

# 意味表現形式における型について

## On Types in Semantic Representations

麻生 英樹<sup>\*1</sup>  
Hideki ASOH

伊東 幸宏<sup>\*2</sup>  
Yukihiro ITOH

高木 朗<sup>\*1,3</sup>  
Akira TAKAGI

<sup>\*1</sup> 産業技術総合研究所  
AIST

<sup>\*2</sup> 静岡大学情報学部  
Shizuoka University

<sup>\*3</sup> 言語処理研究所  
Language Processing Laboratory

Types/sorts in semantic representations are investigated. As major semantic theories, Montague semantics, conceptual semantics, and head-driven phrase structure grammar are introduced, and the role of types in these theories is investigated. Then, a semantic representation which we have been proposed is introduced. The representation scheme has small number of basic types and can represent inner structure of words (nouns, verbs, etc.) in detail. We show that the types in other representations can be derived and explained as frequent patterns in our representation.

### 1. はじめに

自然言語表現の「意味」とは、感覚刺激等と言語表現とのインタフェースであり、思考や推論の場となる心的構造であると考えられる[Jackendoff 83, 02]。自然言語表現が持つ多様な構造を説明するとともに、それを用いた推論や問題解決をシミュレートするために、これまでに様々な意味表現形式が提案されてきた。

本稿では、意味表現形式における「型」について論じる。いくつかの代表的な意味表現形式においては、「型」(type/sort)が導入されて利用されているが、それらが何に由来するのか、何故必要なのか、どのような本質的役割を担っているかは、あまり検討されてきていない。

以下では、まず、モンタギュ意味論(Montague Semantics)[Dowty 81, 東条 88]、概念意味論(Conceptual Semantics)[Jackendoff 83, 02, 05]、主辞駆動型句構造文法(Head Driven Phrase Structure Grammar: HPSG)における意味の表現[Pollard 87, 94, 03]を取り上げて、それらにおける型とその役割について論じる。さらに、我々の提案してきている、依存関係を直接的に表現する細粒度の意味表現形式[高木 87]を紹介し、そこにおいて型の機能が、どのようにして実現されているかを示す。

### 2. 意味表現形式と型

ここでは、代表的な意味表現形式の理論を概観し、それぞれにおける型とその役割について述べる。

#### 2.1 モンタギュ意味論

モンタギュ意味論では、型つきの高階述語論理式(およびそれを 抽象した関数)による意味表現が用いられている。意味表現形式における型は、個体の型  $e$  と文の型  $t$  を原子的な型として、

- $a$  と  $b$  が型のときに  $\langle a, b \rangle$  は型  $a$  の引数を取って型  $b$  の値を返す関数の型である。

と定義される。

意味表現における型を表層言語表現の統語カテゴリと対応づけ、表層における隣接接続関係を、意味表現における関数適用関係と対応づけることで、図 1 に示すように、英語のサブセットに対して、表層の構文構造と意味表現の構造の間のシンプルで強力な対応関係を確立することに成功した。坂井は、同様

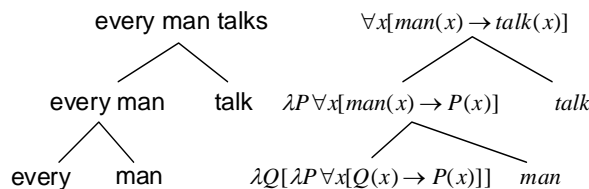


図 1 モンタギュ意味論における表層表現の構成と意味表現の構成の対応

の考え方を日本語に対して適用している[坂井 79]。

ここでは、意味表現における型は、二つの意味表現要素を組み合わせてひとつにすることが可能か否かを指定している。たとえば、図 1 の例で、“every” の意味の型が  $\langle \langle e, t \rangle, \langle \langle e, t \rangle, t \rangle \rangle$  であり、普通名詞 “man” の意味の型が  $\langle e, t \rangle$  であることは、“every” の意味が “man” の意味と組み合わせられることができ、結果として  $\langle \langle e, t \rangle, t \rangle$  型の意味を返すということを表す。さらにそれが、 $\langle e, t \rangle$  型の意味を持つ述語や動詞句(上の例では “talk”)と組み合わせられると、文に対応する  $t$  型の意味を構成する。

モンタギュ意味論は、この他にも、時相や様相の表現、可能世界に基づく内包と外延の区別などの優れた特徴を持つが、それらについてはここでは述べない。また、モンタギュ意味論の考え方はその後、扱うことができる言語表現の幅を広げながら徐々に発展し、形式意味論(Formal Semantics)と呼ばれる大きなグループを形成している[Portner 02]。

#### 2.2 概念意味論

Jackendoff の提唱した概念意味論では、モンタギュ意味論のアイデアを継承して、型つき関数による意味表現が用いられている。ただし、ここでの型はモンタギュ意味論のように抽象的なものではなく、Object, Event, State, Path などの存在論的カテゴリであるとされている。

句構造のヘッドとなる要素の意味は、特定のカテゴリの要素を項として取り、特定のカテゴリを出力する関数とされる。すなわち、表層表現における下位範疇化の関係が、意味表現における関数適用関係に対応づけられる。

概念意味論の意味表現形式は、何度か改訂されてきているが、たとえば[Jackendoff 05]では、Bill crossed the street. という文の意味は、

$[Situation\ PAST(\{Event\ GO(\{Object\ BILL\}, \{Path\ ACROSS(\{Object\ STREET; DEF\})))])]$



図2 概念意味論における構文構造と意味構造の対応

と表わされる。ここでは, "cross" の意味は,

$$[Event\ GO([Object\ X], [Path\ ACROSS([Object\ Y]])]$$

であり, Object 型を引数として Path 型を返す関数 ACROSS と Object 型, Path 型を引数として Event 型を返す関数 GO の組み合わせで表される。過去形を示す PAST は Event 型を引数として取り Situation 型を返す関数である。これらの関数が関数適用によって組み合わせられることで文の意味を形成している。

モンタギュ意味論と異なるもう一つの点は, GPSG や HPSG と同様に, 下位範疇化の関係や修飾関係を語順とを切り離している点である。すなわち, モンタギュ意味論では, 表層構造における左または右からの隣接関係が, 意味構造における関数適用に対応していたのに対して, 概念意味論においては, Bill の意味表現 BILL が cross の意味表現の中の関数 GO の第1引数(主語にあたる項)に代入されることは, Bill と cross が同じ句に属し, その句の主辞が cross であることに対応しているものの, 表層における Bill と cross との語順とは直接関係しない。語順は句を構成するための規則とは別の(言語固有の)制約によって決まると考える。

Jackendoff は, 構文構造と意味構造の対応関係を決める制約として, いくつかのインタフェース規則を提案している [Jackendoff 05]。たとえば, 以下の Head Rule は, 構文構造における句が意味構造における関数に対応することを規定する。

$$\{HP \dots, H_j, \dots\}_j \Leftrightarrow [F(Arg_1, \dots, Arg_n); Mod_1, \dots, Mod_m]_j$$

左辺の { } は(語順を無視した)句のまとまりを表し, その句が H<sub>j</sub> を主辞とする H 句(HP)であるということを示している。さらに, 右辺の関数全体が句の意味を表している。さらに, Argument/Modifier Rule

$$\{\dots, YP_j, \dots\}_j \Leftrightarrow [F \dots, X_j, \dots]_j$$

によって, その句の構成要素である句 YP<sub>i</sub> は, 句の意味表現である関数の引数あるいは Mod のどこかの値になる, ということが規定されている。

図 2 にこれらの規則による意味構造と, 構文構造との対応の例を示した。図において二重線はその要素が句の主辞(主要部)であることを示した。ただし, 上の二つの規則だけでは, たとえば "cross" と "{the, street}" が組み合わせられるときに, "cross" の意味表現中に二つある Object 型変数 X, Y のどちらに代入されるべきかが指定されないため, 追加的な規則が必要である。

さらに, 様々な例外的な構文や受動態表現などに対応するために, 文法機能層と呼ばれる構造も導入されるなど, 表層表現の構造と意味表現の構造との間の対応関係はモンタギュ意味論におけるほどは簡単ではなく, そこにおいて型が果たしている役割もまた明確ではなくなっている。しかし, 型が各語彙の意味表現の中に規定されており, 意味表現要素の間の組み合わせの可否を決める手がかりの一つとして用いられているという点は共通している。

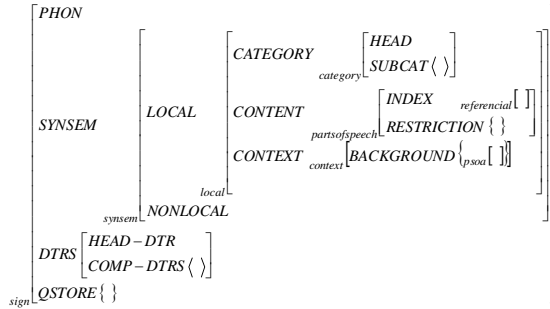


図3 HPSGにおける記号の型つき素性構造表現

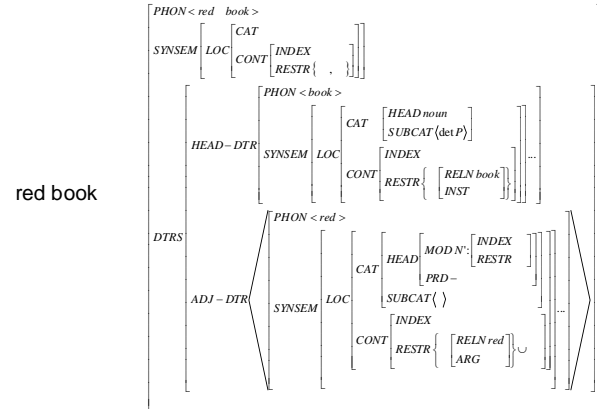
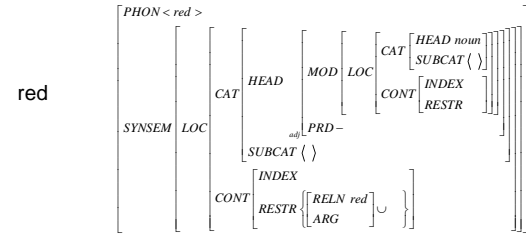
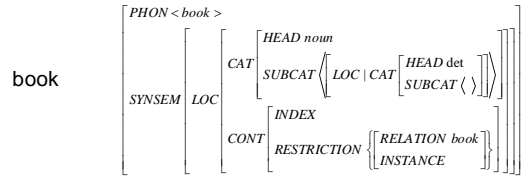


図4 red book の素性構造の構成

### 2.3 主辞駆動型句構造文法

Pollard らによる 主辞駆動型句構造文法 (HPSG)では, 言語記号の統語にかかわる情報と意味にかかわる情報とが, 融合された型つき素性構造(typed feature structure)によって表現されている。語, 句, 文にあたる記号の素性構造も, 概念意味論と同様に何度も改訂されてきているが, たとえば [Pollard 94]では, 句は図 3 のような基本的な構造を持つとされている。

図 3 の構造はノードに型名がつき, そのノードから出ているアークにその型が持つ属性名がついているような有向グラフを表現している。たとえば, sign 型のノードからは PHON(PHONOLOGY), SYNSEM(SYNTAXandSEMANTICS), DTRS(DAUGHTERS), QSTORE(QUANTIFICATION STORE) というアークが出ており, SYNSEM アークは synsem 型のノード

に入る .synsem 型のノードからは LOCAL と NONLOCAL というラベルのアーキが出ていて、という具合である。

図 3 の中で意味にかかわる部分は主に CONTENT 以下に記述されている。INDEX の値は reference に関する情報であり、RESTRICTION の値が意味に関する制約情報の本体である。たとえば、"book" の意味表現では、この語の指示するものが、book という関係(RELATION)の INSTANCE であるということが記述されている。また、"red" の素性構造を見ると、その意味として、ある個体が red という関係の項になること、および、その個体が red が修飾する(MOD)対象の構造と同一であり、かつ、その個体が満たす制約 が red の意味の制約にも追加されるということが記述されている。

HPSG における句構造の生成規則も、下位範疇化の関係を語順と独立に扱う。句構造生成規則は Immediate Dominance Principles と呼ばれ、たとえば[Pollard 94] には 5 種類の構成規則が示されている。その中の一つである形容詞と名詞から名詞句を構成する規則は

- head-adjunct-structure 型の DTRS 値を持ち、その中の adjunct daughter の MOD 値と head daughter の SYNSEM 値が token-identical であるような句(は構成可能である)。

というものである。この規則を用いて "red" と "book" の表現を組み合わせて "red book" の表現を構成した例を図 4 に示した。句の意味が、部分構造 の共有によって、句の要素(娘: DTR)の意味を引き継いで作られていることが見て取れる。

素性構造に対する最も重要な操作は二つの構造の単一化(unification)である。二つの部分構造が単一化されることによって、それらの中で情報がやりとりされる。型の情報は、二つの項が単一化可能か否かの判断に大きくかわる。関数適用(関数の引数への代入)は単一化の一種(限定された単一化)であると考えると、ここでの型の役割は、モンタギュ意味論や概念意味論での役割を拡張したものと考えることができる。

さらに、HPSG における型は、ある型が他の型を包摂することにもとづく階層的な継承関係を持つ。この性質は、プログラミング言語におけるデータ型と共通している。また、型つき素性構造と単一化を用いた論理的な推論等についても、研究が行われている[Carpenter 92]。

## 2.4 意味表現における型

ここまで見てきたように、意味表現における型は、表層における句に対応するような意味表現の組み合わせの可否を指定するために用いられているという点で共通している。また、型と表層の品詞あるいは統語カテゴリーの間にも密接な関連が見取れる。しかし、その一方で、どのような型を用意するかは、意味表現形式によってかなり異なっている。そうした相違は、それぞれの意味表現がどのような言語現象の説明を意図しているかに由来すると考えられるが、なぜそのような型が必要なのか、適切なものか、そうした型が何に由来するのか、は必ずしも明らかではなく、ad hoc な印象を与えることも否めない。

こうしたことを避けるためには、トップダウンに言語現象の説明のために型を導入するのではなく、より本質的な言語記号の意味構造から自然に型が導かれ、それを使って多くの言語現象が説明できることが望ましい。また、それぞれの型の由来となる意味構造の差異を記述、説明できることが望まれる。以下では、そのような可能性を示している意味表現の例として、我々が提案してきている、表層における依存関係、単語内部の構造、節構造等を直接的に表現する意味表現を取り上げて検討する。

## 3. 依存関係を直接的に表現する意味表現

ここでは、我々が提案してきている、微細粒度の意味表現と、そこにおける型に相当するものについて述べる。

### 3.1 意味表現形式

我々は表層における係り受け関係を意味表現における隣接接続関係として直接的に記述する意味表現形式を提案してきている[高木 87]。この意味表現形式は、単語内部の構造を細かい粒度で表現するため、表層における同義表現の言い換えを汎用的なアルゴリズムで実現可能にする[麻生 08a]、言語獲得における文法獲得に適している[麻生 08b]などの優れた特徴を持つ。

この意味表現では、以下を原子的な記号として用いる(表記の都合上、一部の記号を変更している)：

- 実体や属性を表す名詞的な概念構成素を で表す
- 現象を表す動詞的な概念構成素を で表す
- 英語の関係代名詞相当の構成素を で表す
- 格概念を で表す
- 接続助詞の「て」にあたる概念を で表す
- ある が と同一であることを = で示す
- 不定な概念構成素名を示すのに変数 X, Y などを用いる。

この他にも、格助詞の「の」やより複雑な構造の動詞の意味を表すための記号があるが、ここでは触れない。

これらの記号は、下記のような制約を満たすように接続される。

- , 変数は単一の の始点に接続することができる
- は複数の と = で接続することができる
- は複数の の終点に接続することができる。(ただし、 の種類によっては一つしか接続できない。)
- は単一の の始点に接続することができる。
- は複数の の終点に接続することができる。

図 5 と図 6 に意味表現の例を示す。意味構造は一般に、 , が , = , によって接続された木構造となる。表層の節に対応する意味構造のまとまりを ( ) によって表す。図 5 の「ボール」の意味表現では、 が , から始まる複数の枝と = を介して接続している。それぞれの枝は関係節の構造を表し、たとえば、3 本目の枝は、「ボール」の意味が「球に等しい形をもつ(内

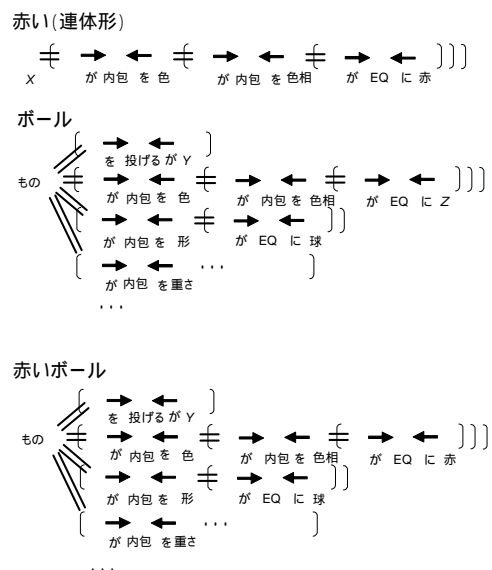


図 5 名詞、連体形形容詞の意味表現の例

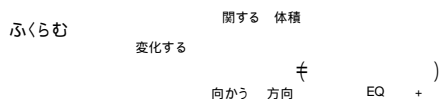


図6 動詞の意味表現の例

包するもの」という要素を持つことを表している。このように、名詞の意味表現中に述語が含まれている点は、Pustejovsky による生成語彙意味論における TELIC QUALIA 構造[Pustejovsky 95] と共通性がある。同様に、図6に示した動詞「ふくらむ」の意味表現は、「ふくらむ」が「体積に関して+に等しい方向に向かって変化する」と言い換えられることを反映している。

一方、連体形形容詞は図5の「赤い」のように、名詞の に接続している枝の一本と同じ関係節構造であらわされる。したがって、同じ構造の枝を意味表現の一部として持つ名詞と、共通部分を糊しろとして接続することが可能である(図5の「赤いボール」の意味表現を参照)。このことは、表層において、形容詞が、名詞を修飾することができることを説明している。

このように、表層表現において、語(あるいは文節)A が B を修飾しているときには、A の意味表現と B の意味表現は共有する構造を持ち、その部分を糊しろとして A の意味表現を B の意味表現のヘッドに接続することによって、全体の句構造の意味表現が形成される。

### 3.2 型に相当するもの

我々の意味表現においては、 $\langle \text{赤い} \rangle$ ,  $\langle \text{ボール} \rangle$ ,  $\langle \text{膨らむ} \rangle$  等が基本的な型にあたると言える。さらに、それらを用いて詳細に表現される意味構造の定型的なパターンが、他の意味表現における型に相当すると考えられる。具体的にどの語がどのような意味表現構造を持つかは、上に少数の例を示したように、その語に関する多様な言語表現の間の言い換え可能性を詳細に検討して決められる。

多数の語や句について、詳細な意味表現を検討することを通じて、共通的に頻出するパターンが見えてくるが、それらはおおむね表層表現における品詞に対応していることが明らかになっている。たとえば、名詞は、一般に、 $\langle \text{赤い} \rangle$  に複数の関係節などの連体修飾要素が = で接続している形の意味構造を持つ。動詞は、 $\langle \text{膨らむ} \rangle$  に や を介して名詞句や接続助詞句が接続する形の意味構造を持つ。連体形形容詞の意味表現は名詞の枝の一つと同じ関係節構造を持つ。

このことはまた、表層表現において形容詞が名詞を修飾できるという現象が、意味表現において形容詞の意味が名詞の意味と共通部分を糊しろとして接続可能であるということから説明できることを意味している。すなわち、ここでは、共通の構造パターンがモンタギュ意味論における型や概念意味論における型と同じ役割を果たしている。

さらに、共通部分を糊しろとして接続するという操作は、HPSG における単一化と共通性が高い。たとえば、「赤い」の意味表現が「ボール」の意味表現に接続されるとき、「ボール」の意味表現の中の、色に関する不完全な情報を含む枝が、「赤い」の意味表現と単一化されて、「赤い」の意味表現の中の「赤」という情報が「ボール」の意味表現に伝播する。ここにおいて、単一化可能か否かは、型つき素性構造と同様にパターン間のマッチング可能性によって判断することができる。

このように、概念間の依存構造を直接的に細かい粒度で表現できる意味表現を使えば、他の意味表現形式における様々な型を、それぞれ、微細な内部構造のパターンによって統一的

かつ原理的に説明できる可能性がある。このことは、化学の歴史において、原子の結合規則を説明するために、最初に周期律表が整備されて原子が複数の族に分類されたが、その後、原子内部の構造、特に電子殻の構造が明らかにされると、それにもとづいて各族への分類が統一的に説明された事態を連想させる。

### 4. おわりに

本稿では、意味表現形式における型とその役割について考察した。まず、代表的な意味表現形式とそこにおける型について概観し、型が意味構造の組み合わせの可否を指定するために導入されていることを示した。

さらに、我々が提案している、概念間の依存構造をベースとして、意味の微細構造を記述するための意味表現形式を紹介し、それを用いた意味表現においては、通常の意味表現の型が、語や句の意味の微細構造の共通的なパターンとして説明できる可能性があることを示した。

今後、より多くの言語表現について意味構造の検討を進め、我々が提案している細粒度の意味表現形式の有効性や、他の意味表現形式との関係を検証してゆきたい。

### 参考文献

[Jackendoff 83] Jackendoff, R.: Semantics and Cognition, MIT Press, 1983.  
 [Jackendoff 02] Jackendoff, R.: Foundations of Language: Brain, Meaning, Grammar, Evolution, Oxford University Press, 2002. (郡司訳: 言語の基盤, 脳・意味・文法・進化, 岩波書店, 2006.)  
 [Dowty 81] Dowty, D. R., Wall, R. E., and Peters, S.: Introduction to Montague Semantics, Kluwer Academic Publishers, 1981.  
 [東条 88] 東条敏: 自然言語処理入門, 近代科学社, 1988.  
 [Jackendoff 05] Jackendoff, R and Culicover, P. W. : Simpler Syntax, Oxford University Press, 2005.  
 [Pollard 87] Pollard, C., and Sag, A.: Information-Based Syntax and Semantics, Volume 1: Fundamentals, CSLI, 1987. (郡司訳: HPSG 入門 制約のもとづく統語論と意味論, 産業図書, 1994.)  
 [Pollard 94] Pollard, C. and Sag, A.: Head-Driven Phrase Structure Grammar, Chicago University Press, 1994.  
 [Pollard 03] Pollard, C., Wasow, T., and Bender, E. M.: Syntactic Theory, A Formal Introduction (2nd Edition), CSLI Publications, 2003. (第1版の訳は、郡司, 原田訳: 統語論入門, 形式的アプローチ(上下), 岩波書店, 2001.)  
 [高木 87] 高木朗, 伊東幸宏: 自然言語の処理, 丸善, 1987.  
 [坂井 79] 坂井秀寿: 日本語の文法と論理, 勁草書房, 1979.  
 [Portner 02] Portner, P. and Partee, B. H. (eds.): Formal Semantics, The Essential Readings, Blackwell, 2002.  
 [Carpenter 92] Carpenter, B.: The Logic of Typed Feature Structures, Cambridge University Press, 1992.  
 [麻生 08a] 麻生英樹, 伊東幸宏, 高木朗: 言い換えに適した意味表現について, 第22回人工知能学会全国大会予稿, 1F2-3, 2008.  
 [麻生 08b] 麻生英樹, 伊東幸宏, 高木朗: 言語獲得に適した意味表現について, 第22回人工知能学会全国大会予稿, 3E3-3, 2008.  
 [Pustejovsky 95] Pustejovsky, J.: The Generative Lexicon, MIT Press, 1995.