

依存型意味論によるモダリティと照応の統一的分析に向けて

飯村葵 戸次大介
お茶の水女子大学

{g2020504, bekki}@is.ocha.ac.jp

概要

本研究は、依存型理論に基づく自然言語の意味論である依存型意味論により、様相 (modality) の分析を試みる。依存型意味論は、照応などの複雑な言語現象を扱うことができる理論だが、モダリティとの関係に着目する研究は、ほとんどなされていない。本論文が対象とする Modal Subordination は、モダリティと照応が相互作用する言語現象であり、両者を同時に分析可能な体系が必要となる。そこで、依存型意味論を様相型で拡張した Modal DTS を提案し、この枠組みの中で分析を与える。

1 はじめに

自然言語には様々な言語現象が存在しており、形式意味論では数多くの理論が分析を与えてきた。そのような理論の一つに、本研究で採用する依存型意味論 (dependent type semantics, DTS) [1] がある。DTS は、依存型理論 (dependent type theory, DTT) [2] に基づいた自然言語の意味の理論である。項と型が相互に作用しない単純型理論と異なり、DTT は「項に依存した型」を記述できる。たとえば、長さが n : **Int** であるリスト l : **List**(n) を扱える。この例では、型 **List**(n) が項 n に依存するという点で依存型である。DTS は以上の性質を受け継ぎ、意味表示が DTT の型と対応するため、他の文の意味に依存して別の文の意味を扱うことができる。

Modal Subordination とは、モダリティを伴う談話における照応現象であり、Roberts [3] により指摘された。形式意味論では Roberts [3] をはじめ、van Rooij [4] や Asher and McCready [5] など、多数の分析が存在する。Modal Subordination の例を (1)(2) に示す。

- (1) A wolf might come in. # It growls.
- (2) A wolf might come in. It would growl.

モダリティを伴う談話では、E タイプ照応 [6] が到

達可能ではなくなることがある。たとえば、(1) では、代名詞 *it* が *a wolf* を指すことができず、利用可能な先行詞が存在しない。¹⁾ 一方、2 文目にモダリティ *would* を加えた (2) では、そのような制約が生じない。*would* の使用により、前半の文で *might* のスコープ内で導入された *a wolf* を、代名詞 *it* が E タイプ照応の先行詞として参照できる。

DTS は照応解決 (anaphora resolution) や前提の束縛 (presupposition binding) を扱う理論だが、これまでモダリティの分析についてはそれほど多くの研究がなされているわけではない。たとえば文 (2) と、モダリティを含まない文 (3) を考える。

- (2) A wolf might come in. It would growl.
- (3) A wolf came in. It growled.

どちらの文も、代名詞 *it* は *a wolf* を参照可能だが、DTS による照応解決が可能なのは (3) のみである。(2) における *might* や *would* のような、モダリティを含む文の照応解決については、DTS に基づく分析が (田中ら [7] の研究を除けば) 存在しない。

本研究は、DTS による Modal Subordination の分析を目的として、モダリティと照応を同時に扱うことができるよう、様相型である可能性 (possibility) と必然性 (necessity) を DTS に加え、拡張した体系である Modal DTS を提案する。照応の理論である DTS の特徴を活かし、一般的な照応解決に還元することを目指す。次節で DTS における照応解決の仕組みを解説し、Modal DTS について概要を述べた後、分析例を示す。

2 依存型意味論による照応解決

型が項に依存しない単純型理論は、導入則と除去則により型を定義する。対して、依存型理論 (DTT) [2] は、導入則と除去則に形成則を追加して型の定義を行う。依存型の例として、本稿では紙面の都合上、 Π 型と Σ 型のみを解説する。 Π は関数型、

1) 文頭に置かれた「#」は続く文が不適切であることを示す

Σ は直積型の一般化で、それぞれ型に対する全称量化子と存在量化子のように振る舞う。 Π 型と Σ 型の表記を図 1 に示す。

$$(x : A) \rightarrow B \quad \left[\begin{array}{c} x : A \\ B \end{array} \right]$$

図 1 Π 型 (左) と Σ 型 (右) の表記

Π 型は後件の型 B において前件の型 A をもつ変項 x に依存した型が、 Σ 型は第二要素の型 B において第一要素の型 A を持つ変項 x に依存した型が、それぞれ構成可能である。型 B が変項 x に依存しない場合、「項は証明に、型は命題に対応する」というカーリー・ハワード同型対応により、 Π 型と Σ 型は、一階述語論理の命題 $A \rightarrow B$ と $A \wedge B$ にそれぞれ対応する。DTS は、未指定型 (underspecified type) [8] を DTT に加えることで照応解決を可能にする。例として (3) の文における照応解決、つまり、代名詞 *it* が *a wolf* を指す場合の過程を示す。図 2 は (3) の意味表示である。 π_1 は Σ 型の第一要素を取り出す操作である。

$$\left[\begin{array}{c} v : \left[\begin{array}{c} u : \left[\begin{array}{c} x : \text{entity} \\ \text{wolf}(x) \end{array} \right] \\ \text{comein}(\pi_1(u)) \end{array} \right] \\ w@ \left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] \\ \text{growl}(\pi_1(w)) \end{array} \right]$$

図 2 (3) A wolf came in. It growled. の意味表示

意味表示の型は、DTT における type でなければならぬという制約 (semantic felicity condition) があるため、型検査 (type checking) を行うことで、この制約を満たすか調べる。型検査の過程で未指定項 $@$ を具体的な証明に置き換える操作が、照応解決にあたる。例では「何らかの entity z が $\neg \text{human}(z)$ である」という型の証明項を探索することになり、この証明項が存在すれば前述の制約も満たされる。探索した証明項を型検査の証明図に代入した結果、得られる意味表示を図 3 に示す。このように、照応解決は証明探索 (proof search) の問題に還元される。

$$\left[\begin{array}{c} v : \left[\begin{array}{c} u : \left[\begin{array}{c} x : \text{entity} \\ \text{wolf}(x) \end{array} \right] \\ \text{comein}(\pi_1(u)) \end{array} \right] \\ \text{growl}(\pi_1 \pi_1(v)) \end{array} \right]$$

図 3 (3) A wolf came in. It growled. の照応解決結果

3 提案手法

本節では、DTS による Modal Subordination の分析を念頭に、DTS を様相型によって拡張した体系である Modal DTS を提案する (§ 3.1)。本手法は、possibility と necessity を加えるにあたり、Contextual Modal Type Theory [9] を一部採用する (§ 3.2)。さらに Modal DTS の規則群を紹介し (§ 3.3)、次節の分析に必要な体系を構築する。

3.1 Modal DTS

Modal DTS は、既存の Π 型と Σ 型に possibility と necessity の型を加えた体系である。新たに定義する型として possibility に対応する \diamond (dia) と \blacklozenge (bkdia), necessity に対応する \square (box) と \blacksquare (bkbox) を加える。*might* や *would* のようなモダリティは、 \diamond と \square により表される。 \blacklozenge と \blacksquare は 2 文目の意味表示に作用し、「1 文目のモダリティが 2 文目の証明で使用できる条件」を与える役割を担う。 Ψ を文脈として図 4 に例を示す。

$$\left[\begin{array}{c} v : \langle \Psi \rangle \left[\begin{array}{c} u : \left[\begin{array}{c} x : \text{entity} \\ \text{wolf}(x) \end{array} \right] \\ \text{comein}(\pi_1(u)) \end{array} \right] \\ \blacklozenge \Psi \left[\begin{array}{c} w@ \left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] \\ \text{growl}(\pi_1(w)) \end{array} \right] \end{array} \right]$$

図 4 (2) A wolf might come in. It would growl. の意味表示

3.2 Contextual Modal Type Theory

Contextual Modal Type Theory (CMTT) [9] は、直観主義様相論理 (Intuitionistic Modal Logic) に対して、構成的な手法で、possibility と necessity に意味の説明を与える理論である。Modal DTS における \diamond と \square は CMTT の定義に従う。 \diamond と \square の規則群を、CMTT が提案する Intuitionistic Contextual Modal Logic (ICML) と Contextual Possibility から取り入れる。

ICML は、直観主義様相論理の S4 を相対化した体系で、含意と Contextual Necessity $[\Psi]A$ を定義する。最も基本的な judgement は命題の真偽を示す A true であり、命題が真であることを、示す手段として導入則、使用する手段として除去則を用いる。一方 Contextual Possibility は、possible world に対する存在量化を表す judgement として、 A poss $\langle \Psi \rangle$ を新たに定義した体系である。

$$\begin{array}{c}
\vdots \\
\left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] : \text{type} \quad \left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] \text{poss} \langle \Psi \rangle \text{ true} \\
\vdots \\
\hline
\Psi : \text{type} \text{ poss} \langle \Psi \rangle \quad \left[\begin{array}{c} w@ \left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] \\ \text{growl}(\pi_1(w)) \end{array} \right] : \text{type} \text{ poss} \langle \Psi \rangle \quad (\textcircled{F}) \\
\hline
\left[\begin{array}{c} [\Psi] \\ \langle \Psi \rangle \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} w@ \left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] \\ \text{growl}(\pi_1(w)) \end{array} \right] : \text{type} \text{ poss} \langle \Psi \rangle \quad \left(\begin{array}{c} \square F \\ \diamond F \end{array} \right) \\
\hline
\left[\begin{array}{c} \blacklozenge \Psi \\ \langle \Psi \rangle \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} w@ \left[\begin{array}{c} z : \text{entity} \\ \neg \text{human}(z) \end{array} \right] \\ \text{growl}(\pi_1(w)) \end{array} \right] : \text{type} \quad (\blacklozenge F)
\end{array}$$

図5 前件のモダリティが possibility である場合の型検査

3.3 規則群

Modal DTS における規則は、3 つに分けられる。CMTT の構造規則、 \diamond と \square に関する規則、 \blacklozenge と \blacksquare に関する規則である。

CMTT の構造規則は、**poss** 規則に加えて、**hyp** 規則 (hypothesis rule) と、**ctxhyp** 規則 (contextual hypothesis rule) がある。**hyp** 規則は、含意や様相演算子 (modal operator) の意味を説明するために不可欠な hypothetical judgement に由来する。CMTT において命題が任意の世界で真となる場合は *A valid* という judgement で表す。**ctxhyp** 規則は、*A valid* を文脈について相対化した Contextual Validity に由来する。

$$\frac{\Psi \text{ ctx } M : \text{type}}{\langle \Psi \rangle M : \text{type}} (\diamond F) \quad \frac{\Psi \text{ ctx } M : \text{type}}{[\Psi] M : \text{type}} (\square F)$$

図6 \diamond と \square の形成則

$$\frac{M : \text{type} \text{ poss} \langle \Psi \rangle}{\blacklozenge \Psi M : \text{type}} (\blacklozenge F) \quad \frac{\sigma : \Psi^i}{M : \text{type}} (\blacksquare F)$$

図7 \blacklozenge と \blacksquare の形成則

\diamond と \square に関する規則は、図6の形成則を新たに作成し、導入則と除去則をCMTTから取り入れる。 \blacklozenge と \blacksquare に関する規則は、図7の形成則をはじめ、Modal DTS において独自に定義したものである。 $(\blacksquare F)$ の $\sigma : \Psi$ と $(\blacklozenge F)$ の **poss** $\langle \Psi \rangle$ が、§3.1で述べた「1文目のモダリティが2文目の証明で使用できる条件」にあたる部分となる。

4 Modal DTS による分析

本節では、Modal Subordination を対象に、前節で提案した Modal DTS を用いて分析を与える。まず、談話関係 (discourse relation) を示し (§4.1)、これに基づく分析を行う。型検査の過程で証明探索に還元するという DTS の分析 (§2) に従い、解説する (§4.2)。

4.1 談話関係

Modal Subordination は、対象の2文が図8に示す談話関係²⁾に入ることによって初めて可能となる。1文目と2文目にモダリティを伴うことが、談話関係に入る形式的な条件のため、(1)のように後件にモダリティを含まない場合や、2文が離れる場合は、Modal Subordination が起きることはない。

$$\begin{array}{l}
\diamond M_1 ; \square M_2 \equiv \diamond M_1 \times \blacklozenge \square M_2 \\
\square M_1 ; \diamond M_2 \equiv \square M_1 \times \blacksquare \diamond M_2
\end{array}$$

図8 Modal DTS における談話関係

4.2 分析例

本論文では分析例として、図8上段の規則を取り上げる。これは、前件が possibility の場合であり、具体的に以下の2文を対象とする。

- (2) A wolf might come in. It would growl.
- (4) A wolf might come in. It might growl.

図5に示したのは、この2文の型検査の一部である。

2) 記号を縦に並べた記法は複数の規則を纏めたものである。

謝辞

本研究は、JST CREST JPMJCR20D2, および JSPS 科研費 JP23H03452 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Daisuke Bekki and Koji Mineshima. Context-passing and underspecification in dependent type semantics. In Stergios Chatzikyriakidis and Zhaohui Luo, editors, **Studies of Linguistics and Philosophy**, pp. 11–41. Springer International Publishing, 2017.
- [2] Per Martin-Löf. Intuitionistic type theory. Vol. 17. Bibliopolis, 1984.
- [3] Craige Roberts. Modal subordination and pronominal anaphora in discourse. In **Linguistics and Philosophy**, Vol. 12, pp. 683–721. Springer, 1989.
- [4] Robert van Rooij. A modal analysis of presupposition and modal subordination. In **Journal of Semantics**, Vol. 22, pp. 281–305. Oxford University Press, 2005.
- [5] Nicholas Asher and Eric McCready. Were, would, might and a compositional account of counterfactuals. In **Journal of Semantics**, Vol. 24, pp. 93–129. Oxford University Press, 2007.
- [6] Gareth Evans. Pronouns. **Linguistic Inquiry**, Vol. 11, pp. 337–362, 1980.
- [7] 田中リベカ, 戸次大介. 依存型意味論における modal subordination の記述の試み. 人工知能学会全国大会論文集, 2014.
- [8] Daisuke Bekki. A proof-theoretic analysis of weak crossover. In **Proceedings of the 18th International Workshop on Logic and Engineering of Natural Language Semantics**. 2021.
- [9] Frank Pfenning Aleksandar Nanevski and Brigitte Pientka. Contextual modal type theory. In **ACM Transactions on Computational Logic**, Vol. 9, pp. 1–49. 2008.

