

プロセス、状態、イベントの区別から導かれる事象間の時間関係の生成

Generation of Inter-Affair Relations Based on Temporal Features of Process, State, and Event

東条 敏*
Satoshi Tojo

* 北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku, Tatsunokuchi, Ishikawa 923-12, Japan.

1994年8月17日 受理

Keywords: temporal reasoning, legal reasoning, situation theory, natural language semantics.

Summary

A legal case consists of a number of temporally entangled affairs. To formalize this temporal structure, we need to write down relations between events and states with much effort, while most of them may be useless. We propose a method to generate these temporal relations, automatically from temporal features of each affair. We first distinguish static affair, processive affair, and events that culminate to the target state. Thereafter we formalize the classification by a unique temporal ontology, that consists of several intervals and a time point, and the notion of perspective given upon the ontology. According to the perspective, that is also some temporal domain in an affair, time intervals are introduced for each affair. We give default rules for aligned sequence of affairs, to relate intervals and affairs. All these temporal relations are formalized in situation theory; a situation that is a temporal domain introduced by a preceding affair supports a culminative point of the succeeding affair. These temporal relations are represented in a formal typed language, and we give a logical model for that language in which we can evaluate truth values of supporting relations of situation theory. A Prolog program is developed to illustrate the feasibility.

1. はじめに—事象間関係の記述の問題—

法的推論においては、法律文を形式的なルールとして連鎖させるルールベースの推論と同時に、過去の判例を事例とする事例ベースの推論も重要な役割を演ずる [Branting 90, Gardner 84, McCarty 89, McCarty 90, Rissland 91]. このような事例記述においては、事件の概要を推論に必要な情報を保持したまま形式化する必要がある。とりわけ、事件を構成する個々の事象や出来事の時間関係は重要であり、その後の法的判断に重要な影響を及ぼすものである。例として、[Nitta 92] で言及された「甲女の事件」を考察する。

「甲女の事件：ある寒い冬の日、甲女は貧しさに耐えかねて幼児太郎を道に置き去りにした。乙は太郎が路

上で泣いているのを見つけ、自らの車で警察署に運ぼうとした。ところが途中事故を起こし、太郎はけがをした。乙は太郎が死亡したものと勘違いし、再び路上に置いて逃げた。太郎は凍死した。甲女と乙の刑事責任を述べよ。」

この例においては、甲女による遺棄と乙による遺棄という時間的に前後した二つの行為があること、太郎のけがは乙の誤解という仮想世界で死であるとされており、この時点では太郎は生きていること、あるいは、太郎の死は事故の後の寒さによるものであることなど、時間の前後・包含の記述に関して正確さを要求される点がいくつもある。しかしながら、このような事象間の時間関係づけは、書く人の主観に依存し、人により異なった時間関係を定義し得る。しかも、この作業は、多くの労力を要して手で関係を書き下す必要がある。

本研究の目的は、個々の事象に対して時間特性の型を定義することにより、事象の型の並び方からその間の関係を推論する枠組みを提供することである。これにより、事象間の時間関係のつけ方が主観によらない規則に定式化されると同時に、事象間の時間関係の生成を自動化することができる。

時区間による時間関係の理論は、まず[Allen 84]に代表される開始点から終了点までの区間の重なり具合の定義や、イベント間の推論で互いの開始点・終了点を定める[Kowalski 86, McDermott 82],あるいは区間だけを時間として逆にそこから瞬間(点)を定める[Shoham 88, Kamp 79]など、多くのイベント計算系が導入されている。本稿では、1個の事象が異なる時間特性を持った一連の区間と点から構成されるものとし、この区間と点の形態から事象の時間特性の型を定義する(2章)。次に事象の並びに対して型に基づいたデフォルトの関係づけ規則を導入する(3章)。次に、区間を状況理論[Barwise 89, Devlin 91]の状況と捉え、関係づけに関する理論的基盤を与えたいうで事象列に対する文法として形式化を行う(4章)。最後に、実験システムについて触れ(5章)、その後研究成果と今後の展望について考察を行う(6章)。

2. 事象の時間特性

2.1 事象の分類

事象が持つさまざまな時間特性の問題は、それらの事象を記述する動詞のアスペクト的観点による分類(aspectual classes of verbs)の問題と関連して提起されてきた。この動詞分類については Vendler ([Dowty 79], p.54)が有名である。Vendler は動詞の時間特性を、States/Achievements/Accomplishments/Activities のように分類した。State は静的な状態、Achievement は瞬時に起こりその状態が保持されるもの、Accomplishment は一定幅の動作を得て達成されるもの、Activity は動的な活動である。このような分類は主観により異なることもあり得るため、分類の判断基準を設けるさまざまなテストが考察されてきた([Dowty 79], p.60)。しかしながらこの Vendler の提案においても、時間特性を論ずる際にはその動詞がどのような文脈でどのような使われ方をされているかが問題となっている。したがって本稿でも、表層の動詞に時間特性が付随するのではなく、事象そのものの時間特性の分類を考察する。

*1 言語学者によっては Target と Holding という用語の使い分けは重要な問題となり得るが、この問題は本稿では触れない。

Achievement や Accomplishment のように動作の終りが明確に定義できるような相は telic, そうでないものは atelic と呼ばれる[Comrie 76]。[Parsons 90]はこの区別(telic/atelic)を含めて、近年の事象分類の研究についてのサーベイを行っている。まず[Allen 84]では、Processes/Events/Properties の3種類を区別している。また、[McDermott 82]においては、Fact type/Event type の区分を行っている。これらをより総合的にまとめたものが[Binnick 91]で、まず States/Non-states の区別を行い、Non-states のものに対して telic であるか atelic であるかを区別する。次に、telic であるものについて、それが時間的な経過ののちに起こるか瞬時に起こるかについて development/punctual occurrence の区別を与える。Binnick では触れていないが、ある事象の達成状態が維持されるかどうか、すなわち達成された状態がある時間区間を伴うか、すぐもとの状態に復帰するかについても同様に durative/punctual の区別が考えられる。

本稿においては、まず状態型(stative)と動的变化のある型(active)を区別する。次に、動的变化のある型を、telic と atelic に分類し、前者をイベント型(eventual)と呼び、後者をプロセス型(processive)と呼ぶ。本稿の目的は事象間の関係の推論であるため、イベント型の事象が瞬時に起こったものであるか、時間の長さをかけて起こったものであるかは他の事象との関係で問題にならない。しかし、先行するイベントがその達成状態を維持するかどうかは後続のイベントとの関係に影響を及ぼす。このため、イベント型は達成状態を維持するものとそうでないものとを区別し、前者をイベントⅠ型、後者をイベントⅡ型と呼ぶことにする。これらすべてを含めて、最も一般的なカテゴリを事象(affair)と呼ぶことにする。

2.2 事象オントロジーの導入

事象の持つ時間特性を定義するために、[Parsons 90]は以下の区間を導入した。

- **IP 区間(In-Progress state)** : IP 区間は、行為の開始より終点までを指す。この区間は development portion と呼ばれる。
- **C 点(Time of Culmination)** : C 点は行為が達成された瞬間である。すなわち、IP 区間の終点と一致する。
- **HL 区間(Holding (Target) state)** : HL 区間は、行為の達成後、その状態が維持される区間である。すなわち、C 点から、行為前のもとの状態に戻るまでの区間を指す*1。

- **Res 区間(Resultant state)** : C 点後の状態すべてを指し、到達状態がもとに復帰したかどうかを問題としない。HL 区間がある場合それと重複する。完了相に相当する。

一般に任意の事象は、IP 区間から始まり、C 点で終点を迎え、その後、HL 区間が続く。同様な考え方は、[Moens 88]によって「核(nucleus)」という概念として導入されている。また IP 区間の始点を s (starting point), C 点を f (finishing point), HL 区間の終点を r (recovering point)として $\langle s, f, r \rangle$ の三つ組で同様な時間特性を表示する郡司の方法も提案されている [Gunji 92]。本稿では Parsons に従い、この一連の区間構成が、任意の事象に内在する時間の実体であると考え、**事象オントロジー**と呼ぶ。

2.3 パースペクティブによる時間特性

本稿では、プロセスや状態、イベントなど事象のさまざまな時間特性は、唯一の時間オントロジーに対し、異なる見方、すなわちパースペクティブを与えたものと考え、パースペクティブはやはりある時間領域であると考え、事象分類は以下のように考えることができる。

事象の型	パースペクティブの位置
プロセス型	IP 区間の内部
状態型	HL 区間の内部
イベント型	C 点を含む任意の区間

このようすは、図1のようになる。図中点線で囲んだ領域がパースペクティブである*2。

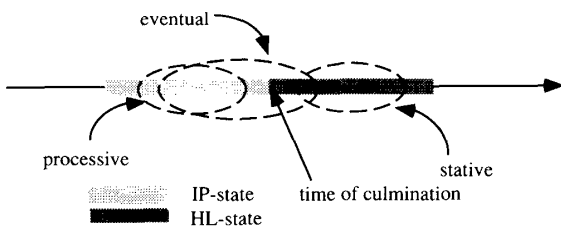


図1 事象オントロジーとパースペクティブ

*2 [Gunji 92]で用いられた「視野」という用語は本稿のパースペクティブではなく、IP/HL 区間などの内部に相当する。また、[Katagiri 89, Katagiri 90]の'perspective'が空間的位置関係を述べているのに対して、本稿でのパースペクティブは時間的に関心のある領域を指す。

*3 インフォンは通常このほかに極性 $p(=1/0)$ を設けてインフォンの肯定または否定を示すが、本稿ではこれが1である限り記載を省略する。

3. 時間の状況理論的解釈

本稿においては状況理論 [Barwise 89, Devlin 91] を用いて定式化を行う。状況理論を用いる理由は、他の状況依存性に関する理論である可能世界意味論 [Dowty 81], メンタルスペース [Fauconnier 84], DRT [Kamp 81] に比べて数学的基盤が充実しており [Aczel 90], かつ記法に富むからである。時間情報の解析に関する状況理論的形式化では、知識表現言語 *QUIXOTE* を用いた例がある [Tojo 92]。また、法的推論においても、時間情報の解析以外に、判例や法の適用範囲などを状況として捉え、状況に基づく推論をやはり *QUIXOTE* によって実装した例がある [東条 95]。

(1) 状況理論の一般概念

状況理論で扱う情報の単位はインフォンと呼ばれ、 $\langle rel, a_1, a_2, \dots, a_n \rangle$ の形式を持つ。ここで、'rel' (relation: 関係) は述語論理の述語に相当し、 a_1, a_2, \dots, a_n はその関係で結ばれる個体概念である*3。これら個体概念はパラメータとして一般化されていることもある。このインフォンが成立するかどうかは、状況に依存して決定される。ある状況 s でインフォン σ が成立するとき、 s は σ をサポートしているといい、' $s \models \sigma$ ' と書く。

(2) 状況 vs. 時空間

状況の概念は、物理的世界の一部であるという見方、知識や信念その他の仮想世界、文脈などあらゆる解釈が可能な抽象的概念であるが、とりわけ問題になるのが、時空間 (spatio-temporal location) との差別化である。状況理論の初期版 [Barwise 83] より両者は区別されて導入され、以後も時空間は個体同様インフォンのなかの一アージュメントとして記述される場合が通常であるが、本稿においては状況を用いることの記述力を生かすため、状況はある連続した時間領域であるという立場をとる。ただしこの立場は、二つ分けてあった状況の概念と時空間の概念を同一視することから、次に述べるサポート関係の解釈をめぐって若干の分類を生ずるため、定義の修正を行う必要がある。このことを次に述べる。

(3) サポート関係

状況は、インフォンの集合でモデル化される。インフォンに用いられる関係 'rel' は当該状況において持続的に保持される状態 (state) であることが前提となる。したがって本稿における状態型事象のものはインフォンとして問題ないが、イベント型事象のように点的に起こり「変化」を表すものをインフォンとすると、

時間領域を状況とするととき次のような問題を生じる。

まず、インフォンの成り立っている時間領域を $[\sigma]$ と書くことにする。このときある時区間 l の間じゅうにおいて σ が成立しているならば、 σ は区間 l を完全に包み込む関係

$$l \subset [\sigma] \quad (1)$$

にあると考えるべきである。本稿のように時区間をそのまま状況と見ると、

$$l \vdash \sigma \quad (2)$$

というサポート関係の意味は、式(1)であると考えられる。ところが[Cooper 86]が指摘したように、あるインフォンの時間軸上瞬時に起こるイベントである場合、 $[\sigma]$ は長さゼロの区間であり、必然的にある時間幅を持った l に対して、

$$l \supset [\sigma] \quad (3)$$

となる*4。さて、ここで述べたように、インフォンとしてさまざまな時間的性質のものを許すとなると、時間領域を状況とするときのサポート関係の解釈(2)が(1)であるか(3)であるかという曖昧性を生じることになる。この問題に対して本稿では、次のように改良を行う。

まず本稿では、各事象の時間的長さというものが時間領域として与えられた状況とどちら向きの包含関係にあるかはサポート関係の定義とはしない。代わって、時点と時区間との包含関係を問題にする。2・2節で与えた事象オントロジーの枠組みにおいては、時点として定義できるのはイベント型事象のC点のみである。したがって、まずサポート関係の右辺にくるのはイベント型の事象に限られることとし、あるイベント σ に対して、そのC点が状況 s に相当する時間領域に含まれるとき、そのときに限り、 $s \vdash \sigma$ *5 とする。この定義は、後の4・4節でモデル論により改めて形式的に述べる。

4. 処理過程

前章までに、事象の時制の性質と分類について基礎的な理論をまとめてきた。この章では、事象間の関係を生成する処理の流れについて説明する。処理例については、1章に述べた「甲女の事件」をとる。

4・1 初期入力

初期入力には時間特性のカテゴリをつけられた事象の列 (coa : course of affairs)*6 である。時間特性のカテゴリとは P_r, S_t, E_1, E_2 であり、それぞれプロセス型、状態型、イベントI型、イベントII型を指す。以下に例を示す。

$$\begin{aligned} coa_1 = \{ & \langle \text{貧しい, 甲女} \rangle : S_t ; \\ & \langle \text{遺棄する, 甲女, 太郎} \rangle : E_1 ; \\ & \langle \text{見つける, 乙, 太郎} \rangle : E_1 ; \\ & \langle \text{拾う, 乙, 太郎} \rangle : E_1 ; \\ & \langle \text{運転する, 乙, 太郎, 警察署} \rangle : P_r ; \\ & \langle \text{事故を起こす, 乙} \rangle : E_1 ; \\ & \langle \text{勘違いする, 乙, 《死ぬ1, 太郎} \rangle : E_1 \rangle : \\ & E_1 ; \\ & \langle \text{生きている, 太郎} \rangle : S_r ; \\ & \langle \text{放置する, 乙, 太郎, 路上} \rangle : E_1 ; \\ & \langle \text{目撃する, 丙, 《放置する, 乙, 太郎,} \\ & \text{路上} \rangle : P_r \rangle : E_2 ; \\ & \langle \text{死ぬ2, 太郎} \rangle : E_1 \} \end{aligned}$$

ここで $\{ \dots ; \sigma_1 ; \sigma_2 ; \dots \}$ は、事象 $\dots, \sigma_1, \sigma_2, \dots$ の順序づけられた列であるとする。

インフォンのなかに埋め込まれたインフォンは、前処理において列構造に展開される。

$$\sigma_1 = \langle \dots, \sigma_2 : T_2 \rangle : T_1$$

↓

$$coa_i = \{ \sigma_1 : T_1 ; \sigma_2 : T_2 \}$$

この局所的な coa_i ($i=2, 3, \dots$) は、もとの coa_1 とは独立にこのなかで事象間関係をつけ、埋め込まれていったほうのインフォンは外側の coa_1 のインフォンと関係を持たない*7。

4・2 状況の導入

パースペクティブにより、図1で見るとおり、各型の事象は以下の時間領域を導入することができる*8。

$$P_r \Rightarrow \text{IP 区間}$$

$$S_t \Rightarrow \text{HL 区間}$$

$$E_1 \Rightarrow \text{IP 区間, C点, HL 区間}$$

$$E_2 \Rightarrow \text{IP 区間, C点, Res 区間}$$

*4 この問題は、事象の時間領域 $[\sigma]$ が成り立つ幅 l を狭めたとき、あるいは広げたときに支持関係を維持するかどうかについて、時間的に 'well/ill-founded' な性質として一般化される[Cooper 86]。また、イベントの時間的性質の区間による保存性は、[Shoham 88]によって上方・下方遺伝性 (upward/downward hereditary) として定式化されている。

*5 状況理論本来のサポート関係と区別するため添字 l をつける。

*6 状況理論における 'coe' (course of events: 時空間を与えて状況を決定する概念) とは無関係である。

*7 ただし、 coa_1 では《放置する》は《目撃する》のなかに埋め込まれたインフォンであるが、同一の事象が外側にも存在するため、 coa_1 のなかでの関係も持つ。

*8 イベントI型は Res 区間にも言及できるが、この型の場合、Res 区間は HL 区間と重なるために、HL 区間で当該時間を言及することにする。

ここで P_r, S_i は、2・3 節の説明のとおりそれぞれ IP 区間と HL 区間の内部にパースペクティブを与えたものであるから、それらの時間領域を導入する。 E_1, E_2 は、2・3 節どおり C 点の周りにパースペクティブを与えたものであるが、そのパースペクティブのなかには必然的に IP 区間や HL 区間 (E_2 の場合は Res 区間) も含まれる。したがって時間領域としては、これら C 点回りの時間も導入できるものとする。

図 1 に示したとおり、パースペクティブは、事象オントロジーを与えて事象のカテゴリを得る関数と考えられる。このパースペクティブをさらに細分化して、一つの事象オントロジーのどの部分に言及するかについて定めたパースペクティブ関数を定義する。各事象 σ にはそれに相当する事象オントロジー(型 n)があるとし、これにパースペクティブ関数を適用することによって各事象は状況(型 s)あるいは時点(型 p)を導入するものとする。ここで、各区間の時間特性はパースペクティブ関数の型定義において s のなかに反映されるようにしたい。このため、型 s は内包的な型[Milner 78]であるとし、この内部属性としてパースペクティブを当てた区間名を「 $[]$ 」をつけて付記する。このようなパースペクティブ関数として、以下のものを用意する。

$$\begin{aligned} \lambda x.IP(x) &: n \rightarrow s[ip] \\ \lambda x.C(x) &: n \rightarrow p \\ \lambda x.HL(x) &: n \rightarrow s[hl] \\ \lambda x.Res(x) &: n \rightarrow s[res] \end{aligned}$$

4・3 事象間関係を生成するデフォルト規則

事象間関係をつけるのは以下に述べるデフォルトの規則である。これは、一列に並べられた ' coa ' のなかで、先行する事象とその後に続く事象のそれぞれの時間特性の型からその間の関係を仮定するものである。

(1) プロセス型とイベント型の並び

プロセス型は依然完了しない事象である。事象を完了しない形で導入しておいて、それに引き続くイベントが後続してある場合、そのイベントは先行するプロセス中に達成されるものと考えられる。

【デフォルト規則 1】 coa 中、 $\{\sigma_1; \sigma_2\}$ の事象列に対して、 $\sigma_1: P_r$ かつ $\sigma_2: E$ のとき、 $IP(\sigma_1) \ni C(\sigma_2)$ と仮定する。□

プロセス型の導入する状況は一樣に IP 区間のなかなので、以上のように仮定する。ところで、プロセス

の IP 区間の両端は開いているので、さらに多くの後に続くイベントの C 点を含むことも考えられる。しかし、実際の事件記述を観察するとプロセスの IP 区間の幅は後に続くイベントのみを含むようにするほうがデフォルトとして妥当性が高い。したがってここでは、プロセスに続く一つのイベントのみに対し規則 1 は成り立つものとする。甲女の事件中、「事故を起こす」という情報は乙が車で子供を警察署に運ぶ最中に起きた。すなわち「警察署まで車を運転する」という事象は達成されていないプロセスである。

(2) 状態型とイベント型の並び

静的な状態とは、その状態が維持されたまま変化しないということである。したがって状態型の事象は時に変化を陽に述べる事象がない限り、一貫して成立し続けるものとする。

【デフォルト規則 2】 coa 中、 $\{\sigma_1; \Gamma\}$ または $\{\Delta; \sigma_1\}$ (ただし、 Γ および Δ は、それぞれ σ_1 に後続するイベント群および先行するイベント群)で $\sigma_1: S_i$ のとき、 $HL(\sigma_1) \ni C(e)$ ($e \in \Gamma, \Delta$)。□

状態型の HL 区間に対する解釈は、プロセス型の IP 区間に対する解釈と異なり、もっと幅広いものであると考えられる。通常状態型の記述は、その事件を通して変わらないものであるため、ここではまずデフォルトとして状態型の HL 区間は全 ' coa ' に及ぶほうがデフォルトであると仮定する。甲女の事件を例にとると、「甲女が貧しい」という情報はこの事件を通じて一貫して変わらない情報である。したがって一般に状態型の事象は事件中すべてのイベントの C 点を含むものとする。

(3) イベントとイベントの並び

連続して記述された複数のイベントの時間関係の解釈は、それらが保有する区間の重なり方について、先行するイベントの HL 区間のうちに後続するイベントの C 点がある場合と先行するイベントの HL 区間の終了後に後続するイベントの C 点がある場合とが考えられる*9。これに対応して本稿では次の規則をデフォルトとする。

1. 先行するイベントが HL 区間を保持する場合(イベント I 型の場合)、後続するイベントの C 点はそのなかにある。
2. 先行するイベントが HL 区間を保持しない場合(イベント II 型の場合)、後続するイベントの C 点は HL 区間の後、Res 区間中にくる。

以上の立場をルールとして以下のように表す。

【デフォルト規則 3】 coa 中、 $\{\sigma_1; \sigma_2\}$ において、 $\sigma_1: E_1, \sigma_2: E_i$ ($i=1, 2$) のとき、 $HL(\sigma_1) \ni C(\sigma_2)$ と仮

*9 ここではデフォルト規則を単純化するため、先行するイベントの HL 区間と後続するイベントの IP 区間の関係は分類しない。

定する。□

例えば「甲女の事件」では、「子供を捨てる」という行為はそれが達成された状態のなかで次の「発見する」という行為が起こる。

【デフォルト規則4】 coa 中, $\{\sigma_1; \sigma_2\}$ において, $\sigma_1: E_2, \sigma_2: E_i$ ($i=1, 2$) のとき, $Res(\sigma_1) \ni C(\sigma_2)$ と仮定する。□

例えば「甲女の事件」では、「目撃する」のあと「目撃」がもはや行われていない状態で太郎の死が起こる。

以上のデフォルト規則では, すべて先行する事象の導入した時区間に後続するイベントC点が包含されるという形で定式化される。

4.4 事象間関係のシンタックスとセマンティクス

(1) シンタックス

本稿での考え方は, おのおの時間特性を持った事象を隣接させることで, 事象間関係というさらに大きな構造をボトムアップに作るということである。したがって事象の型の並びを反映するように形式言語を導入する。ここで, s, p, n, t をそれぞれ状況(時間領域), 時点, 事象オントロジー, および事象間関係の型であるとする, 事象間関係は形式的な述語を用いて以下のように記述できる。

プロセス型とイベント型の並び

$$\Rightarrow \lambda xy. while_1(x, y) : s[ip] \rightarrow p \rightarrow t$$

状態型とイベント型の並び

$$\Rightarrow \lambda xy. while_2(x, y) : s[hl] \rightarrow p \rightarrow t$$

イベントI型とイベント型の並び

$$\Rightarrow \lambda xy. after_1(x, y) : s[hl] \rightarrow p \rightarrow t$$

イベントII型とイベント型の並び

$$\Rightarrow \lambda xy. after_2(x, y) : s[res] \rightarrow p \rightarrow t$$

おのおのについては次のように意味を与えることができる。

1. プロセス型の事象が進行中 ($while_1$) に, イベント型が達成される。
2. 状態型の事象が達成されている最中 ($while_2$) に, イベント型が達成される。
3. イベント型の事象が達成された後 ($after_1$) に, その達成状態を維持したまま後のイベント型が達成される(これは, 達成状態中という意味で $while_2$ と同じ意味を持つ)。
4. イベント型の事象が達成され, その達成状態がもとの状態に復帰した後 ($after_2$) にイベント型が達成される(これは, Res 区間中という意味で, $while$ を述語名に使うことも可能である)。

以上の四つの複文構造は前節までに導入したデフォル

$$\frac{\nu_1 : n \quad \lambda \nu. IP(\nu) : n \rightarrow s[ip] \quad \frac{IP(\nu_1) : s[ip] \quad \lambda xy. while_1(x, y) : s[ip] \rightarrow p \rightarrow t \quad \nu_2 : n \quad \lambda \nu. C(\nu) : n \rightarrow p}{\lambda y. while_1(IP(\nu_1), y) : p \rightarrow t} \quad C(\nu_2) : p}{while_1(IP(\nu_1), C(\nu_2)) : t}$$

図2 プロセス-イベント列からの文生成

トの推論規則にそのまま対応する。

以上のように, 形式言語上の四つの文型はすべて同じ型を持つ。さらに‘after’もある区間による‘while’の関係とみることができる。いま便宜的に‘while_i’や‘after_i’を抽象化した述語を‘while’_iとすると, 関数‘while’は状況と事象をとって型 t になるものであり, 以下のように型 s の内部属性を捨象したラムダ式に書き直すことができる。

$$\lambda xy. while(x, y) : s \rightarrow n \rightarrow t \quad (4)$$

図2にプロセスとイベントの並びを例にとって型の組立てのようすを示す。

(2) セマンティクス

状況にサポートされたインフォンの意味はモデル論的に以下のように解釈される。本稿が時間推論を行ううえでモデルとするのは物理的な時間である。すなわち, 一般のモデル論が個体の集合をもってモデルのユニバース(universe)とするように, 本稿では, 時点の集合をもってモデルのユニバースとする。本稿におけるモデルは二つ組: $\langle \mathcal{U}, < \rangle$ である。 \mathcal{U} は物理時点の集合であり, \mathcal{U} の要素は‘<’によって互いに順序づけられているものとする。以上の物理時間をユニバースにとったモデルにおいて, 式(4)の‘while’のセマンティクス $\llbracket while \rrbracket$ を‘ \vdash ’で書くと, 時間のサポート関係は次のように構成される。

$$\begin{aligned} \llbracket while(I, p) \rrbracket &= \llbracket while(I) \rrbracket(\llbracket p \rrbracket) \\ &= \llbracket while \rrbracket(\llbracket I \rrbracket)(\llbracket p \rrbracket) \\ &= \vdash_i(\llbracket I \rrbracket)(\llbracket p \rrbracket) \end{aligned}$$

ここで, $\llbracket I \rrbracket \subset \mathcal{U}, \llbracket p \rrbracket \in \mathcal{U}$ かつ $\llbracket p \rrbracket \in \llbracket I \rrbracket$ のとき, そのときに限り,

$$(\vdash_i(\llbracket I \rrbracket)(\llbracket p \rrbracket)) = \text{true}$$

であると定義する。この定義は3章で述べたサポート関係‘ \vdash ’の定義をモデル論を用いて形式化したものである。

5. 実験システム

時間関係の推論システムは, ワークステーション SUN-4/SPARC-330TM 上の IF/Prolog において実装されており, その主要部分について以下に概略を説明する。

```

%% プロセス-イベント列, 状態-イベント列に対する
処理
relate(Pre, Rest, _) :-
    type(Pre, process), !,
    next_event(Rest, Next_event),
    while1(Pre, Next_event).
relate(Pre, _, Evts) :-
    type(Pre, state), !,
    while2_for_each(Pre, Evts).
relate(_, _, _).

%% イベント列に対する処理
relate_events(Pre, Suc) :-
    type(Pre, event(1)),
    type(Suc, event(_)), !,
    while2(Pre, Suc).

relate_events(Pre, Suc) :-
    type(Pre, event(2)),
    type(Suc, event(_)), !,
    after1(Pre, Suc).

%% 後続イベントのサーチ
next_event([], []) :- !.
next_event([Car|_], Car) :-
    type(Car, event(_)), !.
next_event([Car|Rest], Ev) :-
    type(Car, _), !,
    next_event(Rest, Ev).

```

図 3 事象列に対する処理の実装例

IF/Prolog Version 4.0.4 SPARC OS4.1 created 14/11/90
 Copyright (C) 1984,90 InterFace Computer GmbH

```

yes
?- tmp(甲女).

*** The final result ***
hl([貧しい, 甲女]) |= [捨てる, 甲女, 太郎].
hl([貧しい, 甲女]) |= [見つける, 乙, 太郎].
hl([貧しい, 甲女]) |= [捨てる, 乙, 太郎].
hl([貧しい, 甲女]) |= [事故を起こす, 乙].
hl([貧しい, 甲女]) |= [勘違いする, 乙, 死ぬ1].
hl([貧しい, 甲女]) |= [死ぬ1, 太郎].
hl([貧しい, 甲女]) |= [置き去りにする, 乙, 太郎, 道路].
hl([貧しい, 甲女]) |= [目撃する, 丙, 置き去り].
hl([貧しい, 甲女]) |= [死ぬ, 太郎] up(9).
ip([運転する, 乙, 太郎, 警察署]) |= [事故を起こす, 乙].
hl([生きている, 太郎]) |= [捨てる, 甲女, 太郎].
hl([生きている, 太郎]) |= [見つける, 乙, 太郎].
hl([生きている, 太郎]) |= [捨てる, 乙, 太郎].
hl([生きている, 太郎]) |= [事故を起こす, 乙].
hl([生きている, 太郎]) |= [勘違いする, 乙, 死ぬ1].
hl([生きている, 太郎]) |= [死ぬ1, 太郎].
hl([生きている, 太郎]) |= [置き去りにする, 乙, 太郎, 道路].
hl([生きている, 太郎]) |= [目撃する, 丙, 置き去り].
hl([生きている, 太郎]) |= [死ぬ, 太郎].
hl([捨てる, 甲女, 太郎]) |= [見つける, 乙, 太郎].
hl([見つける, 乙, 太郎]) |= [捨てる, 乙, 太郎].
hl([捨てる, 乙, 太郎]) |= [事故を起こす, 乙].
hl([事故を起こす, 乙]) |= [勘違いする, 乙, 死ぬ1].
hl([勘違いする, 乙, 死ぬ1]) |= [死ぬ1, 太郎].
ip([置き去りにする, 乙, 太郎, 道路]) |= [目撃する, 丙, 置き去り].
res([目撃する, 丙, 置き去り]) |= [死ぬ, 太郎].

no
?-

```

図 4 出力例

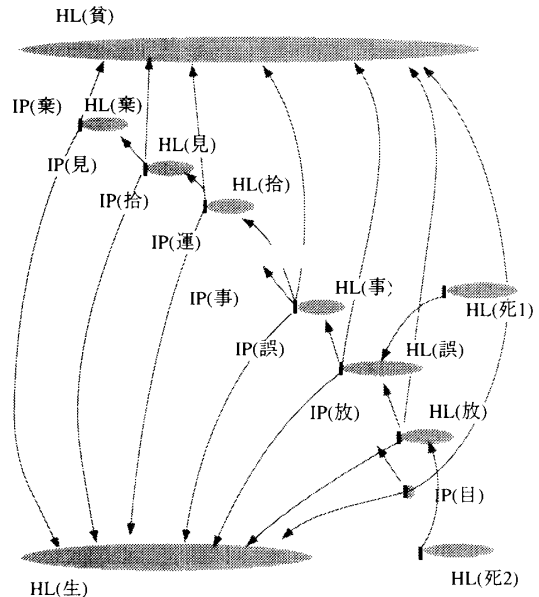


図 5 生成された事象間関係の概念図

(1) 事象列に対する処理

ここでは、事象列処理において中心的に使われる relate と relate_events の実装例を図 3 に示す。このプログラムにおいて、type はその事象の型を取り出す。while 1, while 2, after 1 はそれぞれ実際にサポート関係をつけるものであり、前節までに述べた事象の型に基づいて処理が行われる。

(2) 出力

「甲女の事件」に対する出力結果を図 4 に示す。この出力結果では、[死ぬ 1] という仮想が[勘違いする]の維持状態のなかだけで成り立つなど、勘違いの性質を反映する記述も可能である。しかしながら、状態型によるサポート関係の多くはむだであり、維持領域の定義にさらなる洗練が必要である。将来的には状態維持の区間の大きさに合わせて「場面」という大きな状況を融合したり、順序の推移を明示したりするなど状況推論の適用による見やすさの改善が必要である。図 5 に結果の関係図を示す。この図では、薄いグレーの領域が IP 区間、濃いグレーの領域が HL 区間であり、矢印の始点にある C 点は矢印の終点にある区間に含まれることを示す。

5. おわりに

本稿では、一つの事件を構成する事象の集まりについて、その間の時間関係を生成する手法を提案した。従来では、一つの事象を開始点から終了点までを単一の区間とし、その区間の間の位置関係を論じる手法が主であったが、本稿においては各事象はさまざまな区間や時点から構成されるものとし、その時間特性すな

わちアスペクト情報に基づいて、接続した二つの事象間の時間関係を求める定式化を行った。この結果、事象についての区間定義の主観性を除去し、関係づけも自動的に生成できるようにした。またこれらの事象間関係に状況理論の観点から基盤を与え、事象間関係を作る過程を構文生成と同様に、カテゴリ文法を用いて定式化した。本稿で扱った事件記述というのは一つの時点から眺めた一連の事象の記述であるため、事象間の時制(tense)の問題は扱わなかったが、さらに「今」に相当する視点の位置[Partee 84]を導入することと、この「今」の位置と各区間へのパースペクティブの関係を述べることで、時制と相(aspect)の表現も可能になっている。

しかしながら、本稿で提案した事象間関係のデフォルト規則はあくまでデフォルトであり、規則としての妥当性の評価は今後多くの事例記述を続けるなかで洗練されていく必要がある。これは構文に対する文法が主に統計的な見方から抽出されるもので、つねに例外を処理できるよう文法を洗練していく必要があるのと同様である。また、本研究の試みは人手による労力・主観性の排除にも寄与するものであるが、デフォルトの推論結果の出力に対しては通常不都合なところがあるものであり、つねに人手でポストエディットが可能であるような環境も必須である。

本稿においてはデフォルト規則によって成り立つ関係だけを実験的に生成したが、従来の意味での区間

論理による推論とは、この基礎的な関係をもとにして、さらにこれまで陽に示されていなかった関係を導く部分を指す。この意味では、本研究においても、基礎的な事象間関係を結びつけてさらに高次の関係をつけることが可能である。すなわち、すでに確立したサポート関係の集まりから、他のサポート関係あるいは状況間関係を導く推論規則を設けることにより、状況の融合、状況の分節、包含関係の推移律、順序関係の推移律などを実現することができる。しかしながら、このようなメタレベルの推論は、より情報量に富む関係づけを作る反面、よけいな組合せを量産するものであり、実際のアプリケーションと合わせて導入を検討すべきである。本システムはさらに複雑な実際の判例記述に耐えうるよう改良するとともに、一般の事象間関係の定式化として他の自然言語処理分野での応用を検討中である。

謝 辞

本研究は(財)新世代コンピュータ技術開発機構における法的推論システムのなかで行われたものである。研究の機会を与えてくださった東京大学工学部 瀧一博教授、同機構 内田俊一所長、および最初に「甲女の事件」を導入し、その形式的表現を討論するなかで数々の有益な啓示を与えてくださった新田克己博士に深い感謝の意を表す。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Aczel 90] Aczel, P.: Replacement systems and the axiomatization of situation theory, Cooper, R., Mukai, K. and Perry, J. (eds.), *Situation Theory and Its Applications*, Vol. 1, CSLI Lecture Note, Stanford University (1990).
- [Allen 84] Allen, J. F.: Towards a general theory of action and time, *Artif. Intell.*, Vol. 23, pp. 123-154(1984).
- [Barwise 83] Barwise, J. and Perry, J.: *Situations and Attitudes*, The MIT Press(1983).
- [Barwise 89] Barwise, J.: The Situation in Logic, CSLI Lecture Notes 17(1989).
- [Binnick 91] Binnick, R. I.: *Time and the Verb*, Oxford University Press(1991).
- [Branting 90] Branting, K.: Integrating rules and precedents for classification and explanation: automating legal analysis, PhD thesis, University of Texas at Austin (1990).
- [Comrie 76] Comrie, B.: *Aspect*, Cambridge University Press(1976).
- [Cooper 86] Cooper, R.: Tense and discourse location in situation semantics, *Linguistics and Philosophy*, Vol. 9, No. 1, pp. 17-36(Feb. 1986).
- [Devlin 91] Devlin, K.: *Logic and Information*, Cambridge University Press(1991).
- [Dowty 79] Dowty, D.: *Word Meaning and Montague Grammar*, D. Reidel(1979).
- [Dowty 81] Dowty, D., Wall, R. and Peters, S.: *Introduction to Montague Semantics*, D. Reidel(1981).
- [Fauconnier 84] Fauconnier, G.: *Espaces Mentaux*, Editions de Minuit(1984).
- [Gardner 84] Gardner, A.: An Artificial Intelligence Approach Legal Reasoning, PhD thesis, Stanford University(1984).
- [Gunji 92] Gunji, T.: A Proto-Lexical Analysis of Temporal Properties of Japanese Verbs, Park, B. S., *Linguistics Studies on Natural Language*, Hanshin Publishing (1992).
- [Kamp 79] Kamp, H.: Events, Instants, and Temporal Reference, *Semantics from Different Points of View*, pp. 376-417, Springer-Verlag(1979).
- [Kamp 81] Kamp, H.: A theory of truth and semantic representation, Groenendijk, J., Jansson, T. and Stockhof, M. (eds.), *Methods in the Study of Language Representation*, Math Carter, Amsterdam(1981).
- [Katagiri 89] Katagiri, Y.: Semantics of Perspectival Utterances, *Proc. 11th Int. Joint Conf. on Artificial Intelli-*

- gence, pp. 1474-1479, Morgan Kaufmann(1989).
- [Katagiri 90] Katagiri, Y.: Structure of Perspectivity: A Case of Japanese Reflexive Pronoun *zi-bun*, *Proc. AAAI-90* (1990).
- [Kowalski 86] Kowalski, R. and Sergot, M.: A logic based calculus of events, *New Generation Computing*, Vol. 4, pp. 67-95(1986).
- [McCarty 89] McCarty, L. C.: Computing with prototypes, *Proc. Bar-Ilan Symp. on the Foundations of Artificial Intelligence*(1989).
- [McCarty 90] McCarty, L. C.: AI and law: How to get there from here, *Workshop Notes of the Legal Reasoning Workshop of the 8th Nat. Conf. on Artificial Intelligence* (1990).
- [McDermott 82] McDermott, D. V.: A temporal logic for reasoning about processes and plans, *Cognitive Science*, Vol. 6, pp. 101-155(1982).
- [Milner 78] Milner, R.: A theory of type polymorphism in programming, *J. Computer and System Science*, Vol. 17, No. 3(1978).
- [Moens 88] Moens, M. and Steedman, M.: Temporal ontology and temporal reference, *Computational Linguistics*, Vol. 14, No. 2(1988).
- [Nitta 92] Nitta, K., Ohtake, Y., Maeda, S., Ono, M., Ohsaki, H. and Sakane, K.: Helic-II: A legal reasoning system on the parallel inference machine, *FGCS' 92*, pp. 1115-1124(1992).
- [Parsons 90] Parsons, T.: *Events in the Semantics of English*, MIT Press(1990).
- [Partee 84] Partee, B. H.: Nominal and temporal anaphora, *Linguistics and Philosophy*, Vol. 7, pp. 243-286(1984).
- [Rissland 91] Rissland, E. and Skalak, D.: Cabaret: rule interpretation in a hybrid architecture, *Man-Machine Studies*(1991).
- [Shoham 88] Shoham, Y.: *Reasoning about Change*, The MIT Press(1988).
- [Tojo 92] Tojo, S. and Yasukawa, H.: Situated Inference of Temporal Information, *5th Generation Computer System '92 (FGCS '92)*, Vol. 1, pp. 395-404(1992).
- [東条 95] 東条 敏, Wong, S., 新田克己, 横田一正: 状況理論による法的推論の形式化, *情処学論*, Vol. 36, No. 1(1995).

[担当編集委員・査読者: 白井英俊]

著 者 紹 介



東条 敏(正会員)

1981年東京大学工学部計数工学科卒業, 1983年東京大学大学院工学系研究科修士。同年, (株)三菱総合研究所入社, 1986~88年, 米国カーネギー・メロン大学機械翻訳センター客員研究員, 1995年4月より北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授, 博

士(工学)。自然言語理解, 状況推論の研究に従事, その他人工知能一般に興味を持つ。情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会, 言語処理学会, 日本認知科学会, ACL各会員。