θ 役割の型理論的意味論

Type-Theoretic Semantics of θ-Roles

緒方 典裕
大阪大学　言語文化部*

1　序

本稿は、「主題役割 (thematic role)」という言語学上の概念を型理論の枠組みで形式化し、形式的な意味論を与え、自然言語の形式意味論に自然な形で編入することが最終目的である。

主題役割とは、サンスクリットの文法家 Pāṇini の *kārakas*, J. Gruber・R. Jackendoff[10] の *thematic relations*, Ch. Fillmore[9] の *case relations, deep case*、N. Chomsky[5] の θ 役割、日本語研究者における「深層格」、「意味格」というように研究者毎に多用な呼び方を持つが、基本的に次のような種類があることは共有されている：agent(動作を行う者), patient(作用を受ける者), experiencer(何かに気づいている者), theme(その位置・状態などが変化する主体), source(移動の始まるところ), goal(移動の終わるところ), beneficiary(利益を受ける者), location(出来事が起こる・状態が保持されるところ), instrument(行為を行うのに使う物)。

G. Carlson[2] が指摘するように、主題役割は、研究者ごとに次のようなとらえ方の違いがある：

- 動詞の項としての名詞句を保証するための純粋に統語論的なオブジェクトである... [5, 9]
- 統語論と意味論の中間的な表象（語彙概念構造）上のオブジェクトである... [11]
- イベントとイベントの参加者との関係としての純粋に意味論的なオブジェクトである... [7, 8, 4, 1, 13]
- 付帯現象的なものである

本稿では Chomsky の本来の意図とは関係なく、意味論的なオブジェクトとしての主題役割を「θ 役割」と呼ぶことにする[1]。

θ 役割という概念の必要性は、次のような点が考えられる。

(i) 同一のイベントを記述している文や名詞句の間では、格の形式（もしくは統語論的位置）に関係なく、名詞句は述語とある一定の意味的な関係をもつ：[2]

- 受動態の主格=能動態の目的格、等
- 「売る」の主格（「が」）=「買う」の奪格（「から」）〉「買う」の主格=「売る」の与格（「に」）〉等
- 対格言語の主格=能格言語の能格 (=agent)、等

*豊中市待兼山 1-8, email:ogata@lisa.lang.osaka-u.ac.jp, http://lc301.lang.osaka-u.ac.jp

[1] θ 役割が意味論的なオブジェクトであるとの論証については、[2] 参照。

[2] この条件は、Dowty[7] のいう条件 *Independence* に近い:θ 役割はイベントを記述している述語の意味と独立に意味的に特徴付けられる。また、Figure/Ground, Subject, Neutral, Landmark 等の *prespective-dependent* な θ 役割は、同じイベントを記述していても文が違えば、違う θ 役割を与えることも可能であるが、Dowty [8] は *perspective-dependent* な θ 役割はむしろ主語・目的語・話題・焦点などの「文法関係」に近いもので、純粋な θ 役割とはみなせないとしている。本稿もこの議論を支持する。

- 格形式 (特に、属格や日本語では「の」) の多義性など。

(ii) (不定詞や名詞の主語、省略などの) 暗黙の対象を決定する (「control」といわれる) のに「θ 階層」といわれる θ 役割の順序が用いられる :

- (Theme/Patient) > Location > Source > Goal > Experiencer > Agent

(iii) 可能なイベント型を規定できる :[3]

- ひとつの文や名詞句内において、同じ θ 役割をあらわす同じ形式の格が二つ以上現れることはない (「*田中さんが山田さんが喧嘩した」)
- (少なくとも agent や theme を除いて) ひとつの θ 役割が二つ以上の違う格で現れることはない (「田中さんに食べ物を犬とあげた」$\neq$「田中さんと犬に食べ物をあげた」)

2 形式意味論における θ 役割の扱い

2.1 Neo-Davidson 的意味論

θ 役割を自然言語の形式意味論にとりいれようという試みは、Davidson 的イベント論理 [6] を拡張した「*Neo-Davidsonian*」意味論 [13, 14, 15, 1, 2] によって達成された。Neo-Davidsonian 意味論では、θ 役割は、イベントの存在量化のもと、イベントからイベントの参加者である個体・時間・空間への部分関数として次のように形式化される。

(1) a. 田中は佐藤に加藤を紹介した。

b. 佐藤は田中から加藤を紹介された。

c. 加藤は田中によって佐藤へ紹介された。

d. 佐藤は田中に加藤を紹介してもらった。

e. 田中による佐藤への加藤の紹介があった。

f. $\exists e(Agent(e) =$ 田中 $\wedge Source(e) =$ 田中 $\wedge Goal(e) =$ 佐藤 $\wedge Theme(e) =$ 加藤 $\wedge$ 紹介 $(e))$

(1a-1e) が同一の式 (1f) に翻訳されるということは、θ 役割の必要性 (i) を具現している。また、θ 役割がイベントからその参加者への部分関数となっていることは、θ 役割の必要性 (iii) を具現している。さらに、つぎの (2a) から (2b) への推論のような項の操作を伴う推論も自然に具現できる。

(2) a. 田中は佐藤に加藤を自分に紹介させた。

b. 佐藤は加藤を田中に紹介した。

c. e : $cause(e_1, e_2), Agent(e_1) =$ 田中, 紹介 $(e_2), Agent(e_2) =$ 佐藤 $, Source(e_2) =$ 佐藤, $Theme(e_2) =$ 加藤, $Goal(e_2) =$ 田中 $\vdash$ 紹介 $(e_2) \wedge Agent(e_2) =$ 佐藤 $\wedge Source(e_2) =$ 佐藤 $\wedge Theme(e_2) =$ 加藤 $\wedge Goal(e_2) =$ 田中

また、(3) のような項を抽出するような推論も (4) のように自然に具現される。

(3) a. 都内で田中が佐藤に殺害された。
その犯人は佐藤だ。

b. 都内で田中が佐藤に殺害された。
その犯行現場は都内だ。

[3] この条件は Dowty [7] のいう条件 *Completeness*(すべての項は何らかの θ 役割を担う)、*Distinctness*(述語の各項は互いに区別される θ 役割を担う) に近い。

c. $\dfrac{\text{都内で田中が佐藤に殺害された。}}{\text{その被害者は田中だ。}}$

(4) a. $\dfrac{\text{殺害}\,(e) \wedge Agent(e) = \text{佐藤} \wedge ...}{Agent(e) = \text{佐藤}}$

b. $\dfrac{\text{殺害}\,(e) \wedge Loc(e) \subseteq_L \text{東京都} \wedge ...}{Loc(e) \subseteq_L \text{東京都}}$

c. $\dfrac{\text{殺害}\,(e) \wedge Patient(e) = \text{田中} \wedge ...}{Patient(e) = \text{田中}}$

ただし、$\subseteq_L$ は空間的包含関係を表す。

このように neo-Davidsonian semantics は θ 役割の記述にとても相性がいい。しかし、メタ的に一階述語論理で記述するために、自然言語の型理論に θ 役割は反映されないという問題がある。また、θ 役割の概念自体に分類基準や種類の列挙可能性といった well-definedness の問題がある。D. Dowty は θ 役割の well-definedness に懐疑的である。次の説では、D. Dowty の θ 役割の形式意味論を紹介する。

2.2 Dowty の θ 役割構成

D. Dowty[7, 8] では、従来の agent/theme/... といったディスクリートな θ 役割は定義できないとし、むしろ各述語に依存した個別 θ 役割 (individual thematic role) と連続的な θ 役割型のみが定義でき、特に proto-Agent と proto-Patient という θ 役割型を定義するのがよいとする。

個別 θ 役割　述語 δ とその項のインデックス i が与えられたとき、次のように定義される $\theta(\delta, i)$ を「個別 θ 役割」という。

$$\theta(\delta, i) = \{\alpha | \Box(\delta(\vec{x}) \rightarrow \alpha(x_i))\}$$

例　read-ee 役割は次のように定義される。

$$\theta(read, 2) = \{\alpha | \Box(read(x_1, x_2) \rightarrow \alpha(x_2))\}$$

cf. Pustejovsky[16] の *qualia*。

θ 役割型　n 項述語の集合 $Pred^n$ の部分集合 X が与えられたとき、X 上の θ 役割型 τ_X は次のように定義される。

$$T_X = \{\theta(\delta, i) | \delta \in X \subseteq Pred^n, i \in \{j | j \leq n\}\}$$

$$\tau_X = \bigcap T_X$$

L-θ 役割型　θ 役割型の中で言語学的に有意義なもの (Agent, Theme, Source, Goal, etc.) を L-θ 役割型という。しかし、これらは実際には連続的であり、明確な区別や種類の定義は不可能であるとする。たとえば、theme は少なくとも次の下位 θ 役割型をもつとできる。

- incremental theme:作用の対象 (e.g. 論文を書く)
- holistic theme:位置が変化するが必ずしも最終地には到達する必要はない対象 (e.g. パリに向かう)
- source theme:それ自体は作用を受けないがある意味でそれを含む対象 (絵やフロッピディスク等) が作用を受ける対象 (e.g., ファイルをフロッピーにコピーする)

例　Agent 役割は次のように定義される。$Agent = \{\alpha | \Box(kill(x_1, x_2) \rightarrow \alpha(x_1)), \Box(kick(x_1, x_2) \rightarrow \alpha(x_1)), ...\}$

Proto-Agent/Proto-Patient　D. Dowty[8] は θ 役割型のプロトタイプとして、proto-Agent と proto-Patient を、語彙的意味の獲得ときのデフォルトとして機能するものとして、また、どうして自動詞の unergative/unaccusative の区別が生じるかの説明として、提案している。

2.3 θ 役割を指示する名詞

D. Dowty[7, 8] の議論には基本的に賛成できるが、しかし、一方で、(3) のような推論は自然

であり、「犯人」「犯行現場」などの個々のイベントに関連して意味付けられる θ 役割を指示すると考えられる次のような名詞の存在などは、あるきめの細かさの θ 役割を議論することが意味論的に有意義であることを示している。

(5) a. Agent:犯人、支払い人、異義申立て人、弁護人、目撃者、参加者、走者、奏者、演者、生産者、講師、ナレーター、話者、経営者、打者、起業者、通学者、殺人者、契約履行者、話し手、担い手、防ぎ手、食い手、救い手、雇い主、出場選手; 演出、出演、実況中継、お話、演奏、作曲、編曲、歌詞[4]...

b. Theme:容疑内容、演目、お話、候補、選択肢、投資物、委託物、患者、失業者、落選者、預かり者、雇用者、...

c. Patient:被害者、攻撃先、攻撃地、投下地、著作物、著作、...

d. Location:犯行現場、住所、目撃地点、...

e. Source:出発地点、出典、移転前の住所、出撃地、発射地、送り手、送り主、発信元、...

f. Goal:集合場所、目的地、ゴール、移転先、宛、宛先、差し出し先、提出先、届先、さばけ口、売れ口、売り先、行く先、送先、支払い先、立ち退き先、嫁ぎ先、取り引き先、配送先、発送先、振込み先、使い先、立ち回り先、輸出先、受け取り手、預かり手、預かり主、受け手、...

g. Instrument:移動手段、...

これらの名詞や名詞の用法の指示対象は、(4) のように関係した特定のイベントが定まらないと決定できず、これらの名詞の指示対象はイベントから対象への部分関数であるといえる。逆に、ひとつのイベントに対して割り当てることができる二つのイベントタイプ「送る」と「受け取る」から、割り当て先のイベントを同定する役割として、「送り先」=「受け手」といった θ 役割の同定がある。これは、イベント同定基準としてつぎのように述べられる。

(6) $e \cong e'$ iff すべての e に対して定義可能な θ_i に対して、$\theta_i(e) = \theta_j(e')$ である e' に対して定義可能な θ_j が存在し、かつ、その逆も成り立つ ($i = j$ もしくは $i \neq j$)

このようにして、(i)θ 役割を指示する名詞が存在する、(ii)θ 役割の同定を通じて異なるイベントタイプをもつイベントを同定できる、という二点から、proto-θ role-type でなくても、想定するに有意義である θ 役割型があるといえる。

3 自然言語の型理論

もっとも代表的な自然言語の形式意味論である Montague 文法では、自然言語の各表現とその意味に基本型 e (entity), t (truth value) と型構成子 $\rightarrow$ から構成されるシンプルな型を与えている。名詞句は $(e \rightarrow t) \rightarrow t$、他動詞は $e \rightarrow (e \rightarrow t)$、自動詞・形容詞は $e \rightarrow t$ であり、θ 役割を表現できる余地はない。しかし、Ranta[18, 17, 19] では、Martin-Löf の依存型理論 (type theory with dependent types) に基づき、型によって論理表現を与えている。たとえば、(7a) は (7b) のような型表現が与えられる。[5]

(7) a. 田中は佐藤に加藤をあずけた。

b. $(\Sigma x : \text{田中}.\Sigma y : \text{佐藤}.\Sigma z : \text{加藤}.\text{あずけ}\ (x)(y)(z)) : prop$

[4]「；」の後の名詞は講演・劇などのプログラムにおける用法である。

[5][18] では固有名は、たとえば「田中」に対して「人:set」のような型が与えられ、量化表現に対して「$\Pi y : set.\Pi z : (\Pi x : y.prop).prop$」が与えられる。しかし、本稿では Montague-Barwise-Cooper の「名詞句 = 一般化量化子」というパラダイムを取り入れ、固有名「田中」も $(\lambda y : (\Pi z : \text{田中}.prop).\Sigma x : \text{田中}.yx) : (\Pi y : (\Pi z : \text{田中}.prop).prop)$ という型を与えている。

また、「イベント = 命題の証明」として、イベント e を導入した (7b) から (8a) を導出する。ここから、型推論 (8b) によって各項をオブジェクトとして (8c) のように導出できる。

(8) a. $e : (\Sigma x : \text{田中}.\Sigma y : \text{佐藤}.\Sigma z : \text{加藤}.\text{あずけ}\ (x)(y)(z))$

b. $$\frac{e : (\Sigma x : A.B)}{\pi_1(e) : A} \qquad \frac{e : (\Sigma x : A.B)}{\pi_2(e) : B[\pi_1(e)/x]}$$

$$(\pi_1(e), \pi_2(e)) = e$$

c. $\pi_1 e$: 田中, $\pi_1\pi_2 e$: 佐藤,
$\pi_1\pi_2\pi_2 e$: 加藤

すなわち、イベントは個体の tuple とみなされる。そして (8c) のように、イベントから個体への関数としての θ 役割は π_1, π_2 という投射関数から自然に定義できるという利点がある。しかし、イベントを個体の tuple とみなすのは、次のようなきめの細かいイベントの区別をするには不充分である。

(9) a. (田中, 佐藤, 加藤) : 渡す

b. (田中, 佐藤, 加藤) : あずけている

c. (田中, 佐藤, 加藤) : 引き取る

d. (田中, 佐藤, 加藤) : あずける

たとえば、「田中は佐藤に加藤をあずけた」ということがあるというイベント全体は (9d) で表現されるが、そのイベントには「田中が佐藤に加藤を渡す」-「田中が佐藤に加藤をあずけている」-「田中が佐藤から加藤を受け取る」という異なる部分イベントの系列をもち、(9a-9c) であらわされるが、個体列としてはどれも同一である。[6]

依存型型理論の利点を残しつつ、「イベント」「θ 役割」をとらえるために、次の節では、個体ではないオントロジーを導入し、それに基づいた「イベント」「θ 役割」のための依存型型理論を展開する。

4 stage によるイベントタイプと θ 役割の定義

「個体」よりきめの細かいオントロジーとして、[3] では *stage*, *individual*, *kind* という概念が体系的に導入された。stage と individual の対立は、次のような文間の推論の問題で現れる。

(10) a. ここの気温は２６度だ。

b. ここの気温が上昇した。

c. ＊２６度が上昇した。

(10a) と (10b) から (10c) を推論することはできない。Montague [12] では *individual concept* と individual を内包論理の体系内で区別してこの問題を回避した。Montague の内包論理では、individual concept はインデックス (可能世界と時間の対) から個体への関数である。一般に温度はつぎのような関数として定義できるので (ただし、L は場所、T は時間 :

$$\text{温度} \equiv L \to T \to \mathbb{Q}$$

(10a) の「気温」は温度の部分型として定義できる。すなわち、依存型型理論では:

(11) 気温 $\leq (\Pi y : L.\Pi z : T.\mathbb{Q})$

ここで場所をある地点 l に固定したとすると、上の関数「F : 気温 $(l) \leq (\Pi z : T.\mathbb{Q})$」は気温変化のグラフ $\{(t_0, 23\text{ 度}), (t_1, 23.5\text{ 度}), ...\}$ として表現できる。Carlson の individual としての「気温」はこのグラフに相当し、各時点での温度が stage に相当する。つまり、(10a) の「気温」は stage、(10b) の「気温」は individual をあらわしていることになり、型が違うため、上記のような推論は阻止される。依存型型理論では、

[6] このことは、個体列に時点や位置を加えても同じである。

(10) があらわす命題を次のように導出できるように定義できる。

(12) a. だ $[\mathbb{Q}] \equiv (\lambda y : \mathbb{Q}.\lambda x : \mathbb{Q}.eq_{\mathbb{Q}}(x,y)) : (\Pi y : \mathbb{Q}.\Pi x : \mathbb{Q}.prop)$

b. 26 度 $\equiv 26 : \mathbb{Q}$

c. ここの気温 $\equiv (\lambda x : (\Pi y : \mathbb{Q}.prop).\Sigma y :$ 気温 $(l)(t).xy : (\Pi x : (\Pi y : P.prop).prop)$

$$\dfrac{(12c)\quad \dfrac{(12a) \qquad\qquad 26 : \mathbb{Q}}{(\lambda x : \mathbb{Q}.eq_{\mathbb{Q}}(x,26))) : (\Pi x : \mathbb{Q}.prop)}}{(\Sigma x : \text{気温 } (l)(t).eq_{\mathbb{Q}}(x,26)) : prop}$$

(13) a. ここの気温 $\equiv (\lambda x : (\Pi P : type \to type.\Pi y : P.prop).\Sigma F :$ 気温 $(l).xF$ 気温 $(l) : (\Pi x : (\Pi P : type \to type.\Pi y : P.prop).prop)$

b. 上昇 $\equiv (\lambda P : type \to type.\lambda x : P.\Sigma u : T.\Sigma w : (\Sigma v : T.u \precsim_T v).(x\pi_1 w <_{PT} xu)) : (\Pi P : type \to type.\Pi x : P.prop)$

$$\dfrac{(13a) \qquad\qquad (13b)}{(\Sigma F : \text{気温 } (l).\text{上昇 } [\text{気温 } (l)]) : prop}$$

ただし、$P = (\Pi y : T.\mathbb{Q})$、$<_{\mathbb{Q}}$: $\mathbb{Q} \times \mathbb{Q}$ は線形順序、$s \precsim_T t$ は s の直後に t があるという時間的順序。

得られるそれぞれの式から次の式が導出される。

(14) a. $e_1 : (\Sigma x : \text{気温 } (l)(t).eq_{\mathbb{Q}}(x,26))$

b. $e_2 : (\Sigma F : \text{気温 } (l).\Sigma w : (\Sigma v : T.u \precsim_T v).(F\pi_1 w <_{\mathbb{Q}} Fu))$

(14a) から導出される $\pi_1(e_1)$: 気温 $(l)(t)$ は l の気温もしくは場所 l の気温という観点からの stage である。一方、(14b) から導出される $\pi(e_2)$: 気温 (l) は stage ではなく individual であり、この二つの stage を含む「ここの気温」は「変化の主体」という意味で theme である。また、「変化」は、各 stage x,y に対して、$x < y$ にも含意される $x \neq y$ で定義できるので、この議論を一般化して、theme を次のように定義できる。

(15) a. $Theme(e) = \pi_1(e)$ if $\pi_2(e) : T[\pi_1(e)]$ and $T \leq Change$

b. $Change \equiv \lambda x : type \to type.\Sigma F : x.\Sigma w : (\Sigma v : T.u \precsim_T v).F(\pi_1 w) \neq_{xT} F(u)) : (\Pi x : type \to type.prop)$

4.0.1 Source と Goal

「移動」もまた異なる二つの stage を含むため、次のように、第一項が theme として定義できる。

(16) $(\Sigma x : A.\Sigma y :$ 場所$.\Sigma z :$ 場所$.$移動$) \equiv (\Sigma x : A.\Sigma y :$ 場所$.\Sigma z :$ 場所$.\Sigma w : (\Sigma v : T.u \precsim v).loc(x)(\pi_1 w) \neq_{\text{場所}} loc(x)(u) \wedge eq_{\text{場所}}(loc(x)(u), y) \wedge eq_{\text{場所}}(loc(x)(\pi_1 w), z)) : prop$

ただし、loc : 個体 $\to$ 時間 $\to$ 場所。さらに、(16) をもとに「移動」からは次のように Source, Goal が定義できる。

(17) a. $Source(e) = \pi_1(e)$ if $\pi_2(e) : T[\pi_1(e)]$ and $T \leq (\Sigma z : L.$移動$)$

b. $Goal(e) = \pi_1(e)$ if $\pi_2(e) : T[\pi_1(e)]$ and $T \leq$ 移動

4.1 Agent と Patient

Agent と Patient が典型的にあらわれるつぎの文を考えてみよう。

(18) a. 田中は佐藤を殺害した。

b. $(\Sigma x :$ 田中$.\Sigma y :$ 佐藤$.$殺害 $[x,y]) : prop$

(18a) は、概略 (18b) のような型理論的表現であらわされるが、「殺害 $[x, y]$」はさらに次のように定義できる。

(19) 殺害 $[x, y] \equiv (\Sigma u : T.\Sigma w : (\Sigma v : T.u <_T v).(cause(x, state(y, \pi_1 w)) \wedge eq_{状態}(state(y, \pi_1 w), 死亡) \wedge eq_{状態}(state(y, u), \neg 死亡)) : prop$

ただし、$state$: 個体 $\rightarrow$ 時間 $\rightarrow$ 状態。すると、$\lambda x.$殺害 $[x, y] \leq Change$ であるので y は theme であることが導かれる。さらに $state$ の値を一般化すると次のような型が定義できる。

(20) $CauseChange[x, y] \equiv (\Sigma u : T.\Sigma w : (\Sigma v : T.u <_T v).(cause(x, state(y, \pi_1 w)) \wedge eq_S(state(y, \pi_1 w), s) \wedge eq_S(state(y, u), \neg s)) : prop$

この型を用いて、Agent、Patient は次のように定義できる。

(21) a. $Agent(e) = \pi_1(e)$ if $\pi_2(e) : T$, $T \leq (\Sigma x : T'.Cause_Change[\pi_1(e), y])$, $\pi_1(e) : T_2$ and $T_2 \leq person$,

b. $Patient(e) = \pi_1(e)$ if $\pi_2(e) : T$, $T \leq Cause_Change[x, \pi_1(e)])$

この型の定義で上述の通り、Patient は同じに Theme でもあることも導かれる。

5 終わりに

本稿は、θ 役割の型理論における形式化が目的であった。θ 役割は Dowty [7, 8] が主張するように連続的に分類される意味的なカテゴリーであるので、本稿で触れることができた Agent, Theme, Patient, Source, Goal はほんの一部の、しかも、典型例でしかない。しかし、本稿で論じたように、stage を基準としたイベント型の階層構造を与え、そのイベント型から項への関数として型理論内で θ 役割は定義できると考えられる。さらに、(5) のような θ 役割を指示する名詞の意味論やそれを含んだ (3) のような推論もまたこの枠組みの中で自然に扱うことができると考えられる。

参考文献

[1] Greg Carlson. On the role of thematic roles in linguistic theory. *Linguistics*, 22:259–279, 1984.

[2] Greg Carlson. Thematic roles and the individuation of events. In Susan Rothstein, editor, *Events and Grammer*, pages 35–51. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.

[3] Greg N. Carlson. *Reference to Kinds in English*. PhD thesis, University of Massachusetts, 1977. published by Garland Publishing, New York, 1980.

[4] Gennaro Chierchia. Structured meanings, thematic roles and control. In Gennaro Chierchia, Barbara Hall Partee, and Raymond Turner, editors, *Property, Types and Meaning, Volume II: Semantic Issues*, pages 131–166. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1989.

[5] Noam Chomsky. *Lectures on Government and Binding*. Foris, Dordrecht, 1981.

[6] Donald Davidson. *Essays on Actions and Events*. Clarendon Press, Oxford, 1980.

[7] David Dowty. On the semantic content of the notion of 'thematic role'. In Gennaro Chierchia, Barbara Hall Partee, and Raymond Turner, editors, *Property, Types and Meaning, Volume II: Semantic Issues*, pages 69–129. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1989.

[8] David Dowty. Thematic roles and argument selection. *Language*, 67(3):547–619, 1991.

[9] Charles J. Fillmore. The case for case. In E. Bach and R. T. Harms, editors, *Universals in Linguistic Theory*, pages 1–90. Holt, Rinehart & Winston, New York, 1968.

[10] Ray Jackendoff. *Semantic Interpretation in Generative Grammar*. The MIT Press, Cambridge, 1972.

[11] Ray Jackendoff. *Semantics and Cognition*. The MIT Press, Cambridge, 1983.

[12] Richard Montague. *Formal Philosophy: Selected Papers of Richard Montague (ed. by Richmond Thomason)*. Yale University Press, New Haven, 1974.

[13] Terence Parsons. Modifiers and quantifiers in natural language. *Canadian Journal of Philosophy*, VI:29–60, 1980.

[14] Terence Parsons. Underlying events in the logical analysis of english. In Ernest LePore and Brian

McLaughlin, editors, *Actions and Events: Perspectives on the Philosophy of Donald Davidson*, pages 235–267. Basil Blackwell, Oxford, 1985.

[15] Terence Parsons. *Events in the Semantics of English: A Study in Subatomic Semantics*. The MIT Press, Cambridge, 1990.

[16] James Pustejovsky. *Generative Lexicon*. The MIT Press, Cambridge, 1995.

[17] Aarne Ranta. *Type-Theoretical Grammar*. Oxford University Press, Oxford, 1994.

[18] Aarne Ranta. Type theory and the informal language of mathematics. In Henk Barendregt and Tobias Nipkow, editors, *Types for Proofs and Programs*, pages 352–365. Springer, Berlin, 1994.

[19] Aarne Ranta. Syntactic categories in the language of mathematics. In Peter Bybjer, Bengt Nordstöm, and Jan Smith, editors, *Types for Proofs and Programs*, pages 162–182. Springer, Berlin, 1995.