

TM-0622

数学的側面からみた状況理論

向井国昭

November, 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

数学的側面からみた状況理論

Mathematical Aspects of Situation Theory

向井国昭

新世代コンピュータ技術開発機構

概要

状況理論は、情報のモデルとコミュニケーションの理論を目指した、一種の領域理論 (*domain theory*) と考えられる。そのアイデアの核心は、われわれエージェントが、状況内に組み込まれた (*situated*) 存在である、という点にある。本稿は、状況理論の枠組の要点を解説する。¹

1 はじめに

状況理論の解説は、その母胎である状況意味論の解説の中でもすでに、幾つかなされている。たとえば [16,18,20] を参照。また、理論の進展に応じて、今後もなされるであろう。状況理論は、多くの側面があって捉えかたが難しい。本解説では、筆者がとらえた範囲ではあるが、状況理論の最近の考え方を伝える。また、さまざまな基礎論的パラダイムにおける、状況理論の位置付けを明確にするように努力する。本解説は、状況理論の中心である CSLI(スタンフォード)からの、最近のドラフトを含めた資料(参考文献参照)、とくに Barwise[3,5] に基づいている。

状況理論の国際会議が、米国カリフォルニアの Asilomar で、1989年3月23日から26日までの、4日間の予定で開催される。40件近くの extended アブストラクトが集まり、予備査読された。最終的に、そのうち半数弱が採録されて、出版される予定である。同会議では、20件近くが読まれる。分野は、状況理論のモデルと形式化、視点 (*perspective*) の数学モデル、行為論、談話理解システム、照応モデル、共有知識、自然言語処理、幼児の言語獲得モデルなどをはじめ、興味ある論文が多く集まった。(因みに、筆者は4人のプログラム委員の一人)。状況意味論 / 状況理論の現状と今後の動向を見る上で、重要な会議となるであろう。

さて、自然言語で表され、そして伝えられる情報は、多種多様である。この多種多様な情報理論的オブジェクトを記述する枠組とは、どのようなものであろうか。状況

¹本稿は、次の研究集会で、チュートリアルとして発表したものを、加筆・訂正したものである：ソフトウェア科学 / 工学における数理的方法 研究集会、京都大学数理解析研究所、1988年9月20-9月22日。同研究集会の予稿集は同研究所の講究録として登録予定。

理論の目標は、そのような枠組を作ることである、と言って良いだろう。状況理論は、オブジェクトを豊富に持っている。標準的な集合論が、たった一つの種類のオブジェクト、すなわち集合しか持たないことに較べて、対照的である。しかも、それらのオブジェクトが相互に関連性を持つので、理論が矛盾を含まないかどうか問題になる。また理論のスコープが広いので、集合論、論理、圏論などの他の基礎理論あるいは基礎パラダイムと、一体、どのような関係にあるのか、ということも関心がある。

状況理論は、状況、事実、命題、という基本オブジェクトの性質と、その間の関係を明らかにすることである、と言ってもそう大きな間違いではないだろう。状況オブジェクトの間の関係の研究、という意味では、状況依存性の研究である。これらが、自然言語の意味論と、どう結び付くのか、必ずしも明らかでないかも知れないが、ここでは、その結び付きには立ち入らないことにする。

状況、事実、命題の3つは、それぞれどのようなものであろうか？ 状況とは世界の部分であり、そこで成り立つ事実の集合で、特徴付けられるものである。命題とは、真か偽かどちらかの値を持ち、状況と事実の対としてあらわされる。命題とは **視点の付いた事実である**、と言っても良い。ここで視点とは、状況の一種と理解しておく。命題 p が視点 s と事実 σ の対のとき、 s が σ で成り立っているとき真であり、そうでない場合は偽である。以上は、命題についての極めて粗い説明であるが、状況理論は、このような素朴なアイデアから出発して、それらを直観に合うように、理論の精密化を進めている。

本稿の目的は、状況理論の解説である。しかし、その母胎である状況意味論 [2] からの動機も、例を使って説明しよう。なお、以下では、状況理論と状況意味論とを、とくに区別しない。本稿の内容は次のとおりである。まず状況理論の核心である、命題の概念を説明し、それを数学における幾つかの構造との類推の助けを借りて説明する。集合論、型理論、通信理論との類推や比較も試みる。状況理論が一種の強力なメタ理論であることが納得されるであろう。状況理論の豊かなオブジェクトを概観し、また、オブジェクトが存在するとはどういうことか、についての注意も述べる。状況理論の形式化についての議論も紹介し、また、状況理論と論理の関係を、オブジェクトの結合法則という観点から、ながめてみる。そして、可能世界意味論と比較して、部分性と内包性のふたつの観点から、違いを指摘する。

状況理論は、状況意味論のオブジェクトの領域の理論である。そこで、文の意味、情報の流れ、間接分類 (*indirect classification*)、など、関係論的意味論としての状況意味論の考え方を紹介する。特に、心の枠 (*frame of mind*) を用いた意味論的パラドックスの解決法や、循環的状況を用いた共有信念の取り扱いなど、代表的な例を用いて紹介する。最後に、ZFC/AFA という、基礎の公理の成り立たない集合論を使った、状況理論のモデルの構成を紹介する。

2 状況理論の諸側面

どんな理論も、おおかれすくなかれ、この実在世界(*Reality*)の記述を目的としている。状況理論も、われわれ生体が順応(*attune*)して生きている、この生態学的世界の、現実感のあるモデルを記述するための理論、あるいはそのための枠組、と理解して良いだろう。とくに、自然言語の意味論を作る時、命題とは何か、状況とは何か、事実とは何か、情報とは何か、論理とは何か、などの基本的問題がある。状況理論は、これらの問いに、体系的に答えることを目指している。

状況理論は、基礎がまだ固まっていない。たとえば、ZFC(公理的集合論のひとつ)のような安定した理論には、まだ遠い。以下の本節の説明も、ひとつの解釈に過ぎないことを念のためにお断りしておく。Barwise らの計画によれば、ここ数年の内に、状況理論の基礎と応用を含めた全貌が、シリーズで公刊されることになっているので、正確な内容は、そちらに期待していただきたい。上述の Asilomar の会議は、その一里塚である。

本節においては、便宜上、事実(*fact*)と事態(*state of affairs*)は区別しない。また、視点(*point of view*)を、そこからの眺め(*perspective*)、あるいは焦点(*focus*)を含めた広い意味で用いている。いずれにしても、その厳密な定義は本解説の範囲外である。なお、片桐[16]は、文の働きにおける視点の役割を、状況意味論を使って分析している。

2.1 視点付きの事実

状況理論のアイデアの核心は、われわれ生体を、この実在世界に組み込まれた存在である、ととらえる点にある。われわれは、神のように、外からこの世界を見ることはできない。われわれが認知する事実は、おおかれすくなかれ、いわば視点がくっついていて、どの視点からみた事実か、すなわち、視点と事実の組を一つの実体としてとらえる[5]。これがポイントである。

より詳しく述べるならば、J. Barwise の状況理論の中心点は、状況、命題、事態の3者の関係を、次のようにとらえることである：基本命題と呼ぶオブジェクトがあり、それらはすべて状況と事態の対で表される²。つまり、基本命題は、状況と事態を成分として持つ。この命題を $s \models \sigma$ と書く。ここで、 s は状況、 σ は事態である。この命題を s が σ を支持する(*support*)と読んでみる。この命題は、実際に、状況 s の中で σ が成り立つとき、真(*True*)さもなくば偽(*False*)である。

例をあげよう。太郎と花子がテーブルをはさんで向き合って座っており、二人の間に食塩瓶とソース瓶があるとする。太郎は、「食塩瓶がソース瓶の右にある」と言い、一方、花子は、「ソース瓶は食塩瓶の右にある」と言ったとしよう。これは、左および右の意味と照らし合わせれば、矛盾した記述内容を表していると考えられる。しかし、これらを、異なる視点を含む二つの命題を表している、と考えれば矛盾していな

²すべてかどうか、選択の余地があるが、ここでは、便宜上それを仮定する

い。太郎の視点を s 、花子の視点を s' として、それぞれ (1) と (2) という命題を、主張しているからである。

(1) $s \models \langle \text{右にある, 食塩瓶, ソース瓶} \rangle$

(2) $s' \models \langle \text{右にある, ソース瓶, 食塩瓶} \rangle$

この二つの命題は矛盾していない。もうひとつ例をあげる。次郎の、ある日の登校に関する発話 (3) と (4) を見よう：

(3) 「次郎が学校に行った。」

(4) 「次郎が学校に来た。」

これらは、空間内の移動という同一の、ある物理的イベントを表しているが、(3) はたとえば、次郎の家族の視点 u から見た発話であり、(4) は、例えば、次郎の先生の視点 u' からの発話である：

(5) $u \models \langle \text{行った, 太郎, 学校} \rangle$

(6) $u' \models \langle \text{来た, 太郎, 学校} \rangle$

そもそも命題とは、グローバルに真か偽どちらかの性質を持つような、オブジェクトのことである。事実と真命題は、よく似た振る舞いをする。このふたつは、はたして同じ実体か、あるいは異なる実体か？ 結論からいうと、事実と命題は、異なる種類のオブジェクトである [5]。つまり、命題は、視点 (状況) 付きの事実である。

たとえば、《太郎が走っている》という事実は、命題ではない。なぜなら、その事実が、世界 w の限られた視点の小さな範囲 s でのみ成り立っているに過ぎないからである。もちろん、この事実と s の対

$$s \models \langle \text{太郎が走っている} \rangle.$$

は命題である。

しかし、一部の事実は、真命題と同一視されうる。真命題と事実を混同するのは、グローバルな状況 (= 世界 = トータルモデル) w により支持される事実 σ と、命題 $w \models \sigma$ とを、実際上、区別する必要がないことからくる、一種の混同である。たとえば、日常的なたいがいの状況 s で 事実 $\langle =, 2, 1+1 \rangle$ が成り立つので、この事実を、命題 $w \models \langle =, 2, 1+1 \rangle$ と、同一視してしまうのである。自然数3と有理数3/1は異なるオブジェクトを表しているが、算術における振るまいが等価なので、便宜上、同一視されていることと同様である。

ちなみに、

$$s \models \langle \models, s', \sigma \rangle$$

のようにいくらでも「高階命題」を構成できることを注意する。

ある版では (Barwise[3]), 真偽の値が状況に依存せずに, いわばグローバルに決まっている関係, すなわち構造決定的関係 (*structurally determinate relation*) の概念が導入され, 型をそれに当てた。たとえば, 関係 $=, \in$ などは, その例と考えられた。しかし, この考えは捨てられて, ここで紹介したように, 関係の成立は状況に依存する, という考えに統一された。この結果, 型と関係と性質は, 同じ種類のオブジェクトであり³, 一方, 事態と命題は, はっきり異なる種類のオブジェクトとなった。⁴

2.2 世界

状況理論の世界は, 命題までも含めた, あらゆるオブジェクトからなる領域である。では, 世界には, いったい, どれだけの状況と事実があるだろうか。命題の構造から, ある程度決まる筈である。少し古い版 [3] の世界モデルの構成からみて, たとえばつぎのようなクラス X と Y の対として, 世界をモデル化することが, ひとつ考えられる: X は事態の整合的な集まりで極大なもの, Y は状況の集まりで, それらが支持する事態はすべて X の要素であるようなもの。

参考のために, その少し古い版の世界モデルを記す (第4節も参照のこと): 現実世界 M は, 事態の整合的な集まりである。つまり, 世界は, 古今東西ありとあらゆる事実 (事態) が書かれた本にたとえられる。しかし, M は, あまりにも大き過ぎるので, それ自身はオブジェクトではない。したがって, たとえば, 「見る」という関係の項には, 立つことはできない。事態の集合のことを状況とよぶ。状況は世界の小部分である。状況は集合なので, それはオブジェクトとして, 関係項に立つことができる。状況 s の支持 (*support*) する情報が, すべて「事実」のとき, すなわち s が M の部分集合のとき, s を現実状況という。一般に事態は, 信念あるいは夢の対象などの非現実的な状況を, 構成要素として持つことがある。状況は事実の集合により決定されるので, 状況は事実の集合と同一視された。すなわち状況は外延的に捉えられた。そのために, 状況の間の主たる関係は, 一方が他方に含まれるという, 包含関係ぐらいのものであった。

さて, 新しい版 [5] では, 状況の間に, もっと多くの関係を導入する方向が, 示されている。たとえば, 射影 (*projection*) 関係と埋め込み (*embedding*) 関係などである。そして, あたかも電子がそのまわりに電磁場を作り出すように, エージェントは状況を作り出す。さらには, 関係の引き数の数も, 状況に依存する。たとえば, 2次元平面に生きているエージェント F (*flat lander*) を, 想像しよう。彼が, ある円の中にいるとする。彼は, 円周を横切らずに外に出ることはできない。すなわち, *flat lander* にとっては, 《円内の点と円外の点の, 2点を結ぶ曲線は, その円周と必ず交わる》という事態が普遍的に成り立っている。しかし, われわれ3次元エージェント, H , にとっては, それは成立しない。 F の行動の場は, 2次元状況であり, H のそれは3次元状況である。つまり, 状況はエージェントに依存して存在している。また, これら二つの状況

³素朴な直観によくあっていると思う。

⁴Barwise[3] では, 命題を抽象化したものを型, 事態を抽象化したものを性質と呼んでいた。

は、一方が他方に集合論的に包含されているというよりは、むしろ、一方が他方へ、部分状況として埋め込まれているという方がふさわしいであろう。

2.3 内包 (intension) と部分性 (partiality)

次に、状況理論 (状況意味論) と可能世界意味論[8] の違いを、内包 / 外延 および部分 / 全域の観点から説明してみよう。可能世界意味論では、可能世界と個体と真偽値をプリミティブとして、それから集合論的⁵に構成されるもののみが、言語表現の意味オブジェクトである。性質なども個体の集合として定義される。いわゆる外延的な意味論である。(可能世界意味論で言う内包も、可能世界全体を定義域とする関数として、外延的に解釈される。) しかし、このような外延的なオブジェクトでは、信念などの内容を表すには粗過ぎて、うまくいかない。たとえば、ひとつの命題を信じるならば、それと論理的に同値な命題をすべて信じるという帰結を持つ。この帰結は、もちろん、信念の論理としては具合が悪い。

すなわち、可能世界意味論が用いている古典的な集合論の外延性が、状況理論との大きな差である。状況理論は型や関係の外延性を仮定しない。

つぎに、われわれが見たり聞いたりする情報はそもそも断片である。いつ、誰が、どこで、何を、などの情報の要件の幾つかは欠けて伝わる。しかし、可能世界意味論が用いているトータル意味論では、この半端な情報をわざわざトータルなもので表すということになる。たとえてみれば、多項式 (全実数区間で定義された関数すなわちトータルオブジェクト) を用いて、有理式 $1/x$ を表現するようなものである。ここで $1/x$ は $x = 0$ で定義されていない部分的オブジェクトとみる。一般にそれは、不可能ではないにしても自然ではない。たとえば、もし割り算を許さなければ、不可能ですらある。

一方、状況理論では、部分的な情報も最初から一般市民として導入している。しかしながら、これらの例は、どちらかというところ、集合論と全域意味論の問題点であり、可能世界意味論自身の欠点を示しているのではない。私見では、両者は対立する理論ではなく、状況理論は可能世界意味論の、ひとつの自然な発展形であると解釈すべきと思う。後述するように、状況意味論は、事態や制約のようなパラメトリックなオブジェクトを特別に持っている。可能世界意味論はそれらを持たない。これが両者の大きな違いである。

なお、情報とその部分性のついで議論 [21] も参考になる。

2.4 数学構造との類推

状況、命題、事態の3者の関係を前述のようにとらえることは、最近の成果として評価したい。数学的な理論とのおもしろい関連性もあらわれてきた。以下、いくつかの観察を述べる。

⁵ 正確には Kelly-Morse 集合論であるが、ここでは標準の ZFC 集合論として話を進める。

最初の例は構成的型理論である。それと状況理論を対照して、証明と状況、命題と事態をそれぞれ対応させてみよう。すると、構成的型理論における真なる命題という概念と、状況理論における *factual* な事態という概念が、ほぼ対応する。

次の例は、D. Scott の情報システム [13] である。その枠組は、命題の整合的な集まりでオブジェクトを分類する理論と見ることができる。一方状況理論は、状況が事実を支持するという基本関係をつうじて、事実により状況オブジェクトを分類している、とみることができる。

次の例は、モデル論である。状況 s をモデル論における部分モデル、事態 σ を文とみなそう。すると、 s が σ を支持するという状況理論における関係と s が σ を満たすというモデル論における関係が、ほぼ、対応している。

次の例は、集合論の *forcing* (P.J. Cohen) や絶対性 (*absoluteness*) の概念である。ともに、情報の *persistence* に関連した概念である。とくに、Forcing は与えられた集合論のモデル M を拡張して、望む性質を持つ集合論のモデル N を作るためのものである。 N の全性質を決定するに十分な部分情報の集まり (collection), G , を M のクラスとして適当に選ぶことがポイントである。つまり、 N のどんな性質も、高々 G の中の情報のみを当てることによって決定できることがある。すなわち、 M にいながらにして N の性質を決定できることがある。 G は M の中の半順序クラスであり、*generic* と呼ばれる。 G の要素は条件と呼ばれる。 G は、性質を成り立たせる (*force* する) 「うごかぬ証拠」の集まりと考えれば理解しやすい。例をあげる: x と y を異なる定数記号とする。そのとき、部分情報 $a \in x \wedge a \in y$ は $x = y$ を *force* しない。なぜなら、 $x = y$ は、より大きな情報 $a \in x \wedge a \in y \wedge b \in x \wedge \neg b \in y$ とは両立しないからである。Forcing 関係の定義のポイントは、否定の解釈にある。 σ が c より強いどの情報によっても *force* されないとき、 c が $\neg \sigma$ を *force* すると定義する。⁶ その他の形の文についての *forcing* 関係は、いわば常識的に定義される。

状況理論でも *persistence* は重要概念である。それは、いったんある状況で成り立ったなら、それを広げたどんな状況でも成り立つような、いわば頑固な情報 (*persistent*) のことである。条件と状況、事態と文、*persistence* と否定、とそれぞれがうまく対応している。また、上の Forcing によるモデル構成の論理を、情報のながれの観点からみると、 M は N を作り出すための力をもっているという意味で、 M は N を “involve” していると読めるのではないだろうか。Forcing についての手頃な解説として [17] をあげておく。

ところで、状況理論は今まで、自然言語の意味論における直観にしたがって理論を作ってきた。しかし、既存の数学的構造や物理理論の中を振り返ってみて、それを参考にしてもよいだろう。たとえば、ファイバー束 [14] やゲージ理論 [22] が、状況理論にとっても面白い示唆を含んでいることを指摘しておきたい。まったく意外と思われるかも知れない。しかし、ゲージ理論の提唱者の一人内山 [15] によれば、接続 (ゲージ場) は、物理情報のメッセンジャーであるという直観をもとにして作られたものであ

⁶ これは、可能世界意味論における、必然性オペレータの解釈とも良く似ている。

り、状況も情報を伝える媒体と考えれば、決して不思議ではない。さらに、局所座標系により記述された事実を視点付き命題に、そして座標変換を制約に、それぞれ対応させてみよう。すると左右の概念の相対性などが、当然ながら、自然に説明される。この類推は、世界の基本構成要素として、視点を導入すべきことを示唆していると考えられる。

2.5 集合論と型理論

集合論と型理論は状況理論と立場が比較的似ている。集合論は、この世界の一断面、すなわち、数学的構造を記述するものである。世界を、集合というオブジェクトとその間のメンバシップ関係に分節して、その制約を研究するものである。実際、とくに数学において絶大な成果をおさめた。型理論は集合論と似ているが、より構成的であること、Proposition as Types の原理により論理を自然に内部化できることから、プログラミングの分野 [6] あるいは、構成的数学と呼ばれる分野で、古典的な ZFC 集合論に取って代わる基礎理論としての位置を占めつつある。

状況理論は、型理論 [11] や集合論などの establishment に匹敵するぐらいの重要な理論に成長すると期待される。その意味でこれら 3 者の理論的性格の対比はおもしろい。

状況理論からみて、集合論に対する不満のひとつは、それが、情報論的なオブジェクトとその間の関係の記述に関して、分類(classification) が粗過ぎるということである。たとえば、集合論では、集合というオブジェクトは、その要素で一意に決定されるという外延性公理をもっている。ところが、情報論的オブジェクトは、一般に、全体が要素に還元されない性質いわゆる内包(intension) を持っている。関数でいえば入力と出力の関係と等しくても、それを計算する手続きが違えば異なる関数オブジェクトを指すと考える。このような、きめこまかい見方が、古典的な集合論には苦手なのである。また、すべての集合の集合あるいは、集合の union オペレーションすら、集合ではない。これは *limitation of size* と呼ばれている集合論の難点である。

おおざっぱに言って、集合論や型理論が形式言語の意味論を目的とするのに対して状況理論は、自然言語の意味論的オブジェクトを記述するものと考えられる。しかし、代表的な型理論の提唱者である Martin-Löf 自身、構成的型理論の自然言語への応用を始めている (1988 年 4 月私信)。確かに状況理論の関心は、状況と情報の間の支持関係であり、一方、型理論の興味は要素と型の帰属関係 (of-type) であるという、表面的な相違はある。また、状況理論はむしろ無型 (*type free*) 理論である。しかし、上述したように状況に支えられた情報と言う考えも、また構成的なものを含んでいた。計算機の上に状況理論を実現する場合、計算機の論理としての型理論とインタフェースをとることは自然である。

2.6 メタ理論としての状況理論

状況理論は、他の基本パラダイム理論とどんな関係にあるか。これについて、私見を述べてみたい。すべての理論はオブジェクトの結合法則の研究と見ることができる。これを、手掛かりにする。まず集合論は、集合の結合法則の研究である。論理は命題の結合法則の研究である。型理論は型の結合法則の研究である。圏論は矢の結合法則の研究である [10]。

状況理論は、さらに情報というオブジェクトが加わった結合法則を、制約という形で研究する。この意味で状況理論は、領域理論(domain theory) あるいはメタ理論であるといって良いだろう。

読者は、(今まで) 状況理論と論理との関係が明らかでないとして、不満を持たれたかも知れない。確かに、状況理論は自身の論理をほとんど語っていない。繰り返しになるが、しかし、これは決して異常ではない。たとえば、型理論が proposition as type の原理で論理を取り込むことができると同様に、logic as constraint のかたちで状況理論は論理を取り込むことができるのである。Devlin[7] も、状況理論を、古典的な論理の拡張であると説明している。上述のように、論理とは、突き詰めると、命題と呼ぶオブジェクトの結合に還元される。たとえば、分離法則(modus ponens) は p と $p \rightarrow q$ を結合して q を得ることである。この意味で、状況理論は論理を含んでいる。

2.7 情報空間

シャノン流の古典的な情報理論は、情報の意味を捨てることにより、あの偉大な成果をあげたと見ることができる。シャノン理論は、エンコーディング、 E 、とデコーディング、 D 、とチャネル、 C 、からなる。 E と D はそれぞれ、確率統計的情報たとえば分布(X, p)を点とする空間である。チャネル C は E から D への関数である。多くの場合、 E または D の点は、数のベクトルであり、チャネルは行列的なものとして、具体的に表現される。そして、これらの表現を通じてエントロピーなどが定義され、また通信量に関する制約が研究される。すなわち、確率的構造を点とする空間(多様体)およびその間の関数、これが通信理論の基本的な構図であった。

では、一方の情報の意味論とはなんであろうか。結局、それは言語行為のモデルを記述することであろう。つまり、オートマトンの一般化としてのエージェントモデルをつくること、そして、信念状態、行為、意図、認知、環境(状況)についての必要な理論とそのモデルを作ることであろう。ここでは、このように理解したい。

状況理論は、情報の意味論のための記述の枠組であった。しかし、状況の概念は広過ぎるのではないだろうか。そのため一種の混乱を引き起こしているように見える。状況の概念をもっと掘り下げて見なければならない。状況の代数を開発すること、状況を分類して、状況のよりきめ細かな構造を導入し、それらの間の関係を明らかにして行くことなどが必要であろう。シャノン理論の発展のために確率空間の概念の確立が必要であったように、情報の意味論の発展のために状況の概念の確立が必要である。

2.8 状況理論のオブジェクト

状況理論の研究対象は何か？ 状況理論の大きな特徴はその対象が豊かなことである。ありとあらゆる対象がオブジェクトであるといつてよい： 個体, 状況, 事態 (事実), 命題, 関係, 性質, 制約, 型, 集合, 関数, 概念, イメージ, パラメータ, 引き数位置, ロール, アンカー, 時間空間領域, etc. しかも, 状況理論はこれらのオブジェクトが他のタイプのオブジェクトに還元されるものとは考えない。つまり

Everything is a first class citizen.

が基本方針である。これは, 集合論において, 関係や関数が, 集合概念に還元吸収されてしまっていることと較べて対照的である。また, 集合論は, メンバシップ関係を研究の対象とするが, メンバシップ関係それ自身は, 集合論の領域の要素ではない。いわゆる集合論にとってはメタな対象であり, オブジェクトではない。一方, 状況理論では, メンバシップ関係はオブジェクトである。これは矛盾ではない。通常集合論では, 関係概念を, 対の集合として外延的に構成するが, 状況理論は, 関係を集合論的に構成されるものとは仮定していない。

状況理論は, 自然言語の意味記述やコミュニケーションなどの枠組を目標としている。そのためにこのような「気前の良い」オントロジーが必要なのである。しかしながら, 注意しなければならないのは, 関係, 性質などを含めて, あらゆるものを取り込む結果, 通常はメタレベルのオブジェクトであるものが, 理論の対象としてのオブジェクトになってしまう。そのため, この二つのレベルの間の関係が, 判然としないことがある。一階述語論理でいえば, 述語のレベルと項のレベルの区別がないというイメージである。あるいは, すべてのものが, ベタッと, 一層にオブジェクト化されている世界である。この意味で状況理論はメタ理論である。

気前よくオブジェクトを導入した結果, 理論は矛盾を引き起こさないだろうか? タイプフリーなラムダ計算は, 論理的に解釈できないことは, 良く知られた古典的な結果である。状況理論もタイプフリーな理論なので, その恐れがある。実際に, G. Plotkin により, ラムダ計算における β -変換に相当する規則が成り立たないモデルが, P. Aczel の Frege 構造 (述語論理 + λ -計算) を用いて示された:

$$\langle\langle [x|p(x)], a \rangle\rangle \neq p(a)$$

しかし, 同時に, non-well-founded sets の世界で, 状況理論のモデルが, Barwise により, 構成されたので, その (相対的) 無矛盾性は証明された。彼は, まず, 型と命題のモデルを構成し, その上に, 他のオブジェクトを構成した。

ここで, その集合論は ZFC/AFA と呼ばれもので, ZFC 集合論から基礎の公理を取り除き, 代わりに反基礎の公理と呼ばれる公理を導入したものである。第4節 (状況理論のモデル) で, さらに詳しく紹介する。因みにこの ZFC/AFA も P. Aczel により, 提案されたものである [1]。

2.9 存在論

状況理論の哲学は、生態学的実在主義 [2, 19] である。そうすると、一角獣や、丸い三角、あるいは、夢の中の状況などは実在するのだろうか？ 答は Yes である。正確には、これらの概念が存在する。しかし、一般に、そのインスタンスすなわち実体は存在しないこともある。

数学、あるいはもっと広く、自然科学の歴史の教えるところによれば、必要なもの、役に立つものは、結局は、実体化されている。例えば射影幾何学における無限遠点や、複素数などは実体化の例である。すなわち、一角獣の概念、空想的状況、等々、言語使用にとって必要なものはオブジェクトである。実在 (Reality) とは、自由にオブジェクトを分節化することを許すような、物理でいう場 (field) の一種なのであろう。

Barwise は、集合論的なイメージを用いて、現実的 (actual) 状況の概念を理解する仕方を、次のように示唆している。実在 (Reality) のモデルとして、すべてのオブジェクトのクラスを U とおこう。現実的な状況は、 U の要素である (*in* U) と同時に U のある部分 (*a portion of* U) でもある。すなわち外延が空でないことである。これに反して、単なる (空想的な) 状況は U の要素としては存在するが、 U の部分ではない。たとえば、一角獣、夢の中の空想的な状況などは、 U の一点としては存在するが、広がりを持つ面 (即ち、 U の部分クラス) としては存在しない (外延が空のこと)。 U のすべての部分クラス (すなわち面) が U の要素 (すなわち点) となるとも、限らない。これは、極大の現実世界は、もやは、大き過ぎて対象にならないという、集合論おなじみの現象と対応している。

2.10 パラメトリック・オブジェクト

状況理論は、言語を構文論と意味論に分けない。Martin-Löf の型理論でも、構文論と意味論が切り離され難く融合している。もっと身近な例は代数である。代数においても、構文論と意味論が融合されている。たとえば、多項式 $x^2 + 2xy + y^2$ は、パラメトリックなオブジェクトである。ここで、 x と y は不定項あるいは、パラメータと呼ぶものである。多項式は、式と呼ばれているように、構文的構造を持っている。しかし、同時に、環論的代数構造を持つ領域の要素である。⁷ さらに、代数等式 $x^2 + 2xy + y^2 = 0$ は制約を表している。そして、これを x と y について抽象化すると 2 項関係が得られる。制約は、論理式のような構文構造を持つオブジェクトであり、一方、関係は、集合論的なオブジェクトである。

状況理論と代数との類推は有効である。たとえば、状況意味論のスローガン「文の意味は制約である」の意味を考えよう。文を「りんごの数を 2 倍したものはみかんの数に 3 を加えたものより大きい」とする。この文の意味は制約「 $2x > y + 3$ 」そのものと考えるのは自然である。従来の言語理論は、意味論と構文論のふたつの領域を、分けて管理していたので、構文的構造を持つ制約が意味であるという考えは、なかった。

⁷この領域は、不定項から成る集合から生成される、係数体の上の自由代数である。

たとえば、算術の理論の不完全性の証明において、ゲーデルは構文論（論理式）をゲーデル数で表して、制約を算術理論の意味領域へ取り込まなければならなかった。

ところで、制約は構文論的オブジェクトであるから、制約ベースの言語意味論にとっては、構文論と意味論の境界を設ける積極的な理由はなくなる。こうして、状況意味論は、その壁をとり払い、構文論と意味論を融合した言語理論を提案している。筆者は、このように理解している。

2.11 理論の形式化

状況理論の形式化は、可能かどうか？ 前節で、状況理論と代数の類似点を比較した。代数は、多ソート論理の言語で形式化することができる。では、代数とおなじように、状況理論も形式化することができるのだろうか？ また、カントールの素朴集合論が ZFC で形式化されたように、素朴状況理論も形式化されうるだろうか？

一階の古典的な論理体系では、形式化不可能であり、それを証明することもできるだろうと予想されている (Barwise)。その根拠は算術の体系 (PA) における、Löb の定理:

$$PA \vdash Bew(H) \rightarrow H \quad \text{ならば} \quad PA \vdash H$$

との類推である。これは、自分 (H) が証明可能であるとき、自分 (H) が真であるということが PA で証明されているならば、 H がもともと PA で証明可能であるという意味である。これを、状況理論の形式化にあてはめるのである。簡単な仮定のもとで、つぎのように読みかえることができる (T.Fernando, 1987): 命題の情報内容が事実として存在するならば、その命題は真である、ということを保証するような形式体系では、実は、そのような命題は、もともと真である。

言い換えると、これは、情報内容に関する deductive な体系が、決して、新しい定理をもたらさないという意味で、役に立たないことを示唆している。Barwise 自身は、状況理論の形式化のため、文脈付きの形式言語を構想している、とのことである。それは上に説明した、状況と事実の対としての命題モデルと関係がありそうだが、詳細はまだ明らかでない。

状況理論は、素朴状況理論の段階を経て、現在、状況理論とそのモデルの構成が J. Barwise, G. Plotkin, P. Aczel らを中心に試みられている。それとともに、基本オブジェクトである状況、世界、命題、制約、情報などの直観的なモデルを作りを行なっている。今や、形式化前夜とみることができるであろう。

3 状況意味論

3.1 文の意味

文の意味は、状況間の関係[2]である。より正確には、イベント型の間の関係である。これは、状況意味論の初期における定義である。現在は、発話の持つ情報内容がどのようなものかという形で、より精密に、次のように定義されている。すなわち、それを記述内容 (*descriptive content*) と命題内容 (*propositional content*) に分ける。いま、J.B. が “I am standing” と発話したとしよう。そのときこの発話は次の二つの情報内容を持つ：

記述内容：⟨STANDING, J.B., 3:40p; 1⟩

命題的内容： $s \models \langle \text{STANDING, J.B., 3:40p; 1} \rangle$

ここで s は発話者が参照 (*refer*) している状況である。

3.2 情報の流れ

状況意味論の主張のひとつは、文の意味を真理値ではなく状況間の関係と見ることである [2]。すなわち、情報の伝達機能の重視である。例を示そう。Cが、AとBそれぞれから次のような発話を聞いたとする：

A：「もし太郎と花子が同学年ならば、花子は一年生である。」

B：「もし太郎と花子が同学年ならば、太郎は二年生である。」

そのとき、AとBから、Cにどんな情報が流れるだろうか？ 結論をいうと、Cに《太郎は一年生》と《花子は二年生》という情報が流れる。なぜか？ Aの発話にふさわしい状況は何かと考える。すると、適当な「会話の公準」を仮定すると、Aの発話の状況には情報《太郎は一年生》があることが分かる。同じく、Bの発話の状況には、情報《花子は二年生》がある。それぞれの情報をマージすることにより、《太郎は一年生》と《花子は二年生》を得る。しかし、質料含意 (*material implication*) で考えると、AとBの情報内容は矛盾しているので、Cは高々《太郎と花子は同学年でない》を得るのみである。この例は、極端に単純化してあるが、相手の置かれている状況から情報を掴む例である。つまり、文の働きは、情報の流れとしての、状況間の関係であることが確認された。

3.3 意味論のパラドックス

古典述語論理のモデル論が自然言語の意味論に不十分であることが、状況意味論の誕生の背景にある。それを復習しよう。まず、代入原理は成り立たない。つぎの(1)と(2)における、それぞれの信念の対象は、たとえ事実性においては等価でも、一方を他方で置き換えることは、できない。なぜなら、主題 (*subject matters*) が異なるからである。つまり、情報として異なるからである。

- (1) Believes that Jackie is a nice dog.
- (2) Believes that Carson City is west of Los Angeles.

同様にして、情報論的な観点からは、排中律や三段論法 も一般には成立しないことが分かる。

3.4 間接分類 (indirect classification)

メンタルステートを間接分類(indirect classification)するというアイデアにより、行為を予測したり説明することができる [2]。ゴキブリ退治用の殺虫剤の缶に、ゴキブリのラベルを貼って、間接分類するのと同じである。つまり、メンタルステートを、行為との関係において分類することである。同じ型の行為をするエージェントのメンタルステートは同じラベル (*uniformity*) を持つ。逆に、同じラベルを持てば同じ型の行為をする。つぎの (1) の表す制約 C は、行為とメンタルステートの間の間接分類 (制約) の例になっている：

- (1) A mother who believes that her baby is hungry will feed it.

$$C := \langle\langle \text{involves}, E_1, E_2; 1 \rangle\rangle$$

ここで、

$$E_1 := \langle\langle \text{mother}, b; 1 \rangle\rangle \wedge \langle\langle \text{believe}, b, E; 1 \rangle\rangle$$

$$E_2 := \langle\langle \text{feeding}, b, a; 1 \rangle\rangle$$

$$E := \langle\langle \text{child_of}, a, me; 1 \rangle\rangle \wedge \langle\langle \text{hungry}, a; 1 \rangle\rangle$$

$$me := x \mid \langle\langle \text{present}, x, loc; 1 \rangle\rangle \quad (me \text{ は「自分」を表すためのロール})$$

3.5 心の枠理論

メンタルステートの分類(*classification*)の基本道具は、パターンとしてイベント型(枠)と、そのパターンに含まれるパラメータのバインド (セッティング) の対である。これにより、たとえば、同一のオブジェクトに対する矛盾した信念をもつメンタルステートを表現できる： ビエールというある少年が、パリで (当然フランス語の中で、英語を知らずに)、Londres (仏語でロンドン) が汚い (not pretty) と信じて育ち、後年、突然 London (ロンドン) で暮らすことになった。そこがロンドン (Londres) であることも知らず、彼は、ロンドン (London) はきれい (pretty) だと思った。

$$\begin{aligned} e_0 \models & \langle\langle \text{believe}, \text{Pierre}, \langle\langle \text{of_type}, \text{londres}, E_1 \rangle\rangle, L; 1 \rangle\rangle \wedge \\ & \langle\langle \text{believe}, \text{Pierre}, \langle\langle \text{of_type}, \text{london}, E_2 \rangle\rangle, L; 1 \rangle\rangle \wedge \\ & \langle\langle \text{of}, \text{londres}, \text{ロンドン} \rangle\rangle \wedge \\ & \langle\langle \text{of}, \text{london}, \text{ロンドン} \rangle\rangle \end{aligned}$$

ここで *londres* と *london*, E_1 と E_2 はそれぞれ次の複合不定項 (complex indeterminate) と型である :

$$\begin{aligned} \text{londres} &:= x \mid \langle\langle \text{city}, x \rangle\rangle \wedge \langle\langle \text{named}, x, \text{Londres} \rangle\rangle \\ \text{london} &:= y \mid \langle\langle \text{city}, y \rangle\rangle \wedge \langle\langle \text{named}, y, \text{London} \rangle\rangle \\ E_1 &= [z \mid \langle\langle \text{pretty}, z; 1 \rangle\rangle] \\ E_2 &= [z \mid \langle\langle \text{pretty}, z; 0 \rangle\rangle]. \end{aligned}$$

すなわち, ロンドンについて異なる信念を持っていることを表現している. しかし, Pierre の信念の枠の中では, *londres* と *london* は異なる不定項であるから, 矛盾していない.

3.6 循環的状况

コミュニケーションにおいて, 共有知識 (*common knowledge*) が大切である. それに対するモデルには三つある. 繰返し法 (*iterate approach*), 不動点法 (*fixed-point approach*), 環境共有法 (*shared environment approach*) である. 状況理論は, 環境共有法の自然なモデルをあたえる. 次の条件を考えるよう:

$$s_0 \cup \{ \langle\langle \text{know}, \text{太郎}, s \rangle\rangle, \langle\langle \text{know}, \text{花子}, s \rangle\rangle, \langle\langle \text{know}, \text{次郎}, s \rangle\rangle \} \subset s$$

$$\begin{aligned} s_0 = \{ & \langle\langle \text{have}, \text{太郎}, \text{クラブのエース} \rangle\rangle, \\ & \langle\langle \text{have}, \text{花子}, \text{ハートのエース} \rangle\rangle, \\ & \langle\langle \text{have}, \text{次郎}, \text{スペードのエース} \rangle\rangle \} \end{aligned}$$

これは, 状況 s で, 3 人が, 上を向いたカードの情報を共有し, 3 人が s を共有しているという, s についての条件である. 状況理論によれば, このような状況が存在する. そして, たとえば $\langle\langle \langle\langle \text{太郎がクラブのエースを持っている} \rangle\rangle \text{ことを次郎が知っている} \rangle\rangle$ ことを花子が知っているという情報もこの条件から容易に導ける. 標準の well-founded な集合論ではこのような集合は不可能であった. Barwise と Etchemendy[4] は, 言語使用において, このような自己参照状況が, 一般的に起こっていると主張している.

4 状況理論のモデル

型, 命題, 状況, 事態 (= 情報) などのモデルを具体的な集合論的構造として構成すること, それを [3] に沿って, 紹介しよう. しかし, [4] の最新の見解も取り込んで説明した. 相互参照的に定義が構成される. 材料の提供およびオブジェクトの製造は, すべて ZFC/AFA 集合論 [1] の中で行われる. すなわち, 状況理論が ZFC/AFA に対して

相対的に無矛盾であることが言える。なお、既に注意したように、性質と型は区別していないので [3] と較べてモデルは、少し簡単になっている。

モデルの構成は三つのステップからなる：

- ステップ 1: 型と命題のモデル。
- ステップ 2: 型と命題による状況、事態 (= 情報子 (infor)), 基本型の導入。
- ステップ 3: 情報子の整合的なあつまりとしての世界のモデル。

なお、ここでの命題は、状況と事態の対としてではなく、型 $\vdash$ の、状況と事態の対に対する適用形 (application form), すなわち、型と割り当ての対として考えている。

4.1 ZFC/AFA 集合論

型と命題の理論に、 λ -計算すなわち抽象化と代入(β -変換)を導入するところがポイントである：

$$(\lambda x.p)a = p[a] \quad (\beta\text{-変換})$$

通常の ZFC 集合の世界には、自分自身を含む集合は存在しないので、たとえば集合方程式 $x = \{a, x\}$, は解けない。これが解けるように集合の世界を拡張した集合論が ZFC/AFA である。この方程式の解は、

$$x = \{a, \{a, \{a, \dots\}\}\}$$

である。この x は無限に「深い」繰り返しの構造を持っている。このあたりは、実数の世界を複素数に拡張して、すべての代数方程式が解を持つようにした事情と似ている。実際、ZFC/AFA では、ある一般的なクラスの連立方程式系が、常に解をユニークに持つ [1, 4]。実際にも、Barwise はこの性質を用いて、 λ -計算を保証するモデルを ZFC/AFA 集合論の中に構成した。以下この λ -計算を仮定する。便宜上、通常の λ -計算の記法を代用する。

4.2 Replacement システム

通常の λ -計算は、与えられた項の自由変数の集まり、それらの自由変数に項を割り当てる関数としての代入。その適用 (β -変換) からなる。そのとき、 β -変換は与えられた代入からユニークに決まる拡張であった。これは、通常の有限のサイズの項の場合は帰納的な定義が使えるので、自明であった。しかし、ZFC/AFA では、基礎の公理がないので、それは保証されない。そこで、P. Aczel は、この難点を救うために、代入と β -変換を一般化した replacement システムを提案した。また strongly standard functor なる概念を導入した。これは、power subclass オペレータを含む広い概念であ

る。このファンクタを用いて replacement システムを一般的に構成する圏論的な方法を示した。

状況理論は、集合論的なオブジェクトと構文論的オブジェクトを両方とも扱う。例えば、状況は事実の集合であるから集合論的であり、一方 事実 は論理式に似た構文的なオブジェクトである。Replacement システムと strongly standard functor はこのような性質をもつモデル、すなわち structured オブジェクトの世界の構成のための新しい道具である。⁸

4.3 命題, 事態, 型

型と命題の理論の基本述語は次の二つである:

$approp_for(\tau, a)$: a は型 τ の適切な割り当てである。

$of_type(\tau, a)$: 割り当て a は型 τ に属す。

型 τ は引数ロールの集合 $Arg(\tau)$ を持つ。引数ロールは、その型が無制限に適用されることを防いでいる。基本の型は、アトムであり、その振舞いがこのふたつの述語により規定される。特別な基本型 $Approp_for$ は、述語 $approp_for$ をシミュレーションするためのものである。詳細は割愛する [12]⁹ 命題は型 p と割り当て a の対であり、その真偽は $pa \Leftrightarrow of_type(p, a)$ で定義する。

4.4 状況理論のオブジェクト

型・命題・事態・状況を定義する。

(1) 基本型:

$Obj, Type, Proposition, Soa, Bsoa, Sit, Assignment, Approp_for, \models, \in, \dots, Sitting, Right_to, \dots$ 。これらは、すべてアトムである。

(2) 型: 基本型, $\lambda x.p$ いずれかのこと。ここで、 p はパラメトリックな命題である。

(3) 基礎命題: 形式 τa のこと。ここで、 τ は型である。通常の infix 記法などの記法は、適宜自由に用いる。次は基礎命題の例である:

$$s \models \sigma$$

$$(\lambda x.(x \models \sigma))s$$

(4) 命題: 基礎命題, $\bigwedge P, \bigvee P$ のいずれかのこと。ここで、 P は命題の集合である。

(5) 基本事態: 形 $\langle\langle r, a, i \rangle\rangle$ のこと。ここで、 r は型 (= 性質 = 関係), a は割り当て, $i \in \{0, 1\}$ は極性 (polarity) である。

⁸P. Aczel のアイデアの詳細は、先に紹介した Asilomar の会議で読まれる予定である。

⁹G. Plotkin は、つい最近、sequential calculus を使ってさらに改良した。これも Asilomar で発表される予定。

(6) 事態: 基本事態, $\wedge \Sigma, \vee \Sigma$ のいずれかのこと. ここで Σ は事態の集合である.

4.5 状況・世界

状況と世界のモデルは, 集合論的構成法に基づく極めて簡単なものである. 将来のより本格的なモデルの雛形として紹介する. まず, 状況は基本事態の集合である. 世界は, 基本事態の整合的なクラス M で次の条件を満たすものである. ここで, 極性のみが異なるような基本事態の対を含まない状況あるいは世界を整合的という.

- (1) τ が型, $\langle\langle \tau, a; 1 \rangle\rangle \in M$ のとき, $of_type(\tau, a)$.
- (2) τ が型, $\langle\langle \tau, a; 0 \rangle\rangle \in M$ のとき, $of_type(\tau, a)$ でない.

状況 s が基本事態 σ を集合の要素として含む時 s は σ を支持するという: $s \models \sigma$. その他の形の事態についても, 基本事態の場合に帰着させることは, 通常モデルの *satisfaction* の定義と全く同様である.

さて, 事態の形を拡張して, $\exists x.\sigma$ および $\forall x.\sigma$ の形の事態を導入することも可能である. その構成法は, 上の $\lambda x.p$ の構成の場合と同様である. そして, 通常の古典的な一階論理と同様に, 基本事態の極の反転操作を, これらに拡張事態に対しても拡張定義することができる. 事態 σ を反転して得られる事態を σ の否定と呼び $\bar{\sigma}$ と書く.¹⁰ 支持関係の拡張についても同様である. このあたりは, 古典的な一階論理の構文論と, そのモデル論の扱いと同様である. 但し, 部分モデル (構造) であること, 無限の論理和 / 積を許しているところが違っている.

4.6 命題と事実の抽象化

本解説では, 型は命題を抽象化してえられるものとした. たとえば状況 s をパラメータとして持つパラメトリックな型

$$\lambda x.s \models \langle\langle \text{SHAVING}, x, x \rangle\rangle$$

は命題

$$s \models \langle\langle \text{SHAVING}, x, x \rangle\rangle$$

を抽象化して得られる.

事態の抽象化を導入しよう.¹¹ たとえば, $\lambda x.\langle\langle \text{SHAVING}, x, x \rangle\rangle$ が例である. その意味は x を与えると 事態 $\langle\langle \text{SHAVING}, x, x \rangle\rangle$ を返す関数と解釈する. パラメトリックな事態 $\sigma(x)$ の抽象化を, 命題レベルの抽象化 (型) と区別するために $[x|\sigma(x)]$ と書く. また 次の略記法を用いる.

$$\langle\langle [x|\sigma(x)], a; 1 \rangle\rangle = [x|\sigma(x)](a).$$

¹⁰ 以前は, $\exists$ や $\forall$ 型の事態の否定は認めていなかった.

¹¹ これは, 以前, *descriptive property* と呼ばれていたものである.

このように事態のラムダ計算の導入に応じて、 $s \models \sigma$ をこの形の手態についても、通常どおり拡張しておく。

手態の間の論理的な同値関係を、この世界モデルに基づいて、例えば次のように導入できる： M のすべての現実的状況（世界 M の部分集合） s について $s \models \sigma \Leftrightarrow s \models \tau$ のとき $\sigma \Leftrightarrow \tau$ と書く。

そのとき

$$\langle\langle [x|\sigma], a; 1 \rangle\rangle \Leftrightarrow \sigma[a]$$

$$\langle\langle [x|\sigma], a; 0 \rangle\rangle \Leftrightarrow \bar{\sigma}[a]$$

が成り立つ [3]。Plotkin が示したモデル [12] のように、この性質が成り立たないモデルがあるので、この結果は、決してトリヴィアルではない。

5 おわりに

状況理論あるいは状況意味論を理解しようとするときに、疑問になると思われる部分で、とくに数学的な枠組としてそれがどんな理論であるか、ということを中心に解説した。その特徴は、非常に豊かなオブジェクトを持っていることと、世界を、局所的な視点を貼り合わせともものとして、状況依存性をとらえていることであつた。情報理論的な自然言語意味論の強力な枠組を掴みつつあると評価できる。

本解説は、筆者の解釈がかなり入っている。たとえば、状況理論とは、世界を拡張された多様体とみることだ――などはその例である。解説者が異なれば、本解説とは、全く異なった状況理論のイメージになるかもしれない。とくに、本稿で解説した状況と事態（事実）と命題の関係は出発点に過ぎず、今後もっと新しい解釈がでてくると考えた方がよい。応用する側からすれば迷惑な話であるが、問題はやはり単純ではない。

本文で一切ふれなかったが、自然言語の文法の意味記述に状況意味論を使うこと、状況理論の計算モデルを定式化すること、そして談話理解などの実際のプログラムに組み込むことなど、状況理論の応用も行われている。しかし、残念ながら、サーベィ不足のために紹介することができなかった。筆者の同僚など、いくつかのグループがそれを試みている。間もなくなされる予定の、彼らの報告を待ちたい。

謝辞 本稿は、ICOT 意味論研究懇話会の諸氏や同じく ICOT ワーキンググループ NLU/SWG1(状況意味論関係)の諸氏との議論をベースにしている。また CSLI/STASS グループからの、状況理論関係のネットワークメール等の情報が参考になった。しかし、もちろん、ここで述べた見解の誤りの責任は筆者にある。

参考文献

- [1] P. Aczel: Non-well-founded sets, CSLI lecture note, 1988.
- [2] J. Barwise: Situations and Attitudes, MIT Press, 1983.

- [3] J. Barwise: Notes on a Model of a Theory of Situations, Sets, Types and Proposition, draft, August, 1987.
- [4] J. Barwise and J. Etchemendy: The Liar: An Essay on Truth and Circular Propositions, Oxford U.P., May 1987.
- [5] J. Barwise: Situations, Facts and True Propositions, draft, 1988.
- [6] L. Cardelli and P. Wegner: On Understanding Data Abstraction, and Polymorphism, Computing Surveys, Vol.17, No.4, 1985.
- [7] K. Devlin: Logic and Informaiton, A Mathematical Perspective on Situation Theory, draft, 1988.
- [8] D. Dowty 他: Introduction to Montague Semantics, Reidel, 1981.
- [9] S. Hayashi: Constructive Mathematics and Computer-assisted Reasoning Systems, in the proceedings of Heyting, Prenum Press, 1988.
- [10] J. Lambek and P.J. Scott: Introduction to Higher Order Categorical Logic, Cambridge University Press, 1986.
- [11] P. Martin L  f: Intuitionistic Type Theory, Bibliopolis, 1984.
- [12] G. Plotkin: A Theory of Relations for Situations Theory, draft, 1987.
- [13] D. Scott: Domains for Denotational Semantics, ICALP'82, Aarhus, Denmark, July, 1982.
- [14] N. Steenrod: The Topology of Fibre Bundles, Princeton, 1972. (邦訳有り)
- [15] 内山龍雄: 物理学はどこまで進んだか ― 相対論からゲージ論へ ― 岩波現代選書 NS, 1983.
- [16] 片桐恭弘: 談話の世界, 田中穂積, 辻井潤一 (共編著): "自然言語理解", 第5章, オーム社, 1988.
- [17] J.N. クロスリ他著, 田中尚夫 訳: 現代数理論理学入門, 共立全書, 1977.
- [18] 白井英俊: 状況意味論の立場から, 情報処理, 1986年, 8月号.
- [19] 白井英俊: 表象主義と実在論, 人工知能学会誌, Vol.3 No.1, 1988.
- [20] 土屋 俊: 情報の流れと言語の理解, 現代思想, 1986年2月号.
- [21] 橋田 浩一: AI とは何でないか ― 情報の部分性について, bit, Vol.20, No.8, pp. 896-908, 1988.
- [22] 茂木 勇, 伊東 光弘: 微分幾何学とゲージ理論, 共立出版, 1986.