生成文法と意味 ～形式意味論によるアプローチ

ayu-mushi

2019-7-22

意味論とは?

(1) a. 雨が降っていてしかも気温が低い、あるいは気分が悪いときにはメアリーはいつも家にこもっている (元の文)

b. * 降っていて雨またはがしかも気温が低い悪いこもっている気分がいつもときには家にメアリー自身 (デタラメな入れ替え)

意味論とは?(2)

(2) a. 雨が降っていてしかも気温が低い、あるいは気分が悪いときにはメアリーはいつも家にこもっている (元の文)

b. メアリーは家にこもっているときにはいつも雨が降っていて気温が低い、あるいは気分が悪い (「ときは」前後を入れ替え)

c. 気分が悪い、あるいは気温が低くしかも雨が降っているときにはメアリーはいつも家にこもっている (「あるいは」前後を入れ替え)

意味論とは?(3)

(3) a. 雨が降っていてしかも気温が低い、あるいは気分が悪いときにはメアリーはいつも家にこもっている **(元の文)**

b. 雨が降っていて、しかも気温が低いあるいは気分が悪いときにはメアリーはいつも家にこもっている **(点を打つ位置を変えた)**

c. 気分が悪いときにはメアリーはいつも家にこもっている **(a から分かる事)**

→人間は複雑な文に対しても、「その文が他の文と同義かどうか」や「その文が言っていることから他の文が言っていることが導かれるかどうか」を判断できる。

形式意味論

形式意味論では以下の合成原理に基づいて、複数の単語からなる句や文の意味を考える。

Hypothesis 1 (合成原理)

複合句の意味は、その句を構成する**部分の意味**とその句の**構造**から規則的に決まる

- 人間は慣用句のように複合句の意味を個別に覚えるだけではない。
- →それだと聞いたこともない文の意味が分かることを説明できない

外延的意味論

(4) a. Elizabeth II is elderly.
 b. The present queen of the U.K. is elderly.
 c. Is the present queen of the U.K. elderly?

- 外延的意味論: 文の意味とは**真偽値** 1 か 0 である
- 文が正しい場合は 1、間違っている場合は 0 という意味を持つ
- 他の品詞についてはどのように意味を与えたら文全体の真偽値が決まるかという点から逆算する
- 固有名詞「Elizabeth II」や定記述句「the present queen of the U.K.」といった NP(名詞句) は**個体** (この場合人間) を指す
- 個体を表すのに a, b, c といった小文字を用いる
- 二重大括弧 ⟦e⟧ で表現 e の意味を表す

直接合成意味論 (Direct Compositionality)

直接合成意味論: それぞれの構文論的ルールに対して対応する意味論的ルールが存在し、同時進行で働く
構文論的ルール

$$S \rightarrow S_{(a)}\ and\ S_{(b)} \tag{1}$$

に対応して、

$$[\![S]\!] = \begin{cases} 1 & ([\![S_{(a)}]\!] = 1 \text{ と } [\![S_{(b)}]\!] = 1 \text{ の両方が成り立つとき}) \\ 0 & (\text{それ以外のとき}) \end{cases} \tag{1'}$$

言い換えれば、

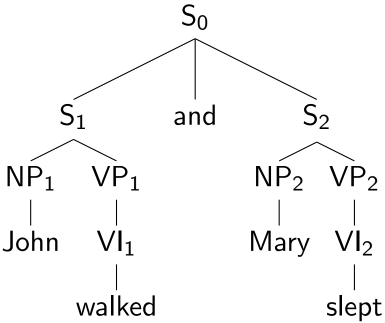
$$[\![S]\!] = [\![S_{(a)}]\!] \times [\![S_{(b)}]\!] \tag{1''}$$

という意味論的ルールが存在する
→導出木にあるそれぞれの非終端記号の意味が、直下の非終端記号 or 終端記号の意味 (と使用した構文ルール) のみから決定しなければならない

例 1. 文法

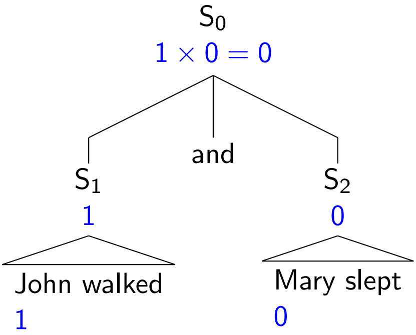
(VP は動詞句)

- $S \rightarrow S_1$ and $S_2 \Rightarrow NP_1\ VP_1$ and $NP_2\ VP_2 \Rightarrow NP_1\ VI_1$ and $NP_2\ VI_2$ $\Rightarrow$ John walked and Mary slept
- $\Big[_S\ \big[_S\ [_{NP}\ \text{John}]\ [_{VP}\ [_{VI}\ \text{walked}]]\big]\ \text{and}\ \big[_S\ [_{NP}\ \text{Mary}]\ [_{VP}\ [_{VI}\ \text{slept}]]\big]\ \Big]$



例 1. 意味

- $S \rightarrow S_1$ and $S_2 \Rightarrow NP_1\ VP_1$ and $NP_2\ VP_2 \Rightarrow NP_1\ VI_1$ and $NP_2\ VI_2$ $\Rightarrow$ John walked and Mary slept
- $\big[_S\ [_S\ [_{NP}\ \text{John}]\ [_{VP}\ [_{VI}\ \text{walked}]]]\ \text{and}\ [_S\ [_{NP}\ \text{Mary}]\ [_{VP}\ [_{VI}\ \text{slept}]]]\ \big]$



自動詞/述語の意味

動詞句 VP 及び自動詞 VI の意味は個体から真偽値 1, 0 への関数である。

Example 1

$[\![\text{walked}]\!] = \{a \to 1,\ b \to 0\}$
(ここでは a と b しか個体が無い世界を考える)

$$\text{VP} \to \text{VI} \tag{2}$$
$$[\![\text{VP}]\!] = [\![\text{VI}]\!] \tag{3}$$

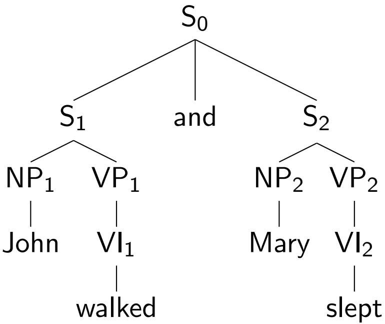
S の意味は動詞句 VP の意味である関数を名詞句 NP の意味である個体に関数適用したものである。

$$\text{S} \to \text{NP VP} \tag{4}$$
$$[\![\text{S}]\!] = [\![\text{VP}]\!]([\![\text{NP}]\!]) \tag{5}$$

$[\![\text{Mary}]\!] = \text{a}$ とすれば、$[\![_S\ [_{NP}\ \text{Mary}]\ [_{VP}\ \text{walked}]]\!] = [\![_{VP}\ \text{walked}]\!]([\![_{NP}\ \text{Mary}]\!]) = \{a \to 1,\ b \to 0\}(a) = 1$ となる

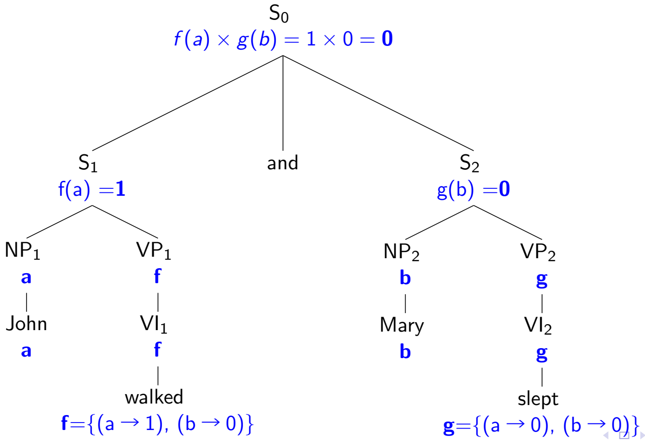
例 2. 文法

- $S \rightarrow S_1$ and $S_2 \Rightarrow NP_1\ VP_1$ and $NP_2\ VP_2 \Rightarrow NP_1\ VI_1$ and $NP_2\ VI_2$ $\Rightarrow$ John walked and Mary slept
- $\Big[_S\ \big[_S\ [_{NP}\ \text{John}]\ [_{VP}\ [_{VI}\ \text{walked}]]\big]$ and $\big[_S\ [_{NP}\ \text{Mary}]\ [_{VP}\ [_{VI}\ \text{slept}]]\big]\ \Big]$



例 2. 意味

- $S \rightarrow S_1$ and $S_2 \Rightarrow NP_1\ VP_1$ and $NP_2\ VP_2 \Rightarrow NP_1\ VI_1$ and $NP_2\ VI_2$ $\Rightarrow$ John walked and Mary slept
- $[_S\ [_S\ [_{NP}$ John$]\ [_{VP}\ [_{VI}$ walked$]]]$ and $[_S\ [_{NP}$ Mary$]\ [_{VP}\ [_{VI}$ slept$]]]\ ]$



集合の定義関数

Definition 2

集合 A があったとき、その部分集合 A' を考える

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (x \in A') \\ 0 & (x \notin A') \end{cases} \tag{6}$$

定義域を A としこの仕方で真偽値 0,1 を対応づける関数 f を集合 A' の**定義関数** (characteristic function) A'_f と呼ぶ。逆に、A の部分集合 A' で $f(x) = 1$ のとき $x \in A'$ になるような A' を f_S と書く。

Example 3

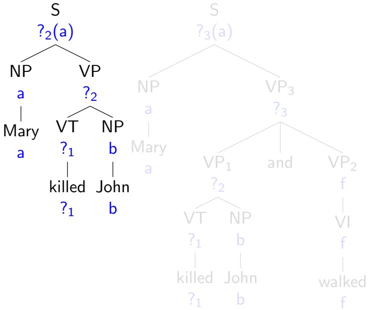
$\{a, b\}$ の部分集合 $\{a\}$ の定義関数は、関数 $\{a \to 1, b \to 0\}$
(A の部分集合である) **空集合**の定義関数 $\varnothing_f$ は全ての $x \in A$ について $f(x) = 0$ となる定数関数

他動詞の意味 (1)

- 他動詞の意味は何か?
- 他動詞+目的語は自動詞と等位接続できる

$$\text{S} \rightarrow \text{NP VP} \tag{7}$$

$$\text{VP} \rightarrow \text{VT NP} \tag{8}$$

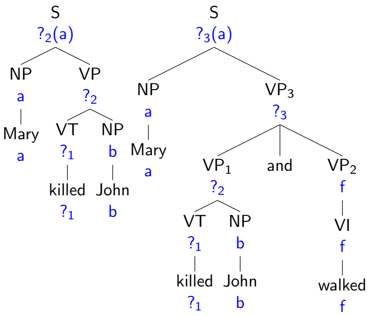


他動詞の意味 (1)

- 他動詞の意味は何か?
- 他動詞+目的語は自動詞と等位接続できる

$$S \rightarrow NP\ VP \tag{7}$$

$$VP \rightarrow VT\ NP \tag{8}$$



他動詞の意味 (2)

他動詞の意味を「個体から「個体から真偽値への関数」への関数」だと考えるとうまくいく。

$$[\![\mathit{loved}]\!] = \left\{a \to \{a \to 1, b \to 0\}, b \to \{a \to 0, b \to 1\}\right\} \tag{9}$$

$$[\![\mathit{loved}]\!](a) = \{a \to 1, b \to 0\} \tag{10}$$

$$[\![\mathit{loved}]\!](b) = \{a \to 0, b \to 1\} \tag{11}$$

他動詞の意味 (3)

$$\mathrm{S} \to \mathrm{NP}_1\ \mathrm{VP} \tag{12}$$

$$\mathrm{VP} \to \mathrm{VT}\ \mathrm{NP}_2 \tag{13}$$

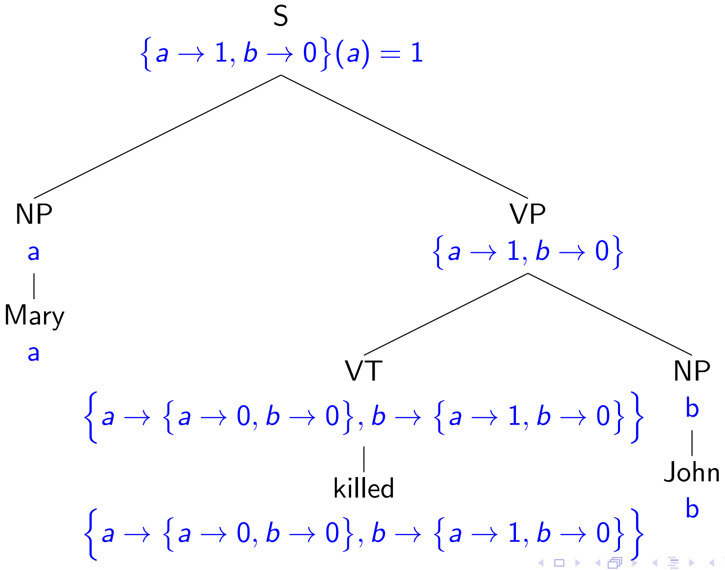
$$[\![S]\!] = [\![VP]\!]([\![NP_1]\!]) \tag{14}$$

$$[\![VP]\!] = [\![VT]\!]([\![NP_2]\!]) \tag{15}$$

つまり、

$$[\![S]\!] = \Big([\![VT]\!]([\![NP_2]\!])\Big)([\![NP_1]\!]) \tag{16}$$

他動詞の意味 (4)



S
$\{a \to 1, b \to 0\}(a) = 1$
NP
a
Mary
a
VP
$\{a \to 1, b \to 0\}$
VT
$\left\{a \to \{a \to 0, b \to 0\}, b \to \{a \to 1, b \to 0\}\right\}$
killed
$\left\{a \to \{a \to 0, b \to 0\}, b \to \{a \to 1, b \to 0\}\right\}$
NP
b
John
b

VP の等位接続 (1)

$$\text{VP}_0 \rightarrow \text{VP}_1 \text{ and } \text{VP}_2 \tag{17}$$

$$[\![\text{VP}_0]\!] = f(x) \tag{18}$$

ここで $f(x)$ は、

$$f(x) = [\![\text{VP}_1]\!](x) \times [\![\text{VP}_2]\!](x) \tag{19}$$

集合を使って言い換えれば、

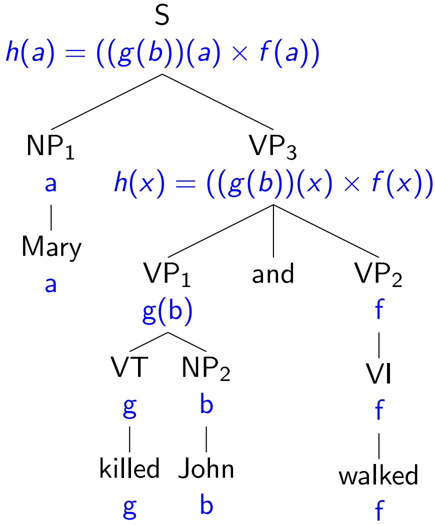
$$[\![\text{VP}_0]\!] = \chi_{[\![\text{VP}_1]\!]_s \cap [\![\text{VP}_2]\!]_s} \tag{20}$$

Example 4

$[\![VP_1]\!] = \{a \rightarrow 0, b \rightarrow 1\}, [\![VP_2]\!] = \{a \rightarrow 1, b \rightarrow 0\}$ の場合、

$$[\![VP_0]\!] = \{a \rightarrow (0 \times 1), b \rightarrow (1 \times 0)\} = \{a \rightarrow 0, b \rightarrow 0\} \tag{21}$$

VP の等位接続 (2)


S
$h(a) = ((g(b))(a) \times f(a))$
NP$_1$
a
Mary
a
VP$_3$
$h(x) = ((g(b))(x) \times f(x))$
VP$_1$
g(b)
and
VP$_2$
f
VT
g
killed
g
NP$_2$
b
John
b
VI
f
walked
f

一般化量化子理論 (1)

名詞句と同じ位置に現れるが個体を意味しているようには見えない表現がある (量化子 GQ と呼ぶ)。

(5) a. John walked.
b. Someone walked.
c. Everyone walked.
d. Nobody walked.

GQ は名詞句と等位接続できる

(6) a. John and someone walked.
b. John and every cat walked.

一般化量化子理論 (2)

量化子が個体を意味するのであれば以下の表現は同じ意味にならなければおかしい。

(7) a. Someone walked and didn't walked. (→矛盾)
b. Someone walked and someone didn't walk. (→矛盾ではない)

(8) a. Everyone walked or didn't walk. (→当たり前)
b. Everyone walked or everyone didnt' walked. (→当たり前ではない)

nobody とかは明らかに個体ではない。

一般化量化子理論 (3)

- **一般化量化子理論:** someone, nobody の意味は「個体から 0,1 への関数」を定義域として、0,1 を値とする関数である。
- ((個体 $\rightarrow$ 真偽値)$\rightarrow$ 真偽値)
- f が個体から真偽値への関数としたら、F(f)=0, 1。
- 定義関数を使って言い換えれば、someone, nobody の意味は「個体の集合の集合」である

一般化量化子理論 (4)

- Everyone: 個体の集合のうち、全ての人間の集合を部分集合として含むような集合を集めてきた集合: $\{S_f |$ 全ての人の集合 $\subseteq S\}_f$
- Someone: 個体の集合のうち、全ての人間の集合との共通部分が空集合でない集合を集めてきた集合: $\{S_f |($全ての人の集合$\cap S) \neq \emptyset\}_f$
- Nobody: 個体の集合のうち、全ての人間の集合との共通部分が空集合であるような集合を集めてきた集合: $\{S_f |($全ての人の集合$\cap S) = \emptyset\}_f$
- John: 個体の集合のうち、ジョンを含むような集合を集めてきた集合: $\{S_f |\text{John} \in S\}_f$

一般化量化子理論 (5)

$$S \to \text{GQ VP} \tag{22}$$

$$[\![S]\!] = [\![GQ]\!]([\![VP]\!]) \tag{23}$$

ここで全ての人の集合を $\{a, b\}$ とする。また、c を猫とする。
そして、世界には a,b,c の個体のみがいるとする。

S

$$\left(\{a, b\} \in \left\{\{a, b\}, \{a, b, c\}\right\}\right) = 1$$

GQ

$$\{\{a, b\}, \{a, b, c\}\}$$

everyone

$$\{S | \{a, b\} \subseteq S\} = \{\{a, b\}, \{a, b, c\}\}$$

VP

$$\{a, b\}$$

walked

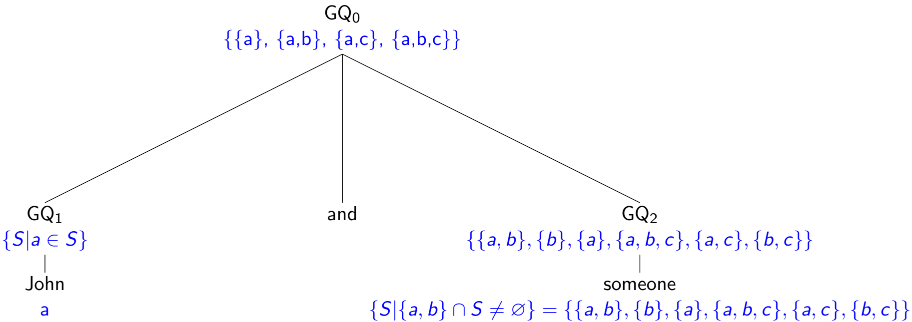
$$\{a \to 1, b \to 1, c \to 0\} = \{a, b\}$$

一般化量化子理論 (6)

$$GQ_0 \rightarrow \text{GQ}_1 \text{ and } \text{GQ}_2 \tag{24}$$

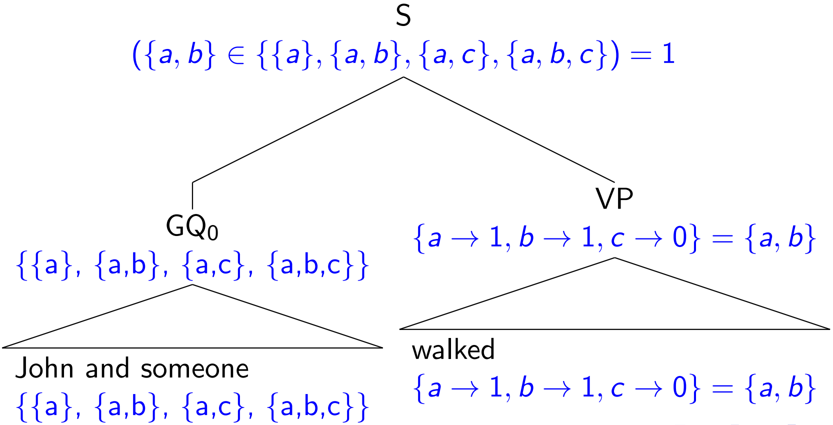
$$[\![GQ_0]\!] = ([\![GQ_1]\!]_S \cap [\![GQ_2]\!]_S)_f \tag{25}$$

$$[\![GQ_0]\!](x) = [\![GQ_1]\!](x) \times [\![GQ_2]\!](x) \tag{26}$$



一般化量化子理論 (7)

$$[\![GQ_0]\!] = ([\![GQ_1]\!]_S \cap [\![GQ_2]\!]_S)_f \tag{27}$$



意味とは外延か?(1)

・仮定法

(9) $[_S$ **2008 年の選挙でオバマが負けていた** $]$ ならば
$[_S$ ジョン・マケインが 2009 年 当時の大統領だっただろう $]$

(10) $[_S$ ジョン・マケインが **2008 年の選挙で出馬しなかった** $]$ ならば
$[_S$ ジョン・マケインが 2009 年 当時の大統領だっただろう $]$

意味とは外延か?(1)

・仮定法

(11) a. 2008年の選挙でオバマが負けていたならば
$[_S$ ジョン・マケインが **$[_{NP}$ 2009年 当時の大統領$]$** だっただろう$]$

b. 2008年の選挙でオバマが負けていたならば
$[_S$ ジョン・マケインが **$[_{NP}$ オバマ$]$** だっただろう$]$

意味とは外延か?(2)

- 信念文

(12) a. [$_S$ Aristotle believed that **[$_S$ the moon is round]**]
b. [$_S$ Aristotle believed that **[$_S$ the Earth rotates]**]

(13) a. [$_S$ Hegel knew that **[$_{NP}$ 4+4]** equals 8]
b. [$_S$ Hegel knew that **[$_{NP}$ the number of the planets in the solar system]** equals 8]

意味とは外延か?(2)

・信念文

(14) a. $[_S$ Aristotle believed that **$[_S$ the moon is round]**$]$

b. $[_S$ Aristotle believed that **$[_S$ the Earth rotates]**$]$

(15) a. $[_S$ Hegel knew that **$[_{NP}$ 4+4]** equals 8$]$

b. $[_S$ Hegel knew that **$[_{NP}$ the number of the planets in the solar system]** equals 8$]$

可能世界意味論 (1)

- 可能世界: 物理的/論理的/知識 的にあり得る/あり得た世界
- オバマが 2009 年に米大統領にならなかったことは可能である (「永久機関が存在すること」のように物理法則にも違反していない)
- オバマが 2009 年に米大統領にならなかった世界は 1 つではない: そのなかではマケインが米大統領になっていた可能世界や誰も米大統領にならなかった可能世界もある
- →可能世界は「オバマが大統領になったか」「名古屋大学は存在するか」「2000 年に私が生まれているか」などの可能性の選択肢に最大限詳細な指定を与えるもので、論理的／知識的／物理的に矛盾のないもの

可能世界意味論 (2)

(16) $[_{S_0}$ $[_{S_1}$ 私が生まれなかった$]$ ことはあり得た$]$

可能世界意味論では文の意味を可能世界から真偽値への関数として扱う:

$$S_0 \rightarrow \text{it is possible that } S_1 \tag{28}$$

$$[\![S_0]\!](w_0) = \begin{cases} 1 & ([\![\mathrm{S}_1]\!](\mathrm{w}_1)\text{=1 な可能世界 } \mathrm{w}_1 \text{ があるとき}) \\ 0 & (\text{そうでない場合}) \end{cases} \tag{29}$$

他のアプローチ (1): 自律的構文論アプローチ

- 自律的構文論アプローチ: いったん構文論が木構造を組み立てた後で、その木構造を意味論にインプットとして意味論が意味を出力する。
- 直接合成意味論と違って、構文ルールと意味ルールが同時に働くとは考えない
- 構文木がいくつかの変形を経て意味論にインプットされるとするアプローチもある (論理形式)
- 統率束縛理論や、ミニマリズムで主流のアプローチ。

他のアプローチ (2): 内在的意味論

ポール・ピエトロスキ: 言語的意味とは、概念意図システムに対する一定の概念を形成せよという命令 (和泉『名前と対象』,

形式意味論の応用

ccg2lambda: 自然言語の文を構文解析して含意関係を証明システムCoq(証明ができるプログラミング言語) でチェックする。https://www.anlp.jp/proceedings/annual_meeting/2016/pdf_dir/D4-2.pdf

まとめ

- 形式意味論では部分の意味から全体の意味を計算する方法を考える
- 外延的意味論では文の意味は真偽値と考える
- 名詞句の意味は個体
- 等位接続の扱いをうまくやれるかは意味論で 1 つの評価基準
- 他動詞の意味は「個体から「個体から真偽値への関数」への関数」として表せる
- 動詞句の意味は個体から真偽値への関数
- 量化子の意味は「個体の集合の集合」として表せる
- ご清聴ありがとうございました

参考文献

- Pauline Jacobson (2015) *Compositional Semantics: An Introduction To The Syntax/Semantics Interface* (Oxford Textbooks In Linguistics)
- Elizabeth Coppock and Lucas Champollion "Formal Semantics Boot Camp" Draft of March 3, 2019 http://eecoppock.info/semantics-boot-camp.pdf
- "指示関数", Wikipedia https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%8C%87%E7%A4%BA%E9%96%A2%E6%95%B0
- 郡司隆男 "LaTeX で言語学の論文を書くために" https://researchmap.jp/muirjt8z6-38603/?action=multidatabase_action_main_filedownload&download_flag=1&upload_id=139212&metadata_id=22104