Vol. 27 No. 8　　情 報 処 理　　Aug. 1986

解　説

計算言語学と論理学†

西田豊明†† 堂下修司††

1. まえがき

自然言語処理の高度化にともない，字面の奥にある情報内容に立ち入った処理をしなくてすむ場合はまれになり，言語表現に反映されている人間の思考過程のモデル化や，話し手と聞き手の間に仮定されている共通の背景的知識の記述とその上での推論などの問題と本格的に取り組むことの重要性が高まってきた．このような観点からみると，形式的枠組みを用いて思考過程と知識のモデル化を試みてきた論理学の分野での研究成果の蓄積の意義は大きい．

しかし，従来の論理学の枠組みを計算言語学に適用しようとするとき，自然言語の表現から論理学の表現への変換があい路であった．論理学ではこの変換は人間によって適切に行われることを仮定していたが，この操作は容易ではなく，かなりの知的作業を要する．また，自然言語の理論としてみると自然言語表現を出発点としていない理論は不完全である．

これに対して，モンテギュー文法をはじめとする論理文法は，論理学で論理式という人工言語に対して適用してきた意味論の手法を日本語や英語のような自然言語にも適用するものである．すなわち，論理文法では自然言語から論理式への変換も規則化して理論のなかに組み込んでいるから自然言語の理論としての客観性が高い．

本解説では，まず，論理学による自然言語の諸相の分析法のあらましを述べ，次に論理文法の手法をモンテギュー文法を中心に説明し，最後に論理学と論理文法の手法を計算言語学の視点から議論する．

2. 言語の諸相と論理学

人間の思考は自然言語を使って行われることが多いから自然言語の諸現象を介して人間の思考過程が観察される（"Language as a window on the mind"）．ここでは，2.1 節で論理学の手法を概説し，2.2 節以降で自然言語のいくつかの現象に対する論理学の手法を用いた分析法を紹介する．

2.1 論理学の手法

自然言語を対象とするとそのあいまい性（ambiguity）と漠然性（vagueness）のゆえに論点がぼやけることになるので，論理学では形式的な人工言語の上で議論を行ってきた．最も簡単な体系は命題論理である．命題論理では文（命題）を最小単位としてその間の論理的推論を扱う．第1階述語論理では個体記号（定数，変数），述語記号（定数），関数記号（定数），限量記号を用いて命題の内部構造を記述する．様相論理では，必然性，偶然性を表す作用素□，◇が導入される[17]．第1階述語論理では，述語記号と関数記号は定数に限定されていたが，高階述語論理ではこれらを値としてとる変数を導入してその上で限量化を行うことができる．内包論理では不透明な文脈をはじめとして内包性について議論される[13]．

論理学において真偽性を論じる一つの方法は与えられた公理系と推論規則から出発して命題を形式的に導く（証明する）演繹的推論である．次に述べる意味論的モデルと対比すると，これは意味の構文的な取扱いに相当する．証明過程によって導かれた命題はその体系の定理と呼ばれる．

論理学において真偽性を論じるもう一つの方法は，対象世界の構造を反映した意味論的モデルを導入することである．命題論理や第1階述語論理のモデルでは対象世界は唯一の矛盾のない現実世界から成るものとされるが，様相論理や内包論理のモデルでは，対象世界は「きのう」「あした」「彼の信じている世界」などに対応する，複数の互いに矛盾するかもしれない可能世界にわけて取り扱われる．

ある体系の式が，考慮されているすべてのモデル（および，すべての可能世界）で成立するとき，その式は意味論的モデルの考慮されている範囲内で恒真と

† Computational Linguistics and Logic by Toyoaki NISHIDA and Shuji DOSHITA (Department of Information Science, Faculty of Engineering, Kyoto University).

†† 京都大学工学部

呼ばれる．ある体系で P と $\neg P$ の両方が証明されることがなければ，その体系は無矛盾であるといわれる．すべての恒真式がある体系で証明できるのであれば，その体系は完全であると呼ばれる．

一般に，ある対象領域の性質を的確に表す公理系をつくってからそれによって表されるものの性質について論じるより，対象世界についての世界観を捉える意味論的モデルの範囲を先に決めてから公理系について論じるという考え方の方が自然である．とくに，計算言語学の視点からは，我々が時間や物質に関して抱いていて，自然言語に自然に反映されている直感を形式的に表す ontology (存在論) をうまくつくりあげることが重要である．しかし，対象領域が複雑になればなるほど，完全性をもった公理系，すなわち，考慮している範囲のすべてのモデルにおいて成り立つ性質がすべて導けるような公理系をつくることは困難になってくる．

2.2 時制のモデル化

自然言語では異なる時制は異なる意味をもつ．時制やアスペクトに関する研究は非常に多くのものがあり，その詳細は別の機会に述べたい．この節では文献 49) に基づいて，時制の取扱いを簡単に紹介する．

命題論理において時制の違いによる意味の違いを簡単に表す方法は，**F** (Future), **P** (Past) という2種類のモーダル作用素を加えることである．たとえば，"Dahlia lies" という文に対応する命題を q と表すことにすると，時制付の文に対して次のように論理式を対応づけることができる．

Dahlia will lie.	: $\mathbf{F}q$
Dahlia lied.	: $\mathbf{P}q$
Dahlia had lied.	: $\mathbf{PP}q$
Dahlia will have lied.	: $\mathbf{FP}q$
Dahlia would lie.	: $\mathbf{PF}q$

このような簡単な時制表現を含んだ論理のための形式意味論としては時点の集合と大小関係を含んだモデルを考えれば十分である．すなわち，命題論理に**F**と**P**を加えた形式言語のための意味論的モデル (以下では単にモデルと呼ぶ) として，次のようなものを考える：

$M=\langle T, <V\rangle$

ここで，T: 時点の集合

$<$: 時点の間の大小関係；

$x<y$:「x は y より早い時点である」

V: 命題定数に意味値 (真／偽) を割り当てる関数

ϕ がモデル M において時刻 t で (モデル論的に) 真であることを

$M\models\phi[t]$

と書けば，**F** と **P** の意味は，

$M\models \mathbf{F}\phi[t]$

$\Leftrightarrow$ $t'>t$ なるある t' に対して $M\models\phi[t']$

$M\models \mathbf{P}\phi[t]$

$\Leftrightarrow$ $t'<t$ なるある t' に対して $M\models\phi[t']$

によって表される．

時点の集合が稠密であるとすれば，この体系では任意の ϕ に対して $\mathbf{PP}\phi\leftrightarrow\mathbf{P}\phi$ が成り立つので，過去と大過去の区別ができなくなる．また，現在完了と進行形も記述できない．

一般に，時点の集合をプリミティブとする ontology では記述力に限界がある．たとえば，D. Dowty が初期に与えた BECOME の意味は，

〔BECOME ϕ〕が時点 t で真 $\Leftrightarrow$

t で ϕ が真であり，かつ $\neg\phi$ が t 以前のある t'，および t' と t の間のすべての t'' で真，

であったが，この解釈規則は，

John falls asleep. (1)

に対する解釈が，

"John has just fallen asleep."

を意味することになってしまい，また，"fall asleep" の，

It took John half an hour to fall asleep.

という用法の説明ができないという指摘がなされている[2]．

自然言語の論理分析では時区間をプリミティブとするモデル化が行われている．時区間とは，正の幅をもつ，時間軸上の (開) 区間であり，時区間の間の基本関係として，先行，隣接，重なり，包含がある．

たとえば，文献 2) の提案では，(1)の文に対応する論理式は，

COME-ABOUT (SLEEP, JOHN) (2)

であり，その意味解釈は，

(2)が時区間 $\bar{t}$ で真

$\Leftrightarrow$

$\bar{t}$ の真の部分区間 $\bar{t}^*$ があって，すべての時点 $t, t', t''\in\bar{t}$ と $\bar{t}^*$ のすべての時点 t^* に対して，

(a) $t^*<t$ ならば $t\in\bar{t}^*$

(b) $\bar{t}^*$ で SLEEP (JOHN) が真

（c）　$t \notin \bar{i}^*$ ならば，$\mu_{t,\mathrm{SLEEP(JOHN)}} < \tau_{t,\mathrm{SLEEP}}$,

$\mu_{t,\mathrm{SLEEP}(x)}$：$x$ の眠りの程度を与える

$\tau_{t,\mathrm{SLEEP}}$：「眠っている」といえるためのしきい値

（d）　$\tau_{t',\mathrm{SLEEP}} = \tau_{t'',\mathrm{SLEEP}}$

この時区間で，眠っているか否かを判断するしきい値が変化しない，という要請

この条件の示す拘束条件を**図-1** に示す．

時区間を用いた時間のモデルでは，時区間の前後関係に重なりがあるか否かによって，現在完了と単純過去とを区別することができる[9]．すなわち，単純過去と現在完了をそれぞれ **P**, $\widehat{\mathbf{PE}}$ というオペレータで表すとき，

$M \models \mathbf{P}\phi[i]$：ある，$j<i$ なる 時区間 j に対して $M \models \phi[j]$ であるとき．

$M \models \widehat{\mathbf{PE}}\phi[i]$：$i$ と重なる部分をもち，かつ，i より左に広がる部分をもつ時区間 j に対して，$M \models \phi[j]$ であるとき．

とする．この様子を**図-2** に示す．

2.3　内包性と信念

論理学では，文の中の一部を「等価」なものと入れ替えたとき，全体の文の意味が影響される場合とされない場合の区別があることについて関心がもたれてきた．たとえば，次の文（3）と（4）について，

He found a cake.　　　　（3）

He found a birthday present from her.（4）

“a cake” という表現によって言及されている対象（ケーキ）が「彼女からの誕生日のプレゼント」と同一のものであれば，両者は同じ真理条件的意味をもつ（文脈の透明性）．

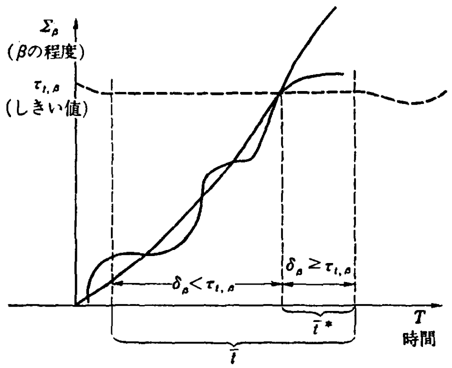
しかし，知識や信念について述べた文においてこのような代入を行うと全体の文の意味がかわってしまう（文脈の不透明性）．たとえば，いま，

P：“1+1=2”

Q：“[第一階述語論理の論理式で表される] 自然数の性質すべてをみたし，しかも，自然数と異なった構造をもつ model が存在する”（文献25），p. 212）

とするとき，P と Q が同じ真理値（真）をもつからといって，know（太郎, P）のなかの P を Q に置き換えて know（太郎, Q）とすると，二つの言明の真理値は必ずしも一致するとは限らない．

“know” のように，不透明性を導入する動詞はさまざまなあいまい性をひきおこす．たとえば，



$\delta_\beta(t)$：t における β-尺度の値
ただしここでは β："sleepiness"

図-1　“John falls asleep” という文が時区間 $\bar{i}$ で真になるための必要十分条件（文献 2）による）

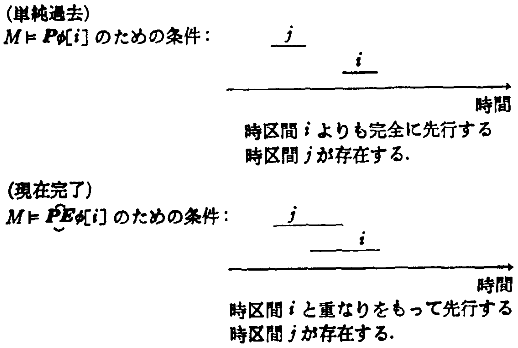


図-2　時区間を用いた時間のモデルにおける単純過去と現在完了の区別

John believes that a Republican will win.

（5）

という文は次の2とおりにあいまいである：

（a）ある特定の Republican（共和党員）が存在して，ジョンはその人が勝つと信じている．

（b）John は誰が勝つにしても，その人は Republican であると信じている．

前者のように，ある名詞句が特定の対象に言及しているとする解釈を *de re*（事象）解釈，後者のように名詞句が不特定の対象に言及しているとする解釈を *de dicto*（言表）解釈と呼ぶ[1]．

このような現象は “know” や “believe” のように埋め込み文をとる動詞に限定されるわけではない．たとえば，

He sought a cake. (6)

という文では，「彼」が探していたものは（たとえば，誰かからもらった）特定のケーキであるのか，それとも（たとえば，なにかあまいものが食べたくなって）どれでもよいからケーキを探していたのか，あいまいである．第二の解釈は，現実世界にケーキが存在しなくても成り立つ．一方，

John found a cake.

という文ではケーキの存在は含意される．

上のような現象は内包論理の対象である．内包論理では項αに対する内包オペレータ $^\wedge$ と外延オペレータ $^\vee$ を含む．これによって文(5)と(6)のそれぞれの2とおりの解釈は次のように記述できる：

$^\exists x$ [Republican (x) $\wedge$
Believe (john, $^\wedge$[**F** win (x)])] (5a)
(*de re*)

Believe (john,
$^\wedge$[$^\exists x$ [Republican (x) $\wedge$ **F** win (x)]])
(5b)
(*de dicto*)

$^\exists x$ [cake (x) $\wedge$ seek (john, $^\wedge\lambda P[P\{x\}]$)]
(6a)
(*de re*)

(ただし，$P\{x\}={}^\vee P(x)$ である)

seek (john, $^\wedge\lambda Q^\exists x$[cake ($x$) $\wedge$ $Q\{x\}$])
(6b)
(*de dicto*)

ただし，(6a) は次のように単純化することができる：

$^\exists x$[cake (x) $\wedge$ seek$_*$ (john, x)] (6a′)

(このことに関する説明は **3.3** 節で行う．)

内包論理の意味論では，内包概念に対して意味解釈を与えるため，指標 (index) という概念を導入する．3章で説明するモンテギュー文法では，指標は可能世界 w と時刻 t の対 $\langle w, t\rangle$ で与えられている．しかし，次の例で示されるように，より広い範囲の現象を取り扱うためには，可能世界，時刻以外のさまざまな座標軸 (coordinate) が必要である[24]．

Here there are tigers. ⟹ 場所座標
I am Porky. ⟹ 発話者座標
You are Porky. ⟹ 聞き手座標
That pig is Porky. ⟹ 指示対象座標
The aforementioned pig is Porky.
⟹ 先行文脈座標

このような指標を用いて，指標 i に関する，割り当て a のもとでの，項 α の内包 $^\wedge\alpha$ への意味割り当て：$V_{i,a}(^\wedge\alpha)$ は次のように与えられる[13]：

$V_{i,a}(^\wedge\alpha)$：指標 j が与えられると $V_{j,a}(\alpha)$ を返す関数 F.

2.4 条件節

自然言語の「ならば」のもつ意味を論理の枠組みで取り扱う場合，種々の問題が生じる．一般に，「A ならば B」という自然言語の表現（条件節）によって表されている意味が，論理的含意：$\neg A \vee B$ であると考えるのは適切ではない．もしそうだとすると，次の文に対応する論理式はいずれも現実世界で真になるが，いずれの文も自然言語の文としては奇妙である：

*If 1+1=2, then Japan is in Far East.
(7)

*If Sweden is in Africa, then Japan is a republic. (8)

また，$\neg A \vee B$ から $\neg(A \wedge C) \vee B$ が論理的帰結として導かれるが，自然言語では次の推論は成り立たない．

(前提) そのコーヒーにクリームを入れると，
そのコーヒーはおいしくなる．
*(結論) そのコーヒーにクリームを入れ，かつ，
そのコーヒーに醤油をいれると，
そのコーヒーはおいしくなる．

条件節の説明モデルはこのような現象に加えて，直説法，仮定法の現象を統一的に取り扱えるものでなければならない．自然言語の意味での条件節を $A \Rightarrow B$ と記述しよう．以下では文献49) に基づいて，論理学における条件節の取扱いについて簡単に説明する．

条件節の真偽性の判断に関して Ramsey のテストという考え方がある：

「条件節 $A \Rightarrow B$ が信念の集まり T に基づいて真になるかどうかは次のようにして検査せよ：前提AをTに加える．その結果が矛盾すれば，そこにAを矛盾なく取り込むために必要な最小の修正を行う．その後，そうして得られた信念の集合からBが導けるかどうかを調べる．」

この考え方を証明論的に定式化するとさまざまな問題が生じる．意味論的に可能世界意味論をつかって形式化する方法が，Lewis と Stalnaker によって提案されている．そこでは，可能世界間の近さの関係を用いる．モデルとして，

$M=\langle W, C, V\rangle$

W: 可能世界の集合

C: 可能世界間の関係；C_xyz は「可能世界 y は z よりも x に近い」という関係を表す．

V: 付値関数

を考え，

$M \models A \Rightarrow B[w]$ $\Leftrightarrow$

w に最も近いすべての A-世界（A が真になる可能世界）において，B が成立する

と定義される．

しかし，この方法は「最も近い」という関係がうまく定義できない場合には適用できない．たとえば，

If I were lighter than I am, ….

という文において，体重を連続に変化するものと考えると「わたしの可能な体重」が「わたしの現在の体重」未満でかつ最も近いような状況は考えられない．（稠密な集合においては任意の $x<y$ に対して，$x<z<y$ なる z が存在する．）

2.5 物質名詞

自然言語では物質名詞と可算名詞は統語上も意味上も異なる振舞いをする．一般に，可算名詞は，離散的な概念を表すが，物質名詞は連続的な概念を表している．たとえば，「水」は，真の部分としてまた「水」を含むが，「自動車」はそのようなことはない．また，「さとう」，“furniture” など，状況に応じて物質名詞とも可算名詞ともみなせるものも多い．

このような物質名詞の特性を論理学の枠組みで捉える試みは，文献 5)〜7)，29)，38)，46) などによって行われてきた．物質の ontology をどのように定式化するかについて，集合論的に捉えればよいのか，それとも内包や特殊な対象を導入する必要があるのか，などの点について議論がある．物質性の概念の中心は連続性であり，それは部分－全体関係によって捉えられることが明らかにされてきた．

H. Bunt は，要素－集合関係による可算名詞の取扱いと，部分－全体関係による物質名詞の取扱いを統合した Ensemble 理論を展開した[5),6)]．彼の方法は Mereology と呼ばれる Lesniewski の論理の方法[20)]に属するものである．

Ensemble 理論では，ensemble という 1 種類の entity が用いられ，集合と個体の両方を表す．ensemble を関係づける 2 種類の原始述語 $\subseteq$（部分－全体関係）と $\underline{\in}$（“unicle”-集合関係）が導入されている．これをもとに ensemble 間の等価性，真の部分，空，統合，重なり，差分，要素-集合関係などが定義される．図-3 に Bunt による定式化の一部を示す．

$\subseteq$: 部分-全体関係

$\underline{\in}$: unicle (unique element)-全体関係

- transitivity の公理（$\subseteq$ の導入）
  $(^\forall x, y, z)((x \subseteq y \wedge y \subseteq z) \rightarrow x \subseteq z)$
- 等号 $x=y \triangleq x \subseteq y \wedge y \subseteq x$
- 真の部分：$y \subset x \triangleq y \subseteq x \wedge \neg(y=x)$
- マージ：ensemble の有限列 $C=\{x_1, \cdots, x_n\}$ に対してすべての x_i を部分としてもつ最小の ensemble が存在する．これを x_i のマージとよび，$\cup(C)$ または $x_1 \cup \cdots \cup x_n$ と書く．
- 空の ensemble：$\mathrm{EMPTY}(x) \triangleq (^\forall y)(y \subseteq x \rightarrow y=x)$
- アトム：$\mathrm{ATOM}(x) \triangleq (^\forall y)(y \subseteq x \rightarrow y=\phi \vee y=x) \wedge x \neq \phi$
- Unicle の公理：（$\underline{\in}$ の導入）
  $(^\forall x)((\mathrm{ATOM}(x) \rightarrow (^\exists ! y)(y \underline{\in} x)) \wedge$
  $\neg \mathrm{ATOM}(x) \rightarrow \neg(^\exists y)(y \underline{\in} x))$
- 要素-全体関係：$x \in y \triangleq (^\exists z)(z \subseteq y \wedge x \underline{\in} z)$
- べきの公理：$(^\forall x)(^\exists P)(^\forall y)(y \subseteq x \rightarrow y \in P)$
  このような最小の P を $\mathcal{P}(x)$ と書く．
- $\subseteq^\circ$（空でない部分）：$y \subseteq^\circ x \triangleq y \subseteq x \wedge \neg(y=\phi)$
- $\subset^\circ$（純粋な部分）：$y \subset^\circ x \triangleq y \subset x \wedge \neg(y=\phi)$
- ensemble の連続性と離散性：
  x が連続：$x \neq \phi \wedge (^\forall z)(z \subseteq^\circ x \rightarrow (^\exists w)(w \subset^\circ z)$
  x が離散：$x = \cup(\{z \in \mathcal{P}(x) : \mathrm{ATOM}(z)\})$
  - ϕ は離散的である．
  - 一般的な ensemble は連続的な ensemble と離散的な ensemble の混合となる．

図-3　Bunt の Ensemble 理論[5),6)]の一部

Ensemble 理論では，自然言語における物質名詞と可算名詞との振舞いの類似性が論理式の表現上でも保持されるように工夫されている．たとえば，「かばんの中に 20 個のりんごがある」「びんの中に 2 リットルのワインが入っている」を表す表現はそれぞれ，次のようになる：

$|\{x \in \mathrm{APPLES} : \mathrm{IN}\ (\langle \mathrm{bag}, x \rangle)\}| = 20$

$|[x \subseteq^\circ \mathrm{WINE} : \mathrm{IN}\ (\langle \mathrm{bottle}, x \rangle)]| = \langle \text{2-liters} \rangle_v$

また，Bunt は，たとえば「米つぶ」の集合が与えられたとき，それを全体として物質名詞とみる視点と個々の「米つぶ」を問題とする可算名詞としての視点との間の変換法も与えている．

2.6 論理学による意味分析の問題点

論理学の手法を計算言語学で利用しようとするときの第一の問題は，自然言語の表層の記述と論理式との対応が不透明であることである．とくに，自然言語から問題の論点を的確に表す論理式への変換はかなり微妙であり，最適のものを得るのは容易ではない．

たとえば，文献 45) で引用されている次のいくつかの例を見てみよう．

（例 1）　裸の名詞句

Soldiers are brave.　　(9 a)

Soldiers are drunk.　　(9 b)

(9 a), (9 b) では, “soldiers” が共通していて周囲の統語構造も同じであるが, 普通の文脈では (9 a) では “soldiers” は総称的な兵隊, (9 b) ではある特定の兵隊の集まりを指すと解釈されるから, それぞれに対して次のように, 異なる形の論理式を割り当てなければならない：

$$\forall x[\mathrm{Soldiers}(x) \to \mathrm{brave}(x)] \qquad (9\,a')$$

$$\exists x[x \subset \text{set-of-soldiers} \wedge \forall y[y \in x \to \mathrm{brave}(y)]] \qquad (9\,b')$$

(例 2)　ロバ文

If Pedro owns a donkey, he beats it. (10 a)

Every farmer who owns a donkey beats it. (10 b)

(10 a), (10 b) は “donkey-sentence” (ロバ文) と呼ばれている. 通常 “a”, “an” などの不定冠詞のつく名詞句には存在限量子を用いた論理式を対応づける. たとえば,

Pedro owns a donkey. He beats it. (11)

$$\exists x[\mathrm{donkey}\ (x) \wedge \mathrm{own}\ (\mathrm{Pedro},\ x) \wedge \mathrm{beat}\ (\mathrm{Pedro}, x)] \qquad (11\,a)$$

しかし, (10 a), (10 b) のような文脈に表れる不定名詞句には逆に全称限量子による論理式を対応づけるのが妥当であると考えられる. すなわち,

$$\forall x[\mathrm{donkey}\ (x) \wedge \mathrm{own}\ (\mathrm{Pedro},\ x)) \to \mathrm{beat}\ (\mathrm{Pedro},\ x)] \qquad (10\,a')$$

$$\forall x \forall y[(\mathrm{farmer}\ (x) \wedge \mathrm{donkey}\ (y) \wedge \mathrm{own}\ (x, y) \to \mathrm{beat}\ (x, y)] \qquad (10\,b')$$

このように自然言語の文に論理式を割り当てるのはかなり微妙な要素を含んでいる.

第二の問題は interface の問題である. 自然言語の異なる側面のモデルとして種々の論理系が展開されてきているが, ある範囲の自然言語を取り扱おうとすると, これらすべてを包含するような論理の体系を探すか, 現象ごとに異なる論理系を切り換える必要がある. 前者では, たとえそのような論理系があったとしても完全性が保証されないから, 証明論的な観点からもはや使いものにならないだろう. 後者については, 論理系をいつどのように切り換えるかが問題になる. また, 同じものを異なる視点から見ようとしたとき, ある視点からの観察結果としてすでに得ていた情報を, どのようにして別の視点からの表現に切り換えるかという疑問も残る.

3. 論理文法

人工言語の意味論の手法を自然言語に適用しようという立場であり, モンテギュー文法が初期の代表例である. モンテギュー文法の意味論の立場は文献 9) で示されているように次のような特性をもつ.

● 真理条件的意味論：ある文の意味を知るということは, 記述されている世界がどのようになっているときその文が真であるか (真理条件) を知ることである, という立場.

● モデル理論的意味論：対象言語の意味を, 対象世界に含まれる「対象」とそれらの間の関係に関する抽象的な数学的モデルとの対応づけによって捉えようという立場.

● 可能世界意味論：対象世界を個別の状況に対応するいくつかの「可能世界」の集まりとして捉え, 文の内包的意味を可能世界から真理値への関数として捉えようとする立場.

3.1 モンテギュー文法の手法

手法の詳細な説明はすでにいくつかの文献[9),27),28),32),44),48)]で与えられているので, ここではエッセンスのみ述べる.

言語学の理論としてのモンテギュー文法の果たす役割は, 自然言語に含まれる種々のあいまい性を説明することである. このことに関してよく知られた例は,

every man loves a woman. (12)

という文に次の 2 とおりの解釈があること：

$$\forall x[\mathrm{man}\ (x) \to \exists y[\mathrm{woman}\ (y) \wedge \mathrm{loves}\ (x, y)]] \qquad (13)$$

$$\exists y[\mathrm{woman}\ (y) \wedge \forall x[\mathrm{man}\ (x) \to \mathrm{loves}\ (x, y)]] \qquad (14)$$

および,

He seeks a unicorn. (15)

における *de dicto* の解釈の存在に関する議論である.

通常の論理言語のように形式言語の枠組みではあいまい性の入り込む余地はない. モンテギュー文法では, 自然言語を論理式に変換する過程を 1 対多にすることによってあいまい性を説明する機構を導入している. すなわち, 解析木 (analysis tree) という概念が用いられており, 解析木から内包論理式と自然言語の表層表現への変換はそれぞれ一意的に決まるが, 与えられた自然言語の表現には, 複数個の解析木が対応し得る.

文献 28) で示された枠組み (論文の標題を短縮して

PTQ 文法と呼ぶ）を図-4 に示す．ここでは文(12)に対する２とおりの解釈は図-5（ａ），（ｂ）のような２とおりの解析木に対応するものとして説明される．一方，文(15)のあいまい性は図-6（ａ），（ｂ）の解析木で説明される．

3.2 文法の一般的枠組みとしてのモンテギュー文法

モンテギュー文法自体は，個々の（自然または人工）言語のための個別文法を書くための枠組みを与えていると考えることができる．PTQ 文法はその枠組みにのっとって，英語の小さなサブセット（フラグメントとよばれる）に対して具体的に書かれた個別文法の一つである．そのような個別文法を記述するための母体としてのモンテギュー文法は無原則な個別文法が書かれることを禁止するためにいくつかの原則を課している．

（ａ） 構成性原理 (Principle of Compositionality)

複合表現の（内包的）意味は，その表現の構成要素の（内包的）意味の関数として与えられなければならないとする原則．一方，知識や信念に関するいくつかの例が示しているように，複合表現の外延的意味をその構成要素の外延的意味の関数とする定式化は適切ではない．

構成性原理によって，任意の複合表現に対する個別の意味解釈規則を個別文法に無原則に与えることができなくなる．

（ｂ） タイプ付意味論 (Typed Semantics)

統語構造にも意味構造にもタイプ（統語カテゴリと意味カテゴリ）が与えられており，統語構造を意味構造に変換するとき，同一の統語カテゴリが異なる意味カテゴリの意味構造に変換されることを妨げている．

この二つの原則によって，言語の統語モデルと意味モデルの平行性が満足される．

（ｃ） 意味公準 (Meaning Postulate, MP)

自然言語では異なる表現の間に同義関係や含意関係が存在する．モンテギュー文法の枠組みでは，これを個別文法で考慮する範囲の世界モデルを規定した拘束条件として捉え，モデルにおいて真になるべき条件を意味公準として内包論理で記述した．詳細については次節で述べる．

3.3 同義性の取扱い

（ａ） 意味公準 (MP) による方法

モンテギュー文法ではMPを用いて同義性の現象が説明される．すなわち，個別文法においていくつかの

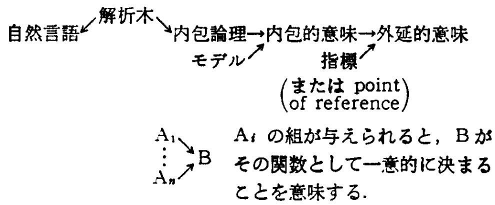
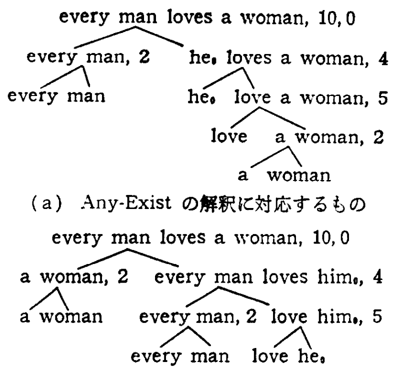


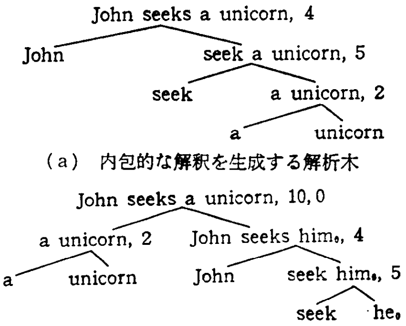
図-4　モンテギュー文法の枠組み



（ａ） Any-Exist の解釈に対応するもの

（ｂ） Exist-Any の解釈に対応するもの

図 5　"Every man loves a woman" の２とおりのあいまい性を説明する二つの解析木



（ａ） 内包的な解釈を生成する解析木

（ｂ） 外延的な解釈を生成する解析木

図-6　"John seeks a unicorn" の２とおりのあいまい性（外延的解釈と内包的解釈）の説明

MP の集合を定義することができ，文の解釈においてはそのようなMPすべてを満足する範囲のモデルしか許容しないものとする．証明論的にはMPは公理のスキーマと考えられる．

以下に MP の例をいくつか示す．

（例１） $$\forall x \forall \mathcal{P} \Box[\delta(x, \mathcal{P}) \leftrightarrow \mathcal{P}\{{}^\wedge\lambda y[\delta_*(x, y)]\}] \qquad (16)$$

ここで δ: find′, love′, lose′, date′, etc. ただし，α' は α という自然言語の単語に対応する内包論理の定数である．また，$*$はオペレータであることに注意されたい．

(すでに **2.3** 節で述べたように，$P\{x\} \triangleq {}^{\vee}P(x)$)

このMPは外延的動詞の目的語の存在を含意している．たとえば，"John finds a unicorn." という文から，*de dicto* の解釈を作り出す規則によって

$$\mathrm{find}'(j, {}^{\wedge}\lambda P[\exists x[\mathrm{unicorn}'(x) \wedge P\{x\}]])$$

(j: "John" の指示する個体) (17)

という内包論理式ができると，上の MP によってこの式は：

$$\exists x[\mathrm{unicorn}'(x) \wedge \mathrm{find}'_{*}(j, x)] \quad (18)$$

と等しくなる．

一方，*de re* の解釈を表す，

$$\exists x[\mathrm{unicorn}'(x) \wedge \mathrm{find}'(j, \lambda p[p\{x\}])]$$

も上の MP によって(18)式と等しくなり，結局，外延的動詞に対する *de dicto* の解釈と *de re* の解釈は一致することになる．

(例2) $\exists x \Box[x=\alpha]$,

ただし，α: john′, mary′, bill′, ninety′

この MP は厳密指示詞 (rigid designator) に関するものである．"John" や "Mary" に割り当てられる意味値は可能世界に依存せず同一であることを要請している．

(例3) ${}^{\forall}x{}^{\forall}P\Box[\gamma(P)(x) \rightarrow P(x)]$

ただし，γ: rapidly′, slowly′, etc.

この MP は "rapidly" や "slowly" などの副詞が動詞を修飾したあとも，もとの被修飾動詞の意味が保存されることを示している．たとえば，"John walks rapidly" という文は "John walks" を含意している．しかし，"allegedly" (「申し立てによれば」) という副詞には，上の性質は成り立たない．

(例4) ${}^{\forall}x{}^{\forall}\mathcal{P}\Box[\mathrm{seek}'(x, \mathcal{P}) \leftrightarrow \mathrm{try}'(x, {}^{\wedge}[\mathrm{find}'(\mathcal{P})])]$

この MP は "seek"≡"try to find" という同義性を表している．

(b) 語彙分解 (lexical decomposition) による方法

モンテギュー文法で語や文の同義性を記述するもう一つの方法は，統語構造(解析木)から内包論理式に翻訳するときに語彙の分解を行うことである．たとえば，"John kills Bill." が "John causes Bill to become not alive." を意味することを論じる場合，"kill" という語を "kill′" という内包論理の定数に翻訳して，

$${}^{\forall}\mathcal{P}{}^{\forall}x\Box[\mathrm{kill}'(x, \mathcal{P}) \rightarrow \mathcal{P}\{{}^{\wedge}\lambda y[\exists P[P\{x\}\ \mathrm{CAUSE}\ \mathrm{BECOME} \neg \mathrm{alive}'(y)]]\}]$$

という MP を用いるかわりに直接，

$$\mathrm{kill} \Rightarrow \lambda\mathcal{P}\lambda x\mathcal{P}\{{}^{\wedge}\lambda y[\exists P[P\{x\}\ \mathrm{CAUSE}\ \mathrm{BECOME} \neg \mathrm{alive}'(y)]]\}$$

という翻訳規則を用いてもよい．この場合，MP よりも柔軟性に欠けるが，MP がもつある種の無原則性を避けることができるという利点がある．文献 8) は，これを用いて動詞の解析を行っている．

3.4 モンテギュー文法の問題点と改善の方向

これまで，自然言語の理論としてのモンテギュー文法の種々の問題点が指摘され，改善の方向が提案されてきた．

(a) 統語論の問題

モンテギュー文法において統語構造の記述に用いられている範疇文法は不十分であるという批判がある．B. Partee らは変形文法を使って強化を試みている[40]．LFG[22] や GPSG[14] なども意味論はモンテギュー文法に従うが統語論をより適切なものにおきかえようとするものである．

(b) 意味論の問題

モンテギュー文法の意味論における可能世界モデルの編成に関してはMPによる制約しか課されていないが，これは人間の言語モデルという観点からみると，強力すぎるので，実世界や人間の能力を反映した種々の物理的，心理的拘束条件をもっと課してゆくべきであるという批判がある[41),42]．

またモンテギュー文法では各可能世界を完全に規定する必要があるが，これも適切でないという批判もある[41),42]．すなわち，人間が考える可能世界は現実世界から少しだけずれたものか，あるいは現実世界から遊離したまったくの夢想の世界が主であると思われるが，そのような場合，その可能世界のすみずみに至るあらゆる詳細まで完全に考慮しているのではなく，その一部だけについて考えていると思われる．そのような場合でも可能世界を完全に規定せよという要請は強すぎる．

モンテギュー文法の意味論のもつ諸問題は状況意味論[2]で解決が図られている．

計算言語学の観点からみたときの問題点については，4.2 節で述べる．

4. 計算言語学からみた論理学

4.1 論理学・論理文法の手法を用いた自然言語処理システム

計算言語学からの関心は，論理学または論理文法の

手法が自然言語処理の理論として適用できるかどうかにある．これまでの試みには主に以下のようなものがある：

（a）与えられた自然言語の文をパースして，論理式を出力するもの：論理文法に近い立場のものは，論理文法に基づいて直接パーシングを行うシステム[10),19)]通常の計算言語学のパース手法を用いたもの[26),43)]などがある．

（b）論理文法のシミュレータ：モンテギュー文法のシミュレータ[11),21)]，内包 Lisp を用いた手続き的な解釈モデル[16)]などがある．

（c）与えられた自然言語文（章）に対して，論理学を用いて推論を行うシステム：様相論理の範囲内では，PHLIQA1[4)]，新田らの特許法に関するシステム[37)]，などがある．

（d）その他の自然言語処理への応用：論理式からの文生成[12)]，機械翻訳[16),33)~36)]，モンテギュー文法に基づく，関数型データベースへの自然言語アクセス[23)]の研究などがある．

4.2 論理的意味解釈と計算言語的意味解釈

これまでの論理文法の目的は言語現象の説明であり，数学的には複雑であっても，言語の現象を定義できればよいという傾向がある（what の理論）．しかし計算言語学ではそれだけでなく言語理解のプロセス，すなわち，現在もっている知識をつかって与えられた意味解釈からどのように情報を取り出すか（how の理論）に関心がある．たとえば，モンテギュー文法ではあいまい性の説明を問題としたが，計算言語学では，あいまいな意味解釈からどのように有益な情報を抽出するかに興味がある．たとえば，条件節をコミュニケーションという視点から捉えた辻井の議論[47)]や，知識や信念に関する推論をどのように行うかについて論じた R.C. Moore の研究[30),31)]は今後論理学や論理文法の諸成果を計算言語学の中に取り入れる方向性を示唆するものであると思われる．

論理学や論理文法は，自然言語の理解に含まれている基本的な問題を指摘し，概念の定式化の手法を与えた．計算言語学に求められていることは，情報の伝達と理解という観点から，自然言語理解のプロセスモデルをつくることである．

5. む す び

本稿では，計算言語学と論理学との関わりを，（a）論理学による自然言語の中の論理性や様相性のモデル化，（b）論理学の意味論の手法を自然言語の意味解析に適用した論理文法のアプローチの２点に分けて論じた．両者に共通することは非手続き的な枠組み内での自然言語の諸現象のモデル化であった．一方，計算言語学では自然言語の理解や生成などプロセス的側面からの定式化が必要である．これまで蓄積された論理学，論理文法の多くの研究成果をプロセスモデルの視点の中でどのように活用していくかが今後の課題である．

参 考 文 献

1) Allwood, J., Andersson L-G. and Dahl, Ö.: Logic in Linguistics, Cambridge University Press (English version 1977), 公平，野家(訳)，日常言語の論理学，産業図書 (1979).
2) Barwise, J. and Perry, J.: Situations and Attitudes, The MIT Press (1983).
3) Bellweg, J. and Frosch, H.: Comparison and Gradual Change, in: Bäuerle et al. (eds.), Semantics from Different Points of View, pp. 75-89, Springer-Verlag (1979).
4) Bronnenberg, W. J. H. J. et al.: The Question-Answering System PHLIQA1, in: Bolc (ed.), Natural Language Question Answering System, pp. 217-305, Carl Hanser Verlag (1980).
5) Bunt, H.: Ensembles and the Formal Semantic Properties of Mass Terms, in: Pelletier, F. J. (ed.), Mass Terms: Some Philosophical Problems, pp. 249-277, Reidel (1979).
6) Bunt, H.: The Formal Representation of (Quasi-) Continuous Concepts, in: Hobbs, J. and Moore, R. C. (eds.), Formal Theories of the Commonsense World, pp. 37-70, Ablex (1985).
7) Cartwright, H. M.: Some Remarks about Mass Terms and Plurality, in: Pelletier, F. J. (ed.), Mass Terms: Some Philosophical Problems, pp. 31-46, Reidel (1979).
8) Dowty, D. R.: Word Meaning and Montague Grammar, Reidel (1979).
9) Dowty, D. R., Wall, R. E. and Peters, S. P.: Introduction to Montague Semantics, Reidel (1981).
10) Friedman, J. and Warren, D. S.: A Parsing Method for Montague Grammar, Linguistics and Philosophy, Vol. 2, pp. 347-372 (1978).
11) Friedman, J., Moran, D. and Warren, D. S.: Evaluating English Sentences in a Logical Model: A Process Version of Montague Grammar, Abstract 16, Information Abstracts, COLING 78 (1978).
12) Friedman, J.: Expressing Logical Formulas in Natural Language, in: Groenendijk, J. A. G., Janssen, T. M. V. and Stokhof, B. M. J. (eds.),

Formal Methods in the Study of Language, pp. 113-130, MC TRACT 135 (1981).
13) Gallin, D.: Intensional and Higher-Order Modal Logic, North-Holland (1975).
14) Gazdar, G.: Phrase Structure Grammar, in: Jacobson, P. and Pullum, G. K. (eds.), The Nature of Syntactic Representation, pp. 131-186, D. Reidel (1982).
15) Hauenschild, C., Huckert, E. and Maier, R.: SALAT: Machine Translation Via Semantic Representation, in: Bäuerle et al. (eds.), Semantics from Different Points of View, pp. 324-352, Springer-Verlag (1979).
16) Hobbs, J. R. and Rosenschein, R. J.: Making Computational Sense of Montague's Intensional Logic, Artif. Intell., Vol. 9, pp. 287-306 (1978).
17) Hughes, G. E. and Cresswell, M. J.: An Introduction to Modal Logic, Methuen (1968), 三浦, 大浜, 春藤 (訳), 様相論理入門, 恒星社厚生閣 (1981).
18) 池谷：モンテギュー文法入門(1), (2), (3), 情報処理 Vol. 22, No. 3, 4, 5 (1981).
19) Indurkhya, B.: Sentence Analysis Program Based on Montague Grammar, Thesis submitted to the Netherlands Universities Foundation for International Cooperation.
20) 井関：記号論理学, 槇書店 (1968).
21) Janssen, T. M. V.: Simulation of a Montague Grammar, Annals of Systems Research, Vol. 7, pp. 127-140 (1978).
22) Kaplan, R. M. and Bresnan, J.: Lexical-Functional Grammar: A Formal System for Grammatical Representation, in: Bresnan, J. (ed.), The Mental Representation of Grammatical Relations, pp. 173-281, The MIT Press (1982).
23) 国際電電：コンピュータシステムにおける情報処理の研究—第1部：論理と関数的ソフトウェアの研究.
24) Lewis, D.: General Semantics, in: Partee, B. (ed.), Montague Grammar, pp. 1-50, Academic Press (1976).
25) 前原：数理論理学, 培風館 (1973).
26) Matsumoto, Y.: Software Implementation of Montague Grammar and Relational Problems, in: Iguchi, S. (ed.), Formal Approaches to Natural Language, pp. 148-158, Kyoto Working Group on Formal Semantics (1981).
27) Montague, R.: Universal Grammar, in: Thompson (ed.), Formal Philosophy, pp. 222-246, Yale University (1974).
28) Montague, R.: Proper Treatment of Quantification in Ordinary English, in: Thompson (ed.), Formal Philosophy, pp. 247-270, Yale University (1974).
29) Montague, R.: The Proper Treatment of Mass Terms in English, in: Pelletier, F. J. (ed.), Mass Terms: Some Philosophical Problems, pp. 173-178, Reidel (1979).
30) Moore, R. C.: Reasoning about Knowledge and Action, Proc. IJCAI-77, pp. 223-227 (1977).
31) Moore, R. C.: A Formal Theory of Knowledge and Action, in: Hobbs, J. and Moore, R. C. (eds.), Formal Theories of the Commonsense World, pp. 319-358, Ablex (1985).
32) 長尾, 淵：論理と意味, 岩波書店 (1983).
33) 西田, 清野, 堂下：モンテギュー文法に基づく英日機械翻訳システムの試作, 情報処理学会論文誌, Vol. 23, No. 2, pp. 107-115 (1982).
34) Nishida, T. and Doshita, S.: An English-Japanese Machine Translation System based on Formal Semantics of Natural Language, in: Horecky (ed.), COLING 82, pp. 277-282, North Holland (1982).
35) Nishida, T. and Doshita, S.: An Application of Montague Grammar to English-Japanese Machine Translation, Proc. Applied Natural Language Processing, pp. 156-165 (1983).
36) Nishida, T.: Studies on the Application of Formal Semantics to English-Japanese Machine Translation, Doctoral Thesis, Kyoto University (1983).
37) 新田, 長尾, 水島：手続き法表現システム KRIP による特許法の記述, 第23回情報処理学会全国大会, 5L-6 (1986).
38) Parsons, T.: An Analysis of Mass Terms and Amount Terms, in: Pelletier, F. J. (ed.), Mass Terms: Some Philosophical Problems, pp. 137-166, Reidel (1979).
39) Parsons, T.: Afterthoughts on Mass Terms, in: Pelletier, F. J. (ed.), Mass Terms: Some Philosophical Problems, pp. 167-171, Reidel (1979).
40) Partee, B.: Some Transformational Extensions of Montague Grammar, in: Partee, B. (ed.), Montague Grammar, pp. 51-76, Academic Press (1976).
41) Partee, B.: Montague Grammar and Issues of Psychological Reality, paper prepared for the Conference on Language and Psychotherapy of the Institute for Philosophy of Science, Psychotherapy, and Ethics (Apr. 1977).
42) Partee, B.: Montague Grammar, Mental Representations, and Reality, in: Ohman, S. and Kanger, S. (eds.), Philosophy and Grammar, pp. 195-208, D. Reidel (1979).
43) Rosenschein, S. J. and Schieber, S. M.: Translating English into Logical Form, Proc. 20th Annual Meeting of Association for Computational Linguistics, pp. 1-8 (1982).
44) 坂井：モンタギュー文法について, 数理科学,

No. 168, pp. 53-58 (1977).
45) 白井：形式意味論入門，産業図書 (1985).
46) ter Meulen, A.: Substances, Quantities and Individuals, Indiana University Linguistic Club (1980).
47) 辻井：On the Interaction between Linguistic Expressions and Knowledges, in: 長尾，他 (編)，対話行動の認知科学的研究，pp. 124-137 (1984).
48) 内田：様相の論理，早稲田大学出版会 (1978).
49) van Benthem, J.: A Manual of Intensional Logic, CSLI, Stanford University (1985).

(昭和 61 年 6 月 9 日受付)