

# LBSNのための汎用的なオントロジフレームワークの構築

築井 美咲<sup>†</sup> 高橋 正和<sup>†</sup> 佐々木勇和<sup>††</sup> 石川 佳治<sup>†,†††</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学 大学院情報科学研究科

<sup>††</sup> 名古屋大学 未来社会創造機構

<sup>†††</sup> 国立情報学研究所

E-mail: <sup>†</sup>{yanai,takahashi}@db.ss.is.nagoya-u.ac.jp, ishikawa@is.nagoya-u.ac.jp

<sup>†††</sup>tyuya@db.ss.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし GPS を搭載した機器の普及により、位置情報に基づくソーシャルネットワーク (Location-Based Social Networks, LBSN) が流行している。本グループでは、LBSN に共通した機能を提供する LBSN 共通基盤の研究開発を進めている。本研究では LBSN の共通機能を整理し、LBSN を構築するための汎用的なオントロジフレームワークの構築を目的とする。本稿では、イベント処理を考慮した LBSN オントロジの設計と、LBSN オントロジを用いたイベント検出について述べる。

キーワード オントロジ, 位置情報サービス, セマンティック Web

## 1. はじめに

スマートフォンなどの GPS を搭載したデバイスや高速通信の普及により、位置に基づくソーシャルネットワーク (Location-Based Social Networks, LBSN) [1] が流行している。LBSN には、写真の公開及び共有を目的としたコミュニティサイト Flickr<sup>(注1)</sup> や、お店のレビューを投稿・閲覧する Yelp<sup>(注2)</sup> などがある。Yelp は 2014 年 4 月に日本版サービス<sup>(注3)</sup> を公開し、総レビュー投稿数は 5300 万件を上回る。LBSN 内の情報を参照した上で行動を決定することが一般的になりつつあり、LBSN ユーザは今後も増加することが考えられる。

各 LBSN はそれぞれ独立しているが、「時刻  $t$  において、ユーザ  $u$  が座標  $(x, y)$  にいた」といった共通の機能が数多く存在している。しかし、LBSN の開発は独自に行われている場合が多い。そのため、開発者が容易に LBSN を構築するために、共通の機能をまとめたフレームワークが求められている。

本グループでは、要求に応じて LBSN を構築するための LBSN ツールキットの研究開発を進めている [2]。LBSN ツールキットでは、LBSN サービスを複合イベント処理 (Complex Event Processing, CEP) [3] によって実現する。機能を「イベント」として扱い、複数のイベントを組み合わせた高次の意味的なイベント検出を図る。たとえば、「時刻  $t$  におけるユーザの GPS 情報」を基本イベントとしたとき、異なるユーザの基本イベントを用いて、高次の意味的なイベント「互いに友人である二人が一緒に授業を受けていた」を導出する。このとき、GPS 情報の示す場所の施設情報や友人関係であるといった背景知識、さらに位置や時間的な近さなどの情報も必要となる。背景知識と、位置や時間的な近さは、アプリケーションに依存した知識

となるため、必要に応じて開発者が記述する。特に本研究では、LBSN に共通する要素を整理し、LBSN ツールキットで利用するための知識体系の構築を目指す。

共通する要素を整理した知識体系として、以下の三つの理由からオントロジに着目した。一つ目は、複数のイベントを組み合わせるといった複雑な知識体系を表現できること。二つ目は、セマンティック Web 技術の構成要素であることから、計算機による意味的な処理が可能であること。三つ目は、Linked Open Data (LOD) などの形式で、再利用可能なオントロジが公開されていることである。

本研究で構築するオントロジは、LBSN に共通した要素をまとめた汎用的なフレームワークとなるオントロジである。これを実現するために、LBSN に共通する要素のモデリングを行い、複合イベント処理を考慮したオントロジ設計を行う。本稿では、共通した要素やドメインごとに異なる要素と知識を定義するための概念設計と、複合イベント処理可能な形式なイベントの概念設計について議論する。

## 2. 関連研究

### 2.1 位置情報サービスにおけるオントロジ

位置情報サービス (Location-Based Service, LBS) をモデリングした研究には、Pfooser らの研究 [4] がある。この研究では LBS に共通する概念の分析を行い、共通概念を、空間、時間、移動体とする。LBS のためのオントロジは、三つのオントロジから構成される。一つ目は LBS の共通概念を表現するための Domain Ontology、二つ目は特定の LBS コンテンツを表現するための Content Ontology、三つ目はユーザやサービスの情報を表現するための Application Ontology である。

本研究と比較したとき、共通の概念を表すオントロジ (Domain Ontology) と、アプリケーションに依存した概念を表すオントロジ (Content Ontology と Application Ontology) に、分けて設計している点が類似している。しかし、この研究では

(注1) : <https://www.flickr.com/>

(注2) : <http://www.yelp.com/>

(注3) : <http://www.yelp.co.jp/>

ソーシャルな関係表現を扱っていない。

## 2.2 イベントオントロジ

イベントをモデリングした研究は、既にいくつか存在する。ここでは、上位オントロジの YAMATO [5], Event Ontology [6], イベントの概念モデリングを行う [7] について説明する。

YAMATO ではイベントを時間軸上の存在物として扱う。そして、イベントを瞬間的イベントと通常イベントに分類する。それぞれ、瞬間的イベントを時区間上の点で表されるイベント、通常イベントを時区間上の大きさが 0 でない閉区間で表されるイベントとする。イベントは、Occurent (生起物) の下位概念として定義されている。本研究と比較すると、YAMATO は高い抽象レベルで対象を扱っている。そのため、LBSN オントロジのように特定の領域を対象としたオントロジに対して、応用することは難しい。しかし、YAMATO のイベント定義の取り組みは、イベントの概念を設計する上で参考になる。

Event Ontology では抽象レベルの低いイベントを扱い、イベントは五つの概念と関係を持つ。具体的には、場所、時間、動作主、イベントの要因、イベントによって生成された成果物である。時間、場所、および動作主の概念は既存のオントロジと対応付けされており、それぞれ World Wide Web Consortium (W3C) (注4) の Time Ontology [8], W3C の Basic Geo (WGS84 lat/long) Vocabulary [9], FOAF (Friend of a Friend) [10] の語彙を活用している。本研究においても、Time Ontology と FOAF を活用する。

Guizzardi ら [7] は、イベントを、一つのイベントからなる単純なイベント (atomic event) と、二つ以上のイベントの集合からなる複合イベント (complex event) に分ける。各イベントは時点を表す二つの値と関連し、イベントとイベントの時間関係は Allen の時区間関係に対応する。単純なイベントと複合イベントに分けている点、イベント間の時間関係が Allen の時区間関係と対応している点が本研究と類似している。しかし、Guizzardi ら [7] では、地理・空間の概念を扱っていない。

上述したオントロジやイベントの概念モデリングは、知識レベルでのイベント表現を行っている。本研究が目指す、オントロジを利用した複合イベント処理を実現するためには、複合イベント処理を考慮したオントロジ設計が必要である。そこで、本研究では複合イベントの定義にルールを用いる。

## 2.3 行動表現のためのオントロジ

行動表現のためのオントロジは、本研究と類似した概念から構成される。代表的な行動表現のためのオントロジである、PalSPOT [11] と CoBrA-Ont [12] について説明する。

PalSPOT プロジェクトには、個人の行動とソーシャルな行動をモデリングした activity ontology がある。ここでは行動の下位概念として、個人の行動と、二人以上の人に関わるソーシャルな行動が定義されている。また、行動の粒度に着目してモデリングした、multilevel activity ontology [13] がある。このオントロジでは、行動を粒度の小さい順に、ジェスチャ、操作的なジェスチャ、シンプルな行動、複雑な行動の四つの粒度

## Core Ontology

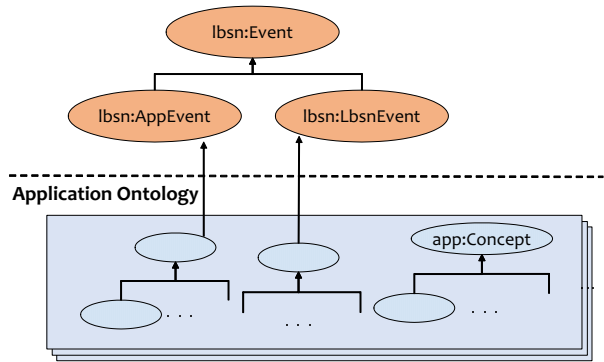


図1 LBSN オントロジの概要

で定義している。

CoBrA-Ont オントロジでは、場所、エージェント、および行動をモデリングしている。場所の下位概念に、これ以上分解することができないシンプルな場所と、場所を包含する複合的な場所が定義されている。

本研究では、PalSPOT プロジェクトから、行動の粒度と、ソーシャルな行動、および CoBrA-Ont オントロジからは、建物の構造関係を表現するために、場所の包含関係を表す考え方をそれぞれ取り入れる。

## 3. LBSN オントロジの設計

本章では、設計した LBSN オントロジの概要と、オントロジの主要な概念について説明する。

### 3.1 LBSN オントロジの概要

LBSN オントロジの概要を図1に示す。LBSN オントロジには、LBSN に共通の要素を概念レベルで表現するコアオントロジと、各 LBSN に依存する要素や知識を表現するためのアプリケーションオントロジがある。特定ドメインの LBSN 構築には、上述した二種類のオントロジを統合して利用する。図1内の接頭辞はそれぞれ、lbsn はコアオントロジ、app はアプリケーションオントロジに定義される概念を表している。ただし、app は特定の LBSN を表現するのに使われるため、必ずしもこの表記とは限らない。

コアオントロジでは、LBSN に共通する概念をモデリングする。共通する概念には、イベントの概念と、アプリケーションに依存した知識を表現するための概念がある。特に、イベントの概念を中心にモデリングを行う。

一方、アプリケーションオントロジでは、各 LBSN に依存した固有の概念をモデリングする。モデリングの方法には、コアオントロジを特殊化していく方法と、新しい概念体系を構築する方法がある。例として、災害時の支援を想定した LBSN について考える。地震や洪水などの災害に関する知識は、LBSN オントロジで定義されたイベントの概念を使って特殊化し、物資や医療などの支援に必要な知識は、新しい概念として構築する。

本研究では、LBSN に共通する概念のモデリングを行うのに対し、アプリケーションに依存した固有の概念のモデリングは開発者によって行われるものとする。

(注4) : <http://www.w3.org/>

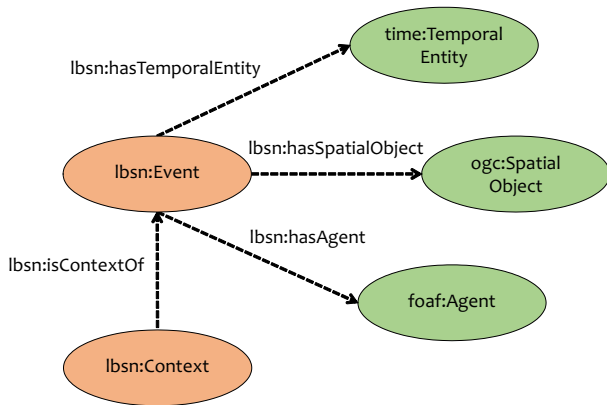


図2 LBSN オントロジの主要な概念とその関係

### 3.2 LBSN オントロジの主要な概念

図2に、LBSN オントロジの主要な概念と、概念間の関係を示す。LBSN オントロジは、イベント、地理・空間、時間、ソーシャルな関係、およびアプリケーションコンテキストの五つの概念で構成される。これらの概念を表現するために、既に提案されているオントロジから最小限必要な語彙の統合を行い、必要に応じて拡張を行った[14]。活用したオントロジは、地理・空間の概念を表現する Open Geospatial Consortium (OGC)<sup>(注5)</sup>の GeoSPARQL [15] で用いられている Simple Features モデルに基づくオントロジ、時間の概念を表現する Time Ontology, およびソーシャルな関係の概念を表現する FOAF である。図2内の接頭辞は、ogc は Simple Features モデルに基づいたオントロジ、time は Time Ontology, foaf は FOAF で定義された概念であることを示す。以下では、各概念について説明する。

#### 3.2.1 イベントの概念

LBSN におけるイベントとは、「任意の位置・時刻で起こる出来事」である。このイベントの定義を用いて、LBSN に共通したイベントを、「任意の位置・時刻で起こる出来事に対し、人やメディアコンテンツが関連するもの（ただし、メディアコンテンツは任意）」と定義する。イベントは地理・空間の概念と時間の概念と関係を持ち、LBSN に共通したイベントは地理・空間の概念、時間の概念、およびソーシャルな関係の概念と関係を持つ。さらに、共通したイベントは、アプリケーションコンテキストの概念によって必要な知識が補われる。図3に、イベントの概念階層を示す。LBSN におけるイベントを `lbsn:Event` として最上位概念に定義し、その下位概念に、LBSN に共通したイベントを表す `lbsn:LbsnEvent` と、アプリケーションに依存した固有のイベントを表す `lbsn:AppEvent` がある。

`lbsn:LbsnEvent` には、LBSN ツールキットで検出される二種類のイベントがある。一つ目はこれ以上分解できない `lbsn:PrimitiveEvent`、二つ目は複数のイベントからなる `lbsn:CompositeEvent` である。さらに、`lbsn:CompositeEvent` の下位概念には、個人のイベントを表す `lbsn:IndividualEvent` と、ソーシャルな関係を持つ二人以上の人物が関わるイベントを表す `lbsn:SocialEvent` がある。`lbsn:SocialEvent` の下位概念に

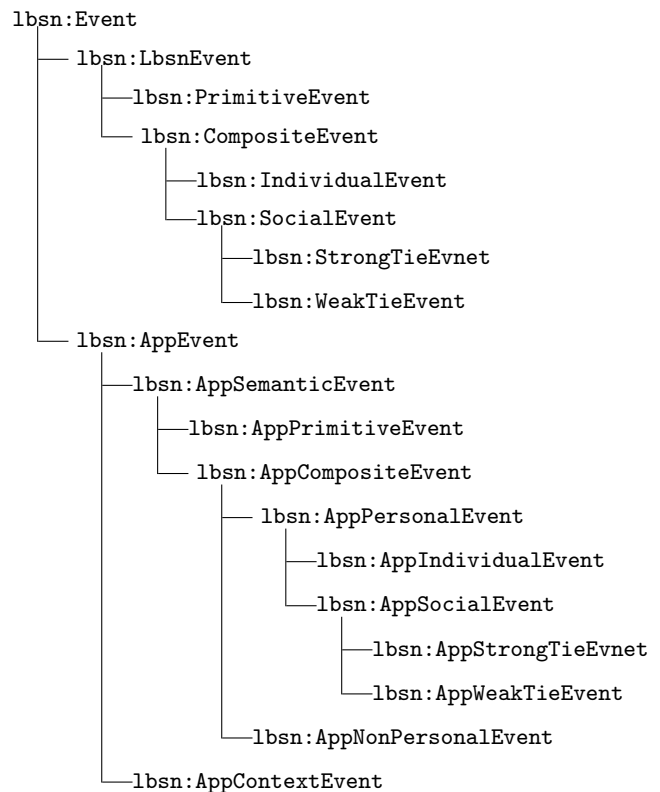


図3 イベントの概念階層

は、強い関係を表す `lbsn:WeakTieEvent` と、弱い関係を表す `lbsn:StrongTieEvent` がある。

一方、`lbsn:AppEvent` は、`lbsn:Event` を特殊化したイベントを表す `lbsn:AppContextEvent` と、`lbsn:LbsnEvent` のイベントを特殊化したアプリケーション独自のイベントを表す `lbsn:AppSemanticEvent` がある。下位概念を含む `lbsn:AppSemanticEvent` は LBSN ツールキットで検出されるイベントであるのに対し、`lbsn:AppContextEvent` はイベント検出のために参照されるイベントである。たとえば、災害時の支援を想定した LBSN において、以下のイベントを考える。

- 検出イベント：「被災した可能性がある人物」
- 参照イベント：「時刻  $t$  に、場所  $l$  で災害が発生」

検出イベントは、`lbsn:AppContextEvent` に定義された参照イベントを用いることで導出される。LBSN ツールキットで検出されるイベントにはアプリケーション固有のイベントが二種類あり、一つ目はこれ以上分解できない `lbsn:AppPrimitiveEvent` と、二つ目は複数のイベントからなる `lbsn:AppCompositeEvent` である。`lbsn:AppCompositeEvent` には、人が関わるイベントを表す `lbsn:AppPersonalEvent` と、人が関わらない時空間イベントを表す `lbsn:AppNonPersonalEvent` がある。そして、`lbsn:AppPersonalEvent` の下位概念には、アプリケーション固有の、個人のイベントを表す `lbsn:AppIndividualEvent` と、ソーシャルな関係を持つ二人以上の人物が関わるイベントを表す `lbsn:AppSocialEvent` がある。`lbsn:AppSocialEvent` の下位概念には、アプリケーション固有の、強い関係を表す `lbsn:AppWeakTieEvent` と、弱い関係を表す `lbsn:AppStrongTieEvent` がある。

(注5) : <http://www.opengeospatial.org/>

### 3.2.2 地理・空間の概念

LBSNにおける地理・空間とは、緯度・経度のような絶対的、博物館から西へ100mのような相対的、家や会社のようなシンボルといった三つの表現がある。さらに、地理・空間は、(点)位置、区域、軌跡形式で表現される場合もある。Simple Featuresモデルに基づくオントロジでは、緯度・経度や建物の形などを幾何学的な形、家や会社のようなシンボルを地理・空間的な位置を持つ現実世界の实体として表現している。地理・空間を、`ogc:SpatialObject`として表し、その下位概念に、幾何学的な形 `ogc:Geometry` と地理空間的な位置を持つ現実世界の实体 `ogc:Feature` がある。さらに、Egenhoferの空間関係を表す語彙も利用することができる。

一般的に家や会社などの建物は、部屋やフロアなどと構造関係を持っている。LBSN オントロジでも複合商業施設などの案内サービスを考えると、建物内を表現する必要がある。建物内のモデリングは[16]で議論されているが、Simple Featuresモデルに基づくオントロジでは提供されていない。そのため、本研究ではSimple Featuresに基づくオントロジの拡張を行った。`ogc:Feature`の下位概念に、部屋やフロアを表すための `lbsn:PrimitiveFeature` と、それらを一部として持つ建物の `lbsn:CompositeFeature` を追加した。

### 3.2.3 時間の概念

LBSNにおける時間には、「ある人物が存在していた」といった一時点を表す瞬間的な時間と、「ある人物が一定時間滞在していた」といった期間を表す間隔的な時間の二つがある。また、「ある人物がレストランで食事をしていた」という表現を行うためには、レストランの営業時間と、ある人物の滞在時間の二つの時間を比較する必要がある。Time Ontologyでは、時間を `time:TemporalEntity` として表し、その下位概念に、瞬間的な時間 `time:Instant`、間隔的な時間 `time:Interval` がある。さらに、時間の関係を表現するAllenの時区関連の語彙を利用することができる。

### 3.2.4 ソーシャルな関係の概念

LBSNにおけるソーシャルな関係には、関係の強さが異なる二つの関係がある。一つ目は、友人関係や、趣味やイベントなどを共有するグループ関係といった、強い関係(強い紐帯)である。二つ目は、近くでの行動といった明示的な関係がない、弱い関係(弱い紐帯)である。強い関係はFOAFで表現するのにに対し、弱い関係の明示的な表現は行わない。しかし、このソーシャルな関係の考え方は、イベントを表現する上で必要となる。強い関係を表現するためにFOAFでは、友人関係を `foaf:knows`、グループに所属しているという関係を `foaf:members` として表す。さらに、所属している人を `foaf:Person`、グループそのものを `foaf:Group` で表し、これらの上位概念に `foaf:Agent` がある。

### 3.2.5 アプリケーションコンテキストの概念

アプリケーションコンテキストとは、LBSNに共通したイベントを表現するために用いられる、アプリケーションに依存した知識である。たとえば、「時間の近さ」という概念はLBSNに共通して現れるが、具体的な値とその単位はアプリケーションによっ

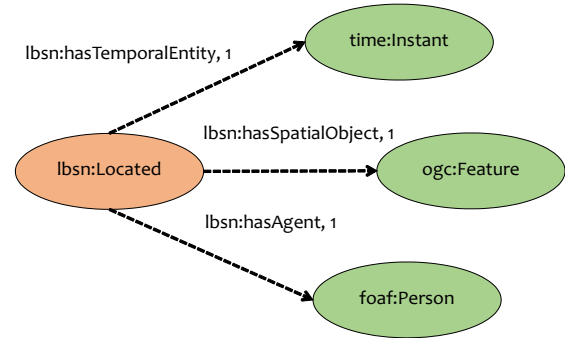


図4 Located イベント

て異なる。このような知識を表現するために、アプリケーションコンテキストの概念 `lbsn:Context` を定義した。下位概念には、時間に関する知識を表す `lbsn:TemporalContext`、地理・空間に関する知識を表す `lbsn:SpatialContext`、および特定のイベントに関する知識を表す `lbsn:EventContext` がある。上述した「時間の近さ」は、`lbsn:TemporalContext` の下位概念に `lbsn:NearTime` として定義する。時間に関する知識の実体化を行う場合、Time Ontologyの `time:DateTimeDescription` または `time:DurationDescription` を用いる。

## 4. コアオントロジの構築

本章では、LBSNに共通して現れる要素を、コアオントロジのイベントとして定義する。構築したコアオントロジから、`lbsn:PrimitiveEvent` と `lbsn:CompositeEvent` に関するイベントの知識表現について述べる。以下で  $P, L, T$  はそれぞれ人物、位置、時刻を表す変数とし、イベント履歴の集合(現在以前に発生したイベントの集合)を  $\mathcal{H}$  とする。また、時区間を  $[T^s : T^e]$  のように表記する。

### 4.1 PrimitiveEventに関する知識の表現

`lbsn:PrimitiveEvent` には、これ以上分解できないイベントの知識を定義する。このイベントには「時刻  $T$  において、人物  $P$  が位置  $L$  に存在した」という、*Located* イベントがある。これを、以下の述語で表現する。

$$Located(P, L, T)$$

*Located* イベントは `lbsn:PrimitiveEvent` の下位概念として定義し、 $P$  を `foaf:Person`、 $L$  を `ogc:Feature`、 $T$  を `time:Instant` として表す。それぞれの概念の関係を図4に示す。図4内の数字は対応する概念の出現回数制約であり、それぞれの概念が一回のみ出現することを示す。

### 4.2 CompositeEventに関する知識の表現

`lbsn:CompositeEvent` には、複数のイベントからなるイベントの知識を定義する。下位概念である、個人のイベントを表す `lbsn:IndividualEvent` と、ソーシャルな関係を持つ二人以上の人物が関わるイベントを表す `lbsn:SocialEvent` の定義例を示す。ここでは、ルールを用いて、宣言的に複合イベントを定義する。

#### 4.2.1 IndividualEventに関する知識の表現

`lbsn:IndividualEvent` から、*Stopped* イベントと *Stayed* イベントに関する定義を述べる。

*Stopped* イベントを、「一つ前の時点  $T^s$  において  $L$  にいた人



物  $P$  が、時刻  $T^e$  でも位置  $L$  にいた（一つ前の時点と同じ位置にいた）」と定義し、以下のルールで表す。

$$\begin{aligned} & Stopped(P, L, [T^s : T^e]) \\ := & Located(P, L, T^s) \wedge Located(P, L, T^e) \wedge before(T^s, T^e) \\ & \wedge \exists T' \text{ such that } T^s < T' < T^e \end{aligned}$$

ここで、 $before(T^s, T^e)$  は時刻  $T^s$  が時刻  $T^e$  より前の時刻である場合に真となる述語である。このとき、 $\mathcal{H}$  に含まれる  $P$  に関する  $Located$  イベントの中で、時刻  $T^e$  の直前が時刻  $T^s$  である。  $Stopped$  イベントは  $lbsn:IndividualEvent$  の下位概念に定義し、 $[T^s : T^e]$  は  $time:Interval$  で表す。

次に、 $Stopped$  イベントを用いて、 $lbsn:IndividualEvent$  の下位概念に  $Stayed$  イベントを定義する。  $Stayed$  イベントを「人物  $P$  が同じ位置  $L$  に一定時間  $[T^s : T^e]$  いた」と定義する。このイベントを、以下のルールで表す。

$$\begin{aligned} & Stayed(P, L, [T^s : T^e]) \\ := & \bigwedge_{i=1}^n Stopped(P, L, [T_i, T_{i+1}]) \wedge T^s = T_1 \wedge T^e = T_n \\ & \wedge stayDuration([T^s : T^e]) \end{aligned}$$

このとき、 $\mathcal{H}$  に含まれる  $P$  に関する  $Stopped$  イベントの中で、位置  $L$  はすべて同じである。  $stayDuration([T^s : T^e])$  は、 $[T^s : T^e]$  が滞在時間以上の場合に真となる述語である。  $stayDuration([T^s : T^e])$  の滞在時間はアプリケーションに依存する閾値であり、必要に応じて  $lbsn:TemporalContext$  の下位概念に定義された  $lbsn:StayDuration$  を実体化する。たとえば、 $lbsn:StayDuration$  を「15 単位時間」とし、時刻  $t = 1, 5, 10, 15, 20, 25$  においてイベントを観測する。時刻  $t = 5, 10, 15, 20$  においてユーザ  $u$  の  $Located$  イベントを観測したとき、時間順に以下の  $Stopped$  イベントを得ることができる。

- $t = 10$  のとき、 $Stopped(u, l, [5 : 10])$
- $t = 15$  のとき、 $Stopped(u, l, [10 : 15])$
- $t = 20$  のとき、 $Stopped(u, l, [15 : 20])$

時刻  $t = 20$  のとき、滞在時間以上となり、 $Stayed(u, l, [5 : 20])$  を導出する。

#### 4.2.2 SocialEvent に関する知識の表現

$lbsn:SocialEvent$  では、上述した  $Stayed$  イベントから導出した二つのイベントに関する定義について述べる。

一つ目には「二人の人物が一緒に滞在していた」という、 $StayedWithPerson$  イベントがある。これを、異なる人物  $P_1, P_2$  の  $Stayed$  イベントを用いて、以下のルールで表す。

$$\begin{aligned} & StayedWithPerson(P_1, P_2, L, [T^s : T^e]) \\ := & Stayed(P_1, L, [T_1^s : T_1^e]) \wedge Stayed(P_2, L, [T_2^s : T_2^e]) \\ & \wedge [T^s : T^e] = overlapInterval([T_1^s : T_1^e], [T_2^s : T_2^e]) \\ & \wedge stayDuration([T^s : T^e]) \end{aligned}$$

ここで、 $overlapInterval([T_1^s : T_1^e], [T_2^s : T_2^e])$  は  $[T_1^s : T_1^e]$  と  $[T_2^s : T_2^e]$  が重なっていた時区間  $[T^s : T^e]$  を返す関数である。

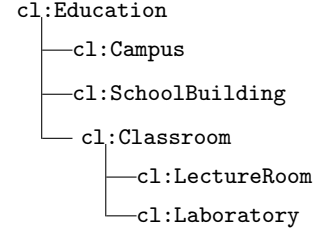


図5 学校 POI の概念階層（一部）

そして、 $StayedWithPerson$  イベントは、異なる人物の関係には明示的な関係がないことから、 $lbsn:WeakTieEvent$  の下位概念に定義する。

二つ目は「互いに友人である二人が一緒に滞在していた」というイベントを、 $StayedWithFriends$  イベントとして定義する。このイベントは、 $StayedWithPerson$  イベントを用いて、以下のルールで表す。

$$\begin{aligned} & StayedWithFriends(P_1, P_2, L, [T^s : T^e]) \\ := & StayedWithPerson(P_1, P_2, L, [T^s : T^e]) \wedge friends(P_1, P_2) \end{aligned}$$

ここで、 $friends(P_1, P_2)$  は  $P_1$  と  $P_2$  が友人関係にあるときに真となる述語である。友人関係はアプリケーションに依存するため、必要に応じて  $foaf:knows$  を用いて定義する。そして、 $StayedWithFriends$  イベントは、強い関係を表す友人関係があることから、 $lbsn:StrongTieEvent$  の下位概念に定義する。

## 5. アプリケーションオントロジの構築

本章では、特定ドメインの LBSN オントロジの構築例として、学校生活に着目した LBSN のモデリングを行う。

学校生活に着目した LBSN では、学内にいる友人の発見や、その友人が「授業中である」といった友人の状況を知ることができる。LBSN オントロジの概念を特殊化し、この LBSN に固有の概念を表現する。構築したオントロジを CL オントロジと呼び、オントロジで定義された概念であることを接頭辞  $cl$  で表す。

まず、学校生活に着目した LBSN に固有の概念である、学校の施設に関する知識を定義する。OSM (OpenStreetMap Japan) <sup>(注6)</sup> の POI (Point Of Interest) を参考に、学校 POI を作成する。  $ogc:Feature$  の下位概念に  $cl:POI$  を定義し、学校 POI を追加する。構築した学校 POI の一部を図5に示す。学校の敷地を  $cl:Campus$ 、校舎を  $cl:SchoolBuilding$ 、校舎の教室を  $cl:Classroom$  と表す。教室の種類には、講義室を表す  $cl:LectureRoom$  と、研究室を表す  $cl:Laboratory$  を定義した。

次に、学校の施設に関する知識を用いて、状況に関する知識を定義する。LBSN オントロジ  $StayedWithPerson$  イベントを特殊化した「二人の人物が一緒に授業を受けていた」という、 $AttendLectureWithPerson$  イベントがある。

(注6) : <https://openstreetmap.jp/>

$$\text{AttendLectureWithPerson}(P_1, P_2, L, [T^s : T^e]) \\ := \text{StayedWithPerson}(P_1, P_2, L, [T^s : T^e])$$

$$\wedge \text{sameLocation}(L, \text{cl:LectureRoom})$$

ここで、定数 `cl:LectureRoom` は、アプリケーションによって定義された講義室 `cl:LectureRoom` の実体である。`sameLocation(L, cl:LectureRoom)` は `L` と `cl:LectureRoom` が同じ位置の場合に真になる述語である。さらに、このイベントの二人の関係が友人関係であった場合、

$$\text{AttendLectureWithFriends}(P_1, P_2, L, [T^s : T^e]) \\ := \text{AttendLectureWithPerson}(P_1, P_2, L, [T^s : T^e]) \\ \wedge \text{friends}(P_1, P_2)$$

「互いに友人である二人と一緒に授業を受けていた」という、`AttendLectureWithFriends` イベントになる。そして、人物の関係に、明示的な関係をもたない `AttendLectureWithPerson` イベントは `lbsn:WeakTieEvent` の下位概念に定義するのに対し、友人関係をもつ `AttendLectureWithFriends` イベントは `lbsn:StrongTieEvent` の下位概念に定義する。

## 6. 評価

本章では、提案した LBSN オントロジの評価方法について述べる。

### 6.1 LBSN オントロジの評価方法

LBSN オントロジに対する明確な評価手法は定められていない。しかし、オントロジの評価方法は、いくつか存在している [17]。本研究では、既存の評価方法をもとに、LBSN オントロジの評価を行う。一つ目は、アプリケーションに基づく方法であり、この方法では、LBSN オントロジが複合イベント処理を考慮した設計を行っていることを検証する。二つ目は、事前定義された指標に基づく方法である。アプリケーションに基づく方法では、LBSN オントロジを十分に評価することができない。そのため、評価指標に基づいた方法により、LBSN サービスを表現できること、複合イベント処理を考慮した設計であることを検証する。以下では、各評価方法に基づいて、LBSN オントロジの評価を行う。

### 6.2 アプリケーションに基づく評価

本節では、アプリケーションに基づき、LBSN オントロジの評価を行う。使用するアプリケーションは、本グループで研究開発を行っている、オントロジに基づく複合イベント処理システム (CEP システム) [18] である。CEP システムに、LBSN オントロジを適用し、定義したイベントを検出できることを確認する。図 6 にシステムのアーキテクチャを示す。データセットには、PE エンジンで検出を行うデータが RDF (Resource Description Framework) 形式で格納されている。RDF リポジトリには、LBSN オントロジが RDF 形式で格納されている。

### 6.3 検出に用いるオントロジの概要

検出に用いる LBSN オントロジには、LBSN に共通した知識を記述したコアオントロジと、アプリケーションごとに異なる

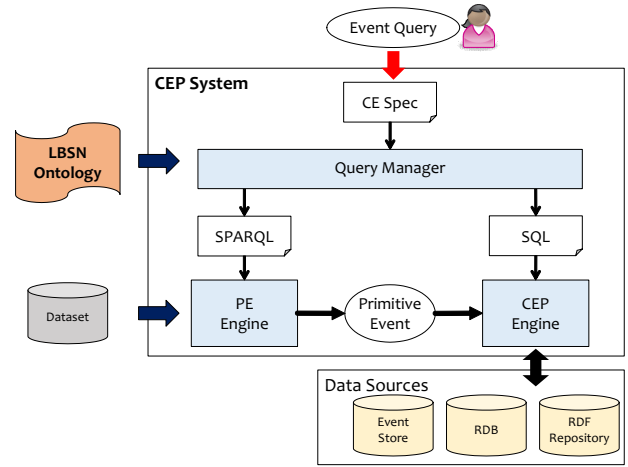


図 6 システムアーキテクチャ

知識が記述されたアプリケーションオントロジがある。今回は、それぞれ 4. のコアオントロジと、5. でモデリングを行った CL オントロジを用いる。オントロジとそのイベント知識は、W3C で規定された、オントロジを表現するための OWL (Web Ontology Language) [19] と、推論ルールを記述するための SWRL (Semantic Web Rule Language) [20] を用いて記述した。

CL オントロジは、愛知県名古屋市にある N 大学を想定し、実体化を行う。図 7 は CL オントロジの POI を用いて実体化した N 大学の学校施設例である。

```

cl:N_University    rdf:type          cl:Campus ;
                   ogc:sfContains   cl:Area_1 ;
                   ...
cl:Area_1          rdf:type          cl:Area ;
                   ogc:sfContains   cl:Lecture_1 ;
                   ...
cl:Lecture_1      rdf:type          cl:SchoolBuilding ;
                   lbsn:hasPart     cl:LecRoom_A ;
                   lbsn:hasPart     cl:LecRoom_B.

```

図 7 N 大学の施設例

`cl:N_University` が学校の敷地を表す実体で、N 大学の敷地は複数の区域を包含 (`ogc:sfContains`) していることを表す。そして、区域は校舎を表す実体 `cl:Lecture_1` を包含し、校舎には複数の教室がある。図 8 は `lbsn:StayDuration` の実体化であり、滞在時間が 15 分以上の場合に `Stayed` イベントとなる。

```

cl:StayDuration    rdf:type          lbsn:StayDuration ;
                   time:minutes     "15"^^xsd:nonNegativeInteger.

```

図 8 `lbsn:StayDuration` の実体

### 6.3.1 問合せ処理

データセットには、人工的に生成した三人の人物のイベント履歴が格納されている。図 9 は、ユーザが N 大学の施設にいたことを示すイベントの例である。

```

cl:Located_2      lbsn:hasAgent      cl:Person_1 ;
                   lbsn:hasSpatialObject cl:LecRoom_A ;
                   lbsn:hasTemporalEntity cl:Instant_2.
cl:Instant_2      rdf:type          time:Instant ;
                   time:inXSDDateTime "2014-11-26T10:30:30"
                                     ^^xsd:dateTime.

```

図 9 `Person_1` が講義室 A にいたことを表すイベント

検出する複合イベント (`lbsn:CompositeEvent`) の例として、ユーザが CE Spec に対して、「AttendLectureWithFriends」を指定する。クエリマネージャは LBSN オントロジを利用し、CE Spec で指定されたイベントを解析し、実行順に

- (1) *Located* イベント
- (2) *Stopped* イベント
- (3) *Stayed* イベント
- (4) *StayedWithPerson* イベント
- (5) *StayedWithFriends* イベント
- (6) *AttendLectureWithFriends* イベント

問合せを生成する。OWL や SWRL で記述したイベント定義を参照し、プリミティブイベント (`lbsn:PrimitiveEvent`) を発見するまでルールの探索を行い、問合せを生成する。図 10 はプリミティブイベントの *Located* イベントを抽出する SPARQL 問合せである。

```
SELECT ?agent ?temporalentity ?spatialobject
WHERE {
    ?located      rdf:type          lbsn:Located ;
                 lbsn:hasAgent     ?agent ;
                 lbsn:hasSpatialObject ?spatialobject.
                 lbsn:hasTemporalEntity ?instant ;
    ?instant      rdf:type          time:Instant ;
                 time:inXSDDateTime ?temporalentity.
}
```

図 10 Located イベントの問合せ

この問合せは、データセットに対し PE エンジンが実行する。

CEP エンジンには、抽出されたプリミティブイベントを受け取り、イベントストアへ蓄積する。また、CEP エンジンには必要に応じてデータソースを参照し、複合イベントの抽出を行う。図 11 は、複合イベントの *StayedWithFriends* イベントを検出するための SQL 問合せである。

```
SELECT DISTINCT x.agent1, x.agent2, x.spatialobject,
                x.starttime, x.endtime
FROM StayedWithPerson AS x
WHERE friends(x.agent1, x.agent2);
```

図 11 StayedWithFriends イベントの問合せ

このとき、先に検出された *StayedWithPerson* イベントと、友人関係を参照する。そして、図 12 は、複合イベントの *AttendLectureWithFriends* イベントを検出する SQL 問合せである。

```
SELECT DISTINCT x.agent1, x.agent2, x.spatialobject,
                x.starttime, x.endtime
FROM StayedWithFriends AS x
WHERE sameLocation(x.spatialobject, 'lectureRoom');
```

図 12 AttendLectureWithFriends イベントの問合せ

このとき、イベントストアに格納された *StayedWithFriends* イベントと、N 大学の講義室 `c1:LectureRoom` の知識を参照する。図 11 内の述語 `friends`、図 12 内の述語 `sameLocation` は、リレーショナルデータベースに定義したユーザ定義関数として実行される。

表 1 に、問合せを実行した結果の一部を示す。agent1 と agent2 列は人物を表し、spatialobject 列は講義室を表す。さらに、starttime 列はイベントの開始時間、endtime 列はイベント

表 1 「AttendLectureWithFriends」問合せの実行結果

agent1	agent2	spatialobject	starttime	endtime
Person_1	Person_2	LecRoom_C	13:00:30	14:28:00
Person_1	Person_3	LecRoom_C	13:01:15	14:30:30

の終了時間を表す。今回行ったイベント検出では、AttendLectureWithFriends 以外にも関連するイベントを含め、11 個のイベントを検出することができた。CEP システムに基づいたイベント検出により、複合イベント処理を考慮したオントロジ設計が行えたことを確認した。

#### 6.4 評価指標に基づく評価

本節では、LBSN オントロジに評価指標を設定し、LBSN オントロジの評価を行う。また、LBSN オントロジの表現能力を比較するため、2. のオントロジと比較を行う。

##### 6.4.1 評価項目の概要

評価項目は、LBSN サービスを表現するために必要な項目と、複合イベント処理を行う上で必要な項目がある。項目は、大きく四つに分類され、人に関する表現、位置に関する表現、イベントに関する表現、および時間に関する表現がある。それぞれの表現を概念レベルから評価を行う。

まず、人に関する表現では、LBSN に参加する特定の人そのものを表す項目と、友人関係などといったソーシャルな関係な関係を表す項目がある。ソーシャルな関係では、人と人との関係性だけでなく、グループの表現が可能か評価する。

次に、位置に関する表現には、緯度と経度や建物の形のような矩形を表す幾何学的な形、地理・空間的な位置を持つ家や大学などといったシンボルを表す項目がある。

イベントに関する表現には、三つの評価項目がある。一つ目は、イベントの粒度である。複合イベント処理では、複数のイベントから構成される複合イベントと、基本となるシンプルなイベントを、明確に区別した表現が必要となる。二つ目は、イベントの構造であり、イベントの構成要素を表現できるか評価する。構成要素とは、時間や人などの、属性を使ってイベントの構造を表す。ただし、イベントの構造は、概念ではなく、関係を用いて表現できることを評価する。最後に、三つ目はイベントのルール表現である。検出するイベントに関する知識を、宣言的なルールで表現できるか評価する。

最後に、時間に関する表現について述べる。時間では、瞬間的な時間、ある期間を持った間隔的な時間が表せることを評価する。

##### 6.4.2 評価結果

表 2 と表 3 に、各評価項目とその評価結果を示す。各評価項目に対して、表現可能な場合には丸印を記述し、一部のみ表現可能な場合には三角が記述されている。また、論文に記載されていないなどの評価ができない場合と、評価項目を表現できない場合は、空欄となっている。

表 2 のソーシャルな関係に着目した場合、提案オントロジ以外のオントロジでは、限定された関係しか表現することができない。たとえば、従業員と雇用主といった関係である。次に、幾何学的な形に着目すると、提案オントロジ以外のオントロジでは、建物の形などの矩形は表現できない。表 3 のルールに着

表2 各オントロジの評価指標に基づく評価 (人と位置)

オントロジ	評価指標		位置に関する表現	
	人	人に関する表現	幾何学的な形	シンボル
LBSN オントロジ	○	○	○	○
Pfoser らの提案オントロジ [4]			△ (注7)	○
YAMATO [5]	○	△ (注7)	○	○
Event Ontology [6]	○			○
Guizzardi らの提案オントロジ [7]				
PalSPOT [11] [13]	○	△ (注7)		○
CoBrA-Ont [12]	○		△ (注7)	○

表3 各オントロジの評価指標に基づく評価 (イベントと時間)

オントロジ	イベントに関する表現			時間に関する表現	
	粒度	構造	ルール	瞬間	間隔
LBSN オントロジ	○	○	○	○	○
Pfoser らの提案オントロジ [4]				○	△ (注8)
YAMATO [5]	△ (注8)	○		○	○
Event Ontology [6]	△ (注8)	○		○	○
Guizzardi らの提案オントロジ [7]	○	○		○	△ (注8)
PalSPOT [11] [13]				△ (注8)	
CoBrA-Ont [12]				△ (注8)	△ (注8)

目した場合、提案オントロジ以外のオントロジでは、宣言的なルール表現を行うことができない。

評価指標に基づく評価により、LBSN サービスの表現と複合イベント処理を考慮したオントロジの設計が行えたことを確認した。また、いずれも比較したオントロジは全ての要件を満たしておらず、LBSN オントロジの有用性を確認した。

## 7. まとめ

本研究では、LBSN に共通する概念をモデリングした LBSN オントロジを提案した。本稿では、LBSN に共通する概念と、アプリケーションを表現するために必要な概念の設計を行い、イベントに関する知識について述べた。評価では、アプリケーションに基づく方法と評価指標に基づく方法により、LBSN オントロジの有用性を示した。

オントロジの記述に用いた OWL や SWRL のような言語では、イベントが複雑になると表現可能なイベントが限られる。高度な意味的なイベントを表現するためには、このような複雑なイベントを記述する方法を検討する必要がある。また、本研究では開発者がアプリケーション固有の概念を記述することを想定しており、開発者が容易に扱うことが可能な言語体系の提供も今後の課題となる。

## 謝辞

本研究の一部は科研費 (25280039, 26540043) による。

## 文 献

- [1] Yu Zheng and Xiaofang Zhou(eds.). *Computing with spatial trajectories*. Springer, 2011.
- [2] 稲葉鉄平, 高橋正和, 築井美咲, 石川佳治. オントロジに基づく LBSN 上でのイベント検出. 第 12 回情報科学技術フォーラム (FIT 2013), 2013.
- [3] Gianpaolo Cugola and Alessandro Margara. Processing flows of information: From data stream to complex event processing. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 44, No. 3, p. 15, 2012.
- [4] Dieter Pfoser and Nectaria Tryfona. The Use of Ontologies in Location-based Services: The Space and Time Ontology in Protégé. *Research Academic Computer Technology Institute*, 2008.
- [5] 溝口理一郎. 知の科学 オントロジー工学の理論と実践. オーム社, 2012.
- [6] Yves Raimond and Samer Abdallah. The event ontology. Technical report, 2007. <http://motools.sourceforge.net/event>.
- [7] Giancarlo Guizzardi, Gerd Wagner, Ricardo de Almeida Falbo, Renata S.S. Guizzardi, and João Paulo A Almeida. Towards Ontological Foundations for the Conceptual Modeling of Events. In *Intl. Conf. on Conceptual Modeling (ER 2013)*, pp. 327–341. Springer, 2013.
- [8] Jerry R Hobbs and Feng Pan. Time Ontology in OWL. W3C Working Draft, 27 September 2006. *World Wide Web Consortium*. <http://www.w3.org/TR/owl-time>.
- [9] Dan Brickley. Basic Geo (WGS84 lat/long) Vocabulary. *Documento informal escrito en colaboración*, 2006. <http://www.w3.org/2003/01/geo>.
- [10] Dan Brickley and Libby Miller. FOAF vocabulary specification 0.98, August 2010. <http://xmlns.com/foaf/spec>.
- [11] Daniele Riboni, Linda Pareschi, Laura Radaelli, and Claudio Bettini. Is ontology-based activity recognition really effective? In *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, pp. 427–431. IEEE, 2011.
- [12] Harry Chen, Tim Finin, and Anupam Joshi. An ontology for context-aware pervasive computing environments. *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 18, No. 3, pp. 197–207, 2003.
- [13] Rim Helaoui, Daniele Riboni, and Heiner Stuckenschmidt. A probabilistic ontological framework for the recognition of multilevel human activities. In *UbiComp*, pp. 345–354. ACM, 2013.
- [14] 築井美咲, 高橋正和, 佐々木勇和, 石川佳治. LBSN オントロジの構築. 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT 2014), 2014.
- [15] Robert Battle and Dave Kolas. Enabling the geospatial semantic Web with Parliament and GeoSPARQL. *Semantic Web*, Vol. 3, No. 4, pp. 355–370, 2012.
- [16] C. Nagel, T. Becker, R. Kaden, k. Li, J. Lee, and T.H. Kolbe. Requirements and space-event modeling for indoor navigation. Technical report, OGC 10-191r1, Open Geospatial Consortium Discussion Paper, 2010.
- [17] Janez Brank, Marko Grobelnik, and Dunja Mladenić. A survey of ontology evaluation techniques. 2005.
- [18] 高橋正和, 築井美咲, 佐々木勇和, 石川佳治. RDF ストリーム上での複合イベント検出. 第 13 回情報科学技術フォーラム (FIT 2014), 2014.
- [19] Deborah L McGuinness, Frank Van Harmelen, et al. OWL web ontology language overview. *W3C recommendation*, 10 February 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.
- [20] Ian Horrocks, Peter F Patel-Schneider, Harold Boley, Said Tabet, Benjamin Grosf, Mike Dean, et al. SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. *W3C Member submission*, Vol. 21, p. 79, 2004.

(注7) : 一部のみ表現可能 (概念/関係/個体)

(注8) : 関係を用いて表現可能