKO3 版 JAIRO Cloud では研究者自身による研究デー

タの公開機能 (セルフアーカイブ機能)、同一機関内の別プロジェクトなどでデザインを変更できるマルチリポジトリ機能、画像のデジタル・アーカイブ機能などの実装を計画している。図 5 に WEKO3 版 JAIRO Cloud のアイテム詳細ページのユーザーインターフェースを示した。

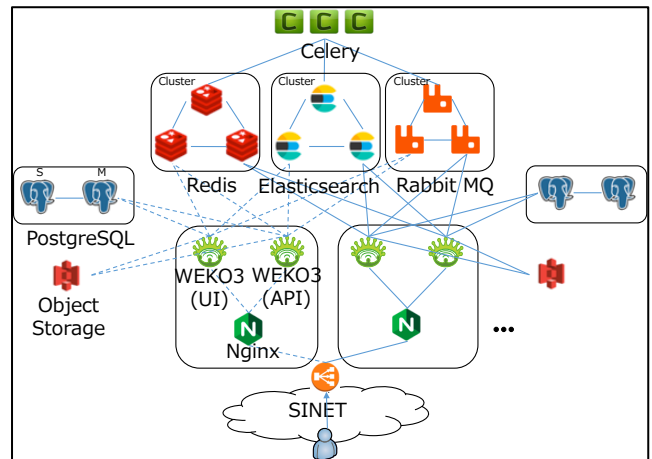


図 4 WEKO3 版 JAIRO Cloud のマイクロサービス構造



図 5 WEKO3 版 JAIRO Cloud のフロントエンドの構成

(3) WEKO3 版 JAIRO Cloud のユースケース

WEKO3 版 JAIRO Cloud は 2019 年 8 月現在、システム開発中ではあるが、2019 年度を目処に国内の学術機関に向けて現行の JAIRO Cloud から WEKO3 版 JAIRO Cloud への、先行的な移行実験を計画している。専門分野への応用として社会調査研究や生理学研究分野での適用を目的としたプロジェクトを並行して進めている。

2.3 研究データ検索サービス CiNii Research

CiNii とは NII が提供している学術情報検索サービスであり、研究者や学生が分野を問わずに日本語の論文、日本の大学図書館の蔵書および博士論文を検索可能である。NII が提供している学術情報検索サービスである。しかしながら、現状では CiNii は論文と関連する研究データは登録されておらず、研究データを検索することはできない。

また、NII の学術情報検索データベースはデータベースがそれぞれ独立しており、横断検索することはできない。そこで後継として開発が進められている CiNii Research では、研究活動そのものに焦点を当て、論文だけでなく研究プロジェクト情報、研究者情報そして研究データが統合的に横断検索できるようにデータベースの整備と検索サービスの開発を進めている。

(1) CiNii Research のシステム設計

CiNii Research は CiNii Articles の論文 2000 万件、CiNii Books の書籍 1200 万件、KAKEN の研究者 20 万人・助成 60 万プロジェクトの情報に加え、機関リポジトリ・分野リポジトリ・JaLC (Japan Link Center) [45]・DataCite [46] の研究データ等を整理して、横断検索可能なデータに編纂 (再構成) している。データベースのレコード件数は約 6760 万件である。単純に横断検索をできるようにしているのではなく、文献と著者、研究データといった検索対象となる学術情報資源間の名寄せや関係リンクを構築することで、データ統合をしている。これを CiNii ナレッジグラフと呼んでいる。CiNii ナレッジグラフを構成するために、CiNii の文献と KAKEN の成果文献を名寄せしたり、KAKEN の報告書からプロジェクトと文献と研究者の関係を抽出して関係リンクを作成するといったことを行っている。関係リンクの整備は開始直後であるが、レコードの件数は既に 1080 万件ある、既存の学術コンテンツのデータベースと合わせると全件の 14%程度はデータ関係性のリンクとなっている。表 1 に CiNii Research のデータベースで利用されている学術情報資源とその関係リンクの件数を示す。表 1 中の J-STAGE は JST 電子ジャーナル公開サービス [47]、NACSIS-CAT は NII の目録所在情報サービス [48]、NDL オンラインは国立国会図書館検索・申込オンラインサービス [49]。SSJDA (Social Science Japan Data Archive)、IDR (Informatics Research Data Repository) は NII の情報学研究データリポジトリ [50]、東京大学社会科学研究所附属社会調査・データアーカイブ研究センターの統計調査、社会調査の個票データのデータベース [51]。RUDA (Rikkyo University Data Archive) は立教大学社会情報教育研究センターの社会調査の研究目的での二次利用のためのデータアーカイブである [52]。また、図 6 に CiNii Research の CiNii ナレッジグラフを可視化した例を図示した。ネットワーク図の円形のノードは個別の論文や研究データ、研究者などを表しており、エッジはそれらの関係リンクを表している。CiNii Research はフルスクラッチで開発されているが、ミドルウェアや Web フレームワークは標準的な汎用性の高い OSS のパッケージを用いている。CiNii Research では全文検索エンジンとして Elasticsearch、データベースとして MongoDB [53] を利用している。

表 1 CiNii Research における CiNii ナレッジグラフを構成するデータ件数とデータ源

種類	データ件数	データ源
論文	35.7M	CiNii Articles, J-STAGE, IRDB
書籍	12 M	NACSIS-CAT
博士論文	0.7 M	NDL オンライン, IRDB
プロジェクト	0.9 M	KAKEN
研究データ	15.7 M	DataCite, JaLC, IDR, SSJDA, RUDA
研究者	2.7 M	KAKEN, NACSIS-CAT
データ件数合計	67.6 M	All
関係リンク	10.8 M	All

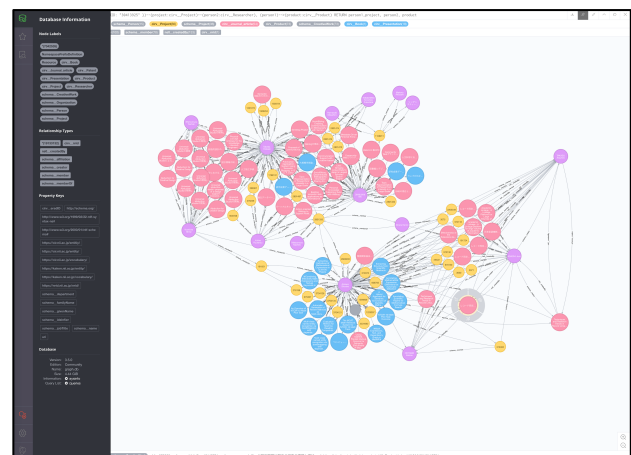


図 6 CiNii Research の学術情報ナレッジグラフ中のデータベース関係性の可視化

(2) CiNii Research アプリケーション実装結果

前述の通り、CiNii Research は横断検索のためのデータベース構築において、名寄せやデータ統合、データ関係性記述のためにナレッジグラフが使われているのが特色である。検索アプリケーションとしては、CiNii ナレッジグラフを利用して、学術資源の種類を横断した検索や、個別の論文に関係する研究データを提示といったことを可能としている。図 7 は CiNii Research のフロントエンドでの検索結果で、関連付けられた研究データと論文が表示されている。

(3) CiNii Research のユースケース

CiNii Research は Web からアクセスできる公開サービスのため、機関への導入などの実証実験は行わないが、より精緻な学術情報ナレッジグラフを作成するためには、専門分野データの拡充が必須となる。そのため、著者らは国内外の専門機関と協力し CiNii Research 中の学術情報と研究

データの引用・被引用関係を取り込んで分析するアプローチを取っている。

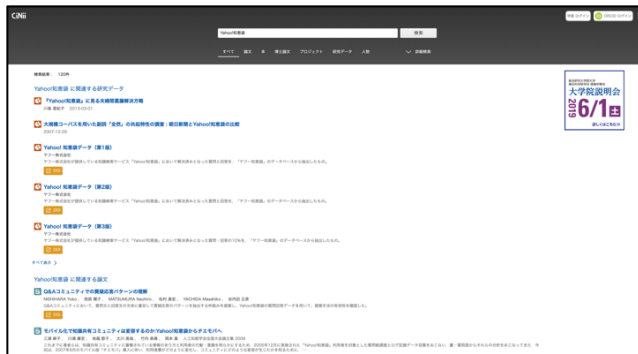


図 7 開発中の CiNii Reserch のフロントエンドの構成

このアプローチの 1 つ目の例は、NII の IDR が配布している企業・コンソーシアム・学会から収集・整理された情報学研究データ・音声コーパス・テストコレクション等の研究データである。IDR では研究データの利用者に 1 年毎にデータ利用に関する成果報告を要求しており、それによって研究成果とデータの ID を IDR 側で関連付けている。IDR の成果文献のうち NAID (NII 論文 ID) で 21.5%, DOI (Digital Object Identifier) で 13.8% が研究データに紐付けされている。これらの ID は CiNii Research 内の学術情報との名寄せや、研究データの関連付けなどに活用される。また、成果文献と研究データの時系列的な分析や、成果文献と KAKEN の研究分野との照合といった、ナレッジグラフを介してつながることによって可能な横断的な分析にも取り組み始めている [54]。

他の事例としては、東京大学社会科学研究所の SSJDA が挙げられる。SSJDA では研究者や機関から寄託された調査データセットを提供しており、その利用要件として謝辞へのデータ利用の記載及び 1 年毎の利用報告を求めている。それを基に成果文献と調査データセットの関係も公開しているが、IDR とは異なり研究成果の ID 関連付けまでは行われていない。そのため CiNii Research 側で内部の学術情報との照合を行った結果、NAID で 40.4%, NCID (NII 書誌 ID) で 9.4% が紐付けされている。

3. 考察

我々が開発した、共通研究データ基盤 NII RDC は全国の学術機関の組織内部で提供する IT インフラとして導入することができる。管理・公開・基盤の 3 つのサブシステムは同時に一式で導入する必要はなく、組織内のシステム導入・リプレースの事情に合わせ、部分的・選択的に導入することが可能であるため、NII RDC は短期間かつ低コストにサービスを導入することが可能である。

また、実証実験におけるユースケースでは、学術機関に

おける研究データ管理ガイドラインに沿った組織内の研究データ管理をサポートしている。一方、専門分野への応用でも、大型研究プロジェクトでも領域代表者などのプロジェクトマネージャーによる研究データ管理や、プロジェクト成果公開データベースのための IT 基盤として活用できる一定の目処がついたと考える。

4. まとめ

共通研究データ基盤 NII RDC の管理・公開・検索の 3 サービスは、いずれも 2020 年後半に本稼働予定であり、NII のシステム研究開発と、学術機関の情報基盤センターや図書館の現場での導入に向けた実証実験が進められている。各基盤の実証実験やデータベース連携では、自然科学分野だけでなく人文社会科学分野でのユースケースも発生している。

また、GakuNin RDM と WEKO3 は GitHub 上でオープンソースソフトウェアとしても開発・公開している (<https://github.com/RCOSDP>) [55]。このため、学術機関の開発者は必要があれば新機能を開発し、オープンソースプロジェクトへ改修の提案や自機関のシステムに組み込むなどの応用も可能である。今後、NII RDC では DMP 機能の追加や、データ解析のための基盤との関係にも視野に入れて機能拡張していく必要があると考える。

参考文献

- [1] A. Treloar, "The Research Data Alliance: globally co-ordinated action against barriers to data publishing and sharing," *Learn. Publ.*, vol. 27, no. 5, pp. 9–13, Sep. 2014.
- [2] 船守美穂, "オープンサイエンス推進に関わる学術機関の役割と課題," 情報知識学会, 2017, vol. 27, no. 4, pp. 309–322.
- [3] 内閣府, "国際的動向を踏まえたオープンサイエンスに関する検討会 - 総合科学技術・イノベーション会議-", 2015. <https://www8.cao.go.jp/cstp/sonota/openscience/>, (参照 2019-08-19).
- [4] E. D. Foster, MSLS and A. Deardorff, MLIS, "Open Science Framework (OSF)," *J. Med. Libr. Assoc.*, vol. 105, no. 2, p. 38, Apr. 2017.
- [5] N. Pontika, P. Knoth, M. Cancellieri, and S. Pearce, "Developing Infrastructure to Support Closer Collaboration of Aggregators with Open Repositories," *Lib. Q.*, vol. 25, no. 4, pp. 172–188, Feb. 2016.
- [6] S. de Witt, D. Lecarpentier, M. van de Sanden, and J. Reetz, "EUDAT - A Pan-European Perspective on Data Management," in *2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)*, 2017, pp. 1–5.
- [7] N. Rettberg and B. Schmidt, "OpenAIRE — Building a Collaborative Open Access Infrastructure for European Researchers," *Lib. Q.*, vol. 22, no. 3, pp. 160–175, 2012.
- [8] L. Chan and F. Loizides, *Expanding Perspectives on Open Science: Communities, Cultures, and Diversity in Concepts and Practices*. 2017.
- [9] 船守美穂, "e-研究インフラの海外動向-これからの科学技術の国際競争の分け目か?," 大学 ICT 推進協議会年次大会 2017, 2017.

- [10] 内閣府, *統合イノベーション戦略2019*. 2019.
- [11] 国際的動向を踏まえたオープンサイエンスの推進に関する検討会, “国立研究開発法人におけるデータポリシー策定のためのガイドライン,” 2018.
- [12] 国際動向を踏まえたオープンサイエンスの推進に関する検討会, *研究データリポジトリ整備・運用ガイドライン*. 2019.
- [13] AXIES 大学 ICT 推進協議会, *学術機関における研究データ管理に関する提言*. 2019.
- [14] Q. Schiermeier, “Data management made simple,” *Nature*, vol. 555, no. 7696, pp. 403–405, Mar. 2018.
- [15] Editorial, “Everyone needs a data-management plan,” *Nature*, vol. 555, no. 7696, pp. 286–286, Mar. 2018.
- [16] 池内有為, “データマネジメントプラン (DMP) — FAIR 原則の実現に向けた新たな展開,” *情報の科学と技術*, vol. 68, no. 12, pp. 613–615, Dec. 2018.
- [17] I. Ohmukai and H. Takeda, “CiNii: bringing linked data to Japan’s largest scholarly search engine - Microsoft Academic,” *DCMI '09 Proceedings of the 2009 International Conference on Dublin Core and Metadata Applications*, 2009.
- [18] 山地一禎, “オープンソースソフトウェアの開発事例とコミュニティ(オープンソースソフトウェア:OSS),” *情報の科学と技術*, vol. 64, no. 2, pp. 54–59, Feb. 2014.
- [19] 前田朗, 加藤寛士, 高橋菜奈子, 山地一禎, “JAIRO Cloud as a system infrastructure,” *J. Coll. Univ. Libr.*, vol. 103, pp. 9–15, Mar. 2016.
- [20] K. Kurakawa *et al.*, “Researcher Name Resolver: identifier management system for Japanese researchers,” *Int. J. Digit. Libr.*, vol. 14, no. 1–2, pp. 39–58, Feb. 2014.
- [21] T. Kurimoto *et al.*, “SINET5: A low-latency and high-bandwidth backbone network for SDN/NFV Era,” in *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2017, pp. 1–7.
- [22] K. Yamaji, T. Kataoka, M. Nakamura, T. Orawiattanakul, and N. Sonehara, “Attribute Aggregating System for Shibboleth Based Access Management Federation,” in *2010 10th IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet*, 2010, pp. 281–284.
- [23] M. Shimaoka *et al.*, “Design of Architecture for University PKI,” *IEICE Trans. Commun. B*, vol. 94, no. 10, pp. 1246–1260, 2011.
- [24] Y. Komiyama and K. Yamaji, “Nationwide Research Data Management Service of Japan in the Open Science Era,” in *2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, 2017, pp. 129–133.
- [25] Y. Komiyama and K. Yamaji, “Interdisciplinary research data management service for the whole universities and research institutions in Japan that emphasizes research integrity,” in *Digital Infrastructure for Research 2018*, 2018, no. 6, p. 164.
- [26] F. Kato, T. Kanazawa, K. Kurakawa, and I. Ohmukai, “CiNii Research: A prototype of Japanese Research Data Discovery,” in *eResearch Australasia 2018*, 2018.
- [27] J. Elman and M. Lavin, *Lightweight Django*. O’Reilly Media, 2015.
- [28] M. Grinberg, *Flask web development: developing web applications with Python*. O’Reilly Media.
- [29] J. Cravens, *Building Web Apps with Ember.js*. O’Reilly Media, 2014.
- [30] H. Naito, S. Kajita, Y. Hirano, and K. Mase, “Multiple-Tiered Security Hierarchy for Web Applications Using Central Authentication and Authorization Service,” in *2007 International Symposium on Applications and the Internet Workshops*, 2007, pp. 27–27.
- [31] C. Gormley, *Elasticsearch: the Definitive Guide*. O’Reilly Media, 2015.
- [32] J. C. (John C. Worsley and J. D. Drake, *Practical PostgreSQL*. O’Reilly, 2002.
- [33] S. Boschi and G. Santomaggio, *RabbitMQ cookbook*. 2013.
- [34] M. Lunacek, J. Braden, and T. Hauser, “The scaling of many-task computing approaches in python on cluster supercomputers,” in *2013 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER)*, 2013, pp. 1–8.
- [35] B. Calder *et al.*, “Windows Azure Storage,” in *Proceedings of the Twenty-Third ACM Symposium on Operating Systems Principles - SOSP '11*, 2011, p. 143.
- [36] J. Arnold, A. Oram, C. E. Thornton, E. Volckhausen, R. Demarest, and SwiftStack team, *OpenStack Swift: using, administering, and developing for Swift object storage*. O’Reilly Media, 2015.
- [37] J. T. Mościcki and L. Mascetti, “Cloud storage services for file synchronization and sharing in science, education and research,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 78, pp. 1052–1054, Jan. 2018.
- [38] D. Bernstein, “Containers and Cloud: From LXC to Docker to Kubernetes,” *IEEE Cloud Comput.*, vol. 1, no. 3, pp. 81–84, Sep. 2014.
- [39] 山地一禎, 青山俊弘, 武田英明, “学術資源共有基盤 WEKO の開発,” *デジタル図書館編集委員会*, 2009.
- [40] L. Lyon, “Dealing with Data: Roles, Rights, Responsibilities and Relationships. Consultancy Report,” Jun. 2007.
- [41] C. Willis, J. Greenberg, and H. White, “Analysis and synthesis of metadata goals for scientific data,” *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 63, no. 8, pp. 1505–1520, Aug. 2012.
- [42] R. C. Amorim, J. A. Castro, J. Rocha da Silva, and C. Ribeiro, “A comparison of research data management platforms: architecture, flexible metadata and interoperability,” *Univers. Access Inf. Soc.*, vol. 16, no. 4, pp. 851–862, Nov. 2017.
- [43] V. Nilsen and G. Anelli, “Knowledge transfer at CERN,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 112, pp. 113–120, Nov. 2016.
- [44] Jing Han, Haihong E, Guan Le, and Jian Du, “Survey on NoSQL database,” in *2011 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications*, 2011, pp. 363–366.
- [45] T. Kato, E. Tsuchiya, S. Kubota, and Y. Miyagawa, “Japan Link Center (JaLC): link management and DOI assignment for Japanese electronic scholarly contents,” *J. Inf. Process. Manag.*, vol. 55, no. 1, pp. 42–46, 2012.
- [46] J. Brase, “DataCite - A Global Registration Agency for Research Data,” in *2009 Fourth International Conference on Cooperation and Promotion of Information Resources in Science and Technology*, 2009, pp. 257–261.
- [47] 科学技術振興機構 (JST), “生まれ変わった J-STAGE で日本の学術誌を世界へ!,” *JSTnews*, vol. 2018, no. 7, pp. 3–5, 2018.
- [48] Sato Hatsumi, “Reconstruction of NACSIS-CAT/ILL:Outline of the discussions and some views,” *J. Coll. Univ. Libr.*, vol. 111, p. n/a, 2019.
- [49] 川瀬直人, “システムとしての国立国会図書館オンライン,” *カレントアウェアネス*, no. 338, pp. 5–9, 2018.
- [50] 大山敬三, 大須賀智子, “情報学研究資源としてのデータセットの共同利用(<特集>人工知能研究のベンチマークとは-標準問題・データセット・評価手法-),” *人工知能*, vol. 31, no. 2, pp. 254–261, 2016.
- [51] S. Miwa and K. Sato, “The role and function of social science data archive in the epoch of open science: A case of SSJDA,” *J. Inf. Sci. Technol. Assoc.*, vol. 68, no. 10, pp. 489–494, 2018.
- [52] 朝岡誠, 前田豊, “データアーカイブ事業の展望に関する一考察,” *社会と統計. 立教大学社会情報教育研究センター研究紀要*, no. 1, pp. 49–62, 2015.
- [53] K. Chodorow, *MongoDB: the definitive guide*. 2013.
- [54] 中渡瀬秀一, 加藤文彦, 大向一輝, “研究データ共有における研究成果および利用者の時系列的分析,” *研究報告人文科学とコンピュータ (CH)*, 2019, vol. 2019-CH-11, no. 13, pp. 1–4.
- [55] Research Center for Open Science and Data Platform, “RCOS · GitHub,” 2019. <https://github.com/RCOSDP>, (参照 2019-08-16).