

# Dynamic Semantics Meets Cognitive Semantics?

緒方 典裕

大阪大学 言語文化部  
豊中市待兼山 1 - 8  
TEL: 06-6850-7102  
FAX: 06-6850-5865

email: ogata@lang.osaka-u.ac.jp  
http://LC301.lang.osaka-u.ac.jp

**Abstract.** 本稿では、著者が発展させている、Private Viewpoint Model の Dynamic Logic による、認知意味論の形式化において、現在まで扱えなかった「放射状カテゴリー化」の形式化に関する一つのアイデアを提示する。それは、focus の動きだけの観点からの等価性で「focus trace equivalence (subsumption)」というべきものである。本稿ではケーススタディとして前置詞「over」について考察を行う。

## 1 序

著者はこれまで“Dynamic Semantics Meets Cognitive and Social Science”(2001)と“Dynamic Semantics Meets Cognitive Science”(2002)と題して、認知的な観点を取り入れた自然言語のダイナミック・セマンティクス [4, 5, 11] の提案に関する発表を行った。前者は人工知能学会「ことば工学研究会」で、Gibson の考えやアフォーダンスに対する共通認識があったため、強い批判はなかったが、後者は「自然言語処理学会」での発表で、「認知言語学者」から強い批判があった。認知科学で計算論や形式論理を導入することは普通であるが、主要な認知言語学者である Lakoff [6] や Langacker [7, 8] は数学を使うこと自体に批判的であり、かろうじて、Talmy [9, 10] がコネクショニスト・モデルに共感を示している程度である。Frege 的にいえば、「セマンティクス」は本来、「public」な情報を扱い、また、「検証」を「セマンティクス」の中心課題とした場合でも「扱うべき意味」とは「public」である必要がある。ダイナミック・セマンティクスを与えるというのは、そのような public なレベルで uniformity をもつ情報単位をもとに、認知科学（さらには認知意味論）のアイデアを再構築するという目的があった。まとめるとつぎのようになる。

1. メタフィジックスの転換:「イメージ」「心像」のかわりに「カメラモデル」において役割を与えられた、エージェントと外界の「方向付き時空間的対象」間の関係を「心的状態」(Private Viewpoint Model; PVM)とみなした。PVM は Gibson の「生態論的实在論・生態論的心理学」のアイデアの影響を受けたものである。また、「意味」はその状態推移系において形式化した。つまりダイナミック・セマンティクスを与え、計算を可能とし、意味を「public」にした。さらに結果として、各動作や状況認知と談話における視点移動などをシームレスに扱うことが可能となった。
2. 認知操作のインストラクションとしての言語 (language-as-cognitive-instruction): 言語を介して私的な認知活動が他者と共有されるとみなす。これは、やはり、「認知行為」や「意味」を完全に私秘的な「イメージ」にすることに対して「他者への伝達可能性」、つまり「public であること」という制約を与えることになる。

しかし、認知言語学者からあった次のような批判は考慮しなければならない。

1. 認知意味論者の期待するメタファーやメトニミー・カテゴリー化などの認知意味論における「認知的操作」を提示することができなかった。

本発表では、これら問題を考え、形式意味論やダイナミック・セマンティクスにおいて認知意味論がとらえようとしている問題が扱えるか、そしてその応用を再検討する。具体的には、

- プロセス間のある種の等価性・包含関係によるメタファー的拡張とプロセスの同定の扱い
- 形式的認知エージェントとその言語のモデリング

に関して提案を行う。

## 2 Private Viewpoint Models (PVM)

認知意味論がイメージという行為体内の対象を基本的要素とみなすのに対して、*Private Viewpoint Model* (PVM) では、行為体の環境に実在する時空間とその時空間関係を基本的要素とする。一つの PVM に関係する時空間には次のようなカメラ撮影の比喻に基づいた役割が与えられる：*agent*(行為体), *viewfinder*(ファインダー), *focus*(フォーカス), *subject*(被写体), *background*(背景)。これらは原子的な概念であるが、直観的には、それぞれ、ある時点での、行為体の占有する時空間、行為体が焦点を当てている時空間、被写体の占有する時空間、行為体によって背景と認識される時空間、をあらわす。これらの時空間は、認知意味論における *trajector*, *landmark* などに対応する。PVM は Fig. 1 のように図式化される。

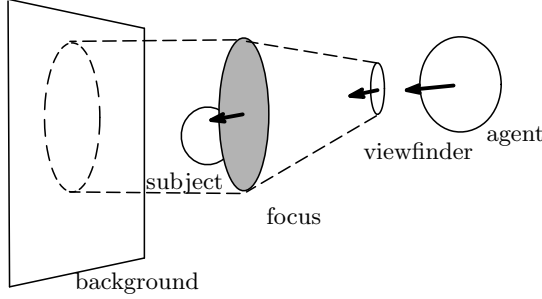


Fig. 1. Private Viewpoint Model

PVM の状態  $w$  とは次のような組である。

$$\langle D_w, \sqsubseteq_w, N^w, \mapsto_w, \langle r_w^i \rangle_{i \in I(w)}, I_w, a_w, f_w, v_w, b_w, g_w \rangle,$$

ただし、 $D_w$  は  $a_w$  (agent),  $v_w$  (viewfinder),  $f_w$  (focus),  $b_w$  (background),  $s_w$  (subject) を含む時空間の集合で、 $\sqsubseteq_w$  は  $w$  における時空間的包含関係、 $N^w$  は  $w$  における三項近傍関係、 $\mapsto_w$  は  $w$  における方向付け関係、 $r_w^i$  は  $w$  における  $a_w$  から見た left, up などの相対的方向で  $a_w$  の仕様によってあらかじめ与えられているものとし、 $I_w$  は  $w$  における関係記号・関数記号の解釈、 $g_w$  は  $w$  における変数への値割り当てである。 $\mapsto_w$  は、ほぼ Gibson [2] の *optical flow* の逆の関係に相当する。さらに次のような時空間的關係が定義される。

- (オーヴァーラップ)  $x O_w y \Leftrightarrow \exists z. z \sqsubseteq_w x \wedge z \sqsubseteq_w y$ .
- (接触)  $x \bowtie_w y \Leftrightarrow \exists z. x \neq y \wedge x N_z^w y \wedge \exists u. x N_u^w y \wedge \neg x O_w y$ .
- (真包含関係)  $x \sqsubset_w y \Leftrightarrow x \sqsubseteq_w y \wedge y \not\sqsubseteq_w x$ .

そして、 $w$  において PVM 中の実体と関係は次の条件を満たす：

1.  $\forall w. a_w \mapsto_w v_w$  (the agent looks the viewfinder)
2.  $\forall w. v_w \mapsto_w f_w$  (the viewfinder is directed toward the focus)
3.  $\forall w. f_w \mapsto_w b_w$  (the focus can move toward an arbitrary direction, but the direction is fixed toward the background)
4.  $\forall w. s_w O_w f_w$  (the subject overlaps with the focus)
5.  $\forall w. \neg v_w N_{f_w}^w b_w$  (the viewfinder is not closer to the background than the focus)
6.  $\forall w. \neg a_w N_{v_w}^w f_w$  (the agent is not closer to the focus than the viewfinder)
7.  $r_{i_w}$  の公理 ( $\forall xy. x \text{ left}_w y \rightarrow y \text{ right}_w x$  など)

## 3 Dynamic Action Logic based on PVMs (DAL)

*DAL* は First-Order Concurrent Dynamic Logic (*CDL*) [3] の拡張で、 $v \in Var$  (個体変数), 方向定数  $r \in Dir$ , 関数記号  $f \in \{E, T, up, \dots\}$ , 関係記号  $R \in \{side, otherSide, \dots\}$  が与えられたとすると、次のように定義される。

### 3.1 言語

$x ::= a$	(agent)	
	v (viewfinder)	
	f (focus)	
	b (background)	
	s (subject)	
$\tau ::= x v r f(\tau_1, \dots, \tau_n)$		
$\varphi ::= \tau_1 \sqsubseteq \tau_2$	( $\tau_1$ is included to $\tau_2$ )	
	$\tau_1 O \tau_2$	( $\tau_1$ overlaps $\tau_2$ )
	$\tau_1 \bowtie \tau_2$	( $\tau_1$ touches $\tau_2$ )
	$\tau_1 N_{\tau_3} \tau_2$	( $\tau_1$ is close to $\tau_2$ more than $\tau_3$ )
	$\tau_1 \mapsto \tau_2$	( $\tau_1$ looks towards $\tau_2$ )
	$R(\tau_1, \dots, \tau_n)   \tau_1 = \tau_2   \varphi_1 \rightarrow \varphi_2   [\pi] \varphi   \langle \pi \rangle \varphi   \forall v \varphi   \perp$	
$\alpha ::= \text{zoom in}$	(v is getting closer to f)	
	zoom out	(v is distancing from f)
	come	(f is getting closer to v)
	leave	(f is distancing from v)
	pan $r$	(f is moving toward $r$ )
	fix( $\tau_1, \tau_2$ )	( $\tau_1$ and $\tau_2$ have a fixed spatio-temporal relation with each other)
	$v :=?_{\tau}$	(restricted random assignment)
	$x :=?_{\tau}$	
	$v :=?   v := \tau   x := \tau   \varphi?   \alpha_1 \cap \alpha_2   \alpha_1 \cup \alpha_2   \alpha_1 ; \alpha_2   \alpha^*$	

ただし、 $E(\tau)$  は  $\tau$  の部分領域の集合  $\{x | x \sqsubseteq \tau\}$ 、 $T(\tau_1, \tau_2)$  は直観的には  $\{r \in Dir | (\tau_1, \tau_2) \in r\}$  を表し、 $up(\tau)$  は  $\tau$  の上方部分、 $side(x, y)$  は  $y$  は  $x$  の側面であることをあらわし、 $otherSide(x, y, z) \equiv side(x, z) \wedge side(x, y) \wedge y \neq z \wedge \neg yOz$  をあらわす。

### 3.2 公理

Axioms and Inference Rules of *CDL*

$\forall x[x :=?_X] \varphi \equiv (\forall x \in X. \varphi)$
$\forall x.x = v \rightarrow [\text{zoom in}]vN_x f$
$\forall x.x = v \rightarrow [\text{zoom out}]xN_v f$
$\forall x.x = f \rightarrow [\text{come}]fN_x v$
$\forall x.x = f \rightarrow [\text{leave}]xN_f v$
$\forall x.x = f \rightarrow [\text{pan } r]fr x$
$\forall xy.xry \rightarrow [\pi \cap \text{fix}(x, y)]xry$
$\forall x.\neg x \mapsto x$
$\forall xy.x \mapsto y \rightarrow \neg y \mapsto x$
$\forall xyz(x \mapsto y \wedge y \mapsto z) \rightarrow x \mapsto z$
$\forall x.x \sqsubseteq x$
$\forall xyz(x \sqsubseteq y \wedge y \sqsubseteq z) \rightarrow x \sqsubseteq z$
$\forall xy(x \sqsubseteq y \wedge y \sqsubseteq x) \rightarrow x = y$
$\forall xy(R'(y) \wedge x \sqsubseteq y) \rightarrow R'(x)$
$\forall xyz.xN_y z \rightarrow x \neq y \neq z$
$\forall xyz.xN_y z \rightarrow xN_z y$
$\forall xyz.xN_y z \rightarrow \neg yN_x z$
$\forall xyzu(xN_y z \wedge uN_x z) \rightarrow xN_y u$
$\forall xyzu(xN_y z \wedge zN_x u) \rightarrow xN_y u$
$a \mapsto v$

$v \mapsto f$   
 $f \mapsto b$   
 $fOs$   
 $\neg vN_f b$   
 $\neg aN_v f$   
 $\forall xy.x \sqsubseteq y \rightarrow x \in E(y)$   
 $\forall xy.r.xry \rightarrow r \in T(x, y)$   
 ( $r$  の公理:  $r$  の仕様に依存する)  
 ( $up, side, \dots$  の公理: 仕様に依存する)  
 ( $\in$  の公理)

ただし、 $R' \in \{\mapsto, \dots\}$ 。  $N$  の公理については [1] の ‘betweenness’ の公理化を参照のこと。

### 3.3 意味論

$DAL$  の行為は Fig. 2 のようにあらわされる。

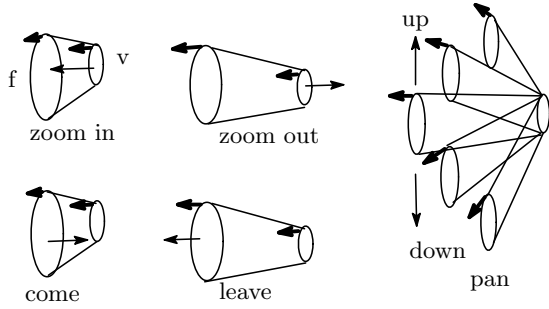


Fig. 2. Actions on the viewfinder and the focus

- $E(\tau_w)_w = \{x \in D_w \mid x \sqsubseteq_w \tau_w\}$
- $T(\tau_w, \tau'_w)_w = \{r_w \in D_w \times D_w \mid (\tau_w, \tau'_w) \in r_w\}$
- $w \llbracket \text{zoom in} \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. f_u = f_w \ \& \ v_u N_{v_w} f_u,$
- $w \llbracket \text{zoom out} \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. f_u = f_w \ \& \ v_w N_{v_u} f_u,$
- $w \llbracket \text{come} \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. v_u = v_w \ \& \ f_u N_{f_w} v_u,$
- $w \llbracket \text{leave} \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. v_u = v_w \ \& \ f_w N_{f_u} v_u,$
- $w \llbracket \text{pan } r \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. v_u = v_w \ \& \ f_u r f_w,$
- $w \llbracket \text{fix}(x, y) \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. x_w R y_w \Rightarrow x_u R y_u,$
- $w \llbracket x := ?_\tau \rrbracket^M X \Leftrightarrow \forall u \in X. \exists e \in X^M. g_u = g_w[e/x].$

他の行為:

$$\begin{aligned}
 (\text{chase } r) &\equiv (\text{fix}(s, f) \cap (\text{pan } r)) \\
 (\text{scan } r) &\equiv ((f \sqsubset s?) \cap (\text{pan } r)) \\
 \text{go} &\equiv (\text{fix}(s, f) \cap \text{leave}) \\
 (\text{while } \varphi \text{ do } \alpha) &\equiv ((\varphi?; \alpha)^*; \neg\varphi?) \\
 (\text{until } \varphi \text{ do } \alpha) &\equiv ((\neg\varphi?; \alpha)^*; \varphi?) \\
 (\text{find } \phi) &\equiv (\text{until } \phi(s) \text{ do } (f := ?_{E(b)}; s := f)) \\
 (\alpha \text{ to } \varphi) &\equiv (\text{until } \varphi(s) \text{ do } \alpha)
 \end{aligned}$$

## 4 Focus Trace

Lakoff [6] では、前置詞「over」の諸イメージ・スキーマの提案とそれらからなる放射状カテゴリの形成が提案されている。その一部は Fig. 3 のように示される。これらのイメージ・スキーマは、‘A is over B’を

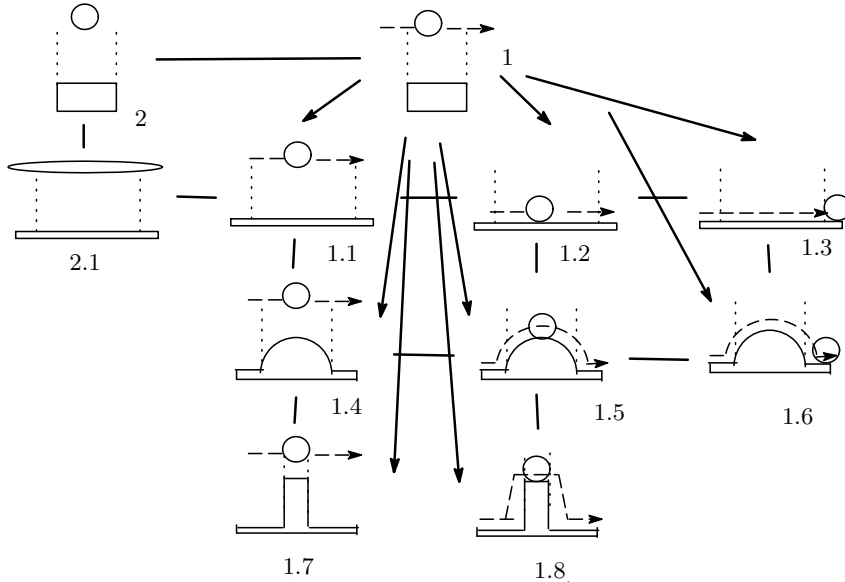


Fig. 3. ‘over’の諸イメージ・スキーマの放射状カテゴリ化、ただし、矢印はインスタンス化関係、太線は類似関係をあらわす

表す場合、*DAL* では次のようなカメラワークとなる。

- 1:  
 $(\text{find } B); b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s; (\text{find } A); r := ?_{T(x,E(s))}; (\text{chase } r \text{ to } \text{otherSide}(b, x))$   
 1.1=1.4=1.7:  
 $(\text{find } B); b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s; (\text{find } A); r := ?_{T(x,E(s))}; (\text{chase } r \text{ to } \text{otherSide}(b, x))$   
 1.2=1.5=1.8:  
 $(\text{find } B); y := s; b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s; (\text{find } A);$   
 $r := ?_{T(x,E(s))}; ((\text{chase } r \cap (f \bowtie y?)) \text{ to } \text{otherSide}(b, x))$   
 1.3=1.6:  
 $(\text{find } B); y := s; b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s;$   
 $r := ?_{T(x,E(s))}; ((\text{pan } r \cap (f \bowtie y?)) \text{ to } \text{otherSide}(b, x)); (\text{find } A)$   
 2:  
 $(\text{find } B); b := \text{up}(s); (\text{pan up to } A)$   
 2.1:  
 $(\text{find } B); b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s; (\text{find } A); y := s; r := ?_{T(x,E(s))}; (\text{scan } r \text{ to } \text{otherSide}(b, y))$

ただし、1.1 から 1.8 における  $r$  は left もしくは right で、その仕様は Fig. 4 のように曖昧である。この結果、Fig. 3 における 1.1-1.8 間の landmark の形状の違いや focus の軌跡の細かい違いを吸収できる。

さらに、これらのカメラワークはどのように関係付けられるであろうか。様相論理におけるプロセス間の関係付けである「bisimulation」や「simulation」では、モデルに依存するため具体的過ぎて、Fig. 3 のような関係付けは期待できない。

各行為における focus の動きだけに注目してみよう。各行為 (2 以外) の focus の動きの trace は、抽象的には Fig. 5 のようになる。focus の軌跡だけを抽出することを focus trace と呼ぶことにする。focus trace の観点からは 2 以外は同じであるということがいえる。しかし、2 を次のように再定義することも可能である。

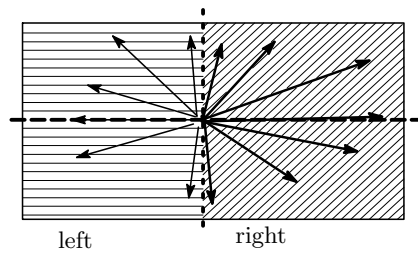


Fig. 4. 曖昧な left, right

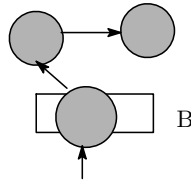


Fig. 5. Focus の trace

(find B); b := up(s); (find side(b)); x := s; b := s; r := ? $T_{(x,E(s))}$ ;  
 (pan r to A);  
 (scan r to A);  
 (scan r to otherSide(b, x))

これは Fig. 6 であらわされるカメラワークである。こうすると、2 も focus trace の観点から他のカメラワー

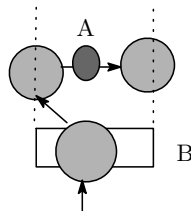


Fig. 6. 2 の再定義

クと等価であるとみなすことができる。

## 5 終わりに

focus trace によって over の放射状カテゴリー化の一部が扱える見込みがあることが示された。今回は focus trace の形式的な定義はできなかったが、今後の課題である。また、行為のグラフの matching や類似性の観点からの放射状カテゴリー化の形式的な扱いも今後の課題である。

## References

1. Peter Gärdenfors. *Conceptual Spaces: The Geometry of Thought*. The MIT Press, Cambridge, 2000.
2. James J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin Company, Boston, 1979.

3. Robert I. Goldblatt. *Logics of Time and Computation: Second Edition, Revised and Expanded*. CSLI, Stanford, 1992.
4. Jeroen Groenendijk and Martin Stokhof. Dynamic predicate logic. *Linguistics and Philosophy*, 14:39–100, 1991.
5. Jeroen Groenendijk and Martin Stokhof. Two theories of dynamic semantics. In Jan van Eijck, editor, *Logics in AI: European Workshop JELIA '90*, pages 55–64. Springer Verlag, Berlin, 1991.
6. George Lakoff. *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. University of Chicago Press, Chicago, 1987.
7. Ronald W. Langacker. *Foundations of Cognitive Grammar, vol I*. Stanford University Press, Stanford, 1987.
8. Ronald W. Langacker. *Foundations of Cognitive Grammar, vol II: Descriptive Apprication*. Stanford University Press, Stanford, 1991.
9. Leonard Talmy. *Toward a Cognitive Semantics, Volume I: Concept Structuring Systems*. The MIT Press, Cambridge, 2000.
10. Leonard Talmy. *Toward a Cognitive Semantics, Volume II: Typology and Process in Concept Structuring*. The MIT Press, Cambridge, 2000.
11. Johan van Benthem. *Exploring Logical Dynamics*. CLSI Publications, Stanford, 1996.