

地理オブジェクト集合として定義されたイベントの処理・表現手法

池崎 正和[†] 渡邊 豊英[†] 牛尼 剛聡^{††}

[†] 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

^{††} 九州大学大学院芸術工学研究科

E-mail: [†]{mikezaki,watanabe}@watanabe.ss.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ushiyama@design.kyushu-u.ac.jp

あらまし 近年, イベント処理手法に関する地理情報モデルの研究が多く提案されている. しかし, それらの多くはアプリケーション指向である. 一方, 分散環境で地理情報データを管理する統合型 GIS が普及している. 既存のイベント処理手法に関する地理情報モデルでは, そのような統合的環境における地理情報システムで応用に適していない. 本稿では, 分散環境に応用可能なイベントモデルを提案する. 本モデルでは, イベントを時空間のある領域を占める事象と定義し, イベント情報と地理実体の情報を独立して表現する. そして, 検索時に, ユーザのイベントに対する視点に応じて動的に相互を関連付けることで, 分散環境におけるイベント処理を実現する.

キーワード 地理情報システム, イベント

Handling Events Represented as a Set of Geographic Objects

Masakazu IKEZAKI[†], Toyohide WATANABE[†], and Taketoshi USHIYAMA^{††}

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

^{††} Faculty of Design, Kyushu University

E-mail: [†]{mikezaki,watanabe}@watanabe.ss.is.nagoya-u.ac.jp, ^{††}ushiyama@design.kyushu-u.ac.jp

Abstract Recently, a lot of researches on geographic information models for event handling have been proposed. However, many of researches are application-oriented. Namely, they are not suitable to represent a phenomenon spreading in the geographic space broadly such as earthquakes, typhoons, and so on. In this paper, we propose a new model for event handling in a distributed geographic information system. In our model, event information and geographic information are represented independently, and they are associated dynamically according to the viewpoint of users for an event.

Key words GIS, event

1. 背景

近年, 地理情報システム (GIS) が都市計画や経済学など様々な分野で利用され, 我々の生活に必要な社会基盤となっている. 既存の GIS に関する研究では, 地理情報の変動を表現するため, 地理オブジェクトのバージョン管理手法や, セルベースで表された空間に対する属性情報の履歴表現方法などが注目されてきた [7] [5]. しかし, 地理的変動の背景や状況といった地理情報変動のメタ情報は, 統計・分析や時空間データマイニングなど多岐に渡る GIS の適用分野で有用であるにも関わらず, 既存の GIS では表現されてこなかった. 本稿では, それら地理情報変動の環境や状況をイベントと呼び, イベントの表現手法について取り組む.

我々はこれまでに地理情報変動を引き起こす事象をイベントと捉え, イベントを複数の地理情報変動を集約した単一のオ

ブジェクトとして表現した. そして, イベント間の is-a 関係, part-of 関係, 因果関係を定義することで, 一般的なイベントを取り扱う枠組みについて提案してきた [3]. 地理情報変動の背景・状況を表現する他の研究として, Peuquet らの研究がある [6]. Peuquet らは, セルベースで表現された空間において, ある主題における地理情報を時間軸に沿って管理・構築した. この時間軸に基づく地理情報変動の構造化において, 一連の場所 (セル) ごとの変化は明示的にイベントに関連付けられ, データベースに保持される. Chen らは人間の決定行動をイベントと捉え, 工事現場などにおける人間の意思決定内容と, ある時刻における地理情報の関連を表現した [4]. Chen らの研究では, イベント間の意思決定関係, イベントと空間の状態の同期関係, 空間の状態間の因果関係を表現した. これらの研究では, 地理空間は各時刻におけるスナップショットで表現され, 時間軸上の一点で表現されるイベントに関連付けられた. しかし,

このような表現は我々の認識と不整合がある。我々は、イベントを時間間隔とともに認識することがしばしばある。Yuan らは、暴風雨を例に物理的な事象を分析・モデル化した [9]。Yuan らのモデルにおいて、イベントは関連する地理情報の変動プロセスの集約として表現され、開始時刻、終了時刻を保持した。プロセスは、実世界の測定データの系列を分析・集約することで得られる。Yuan らのアプローチは、プロセスの分析において、専門的な知識が必要となり、またそのようなプロセスの集約で表現されるイベントは固定的な表現であった。すなわち、Yuan らのアプローチでは、イベントのある一面のみしか表現していない。Galton らは、ツアー旅行のように協調的な変動を持つオブジェクトの集合で表現されるような事象をイベントとして、イベントのオブジェクト的な側面と、集合的な側面について分析した [2]。Galton らのモデルは、オブジェクトとオブジェクトの集合が引き起こす事象について、十分に表現が可能であるが、何を“協調的”とするかについては、議論が残る。また、Worboy らは、実世界の事象を 3つの概念、オブジェクト、イベント、状況で表現した [8]。このモデルでは、イベントとは、ある地理的状況下でいくつかのオブジェクトと関連を持つと表現し、形式化した。Galton や Worboy らのようなアプローチでは、イベントとそれに関わる地理オブジェクトを明示的に表現、管理する必要があり、地震や台風のような多くの地理オブジェクトが関連する幅広い領域にわたる地理的なイベントを表現するには適していない。

一方、行政政府を中心として、地形データを共有した上で個々のドメインにおける地理情報を分散環境で管理する統合型 GIS が普及しつつある。個々の地理情報変動とイベントとを関連付ける既存手法のアプローチでは、統合型 GIS への対応は難しい。以上の議論を踏まえ、本稿では、分散環境である統合型 GIS でイベント情報の利用を実現するため、以下の目標をあげ、これらを達成する地理オブジェクト及びイベントを表現するデータモデルについて述べる。

- 多数の地理オブジェクトとイベントの関係を表示。
- イベントに対する視点に対応した地理情報変動の取得。

1 番目の目的に関して、多数の地理オブジェクトを対象とする統合型 GIS において、既存モデルでは、地理情報更新の度に、イベントとの関連を考慮しなければならず、データ管理に問題が発生する。そこで、1 番目の目的を達成するため、イベント情報と地理情報を独立に表現し、動的にこれらを結びつける。また、2 番目の目的を達成するため、イベント情報と地理情報を動的に結びつける際、どのような地理情報変動をイベントと関連付けるかを指定するというアプローチを取る。

本稿の構成は以下のとおりである。第 2 章で、提案モデルのアプローチと概要を説明する。第 3 章で形式的な表現を与え、第 4 章で具体的な例を与えたのち、実装について報告する。第 5 章で提案モデルについて考察し、本提案を位置づける。第 6 章で本稿をまとめ、今後の課題について述べる。

2. アプローチ

実世界では、非常に多くの地理実体が相互に関連、作用し、

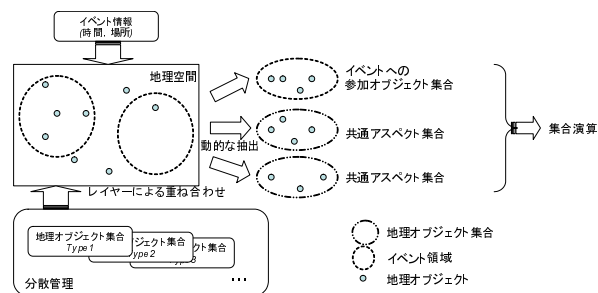


図 1 概念図
Fig. 1 Conceptual Diagram

様々な事象が発生する。提案モデルは、それら大量の地理実体とイベント間の関連を処理可能でなければならない。また、一般的に我々がそれらの事象・イベントを扱う際には、イベントのある側面に注目して、イベント及び地理実体の情報を取り扱う。例えば、ある地震に対し、都市計画に携わる人間は地震によって破壊された建物に注目し、また、地震の研究者は地震を引き起こした大陸プレートの動きに注目して、GIS を利用する。このように利用目的に応じて、イベントに対する視点は多様に存在し、イベントが意味する内容はイベントに対する視点ごとに異なる。すなわち、あるイベントに対して、何をイベントにおける地理情報変動と捉えるかは、イベントを捉える視点に依存する。よって、GIS におけるイベント処理では、ある視点の下でのイベントにおける地理実体の変動を取得できなければならない。

このような要求に応えるため、我々のモデルでは、イベントを地理実体が相互作用しながら変化する場・環境であると捉え、イベントと地理実体を独立に表現する。独立に表現されたイベントと地理実体の情報(地理オブジェクト)を関連付ける際、イベントの存在領域と、地理オブジェクトの存在領域に着目する。イベントは、存在領域として時空間領域を持ち、そこに存在する地理オブジェクトはイベントへの参加関係を持つとする。つまり、イベントの存在する時空間領域と、地理オブジェクトの存在する時空間領域から、動的に地理オブジェクトとイベント間の参加関係は導出される。

また、イベントに対する視点を表現し、興味のある地理的変動を同定するため、地理オブジェクトの振舞いに注目する。地理オブジェクトは、空間上に存在する地理的実体であり、生存期間を持つ。また、地理オブジェクトの型に対応する属性値は時間とともに変化し、有効時間を持つ。属性値、及び時空間情報で表現される地理オブジェクトの状態、及び状態遷移の系列を地理オブジェクトの振舞いと呼ぶ。イベント情報を利用する GIS ユーザは、個々の地理オブジェクトに注目するのではなく、興味のある振舞いを持つ地理オブジェクトを注目対象とすると考えられる。そこで、似た振舞いを持つ複数の地理オブジェクトは、共通のAspectを持つとし、興味ある地理オブジェクトの振舞いを指定することで、共通のAspectを持つ地理オブジェクトの集合を同定する。例えば、建物オブジェクトが属性 state を持つとし、いくつかの建物オブジェクトの state 属性の値が normal から destructed に変化したならば、それらの

建物は、共通のアスペクトを持つとする。

イベントに参加している地理オブジェクト集合と、アスペクトを指定することにより同定される地理オブジェクト集合を集合演算により処理することで、イベントにおける地理情報変動を動的に導出し、イベントに対する視点を反映したデータ処理が可能となる。図1に提案モデルの概念図を示す。

さらに、イベント情報の統計処理に対応するため、時空間粒度の概念を導入する。地理オブジェクト集合を、対応する粒度で分割することで、市ごとの地震被害数や、時間ごとの降水量の導出といった、時空間単位に基づく統計的演算を実現する。

3. 形式化

3.1 地理オブジェクト

地理オブジェクトは地理空間に存在する領域と生存期間を持つ地理的実体である。地理オブジェクトの属性値は、地理オブジェクトの型によって規定され、その生存期間の間、時間とともに変化する。よって、属性値は有効時間とともに管理される。地理オブジェクト o は下記のように記述される。

$$\begin{aligned} o &= (t_s, t_e, ATTR_o, POS_o), \\ ATTR_o &= AT_1, \dots, AT_n, \\ AT_i &= \{(val_{i,0}, t_{i,0}, t_{i,1}), \dots, (val_{i,m-1}, t_{i,m-1}, t_{i,m})\}, \\ POS_o &= (pos_0, t_0, t_1), \dots, (pos_l, t_{l-1}, t_l). \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $t_0 = t_s, t_{i,m} = t_l = t_e$ 。ここで、 t_s と t_e はそれぞれ開始時刻と終了時刻である。 $ATTR_o$ は o の属性値集合である。各 AT_i は属性値の系列であり、有効時間と属性値の組により表現される。 POS_o は地理オブジェクトの存在領域を表す。各 pos_i は、有効期間 t_i, t_{i+1} の間の地理オブジェクトの存在空間を表す。

3.2 地理オブジェクトのアスペクト

地理オブジェクトは時間とともに変化する。このとき、属性値に関する地理オブジェクトの状態、または状態遷移を地理オブジェクトの振舞いとする。そして、似た振舞いを持つ地理オブジェクトは共通のアスペクトを持つとする。したがって、振舞いのパターンを指定することにより、同じアスペクトを有する地理オブジェクト集合を同定することができる。振舞いパターン BPT は下記のように記述される。

$$\begin{aligned} BPT &= \{bpt_i | i = 0, \dots, n\}, \\ bpt_i &= \{(classname, state+)\}, \\ state &= (atname, cond). \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $classname$ は地理オブジェクトの型名であり、 $state$ は地理オブジェクトの状態を表現する。記号“+”は、時間軸上での一度以上の繰返しを示す。各状態 $state$ は属性名 $atname$ とその状態 $cond$ で表される。建物と道路の破壊を例にすると、建物型の名前を“Buildings”、建物の強度を表す属性名を“strength”とし、道路型の名前を“Roads”、その状態を表す属性名を“state”とすれば、破壊されるような道路、建物オブジェクトの振舞いパターン $bpt_{collapse}$ は以下のように記述される。

$$\begin{aligned} bpt_{collapse} &= \{(\text{“Buildings”}, \langle s_1, s_2 \rangle), (\text{“Roads”}, \langle s_3, s_4 \rangle)\}, \\ s_1 &= (\text{“strength”}, 6 \leq val < 10), s_2 = (\text{“strength”}, 0 \leq val < 6), \\ s_3 &= (\text{“state”}, val = normal), s_4 = (\text{“state”}, val = destructed). \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、表記 $\langle \rangle$ はリストを表現するとし、 val は対応する属性の値を表す。この例では、建物オブジェクトの strength 属性の値が 6 から 10 の状態から 1 から 5 の状態への変化を建物オブジェクトの破壊の振舞い、道路オブジェクトの state 属性の値が normal から destructed への変化を道路オブジェクトの破壊の振舞いとしている。

アスペクトは、地理オブジェクトと、対応する振舞いをもつ時間区間の組で表現される。

$$\begin{aligned} aspect &= (obj, T), \\ start(obj) &< t \in T < end(obj). \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 obj は地理オブジェクトである。 T は時間集合であり、地理オブジェクトが対応する振舞いを持つ時間区間を表現する。厳密には、対応する振舞いパターンが状態遷移を表すなら属性値の変化の瞬間であり ($|T| = 1$)、状態遷移の系列を表す振舞いパターン、及び地理オブジェクトのある状態を表す振舞いパターンに対応する場合は、時間区間である。 $start, end$ は、それぞれ地理オブジェクトの開始時間、終了時間を示す。地理オブジェクトの集合全体から、振舞いパターンに対応するアスペクト集合を得る関数 ex_{aspect} を以下に定義する。

$$\begin{aligned} ex_{aspect} &: BehavioralPattern- \rightarrow \{Aspect\}, \\ ex_{aspect}(bpt) &= \{(obj, T) | obj \text{ behaves like } bpt \text{ at } t \in T.\}. \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 bpt はアスペクトを同定するための振舞いパターン、 obj は bpt で示す振舞いパターンに一致する振舞いを持つ地理オブジェクトである。 T は時間集合であり、 obj が bpt の振舞いを示す時間区間である。

アスペクトの概念に関連して、あるアスペクト $as = (obj, T)$ が示す地理オブジェクト obj が、そのアスペクトが示す振舞いをする時間区間 T を返す関数 $period$ を定義する。

$$\begin{aligned} period &: Aspect- \rightarrow \{Time\}, \\ period(as) &= T. \end{aligned} \quad (6)$$

またアスペクトの実体である地理オブジェクトを返す関数 $entity$ を定義する。

$$\begin{aligned} entity &: Aspect- \rightarrow Object, \\ entity(as) &= obj. \end{aligned} \quad (7)$$

3.3 イベント

イベントは、固有の属性値と存在領域で表現される。イベントの属性値は、台風や地震といったイベントの型で規定される属性に対応する。イベント ev は下記のように記述される。

$$\begin{aligned}
ev &= (t_s, t_e, ATTR_e, POS_e), \\
ATTR_e &= (val_0, \dots, val_{n-1}), \\
POS_e &= \{(pos_0, t_0, t_1), \dots, (pos_m, t_{m-1}, t_m)\}. \quad (8)
\end{aligned}$$

ただし, $t_0 = t_s, t_m = t_e$. ここで, $ATTR_e$ はイベント型に対応する属性値の組である. t_s, t_e は, それぞれイベントの開始時刻と終了時刻である. POS_e はイベントの存在領域を表す. POS_e の要素は, 時間区間 t_i, t_{i+1} , 及びその間のイベントの存在空間 pos_i の組である. 例えば, 地震イベント $ev_{earthquake_1}$ が, 属性として, 震源地と名称を持つとすると, 下記のような記述が可能である.

$$\begin{aligned}
ev_{earthquake_1} &= (ATTR_1, t_3, t_4, POS_1), \\
ATTR_1 &= ((x_0, y_0), \text{“東海沖地震”}), POS = \{(reg_1, t_3, t_4)\}. \quad (9)
\end{aligned}$$

上記の例では, 座標値 (x_0, y_0) を震源地とし, “東海沖地震” という名称を持った時間区間 t_3 から t_4 まで存在する地震イベント $ev_{earthquake_1}$ が, 時刻 t_3 から t_4 の間, 領域 reg_1 に存在したことを表す.

3.4 イベントの参加オブジェクト

イベントは存在時空間領域を持ち, 地理オブジェクトもまた, その存在時空間領域を持つ. そこで, イベントの存在時空間領域に存在する全ての地理オブジェクトをイベントの参加オブジェクトとして扱う. なお, イベントに参加することも一種の振舞いであると捉え, イベントの各参加オブジェクトも共通のアスペクトを持つとする. あるイベント ev に対し, その参加オブジェクト集合 (アスペクト集合) を示す関数 $participant$ を定義する

$$\begin{aligned}
participant : Event &\rightarrow \{Aspect\}, \\
participant(ev) &= \\
&\{(obj, T) | t \in T. contain(pos(t, ev), pos(t, obj)) \wedge \\
&start(obj) < t < end(obj) \wedge start(ev) < t < end(ev)\}. \quad (10)
\end{aligned}$$

ここで, $pos(t, ev), pos(t, obj)$ は, それぞれ時刻 t におけるイベント ev , または, オブジェクト obj の存在する空間領域を表す. $contain(pos_1, pos_2)$ は, 空間領域 pos_1 に空間領域 pos_2 が含まれることを示す. 関数 $start, end$ はそれぞれ, イベント, または地理オブジェクトの開始時刻, 終了時刻を表す.

3.5 データ操作

3.5.1 時空間制約

イベントの参加オブジェクト, 及び共通のアスペクトを持つ地理オブジェクトの集合の間で積集合や, 和集合, 直積といった集合処理が演算可能である. しかし, 単純な集合演算では, 二つの地理オブジェクト集合の要素間にどのような関係があるかを指定できないため, ユーザの意図を正確には反映できない. そこで集合演算に対する制約を導入する. 制約は要素間の空間制約, 時間制約, 及び時空間制約である. 空間制約は, 近傍性や重なりのような二つの地理オブジェクト集合要素の空間的領域

間の関係で制約する. 例えば, 二つの建物オブジェクトのアスペクト as_1 と as_2 が時刻 t において十分に近い距離に存在するならば, $neighboring(pos(t, entity(as_1)), pos(t, entity(as_2)))$ という関係を記述できる. ただし, 空間関係として, 位相関係や, しきい値による距離関係などが考えられる.

時間制約は, 二つの地理オブジェクト集合要素に対し, それぞれの集合における共通性質 (共通する振舞いを保持, またはイベントへ参加) を有す時間区間の関係を示し, アランの時区間論理 [1] に基づく. 例として, 地理オブジェクト obj が振舞いパターン bpt_1 の振舞いを持った後, 振舞いパターン bpt_2 の振舞いをするならば, 前者の振舞い状態を $as_1 \in ex_{aspect}(bpt_1)$, 後者の振舞い状態を $as_2 \in ex_{aspect}(bpt_2)$ として, $before(period(as_1), period(as_2))$ という関係を記述可能である. アランの時区間論理には, $before, meets, overlaps, starts, contains, finishes$ という 6 つの関係がある. 時空間制約は, 時間的關係と空間的關係の組合せにより表現する.

3.5.2 集合演算

前節で述べた時間制約, 空間制約, 時空間制約は, 二つの集合の要素間の関係を制約する. そこで, これらの制約を $constraint$ と表現し, 時空間を考慮した集合演算を定義する. AS_1, AS_2 をアスペクト集合とする.

$$\begin{aligned}
union(AS_1, AS_2) &= \{as | as \in AS_1 \wedge as \in AS_2\}, \\
intersection(AS_1, AS_2, constraint) &= \\
&\{as | as \in AS_1, as_2 \in AS_2. constraint(as, as_2) \wedge \\
&entity(as) = entity(as_2)\}, \\
production(AS_1, AS_2, constraint) &= \\
&\{(as_1, as_2) | as_1 \in AS_1, as_2 \in AS_2. constraint(as_1, as_2)\}, \\
selection(AS_1, AS_2, constraint) &= \\
&\{as | as \in AS_1, as_2 \in AS_2. constraint(as, as_2)\} \quad (11)
\end{aligned}$$

$union$ は二つのアスペクト集合間における通常の集合和である. $intersection$ は, 二つの地理オブジェクト集合の共通要素, かつ, 制約 $constraint$ を満たす地理オブジェクトの集合を導出する演算である. $production$ は集合の要素間の関係が制約 $constraint$ を満たす要素の組集合を導出する演算である. $selection$ は, 二つの集合のうち, 後者の集合要素に対し, 制約 $constraint$ を満たすような前者の集合の要素集合を導出する演算である. 具体的な集合演算の例は, 第 4 節で示す.

3.6 時空間粒度

本節では, 時空間粒度を考慮したイベント処理のための時空間間に対する枠組みについて述べる. イベントも含めて前節までの演算結果はアスペクトの集合として表現される. そこで市ごとの被災家屋数の導出や, 時間ごとの降水量変化といった時空間粒度を考慮した統計処理を実現するために, これらのアスペクト集合を時空間粒度に基づき, 分割する. 時空間単位を管理するため, ディレトリ木と時間木, 二つの構造を導入する. これらの木構造を利用することで, イベントにおける地理オブジェクトの変動過程を様々な粒度で観察可能となる.

3.6.1 ディレクトリ木と時間木

ディレクトリ木は行政単位の階層構造に対応し、空間粒度を表現する。ディレクトリ木は行政区をより細かな領域に再帰的に分割することで得られる。すなわち、行政区に対応した領域集合を、領域の包含関係に基づく木構造により管理する。空間粒度の細度は、木構造の各ノードのルートノードからの距離に対応し、空間レベルと呼ぶ。ディレクトリ木は以下のように記述される。

$$DT = (\Sigma_s, <_s) \quad (12)$$

ここで、 $\Sigma_s = \{\sigma_{si} | i = 0, \dots, n\}$ は行政区の集合であり、 $<_s$ は、領域集合 Σ_s 上の包含関係である。ここで、ノード σ_{si} の持つ空間粒度の細度（空間レベル）を $sl(\sigma_{si})$ と表記する。空間レベルは、行政区の市区町村に対応する。図2に例を示す。図2では、行政区領域 $\Sigma_s = \{Japan, Aichi, Nagano, Nagoya, Ichinomiya, \dots\}$ が存在するとしてディレクトリ木を表現している。これらの空間レベルは、 $sl(Japan) = country$, $sl(Aichi) = sl(Nagano) = prefecture$, $sl(Nagoya) = sl(Ichinomiya) = city$ のようになる。

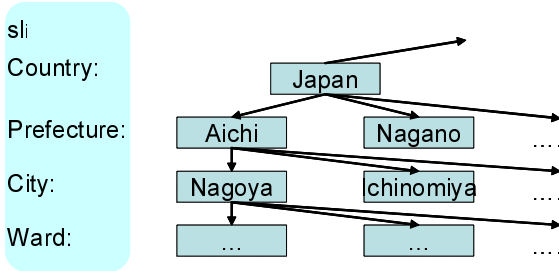


図2 ディレクトリ木

Fig.2 Example of directory tree

時間木もディレクトリ木と同様に、時間軸上の包含関係により構築される(図3)。“月”、“日”、“時間”といった時間単位に対応した時間間隔が時間木により階層的に構造化される。時間木は以下のように記述される。

$$TT = (\Sigma_t, <_t). \quad (13)$$

$\Sigma_t = \{\sigma_{ti} | i = 0, \dots, m\}$ は時間区間の集合である。例えば、“2006年3月3日”は時間単位“日”の時間区間のひとつであり、“2006年3月3日午前4時50分”は時間単位“分”の時間区間のひとつである。 $<_t$ は時間区間の包含関係である。さらに、各ノード σ_{ti} のルートからの距離を $tl(\sigma_{ti})$ と表記し、時間レベルと定義する。時間レベルは、年月日等に対応する。時間レベル tl_i の単位時間は ut_i とし、例えば $ut_0 = month$, $ut_1 = day$, ... となる。時間木の例を図3に示す。

3.6.2 アスペクトの時間分割

地理オブジェクトのアスペクトは、地理オブジェクトに対し、その生存時間の一部を表現する。ある時間レベル tl_i が与えられ、アスペクト $as = (obj, T)$ の地理オブジェクトの属性値が持つ時間単位が、 ut_i より細かな粒度を持つならば、 as は以下

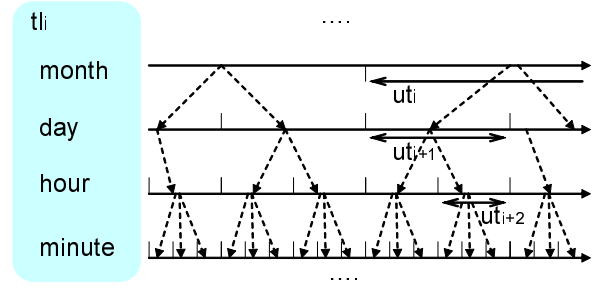


図3 時間木

Fig.3 Example of time tree

のように分割可能である。

$$div_{as} : Aspect, TimeLevel \rightarrow \{Aspect\}$$

$$div_{as}(as, tl_i) = \{as_j | j = 0, \dots, n\}$$

$$as_j = (obj, T_j | i = 0, \dots, n)$$

$$T_0 = interval([\min(T)], [\min(T)] + ut_i), \dots$$

$$T_j = interval([\min(T)] + (j-1) * ut_i, [\min(T)] + j * ut_i), \dots$$

$$T_n = interval([\min(T)] + ut_i, [\max(T)]) \quad (14)$$

ここでは、アスペクトの分割関数を div_{as} と記述している。 div_{as} はアスペクトを単位時間 ut_i で分割し、順序列を返す。 as_j は関数 div_{as} により得られるアスペクト集合のひとつである。 $[\]$, 及び $[\]$ は、それぞれ時間単位 ut_i に対応した時間の切下げ、切上げに対応する。各アスペクトの示す時間間隔はそれぞれ単位時間と一致する。図4にアスペクトの時間分割の概念図を示す。

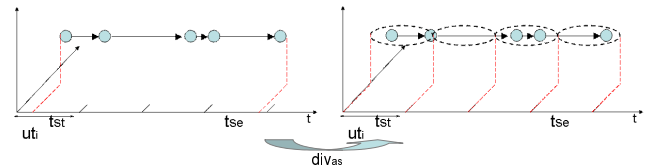


図4 アスペクトの時間分割

Fig.4 Division function for aspect with time level

3.6.3 アスペクト集合の時空間分割

本節ではアスペクト集合に対し、時間単位による分割、空間単位による分割について述べる。

div_t は、アスペクト集合を時間単位で分割する関数であり、アスペクト集合の各要素を時間レベル tl_i で分割して得られるアスペクト集合 ASS を、同じ時間区間に存在するという関係 $Rel_{SameInterval}$ によって直和分解する。

$$div_t : AspectSet, TimeLevel \rightarrow \{AspectSet\}$$

$$div_t(AS, tl_i) = ASS / Rel_{SameInterval}$$

$$ASS = \{as | as_0 \in AS, as \in div_{as}(as_0, tl_i)\}$$

$$Rel_{SameInterval} = \{(as_i, as_j) | as_i \in ASS, as_j \in ASS, period(as_i) = period(as_j)\}. \quad (15)$$

これにより得られるアスペクト集合の集合は，時間単位 ut_i の時間間隔を持つ同一時間区間を示すアスペクトを要素を持つアスペクト集合の集合となる．概念図を図 5 に示す．

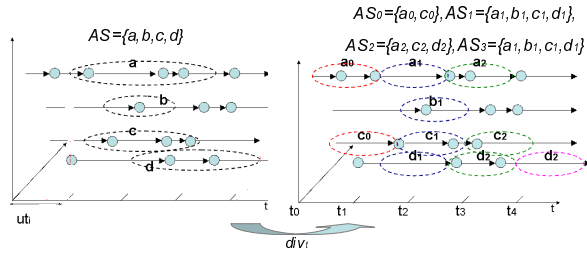


図 5 アスペクト集合の時間分割

Fig. 5 Division function for event on time domain

アスペクト集合をある空間単位で分割する関数を div_s とおき，以下で定義する．

$$\begin{aligned}
 div_s : AspectSet, SpatialLevel &\rightarrow \{AspectSet\} \\
 div_s(AS, sl_i) &= AS / Rel_{SameLocation}(sl_i) \\
 Rel_{SameLocation}(sl_i) &= \{(as_i, as_j) | as_i \in AS, as_j \in AS, \\
 &contains(reg, as_i) \wedge contains(reg, as_j), \\
 ® \in \Sigma_s \wedge sl(reg) = sl_i\} \quad (16)
 \end{aligned}$$

ここで，関係 $Rel_{SameLocation}(sl_i)$ は，行政区領域集合 Σ_s のうち，空間レベルが sl_i である同一行政区に存在する地理オブジェクトを示すアスペクト対を規定する関係である． div_s はアスペクト集合 AS を関係 $Rel_{SameLocation}(sl_i)$ で直和分解したアスペクト集合の集合を返す．概念図を図 6 に示す．

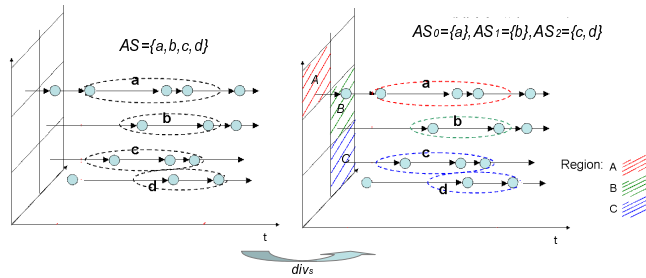


図 6 アスペクト集合の空間分割

Fig. 6 Division function for event on spatial domain

4. 例

4.1 例

本節では，提案モデルを用いたスキーマの例を与える．地理オブジェクトの型として，強度属性を有す建物型，土壌型，及び名称属性を有す行政区型が存在するとし，それぞれのインスタンスとして，図 7 のような配置で表 1 のような属性値を有する地理オブジェクトが存在するとする．なお，地理オブジェクトの位置はその存在時区間を通して固定とし，存在領域は，図 7 における小文字のアルファベットで示す領域とする．また，地理オブジェクト，対応するアスペクトの識別子として，ここでは，

存在領域を示す小文字アルファベットで対応する．イベントは，2つの台風イベント ev_1, ev_2 を仮定する（その属性については省略する）．なお，これらのイベント集合を EV で表現する．台風イベントの存在時空間領域を，表 2 とする．なお，表中，大文字のアルファベットで示している空間領域は，図 7 の大文字のアルファベットで示す領域に対応する．表中 “-” で記述されている部分は，地理オブジェクト，及びイベントがその時間，存在していないことを表す．すなわち，建物オブジェクト h であれば，その生存期間は t_5 から t_7 までであることを表す．このような地理オブジェクトの集合，及びイベントに対し，“台風による土砂崩れによって破壊された建物” は以下のように導出できる．まず，土砂崩れ，及び建物・道路の破壊を表す振舞いパターンは，それぞれ， $bpt_{soilfall} = \{(soil, < (strength, 1 \leq val < 10), (strength, val = 0) >)\}$ ， $bpt_{collaspe} = \{(Buildings, < (strength, 6 \leq val < 10), (strength, 0 \leq val < 6) >)\}$ ， $(Roads, < (state, val = normal), (state, val = destructed) >)\}$ とする．そして，これらの振舞いをするアスペクト集合は， $AS_1 = ex_{aspect}(bpt_{soilfall}) = \{c, e\}$ ， $AS_2 = ex_{aspect}(bpt_{collaspe}) = \{f, g, i, j, k, l\}$ と表現される．また，それぞれのイベントに参加する地理オブジェクト集合は， $participant(ev_1) = \{a, b, c, f, g, h\}$ ， $participant(ev_2) = \{a, b, d, e, g, i, j\}$ である．なお，本来アスペクトはオブジェクトと時間区間の組であるが，ここでは，オブジェクトの識別子（小文字アルファベット）で表記する．“土砂崩れによって破壊された地理オブジェクト” を， $bpt_{soilfall}$ の振舞いを持つ土壌オブジェクトの近くに存在し，かつ $bpt_{collaspe}$ の振舞いが時間的に *before* ではないという関係を持つ地理オブジェクトの集合とすると， $ex_{aspect}(bpt_{temp}) = selection(AS_1, AS_2, constraint_1) = \{f, j, l\}$ ．ただし， bpt_{temp} は，“土砂崩れによって破壊された建物” を表す一時的な振舞いパターンであり， $as_1 \in AS_1, as_2 \in AS_2$ として， $constraint_1 = \neg(before(period(as_1), periods(as_2))) \wedge neighboring(pos(entity(as_1)), pos(entity(as_2)))$ である．さらに，この集合の要素と台風イベントに参加した地理オブジェクト集合に対し，時間的な包含関係の制約を加え，積集合をとることで，目的とする地理オブジェクトの集合が得られる． $\cup_{ev \in EV} intersection_c(participant(ev), ex_{aspect}(bpt_{temp}), constraint_2) = \{f, l\} \cup \{j\} = \{f, l, j\}$ ．ただし， $as_3 \in participant(ev), as_4 \in aspect(bpt_{temp})$ ． $constraint_2 = contains(period(as_3), period(as_4))$ ．

また，これらの演算結果に対し，時空間粒度によるアスペクト集合の分割を適用可能である．例えば，県レベルの空間レベルを “prefecture” とすれば，“各県ごとの台風による土砂崩れによって破壊された建物” は， $div_s(\cup_{ev \in EV} intersection_c(participant(ev), ex_{aspect}(bpt_{temp}), constraint_2), “prefecture”)$ と記述でき，演算結果 $\{\{f, l\}, \{j\}\}$ を得る．

4.2 プロトタイプシステム

提案モデルに基づき，提案手法の有効性を確かめるためプロトタイプシステムを構築した．時間系列を反映した地理データ

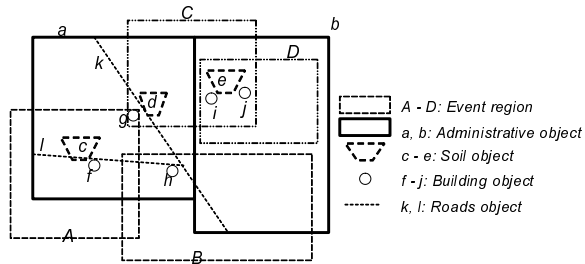


図 7 地理オブジェクトの配置

Fig. 7 Alignments of Geographic Objects and Events

表 1 地理オブジェクトの属性値の変化

Table 1 Behavior of Geographic Object

object\time	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇
Administrative object (Attribute:name)								
a	Gifu prefecture							
b	Aichi prefecture							
Soil object (Attribute:strength)								
c	7	7	3	0	-	-	-	-
d	7	7	6	6	7	4	4	5
e	6	7	6	6	7	5	0	-
Building object (Attribute:strength)								
f	8	8	7	0	-	-	-	-
g	7	8	8	8	5	7	-	-
h	-	-	-	-	-	7	8	8
i	8	4	3	8	8	8	8	8
j	6	8	8	8	7	6	3	5
Road object (Attribute:strength)								
k	normal				destroyed			
l	normal		destroyed		normal			

表 2 イベントの存在時空間領域

Table 2 Existence of Event

event\time	t ₀	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇
ev ₁	-	-	A	B	-	-	-	-
ev ₂	-	-	-	-	-	C	D	-

の取得は困難であるため、国土地理院発行の数値地図 2500 上で台風イベントが複数発生し地理変動が生じたと仮定し、データセットを作成した。データは、イベント情報と各ドメインごとの地理情報を保持し、各々の関連は明示的には表現されていない。また基本的な振舞いパターン、及びアスペクト集合に対する処理は、Java により手続的にシステムに組み込まれている。以下にいくつかのイベント処理を例示する。

図 8 では、ひとつの台風イベントの参加オブジェクトの描画例である。個々の参加オブジェクトは、道路や建物のようにドメインが異なり直接の関連はデータベース内で表現されていないが、提案手法ではイベントを通して同時に処理が可能である。図 9 は、建物、及び道路オブジェクトのうち、前節で例示した壊れる振舞いを持つ全ての建物、道路オブジェクト集合を示す。図 4.2 では、図 8 で示したイベントの参加オブジェクトセットと、図 9 で示した壊れる振舞いを持つオブジェクトの集合演算

処理の結果である。この例では、二つの集合に対し、イベントに参加している時間区間と振舞いを持つ時間区間が重なりを持つ (*before, after* ではない) という時間的制約の下で積集合を求めた。また、時間粒度、及び空間粒度による分割も実装した。図 11 では、図 4.2 で描画されたアスペクト集合を“時間”レベルで分割した結果の一例を示す。

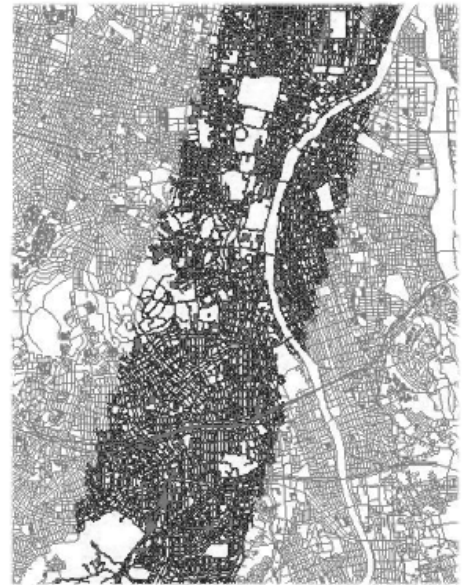


図 8 イベントの参加オブジェクトの描画

Fig. 8 Visualisation of Participant Object Set

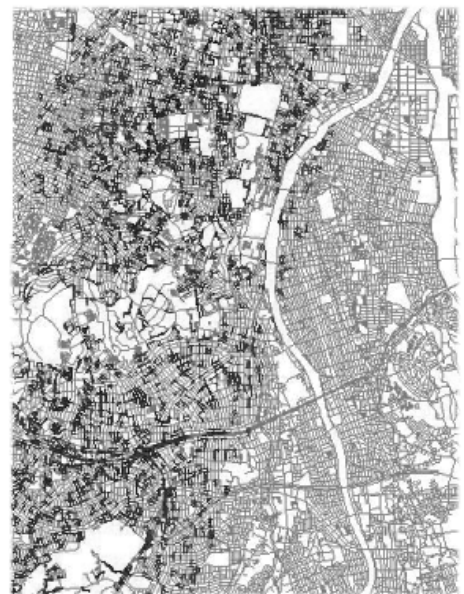


図 9 破壊される振舞いを持つ建物・道路オブジェクト

Fig. 9 Aspect set with destructing behaviour

5. 考 察

本稿では、イベント情報と地理情報を独立して表現することにより、イベントを利用する GIS に関して、統合的にイベント情報を扱うための枠組みを提案した。提案モデルでは、興味あ

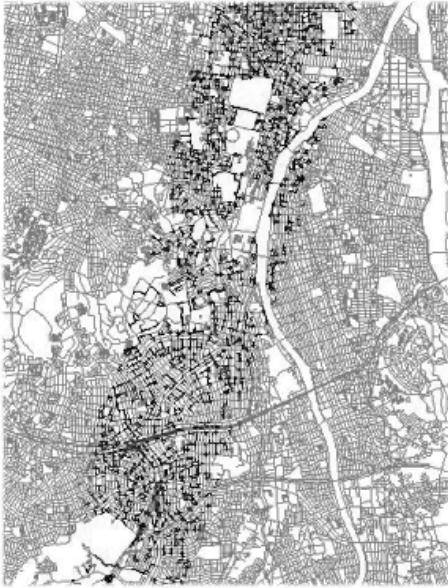


図 10 アスペクト集合間の集合演算

Fig. 10 Set operation on set of aspects



図 11 アスペクト集合の時間分割

Fig. 11 Division of aspect set

る地理情報変動を指定し、動的にイベント情報と地理情報を結びつけることにより、ユーザの意図する対象を特定可能である。これは、あるイベントに対する視点の下で、どのような地理変動がイベントと関連するかを定義することと同義である。すなわち、統合型 GIS において、アプリケーションドメインごとにデータのビューを提供することに対応する。既存研究のデータモデルでは、統合型 GIS 上で各アプリケーションごとにデータスキーマを定義し、そのデータの一貫性を保証することが困難である。本稿で提案したモデルのように、必要に応じて地理情報間の関連を導出するアプローチがより適していると考えられる。

一方、問題点として、地理オブジェクトの振舞いに基づき対象とする地理オブジェクトを同定する際のコストが上げられる。

地理オブジェクトのアスペクトを同定するには、地理オブジェクトの振舞いに基づく検索が必要であるが、地理オブジェクトの全時系列データを検索せねばならず、非常に負荷の高い処理となる。そのため効率的な検索のための索引付け手法が必要である。しかし、これは既存の時空間索引付け手法では対応できない。複数の B 木を組み合わせる振舞いに特化した索引構造を利用することが問題解決のアプローチとして考えられる。

6. ま と め

本稿では、イベントと地理オブジェクトの集合を独立に表現する、多数の地理オブジェクトとイベント間の関係进行处理するためのデータモデルについて述べた。さらに、興味のある地理オブジェクトの振舞いパターンを指定することで、イベントにおいて興味の対象を限定した地理オブジェクト集合を提供する機構について提案した。その際、集合演算を基本とすることで、イベントを同定する際、直感的に対象の指定が可能となった。

今後の課題として、地理オブジェクトの振舞いを効率的に検索できる索引構造について考察する必要がある。

謝 辞

本研究の一部は大幸財団の研究助成、及び名古屋大学 21 世紀 COE プログラム「社会情報基盤のための音声・映像の知的統合」によって実施された。

文 献

- [1] James F. Allen. Towards a general theory of action and time. *Artif. Intell.*, Vol. 23, No. 2, pp. 123–154, 1984.
- [2] Antony Galton. Dynamic collectives and their collective dynamics. *proc. of COSIT2005*, pp. 300–315, 2005.
- [3] Masakazu Ikezaki, Naoto Mukai, and Toyohide Watanabe. Event handling mechanism for retrieving spatio-temporal changes at various detailed level. *proc. of IEA/AIEA2005*, pp. 353–356, 2005.
- [4] Jie Jiang and Jun Chen. Event-based spatio-temporal database design. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 32(4), pp. 105–109, 1998.
- [5] Yukio Negishi and Yu Osawa. A spatio-temporal geographic information system based on implicit topology description: Stims. *proc. of DMGIS2001*, pp. 195–202., 2001.
- [6] Donna Peuquet and Niu Duan. An event-based spatiotemporal data model (estdm) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 9, No. 1, pp. 7–24, 1995.
- [7] Yufei Tao and Dimitris Papadias. Efficient historical r-trees. *proc. of the 13th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, pp. 223–232. IEEE Computer Society, 2001.
- [8] Michael F. Worboys and Kathleen Hornsby. From objects to events: Gem, the geospatial event model. *proc. of GI-Science*, pp. 327–344, 2004.
- [9] May Yuan. Representing complex geographic phenomena in gis. *Cartography and Geographic Information Science*, Vol. 28, No. 2, pp. 83–96, 2001.