量化研究の概要

郡司 隆男
（神戸松蔭女子学院大学 大学院）

---

[*]2000 年 11 月 25 日 日本言語学会第 121 回大会 公開シンポジウム

目次

目次

形式意味論において、量化の問題はどのように扱われてきたか

- 命題論理
  ⇒ 文の中身をそれ以上分解しない
  ⇒ 量化は扱えない
- 述語論理
  ⇒ 文を「主語」「目的語」などの項と「述語」に分解
  ⇒ 量化現象とその表現が論理の中でも中心的な話題

命題論理

- 今夜の夕飯はカレーだ。 .... p
- 今夜の夕飯はカツだ。 .... q
- 今夜の夕飯はカレーか、あるいは、今夜の夕飯はカツだ。 .... $p \vee q$
- 今夜の夕飯はカレーか、あるいは、カツだ。 ....?? $p \vee q$
- 今夜の夕飯はカツカレーだ。 .... ??? $p \wedge q$

述語論理

文を構成する要素を述語と項とに分ける。

- 今夜の夕飯はカツだ。 ………… $カツ(夕飯)$
- 今夜の夕飯はカレーだ。 ………… $カレー(夕飯)$
- 今夜の夕飯はカツか、あるいは、今夜の夕飯はカレーだ。
  ………… $カツ(夕飯) \vee カレー(夕飯)$
- 今夜の夕飯はカツか、あるいは、カレーだ。 ………… $???[カツ \vee カレー](夕飯)$
  $\leadsto$ 今夜の夕飯は[[x はカツ]か、あるいは、[x はカレー]]だ。
  ………… $\lambda x[カツ(x) \vee カレー(x)](夕飯)$
  $= カツ(夕飯) \vee カレー(夕飯)$
- 今夜の夕飯はカツカレーだ。 ………… $???\ \lambda x[カツ(x) \wedge カレー(x)](夕飯)$
  $= カツ(夕飯) \wedge カレー(夕飯)$

  今夜の夕飯はカレー、かつ、カツだ。
  （語彙意味論の問題）

目 次

√ • はじめに

⇒ • 述語論理

- 一般量化子 (Generalized Quantifier)
- ロバ文 (Donkey Sentence)
- 古典的述語論理の拡張
- おわりに

目 次

構成性原理（Frege の原理）

- 述語の意味: 関数 $\cdots\ P,\ Q$, etc.
- 項（主語, 目的語）の意味: 引数 $\cdots\ a,\ b,\ x,\ y$, etc.
- 文の意味: 関数適用 $\cdots\ P(a),\ Q(a,b)$, etc.
- 複雑な文の意味: 演算子 $\cdots\ \neg P(a),\ P(a) \wedge Q(a,b)$, etc.

量化

- 項を分ける
  - 定項: a, b, etc.
  - 変項: x, y, etc.
- 量化子: ∀（普遍量化）, ∃（存在量化）
- 量化表現: $\forall x\, P(x)$, $\exists y\, Q(a, y)$, etc.

スコープ

- $\forall x \, \underline{P(x)}$
- $\exists y \, \underline{Q(a, y)}$
- $\exists y \, \underline{Q(a, y)} \wedge P(y)$
- $\exists y \, \underline{[Q(a, y) \wedge P(y)]}$

スコープの多義性

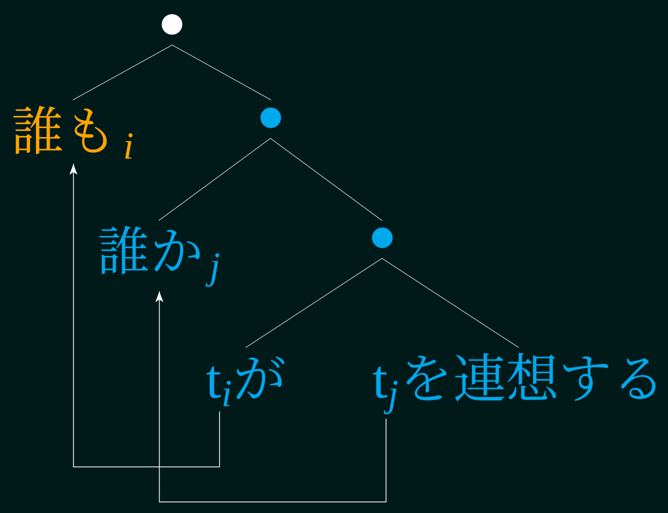
意味の多義性を反映?

- 親戚の誰もが奈緒美から誰かを連想する。
- $\forall x\ \exists y\ [親戚(x) \rightarrow 奈緒美から連想する(x, y)]$

  親戚の一人一人について奈緒美から連想する人物が別々であってもよい解釈
- $\exists y\ \forall x\ [親戚(x) \rightarrow 奈緒美から連想する(x, y)]$

  すべての親戚が同じ人物を連想するという解釈

論理形式 (LF)



目次

目 次

- √ • はじめに
- √ • 述語論理
- ⇒ • 一般量化子 (Generalized Quantifier)
    - 一階述語論理
    - 高階述語の導入
    - 一般量化子の性質
    - 単調性 (monotonicity)
- ロバ文 (Donkey Sentence)
- 古典的述語論理の拡張
- おわりに

一階述語論理

- 名詞句（主語）$\rightsquigarrow$ 項
- 動詞句 $\rightsquigarrow$ 述語

固有名の場合

健が笑っている $\rightsquigarrow$ 笑っている(健).

量化表現の場合

誰もが笑っている $\rightsquigarrow$ $\forall x$ [笑っている(x)].

??

構成性原理に従わない。「あらゆる」に相当する表記を恣意的に導入

高階述語の導入

- 名詞句（主語）$\rightsquigarrow$ 述語
- 動詞句 $\rightsquigarrow$ 項

固有名の場合

健(笑っている).

健 $= \lambda P\, P($健$)$

健(笑っている) $=$ 笑っている(健).

量化表現の場合

誰も(笑っている) $=$ **誰も**$(\lambda x$ 笑っている$(x))$.

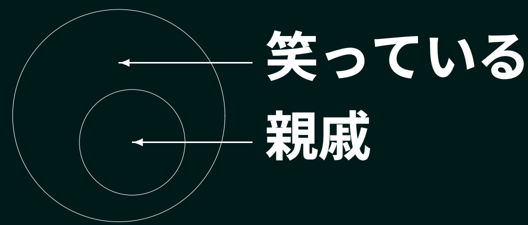
誰も $= \lambda P\, \forall x\, P(x)$

誰も(笑っている) $= \forall x$ 笑っている(x)

集合による定義付け

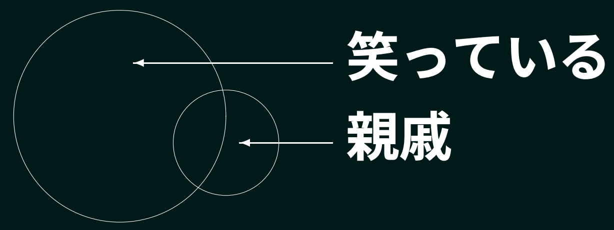
- 親戚の誰もが笑っている。
  誰も$_2$(親戚)(笑っている)
  誰も$_2$ $= \lambda Q\, \lambda P\, \forall x[Q(x) \rightarrow P(x)]$
  誰も$_2$(親戚)(笑っている) $= \forall x[$親戚$(x) \rightarrow$ 笑っている$(x)]$

- 親戚の誰もが笑っている。
  誰も$_3$(**親戚**)(**笑っている**)
  誰も$_3$ $= \lambda \mathsf{Q}\, \lambda \mathsf{P}\, [\mathsf{Q} \subseteq \mathsf{P}] = \lambda \mathsf{Q}\, \lambda \mathsf{P}\, [|\mathsf{Q} - \mathsf{P}| = 0]$
  $(\mathsf{P} = \{x|P(x)\},\ \mathsf{Q} = \{x|Q(x)\})$
  誰も$_3$(**親戚**)(**笑っている**) = **親戚** $\subseteq$ **笑っている**　　(**親戚** = $\{x|$親戚$(x)\}$, etc.)

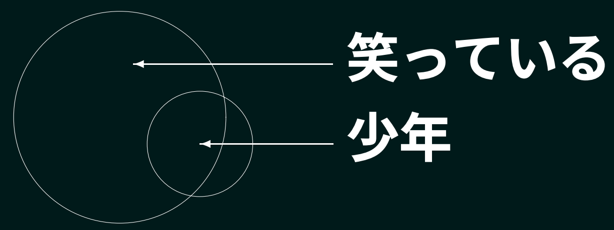


他の量化子への拡張（一般量化子）

- 親戚の誰かが笑っている。
  誰か(**親戚**)(**笑っている**)
  誰か $= \lambda Q\, \lambda P\, [Q \cap P \neq \phi] = \lambda Q\, \lambda P\, [|Q \cap P| > 0]$
  誰か(**親戚**)(**笑っている**) $= |$**親戚** $\cap$ **笑っている**$| > 0$



- ほとんどの少年が笑っている。
  ほとんど(**少年**)(**笑っている**)
  ほとんど $= \lambda Q\, \lambda P\, [|Q \cap P| > c|Q|]$
  ほとんど(**少年**)(**笑っている**) $= |$**少年** $\cap$ **笑っている**$| > c|$**少年**$|$



一般量化子の性質

- 保守性 (conservativity): GQ(Q)(P) ⇔ GQ(Q)(Q ∩ P)
  親戚の誰もが笑っている。⇔ 親戚の誰もが笑っている親戚だ。
  親戚の誰かが笑っている。⇔ 親戚の誰かが笑っている親戚だ。
  ほとんどの少年が笑っている。⇔ ほとんどの少年が笑っている少年だ。
- 対称性 (symmetry): GQ(Q)(P) ⇔ GQ(P)(Q)
  親戚の誰もが笑っている。⇎ 笑っている人の誰もが親戚だ。
  親戚の誰かが笑っている。⇔ 笑っている人の誰かが親戚だ。
  ほとんどの少年が笑っている。⇎ ほとんどの笑っている人が少年だ。
- 反射性 (reflexive): GQ(Q)(Q)
  親戚の誰もが親戚だ。
  親戚の誰かが親戚だ。
  #ほとんどの少年が少年だ。

単調性 (monotonicity)

- ↑MON: $GQ(R)(P) \Rightarrow GQ(Q)(P)$ if $R \subseteq Q$
  遠い親戚の誰かが笑っている。⇒ 親戚の誰かが笑っている。
- ↓MON: $GQ(Q)(P) \Rightarrow GQ(R)(P)$ if $R \subseteq Q$
  親戚の誰もが笑っている。⇒ 遠い親戚の誰もが笑っている。
- MON↑: $GQ(Q)(R) \Rightarrow GQ(Q)(P)$ if $R \subseteq P$
  ほとんどの少年が笑い泣きしている。⇒ ほとんどの少年が笑っている。
- MON↓: $GQ(Q)(P) \Rightarrow GQ(Q)(R)$ if $R \subseteq P$
  せいぜい5人の少年が笑っている。⇒せいぜい5人の少年が笑い泣きしている。
  (**せいぜい5人** $= \lambda Q\, \lambda P\, [|Q \cap P| \leq 5]$)

いくつかの一般量化子のいくつかの性質

	保守性	対称性	反射性	↑MON	↓MON	MON↑	MON↓
誰も	√		√		√	√	
誰か	√	√		√		√	
ほとんど	√					√	
せいぜい5人	√	√			√		√

- **誰も** $= \lambda Q\, \lambda P\, [|Q - P| = 0]$
- **誰か** $= \lambda Q\, \lambda P\, [|Q \cap P| > 0]$
- **ほとんど** $= \lambda Q\, \lambda P\, [|Q \cap P| > c|Q|]$
- **せいぜい5人** $= \lambda Q\, \lambda P\, [|Q \cap P| \leq 5]$

目 次

√ • はじめに

√ • 述語論理

√ • 一般量化子 (Generalized Quantifier)

⇒ • ロバ文 (Donkey Sentence)

• 古典的述語論理の拡張

• おわりに

目 次

√ • はじめに

√ • 述語論理

√ • 一般量化子 (Generalized Quantifier)

⇒ • ロバ文 (Donkey Sentence)

  - ロバ文とは?
  - 複数の読み
  - 唯一性の前提 (uniqueness presupposition)

• 古典的述語論理の拡張

• おわりに

ロバ文とは?

一階述語論理式ではスコープの外に出てしまうような変項に対応するかのように見える代名詞が登場する文

話者の直観では、そのような代名詞は束縛されているように見える

- Every farmer who owns a donkey beats it.

a. $\forall x\,[[\mathrm{farmer}(x) \wedge \exists y\,\underline{[\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]}] \to \mathrm{beat}(x, it)]$

b. $\forall x\,[[\mathrm{farmer}(x) \wedge \exists y\,\underline{[\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]}] \to \mathrm{beat}(x, y)]$

↑束縛されていない

c. $\forall x\,\exists y\underline{[[\mathrm{farmer}(x) \wedge [\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]] \to \mathrm{beat}(x, y)]}$

↑束縛されているが…

$\forall x\, \exists y \underline{[[\mathrm{farmer}(x) \land \mathrm{donkey}(y) \land \mathrm{own}(x, y)] \to \mathrm{beat}(x, y)]}$

1. 農夫の誰にとっても、下線部を真にするような y が存在する。
2. 下線部は $p \to q$ の形
3. $p \to q$ は p が偽のときは常に真。
4. $\mathrm{farmer}(x) \land \mathrm{donkey}(y) \land \mathrm{own}(x, y)$ が偽のときは常に真
5. 例えば、y が猫のときは $\mathrm{farmer}(x) \land \mathrm{donkey}(y) \land \mathrm{own}(x, y)$ は偽
6. したがって、y が猫のときは、それをぶつかどうかに関わりなく、下線部は真
7. 一般的に、一人一人の農夫がロバでないものをもっているか、ロバが他人のものであれば、それをぶたなくても、下線部は真
8. もとの文にこのような読みはあるか?!

複数の読み

$\boxed{\textbf{普遍読み (universal reading)}}$

$$\forall x \, \forall y \, \underline{[[\mathrm{farmer}(x) \wedge [\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]] \rightarrow \mathrm{beat}(x, y)]}$$

↑束縛されている

ロバを飼っている農夫の誰もが、飼っているロバのすべてをぶつ。

存在読み (existential reading)

- Every man who had a quarter put it in the meter.

$\forall x\, \forall y\, \underline{[[\mathrm{man}(x) \wedge [\mathrm{quarter}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]] \rightarrow \mathrm{put\text{-}in\text{-}the\text{-}meter}(x, y)]}$

???

#25セント貨をもっている男の誰もが、もっている硬貨のすべてをメータに入れる。

25セント貨をもっている男の誰もが、もっている硬貨のいくつかをメータに入れる。

$$\forall x\, [[\mathrm{man}(x) \wedge \exists y\, [\mathrm{quarter}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]]$$
$$\rightarrow \exists y \underline{[[\mathrm{quarter}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)] \wedge \mathrm{put\text{-}in\text{-}the\text{-}meter}(x, y)]}]$$

唯一性の前提 (uniqueness presupposition)

- おもちゃをもっている少年は誰もそれを大事にする。
  それ = もっている（その）おもちゃ
- Every man who has a credit card will use it.
  it = the credit card that the man has
- おもちゃを買ってもらった少年は誰もそれを大事にする。
  それ = 買ってもらった（その）おもちゃ。
- Every girl who bought a sage plant bought eight others with it.
  it ≟ the (unique) sage plant that the girl bought

目 次

目 次

√ • はじめに

√ • 述語論理

√ • 一般量化子 (Generalized Quantifier)

√ • ロバ文 (Donkey Sentence)

⇒ • 古典的述語論理の拡張

  - 無差別束縛 (unselective binding)
  - E-type 代名詞
  - 動的意味論 (dynamic semantics)

• おわりに

無差別束縛 (unselective binding)

不定名詞の a は量化子か?
日本語の「誰・か/も」は?
自然言語の代名詞や、ある種の表現は本質的に自由変項
一定の環境で、一括して（無差別的に）束縛される

$\leadsto$ 文を越えた談話の扱い
1980 年代の談話表示理論 (DRT)

文を越えた談話と談話表示理論

A farmer owns a donkey.

$$\boxed{\begin{array}{c} x \quad y \\ \mathrm{farmer}(x) \\ \mathrm{donkey}(y) \\ \mathrm{own}(x, y) \end{array}}$$

文を越えた談話と談話表示理論

A farmer owns a donkey. He beats it.

$$\boxed{\begin{array}{c} x \quad y \quad u \quad v \\ \mathrm{farmer}(x) \\ \mathrm{donkey}(y) \\ \mathrm{own}(x, y) \\ u = ? \\ u = x \\ v = ? \\ v = y \\ \mathrm{beat}(u, v) \end{array}}$$

代名詞の同定

ロバ文と談話表示理論

Every farmer who owns a donkey beats it.

$$\boxed{\boxed{\begin{array}{c} x \quad y \\ \text{farmer}(x) \\ \text{donkey}(y) \\ \text{own}(x, y) \end{array}} \Rightarrow \boxed{\begin{array}{c} u \\ \text{beat}(x, u) \\ u = ? \\ u = y \end{array}}}$$

代名詞の同定

$\forall x$による無差別束縛

$\rightsquigarrow$ 普遍読み

$$\forall x\, \forall y \underline{[[\text{farmer}(x) \wedge [\text{donkey}(y) \wedge \text{own}(x, y)]] \rightarrow \text{beat}(x, y)]}$$

存在読みはどうするのか?

E-type代名詞

不定名詞句の a はあくまでも、量化子
代名詞の解釈を変更

存在量化子に後続する文での代名詞: 「前文によって云々のもの」という形の確定記述

ロバ文と E-type 代名詞

- $\forall x\, [\mathrm{farmer}(x) \wedge \exists y\, [\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)] \rightarrow \mathrm{beat}(x, \text{‘}\textit{the-donkey-x-owns}\text{’})].$

  ‘*the-donkey-x-owns*’ : 「x が所有する唯一のロバ」

  $$\exists u\, [[\mathrm{donkey}(u) \wedge \mathrm{own}(x, u)] \wedge \forall v[[\mathrm{donkey}(v) \wedge \mathrm{own}(x, v)] \rightarrow v = u]$$

- Exactly one farmer owns a donkey, and he beats it.

  $\exists! x\, \underline{[\mathrm{farmer}(x) \wedge \exists y\, [\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)]]}$

  $\wedge\ \mathrm{beat}(\text{‘}\textit{the-farmer-who-owns-a-donkey}\text{’}, \text{‘}\textit{the-donkey-the-farmer-owns}\text{’})].$

  $\#\exists! x\, \underline{[\mathrm{farmer}(x) \wedge \exists y\, [\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y)] \wedge \mathrm{beat}(x, y)]}.$

  無差別束縛ではうまくいかない?

  唯一性の前提がなりたたない場合はどうするのか?

動的意味論 (dynamic semantics)

不定名詞句の a は量化子
自由変項の解釈のしかたを変える

一文の解釈は、その文の真理値を与えるだけでなく、後続する自由変項の解釈にも影響を与える

発話とその処理によってダイナミックに文脈情報が蓄積されていく

文を越えた談話と動的意味論

	A farmer owns a donkey.		He beats it.
$\uparrow$	$\exists x \exists y[\text{farmer}(x) \land \text{donkey}(y) \land \text{own}(x, y)]$	$\uparrow$	$\text{beat}(u, v)$
$\begin{bmatrix} u \to ? \\ v \to ? \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} u \to \text{Pedro} \\ v \to \text{Chiquita} \end{bmatrix}$	$[\![\text{He}]\!] = \text{Pedro}$ $[\![\text{it}]\!] = \text{Chiquita}$

ロバ文と動的意味論

Every farmer who owns a donkey beats it.

$$\uparrow \qquad \underline{\forall} x[\lambda p[\mathrm{farmer}(x) \wedge \exists y[\mathrm{donkey}(y) \wedge \mathrm{own}(x, y) \wedge p]] \underline{\rightarrow} \lambda p[\mathrm{beat}(x, v) \wedge p]]$$

$$\begin{bmatrix} x \rightarrow ? \\ v \rightarrow ? \end{bmatrix} \qquad \text{for each } d \quad \begin{bmatrix} x \rightarrow d \\ v \rightarrow f(d) = \text{‘the donkey } d \text{ owns’} \end{bmatrix}$$

目次

優劣?

- 最近でも活発に論争がおこなわれている。
- それぞれに得意・不得意とする文がある。
- 例文の判断が微妙
- 状況の数え上げ、など新しいアプローチも。