

## 依存型意味論による叙実動詞の意味記述の試み

## Towards an Analysis of Factive Verbs in Dependent Type Semantics

田中 リベカ \*1      峯島 宏次 \*1\*3      戸次 大介 \*1\*2\*3  
 Ribeka Tanaka      Koji Mineshima      Daisuke Bekki

\*1お茶の水女子大学  
 Ochanomizu University

\*2国立情報学研究所  
 National Institute of Informatics

\*3独立行政法人科学技術振興機構, CREST  
 CREST, Japan Science and Technology Agency

Dependent Type Semantics (DTS) is a framework of natural language semantics based on dependent type theory. DTS gives a unified analysis of entailment, anaphora and presupposition from a computational perspective. In this paper, we extend the framework of DTS with a mechanism to handle entailment and presupposition associated with factive verbs. Factive verbs such as *know* embed both *that*-clause and *wh*-clauses, and trigger special presuppositional inferences. We present a semantics of *wh*-clauses using  $\Sigma$ -types, and give semantic representations of factive verbs using the notion of proof objects in dependent type theory.

## 1. はじめに

形式意味論の主要な課題の一つは、自然言語の含意関係に体系的な説明を与えることである。ただし、自然言語には照応・前提に代表される文脈依存性があり、文脈依存性の解消と含意関係の導出を同時に扱うことがもとめられる。例えば、(1)はいわゆる E タイプ照応の例であり、 $\Rightarrow$  で示される含意関係を導出するためには、まず前提の第 1 文と第 2 文の間に成り立つ照応関係を解決することが要求される。

- (1) *A student* entered. *He* whistled.  
 $\Rightarrow$  The student who entered whistled.

[Bekki 14a] で提案された依存型意味論 (DTS) は、依存型理論 [Martin-Löf 84] に基づく自然言語意味論の枠組みである。未指定項 (underspecified term) を用いることで照応・前提を体系的に表現し、型推論と証明探索に基づいて含意関係の導出と文脈依存性の解消を統一的に扱う点に特徴がある。DTS は、(1) に見られるような通常の個体レベルの指示・照応に基づく推論の導出だけでなく、いわゆる modal subordination に代表される命題レベルの指示・照応に基づく推論の分析にも拡張されている [Tanaka 14]。

本稿では、DTS の枠組みを叙実動詞 (factive verb) の分析に拡張する。より具体的には、命題の態度を表す動詞の中でも、*know* を典型とする叙実動詞は、*believe* を典型とする非叙実動詞とは異なる論理形式をもつという観点から、叙実動詞の含意と前提を扱うことを試みる。また叙実動詞は、*that* 節だけでなく、*wh* 節を補文とすることが可能であり、これまでに DTS が扱ってきた照応・前提現象とは異なるふるまいを見せる。本稿では、疑問表現の意味論を依存型を用いて与えた上で、叙実動詞の分析のためには DTS の前提記述の枠組みを拡張する必要があると論じる。

## 2. 叙実動詞

この節では、叙実動詞がどのような含意と前提を伴うのかを確認した上で、本稿が説明の対象とする推論現象を整理する。

連絡先: 田中リベカ, お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科理学専攻情報科学コース, 東京都文京区大塚 2-1, tanaka.ribeka@is.ocha.ac.jp

## 2.1 叙実動詞と前提

まず、叙実動詞の基本的な性質を確認しておく。*know* を典型とする叙実動詞は、*believe* のような非叙実動詞とは対照的に、補文の内容が真であるという含意をもつ。例えば、叙実動詞 *know* を伴う (2a) は (3) を含意するが、非叙実動詞 *believe* を伴う (2b) は (3) を含意しない。

- (2) a. John knows that he is successful.  
 b. John believes that he is successful.  
 (3) John is successful.

興味深いことに、(2a) を否定、疑問、条件文の前件といった文脈に埋め込んでも、(3) はその文全体の含意であり続ける。以下の (4a-c) のいずれも、(3) を含意する。

- (4) a. John does not know that he is successful.  
 b. Does John know that he is successful?  
 c. If John knows that he is successful, ...

これはいわゆる前提の投射 (presupposition projection) と呼ばれる現象である。文  $S$  の含意のうち、 $S$  が否定、疑問、条件文の前件といった文脈に埋め込まれても、その文全体の含意であり続けるものは、 $S$  の前提 (presupposition) と呼ばれる。よって、(3) は (2a) の前提である。

前提と通常の含意との違いは次のような例から明らかとなる。

- (5) It is true that John is successful.  
 (6) a. It is not true that John is successful.  
 b. Is it true that John is successful?  
 c. If it is true that John is successful, ...

(5) は (3) を含意する。しかし、(5) を否定、疑問、条件文の前件に埋め込んで得られた (6a-c) では、この含意は消失する。よって、(3) は (5) の前提ではなく、通常の含意のひとつである。

前提の特徴のひとつに、以下のような文脈において前提が消失する (フィルターされる) という点が挙げられる。

- (7) a. John is successful, and he knows that he is.  
 b. If John is successful, he knows that he is.

E1	$x$ knows whether $A$ or $B$ , $A$	$\Vdash$	$x$ knows that $A$
E2	$x$ knows whether $A$ or $B$ , $B$	$\Vdash$	$x$ knows that $B$
E3	$x$ knows who $F$ , $F(a)$	$\Vdash$	$x$ knows that $F(a)$
P1	$x$ knows that $P$	$\triangleright$	$P$
P2	$x$ knows who $F$	$\triangleright$	someone $F$
P3	$x$ knows whether $A$ or <sub>alt</sub> $B$	$\triangleright$	$A$ or $B$ (but not both)

図 1: 叙実動詞が伴う含意・前提。 $\Vdash$  と  $\triangleright$  はそれぞれ、(経験的に成り立つ) 含意関係と前提関係を表す。

例えば (7b) では、(3) の内容は、叙実動詞を含む後件部の前提であるが、(7b) の文全体の前提でもなければ含意でもない。一般に、 $S'$  が  $S$  の前提を含意するとき、 $S'$  and  $S$  及び If  $S'$  then  $S$  という形式の文では、 $S$  の前提はフィルターされる。

## 2.2 叙実動詞と *wh* 節

叙実動詞は、非叙実動詞とは異なり、*wh* 節を補文としてとりうる [Egré 08]。

- (8) a. John knows whether Mary or Bob came. \*1  
b. John knows who came.
- (9) a. \* John believes whether Mary or Bob came.  
b. \* John believes who came.

*wh* 節が埋め込まれた (8a, b) は、以下のような形で、*that* 節が埋め込まれた文への含意関係が成り立つ点に特徴がある [Lewis 82, Groenendijk 82]。

- (10)  $\frac{\text{John knows whether Mary or}_{\text{alt}} \text{ Bob came.}}{\text{Mary came.}}$   
John knows that Mary came.
- (11)  $\frac{\text{John knows who came.}}{\text{Mary came.}}$   
John knows that Mary came.

*wh* 節が埋め込まれた叙実動詞文の解釈は文脈に依存し、いくつかの異なる解釈 (いわゆる weak/strong/exhaustive reading) を許容することが知られている [Groenendijk 82] \*2。これについては 4.3 節で論じる。

*wh* 節が埋め込まれた叙実動詞が伴う前提については、様々な議論がある [Hintikka 62, Karttunen 77, Aloni 13]。例えば、(8a) は (12a) を前提とし、(8b) は (12b) を前提とすると考えるのは自然であろう。

- (12) a. Mary or Bob (but not both) came.  
b. Someone came.

叙実動詞の意味論は、*wh* 節が伴うこうした前提を記述できるものでなければならない。

図 1 は、これまでに提示した叙実動詞にかかわる含意・前提関係をまとめたものである。

さて、形式意味論において、叙実動詞の前提を扱った研究は数多く存在するが \*3、これらはもっぱらモデル論的観点からの研究であり、自然言語処理の含意関係認識タスクへの応用を

も視野に入れた、計算意味論的・証明論的観点からの研究は十分になされていない。他方で、認識論理 (epistemic logic) の文脈では、知識や信念を扱う様相論理ベースの様々な証明体系が構築されている [Meyer 04]。しかし、これらは主として知識や信念そのものを扱うことを目的としており、自然言語における知識や信念の表現 (知識や信念の帰属を報告する文) の意味論を扱うわけではない。そのため、認識論理の文脈では、叙実動詞が伴う前提現象など、自然言語に固有の現象については、十分な検討がなされていないのが現状である。

そこで本稿では、証明論的観点から、含意・前提を推論現象としてとらえ、図 1 にまとめられる意味関係を記述できる包括的な自然言語の意味論を構築することを目指す。

## 3. 依存型意味論における前提現象

この節では、本研究の意味論の枠組みである DTS について概観した後、前提現象の分析について説明する。

### 3.1 依存型意味論 (DTS)

DTS [Bekki 14a] は、単純型理論を拡張した依存型理論 [Martin-Löf 84] に基づく自然言語意味論の枠組みである。従来のモデル論的な意味論に対し、DTS は証明論的意味論であり、文間の含意関係を意味表示間での証明可能性としてとらえることができる。依存型理論に基づく自然言語の意味記述は [Sundholm 86] 以降研究が進められており [Ranta 94]、近年では定理証明器を用いた計算機上での含意関係の計算も試みられている [Chatzikyriakidis 14]。

型理論は、 $a : A$  という形式の判断 (judgement) を意味の基本単位とする。これは「項  $a$  は型  $A$  をもつ」と解釈される。単純型理論では項と型が明確に区別されているのに対し、依存型理論では項に依存した型 (依存型) が許される。また依存型理論は、カーリー・ハワード同型対応 (型=命題、項=証明) により、一階述語論理をエンコードできるような論理体系に対応することが知られている。この観点から項は証明項とも呼ばれ、判断  $a : A$  は「 $a$  は命題  $A$  の証明である」とも解釈される。このように証明や証拠という概念が項として対象言語に現れるという性質が、本稿における叙実動詞の分析に重要な役割を果たす。

依存型理論は型構成子として  $\Sigma$  と  $\Pi$  をもつ。 $\Sigma$  は直積型の一般化であり、存在量化に対応する。型  $(\Sigma x : A)B(x)$  をもつ項は、型  $A$  の項  $m$  と型  $B(m)$  の項  $n$  からなる組  $(m, n)$  である。組の要素を取り出す投射関数  $\pi_1, \pi_2$  が定義されており、それぞれ  $\pi_1(m, n) = m, \pi_2(m, n) = n$  である。 $\Pi$  は関数型の一般化であり、全称量化に対応する。型  $(\Pi x : A)B(x)$  をもつ項は、型  $A$  の任意の項  $a$  について型  $B(a)$  の項  $f a$  を返すような関数  $f$  である。 $B$  が  $x$  を自由変項として含まないとき、 $\Sigma$  型は連言  $A \wedge B$  に、 $\Pi$  型は含意  $A \rightarrow B$  に対応する。詳細は [Martin-Löf 84, Ranta 94] を参照されたい。DTS では  $\Sigma$  型と  $\Pi$  型を図 2 に示すように表記する。

### 3.2 前提現象の分析

DTS では、前提をトリガする表現は未指定項  $@_i$  ( $i$  は自然数) を用いて記述される。例えば定冠詞 *the* を含む文は以下の表示をもつ。

- (13) a. The apple is red.  
b.  $\lambda c. \text{red}(\pi_1(@_1 c : \left[ \begin{array}{l} x: \text{entity} \\ \text{apple}(x) \end{array} \right]))$

\*1 (8a) には、「Mary が来たのか、それとも Bob が来たのかを知っている」という Alternative question の読みと「Mary か Bob のいずれかが来たのかどうかを知っている」という Polar question の読みがある。Alternative question の or を or<sub>alt</sub> と表記する。

\*2 (11) の含意は strong/exhaustive reading のときに成り立つ。

\*3 [Beaver 01] は前提現象一般の網羅的・包括的なサーベイを与えている。

	$\Sigma$ 型	$\Pi$ 型
標準的な表記	$(\Sigma x : A)B(x)$	$(\Pi x : A)B(x)$
DTS の表記	$\begin{bmatrix} x:A \\ B(x) \end{bmatrix}$	$(x:A) \rightarrow B(x)$
$x \notin fv(B)$ のとき	$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$	$A \rightarrow B$

図 2:  $\Sigma$  型と  $\Pi$  型の表記法

未指定項  $@_1$  には局所文脈  $c$  が渡されている。 $@_i c : \Lambda$  の形式は型のアノテーションと呼ばれ、項  $@_i c$  が型  $\Lambda$  をもつことを指定する。(13b) では項  $@_1 c$  は「リングが存在する」という命題に対応する型をもつことが指定されている。

未指定項  $@_i$  は、まず型推論アルゴリズムによってその型が推定される [佐藤 15]。その上で、その型をもつ証明項を構成するために証明探索を行う。最終的には指定された型をもつ具体的な項に置き換わる。この一連の処理が前提の解消である。

(13b) では、*the* の存在前提に対応する「リングが存在する」ことの証明項を構成することが要求される。局所文脈  $c$  から「リングが存在する」ことの証明項を構成できる場合には、その項で  $@_1 c$  を置き換えることが可能である。これは前提のフィルタリングに相当する。局所文脈  $c$  から構成できない場合には、いわゆる適応 (accommodation) により、証明項の存在が仮定される。この前提の処理プロセスは、未指定項を導入する前提トリガが否定や条件文の前件などの文脈に埋め込まれても影響を受けない。これにより前提の投射が説明される。

最終的に (13b) で  $@_1 c$  と置き換わる項は、個体とその個体がリングであることの証明の組であるため、組の第一要素を取り出す関数  $\pi_1$  によって、リングである個体が返り、述語 **red** に渡される。

## 4. 叙実動詞 *know* の分析

叙実動詞 *know* が *that* 節、*whether* 節、*who* 節をとる場合の意味記述を未指定項を用いて与え、その合成的な分析を示す。

### 4.1 *know that* と前提

2.1 節で見たように、“*x* knows that *P*” は補文内容である *P* を前提とする。よって “*x* knows that *P*” を、未指定項  $@_i$  を用いて以下のように分析する。

$$\lambda c. \mathbf{kn}(x, @_i c : Pc)$$

ここで、 $\mathbf{kn}(a, b)$  は「主体  $a$  は (証拠)  $b$  を手に入れている」という述語を表す。未指定項  $@$  は局所文脈  $c$  を引数としてとり、 $c$  の下で型  $Pc$  の証明項 (すなわち命題  $Pc$  の証拠) を構成することを要求する。これが、 $Pc$  に証明項が存在すること、つまり  $Pc$  が真であるという前提に対応する。ここで構成された証明項が **kn** の第 2 項となることから、“*x* knows that *P*” の主張内容は、与えられた文脈  $c$  に対して「 $x$  が  $Pc$  の証拠を手に入れている」というものになる。

従来の形式意味論における *know* の分析は、[Hintikka 69] の伝統に従ったものであり、知識概念に含まれる「正当化」の概念を反映したものではなかった。これに対し本研究は、叙実動詞 *know* を、命題が真である「証拠」を入手している状態にあることを述べる述語として分析する。「命題」とその「証拠」といった概念の取り扱いを可能にしている点が、DTS の特長の 1 つである。一方、*believe* のような非叙実的な態度動詞については、命題を項としてとる述語として分析可能である

[Tanaka 14]。このように叙実動詞 *know* と非叙実動詞 *believe* に異なる論理形式を与えるという分析は、形式意味論における標準的な分析とは異なる見方に基づくものである。

### 4.2 *know whether*

“*x* knows whether *A* or<sub>alt</sub> *B*” の前提は次のようであった。

$$x \text{ knows whether } A \text{ or}_{\text{alt}} B \triangleright A \text{ or } B \text{ (but not both)}$$

ところが *know that* の場合とは対照的に、“*x* knows whether *A* or<sub>alt</sub> *B*” の主張内容は、前提内容 “*A* or *B* (but not both)” の証拠をもっているということではない。むしろ、「*A* が真である証拠か、*B* が真である証拠か、いずれかをもっている」という意味が意図されている。そのため、*that* 節の場合とは違って文の前提と主張内容が独立であり、前提とされている命題の証拠をそのまま述語 **kn** の項とするわけにはいかない。

そこで、主張内容と独立な前提を記述するために以下のオペレータを定義する。

$$\text{PR}(@_i c : A) \stackrel{\text{def}}{=} \lambda c. (@_i c =_A @_i c)$$

これは [Bekki 14b] による慣習的含み (conventional implicature, CI) の分析に変更を加えたものである。CI の記述に用いられるオペレータとの相違は未指定項が文脈  $c$  を受け取っている点である。CI はフィルターされず常に投射されるため [Potts 05]、文脈  $c$  を  $@_i$  に渡さない形で定義されている。他方、PR オペレータの場合は通常の場合と同様、投射とフィルターの両方を説明するために  $@_i$  に文脈  $c$  を与えている。また  $@_i c =_A @_i c$  は恒真であるため、PR オペレータは主張内容には貢献しない。これにより主張内容と切り離して前提を記述することが可能となる\*4。

この PR オペレータを用いて、*whether* 節をとる *know* における主張内容と前提を記述する。まず、*whether* 節の前提である “*A* or *B* (but not both)” は以下のように定義される。

$$A \overset{\circ}{\vee} B \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} A \leftrightarrow \neg B \\ B \leftrightarrow \neg A \end{bmatrix}$$

*wh* 疑問文の分析には  $\Sigma$  型を用いる。“*x* knows whether *A* or *B*” の意味は以下のように記述できる。

$$\lambda c. \left( Q : \begin{bmatrix} p : \text{type} \\ p = Ac \vee p = Bc \\ \text{PR}(@_i c : Ac \overset{\circ}{\vee} Bc) \end{bmatrix} \right) \rightarrow \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \begin{bmatrix} q : \pi_1 \pi_1 Q \\ \mathbf{kn}(x, q) \end{bmatrix}$$

この意味表示のもとで、図 1 の含意関係 E1, E2 が証明可能であり、さらに PR オペレータにより前提 P3 が説明される。

### 4.3 *know who*

“*x* knows who *F*” には以下の 3 つの読みがあることが知られている [Groenendijk 82]。

1. *Weak reading*  
 $x$  は “Who is *F*?” という問いに対する答えを少なくとも 1 つ知っている
2. *Strong reading*  
 $x$  は “Who is *F*?” に対する答えをすべて知っている
3. *Exhaustive reading*  
 $x$  は “Who is *F*?” に対する答えをすべて知っており、かつ “Who is not *F*?” に対する答えもすべて知っている

\*4 主張内容と独立な前提の代表的な例としては、“[John<sub>F</sub>] likes apples, too.” のような *too* を含む文が挙げられる。このような場合についても PR オペレータを用いて意味を記述することが可能である。



それぞれ、以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned}
 1. \quad & \lambda c. \left( Q: \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ y: \text{entity} \\ p = Fcy \\ \text{PR}(@_ic: (\Sigma y: \text{entity}) Fcy) \end{array} \right] \right) \\
 & \left[ \begin{array}{l} q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right] \\
 2. \quad & \lambda c. \left( Q: \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ y: \text{entity} \\ p = Fcy \\ \text{PR}(@_ic: (\Sigma y: \text{entity}) Fcy) \end{array} \right] \right) \rightarrow \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right] \\
 3. \quad & \lambda c. \left( Q: \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ y: \text{entity} \\ p = Fcy \\ \text{PR}(@_ic: (\Sigma y: \text{entity}) Fcy) \end{array} \right] \right) \rightarrow \left[ \begin{array}{l} \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right] \\ \neg \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \neg \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right] \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

ただし、*who* 節の前提を以下のように定義する。

$$(\Sigma x: A)B \stackrel{\text{def}}{=} \neg((x:A) \rightarrow \neg B)$$

これにより図 1 の P2 の前提が説明され、strong/exhaustive reading の意味表示のもとで、E3 の含意関係が証明可能である。

4.1 節で分析した “*x* knows that *P*” についても、*wh* 節と同様に  $\Sigma$  型を用いて意味表示を与えることが可能である。

$$\lambda c. \left( Q: \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ p = Pc \\ \text{PR}(@_ic: Pc) \end{array} \right] \right) \rightarrow \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right]$$

これにより、*that* 節と *wh* 節の等位接続 [Groenendijk 82] を扱うことも可能となる。

#### 4.4 合成的な分析

前節までに示した意味表示は、各語の意味表示から合成的に構築することが可能である。組合せ範疇文法 (Combinatory Categorical Grammar) [Steedman 00] の語彙項目を図 3 に示す。図中の  $S_{emb}$  は補文を表す統語範疇、 $VP$  は  $S \setminus NP$  を表す。また統語範疇の演算子に直積を形成する  $\times$  を追加し、任意の統語範疇  $C_1, C_2$  について  $C_1 \times C_2$  は統語範疇であるとする。

ここでは簡単のため、文結合子としての  $or_{alt}$  の語彙項目を与えている。名詞句や動詞句を結合する場合、また 2 つ以上の選言肢をとる場合への一般化も可能である。

## 5. まとめ

本稿では DTS の枠組みで証明項の概念を用いて叙実動詞 *know* の意味論を与えた。また、依存型によって疑問表現の意味表示を与えた上で、DTS の枠組みに PR オペレータを加えることで主張内容とは独立な前提を扱う方法を提案した。

その他の種類の叙実動詞と補文形式の選択については、今後検討する必要がある。また日本語では *that* 節に対応してト節とコト節があり、どちらをとるかか叙実性に影響を与えるという独自の現象がある。このような現象に対して分析を与えることも今後の課題である。

## 参考文献

- [Aloni 13] Aloni, M., Egré, P., and De Jager, T.: Knowing whether A or B, *Synthese*, Vol. 190, No. 14, pp. 2595–2621 (2013)
- [Beaver 01] Beaver, D. I.: *Presupposition and assertion in dynamic semantics*, CSLI publications Stanford (2001)

表現	統語範疇	意味表示
<i>knows<sub>w</sub></i>	$VP/S_{emb}$	$\lambda Txc. \left[ \begin{array}{l} Q: Tc \\ q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right]$
<i>knows</i>	$VP/S_{emb}$	$\lambda Txc. (Q:Tc) \rightarrow \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right]$
<i>knows<sub>e</sub></i>	$VP/S_{emb}$	$\lambda Txc. (Q:Tc) \rightarrow \left[ \begin{array}{l} \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right] \\ \neg \pi_1 \pi_1 Q \rightarrow \left[ \begin{array}{l} q: \neg \pi_1 \pi_1 Q \\ \text{kn}(x, q) \end{array} \right] \end{array} \right]$
<i>that</i>	$S_{emb}/S$	$\lambda Pc. \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ p = Pc \\ \text{PR}(@_ic: Pc) \end{array} \right]$
<i>whether</i>	$S_{emb}/(S \times S)$	$\lambda Rc. \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ p = \pi_1 Rc \vee p = \pi_2 Rc \\ \text{PR}(@_ic: \pi_1 Rc \dot{\vee} \pi_2 Rc) \end{array} \right]$
<i>who</i>	$S_{emb}/VP$	$\lambda vc. \left[ \begin{array}{l} p: \text{type} \\ x: \text{entity} \\ p = vcx \\ \text{PR}(@_ic: (\Sigma x: \text{entity}) vcx) \end{array} \right]$
<i>or<sub>alt</sub></i>	$(S \times S) \setminus S/S$	$\lambda P'Pc. (Pc, P'c)$

図 3: 組合せ範疇文法に基づく語彙項目。

- [Bekki 14a] Bekki, D.: Representing Anaphora with Dependent Types, in *Logical Aspects of Computational Linguistics*, pp. 14–29, Springer (2014)
- [Bekki 14b] Bekki, D. and McCready, E.: CI via DTS, in *Proceedings of LENLS11*, pp. 110–123 (2014)
- [Chatzikyriakidis 14] Chatzikyriakidis, S. and Luo, Z.: Natural Language Reasoning Using Proof-assistant Technology : Rich Typing and Beyond, in *Proceedings of the EACL 2014 Workshop on TTNLS*, pp. 37–45 (2014)
- [Egré 08] Egré, P.: Question-embedding and factivity, *Grazer Philosophische Studien*, Vol. 77, No. 1, pp. 85–125 (2008)
- [Groenendijk 82] Groenendijk, J. and Stokhof, M.: Semantic analysis of wh-complements, *Linguistics and Philosophy*, Vol. 5, No. 2, pp. 175–233 (1982)
- [Hintikka 62] Hintikka, J.: *Knowledge and belief*, Cornell University Press (1962)
- [Hintikka 69] Hintikka, J.: Semantics for Propositional Attitudes, in *Models for Modalities*, pp. 87–111, Springer Netherlands (1969)
- [Karttunen 77] Karttunen, L.: Syntax and semantics of questions, *Linguistics and philosophy*, Vol. 1, No. 1, pp. 3–44 (1977)
- [Lewis 82] Lewis, D.: ‘Whether’ Report, in *Philosophical Essays Dedicated to Lennart Åqvist on His Fiftieth Birthday*, pp. 194–206, University of Uppsala Press (1982)
- [Martin-Löf 84] Martin-Löf, P.: *Intuitionistic Type Theory*, Bibliopolis Naples (1984)
- [Meyer 04] Meyer, J.-J. and Hoek, van der : *Epistemic logic for AI and computer science*, Cambridge University Press (2004)
- [Potts 05] Potts, C.: *The logic of conventional implicatures*, Oxford University Press Oxford (2005)
- [Ranta 94] Ranta, A.: *Type-theoretical Grammar*, Oxford University Press (1994)
- [Steedman 00] Steedman, M.: *The Syntactic Process*, MIT Press/Bradford Books (2000)
- [Sundholm 86] Sundholm, G.: Proof Theory and Meaning, in *Handbook of Philosophical Logic*, pp. 471–506, Springer (1986)
- [Tanaka 14] Tanaka, R., Mineshima, K., and Bekki, D.: Resolving Modal Anaphora in Dependent Type Semantics, in *Proceedings of LENLS11*, pp. 43–56 (2014)
- [佐藤 15] 佐藤 未歩, 戸次 大介.: 依存型意味論における型推論の定式化と実装, 言語処理学会第 21 回年次大会発表論文集, pp. 461–464 (2015)