

TM-0814

型推論に基づく談話過程の
モデル化について

向井国昭, 安川秀樹

October, 1989

©1989, 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

型推論に基づく談話過程のモデル化について

向井国昭

安川秀樹

(財) 新世代コンピュータ技術開発機構 第2研究室

概要

談話過程を、動的解釈と証明構成の複合行為と見なして、論理におけるモデル論と証明論の枠組で、談話過程を記述する方法論を提案し、その概要を示す。証明論としては、構成的型理論に着目し、エージェントの行為を、型推論言語のインタプリタとして捉える。これは、談話過程の持つ焦点・注意・照応などの動的な側面と、プラン・ゴールの構成などの推論的な側面を統合したモデルの記述の枠組を目指すものである。また、談話過程のプロセスを記述する空間としての世界モデルの設計方針を、多様体 (manifold) の座標系と状況意味論のロール・アンカリングとの間の類推に基づき、簡単な例を用いて説明する。

1 はじめに

談話過程は、複数のエージェントによる情報の生成・伝達・受信・解釈・格納プロセスからなる、協調問題解決システムである。このような複雑なシステムを記述する枠組はどのようなものだろうか？ また、そのモデルはどのようなものであろうか？ 本稿では、論理におけるモデル論と証明論が、談話過程の記述のすぐれた枠組であることを再確認する。この主張の根拠はふたつに分けて説明される。ひとつは、自然言語をもプログラム言語と見なして、その“動的解釈”[2]を与えるというアイデアである。他のひとつは“構成的型理論”からのアイデアである。型理論 (型推論) は数学の基礎のみならず、最近ではソフトウェア科学の基礎としても盛んに研究されている。さらに、最近のカテゴリ文法と型理論の密接な結び付きに見られるように、自然言語の分野においても型理論の応用の可能性が指摘されている [1], [11]。談話における照応現象を Martin-Löf の依存型を用いて明快に分析した例もある [12]。本稿では、型理論の“証明”オブジェクトと談話過程の基本要素である“意図”の類似性を手掛かりに、談話過程と型推論過程を同一視することを提案し、その帰結のいくつかを検討する。

既存の談話モデルへの接近法としては、現象論的な分析に基づき、焦点 (focus) や注意 (attention) から、談話の振る舞いを説明することに主眼を置いたもの、あるいは、意図のモデルとしてのプラン・ゴールを用いたものが代表的であろう。前者は、談話の過程の動的な側面のモデルを与えており、後者は目標達成のためのプランの構成という推論的側面をモデル化したものであると考えられる。本稿の目指すモデルは、これらの二つの側面を統合するものである。

本稿の背景にある言語意味論は、状況意味論である [4], [3]。言語の状況依存性や状況内推論などの同理論の中心的アイ

デアを、論理の枠組を用いて理解しようとするものである。一例として、“右”・“左”など視点に依存することばの使用をモデル論の枠組で説明する。

2 基本アイデア

談話過程を、動的解釈と証明構成 (型推論) の複合行為とみなし、論理におけるモデル論と証明論をバランスよく談話過程のモデルに取り込むことが基本方針である。その中心となるアイデアを次の4点にまとめてみよう：

1. 自然言語をプログラム言語と見なし、モデル論を動的なものにする。すなわち、モデル論にプログラム言語の操作論の意味論を加える。つまり、副作用を持つ手続き型言語に対する解釈モデルを与える。
2. “意図”、“プラン・ゴール”の理論を“命題”と“証明”の理論に還元する。これにより、型推論の枠組が談話過程の記述において積極的な意味を持つ。
3. 状況は部分 (partial) モデルであり、状況依存性はそれらのモデルに関する事実の間の関係 (一様性) である。
4. “視点”は、“世界”という多様体の局所座標系であり、視点に属する事実の間には、座標変換に対する普遍性としての制約が与えられている (相対性理論)。

3 なぜ型推論か

なぜ、談話過程を動的な型推論すなわち一種の“証明”行為と見るのか。従来の考え方とどこが違うのか。どんな理論的利点があるのか。以下では、それらの点について検討する。

まず、型理論に着目する理由である。談話理解は“ことば”による情報伝達機能を問題にしている。一般に、“ことば”は、物事の“一様性”を捉える道具であり、そのような一様性を“型”と考えることは自然であろう。“ことば”はこの一様性を伝達する。

また、談話理解における情報の流れという観点から考えると、与えられた情報 (状況) から、新しい情報 (状況) を抽出する過程が、談話の当事者の行う基本的な処理 (行為) である。すなわち、談話における理解の過程においては、発話の命題的内容と同時に、その命題的内容が真となるような証明を具体的に構成していく手段が求められる。この点において、(構成的) 型理論の思想と共通するものがある。

次に、談話理解モデルの基本課題は、情報伝達行為における意図の扱いである。談話理解を協調問題解決の過程とするからには、プラン・ゴールの理論が記述できなければなら

ない。あるいは、知識 (know) と信念 (belief) の理論、より一般には態度 (attitudes) の理論が記述できなければならない。ちなみに、Cohen-Levesque は persistent-goal のモデル理論を、dynamic logic を用いて与えている [6]。プラン・ゴール理論と構成的型理論を比較してみると、密接な関係を見出すことができる。すなわち、

“ゴール” $\Leftrightarrow$ “命題”
 “プラン” $\Leftrightarrow$ “証明”

という自然な対応が見られる。(構成的) 型理論は、“証明”の理論であるから、型理論は談話理解プロセスにおけるプランやゴールの操作の枠組を与えるものであるという見通しが得られる。すなわち、プランをゴールの “realizer” と見なして、プランの構成過程を、型推論における証明 (construction, realizer) の構成過程と見なすことができる。

型理論は “propositions as types” の原理により、論理を内部にコーディングでき、したがって命題を扱うことができる¹。これは目標とする状況の性質を記述する上で必要な能力である。たとえば、

$s \models \text{has_goal}(a, g)$

なる解釈過程は、ある手続き (プラン) p を構成できて、状況 s に p を適用して得られる状況 $s' = p(s)$ が仕様 (ゴール) g を満たしていることとして記述される。

また、証明オブジェクトは、命題の確認のステップをラムダ項としてコード化したものと見ることができ、証明は、いわば談話過程のトレースであり、談話行為における重要な情報源である。実際、(構成的) 型理論では、与えられた命題の証明の witness が証明図のどこかに必ず具体的に存在していることが保証されている。したがって、証明という構造に対するアクセス手段を規定することにより、照応などの動的言語現象を、証明へのアクセス行為としてモデル化することができる。つまり、証明オブジェクトは、DRS [9] やメンタルスペース [7] に対応する役割を果たすものということができる。Sundholm は、文の意味を証明論的に捉えることの重要性と、Martin-Löf の型理論の自然言語の意味論への適合性について論じ、有名なロバ文における限量子のスコープと照応現象に関する問題は、証明オブジェクトを導入することにより、自然に解決されることを示した [12]。

一方、Barwise は、照応現象に対する動的解釈モデルを与え、DRS のような中間的な構造を導入する必要はないと論じた [2]。しかし、Barwise のモデルは、文の “命題” 的内容の構成を対象とし、その命題を確認する “証明” を対象としてはいなかった。いわば、ロバ文

“Every man who owns a donkey beats it.”

の表現する命題 (型)

$(\Pi x : (\Sigma y : \text{man})((\Sigma z : \text{donkey})\text{own}[y, z]))\text{beats}[p(x), p(q(x))]$

を構成するための理論であり、その証明、すなわち、“ロバを飼う各人” に対して、“彼に打たれる彼のロバ” を与える

¹特に、Martin-Löf の型理論の依存型は、述語論理さえも自然な形でコーディングする。

関数の構成のための理論ではなかった。この Martin-Löf の型理論によるロバ文の分析は [12] によるものであり、文が真であることは、この命題の証明が存在することと定義される。

さらに、型理論は証明の正規化 (proof normalization) という強力な手段を持つ。談話理解の過程は証明の過程であるという観点から、談話構造の変形を正規化として捉えるという観点から、談話構造の変形を正規化として捉えるという観点から、正規化は、ある “証明” すなわち、“理解” の形を自ら内部で変形していくことであり、談話の動的な側面と結びつくものと考えられる。たとえば、談話理解の要約結果を正規形と定義すること、また、すでに得られた “理解” をサブルーチンとして再利用することなど、談話理解の進化論的な側面をもモデル化する可能性ははっきりしてくるだろう。また、証明はラムダ項で表されるので、これらのことが、具体的な手続き (関数) として記述可能か否かという問題についても、きちんと議論できるであろう。

また、型推論の利点として、高階の概念 (オブジェクト) が扱えること、決定可能な “typing” アルゴリズムを持つことが挙げられる。集合論におけるメンバーシップ問題 ($a \in X$) は一般に決定可能性は望むべくもないから大きな違いである。

以上の観察により、証明オブジェクトが意図の理論と動的解釈の理論を結び付ける鍵であることが分かる。

4 動的モデル論

日常言語使用の特徴である状況依存性は、動的解釈と密接に関係している。通常の一階述語論理のタルスキ流モデル論は、扱う論理結合子の性質上、極めて静的である。可能世界意味論は様相演算子に対するタルスキモデルの拡張と考えられるがそこでも事情は同じである。このためか、述語論理が自然言語やプログラム言語の意味論における動的現象の記述に不向きであるとする意見も見られる。

しかし、タルスキ流のモデル論における解釈の規則の形はプログラム言語の解釈と極めて似ていることをまず指摘したい。割当て f を変数領域メモリに、構造 M を常数テーブルと対応させよう。 M は常数記号 (シグナチャ) に対する “割当て” であることに注意する。文を p とおく：

$M, f \models p$

これは、副作用の部分を見捨てた記述形式である。しかし、タルスキ流のモデル論の枠組が、プログラム言語の動的な解釈の形式と同じであること、したがって前者を動的解釈モデルに拡張することができることを示唆している。この示唆にしたがえば、状況意味論でいう、“situatedness” も、(部分) モデルの上での言語の動的解釈行為と見ることができ。なぜなら、談話過程は、状況に置かれているエージェントが、その状況に働きかけて別の状況を生み出す行為として見ることができからである。すなわち、状況 f のもとで表現 p を解釈すると、副作用として新状況 g が生成され、引き続き解釈はこの状況で行われる。この談話過程のステップは、以下のように書くことができる：

$M, f \models p \Rightarrow g$

これは、状態遷移に基礎を置くオートマトン理論の考え方でもあり、また、まさにプログラム言語の操作論的意味論と言っても良いであろう。なじみの深いモデル論の枠組を談話理解のモデルの基礎に置くことにより、色々な概念が明確に把握することができる。

5 状況内推論

本稿では、状況内推論をモデル論における動的解釈と見る立場を取っている。では、その解釈されるべき言語 L はどのような構造を持っているのだろうか？それは必ずしもシンボル列である必然性はないが、便宜上ここでは、日常言語の部分集合で、型推論過程を記述するための必要なコマンド文を含むものと考えよう。また L の式は一般に状況パラメータを持っており、それがどの状況にアンカーされるかは動的に決まる：

$$U, f \models \varphi(s).$$

ここで、 s は動的な解釈における文脈に依存して現在の状況を指すパラメータである。

状況推論は、いわば、データベース検索と文レベルの推論のミックスしたプロセスである。後者、すなわち定理の証明は、非常に一般的な事実を導きだすが、一般に効率は悪い。しかし、動的解釈において主要な行為は、推論ではなく、与えられたモデル、すなわち、環境の上で式を評価して値を得ることである。“今何時？”という式の値は、時計の理論と他のデータを使って推論するよりは、単に腕時計の針を読みとることにより与えられるものとするのが自然であろう。一般に、モデル論は、個々の状況に依存する個別的な情報を、“データベース”を直接参照することにより得る行為の理論と考えることができる。

Barwise と Etchemendy の Hyperproof[5] はモデル論というより、むしろ情報の操作という観点から人間の日常推論を捉えようとしており、本稿のように証明オブジェクトを談話過程の重要なオブジェクトとして提案する立場とは異なる。

談話過程における特徴のひとつは、“I”, “you”, “左・右”, “ここ”などの状況依存性の高いことばの使用である。つまり、ロールとかインデキシカルと呼ばれることばの働きである。動的に変化する状況において、これらのことばの指す対象を同定しなければならない。

この同定をここでは単にロールのアンカリング (anchoring) とよぶ。以下、このロールとアンカリングの簡単な例を挙げよう。これは、型推論としての談話過程のモデル化のアイデアの一部を説明するものである。

5.1 右左の例

以下に示すような状況を想定してみよう。

- A と B は向き合っている。
- A から見て右にフォーク f が、左にナイフ k がある。

B から見て、 f は左に、 k は右に見える。つまり、 A と B とで左右が逆になっているという状況である。そのとき、 A は B に k をとってもらいたいとする。

今、“ B から見て右のもの、すなわち k を取ってくれ”という意味で A が次のように発話したとする。

A : “右。”

これは、視点を用いて次のように説明される。相手から見て右(左)にあるものは、私から見て左(右)にある。ゆえに左が欲しければ右と言えばよい。これを、本稿の用語で言えば次の命題

$$\exists X X \in \{ \text{右または左} \} \wedge A(\text{左}) = k \wedge B(X) = k.$$

の証明を座標変換制約

$$\text{向きあう}(A, B) \rightarrow A(\text{右}) = B(\text{左}), A(\text{左}) = B(\text{右})$$

を使って証明 (witness) を構成することである。この場合、発話が示すように、 $X = \text{右}$ となる。また A の望む表現 X に対する、 A の“外部”から見た仕様を次のように与えることもできるだろう：

$$A \models (B \models X) \Rightarrow A(\text{右}).$$

すなわち、エージェント A の環境での評価の結果と、 B の評価行為を A の環境においてシミュレーションした結果とが等しくなるようなロール X の仕様を与えている。これは、モデル論がネストしたような、いわば reflective なモデル論である。その理論的基礎は必ずしも明かでなく、今後の理論的課題のひとつではあるが、談話のモデル化においてはごく自然に現れる現象である。

5.2 モデル

既存の談話モデルを“ブランチ・ゴール言語”のインタプリタ・モデルとすることができるならば、われわれの談話過程は、“型推論言語”のインタプリタであると言ってよいだろう。さらにいうなら、“動的な”型推論言語のインタプリタであり、たとえば、ロールなどの表現を含み、それが実際になにを指すかは動的に決定されるものである。すなわち、証明すべき命題自体が動的なパラメータを含み、また公理や推論規則自体も動的に変化するような証明論である。それは、直観的には、公理系や推論系の階層化や、動的な公理の挿入や削除などを含むような推論系である。そのような動的な証明論に対して(メタ理論としての)明確な意味論が与えられるかどうかは、興味ある問題であり、現在検討を始めたところである。その世界モデルについては、数学における多様体の考え方を参考としている。

以下は、そのモデル、すなわち“世界”のイメージの一端である。上の“右左”の例で示したように、状況 = 局所座標系 = 視点 = ロール系と、まずは単純化してみる。“ x は y の右にある”という2項関係は、たとえ、視点を固定したとしても、推移律を満たす大域的2項関係として定義することはできない²。視点を込めても3項関係としての“右”という大域関係が存在しない以上、3項関係として見る積極的な利点はない。一方、局所系としての状況を導入すれば、線形

² 丸いテーブルを囲んで向き合っている場合を想像せよ。

順序関係(2項関係)としての左右関係を自然に記述できる。これが“状況”の導入の利点である。そして、問題は二つの視点の間の制約つまりインターフェースの記述にシフトする。

さて、我々の世界モデルは、単純に多様体とのアナロジーに用いると次のように述べる事ができる³。多様体(manifold)は、位相空間 M とその上の局所座標系のファミリーとその制約からなっている。 M は開集合のファミリーと同一視でき、各座標系はある開集合の上で定義されている。

このことに注意して、われわれの世界は状況空間 W とロール・アンカリングのファミリーとその制約から成るものとする。開集合をより抽象化したものとして状況を考え、ロール・アンカリングを座標系として考える。制約は、上述の左右の例の中の制約のようなもの考える。多様体は次元という型が大域的に決まっているおり、これを世界の型(次元)と対応させる。

最後に、本稿のメタ理論を記述対象であるエージェントの論理と同じく構成的な型理論で記述すると、自然にいわゆる reflective なシステムの設計問題になる。つまり、型理論で型理論自身を記述する問題であるが、システム構成上有力な手法であろう。これも型理論を採用する動機のひとつである。

6 おわりに

談話過程を型推論言語の動的解釈ととらえる見方を提案しその理由を説明した。談話過程のモデル化のために、言語行為の場としての空間とその理論をスケッチした。

筆者らの知る限りにおいて、従来の談話理解のモデルにおいては、ネットワークなどのグラフ論的操作としての理論やプログラムの動きは示されてもそれがどういう意味かを明確にする議論は少ない。それは意味を記述するために利用できる場や道具が貧弱であったことも一因であろう。今や、状況理論などモデル論に加えて、型理論などの記述の枠組みも整理されてきた。それらは、談話理解の構造を解明するための新しい道具である。ふたつだけ、そのような理論を紹介しよう。ひとつは、[10]である。それは、コンカレントなシステムを半群の層(sheaf of monoids)でモデル化するというアイデアである。談話過程の大域的なモデルを作る上で参考になる。次に、Burstall-Goguen の institution[8]は、モデルのクラスを考えて、モデルの間の関係を調べるという意味で参考になる。Institution はソート付きの一階述語論理の圏論的な抽象モデル理論である。ロールをシグナチャと見なし、状況を部分モデルと対応させて考えることができる。

謝辞

本研究は、ICOT NLU-SG/1 ワーキンググループ、CILグループでの討論から多くの情報と刺激を受けている。メンバー諸氏に感謝する。

³ 実際の世界モデルは、“ここ”、“父”、“兄弟”などのロールの理論に応じて、多様体のカテゴリとする必要があるだろう。

参考文献

- [1] J. van Benthem: *Categorical Grammar and Type Theory*, to appear in *Journal of Philosophical Logic*, 1989.
- [2] J. Barwise: *Noun Phrases, Generalized Quantifiers and Anaphora*, in E. Engdahl and P. Gärdenfors (eds.), *Generalized Quantifiers: Linguistic and Logical Approaches*, D. Reidel, 1986, pp.1-29.
- [3] J. Barwise: *The Situation in Logic (CSLI Lecture Notes No. 17)*, Stanford: CSLI publications, 1989.
- [4] J. Barwise and J. Perry: *Situation and Attitudes*, MIT Press, 1983.
- [5] J. Barwise and J. Etchemendy: *A Situation-Theoretic Account of Reasoning with Hyperproof (Extended Abstract)*, to appear in the *Proceedings of the STASS Meeting at Asilomar*.
- [6] Cohen, P. R and Levesque, H. J: *Persistence, Intention and Commitment*, Center for the Study of Language and Information, Stanford University, Report No. CSLI-87-88, 1987.
- [7] G. Fauconnier: *Mental Spaces: Aspects of Meaning Construction in Natural Language*, MIT Press, 1985. (坂原 茂 他 訳「メンタル・スペース」, 白水社)
- [8] J.A. Goguen and R.M. Burstall: *INSTITUTIONS: Abstract Model Theory for Computer Science*, Technical Report CSLI-85-30, Center for the Study of Language and Information, Stanford University, 1985.
- [9] H. Kamp: *A Theory of Truth and Semantic Representation*, in J. Groenendijk et al. (eds.), *Truth, Interpretation and Information*, Foris Publications, 1984, pp.1-42.
- [10] L.F. Monteiro and F.C.N. Pereira: *A Sheaf-Theoretic Model of Concurrency*, in *Proceedings of the Conference on Logic in Computer Science*, IEEE, 1986, pp.66-76.
- [11] A. Ranta: *Intuitionistic Categorical Grammar*, preprint, 1989.
- [12] G. Sundholm: *Proof Theory and Meaning*, in D. Gabbay and F. Gunthner (eds.), *Handbook of Philosophical Logic (III): Alternatives in Classical Logic*, D. Reidel, 1986, pp.471-506.