

自然言語の意味をモデル化する試み

@haraheer_inu 2022-02-02

概要

本スライドでは形式意味論(formal semantics)と呼ばれる分野の紹介を目的として、具体的なアプローチの概要と動機について述べる。テクニカルな計算の部分についてはあまり立ち入らずに、問題意識や方法論の概観を理解いただくことを目指している。最後に、発表者の関心ごとである疑問文の分析について、なぜそれに興味を持つかについて述べる。これにより、形式意味論に取り組む人間のひとりが何を考えているかが伝われば幸いである。

目次

●形式意味論

形式意味論は数理論理学を基盤とする自然言語意味論である

●自然言語の証明論的意味論

証明論的意味論は意味論のパラダイムのひとつである。その実現例として依存型意味論を紹介する

●疑問文分析のモチベーション

なぜ疑問文に興味を持つのか？

●形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

●自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

●疑問文分析のモチベーション

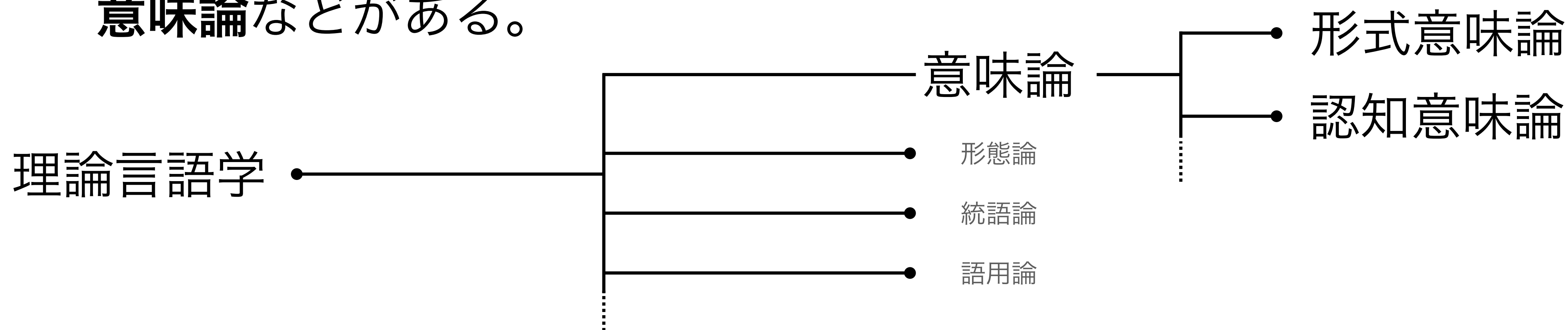
- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

形式意味論

形式意味論 — 意味論一般

●意味論

- 自然言語の意味論(semantics)は、自然言語に何らかの形で意味を定義し、自然言語の意味現象を説明する理論の総称である。
- 意味論は**理論言語学**の一分野であり、その基本的な手法によって幾つかの領域に分かれる。主なものとして**認知意味論**、**形式意味論**などがある。



● 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

● 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

● 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

形式意味論 — 概要

- Montague(1973)に始まるとされる意味論
- 自然言語の意味を何らかの論理体系の**論理式**として表現する。
- その論理式の意味を、仮定している論理体系の**セマンティクス**により与える。
- さらに、自然言語の文に論理式を対応づける手続きを、**アルゴリズム**として記述することを目指す。これにより理論の**反証可能性**を達成する。
- 右図は研究プロセスの非常にラフなスケッチ

- 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

- 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

- 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

形式意味論 — 反証可能性

- 自然言語→論理式のアルゴリズムを見出すことは経験科学として最低限の要件である。
 - アルゴリズムが定義されれば、未知の文に対して意味を予測することができる。
 - これにより、その理論がどのような場合には正しく意味を与えられて、どのような場合には正しく与えられないのかを機械的に確かめることができる。

- 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

- 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

- 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

形式意味論 — 意味計算例

- 意味の計算は例えば次の形で与えられる。これは (Heim&Kratzer 1998)で紹介されている初等的な例である。

■指示対象

- (1) $D = \{john, sue, \dots\}$ (個体全体の集合)
- (2) $\{0, 1\}$ (真理値の集合)
- (3) $\{0, 1\}^D$ (個体から真理値への関数全体の集合)

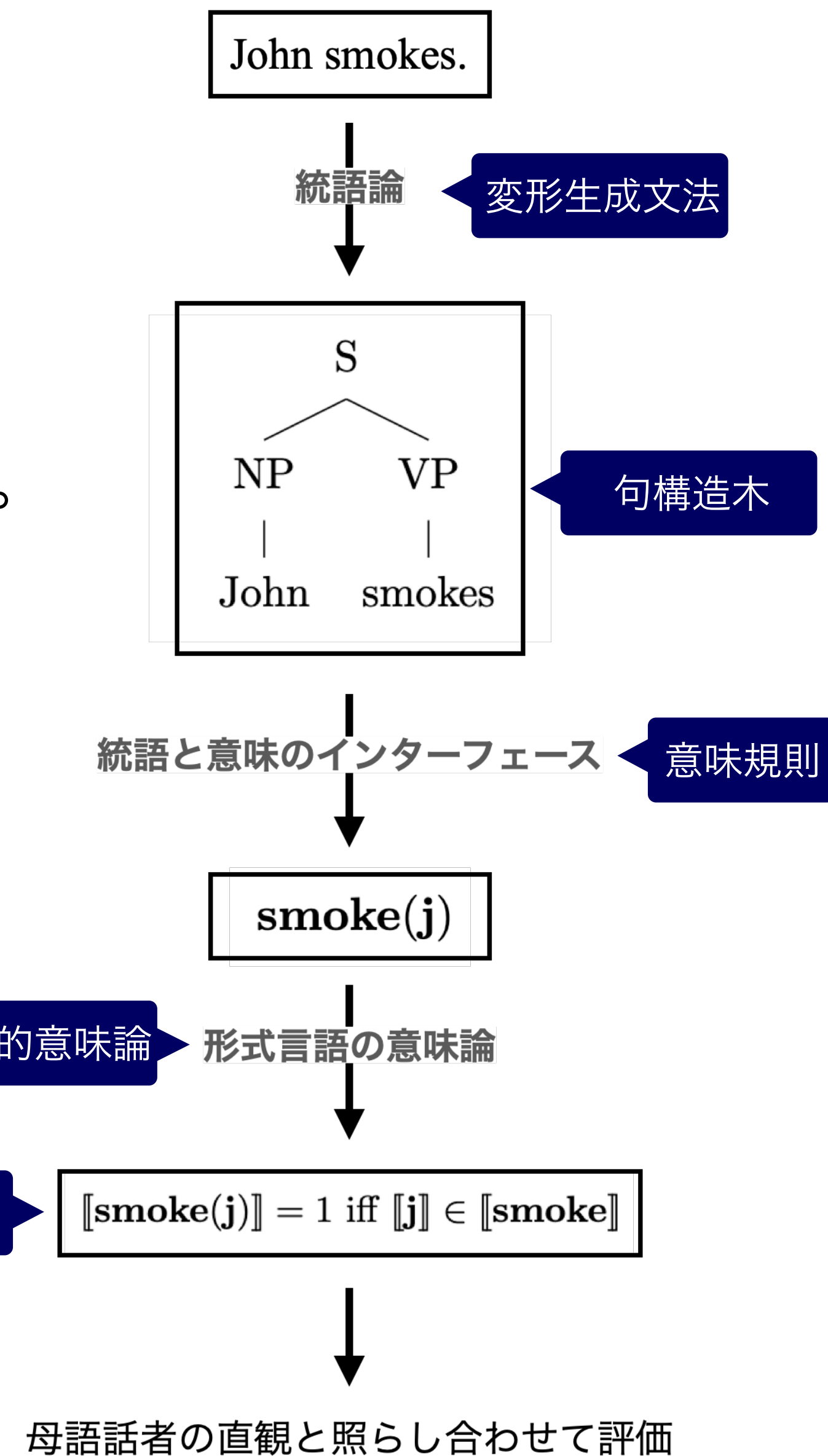
■語彙項目

- (4) $\llbracket \text{John} \rrbracket = john$
- (5) $\llbracket \text{smoke} \rrbracket = \lambda x. \text{smoke}(x)$

■意味規則

- (6) $\llbracket \alpha \wedge \beta \rrbracket = \llbracket \beta \rrbracket (\llbracket \alpha \rrbracket)$

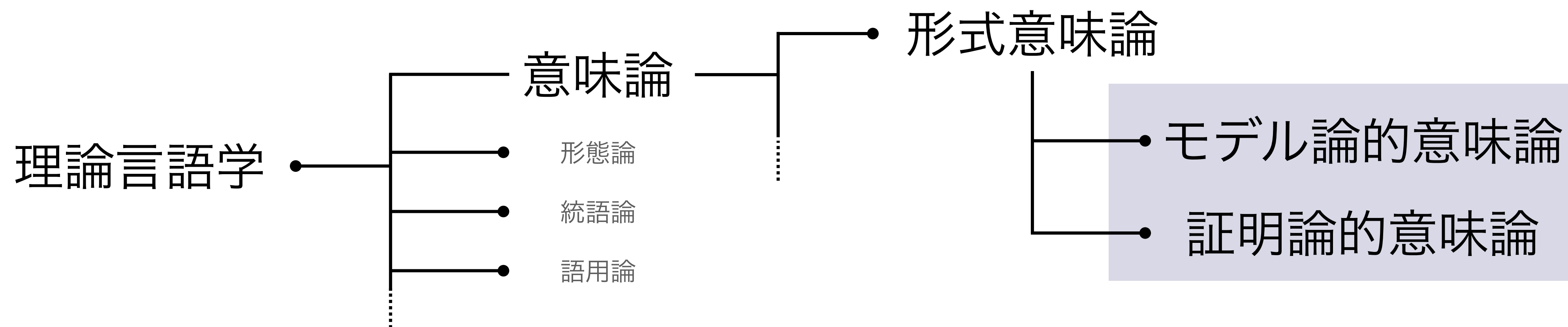
$$\begin{aligned}
 \llbracket \begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{John} \quad \text{smokes} \end{array} \rrbracket &= \llbracket \text{smoke} \rrbracket (\llbracket \text{John} \rrbracket) & (1) \\
 &= [\lambda x. \text{smoke}(x)](john) & (2) \\
 &= \text{smoke}(john) & (3) \\
 &= 1 \text{ iff } john \in \{x \mid x \text{ smokes.}\} & (4)
 \end{aligned}$$



- 形式意味論
 - 意味論一般
 - 概要
 - 反証可能性
 - 意味計算例
 - 二つのパラダイム
- 自然言語の証明論的意味論
 - 証明論的意味論
 - Martin-löfの枠組み
 - 依存型意味論
 - モチベーション
- 疑問文分析のモチベーション
 - 問いと推論の関係
 - 疑問文の非自明さ
 - 疑問文の推意
 - 具体例

形式意味論 — 二つのパラダイム

- 形式言語のセマンティクスが採用するパラダイムにより形式意味論は大きく二つに分られる。ひとつは**モデル論的意味論**、もうひとつは**証明論的意味論**である。



- 次の節では証明論的意味論について、その概要とモチベーションについて述べる。

- 形式意味論
 - 意味論一般
 - 概要
 - 反証可能性
 - 意味計算例
 - 二つのパラダイム
- 自然言語の証明論的意味論
 - 証明論的意味論
 - Martin-löfの枠組み
 - 依存型意味論
 - モチベーション
- 疑問文分析のモチベーション
 - 問いと推論の関係
 - 疑問文の非自明さ
 - 疑問文の推意
 - 具体例

自然言語の証明論的意味論

自然言語の証明論的意味論 — 証明論的意味論

● **証明論的意味論**は意味の検証説を反映したセマンティクスであり、ここでは**推論規則**が論理式の意味を決める(基本的なアイデアはGentzenによる)

- 推論規則とは、ある記号列からその形式のみに基づいて新たな記号を得る手続きである
- 意味の検証説を形式的体系により実現できるというアイデアがGentzenによりほのめかされ、Martin-löfなど後世のlogicianにより具現化されていく

● 次の規則は \wedge (かつ)についての推論規則である。直観主義論理では、 $(\wedge I)$ が $\varphi \wedge \psi$ の証明が存在することの必要条件を定める

$$(\wedge I) \frac{\varphi \quad \psi}{\varphi \wedge \psi} \qquad (\wedge E) \frac{\varphi_1 \wedge \varphi_2}{\varphi_i} \quad i \in \{1, 2\}$$

● 意味の検証説に立てば、 $(\wedge I)$ を \wedge の意味の定義と見做せる

● 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

● 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

● 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

証明論的意味論ではI規則が意味を定める

自然言語の証明論的意味論 — Martin-löfの枠組み

- 本頁では自然言語の証明論的意味論のひとつである依存型意味論について概要を述べる。
- **依存型意味論**(Bekki 2014)は**直観主義型理論**(Martin-löf 1984)を論理体系として採用した意味論
 - 直観主義型理論は数学の基礎づけを目指して提案された論理体系である。つまり**公理**と**推論規則**の集まりである。カリー・ハワード対応により、論理式の証明を論理式の一部として自然に用いることができるといった利点がある。
 - 依存型意味論は、直観主義型理論のセマンティクスとして、直観主義型理論の論理体系そのものを用いる**証明論的意味論**スタイルをとる。

● 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

● 自然言語の証明論的意味論

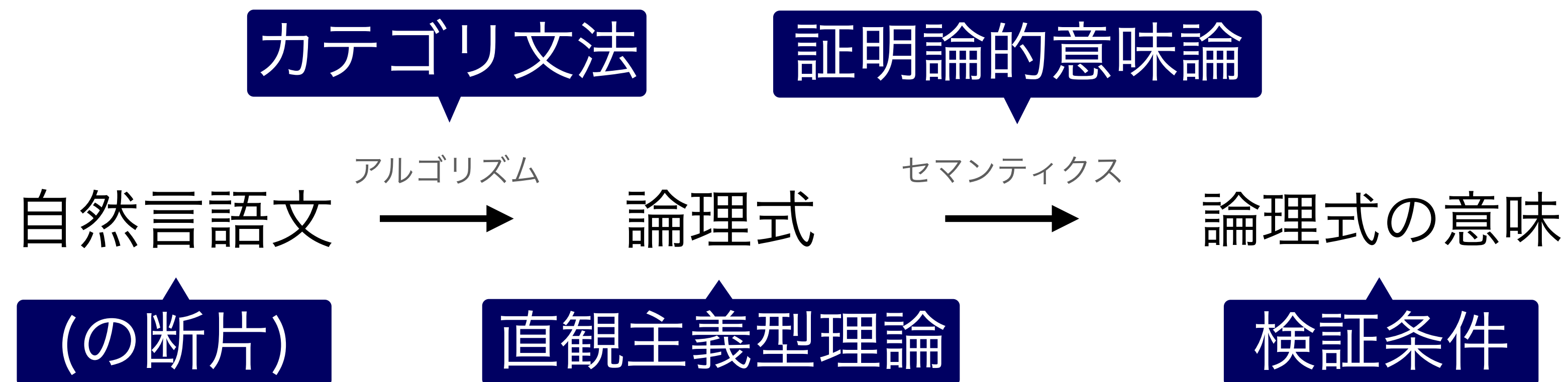
- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

● 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

自然言語の証明論的意味論 — 依存型意味論

- 改めて…**依存型意味論**は**直観主義型理論**を論理体系として採用した証明論的な自然言語意味論



- ある文からある文が従う、といった推論を**型推論**・**型検査**という形式的な推論を通じて説明する。

- 形式意味論
 - 意味論一般
 - 概要
 - 反証可能性
 - 意味計算例
 - 二つのパラダイム
- 自然言語の証明論的意味論
 - 証明論的意味論
 - Martin-löfの枠組み
 - 依存型意味論
 - モチベーション
- 疑問文分析のモチベーション
 - 問いと推論の関係
 - 疑問文の非自明さ
 - 疑問文の推意
 - 具体例

自然言語の証明論的意味論 — モチベーション

●何が面白いのか？

- 始祖的研究(Montague 1973)からこんにちに至るまで、形式意味論のパラダイムとしてはモデル論的意味論が支配的である。というより証明論的意味論は未開拓というのが正確。ならばやってみる他ない！
- 直観主義の形式推論は計算機実装と相性がよく、意味論の中の推論を計算機上で実現しやすい。
- 言語現象をパズルのように紐解いていく面白さ

• 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

• 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

• 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

疑問文分析のモチベーション

疑問文分析のモチベーション — 問いと推論の関係

- 推論の定式化において問いの存在はあまり想定されてこなかったが、問いは推論の重要な構成員である

背景

- 推論の数理モデルが説明対象としてきたのは主に数学における推論であり、ここでは推論を「主張の連なり」として定式化している。
- 伝統的な推論モデルを自然言語に適用する試みはある。これらの思想的背景にある意味観は疑問文への適用方法が非自明である（次頁）。

- 形式意味論
 - 意味論一般
 - 概要
 - 反証可能性
 - 意味計算例
 - 二つのパラダイム
- 自然言語の証明論的意味論
 - 証明論的意味論
 - Martin-löfの枠組み
 - 依存型意味論
 - モチベーション
- 疑問文分析のモチベーション
 - 問いと推論の関係
 - 疑問文の非自明さ
 - 疑問文の推意
 - 具体例

問いを含む推論の定式化は次に迫る課題のひとつである

疑問文分析のモチベーション — 疑問文の非自明さ

● 代表的な意味観を平叙文以外に適用する方法はよくわからない

真でも偽でもないという特徴だけでも、言語学的には十分面白い

真理条件説

文の意味とは、その文が真になることの必要十分条件である。

検証説

文の意味とは、“文が真であることを示すことにつながるような、可能な経験の集合”である。

“”内はW.G.ライカン『言語哲学』より引用

真とも偽ともいえない文
の意味は考慮されていない

• 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

• 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

• 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

疑問文や命令文のように、真偽性を問えない文の意味について検討する必要がある¹⁷

疑問文分析のモチベーション — 疑問文の推意

● 疑問文は単に答えを求めるだけでない様々な情報を伝達する

A. 「昨日の『千と千尋』見た？」

B. 「えっ、昨日『千と千尋』あったの？」

Aはきのう千と千尋があったとは一言も言っていないが、Bは
そのように受け取っている

表立っては言われていないにもかかわらず、相手には伝わる情報を
推意(implicature)という。

A. 「昨日のおしゃれイズム見た？」

B. 「おしゃれイズム終わったでしょ。」

BはAの発話から受け取った推意
を否定している

• 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

• 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

• 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

上の例は平和なものだが、いわゆる論理的に(必要以上に)詰める行為や威圧的な質問には、少なくとも部分的に推意が関与していそうである→その仕組みを明らかにしたい₁₈

まとめ

まとめ

- 形式意味論は数理論理学によって自然言語の意味をモデル化する試みである。
- その中のひとつの立場として証明論的意味論があり、証明論的意味論を反映した理論のひとつとして依存型意味論がある
- 依存型意味論では自然言語の意味を形式的証明に基づいて説明・理解することが目指されている。
- スライドで言及しなかったこと…形式意味論の実装、自然言語処理への応用、形式意味論の定量的な評価 etc.
ご関心があればぜひご連絡ください(^^)／

- 形式意味論

- 意味論一般
- 概要
- 反証可能性
- 意味計算例
- 二つのパラダイム

- 自然言語の証明論的意味論

- 証明論的意味論
- Martin-löfの枠組み
- 依存型意味論
- モチベーション

- 疑問文分析のモチベーション

- 問いと推論の関係
- 疑問文の非自明さ
- 疑問文の推意
- 具体例

References

- [1] Daisuke Bekki. Representing anaphora with dependent types. In *International conference on logical aspects of computational linguistics*, pp. 14–29. Springer, 2014.
- [2] Angelika Kratzer and Irene Heim. *Semantics in generative grammar*, Vol. 1185. Blackwell Oxford, 1998.
- [3] Per Martin-Löf. *Intuitionistic Type Theory*. Bibliopolis, 1984.
- [4] Richard Montague. The proper treatment of quantification in ordinary english. In *Approaches to natural language*, pp. 221–242. Springer, 1973.