

イベント階層に基づいた地理情報の変動管理

池崎 正和 向 直人 渡邊 豊英

† 名古屋大学情報科学研究科社会システム情報学専攻, 〒 464-8603 名古屋市千種区不老町

E-mail: †{mikezaki,naoto,watanabe}@watanabe.ss.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 近年、経済学や施設管理など様々な分野で地理情報システム (GIS) は利用されている。それに伴い多くの時空間情報管理手法が提案されてきた。それらの提案の多くは個々の空間オブジェクトの管理、アクセスを目的としている。一方、GIS の利用目的のひとつである統計・分析の実施を考えると、「この時空間オブジェクトが変化した理由はなにか？」また、「同一原因により変化した時空間オブジェクトは他に何があるのか」といった問合せは、非常に有用である。しかし、既存の研究ではこれらの問合せに応えることは難しい。これらの問合せに応えるためには、時空間上で生じた事象を管理する必要がある。我々は時空間上で生じた事象をイベントと定義する。イベントは時空間オブジェクトの変動集合から構成される。本稿では時空間オブジェクトの変動原因を利用するためのデータモデルとしてイベントの管理手法について述べる。

キーワード 地理情報システム, イベント

Managing Geographic Information Changes Based on Event Hierarchy

Masakazu IKEZAKI, Naoto MUKAI, and Toyohide WATANABE

† Department of Systems and Social Informatics, Graduate School of Information Science, Nagoya University

E-mail: †{mikezaki,naoto,watanabe}@watanabe.ss.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract Recently, the application fields of geographic information system (GIS) have been spreading. In addition, a lot of modeling method for geographic information was proposed. Purposes of most traditional modeling methods for geographic information were to access and manage each spatio-temporal object. Although information of factors which change spatio-temporal objects helps user to make statistics and analysis with GIS, traditional modeling method did not support such information. In this paper, we propose data model for treating factors of spatio-temporal object changing. We define an event as changes of real world. In addition, a set of spatio-temporal objects changing composes of an event.

Key words GIS,event

1. 背景

近年、都市行政、経済学、施設管理などありとあらゆる分野で地理情報システム (GIS:Geographic Information System) の利用が進み、時空間情報が我々の生活における基盤として必要不可欠になりつつある。GIS の利用目的は、時空間の統計・分析に基づく定量的な評価による時空間に対する理解促進、業務の効率化などである。例えば、都市行政では業務の効率化や合理化を掲げて膨大な都市空間データ基盤・都市計画データ基盤が作られ、住民サービスの改善、防災計画、都市計画などあらゆる部門で GIS が適用されている [10]。このような GIS の急速な広がりを背景に近年では特に時空間情報を取り扱う地理情報システムに関する研究が多く報告されてきた。例えば、DiMSIS [9] や STIMS [8] では、時空間オブジェクトの変動履歴の保持、及び時空間オブジェクトの更新処理の複雑さを避けるために、ト

ポロジー暗示方式を用いた時空間情報の管理を提案した。トポロジー暗示方式とは、時空間オブジェクトの存在と時空間オブジェクトの形状・位相情報を独立に管理し、必要に応じて時空間オブジェクトの形状、時空間オブジェクト間の位相関係を求める手法である。また、時空間オブジェクトの管理、索引付けを目的に拡張 R 木も多く提案されてきた。ウィンドウ・クエリに高速に応えるヒストリカル R 木 [5] や、インターバル・クエリに高速に応える MV3R 木 [6] などである。これらの研究では、個々の時空間オブジェクトに着目し、各時空間オブジェクトの状態の効率のよい管理、及び興味ある時空間オブジェクトの状態の効率的な取得を目的としていた。

しかし、個々の時空間オブジェクトに着目するのみでは不十分である。「なぜ時空間オブジェクトが変化したのか?」、あるいは「ある時空間オブジェクトの変化と同様の原因で変化した時空間オブジェクトは他に何があるか?」といった時空間

オブジェクトの変動原因に関する問合せが利用可能になれば、ユーザの時空間に対する理解を促進する。このためには、時空間でどのような事象が生じたかを管理する必要がある。我々は、時空間オブジェクトの変動原因を管理するモデルとして、イベントモデルを提案する。イベントモデルでは、時空間上で生じた事象をイベントと定義する。そして、イベント間の関係、及びイベントと時空間オブジェクト間の関係を表現する。本稿では、イベントモデルの構造、検索方法、及び有効性について述べる。

本稿は以下のような構成になっている。第2章では、我々の研究の目的と、目的達成のためのアプローチについて述べる。第3章では、我々の提案するイベントモデルを表現する。第4章では提案モデルについて考察する。第5章では、本論文をまとめ、今後の課題について述べる。

2. 研究概要

本章では研究の目的と、目的を達成するためのアプローチについて述べる。

2.1 研究目的

地理情報システムは、経済学、都市行政など様々な分野で利用され、いまや我々にとって必要不可欠になってきている。しかし、現在利用されている地理情報システムでは、時空間オブジェクトのみに着目し、時空間オブジェクトの変動原因については考慮していない。したがって、ユーザが時空間オブジェクトの変動原因について知りたい場合は、文献や他の情報システムを別途検索する必要がある。地理情報システムを利用する上で、時空間オブジェクトの変動原因を時空間オブジェクトの検索や時空間の統計・分析の際、利用可能ならば、地理情報システムを用いるあらゆる分野で非常に有用である。

本研究の目的は、時空間オブジェクトの変動原因を利用可能なデータモデルの構築である。本モデルでは、時空間オブジェクトの変動原因は時空間上で生じた事象であるとし、これをイベントと定義する。提案するイベントモデルはイベント間の関係、及びイベントと時空間オブジェクト間の関係を表現する。

この際、問題となるのはユーザのイベントを捉える視点の多様性である。すなわち、ある時空間オブジェクトが変動したとき、その変動原因が何であるかを見るかはユーザの目的、状況に依存する。例えば、図1のように、時空間オブジェクトの変動の直接の原因となるイベントや、イベント間の依存関係が複数存在していると、時空間オブジェクトの変動に關係するイベント1~イベント4のどれを変動原因と捉えるかはユーザの視点・目的に依存することになる。また、イベントを捉える概念レベル(凡化・特化レベル)もユーザに依存する。具体例をあげると、防災計画に関して地理情報システムを利用するユーザならば、災害に関するあらゆる統計的な情報から防災計画を立てる必要があり、その視点は災害一般である。一方、地震予知について研究しているユーザが地理情報システムを利用するならば、必要な情報は地震に関するものだけである。このとき、前者の視点では、地震イベントとは災害イベントの一つと捉えられる。都市行政として災害や事故対応、治安の維持などを考えるユー

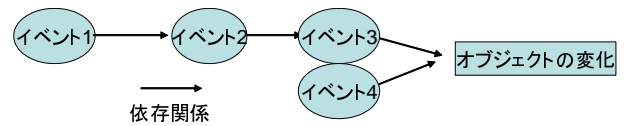


図1 時空間オブジェクトの変動原因

Fig. 1 Factor of spatio-temporal object changing

ザならば、さらに捉えるイベントは多種多様となる。ユーザに依存するイベントを捉える多様な視点に対応するためには、イベントモデルにおいて、イベントの捉え方やイベント間の依存関係が実世界の事象に沿って完全に表現されていなければならない。そして、ユーザの目的に沿って適切なイベントの指定が可能でなければならない。

2.2 アプローチ

時空間上で生じた事象を表現するためのモデルはこれまでもいくつか提案されてきた。Peuquetらはevent-based spatio-temporal data model(ESTDM)を提案した[4]。Peuquetらは時間軸上の一点をイベントと捉えた。そして、ラスタ表現された時空間において空間の変化箇所をイベントに関連付けた。イベントに関連付けられた空間の変化箇所の集合から時空間で生じた事象が表現される。そして、始点の空間状態を表すベース地図とイベントの系列によって、時空間の変化を管理した。

Peuquetらの提案モデルは時空間上の事象を表現しようとした初期の研究とみなすことができる。ChenらはPeuquetらと同様に時間軸上の一点をイベントと捉えた[2]。そして、イベント間の関連とイベントと時空間の状態間の関連を定義した。イベント間の関連は時間軸上のイベントの系列を表し、イベントと時空間の状態間の関連はイベントとイベントが生じた時刻における時空間の状態を結びつける。また、イベントを階層的に扱い、時空間オブジェクトの変化の推移をより詳細に表現した。Chenらの提案モデルも、Peuquetらの提案モデルと同様、連続するイベントの系列により時空間に生じた事象を表現した。Peuquetら、Chenらの提案モデルは、スナップショットで表現された時空間地理情報上で構築され、イベントを空間全体の状態の変化点として捉えたため、空間上で同時に複数の事象が生じている場合は表現することができなかった。関本らは、FEOモデル(Feature Event Observation model)の中でイベントを時空間オブジェクトに変化を起こす時空間オブジェクトデータベース外にある外的要因と定義した。そして、イベントの持つ独自の属性とイベントがもたらす時空間オブジェクトへの影響をイベントの型として定義した[7]。しかし、関本らの研究の目的はイベントを用いた実世界の変化の推定であり、ユーザの問合せに利用することはなかった。

以上の関連研究を考慮し、前節で述べた問題点に対処するため、イベントモデルの構築にあたり次のようなアプローチをとる。

- イベントの概念的な階層関係(is-a関係)を表現する。
- イベントの複合関係(part-of関係)を表現する。
- イベント間の因果関係(causal関係)を表現する。

まず、1つ目のアプローチは、ユーザの目的に応じたイベント

の捉え方の実現のため、イベントの概念レベルの差異を表現する。例えば、台風というイベントは、暴風というイベントであると同時に、災害というイベントでもある。イベントを検索する際、このようなイベント概念の抽象化によりユーザは目的に沿ったイベントの指定が可能となる。2つ目のアプローチは、イベントを構成するさらに細かなイベントをオブジェクト指向アプローチの集約という考え方をを用いて表現する。例えば、台風というイベントは、豪雨というイベントを包含し得る。3つ目のアプローチは、特定のイベントが別のイベントの発生要因と成り得ることを表現する。このようなイベント間の因果関係は、実世界の事象を正確に表現するために必要不可欠である。例えば、豪雨というイベントによって洪水というイベントを生じることがある。以上の3つのアプローチをとることにより、イベントモデルはイベント間の関係、及び時空間オブジェクトとイベント間の関係を正確に表現することが可能となる。ユーザはイベント集合、及びそれらの間の関係により、独自の視点に沿ったイベントの指定が可能となる。

3. イベントモデル

本章ではイベントモデルの詳細について述べる。2.2節で述べた3つのアプローチをとるために、イベントの型、及びイベントの概念階層を規定する。さらに、時空間オブジェクトの持つ概念の型、及び概念階層が必要となる。したがって本章の流れは、以下のように前提となる時空間オブジェクトの集合の持つ構造を述べ、次にイベントについて述べる。

- (1) 時空間オブジェクトの概念階層の構築
- (2) 時空間オブジェクトの構造
- (3) イベントの概念階層の構築
- (4) イベントインスタンスの構造
- (5) イベント駆動関係の記述

イベントモデルの構築にあたり、以下の集合が与えられているとする。

- 時空間オブジェクトの集合： S
- 時空間概念の集合： U
- イベントのインスタンス： EVI
- イベント概念の集合： EVC

3.1 時空間オブジェクト

3.1.1 時空間オブジェクトの概念階層

本節では、イベントの型をより柔軟に定義するために、時空間オブジェクトの概念階層を導入する。これにより、時空間オブジェクトを複数の異なる概念レベルから捉えることが可能となる。例えば、家屋オブジェクトは住宅であると同時に建物でもあり、市道は道路であると同時に交通網でもある。時空間オブジェクトの概念階層は厳密なイベント型の記述を支援する。時空間オブジェクトの概念階層に加えて、時空間を参照する際、必要な詳細度に基づき空間を構成するオブジェクトを取捨選択できることが望ましい。例えば、簡明に道路オブジェクトを参照するならば、国道、高速道路を選択し、県道や市道は選択からはずす。逆に、詳細に道路オブジェクトを参照するときには、国道、高速道路に加え、参照空間内の県道、市道を選択する。

このような時空間オブジェクトの捉え方の実現のために、時空間オブジェクトを管理するデータ構造に Leung らの提案した object-oriented geographic information system [3] と Feng らの提案した multi-scale multi-theme(M2) 地図情報モデル[1]の考え方を取り入れる。Leung らは空間を空間オブジェクトの集合として捉え、それら空間オブジェクトの持つ概念の集合を階層的に整理し、概念階層として定義した。Feng らは同一時空間オブジェクトを一箇所で管理し冗長性を避けて地図の階層表現が可能な M2 地図情報モデルを提案した。M2 地図情報モデルでは各空間オブジェクトは対応するテーマ(相)と空間オブジェクトの重要度に基づく階層レベルをもっており、テーマ及び階層レベルごとに空間オブジェクトを管理した。

Leung らの提案した object-oriented geographical information system の考え方を取り入れ、時空間概念の概念階層を構築する。各時空間オブジェクト $f \in S$ はそれぞれ対応する時空間概念の外延である。時空間概念 a の外延の集合を $Ext(a)$ と表記し、

$$(\forall f)(\exists a)[f \in S \wedge a \in U \wedge f \in Ext(a)] \quad (1)$$

である。ここで空間概念 $a, b \in U$ について2項関係 \leq_c を考える。

$$if Ext(a) \subseteq Ext(b) then a \leq_c b \quad (2)$$

このような2項関係 \leq_c は順序関係をもち、 (U, \leq_c) は階層構造を有す。 (U, \leq_c) は概念階層と呼ばれる。時空間概念の内包は外延となる時空間オブジェクトの持つ属性を決定する。時空間オブジェクトが有する属性はその時空間概念によって異なるが、ここではすべての時空間オブジェクトの属性を表現するために n 種の属性型 $ATT = \{a_{i1}, \dots, a_{in}\}$ が必要であるとする。すなわち、ある概念 $a \in U$ の属性型の集合を $AT(a)$ と表し、

$$(\forall a)[a \in U \wedge AT(a) \subset ATT] \quad (3)$$

である。概念階層では、上位概念のもつ属性を下位概念は必ず包含していなければならない。今、概念 $a, b \in U$ があったとすると $a \leq_c b$ ならば $AT(a) \supseteq AT(b)$ となる。もし時空間オブジェクトが、ある概念のすべての属性を持っているならば、その概念は空間オブジェクトのダイレクト概念と呼ばれる。ダイレクト概念は必ず唯一であり、概念階層の葉ノードとなる。以上をまとめると、時空間概念 $x \in U$ の内包を $Int(x)$ 、属性を $AT(x)$ と表し、2項関係 \leq_c は以下を満たす。

$$外延 : if a \geq_c b then Ext(a) \supseteq Ext(b)$$

$$内包 : if a \geq_c b then Int(a) \subseteq Int(b) \quad (4)$$

$$属性 : if a \geq_c b then AT(a) \subseteq AT(b)$$

(Leung ら [3])

M2 地図情報モデルの手法を取り入れることによって多層地図を表現する。概念階層の中間ノードとなる概念は抽象クラスとなり、概念階層の葉ノードとなる概念は具象クラスとなる。

表1 時空間オブジェクトの重要度に基づく分類の例

Table 1 Classification of spatio-temporal objects based on levels of concept importance.

概念	道路	役所	図書館
国レベル	高速道路・国道	県庁	国会図書館
県レベル	県道	市町村役場	県立図書館
市レベル	市道	役場出張所	市立図書館

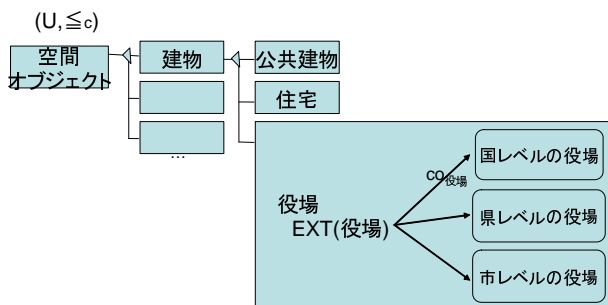


図2 時空間オブジェクトの概念階層及びレベル階層

Fig. 2 Conceptual hierarchy and classification based on levels of spatio-temporal objects.

M2 地図情報モデルの考え方にに基づき、葉ノードとなる概念の外延を属性値から導出される重要度に基づきレベルごとに分類する。重要度の決定関数はあらかじめ与えられているとする。葉ノードにおける時空間オブジェクトの分類に基づき中間ノードとなる概念の外延もレベルごとに分類可能である。例えば、概念「役所」の外延のうち、県庁を表す時空間オブジェクトは国レベルの重要度を持ち、市役所や町役場を表す時空間オブジェクトは県レベルの重要度を持つ。また、概念「役所」の上位概念である概念「建物」の外延として県庁や市役所オブジェクトを捉えた場合でも、この重要度は不変である。表1に時空間オブジェクトの分類の例を示す。概念 $a \in U$ の外延の重要度に基づくレベルに分類するマッピング関数は以下である。

$$co_a: AT(a) \quad Level \quad (5)$$

ここで、 $AT(a)$ は概念 $a \in U$ の属性の集合、 $Level$ は概念 a の外延が取り得る階層レベルである。本節で議論した時空間オブジェクトの概念階層、及びレベルによる時空間オブジェクトの分類は図2のようになる。

3.1.2 時空間オブジェクトの構造

時空間オブジェクトは、その継続時間とダイレクト概念によって決定される属性値を持つ。イベントによる時空間オブジェクトの変動管理を容易にするために、時空間オブジェクトの属性の変動を時空間オブジェクトのバージョンにより管理する。時空間オブジェクトは

$$o = (o_{id}, ot_E, et_E, AT, ver)$$

$$AT = (at_i | i = 1, \dots, n) \quad (6)$$

$$at_i = \{at_{ij} | j = 1, \dots, m\}$$

で表現される。 f_{id} は時空間オブジェクトの識別子であり、

ot_E, et_E は時空間オブジェクトの継続時間を示す。 AT は属性の集合である。ダイレクト概念によって決定される属性が n 項あるとき、 AT は (at_1, \dots, at_n) で表される。各 at_i はその属性値の変動履歴が m 個の時、 $\{at_{ij} | j = 1, \dots, m\}$ で表される。ここで at_{ij} は属性値である。 ver は時空間オブジェクトのバージョンを表す正数値で、属性情報に変化があった場合、数値を増やす。このバージョンにより時空間オブジェクトの属性値の履歴を管理する。例えば、図3に示すように、生存期間 t_0 から t_4 を持つ時空間オブジェクトが、時刻 t_1, t_2, t_3 に属性値を変化させるとき、表2のように管理することができる。時空間オブジェクトの主キーは時空間オブジェクトの識別子 f_{id} とバージョン番号 ver である。

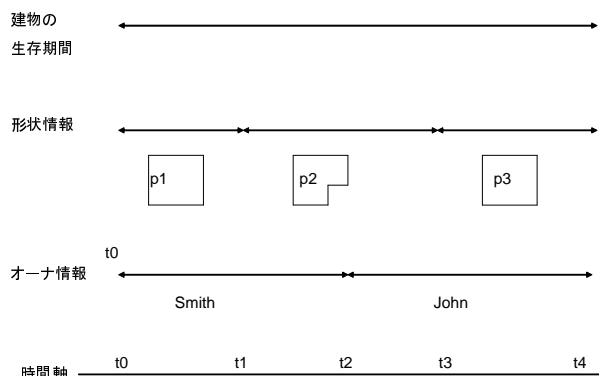


図3 時空間オブジェクトの変化の例

Fig. 3 Changes of spatio-temporal object.

表2 時空間オブジェクトの変動管理の例

Table 2 Changes of spatio-temporal object.

f_{id}	ot_E	et_E	$polygon$	$owner$	ver
id1	t_0	t_1	$p1$	Smith	1
id1	t_1	t_2	$p2$	Smith	2
id1	t_2	t_3	$p2$	John,	3
id1	t_3	t_4	$p3$	John	4

3.2 イベント

前述のように、イベントとは時空間上で生じた事象であり、時空間オブジェクトの変動原因を表す。従来、データベースの世界では、イベントとは時間軸上の一点に関連付けられ、データの変化点と捉えられてきた。しかし、実世界において、イベントは実際に変化したオブジェクトから意識される。例えば、地震というイベントは“地盤の変化”や、“建物の崩壊”などから意識される。したがって、時空間上で生じた事象をイベントと定義し、イベントを時空間オブジェクトの変動集合から構成する方が自然である。本節ではイベントについて詳述する。

3.2.1 プリミティブイベント

イベントを捉える上で、もっとも原始的な視点は時空間オブジェクトの変化である。これをイベントの最小の構成要素とし、プリミティブイベントと定義する。時空間オブジェクトの変化とは以下の二つである。

- 時空間オブジェクトの生成 (g:generation)/削除 (d:deletion)

• 時空間オブジェクトの属性 $at \in ATT$ の生成 (g)/削除 (d) この2種の変化のみで、時空間上の全ての変化を記述することが可能である。プリミティブイベントは、どの時空間オブジェクトでどのような変化が生じたかを表す。プリミティブイベントは以下の5項で表現される。

$$pe = (pe_{id}, o_{id}, ver, gi, op) \quad (7)$$

pe_{id} はプリミティブイベントを一意に示すための識別子である。 f_{id} はイベントにより変化した時空間オブジェクトの識別子であり、 ver は時空間オブジェクトのバージョン番号である。 gi はイベントにより変化した地理情報を表し、オブジェクトそのもの、または、時空間オブジェクトのいずれかの属性を指定する。 op は地理情報の変化である生成/削除 (g/d) を示す。例えば、表2のように管理されている時空間オブジェクトが、バージョン1からバージョン2に変化したことを表すプリミティブイベントは

$$\begin{aligned} &(pe1, id1, 1, polygon, d) \\ &(pe2, id1, 2, polygon, g) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。ここで $pe1, pe2$ はそれぞれのプリミティブイベントの識別子である。

3.2.2 プリミティブイベントの分類

イベントの構成はイベントのドメイン、すなわちイベントの型によって制約が存在する。どのようなプリミティブイベントがイベントの構成要素となりうるかを明示するため、どの時空間概念の時空間オブジェクトの、どの属性にどのような変化を与えるかでプリミティブイベントを分類する。プリミティブイベントの分類は、プリミティブイベントの引数の型とその分類に属するプリミティブイベントの集合を指定する。プリミティブイベントの分類型は以下の5項である。

$$pet = (pet_{id}, u, gi, op, PE) \quad (9)$$

pet_{id} はプリミティブイベントのカテゴリを識別するための識別子である。 u は時空間オブジェクトの概念を表す。 gi はイベントにより変化する地理情報であり、概念 u の外延となる時空間オブジェクトそのものか、概念 u の外延が有する属性の型、どちらかを指定する。 op は操作を表し、生成/削除 (g/d) のいずれかである。 PE はプリミティブイベントの型を持つプリミティブイベントのインスタンスの集合であり、プリミティブイベント $pe = (pe_{vn1}, f1, ver1, gi1, op1)$ とすると、 $f1 \in Ext(u)$ かつ $gi = gi1$ かつ $op = op1$ となるような pe の集合である。

3.2.3 イベントの概念階層

単一のイベントを異なる概念レベルから捉えるために、イベントの概念階層を導入する。イベントの概念集合 EVC 、イベントのインスタンスの集合 EVI に対して、全てのイベントのインスタンスはそれの属する概念が存在するとする。すなわち、

$$(\forall ev)(\exists a)[ev \in EVI \wedge a \in EVC \wedge ev \in Ext(a)] \quad (10)$$

である。このとき、 $a, b \in EVC$ に対し2項関係 \leq_E を次のよ

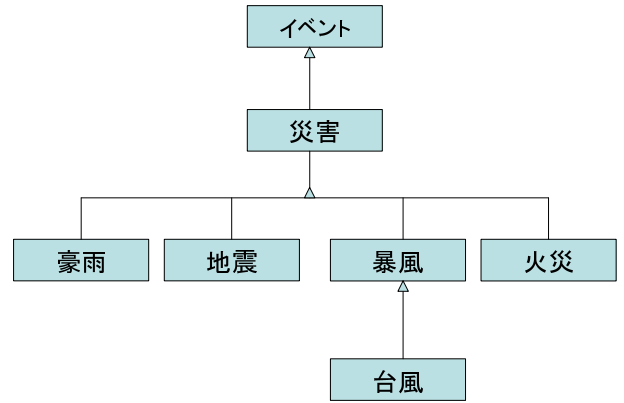


図4 災害に関するイベント概念階層
Fig. 4 Conceptual hierarchy of events.

うに定義する。

$$if Ext(a) \subseteq Ext(b) then a \leq_E b \quad (11)$$

2項関係 \leq_E は順序関係となる。 (EVC, \leq_E) はイベントの概念階層を構築する。例えば、災害に関して表3のように、イベント概念の内包、外延が与えられたならば、概念階層は図4のようになる。

表3 イベント概念の例

Table 3 Example of events concept

	内包	外延
イベント	空間情報に変化を引き起こす事象	全てのイベントインスタンス
災害	ある現象が発生することにより、人間の生活が何らかの形で破壊される現象	中越地震 2004年台風2号 阪神淡路地震 阪神淡路大震災 北陸池沼集中豪雨 高知集中豪雨
火災	災害の内包に加え、火による災難	阪神淡路大震災 火災
豪雨	災害の内包に加え、大変な降雨量による災難	北陸池沼集中豪雨 高知集中豪雨
暴風	災害の内包に加え、荒く激しい風	2004年台風2号
台風	暴風の内包に加え、前線を伴わない熱帯低気圧の一種	2004年台風2号
地震	災害の内包に加え、地球内部の変動により大地が揺れる現象	阪神淡路地震 中越地震

イベントの概念 $a, b \in EVC$ に対してイベントの内包を $Int(a)$ 、外延を $Ext(a)$ 、属性 $AT(a)$ とすると、イベントの概念階層 (EVC, \leq_E) も、時空間オブジェクトの概念階層と同様に以下が成り立つ。

$$\begin{aligned}
\text{外延: } & \text{if } a \geq_E b \text{ then } \text{Ext}(a) \supseteq \text{Ext}(b) \\
\text{内包: } & \text{if } a \geq_E b \text{ then } \text{Int}(a) \subseteq \text{Int}(b) \\
\text{属性: } & \text{if } a \geq_E b \text{ then } \text{AT}(a) \subseteq \text{AT}(b)
\end{aligned} \tag{12}$$

3.2.4 イベントのインスタンス構造

イベントのインスタンスは、イベント独自の属性値とプリミティブイベントの集約またはイベントインスタンスの再帰的な集約から構成され、階層構造を持つ。したがって、イベントのインスタンスはイベントの構成を表すと同時にイベント間の包含関係も表現する。イベントインスタンスは以下のように表現される。

$$\begin{aligned}
ev &= (ARG, EV) \\
EV &= \{(ev_i | i = 1, \dots, n)\}
\end{aligned} \tag{13}$$

ARG はイベントの概念によって決定される属性値の組であり、 EV はイベントを構成する要素の集合である。 EV の元である ev_i はプリミティブイベント、またはイベントインスタンスを表す。例えば、台風イベントを考えると図5のようになる。台風イベントはその独自の属性値の集合 $ARG_{\text{台風}}$ を持ち、構成要素としてプリミティブイベントの集合、そして豪雨イベントを包含して構成される。また、豪雨イベントはその独自の属性値の集合 $ARG_{\text{豪雨}}$ を持ち、プリミティブイベントの集合からなる。

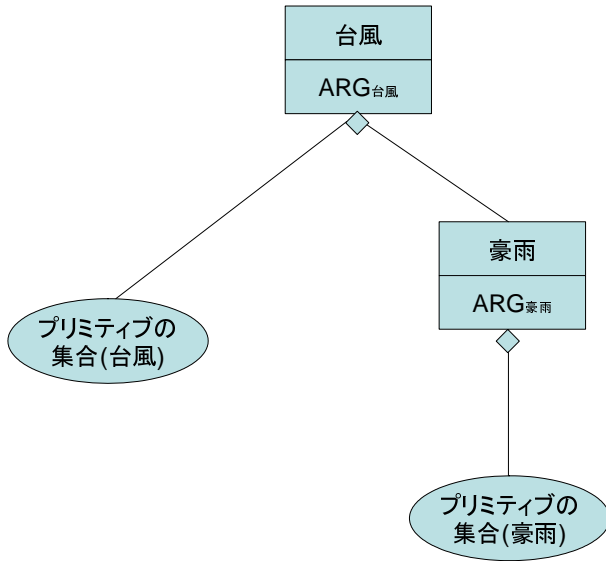


図5 イベントインスタンスの階層構造の例
Fig.5 Hierarchical structure of event

3.2.5 イベントの型

イベントの型はイベント概念の内包によって決定され、イベントの持つ属性の型と、包含するプリミティブイベントの分類またはイベントの型の集合を指定する。すなわち、

$$\begin{aligned}
evt &= (name_E, argt, EVT) \\
EVT &= (evt_i, mul | i = 1, \dots, n)
\end{aligned} \tag{14}$$

と表現される。ここで $name_E$ はイベントの型名、 $argt$ はイ

ベントの属性型の集合である。 EVT はイベントの構成要素の型を指定する。 evt_i はプリミティブイベントの分類、またはイベントの型である。また、 mul は構成要素の型 evt_i と evt 間の関連の多重度を表す。台風イベントの型を例として挙げる。

$$\begin{aligned}
evt &= (\text{“台風イベント”}, argt, EVT) \\
argt &= (\text{“発生時刻”}, \text{“消滅時刻”}, \text{“移動の軌跡”}, \dots) \\
EVT &= ((pet_1, *), (pet_2, *), \dots, (pet_n, *), (\text{“豪雨イベント”}, *))
\end{aligned} \tag{15}$$

ここで、ダブルクォーテーションで括られた文字列は、文字列が表す概念の型を示す。 $argt$ は台風イベントが持つ独自の属性の型の組である。 pet_1, \dots, pet_n は台風イベントの構成要素となり得るプリミティブイベントの分類である。台風イベントの型は、台風イベントのインスタンスが n 種のプリミティブイベント (pet_1, \dots, pet_n) 及び、“豪雨イベント”を包含し、その多重度は1対多であることを表す(多重度が1対多であることを、アスタリスク * で表現)。

3.2.6 イベント駆動関係

あるイベントが他のイベントを誘発した場合、イベント間には因果関係が存在する。このとき、原因となったイベントと誘発されたイベント間の関係をイベント駆動関係と定義する。イベント駆動関係は2項関係であり、イベント駆動関係を cr とすれば

$$cr = (ev, ev' | ev, ev' \in EVI) \tag{16}$$

である。 ev は原因となったイベント、 ev' は誘発されたイベントである。例えば、 xx 沖地震が yy 津波を発生させたとする、

$$cr = (\text{“}xx \text{ 沖地震”}, \text{“}yy \text{ 津波”}) \tag{17}$$

と表現される。ダブルクォーテーションで括られた文字列は、ダブルクォーテーション内の文字列名称を持つイベントインスタンスである。イベント駆動関係はイベントの概念によって制約が存在する。これを表現するために、イベント駆動関係の型を導入する。これはイベント概念間の関係であり、2項関係

$$crt = (evc, evc' | evc, evc' \in EVC) \tag{18}$$

で表される。 evc は原因となるイベントの型、 evc' は誘発されるイベントの型である。

3.3 イベントモデル

本章での議論を踏まえ、提案モデルを以下の5項で表現する。

$$\begin{aligned}
(OS, ES, PES, F_{pe}) \\
OS &= (U, \leq_C, S, CO) \\
ES &= (EVC, \leq_E, EVI, CR) \\
PES &= (PET, PE)
\end{aligned} \tag{19}$$

ここで OS は時空間オブジェクトの集合間の関連を表す。 U, \leq_C, S については既に述べた。 CO は時空間オブジェクトの属性値から、時空間オブジェクトの重要度に基づくレベルに分類する関数 co_{c_i} の集合である。 ES はイベントインスタンスの集合における関係を表す。 EVC, \leq_E, EVI については既に述

べた。 CR はイベント駆動関係 cr の集合である。 PES はプリミティブイベントの集合間の関連を表す。 PET はプリミティブイベントの分類の集合であり、 F_{pe} は時空間オブジェクトからプリミティブイベントへのマッピング関数である。全体のフレームワークは図6である。

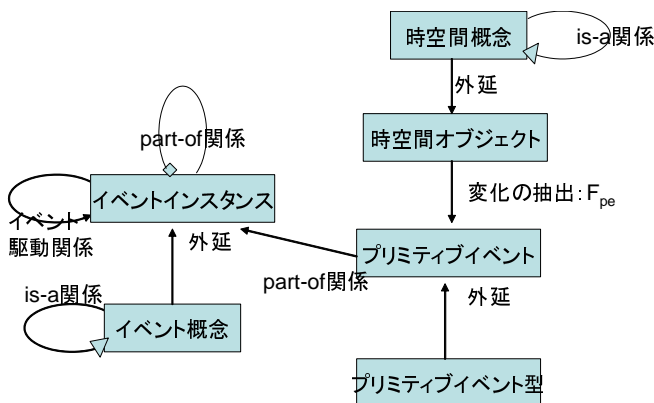


図6 フレームワーク

Fig. 6 Framework of proposed model.

4. 考察

本節では、提案モデル上でどのような問合せが可能となるかを示し、その有効性について議論する。

4.1 時空間オブジェクトの検索

4.1.1 イベントをキーとした時空間オブジェクトの検索

イベントインスタンスを構成するプリミティブイベントの集合から、そのイベントによって変化した時空間オブジェクトの集合が得られる。この機構により、例えば「台風20号」によって被害を生じた時空間オブジェクトの集合はなにか?といった問合せに応えることが可能である。このような問合せは、ユーザの興味の対象となる時空間オブジェクトの高精度な探索を支援する。

4.1.2 イベント間の集約関係を利用した時空間オブジェクトの選択

イベントインスタンスの階層構造を辿ることで、あるイベントを構成するさらに細かなサブイベントを観察することが可能である。ユーザが時空間上の事象を分析する際、必要十分な詳細度まで突き詰めて対象となる時空間オブジェクトを絞り込むことが可能となる。

4.2 イベントインスタンスの検索

イベントの概念階層を用いたイベントインスタンスの選択：イベントの概念からその外延となるイベントのインスタンスの集合を得ることが可能である。さらに、イベントの概念階層によりユーザは柔軟に必要なイベントインスタンスの集合を指定することが可能となった。もし、災害イベントのインスタンス集合が必要ならば、ユーザは地震イベント、津波イベント等を個別に指定することなく、災害イベントのインスタンス全てを問合せることが可能である。

4.2.1 イベントの因果関係の問合せ

イベント駆動関係を利用することで、因果関係をもつイベン

トインスタンスの検索が可能である。原因となったイベントインスタンスを変動の要因とする時空間オブジェクト集合と、誘発されたイベントインスタンスを変動の要因とする時空間オブジェクトの変動集合を比較するなど、既存のデータモデルではできなかった統計・分析手法を考えることが可能である。

4.2.2 時空間オブジェクトの変動原因の問合せ

ユーザの興味ある時空間オブジェクトの変化(プリミティブイベント)を構成要素として持つイベントインスタンスを得ることが可能となった。さらに、上記の問合せ方法と組み合わせることで、時空間オブジェクトの変化に関係のあるイベントインスタンスの集合がその間の関係(part-of関係、イベント駆動関係)と共に得られる。得られたイベントのインスタンス集合、及びそれらの間の関係からユーザは目的に沿った時空間オブジェクトの変動原因を特定可能である。

5. まとめ

5.1 終わりに

本稿では、時空間オブジェクトの変動原因の管理を目的にイベントモデルを提案した。イベントモデルでは、時空間に生じた事象をイベントと定義し、時空間オブジェクトの変動原因であるとした。そして、イベントを時空間オブジェクトの変動を示すプリミティブイベントの集合、またはイベントの再帰的な集約から構成した。本稿で議論した提案モデルでは、「なぜ時空間オブジェクトは変化したのか?」、あるいは「ある時空間オブジェクトと同様の理由で変化した時空間オブジェクトは他に何があるか?」といった検索要求に応えることが可能である。提案モデル上で、ユーザは

- (1) 異なる概念レベル
- (2) 必要な複合レベル
- (3) イベントの前後の因果関係

を用いてイベントを観測可能である。つまり、ユーザはその目的・視点に応じて時空間上の事象を観測可能である。

5.2 今後の課題

今後の課題として、提案モデルを用いて実用的な地理情報の統計・分析を実施し、提案モデルが有効に働くことを示す必要がある。また、提案データモデルに対し、データ問合せのためクエリ言語の仕様、及び実現方法について考えなければならない。

今後、提案モデルの拡張として異種間データセットにおけるイベントモデルを用いたデータの関連付けが考えられる。これは異種データベース間における相互検索の実現に対し、イベントインスタンスの集合を異種データベースのデータ間の関連付けの指標として用いる。時空間情報データベースは実世界のある側面を表現していると捉えることができる。その上で、構築されるイベントの集合もまた実世界の事象の一側面であるといえる。したがって、多くの異種情報データベースを用いてイベントを補完していくことは、実世界に近いイベントを表現していくことになる。将来、異種データベースで管理される時空間オブジェクトの変動をイベントをキーにすり合わせることで、異種データベース間の相互検索を実現したい。

文 献

- [1] J. Feng and T. Watanabe. Effective representation of road network on concept of object orientation. *Trans. IEE of Japan*, 122-C(12):2100–2108, 2002.
- [2] Jie JIANG and Jun CHEN. Event-based spatio-temporal database design. In *International Journal of Geographical Information Systems*, number 4, pages 105–109, Germany, 1998.
- [3] Y. Leung, K.S. Leung, and J.Z. He. A generic concept-based object-oriented geographical information system. *Int'l J. of Geographical Information Science*, 13(5):475–498, 1999.
- [4] Donna Peuquet and Niu Duan. An event-based spatiotemporal data model (estdm) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(1):7–24, 1995.
- [5] Yufei Tao and Dimitris Papadias. Efficient historical r-trees. In *Proceedings of the 13th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, pages 223–232. IEEE Computer Society, 2001.
- [6] Yufei Tao and Dimitris Papadias. Mv3r-tree: A spatio-temporal access method for timestamp and interval queries. In *The VLDB Journal*, pages 431–440, 2001.
- [7] 関本 義英 and 柴崎 亮介. 時空間データベースのダイナミックな更新を目指した概念データモデルの提案. In 地理情報システム学会講演論文集, pages 93–98, 1999.
- [8] 根岸 幸生, 青木 秀晃, 笠原 直, 郭 薇, 川崎 洋, and 大沢 裕. 時空間管理のための地理情報システム stims. In *DB/DE 研夏のワークショップ 2003*, pages 195–202, 2003.
- [9] 畑山 満則, 松野 文俊, 角本 繁, and 亀田 弘行. 時空間地理情報システム dimsis の開発. *GIS -理論と応用-*, 7(2):25–33, 1999.
- [10] 巖 網林. *GIS の原理と応用*. オーム社, 2003.