自 然 言 語 処 理 127－26
(1998. 9. 18)

談話表示に基づいたテキストコネクティング
Towards Inter-text Connecting based on Discourse Representations

緒方 典裕 Norihiro Ogata*
日本学術振興会特別研究員 Research Fellow of JSPS

要旨: 本稿では、談話表示理論に基づいたテクスト・コネクティングの手法を提案する。本手法では、テクスト間のコネクションはそのテクストの談話表示構造の埋め込み可能性として定義される。本手法は語彙的な前提やイベントに関する世界知識とインタラクトした推論を導入することができ、コネクションの種類をユーザーが定義することもできる。

Abstract. A Discourse Representation Theory-based method of connecting of relative texts is proposed. The connection can be defined as embeddability between the Discourse Representation Structure of each text. This method can not only introduce inference interacting with lexical knowledge like lexical presupposition or implicature into the inter-text connecting, but also world knowledge about events. This property makes us specify the kind of connection between texts.

1 序

本稿では、[4, 6, 5, 1, 2] に代表される談話表示の研究に基づいたテキスト間の多様なコネクティングの手法を提案する。談話表示は、(a) 語彙の持つ前提やインプリカチャ、(b) 談話や領域特定性に関連した知識、を通して、知識ベース (特にイベント計算系 [7, 8]) とインタラクションすることが可能である。このことから、談話表示と知識ベースのインタラクションから新たな表示を構成することができ、それに対して、他のテキストを検索する問い合わせの役割を与えることにより、ユーザーが意識しないが関連性のあるテキストや「因果関係・時間的先行関係」などの明確な検索意図の対象を検索することが可能となる。新たに構成された談話表示の問い合わせの機能は、テキスト間のコネクティングをその談話表示間の「埋め込み可能性 (embeddablity)」によって定義することによって与えられる。

*ogata @ is.s.u-tokyo.ac.jp

2 談話表示の理論

まず、談話表示構造の各定義と「埋め込み可能性」の定義を行う。

2.1 談話表示構造

談話表示構造の構成アルゴリズム 談話表示構造は、つぎのような「構成アルゴリズム」によって、構文解析済みの文からなる談話から構成される。

DRS Construction Algorithm	
Inputs:	a discourse $S_1, \ldots, S_i, S_{i+1}, \ldots, S_n$ the empty DRS $K = (\emptyset, \emptyset)$
For $i = 0, \ldots, n$	$Con_K := Con_K \cup \{[S_i]\}$, where $[S_i]$ is the syntactic analysis of sentence S_i; Until Con_K contains only irreducible conditions, keep on applying construction rules to each reducible condition $\varphi \in Con_K$; $i := i + 1$;

ここで適用される各「構成規則」については [4] を、特に日本語に関しては [9] を参照せよ。

談話表示構造の統語論　談話指示対象$\alpha, x, e, r \in DR$ (x は個体談話指示対象、e はイベント類談話指示対象 (特にそのうちの状態談話指示対象を s で表すことがある)、r は時空間談話指示対象、αは談話指示対象一般)、固有名記号$\nu \in Name$、および述語記号 $\pi \in Pred$ が与えらたとき、談話表示構造 K は次のように定義される。

$$
\begin{array}{rcl}
K & ::= & (dom(K), cond(K)) \\
\alpha & ::= & x|e|r|loc(e) \\
dom(K) & ::= & \{\alpha_i\}_{i \in I(K)} (K \text{ の領域}) \\
cond(K) & ::= & \{\delta_j\}_{j \in J(K)} (K \text{ の条件}) \\
\delta & ::= & \nu(x)|\pi(\alpha_i)_{i<I(\pi)}|e : \pi(\alpha_i)_{i<I(\pi)} \\
 & & |e_1 < e_2|e_1 \subseteq e_2|r_1 < r_2|r_1 \subseteq r_2 \\
 & & |e \subseteq r|c(e, e_1, e_2)|\alpha_1 = \alpha_2|e \subseteq r|K_1 \to K_2
\end{array}
$$

ただし、$c(e, e_1, e_2)$ は、e は e_1が e_2と関係をもつこと自体をあらわすイベントや事態であるということを表す。例えば、e_1が e_2を引き起こしたというイベントが e である場合がその例である。$<$は時間的先行関係、$\subseteq$は時間的包含関係である。

談話表示構造の意味論と埋め込み可能性　モデル $\mathcal{M}$ とは、[4](p.677-678) で示された構造の拡張である

$$(\mathcal{E}, \mathcal{T}, \mathsf{p}, \equiv, U_{\mathcal{M}}, \mathsf{Name}_{\mathcal{M}}, \mathsf{Pred}_{\mathcal{M}}, \mathsf{Fun}_{\mathcal{M}})$$

という構造である。ただし、

- $\mathcal{E}$ はイベント構造 $(E, <, \subseteq, c_E, S)$, $<, \subseteq, c_E$は付録Bの公理を満たし、$S \subseteq E$ は状態の集合、
- $\mathcal{T}$ は時点構造 $(T, <_T)$, $<_T$は線形順序、
- $\mathsf{p} : \mathcal{E} \to Int(\mathcal{T})$, ただし, $Int(\mathcal{T})$ は $\mathcal{T}$ から構成された時区間構造 (付録Dを参照)、
- $\equiv$は $Int(\mathcal{T})$ 上の次の条件を満たす同値関係
  - $\forall ij((\exists k.i \equiv k \subseteq j) \vee (\exists l.j \equiv l \subseteq i))$,
  - $\forall ijkl((i \subseteq j \equiv k \subseteq l \equiv i) \to i \equiv j)$,
- $U_{\mathcal{M}}$は個体の集合、
- $\mathsf{Name}_{\mathcal{M}} : Name \overset{onto}{\to} U$,
- $\mathsf{Pred}_{\mathcal{M}} : Pred \to pow((U_{\mathcal{M}} \cup E)^{I(\pi)})$、
- $\mathsf{Fun}_{\mathcal{M}}(loc) = \mathsf{p}$

である。モデル $\mathcal{M}$ で談話表示構造 K が真である ($\mathcal{M} \models K$ と書く) とは、$dom(f) = dom(K)$、$rng(f) \subseteq U_{\mathcal{M}}$である関数 $f(dom(K)$ から $\mathcal{M}$ への**埋め込み (embedding)** という) が存在し、f は K を verify する ($f \models K$ と書く) とき、かつ、そのときにかぎる。$f \models K$ は次の条件を満たす最小の関係である。

$f \models K$ iff for all $\delta \in cond(K).f \models \delta$,
$f \models \nu(x)$ iff $f(x) = \mathsf{Name}_{\mathcal{M}}(\nu)$,
$f \models \pi(\alpha_i)_{i<\rho(\pi)}$ iff $(f(\alpha_i))_{i<\rho(\pi)} \in \mathsf{Pred}_{\mathcal{M}}(\pi)$,
$f \models e : \pi(\alpha_i)_{i<\rho(\pi)}$ iff $(f(e), f(\alpha_i))_{i<\rho(\pi)} \in \mathsf{Pred}_{\mathcal{M}}(\pi)$,
$f \models e_1 < e_2$ iff $(\mathsf{p}(f(e_1)), \mathsf{p}(f(e_2))) \in <_{Int(I(\mathcal{E}))}$,
$f \models e_1 \subseteq e_2$ iff $(\mathsf{p}(f(e_1)), \mathsf{p}(f(e_2))) \in \subseteq_{Int(I(\mathcal{E}))}$,
$f \models_f c(e, e_1, e_2)$ iff $(f(e), f(e_1), f(e_2)) \in c_E$,
$f \models \alpha_1 = \alpha_2$ iff $f(\alpha_1) = f(\alpha_2)$,
$f \models_f K_1 \Rightarrow K_2$ iff for all $g \supseteq f$ such that $dom(g) \supseteq dom(f) \cup dom(K_1)$, $g \models K_1$ implies that there is $h \supseteq g$ such that $dom(h) \supseteq dom(g) \cup dom(K_2)$ and $h \models K_2$.

談話表示構造間の埋め込み可能性　談話表示構造 K が談話表示構造 K'に埋め込み可能であるとは、

$dom(\theta) = dom(K)$, $rng(\theta) \subseteq dom(K')$ である関数θが存在し、すべての条件$\delta \in cond(K)$ に対して、$\delta\theta \in cond(K')$ のときで、$K' \models K$ と書き、θを K の K'への埋め込みという。

3 Lexically Driven Inference と埋め込み

語彙項目に直結した推論 (1a) からは、(1b-c) が推論できる。

(1) a. 支店長が中毒症状で桑名病院に入院した。

b. その支店長は中毒症状だ。

Kamp & Rossdeutcher[6, 5] では、談話表示構造に「浅い」語彙知識の表示と「テキスト間の含意関係」を導入し、このような談話中の lexically driven inference を可能にした。談話中のそのような推論は次のように定義される。

(2) 主張的テキスト T_2が他の主張的テキスト T_1に論理的含意されるとは、T_1の談話表示構造 K_1 が T_2を K_1に編入して構成された談話表示構造 K_1と論理的に等価であるとき、かつそのときにかぎる。つまり、$T_1 \vdash T_2$ iff $K_1 \equiv K(K_1 + T_2)$.

例えば (1a) の談話表示構造は、K_1の談話構造の「e : 入院する (x, y, s)」が「浅く」分解され、K_2のような表示が導入される。[1]

K_1 :

$n\ x\ y\ s\ e$
x : 支店長; y : 桑名病院; s : 中毒症状
$e < n$; sOn; e : 入院する (x, y, s)

K_2 :

$n\ x\ y\ s\ e$
x : 支店長; y : 桑名病院; s : 中毒症状
$x = Agent(e)$; $y = Goal(e)$; sOn
$s = Cause(e)$; $y = Theme(s)$; $e < n$
e : 入院

[1] この他、使役動詞には $CAUSE(e, e')$ という述語に束縛された部分談話表示構造が導入され、それぞれのイベント談話指示対象に対してθ役割が導入されるなどの分解がある。

談話表示構造 $K2$ と K_2+(1b) の談話表示構造 K_3は同じモデルをもつ。

K_2 :

$n\ x\ y\ s\ e\ z\ s_2$
x : 支店長; y : 桑名病院; s : 中毒症状
$x = Agent(e)$; $y = Goal(e)$; sOn
$s = Cause(e)$; $y = Theme(s)$; $e < n$
e : 入院; $z = x$; s_2On
$z = Theme(s_2)$; s_2 : 中毒症状

つまり、どのような K_1を verify する埋め込み g にも、s_2と s に同じ実体を割り当てる拡張 g'が存在する。したがって、(1) の推論は可能となる。

また、次のようなイベントの事実抽出に関する推論も可能である。

(3) a. 毒物混入事件で、捜査本部は、社員からの事情聴取を終え、証言の裏付け捜査を急いでいる。入院している10人については、病院内で簡単な聴取を実施したが、退院後に改めて聴取する。

b. その社員からの事情聴取があった。

c. その入院している10人からの聴取があった。

d. 証言の裏付け捜査は終わっていない。

(3a) の談話表示のうち、問題と関連した部分を表示すると次のように成る。

$e\ e_1\ x\ X\ e_2\ s\ e_3\ Y$
x : 捜査本部; e : 終え
$Agent(e) = x$; $Theme(e) = e_1$
e_1 : 事情聴取; $Agent(e_1) = x$
$Source(e_1) = X$; X : 社員
$e_2 < e_1$; $e_1 \subseteq r$
e_2 : 急ぎ; $Agent(e_2) = x$
$Theme(e) = s$; s : 裏付け捜査中
$Theme(s)$ = 証言 (X)
e_3 : 聴取; $Source(e_3) = Y$
$e_4 < e_3$; $e_3 \subseteq r$; $e_2 \subseteq r$
$\|Y\| = 10$; e_4 : 入院
$Agent(e_3) = x$; $Agent(e_4) = Y$

(3) のような推論が可能なのは、「事情聴取」、「聴取」のイベントが談話表示構造のトップに登録されてい

るため、存在を含意し、また、「裏付け調査」は「裏付け調査中」という状態として表示されているため、完了したイベントとしては表示されないためである。

語彙項目が持つ前提を利用した推論 彼らの談話表示論の拡張を Kowaski らのイベント計算 [7, 8] の概念で拡張すると[2] (4) における a から b への推論のようなイベント・状態・時間に関する推論も可能となる。

(4) a. 支店長が桑名病院を退院した。

b. その支店長は桑名病院に入院していた。

Sergot & Kowalski[8] の Simplified Event Calculus のような公理が各述語に対して次のように定義できる。

$$\begin{array}{|c|}\hline e\ x\ y\ s \\ \hline e : \text{入院} \\ Theme(e) = x \quad Theme(s) = x \\ Goal(e) = y \quad Loc(s) = y \\ e \bowtie s \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|}\hline \\ \hline s : \text{入院中} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|}\hline e\ x\ y\ s \\ \hline e : \text{入院} \\ Theme(e) = x \quad Theme(s) = x \\ Goal(e) = y \quad Loc(s) = y \\ s \bowtie e \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|}\hline \\ \hline s : \neg\text{入院中} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|}\hline e\ x\ y\ s \\ \hline e : \text{退院} \\ Theme(e) = x \quad Theme(s) = x \\ Source(e) = y \quad Loc(s) = y \\ s \bowtie e \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|}\hline \\ \hline s : \text{入院中} \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|}\hline e\ x\ y\ s \\ \hline e : \text{退院} \\ Theme(e) = x \quad Theme(s) = x \\ Source(e) = y \quad Loc(s) = y \\ e \bowtie s \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|}\hline \\ \hline s : \neg\text{入院中} \\ \hline \end{array}$$

ただし、$x \bowtie y$ は x の直後に y が始まる、もしくは、y の直前に x が終了するという時間関係をあらわす。これらの meaning postulate としてのイベント公理により、(4) の推論が可能となる。

[2]Kamp & Rossdeutcher の meaning postulate(ここでは談話表示構造を略記している):

$[y]$ 健康 $(y) \Rightarrow ([w]$ 症状 $(w) \Rightarrow RES($治癒 $(y, w)))$

$[y]$ 病気 $(y) \Rightarrow ([w]$ 症状 $(w); PRE($治癒 $(y, w)))$

では、イベント計算で問題にしているような、イベント・状態・時間に関する推論ができない。

談話全体と語彙知識のインタラクティヴな推論 – 1

(5) a. 昨日、桑名病院に社員10人が運び込まれた。今日、その支店長が退院した。

b. 今日、その社員うち9人が入院している。

(5a) から (5b) を導出するような推論も、談話表示構造

$$\begin{array}{|c|}\hline n\ e\ r\ x\ X\ r_1\ e_1\ y \\ \hline r : \text{昨日};\ X : \text{社員};\ |X| = 10 \\ y : \text{桑名病院};\ e : \text{運び込む} \\ Theme(e) = X;\ e < n \\ x : \text{支店長};\ x \in X \\ r_1 : \text{今日};\ e_1 : \text{退院} \\ Agent(e_1) = x;\quad Source(e_1) = y \\ \hline \end{array}$$

と、次の meaning postulate

$$\begin{array}{|c|}\hline e\ x\ y\ s \\ \hline e : \text{運び込む};\ y : \text{病院} \\ Theme(e) = x \\ Goal(e) = y \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|}\hline \\ \hline e : \text{入院} \\ \hline \end{array}$$

および、前節の「入院・退院」の meaning postulate、およびつぎの世界知識

$$\begin{array}{|c|}\hline s\ s_1\ s_2\ x\ y \\ \hline s : P;\ s_1 : \neg P\ s_2 : P \\ Theme(s) = X;\ Theme(s_1) = x \\ Theme(s_2) = Y \\ |X| = n;\ x \in X \\ s \bowtie s_1\ s \bowtie s_2 \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|c|}\hline \\ \hline |Y| = n - 1 \\ \hline \end{array}$$

から可能である。

4 埋め込み可能性とテクスト・コネクティング

前節で述べたように、談話表示構造と語彙知識 (meaning postulate)、世界知識をインタラクトさせることにより、表現そのもの以上の情報が得られる。この性質をテクスト間のコネクションに応用するというのが本稿の基本的なアイデアである。コネクションに応用するには、コネクト元のテキストを談話表示構造に翻訳し、そこに前節で述べた多様な推論を介在させ、その結果を問い合わせとしての談話表示構造とみなす。この談話表示構造を QDRS と呼ぶことにする。QDRS がコネクト先のテキストの談話表示構造に埋め込み可能ならば、両者はコネクトできると考える。QDRS を導出する際に、多様な指定をユーザーは行うことが出来る。次に、それについて述べる。

コネクションの指定 コネクションの指定には基本的に次の三つの方向が考えられる。

- (1) や (3) にあるように、テキスト内容をコンパクトにする。
- (4) や (5) にあるように、テキストから含意される内容に変形する。
- 次に述べるように特定のコネクションの種類を指定する。

一つ目は、焦点をあてる談話指示対象を指定することにより可能となる。例えば、(1) では s、(3) ではイベント指示対象に焦点をあてればよい。より形式的には「焦点を当てる」とは次のように定義される。

(6) 談話表示構造 K の談話指示対象 x に焦点を当てるとは、K の部分談話表示構造で、x を直接束縛する条件とその条件の項である談話指示対象だけを含むものを構成することである。

二つ目は、次のような条件を満たす最大の談話表示構造 Q が QDRS となる。

$$\Delta \cup \Lambda \cup K_T \models Q$$

ただし、Δは世界知識をあらわす条件文談話表示構造、Λは meaning postulate、K_Tはコネクト元のテキスト T の談話表示構造である。

三つ目は、「そのテキストに記述されている出来事の前の状態」、「そのテキストに記述されている出来事の結果状態」、「そのテキストに記述されている出来事の原因」、「犯人」などの特定のコネクションの種類を指定するものである。これは、コネクト元の談話表示構造に付加的な条件を付け加えて、QDRS を構成することにより可能となる。例えば、次の例で、

(7) 支店長が中毒症状で桑名病院に入院した。

このイベントの原因、またその原因が特定の人物の犯行だった場合、その犯人に関するテキストをコネクトしたいとする場合、次のような、このテキストの談話表示構造 K に条件を加え、それぞれ、K_1や K_2のようにする。

K :

$n\ x\ y\ s\ e$
x : 支店長; y : 桑名病院; s : 中毒症状
$x = Agent(e)$; $y = Goal(e)$; sOn
$s = Cause(e)$; $y = Theme(s)$; $e < n$
e : 入院

K :

$n\ x\ y\ s\ e\ e_1\ e_2$
x : 支店長; y : 桑名病院; s : 中毒症状
$x = Agent(e)$; $y = Goal(e)$; sOn
$s = Cause(e)$; $y = Theme(s)$; $e < n$
e : 入院
$\underline{c(e_1, e_2, e)}$

K :

$n\ x\ y\ s\ e\ e_1\ e_2\ z\ N$
x : 支店長; y : 桑名病院; s : 中毒症状
$x = Agent(e)$; $y = Goal(e)$; sOn
$s = Cause(e)$; $y = Theme(s)$; $e < n$
e : 入院
$\underline{c(e_1, e_2, e)}$
$\underline{Agent(e_2) = z}$
$\underline{Named(z, N)}$

ただし、$c(e_1, e_2, e)$ は「e_1は e_2が e を引き起こしたというイベントである」ということあらわし、$Named(x, N)$ は「x は N という名前である」ということを表す。このように、コネクトの意図によって付加される条件を「コネクタ」と呼ぶことにする。従って、ユーザーはコネクタを指定することにより、コネクションの種類を指定することが可能となる。

5 実装へ向けて

本稿の手法の実装は、基本的には次のようなアルゴリズムで可能である。

コネティング・アルゴリズム テキストベース $\mathcal{T} = (T_0, ..., T_n)$ と知識ベース $\mathcal{K}$ が与えられ、$\mathcal{T}$ の中のあるテキスト T から他のテキスト $(T_0, ..., T_n)\backslash T$ に対してある (空でありうる) コネクティング・オプション C の観点からテクスト・コネクティングするための「コネクティング・アルゴリズム」は次のように定義できる。

Input	text T; texts $(T_0, \ldots, T_n)\backslash T$;
	KB $\mathcal{K}$; Connecting option C
Convert	$T + C$ to DRS K_T
For each t of	$(T_0, \ldots, T_n)$
	Convert t to QDRS K_t
	If $\exists\theta.K_t \cup \mathcal{K} \models K_T\theta$
	Then print
	"$connectable(T, t)$ w.r.t C"

このアルゴリズムは、談話表示構造を反映した論理プログラムに翻訳することで実装することが可能である。この場合、コネクト先の談話表示構造の談話指示対象は定数とし、QDRS の談話指示対象は変数にし、しかも、自由変数を含まない条件に限定しなければならない。

6 まとめ

本稿では、談話表示理論に基づいて、語彙知識や世界知識とインタラクトし、さらに、特定のコネクションの種類を指定できる、テキスト・コネクションの手法を提案した。現在、次のような仕様で実装中である。

- 定理証明器 : LiLFes (東京大学辻井研)
- 形態素解析器 : Chasen (奈良先端大学松本研)

- テキストからの談話表示構造を反映した論理プログラム、およびクエリー抽出： JPerl

参考文献

[1] Nicholas Asher and Alex Lascarides. Lexical disambiguation in a discourse context. In James Pustejovsky and Branimir Boguraev, editors, *Lexical Semantics: The Problem of Polysemy*, pp. 69–108. Clarendon Press, Oxford, 1996.

[2] Nicholas Asher and Pierre Sablayrolles. A typology and discouse semantics for motion verbs and spatial pps in french. In James Pustejovsky and Branimir Boguraev, editors, *Lexical Semantics: The Problem of Polysemy*, pp. 163–209. Clarendon Press, Oxford, 1996.

[3] Hans Kamp. Events, instants and temporal reference. In R. Bäuerle, et al., editors, *Semantics from Different Points of View*, pp. 376–417. de Gruyter, Berlin, 1979.

[4] Hans Kamp and Uwe Reyle. *From Discourse to Logic*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993.

[5] Hans Kamp and Antje Rossdeutcher. Drs-construction and lexically driven inference. *Theoretical Linguistics*, Vol. 20, No. 2/3, pp. 165–235, 1994.

[6] Hans Kamp and Antje Rossdeutcher. Remarks on lexical structure and drs construction. *Theoretical Linguistics*, Vol. 20, No. 2/3, pp. 97–164, 1994.

[7] Robert Kowalski and M. Sergot. A logic-based calculus of events. *New Generation Computing*, Vol. 4, pp. 67–95, 1986.

[8] Friba Sadri and Robert Kowalski. Variants of the event calculus. *ICLP95*, 1995.

[9] 緒方典裕. 助詞「は・も」の条件文意味論. 上智大学言語学会会報 Proceedings of SLS, Vol. 10, pp. 154–188, 1995.

付録

談話表示構造の意味論では、イベント関係の公理系、イベントからの時点・時区間構成の概念が使われているので、ここに紹介しておく。さらに詳しくは、[3, 4] を参照のこと。

A：イベント関係の公理系

[3, 4] では、$(E,<,O)$ という先行関係 $(<)$、オーヴァラップ関係 O をもつイベントの集合をイベント構造と呼び、それについての公理系を提案しているが、ここでは、$(E,c,<,\subseteq)$ というイベント構造の公理系を使い、これがイベントに関する背景知識となる。[3]

$$
\begin{array}{l}
\forall e e_1 e_2.(\exists e.c(e,e_1,e_2)) \to e_1 < e_2 \\
\forall e_1 e_2.e_1 < e_2 \to \neg e_2 < e_1 \\
\forall e_1 e_2.e_1 < e_2 \to \neg e_1 \subseteq e_2 \\
\forall e_1 e_2.e_1 < e_2 \vee e_2 < e_1 \vee e_1 \subseteq e_2 \vee e_2 \subseteq e_1 \\
\forall e_1 e_2 e_3.e_1 < e_2 \wedge e_3 \subseteq e_2 \to e_1 < e_3 \\
\forall e_1 e_2 e_3.e_1 < e_2 \wedge e_3 \subseteq e_1 \to e_3 < e_1 \\
\forall e_1 e_2 e_3.e_1 < e_2 \wedge e_2 < e_3 \to e_1 < e_3 \\
\forall e_1 e_2 e_3.e_1 \subseteq e_2 \wedge e_2 \subseteq e_3 \to e_1 \subseteq e_3 \\
\forall e(\neg\exists e'.c(e',e,e)) \\
\forall e.\neg e < e \\
\forall e.e \subseteq e
\end{array}
$$

B：イベント構造からの時区間構造生成

[3, 4] では、イベントから時点および時区間の構成が示されている。

$\mathcal{E} = (E,<,O)$ をイベントの公理を満たすイベント構造とする。

(i) $i \in I(\mathcal{E})$ iff $i \subseteq E,\ e,e' \in i \to eOe',\ h \subseteq E \wedge \forall ee' \in h.eOe' \to h \subseteq i$
(ii) イベント e は時点 i で起きた iff $e \in i$
(iii) $\forall ijk.i <_{I(\mathcal{E})} j \leftrightarrow \exists e \in i, e' \in j.e < e'$

このようにして構成された構造を

$$\mathcal{I}(\mathcal{E}) = (I(\mathcal{E}), <_{I(\mathcal{E})})$$

時点構造とする。構成された順序$<_{I(\mathcal{E})}$は線形である。

さらに、

(i) $p \in Int(I(\mathcal{E}))$ iff $p \subseteq I(\mathcal{E})$ and $\forall i,j \in p \exists k \in I(\mathcal{E}) : i <_{I(\mathcal{E})} k <_{I(\mathcal{E})} j \to k \in p$、
(ii) $p <_{Int(I(\mathcal{E}))} p'$ iff $\forall i \in p, j \in p'.i <_{I(\mathcal{E})} j$,
(iii) $pO_{Int(I(\mathcal{E}))}p'$ iff $p \cap p' \neq \emptyset$

---

[3] ちなみに、オーヴァーラップ関係と時間的包含関係は次のような関係にある。

$$eOe' \leftrightarrow \exists e''.e'' \subseteq e \wedge e'' \subseteq e'$$

O は次のような公理を満たす。

$$
\begin{array}{l}
\forall e.eOe \\
\forall e_1 e_2.e_1 O e_2 \to e_2 O e_1 \\
\forall e_1 e_2.e_1 < e_2 \to \neg e_2 O e_1 \\
\forall e_1 e_2 e_3.e_1 < e_2 \wedge e_2 O e_3 \wedge e_3 < e_4 \to e_1 < e_4 \\
\forall e_1 e_2.e_1 < e_2 \vee e_2 < e_1 \vee e_1 O e_2
\end{array}
$$

このようにして構成された構造

$$Int(\mathcal{I}(\mathcal{E})) = (Int(I(\mathcal{E})), <_{Int(I(\mathcal{E}))}, O_{Int(I(\mathcal{E}))})$$

を時区間構造とする。

$LOC : \mathcal{E} \rightarrow Int(\mathcal{I}(\mathcal{E}))$ は、イベントをそれと等価な時区間へマップする関数であり、次の条件を満たす。

- $e < e' \rightarrow LOC(e) <_{Int(\mathcal{I}(\mathcal{E}))} LOC(e')$
- $e < e' \rightarrow LOC(e) \cap LOC(e') \neq \emptyset$
- $\forall i \in I(\mathcal{E}). \bigcap\{LOC(e) : e \in i\} \neq \emptyset$