

# 「一変数表示系」概念に基づく、図表現の一般的統語・意味分析の方法

## Toward the General Syntactic and Semantic Analysis of Diagrammatic Representations Based on the Concept of Single-Feature Indicator System

下嶋 篤<sup>†</sup>, Dave Barker-Plummer<sup>‡</sup>  
Atsushi Shimojima, Dave Barker-Plummer

<sup>†</sup> 同志社大学, <sup>‡</sup> スタンフォード大学  
Doshisha University, Stanford University  
ashimoji@mail.doshisha.ac.jp, dbp@g7.stanford.edu

### Abstract

In this presentation we characterize a class of diagrammatic representation systems that we call *single-feature indicator systems* (SFIS). Our characterization allows us to investigate a number of properties that all SFIS will have, including several semantic properties that have direct implications on the cognitive functions of diagrammatic systems. We show that many familiar diagrammatic representation systems belong to the class of SFIS, and hence that our results about SFIS apply to each of these systems. Our approach of generally characterizing representation systems, and investigating them in the abstract, allows us to short-circuit the task of investigating diagrammatic systems individually.

**Keywords** — Diagrammatic representation, diagrammatic reasoning, syntax, semantics

### 1. 問題

とくに1990年代以降、図を使った推論や理解に関する研究が、人工知能、認知心理学、哲学、数理論理学、デザイン学などの分野で盛んに行われ、推論・理解のプロセスにおける図表現の役割に関する多くの知見が蓄えられてきた。

これらの学際的な研究の中で広く受け入れられている一つの認識は、図の認知的機能を解明する上で、その図がどのような統語・意味規則を前提しているかを明確に特徴づけることの必要性であった。たとえば、図1の地下鉄の路線図からは、駅の連絡に関する異なるレベルの情報が比較的容易に得られるが、こうした読解・推論プロセスにおける当該路線図の役割を解明するためには、それを構成するシンボルの配置法を統制する統語規則と、シンボルの配置がもつ意味を統制する意味規則の双方について、私たちがどのように理解しているかを正確に特徴づける必要がある。

こうした規則は地下鉄路線図の多くの利用者が



図1：路線図の例。駅シンボルの対の間に成り立つ線の有無が駅間の連結・非連結を表示する。

共通に理解しているものであり、その意味での「常識」としてあえて研究するに値しないと思われるかもしれない。しかし、自然言語の統語・意味規則がその話者の「常識」でありながら、その厳密な理解には理論言語学を要するように、図的表現の統語・意味規則の厳密な理解には専門的な研究が必要である。実際、図に関する学際的研究の文脈では、自然言語の意味論において盛んに用いられているモデル論的な手法が、ベン図の系、オイラー図の系、幾何学図の系などいくつかの図の系に適用され、それらが私たちの推論において果たす役割についての認知研究のベースとなってきた (e.g., Shin, 1994; Hammer, 1995; Howse et al., 2001; Miller, 2007)。

しかし、従来の研究では、個別的な図の系を一つ一つ分析するという逐次的な方法が主であったために、ある図のクラスに一般的に成り立つ統語論的・意味論的特性や、異なる図のクラス間の統語論的・意味論的相違点を明瞭にするには至っていない。また、それを反映して、この方法でカバーできた図の系も比較的少数に留まっていた。これ

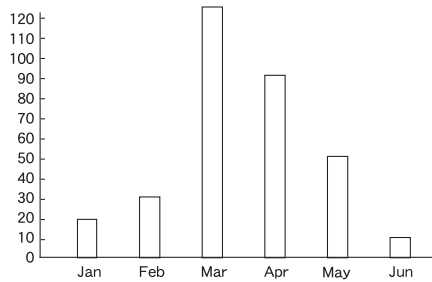


図2：棒グラフの例。個々の棒の長さが対応する月々における当該物質の価格を表示する。

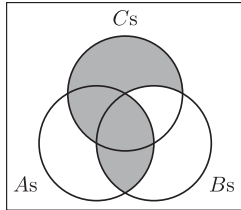


図3：ベン図の例。円の交差によって定義される平面領域の塗りつぶしの有無が、対応する集合の空・非空を表示する。

に対し、我々が日常利用している図の系は膨大な数に上り、その統語・意味規則の些細な相違が認知機能の重要な変化を生むことも十分に可能であるため、従来の統語・意味分析の方法は、図の認知的機能を広く解明するという目的に対して、その本来の役割を果たせてこなかった。

## 2. 提案

これに対し、本ポスターでは、まず「一変数表示系」という概念を導入し、この比較的単純な概念が、統計チャート、連結図、包含図、表の多くを含め、きわめて多様な図の系を捉えていることを示す。一変数表示系とは、図を構成する一群の要素がもつ選択的属性により、対象を構成する一群の要素の選択的属性を表示するという単純な意味論的戦略を採用する図の系をいう。

たとえば、ある物質の価格変動を示す棒グラフ(図2)において、数本の棒が長さという選択的属性を備えている。これらの棒には、異なる月におけるその材料の状態が対応しており、棒の長さには価格という別の選択的属性が対応している。この定義はまた、いくつかの平面領域に成り立つ塗り潰しの有無という選択的属性によって集合の空・非空を表示するベン図の系(図3)や、いくつかの駅シンボルの対を結ぶ線の有無という選択的属性によって駅の間直接連結・非連結を表示する路線図の系(図1)にもあてはまる。

表1に棒グラフの系(図2)における図要素間の

表1：棒グラフ(図2)の系における図要素間の対応と選択的属性間の対応

要素	表示する側	表示される側	
	「Jan」の上の棒	1月における当該物質	
	「Feb」の上の棒	2月における当該物質	
	⋮	⋮	
	「Jun」の上の棒	6月における当該物質	
	選択的属性	高さが0水準である	単位価格が0ドルである
		高さが10水準である	単位価格が10ドルである
	⋮	⋮	
	高さが120水準である	単位価格が120ドルである	

表2：ベン図(図3)の系における図要素間の対応と選択的属性間の対応

要素	表示する側	表示される側
	「As」円の内部で「Bs」円の内部で「Cs」円の内部である領域	集合Asと集合Bsと集合Csの積集合
	「As」円の内部で「Bs」円の内部で「Cs」円の外部である領域	集合Asと集合Bsと集合Csの積集合
	⋮	⋮
	As」円の外部で「Bs」円の外部で「Cs」円の外部である領域	集合Asと集合Bsと集合Csの積集合
選択的属性	塗り潰しあり	空である
	塗り潰しなし	空でない

対応と選択的属性間の対応を示す。一般に、表示する側の要素  $e$  と表示する側の選択的属性  $p$  が与えられたとき、 $e$  が  $p$  をとることは、 $e$  に対応する要素  $\eta(e)$  が  $p$  に対応する選択的属性  $\pi(p)$  をもつことを表示する。したがって、たとえば、この系において、「Feb」の上の棒の高さが30水準であることは、3月における当該物質の単位価格が30ドルであることを表示する。

図3のベン図の系や、図1の路線図の系についても、まったく同じ仕方でその基本的意味規則を記述することができる。表2と表3に、それぞれの系における図要素間の対応と選択的属性間の対応を示す。いずれの系においても、基本的な意味規則は「 $e$  が  $p$  をとることは、 $e$  に対応する要素  $\eta(e)$  が  $p$  に対応する属性  $\pi(p)$  をもつことを表示する」という形式で記述できる。

一変数表示系においては、上記の基本的な意味規則に加え、それらの意味規則に基づく「並行抽象」という関係(Shimojima 1999)によって、一定の派生的意味関係が成立する。たとえば、棒グラフの系では、一本一本の棒の高さが個別の

表3: 路線図(図1)の系における図要素間の対応と選択的属性間の対応

要素	表示する側	表示される側
	「Rokujizo」シンボルと「Ishida」シンボルの対	六地藏駅と石田駅の対
	「Rokujizo」シンボルと「Daigo」シンボルの対	六地藏駅と醍醐駅の対
	⋮	⋮
	「Nishioji-Oike」シンボルと「Uzumasa-Tenjingawa」シンボルの対	西大路御池と太秦天神川駅の対
選択的 属性	間に線がある	直接連結している
	間に線がない	直接連結していない

月における価格を表示するだけではなく、何本かの棒が右から左へ下降する階段形状を作り出していることが、対応する期間における価格の下降傾向を表示している(Pinker 1990)。ベン図の系においては、表2で示したような、ベン図上の最小領域の塗り潰しの有無によって、対応する集合の空・非空を表示するだけではなく、たとえば「 $A_S$ 」円の内側で「 $B_S$ 」円の内側である領域のような、より大きな領域の塗り潰しが、対応する集合の空・非空を表示する。さらに、路線図の系においては、二つの駅シンボルを結ぶ線の有無が、二つの駅の直接連結の有無を表示するだけではなく、間接的に結ばれている二つの駅シンボルの間の駅シンボルの個数が、対応する二つの駅のルート上に存在する駅の個数を表示している。

このように、様々な図表現系を一変数表示系という概念で統一的にとらえることによって、それらの図表現系が共有するいくつかの一般的属性を理論的に究明することができる。具体的には、図の系の重要なポテンシャルとして従来から指摘されてきたただ乗り効果(e.g., Sloman, 1971; Lindsay, 1988; Barwise and Etchemendy, 1991)、整合性検証効果(e.g., Gelernter, 1959; Barwise and Etchemendy, 1995; Lemon and Pratt, 1997)、意味導出効果(e.g., Tufte, 1983; Pinker, 1990; Kinnear and Wood, 1987)は、上記の並行抽象の一定の組み合わせから帰結するものであるため、これらの特性が一変数表示系に分類される数多くの図表現系にどの程度該当するかが一挙に解明できる。さらに、図の系の主たる欠点とされてきた過度の特定性(e.g., Berkeley, 1710; Barwise and Etchemendy, 1991; Stenning and Oberlander, 1995)についても同様である。

この結果は、すでに一変数表示系であることが明らか図の系のみならず、将来の研究によって

一変数表示系であることが判明するあらゆる図の系に適用することができ、従来の逐次的な統語・意味分析の限界を克服し、図の系の認知的機能を広く解明する道を拓くと考えられる。本ポスターでは、「一変数表示系」概念のこれらのポテンシャルを、具体的な例を用いて明らかにする。

## 参考文献

- [a] Barwise, J. and Etchemendy, J. (1991). Visual information and valid reasoning. In *Visualization in Teaching and Learning Mathematics*, pages 9–24. Mathematical Association of America, Washington, D.C.
- [b] Barwise, J. and Etchemendy, J. (1995). Heterogeneous logic. In Glasgow, J., Narayanan, N. H., and Chandrasekaran, B., editors, *Diagrammatic Reasoning: Cognitive and Computational Perspectives*, pages 211–234. The MIT Press and the AAAI Press, Cambridge, MA and Menlo Park, CA.
- [c] Berkeley, G. (1710). *A Treatise Concerning Principles of Human Knowledge*. The Library of Liberal Arts. The Bobbs-Merrill Company, Inc., Indianapolis.
- [d] Gelernter, H. (1959). Realization of a geometry-theorem proving machine. In Feigenbaum, E. A. and Feldman, J., editors, *Computers and Thought*, pages 134–152. McGraw Hill, New York.
- [e] Hammer, E. (1995). *Logic and Visual Information*. CSLI Publications and the European Association for Logic, Language and Information, Stanford, CA.
- [f] Howse, J., Molina, F., Taylor, J., Kent, S., and Gil, J. Y. (2001). Spider diagrams: A diagrammatic reasoning system. *Journal of Visual Languages and Computing*, 12:299–324.
- [g] Kinnear, P. R. and Wood, M. (1987). Memory for topographic contour maps. *British Journal of Psychology*, 78:395–402.
- [h] Lemon, O. and Pratt, I. (1997). Spatial logic and the complexity of diagrammatic reasoning. *Machine Graphics and Vision*, 6(1):89–108.
- [i] Lindsay, R. K. (1988). Images and inference. In Glasgow, J. I., Narayanan, N. H., and Chandrasekaran, B., editors, *Diagrammatic Reasoning: Cognitive and Computational Perspectives*, pages 111–135. The MIT Press and the AAAI Press, Cambridge, MA and Menlo Park, CA.
- [j] Miller, N. (2007). *Euclid and his twentieth century rivals: Diagrams in the logic of Euclidean geometry*. CSLI Publications, Stanford CA.
- [k] Pinker, S. (1990). A theory of graph comprehension. In *Artificial Intelligence and the Future of Testing*, pages 73–126. L. Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- [l] Shimojima, A. (1999). Derivative meaning in graphical representations. In *Proceedings of the 1999 IEEE Symposium on Visual Languages*, pages 212–219. IEEE Computer Society, Washington, D. C.
- [m] Shin, S.-J. (1994). *The logical status of diagrams*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [n] Sloman, A. (1971). Interactions between philosophy and artificial intelligence: the role of intuition and non-logical reasoning in intelligence. *Artificial Intelligence*, 2(3–4):209–225.
- [o] Stenning, K. and Oberlander, J. (1995). A cognitive theory of graphical and linguistic reasoning: Logic and implementation. *Cognitive Science*, 19(1):97–140.
- [p] Tufte, E. R. (1983). *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, Cheshire, CN.