

TR-366

状況理論に基づくイベントと行為の理論

—予備的考察—

堂坂浩二

April, 1988

©1988, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191~5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

状況理論に基づくイベントと行為の理論

-予備的考察-

堂坂浩二

NTTヒューマンインタフェース研究所
(現在、ATR自動翻訳電話研究所)

あらまし

本稿では、状況理論に基づくイベントと行為の理論について述べる。特に、ここでは、状況理論に基づくイベントと行為の表現の枠組みについて述べる。イベントが生起する状況と、それが引き起こす状況、その生起の際の環境となる状況の間には、相互関係が存在する。同様に、行為が生起する状況と行為者の信念や意図に関する情報を含む状況の間にも相互関係が存在する。これらの状況間の相互関係は、状況理論における状況のタイプ間の制約の概念を用いて表現される。この制約に従って、ある状況に関する情報から、他の状況に関する情報内容が伝えられることをモデル化できる。また、発話を発話者が遂行する行為としてとらえることによって、本枠組みは、コミュニケーションの理論や対話のモデルの基盤となることができる。

A Theory of Events and Actions on the Basis of Situation Theory

-Preliminary Report-

Kohji DOHSAKA

NTT Human Interface Laboratories
1-2356 Take, Yokosuka-shi, Kanagawa 238-03, Japan

(Currently at ATR Interpreting Telephony Research Laboratories,
Twin21 Bldg. MID tower, 2-1-61 Shiromi, Higashi-ku, Osaka 540 Japan)

Abstract

A theory of events and actions on the basis of situation theory is described. In this paper, the arguments center around the framework within which interrelations among a situation in which an event and action occur and other situations relative to it can be represented.

There are interrelations among a situation in which an event occurs, situations about occurrences brought by the event, and situations as circumstances in which the event occurs. In addition, there are another interrelations among a situation in which an action occurs and a situation containing the information about beliefs and intentions of the agent. They are represented in terms of constraints on types of these situations in situation theory. In this framework, given a type of a certain situation, the information content of another situations can be drawn according to constraints on types on the situations. Regarding an utterance as an action performed by a speaker, this theory will be able to serve as a basis of a dialogue model and theory of communication.

目次

1. はじめに	1
2. 状況理論	4
2.1. はじめに	4
2.2. 状況と情報	4
2.3. 状況と事態	6
2.4. 事態と状況の構造	7
2.5. パラメタ化事態	8
2.6. パラメタ化命題(条件)	10
2.7. 複合的タイプ	11
2.8. 制約	11
2.9. おわりに	12
3. イベントの表現の枠組み	13
3.1. はじめに	13
3.2. 制約としてのイベントと他の状況との関係	14
3.3. 条件的制約としてのイベントと他の状況との関係	15
3.4. 情報の流れの両方向性	17
3.5. おわりに	20
4. イベントと信念	22
4.1. はじめに	22
4.2. 信念の表現	22
4.3. 信念の帰属	23
4.4. 外的状況と信念	25
4.5. おわりに	27
5. 行為の表現の枠組み	28
5.1. はじめに	28
5.2. 行為とイベント	28
5.3. 行為と信念	30
5.4. 行為と意図	31
5.5. おわりに	33
6. 発話行為の理論への展望	35
7. 今後の課題	38
8. おわりに	40
謝辞	42
参考文献	43

1. はじめに

AI (Artificial Intelligence) の研究における主たる目的の一つは、イベントと行為の理論の確立である。世界には、様々なイベントが生起し、それと因果関係をもつイベントが、それによって引き起こされる。また、行為者は、世界のあり方について信念をもっている。さらに、行為者は、未来の世界において実現することを望む世界のあり方を選択する。これを行為者の意図と呼ぶ。行為者は、意図をもって行為を遂行し、それによってイベントを引き起こし、世界に影響を与え、意図する世界の状況を実現させることを試みる。

また、行為者は、他の行為者とコミュニケーションを行うことにより、他の行為者の信念や意図に影響を与えることができる。このことによって、行為者は、自らが望む世界の状況を実現するために、他の行為者に行為を遂行させることができる。このように、コミュニケーションを行うことは、ある行為を遂行することと見なせる。こういった行為は、発話行為と呼ばれる。発話行為は、聞き手の信念や意図、話し手と聞き手の相互信念に関する聞き手の信念に影響を与える行為である。

さらに、我々は、イベントや行為が生起したという事実から、その結果生じる世界の状況や、そのイベントや行為が生起したときの世界の状況、すなわち、イベントや行為が生起したときの環境に関する情報を得ることができる。言い換えれば、イベントや行為が生起する状況は、そのイベントや行為が引き起こす状況や環境に関する情報内容を含んでいる。特に、行為者が、ある行為を遂行する状況は、その行為者の信念や意図に関する情報を含んでいる。さらに、発話行為が生起したという状況は、その結果生じる聞き手の信念や意図に関する情報や、その発話行為が生起するときの話し手の信念や意図に関する情報を含んでいる。このように、世界の様々な状況は、互いに関係をもっており、その関係によって、我々は、世界における様々な情報を得ることができる。

本研究の目的は、発話行為の理論の構築の基礎となるべきイベントと行為の理論を構築することである。特に、本稿では、状況理論 [Barwise and Perry, 1983] に基づくイベントと行為の表現の枠組みについて述べる。本稿で述べるイベントと行為の表現の枠組みでは、イベントや行為が生起する状況と、他の状況との関係を記述することを主眼としている。この関係によって、イベントや行為の生起する状況から、イベントや行為の結果引き起こされる状況や、イベントや行為の生起の際の環境、さらに、行為者の信念や意図に関する状況についての情報を得ることができる。

このようなイベントと行為の理論は、コミュニケーションの理論や対話のモデルに応用することができる。すなわち、コミュニケーションや対話におい

て、聞き手が、話し手の発話行為から、話し手の信念や意図を認識したり、話し手が、聞き手に自分の信念や意図に関する情報を伝達したり、聞き手にある行為を遂行させるために、適切な発話行為を推論するためのモデルの基盤として、本研究の目指すイベントと行為の理論を役立てることができる。

状況理論 [Barwise and Perry, 1983] は、意味や情報内容、コミュニケーションに関する数学的な理論である。状況理論では、世界は、状況から構成されていると考え、それぞれの状況をタイプで分類する。そして、ある状況のタイプは、他の状況のタイプと相互関係をもつとして、その関係を状況のタイプの間の制約として記述する。この制約に用いて、ある状況が、他の状況に関する情報を含んでいることをモデル化する。このように、状況理論は、本研究で目指すイベントと行為の表現の枠組みの基盤として有効であることがわかる。

本枠組みでは、行為やイベントが生起する状況のタイプと、それが引き起こす状況のタイプ、その生起の際の環境を構成する状況のタイプ、行為者の信念や意図に関する状況のタイプの間の関係を制約として表現する。このようにして、行為やイベントが生起する状況のタイプから、他の状況に関する情報を得ることをモデル化できる。

AIにおけるイベントや行為の理論の先駆けは、状況計算(situation calculus) [McCarthy and Hayes, 1969] による枠組みである。しかし、この枠組みでは、イベントや行為の生起の最中の世界の状態について推論することが困難となる。これは、状況計算の枠組みでは、世界を記述する単位を世界の瞬時のスナップショットとして考えているためである。

時相論理(temporal logic) に基づく Allen による行為の表現の枠組み [Allen, 1984] では、状況計算の枠組みのもつこの欠点を補うことができる。しかし、Allen の枠組みは、世界におけるある状況から、他の状況の情報内容を引き出すという観点からの枠組みではなく、本研究が目指すイベントと行為の理論としては不十分である。本枠組みでは、イベントや行為が生起する状況は、時間に関して広がりをもった実在であるから、Allen の枠組みと同じく、状況計算の枠組みのもつ欠点を克服することができる。さらに、本枠組みでは、世界におけるある状況のあり方から、他の状況に関する情報内容を推論することができる。

Moore による可能世界意味論に基づく行為と知識の理論 [Moore, 1985] では、行為が生起する状況と行為者の知識との相互作用についてモデル化している。この枠組みでは、行為やイベント、また、行為者の知識は、可能世界と関連づけて記述される。しかし、この枠組みでの可能世界とは、そこで成立する事実をすべて厳格に記述したものであり、行為や知識をモデル化するためには、そのような可能世界をすべて用意しなければならない。しかし、イベントや行為は、世界

の一部の状況とのみ関連づけられるものだと考えられる。また、行為者の信念や知識は、世界の一部の状況に関する情報を含むものであると考えられる。このような部分性 (partiality) を Moore の枠組みでは、モデル化できていない。これは、可能世界を、そこで何が成立して、何が成立していないかをすべて記述したものとして、とらえているためである。このため、Moore の枠組みでは、行為者は、論理的全知 (logical omniscience) と呼ばれる好ましくない性質をもっている。状況理論における状況は、世界のある一部分をモデル化したものであり、部分性をうまく取り扱える基盤を提供してくれる。このようにして、状況理論に基づく本枠組みは、Moore の枠組みのもつ欠点を克服する枠組みとなることが期待できる。

また、Cohen と Levesque は、動的論理 (dynamic logic) に基づく行為と意図の理論 [Cohen and Levesque, 1987a] を提案し、その理論に基づいてコミュニケーションの理論を展開している [Cohen and Levesque, 1985; Cohen and Levesque, 1987b]。彼らは、行為と意図の理論のモデル理論をまだ与えていないが、彼らの理論が基づいている動的論理は、様相論理の一つであり、Moore が行ったような様相論理に対する通常のモデル理論を与えるなら、Moore の枠組みと同様の欠点をもつことになる。

以下の章におけるイベントと行為の表現の理論に関する議論は、次のような構成で展開していく。まず、第二章において、状況理論について概説する。次に、第三章において、状況理論に基づくイベントの表現の枠組みについて述べる。ここでは、イベントが生起する状況と、そのイベントが引き起こす状況やその生起の際の環境を構成する状況との関係について考察する。第四章では、イベントと行為者の信念との関係について述べる。イベントが生起した状況に関する信念をもつ行為者が、さらに、イベントが引き起こす別の状況や、イベントの生起した際の環境に関する信念をもつようになることをモデル化する。第五章では、行為の表現の枠組みについて述べる。特に、意図の表現の枠組みと、行為が生起する状況と行為者の信念に関する状況との関係、さらに行為が生起する状況と行為者の意図に関する状況との関係について述べる。第六章では、本稿で述べたイベントと行為の理論の発話行為の理論への応用について展望する。最後に、第七章において、今後の課題について述べる。

2. 状況理論

2.1. はじめに

本章では、状況理論 (situation theory) [Barwise and Perry, 1983] の概略を説明する。状況理論について、より詳細な情報を知りたい読者は、参考文献 [Barwise and Perry, 1983; Barwise, 1987; 白井, 1986] を参照して欲しい。

状況理論は、意味や情報内容、コミュニケーションに関する数学的理論である。状況理論を自然言語の意味論に適用したものが、状況意味論である。しかし、状況理論は、自然言語の意味論の構築に応用できるだけでなく、行為や心的状態の意味を記述することにも役立てることができる。

コミュニケーションの理論を確固たるものにした Shannon は、情報理論やコミュニケーションの理論が扱うべき問題を技術的問題、意味論に関する問題、効果に関する問題の3つの問題に分類した。技術的問題とは、ある一様な性質をもった信号の発生源があるときに、その信号を正確に伝達するためには、通信系が、いかなるものでなければならないかを扱う問題である。意味論に関する問題とは、信号をいかに解釈するかということを行う問題であり、効果の問題とは、信号によって、信号の受け手にいかに影響を与えることができるかということを行う問題である。Shannon の成果は、主に技術的問題に関するものであった。そして、状況理論は、この分類に従えば、意味論に関する問題と効果に関する問題を対象とする情報・通信理論である。

2.2. 状況と情報

状況理論の見方に従えば、まず、実世界 (real world) というものを考え、実世界は、状況から構成されているとする。状況として、実在的状況と抽象的状況の二つを考える。実在的状況は、実世界を構成している事物であって、抽象的状況とは、実在的状況を数学的にモデル化したものである。実在的状況は、抽象的状況によって分類される。(図2.1)

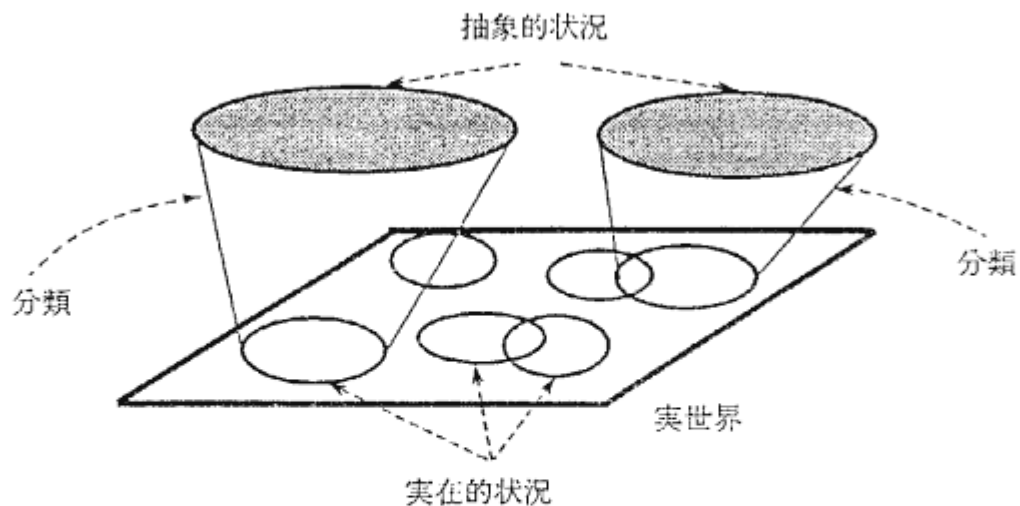


図2.1 状況理論における世界の見方

世界におけるある状況は、他の状況に関する情報内容を含んでいる。例えば、ある木の切り株に年輪がいくつか刻まれているという状況は、その木の樹齢がいくつであるかという状況についての情報を含んでいる。このとき、状況理論では、この2つの状況の上に制約が成立していると考え、すなわち、木の切り株の年輪に関する状況において、木 x の年輪が y であるという事態が成立しているなら、その木の樹齢に関する状況において、木 x の樹齢が y であるという事態が成立しているという制約が成立していると考え、そして、この制約によって、ある状況に関する情報が、他の状況に関する情報を運ぶことを説明できる。

状況理論が教えるところは、実世界を構成する状況のあり方は、その状況のみによって定まるのではなく、その状況を取り囲む他の状況のあり方に依存して決まり、ある状況のあり方は、他の状況のあり方に影響を与えるということである。ここで、状況のあり方とは、状況がどのように解釈されるか、すなわち、どんな状況のタイプに分類されるかということを示している。例えば、ある話し手が、聞き手に対して、「君は間違っている」と発話するとき、その発話が記述している状況の解釈は、誰が誰に向かって発話しているかという情報を含む他の状況に依存してしか決定できないのである。このことを状況理論の言葉を使って述べれば、実在的状况が、いかなる状況のタイプに分類できるかということは、他の実在的状况のタイプに依存して決まり、ある実在的状况がある状況のタイプに分類できることから、他の実在的状况がいかなる状況のタイプに分類できるかが導けるということである。それでは、次節以降で、状況理論で用いる概念と記法を説明することとする。

2.3. 状況と事態

状況(situation)とは、ある時空位置における世界の事物間の関係の成立・不成立の集合によって個別化可能な実世界の一部である。ある時空位置における世界の事物間の関係の成立・不成立を事態(state of affair, soa)と呼ぶ。それぞれの状況において、ある事態が成立している(hold in)。2つの状況は、全く同じ事態が成立しているときにのみ、同一の状況である。

基本的事態(basic state of affair, bsoa)とは、特定の対象物の上のある関係の成立もしくは不成立である。関係(relation)には、引数位置(argument place, argument role)が付随している。以下において、関係は、イタリックの字体で表記する。引数位置を1つしかもたない関係を性質(property)と呼ぶ。関係や性質は、タイプとも呼ばれる。例えば、食べるという関係 *eat* には、食べるという行為の行為者で占める引数位置 *agent* と食べるという行為の対象が占める引数位置 *object*、さらに、食べるという行為が生起する時空位置 *time/place* が付随している。ある関係の引数位置の集合から、対象の集合への部分関数を割当て(assignment)と呼ぶ。例えば、*eat* という関係に関して次のような割当て *a* を考えることができる。

<i>agent</i>	→	太郎
<i>object</i>	→	りんご
<i>time/place</i>	→	2/11/87 / 横須賀

関係 *R* と *R* の引数位置を対象 $a_1, a_2, \dots, a_n$ に対応づける割当て *a* が与えられるとき、*R(a)* か $\neg R(a)$ のどちらか一方のみが成立する。それぞれに対して1つの基本的事態が対応し、次のように記述する。

$$\begin{aligned} &\ll R, a_1, a_2, \dots, a_n; 1 \gg \\ &\ll R, a_1, a_2, \dots, a_n; 0 \gg. \end{aligned}$$

対象間に関係が成立しているか不成立であるかを示す1もしくは0の値を極性(polarity)と呼ぶ。

ある状況 *s* において、事態 σ が成立していることを

$$s \models \sigma$$

と書く。事態が、ある実在的状況において成立しているなら、その事態は、事実(fact)もしくは、事実に的(factual)であると言う。事態 σ がいずれかの実在的状況において成立しているとき、すなわち、事態 σ が事実であるとき、

$$\models \sigma.$$

と書く.

次に、命題 (proposition) の概念を導入する. 状況理論においては、命題と事実は、区別される. 命題とは、真か偽であるようなものであり、事態は、事実か事実でないかのどちらかであるようなものである. 事態 σ と状況 s が与えられるとき、基本的命題 (basic proposition)

$$(s \models \sigma)$$

を得る. この命題は、 $s \models \sigma$ となるときに限り、真となる命題である. さらに、一般的には、割当て a とタイプ T が与えられたとき、

$$(a : T)$$

という形の命題を考える. この命題は、タイプ T の引数位置に、割り当て関数 a で値を代入したときに得られる事態 $\langle T, a; 1 \rangle$ が事実であるとき、真となる命題である. また、タイプ T の引数位置を書かなくとも自明なときは、直接に、引数位置に割当てる値 $x, y, \dots$ を用いて、

$$(x, y, \dots : T)$$

という記法を用いる.

2.4. 事態と状況の構造

ここで、事態と状況に関する代数的構造を導入する. まず、基本的事態に適用する二項演算子 $\wedge$ と $\vee$ を次のように定義する.

$$\begin{array}{lll} s \models \sigma \wedge \tau & \text{iff} & s \models \sigma \text{ and } s \models \tau \\ s \models \sigma \vee \tau & \text{iff} & s \models \sigma \text{ or } s \models \tau. \end{array}$$

and と or は、通常の意味での論理演算子である. $\sigma \wedge \tau$ と $\sigma \vee \tau$ は、新たに事態となる. 次に、事態の間に成り立つ二項関係 $\supset$ (as strong as) を定義する. すなわち、

$$\begin{array}{lll} \text{soa } \sigma, \tau \text{ に対して、} & & \\ \sigma \supset \tau & \text{iff} & \models \sigma \supset \models \tau. \end{array}$$

容易にわかるように、関係 $\leq$ は、順序関係である。事態の集合 $\langle \Sigma, \rangle$ が与えられるとき、任意の事態 σ, τ に対して、

$$\begin{aligned}\sup\{\sigma, \tau\} &= \sigma \vee \tau \\ \inf\{\sigma, \tau\} &= \sigma \wedge \tau.\end{aligned}$$

が、存在する。さらに、事態の集合 $\langle \Sigma, \{\wedge, \vee\} \rangle$ のどの部分集合に対しても、上限 $\vee \Sigma$ と下限 $\wedge \Sigma$ が存在する。よって、事態の集合 $\langle \Sigma, \{\wedge, \vee\} \rangle$ は、半順序関係 $\leq$ の下に完備束を形成する。

基本的事態の状況理論における状況とは、実世界のある一部分に過ぎない。この意味において、状況とは、部分的 (partial) である。状況は、そこにおいて成立する事態によって規定されるものである。ある状況が存在するとき、その状況において成立する事態のすべてが、少なくとも成立する別の状況が存在する。このように、状況間に、関係 $\leq$ を定義することができる。すなわち、

$$s \models \langle \leq, s_1, s_2; 1 \rangle \quad \text{iff} \quad \forall \sigma ((s_1 \models \sigma) \supset (s_2 \models \sigma)).$$

関係 $\leq$ は、反射律、推移律、反対称律を満たすから、この関係は、順序関係である。このようにして、状況の集合は、関係 $\leq$ の下で、半順序構造を形成することがわかる。

2.5.パラメタ化事態

この節では、パラメタ(parameter)とパラメタ化事態(parametric state of affair)の概念を導入する。最初に、次のような事態を考える。

$$\langle \text{speaking}, a, b \rangle \wedge \langle \text{man}, a \rangle \wedge \langle \text{woman}, b \rangle.$$

すなわち、ある男性 a が、ある女性 b に話しているというような事態である。今、この事態を $\sigma_H(a, b)$ とおく。そして、

$$s \models \sigma_H(a, b) \quad \text{iff} \quad s \models \langle H, a, b \rangle.$$

となるような複合的關係(complex relation) H を定義することを試みる。このために、パラメタと呼ばれる不定項を導入する。パラメタは、 $x, y, \dots$ のよう表記する。パラメタは、新たにつくった複合的關係の引数位置として、用いられる。すなわち、パラメタ x, y を導入し、パラメタ化事態 $\langle \text{speaking}, x, y \rangle, \langle \text{man}, x \rangle, \langle \text{woman}, y \rangle$ をつくる。後に述べるように、パラメタ化事態に対しても、基本的事態と同様に、演算子 $\wedge, \vee$ を導入できる。このようにして、パラメタ化事態

$\sigma_H(x, y)$ を次のように得ることができる。なお、パラメタ化事態は、それに含まれるパラメタを $x, y, \dots$ とするとき、 $\sigma(x, y, \dots)$ のように表記することがある。

$$\sigma_H(x, y) = \ll \text{speaking}, x, y \gg \wedge \ll \text{man}, x \gg \wedge \ll \text{woman}, y \gg.$$

さらに、 $\sigma_H(x, y)$ に含まれる2つのパラメタを抽象化することによって、複合的關係 H を定義できる。

$$H = [x, y | \sigma_H(x, y)].$$

この関係は、 x, y に付随する2つの引数位置をもつ関係である。このように、本来、パラメタとは、より単純な関係から複合的な関係を構成するために導入されるものである。

このようなパラメタを導入する簡単な方法は、割当て関数を、引数位置からパラメタへの関数に拡張することである。さらに、パラメタから他の対象への関数をアンカー(anchor)と呼ぶ。パラメタが、あるアンカーによって、値の定まっているとき、そのパラメタは、確定であると言う、さもなければ、不確定であるという。パラメタ化事態 $\sigma(x, y, \dots)$ とアンカー f が与えられるとき、 $\sigma(x, y, \dots)$ に f を適用して得られる事態を次のように表記する。

$$\sigma(x, y, \dots)[f] \text{ もしくは } \sigma[f].$$

二項演算子 $\wedge, \vee$ をパラメタ化事態にも適用できるように拡張することができる。すなわち、パラメタ化事態の集合 Σ が与えられるとき、複合的パラメタ化事態 $\wedge \Sigma, \vee \Sigma$ は、次のように定義できる。

- 1) x が、ある $\sigma \in \Sigma$ のパラメタなら、 x は、 $\wedge \Sigma, \vee \Sigma$ のパラメタでもある。
- 2) パラメタ x が、少なくとも1つの $\sigma \in \Sigma$ で確定なら、 $\wedge \Sigma, \vee \Sigma$ でも確定である。

パラメタ化事態は、このように事態と同じような振る舞いを見せるが、決定的に異なる点がある。パラメタ化事態は、事実となることはできない。言い換えれば、ある状況において、あパラメタ化事態が成立するという言い方はできない。このことに関しては、次節で述べる。

2.6. パラメタ化命題(条件)

パラメタ化事態 $\sigma(x)$ と状況 s に対して、 $(s \models \sigma(x))$ は、パラメタ x に適切な値をアンカーするときに、はじめて命題となる。これをパラメタ化命題 (parametric proposition) もしくは、条件 (condition) と言う。条件は、パラメタに値を代入するアンカーに対する制約としてはたらく。すなわち、パラメタ化命題 (条件) は、それにアンカーを適用したときに、真の命題が得られるように、アンカーに対して、条件を課することになる。

条件 $(s \models \sigma(x))$ とアンカー f が与えられるとき、 f が条件に適合するとは、次の命題が真となるときである。

$$(s \models \sigma(x)[f]).$$

アンカー f は、条件 $C(x, y, \dots) = (s \models \sigma(x))$ に適合するとき、次のように書く。

$$f \vdash C(x, y, \dots).$$

なお、パラメタ化事態にアンカーを適用するときに得られる命題を便宜上

$$C(x)[f] \text{ もしくは、 } C[f]$$

と書く。

次に、条件付パラメタ (conditioned parameter) について説明する。今、条件

$$C(x) = (s_0 \models \ll \text{named}, x, \text{kohji}; 1 \gg)$$

を考える。これは、ある資源状況 s_0 が与えられるとき、 s_0 において個体 x が kohji と名づけられるという条件を表している。このとき、パラメタ x に対して、その条件を課することができる。すなわち、 x を kohji という名前を付けられている個体に制限することができる。これを条件付パラメタ (conditioned parameter) と呼び、次のように表記する。

$$x \mid C(x) \text{ もしくは、 } xC.$$

なお、条件 $(s \models \sigma(x))$ があるとき、状況 s が自明ならば、パラメタ化事態を単に次のように表記する。

$$x \mid \sigma(x) \text{ もしくは、 } x^\sigma.$$

条件付パラメタは、他のパラメタ化事態の中に現れてもよい。すなわち、

$$\tau(x | C(x))$$

というパラメタ化事態をつくってもよい。このパラメタ化事態のパラメタに値を対応させるアンカーは、条件 $C(x)$ に適合していなければならない。

2.7. 複合的タイプ

パラメタ化事態や条件を用いて、複合的な関係や性質をつくることができる。今、パラメタ化事態 $\sigma(x)$ があるとき、

$$P = [x | \sigma(x)]$$

は、1つの性質を表している。この性質は、次のことを満たす。

1) P に対する適切な割当て a は、 $\sigma(a)$ が事態となるような割当てである。

2) 1) を満たす割当て a と状況 s が与えられるとき、

$$s \models \langle\langle P, a; 1 \rangle\rangle \quad \text{iff} \quad s \models \sigma(a).$$

もちろん、二つ以上のパラメタをもつパラメタ化事態 $\sigma(x, y)$ から、二つ以上の引数位置をもつ関係(タイプ)

$$[x, y | \sigma(x, y)]$$

を定義することもできる。

このような複合的なタイプは、条件からも定義できる。条件 $C(x)$ が与えられるとき、条件付パラメタ $x | C(x)$ の族

$$[x | C(x)]$$

は、タイプを表す。このタイプの引数位置に対する割当てが与えられるとき、その割当ては、条件を真にするものでなければならない。

2.8. 制約

条件 C_1, C_2 が与えられるとき、 $\langle\langle \text{involve}, C_1, C_2; 1 \rangle\rangle$ の形の事態を基本的制約という。この事態が、事実にならば、 C_1 という条件から、 C_2 という条件を導く

ことができる。すなわち、あるアンカー f が与えられるとき、命題 $C_1[f]$ が真となるなら、命題 $C_2[f]$ も真となる。

実在的状況 s_1, s_2 、パラメタ化事態 $\sigma_1(x), \sigma_2(x)$ 、命題 $C_1 = (s_1 \models \sigma_1(x))$, $C_2 = (s_2 \models \sigma_2(x))$ が与えられるとき、制約 $\langle \text{involve}, C_1, C_2; 1 \rangle$ を用いて、状況 s_1 が、状況 s_2 の情報内容を含んでいることが言える。すなわち、 s_1 において、事態 $\sigma_1(x)[f]$ が、成立しているならば、状況 s_2 においては、事態 $\sigma_2(x)[f]$ が成立していることがわかる。

2.9. おわりに

本章では、状況理論の概略を述べた。状況理論は、世界を状況の集まりと見て、ある状況が含む情報が、他の状況に含まれる情報に、いかに依存しているかの説明を試みる。状況理論を支配している基本的な考え方は、状況のあり方は、その状況以外の他の状況(環境)のあり方と切り離して考えることはできないということである。世界におけるイベントや行為は、そのイベントや行為が生起するときの様々な周りの状況と関連づけて記述すべきである。このような観点に従うとき、状況理論は、行為の表現の枠組みとして有効な基盤となってくれることが期待できる。次章以下において、状況理論の考え方に基づいたイベントと行為の表現の枠組みについて述べる。

3. イベントの表現の枠組み

3.1. はじめに

世界に生起する様々な事象を記述する枠組みを求めることは、AI(Artificial Intelligence)における主要な研究目的の一つである。AIにおけるイベントの記述の代表的な枠組みとして、状況計算(Situation Calculus)[McCarthy and Hayes, 1969]と時相論理(Temporal Logic)[Allen, 1980; McDermott, 1982)]による枠組みがある。

状況計算の枠組みでは、世界を状態の遷移としてとらえ、イベントを状態から、状態への関数として記述する。この枠組みでは、単一行為者のプランニングの概念が容易に展開できる利点がある。しかし、あるイベントの生起中の世界の推論が困難であるという欠点がある。また、イベントは、世界に変化を起こさせるものとして考えられているために、世界に変化を及ぼさないような事象をイベントとして記述できない。ところが、行為者が引き起こす事象の中には、世界に変化を及ぼさないものもあり、状況計算の枠組みでは、そのような行為を記述できないこととなる[Allen, 1980]。状況計算による枠組みのこの欠点は、世界を状態という世界の瞬時のスナップショットとして考えることによって、世界を不自然に分断していることに起因している。

一方、時相論理による枠組では、ある時間において成立する命題の集合として、世界をとらえる。命題間の関係は命題が成立している時間の間の関係として記述する。このことによって、並列的な事象や、あるイベントが生起している最中の世界の状況について推論することができる。こうして、時相論理による枠組では、状況計算による枠組みの欠点を克服することができる。しかし、時相論理による枠組みでは、プランニングの概念を展開することが困難となる。これは、世界を余りに構造のない平坦なものとしてとらえているためである。

状況理論においては、世界は、状況の集まりと考える。そして、状況は、事態の集まりである。状況は、制約によって、他の状況の情報を含んでいる。状況理論における状況や事態は、状況計算における状態の概念とは異なる。状況計算における状態とは、世界の瞬時のスナップショットであるが、状況理論における状況や事態とは、時空間に関して広がりをもった実在である。この意味で、時相論理の長所を取り込むことができる。

また、状況計算にしても、時相論理にしても、世界における事象に対して、厳格な分類法を強制している。状況計算においては、事象は、状態と状態の変化としてのイベントの二分類法を強制され、Allen[Allen, 1984]の枠組みでは、

property/event/process の三分類法、McDermott [McDermott, 1982] の枠組みでは、fact/event の二分類法が適用される。しかし、Shoham [Shoham, 1987] の議論にもあるように、世界を事象を厳格に分類することは、無理があり、そのような分類は、恣意的なものに過ぎない。実際、状態のような静的な状況であろうと、世界に変化が起きる動的なイベントのような状況であろうと、それが、他の状況に関する情報を含んでいるということに関しては、区別することはできない。状況理論における状況は、静的なものであっても動的なものであってもよく、制約という同一の枠組みで、その状況が含む情報内容について表現することができる。

3.2. 制約としてのイベントと他の状況との関係

我々は、一般的に動的な意味合いをもつ状況をイベントと呼ぶ。ここでは、イベントを素直に状況理論における状況として表現する。しかし、前章で述べたように、イベントというタイプを導入して、厳格な分類を強制する意図はない。以下で用いるイベントという語は、状況とほとんど同義であり、その語を用いるのは、単に議論を分かりやすくするためだけに過ぎない。

イベントが生起すると、世界においてある他の状況が生起する。また、あるイベントが、世界に対して、影響を与えることができるためには、ある別の条件が世界において成立していなければならないこともある。このように、イベントが生起するということは、他の状況に影響を与え、どんなイベントが起こり得るかということは、その時の周りの状況に依存している。さらに、あるイベントが起こったとき、どのような影響を及ぼすかということさえ、イベントの生起の際の環境に依存して決まるのである。

例えば、液体がリトマス試験紙に接触するというイベントを考える。このイベントは、世界に対して、リトマス試験紙の色を変化させるという影響を与える。しかし、リトマス試験紙がどんな色に変化するかということは、イベントの生起の際の環境に依存する。

このような、イベントと他の状況との関係は、状況理論における制約として記述できる。制約は、一般には、ある対象のタイプに関する制約であるが、この制約は、状況のタイプ間の関係として表現される。すなわち、イベントと他の状況との関係は、次の制約として表現される。

$\ll involve, C_1, C_2; 1 \gg.$

$C_1 = (s_1 : T_1(x))$ または、 $(s_1 \models \sigma_1(x))$

$C_2 = (s_2 : T_2(x))$ または、 $(s_2 \models \sigma_2(x))$.

s_1, s_2 は、実在的状况、 $T_1(x)$ 、 $T_2(x)$ は、状况のパラメタ化タイプ、 $\sigma_1(x)$ 、 $\sigma_2(x)$ は、パラメタ化事態である。

ここで、物が動くというイベントが他の状况にどんな影響を及ぼすかについての制約を定義しよう。

$\ll involve, (s_1 : \text{Move}(x, a, b, l)),$

$(s_2 \models \ll at, x, a, l_1^a; 1 \gg \wedge \ll at, x, b, l_2^b; 1 \gg); 1 \gg.$

$\sigma = \ll meets, l_1, l \gg,$

$\tau = \ll meets, l, l_2 \gg,$

$\text{Move}(x, a, b, l) = [s \mid s \models \ll move, x, a, b, l; 1 \gg].$

なお、タイプ $\text{Move}(x, a, b, l)$ の内容は、もっと詳細に記述してもよい。

ここで、 $\ll at, x, a, l; 1 \gg$ は、時空位置 l において、 x が場所 a にあるという事態であり、 $\ll move, x, a, b, l; 1 \gg$ は、 x が、時空位置 l において、 a から b に動くという事態を表現する。

なお、ここで *meets* は、時間に関する関係の一つである。ここでは、Allen [Allen, 1984] で示された時間間隔に関する関係を用いる(図3.1)。

さらに、この制約から、次の制約が導かれる。

$\ll involve, (s_1 : \text{Move}(x, a, b, l)), (s_2 \models \ll at, x, a, l_1^a; 1 \gg); 1 \gg.$

$\ll involve, (s_1 : \text{Move}(x, a, b, l)), (s_2 \models \ll at, x, b, l_2^b; 1 \gg); 1 \gg.$

3.3. 条件的制約としてのイベントと他の状况との関係

イベントの中には、環境の条件が成立していないと生起し得ないものがある。また、液体をリトマス試験紙に接触させる場合のように、そのイベントがどんな影響を世界に与えるかということが、環境に依存する場合もある。このような場合のイベントと環境との依存関係は、条件的制約(conditional constraint)を用いて表現することができる。

制約 $\ll involve, C_1, C_2; 1 \gg$ において、 C_1 が、条件付パラメタ (conditioned parameter) を含むとき、この制約を条件的制約という。特に、 C_1 のパラメタに制約を加えている条件 C_3 を取り出して、条件的制約を $\ll involve, C_1, C_2; 1 \gg \mid C_3$ と書くこともある。

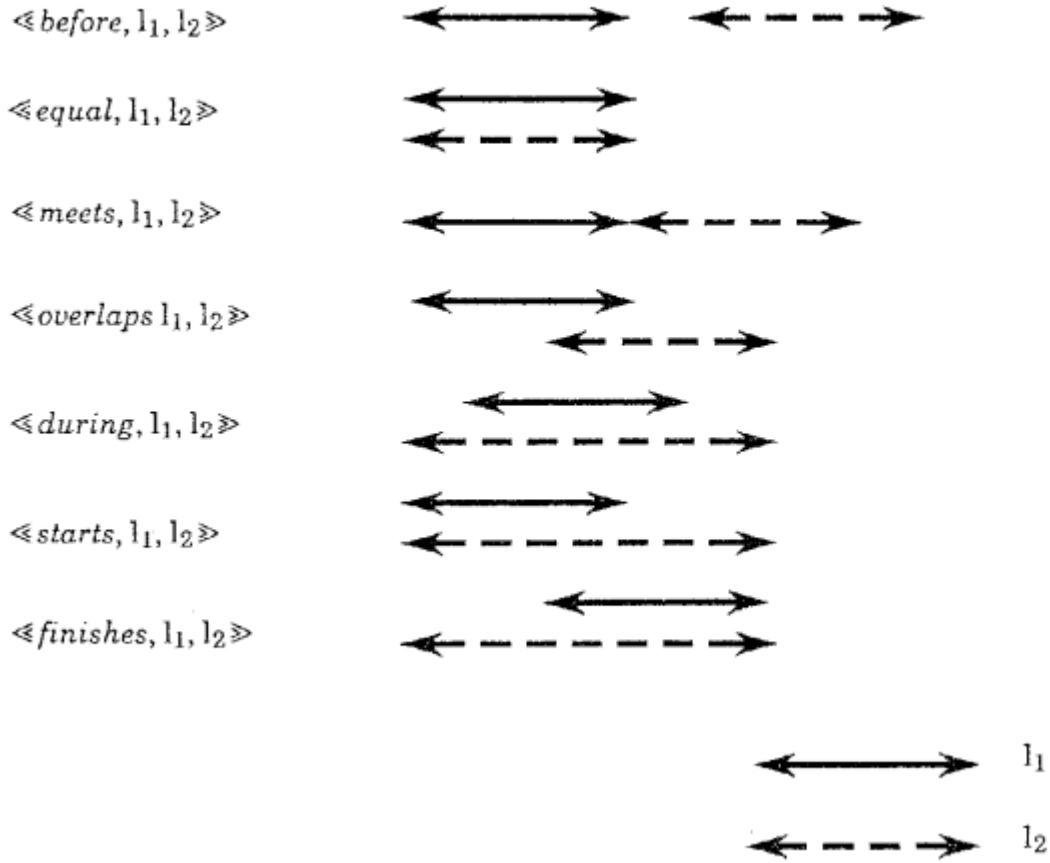


図3.1 時間(Time Interval)に関する関係

条件的制約を用いて、記述すべきイベントと環境の関係として、時空位置1において積み木aを積み木bの上に積む($\ll puton, a, b, l_1; 1 \gg$)というイベントが、積み木bの上には、何も積まれていない($\ll clear, b, l_3; 1 \gg$)という状況の下で、aがbの上にある($\ll on, a, b, l_2; 1 \gg$)という状況を生成するという例を考える。この例は、次の条件的制約で表現できる。

$$\begin{aligned}
 &\ll involve, (s_1 \models \ll puton, a, b \mid C, l_1 \mid C; 1 \gg), \\
 &\quad (s_2 \models \ll on, a, b, l_2^0; 1 \gg); 1 \gg. \\
 &C = (s_3 \models \ll clear, b, l_3; 1 \gg \wedge \ll finish, l_1, l_3 \gg), \\
 &\sigma = \ll meets, l_1, l_2 \gg.
 \end{aligned}$$

状況のタイプ $[s \mid s \models \ll puton, a, b \mid C, l_1 \mid C; 1 \gg]$ は、単に、aをbの上に積むという事態が成立するという状況のタイプではない。それは、($\ll clear, b, l_3; 1 \gg \wedge \ll finish, l_1, l_3 \gg$)という条件に制約されたa, b, l_1 の上に関係putonが成立しているという状況のタイプである。

条件($s_1 \models \ll puton, a, b \mid C, l_1 \mid C; 1 \gg$)が成立するためには、この条件に関するアンカー f は、条件 $C[f]$ も真にする必要がある。この意味で、実在的状況 s_2 は、前提条件として考えることができる。

3.4. 情報の流れの両方向性

イベントと環境の依存性は、条件的制約 $\ll involve, C_1, C_2; 1 \gg \mid C_3$ で表現できる。この制約があるとき、条件 C_3 の下で条件 C_1 の成立によって、条件 C_2 の成立がわかる。今、 $C_1 = (s_1 : T_1(x))$, $C_2 = (s_2 : T_2(x))$, $C_3 = (s_3 : T_3(x))$ であるとする。状況のタイプ $T_1(x)C_3(x)$ である状況 s_1 は、状況のタイプが $T_2(x)$ であるような状況 s_2 についての情報内容を含んでいると言える。この意味において、状況 s_1 から、状況 s_2 に向かって、情報が流れる。しかし、実際には、これとは、別方向の情報の流れが存在することもある。

例えば、リトマス試験紙に液体を接触させるというイベントを考える。もし、このイベントが生起した後で、リトマス試験紙が赤くなったとすると、その液体が酸性であったことがわかる。この場合は、 s_2 という状況から、 s_1 という状況への情報の流れがあると考えられる。

この例について考察するために、次の3つの制約をまず、考える。

- 1) $\ll involve, (s_1 \models \ll dipped, x, y\sigma(y), l \gg),$
 $(s_2 : Turn-color(y, red, l)); 1 \gg \mid C_1(x, l).$
 $C_1(x, l) = (s_3 \models \ll acid, x, l_3; 1 \gg) \wedge$
 $(\models \ll during, l, l_3 \gg),$
 $\sigma(y) = \ll litmus-paper, y; 1 \gg,$
 $Turn-color(y, c, l) =$
 $[s \mid (s \models \ll color, y, c, ll1; 0 \gg \wedge \ll color, y, c, ll2; 1 \gg \wedge$
 $\ll meets, ll1, l \gg \wedge \ll meets, l, ll2 \gg)].$
- 2) $\ll involve, (s_1 \models \ll dipped, x, y\sigma(y), l \gg),$
 $(s_2 : Turn-color(y, blue, l)); 1 \gg \mid C_2(x, l),$
 $C_2(x, l) = (s_3 \models \ll alkaline, x, l_3; 1 \gg) \wedge$
 $(\models \ll during, l, l_3 \gg).$
- 3) $\ll involve, (s_1 \models \ll dipped, x, y\sigma(y), l \gg),$
 $(s_2 : Stay-color(y, l)); 1 \gg \mid C_3(x, l).$
 $C_3(x, l) = (s_3 \models \ll neutral, x, l_3; 1 \gg) \wedge$
 $(\models \ll during, l, l_3 \gg),$

$$\text{Stay-color}(y, l) = [s | (s \models \llbracket \text{color}, y, c, l1; 1 \rrbracket \wedge \llbracket \text{during}, l1, l \rrbracket)].$$

これらの制約によって、リトマス試験紙に液体を浸すという状況と、その液体の pH に関する情報をもつ状況とから、リトマス試験紙の色の変化についての情報を含む状況に関する情報が得られることがわかる。しかし、リトマス試験紙に液体を浸すという状況とリトマス試験紙の色の変化についての情報を含む状況から、その液体の pH に関する情報をもつ状況についての情報が得られることは、説明できない。このことを説明する方法の一つは、1)、2)、3)とは、逆方向の制約を書くことである。しかし、そのような逆方向の制約は、さらに一般的な原理から導ける。このことに関して、以下で考察する。

あるイベントが生起するとき、それによって伝えられる情報は、世界のある部分に関する情報である。イベントの意味を記述するために、世界の全体を考える必要はない。これは、状況意味論における発話の意味に関する議論と同様である。すなわち、発話は、世界についての部分的な情報を伝達するものと考えられる。ある言語表現が関与する状況は、世界に関する部分的な情報を表現しているに過ぎない。このような、言語表現や発話の意味の取扱いは、状況意味論において、顕著なものであり、それは、モンタギュー意味論が意味論全体主義に基づいていることに対比できる。こういった部分性 (partiality) の考え方は、イベントと環境の相互作用に付いて考えるときにも適用できる。

リトマス試験紙に液体を浸すというイベントは、直接的には、液体の pH に関する性質を表現する状況と、リトマス試験紙の色の変化に関する状況にのみ依存する。いま、あるイベントと環境との関係をそのイベントの意味と呼ぶことにすれば、リトマス試験紙に液体を浸すというイベントの意味は、液体の pH に関する性質を表現する状況と、リトマス試験紙の色の変化に関する状況との関係でのみ表現できる。(図3.2)

ここで、リトマス試験紙に液体を浸すというイベントと関係をもつ状況のタイプを定義する。すなわち、

$$\begin{aligned} T(x, l) &= [s | (s \models \llbracket \text{acid}, x, l3; 1 \rrbracket \wedge \llbracket \text{during}, l, l3 \rrbracket) \vee \\ &\quad (s \models \llbracket \text{acid}, x, l3; 1 \rrbracket \wedge \llbracket \text{during}, l, l3 \rrbracket) \vee \\ &\quad (s \models \llbracket \text{neutral}, x, l3; 1 \rrbracket \wedge \llbracket \text{during}, l, l3 \rrbracket)], \\ S(y, l) &= [s | (s : \text{Turn-color}(y, \text{red}, l)) \vee (s : \text{Turn-color}(y, \text{blue}, l)) \vee \\ &\quad (s : \text{Stay-color}(y, l))]. \end{aligned}$$

$D(x, \text{yo}(y), l) = [s | (s \models \llbracket \text{dipped}, x, \text{yo}(y), l \rrbracket)]$ という状況のタイプで分類できる状況は、 $T(x, l)$ で分類できる状況 s_1 と $S(y, l)$ で分類できる状況 s_2 との関係で、その意味を記述できる。 s_1 や s_2 は、互いのタイプに依存して、異なる情報内容を

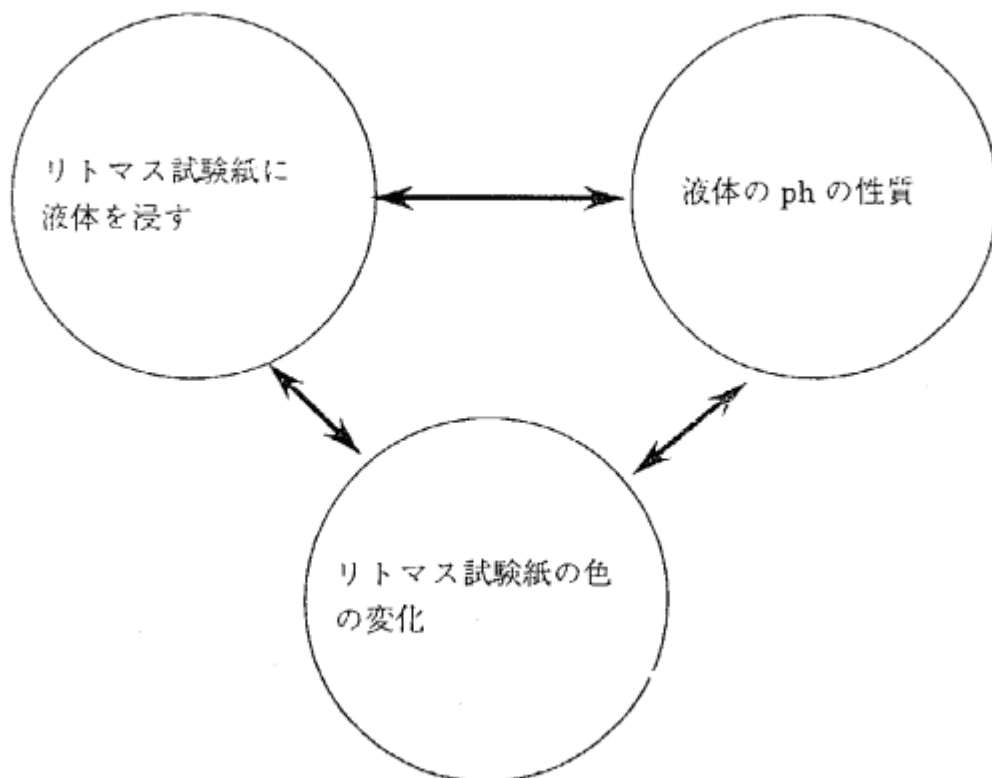


図3.2 状況間の依存関係

もつ。すなわち、 s_1 や s_2 は、互いのタイプに依存して、さらに、詳細な情報をもつタイプに分類できることになる。

ここで、タイプ $T_i(x, l)$, $S_i(y, l)$ ($i = 1, 2, 3$) を定義する。これらの状況のタイプで分類できる状況は、必ず、タイプ $T(x, l)$, $S(y, l)$ で分類できるという意味で、タイプ $T(x, l)$, $S(y, l)$ をさらに詳細にしたタイプである。

$$T_1(x, l) = [s \mid (s \models \ll acid, x, l_3; l \gg \wedge \ll during, l, l_3 \gg)].$$

$$T_2(x, l) = [s \mid (s \models \ll alkaline, x, l_3; l \gg \wedge \ll during, l, l_3 \gg)].$$

$$T_3(x, l) = [s \mid (s \models \ll neutral, x, l_3; l \gg \wedge \ll during, l, l_3 \gg)].$$

$$S_1(y, l) = [s \mid (s : \text{Turn-color}(y, red, l))].$$

$$S_2(y, l) = [s \mid (s : \text{Turn-color}(y, blue, l))].$$

$$S_3(y, l) = [s \mid (s : \text{Stay-color}(y, l))].$$

$T_1(x, l)$ と $T_2(x, l)$ と $T_3(x, l)$ は、互いに両立不能なタイプであり、 $S_1(y, l)$ と $S_2(y, l)$ と $S_3(y, l)$ に関しても同様である。 s_1 が T_1 で分類できるなら、 s_2 は、 S_1 で分類できることが言える。このとき、 S で分類できる状況で、 S_1 で分類できる状況とは両立不能な状況のタイプを考える。ここでは、それは、タイプ S_2 と S_3

である。タイプ S_2 または、 S_3 で分類できる状況を引き起こす状況を考えると、それは、タイプ T_2 または、 T_3 で分類できる状況である。ここで、タイプ T_2 または、 T_3 で分類できる状況は、タイプ T_1 で分類できる状況とは、両立不能な状況である。よって、 S で分類できる状況で、 S_1 で分類できる状況と対応するのは、 T で分類できる状況のうち、 T_1 で分類できる状況のみであることがわかった。このようにして、 s_2 がタイプ S_1 で分類できるならば、 s_1 は、タイプ T_1 で分類できることがわかる。(図3.3) これは、ちょうど、リトマス試験紙を液体に浸したとき、リトマス試験紙が赤くなったという状況から、その液体が酸性であったという状況についての情報が伝達されるということに対応している。

3.5. おわりに

本章では、状況理論に基づいたイベントの表現の枠組みについて述べた。世界においてイベントが生起する事象は、状況理論における状況として表現される。イベントが生起する状況は、世界の他の状況と依存関係をもっている。この枠組みでは、イベントと他の状況との依存関係は、状況に関する条件間の制約として、表現する。この制約を用いて、あるイベントが生起したことから、世界の他の状況についての情報が得られる。状況の間の情報の流れは、必ずしも一方向でなく、両方向性をもつものである。すなわち、ある状況が、どのようなタイプで分類できるかということは、他の状況のタイプと相互に依存している。

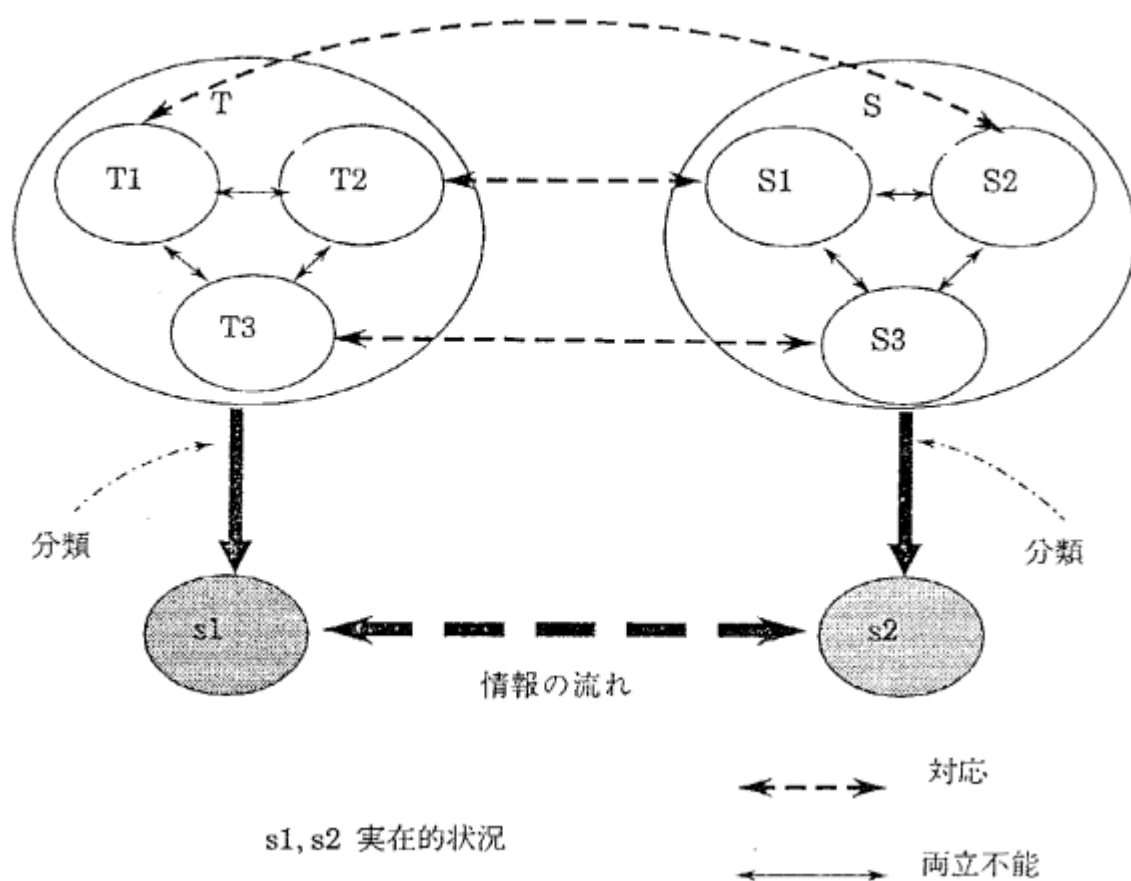


図3.3 情報の流れの両方向性

4. イベントと信念

4.1. はじめに

イベントが生起する状況と関係をもつ状況の一つとして、行為者の信念に関する状況がある。行為者は、あるイベントが生起したことから、世界についての情報を得ることができる。すなわち、行為者の信念が、あるイベントの生起した状況に関する情報をもつとき、その行為者の信念は、そのイベントの生起から帰結される状況や、環境に対しての信念をもつことになる。本章では、イベントが生起する状況と行為者の信念に関する状況との関係について考察する。

4.2. 信念の表現

状況理論において、行為者が信念をもつ状況は、次のように表現される [Barwise and Perry, 1983]。

$$\begin{aligned} &\ll Br, a, S(x), l \gg \wedge \\ &\ll of, x, b \gg. \end{aligned}$$

a は行為者を表し、 $S(x)$ は、状況のタイプ、 x は、その中に現れるパラメタである。 $\ll of, x, b \gg$ は、状況のタイプ $S(x)$ に含まれるパラメタが、実世界で、どの対象にアンカーされているかを示すもので、セッティング (setting) と呼ばれる。すなわち、行為者がある信念をもつとは、行為者と、ある状況のタイプの上に、関係 Br が成立していると表現する。行為者の信念の状態は、その状態を分類する状況のタイプと、環境との関わり方を示すセッティングの組で表現される。(図4.1) 行為者の信念を表現するために、

$$\langle S(x), F \rangle$$

という表記を用いることがある。ここで、 $S(x)$ は、信念の状態を分類する状況のタイプ、 F は、セッティングを表している。

このように、状況のタイプとセッティングを分けることにより、心的状態の表現に関する効率性をとらえることができる。さらに、行為者が、外延的には、矛盾した信念をもつ場合 [Barwise and Perry, 1983, pp.261-262] や、視点状態 (attentional state) を含む信念の状態を、表現することができる。 [Barwise and Perry, 1983, pp.84-88]

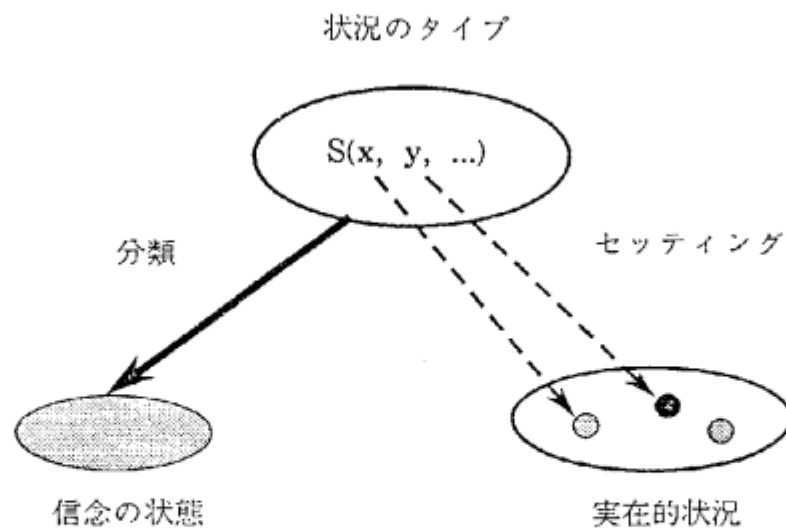


図4.1 信念状態の表現

4.3. 信念の帰属

この節では、行為者がどのような信念内容をもっているか、すなわち、行為者の信念の帰属について考察する。行為者がどのような信念をもっているかは、その信念の帰属の報告者の環境に依存している。そのような心的状態を取り囲む環境は、セッティングという道具立てで記述できる。そして、信念の帰属の報告者を取り囲む環境によって、どんな信念が帰属されるかは、変化するけれども、行為者の信念の状態は、不変な物として存在するはずである。これが、信念の状態を分類する状況のタイプである。

状況理論の信念の表現の枠組みでは、行為者が信念をもつ状況を、行為者が外界に対するある表象をもつという見方では、とらえない。行為者の信念は、表象として記述できるものではなく、ある状況のタイプで分類できるに過ぎない。すなわち、行為者の信念の状態は、状況のタイプで分類され、信念の内容は、それだけでは、決まらない。行為者が、どのような信念内容を帰属されるかは、環境に依存して決まるのである。このように、状況理論における信念の表現の枠組みは、心的状況の文脈依存性[土屋、1986]をうまくとらえていると言える。

行為者の信念の状態が、タイプによって分類されるのは、実在的状况が、タイプによって分類できることに対比できる。今、ある行為者の信念が、状況のタ

イプ $S(x)$ とセッティング F の組 $\langle S(x), F \rangle$ で表現されたとする。このとき、その信念の内容は、 F によって、 $S(x)$ のパラメタ x に値を代入した結果に得られる状況のタイプである。

さらに、信念の状態を分類する状況のタイプのパラメタが条件付パラメタであるときを考察する。ある行為者の信念が、 $\langle S(xC(x)), F \rangle$ で表される時を考える。ここで、 $C(x) = (s: T(x))$ とする。このときは、さらに、 $\langle T(x), F_1 \rangle$ で表現できる信念をその行為者がもっていることが帰結される。セッティング F_1 は、セッティング F を C に現れるパラメタだけに制限したものである。

例えば、ある行為者の信念の状態が、プリンタが稼働中であるという条件の下でファイルをそのプリンタに出力するというイベントが生起しているという状況のタイプで分類できるとする。さらに、プリンタを対象 $printer$ に、ファイルを対象 $file$ に対応づけるセッティングを与える。このとき、その行為者の信念は、次のように表される。なお、時間に関するパラメタは省略している。

$$\begin{aligned} &\langle S(p^C(p), f), F \rangle, \\ &F: \quad \ll of, p, printer \gg \wedge \\ &\quad \ll of, f, file \gg, \\ &S(p, f) = [s \mid (s \models \ll print-out, f, p; 1 \gg \wedge \ll file, f; 1 \gg \wedge \\ &\quad \ll printer, p; 1 \gg)], \\ &C(p) = (s1 \models \ll printer, p; 1 \gg \wedge \ll online, p; 1 \gg). \end{aligned}$$

このとき、この行為者は、次の信念ももっていることが帰結される。

$$\begin{aligned} &\langle T(p), F_1 \rangle, \\ &T(p) = [s \mid (s \models \ll printer, p; 1 \gg \wedge \ll online, p; 1 \gg)], \\ &F_1 = \ll of, p, printer \gg. \end{aligned}$$

また、この逆も成立する。すなわち、行為者が、 $\langle S(x), F_1 \rangle, \langle T(y), F_2 \rangle$ で、それぞれ表現される信念をもつとき、 F_1 において x に割当てられている値と、 F_2 において y に割当てられている値とが等しいなら、 $\langle S(xC(x)), F \rangle$ で表現される信念をもつことが帰結される。ただし、 $C(x) = (s: T(x))$ であり、 F は、 F_1 におけるパラメタへの値の割当てと、 F_2 における y を除いたパラメタへの値の割当てから成るセッティングである。

4.4. 外的状況と信念

この節では、行為者が、世界におけるイベントが生起する外的状況に関する信念をもつとき、さらに世界の他の状況についてのどのような信念をもつことになるかについて考察する。

行為者は、世界のあり方についての制約に対して、信念をもつことができる。行為者が、制約についての信念をもつ状況は、次のように表される。

$$\textcircled{1} \ll Br, a, [s \mid (s \models \ll \text{involve}, C_1(x), C_2(x); 1 \gg)]; 1 \gg.$$

$$C_1(x) = (s1 : T_1(x)),$$

$$C_2(x) = (s2 : T_2(x)).$$

このような制約に関する信念を表現することにより、行為者が、外界のイベントの生起に関する情報から、外界の別の状況に関する情報を得ることをモデル化することができる。言い換えれば、行為者の信念が、このような制約を含む状況のタイプで分類されることにより、ある状況のタイプで分類できる行為者の信念の状態が、世界に関する別の状況に関する情報内容を含むことが言える。

ここで、 $\textcircled{1}$ が事実的であって、行為者 a がさらに次の信念 $\textcircled{2}$ をもつなら、

$$\textcircled{2} \langle S_1(x), F_1 \rangle,$$

$$\text{ただし、} S_1(x) = [s \mid (s : T_1(x))],$$

次の信念 $\textcircled{3}$ をもつことになる。

$$\textcircled{3} \langle S_2(x), F_1 \rangle,$$

$$\text{ただし、} S_2(x) = [s \mid (s : T_2(x))].$$

この様子を図4.2に示す。

ここで、例を用いて、制約を知ることにより、行為者の信念に関する情報内容が、どのように変化するかを考察する。ここで、考える例は、3.4. で考察したリトマス試験紙に液体を浸すイベントに関する状況である。今、行為者が、次のように、制約に関する信念を持っているとする。

$$\models \ll Br, a, [s \mid (s \models \text{Litmus-Cons})]; 1 \gg,$$

$$\text{Litmus-Cons} =$$

$$\ll \text{involve}, (s1 : \text{Dipped}(xC(x, l), yO(y) \wedge C(x, l), IC(x, l)),$$

$$(s2 : \text{Turn-color}(y, \text{red}, l)); 1 \gg.$$

$$\text{Dipped}(x, y, l) = [s \mid (s \models \ll \text{dipped}, x, y, l; 1 \gg)].$$

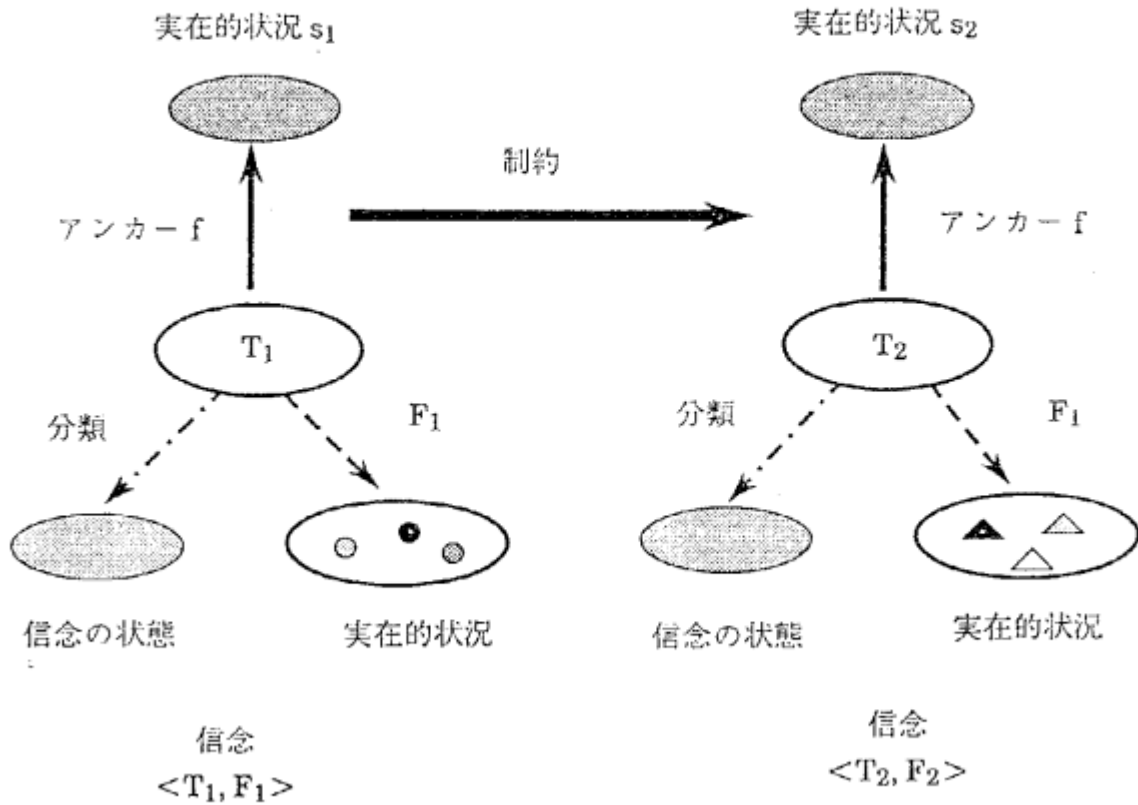


図4.2 制約による新たな信念内容の帰属

$\text{Turn-color}(y, c, l) =$
 $[s \mid (s \models \llbracket \text{color}, y, c, l1; 0 \rrbracket \wedge \llbracket \text{color}, y, c, l2; 1 \rrbracket \wedge$
 $\llbracket \text{meets}, l1, l \rrbracket \wedge \llbracket \text{meets}, l, l2 \rrbracket))].$
 $C(x, l) = (s_3 : [s \mid (s \models \llbracket \text{acid}, x, l_3; 1 \rrbracket \wedge \llbracket \text{during}, l, l_3 \rrbracket))].$
 $\sigma(y) = \llbracket \text{litmus-paper}, y; 1 \rrbracket.$

このとき、行為者 a が、液体は酸性であると信じているとする。すなわち、行為者は、次の信念をもつとする。

$\langle T(x, l), F_1 \rangle,$
 $T(x, l) = [s \mid (s \models \llbracket \text{acid}, x, l; 1 \rrbracket)],$
 $F = \llbracket \text{of}, x, \text{liquid} \rrbracket \wedge \llbracket \text{of}, l, \text{l-acid} \rrbracket.$

さらに、時間 l -acid の最中である時間 l -dipped において、液体 liquid にリトマス試験紙 litmus を浸すというイベントが生起したという信念をもつとする。すなわち、

$$\begin{aligned}
&\langle \text{Dipped}(x, y\sigma(y), l), F_2 \rangle, \\
&F_2 = \llbracket of, x, liquid \rrbracket \wedge \llbracket of, l, l-dipped \rrbracket \wedge \llbracket of, y, litmus \rrbracket. \\
&\langle \{s \mid (s \models \llbracket during, l_1, l_2 \rrbracket))\}, F_3 \rangle, \\
&F_3 = \llbracket of, l_1, l-dipped \rrbracket \wedge \llbracket of, l_2, l-acid \rrbracket. \\
&\langle \{s \mid (s \models \llbracket litmus-paper, x \rrbracket))\}, F_4 \rangle, \\
&F_4 = \llbracket of, x, litmus \rrbracket.
\end{aligned}$$

以上から、行為者は、次の信念をもつことがわかる。

$$\begin{aligned}
&\langle \text{Dipped}(xC(x, l), y\sigma(y) \wedge C(x, l), lC(x, l)), F_5 \rangle, \\
&F_5 = \llbracket of, x, liquid \rrbracket \wedge \llbracket of, y, litmus \rrbracket \wedge \llbracket of, l, l-dipped \rrbracket.
\end{aligned}$$

以上の外的な状況に関する信念と、制約に関する信念とから、行為者は、リトマス試験紙 *litmus* の色が赤くなるであろうという信念をもつことになる。すなわち、

$$\begin{aligned}
&\langle \text{Turn-color}(x, red, l), F_6 \rangle, \\
&F_6 = \llbracket of, x, litmus \rrbracket \wedge \llbracket of, l, l-dipped \rrbracket.
\end{aligned}$$

このようにして、行為者が外界の制約に関する信念をもつことによって、世界に関する部分的な信念から、新たな状況に関する信念をもつに至ることがモデル化できた。また、3.4 で述べたように、リトマス試験紙に液体を浸すという状況に関する信念と、リトマス試験紙が赤くなったという状況に関する信念から、その液体が酸性であったという状況に関する信念をもつに至ることも、同様にしてモデル化できる。

4.5. おわりに

本章では、行為者の信念と、外的な状況との関係について考察した。行為者が外界の制約についての信念をもっているなら、その信念状態が、その制約に従って、どのような情報内容をもつに至るかを、状況理論の枠組みに従って明らかにした。次章においては、この結果をふまえ、行為の表現の枠組みについて考察する。

5. 行為の表現の枠組み

5.1. はじめに

本章では、行為が生起する状況と他の状況との関係について考察する。特に、行為が生起する状況と、行為者の信念に関する状況、行為者の意図に関する状況の相互関係について考察する。

行為者は、意図をもって、あるイベントを引き起こすことによって、望む世界の状況を実現させたり、望む世界の状況を持続させたり、望まない世界の状況を避けたりすることができる。行為者が、意図をもってイベントを引き起こすことを行為と呼ぶ。行為者が行為を遂行する状況は、外的な他の状況と依存しているのみならず、その行為者の意図や信念に関する状況や、他の行為者の意図や信念に関する状況との関係を考える必要がある。

状況計算 (situation calculus) や、Moore の可能世界意味論に基づく行為の理論 [Moore, 1985] の枠組みでは、行為は、世界を変化させるものとして考えられている。しかし、Allen [Allen, 1984] の指摘にあるように、行為は、世界の状況を変化させるものとは限らない。そのような行為は、行為者の信念や意図と関連づけてしか記述できない。

また、話し手の発話は、一つの行為と考えることができる [Austin, 1962]。発話行為は、聞き手の心的状態に影響を及ぼすことが意図された行為である。このような観点に基づいて、発話行為の計算機モデルに関する研究も幾つか成されている [Perrault and Allen, 1980; Cohen and Levesque, 1987]。また、対話を通じて、対話の参加者が協調的に振る舞うためには、互いの意図や信念を認識する必要がある [Pollack, 1987]。このように、理論的な見地からも、応用上の観点からも、行為者の信念や意図と関連づけた行為の表現の枠組みが必要となる。

5.2. 行為とイベント

ここでは、イベントと関連づけて、行為が生起する状況を定義することを試みる。行為とは、行為者が意図的にある状況を引き起こしたとき、行為者は、その状況を引き起こす行為を遂行したと言われる。例えば、ある行為者 x が、場所 a から b に移動するという状況を行為者 a が引き起こすとき、彼は a から b に行くという行為を遂行したと言われる。引き起こされる状況は、動的なものとは、

限らない。例えば、誰かに会うために、ある場所で待っているという静的な状況も行為と考えてよい。

行為は、 $\llbracket \text{cause}, a, (s : S(x, y, \dots)), l; 1 \rrbracket$ という事態で表現する。a は行為者、l は、行為が生起する時空位置を表す。 $(s : S(x, y, \dots))$ は命題であり、行為者は、この命題を真にするという行為を遂行すると考える。すなわち、行為者 a は、時空位置 l において、タイプ $S(x, y, \dots)$ で分類される状況を引き起こす。このことは、次の制約で表現される。

$$\llbracket \text{involve}, (s_1 \models \llbracket \text{cause}, a, (s_2 : S(x, y, \dots)), l; 1 \rrbracket), (s_2 : S(x, y, \dots)); 1 \rrbracket.$$

さらに、行為を表現する複合的關係(タイプ) H を、次のように、定義することができる。

$$H = [a, x, y, \dots, l \mid \llbracket \text{cause}, a, (s : S(x, y, \dots)), l; 1 \rrbracket].$$

ここで、 $\llbracket \text{cause}, a, (s : S(x, y, \dots)), l; 1 \rrbracket$ は、あるアンカーが与えられたとき、時空位置 l において、行為者 a がパラメタ化命題 $(s : S(x, y, \dots))$ を、真にするということを表現している。すなわち、行為者 a がタイプ $S(x, y, \dots)$ である状況 s を引き起こすというパラメタ化事態を表現している。このパラメタ化事態から構成される複合的タイプ H には、パラメタ a, x, y, ... に対応する引数位置が付随している。特に、パラメタ a に対応する引数位置は、この行為の行為者が割当てられる引数位置である。今、ある実在的状況 s があって、

$$s \models H(a, x, y, \dots)$$

が成立しているなら、

$$s \models \llbracket \text{cause}, a, (s : S(x, y, \dots)); 1 \rrbracket$$

も成立する。さらに、先に述べたように、行為が遂行されたなら、それが直接に引き起こす状況も実在するようになるから、

$$(s : S(x, y, \dots))$$

も成立する。すなわち、タイプが、 $S(x, y, \dots)$ であるような実在的状況が実在するようになる。

ここで、行為者が、ある場所に行くという行為 go を定義する。

$go = [a, x, y, l \mid \ll cause, a, (s : S(a, x, y, l)), l; 1 \gg],$
 ただし、 $S(a, x, y, l) = [s \mid (s \models \ll move, a, x, y, l; 1 \gg)].$

関係 go は、パラメタ a, x, y, l に対応して、行為者、起点、目標、行為が生起した時空位置を表す引数位置をもっている。

5.3. 行為と信念

行為者は、行為を行うことにより、その行為が生起したことを知る。また、行為が生起した状況に関する信念や知識をもつことにより、世界における他の状況に関する情報についての信念や知識をもつことになる。本節では、こういった行為と行為者の信念の関係についての表現の枠組みについて考察する。

まず、行為 $o(a, x, y, ..., l)$ を遂行することにより、行為者は、その行為が生起したという信念をもつということは、次のように表現できる。

$\ll involve, (s_1 \models o(a, x, y, ..., l)),$
 $(s_2 \models \ll Br, a, [s \mid s \models o(a, x_1, y_1, ..., l_1)], l_2; 1 \gg \wedge$
 $\ll of, x_1, x \gg \wedge \ll of, y_1, y \gg \wedge ...) ; 1 \gg).$

ただし、 $\tau = \ll starts, l, l_2 \gg.$

すなわち、行為者は、行為を遂行することによって、行為が生起したということに関する信念をもつことができる。

行為が生起すればそれが直接引き起こすイベントも生起するという 5.2 で述べた制約についての信念を行為者がもつことにより、行為者は、行為を遂行することによって、行為が引き起こすイベントが起こったという信念をもつことになる。

このように、行為が生起することにより、行為者は、行為が生起した状況に関する信念をもつ。ひいては、行為が引き起こすイベントが生起した状況に関する信念をもつことになる。第四章で述べたように、行為者が、そのイベントが生起する状況のタイプと、そのイベントの結果生じることになる状況のタイプや、そのイベントの生起の際の環境となる状況のタイプとの間の制約に対する信念をもっているなら、その行為者が、行為の帰結となるような状況や環境を構成する状況についての情報をもつことがモデル化できることがわかる。

Moore は、その行為と知識の理論 [Moore, 1985] で、行為者が行為を遂行することにより、行為が生起したという事実、行為の帰結、さらに、行為が生起したときの世界の状態について知ることになることをモデル化している。ここで、

示した状況理論に基づく行為の表現の枠組みでも、同様のことがモデル化できることがわかった。

しかし、Moore の枠組みで言うところの、可能世界とは、あり得るべき世界の一つの状態を表現したものであり、そこにおいて成立していることは、すべて陽に厳密に定義されていなければならない。そして、可能世界意味論に基づく Moore の枠組みでは、そのすべての可能世界に関連づけて行為や知識の意味を記述しなければならない。このことは、Moore の枠組みでは、行為や行為者の心的な状態が、世界の部分的な情報にのみ依存しているということをモデル化できないことを示している。状況理論は、このような部分性を扱うことに適しており、ここで示した状況理論に基づく行為の表現の枠組みが、今後、部分性に関する我々の直感を素直にモデル化することのできる表現の枠組みに、発展して行くことが期待できる。

5.4. 行為と意図

この節では、意図の表現の枠組みと行為と意図の関係について考察する。行為者は、意図をもって行為を遂行する。行為者は、ある世界の状況が未来に実現することを望む。行為者が、未来に実現して欲しいと望む世界の状況を目標と呼ぶ。Cohen の分析 [Cohen and Levesque, 1987a] によれば、意図とは、行為者が、それが世界に実現したと信じるか、また、それが決して実現することはないと信じるまで持ち続ける目標である。このような性質をもつ目標は、持続的目標 (persistent goal) と呼ばれる [Cohen and Levesque, 1987a]。行為者が意図をもつとは、行為者が、未来において実現して欲しい世界のあり方を選択することである。そして、行為者は、その世界のあり方が実現するまで、決してその意図の達成をあきらめない。この節では、意図の表現の枠組みと、行為と意図との関係について考察する。

行為者 a が意図をもつことを次のように表現する。

$$\ll PGr, a, S, l \gg \wedge F.$$

ここで、 l は、行為者が意図をもっている時空位置であり、 S は、行為者が、未来において実現することを選択した状況のタイプである。信念の表現と同様に、 F は、 S に含まれるパラメタが、実世界のどの対象に対応しているかを示すセッティングである。

行為が生起するとき、行為者は、その行為が生起する状況を意図としてもつ。すなわち、行為 σ について、次の制約が成立する。

$$\begin{aligned} &\ll \text{involve}, (s_1 \models \sigma(x, y, \dots, l)), \\ &\quad (s_2 \models \ll PGr, a, [s \models \sigma(x_1, y_1, \dots, l_1)], l_{PGr}; 1 \gg \wedge \\ &\quad \quad \ll \text{of}, x_1, x \gg \wedge \ll \text{of}, y_1, y \gg \wedge \ll \text{of}, l_1, l \gg) \quad ; 1 \gg., \end{aligned}$$

ただし、 $\tau = \ll \text{during}, l, l_{PGr} \gg$ 。

次に、行為者が、ある意図をもつとき、すなわち、未来において、実現することを望む状況を選択するとき、その行為者は、さらにどのような意図をもつことになるかについて考察する。このために、意図を表現するための二つの新たな関係を導入する。

行為者は、ある意図をもつとき、すなわち、未来において実現することを望む状況を選択するとき、その状況を実現するために、その状況を引き起こす状況を意図してもつ。例えば、行為者は、ある状況が実現することを望むなら、その状況を引き起こす行為を行うことを意図する。言い換えれば、未来の世界において、白らが行為を遂行するという状況を選択する。さらに、ある状況を実現させることにより、別の状況を引き起こすことを意図としてもつとき、そのことが成立するための環境条件を実現させようと意図する。

ある状況 S_1 がある状況 S_2 を引き起こすとき、 S_1 が、 S_2 を生成する (generate) という。また、状況 S_1 が、状況 S_2 を生成するとき、環境となる状況 S_3 が必要なとき、 S_3 は、 S_1 が S_2 を生成することを可能にする (enable) という。これらの概念は、Goldmanの用語法 [Goldman, 1970] によっている。

この2つの複合的な意図を次のように表現する。

$$\begin{aligned} &\ll PGr, a, [s \models \ll \text{generate}, S_1, S_2 \gg], l, ; 1 \gg \wedge F. \\ &\ll PGr, a, [s \models \ll \text{enable}, S_3, \\ &\quad [s \models \ll \text{generate}, S_1, S_2 \gg]] \gg], l, ; 1 \gg \wedge F. \end{aligned}$$

行為者の意図は、一般の状況のタイプと、この *generate* と *enable* という関係が成立している状況のタイプで分類される。行為者が、意図をもつとき、選択した状況を実現するために、その状況を生成するある別の状況を実現する意図をもち、また、その生成関係を成立させるために必要となる環境を実現しようとする意図をもつ。これは、一連のプランニングの過程ととらえることができる。状況理論に基づく本枠組みでは、この過程を行為者の意図があるタイプに分類できるとき、その行為者の意図が、さらにどんな別のタイプで分類できるかという観点でとらえる。

今、行為者が、イベントや行為が生起する状況のタイプに関する制約について、信念をもっているとする。すなわち、

$$\ll Br, a, [s \mid (s \models \ll involve, (s_1 : S_1(x^{C(x)}), (s_2 : S_2(x))); 1 \gg)]; 1 \gg, \\ C(x) = (s_3 : S_3(x)).$$

さらに、行為者 a が次のように、意図をもっているとする。

$$\ll PGr, a, [s \mid (s : S_2(x))]; 1 \gg \wedge F$$

このとき、行為者は、 $S_1(x)$ のタイプで分類できる意図と、 $S_1(x)$ のタイプで分類できる状況が、 $S_2(x)$ のタイプで分類できる状況を生成するという状況のタイプで分類できる意図をもつことがあり得る。すなわち、

$$\ll PGr, a, [s \mid (s : S_1(x))]; 1 \gg \wedge F \\ \ll PGr, a, [s \mid (s \models \ll generate, S_1(x), S_2(x) \gg)]; 1 \gg \wedge F.$$

さらに、 $S_1(x)$ のタイプで分類できる状況が、 $S_2(x)$ のタイプで分類できる状況を生成することを可能とする状況のタイプ $S_3(x)$ で分類できる意図と、その可能関係が成立する状況のタイプで分類できる意図をもつことがあり得る。

$$\ll PGr, a, [s \mid (s : S_3(x))]; 1 \gg \wedge F. \\ \ll PGr, a, [s \mid (s \models \ll enable, S_3(x), \\ [s \mid (s \models \ll generate, S_1(x), S_2(x) \gg)]; 1 \gg)]; 1 \gg \wedge F.$$

このように、行為者の意図に関する状況があるタイプに分類できるとき、その行為者の信念のタイプに依存して、その行為者の意図に関する状況は、さらに別のタイプで分類できることがわかる。すなわち、行為者の意図に関する状況のタイプと、イベントや行為の制約に関する信念のタイプは、相互関係をもっており、その制約から、意図に関する状況の情報内容をさらに得ることができる。しかし、ある意図を実現するために必要な状況は、一つとは限らないから、この制約は、必然的に適用されるものではない。ある行為者の信念と意図に関する状況があるタイプで分類できても、それから、意図の状況がどのような情報内容を持つことには、あいまいさがある。こういった蓋然性をもった制約の取扱いは、今後の課題である。

5.5. おわりに

本章では、行為の表現の枠組みについて述べた。行為は、行為者が、意図的にあるイベントを引き起こすものとして記述される。また、行為者は、行為を遂行することにより、その行為が生起した状況や、行為の結果において引き起こされ

る状況、さらに、行為が生起の際の環境に関する信念をもつことがモデル化できた。このように、Mooreによる行為と知識の理論[Moore, 1985]で示された行為と知識の相互作用は、本枠組みでもモデル化できることがわかる。さらに、Mooreの枠組みでは、扱えない部分性の問題を、状況理論に基づく本枠組みはうまくモデル化できる可能性がある。

さらに、行為と意図の関係、意図と信念の関係について述べた。特に、行為者の信念に関する状況のタイプと、意図に関する状況のタイプの間の制約から、意図に関する状況の情報内容をさらに得ることができること示した。しかし、この制約は、必然的なものではなく、このような性質をもつ制約の表現と推論法の開発は、今後の課題である。

6. 発話行為の理論への展望

本章では、イベントと行為の理論の発話行為の理論への適用について展望する。さらに、発話行為の理論の応用として、ユーザとシステムが対話を通じて協調的に問題解決を行うという対話システムについて述べる。

発話行為は、聞き手の信念や知識、意図といったものに影響を及ぼす行為であると考えられる。よって、発話行為の理論を行為の理論に基づいて構築することが考えられる。(図6.1)

発話行為が生起する状況は、談話状況、話し手の信念や意図に関する情報を含む状況、聞き手の信念や意図に関する情報を含む状況、話し手と聞き手の相互信念 (mutual belief) に関する情報を含む状況、発話によって記述される状況、参照表現がどの対象を指示するのかに関する情報を含む指示状況などの状況と関係をもつ。こういった状況のタイプの間の関係を制約として記述することにより、発話の意味を表現できる。

発話行為の理論は、コミュニケーションの理論や対話のモデルと直結している。コミュニケーションの理論や対話のモデルは、聞き手の発話行為が、それを取り囲む状況、とりわけ、話し手や聞き手の信念や意図に関する情報内容を含む状況のタイプとどのような相互関係をもっているかを説明するものである。このようなモデルは、話し手の発話から、話し手の信念や意図に関する情報内容を得たり、話し手の発話によって、聞き手の信念や意図がどのように変化するかを

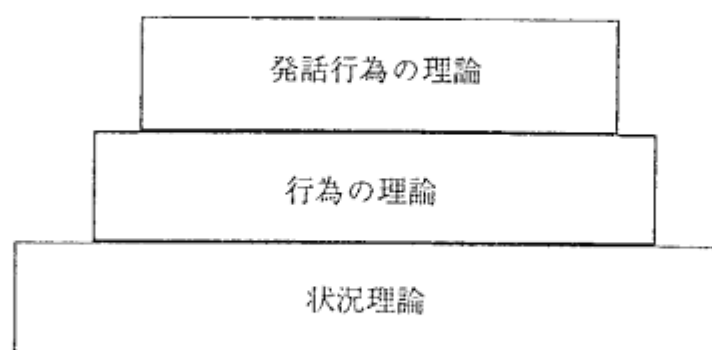


図6.1. 発話行為の理論の位置づけ

説明したり、聞き手がある信念や意図をもつようになるためには、話し手は、どんな発話行為を遂行するのが適切かを説明するために役立てることができる。

こういった対話のモデルは、ユーザの信念や意図を理解することによって、ユーザと協調的に問題解決を進めたり、ユーザの問題解決の援助を行うことのできる対話システムを設計するときの基盤モデルとなる。例えば、次のユーザとシステムの対話例においては、システムが、ユーザの信念と意図を理解することによって、ユーザの誤った信念を訂正している。その結果、システムは、ユーザの問題解決に対して協調的に振る舞うことができている。

対話例

- ① ユーザ: 「ファイルをプリンタに出力したい。」
- ② システム: 「lpr ファイル名 というコマンドを使えば、うまくいくよ。」
- ③ ユーザ: 「ありがとう。
ところで、プリンタ室の鍵は、どこにありますか?」
- ④ システム: 「プリンタ室の鍵は、僕が持っているけれど、
プリンタ室は、今、鍵がかかっていないと思うよ。」
- ⑤ ユーザ: 「ありがとう。」

この例では、ユーザは、プリンタ室に行くという意図と、プリンタ室は、鍵がかかっているという信念をもっており、そのために、プリンタ室の鍵の場所を知るという意図をもっている。このとき、システムは、プリンタ室は、今、鍵がかかっていないということを知っているなら、ユーザの信念の誤りを訂正しなければならない。この対話では、①から③までの対話によって、システムは、こういったユーザの信念と意図を理解する必要がある。

Allen によるプラン認識の研究 [Allen, 1980] が端緒となって、ユーザとの対話から、ユーザの意図を理解すること、すなわち、ユーザのもつプランを推論・認識することに関する研究や、ユーザのプランを認識することによって、対話の流れの首尾一貫性や、対話の中に起きる省略表現などの説明に役立てようとする研究が進められてきている [Carberry, 1985; Litman, 1986a; Litman, 1986b; Litman and Allen, 1987]。しかし、これらの枠組みでは、話し手と聞き手(ユーザとシステム)の信念が同じものであるという仮定をおいている。すなわち、話し手の信念の存在が無視されている。

しかし、先程の対話例に見られるように、話し手の信念を考慮に入れなければ、協調的な応答は行えない。Pollack [Pollack, 1987] は、話し手の信念と、聞き

手の信念が異なるときのプランの表現を示した。しかし、Pollack の枠組みは、プランの構造を、非常な単純なものに制限している。本稿で示した行為の表現の枠組みは、話し手の発話と信念と意図の関係を表現するためのさらに適用範囲の広いモデルの構築に役立てることができる。

また、対話のモデルにおいては、対話を通して一つの話題に関してのみ、発話が行われるのではなくて、複数の話題が展開されることが普通である。このような話題の構造をモデル化するためには、どの話題に視点が向けられているのかをモデル化し、話題の切り替わりと言語現象との関係を明らかにする必要がある [Grosz and Sidner, 1986; Litman and Allen, 1987]。

7. 今後の課題

今後の研究の課題および展開として、次の三項目を考えている。

1. モデル理論の構築

本稿では、特に、行為とイベントの表現の枠組みについて考察した。次に、このような表現の意味を定義するモデル理論が必要となる。Moore による行為と知識の理論では、可能世界意味論に基づくモデル理論を与えている。そのモデル理論では、世界のすべての可能な状態を数え上げる必要がある。さらに、それぞれの可能世界において成立していることをすべて、厳密に定義しておかなければならない。Moore の枠組みでは、このすべての可能世界と関連づけて、行為やイベントに関する表現のモデルを与えることになる。しかし、すべての可能世界を数え上げることは、實際上、不可能であり、また、行為や心的な状態は、世界についての部分的な情報を伝えるという性質をモデル化できないという欠点をもっている。可能世界意味論は、必ずしも部分性をもったモデルと相入れないものではないが、Moore の取り扱い方では、うまく部分性をモデル化できない。このような部分性をうまく扱えるモデル理論の構築は、今後の課題である。状況理論は、現状においては、このような部分性を取り扱うことに関して、まだ直感的な説明にたよっている。

さらに、可能世界意味論に基づく信念や知識に関する枠組みは、帰結の閉包性 (consequential closure) や論理的全知 (logical omniscience) といった好ましくない性質をもっている。すなわち、今までの可能世界意味論に基づく信念や知識の枠組みでは、行為者は、すべての恒真な命題を知っており、自らがもっている知識や信念から論理的に帰結されるすべての結果をすでに知っているという性質をもってしまう。実際の行為者は、推論に用いる資源の有限性から、このような性質はもっていない。こういった好ましくない性質を克服するための知識や信念のモデルに関する研究も幾つか成されている [Levesque, 1984; Fagin and Halpern, 1988]。帰結の閉包性という性質もまた、部分性の問題と深く関わっている。つまり、可能世界とは、ある世界の可能な状態についての厳密な記述でなければならない。そして、可能世界意味論に基づく枠組みでは、信念は、可能世界の集合と同一視される。行為者は、信念と対応する可能世界の集合に属するすべての可能世界において真となる命題を信じているというようにモデル化される。それぞれの可能世界は、そこで成立することは、すべて記述されてお

り、論理的帰結に関して閉じている。結果として、行為者は、自らの信念から帰結されるものをすべて知っているということになってしまう。

状況理論における状況は、そこで成立するすべての事態が与えられている必要はない。状況は、ある状況のタイプで分類され、世界におけるある部分の情報のみをもっている。このように、状況理論は、論理的全知といった好ましくない性質をもたない信念や知識の枠組みの基礎として、有効である。状況理論における部分性の取り扱い方に基づきながら、帰結の閉包性という性質をもたないような信念や知識の理論の構築は、今後の課題である。

2. 状況の情報内容を得るための推論方式の確立

実在的状況は、状況のタイプによって分類され、状況のタイプの間の制約によって、それぞれの状況の情報内容を得ることができる。こういった制約による状況の情報内容に関する推論方式の確立は、今後の課題である。制約は、必ずしも必然的に適用されるものとは限らない。すなわち、蓋然的な性質をもった制約をも取り扱うことのできる推論方式が必要である。

3. 発話行為の理論への応用

本稿で述べた行為とイベントの理論を発話行為の理論へ適用することは、今後の課題である。すなわち、発話の意味を、発話行為が生起する状況のタイプと、話し手の信念や意図に関する情報をもった状況のタイプ、聞き手の信念や意図に関する情報をもった状況のタイプ、話し手と聞き手の相互信念 (mutual belief) に関する情報をもった状況のタイプなどの状況のタイプの間の制約として表現する。

このような発話行為の理論は、対話を通じて協調的に振る舞う行為者の設計に役立てることができる。こういった対話を通じて協調的に振る舞う行為者のモデルは、ユーザのもつ信念や意図を理解することによって、ユーザの問題解決に対して有効な情報を与えたり、ユーザと協力しながら、あるタスクを達成するような対話システムの実現のために必須のものである。

8. おわりに

本稿では、状況理論に基づくイベントと行為の理論について予備的な考察を行った。特に、本稿では、状況理論に基づくイベントと行為の表現の枠組みを示した。ここで与えられた表現の枠組みは、不完全なものであるが、次の特徴を持っている。

1. 制約に基づいたイベントの表現の枠組み

イベントが生起する状況と他の状況の間の関係を制約を用いて記述した。イベントが生起する状況をはじめ、世界を構成する状況は、タイプによって分類される。それぞれの状況のもつ情報内容は、他の状況のタイプに依存している。このようにイベントが生起した状況から、そのイベントの結果生じる状況や、イベントの生起の際の環境についての情報内容を得ることができる。

2. 状況計算の欠点を補うことのできるイベントの表現の枠組み

イベントが生起する状況やそれを取り囲む他の状況は、世界の瞬時のスナップショットではなく、時空間に広がりをもった実在である。このようにして、状況計算の枠組みがもつ欠点を補うことができる。すなわち、時間的に重なり合う状況の間の関係を記述することができる。

3. イベントが生起する状況と行為者の信念との関係の説明

行為者の信念に世界に関する制約が含まれるとき、行為者が、あるイベントが生起した状況に関する信念から他の状況に関する信念をもつことができることをモデル化した。

4. 行為が生起する状況と行為者の信念や意図との関係の説明

行為が生起する状況と行為者の信念と意図に関する情報を含む状況との相互作用についての表現の枠組みを示した。行為者は、行為を遂行することによって、行為によって生じた状況に関する信念や、行為が生起する際の環境に関する信念をもつことができることをモデル化した。このように、Moore の理論 [Moore, 1985] で展開された行為と行為者の知識の相互作用は、本枠組みでもモデル化できることがわかった。Moore の枠組みでは、心的な状況は、世界についての部分的な情報を含むに過ぎないということをモデル化できない。状況理論は、このよう

な部分性をとらえることに適しており、今後、Moore の枠組みの欠点を補うモデルへの発展が期待できる。

さらに、行為者の信念に関する状況のタイプと、意図に関する状況のタイプの間の制約から、さらに意図に関する状況の別の情報内容が得られることを示した。しかし、この制約は、必然的に適用できる制約ではない。こういった蓋然的な制約の表現法と推論方式の開発は、今後の課題である。

今後は、本稿で行った考察をふまえて、さらに確固たるイベントと行為の理論の構築を進めて行く。

また、表現の意味を定義するモデル理論の確立、制約に基づく状況の情報内容に関する推論方式の開発、イベントと行為の理論の発話行為の理論への適用といった課題にも取り組んで行く。

謝辞

本研究は、筆者が、ICOT第二研究室で研修中に行った研究をその基礎としている。そこで、まず、研修中様々な助言をして頂いたICOT第二研究室の皆様に、感謝しなければならないと思う。特に、ICOT第二研究室の向井研究員の示唆に富んだ助言と励ましがなかったら、この未完成の仕事さえ、成し得なかったことと思う。ここに、向井研究員に対して最大級の謝意を表明したい。

最後に、筆者がICOTでの研修を終えた後も、本研究を遂行する機会を与えてくれたNTTヒューマンインタフェース研究所の慧眼に対して、感謝したいと思う。

参考文献

- Allen, James F. and Perrault, C. Raymond (1980). "Analyzing intention in utterances." *Artificial Intelligence*, 15, 1980, 143-178.
- Allen, James F. (1984). "Towards a general theory of action and time." *Artificial Intelligence*, 23, 1984, 123-154.
- Austin, John L. (1962). *How to Do Things with Words*. London: The Oxford University Press, 1962. (坂本百大訳. 言語と行為. 大修館書店, 1978.)
- Barwise, Jon and Perry, John (1983). *Situations and Attitudes*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press / Bradford Books, 1983.
- Barwise, Jon (1987). "Recent developments in situation semantics." (includes Situation theory reference manual), in: Makoto Nagao (Ed.) *Proceedings of an International Symposium on Language and Artificial Intelligence at Kyoto, Japan*, Amsterdam: North-Holland, 1987, 387-399.
- Carberry, Sandra (1985). "A pragmatics-based approach to understanding intersentential ellipsis." in: *Proceedings of 23rd Annual Meetings, Association for Computational Linguistics*, Chicago, Illinois, 1985, 188-197.
- Cohen, Philip R. and Levesque, Hector J. (1985). "Speech acts and rationality." in: *Proceedings of 23rd Annual Meeting, Association for Computational Linguistics*, Chicago, Illinois, 1985, 49-60.
- Cohen, Philip R. and Levesque, Hector J. (1987a). "Persistence, intention, and commitment." in: *Proceedings of Symposium on Intentions and Plans in Communications and Discourse*, Monterey, California, 1987.
- Cohen, Philip R. and Levesque, Hector J. (1987b). "Rational interactions as the basis for communication." in: *Proceedings of Symposium on Intentions and Plans in Communications and Discourse*, Monterey, California, 1987.
- Fagin, Ronald and Halpern, Joseph Y. (1988). "Belief, awareness, and limited reasoning." *Artificial Intelligence*, 34, 1988, 39-76.
- Goldman, A. (1970). *A Theory of Human Action*. Princeton, NJ: The Princeton University Press, 1970.

- Grosz, Barbara J. and Sidner, Candace L. (1986). "Attentions, intentions and the structure of discourse." *Computational Linguistic*, 12(3), 175-204.
- Levesque, Hector J. (1984). "A logic of implicit and explicit belief." in: *Proceedings of 5th National Conference on Artificial Intelligence*, 1984, 198-202.
- Litman, Diane J. (1986a). "Linguistic coherence: a plan-based alternative." in: *Proceedings of 24th Annual Meeting, Association for Computational Linguistics*, 1986, 215-223.
- Litman, Diane J. (1986b). "Understanding plan ellipsis." in: *Proceedings of 7th National Conference on Artificial Intelligence*, 1986, 619-624.
- Litman, Diane J. and Allen, James F. (1987). "A plan recognition model for subdialogues in conversation." *Cognitive Science*, 11, 1987, 163-200.
- McCarthy, John and Hayes, Patrick J. (1969). "Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence." in: B. Meltzer and D. Michie (Eds.). *Machine Intelligence 4*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1969.
- McDermott, Drew V. (1982). "A temporal logic for reasoning about processes and plans." *Cognitive Science*, 6, 1982, 101-155.
- Moore, Robert C. (1985). "A formal theory of knowledge and action." in: Jerry R. Hobbs and Robert C. Moore (Eds.). *A Formal Theory of Knowledge and Action*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1985, 319-358.
- Perrault, C. Raymond and Allen, James F. (1980). "A plan-based analysis of indirect speech acts." *American Journal of Computational Linguistics*, 6, 1980, 167-182.
- Pollack, Martha E. (1987). "A model of plan inference that distinguishes between the beliefs of actors and observers." in: Michael P. Georgeff and Amy L. Lansky (Eds.). *Reasoning about Actions and Plans, Proceedings of the 1986 Workshop at Timberline, Oregon*. Los Altos, California: Morgan Kaufmann Publishers, INC., 1987, 279-295.
- 白井英俊 (1987). "状況意味論の立場から." 情報処理, 27(8), 1987, 887-896.

Shoham, Yoav (1987). "Temporal logics in AI: semantical and ontological considerations." *Artificial Intelligence*, 33, 1987, 89-104.

土屋俊 (1986). 心の科学は可能か. 東京大学出版会, 1986.