

キャンパスオントロジーに基づく 異種データ間の相関検出

非会員 塚越 雄登^{*,**a)} 非会員 江上 周作^{**,*} 非会員 清 雄一^{*}
非会員 田原 康之^{*} 正員 大須賀昭彦^{*}

Campus Ontology-Based Correlation Detection Among Heterogeneous Data Sets

Yuto Tsukagoshi^{*,**a)}, Non-member, Shusaku Egami^{**,*}, Non-member, Yuichi Sei^{*}, Non-member,
Yasuyuki Tahara^{*}, Non-member, Akihiko Ohsuga^{*}, Member

(2020年12月4日受付, 2021年6月13日再受付)

For data-driven decision making, it is essential to build a data infrastructure that stores various data. Since various data are accumulated within organizations such as universities, companies, and local governments, integration of data in different contexts and cross-sectional analysis are issues. Knowledge graphs with a graphical structure that can flexibly change the schema are suitable for integrating heterogeneous data. In this study, we focused on a university campus as an example and proposed an ontology for various data such as lectures, buildings, purchasing, bicycle parking, and energy consumption. In particular, it has become easier to extract data across heterogeneous data collected within an organization by semantically linking dimensions with various expressions. Then, the collected unstructured data was accumulated as a knowledge graph based on the ontology, and the data infrastructure was constructed. In addition, we found several correlations through scenario-based experiment using this knowledge graph and showed the possibility that it could be applied to considering approach for university management and improving the campus environment.

キーワード: ナレッジグラフ, オントロジー, 相関分析, 学内環境改善

Keywords: knowledge graph, ontology, correlation analysis, campus environment improving

1. はじめに

近年, Evidence-based policy making (EBPM)⁽¹⁾ に代表されるように, データに基づく意思決定のために, 様々なデータを蓄積したデータ基盤が求められている。大学などの高等教育機関においても, 収集したデータを活用するための

方法が検討されている⁽²⁾。例えば, 大学においては, 講義情報, イベント情報, 購買情報, 駐車・駐輪情報, 施設利用情報などが集積される。しかしこれらの多くはデータの形式や構造が多様なため, 活用されていないか, 単体での利用に留まり, 異種データの相乗的な活用という面では多くの可能性を持っていると考えられる。

ここで, 異種データを統合した上で, データ同士を関連づけてグラフ形式で記述する知識グラフ(ナレッジグラフ)を使用すると, 多くの場合において, よりよい理解や分析が行えることが明らかになっている⁽³⁾。さらに, 知識をモデル化するための表現プリミティブであるオントロジーの構築と, それに基づいたナレッジグラフによるデータ統合が進められている。

そこで本研究では, 組織の一例として電気通信大学を取り上げ, 大学運営や環境改善のための施策検討に向けた, 異種データ間の検索と相関関係の分析を容易にするオントロジーを開発した。具体的には, まず大学キャンパス運営や学生生活に関する様々な情報, 位相的時間関係および地理空間的なジオメトリ情報などの関係性を定義した。また, 多

[†] この論文は, 情報処理学会知能システム研究会⁽¹⁾ および IEEE AIKE 2020⁽²⁾ で既発表の内容を含みます。

a) Correspondence to: Yuto Tsukagoshi. E-mail: tsukagoshi.yuto@ohsuga.lab.uec.ac.jp

^{*} 電気通信大学大学院 情報理工学研究所
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1
Graduate School of Informatics and Engineering,
The University of Electro-Communications
1-5-1, Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

^{**} 国立研究開発法人産業技術総合研究所人工知能研究センター
〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-7
Artificial Intelligence Research Center,
The National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology
2-4-7, Aomi, Koto-ku, Tokyo 135-0064, Japan

次元データにおいてデータ抽出の単位となる、次元(ディメンション)間の関係を定義した。これにより、データ抽出時に時空間的な単位となる次元の粒度が異なるデータから、必要な情報を横断的に検索することが可能になり、多角的な分析が可能になった。次に、これまで異なるコンテキストで蓄積されていた非構造化データを、オントロジーに基づいて Resource Description Framework (RDF) 形式のナレッジグラフとして統合した。データを学内に限定公開するとともに、SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL) クエリを用いて複雑な検索が可能なデータ基盤を構築した。同時に可視化アプリケーションを開発し、異なるデータの関係性を視覚的に確認できるようにした。最後に、ナレッジグラフを利用した実データの活用例を通じて、異種データ間の新たな関係性を示した。本研究の全体の流れを Fig. 1. に示す。

本研究の貢献は主に以下の3点である。

- (1) キャンパスオントロジーの構築：講義情報、施設情報、購買情報、駐輪情報、エネルギー情報などに対し、“時限”のようにコンテキストによって異なる学内データに特有の時間的次元の単位や、一般的な時間関係、キャンパス内の建物や道路の地理空間的な関係、概念間の階層関係を定義し、意味的に接続した。これにより、大学運営や学生生活に関する異種データの統合と、多角的な分析を容易にした。
- (2) オントロジーに基づくデータ基盤の構築：構築したオントロジーに基づいて形式の異なる様々なデータをナレッジグラフとして統合し、エンドポイントからアクセス可能な形でこれを公開(学内限定)した。また、クエリの知識を持たない一般ユーザーでも、異なるデータを任意の時間的・空間的次元でマッシュアップして可視化し、新たな関係性が発見できるようなアプリケーションを開発した。

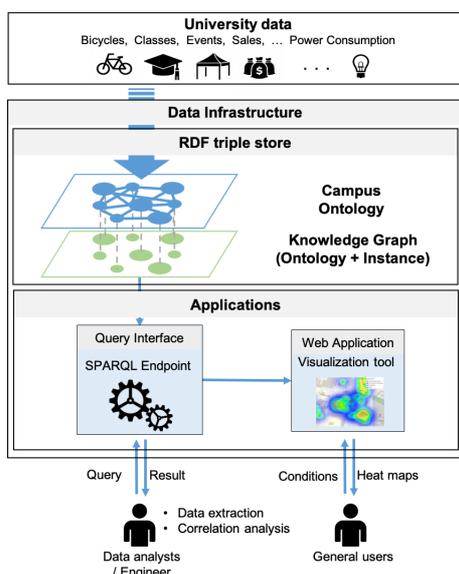


Fig. 1. Overview of this study

- (3) 構築したオントロジーに基づく相関関係の発見：大学キャンパス運営や環境改善のための施策検討に資する、オントロジーの応用例を示した。具体的には、キャンパスオントロジーで定義した意味的な関係性に基づいてデータを抽出し、それらの相関関係を調査した。これにより、通常の分析では見出し難いデータ同士の有意な相関関係を新たに発見し、構築したオントロジーが運営や環境改善のための施策検討に有用であることを確認した。

本稿の構成は次の通りである。まず2章で、関連研究について述べる。次に3章で、構築するオントロジーの各部構造について述べる。4章で、オントロジーに基づいたナレッジグラフ構築および、可視化アプリケーション開発について述べる。5章で、ナレッジグラフに基づいた相関抽出の例を示し、ナレッジグラフの有用性と今後の展望について考察する。最後に6章でまとめとする。

2. 関連研究

〈2・1〉 Linked Data, ナレッジグラフ, オントロジー

1章で述べた通り、今日ではデータに基づく意思決定のために、各国の政府や企業が中心となって、データの活用基盤生成を行なっている。ここで、異種データの形式統一やオープンにする場合の有用性向上のために、統一形式でデータ同士を互いにリンクさせる Linked Data の利用が推奨されている。Linked Data とは、データを [主語, 述語, 目的語] のトリプルで表現する RDF を用いて構造化した有向グラフであり、広義にはナレッジグラフともよばれる。組織で集積されるデータをナレッジグラフに統合することで、分野横断的な検索やデータ抽出が可能になり、従来のようにデータ単体ではなく、それと繋がるあらゆるデータを含めた複合的な観点から、データを活用可能になる。オントロジーとは知識をモデル化するための表現プリミティブであり、Gruber⁽⁶⁾によれば、システム間でのデータ交換や複数の異種システムとデータベースにおける相互運用性促進などに標準的に利用されている。

〈2・2〉 都市データのためのナレッジグラフ 本研究のように、様々な分野のデータを集積・統合して活用する試みに類似した研究はスマートシティ分野に多く見られる。Lopez ら⁽⁷⁾は、Linked Data として都市データを公開するためのプラットフォームを開発した。プラットフォームは静的データの他、センサーデータを収集し、RDF データとしてリアルタイムで公開する。この研究の最大の利点は、都市の複数のセンサーデータと静的データを統合および処理することである。しかし、このアプローチは実センサの設置によるデータ取得や複数の有償ライセンスの導入によって実現されるものであり、導入および運営の維持にコストがかかるため、本研究で想定する大学キャンパスの様な小規模組織が運営主体とした場合、同様の取り組みを行うことは難しい。また、Qamar ら⁽⁸⁾によって、スマートシティにおけるデータ収集の汎用的な枠組みである Smart City Ser-

vice Ontology (SCSO) が開発されている。これは機器からリアルタイムにデータを収集し、それらをコンピュータプラットフォームに統合して情報の交換を可能にするためのオントロジーである。行政上の都市の階層的区分などを有し、都市の各区分の統治機関を明示的に表現することが可能で、実際に駐車サービスなど4つのスマートシティアプリケーションについて、リアルタイムに収集したデータを適切に管理する活用例を示している。しかし前述のプラットフォームと同様に、大量のセンサー導入やリアルタイムでのデータ送受信環境の構築は、コストが障壁となり、学内でスマートシティサービスの導入は難しい。また、学内データはそれぞれが極めてドメイン固有で既存の枠組みによる分類が難しく、汎用的なオントロジーの応用が難しいため、これを適用することは困難である。Zhaoら⁽⁹⁾は、複数のドメインと都市が関係するスマートシティのコア概念モデルを提案している。これは、ドメイン固有のナレッジモデルを構築する前に、概念理解とデータ交換のための標準を規定するためのものであり、社会組織や物理エンティティを記述するためのコアオントロジーを組み込んでいる。抽象的な概念は参考にできるが、特定のドメインへ応用するためにはより具体的な概念設計が必要である。また Belliniら⁽¹⁰⁾は、複数フォーマットで提供される相互運用性の乏しいデータを、統合および運用可能な大きなナレッジベースとして、Km4Cityとよばれるスマートシティオントロジーを構築している。この研究では、静的、動的両方を考慮したスマートシティ関連のデータの取り込み、および検証を行っており、自治体が有する一般的な多くのデータに対して有効である。しかし大学など、より小規模でより固有のデータを有する組織においては、よりドメインに特化して粒度の細かいクラス分けと相互接続が必要になる。また我々の先行研究^{(11)~(13)}では、大学内の欠損を含む少数のデータに対して、既存のオントロジーを組み合わせることで欠損箇所の内容を推定するためのナレッジグラフ構築を行ってきた。しかし、より多くのドメイン固有な表現に対応し、データ抽出や分析を柔軟に行えるナレッジグラフを構築するには、各データの時空間的な次元を適切に格納し、抽出時の条件として活用できることが重要となり、既存オントロジーの組み合わせによって構築された従来のデータ基盤の表現範囲では不十分である。本研究では、講義という概念や、それによって90分ごとに発生する移動需要と、それに起因する自転車など公共交通機関以外のモビリティの動きなど、対象とする大学キャンパスに特有のデータについて概念の整理を行い、オントロジーとして再構築する。また Santosら⁽⁶⁾は、指標オントロジーと可視化アプリケーションの開発によって都市間の比較を容易にしている。これは複数の都市を同一の次元で抽出し、可視化してデータ比較する上で有用である。本研究では同様に、一つの組織中に存在する複数分野のデータに対して、時空間的な次元の単位を、意味的な関係で接続することで、より柔軟な検索を行えるようにオントロジーを構築し、数値や可視化に

よる比較・分析を行うことで、大学キャンパス運営や学内環境改善の一助とすることを目的とする。

3. キャンパスオントロジーの構築

本研究では大学キャンパスを対象とし、運営や環境改善のための施策検討に有用なナレッジグラフを、オントロジーに基づいて Linked Data 形式で構築する。オントロジーの設計においては、検索や推論時の実用性と、意味的な整合性の二面を考慮する必要があるが、しばしばトレードオフの関係になる。本研究では、オントロジーに基づいてナレッジグラフ化されるデータを、実用的に検索可能にすることを重視し、その上で可能な限り意味的整合性を担保して、オントロジーを設計することを目指す。ここで実用的に検索可能とは、異なるコンテキスト、異なる粒度で観測し蓄積されたデータを、任意の時間的・空間的な切り口で抽出できるよう、適切にリンクしている状態のことを指す。また大学キャンパスに限定せず、類似する他ドメインや、より広域なドメインにおける二次利用性を考慮して、既存のオントロジーの語彙や構造を参考に設計する。

オントロジーが表現する内容は次のとおりである。

(1) 大学キャンパス運営や学生生活に特有の様々な情報

- 講義・イベント情報
- 施設情報
- 購買情報
- 自転車駐輪・撤去情報
- エネルギー情報
- 気象情報

(2) (1)の情報に関する位相的時間関係および地理空間的なジオメトリ情報

オントロジーの設計にあたっては、クラス、プロパティ、インスタンスを編集する機能を備えたオープンソースのオントロジー開発環境である protégé, protege を用いた。protégé を用いて構築したクラス階層、オブジェクトプロパティ階層、データタイププロパティ階層を Fig. 2 に示す。

オントロジー設計では、大学キャンパス特有のデータに対応しつつ、一部に既存のオントロジーを再利用した。概念間の階層関係に関しては、DBpedia⁽¹⁵⁾におけるクラス関係を一部参考にし、Fig. 3 のように設計した。キャンパスオントロジーにおける主要なクラスは以下の通りである。

- **co:University**: 大学を表すクラス。
- **co:Event**: 大学に特有の講義や、その他の大学イベントを表すクラス。**co:Course** および **co:SchoolEvent** がそれぞれ、講義と学内イベントを表すサブクラスとなる。
- **co:Bicycle**: 大学に特有の、主要な移動手段である自転車に関する情報を表すクラス。**co:ParkedBicycle** および **co:RemovedBicycle** がそれぞれ、駐輪自転車と撤去自転車を表すサブクラスとなる。
- **co:Consumption**: 大学キャンパスにおけるエネルギー消費量を表すクラス。**co:PowerUsage** および

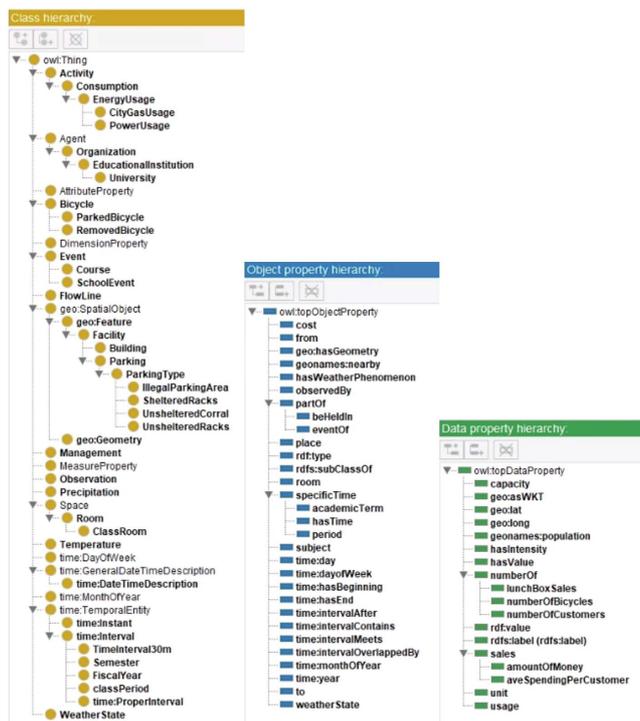


Fig. 2. Each hierarchy diagram expressed by Protégé

co : https://yt312.github.io/CampusOntology/src/co.owl#
 event : http://purl.org/NET/c4dm/event.owl#
 geo : http://www.opengis.net/ont/geosparql
 gn : http://www.geonames.org/ontology#
 greg : http://www.w3.org/ns/time/gregorian#
 ipb : http://www.ohsuga.is.uec.ac.jp/ipbicycle/resource
 ipbv : http://www.ohsuga.is.uec.ac.jp/ipbvocabulary#
 owl : http://www.w3.org/2002/07/owl#
 rdf : http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#
 rdfs : http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#
 time : http://www.w3.org/2006/time#
 teach : http://linkedscience.org/teach/ns#
 wgs_pos : http://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos#
 wo : http://www.auto.tuwien.ac.at/downloads/thinkhome/ontology/WeatherOntology.owl#
 xsd : http://www.w3.org/2001/XMLSchema#

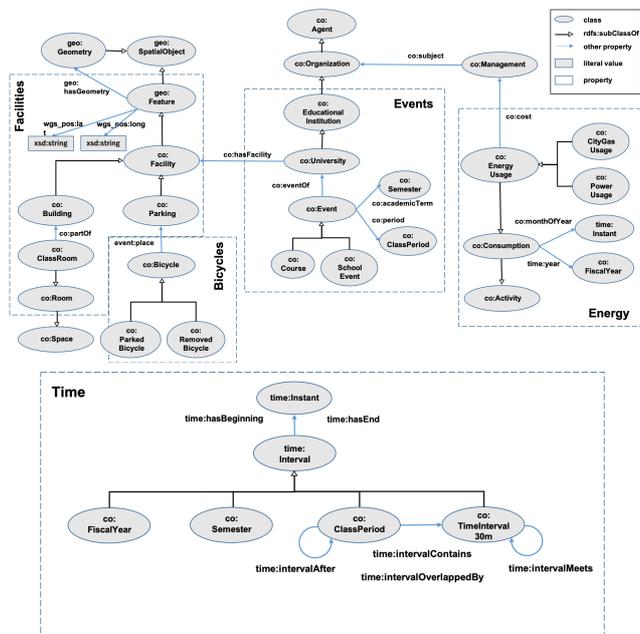


Fig. 3. Class Hierarchy

co:CityGasUsage がそれぞれ、電力使用量と都市ガス使用量を表すサブクラスとなる。

- co:Facility: 大学キャンパスにおける施設を表すク

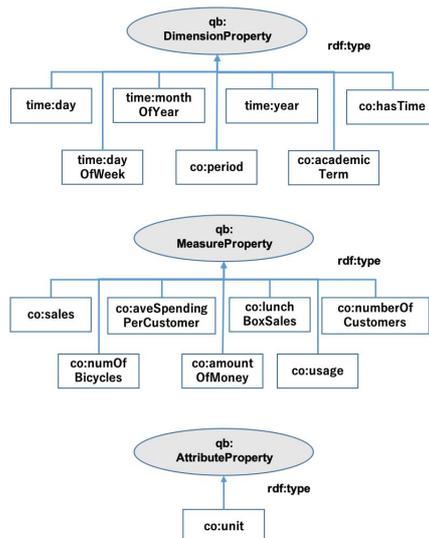


Fig. 4. Use of Data Cube Vocabulary

ラス。co:Building および co:Parking がそれぞれ、建物と駐輪場を表すサブクラスとなる。

- co:FiscalYear, co:Semester, co:ClassPeriod, co:TimeInterval30m: 大学に特有の時間的次元の単位を表す各クラス。

また Fig.4 に示すように、RDF Data Cube vocabulary (QB)⁽¹⁶⁾ を、エネルギー消費、駐輪、購買情報などの一部のモジュールで利用した。QB は、多次元データセットを、RDF を用いてモデル化するために設計された標準語彙である。

また、直接的な繋がりを持たない異なる次元の単位を、意味関係によって相互接続することで、大学によって異なる様々な時空間的次元を検索に活用できる。例えば、本研究で対象とする電気通信大学では、大学特有の時間的次元の単位として、講義の開始時刻と終了時刻から成る、“時限”という単位が存在する。これは講義の他に、駐輪台数のデータ観測などにも用いられる。一方で、電力使用量や食堂客数などのデータでは、30分単位の時間的次元が使用される。これらをリンクさせ、同一の次元の単位で双方のデータを抽出可能にすることによって、分野を跨いでの検索を容易にした。他表現との柔軟なリンクが難しい次元の単位は、Time Ontology[†] で定義されている、time:intervalOverlappedBy を用いることで時系列的な意味によってリンクした。当プロパティによってリンクされる2つの時間的次元の単位のうち、主語部を T₁、目的語部を T₂ とすると、T₁の始点は T₂の始点より後で T₂の終点より前、かつ T₁の終点は T₂の終点より後にあることを意味し、部分的な重複を意味的に説明することが可能である。また同様に time:intervalMeets や time:intervalAfter を用いることで、各次元の単位中のエンティティの時系列的な前後関係を記述した。これによって1時限ずれや30分ずれの検索など時間的な前後関係を含めた、より柔軟な検索を可能にした。

[†] https://www.w3.org/TR/owl-time/

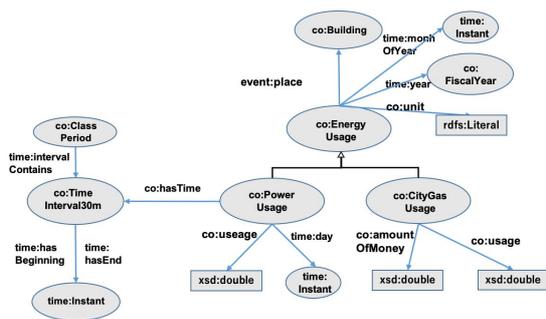


Fig. 5. Energy consumption information

一方で **co:Facility** クラスのサブクラスの **co:Building** クラスは **co:ClassRoom** クラスのような教室や食堂などキャンパス内の空間から **co:partOf** によってリンクされている。これによって、(3.4)節で後述する **co:Event** クラスのサブクラスの講義情報やイベント情報から、**co:ClassRoom** クラスを通じて **co:Facility** クラスを参照することができ、講義情報やイベント情報の地理空間的な検索が可能になる。また同様に(3.1)節および(3.5)節で述べるエネルギーと自転車の情報についても、**co:Building** や **co:Parking** を通じて地理空間的な情報の参照が可能である。

本研究では、計 14 個の既存のオントロジーから 13 個のクラスと 24 個のプロパティを再利用し、独自に 32 個のクラスと 22 個のプロパティを定義した。以降の節で大学キャンパス運営や学生生活に関する様々な情報に関する個別のスキーマについて説明する。

〈3.1〉 エネルギー消費情報 クラス間の関係を Fig. 5 に表す。エネルギーのエンティティには、エネルギーパフォーマンスとコンテキストデータを表す既存の異種オントロジーを統合する試みである OEMA (エネルギー管理適用オントロジー)⁽¹⁷⁾ を参考にした。OEMA は、エネルギーデータ用に開発された多くのオントロジーを実際のシナリオ下で相互運用するために開発されている。中でも、今回扱うデータと同様にエネルギー使用量、コスト、時間帯の 3 ファクターに言及可能な Energy & Equipment Ontology⁽¹⁸⁾ を参考にした。また、QB を利用して、エネルギー使用量、都市ガス使用量、コストなどを記述した。

〈3.2〉 購買情報 クラス間の関係を Fig. 6 に表す。購買情報において、収集したデータの中で特に意味的な表現が困難な、食堂売上高や弁当販売に関する表データなどに関しては QB を用いた。

〈3.3〉 施設情報 クラス間の関係を Fig. 7 に表す。GeoSPARQL⁽¹⁹⁾ を用いた検索が利用可能なように、**geo:Geometry** クラスのインスタンスとして、ポイント、ポリゴン、ラインストリングの値を格納し、**co:Building** クラスから **geo:hasGeometry** によってリンクする形とした。これにより、ポリゴンやラインの交差、距離などのジオメトリ検索を SPARQL 上で行うことが可能になる。また、異なる施設データ同士の相互利用を助長するため、施設間の動線を記述できる **co:FlowLine** クラスを設計した。例えば、

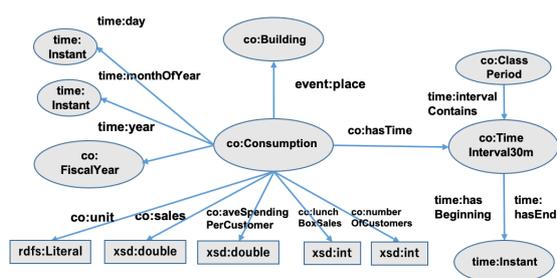


Fig. 6. Purchase information

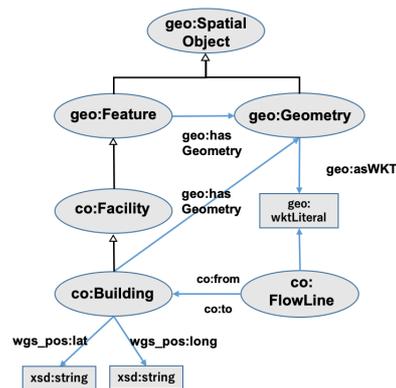


Fig. 7. Facility information

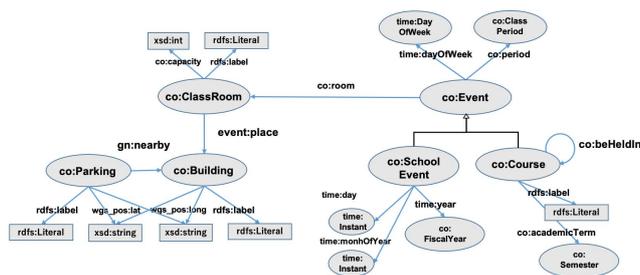


Fig. 8. Course and school event information

任意の建物から食堂までの経路のデータを格納することで、各建物に分散している食堂利用者の行動シナリオを考慮した、食堂データの利用を行えるようになる。

〈3.4〉 講義・イベント情報 クラス間の関係を Fig. 8 に表す。**co:Event** クラスは、サブクラスとして講義情報を記述する **co:Course** クラスおよび学内イベント情報を記述する **co:SchoolEvent** クラスを持ち、場所情報を持つ **co:ClassRoom** クラスと接続される。また、**co:ClassRoom** クラスは **co:Facility** クラスのサブクラスである **co:Building** クラスと接続しているため、エネルギー消費情報のような **co:Building** クラスと接続された情報との紐付けや、地理空間的な検索が可能である。また、**co:Building** クラスと **co:Parking** クラスについても **gn:nearby** によって接続されているため、自転車駐輪・撤去情報とも紐づけ可能で地理空間的な検索が可能である。

〈3.5〉 自転車駐輪・撤去情報 クラス間の関係を Fig. 9 に表す。自転車に関するデータは、大きく駐輪自転車と撤去自転車に分けられる。地理空間的な情報は、それ

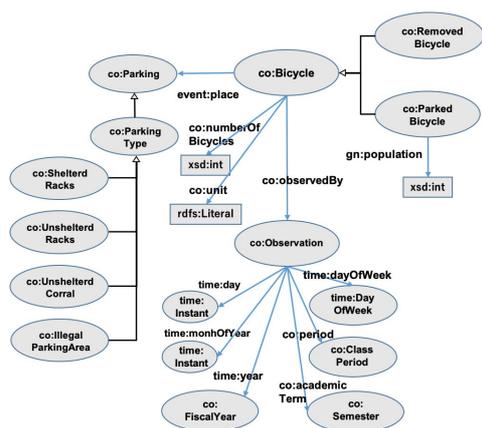


Fig. 9. Bicycle information

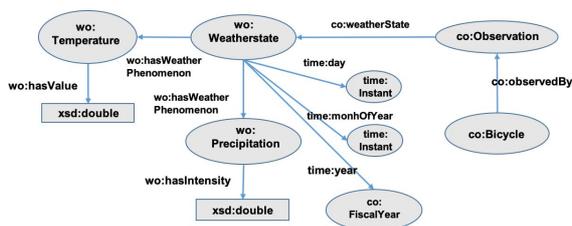


Fig. 10. Weather information

ぞれ観測された駐輪場と紐づけている。時間的な情報は **co:Observation** クラスに集約される。ここでも表現の一部に QB を用いている。なお、**co:ParkingType** のサブクラスの駐輪場のタイプを示す 4 クラスは、San Francisco Municipal Transportation Agency (SFMTA)⁽²⁰⁾ が提唱する Bicycle Parking Types 中の Short-Term Bicycle Parking の分類を参考にしてしている。

〈3・6〉 気象情報 クラス間の関係を Fig. 10 に表す。本研究で扱っている多くのデータが、気象情報と関連を持つ可能性が高い。例えば、エネルギー使用量は外気温による冷暖房の使用頻度がその一要因である。また自転車の利用率についても、天候に左右されることが多い。そこで、江上ら⁽²¹⁾ による違法駐輪問題解決に向けたスキーマを参考に、既存の気象情報オントロジーである **weather ontology**[†] を採用した。

4. オントロジーに基づくデータ基盤の構築

〈4・1〉 データセット 収集したデータは Table 1 の通りである。キャンパス内で自治を行う団体が保有する、学内の主要駐輪場を含む各駐輪場での自転車台数データをはじめ、大学 HP、Google Maps、気象庁 Web サイトなどから、2017 年 4 月から 2018 年 3 月までの 1 年間のデータを抽出した。このデータを基に Apache Jena^{††} を使用して RDF に変換した。トリプル数は、352 万超となった。

〈4・2〉 ナレッジグラフ公開とアプリケーション開発

前節のように構築したナレッジグラフを RDF データベ

[†] <https://www.auto.tuwien.ac.at/downloads/thinkhome/ontology/WeatherOntology.owl>

^{††} <https://jena.apache.org/>

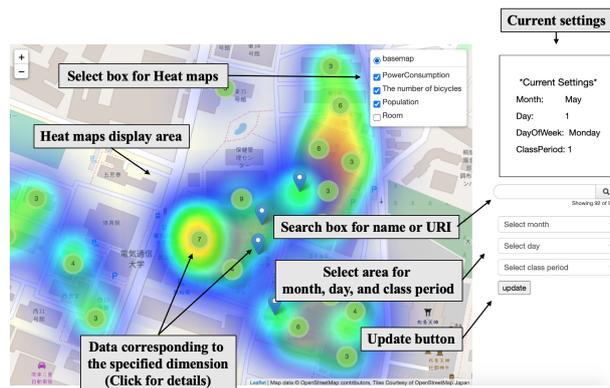


Fig. 11. Screen example of the developed application

スへ格納するために、Open Link Virtuoso プラットフォーム⁽²²⁾ を用い、SPARQL エンドポイントを通して問い合わせ可能な形にした。また本研究ではデータの性質上、データベースを無制限に公開することが難しいため、範囲限定で SPARQL エンドポイントを Web 上に公開し、一部の利用者がいつでも必要な情報を抽出可能にした。

また、セマンティック web やデータ構造に関する事前知識を持たない人にもデータの活用を容易にするために、Fig. 11 に示すアプリケーションの開発と公開を行なった。このアプリケーションは、格納したほぼ全てのデータが共通して持つ時空間的な次元に関して、これらが一致するデータをヒートマップとして可視化する。また異種データのヒートマップを重ねることにより視覚的に異種データ間の関係性を認識することが可能である。例えば、任意の月、日、時限などの次元の単位を設定すると、その次元における各データの測定値をそれぞれヒートマップ化して表示する。Fig. 11 は、2017 年 5 月 1 日の 1 時限におけるキャンパス東地区の人口、自転車の台数、および電力使用量のヒートマップを示す。この他に講義が行われている教室数も重ねることができる。また画面中のピンをクリックすることで、URI や自転車台数などデータの詳細が表示される。エンドポイントと同様に無制限の公開は難しいため、利用者を限定して公開している。動作デモンストレーションは動画にて web 上に公開^{†††}している。

5. オントロジーに基づくデータ基盤の応用事例

構築したデータ基盤は、簡易的には任意の日時・場所における自転車台数や、開講講義数、都市ガス使用量などの検索の用途が考えられる。さらに、本研究では複雑なクエリの組み合わせによって、学内運営や環境改善の一助となるような相関分析を行うシナリオを検討し、実行可能性を調査した。特に、学生生活に密接に関わる自転車の駐輪台数データと他のデータとの関連性について、キャンパス利用者の行動シナリオに基づき、次の 2 つの調査を行なった。調査 I 食堂の店内売上高または弁当販売数は、周辺駐輪

^{†††} <https://youtu.be/DhnuXKXL7i8>

Table 1. Data and citation sources

Data	Citation Source
Time, e.g., fiscal year, semester, month, day, date, time interval, etc.	Sources listed below
Parking areas and the number of bicycles	Student group materials (not open to the public)
Course titles, and classrooms	Education Affairs Division web page ¹
Seating capacity in every room	Education Affairs Division materials (not open to the public)
Names of rooms in every building	Facilities section materials (not open to the public)
Event titles and venues	University website event calendar ²
Temperature and precipitation	Japan Meteorological Agency website ³
Latitude and longitude of every place	Google Maps ⁴

¹ <http://kyoumu.office.uec.ac.jp/timet/>

² <https://www.uec.ac.jp/event/>

³ <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture00>

⁴ <https://www.google.co.jp/maps>

場の駐輪台数と相関があるか

調査Ⅱ ある駐輪台数は、それが観測された1時限後の周辺建物の電力使用量と相関があるか

例えば調査Ⅰについて考えると、本研究で対象とする大学キャンパス内の食堂では、店内の売上高や弁当の販売数などを記録している。これらは購買層である消費者の動きや、それに関連して発生する購買需要と密接に関連しているはずであり、キャンパス内の他データとの相関の有無を確認できれば、より効率的な販売戦略立案につなげることが可能だと考えられる。また、この調査に回答するには、異種データにおける地理空間的な関係性を考慮したデータ抽出が必要である。

一方、調査Ⅱも同様に、学内の電力値と他データの相関を発見することができれば、使用電力値の推定が容易になる可能性があり、省エネ活動やサステナビリティのさらなる向上に期待できる。この調査に回答するには、時間的次元の単位の一つである“時限”の前後関係を考慮したデータ抽出が必要である。

従来、このような一定の条件下でのデータ抽出は、キャンパス内の異種データが同一データ基盤上に存在しないため、困難であった。また、我々の先行研究⁽¹¹⁾⁻⁽¹³⁾においても時間的次元や空間的次元を考慮した抽出が難しかった。一方、本研究で構築したナレッジグラフでは、3章に示した設計によって、このようなデータ抽出を容易に行うことができる。

構築したナレッジグラフから、上記の調査ⅠおよびⅡをSPARQLクエリ文に変換して事象を抽出した。また、これらの抽出結果を分析することで、異種データ間の相関の有無を調査し、データ活用の新たな可能性を模索した。以降の節でそれぞれの内容を示す。なお、相関関係の調査にはピアソンの積率相関分析と、帰無仮説 H_0 : 相関係数 $r = 0$, 対立仮説 H_1 : 相関係数 $r \neq 0$ とする無相関検定を用いた。

〈5・1〉 調査Ⅰ：食堂の店内売上高または弁当販売数は、周辺駐輪場の駐輪台数と相関があるか

〈5・1・1〉 クエリ化と2変数の抽出 まず、調査項目のクエリ化を行う。桑原ら⁽²³⁾によれば、本研究で対象とする大学キャンパスでは、約6割の学生が自転車を利用して

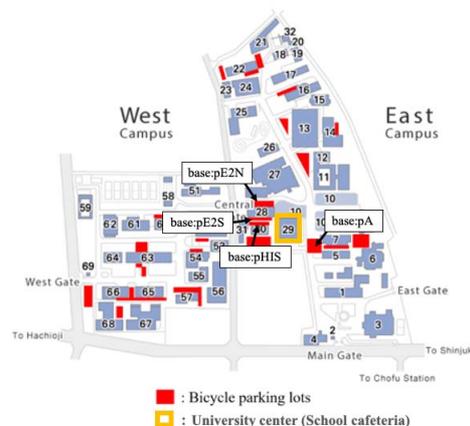


Fig. 12. Bicycle parking lots in the University

いる。この利用率を考えると、駐輪台数を人流に起因する値と見立てた時、これと食堂店内売上高や弁当販売数に関連性がありそうだと考えることができる。著者らは、自転車を利用し、キャンパス全域から食堂へ向かう学生の行動シナリオを考えた。Fig. 12にキャンパスマップを示す。まず学生の多くは、講義のために来校するため、講義が多く開講される建物が、多くの学生の行動の始点と考えることができる。よってFig. 13のように、開講場所となる建物を始点とし、近辺に駐輪してある自転車を取得した後、食堂付近の駐輪場まで移動し、駐輪してから徒歩で食堂へ向かうシナリオを考える。ここで2変数の関連性を調査するには、上記のシナリオ中、学生の実最終駐輪地点の台数データと、食堂売上データを比較すればよいことになる。よってまず、SPARQL検索によって学生の実最終駐輪地点の抽出を試みた。

簡単のため、最終駐輪地点として抽出したい駐輪場は、「講義の開講場所から食堂までの動線上にあり、かつ食堂から距離が近い駐輪場」だと考える。構築したナレッジグラフではco:FlowLineクラスによって、一部の建物から食堂までの動線データを格納している。具体的には、年間講義数が50以上の建物を始発点とし、食堂を終着点とする動線データが格納されている。今回は、抽出したい駐輪場における“動線上にある”を、“動線として格納している

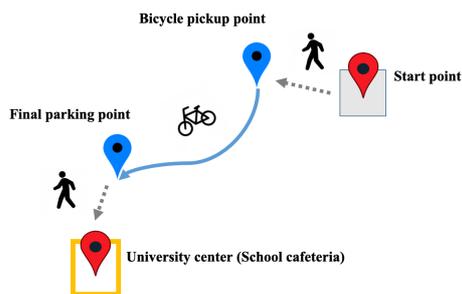


Fig. 13. Behavioral scenario of students heading to the cafeteria

```

PREFIX base:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/>
PREFIX bldg:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/UEC_building_>

SELECT DISTINCT (?b AS ?parkingLot) (?bWKT AS ?coordinates)
FROM base:campus
WHERE {
  ?a a co:FlowLine;
  co:from ?Alabel;
  geo:asWKT ?aWKT.

  ?b geo:hasGeometry ?bGeom;
  a co:Parking.
  ?bGeom geo:asWKT ?bWKT.

  bldg:coop geo:hasGeometry ?cGeom.
  ?cGeom geo:asWKT ?cWKT.

  FILTER(?Alabel IN(bldg:A, bldg:B, bldg:oldC, bldg:newC, bldg:E3, bldg:E4, bldg:W5)).
  FILTER(bif:st_may_intersect (?aWKT, ?bWKT, 0.0001) && !sameTerm(?a,?b)).
  FILTER(regex(str(?bWKT),"POINT").)
  FILTER(bif:st_may_intersect (?bWKT, ?cWKT, 0.0001)).}
    
```

Fig. 14. Query to acquire bicycle parking lots that are on the flow line from the main building to coop and is close to coop

Parking lot URI	Coordinates
base:pA	"POINT(139.543918 35.656768)" ^^virtrdf:Geometry
base:pCOF	"POINT(139.543752 35.657261)" ^^virtrdf:Geometry
base:pE2S	"POINT(139.543172 35.657313)" ^^virtrdf:Geometry
base:pCOB	"POINT(139.543392 35.657256)" ^^virtrdf:Geometry
base:pHIS	"POINT(139.543135 35.657239)" ^^virtrdf:Geometry

PREFIX base:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/>
 PREFIX virtrdf:<http://www.openlinks.com/schemas/virtrdf#>

Fig. 15. Query execution results

ラインストリング上の任意の点から距離が近い”と解釈し、GeoSPARQLを用いて検索した。駐輪場を抽出するクエリは Fig. 14, 結果の一部は Fig. 15 の様になった。Fig. 15 は、「講義の開講場所から食堂までの動線上にあり、かつ食堂から距離が近い駐輪場」の一部を表す。なお今回の検索では検索範囲を 10m とした。以上より、異種データを地理空間的な関係性を考慮して抽出可能であることを確認した。このように、格納されているコンテンツの粒度は様々であるが、空間的な次元の単位を座標上の位置関係で考えることで、分野横断的な検索においても容易に結果を抽出可能である。

〈5・1・2〉 相関関係の分析 次に、データ同士の関係性について相関分析を行う。まず、抽出された各駐輪場のうち、Fig. 12 に示す常設駐輪場である 4 駐輪場の月毎の平均駐輪台数を Fig. 16 に示すクエリによって抽出した。これら

```

SELECT ?place ?month (AVG(?num) AS ?AvgNumOfBicycles)
FROM base:campus
WHERE {
  { ?parkedBicycle rdf:type co:ParkedBicycle;
  co:numberOfBicycles ?num;
  co:observedBy/Time:monthOfYear ?month;
  event:place ?place.

  FILTER(?place IN (base:pA, base:pHIS, base:pE2N, base:pE2S)).
  }GROUP BY ?place ?month
    
```

Fig. 16. Query to acquire the average number of bicycles parked each month for each four permanent bicycle parking lots

Table 2. Correlations between the number of bicycles in each parking lot and sales in cafeteria and lunch box sales for every months

		Sales in cafeteria	Lunch box sales
parking	base:pA	0.701 (0.035)	0.825 (0.006)
	base:pHIS	0.715 (0.030)	0.823 (0.006)
	base:pE2N	-0.342 (0.368)	-0.525 (0.147)
	base:pE2S	-0.023 (0.953)	0.137 (0.725)

(p-value)
The boldface is $p < 0.05$

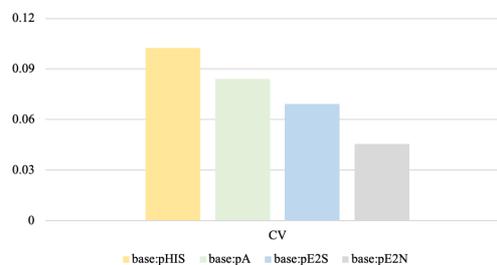


Fig. 17. Coefficient of variation of each parking lots

と食堂の月毎の平均店内売上高または平均弁当販売数が関連を持つかどうか相関分析を行った。その結果、Table 2 の様になった。なお、有意水準 5%未満の関係を太字で示す。

Table 2 より、URI が base:pA や base:pHIS である駐輪場の駐輪台数が、食堂の店内売上高や弁当販売数とそれぞれ有意な相関を持つことがわかった。また一部の駐輪場では有意な相関が無いことも分かった。ここで、Fig. 15 のように抽出した各駐輪場のうち、Table 2 のように base:pA と base:pHIS の 2 箇所のみが食堂データと高い相関を持つ理由を考える。まず、駐輪場における台数の変動幅が関連していると考え、各駐輪場における台数の変動係数(CV)を算出した。CVの算出式を、式1に示す。ここで、 σ をデータの標準偏差、 \bar{x} をデータの平均値とする。

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \dots \dots \dots (1)$$

結果は Fig. 17 のようになった。Fig. 17 より、店内売上高や弁当販売数と相関を持つ base:pHIS および base:pA が、変動係数においても高い値であることがわかった。

続いて駐輪場内のラックとよばれる自転車固定具が無い駐輪場では、駐輪可能台数に実質的に上限が無く変動の幅が大きくなることや、駐輪時の自由度が高く利用者が心理的に駐輪しやすいことから、変動係数はラックの有無に影

Parking lot URI	Coordinates
base:pA	"POINT(139.543918 35.656768)" ^^virtrdf:Geometry
base:pHIS	"POINT(139.543135 35.657239)" ^^virtrdf:Geometry

PREFIX base:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/>
PREFIX virtrdf:<http://www.openlinksw.com/schemas/virtrdf#>

Fig. 18. Query execution result

響を受けると考えた。以上より、〈3・5〉節で予め格納していた SFMTA の Bicycle Parking Types の分類を Fig. 14 のクエリに条件として追記し、ラックを持たない駐輪場のみの抽出を行なった。検索は、Fig. 14 のクエリを下記のように変更することによって行なった。

a co:Parking. → a base:UnshelteredCorral.

この結果を Fig. 18 に示す。ラックを持たない駐輪場のみを抽出した場合に、Table 2 の、売上と有意な相関を持つ 2 駐輪場のみが抽出されることがわかった。

Fig. 17 および Fig. 18 より、講義の開講場所から食堂までの動線上にあり、かつ食堂から距離が近く、かつラックが無く値の変動幅の大きい駐輪場が、食堂の売上高や弁当販売数と有意な相関を持つことがわかった。

なお、この相関関係は因果関係を表すものではないことに注意されたい。今後、この相関関係を参考に因果の方向性を明らかにすれば、生協の売上予測や弁当の売上予測がより容易になると考えられる。これによって、余剰在庫によるコスト増などを防ぎ、利益率の向上に貢献できると考えられる。

〈5・2〉 調査Ⅱ：ある駐輪台数は、それが観測された 1 時限後の周辺建物の電力使用量と相関があるか

〈5・2・1〉 クエリ化と 2 変数の抽出 まず、調査項目のクエリ化を行う。キャンパス内の電力使用量は、キャンパス利用者の行動に起因すると考えると、人流に起因する自転車台数が、駐輪場周辺建物の消費電力と関連を持つ可能性がある。また学生の多くは講義のために来校するという前提から、電力を多く使用するのは講義開催時であり、駐輪が多く行われるのは講義開始前である。このことから仮に関連性が存在する場合、それは任意の時限における駐輪台数値と、それが観測された時限の次の時限の周辺建物の電力値だと考えられる。そこで、SPARQL 検索を用いて時限毎の駐輪台数と、その一時限後の電力使用量との関係性を調査した。1-5 時限の時限毎の各駐輪場の平均台数値を取得するクエリを Fig. 19 に、その結果の一部を Fig. 20 に示す。また、その 1 時限後にあたる 2-6 時限の時限毎の各建物の電力値を取得するクエリを Fig. 21 に、結果の一部を Fig. 22 に示す。これらの結果より、通常 30 分単位で収集される電力使用量を、意味的な整合性を担保しながら“時限”という単位で抽出し、任意の時間的次元の単位で抽出が可能であることを確認した。また時間軸上の前後関係を考慮して結果を抽出可能であることを確認した。格納されているコンテンツの粒度は様々であるが、時間的な次元の

```
PREFIX base:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/>
SELECT ?classPeriod ?place (AVG(?num) AS ?AvgNumOfBicycles)
FROM base:campus
WHERE
{
  ?parkedBicycle co:numberOfBicycles ?num;
  co:observedBy / co:period ?classPeriod;
  event:place ?place.
}GROUP BY ?classPeriod ?place
ORDER BY ?classPeriod
```

Fig. 19. Query to acquire the average value of the number of bicycles for each bicycle parking lot every class period

Class Period URI	Place URI	Average number of bicycles
base:classPeriod_1	base:pA	118.372881355932203
base:classPeriod_1	base:pW5	24.89830508475763
base:classPeriod_1	base:pE45	102.745762711864407
base:classPeriod_1	base:pE2S	23.423728813559322
base:classPeriod_1	base:pHIS	15.152542372881356

PREFIX base:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/>

Fig. 20. Query execution results

```
SELECT ?classPeriod2 ?place2 (AVG(?usage) AS ?AvgPowerUsage)
FROM base:campus
WHERE{
  (SELECT ?classPeriod ?place (AVG(?num) AS ?AvgNumOfBicycles)
  WHERE
  {
    ?parkedBicycle co:numberOfBicycles ?num;
    co:observedBy / co:period ?classPeriod;
    event:place ?place.
  }GROUP BY ?classPeriod ?place
  )
  ?classPeriod2 Time:intervalAfter ?classPeriod.
  ?classPeriod2 ?p ?interval30m.
  FILTER(?p IN(Time:intervalContains, Time:interavlOverlappedBy)).

  ?powerUsage rdf:type co:PowerUsage;
  event:place ?place2;
  co:usage ?usage;
  co:hasTime ?interval30m.
}GROUP BY ?classPeriod2 ?place2
ORDER BY ?classPeriod2
```

Fig. 21. Query to acquire the average value of power usage for each building after one class period from the previous query

Class Period URI	Place URI	Average number of Power Consumption
base:classPeriod_2	base:UEC_building_W6	12.567767123287671
base:classPeriod_2	base:UEC_building_coop	68.896972602739726
base:classPeriod_2	base:UEC_building_W3	15.103835616438356
base:classPeriod_2	base:UEC_building_E1	26.400315068493151
base:classPeriod_2	base:UEC_building_W11	18.623301369863014

PREFIX base:<http://www.ohsuga.lab.uec.ac.jp/>

Fig. 22. Query execution results

単位を意味的に接続していることで、分野横断的な検索においても容易に結果を抽出可能である。

〈5・2・2〉 相関関係の分析 次に、データ同士の関係性について相関分析を行う。主要な駐輪場とその駐輪場からほど近い建物において、前節で抽出した任意の駐輪場における 1-5 限の台数値と任意の周辺建物における 2-6 限の電力値に関連があるかどうか相関分析を行った。これらの結果の一部を Table 3 に示す。なお、有意水準 5%未満の関係を太字で示す。

多くの場合において、台数値と、台数値観測の 1 時限後、つまり講義が行われている時限の電力値が、有意な相関を持つことがわかった。また複数の地点で相関が発見された

Table 3. Correlations between the number of bicycles in 1-5 class period in each parking lot and power consumption in 2-6 class period in each building

		The nearest building					Whole area
		Bldg. A	Bldg. B	Bldg. E4	Bldg. E6	Bldg. W5	
parking	base:pA	0.855 (0.065)	0.940 (0.018)	0.893 (0.041)	0.953 (0.012)	0.913 (0.030)	
	base:pB	0.946 (0.015)	0.950 (0.013)	0.728 (0.164)	0.935 (0.020)	0.781 (0.119)	
	base:pE45	0.677 (0.209)	0.841 (0.074)	0.983 (0.003)	0.887 (0.045)	0.964 (0.008)	
	base:pW5	0.845 (0.072)	0.949 (0.014)	0.757 (0.139)	0.951 (0.013)	0.812 (0.095)	
Whole area							0.974 (0.005)

(p-value)

The boldface is $p < 0.05$

Parking lot East4-5 is surrounded by building E4, E5, E6.

Table 4. Difference in searchability compared to when dimensions are not interconnected

調査項目 (Survey items)	クエリ (Query)	検索可能性 (Searchability)	
		時空間的な次元の相互接続 (Dimension interconnection)	
		無 (None)	有 (Existence)
1. 任意の建物が、食堂までの動線上にあるか否か (Whether any building is on the flow line to the cafeteria)	Fig. 14	×	○
2. 任意の建物は、食堂からの距離が近いかな否か (Whether any building is close to the cafeteria)		×	○
3. 任意の駐輪場におけるラックの有無 (Whether the racks exists in any bicycle parking lot)		○	○
4. 月毎、駐輪場毎の平均駐輪台数 (Average number of bicycles parked each month at each parking lot)	Fig. 16	○	○
5. 時限毎、駐輪場毎の平均駐輪台数 (Average number of bicycles parked each class period at each parking lot)	Fig. 19	○	○
6. 5の1時限後の、時限毎、建物毎の電力使用量 (Power consumption each class period at each building in 1 class period after 5)	Fig. 21	×	○

だけでなく、キャンパス全域でみても有意な相関を持つことがわかった。

なお、この相関関係は因果関係を表すものではないことに注意されたい。今後、この相関関係を参考に因果の方向性を明らかにすれば、講義日程からの電力使用量の推定だけでなく、自転車台数からイレギュラーな電力使用量を推定することも容易になると考えられる。

〈5・3〉 考 察 限られたドメインに特化したオントロジーとして、本研究で設計したキャンパスオントロジーが成立している。

以上より、設計したオントロジーにより、時空間的に粒度の異なる学内の様々なデータを適切にナレッジグラフ化でき、分野横断的な検索が可能になったことを示した。これにより、従来難しかった異分野データ間の関連性発見に至った。本稿では、様々なキャンパスデータの中でも、特に学生の移動手段となる自転車の台数を中心に、その他のデータとの相関分析調査を例示した。また、本研究のように時空間的な次元の相互接続を行っていないナレッジグラフとの検索可能性の差分を、Table 4 に示す。時空間的な次元の単位を適切に指定しながらデータ抽出が行えるようになったことで、より複雑なクエリに対応した柔軟な検索が可能になった。

ただし本研究で設計したオントロジーは、限られたドメインに特化したオントロジーとして成立している。また、検索の実用性に焦点を当てて設計したため、意味的な妥当性やコンテンツの充分性、推論において課題が残っている。例えば、本研究では独自クラスを多数定義しているが、駐輪情報やエネルギー情報などだけでなく、より幅広いドメインにおいてキューブモデルを構築し、DataCube 語彙を利用できる可能性がある。また各種情報を記述するクラスには、センサ情報を統一的に記述する Semantic Sensor Network (SSN) ontology などを活用できる可能性がある。今後は、抽象的な概念を重視したオントロジーの再利用や、外部オントロジーとのエンティティリンクングなどにより、意味的な妥当性や汎用性をさらに高めたい。また徒歩での移動データなどにも幅を広げた調査を行うことで、さらなる相関関係の発見を行いたい。また、組織で蓄積されるデータは一部に欠損が存在する場合が多い。発見した有意な相関関係を利用して、従来よりも高精度な欠損データの推定などを行いたい。さらに本研究は SPARQL エンドポイントとクエリを通じて検索を行なったが、現時点で開発したアプリケーションで可能な検索は、限られた範囲のみである。分野に精通しない人でもインタラクティブに様々な分析ができるよう、アプリケーションのさらなる高機能化を行いたい。

6. おわりに

本研究では、異種データが収集される組織の例として大学キャンパスを取り上げ、大学運営や学内環境改善のための施策検討の一助となるオントロジーを構築した。このオントロジーに基づいて異種データをナレッジグラフとして統合し、エンドポイントを内部公開することでデータ基盤を実現した。さらにこのデータ基盤を活用することで、食堂販売戦略や電力需要把握の新たな可能性となり得る、従来発見が困難だった有意な相関関係を多数発見した。これらの結果より、構築したオントロジーが、大学キャンパス運営や学内環境改善のための施策検討においてある程度有効であることを確認した。今後は、意味的な妥当性の充足や外部データとの連携なども見据えたオントロジーのさらなる改良をはじめ、自転車台数だけでなくあらゆるデータ

対象者の行動に幅を広げたシナリオを用いて、データの分析を行いたい。また、分野に精通しない人でもより広義の分析調査を行える様、アプリケーションのさらなる高機能化を行いたい。さらに、今回発見した異種データ間の有意な相関を、ナレッジグラフの欠損推定手法に適用して効率的にデータ推定を行うなど、よりナレッジグラフの特徴を活かしたデータ活用を行いたい。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP17H04705, JP18H03229, JP18H03340, JP18K19835, JP19H04113, JP19K12107, JP19K24375, JP19H04168 の助成を受けた他、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP20006) の結果得られたものです。本研究を遂行するにあたり、研究の機会と議論・研鑽の場を提供して頂き、御指導頂いた早稲田大学 本位田真一教授、鄭顕志准教授をはじめ、活発な議論と貴重な御意見を頂いた研究グループの皆様へ感謝致します。

文 献

- (1) 塚越雄登・江上周作・清 雄一・田原康之・大須賀昭彦:「次元間関係に着目したドメインオントロジーに基づく異種データ間の関連性発見」, 情報処理学会第 200 回知能システム研究会 (2020)
- (2) Y. Tsukagoshi, S. Egami, Y. Sei, Y. Tahara, and A. Ohsuga: "Ontology-Based Correlation Detection Among Heterogeneous Data Sets: "A Case Study of University Campus Issues", The Third IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (AIKE) (2020)
- (3) P.T. Davies: "What is evidence-based education?", British Journal of Educational Studies, Vol.47, No.2, pp.108-121 (1999)
- (4) B. Williamson: "The hidden architecture of higher education: building a big data infrastructure for the 'smarter university'", International Journal of Educational Technology in Higher Education, Vol.15, No.12 (2018)
- (5) H. Santos, V. Dantas, V. Furtado, P. Pinheiro, and D.L. McGuinness: "From Data to City Indicators: A Knowledge Graph for Supporting Automatic Generation of Dashboards", Proc. of the 14th Eur. Semantic Web Conference(ESWC), pp.94-108 (2017)
- (6) T. Gruber, L. Liu, and M.T. Özsu (Eds.): "Ontology- definition in Encyclopedia of Database Systems", <http://tomgruber.org/writing/ontology-definition-2007.htm>, (Accessed on 08/14/2020)
- (7) V. Lopez, S. Kotoulas, M.L. Sbdio, M. Stephenson, A. Gkoulalas- Divanias, P.M. Aonghusa: "QuerioCity: A Linked Data Platform for Urban Information Management", Proc. of the 11th International Semantic Web Conference (ISWC), pp.148-163 (2012)
- (8) T. Qamar, N.Z. Bawany, S. Javed, and S. Amber: "Smart City Services Ontology (SCSO): Semantic Modeling of Smart City Applications", 7th International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC), pp.52-56 (2019)
- (9) J. Zhao and Y. Wang: "Toward domain knowledge model for smart city: The core conceptual model", Smart Cities Conference (ISC2), IEEE First International, pp.1-5 (2015)
- (10) P. Bellini, M. Benigni, R. Billero, P. Nesi, and N. Rauch: "Km4City ontology building vs data harvesting and cleaning for smart-city services", Journal of Visual Languages and Computing, Vol.25, No.6, pp.827-839 (2014)
- (11) Y. Tsukagoshi, T. Kawamura, and A. Ohsuga: "Knowledge Graph on University Campus Issues", Proc. of the 8th Joint International Semantic Technology Conference (JIST), pp.118-121 (2018)
- (12) Y. Tsukagoshi, T. Kawamura, Y. Sei, Y. Tahara, and A. Ohsuga: "Knowledge Graph of University Campus Issues and Application of Completion Methods", Proc of the 21st International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS), pp.304-312 (2019)
- (13) Y. Tsukagoshi, T. Kawamura, Y. Sei, Y. Tahara, and A. Ohsuga: "Proposal of Knowledge Graph and Completion Method for Solving Social Issues: An Attempt to Improve the Bicycle Parking Environment in the University", IEEJ Trans. EIS, Vol.140, No.8, pp.905-915 (2020) (in Japanese)
塚越雄登・川村隆浩・清 雄一・田原康之・大須賀昭彦:「社会課題

- 解決に向けたナレッジグラフと欠損推定手法の提案 学内駐輪環境改善の試み」, 電学論 C, Vol.140, No.8, pp.905-915 (2020)
- (14) J. Gennari, M. Musen, R. Fergerson, W. Grosso, M. Crubezy, H. Eriksson, N. Noy, and S. Tu: "The evolution of Protege-2000: An environment for knowledge-based systems development", International Journal of Human-Computer Studies, Vol.58, No.1, pp.89-123 (2007)
- (15) S. Auer, C. Bizer, G. Kobilarov, J. Lehmann, R. Cyganiak, and Z. Ives: "DBpedia: a nucleus for a web of open data", Proc. of the 6th International Semantic Web and 2nd Asian Conference on Asian Semantic Web Conference (ISWC/ASWC), pp.722-735 (2007)
- (16) R. Cyganiak and D. Reynolds: "The RDF Data Cube Vocabulary", W3C recommendation (2014)
- (17) J. Cuenca, F. Larrinaga, and E. Curry: "A Unified Semantic Ontology for Energy Management Applications", Proc. of the 2nd International Workshop on Ontology Modularity, Contextuality, and Evolution(WOMoCoE), pp.86-97 (2017)
- (18) <https://innoweb.mondragon.edu/ontologies/oema/enaef/1.1/index-en.html>, (Accessed on 08/14/2020)
- (19) R. Battle and D. Kolas: "Geosparql: enabling a geospatial semantic web", Semantic Web Journal, Vol.3, No.4, pp.335-370 (2011)
- (20) T. Nolan, C. Brinkman, M.A. Heinicke, J. Ramos, C. Rubke, and G. Borden: "Bicycle Parking: Standards, Guidelines, Recommendations", San Francisco Municipal Transportation Agency (SFMTA) (2015)
- (21) S. Egami, T. Kawamura, and A. Ohsuga: "Temporal and Spatial Expansion of Urban LOD for Solving Illegally Parked Bicycles in Tokyo", IEICT Trans. on Information and Systems, Vol.E101.D, No.1, pp.116-129 (2018)
- (22) Open Link Software, About OpenLink Virtuoso, <https://virtuoso.openlinksw.com/> (Accessed on 08/14/2020)
- (23) 桑原 周・金井秀明:「監視情報の告知がもたらす放置駐輪の抑制による規範意識調査」, 情報処理学会研究報告 (2015)

塚 越 雄 登 (非会員) 2019 年 3 月電気通信大学情報理工学部総合情報学科卒業。同年、電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻入学。主として、セマンティック Web・自然言語処理を用いた社会課題解決手法の研究に従事。



江 上 周 作 (非会員) 2014 年法政大学理工学部卒業。2019 年電気通信大学大学院情報理工学研究科博士課程修了。同年、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所電子航法研究所入所。同所研究員を経て、2020 年より国立研究開発法人産業技術総合研究所人工知能研究センター研究員。法政大学理工学部兼任講師。電気通信大学協力研究員を兼任。現在に至る。博士 (工学)。セマンティック Web とオントロジー、ナレッジグラフの欠損補完に関する研究に従事。人工知能学会、情報処理学会各会員。



清 雄 一 (非会員) 2009 年東京大学大学院情報理工学系研究科博士後期課程修了。同年 (株) 三菱総合研究所入社。2013 年より年電気通信大学。現在、同大学大学院情報理工学研究科准教授。博士 (情報理工学)。エージェント、プライバシー保護技術等の研究に従事。2016 年度土木学会水工学論文賞、情報処理学会論文賞受賞。情報処理学会、電子情報通信学会、日本ソフトウェア科学会、IEEE Computer Society 各会員。



田原 康之 (非会員) 1991年東京大学大学院理学系研究科数学専攻修士課程修了。同年(株)東芝入社。1993-1996年情報処理振興事業協会に出向。1996-1997年英国 City 大学客員研究員。1997-1998年英国 Imperial College 客員研究員。2003年国立情報学研究所着任。2008年より電気通信大学 准教授。博士(情報科学)(早稲田大学)。エージェント技術, およびソフトウェア工学などの研究に従事。



情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会会員。

大須賀 昭彦 (正員) 1981年上智大学理工学部数学科卒。同年(株)東芝入社。同社研究開発センター, ソフトウェア技術センター等に所属。1985-1989年(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)出向。2007年より電気通信大学。現在, 同大学大学院情報理工学研究科教授。2017年より同大学大学院情報システム学研究科研究科長併任。2012年より国立情報学研究所客員教授兼任。工学博士(早稲田大学)。情報処理学会フェロー。ソフトウェア工学, エージェント, 人工知能の研究に従事。1986年度及び2016年度 情報処理学会論文賞, 2013年度 人工知能学会研究会優秀賞, 2014年度 同学会功労賞, 2018年度 電子情報通信学会 ISS 活動功労賞 受賞。IEEE Computer Society Japan Chapter Chair, 人工知能学会理事, 日本ソフトウェア科学会理事, 同学会監事等を歴任。情報処理学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, 電気学会, IEEE Computer Society 各会員。

