オブジェクト間の時間関係の遷移パターン

太田守重・倉田陽平

Transition Patterns of the Temporal Relationship between Objects

Morishige OTA and Yohei KURATA

Abstract: The number of transition patterns on temporal relationships between objects existing in the real world is limited. This paper proposes the graph to show the transition patterns as the result of discussion regarding transition of two objects temporal relationships on the basis of Comprehensive Classification of Temporal Relationships (CCTR). We also discuss the number of the temporal relationships between more than two objects.

Keywords: 時間関係（temporal relationships），包括的時間関係分類（Comprehensive Classification of Temporal Relationships），遷移パターン（transition pattern）

1. はじめに

時間属性をもつオブジェクト同士の関係については，すでにAllen(1983)が同一時間の上にある2つのオブジェクト間に成立する13種類の関係を示している．しかし，太田（2007）は，時間を個々のオブジェクトの持つ順序時間ととらえ，全順序時間同士の和は半順序になる場合があることから，期間をもつ関係を16通り，瞬間的な関係を9通り，それに関係なしも関係とみなし，全部で26通りの関係があるとした(図1，2参照)．この時間関係は，太田・倉田(2010)において，CCTR (Comprehensive Classification of Temporal Relationships) と名付けられた．

本稿では，CCTRの考え方に関する若干の補足を行ったあと，二つのオブジェクト同士の時間関係の変遷パターンについて考察する．次に，2つのオブジェクト間の関係をn個に拡張した場合の関係の個数について検討する．最後に，今後の展望をまとめる．

2. CCTRに関する若干の補足

ここではまず，期間同士の関係から瞬間同士の関係が求まることを述べ，更に，CCTRはAllenの時間関係をほとんど包摂することを確認する．

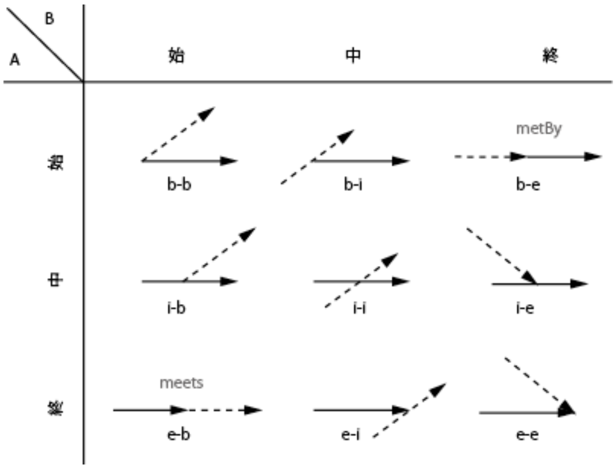

図1．瞬間的な関係

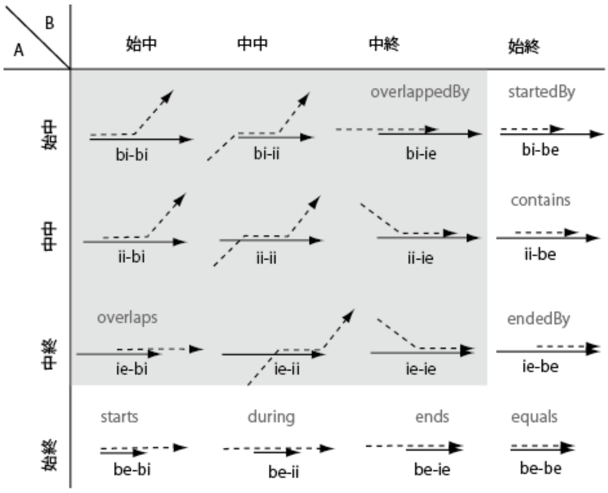

図2．期間をもつ関係

太田守重　〒102-0085　東京都千代田区六番町２
国際航業株式会社
Phone: 03-6361-2456
E-mail: morishige_ota@kk-grp.jp

次に，時間関係のグラフィックな表現をみて，期間を平面上の有向曲線と同一視すべきではない，ということを述べる．

まず図 1 と図 2 を比較しよう． 図1に示された関係は瞬間的な関係であるが，交点を，A と B が時間共有する方向に伸ばして期間に変形させると，図2のグレーでぬったエリアの中と一致することが分かる．つまり瞬間的な関係は，期間をもつ関係の一部について，時間共有期間を瞬間に縮退させることによって得られる関係といえる．次に，図2の残りの関係について，時間共有期間を瞬間に縮退させると，6 種類の線と点の関係と，一つの点と点の関係が得られる．これらは，期間と瞬間（3 種類），瞬間と期間（3 種類），そして瞬間同士の関係を網羅している．つまり，図2の時間関係から，期間同士，期間と瞬間，瞬間同士の全順序及び半順序の関係が「関係なし」を除きすべて導出できることになる．また図 1，2 の関係は，図中に示す meets，contains など，Allen の関係の内で時間共有部分をもつ関係を包摂する．ただし，順序時間は距離空間ではないので，離れている期間や瞬間同士の先と後の関係（Allen の関係における before，after）は，単に「関係なし」としか言えない．

ところで，私たちは日常使用している比率時間を順序時間として抽象化することにより，より詳細な時間関係記述を可能にしたわけであるが，一方で時間の半順序化が発生することになる．それは，期間が１次元ないし２次元空間中の，有向な曲線分と同相になることを意味するように思われるかもしれない．しかし対称律が成り立つ空間中の有向曲線同士の関係は順方向だけでなく，逆方向もありうる（Renz，2001），(Kurata，2008)．その点，時間の場合は，反対称律が成り立つので逆方向はあり得ない．図 1，2 のように，2 次元の平面上で半順序の関係を表現するのは，分かりやすさを優先してのことであるという点に留意すべきである．

3．2 つのオブジェクト間の時間関係の遷移

図 1，2 の時間関係の中には，更に時間関係が続く可能性をもつものと，そうでないものがある．例えば，b-b の関係は，オブジェクトが生存する限り，一度関係がなくなったあとで，i-i や i-e などの関係が発生する可能性をもつが，例えば b-e の関係は片方が消滅してしまうので，これ以降，関係が発生することはない．つまり，どちらか，もしくは両方が e になる関係が発生すると，それ以降の時間関係は発生しない．以上の考察から，時間関係の遷移の可能性を示すグラフを作成すると図 3,4 のようになる．

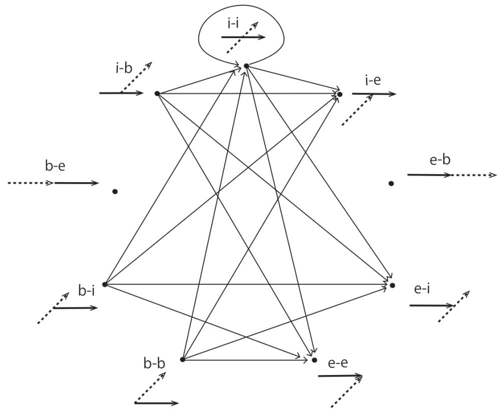

図 3. 瞬間的な関係の遷移可能性

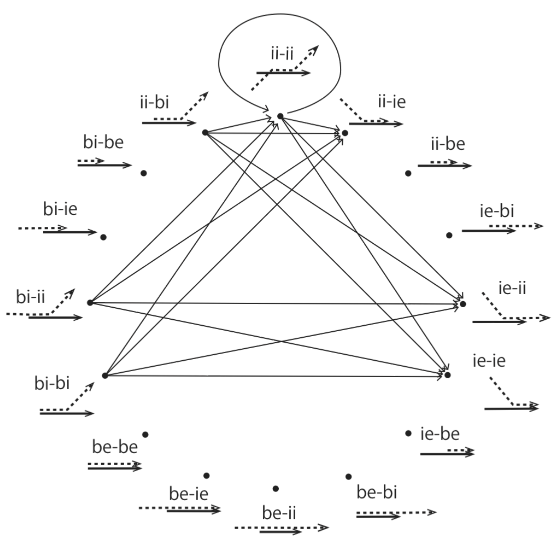

図 4. 期間的な関係の遷移可能性

瞬間的な関係は，遷移の可能性という観点から見ると，３種類に分類できる．それは，

1) 遷移不可能
2) 一回しか遷移しない場合
3) 何回でも遷移する可能性がある場合

である．1)の場合は，b-e, e-b が該当する．これらの場合は，相手が消滅してしまうので，遷移はできない．2)の場合は，例えば b-b → e-i のように，後続の関係に e が含まれる場合及び i-i で遷移が止まる場合である．そして 3)の場合は，i-i の繰り返しによって，何回でも遷移が繰り返せる場合である．このような場合は，b-b, b-i, i-b, i-i が最初の関係になり，i-i が任意の回数繰り返され，e-e, e-i, i-e, i-i のいずれかの関係で終わるという構造をもつ．つまり，1)は 2 パターン，2)

は4×4＝16パターン，3)は4×4＝16パターンに分類できる．3)は始まりの関係と終わりの関係の間に任意の数の i-i を挟んだだけなので，i-i の繰り返し数を考慮しなければ，遷移パターンの数は2)と同じになる．ここで，2)及び3)の遷移パターンを模式的に表現すると，図5の様になる．

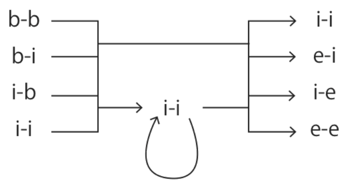

図 5. 瞬間的な関係の遷移可能性

次に，期間的な関係の遷移可能性については図4に示すが，瞬間的な遷移可能性と同様に3種類に分類でき，1)の場合は 9 パターン，2)の場合は4×4＝16パターン，3)の場合も4×4＝16パターンに分類できる．ここで期間的な関係における 2)及び 3)の遷移パターンを模式的に表現すると，図6のようになる．

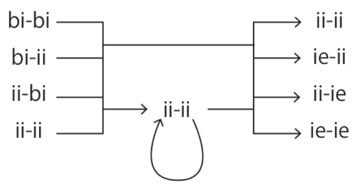

図 6. 期間的な関係の遷移可能性

ところで，実世界では瞬間的な関係と期間的な関係は混在する可能性がある．例えば「生まれたばかりの双子がすぐ生き別れ，しばらく暮らしていたが，あるきっかけがあって，一緒に住むようになり，その後再び別れた．しかし，最終的に二人は一緒に住む事になったが，しばらくして一方が先に他界した」ということがあったとすると，時間関係の変遷は，

b-b → ii-ii → ii-ie

と表現できる．このような混在ケースを考えると，上記の 2)の場合，最初が瞬間的な関係，次が期間的な関係になる場合と，逆に最初が期間的な関係，次が瞬間的な関係になる場合が追加されるので，(4+4)×(4+4)＝64 通りのパターンが考えられる．一方 3)の場合は，遷移パターンの数を限定することはできない．それは，i-i と ii-ii が混在して，それぞれが任意の数，任意の順序で出現することができるからである．しかし，その構造は図7に示す通りになる．

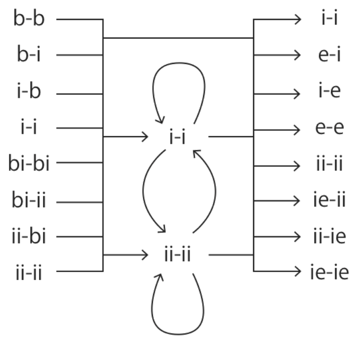

図 7. オブジェクト間の時間関係の遷移可能性

さて，幾何オブジェクト同士の位相関係を分類するために，9^+ intersection (Kurata, 2008) が提案されているが，これは，オブジェクト同士の全体的な位相関係の種類を示すためにあり，共通部分の種類（点・区間）や数を示すことは目的外である．一方で，ここで示している時間関係は時間の順に現れるので，その種類と数を示すことが可能である．言い換えれば，元素となる時間関係の列を使って，オブジェクト間の全体的な時間関係を記述することになる．

4. 3つ以上のオブジェクトの時間関係の数

2つのオブジェクトの時間関係の数は，瞬間的な関係の数が 3^2，期間の同士の関係の数が 4^2 になる．つまり 25 通り．さらに「関係なし」も関係と考えることで，全体で 26 通りになる．オブジェクトの数が3になると，

1) 関係なし
2) 3つのオブジェクトから2つをとった，2つのオブジェクト同士の瞬間的な関係
3) 3つのオブジェクトから2つをとった，2つのオブジェクト同士の期間的な関係
4) 3)で生じる期間に残りの1つが瞬間的な関係を持つ場合
5) 3つのオブジェクトの瞬間的な関係
6) 3つのオブジェクトの期間的な関係

が起きうる．1)の場合は1通りであるが，2)の場合は3つのものから2つ取る組み合わせの数に3をかけた数，3）の場合は，3つのものから2つ取る組み合わせの数に4をかけた数，4)の場合は 3)の数に3をかけた数になる．5)の場合は 3^3，6)の場合は 4^3 通りになる．すなわち3つのオブジェクトには合計で311通りの時間関係が存在する．

ところで，4)に対応する場合として，3)で生じる期間の上に，残りの1つが期間的な関係を持つ

場合があるのではないかと思われるかもしれないが，それは，6)の関係のくみあわせで表現されると考えられる．

オブジェクトの数が4になると，以下の場合が起きる．

1) 関係なし
2) 4つのオブジェクトから2つをとった，2つのオブジェクト同士の瞬間的な関係
3) 4つのオブジェクトから2つをとった，2つのオブジェクト同士の期間的な関係
4) 3)で生じる期間の上に,残り2つのうちの1つが瞬間的な関係を持つ場合
5) 3)で生じる期間の上に,残り2つが瞬間的な関係を持つ場合
6) 4つのオブジェクトから3つをとった，3つのオブジェクト同士の瞬間的な関係
7) 4つのオブジェクトから3つをとった，3つのオブジェクト同士の期間的な関係
8) 7)で生じる期間の上に,残り1つが瞬間的な関係を持つ場合
9) 4 つのオブジェクトが瞬間的な関係を持つ場合
10) 4 つのオブジェクトが期間的な関係を持つ場合

以上 10 種類の場合の数を示すと以下の様になる．

1) 1
2) ${}_4C_2 \cdot 3^2$
3) ${}_4C_2 \cdot 4^2$
4) ${}_4C_2 \cdot 4^2 \cdot {}_2C_1 \cdot 3$
5) ${}_4C_2 \cdot 4^2 \cdot {}_2C_2 \cdot 3^2$
6) ${}_4C_3 \cdot 3^3$
7) ${}_4C_3 \cdot 4^3$
8) ${}_4C_2 \cdot 4^3 \cdot {}_1C_1 \cdot 3$
9) ${}_4C_4 \cdot 3^4$
10) ${}_4C_4 \cdot 4^4$

さらにこれをn個の場合に拡張すると，結果として以下の式で，n(>2)個のオブジェクトがあった場合の，時間関係の数 TNTR (Total Number of Temporal Relationships)を表現できるであろう．

$$TNTR = 1 + \sum_{j=2}^{n} {}_nC_j (3^j + 4^j) + \sum_{j=2}^{n-1} ({}_nC_j \cdot 4^j \sum_{i=1}^{n-j} {}_{n-j}C_i \cdot 3^i)$$

例えば，3つのオブジェクト同士の時間関係の数はこの式で計算すると，311 通り，4 つの場合は3060通り,さらに5つの場合は27633通りになる．とはいえ，n が有限である限り TNTR は有限である．

5. まとめ

どのようなオブジェクトであっても，時間順序の縛りを受けている世界に存在する限り，ここで示した時間関係の遷移パターンの中でしか，出会いと別れを経験できない．従って時間関係を表現する情報に対して，CCTR 及びオブジェクト間の時間関係の遷移パターンが，一定の制約を与えることになる．

本稿では，時間関係の変遷パターンの議論については2つのオブジェクトの関係に留めている．これを3つ以上に拡張することは可能と考えられるので，今後はより一般的な遷移パターンの記述法を考えたい．

参考文献

太田守重 (2007)：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

太田守重・倉田陽平(2010)：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，地理情報システム学会研究発表大会講演論文集，19，2D-3.

Allen, J., 1983. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals, Communication of the ACM, Vol. 26, 832-843

Kurata, Y., 2008. The 9^+-Intersection: A Universal Framework for Modeling Topological Relations. Cova, T., Miller, H., Beard, K., Frank, A., and Goodchild, M. (eds.) GIScience 2008, Park City, UT, USA, September 2008, Lecture Notes in Computer Science 5266, 181-198.

Renz, J., 2001. A Spatial Odyssey of the Interval Algebra: 1. Directed Intervals. In: Nebel, B. (ed.): 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 51-56. Morgan Kaufmann