

# セマンティック Web のためのイベントオントロジー

兼岩 憲 岩爪 道昭

セマンティック Web の実現には、意味構造データ (メタデータ, オントロジーやルールなど) を Web ページに付与して、Web データの意味を機械が読めるようにしなければならない。しかし、Web における意味構造データの多くは静的なものとその属性であり、現実世界における事象や行為の発生や状態の変化があまり扱われていない。本論文では、セマンティック Web において事象や行為の意味構造を扱うためにイベントデータの形式オントロジーを提案する。イベントが含む多様な情報を記述してデータ化することを目的に、イベントの (i) 構成物, (ii) 意味機能, および (iii) イベント間の関係による 3 つの意味構造の視点から新しいイベントタイプの分類を行う。そのイベントオントロジーの定義には、構造的表現に優れたソート階層 (概念階層) を用いる。

In the semantic web context, there is a need to consider the nature of event entities in order to describe the semantic data of events in addition to that of objects and properties. This is because event data describes various features and behaviors of the occurrences of actions and changes in the real world. In this paper, we propose to establish an upper event ontology in order-sorted logic as an infrastructure for the semantic data of events. Our event ontology contains a classification of event entities (e.g., natural events and artificial events), event semantic functions (e.g., state change and existential change), and event relationships (e.g., causal relations and next-event relations).

## 1 はじめに

セマンティック Web は、Web 上のシンタクティックなデータ処理を超えてデータの意味構造を扱うことで高度な Web 処理を可能にする。その実現のために、Web ページにメタデータ, オントロジーやルールなどの意味構造データを付与して、データの意味を機械が読めるよう (machine-readable) にしなければならない。W3C では、セマンティック Web のインフラとして、メタデータ, オントロジーやルールを Web 上で記述するためのマークアップ言語 RDF, OWL や

RuleML が標準化されている。そうした標準言語を用いて、実際に意味構造データが日々作成されている。

Web において最も構築されている意味構造データは、人、組織、商品などの静的なものとその属性を記述したメタデータやオントロジーである。しかし、現実世界を描写する Web データに対しては、事象や行為の発生や状態の変化を扱わなければならない。その動的な振る舞いには複雑な意味表現が必要になる。従って、Web 上で意味処理を行うには、対象の性質や属性を表す静的なデータとともに、事象、行為や状態変化などの動的なデータを機械が適切に解釈しなければならない。本論文では、静的なデータとして対象の性質や属性をプロパティ、動的なデータとして事象、行為や状態変化をイベントと総称する。

形式オントロジーの研究分野では、イベントの動的な特性を解明するために事象や行為の知識が研究されている。その中でも、上位オントロジーの研究 [9][27] では、深い考察に基づいて静的なプロパティと動的なイベントの本質的な特性が分析され、両者の

An Event Ontology for the Semantic Web.

Ken Kaneiwa, 岩手大学, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Iwate University.  
Michiaki Iwazume, (独) 情報通信研究機構, National Institute of Information and Communications Technology.

コンピュータソフトウェア, Vol.28, No.3 (2011), pp.153-166.

[研究論文] 2010 年 1 月 15 日受付.

†1 本論文は、国際会議論文 [14] の拡張版である。

違いが哲学的・形式的に定義される．実際，いくつか上位オントロジーの標準が Web 上で公開されている．Guarino らのグループは DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering) [19] と呼ばれるオントロジーを構築し，そこでイベントは *perdurant* のサブクラス，かつ持続 (*endurant*)，質 (*quality*) および抽象 (*abstract*) の排他クラスとして定義されている．一方，IEEE 標準上位オントロジー WG が設計した SUMO (Suggested Upper Merged Ontology) [20] は，概念，関係および公理から構成されている．その中で抽象概念と物理概念が分類され，さらに物理概念はオブジェクトと，イベントに相当するプロセスとに区分されている．また，OpenCyc [22] の上位オントロジーでは，イベントは時間的 (*temporal*) で無形な (*intangible*) 概念として定義されている．

しかし従来アプローチでは，セマンティック Web でイベントデータの意味構造を与えるオントロジーとしては哲学的で抽象的過ぎる．なぜならば，実際に機械が読めるイベント情報を入力するにはイベントをデータ化する必要がある．そのためには，イベントの構成物，機能や関係などを描写しなければならない．言い換えれば，以下の情報を明確化すべきである．

- (i) イベントの構成物
- (ii) イベントの意味機能
- (iii) イベント間の関係

本論文では，イベントオントロジーを提案してセマンティック Web の基盤を与える．特に，上記 (i) ~ (iii) による意味構造の視点からイベント分類を行う．まず，イベントの構成物がイベント情報を表現する述語 (イベント述語と呼ぶ) の引数構成をもたらすことで，自然イベントや人工イベントのようなイベントのタイプを分類する．この分類には，セマンティック Web におけるオントロジーとルールの意味構造を表すために順序ソート論理 [16][15][13] のソート階層表現を用いる．次に，イベントによって生じる変化や作用をイベントの意味機能とみなして，それらの分類と論理的な意味づけを定義する．さらに，因果関係や次時間関係のようなイベント間の関係を，イベントのインスタンスとクラスとの違いを考慮して定義する．

そのため Barry Smith が提案したバイオインフォマティクスのイベント関係 [26] を修正する．これらの複数のイベント間関係により，イベント列によるデータを構成できる．

本論文の構成は以下の通りである．2 章では，順序ソート論理 [17] の概念階層を拡張してイベントオントロジーを説明する．3 章では，イベントの構成物と意味構造に基づいてイベントの分類を構築する．4 章は，イベント列を構成するためにイベント間関係を定義し，さらにイベントがもつ制約を定義する．5 章では，本研究の新規性と有用性について述べる．最後に 6 章で，結論と今後の課題を述べる．

## 2 ソート階層によるイベントオントロジー

本章では，イベントオントロジーの準備として順序ソート論理によるソート階層の記述方法について簡単に説明する．イベントオントロジーは複数の概念によって構成されるが，それらの概念をソート表現に対応させる．それにより複数のソートから概念階層 (ソート階層と呼ぶ) を構築して，イベントオントロジーを設計する．

以下は，4 つのソート記号  $s_1, \dots, s_4$  からなる簡単なソート階層を表す．

```
Sort  $s_1$ 
  Subsort  $s_2$ 
    Subsort  $s_3$ 
      Subsubsort  $s_4$ 
```

この階層は，ソート  $s_1$  が下位ソート  $s_2, s_3$  をもち，ソート  $s_3$  が下位ソート  $s_4$  をもつことを示す．ソート階層において，ソートのすべてのインスタンスは上位ソートのインスタンスであることを意味する． $S$  をソート記号の集合  $\{s_1, s_2, \dots\}$  とする．そのとき上記のオントロジーは，ソート階層で記述すると以下のサブソート関係  $\sqsubseteq (\subseteq S \times S)$  で宣言できる．

$$s_4 \sqsubseteq s_3, s_3 \sqsubseteq s_1, s_2 \sqsubseteq s_1$$

本来，ソート記号は実在する物理的な対象物 (人間など) や抽象的な対象物 (実数など) を特徴づける集合概念を表すために提案された記号である．しかし本論文では，その考えを拡張してイベントの発生と概念に対しても同じくインスタンスとそのソートがある

と考える．具体的には，イベントは同じタイプや同じ名前のイベントが何度も起こるとき，それぞれをイベントのインスタンスと考えると，同種類のイベントの集まりをイベントのソートと見なしたい．それは物理的対象がインスタンスとして複数ある場合とは異なっており，時空間上に何度も発生するイベントのインスタンスを扱っている．

従って，イベントソート *Event* はイベントインスタンスを要素にもつ特別なソートとして対象物ソート *Object*，時間ソート *Time* や場所ソート *Location* と区別されなければならない（即ち，互いに排他的である）．さらに順序ソート論理の言語によってイベントを表すとき，イベントインスタンスは対象物ソートとは違って述語の役割をもつと言える．即ち，各イベント発生を構成する  $n$  個の要素からなる関係を表してもいるので， $n$  項述語として定義される．このようにイベントインスタンスを述語とすると，イベントの内部構造は順序ソート論理の型宣言（ソートシグネチャ）により以下のように定義できる．

$$Event: \langle s_1, \dots, s_n \rangle$$

この場合イベントソート *Event* のインスタンスは  $n$  項述語として， $\langle s_1, \dots, s_n \rangle$  の型をもつ．

### 3 イベント分類

本章では静的なプロパティには含まれないイベントの特性を明らかにするために，前章のソート階層を用いてイベントタイプ进行分类する．特にイベントの構成物と意味機能に視点を置いて，それぞれ違ったイベントタイプの分類を行う．

#### 3.1 構成物によるイベント分類

イベントソート *Event* をイベントに関する最上位ソートとする．以下は，*Event* の下位ソートをイベントの構成物によって分類したイベントオントロジーである．

Event

NaturalEvent

Occurrence1:  $\langle Time, Location \rangle$

Occurrence2:  $\langle Object, Time, Location \rangle$

ArtificialEvent

Action1a:  $\langle Agent, Object, Time, Location \rangle$

Action1b:  $\langle AgentGroup, Object, Time, Location \rangle$

Action2:  $\langle Agent, Time, Location \rangle$

Action3:  $\langle AgentGroup, Time, Location \rangle$

DynamicState

ObjectChange:  $\langle Object, Time, Location \rangle$

EnvironmentChange:  $\langle Time, Location \rangle$

StaticState

ObjectState:  $\langle Object, Time, Location \rangle$

EnvironmentState:  $\langle Time, Location \rangle$

イベントは，それを起こす主体や含まれる対象物の存在によって，自然イベントと人工イベントに分類できる．もしイベント自体が自然に発生し行為者が存在しないならば，それを自然イベント (natural event) という．例えば，自然イベントには，地震，火山活動，洪水，津波，台風などがある．通常，地震や台風などでは対象物を明示せず，場所情報を付加して「新潟で地震が起きた」や「東京に台風が来た」と記述される．このように自然イベントは基本的に行為者を含まないが，それに代って火山活動なら山，洪水なら海や川のように中心的な対象物を明示する場合もある．これにより自然イベントを述語で表現するとき，前者は引数が時間と場所のみの 2 項述語，後者は対象，時間と場所の 3 項述語で宣言される．

自然イベントとは別に，人間などの行為者によって実行されるイベントを人工イベント (artificial event) という．人工イベントは，行為者とその他の構成物との関係の違いで次のように 3 つに分類される．

定義 1 (人工イベントの分類) イベントの構成物によって人工イベントを 3 タイプに分類する．

- (1) 人または複数人から人や物や環境への行為（例えば，ニュース記事に現れる殺人，窃盗，森林伐採，環境破壊）
- (2) 自身が動く行為（例えば，飛ぶ，歩く）
- (3) 複数人間での事象（例えば，国際会議，集会）

以上の 3 タイプの人工イベントに対して，行為者と対象物との関係構造を図 1 に示す．(1) のタイプの人工イベントは，主体者による現実世界の対象物への

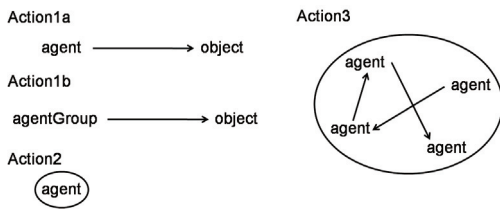


図1 3タイプの人工イベント

行為を示している。従って、このイベントの構成物は主体、対象、時間と場所なので、それらが引数になって4項述語で記述できる。(2)のタイプの人工イベントは主体者自身の動作のみを意味する行為である。このイベントには対象物は無く、主体、時間と場所が構成物になり3項述語で記述できる。また、(3)のタイプの人工イベントは、複数の主体によって開催される事象であり、主体群、時間と場所が構成物になり3項述語で記述できる。これは各主体の個別行為には注目せず、全体的な事象を意味する。

上記オントロジーでは、イベントソート *Event* の下位ソートに自然イベントと人工イベントがあるが、それに加えて動的状態と静的状態がある。これは、時間と場所で変化する状態をイベントの下位概念としている。関連研究では状態とイベントを別物とする考え方もあるが、解釈や視点次第では状態もイベントと見なせるので、状態をイベントの下位ソートにまとめる方が都合が良い。同様に Hobbs ら [10] も自然言語文のアノテーション言語において状態をイベントの1つとして扱っている。

状態概念は、次のように2つのタイプが定義される。対象や環境の状態が時間や場所で変化する振る舞いを示すとき、動的状態 (dynamic state) という。一方、状態が時間や場所の限定的な属性や性質を示すとき、静的状態 (static state) と呼ぶ。例えば、動的状態には「上昇・下降」「揺れが続いている」「やや活動的」「強くなっている」などがあり、変化の振る舞いを表す。静的状態には、「暑い」「寒い」「晴れ」などがあり、ある時空間で成り立つ状態を示す。従って、動的状態は静的状態の変化を詳示していると言える。静的状態「温度が低い」が成り立つとき、温度が高くなるような振る舞いがあるならば動的状態「温

度が上昇している」で表すことが可能である。これらの2つの状態は、対象と環境のどちらの状態を示しているかでそれぞれが対象状態と環境状態に分類できる。対象状態 (object state) は、対象、時間と場所の3つの構成物からなり3項述語で表される。環境状態 (environment state) は、時間と場所の2つの構成物により2項述語で表される。

### 3.2 機能によるイベント分類

前節ではイベントを構成する対象物やイベント発生の環境でイベントタイプを分類したが、本節ではイベントが備える意味機能から分類を行う。意味機能は、各イベントの現実世界に対する機能的変化や対象の振る舞いを形式的かつ意味的に示す。本研究では、ソート階層表現を使って意味機能を分類して、同じタイプの意味機能を同じ論理演算子で定義する。

意味機能を考えるとき、行為や状態を示す語彙として自然言語の動詞が参考になる [21]。以下は、イベントオントロジーとして6つの意味機能タイプを示している。

EventSemanticFunction

StateChange

TemporalExistenceChange

SpatialExistenceChange

CardinalityChange

Comparison

ObjectIdentificationChange

6つの下位ソートはそれぞれ状態変化、時間上の存在変化、空間上の存在変化、基数変化、比較と同一性変化の意味機能タイプである。

既存の時相論理や様相論理 [6] を用いれば、イベントの意味機能を時相、様相、基数、量化と論理結合子によって定義することができる。意味機能において、各イベントは対象や環境に影響を与えて、その結果次のステップ (時間) でそれらの性質や状態を変化させる。従って、本研究では時間軸上や場所軸上でのプロパティの真理値変化を表す論理表現によって、意味機能を定義する。そのような複雑なイベント機能を意味論に組み込むために、様相演算子と時間演算子に加えて等号や一般化量子も導入する。それらの道具を

使って、以下に6つの意味機能タイプを定義する。

**定義 2 (状態変化)** イベント発生によって次のステップで状態の変化をもたらすとき、それを状態変化イベントという。このイベント機能は、以下の論理式で意味づけできる。

$$F_1 \rightarrow \bigcirc F_2$$

時相演算子  $\bigcirc F_2$  は、論理式  $F_2$  が次時間で真であることを示す。従って、イベントの意味機能は論理式  $F_1 \rightarrow \bigcirc F_2$  により定義され、「もし状態またはプロパティ  $F_1$  が真ならば、イベントによって次時間で状態またはプロパティ  $F_2$  が真となる」ことを示す。

**定義 3 (時間上の存在変化)** 時間の経過に依存してイベントの発生がオブジェクトの存在を変化させるとき、それを時間上の存在変化イベントと呼ぶ。このイベント機能は、以下の論理式で意味づけできる。

$$\square_P(\neg E(x)) \wedge E(x)$$

時相演算子  $\square_P F$  は、過去すべてで論理式  $F$  が真であったことを示す。よってイベントの意味機能が論理式  $\square_P(\neg E(x)) \wedge E(x)$  により「ある対象  $x$  は過去に存在しないが、現在存在する」ことを示す。ここで  $E(x)$  は存在述語であり、対象  $x$  が存在することを示す。

**定義 4 (空間上の存在変化)** 空間上の移動に依存してイベントの発生がオブジェクトの存在を変化させるとき、それを空間上の存在変化イベントという。このイベント機能は、以下の論理式で意味づけできる。

$$E(x) \rightarrow \bigcirc(\neg E(x) \wedge \blacklozenge E(x))$$

空間演算子  $\blacklozenge F$  は、論理式  $F$  が現地点から到達可能なある地点で真となることを示す。従って  $E(x) \rightarrow \bigcirc(\neg E(x) \wedge \blacklozenge E(x))$  の意味機能は、「現時点で存在する対象  $x$  が、(イベントによって次時間で) 現地点には存在しなくなり到達可能なある地点で存在する」ことを示している。

**定義 5 (基数変化)** イベント発生が対象物の数の変化をもたらすとき、それを基数変化イベントと呼ぶ。このイベント機能は、以下の論理式で意味づけできる。

$$\exists_i x F(x) \rightarrow \bigcirc \exists_{>i} x F(x)$$

$n$  を自然数とすると、基数量子 (counting quantifier)  $\exists_n x F(x)$  は「対象  $x$  が  $n$  個存在し、論理式  $F(x)$  が真である」ことを表す。基数変化イベントの定義で

は、基数量子  $\exists_i$  内に自然数の変数  $i$  を導入して、 $n$  が定数である基数量子  $\exists_n$  より高い表現力を必要とする。それにより、論理式  $\exists_i x F(x) \rightarrow \bigcirc \exists_{>i} x F(x)$  による意味機能は「もし  $F(x)$  が真となる対象  $x$  が  $i$  個存在するならば、次時間で  $F(x)$  が真となる対象  $x$  が  $i$  個より多く存在する」ことを意味する。この意味機能は「イベント発生によって次時間に対象物の数が増加する」ことを示す。

**定義 6 (比較)** 対象物に関する属性値が次時間の属性値と比べて差違をもたらすとき、それを比較イベントと呼ぶ。このイベント機能は、以下の論理式で意味づけできる。

$$\exists y(\text{属性}(x) = y \rightarrow \bigcirc(\text{属性}(x) > y))$$

この意味機能の定義では「属性 ( $x$ )」は対象  $x$  の属性値を示し、不等号  $>$  は現在と次時点での属性値を比較するのに用いられる。そのような比較のために、ある基準となる属性値  $y$  が存在して、イベント発生前または発生後にターゲットの属性値「属性 ( $x$ )」と  $y$  を比較するようにして定義される。

**定義 7 (同一性変化)** イベント発生が、ある対象の本質的属性に変化をもたらして次時点で対象の同一性が失われるとき、それを同一性変化イベントと呼ぶ。このイベント機能は、以下の論理式で意味づけできる。

$$\exists y(x \equiv y \rightarrow \bigcirc(x \neq y))$$

同一性変化イベントの発生によって、次時間で対象  $x$  の同一性が失われる。従って、 $\exists y(x \equiv y \rightarrow \bigcirc(x \neq y))$  の意味機能は、「もし対象  $x$  と同一の対象  $y$  が存在するとき、次時間で  $x$  と  $y$  が同一でなくなる」ことを示す。即ち、ある対象  $x$  がある別の対象へ変形することを意味する。

上記定義に基づいて、イベント述語とその意味機能の論理式との対応一覧を表1と表2に示す。意味機能のタイプは、AからFが順に状態変化、時間上の存在変化、空間上の存在変化、基数変化、比較および同一性変化を表している。以上では意味機能を6つ定義したが、これらは1イベントに複数含まれるかもしれない。即ち、複数の異なる論理結合子が1イベントの定義に利用される場合がある。例えば、イベント述語「行く」は、タイプA:状態変化とタイプC:空間上の存在変化の2つの意味機能で定義される。また、

イベント述語「死ぬ」は、タイプ B: 時間上の存在変化で定義される。論理式  $\diamond_P F$  は「論理式  $F$  が真である過去が存在する」を意味し、論理式  $\square_F F$  は「すべての未来で論理式  $F$  が真である」を意味する。さらに、論理式  $F_1 \& F_2$  は SINCE 演算子によって「論理式  $F_2$  が真である過去が存在し、その時点から現在まで論理式  $F_1$  は真である」を意味する。これらの様相演算子を使って「死ぬ」は、「過去のある時点から存在した対象  $x$  は、未来のある時点から存在しなくなる」として定義される。

イベントの意味機能は、イベントの発生そのものを意味づけており、それは各イベントの動的な振る舞いを表している。

#### 4 イベントの関係と制約

前章では各イベントのタイプについて考えたが、本章では 2 つのイベント間の関係およびイベントがもたらす制約を定義する。

##### 4.1 イベント間関係と因果関係

複数のイベントは、互いに何かの関係を持つことがある。その代表的な関係がイベント間の因果関係である。イベント間関係は、原因や結果によるイベント列を構築してイベントの流れを構造化するのに重要である。本研究では、イベント間関係を定義するのにバイオインフォマティクスにおける Smith らの関係オントロジー [26] を修正する。

まず、イベント間関係の分析に際してイベントがクラスとインスタンスのいずれかを区別しなければならない。その上でイベントに含まれる対象や時間が互いのイベントを結びつけていることを考える。以下では、イベントに限定しないでより一般的な 2 項関係の分類を示している。

BinaryRelation

*ObjectRelation*:  $\langle \text{Object}, \text{Object} \rangle$

*EventRelation*:  $\langle \text{Event}, \text{Event} \rangle$

*CausalRelation*:  $\langle \text{Object} \sqcup \text{Event}, \text{Object} \sqcup \text{Event} \rangle$

因果関係 (causal reation) は、イベント (状態を含む) だけでなく対象物も加えて様々な要素間で成り立

つ関係である。例えば、もし太郎が家に火を付けたならば、火事の原因はその火を付けた「行為」とも言えるし、(人間である)「太郎」が原因とも言える。従って、2 つの因果関係「火を付ける  $\rightarrow_{\text{cause}}$  火事」と「太郎  $\rightarrow_{\text{cause}}$  火事」を書くことができる。

関係要素をイベントにのみに注目すると、2 項関係の部分である様々なイベント間関係が以下の分類で定義できる。

EventRelation

EventInstanceRelation

EventTemporalRelation

EventSpatialRelation

NextEventRelation

PartOfRelation

EventInstanceCausalRelation

DisjointCausalRelation

ContinuousCausalRelation

OverlappingCausalRelation

PartialCausalRelation

EventClassRelation

DisjointRelation

SubclassRelation

PartOfRelation

EventClassCausalRelation

イベント間関係を形式的に定義するために、イベントのインスタンスとクラスを区別して関係要素を明確にする。即ち、イベントは実際に起こったイベントインスタンスと、同じ性質のイベントインスタンスを集めたイベントクラスに区別される。地震、火災など同じ種類のイベントを集めた概念をイベントクラスと呼び  $E_i$  で表す。地震、火災などのイベントクラスの具体事例 (イベント発生) をイベントインスタンスと呼び  $e_i$  で表す。故に、イベントインスタンスはあるイベントクラスに属す。また、各イベントインスタンスにはイベントが生じた時間と場所の情報があるが、イベントクラス全体にはない。例えば、「地震」はすべての地震を表すイベントクラスであり、「昨日の震度 3 の地震」や「スマトラ沖地震」は「地震」に属す具体的なイベントインスタンスである。

まず、イベントインスタンス間の 2 項関係を次のよ

表 1 イベント述語の意味機能 (a)

イベント述語	意味機能	タイプ
治す (x, y)	$\neg\text{健康}(y) \wedge (\text{行為}(x, y) \vee \text{作用}(x, y)) \rightarrow \bigcirc\text{健康}(y)$	A
(説明) y が健康でなく, x から y に行為または作用が与えられたならば, 次時間で y が健康となる		
飲む (x, y)	$(\text{位置}(y) = \text{口の中} \wedge \text{吸い込む}(x, y) \wedge \neg\text{かむ}(x, y)) \rightarrow \bigcirc(\text{位置}(y) = \text{体の中})$	A
(説明) y の位置が口の中で, x が y をかまずに吸い込んだならば, 次時間で y が体の中にある		
話す (x, y, z)	$\exists v(\text{声}(v) \wedge \text{出す}(x, v)) \rightarrow \bigcirc\text{得る}(z, y)$	A
(説明) x が声 v を出すならば, 次時間で z は情報 y を得る		
止める (x, y)	$\text{活動}(y) \wedge (\text{行為}(x, y) \vee \text{作用}(x, y)) \rightarrow \bigcirc\neg\text{活動}(y)$	A
(説明) y が活動しているとき x から y に行為または作用が与えられたならば, 次時間で y が活動しなくなる		
死ぬ (x)	$\diamond_P(\Box_P\neg E(x) \wedge E(x)) \wedge (\neg E(x)SE(x)) \wedge \Box_P(\neg E(x))$	B
(説明) ある時点から現在まで存在した x が存在しなくなる		
刷る (x, y)	$\exists v(\text{物}(v) \wedge \text{行為}(x, v) \rightarrow \bigcirc\exists z(\text{上}(z, v) \wedge \text{付く}(\text{形}(y), z)))$	A
(説明) x が物 v へ行為を行ったならば, 次時間で v の上 z に y の形が付く		
盗む (x, y, z)	$\text{取る}(x, y) \wedge \neg\text{所有}(x, y) \wedge \text{所有}(z, y) \rightarrow \bigcirc(\text{所有}(x, y) \wedge \neg\text{所有}(z, y))$	A
(説明) x が所有せず z が y を所有するとき x が y を取ったならば, 次時間で x が所有して y が所有しなくなる		
取る (x, y)	$\neg\text{所有}(x, y) \rightarrow \bigcirc\text{所有}(x, y)$	A
(説明) x が y を所有しないとき, 次時間で x が y を所有ようになる		
生まれる (x)	$\Box_P(\neg E(x)) \wedge E(x)$	B
(説明) x は過去存在しないが現在存在する		
行く (x)	$\text{行為}(x) \rightarrow \bigcirc(\neg E(x) \wedge \blacklozenge E(x))$	AC
(説明) x が行為を行ったならば, 次時間の現地点で x が存在せず到達可能のある地点で存在する		
離れる (x, y)	$\text{隣接}(x, y) \vee \text{重なる}(x, y) \rightarrow \bigcirc(\neg\text{隣接}(x, y) \wedge \text{重なる}(x, y))$	A
(説明) x と y が隣接または重なるならば, 次時間で x と y が隣接も重なりもしなくなる		
見る (x, y)	$\text{使う}(\text{視覚}(x)) \wedge \exists v((v = \text{存在}(y) \vee v = \text{形}(y) \vee v = \text{内容}(y)) \vee v = \text{様子}(y)) \wedge \text{得る}(x, v)$	E
(説明) x の視覚を使い y の存在, 形, 内容または様子 v を得る		
知る (x, y)	$\exists v((v = \text{情況}(y) \vee v = \text{内容}(y) \vee v = \text{意味} \cdot \text{価値}(y)) \wedge \text{得る}(x, v))$	E
(説明) x が y の情況, 形, または意味・価値 v を得る		

うに定義する。

定義 8 (イベントインスタンス関係)  $e_1, e_2$  を 2 つのイベントインスタンスとする。そのとき,  $e_1$  と  $e_2$  の 2 項関係  $r(e_1, e_2)$  をイベントインスタンス関係と呼び, 次のように定義する。

- イベントインスタンス  $e_1$  がイベントインスタンス  $e_2$  を生じるとき, イベントインスタンス因果関係  $e_1 \rightarrow_{\text{cause}} e_2$  が成り立つ。
- イベントインスタンス  $e_1$  の発生後にイベントインスタンス  $e_2$  が発生したとき, 次イベント関係  $e_1 \rightarrow_{\text{next}} e_2$  が成り立つ。
- イベントインスタンス  $e_1$  とイベントインスタンス  $e_2$  に時間的重複があり,  $e_1$  が  $e_2$  の部分的空間で起こるとき, イベント部分関係  $e_1 <_{po} e_2$  が成り立つ。

2 項関係をイベントに限定することで, 複数のイベント因果関係および次イベント関係から以下のよう

にイベント列を表現することができる。

$$e_1 \rightarrow_{\text{cause}} e_2 \rightarrow_{\text{cause}} e_3 \rightarrow_{\text{next}} e_4 \rightarrow_{\text{cause}} e_5$$

このようなイベント列で, イベントとその結果成り立つ状態を連続に記述して一連のストーリーを描写することも可能である。

イベント因果関係および次イベント関係によるイベント列に対して, 始点と終点を考える。イベント列のすべてのイベントと連結しその中で発生した時間がもっとも早いとき, イベント列の始点という。あるイベントが存在し, そのイベントの後ろに連結する(それ以降の時間に発生する)イベントが存在しないとき, イベント列の終点という。例えばイベント「地震災害」を考えたとき, 最初に揺れが起こったときが始点であり, 地震により地域が被害を受けて, 救援活動によって社会が通常生活に戻ったときが終点と考えることができる。

イベントインスタンス因果関係は, 2 つのイベント

表 2 イベント述語の意味機能 (b)

イベント述語	意味機能	タイプ
分かる $(x, y)$	$\exists v((v = \text{事実}(x) \vee v = \text{内容}(x) \vee v = \text{意味}(x)) \wedge \text{得る}(x, v))$	$E$
(説明) $x$ が $y$ の事実, 内容, または意味 $v$ を得る		
大きい $(x, y)$	$x > y$	$E$
(説明) $x$ は $y$ より大きい		
増える $(x)$	$\exists i(\text{自然数}(i) \wedge \exists_i x \text{ 可算物}(x) \rightarrow \bigcirc \exists_{>i} x \text{ 可算物}(x))$	$AD$
	$\exists y(\text{実数}(y) \wedge \text{量}(x) = y \rightarrow \bigcirc(\text{量}(x) > y))$	$AE$
(説明) ある自然数 $i$ 個の $x$ が存在するならば, 次時間で $i$ 個より多い $x$ が存在する $x$ の量がある実数値 $y$ ならば, 次時間で $x$ の量がある実数値 $y$ より大きい		
減る $(x)$	$\exists i(\text{自然数}(i) \wedge (i > 0) \wedge \exists_i x \text{ 可算物}(x) \rightarrow \bigcirc \exists_{i-1} x \text{ 可算物}(x))$	$AD$
	$\exists y(\text{実数}(y) \wedge \text{量}(x) = y \rightarrow \bigcirc(\text{量}(x) < y))$	$AE$
(説明) ある自然数 $i$ 個の $x$ が存在するならば, 次時間で $i$ 個より少ない $x$ が存在する $x$ の量がある実数値 $y$ ならば, 次時間で $x$ の量がある実数値 $y$ より低くなる		
上がる $(x)$	$\exists y(\text{位置}(x) = y \rightarrow \bigcirc(\neg E(x) \wedge \blacklozenge(E(x) \wedge \text{位置}(x) > y)))$	$ACD$
	$\exists y(\text{値}(x) = y \rightarrow \bigcirc(\text{値}(x) > y))$	$AE$
(説明) $x$ の位置が $y$ ならば, 次時間の現地点で $x$ が存在せず到達可能のある地点で存在して, 位置は $y$ より大きい $x$ の数値が $y$ ならば, 次時間で $x$ の数値が大きい		
高い $(x, y)$	$\exists r(\text{実数}(r) \wedge \text{値}(x) = r \wedge (\text{値}(y) < r))$	$E$
(説明) $x$ の値を示す実数 $r$ は, $y$ の値を示す実数より大きい		
多い $(x, y)$	$\exists r(\text{実数}(r) \wedge \text{量}(x) = r \wedge (\text{量}(y) < r))$	$E$
(説明) $x$ の量を示す実数 $r$ は, $y$ の量を示す実数より大きい		
変わる $(x)$	$\exists y(x \equiv y \rightarrow \bigcirc(x \neq y))$	$F$
(説明) $x$ がある $y$ と同一ならば, 次時間で $x$ が $y$ と同一ではなくなる		
同じ $(x, y)$	$x \equiv y$	$F$
(説明) $x$ と $y$ は同一である		
作る $(x, y)$	$\exists z(\text{行為}(x, z) \rightarrow \bigcirc(\text{生まれる}(y) \wedge y \neq z))$	$AF$
	$\text{行為}(x) \rightarrow \bigcirc \text{生まれる}(y)$	$A$
(説明) $x$ がある $z$ に行為を行ったならば, $z$ と同一でない $y$ が生まれる (説明) $x$ が行為を行ったならば, $y$ が生まれる		
似る $(x, y)$	$\exists v, w(\text{特徴}(v, x) \wedge \text{特徴}(w, y) \wedge v \equiv w)$	$F$
(説明) $x$ のある特徴 $v$ と $y$ のある特徴 $w$ が同一である		

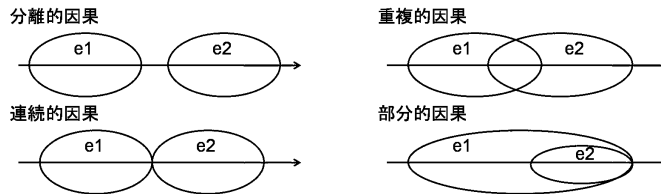


図 2 4タイプの因果関係

の時間関係の違いにより, さらに分離的因果, 連続的因果, 重複的因果と部分的因果に分類することができる(図2). イベントインスタンスには時間と場所の情報が含まれるので, それらを参照すれば一意に時間関係と場所関係が与えられる.  $time(e)$  と  $loc(e)$  をイベントインスタンス  $e$  の時間と場所をそれぞれ返す関数とすると, イベント時間関係とイベント空

間関係はそれぞれのイベント発生の時間と場所によって自動的に得られる.

次にイベントクラス間の関係を定義する.

定義 9 (イベントクラス関係)  $E_1, E_2$  を2つのイベントクラスとする. そのとき,  $E_1$  と  $E_2$  の2項関係  $R(E_1, E_2)$  をイベントクラス関係と呼び, 以下のように定義する.



- イベントクラス  $E_1, E_2$  のそれぞれのインスタンスが同じ場所で同時に起こりえないならば、イベント排他関係  $E_1 \parallel E_2$  が成り立つ。
- イベントクラス  $E_1$  のすべてのインスタンスがイベントクラス  $E_2$  に属すならば、イベント階層関係  $E_1 \sqsubseteq E_2$  が成り立つ。
- イベントクラス  $E_1$  のすべてのインスタンス  $e$  に対して、 $E_2$  のインスタンス  $e'$  が存在して  $e' <_{p_0} e$  となるならば、イベントクラス部分関係  $E_1 <_{p_0} E_2$  が成り立つ。
- イベントクラス  $E_1$  の 50% より多くのインスタンス  $e$  に対して、 $E_2$  のインスタンス  $e'$  が存在して  $e \rightarrow_{cause} e'$  となるならば、イベントクラス因果関係  $E_1 \rightarrow_{cause} E_2$  が成り立つ。

例えば、イベント排他関係「豪雨  $\parallel$  晴天」は豪雨と晴天のそれぞれのイベントインスタンスが同時に発生しないことを意味する。また、イベントクラスはイベント階層関係によってイベント階層を構築する。例えば、「地震  $\sqsubseteq$  自然災害  $\sqsubseteq$  災害」は「災害」の下位クラスに「自然災害」があり、「自然災害」の下位クラスに「地震」があることを示す。ここでイベントクラス「地震」は地震インスタンス(発生)を集めたクラスに対応する。しかし、「スマトラ沖地震」のような固有の地震は「地震」のインスタンスだが、スマトラ沖地震という唯一のインスタンスを含むイベントクラスと見なすこともできる。この考えで以下のようにイベント階層関係を記述できる。

{スマトラ沖地震}  $\sqsubseteq$  地震  $\sqsubseteq$  自然災害  $\sqsubseteq$  災害

地震イベントの例を考えたとき、そのイベントにはいくらか部分イベントが存在する。それらには2タイプの部分イベントがある。1つは本質的な部分イベントであり、もう1つは非本質的な部分イベントである。例えば、P波やS波の揺れは地震イベントの本質的な部分イベントであり、救助活動は非本質的な部分イベントである。救助活動は人から人への行為なので2つ目の人工イベントでもあり、被災者や被災地の建物のような人(救助者と被害者)や物(被害物)と地域(被害エリア)などを含む。イベントのインスタンスとクラスの区別を考えたときに、本質的な部分関係はイベントクラス間の部分関係として成り立ちやす

い。一方、状況に応じて異なる非本質的な部分イベントは、イベントクラス間ではなくてイベントインスタンス間で部分関係が成り立つと言える。

定義8と9では、イベントインスタンスとイベントクラスの両方に因果関係が定義されたが、それらの意味するところは異なる。そこで因果関係の推移性について考えてみる。イベントインスタンス  $e_1, e_2, e_3$  に対して因果関係  $e_1 \rightarrow_{cause} e_2$  と  $e_2 \rightarrow_{cause} e_3$  が成り立つとき、 $e_1 \rightarrow_{cause} e_3$  が成り立つ。よってイベントインスタンス因果関係は推移性が言える。しかしながら、イベントクラス因果関係では次のような性質が言える。

命題1 (因果関係の非推移性)  $E_1, E_2, E_3$  を3つのイベントクラスとする。そのとき、イベントクラス因果関係  $E_1 \rightarrow_{cause} E_3$  が成り立たないようなイベントクラス因果関係  $E_1 \rightarrow_{cause} E_2$  と  $E_2 \rightarrow_{cause} E_3$  が存在する。

即ち、イベントクラス因果関係では推移性が成り立たない。たとえイベントクラス因果関係の定義でインスタンス数の比率  $p$  を  $0 < p < 100$  の範囲で変えても推移性は保証されない。もし原因となるイベントクラスの100%のインスタンスから因果性が成り立てば推移性が導かれるが、現実では希である。例えば、以下のイベントクラス因果関係の列から「地震  $\rightarrow_{cause}$  交通事故」を必ずしも導くことはできない。イベント列は地割れと道路崩壊があった後に交通事故を導く因果性を意味しているに過ぎない。

地震  $\rightarrow_{cause}$  地割れ  $\rightarrow_{cause}$  道路崩壊  $\rightarrow_{cause}$   
交通事故  $\rightarrow_{cause}$  負傷  $\rightarrow_{cause}$  治療

しかしイベント列がイベントインスタント因果関係から構成されれば、実際に起こった事実の列なので起きた交通事故の原因が地震の発生(インスタンス)であると導ける。

最後に状況や条件がイベントが生じさせない場合に、イベント抑止の関係を考える。

定義10 (イベント発生の抑止原因)  $c$  を状況もしくは条件とする。そのとき、 $c$  がイベントクラス  $E$  のすべてのインスタンスの発生を抑止するとき、 $c$  を  $E$  の抑止原因と呼び、 $c \nrightarrow_{cause} E$  で表す。

#### 4.2 イベントの推定

本論文では、イベントの因果関係を用いて原因イベントから結果イベントを推定することを、イベント因果推定と呼ぶ。前節で述べたように、イベントクラス因果関係では推移性が成り立たないので、イベント列からいくらかでもイベントを導くことはできない。以下のイベントクラス因果関係を考えてみよう。

火山噴火  $\rightarrow_{cause}$  火砕流  $\rightarrow_{cause}$  火災

このとき火山噴火から火災を推移性によって導くことはできない。なぜならば、イベントクラス間の因果関係では、火山噴火と火砕流の因果関係と、火砕流と火災の因果関係を一般的に示しているに過ぎない。従ってこのイベント列から言えることは火山爆発から火災を生じる可能性だけである。

ここで因果関係からイベント発生の可能性を推定してみる。まず火砕流が発生したとき、因果関係「火砕流  $\rightarrow_{cause}$  火災」により直接的に「火災」が発生する可能性を推定できる。さらに情報が増えて「火山爆発」と「火砕流」の両方が発生したならば、より高い可能性で火災の発生を推定できる。対して、火山噴火の発生のみ情報は火災発生の可能性がそれら2つのケースより低くなる。従って、火災を導く原因イベントを可能性の大きさと並べると以下のようになる。

火山噴火  $<$  火砕流  $<$  火山爆発  $\wedge$  火砕流

一方、因果関係を用いて結果イベントから原因イベントを辿るような後ろ向きに推定を行うことで、発生したイベントに原因説明を与えることにも利用できる。このときも因果関係がイベントのインスタンス間関係かクラス間関係かによって原因イベントの意味が異なる。具体的には、イベントインスタンス因果関係  $e \rightarrow_{cause} e'$  が成り立つときは、 $e$  は  $e'$  の原因イベントという。しかしイベントクラス因果関係  $E \rightarrow_{cause} E'$  が成り立つときは、 $E$  は  $E'$  の原因候補イベントであり可能性を示しているに過ぎない。

#### 4.3 イベント制約

最後にイベント因果関係とイベント発生がもたらす制約を分析する。以下は、イベント制約分類である。

EventConstraint

SpatialTemporalConstraint

PartWholeConstraint

イベント制約は、1つのイベントが対象物に制約を与えたり、複数のイベントが互いに時間的もしくは空間的に制約を与えたりする。制約にはある条件が必ず成り立つ正の制約とある条件が必ず成り立たない負の制約がある。以下はイベントインスタンス因果関係より発生する時間と場所の制約である。

定義 11 (時空間の制約) イベントインスタンス因果関係  $e_1 \rightarrow_{cause} e_2$  が成り立つとき、以下の時間と場所の制約をもたらす。

1.  $time(e_1) = time(e_2) + \epsilon$
2.  $loc(e_1)R_{acc}loc(e_2)$

この制約は言い換えると、 $e_1$  の発生した時間の後に  $e_2$  が発生したと、 $e_1$  と  $e_2$  が空間的にも到達可能であることを示している。ここで  $\epsilon$  はゼロでないある時間間隔を示す。上記定義の項目 (1) は、文献 [7] の考え方に基づく。また、 $loc(e_1)R_{acc}loc(e_2)$  は場所  $loc(e_1)$  から  $loc(e_2)$  へ到達可能であることを示す。

以下はイベント発生によりもたらされる部分構造の制約である。

定義 12 (部分構造の制約) 空間上の存在変化イベントが発生したとき、対象物が空間的に移動するならば、同時にその部分構造も同じように移動する。

(災害に関する) イベントデータでは、イベントの描写とともにそこに現れる対象物が描写されるわけだが、部分構造の制約はその際の対象物とその部分の場所に矛盾を生じることを防ぐ役割をもつ。

## 5 議論

本章では、提案したイベントオントロジーの新規性および有用性を明確にするため、従来アプローチの限界や本研究との差異、本研究の適用範囲や網羅性について説明する。

### 5.1 関連研究

SUMO(Suggested Upper Merged Ontology)[20] は、IEEE 標準上位オントロジー WG により開発され、2万個の語彙と6万個の公理から構成される。

その中で、イベントは物理概念の下位概念であり、プロセスとして定義されている。WordNet[3]は、英語の語彙に関する大規模なデータベースである。多くの名詞、動詞、形容詞や副詞が同義語のグループに分類されて、ISA 関係や Part-Of 関係を用いて互いに意味的に関連づけられている。OpenCyc[22]は、語彙や語彙関係の言明から構成されるオントロジーで、約6千個の概念と約6万個のファクトを含んでいる。その中で、イベントは時間的なもの (temporal things) と無形な概念 (intangible concepts) の下位概念として定義される。

これら3つのオントロジーは、上位レベルの概念も含むが語彙数の規模が大きく辞書タイプのオントロジーと言える。本研究と比較したとき、これらのオントロジーでも ISA 関係、Part-Of 関係やその他の概念間の関係がイベントの構造物やイベント間関係を部分的に記述できる。しかし、イベントの意味機能による分類やインスタンスとクラスを区別したイベント間関係を表現するのは困難である。むしろ辞書タイプのオントロジーでは、複雑な意味よりも単純で大規模な語彙が売りである。

一方、上位オントロジーにフォーカスした形式的なオントロジーが提案されている。オントロジー研究で有名な Guarino らのグループは、上位オントロジー DOLCE (Description Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering)[19]を形式化した。DOLCE は一階述語論理で記述され、Web オントロジー言語 OWL への変換も可能である。さらに、BFO (basic formal ontology)[4]は、2つの基本カテゴリ SNAP と SPAN から構成される上位オントロジーである。SNAP は3次元オブジェクトの物質に対する複数のオントロジーであり、SPAN はプロセス、空間、時間に対する1オントロジーである。SNAP では、プロセスは processual entity の下位概念となり、processual entity は occurrent の下位概念となる。

文献[25]では、上記以外にもいくつかのイベントオントロジーを紹介している。CIDOC CRM オントロジー[8]と ABC オントロジー[18]は、博物館や図書館の歴史的イベント(戦争や誕生)や品目の履歴(所有者の変化)を対象にする。音楽オントロジー[23]

は、音楽に関する事象を定義するために、タイムラインオントロジーとイベントオントロジーを構築している。EventsML-G2[5]は、ニュースに現れるイベント(スポーツ、選挙、ロケット打ち上げなど)を記述するオントロジーである。イベントモデル F[24]は、DOLCE の考えを基本にして構築されたイベントモデルであり、UML と記述論理で論理的に意味を定義している。特に、参加物、構成物、因果や相関のパターンを UML でモデル化することで、イベントがもつ時間、空間、オブジェクトや人の側面、及び階層関係や因果関係のイベント間関係に対応する。

上位オントロジー DOLCE と BFO は、長年の考察に基づく成果で洗練された概念定義によりオントロジーの網羅性は高い。また、CIDOC CRM, ABC オントロジー、音楽オントロジーや EventsML-G2 は、博物館・図書館、音楽やニュースの情報へのメタデータ付与が目的なので、メタデータ作成のイベントオントロジーとして優れる。さらに、イベントモデル F は、DOLCE に基づき論理的に定義しながら、緊急避難時のイベントシステムを想定した応用を見据えている。

しかしながら、既存の上位オントロジーでは構造物、時空間やイベント間関係を定義するが、イベントの意味機能はほとんど扱っていない。それに対して、本研究では新しくイベントの意味機能を提案するとともに、イベントの構成要素、意味機能とイベント間関係の3つの側面を矛盾無く定義している。一階述語論理を用いた DOLCE や記述論理のイベントモデル F でも、論理的公理を追加してオントロジーを拡張すれば意味機能を定義できるが、本研究のように時空間上での存在や基数の変化はまだ扱われていない。

## 5.2 適用範囲について

続いて、本研究のイベントオントロジーが、現実世界のどのようなタイプのイベント記述に適用可能であるか、適用範囲や網羅性を説明する。

図3は、イベントオントロジーを実際に構築した例である。図中では、特に構成物によるイベント分類とイベント間関係を記述している。「自然災害」は人間などの動作主体を含まないので自然イベントに分

類され、下位イベントに「干ばつ」や「洪水」が宣言される。一方、「避難活動」は人々が行う人工イベントとして3つ目の人工イベントタイプに分類される。これらに従って、例えばイベントインスタンスを次のように記述できる。

$e_1$ : 洪水 (9月20日, 東京)

$e_2$ : 避難活動 (都民, 9月21日, 東京)

2つのイベントインスタンスは  $e_1, e_2$  で識別され、構成物は自然イベントと人工イベントの分類に基づく。加えてイベント間では、「豪雨」が「干ばつ」と排他性を持ち、「豪雨」の発生が「河川崩壊」をもたらしその結果「洪水」を発生させる因果性をもつ。

このようにイベントオントロジーを記述して、それに基づいたイベントインスタンスをデータとして蓄積していけば、過去のイベントを分析したり続いて発生するイベントを予測したりするのに役立つ。また、「水位上昇」や「雨量減少」のイベントを時間上の存在変化によって意味機能を定義すれば、他のイベント情報との整合性を調べたり、別の事実(水位上昇がダム貯水量を増やすなど)を推定できる。

本研究のイベントオントロジーは、我々のプロジェクトで開発した Web 上の災害情報サービス[11][12]への適用を想定する。但し、同様のサービスにも利用できるようにオントロジーを設計している。例えば、日本気象協会 [tenki.jp](http://tenki.jp) の地震情報サービス[1]や NTT の検索サイト [goo](http://goo) による洪水情報サービス[2]のようなイベントを扱うサービスにも適用可能と考えられる。

他オントロジーと比較したとき、特にイベントの意味機能が各事象の物理的現象をメタデータ化できて有用である。図3の場合、台風のような移動性のイベント(タイプC)が生じ、その結果、豪雨や水位情報のような量的変化のイベント(タイプD)をもたらし、その後、河川崩壊のような同一性変化(タイプF)が発生することを記述できる。意味機能タイプを含むイベントオントロジーにより、他にも火山噴火や津波などの災害のメカニズムをわかりやすく知識化して再利用できる。災害メカニズムのメタデータ化には、本研究の意味機能タイプが不可欠であり、もしメタデータが無ければ災害の種類や各地域の異なった避難情報

を発信するような(Web上の)高度サービスを実現できない。逆に意味機能タイプをメタデータ化すれば、Wikipediaの災害メカニズムに関する百科事典的な知識と現実の災害サービスとが意味レベルでサービスタイプに応じて柔軟に連携するシステムが期待できる。

さらに本研究では、従来オントロジーにない4タイプの因果関係を導入している。例えば、図3に因果タイプを付与すれば、台風と豪雨が重複的因果で関係づけられ、洪水と家屋崩壊が部分的因果で関係づけられる。即ち、災害や被害の原因イベントが時間的に重複して発生するのか、包含して発生するのか、メタデータで記述されるので、因果性のタイミングを提示するサービスが実現できる。また、地震、津波、火山噴火、火災などの他の災害との違いを区別した避難情報サービスも提供できる。

本研究では、災害イベントと救助・避難イベントの分類のために、人工イベントと自然イベントを区別しているが、それでは扱いが難しいイベントについて補足する。例えば、「死ぬ」「感染する」「病気をわずらう」のように、人間がかかわるが意志的ではないイベントは構造物の分類では区別できない。さらに、人間以外の動物や植物、臓器、器官、細菌、細胞、ウイルス、またコンピュータエージェントや酵素などによるイベントは意志的ではないので、人工イベントには属さない。これらの分類には、以下の意図性を導入すれば、前者は非意図的イベントに属し後者は意図的イベントに属すよう分類できる。

Event

IntentionalEvent

UnintentionalEvent

加えて、同時多発テロのような複数の時空間をもつイベントは、現在の枠組みでは同じイベント名で別の言明として複数記述する必要がある。このような意図的イベントと多発イベントのモデル化は、今後の研究課題である。

## 6 おわりに

本論文では、セマンテック Web における意味記述の基盤としてイベントデータのための形式オントロジーを提案した。イベントの構成物によって自然/人

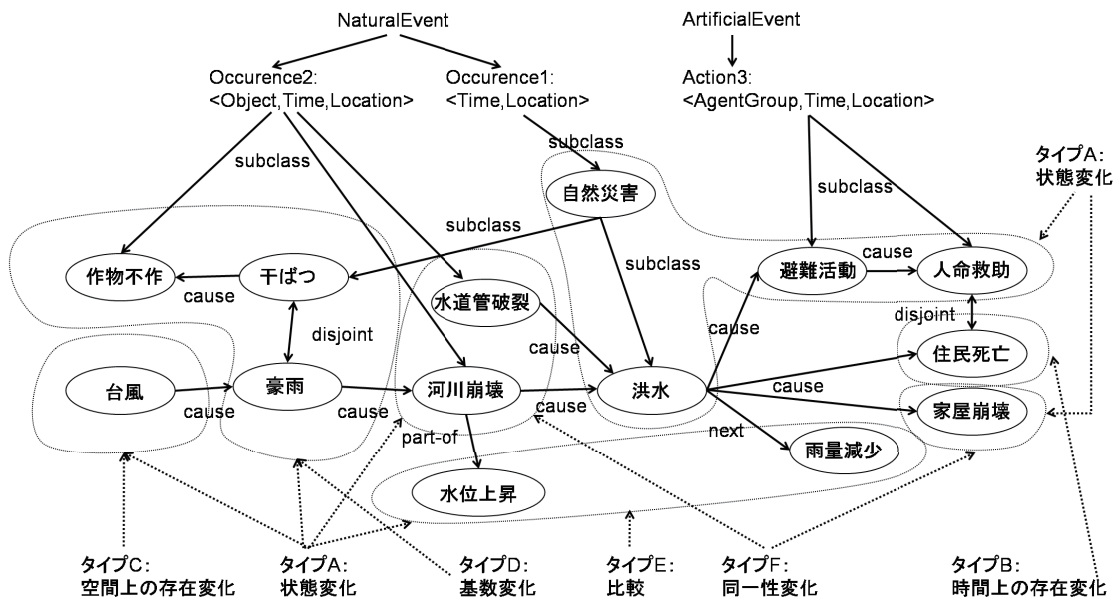


図3 イベントオントロジーの記述例

イベントや動的/静的状態を分類したことで、述語の引数構成によるイベント内部の意味構造をデータ化できる。また別のイベントデータ化の視点として、イベントの意味機能を表現力の高い論理式で定義したことで、イベント情報を論理的に記述する基盤を構築できた。さらにイベントのインスタンスとクラスを区別した上でイベント間関係を定義し、その中で時間関係による4タイプのイベントインスタンス因果関係を分類した。こうしたイベント間関係は、複数イベントからなるイベントの連結や流れを記述するのに重要である。本論文の特徴は、イベントデータの様々な情報形態を想定してイベントオントロジーを実現しているところである。

今後の課題として、我々が提案したイベントオントロジーに基づいて、イベント間関係に対する意味処理エンジンの設計を計画している。こうしたイベントデータの意味処理エンジンは、セマンティックWebサービスにおいてWebサービスに係するタスクやイベントのデータを意味的に処理するのに利用できる。

謝辞

本稿の改善にあたり、査読者から有益なコメントをいただきました。ここに感謝致します。

参考文献

- [1] : <http://tenki.jp/earthquake/>.
- [2] : <http://weather.goo.ne.jp/flood/index.html>.
- [3] : <http://wordnet.princeton.edu/>.
- [4] : <http://www.ifomis.org/bfo>.
- [5] : <http://www.iptc.org/EventsML>.
- [6] Blackburn, P., van Benthem, J., and Wolter, F.(eds.): *Handbook of Modal Logic*, Elsevier, 2007.
- [7] Davidson, D.: Causal Relations, *The Journal of Philosophy*, Vol. 64, No. 21(1967), pp. 691-703.
- [8] Doerr, M.: The CIDOC Conceptual Reference Module: An Ontological Approach to Semantic Interoperability of Metadata, *AI Magazine*, Vol. 24, No. 3(2003), pp. 75-92.
- [9] Galton, A.: On What Goes On: The Ontology of Processes and Events, *Formal Ontology in Information Systems: Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS2006)*, 2006, pp. 4-11.
- [10] Hobbs, J. and Pustejovsky, J.: Annotating and Reasoning About Time and Events, *The Language of Time*, Mani, I., Pustejovsky, J., and Gaizauskas, R.(eds.), Oxford University Press, 2005.
- [11] Iwazume, M., Kaneiwa, K., Zettsu, K., Nakanishi, T., Kidawara, Y., and Kiyoki, Y.: KC3

- browser: semantic mash-up and link-free browsing, *Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web (WWW 2008)*, 2008, pp. 1209–1210.
- [12] 岩爪道昭, 兼岩憲, 是津耕司, 中西崇文, 木依豊, 清木康: Web サービス統合とコンテンツ編纂・流通のためのインタフェース, 第 21 回人工知能学会全国大会論文集, 2007, pp. 1F1–02.
- [13] Kaneiwa, K.: Order-Sorted Logic Programming with Predicate Hierarchy, *Artificial Intelligence*, Vol. 158, No. 2(2004), pp. 155–188.
- [14] Kaneiwa, K., Iwazume, M., and Fukuda, K.: An Upper Ontology for Event Classifications and Relations, *Proceedings of the Twentieth Australian Joint Conference on Artificial Intelligence (AI2007)*, LNCS 4830, Springer-Verlag, 2007, pp. 394–403.
- [15] Kaneiwa, K. and Mizoguchi, R.: Distributed Reasoning with Ontologies and Rules in Order-Sorted Logic Programming, *Journal of Web Semantics*, Vol. 7, No. 3(2009), pp. 252–270.
- [16] Kaneiwa, K. and Nguyen, P.: Decidable Order-Sorted Logic Programming for Ontologies and Rules with Argument Restructuring, *Proceedings of the 8th International Semantic Web Conference (ISWC 2009)*, LNCS 5823, Springer, 2009, pp. 328–343.
- [17] Kaneiwa, K. and Tojo, S.: Logical Aspects of Events: Quantification, Sorts, Composition and Disjointness, *Proceedings of Australasian Ontology Workshop (AOW 2005)*, 2005, pp. 33–40.
- [18] Lagoze, C. and Hunter, J.: The ABC Ontology and Model, *Proceedings of the International Conference on Dublin Core and Metadata Applications 2001 (DC-2001)*, 2001, pp. 160–176.
- [19] Masolo, C., Borgo, S., Gangemi, A., Guarino, N., Oltramari, A., and Schneider, L.: WonderWeb Deliverable D17. The WonderWeb Library of Foundational Ontologies and the DOLCE ontology, 2002.
- [20] Niles, I. and Pease, A.: Towards a standard upper ontology, *Proceedings of the 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001)*, 2001, pp. 2–9.
- [21] 西尾実, 岩淵悦太郎, 水谷静夫 (編): 岩波国語辞典第六版 (電子版), 岩波書店, 2001.
- [22] OpenCyc: <http://www.opencyc.org>.
- [23] Raimond, Y., Abdallah, S., Sandler, M., and Gissasson, F.: The Music Ontology, *Proceedings of the 8th International Conference on Music Information Retrieval*, 2007, pp. 417–422.
- [24] Scherp, A., Franz, T., Saathoff, C., and Staab, S.: F—a model of events based on the foundational ontology DOLCE+DnS Ultralight, *Proceedings of the fifth international conference on Knowledge capture (K-CAP 2009)*, 2009, pp. 137–144.
- [25] Shaw, R., Troncy, R., and Hardman, L.: LODÉ: Linking Open Descriptions of Events, *Proceedings of the 4th Annual Asian Semantic Web Conference (ASWC 2009)*, LNCS 5926, 2009, pp. 153–167.
- [26] Smith, B., Ceusters, W., Klagges, B., Kohler, J., Kumar, A., Lomax, J., Mungall, C., Neuhaus, F., Rector, A., and Rosse, C.: Relations in biomedical ontologies, *Genome Biol*, Vol. 6, No. 5(2005), pp. R46.
- [27] 武田英明: 上位オントロジー, 人工知能学会誌, Vol. 19, No. 2(2004), pp. 172–178.