

Perspectival Invariance と Cognitive Invariance: Dynamic Cognitive Semantics の観点から

緒方 典裕
大阪大学 言語文化部
ogata@lang.osaka-u.ac.jp

1 序

筆者はこれまで認知科学・認知言語学の成果をダイナミック論理へのカメラモデルの編入によって、形式意味論や形式論理との融合を試みてきた [9, 14, 13, 8]。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 [5] や Langacker [6, 7] は数学を使うこと自体に批判的であり、かろうじて、Talmy [11, 12] がコネクション・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、認知言語学者的には次のような批判が可能で、このことは考慮しなければならない。

- 認知意味論者の期待する比喻や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。

本稿ではその発展をふまえて、次の二つの重要な問題を取り上げ、形式化を試みる。

1. Perspectival invariance
2. Cognitive invariance

Perspectival invariance とは次のような例で説明できる。「車が A 地点から B 地点へ移動した」という言明は、A 地点付近からの perspective では「車が B 地点（の方）から来た」という言明で表現され、逆に、B 地点付近からの perspective では「車が A 地点（の方）へ行った」という言明で表現される。問題はこの三つの言明を形式的に違うものとしてモデル化し、かつ、その三つがある意味で同一であるということ保証することである。これは perspective を導入したモデルは、perspective が異なっても認知対象の同一性を保証しなければならないという原則である。

Cognitive invariance とは、これは、[5]、その他が唱える認知スキーマ間の「放射状カテゴリー化」や「メタファー的拡張」などと本質的に同じである。また、カテゴリー間のタクソノミー階層化も含まれる。

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。

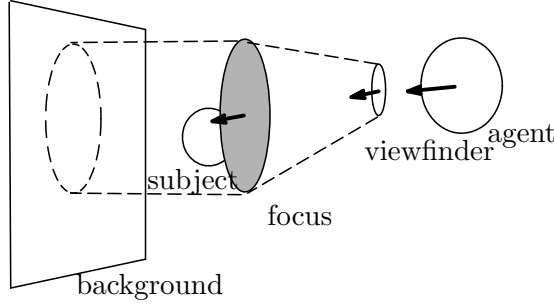


図 1: Private Viewpoint Model

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。

- (オーバーラップ) $x O_w y \Leftrightarrow \exists z. z \sqsubseteq_w x \wedge z \sqsubseteq_w y$.
- (接触) $x \bowtie_w y \Leftrightarrow \sim \exists z. x \neq y \wedge x N_z^w y \wedge \exists u. x N_u^w y \wedge \neg x O_w y$.
- (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_{iw} の公理 ($\forall xy.x \text{ left}_w y \rightarrow y \text{ right}_w x$ など)

$w[x_u/x]$ means:

$$\langle D'_w, \sqsubseteq_w \upharpoonright_{D'_w}, N^w \upharpoonright_{D'_w}, \mapsto_w \upharpoonright_{D'_w}, \dots, I_w \upharpoonright_{D'_w}, x_u, \dots, g_w \upharpoonright_{D'_w} \rangle,$$

where $D'_w = D_w - \{x_w\} \cup \{x_u\}$, if

$$w = \langle D_w, \sqsubseteq_w, N^w, \mapsto_w, \dots, I_w, x_w, \dots, g_w \rangle.$$

3 PVM に基づいた Concurrent Dynamic Cognitive Logic(*CDCL*)

CDCL は Dynamic Predicate Logic [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

特殊変数 $a ::=$ a (agent)
 $| v$ (viewfinder)
 $| f$ (focus)
 $| b$ (background)
 $| s$ (subject)

項 $\tau ::= a|v|r|E(\tau)|T(\tau_1, \tau_2)|f(\tau_1, \dots, \tau_n)$
 (where $r \in \{up, down, left, right, \dots\}$)

式 $\varphi ::= \tau_1 \sqsubseteq \tau_2$	(τ_1 is included to τ_2)
$ \tau_1 O \tau_2$	(τ_1 overlaps τ_2)
$ \tau_1 \bowtie \tau_2$	(τ_1 touches τ_2)
$ \tau_1 \mathbf{N}_{\tau_3} \tau_2$	(τ_1 is close to τ_2 more than τ_3)
$ \tau_1 \mapsto \tau_2$	(τ_1 looks towards τ_2)
$ \text{zoom in}$	(v is getting closer to f)
$ \text{zoom out}$	(v is distancing from f)
$ \text{come}$	(f is getting closer to v)
$ \text{leave}$	(f is distancing from v)
$ \text{pan } r$	(f is moving toward r)
$ a_1 \leftarrow a_2$	(the PVM state is changed by substituting a_2 to a_1)
$ v := \tau$	(変数への代入)
$ a := \tau$	(特殊変数への代入)
$ v := ?\tau$	(制限された変数へのランダムな代入)
$ a := ?\tau$	(制限された特殊変数へのランダムな代入)
$ R(\tau_1, \dots, \tau_n) \tau_1 = \tau_2 \varphi_1 \rightarrow \varphi_2$	
$ \varphi_1 \vee \varphi_2$	(nondeterministic choice)
$ \varphi_1; \varphi_2$	(sequential composition)
$ \varphi_1 \& \varphi_2$	(parallel composition)
$ \exists v. \varphi \perp$	

ただし、 $E(\tau)$ は τ の部分領域の集合 $\{x | x \sqsubseteq \tau\}$ 、 $T(\tau_1, \tau_2)$ は直観的には $\{r \in \text{Dir} | (\tau_1, \tau_2) \in r\}$ を表し、 $up(\tau)$ は τ 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、 $otherSide(x, y, z) \equiv side(x, z) \wedge side(x, y) \wedge y \neq z \wedge \neg y O z$ をあらわす。

3.2 意味論

$CDCL$ の行為は Fig. 2 のようにあらわされる。

- $E(\tau_w)_w = \{x \in D_w | x \sqsubseteq_w \tau_w\}$
 - $T(\tau_w, \tau'_w)_w = \{r_w \in D_w \times D_w | (\tau_w, \tau'_w) \in r_w\}$
- $$w \llbracket \text{zoom in} \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. f_u = f_w \ \& \ v_u N_{v_w} f_u,$$
- $$w \llbracket \text{zoom out} \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. f_u = f_w \ \& \ v_w N_{v_u} f_u,$$
- $$w \llbracket \text{come} \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. v_u = v_w \ \& \ f_u N_{f_w} v_u,$$

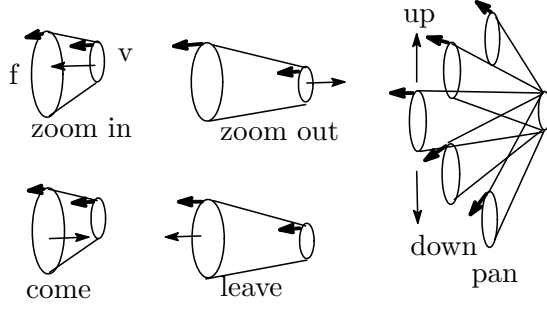


図 2: Actions on the viewfinder and the focus

$$w \llbracket \text{leave} \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. v_u = v_w \ \& \ f_w N_{f_u} v_u,$$

$$w \llbracket \text{pan } r \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. v_u = v_w \ \& \ f_u r f_w,$$

$$w \llbracket \text{fix}(x, y) \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. x_w R y_w \Rightarrow x_u R y_u,$$

$$w \llbracket x := ?\tau \rrbracket^{\mathcal{M}} X \Leftrightarrow \forall u \in X. \exists e \in X^{\mathcal{M}}. g_u = g_w[e/x].$$

$$w \llbracket R(\tau_1, \dots, \tau_n)? \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff } X = \{w\} \text{ and } \mathcal{M}, w \models \varphi.$$

$$w \llbracket \varphi_1; \varphi_2 \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff } \exists U. s \llbracket \varphi_1 \rrbracket^{\mathcal{M}} U \ \&$$

$$\forall u \in U. u \llbracket \varphi_2 \rrbracket^{\mathcal{M}} X_u \ \& \ X = \bigcup_{u \in U} X_u.$$

$$w \llbracket \varphi_1 \vee \varphi_2 \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff either } w \llbracket \varphi_1 \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ or } w \llbracket \varphi_2 \rrbracket^{\mathcal{M}} X.$$

$$w \llbracket \varphi_1 \& \varphi_2 \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff } X = X_1 \cup X_2 \text{ and } w \llbracket \varphi_1 \rrbracket^{\mathcal{M}} X_1 \text{ and } w \llbracket \varphi_2 \rrbracket^{\mathcal{M}} X_2.$$

$$w \llbracket \varphi^* \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff } \langle w, X \rangle \in \bigcup_{n \geq 0} \llbracket \varphi^n \rrbracket^{\mathcal{M}}, \text{ where } \llbracket \varphi^0 \rrbracket^{\mathcal{M}} = \{ \langle w, \{w\} \rangle \mid w \in W \} \text{ and } \llbracket \varphi^{n+1} \rrbracket^{\mathcal{M}} = \llbracket \varphi; \varphi^n \rrbracket^{\mathcal{M}}.$$

$$w \llbracket v := \tau \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff } X = \{w[\tau_w^{\mathcal{M}}/x]\}.$$

$$w \llbracket \exists v. \varphi \rrbracket^{\mathcal{M}} X \text{ iff for some } e \in D^{\mathcal{M}}, w[e/x] \llbracket \varphi \rrbracket X.$$

他の行為:

$$(\text{chase } r) \equiv ((\text{pan } r); s := f)$$

$$(\text{scan } r) \equiv ((f \sqsubset s?) \cap (\text{pan } r))$$

$$\text{go} \equiv (\text{leave}; s := f)$$

$$(\text{until } \varphi \text{ do } \alpha) \equiv ((\neg \varphi?; \alpha)^*; \varphi?)$$

$$(\triangleright x) \equiv (x := f; s := f)$$

$$(\triangleleft x) \equiv (f := x; s := f)$$

$$\begin{aligned}
(\text{find } \varphi) &\equiv (\text{until } \varphi(f) \text{ do } (f := ?E(b); s := f)) \\
(\text{find } \varphi_1 \cap \varphi_2) &\equiv (\text{until } \varphi_1(f) \wedge \varphi_2(f) \text{ do } (f := ?E(b); s := f)) \\
(\text{find } F(\varphi)) &\equiv (\text{until } \exists u. \varphi(u) \wedge F(u, f) \text{ do } (f := ?E(b); s := f)) \\
(\alpha \text{ to } \varphi) &\equiv (\text{until } \varphi(f) \text{ do } \alpha) \\
(\alpha \text{ to } \tau) &\equiv (\text{until } \tau \bowtie f \text{ do } \alpha) \\
(\alpha \text{ past } \tau) &\equiv ((\text{until } f \bowtie \tau \text{ do } \alpha); (\text{until } \neg f \bowtie \tau \text{ do } \alpha)) \\
(\alpha[\beta/\gamma]) &\equiv (\dots \beta \dots) \text{ if } \alpha \equiv (\dots \gamma \dots)
\end{aligned}$$

4 Cognitive Invariance

4.1 動作カテゴリーとカテゴリーのタクソノミー階層

4.1.1 姿勢動作: ‘X が Y に座る’

動作 ‘X が Y に座る’ は *CDCL* において次のように定義される:

$$\begin{aligned}
\exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に座る}) &\equiv (\forall z. Y(z) \rightarrow \text{平たい}(z)) \rightarrow \\
&((\text{find } \text{尻}(X)); \exists x. \triangleright x; \\
&b := \text{down}(b); \text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\
&\triangleleft x; r := ?T(x, E(y)); \\
&\text{until } f \bowtie y \text{ do chase } r))
\end{aligned}$$

4.1.2 姿勢動作: ‘X が Y に寝る’

動作 ‘X が Y に横になる’ は *CDCL* において次のように定義される:

$$\begin{aligned}
\exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に寝る}) &\equiv (\forall z. Y(z) \rightarrow \text{平たい}(z)) \rightarrow \\
&((\text{find } \text{背}(X)); \exists x. \triangleright x; \\
&b := \text{down}(b); \text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\
&\triangleleft x; r := ?T(x, E(y)); \\
&\text{until } f \bowtie y \text{ do chase } r))
\end{aligned}$$

4.1.3 姿勢動作: ‘X が Y に体を下ろす’

仮に ‘X が Y に体を下ろす’ という動作を *CDCL* において次のように定義したとする:

$$\begin{aligned} \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に体を下ろす}) \equiv & (\forall z. Y(z) \rightarrow \text{平たい}(z)) \rightarrow \\ & ((\text{find 胴体の部分}(X)); \exists x. \triangleright x; \\ & b := \text{down}(b); \text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\ & \triangleleft x; r := ?T(x, E(y)); \\ & \text{until } f \bowtie y \text{ do chase } r)) \end{aligned}$$

4.1.4 動作カテゴリーの弱等価性と subsumption 関係

PVM では「座る」と「横になる」、「体を下ろす」は次の図のように基本的に同じカメラ・ワークであることがわかる。

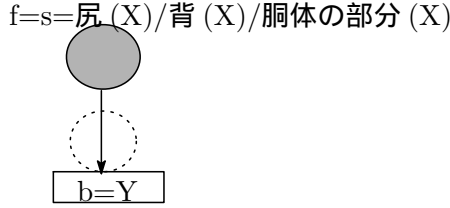


図 3: ‘X が Y に座る」と‘X が Y に横になる」の PVM 推移

Fact 1 $(\alpha)[X/Y] \equiv (\beta)$ である代入 $[X/Y]$ が存在するとき、 $\alpha \sim \beta$ と書き、 α と β は弱等価であるという。そのとき、次が成り立つ。

$$\exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に座る}) \sim \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に寝る})$$

$$\exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ 体を下ろす}) \sim \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に寝る})$$

また $\sim$ は等価関係 (*reflexive, transitive, symmetry*) である。

Fact 2 $(\alpha)[X/Y] \equiv (\beta)$ である代入 $[X/Y]$ が存在し、 $\forall x. Y(x) \rightarrow X(x)$ が成り立つ場合、 $\alpha \sqsubseteq \beta$ と書いて、 α は β を *subsume* するということにする。そのとき

$$\forall xy. \text{背}(x, y) \rightarrow \text{胴体の部分}(x, y)$$

$$\forall xy. \text{尻}(x, y) \rightarrow \text{胴体の部分}(x, y)$$

なので、次が成り立つ。

$$\exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に座る}) \sqsubseteq \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に体を下ろす})$$

$$\exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に寝る}) \sqsubseteq \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ に体を下ろす})$$

$\sqsubseteq$ は動作カテゴリー間の taxonomy 階層とみなすことができる。それはある種の等価関係、つまり invariance に基づいていることがわかる。

4.2 カテゴリー化と比喩的カテゴリー化

4.2.1 カテゴリー＝カテゴリー化 (行為)

「 X が C というカテゴリーに属する」という言明は、手続きとみなした場合、*CDCL* で次のように定義できる。たとえば、 $(n : \text{Int})$ を「 n は整数である」という「カテゴリー化行為」とすると、次のいずれかで定義できる。(カテゴリー化とはカテゴリーを形成することであると思われる読者も多いと思うが、ここではあるインスタンスが、あるカテゴリーに所属するかどうかを決定する行為のことをいうことにする。カテゴリー化の原語である *categorize* とは「分類する、類別する」という意味で、ここで言うカテゴリー化にむしろ近い。)

$$1. (n : \text{Int}) \equiv (n = 0 \vee (x := 0; \text{while } n \neq x \text{ do } x := x + 1))$$

$$2. (n : \text{Int}) = (n = 0 \vee (\text{def } n - 1; (n - 1 : \text{Int})))$$

ただし、 $(\text{def } \tau)$ は τ の値が定義されている場合、入力の状態を出力し、されていない場合、失敗する。また、2 の定義は自分自身を再帰呼び出ししていることに注意せよ。

つぎは抽象データ型の「Stack」の例である。

$$1. (s : \text{Stack}(X)) \equiv (s = \Lambda \vee (\text{while } s \neq \Lambda \text{ do } ((\text{top}(s) : X); \text{pop}(s))))$$

$$2. (s : \text{Stack}(X)) = (s = \Lambda \vee ((\text{top}(s) : X); (\text{def } \text{pop}(s)); (\text{pop}(s) : \text{Stack}(X))))$$

つぎはオブジェクト指向言語のクラスの例である。 C はクラスである。

$$\bullet (o : C) \equiv (\forall p \in \text{Property}(C). \text{def } o.p) \& (\forall m \in \text{Method}(C). \exists \bar{x}. \text{def } o.m(\bar{x}))$$

ただし、 $\text{Property}(C)$ は C のすべてのプロパティの集合で、 $\text{Method}(C)$ は C のすべてのメソッドの集合で、この手続きではそれらがインスタンス o に関してすべて定義されているかどうかをテストしている。

では、自然言語の意味カテゴリーではどうであろうか？おそらく「自然言語の意味カテゴリーにおいて再帰的呼び出しを必要とするものはない」という推測は正しいであろう。また、多くの意味カテゴリーの研究が行っているように、「意味カテゴリーは素性もしくは属性と値の束である」と仮定することも正しいであろう。（もちろん「円」や「点」のような素性や属性では定義しづらいカテゴリーも多くはあるが。）従って、自然言語の意味カテゴリーはオブジェクト指向言語のクラスと似たものと考えても良いであろう。この場合、プロパティにあたるのが、属性や素性で、メソッドにあたるのが、そのカテゴリーに深い関係をもつ generic event (GE) と考えることができる。たとえば、鳥では「飛ぶ」や「鳴く」などの動作である。これら GE は逆にあるカテゴリーに属することで具体化が図られていることに注意せよ。たとえば、「矢が飛ぶ」、「飛行機が飛ぶ」、「鳥が飛ぶ」というのは知覚的にまったく異なるイベントである。それら知覚されたイベントを「飛ぶ」と同一化することのほうが難しい。この GE とその帰属先のカテゴリーとの相互依存関係についての重要性は、同様に意味カテゴリーにイベントを帰属させている Pustejovsky の qualia 理論 [10] ではまったく考慮されていない。

また Rosch らの「プロトタイプ」の概念のように、意味カテゴリーはすべての属性や GE が定義されているものしかそのインスタンスとして認めないということはない。また Kripke [4] が議論しているように、また、人工知能でのデフォルト推論の議論にもあるように、ある意味カテゴリーに essential である属性も指定することはできない。したがって、ここでは仮に、オブジェクト指向言語のクラスですべてのプロパティとメソッドのチェックを行うところを、次のように、most という曖昧な量化子に置き換えることで、この問題に対応しておく。

$$\bullet (o : \mathcal{C}) \equiv (\text{Most } p \in \text{Property}(\mathcal{C}).\text{def } p(o)) \& (\text{Most } m \in GE(\mathcal{C}).\exists \bar{x}.\text{def } m(o, \bar{x}))$$

4.2.2 カテゴリー (化) の等価性、subsumption、弱等価性

さらに、この「カテゴリー = カテゴリー化行為」というパラダイムでは、カテゴリー間の subsumption 関係、等価性もまた手続き的に定義される。すなわち、

Definition 1 $C_1 \sqsubseteq C_2$, つまりカテゴリー C_1 はカテゴリー C_2 に *subsume* されるとは $(\forall x.(x : C_1); (x : C_2))$ が成功するとき、かつそのときにかぎる。

$C_1 \cong C_2$, つまりカテゴリー C_1 はカテゴリー C_2 と等価であるとは $(\forall x.((x : C_1); (x : C_2)) \& ((x : C_2); (x : C_1)))$ が成功するとき、かつそのときにかぎる。

しかし、前節で導入したような弱等価性のような概念を与えたい場合、上の定義では扱えない。そこで、「弱等価性」を次のように定義する。

Definition 2 R はある順序関係である。 $C_1 \sqsubseteq_R C_2$, つまりカテゴリー C_1 はカテゴリー C_2 に R の観点から弱く *subsume* されるとは $(\forall x(\forall p \in \text{Property}(C_1)\exists q \in \text{Property}(C_2).p(x)Rq(x)) \& (\forall m \in \text{GE}(C_1)\exists \bar{x}.\exists n \in \text{GE}(C_2).m(x, \bar{x})Rn(x, \bar{x})))$ が成功するとき、かつそのときにかぎる。

$C_1 \cong_R C_2$, つまりカテゴリー C_1 はカテゴリー C_2 と R の観点から弱等価であるとは $((C_1 \sqsubseteq_R C_2) \& (C_2 \sqsubseteq_R C_1))$ が成功するとき、かつそのときにかぎる。

前節の動作カテゴリーの例では R は $\rightarrow$ である。

4.2.3 比喩的カテゴリー化

Donald Davidson [1](Ch 17. *What Metaphor Means*) がいうように、比喩的言明と非比喩的言明の間に明確な差異は認められないので、比喩的カテゴリー化に関しても、基本的に前節の枠組みで扱えるはずである。しかし、明確に比喩的といわれるような言明に関しては前節の枠組みでは扱えず、Lakoff [5] がいうような体系的なカテゴリー化拡張のメカニズムが必要である。しかし、ここでは次のような単純な例文を見てみよう。

- (1) a. ペレは神様である。
- b. 召使いは犬である。

それぞれは *CDCL* で次のように表現される。

- (2) a. (ペレ : 神様)
- b. (召使 $\sqsubseteq_R$ 犬)

当然、(ペレ : 人), (人 $\not\sqsubseteq_R$ 神様), (神様 $\not\sqsubseteq_R$ 人) であるので (2a) は失敗し、(召使 $\sqsubseteq_R$ 人), (犬 $\not\sqsubseteq_R$ 人), (人 $\not\sqsubseteq_R$ 犬) なので (2b) も失敗する。そこで「比喩的カテゴリー化」という別の手続きを定義する必要がある。(1) を次のような意図を持つ表現であるとしよう。

- (3) a. ペレはある範囲では万能である。
- b. 召使いはこき使われる対象である。

ある観点をあらわす関数 π が与えられたとき、「比喩的カテゴリー化」および「比喩的カテゴリー拡張」を次のように定義する。

- $(o :_{\pi} \mathcal{C}) \equiv (\text{Most } p \in \pi[\text{Property}(\mathcal{C})].\text{def } p(o)) \& (\text{Most } m \in \pi[\text{GE}(\mathcal{C})].\exists \bar{x}.\text{def } m(o, \bar{x}))$
- $(C_1 \sqsubseteq_{R, \pi} C_2) \equiv (\forall x (\forall p \in \text{Property}(C_1) \exists q \in \pi[\text{Property}(C_2)].p(x)Rq(x)) \& (\forall m \in \text{GE}(C_1) \exists \bar{x}.\exists n \in \pi[\text{GE}(C_2)].m(x, \bar{x})Rn(x, \bar{x})))$

(2a) では $\pi[\text{Property}(\text{神様})] = \{\exists r.\text{万能}(r)()\}$, $\pi[\text{GE}(\text{神様})] = \emptyset$ で、(2b) では $\pi[\text{Property}(\text{犬})] = \emptyset$, $\pi[\text{GE}(\text{犬})] = \{\exists x : \text{人}.\text{こき使う}(x)()\}$ である。

4.3 Focus Trace Equivalence と放射状カテゴリー化

Lakoff [5] 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ーの形成が提案されている。その一部は Fig. 4 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」を表す

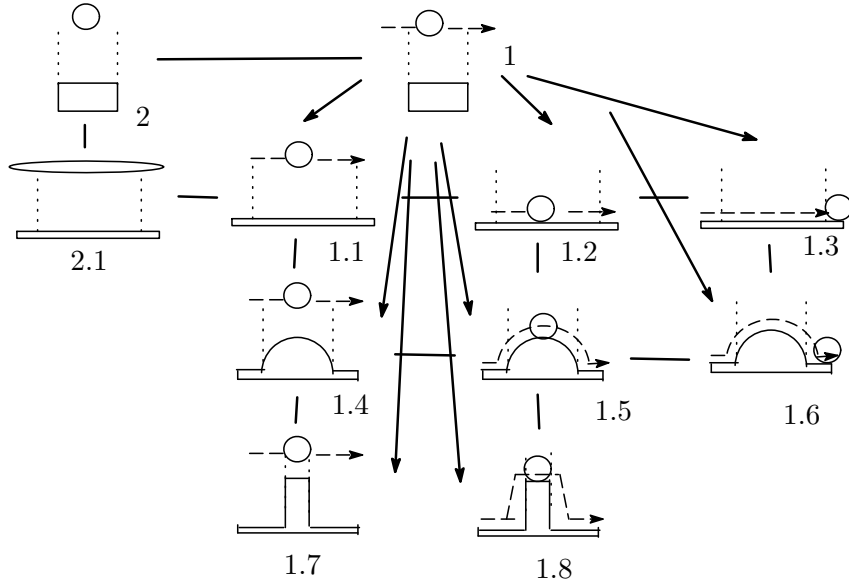


図 4: ‘over’ の諸イメージ・スキーマの放射状カテゴリー化、ただし、矢印はインスタンス化関係、太線は類似関係をあらわす

場合、*CDCL* では次のようなカメラワークとなる。

1:
 $(\text{find } B); b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s; (\text{find } A); r := ?T(x, E(s)); (\text{chase } r \text{ to otherSide}(b, x))$

1.1=1.4=1.7:
 $(\text{find } B); b := \text{up}(s); (\text{find side}(b)); x := s; b := s; (\text{find } A); r := ?T(x, E(s)); (\text{chase } r \text{ to otherSide}(b, x))$

1.2=1.5=1.8:

```
(find B); y := s; b := up(s); (find side(b)); x := s; b := s; (find A);
r := ?T(x, E(s)); ((chase r & (f ⊢ y)) to otherSide(b, x))
```

1.3=1.6:

```
(find B); y := s; b := up(s); (find side(b)); x := s; b := s;
r := ?T(x, E(s)); ((pan r & (f ⊢ y)) to otherSide(b, x)); (find A)
```

2:

```
(find B); b := up(s); (pan up to A)
```

2.1:

```
(find B); b := up(s); (find side(b)); x := s; b := s; (find A); y :=
s; r := ?T(x, E(s)); (scan r to otherSide(b, y))
```

ただし、1.1 から 1.8 における r は実際上は left もしくは right で、その仕様は Fig. 5 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

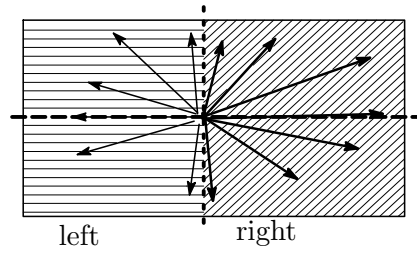


図 5: 曖昧な left, right

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。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. 6 のようになる。focus の軌

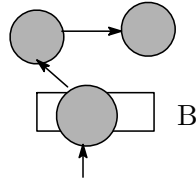


図 6: Focus の trace

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。

```
(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. 7 であらわされるカメラワークである。こうすると、2 も focus

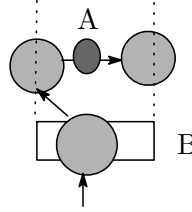


図 7: 2 の再定義

trace の観点から他のカメラワークと等価であるとみなすことができる。
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。Focus trace equivalence は次のように定義される。

Definition 3 $\pi = \alpha_1; \dots; \alpha_j; \dots; \alpha_n$ は $\pi' = \beta_1; \dots; \beta_k; \dots; \beta_m$ と focus trace equivalent である ($\pi \simeq_f \pi'$) のは、すべての $w \in W$ に対して、 $\pi \simeq_{f,w} \pi'$ であり、かつそのときにかぎる。

$\pi \simeq_{f,w,w'} \pi'$ iff:
if $w = w_0 \xrightarrow{\alpha_1} w_1 \dots w_{j-1} \xrightarrow{\alpha_j} w_j = u$, $f_{w_0} = f_{w_1} = \dots = f_{w_j}$, and if $u \xrightarrow{\alpha_{j+1}} u'$ then $f_u \neq f_{u'}$, then there is k such that $w' = w'_0 \xrightarrow{\beta_1} w'_1 \dots w'_{k-1} \xrightarrow{\beta_k} w'_k = v$, $f_{w'_0} = f_{w'_1} = \dots = f_{w'_k} = f_w$, and if $v \xrightarrow{\beta_{k+1}} v'$ then $f_v \neq f_{v'}$, and $(\alpha_{j+1}; \dots; \alpha_n) \simeq_{f,u,v} (\beta_{k+1}; \dots; \beta_m)$; and
if $w' = w'_0 \xrightarrow{\beta_1} w'_1 \dots w'_{j-1} \xrightarrow{\beta_k} w'_k = v$, $f_{w'_0} = f_{w'_1} = \dots = f_{w'_k}$, and if $v \xrightarrow{\beta_{k+1}} v'$ then $f_v \neq f_{v'}$, then there is j such that $w = w_0 \xrightarrow{\alpha_1} w_1 \dots w_{j-1} \xrightarrow{\alpha_j} w_j = u$, $f_{w_0} = f_{w_1} = \dots = f_{w_j} = f_v$, and if $u \xrightarrow{\alpha_{j+1}} u'$ then $f_u \neq f_{u'}$, and $(\alpha_{j+1}; \dots; \alpha_n) \simeq_{f,u,v} (\beta_{k+1}; \dots; \beta_m)$, ただし、 $w \xrightarrow{\alpha} u \Leftrightarrow w \llbracket \alpha \rrbracket X$ かつ $u \in X$; α_i, β_i は原子式か、 $\alpha_1 \& \alpha_2$, $\alpha_1 \vee \alpha_2$, α^* のいずれかの形式の式である。

5 Perspectival Invariance

5.1 例：「X が Y を渡る」

「X が Y を渡る」という位置動作を *CDCL* で定義しようとした場合、次の図にあるように、その観点つまり *viewfinder* をどの位置に置くかで異なる定義を与えてしまう。観察者の観点からは次のように定義される：

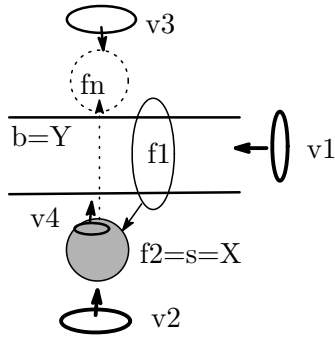


図 8: 四つの *viewfinder* からの各観点: *v1*: 観察者, *v2*: 始点側, *v3*: ゴール側, *v4*: 行為者

$$\begin{aligned} \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ を渡る}_1) \equiv & (\text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\ & \text{find } X; \exists x. \triangleright x; \text{side}(y, x); \\ & \text{find } \textit{otherSide}(y, x); \exists z. \triangleright z; \\ & \langle x; b := y; r := ?T(x, E(z)); \\ & (\text{chase } r) \text{ past } y) \end{aligned}$$

このカメラ・ワークは次の図で表されるようなものである。

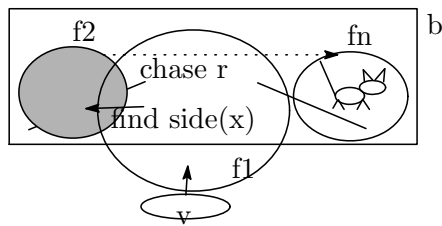


図 9: 観察者の観点からの「渡る」

始点側からの観点は次のように定義される：

$$\begin{aligned} \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ を渡る}_2) \equiv & (\text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\ & \text{find } X; \exists x. \triangleright x; \text{side}(y, x); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{find } otherSide(y, x); \exists z. \triangleright z; xN_z v; \\ & \triangleleft x; b := z; \text{go past } z) \end{aligned}$$

ゴール側からの観点は次のように定義される：

$$\begin{aligned} \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ を渡る}_3) \equiv & (\text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\ & \text{find } X; \exists x. \triangleright x; side(y, x); \\ & \text{find } otherSide(y, x); \exists z. \triangleright z; zN_x v; \\ & \triangleleft x; b := x; \text{come past } z) \end{aligned}$$

行為者の観点は、始点側の観点とほとんど同じであるが、次のように定義される：

$$\begin{aligned} \exists x \exists y (X(x) \text{ が } Y(y) \text{ を渡る}_4) \equiv & (\text{find } Y; \exists y. \triangleright y; \\ & \text{find } X; \exists x. \triangleright x; side(y, x); \\ & \text{find } otherSide(y, x); \exists z. \triangleright z; xN_z v; \\ & \triangleleft x; a = x; b := z; \text{go past } z) \end{aligned}$$

これは次の図で説明される。

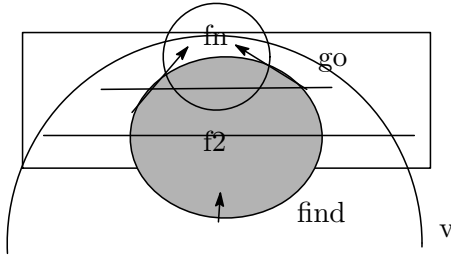


図 10: 行為者の観点からの「渡る」

問題は、ひとつの動作が、このように観点ごとに異なるカメラワークとして定義されてしまうことである。つまり、これらの間に uniformity をあらかず何らかの関係をもたせなければならない。

これは、viewfinder の推移を捨象した等価性の必要性を示している。Focus という対象自体の推移はどこから見るかに関係なく同じはずなので、ここでも focus trace equivalence が使えるのである。実際、4 つの viewfinder からの focus の推移は次の表ようになる。表 1 は viewfinder が異なっても focus の推移はほとんど同じであることを示してる。そして、定義 3 の focus trace equivalence はまさに、これら 4 つのカメラワークが等価であることを示す。これは「X が Y に行く」と「X が Y へ来る」と「X が Y に移動する」の三つの位置動作の観点の違いと等価性を定義付けることにも、そのまま応用できる。

表 1: ‘?’ は未指定の時空間対象を表す; ‘ $x \rightarrow z$ ’ は x から z へのほぼ連続的な推移を表す.

v_1	$[? \rightarrow y][y \rightarrow x]x[x \rightarrow z]xxx[x \rightarrow z]$
v_2	$[? \rightarrow y][y \rightarrow x]x[x \rightarrow z]zxx[x \rightarrow z]$
v_3	$[? \rightarrow y][y \rightarrow x]x[x \rightarrow z]zxx[x \rightarrow z]$
v_4	$[? \rightarrow y][y \rightarrow x]x[x \rightarrow z]zxxx[x \rightarrow z]$

6 まとめ

本稿では、Dynamic Cognitive Semantics の二つの問題、cognitive invariance と perspectival invariance を扱った。派生的に、カテゴリー化や、分類階層、比喩的カテゴリー化の問題も多少扱えたと思われる。今後の課題としては、fictive cognition や類推的 counterfactual 条件文、そして物語とカメラ・ワークとの関係などの研究を想定している。また実装も興味ある話題のひとつである。

参考文献

- [1] Donald Davidson. *Inquiries into Truth and Interpretation: 2nd Edition*. Clarendon Press, Oxford, 1984.
- [2] James J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin Company, Boston, 1979.
- [3] Jeroen Groenendijk and Martin Stokhof. Dynamic predicate logic. *Linguistics and Philosophy*, 14:39–100, 1991.
- [4] Saul Kripke. *Naming and Necessity*. Harvard university Press, Cambridge, 1972.
- [5] George Lakoff. *Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal about the Mind*. University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- [6] Ronald W. Langacker. *Foundations of Cognitive Grammar, vol I*. Stanford University Press, Stanford, 1987.
- [7] Ronald W. Langacker. *Foundations of Cognitive Grammar, vol II: Descriptive Apprication*. Stanford University Press, Stanford, 1991.

- [8] Norihiro Ogata. Dynamic semantics meets cognitive science and social science. In 人工知能学会 (第9回)『ことば工学会』, pages 43–59, 東京, 2001. 人工知能学会.
- [9] Norihiro Ogata. Dynamic semantics of cognitive agent language. In *IEEE International Workshop on Knowledge Media Networking: KMN'02*, pages 171–176. IEEE Computer Society, Los Alamitos, 2002.
- [10] James Pustejovsky. *Generative Lexicon*. The MIT Press, Cambridge, 1995.
- [11] Leonard Talmy. *Toward a Cognitive Semantics, Volume I: Concept Structuring Systems*. The MIT Press, Cambridge, 2000.
- [12] Leonard Talmy. *Toward a Cognitive Semantics, Volume II: Typology and Process in Concept Structuring*. The MIT Press, Cambridge, 2000.
- [13] 緒方 典裕. Dynamic semantics meets cognitive science. In 言語処理学会年次大会第8回, 東京, 2002. 言語処理学会.
- [14] 緒方 典裕. Dynamic semantics meets cognitive semantics? In *MY-COM2002*, 東京, 2002. 人工知能学会.