

心像意味論に基づく静的位置関係に関する  
自然言語概念の体系的分析記述について

横田 将生 弘中 大介

福岡工業大学

〒811-0295 福岡市東区和白東 3-30-1

TEL:092-606-3131/ E-mail:yokota@cs.fit.ac.jp

筆者らは、心像意味論(MIDST)に基づき、自然言語が担う事象概念を時間的なものと空間的なものの2種類(それぞれ、時間的事象概念および空間的事象概念と呼ぶ)に分類し、体系的な分析および記述方法の研究を行っており、既に、人間の視覚的認知過程に関する更に深い考察に基づき、これらの事象概念を属性空間の軌跡と対応づけて統一的に分析記述する方法を提案している。本稿では、空間的事象のうち特に静的位置関係に関する概念の体系的な分析記述方法および実際の適用結果について報告する。

自然言語理解 静的位置関係 認知過程モデル

**Systematic Analysis and Description**

**of Natural Concepts of Static Spatial Relations**

**Based on the Mental Image Directed Semantic Theory**

Masao YOKOTA Daisuke HIRONAKA

Fukuoka Institute of Technology

3-30-1 Wajiro-higashi, Higashi-ku, Fukuoka-shi, Japan 811-0295

TEL:092-606-3131/ E-mail:yokota@cs.fit.ac.jp

Basing on the Mental Image Directed Semantic Theory (MIDST), the authors have been developing a systematic method for analysis and description of the event concepts in natural language, classifying them into the two categories: (1)Temporal event concepts and (2)Spatial event concepts. We have already proposed a unified method to analyse and describe these event concepts in correspondence with the loci in Attribute spaces basing on our deeper consideration on human visual cognition process. This paper describes our systematic method for the spatial events, especially focusing on static spatial relations with the results of its actual application.

Natural language understanding, Static spatial relations, Cognitive process model

## 1. まえがき

我々は、異種メディア間、特に自然言語と画像との間の翻訳を目的として自然言語の意味分析および記述を行っている。自然言語概念の内、特に重要なものは事象概念である。筆者らは、事象概念を時間的なものと空間的なものの2種類(それぞれ、時間的事象概念および空間的事象概念と呼ぶ)に分類し、体系的な分析および記述方法の研究を行っている。時間的事象とは例 1-1 で示すような事物の属性の時間的変化(物の変形や運動など)に関するものであり、一方、空間的事象は、例 1-2 で示すような事物の属性の空間的分布(物の形状や位置関係など)に関するものである。

(例 1-1) The sun rises in the east.

(= 太陽は東から昇る.)

They taper the tooth picks.

(= 彼らは爪楊枝の先を尖らせる.)

(例 1-2) The path rises from the point.

(= 道はその地点から上りになっている.)

The needle tapers off to a point.

(= 針は先が点にまで細くなっている.)

自然言語による事象の表現は、主に動詞によるが、一般には多岐の品詞に亘るためその統一的な取り扱いが困難である。我々は既に提案している心像意味論 (MIDST: Mental Image Directed Semantic Theory)において、これらの事象概念を属性空間の軌跡と対応づけて統一的に記述する方法を提案している[1]。本論文では特に人間の視覚的認知過程に関する更に深い考察に基づき空間的事象、特に、静的位置関係に関する自然言語概念の体系的な分析および記述方法について工夫を行ったので報告する。

## 2. 予備的考察

自然言語事象概念を分析・記述する上で考

慮しなければならない重要な問題がいくつかある。それらの問題点に関して、自然言語が担う空間的事象概念のうち、ある時間帯における物体間の静的位置関係(位置という属性の空間的分布状況)を指示する表現と理解を例にとつて説明してみよう。たとえば、以下に示す前提 1 から結論 1~3 を得るような推論処理を行う場合、従来は、公理 1~3 が適用できるような形式化が一般的である。

(前提 1) The pencil is to the left of the book,  
and the ruler is to the right of the book.  
(=鉛筆が本の左にある。かつ、定規が本の右にある。)

(結論 1) The pencil is to the left of the ruler.  
(=鉛筆が定規の左にある。)

(結論 2) The book is to the left of the ruler.  
(=本が定規の左にある。)

(結論 3) The book is between the ruler and the pencil.  
(=本が定規と鉛筆の間にある。)

(公理 1)  $(\forall x, y) (\text{left}(x, y) \equiv \text{right}(y, x))$

(公理 2)  $(\forall x, y, z) (\text{left}(x, y) \wedge \text{left}(y, z) \supset \text{left}(x, z))$

(公理 3)  $(\forall x, y, z) (\text{left}(x, y) \wedge \text{left}(y, z) \supset \text{between}(y, x, z))$

しかしながら、このような表現は自然言語表現との一般的な変換アルゴリズムを考慮せずには与えられるので、例 2-1 や例 2-2 で示すような自然言語表現の多様性に柔軟に対応することが困難であり、式(2-1)や(2-2)のようにその都度高階の記述や別の形式化で対応するなど、あまり体系的でない方法が採られてきている。

(例 2-1) The pencil is 10cm(a little) to the left of the ruler. (=鉛筆が定規の 10cm(ちよつと) 左にある。)

(例 2-2) The pencil, the book and the ruler are in a line (triangle). (=鉛筆、本、定規が 一直線(三角形) に並んでいる。)

このため、人間がこのような文章を解釈・理解するときに行う円滑な認知操作(イメージ操作)とは異質の操作(すなわち計算)の複雑化を増長する状況を生じさせている。

$$\text{distance}(z, \text{left}(x, y)) \quad (2-1)$$

$$\text{left}(x, y, z) \quad (2-2)$$

ただし、式(3-1)および(3-2)において、 $z$  は“10cm”や“a little”に対応する値である。

更に、例 2-3~2-6 のように、時間的事象概念が空間的事象概念として転用されることが多い。この事実は、人間の概念形成過程において両者が何らかの共通の認知操作と関連している可能性を示唆するものである。

(例 2-3) The railroad extends north and south from the city A. (=鉄道が A 市から南北に**延びる**。)

(例 2-4) The road runs east and west from the city A. (=道路が A 市から東西に**走る**。)

(例 2-5) The railroad and the road cross at the city A. (=鉄道と道路が A 市で**交差する**。)

(例 3-6) The railroad passes through the town. (=鉄道が町を**通っている**。)

したがって、空間的事象概念の体系的な分析・記述および解釈・理解処理には以上のような人間の認知過程をも考慮に入れた作業原理が必要となることが推察される。

以上、特に重要な問題点をまとめると以下のようになる:

(問題点1) 多岐の品詞に亘る概念の統一的分析記述、

(問題点2) 自然言語表現および概念表現との相互変換アルゴリズム、

(問題点3) 概念表現に対する推論処理。

これらの問題に対して、我々は心像意味論においてそれぞれ以下の解決策を既に提案している:

(解決策1) 人間が個々の単語を見聞きしたとき想起する心像(イメージ)と関連づけて言語に依

存しない形(language-free)で概念分析記述を行っている。

(解決策2) 文章を構成する個々の単語の持つ概念が構文構造を手がかりに上昇的に結合していった最終的に文章の概念が得られ、また、その逆も可能であるような枠組みと機構を導入している。

(解決策3) 単語概念をイメージのモデルである属性空間の軌跡と対応づけて1階述語論理式として記述し体系的に処理する方法を導入している。

このような解決策に関する妥当性は既に時間的事象の一部に関して自然言語理解システム IMAGES において検証されているが、次章で述べるように新たな工夫により空間的事象にも適用可能である。

### 3. 事象概念の統一的記述

人間の脳や視覚の働きに関する研究によると人間の注意が比較的複雑な図形などの空間的パターンを記憶あるいは認識しようとする際に、その特徴を求めて走査するという事実が外的な眼球運動や内的な注意移動の現象を証拠として指摘されており、そのような空間的パターンが走査された特徴の系列として記憶される、すなわち記憶痕跡として残る、認知モデルの提案もなされている[4]。また、記憶痕跡と関連して人間の脳には時間的および空間的パターンを相互に変換する機能があることがわかっている[5]。これは注意が大きく移動しなければならぬほど複雑あるいは大規模な事象パターンを効率的に記憶する脳の合理的で自然な機能と考えられる[6]。

以上のような研究成果を基に空間的事象も時間的事象と同様に時間的要因を持つ属性空間の軌跡とを対応づける統一的認知モデルを考案することができる。このような手順で空間的事象の例を記述したものが以下に示す例

3-1~3-4 である。英語および日本語で表現された空間的事象の軌跡式表現を与えており、例 3-1'~3-4'は関連する時間的事象について示している。ただし、これらの軌跡式表現において、下記の簡略化がなされている。このような省略は誤解の心配のない限り以後の記述においても踏襲される。

(1) 原子軌跡式における述語定項 L およびパラメータ k の省略。

(2) 多少厳密さを欠くが、異なる変数は全て異なる事物または属性値を表現し存在記号ヨで限量されているものとする。

(3) 理解が容易になるように軌跡式表現は概念の主要部である E\*\*の事象パターンの箇所(...で挟まれた部分)のみを記述している。(4)  $\varepsilon_s$  および  $\varepsilon_t$  はそれぞれ空間的および時間的空軌跡を意味する。

(5)  $\phi$  は作用する事物に関心が払われていないことを表す定項である。

(6) 同時的連言  $\Pi$  の省略。

(例 3-1) The road reaches the city(=道路はその都市に至る)。

...( $\phi, y, p, z, A12, Gs$ )...  $\wedge$  road(y)  $\wedge$  city(z)

(例 3-1') The bus reaches the city(=バスはその都市まで行く)。

...( $\phi, y, p, z, A12, Gt$ )...  $\wedge$  bus(y)  $\wedge$  city(z)

(例 3-2) The floor was dotted with blood(=床に血痕が点々としていた)。

...( $\phi, y, z, z, A01, Gs$ )  $\cdot \varepsilon_{s1}$   $\cdot$  ( $\phi, y, z, z, A01, Gs$ )  $\cdot \varepsilon_{s2}$   $\cdot$  ...  $\wedge$  blood(y)  $\wedge$  floor(z)

(例 3-2') The heavy rain intermitted in the region due to the cold front(=その地域では寒冷前線のせいであつた)。

...( $x, y, z, z, A01, Gt$ )  $\cdot \varepsilon_{t1}$   $\cdot$  ( $x, y, z, z, A01, Gt$ )  $\cdot \varepsilon_{t2}$   $\cdot$  ...  $\wedge$  cold-front(x)  $\wedge$  rain(y)  $\wedge$  region(z)

(例 3-3) The line passes the point(=直線はその点を通る)。

...( $\phi, y, p, z, A12, Gs$ )  $\cdot$  ( $\phi, y, z, q, A12, Gs$ )...  $\wedge$  line(y)

$\wedge$  point(z)

(例 3-3') The bus passes the stop(=バスはその停留所を通過する)。

...( $\phi, y, p, z, A12, Gt$ )  $\cdot$  ( $\phi, y, z, q, A12, Gt$ )...  $\wedge$  bus(y)  $\wedge$  stop(z)

(例 3-4) The road meets the river at the town(=道路は町で川にぶつかっている)。

...( $\phi, y1, p, z, A12, Gs$ )  $\cdot$  ( $\phi, y2, q, z, A12, Gs$ )...  $\wedge$  road(y1)  $\wedge$  river(y2)  $\wedge$  town(z)

(例 3-4') The man meets the lady at the town(=男と婦人は町で出会う)。

...( $\phi, y1, p, z, A12, Gt$ )  $\cdot$  ( $\phi, y2, q, z, A12, Gt$ )...  $\wedge$  man(y1)  $\wedge$  lady(y2)  $\wedge$  town(z)

空間的事象、特に、事物の空間的配置に関するものの中には移動する注意の様態(方向など)が必須的に関係しているものが多くある。例えば、例 3-5 の sink および例 3-6 の rise では注意の移動する方向(A13)が更に、例 3-7 の tower では移動する距離(A17)も関係している。

(例 3-5) The path sinks to the brook(=道が小川に下っている)。

...( $\phi, y, p, z, A12, Gs$ )  $\cdot$  ( $\phi, y, \downarrow, \downarrow, A13, Gs$ )...  $\wedge$  path(y)  $\wedge$  brook(z)

(例 3-6) The path rises from the brook(=道が小川から上っている)。

...( $\phi, y, z, p, A12, Gs$ )  $\cdot$  ( $\phi, y, \uparrow, \uparrow, A13, Gs$ )...  $\wedge$  path(y)  $\wedge$  brook(z)

(例 3-7) The mountain towers into clouds(=山が雲に聳えている)。

...( $\phi, y, p, z, A12, Gs$ )  $\cdot$  ( $\phi, y, \uparrow, \uparrow, A13, Gs$ )  $\cdot$  ( $\phi, y, 0, 大, A17, Gs$ )...  $\wedge$  mountain(y)  $\wedge$  clouds(z)

これらの文章が指示する空間的事象の軌跡式表現はそれぞれ例文の次に示しているが、それらは注意の移動となって現れる認知操作の結果を論理式で記述したものと対応している。すなわち、例 3-5 および 3-6 の坂道が「下り坂」であるか「上り坂」であるかは、それを認知しよう

とする人間の視線の移動方向に依拠しているといつてよい。上記の軌跡式表現において、運動方向の属性(A13)の値↓および↑がそれぞれ下方向および上方向を表す単位ベクトルである。

このような概念の特徴は客観的な対象事物の性質ではなく人間の知覚過程の影響で生じているといえる。したがって、そのような特徴を対象事物の属性として記述することには無理がある。しかしながら、事物の変位に関する概念がそれらの空間的配置に関するものへ転用されることが多いことなどから、注意に関する属性をそのまま走査される事物の属性に転用することにする。そして、このことは属性空間のパラメータ  $g$  の値  $G_s$  で指示する。また、そのことにより空間的パターンを記述するためにのみ新しく属性を追加する必要はなくなる。更に、この種の転義への対応も容易になる。

#### 4. 位置関係の分類と仮想空間領域の導入

3章での議論は主に単一の事物の空間的配置(=走行)およびその組み合わせに関してであった。しかしながら、複数個の事物間の空間的關係はかなり複雑である。この章では、そのような複雑な位置関係を、一つの分類[9]に基づき、体系的に記述するための工夫として仮想空間領域なるものを導入する。

##### 4.1 静的位置関係の分類

たとえば、Egenhofer, M., J. [9]は地理情報システム (GIS: Geographical Information Systems) の研究分野において空間的關係を次の3種類に分類している:

(R1) 位相的關係 (topological relationships)

包含や交差などの關係がこれに相当し、領域を集合とする視点や状況によらない純粹に数学的な關係、

(R2) 計量的關係 (metric relationships)

距離や面積およびその大小關係など、

(R3) 順序的關係 (ordering relationships)

左右前後關係などがこれに相当し、視点や状況によって変化する關係、

これらの關係のうち R2 における単一の事物の属性に関する、たとえば、物の面積や体積などは容易に現状で記述可能である。しかしながら、残りの複数事物間の關係に関してはさらに工夫が必要である。

##### 4.2 仮想空間領域

人間は、ゲシュタルト心理学でいう形態などを含め、実際には存在しない物体あるいは領域を知覚することがある。我々は、そのような知覚対象を仮想空間領域 (isr: imaginary sapce range) と呼び、これを利用することにより、種々の複雑な空間的事象の体系的な記述を可能にしている。ここでは英語の前置詞や名詞などが指示する空間的事象の記述を例にとつて説明する。

図1の空間的事象(3個の多角形が構成要素)について考察してみよう。例4-1はこの事象を自然言語で表現した場合であり、式(4-1)はこの事象の軌跡式表現例である。この式で変数  $u$  が単語 between や line の概念に関連した仮想空間領域であり、知覚的には図中の破線で囲んだあたりの領域がほぼ相当するであろう。また、同式中の→は右方向基準  $k$  は注意の出発点を表す単位ベクトルであり、注意が右方向に走査したという記憶痕跡に対応している。図中の○から△に至る矢線が注意の移動軌跡である。

(例4-1) □ is between ○ and △. (=□が○と△の間にある) ○, □ and △ are in a line. (=○, □ および △ は一直線上にある)

$$(\exists u, xy) (((\phi_{u,xy,A12,G_s}) \cdot (\phi_{u,y,z,A12,G_s})) \Pi (\phi_{u,\rightarrow,A13,G_s} \wedge isr(u) \wedge O(x) \wedge \square(y) \wedge \Delta(z))) \quad (4-1)$$

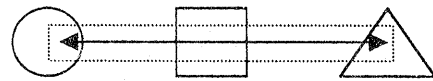


図1 空間的事象(物体視線)仮想空間領域の例

仮想空間領域という概念を導入したこの段階で、複数事物間における R2 の計量的關係および R3 の順序的關係すべてが記述可能になる。たとえば、2事物間の距離はそれらの間に存在する isr の長さ(実際には、注意の移動距離 A17)として記述される。

最後に残された、位相的關係(R1)に関しては Egenhofer ら[9]が提案している 9-intersection matrix と命名された 3×3 の行列で分類される 2つの領域間における16種類の数学的位相關係を値とする仮想的空間領域に関する新たな属性 A43 を用いて“inside(内)”, “around(周囲)”, “intrude(入り込む)”や“project(突出する)”などの概念分析記述を行っている。

### 5. 単語の意味記述

以下は英単語概念を実際に記述した例である。ただし、[ ]内は当該単語の品詞とその基本的な構文(@は当該単語を示している)。

- (C1) hang [動詞: y @]  
 $(\phi, y, x, A01, Gt)(\phi, y, p, q, A12, Gs)$   
 $(\phi, y, \downarrow, \downarrow, A13, Gs) \wedge \text{hang}(x)$   
 [A01 は“場所”]
- (C2) lie [動詞: y @]  
 $(\phi, y, x, A01, Gt)(\phi, y, p, q, A12, Gs)$   
 $(\phi, y, -, -, A13, Gs) \wedge \text{lie}(x)$   
 [“-” は値 “水平”]
- (C3) left [名詞: x be to the @ of y]  
 $(\phi, u, x, y, A12, Gs)(\phi, u, \leftarrow, \leftarrow, A13, Gs) \wedge \text{isr}(u)$
- (C4) between [前置詞: y be @ x and z]  
 $((\phi, u, x, y, A12, Gs) \cdot (\phi, u, y, z, A12, Gs))$   
 $(\phi, u, p, p, A13, Gs) \wedge \text{isr}(u)$
- (C5) in a line [前置詞句: x1, x2, x3... be @]  
 $((\phi, u, x1, x2, A12, Gs) \cdot (\phi, u, x2, x3, A12, Gs) \cdot \dots)$   
 $(\phi, u, p, p, A13, Gs) \wedge \text{isr}(u)$
- (C6) above [前置詞: x be @ y]  
 $(\phi, u, x, y, A12, Gs)(\phi, u, \uparrow, \uparrow, A13, Gs) \wedge \text{isr}(u)$
- (C7) on [前置詞: x be @ y]  
 $(\phi, u, y, x, A12, Gs)(\phi, u, \uparrow, \uparrow, A13, Gs)$   
 $(\phi, u, M, M, A43, Gt) \wedge \text{isr}(u)$   
 [A43 は位相, M は値 “外接”]
- (C8) among [前置詞: x be @ y]  
 around [前置詞: y be @ x]  
 $((\phi, y, y1, y2, A12, Gs) \cdot (\phi, y, y2, y3, A12, Gs) \cdot \dots \cdot$   
 $(\phi, y, yn-1, y1, A12, Gs))(\phi, u, x, y, A12, Gs)$   
 $(\phi, u, \text{In}, \text{In}, A43, Gt)(\phi, y, \text{Point}, \text{Polygon}, A15, Gs)$   
 $(\phi, y, n, n, A36, Gt) \wedge \text{isr}(u) \wedge n \geq 3 \wedge y_i \in y$   
 [In は値 “内部”, 集合 y も一種の isr, A15 は運動軌跡の形, A36 は個数]

### 6. むすび

事物の変化が主たる対象である時間的事象概念と異なり、空間的事象概念は人間の外界認知過程と密接不可分に關係しており、今まで客観的で体系的な分析記述が困難であった。今回は、我々は、人間の視覚認知過程のモデルを援用することによりこれを可能にすることができた。また、宣言的に記述することにより種々の体系的空間推論も可能となった[10]。

細かい問題は残されているが、静的位置關係に関するすべての英語前置詞および他の品詞における主要な単語あるいは語句の意味記述が既に完了しており、現在、マルチメディア統合理解システム IMAGES-M への実装を行っているところである。

### 文 献

- [1] 横田, 他: “自然言語理解システム IMAGES-I の意味解釈過程について”, 電子通信学会論文誌, J69-D, 5, pp.777-784 (1986).
- [2] 横田, 他: “視覚化された概念モデルに基づく自然語の意味解釈について”, 電子通信学会論文誌, J63-D, 5, pp.417-424 (1980).
- [3] 今田 恵: 心理学, 岩波書店 (1974).
- [4] Norton, D. & Stark, L.: “Scanpaths in eye movements during pattern perception”, Science, 171, 3968, p.308 (1971).
- [5] de Bono, E.: The mechanism of mind, C. Tuffle Co. Inc., Tokyo (1969).
- [6] Leisi, E.: Der Woltinhalt —Seine Struktur in Deutschen und Englischen—, Quelle & Meyer, Heidelberg (1961).
- [7] 横田, 他: “自然言語理解システム IMAGES-II”, 電子情報通信学会論文誌, J74-D, 11, pp.1243-1254 (1991).
- [8] 横田, 他: “自然言語理解システム IMAGES-I の出力合成過程について”, 電子通信学会論文誌, J69-D, 5, pp.777-784 (1986).
- [9] Egenhofer, M., J.: “Point-set topological spatial relations”, Geographical Information Systems, 5-2, pp.161-174 (1991).
- [10] 横田, 他: “マルチメディア統合理解のための空間的事象概念の体系的分析および記述”, 電子情報通信学会技術研究報告, pp.1-10, TL99-26 (1999).