

# 談話表示理論と依存型意味論における上書き問題

築有紀子<sup>1,a</sup> 峯島宏次<sup>1,2,c</sup> 戸次大介<sup>1,2,b</sup>

<sup>1</sup> お茶の水女子大学

<sup>2</sup> 独立行政法人科学技術振興機構, CREST

{g1320534<sup>a</sup>, bekki<sup>b</sup>}@is.ocha.ac.jp

mineshima.koji@ocha.ac.jp<sup>c</sup>

## 1 はじめに

形式意味論の理論は、大きく分けて二つに分類することができる。モデル論的意味論と証明論的意味論である。モデル論的意味論では、文の意味をその文の真理条件とし、各モデルでその真偽を評価する。談話表示理論 (Discourse Representation Theory; Kamp [1981], 以下 DRT) はモデル論的意味論に属する。一方、証明論的意味論では、文の意味をその文の証明条件とし、与えられた文脈からその文が証明可能かどうか評価する。依存型意味論 (Dependent Type Semantics; Bekki and Mineshima [2017], 以下 DTS) は証明論的意味論に属する。

これらを含む自然言語の意味論においては以下のような構成性 (Compositionality) の原理が広く仮定されている。

- (1) 言語表現の意味はその構造と構成要素の意味によって決まる

構成性の原理によれば、表現の意味を計算するために必要なものは、その表現の構造と構成要素の意味である。このうち、表現の構造は統語論で、構成要素の意味は意味論で与えられる。よって、統語論と意味論が全ての語に対して定義されていれば、全ての文の意味を計算することができる。

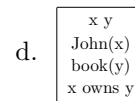
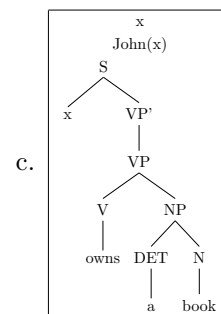
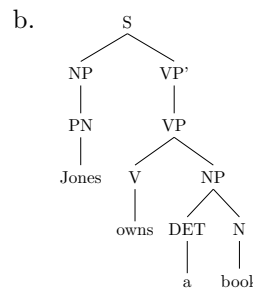
この論文の目的は、構成性の観点から DRT と DTS を比較することである。Kamp [1981] および Kamp and Reyle [1993] で提案されたバージョンの DRT は構成性を満たさないことが知られている。そこで、構成性を持つように DRT を拡張する様々な提案がなされた。しかし拡張した結果として、元の DRT では起こりえなかった上書き問題 (overwrite problem) が生じてしまうことが知られている。上書き問題が起こると、照応現象の扱いにおいて誤った予測を導いてしまうが、これは意味論において避けなければならない。本研究では、構成性を持つように拡張した DRT として、van Eijck and Kamp [1997] の Relational DRS による拡張、Muskens [1996] の Compositional DRT の二つに着目し、これらの理論において上書き問題が根本的には解消されていないことを述べる。また、構成性を持つ証明論的意味論である DTS ではこのような問題は起こらないことを示す。

## 2 形式意味論

### 2.1 談話表示理論

DRT は Kamp [1981] によって提唱された動的意味論である。DRT は Discourse Representation Structure (以下 DRS) と呼ばれる意味表示を持つ。DRT では、与えられた構文木に対しトップダウンに DRS 構成規則を適用することで DRS へ変換する。例えば、文 (2a) の構文木が (2b) のように与えられるとする。(2b) に DRS 構成規則を一つだけ適用したものが (2c) となる。

- (2) a. John owns a book.



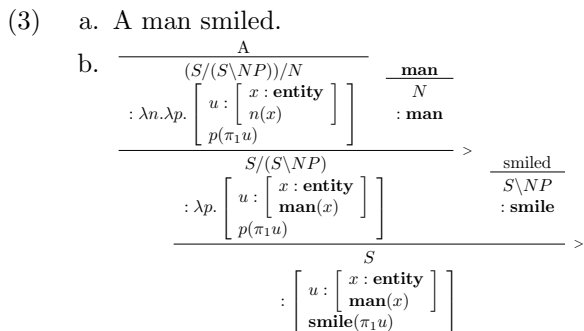
DRT では、このように構文木に規則を適用していくことで DRS を得る。(2c) にさらに規則を適用し、最終的に得られる DRS が (2d) である。DRS は変数である談話指示子 (discourse referent) の集合  $U$  と条件 (DRS condition) の集合  $Cond$  のペア  $(U, Cond)$  として定義される。(2d) の場合は  $U = \{x, y\}$  であり、 $Cond = \{John(x), book(y), x owns y\}$  である。

(2a) の例では一文のみだが、二文目が追加された場合も同様の手順となる。まず、二文目の構文木が (2d) の DRS に取り込まれる。次にその構文木に規則を適用し、得られた新たな談話指示子や条件を DRS に追加することで DRS を更新する。DRT では談話は

つの大きな DRS であると見なされ、新たな発話が与えられるごとに DRS を更新していくことが談話の解釈である。この DRT のことを以降 Classical DRT と呼ぶ。現在 Classical DRT は様々に拡張されており、従来のようにトップダウンに構文木を解体する手法を取っていないものが主流である。

## 2.2 依存型意味論

DTS (Bekki and Mineshima [2017]) は、依存型理論 (Martin-Löf [1984]) に基づいた証明論的意味論である。DTS による文の意味表示は辞書で与えられた語彙項目から構文木に沿って合成される。文 (3a) の意味表示は (3b) のように与えられる。ここでは統語論として CCG を採用している。



$\pi_1 u$  は  $u$  の第一要素である **entity** 型の  $x$  に対応する。詳細は Martin-Löf [1984], Bekki and Mineshima [2017] を参照されたい。

DTS では二文目が追加された場合、(3b) のように意味表示に変換し (4) の規則を使って結合していく。

$$(4) \quad M; N = \left[ \begin{array}{c} u : M \\ N \end{array} \right]$$

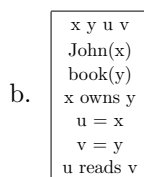
次節で詳しく説明するが、構成性を持つように拡張した DRT も、DTS の流れと同様に各文を DRS に変換したのち結合規則を使用する。

## 3 構成性

### 3.1 Classical DRT の問題点

2.1 節で紹介したように Classical DRT は DRS を更新する形で談話の解釈を行う。これは、DRS は談話に対して与えられるものであり、文ごとに与えられるものではないことを意味している。例えば 2文 (5a) が与えられたとき、DRS は (5b) となる。

(5) a. John owns a book. He reads it.



(5b) は “John owns a book” の DRS と “He reads it” の DRS を結合したものではなく、(5a) 全体から作られたものである。これは、表現の意味は表現の部

分ごとの意味を計算することで得られるとする構成性の原理に反している。この点から、Classical DRT は構成性を持たないと言われている。

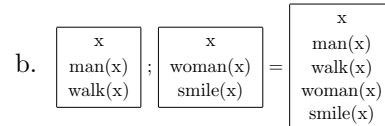
## 3.2 上書き問題

Zeevat [1989] によって指摘された上書き問題は、DRT を構成性を持つように拡張する際に生じる。2.1 節で述べたように、Classical DRT では談話は一つの DRS で扱われる。一方、拡張した DRT の理論では、一文ごとに DRS を構築しそれらを結合することで新たな DRS を生成する。Zeevat [1989] の理論において 2つの DRS は、(6) の規則によって結合される。DRS  $K_1 = \{U_1, Cond_1\}$ ,  $K_2 = \{U_2, Cond_2\}$  と置く。

$$(6) \quad K_1; K_2 = \{U_1 \cup U_2, Cond_1 \cup Cond_2\}$$

しかし、(6) の定義通りに DRS を結合していくと、上書き問題が発生してしまう。上書き問題とは、結合する DRS に同一の談話指示子が存在する場合、談話指示子の参照が上書きされてしまうという問題である。具体的には (7a) の例が存在する。

(7) a. A man walked. A woman smiled.



(7b) の例を見ると、man の性質を持つ  $x$  と woman の性質を持つ  $x$  は別個体だったはずだが、結合することで同一の個体として扱われてしまう。よって  $x$  の参照が上書きされたことがわかる。

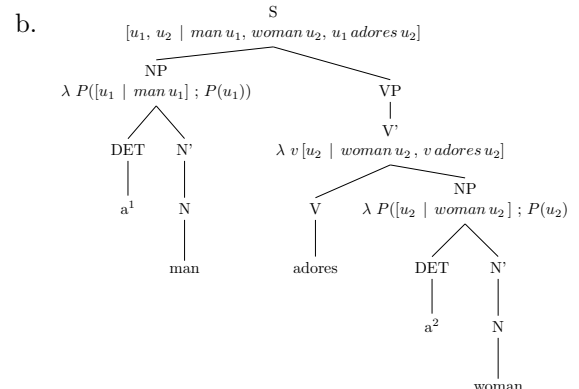
次節では Compositional DRT, Relational DRS による拡張の中で上書き問題がどのように扱われ、また DTS では同様の例文をどのように分析するのか示す。

## 4 各理論における上書き問題

### 4.1 Compositional DRT

構成性を満たすよう拡張された DRT として、Musken [1996] の Compositional DRT が挙げられる。Compositional DRT では Zeevat の提案と同様に一文ごとに DRS を構築する。一文ごとに文を処理する方法は (8a) のようになっている。

(8) a. A man adores a woman.



(8a) は Classical DRT と異なり、構文木に沿ってボトムアップに合成する。DRS  $K_1, K_2$  は (9) の定義通りに結合する。

- (9)  $U_2$  に含まれる談話指示子が  $Cond_1$  に含まれる条件中に存在しない場合のみ  
 $K_1; K_2 = [U_1 \cup U_2 \mid Cond_1 \cup Cond_2]$

(8a) で作られた DRS の談話指示子は  $u_1, u_2$  で、Classical DRT とは異なり定項として扱われる。Compositional DRT の変数、定項の型と名前は (10) のように定義されている。

	型	名前	変数	定項
(10)	$s$	States	$i, j, k, h$	—
	$e$	Entities	$x_1, x_2, \dots$	—
	$\pi$	Registers	$v$	$u_1, u_2, \dots, Mary, \dots$

また、(10) の他に  $s$  型の変数と  $\pi$  型の定項を引数に取り個体を返す  $v$  という関数が定義されている。例として (11) のような対応がある場合、 $v(i_1)(u_3) = \text{Bob}$  となる。(8a) では談話指示子は  $u_1$  と表記されているが、これは  $\lambda i.v(i)(u_1)$  の略記である。

	$i_1$	$i_2$	$i_3$	
(11)	$u_1$	Bob	Jim	Bob
	$u_2$	Lee	Bob	Lee
	$u_3$	Bob	Bob	Ann

Compositional DRT では定義 (9) より同一の談話指示子が存在する場合は DRS 同士の結合を禁止する。よって (7b) のように異なる個体を指していた変数が同一の個体を指してしまう問題は発生しない。しかしこれでは解釈を行う際に問題が生じるため、根本的な解決にはならないことを (12) の例から見ていく。

文 (12a) は (12b) のような意味表示を持つ。(12b) はどちらも  $u_3$  という同一の談話指示子を持つため、結合されないまま解釈されることになる。文 (12a) には上下に添字が振られているが、上の添字は等しい番号を持つ談話指示子を導入するため、下の添字は等しい番号を持つ談話指示子を導入した語を先行詞に指定するために振られている。

- (12) a. John<sub>1</sub> and Mary<sub>2</sub> own a<sup>3</sup> donkey.  
 b. [ $u_3 \mid \text{donkey}(u_3), \text{john owns } u_3$ ]  
 ; [ $u_3 \mid \text{donkey}(u_3), \text{mary owns } u_3$ ]

この会話のあとに、John が所有しているロバについての以下のような文が続くことを考える。

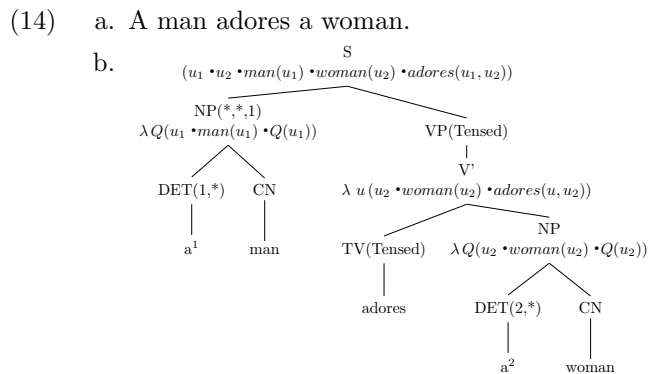
- (13) a. The<sub>3</sub> donkey which John<sub>1</sub> owns eats an<sup>4</sup> apple.  
 b. [ $u_4 \mid \text{john owns } u_3, \text{apple}(u_4), u_3 \text{ eats } u_4$ ]

John が所有するロバは  $u_3$  で表されているため、(13a) の the donkey には 3 が振られ、DRS 内において  $u_3$  という談話指示子で表されることになる。しかし、(12b) では DRS が結合されないため、(12a) が解釈されたあとに  $u_3$  が指しているものは Mary が所有しているロバとなっている。これでは John が所有している

ロバを指すことができない。Compositional DRT では談話指示子が定項なので代入が行えないため、(12b) の後半部の DRS に含まれる  $u_3$  を異なる変数で置き換えることもできない。よって代入によってこの問題を解消することはできないと考えられる。この問題は Haug [2013] で言及されているが、Haug [2013] 内においても詳細な分析は行われていない。

## 4.2 Relational DRS による拡張

van Eijck and Kamp [1997] は Relational DRS を導入することで Classical DRT を拡張した。この拡張による一文ごとの処理の方法は (14) のようになり、(8b) と同様にボトムアップに合成する。このとき構築する DRS を Relational DRS (以下 RDRS) と呼び、DRS と区別する。談話指示子は Classical DRT と同様に変数として扱う。



ここでは、RDRS を “ $\cdot$ ” という結合演算子でつなぎ、定義に沿って結合演算子がなくなるまで簡約したものを DRS と定義する。RDRS 同士を結合し簡約する規則のうち上書き問題に関連する規則は以下の二つである。RDRS を  $R$ 、談話指示子を  $v, w$  と置く。これらの規則によって、(7a) は以下のように解消される。演算子  $\cdot$  は (9) と同様の意味を持つ。また  $R$  における  $x$  に  $y$  を代入した結果を  $[y/x]R$  と表す。

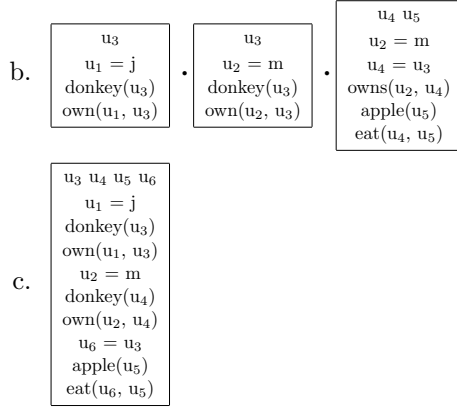
$$(15) ((R \cdot v) \cdot R') \Rightarrow ((R; v); R') \quad (v \notin R) \\ ((R; w); [w/v]R') \quad (v \in R, w \notin R')$$

$$(16) (R \cdot (R_1; R_2)) \Rightarrow ((R \cdot R_1) \cdot R_2)$$

$$(17) \begin{array}{|c|} \hline x \\ \hline \text{man}(x) \\ \hline \text{walk}(x) \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline x \\ \hline \text{woman}(x) \\ \hline \text{smile}(x) \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|} \hline x \ y \\ \hline \text{man}(x) \\ \hline \text{walk}(x) \\ \hline \text{woman}(y) \\ \hline \text{smile}(y) \\ \hline \end{array}$$

しかしここでも Compositional DRT と同様の問題が発生する。(18a) は (18b) のような RDRS による意味表示を持つ。これは簡約すると (18c) のような DRS になる。(16) より、先に (18b) の左二つの DRS を結合し、その際に (15) より  $u_3$  に  $u_4$  を代入する。これにより (18b) の最右の DRS の談話指示子の番号が 1 ずれる。簡約後の DRS を見ると、 $\text{eat}(u_6, u_5)$  となっており、このとき  $u_6$  は John のロバを、 $u_5$  は林檎を指しているため、John のロバが林檎を食べたという意味になる。これでは the donkey が Mary のロバを指す読みは許容されない。

- (18) a. John<sub>1</sub> and Mary<sub>2</sub> own a<sup>3</sup> donkey.  
The<sub>4</sub> donkey which Mary<sub>2</sub> owns eats an<sup>5</sup> apple.



よって、RDRS による拡張下でも上書き問題の根本的な解消には至っていない。

### 4.3 DTS

DTS では (7a) のケースは (19) のように処理される。

$$(19) \left[ \begin{array}{l} u : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{man}(x) \end{array} \right] \\ \text{walk}(\pi_1 u) \end{array} \right]; \left[ \begin{array}{l} v : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{woman}(x) \end{array} \right] \\ \text{smile}(\pi_1 v) \end{array} \right] \\ = \left[ \begin{array}{l} w : \left[ \begin{array}{l} u : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{man}(x) \end{array} \right] \\ \text{walk}(\pi_1 u) \end{array} \right] \\ v : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{woman}(x) \end{array} \right] \\ \text{smile}(\pi_1 v) \end{array} \right]$$

(19) では  $\text{man}(x)$ ,  $\text{woman}(x)$  のように同様の変数  $x$  が使われている。しかし (19) の結果の意味表示の型を持つ項を  $p$  とおくと、man に対応する表記は  $\pi_1 \pi_1 \pi_1 p$ , woman に対応する表記は  $\pi_1 \pi_1 \pi_2 p$  となる。man と woman に対応する表記が異なっているため、(7a) の分析は問題がないことがわかる。

また、文 (18a) の意味表示は (20a) のように与えられる。これを結合したものは (20b) となる。

$$(20) \text{ a. } \left[ \begin{array}{l} p : \left[ \begin{array}{l} u : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{donkey}(x) \end{array} \right] \\ \text{own}(j, \pi_1 u) \end{array} \right] \\ v : \left[ \begin{array}{l} y : \text{entity} \\ \text{donkey}(y) \end{array} \right] \\ \text{own}(m, \pi_1 v) \end{array} \right]; \left[ \begin{array}{l} w : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{apple}(x) \end{array} \right] \\ \text{eat}(\pi_1 @ \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{donkey}(x) \end{array} \right], \pi_1 u) \end{array} \right]$$
  

$$\text{ b. } \left[ \begin{array}{l} q : \left[ \begin{array}{l} p : \left[ \begin{array}{l} u : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{donkey}(x) \end{array} \right] \\ \text{own}(j, \pi_1 u) \end{array} \right] \\ v : \left[ \begin{array}{l} y : \text{entity} \\ \text{donkey}(y) \end{array} \right] \\ \text{own}(m, \pi_1 v) \end{array} \right] \\ w : \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{apple}(x) \end{array} \right] \\ \text{eat}(\pi_1 @ \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{donkey}(x) \end{array} \right], \pi_1 u) \end{array} \right]$$

(20b) の中の@は、指定された型を持つ未指定項で、その型に合致する具体的な項によって置き換えられる。ここでは@が持つ型は (21a) である。一方  $(\pi_1 \pi_1 \pi_2 q, (\pi_2 \pi_1 \pi_2 q, \pi_2 \pi_2 q))$  の項がこの型を持つことから、この項で置き換えることができる。よって、 $\pi_1 @$  は  $\pi_1 \pi_1 \pi_2 q$  となる。 $\text{eat}(\pi_1 \pi_1 \pi_2 q, \pi_1 u)$  全体を見ると Mary のロバが林檎を食べたという意味

表示になる。一方、John のロバを指したい場合は “The donkey which John eats an apple” となる。よって@の持つ型が (21b) となり、置き換わる項が  $(\pi_1 \pi_1 \pi_1 q, (\pi_2 \pi_1 \pi_1 q, \pi_2 \pi_1 q))$  になるため、John のロバを指せることがわかる。@を使用することで項を型によって識別することができるため、両方の場合に対応することが可能である。よって DTS では上書き問題は生じえないことがわかる。

$$(21) \text{ a. } (\text{Mary のロバを指す}) \pi_1 @ \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{donkey}(x) \\ \text{own}(m, x) \end{array} \right]$$
  

$$\text{ b. } (\text{John のロバを指す}) \pi_1 @ \left[ \begin{array}{l} x : \text{entity} \\ \text{donkey}(x) \\ \text{own}(j, x) \end{array} \right]$$

## 5 結論

本稿では、構成性を持つとされる RDRS による拡張, Compositional DRT, DTS において、上書き問題の処理を比較した。RDRS による拡張と Compositional DRT では “John and Mary own a donkey.” のような文が与えられた際に、John のロバについて言及した場合、Mary のロバについて言及した場合のどちらも許容する意味表示を出すことが出来ない。よって、これらの理論では上書き問題の根本的な解決には至っていないため、RDRS による拡張, Compositional DRT が取った構成的アプローチは正しくないと言える。一方 DTS では先行詞の違いが導出経路の違いに対応しているため、変数名が等しい場合も区別することができる。よって、上書き問題は起こらないと言える。

本稿では Classical DRT への構成的アプローチとして RDRS による拡張, Compositional DRT を取り扱ったが、構成性を持つように DRT を拡張する提案はその他にも存在する。それらの理論についても同様に検証を行うことが今後の課題である。

## 参考文献

- Hans Kamp. A theory of truth and semantic representation. In *Formal Methods in the Study of Language*. Mathematical Centre Tract 135, 1981.
- Daisuke Bekki and Koji Mineshima. Context-passing and underspecification in Dependent Type Semantics. In *Modern Perspectives in Type Theoretical Semantics*, page 33. Springer, 2017.
- Hans Kamp and Uwe Reyle. *From Discourse to Logic: Introduction to Model-theoretic Semantics of Natural Language, Formal Logic and Discourse Representation Theory*. Springer, 1993.
- Jan van Eijck and Hans Kamp. Representing discourse in context. In Johan van Benthem and Alice ter Meulen, editors, *Handbook of Logic and Language*. MIT Press, 1997.
- Reinhard Muskens. Combining Montague semantics and discourse representation. *Linguistics and Philosophy*, 19:143–186, 1996.
- Per Martin-Löf. Intuitionistic type theory. *Naples: Bibliopolis*, 76, 1984.
- Henk Zeevat. A compositional approach to discourse representation theory. *Linguistics and Philosophy*, 12:95–131, 1989.
- Dag Trygve Truslew Haug. Partial dynamic semantics for anaphora: Compositionality without syntactic coindexation. *Journal of Semantics*, 31:274–294, 2013.