

# 変化するオブジェクトの包括的な時間関係分類

## Comprehensive Classification of Temporal Relationships among Changing Objects

太田守重<sup>\*1</sup>  
Morishige Ota

<sup>\*1</sup> 国際航業株式会社  
Kokusai Kogyo Co., Ltd.

This paper aims to discuss the comprehensive classification of temporal relationships among objects. Object in this case is defined as abstraction of real world phenomena. At first, time is classified into 4 types by applying scales of measurement (nominal, ordinal, interval and ratio). Then we obtain relationships between times for each scale, and finally we point out that the spatio-temporal relationships are described more in detail as relationships with the partially ordinal scale.

### 1. はじめに

本稿では変化するオブジェクト同士の包括的な時間関係について議論する。ここでオブジェクトとは、実世界に生起消滅する現象の実体であり、個々のオブジェクトは特定の現象を示す概念のインスタンスである。例えば地理情報科学の分野では、変化するオブジェクトを扱う 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 [Langran 92][Peuquet 95]。変化するオブジェクトの時間的な性質については、2つのオブジェクトの生成前、持続、消滅後の状態同士の時間関係をデータベース中でどのように記述するか提案した例 [Hornsby 02] や、オブジェクトにおきる変化を何 (things) が変化したかというよりはどのようなことが起きたか (happenings) に注目して記録する方法の提案 [Worboys 05] などがある。これらの研究は、いずれも Allen による時間関係 [Allen 83] を基礎におくものである。しかしこれは、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説明することはできない。分離や併合は時間が無ければ起きない現象であり、時間の中にこのような現象が起きることを可能にする原因があると考えられる。そこで本稿ではまず、時間概念を、4つの尺度 (名義、順序、間隔、比率) で整理する。次にそれぞれの尺度毎に時間関係を求め、半順序時間同士の関係が、より詳細な時間関係推論を可能にすることを示す。最後に、結論としてオブジェクト同士の時空間関係は、半順序時間における関係に帰着することを述べる。

### 2. 尺度の分類

計測の尺度については、Stevens による 4つの尺度が知られている [Stevens 46]。ただしこれには様々な議論があり、今日ではより多くの尺度が提案されている [Chrisman 98]。ここではこれらの議論を踏まえつつ、時間の計測を目的として4つの尺度を以下のように再定義する。

名義尺度: 他との識別を可能とする尺度

順序尺度: 他の計測値との順序 (小と大、先と後など) 関係を示す名義尺度。ただし、計測値の任意の対をとって必ず順序が明らかになる場合は全順序、そうでない場合があるときは半順序という。計測値をノード、計測値同士の順序関係を有向エッジとすると、順序尺度によって計測された値の集合は有向グラフで表

現できる。半順序の場合は、順序関係によって結ばれた連結成分が複数できることがある。

間隔尺度: 計測値の対に距離が与えられる順序尺度。半順序であっても距離が与えられるとそれぞれの連結成分は全順序になる。

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。全ての計測値同士は全順序の関係になる。

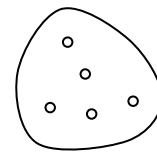
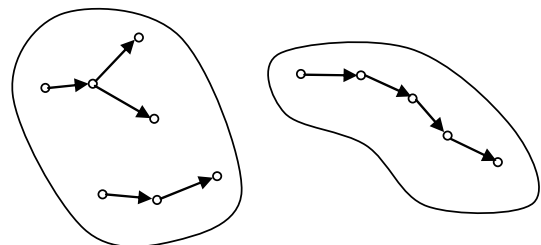


図1 名義尺度による計測値空間



半順序空間 全順序空間

図2 順序尺度による計測値空間

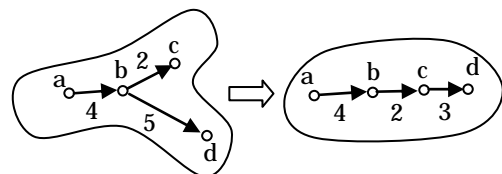


図3 間隔尺度による計測値空間

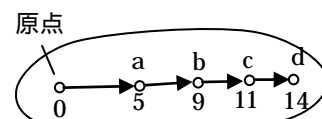


図4 比率尺度による計測値空間

連絡先: 太田守重, 国際航業株式会社, 〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1, TEL:042-307-7113, FAX:042-330-1031, E-Mail:morishige\_ota@kkc.co.jp

### 3. 時間と時間関係

ここでは、時間は一次元の空間であり、空間は相互関係が定義される要素の集合と考える。上記4つの尺度に基づいて要素(時点)同士の関係を示すとそれぞれの時間は以下のように示される。

#### 3.1 名義時間

名義尺度によって計測された時点の集合を名義時間という。名義時間同士の関係は、一般の集合同士の関係と同じであり、非同期及び同期に分類できる。

- ・ 非同期: 共通部分が空になる場合
- ・ 同期: 共通部分が空にならない場合

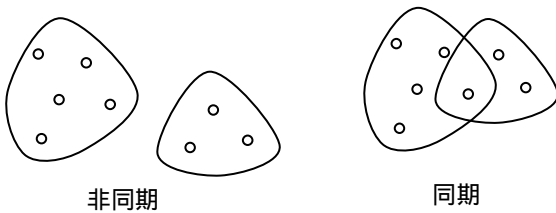


図5 名義時間における時間同士の関係(例)

#### 3.2 順序時間

順序尺度によって計測される名義時間を順序時間という。順序時間は半順序時間と全順序時間に分かれるが、全順序時間は特殊な半順序時間と考えることができる。時間の順序関係は一定の方向にしか起きないので、半順序時間は時点をノード、時点同士の順序を有向エッジとする非巡回有向グラフで表現することができる。また順序時間は名義時間なので、時間同士は非同期または同期の関係をもつ。

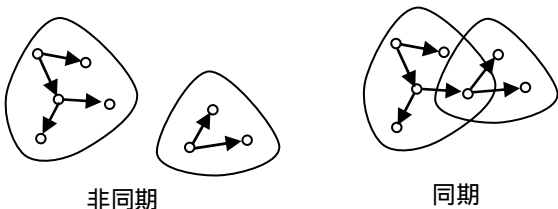


図6 順序時間における時間同士の関係(例)

#### 3.3 間隔時間

間隔尺度によって計測される順序時間を間隔時間という。間隔時間同士が同期すると、その連結成分同士は全順序の関係になり、一本の道で表現できる。

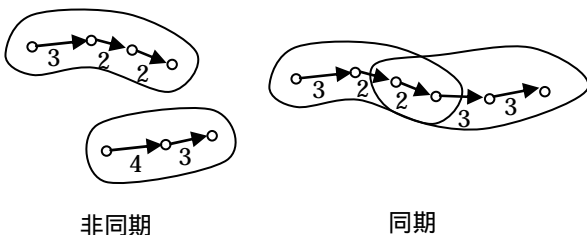


図7 間隔時間における時間同士の関係(例)

#### 3.4 比率時間

比率尺度によって計測される間隔時間を比率時間という。比率時間において時点は唯一の原点及び統一的な計量基準で距離が計られるので、時点はすべて同じ時間の要素になる。したがって時間関係は、時間同士の関係ではなく、その部分集合同士の関係となる。またそれぞれの部分集合は一本の道を構成することになる。

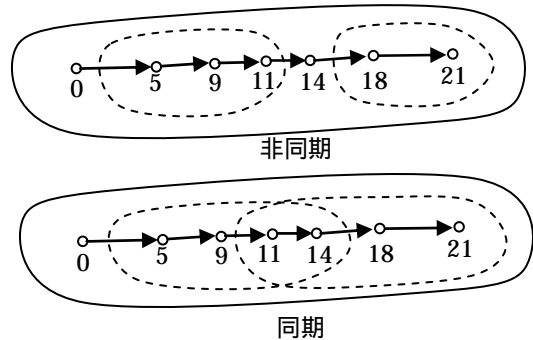


図8 比率時間における部分空間同士の関係(例)

### 4. オブジェクト同士の時間関係

オブジェクト同士の時間関係は2つのレベルで考えることができる。それはオブジェクトのレベルと属性のレベルである。例えばある建物が、火災にあって再建されたものであったとしよう。その建物は古い建物との間に時間関係があるが、これはオブジェクトのレベルでの関係である。一方、二人の人物が一緒に旅行にいったとすると、旅行の間、彼らは同じ移動軌跡を共有していたことになるが、それぞれの移動軌跡同士の関係は属性のレベルの関係といえる。いずれの場合においても、ものの時間属性は、単に時点だけが記録されるのではなく、その時点に起きたことやその地理的な場所と対になって記録される。また、その記録は時系列として記述される。ここでは、「こと」や「場所」などを「属性値」という言葉で表現する。つまり、オブジェクトまたはその属性の時間的な記録は、(属性値, いつ)の時系列になる。これは通常我々が生活している世界においては、少なくとも全順序時間が使われていることを示す。

それでは全順序時間同士の関係にはどのような種類があるであろうか。この点については、すでに述べたように非同期、同期の関係がある。以下、全順序時間及びその特殊型である間隔時間、比率時間それぞれについて、非同期及び同期の関係を考えてみよう。

#### 4.1 全順序時間による関係

全順序時間同士が共有部分をもたないとき、つまり非同期のときは、互いの関係は空である。一方、全順序時間同士が同期するときは、二つの時間 A と B の共通部分が存在することになるが、それは 1 時点になる場合と、道を形成する場合に分けることができる。前者の場合はその時点がそれぞれの始点、中間点、または終点になるので、全部で 9 通りの関係が可能である(図 10 参照)。一方、後者の場合、共通部分になる道は、始点 - 中間点, 始点 - 終点, 中間点 - 中間点, 中間点 - 終点のいずれかになるので、全部で 16 通りの関係が可能である(図 11 参照)。つまり、全順序時間同士の同期は 25 通りの関係のいずれかで表現することができる。なお、図を簡略化するために、全順序時間は、先端に矢印のついた折れ線で表現する。折れ線の頂点は時点を表す(図 9 参照)。

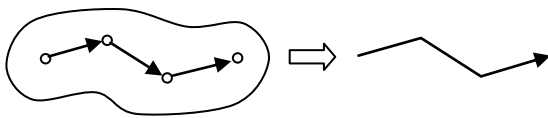


図9 単純化した全順序時間の表現

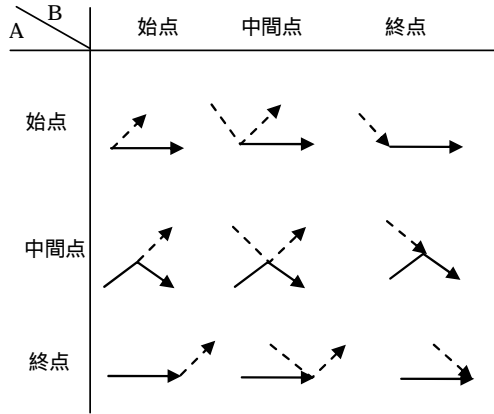


図10 共通部分が1点になる場合

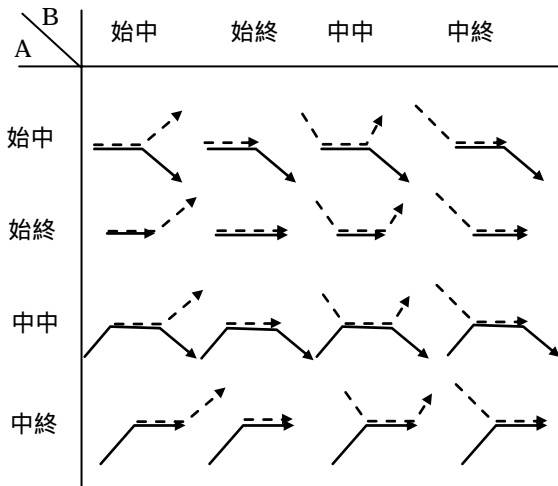


図11 共通部分が道になる場合

#### 4.2 間隔時間による関係

間隔時間が一本の道で表現できるとき、道同士が非同期であれば、互いの関係は空である。同期するときは、時間同士で時間距離の換算が可能になるので、Allen の時間関係を適用することができる。ただし、before 及び after はない。

#### 4.3 比率時間による関係

比率時間ではその部分集合としての道同士の関係を考えることになるが、非同期の場合は、before または after の関係が存在する。同期するときは、Allen の時間関係のいずれかが当てはまる。ただし before 及び after をのぞくので、同期関係の種類は 11 種類になる。以上の議論からわかることは、日常生活で我々が使用している、比率時間(例えばグレゴリオ暦 + GMT + 時差)では、Allen によって示された 13 通りの時間関係が使われるが、全順序時間同士の関係では、非同期と同期で合わせて 26 通りの関係が記述できるということである。したがって、日

常使っている時間を全順序時間に戻すことができれば、より豊富な時間関係記述が可能になるといえる。

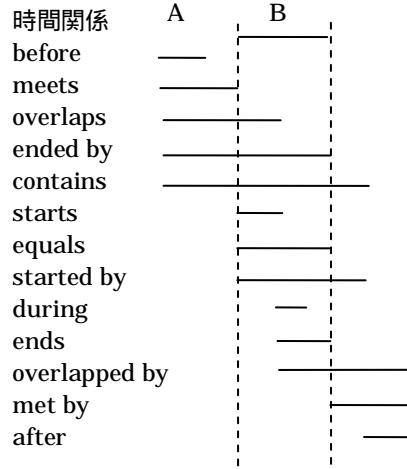


図12 Allen の時間関係

### 5. 時間の半順序化

すでに述べたが、変化は時空間(時間を次元として含む多次元空間)中でおきる現象であり、私たちはオブジェクト及びその属性値に「いつ」を対応させることによって変化を記述をしている。そこで、(属性値, いつ)を2次元空間上の点と考え、その点の列を時系列と考える。このとき点同士の距離が計量できる場合と、そうでない場合が起きるが、日常生活においては、時空間上の点どうしの距離は意味をもたない。したがって、私たちは、点は他の点と全順序の関係をもつ計測値と考えることができる。つまり、(属性値, いつ)を全順序時間中の時点とみなすことで、より豊富な時間関係推論が可能になる。

例えば、ある日の二人の人(AさんとBさん)の行動を以下のように記録されていたとする。

- ・ Aさんの行動: (外出, 11:00), (会食, 12:30), (散会, 14:00), (帰宅, 17:00)
- ・ Bさんの行動: (朝食, 10:00), (会食, 12:30), (散会, 14:00), (観劇, 16:00)

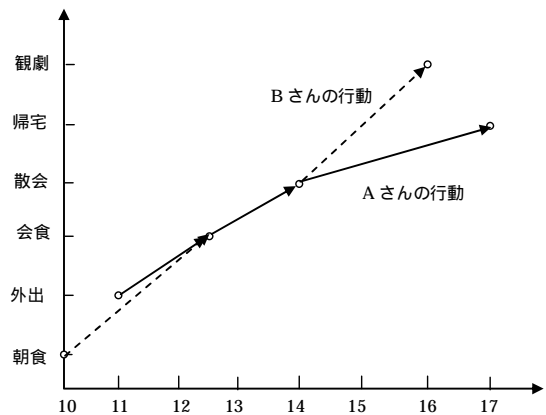


図13 ある日のAさんとBさんの行動

図13において、2本の道を時間上にマッピングすると、Allen の時間関係を適用することができ、12:30 から 14:00 の間は、二

人は equals の関係にあることがわかるが、これがなにを意味するのかはわからない。一方、道は 2 次元空間上にあり、それぞれの道は全順序時間を示すと考えると、両者の関係は図 11 における「中中 中中」になり、これは 12:30 から 14:00 まで、同じ時空間上の位置に両者がいた、つまり会っていたことが推測できることを示している。なお、図 13 の縦軸は名義尺度による空間を示しているので、目盛りに計量的な意味はないことに注意しよう。

## 6. まとめ

本稿では、大きく分けて 2 つのことを述べた。まず、半順序時間同士の関係は Allen の時間関係の内 11 種類を包含し、26 通りに分類できることを述べた。次に、オブジェクト同士の時空間関係は半順序時間同士の関係とみなすことができることを述べた。私たちが日常使っている時間においては、二つの時系列が非同期的な場合は before または after の関係を与え、同期の場合は 26 種類の関係のいずれかを与えることによって、時空間関係が推論できる。時空間という場合の空間上の位置は、例えば地球上の位置座標で示されることを想起するが、実際には空間はいろいろな尺度によって計測されるオブジェクト及びその属性の集合になる。したがって、変化を記述し、オブジェクト及びその属性同士の時間関係を推論するときは、ここで提案した方法が有効と考えられる。

## 参考文献

- [Allen 83] Allen, J.: Maintaining Knowledge about Temporal Intervals, *Communication of the ACM*, Vol. 26, pp.832-843 (1983)
- [Chrisman 98] Chrisman, N. R.: Rethinking Levels of Measurement for Cartography, *Cartography and Geographic Information Systems*. Vol. 25, No. 4, pp.231-242 (1998)
- [Hornsby 02] Hornsby, K. and Eigenhofer, M.: Identity-Based Change Operations for Composite Objects, *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Symposium for Spatial Data Handling, IGU*, pp.202-213 (2002)
- [Langran 92] Langran, G.: *Time in Geographic Information Systems*, Taylor & Francis (1992)
- [Peuquet 95] 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)
- [Stevens 46] Stevens, S. S.: On the theory of scales and measurement, *Science*, Vol. 103, pp.677-680 (1946)
- [Worboys 05] Worboys, M.: Event-Oriented Approaches to Geographic Phenomena, *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol. 19, No.1, pp.1-28 (2005)