

地理オブジェクト同士の時間関係記述のための包括的な体系

太田守重, 倉田陽平

Comprehensive System Describing Temporal Relationships among Geographic Objects

Morishige Ota, Yohei Kurata

Abstract: We can predict that applications analyzing temporal relationships among objects contained in different datasets will increase. Because, enormous geospatial data will be stored in repositories and they will be available through the Spatial Data Infrastructure in near future. However, it is still difficult to say that we have enough knowledge of temporal relationships among changing objects. This paper aims to show that the temporal relationships will be able to describe more in detail through the comparative evaluation of "Comprehensive classification of temporal relationships among changeable objects" provided by Ota (2007) and "Cross-object transition using Change Description Language (CDL)" by Hornsby and Egenhofer (2000).

Keywords: 時間関係 (temporal relationship), オブジェクト間遷移 (cross-object transition), 可変オブジェクト (changeable object)

1. はじめに

地理情報科学の分野では, 実世界上で変化する現象やものごと(ここでは実体とよぶ)を扱う GIS の研究は 1980 年代から行われ, 時間 GIS の有用性と実装可能性に関する提案などが行われている[5][6]. これらの研究は, いずれも Allen(1983)の時間関係分類 [1]を基礎におくものである. しかしこの時間関係では, 例えば, あるものが別のものを生み出したり, 別のものを取り込んだりするような時空間現象を記述することはできない. これに対して Hornsby and Egenhofer (2000) は, オブジェクト間遷移 (cross-object transition) の概念を導入することによって, それを可能にした[3]. また太田 (2007) は, オブジェクトの変化を全順序時間中の時点と対応させたとき, 変化しうる可変オブジェクト間の時間関係は, 非同期の関係 1, 瞬間的な関係 9 及び期間的な関係 16, 合わせて 26 通りの関係に帰着することを示した[7]. ここではまず,

太田が示した, 包括的な時間関係分類 (CCTR) を紹介する. 次に Hornsby らによる, Change Description Language (CDL)によるオブジェクト間の時間関係記述を紹介する. さらに, 双方の比較評価を通じて, CDL が示す変化現象は CCTR の記法を拡張することによって記述可能であることを示す.

2. 変化するオブジェクト同士の時間関係

まず, 実世界上の生起消滅する任意の現象またはものごとの記録, つまり実体の抽象表現は, 地理情報標準にならい, 地物(feature)と呼ぶ. 地物は, 型(クラスともいう)またはインスタンス(オブジェクトともいう)として表現できる. ここでは単にオブジェクトというときは, 地物インスタンスを示す.

つぎに, 太田 (2007) に従い, 時間計測のための4つの尺度を以下のように定義する.

名義尺度: 他との識別を可能にする尺度

順序尺度: 他の計測値との順序(大と小, 先と後など)関係を示す名義尺度. どの計測値も他の値との順序関係をもつ場合は全順序, そうでない場合があるときは半順序という.

太田: 国際航業株式会社技術センター太田研究室

住所: 〒102-0085 東京都千代田区六番町2

Tel: 03-6361-2456

E-mail: morishige_ota@kkc.co.jp

間隔尺度:計測値間に距離が与えられる順序尺度
 比率尺度:全ての計測値について,絶対的な原点からの距離がわかる間隔尺度

実体の時間的な変化は,オブジェクトの時間属性である全順序時間(全順序尺度で計られる時点の集合)の要素としての時点と対応させることができ,オブジェクト同士の時間関係は,二つの全順序時間の共通部分(同期関係が成立する部分)の形態で分類できる.共通部分が点になる場合(瞬間的な関係)は9通り,道になる場合(期間的な関係)は16通りある(図1,2参照).また,共通部分がない,つまり非同期も一つの関係と考え,全順序時間を使った関係は全部で26通りあるとした.ここでは,この“包括的な時間関係”を省略して CCTR (Comprehensive Classification of Temporal Relationships)と呼ぶ.

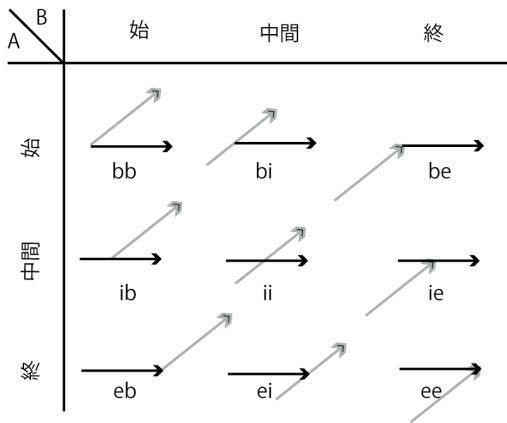


図1 瞬間的な時間関係

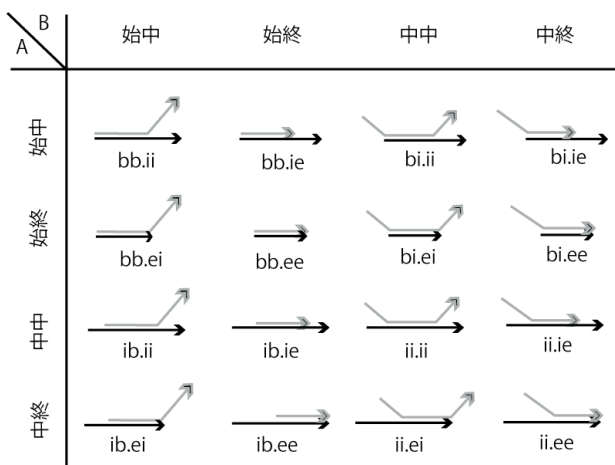


図2 期間どうしの時間関係

の現象の情報システム中の表現をオブジェクトと呼び[4],その区別は識別子で行うとした.彼らは,型とインスタンスの区別はしていないが,ここでは,オブジェクト指向モデリングにおける定義にならい,このオブジェクトはインスタンスであると考え.さて, Hornsbyらは,オブジェクトの識別子は永続性をもつものの,その状態は,非存在から存在,そして存在から非存在に変化するとした.これは,実体が生起消滅するとき,オブジェクトに非存在及び存在ラベルをつけることができるという意味と解釈できる.その結果,オブジェクトは, a)存在するオブジェクト, b)記録のない非存在のオブジェクト, c)記録のある非存在のオブジェクト,の3種類に分類できることになり,変化は,この3種類のオブジェクトの識別子の状態の先後関係で示せるとした.例えば,状態の変化 a→c は,実世界で存在していた実体が,存在の記録は残っているものの,非存在になった,という変化を示す.ただし,1つの実体を示すオブジェクト同士に非線形(分岐など)が発生することはない.このようなオブジェクトの時間遷移(transition)は,3種類のオブジェクトの二項関係として9通りあるとされる(図3).

	b	a	c
b	b → b (a)	b → a (b)	b → c (c)
a	a → b (d)	a → a (e)	a → c (f)
c	c → b (g)	c → a (h)	c → c (i)

- a: existing,
- b: non-existing without history,
- c: non-existing with history
- (a) continue non-existing without history
- (b) create
- (c) recall
- (d) destroy
- (e) continue existing
- (f) eliminate
- (g) forget
- (h) reincarnate
- (i) continue non-existing with history

図3 存在,非存在の遷移

3. Change Description Language (CDL)

Hornsbyらは,物理的な実体として存在する実世界

ところで、彼らは $b \rightarrow a$, つまりオブジェクトの生起は最初の 1 回しか起きないとした。また、オブジェクトの状態変化が他のオブジェクトの状態変化に影響を与えることは認めた。その影響の可能性は9通りの変化同士の二項関係、つまり 81 通りが可能であるが、実際には非現実的なケースが多く含まれており、彼らはその中から 18 通りの関係が実現可能とした(図 4)。Hornsby らはこれらの変化及び関係の視覚表現を行うグラフィック言語を **Change Description Language (CDL)**と命名した。なお、図3及び図4は、オリジナルの CDL の表現を簡略化した表記法を使っている。

		B					
A		a → c	a → b	c → a	c → b	b → a	b → c
a → a		$\begin{matrix} a \rightarrow c \\ a \rightarrow a \end{matrix}$	$\begin{matrix} a \rightarrow b \\ a \rightarrow a \end{matrix}$	$\begin{matrix} c \rightarrow a \\ a \rightarrow a \end{matrix}$	$\begin{matrix} c \rightarrow b \\ a \rightarrow a \end{matrix}$	$\begin{matrix} b \rightarrow a \\ a \rightarrow a \end{matrix}$	$\begin{matrix} b \rightarrow c \\ a \rightarrow a \end{matrix}$
a → c		$\begin{matrix} a \rightarrow c \\ a \rightarrow c \end{matrix}$	$\begin{matrix} a \rightarrow b \\ a \rightarrow c \end{matrix}$	$\begin{matrix} c \rightarrow a \\ a \rightarrow c \end{matrix}$	$\begin{matrix} c \rightarrow b \\ a \rightarrow c \end{matrix}$	$\begin{matrix} b \rightarrow a \\ a \rightarrow c \end{matrix}$	$\begin{matrix} b \rightarrow c \\ a \rightarrow c \end{matrix}$
a → b		$\begin{matrix} a \rightarrow c \\ a \rightarrow b \end{matrix}$	$\begin{matrix} a \rightarrow b \\ a \rightarrow b \end{matrix}$	$\begin{matrix} c \rightarrow a \\ a \rightarrow b \end{matrix}$	$\begin{matrix} c \rightarrow b \\ a \rightarrow b \end{matrix}$	$\begin{matrix} b \rightarrow a \\ a \rightarrow b \end{matrix}$	$\begin{matrix} b \rightarrow c \\ a \rightarrow b \end{matrix}$

図 4 可能な cross-object transitions

4. CDL の問題

4.1. 非存在で記録のないオブジェクト

CDL では、非存在で記録のないオブジェクトを認めている。しかし、実世界に存在せず、また、記録もない実体のオブジェクトがあるというのは不自然である。しかも、そのようなオブジェクト同士が先後の関係をもつためには、固有の識別子を与えなければいけないが、非存在で記録がない限り、オブジェクトに識別子を与えることはできない。

ところで CCTR では、非存在を示すオブジェクトを仮定する必要はない。全順序時間のスタートの時点が生起を示し、最後の時点が現存、または消滅を示すからである。また、実体の実世界で非存在であっても、存在、非存在を属性とすれば、記録としてのオブジェクトをデータベース中におくことはできる。

4.2. 同じ状態への遷移

Hornsby らが示した9つの変化は、任意の時点における時間断面を挟んだ先と後の状態同士の関係を示すものである。そのため CDL では、オブジェクトが同じ状態に遷移する可能性があるとしているが、現実

は同じ状態を“持続する”ことはあっても、同じ状態に“遷移する”ことはない。

しかし全順序時間に、実体の存在を示す属性を付加すれば、その変化をより詳細に記述できる。図 5 に、太田による全順序時間表記の方法を利用して、Hornsby らの変化を表現する。この図において、状態の持続は全順序時間を構成する時間エッジの属性になり、変化は時間ノードの属性になる。

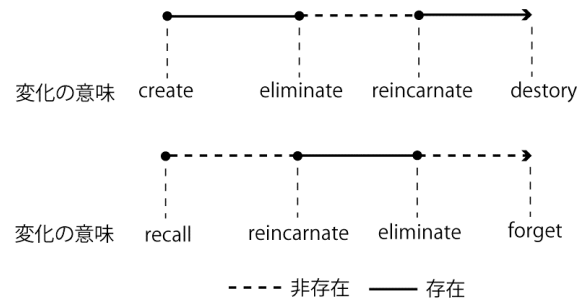


図 5 Hornsby ら (2000) によるオブジェクトの変化 (continue non-existing without history は除く)

4.3. オブジェクト間遷移 (Cross-object transition)

Hornsby らによれば、オブジェクトの存在が持続している間、もしくは変化するとき別のオブジェクトにも変化が起きることを、**cross-object transition** という。図 4 には、別のオブジェクトに変化を起こす現象として、existing ($a \rightarrow a$), destroy ($a \rightarrow c$), 及び eliminate ($a \rightarrow b$) が挙げられている。また、誘発される変化として、destroy ($a \rightarrow c$), eliminate ($a \rightarrow b$), reincarnate ($c \rightarrow a$), forget ($c \rightarrow b$), create ($b \rightarrow a$), recall ($b \rightarrow c$) が挙げられている。そこで、存在属性を含む全順序時間を使い(図 5 参照)、CCTRを利用してこれらの遷移を表現

		B					
A		eliminate	destory	reincarnate	forget	create	recall
existing		$\begin{matrix} \nearrow \\ ii \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ ie \end{matrix}$	$\begin{matrix} \nearrow \\ ii \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ie \end{matrix}$	$\begin{matrix} \nearrow \\ ib \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ib \end{matrix}$
eliminate		$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ii \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ie \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ii \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ie \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ib \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ ib \end{matrix}$
destory		$\begin{matrix} \rightarrow \\ ei \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ ee \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ ei \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ ee \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ eb \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ eb \end{matrix}$
create		$\begin{matrix} \nearrow \\ bi \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ be \end{matrix}$	$\begin{matrix} \nearrow \\ bi \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ be \end{matrix}$	$\begin{matrix} \rightarrow \\ bb \end{matrix}$	$\begin{matrix} \dashrightarrow \\ bb \end{matrix}$

図 6 Cross-object transition の CCTR による表現

すると、図 6 の一行目から三行目のようになる。個々に挙げられたオブジェクト間の関係は CCTR では6種類 (ib, ii, ie, eb, ei, ee) に分類できるが、bb, bi, be は含まれていない。この点について、Hornsby らは以下のように述べている。"These combinations involve contradictory semantics and do not seem to make cognitive sense for most geographic phenomena of which we are aware." つまり、オブジェクトがその生起の時点で別のオブジェクトに影響するという事は、考えられないと主張している。しかし、例えば新たなショッピングセンターができたことが原因で、従来の商店街が衰退する、というように、何かの誕生が別の実体に影響を与えることはある。また、同じ日に複数の畑にまいた種が、同時に芽吹くというように、関連する現象が同時に複数、起きることもある。このような見方が許されるとすれば、create も原因の側におくことができ(図 6 の四行目)、CCTR の瞬間での時間関係が網羅されることになる。

5. 結論

本稿では Hornsby らの論文を検討し、CCTR との比較を試み、存在・非存在の属性を全順序時間の時間エッジに与えるという拡張を施すことによって、CDL が示す変化を CCTR で記述可能であることを示した。

Hornsby らは、識別子の3種類の状態変化を伴うオブジェクトの変化、及びそれらの変化が他のオブジェクトに影響を与える場合の可能性を網羅しようとした。非存在となってしまった実体を記録するオブジェクトを設けることによって、一つの実体の時間的な変化を9通りに分類し、とりわけ *reincarnation* を定義したことは、彼らの功績と考えられる。一方 CCTR は、異なる実体同士の時間関係を記述することが目的であり、実体自身の存在・非存在については、十分な記述を行っていない。しかし、CDL における、非存在かつ記録なしのオブジェクトは不自然である。実世界で見えるか見えないか、もしくは存在を認めるか否か、はオブジェクトの属性の一部とすべきであり、識別子の状態と考えるべきではない。しかも、実体の写像としてのオブジェクトは、空間属性(幾何と位相)や主題属性など、さらに多くの属性をもつはずである。実世界であれ、仮想世界であれ、存在する実体の変化をオブジェクトがもつ属性の変化として記述する限り、

CDL が示した変化は、存在・非存在という属性に限った変化の記述であり、二人の人がレストランで会食した、というような、存在するもの同士の時間関係などは、CDL の範囲外である。この点については、かれらも、Further extensions to the language are necessary in order to describe operations of splitting or joining objects.と述べている。しかし、実世界における存在・非存在は基本的な属性であり、これを重視することは、もったもなことであろう。

地理的な実体同士の時間関係分類については、他にもさまざまな論文が発表されているが(例えば[2])、今後はそれらの検討を通じて、さらに CCTR の強化を図りたい。

参考文献

- [1] Allen, J., Maintaining Knowledge about Temporal Intervals, Communication of the ACM, Vol. 26, pp.832-843 (1983)
- [2] Hallot, P., A Pyramidal Classification of ST Relationship Models, Proceedings of the 3th Workshop on Behaviour Monitoring and Interpretation (2009)
- [3] Hornsby, K. and Egenhofer, M., Identity-Based Change: A Foundation For Spatio-temporal Knowledge Representation, International Journal of Geographic Information Science Vol.14, No.3, pp.207-224 (2000)
- [4] Kim, W., Introduction to Object-Oriented databases, Cambridge, MA: MIT Press (1990)
- [5] Langran, G., Time in Geographic Information Systems, Taylor & Francis (1992)
- [6] Peuquet, D.J. and Duan, N., An Event-Based Spatiotemporal Data Model (ESTDM) for temporal Analysis of Geographic Data, International Journal of Geographic Information Systems, Vol. 9, No.1, pp.7-24 (1995)
- [7] 太田守重, 変化するオブジェクトの包括的な時間関係分類, 第 21 回人工知能学会全国大会論文集, 3D8-01 (2007)