

# 一般化交差効果に対する型理論的アプローチ

松岡 大樹<sup>1</sup> 戸次 大介<sup>2</sup> 谷中 瞳<sup>1</sup><sup>1</sup> 東京大学

{daiki.matsuoka, hyanaka}@is.s.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup> お茶の水女子大学

bekki@is.ocha.ac.jp

## 概要

理論言語学における重要な発見の1つに、代名詞の特定の解釈が統語構造により制限されるという「交差効果」がある。交差効果は統語構造上の移動操作に基づいて分析されることが標準的であるが、近年、このような統語的な分析では説明しきれない、より一般化された形の交差効果が提唱されている。本研究はこの課題に対して、型理論に基づくアプローチを提案する。具体的には、依存型意味論という枠組みを用いて、意味表示としての型が持つ構造的関係を介して交差効果を分析することにより、従来よりも統一性の高い理論が得られることを主張する。

## 1 はじめに

自然言語の代名詞は、具体的な対象を指示するだけでなく、別の表現に依存した変数のような振る舞いをすることがある。例えば(1)では、「それぞれの少女  $x$  が  $x$  の母親を愛する」という、少女に応じて代名詞の参照先が変わる解釈が可能である。この現象を**束縛変項照応 (bound variable anaphora; BVA)**といい、以下では(1)に示すような添え字で表現する。

(1) Every girl <sub>$i$</sub>  loves her <sub>$i$</sub>  mother.

BVAは、統語構造に関する非対称性を示すことが知られている。例えば、(1)における *every girl* と *her* の間の構造的な関係を入れ替えた(2)では、BVA解釈が容認されない。

(2) \*Her <sub>$i$</sub>  mother loves every girl <sub>$i$</sub> .

このように構造的な関係に応じて BVA が阻止される効果のことを、**交差効果 (crossover effect)**という。交差効果は通言語的に観察されており、統語構造と意味を対応させる人間の認知機構の基本的な性質を反映していると考えられている [1]。

多くの理論は、交差効果を統語構造における移動 (movement) 操作と関連付けて分析している [2, 3, 4]。しかし [5] は、統語的移動を伴うとは考えられていない**投射 (projection)** という意味現象にも (2) と同様の制約が観察されることを指摘し、**一般化交差効果 (generalized crossover effect)** という新たな経験的一般化を提唱した。これは、純粋に統語的な分析では BVA を十分に説明しきれない可能性を示唆しており、既存理論にとっての課題を提示している。

本研究はこの課題に、型理論に基づく意味論の枠組みである**依存型意味論 (Dependent Type Semantics; DTS)** [6] を用いて取り組む。DTSは命題を型によって表現する枠組みであり、型が持つ変数スコープの構造を統語構造の代わりに用いることによって、(2)のような量化詞に関する交差効果を説明できる [7]。本研究は、投射を扱うための機構を適切に定義することによって、従来の DTS の交差効果の分析を一般化交差効果へと統一的な形で拡張できることを示す。

## 2 一般化交差効果

### 2.1 理論的背景

前述の通り、多くの理論は交差を統語構造上の移動操作と関連付けている。この背景には、*every girl* のような量化詞のスコープに関する理論的分析がある。例えば(3)には、「それぞれの学生  $x$  について、学生ごとに別々の先生が  $x$  を褒めた」という解釈がある。この解釈は、主語の *a teacher* より構造的に下位の *every student* が意味的に高いスコープをとることから、**逆スコープ解釈 (inverse scope interpretation)** と呼ばれる。

(3) A teacher praised every student. ( $\forall > \exists$ )

逆スコープ解釈を説明する理論装置として、**量化詞繰り上げ (Quantifier Raising; QR)** という (表層形

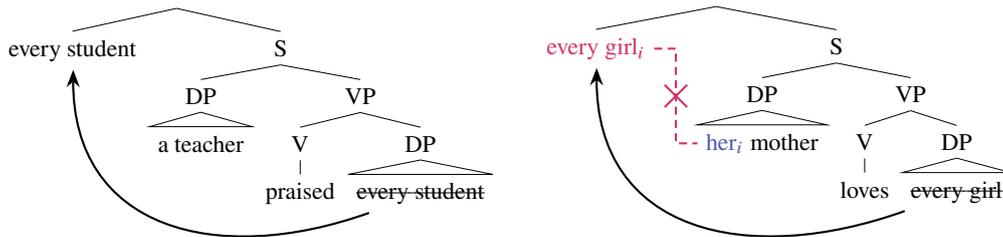


図1 左：(3)における量化詞繰り上げの結果. 右：制約(4)により(2)におけるBVA解釈が阻止された状況.

に影響しない) 移動操作が提案されている [8]. 図1左に示すように, QRは目的語の *every student* を主語の *a teacher* より構造的に高い位置に移動することができ, これにより(3)で示した逆スコープ解釈が得られる.

さて, (2)においてQRが適用されると, 図1右に示すように, *every girl* が代名詞 *her* よりも意味的に高いスコープをとるため, (1)と同様の束縛変項解釈が生じることになってしまう. これを防ぐために, 以下の趣旨の制約が仮定される [2].

- (4) 代名詞を束縛する表現は, 移動操作が適用される前の時点で自身より構造的に低い位置にある表現しか束縛することができない.<sup>1)</sup>

この制約は, 量化詞以外の場合の交差効果にも適用可能であることから, 理論的に有効なものと評価されてきた. 例えば(5)が示すように, 目的語位置からのwh移動を伴う文においても交差効果が観察され, このことは制約(4)から直ちに予測される.

- (5) \*Which girl<sub>i</sub> did her<sub>i</sub> mother love \_\_\_?

## 2.2 投射における交差効果

一般化交差効果は, 量化詞やwh句に関する標準的な交差効果を, 投射という意味現象に拡張したものである. 投射とは, 特定の表現に伴う内容が, 否定や様相といった意味的な演算子に影響されないことを指す(この種の内容を投射的内容という). 例えば, 述語 *know* がとる *that* 節の内容は投射的である. 実際, (6a)と(6b)はどちらも *Kim wrote a paper* を含意し, *that* 節の内容が否定表現 (*not*) や様相表現 (*might*) の影響を受けていないことがわかる.

- (6) a. Alex did *not* know that Kim wrote a paper.  
b. Alex *might* know that Kim wrote a paper.

1) この定義は非形式的なものであり, 厳密には構造上の高低関係はc統御(c-command)という概念で定式化される. また, 制約の対象となるのは $\bar{A}$ 移動という種類の移動である.

これを踏まえて, 投射において生じる交差効果を確認しよう. まず, 投射的内容はBVAに参与する. 例えば(7)では, 代名詞 *it* は投射的内容の一部である *a paper* に依存して解釈される.

- (7) Alex did not know that Kim wrote a paper<sub>i</sub>, and reviewed it<sub>i</sub>.

しかし, (8)に示すように, 投射を引き起こす表現に対して代名詞が構造的に高い位置にある場合, BVA解釈は容認されない. この結果は, 量化詞の場合((1) vs. (2))に見られた非対称性と相似している.

- (8) \*Its<sub>i</sub> reviewer didn't know that Kim wrote a paper<sub>i</sub>.

仮に投射がQRやwh移動と同様の統語的移動により生じる現象なのであれば, (8)でBVAが生じないことは制約(4)によって説明できる. しかし, 投射を統語的移動によって分析することは, 以下の理由から現実的ではない. 移動操作には, 特定の環境の中から外へ要素を動かすことができないという**島の制約 (island constraint)** [9]がある. 例えば条件節はそのような環境の一種とされており, 実際(9a)では *every student* が *if* よりも高いスコープを取るような逆スコープ解釈は存在しない. 仮に投射もQRやwh移動と同様の移動を伴うのであれば, (9b)において *that* 節の内容は条件節に埋め込まれて解釈されるはずだが, 実際はそうではなく, (6a)や(6b)の場合と同様に投射する.

- (9) a. If every student comes, then the professor will be surprised. (\* $\forall > \text{if}$ )  
b. If Alex knows that Kim wrote a paper, then he will probably read it.

まとめると, (i) 投射的内容に関しても交差効果が生じるが, (ii) 投射がQRやwh移動と同様の統語的移動の結果生じるとは考えられない. このため, (4)のような制約だけでは, 投射における交差効果を説明するために別の仮定が必要となり, 説明の統一性の観点から望ましくないという問題が生じる.

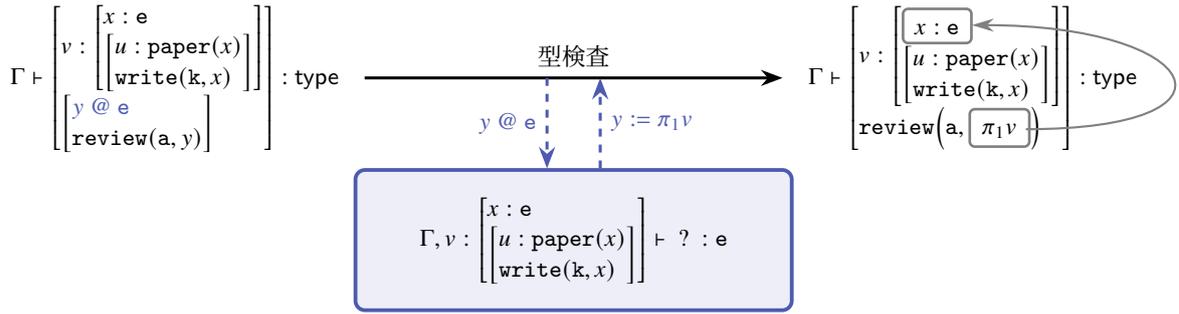


図2 (11a)の意味表示に対する型検査の概観。

### 3 型による意味表示

本節では、本研究がベースとする枠組みであるDTSの概要を説明する。DTSはいわゆるカーリー・ハワード同型対応に基づいており、命題（とその証明）を型（とその項）に対応付ける[10]。例えば存在量化  $\exists x \in A. B$  は、 $\Sigma$  型  $(x : A) \times B$  という一般化された直積型によって表現される。この型の要素は  $a : A, b : B[x := a]$  を満たす組  $\langle a, b \rangle$  であり、 $a$  は  $\exists x \in A. B$  の証拠となる対象に、 $b$  は  $a$  が  $B$  を満たすことの証明に相当する。また、 $x$  が  $B$  に自由変数として含まれない場合、この型は連言  $A \wedge B$  に対応する。具体例として(10a)を考えると、これは意味表示(10b)に変換できる（ $e$  は entity の略記である）。

- (10) a. Kim wrote a paper.  
 b.  $(x : e) \times ((u : \text{paper}(x)) \times \text{write}(k, x))$

型を意味表示に使うことの利点として、照応に伴う命題間の依存関係が適切に表現できることが挙げられる。例えば(11a)におけるBVA解釈は、(11b)により表現できる（以下では、紙面の都合により  $(x : A) \times B$  を  $\left[ \begin{smallmatrix} x : A \\ B \end{smallmatrix} \right]$  と表記することがある）。

- (11) a. Kim wrote a paper<sub>*i*</sub>, and Alex reviewed it<sub>*i*</sub>.

b.  $\left[ \begin{smallmatrix} x : e \\ u : \text{paper}(x) \\ \text{write}(k, x) \\ \text{review}(a, \pi_1 v) \end{smallmatrix} \right]$

ここで  $\pi_1$  は組  $\langle a, b \rangle$  の第一要素  $a$  を取り出す関数であり、(11b)に補助的に付した矢印が示す通り、 $\pi_1 v$  は  $x : e$  に相当する。これにより、代名詞 *it* が量化詞 *a paper* に依存していることを適切に表現できる。

代名詞を伴う文を(11b)のような具体的な意味表示へと変換するために、DTSは中間的なステップを仮定する。具体的には、代名詞の意味は**未指定型 (underspecified type)**  $(x @ A) \times B$  という特殊な型に

よって表現される。例えば(12a)の意味表示(12b)は、 $y @ e$ の部分によって、型  $e$  を持つ対象（代名詞の参照先）が未指定であることを示している。

- (12) a. Alex reviewed it.  
 b.  $(y @ e) \times \text{review}(a, y)$

このような未指定の要素は、文脈情報によって解消される。DTSはこの過程を、**型検査 (type checking)** という操作によって実現する。型検査は、意味表示  $A$  が型環境  $\Gamma \equiv x_1 : A_1, \dots, x_n : A_n$  のもとで型として well-formed であることを ( $\Gamma \vdash A : \text{type}$ ) を確認する(図2に(11a)の場合を例示する)。この計算は型の各部分が well-formed であることを、スコープが高い方から低い方へと順に確認する。そして、この過程で  $x @ A$  が見つかった場合、 $A$  に属する項をその時点での型環境から構築することが要求される。図2ではこの条件を中央下の箱に示してあり、この場合可能な解として  $\pi_1 v$  が見つかる。これを未指定型の変数と置換することにより、求める最終的な意味表示が得られる。

[7]は、この照応解決の機構から交差効果が説明できることを示した。例えば(13a)の意味表示(13b)では、未指定型が全称量化に相当する型  $(x : e) \rightarrow \dots$  のスコープ内にあるため、 $y @ e$  に相当する項を探索する際に  $x$  を解とすることができる。一方(14a)の意味表示(14b)では、未指定型の方が高いスコープを取るため、 $y @ e$  を解決する時点ではまだ  $x$  が型環境に追加されていない。これにより、(14a)においてBVA解釈が不可能であることが予測される。

- (13) a. Every girl loves her mother.  
 b.  $(x : e) \rightarrow (u : \text{girl}(x)) \rightarrow \left[ \begin{smallmatrix} y @ e \\ \text{love}(x, \text{mother}(y)) \end{smallmatrix} \right]$
- (14) a. Her mother loves every girl.  
 b.  $\left[ \begin{smallmatrix} y @ e \\ (x : e) \rightarrow (u : \text{girl}(x)) \rightarrow \text{love}(\text{mother}(y), x) \end{smallmatrix} \right]$

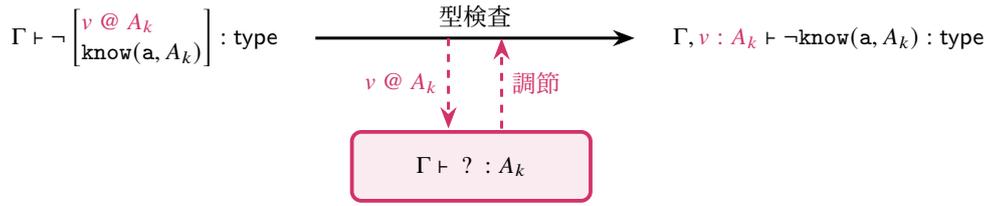


図3 (6a)の意味表示に対する型検査の概観. ただし  $A_k$  は(10b)の略である.

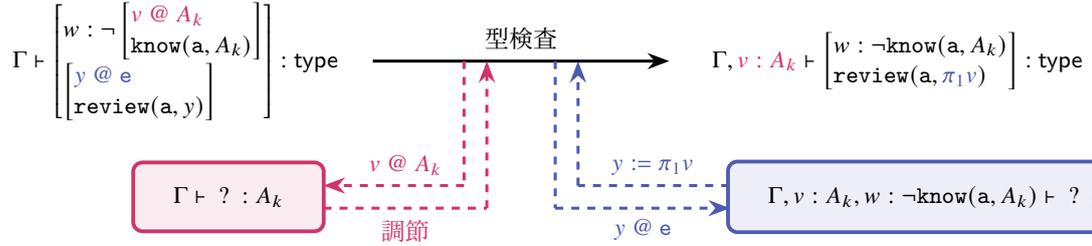


図4 (7)の意味表示に対する型検査の概観.

## 4 提案

一般化交差効果を説明するためには、まず投射の分析を与える必要がある。本稿では、DTSに基づく先行研究 [7] に従い、投射の内容は未指定型で表現されると仮定する。その上で、未指定型の型検査に関して以下の操作を提案する。

- (15)  $\Gamma \vdash (x @ A) \times B : \text{type}$  の型検査で  $\Gamma \vdash M : A$  を満たす項  $M$  が見つからない場合、この型検査の結果を  $\Gamma, x : A \vdash B : \text{type}$  に置換する。

これは、聞き手が話し手の意図を推測して自身の想定を更新する**調節 (accommodation)** [11, 12] という操作に相当する。<sup>2)</sup> 先行研究 [7] はすでに調節の定義を与えているが、ここでの提案 (15) は調節を型検査の途中で行う点で新規であり、かつこの特徴が交差効果を説明する上で重要となる。

まず、(15) が投射を扱えることを確認する。例として (6a) を考えると、その意味表示の型検査は図3のように進む (以下では *Kim wrote a paper* の意味表示 (10b) を  $A_k$  と略す)。調節により  $v : A_k$  が型環境に追加された結果、 $A_k$  は否定のスコープの外に出るため、確かに投射の振る舞いが予測できる。

次に、(15) が投射的内容による BVA を可能とすることを確認する。(7) を例にとると、型検査は図4のように進む。まず、図3と同様に  $v : A_k$  が型環境に追加される。その後、 $y @ e$  の参照先が探索され、

その際  $\pi_1 v$  が解となる。これにより、*it* が *a paper* に依存する意味表示が導出される。

最後に、(15) から投射に関する交差効果が予測されることを確認する。(8) の意味表示 (16) では、代名詞に対応する未指定型が、投射の内容に対応する未指定型より高いスコープをとっている。そのため、図4の場合とは異なり、調節が行われる前に代名詞の参照先が探索され、 $y$  を置換する際に  $v : A_k$  を使うことができない。よって、(8) では BVA 解釈が容認不能であることが正しく予測される。

$$(16) \left[ \begin{array}{l} y @ e \\ \neg [v @ A_k, \text{know}(\text{rev}(y), A_k)] \end{array} \right]$$

## 5 おわりに

本稿は、依存型意味論を用いて一般化交差効果を分析した。本分析のもとでは、量化詞・投射の内容のそれぞれについて、交差効果が生じる状況は以下のようなになる (> は型検査の順序を表す)。

- (17) a. 代名詞 ( $y @ e$ ) > 量化詞 ( $x : A$ )  
 b. 代名詞 ( $y @ e$ ) > 投射の内容 ( $x @ A$ )

本稿の提案 (15) は、投射の内容の調節が型検査の途中で生じるということであった。その結果、(17) のどちらのケースについても、「照応解決はまだ型検査されていない内容を参照できない」という単一の制約から BVA の容認不能性を導くことができた。今後の課題として、ここで分析を与えていない種類の交差効果に取り組むことが挙げられる。

2) なお、代名詞の指示対象などは調節の対象とならないため [13]、(15) の適用範囲は適切に限定する必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は JST さきがけ JPMJPR21C8, JSPS 科研費学術変革領域研究 (B) 「ナラティブ意識学」 JP24H00809, JST CREST JPMJCR20D2 の支援を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Ken Safir. Weak crossover. In **The Wiley Blackwell Companion to Syntax, Second Edition**, pp. 1–40. John Wiley & Sons, Ltd, 2017.
- [2] Tanya Reinhart. **Anaphora and Semantic Interpretation**. Routledge, 1983.
- [3] Daniel Büring. Crossover situations. **Natural Language Semantics**, Vol. 12, No. 1, pp. 23–62, 2004.
- [4] Gennaro Chierchia. Origins of weak crossover: when dynamic semantics meets event semantics. **Natural Language Semantics**, Vol. 28, No. 1, pp. 23–76, 2020.
- [5] Patrick D Elliott and Yasutada Sudo. Generalised crossover. In **Semantics and Linguistic Theory**, Vol. 30, pp. 396–408, 2021.
- [6] Daisuke Bekki and Koji Mineshima. Context-passing and underspecification in dependent type semantics. In Stergios Chatzikyriakidis and Zhaohui Luo, editors, **Modern Perspectives in Type-Theoretical Semantics**, pp. 11–41. Springer International Publishing, 2017.
- [7] Daisuke Bekki. A proof-theoretic analysis of weak crossover. In **New Frontiers in Artificial Intelligence: JSAI-isAI 2021 Workshops, JURISIN, LENLS18, SCIDOCA, Kansei-AI, AI-BIZ, Yokohama, Japan, November 13–15, 2021, Revised Selected Papers**, pp. 228–241. Springer Nature Switzerland, 2023.
- [8] Robert Carlen May. **The grammar of quantification**. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1977.
- [9] John Robert Ross. **Constraints on variables in syntax**. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1967.
- [10] Peter Dybjer and Erik Palmgren. Intuitionistic Type Theory. In **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**. Metaphysics Research Lab, Stanford University, Spring 2023 edition, 2023.
- [11] David Lewis. Scorekeeping in a language game. **Journal of Philosophical Logic**, Vol. 8, pp. 339–359, 1979.
- [12] Kai von Fintel. What is presupposition accommodation, again? **Philosophical Perspectives**, Vol. 22, No. 1, pp. 137–170, 2008.
- [13] Judith Tonhauser, David Beaver, Craige Roberts, and Mandy Simons. Toward a taxonomy of projective content. **Language**, Vol. 89, No. 1, pp. 66–109, 2013.