「形式認知意味論」、「計算認知意味論」へ向けての試み

緒方 典裕

大阪大学 言語文化部

1 序

Lakoff、Langacker らを中心に従来の意味論 (いわゆる Montague 的「形式意味論」(以後、「形式意味論」と表すことにする) も含む) に対するアンチテーゼとして、認知的側面に焦点を当てた意味論 (以後、認知意味論と呼ぶことにする[1]) が提案・発展させられている。しかし、それでもなお「形式意味論」やプログラミング言語の形式意味論など情報科学的な「意味」のアプローチとの共通点や、特に語彙の意味内容の記述の点で、情報科学的アプローチを補完する点がある。

本研究では

- Lakoff[10] や特に Langacker[11, 12] で発展させられている認知的な意味のとらえ方の形式的側面、計算的側面を明らかにし、
- Montague 以来の形式的・計算的意味のモデル (状況意味論 [2], 談話表示理論 [6], イベント構造意味論、生成的レキシコン [15], チャネル理論 [3], ベクトル空間意味論 [17], 他) の意味に対する潜在的・明示的な認知的側面、非認知的側面を明らかにし、
- これらの結果からの、認知的側面を取り入れた語彙の意味内容の形式的・計算的モデルの提案に向けてのいくつかの試論の提出

を行う。

2 イメージスキーマとベクトル空間モデル

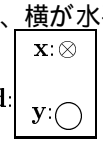
認知意味論では、前置詞の多義性などを説明する装置として、「イメージ・スキーマ」を提案している。イメージ・スキーマは、次のような構造をもつ[2]:

- 認知領域 □
- プロファイル –トラジェクター (軌道体)⊗、ランドマーク ◯(トラジェクターの基準点) 経路 (矢印) など
- プロファイル間の (位置) 関係 ... 点線、配置など

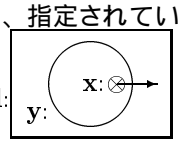
[1] 本稿でいう認知意味論は、Lakoff や Langacker の研究を中心とした、狭い意味での認知的な意味の研究である。これらは、「認知文法」[11, 12, 19] や「認知言語学」[18, 16, 20] とよばれ、各理論も少しずつ異なるのだが、本稿ではこれらの理論の (特に語彙の) 意味論的側面に関する部分に焦点を当てるためにこの用語を使う。

[2] ここで示されている「イメージ・スキーマ」は、[16] で示されているような、Lakoff と Langacker の理論の一部の折衷的なシンプルなものである。さらに、Langacker[12] では参照点、ターゲット、スコープなどの他の重要な概念が提案されている。

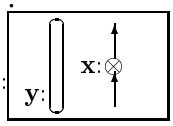
たとえば、空間前置詞「 $\mathbf{x}$ (is) above $\mathbf{y}$ 」、「 $\mathbf{x}$ ($verb$) out (of) $\mathbf{y}$ 」、「 $\mathbf{x}$ ($verb$) up $\mathbf{y}$ 」のイメージスキーマは次のように表される (ただし、認知領域は縦が垂直方向の空間軸、横が水平方向の空間軸と、指定されているものとする)[3]：



「 above 」



「 out 」[16]



「 up 」[16]

上の各イメージスキーマを型理論に基づいて抽象化すると次のように形式化できる：

- $\Sigma\mathbf{d} : domain.\Sigma\mathbf{x} : trajector(\mathbf{d}).\Sigma\mathbf{y} : landmark(\mathbf{d}).R(\mathbf{x}, \mathbf{y})$

ただし、R はトラジェクターとランドマークの配置関係である。すなわち、イメージスキーマを形式化するにはトラジェクターとランドマークの配置関係を形式化する必要がある。

配置関係の形式化の一つとしては、オーヴァーラップ、先行関係などに基づいたトポロジー的モデルや Zwarts[17] のベクトル空間モデルがある。

3 規範的イベントモデルとイベント構造

談話表示理論 [7, 6] や Parsons[13, 14] では Davidson のイベントのオントロジーを拡張した自然言語の意味モデルとしてのイベント構造が提案されたが、イベント自体は構造をもたない particular であった。しかし、それらのさらなる拡張である Pustejovsky[15], Asher[1], Krifka[9] のイベント構造は内部構造をもったイベント構造で、Langacker の規範的イベントモデル[4]と多くの類似点をもつ。

Langacker[12] は、ビリヤードボードモデル、ステージモデル、役割アーキタイプ (role archetype) のモデルを結合させたイベントの概念化のモデルを「 規範的イベントモデル (canonical event model) 」とした。規範的イベントモデルは次のような図で表現される。

⇒ はエネルギーの伝達を表し、◯ は役割アーキタイプ、⇝ はエネルギーの吸収される場所[5]、□ はセッティング (出来事の舞台)、▲(下向きの◀) は視点を

[3] オリジナルのイメージスキーマとは記号や記法が若干異なる。本稿のものはさらに各部品にラベルがついているため、「 ラベル付きイメージ・スキーマ 」(labelled image schema) というべきものである。

[4] 河上 [18] では event を「 事態 」と訳しているが、「 事態 」は言語哲学や「 形式意味論 」では state of affairs の訳語に用いられ、event は「 事象 」と訳される。本稿では、混乱を避けるために、event には「 イベント 」、state of affairs には「 事態 」という用語を用いることにする。

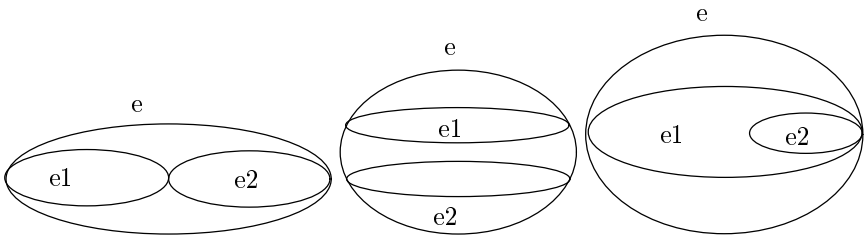
[5] [12] では他の種類の矢印も区別されており、経験者、主題などを表すために使われている。

表す。また、山梨 [19] では、状態・変化・因果関係をプリミティヴにした別の規範的イベントモデルが提案されている。

このような内部構造をもったイベントは形式意味論でも提案されている。Pustejovsky[15] の (樹状) イベント構造とは次の構造である：

$$\langle E, <, \bigcirc, \sqsubseteq, \leq, \preceq, \diamond, \propto, \mathsf{head} \rangle$$

ただし、$\langle E, <, \bigcirc \rangle$ は Kamp [5] によって導入された Russel 的イベント構造, $<$ は時間的先行関係、$\bigcirc$ はオーヴァーラップ関係、$\sqsubseteq$ は時間的包含関係、$\leq$ は全体部分関係、$\mathsf{head}(e_1, e_2)$ はイベント e_1 が e_2 の部分イベントであるとき、e_1 が e_2 の "head"(焦点) であることをあらわす。三項関係 $\preceq, \diamond, \propto$ は、それぞれ "exhaustive ordered part of" 関係、"exhaustive overlap part of" 関係、"exhaustive ordered overlap part of" 関係で、$e_1 \preceq_e e_2$、$e_1 \diamond_e e_2$、$e_1 \propto_e e_2$ は、それぞれは次のような図で表される：



たとえば、$e_1 \preceq_e e_2 \wedge \mathsf{head}(e_1, e)$ は build、$e_1 \preceq_e e_2 \wedge \mathsf{head}(e_2, e)$ は arrive、[6] $e_1 \propto_e e_2 \wedge \mathsf{head}(e_1, e)$ は walk、$e_1 \propto_e e_2 \wedge \mathsf{head}(e_2, e)$ は walk home によって代表される。また、因果関係は $\preceq$、$\propto$ によって間接的に表現される。因果関係は、direct causation と indirect (constitutive) causation がそれぞれ $V_result(e_2, y) \wedge V_act(e_1, x, y) \wedge e_1 \preceq_e e_2$ (kill, die など), $V_result(e_2, y) \wedge V_act(e_1, x, z) \wedge e_1 \preceq_e e_2 \wedge part_of(z, y)$ (build, produce など) として区別される。[7]

しかし、語彙化使役 (lexicalized causative) には次のような問題がある。Kamp& Rossdeutscher[8] によると、語彙化した使役は自動詞 + 使役ではない。例えば、「治す」=「cause(治る)」ではない。ある怠惰な医者 x のある患者 y がその怠惰さに対する怒りから奮起して病気が治癒した場合、「cause(治る)(x,y)」が成り立つが、「治す (x,y)」は成り立たない。「治す (x,y)」が成り立つには x が y が治ることを意図している、もしくは仕向けているという別の関係が成り立っている必要がある。したがって、このような語彙化した使役 V が表す特別な因果関係を $\rightsquigarrow_V$ と表し、次の関係が成り立つとする：

$$\forall V \forall e \forall e'. e \rightsquigarrow_V e' \rightarrow e \rightsquigarrow e'$$

この結果、次のような因果関係 $\rightsquigarrow$ と語彙的因果関係 $\rightsquigarrow_V$ が導入され、イベント構造は次のように拡張される。

$$\langle E, <, \bigcirc, \leq, \sqsubseteq, \preceq, \diamond, \propto, \rightsquigarrow, \langle \rightsquigarrow_V \rangle_{V \in Verb}, \mathsf{head} \rangle$$

[6] [15] では、$e_1 \diamond_e e_2 \wedge \mathsf{head}(e_1, e)$ の例を buy、$e_1 \diamond_e e_2 \wedge \mathsf{head}(e_2, e)$ の例を sell としてしているが、$e_1 \leq e \wedge e_2 \leq e \wedge e_1 \sqsubseteq e \wedge e_2 \sqsubseteq e \wedge \exists e'[e' \sqsubseteq e_1 \wedge e' \sqsubseteq e_2 \wedge e' = e] \wedge \forall e'[e' \leq e \rightarrow e' = e_1 \vee e' = e_2]$ という $e_1 \diamond_e e_2$ の定義からは、$e_1 \diamond_e e_2 \leftrightarrow e_2 \diamond_e e_1$ が導出されるため、そのような区別は意味をなさない。

[7] ここでは、Qualia 構造に関する記述は省略した。

さらに、「動作主」や「被動体」などのイベント参与者は、イベントから個体へのメトニミーもしくは Pustejovsky 的な型強制としてとらえることが可能である。例えば、(1a) は (1b) のような言い換えが可能である。つまり (1c) のような項構造が本来的な項構造として仮定できる。

(1) a. 医者が注射/手術/薬で患者を治した。
b. 医者が患者に注射を受けさせたこと/医者による患者の手術/医者の患者への投薬により患者が治った。
c. 医療行為が患者を治した。

しかし、それでも医療行為のようなイベント自体にイベント参与者を定義付ける必要がある。ここで、緒方 [21] で導入した「役割付き段階 (roled stage)」というオントロジーを導入する。役割付き段階とは、イベントによってスライスされた個体にそのイベントによる役割を与えたものであり、「患者」、「治療者」などのタイプのインスタンスである。個体 (individual) は逆に役割付き段階の連続であり、イベントは役割付き段階の和として定義される。この結果、「x が y を治したというイベント e」(2a) は、(2b) として再定義される。((2c) は型理論的定義である)

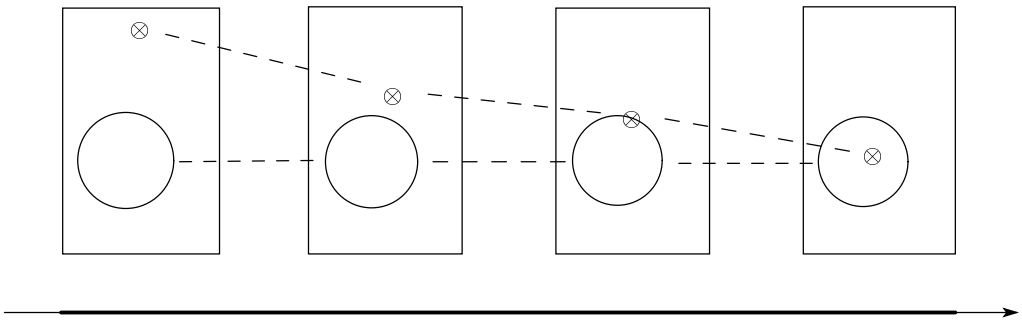
(2) a. e : 治す (x, y)
b. $\exists e' : roledStage(x) \exists e'' : roledStage(y) \cap$ 治る$.e' \preceq_e e'' \wedge e' \rightsquigarrow$治す e'
c. $e : (\Sigma e' : roledStage(x).\Sigma e'' : roledStage(y) \cap$治る$.\Sigma z : (e' \preceq_e e'').e' \rightsquigarrow$治す $e')$

このイベント構造と規範的イベントモデルは、次のような大まかな対応付け h が定義可能となる：

- $h(\boxed{}) = e$
- $h(\bigcirc_x) = e : roledStage(x)$ for some e s.t. $e \leq h(\boxed{})$
- $\bigcirc_1 \Rightarrow \bigcirc \Leftrightarrow h(\bigcirc_1) \rightsquigarrow h(\bigcirc_2)$

4 走査と経路構造

Langacker[11] はイメージ・スキーマに時間軸を加え、その状態変化を時間に沿って展開することを sequential scanning といい、その展開全体を静的にとらえることを summary scanning と呼んだ。



この sequential scanning は、「形式意味論」における「経路」を組み込んだイベント構造 (Asher のモーション構造、Krifka[9] の経路構造) に類似している。

Asher[1] 的モーション構造とは次の構造である：

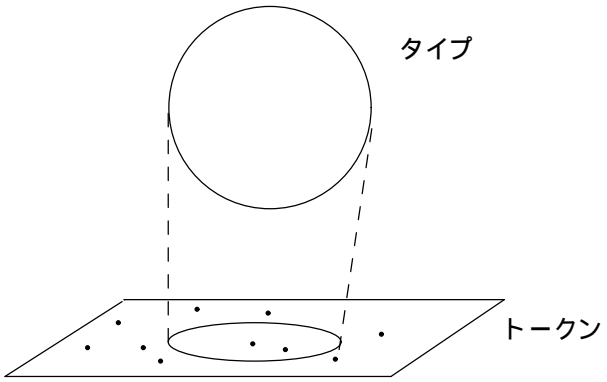
$$\langle E, \bigcirc, \sqsubseteq, \bowtie, Source, Goal, Path, \pi_i, last \rangle$$

- π_i は i 番目の項の投射関数, $last$ は系列の最後の項の番号を返す関数
- $\bowtie \subseteq E \times E$ はイベント間の時間的接触関係、
- すべての $x \in Path(e)$、$i < last(x)$ に対して、$^{\vee}e \sqsubseteq \sqcup_i {}^{\vee}\pi(x)$ かつ $\pi_i(x) \bowtie \pi_{i+1}(x)$ (経路とは時間的にオーヴァーラップした部分イベントの系列で、その時区間の総和は全体イベントの時空間と同じである)
- $\exists x \in Path(e).x = (Source(e), \ldots, Goal(e))$; $Path : E \to pow(E^n)$ はイベントに部分イベントの系列の集合を与える関数、$Goal : E \to E$ はイベントの最後の部分イベント、$Source : E \to E$ はイベントの最初の部分イベントを与える関数、
- $\forall x \in Path(e).(\pi_1(x) \bigcirc Source(e)) \wedge (last(x) \bigcirc Goal(e))$
- 厳密内部経路 (the strict internal path):
  $sip(e) = \{(\pi_{k+1}(x), \ldots, \pi_{m-1}(x)) | \exists x \in Path(e) \exists k \exists m > k+1. \bigwedge_{1 \le i \le k} (\pi_i(x) \bigcirc Source(e)) \wedge \bigwedge_{m \le i \le last(x)} (\pi_i(x) \bigcirc Goal(e))\}$

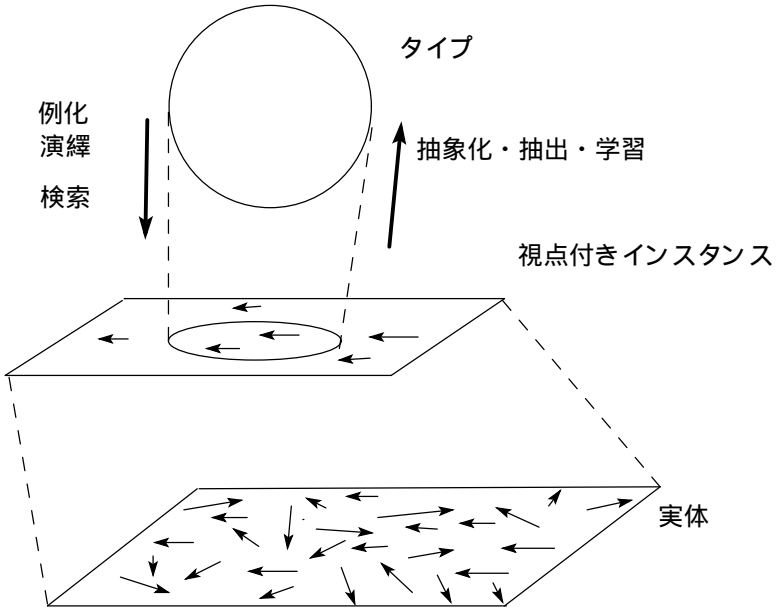
Asher はこの構造に基づいて移動動詞の分類とそれに関係する空間前置詞の意味論を与えている。認知意味論の走査における各イメージ・スキーマを経路上の部分イベントに対応させ、部分イベントに前節の拡張したイベント構造やイメージ・スキーマを対応させることで、経路構造は走査のモデルとなりうる。ただし、summary scanning の場合は、部分イベントによる経路ではなく、視点 (談話表示理論における時制の「reference point」を参照のこと) の経路が必要である。

5 認知物としてのオントロジー

「形式意味論」では、「個体」、「時間」、「イベント」、「属性」など多様な種類の存在物をモデルの領域とし、オントロジーと呼んでいる。しかし、情報科学の領域である「形式オントロジー」[4] ではオントロジーを「概念化の仕様」とするように、このような存在物を仮定することがすでに概念化のプロセスを経ているといえる。つまり、「チャネル理論」の classification のように (下図参照)「形式意味論」では「トークン」=「実体」という前提があるのであるが、



下図のように、トークン自体がある視点からの概念化をすでに受け、そのため coherence を獲得しており (これを「視点付きインスタンス」と呼ぶことにする)、そこからタイプを学習したり、すでにあるタイプからインスタンスに対する演繹・検索などが可能となる。[8]



6 認知意味論の計算的側面

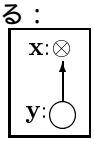
最後に認知意味論の計算的側面について述べる。

前節で図示したタイプとインスタンスと類似の関係は、Langacker[12] では type space と domain of instantiation との関係を表すイメージ・スキーマで述べられている。これは information flow の理論である Barwise & Seligman の「チャネル理論」における classification の概念だけでなく、オブジェクト指向プログラミング言語におけるクラスとインスタンスの概念にも通ずる。そもそも、オブジェクト指向プログラミング言語でクラスとインスタンスの概念、クラス間のインヘリタンスの概念などは、プログラム資源の再利用や効率的利用のために生まれた概念である。しかし、認知意味論におけるタイプ、インスタンス、インヘリタンスリンク、メタファー的写像なども、「語彙の内容・構造」という資源の再利用や効率的利用という面をもち、両者は密接な関係があるといえる。

また、認知意味論は次の点で計算的側面を持つといえる：

[8] 一つの例として、「クフ王のピラミッド」をあげる。「クフ王のピラミッド」は見る角度により四角であったり、三角であったりする。また、さらに将来などの時間や空想などの可能性までを含めると、崩れた丘の形や形すらないこともありえる。このすべての見え方を「視点」を無視して成立するとすると、矛盾が導かれてしまう。これは、Kripke が提出した「London/Londres のパズル」や「Paderewski のパズル」と基本的に同じである。すなわち、coherence を獲得するにはある視点を定める必要があり、モデルが対象としているような実体とはすでにこのような視点を与えられたものだといえる。

– 認知意味論は表現全体の意味が部分の意味の組み合わせから得られるとしているため、全体の意味を計算する過程が、「形式意味論」と同様にある。これは、例えばラムダ項付きイメージ・スキーマのようなものを導入することを意味する：

$\lambda\mathbf{y}.\lambda\mathbf{x}.$ 

– イメージ・スキーマにおけるプロファイルの部品間の位置関係の計算：イメージ・スキーマの同定、そして変形を通した推論 (スキーマ s、部品 x, y、位置関係 R に対して $s \vdash ?xRy$)

– インスタンスのタイプ同定、タイプのインスタンス検索という計算 (文脈 Γ、インスタンス x、タイプ y に対して $\Gamma \vdash ?x : y$)

References

1. Nicholas Asher and Pierre Sablayrolles. A typology and discouse semantics for motion verbs and spatial pps in french. In James Pustejovsky and Branimir Boguraev, editors, *Lexical Semantics: The Problem of Polysemy*, pages 163–209. Clarendon Press, Oxford, 1996.
2. Jon Barwise and John Perry. *Situations and Attitudes*. The MIT Press, Cambridge, 1983.
3. Jon Barwise and Jerry Seligman. *Information Flow: The Logic of Distributed Systems*. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
4. Tom R. Gruber. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 1993.
5. Hans Kamp. Events, instants and temporal reference. In R. Bäuerle et al., editors, *Semantics from Different Points of View*, pages 376–417. de Gruyter, Berlin, 1979.
6. Hans Kamp and Uwe Reyle. *From Discourse to Logic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.
7. Hans Kamp and Christian Rohrer. Tense in text. In R. Bäuerle, C. Schwartze, and A. Von Stechow, editors, *Meaning, Use, and Interpretation of Language*. de Gruyter, Berlin, 1983.
8. Hans Kamp and Antje Rossdeutcher. Remarks on lexical structure and drs construction. *Theoretical Linguistics*, 20(2/3):97–164, 1994.
9. Manfred Krifka. The origins of telicity. In Susan Rothstein, editor, *Events and Grammar*, pages 197–235. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1998.
10. George Lakoff. *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. University of Chicago Press, Chicago, 1987.
11. Ronald W. Langacker. *Foundation of Coginitive Grammar: volume I*. Stanford University Press, Stanford, 1987.
12. Ronald W. Langacker. *Foundation of Coginitive Grammar: volume II*. Stanford University Press, Stanford, 1991.
13. Terence Parsons. Underlying events in the logical analysis of english. In Ernest LePore and Brian McLaughlin, editors, *Actions and Events: Perspectives on the Philosophy of Donald Davidson*, pages 235–267. Basil Blackwell, Oxford, 1985.
14. Terence Parsons. *Events in the Semantics of English: A Study in Subatomic Semantics*. The MIT Press, Cambridge, 1990.

15. James Pustejovsky. *Generative Lexicon*. The MIT Press, Cambridge, 1995.
16. Friedrich Ungerer and Hans-Jörg Schmid. *An Introduction to Cognitive Linguistics*. Addison Wesley Longman Ltd., London, 1996.
17. Joost Zwarts and Yoad Winter. Vector space semantics: A model-theoretic analysis of locative prepositions. *Journal of Logic, Language and Information*, 9(2):169–211, 2000.
18. 河上誓作. 認知言語学の基礎. 研究社出版, 東京, 1996.
19. 山梨 正明. 認知文法論. ひつじ書房, 東京, 1995.
20. 山梨 正明. 認知言語学原理. くろしお出版, 東京, 2000.
21. 緒方 典裕. θ 役割の型理論的意味論. In ことば工学研究会資料 *SIG-LSE-9902*, pages 38–45, 東京, 1999. 人工知能学会.