

# 図的表現の視覚認知メカニズム

## Visual Cognitive Mechanisms of Graphic Representation

杉尾 武志  
Takeshi Sugio

同志社大学文化情報学部  
Faculty of Culture and Information Science, Doshisha University  
tsugio@mail.doshisha.ac.jp

### Abstract

In order to make a decision effectively based on a graphic representation, we need to attend to goal-relevant spatial relations among building blocks of the graphic representation. Many cognitive models have been proposed to account for the comprehension of graphic representations. Some models have emphasized the role of interaction between top-down and bottom-up processes. However, the nature of such interaction has not been well studied empirically.

In the present talk, the results of psychological experiments using hierarchy diagrams that investigated the interaction between conventions of graphic representations and the allocation of visual attention are introduced. The implications for information visualization are also discussed.

**Keywords** — graphic representation, top-down process, convention

## 1. はじめに

### 1.1. 日常場面における図的表現の役割

表やグラフなどの図的表現は、日常生活におけるあらゆる場面で目にすることができる。たとえば、ニュース番組において何かしらの社会問題に関する議論をトピックとして取り上げる際には、論拠となるデータが表やグラフとして示されることが多い。仮に出勤前などで時間をかけて見ることができない状態であったとしても、示された図的表現が伝えようとしている全体的な内容は把握することが可能である（データが右肩上がりになっている、など）。さらに、その全体的な内容に基づいて何かしらの判断をおこなったり、行動を起こしたりすることもできる。

このように、日常場面においては情報を得るためにかけることができる時間に制約があることが多い。図的表現においては、項目間のあらゆる関係が空間的に表されていることにより、判断などに必要な情報を一度に把握することができる。この点において、言語的な表現よりも効率的であると言える。

図的表現は絵と異なり抽象化された表現であるため[1]、表現対象と見た目の点で似ている必要がない。た

とえば、最寄駅から大学のキャンパスへのアクセスマップは図的表現として表すことができるが、アクセスマップ内に描かれている道路の幅や他の道路と交差する角度、経路に建っている建物の形が、実際の道路や建物と類似しているかどうかといった、アクセスマップを構成している要素がどのように記号化されているかは、そのアクセスマップの分かりやすさに直接的には影響しない。一方で、道路どうしの位置関係が不正確または不明瞭な場合、キャンパスにたどりつくことはおそらく難しくなる。図的表現が有効に機能するためには、判断や後続する行動を達成するために関連した情報が適切に表現されていることが必要となる。

### 1.2. 図的表現の視覚認知メカニズム

このように、図的表現を用いた判断や行動を効果的におこなうためには、適切な水準において抽象化した形で情報を表すことが必要となる。そのためには、私たちが図的表現を視覚的にどのように認知しているのかを明らかにすることが重要である。たとえば、図的表現を構成する個々の視覚的要素を知覚的体制化の働きによってどのようにまとめとしてとらえているのかといった問題から、図的表現が伝える内容の意味単位を考えることができる。さらに、他の視覚的な対象物と比較して、図的表現の視覚認知がどのような特性を持っているのかを明らかにすることも、図的表現が有している特殊性の視覚認知における役割を考える上で重要となる。

一般的な図的表現においては、個々の構成要素が記号化されているだけでなく、慣習的な約束事に基づいて構成要素間の関係が表されている。つまり、慣習的な約束事を全く知らない状態では、図的表現から正確な情報を得ることは困難である。

このような慣習的な約束事は、知識として課題セットの構築に影響していると考えられる。課題セットとは、課題における目標を達成するために必要な知覚、認知および運動処理過程を指している[2]。たとえば、

どのような刺激に対してどのような反応をおこなうかといった、課題におけるルールなどが課題セットとして構築されている[3].

課題セットが異なると、同じ図的表現であっても得ることができる情報に違いが生じる。多くの場合、図的表現は特定の読み方だけを想定した形でデザインされておらず、目的に応じた多様な読み方が可能となっている。たとえば、同じバスの時刻表に対して、目的地方面行の次のバスがいつ来るのかを判断するといった局所的な読解がおこなわれることもあれば、時刻表全体における時間帯ごとのバスの本数を大域的に読み取って、通勤や通学の乗客が多い時間帯を判断したりすることができる。このように、課題の目的によって図的表現内のどのような構成要素（局所的）や構成要素の集まり（大域的）を刺激セットとしているのかと、それぞれの刺激と反応の対応関係は異なってくる。どのような条件下で図的表現の視覚認知がより大域的になるのかを明らかにすることにより、知識などのトップダウン的要因が図的表現の視覚認知に対してどのように影響しているのかを検討することができる。

### 1.3. トップダウン処理とボトムアップ処理の相互作用

これまで文章理解に関する認知心理学的研究をふまえて、図的表現の理解モデルが構築されてきた[4]。図的表現において構成要素およびそれらの関係は記号化されているため（たとえば、丸や線として）、正しく理解するためには表現対象をどのように抽象化しているかに関する慣習的知識を利用する必要がある。

図的表現の慣習的知識は、図的表現の種類によって異なる[6][7][8][9]。たとえば、マトリクス型の表は、2種類の項目セットの組み合わせに関する情報を網羅的に含んでいる[6]。仮に、問題解決のために2種類の項目セットについてそれらの組み合わせを表す必要がある場合、マトリクス型の表を用いて問題となっている状況を図的に表現することは問題解決に有用となる。一方で、マトリクス型の表から何らかの情報を得なければならない場合、どのような慣習的知識に基づいてその図的表現が作成されているかをふまえることで、構成要素間の関係に対して効率的に注意を向けることができる。このように、図的表現の慣習的知識は、図的表現の作成と理解の両面において重要な役割を担っている。

このように、図的表現の理解メカニズムを明らかにするためには、知識などによるトップダウン的な影響だけでなく、構成要素の知覚的なまとまりやすさなどのボトムアップ的な影響の両方をモデル化することが必要となる。それぞれの処理特性と合わせて、両者の相互作用を含めたモデルも提唱されてきた[4]。

図的表現は記号などを用いる形で抽象化されているため、記号化された表現が何を意味しているかを示した慣習的知識がなければ理解することは難しい[5]。このように、慣習的知識は図的表現の理解においてトップダウン的な役割を担っているが、どのような慣習的知識が活性化されるかはボトムアップ的な視覚認知の結果に基づいている。これまで、このようなトップダウン処理とボトムアップ処理の相互作用がどのような特性を持っているかは実験的に十分には検討されてこなかった。

視覚認知におけるトップダウンの影響は、候補間の競合としてモデル化することができる[10]。日常場面においては、観察位置からは部分的に遮蔽が生じていたり、最適な照明条件でなかったりすることにより、物体の視覚的な入力情報にノイズが含まれていることが多い。その結果、物体が何であるかに関して複数の候補があがるが生じうる。

このような状況において、物体が含まれるシーン全体に関する情報は、候補間の競合を解消する有効な情報となる。たとえば、ある物体に対してランプ、マッシュルーム、傘が認知の候補としてあがった場合、その物体がおかれているシーンがリビングであるという文脈の情報が与えられることで、候補を絞り込むことができる[10]。このような文脈の情報がボトムアップ処理によって活性化され、どのように図的表現の理解に役立つのかについて検討を行う必要がある。

### 1.4. 図的表現の大域的構造

このように、図的表現から情報を効率的に得るためには、その図的表現にとって適切な慣習的知識を適用できる必要がある。慣習的知識の適用によって、課題に関連した図的表現内の構成要素間の空間関係に対して素早く注意を向けることができる。

慣習的知識が活性化される手がかりの一つとして、図的表現の大域的構造が考えられてきた[8]。たとえば、線グラフと棒グラフがグラフとして異なる種類であることは、各々の全体的形状（連続的かどうか、など）から一目で把握することができる。大域的構造を

反映した全体的形状から、図的表現のカテゴリーが同定されることで、適用可能な慣習的知識を活性化することができる。

このように、図的表現を理解するためには、図的表現の大域的構造を手がかりとして活性化された慣習的知識を有効に用いることが必要となる。しかし、活性化された慣習的知識が図的表現に対する視覚的注意の働きにどのように影響するかは明らかにされていない。図的表現の視覚認知メカニズムにおける慣習的知識に基づいたトップダウン的影響を実験的に明らかにすることで、日常場面における図的表現の作成にも寄与できることが期待される。

心理実験では図的表現として階層図を使用した。階層図とは上下の階層的関係を水準の違いとして図的に表現したものであり、実世界における対象物を示す接点（ノード）と、接点同士を連結する線分によって対象物間の関係を表している。例えば、生物の進化を時間軸に沿って枝分かれする様子を図示した系統樹、夏の甲子園などの報道場面で見られるトーナメント表、部署間の関係を示した組織図などが代表例である。階層図における水準は、必ずしも空間的特性の違いのみを反映しているのではなく、時間的特性も含めた抽象的な関係も含めた表現特性を有している（例えば、トーナメント表においては、階層図における水準によって準決勝や決勝といった日程上の違いが表現されている）。

階層図に限らず、個々の図的表現がどのような情報を表現することができるかは文化的慣習によって定められている。このため、目の前にある図的表現から必要な情報を読み取るために、図的表現をカテゴリーに分類し（例えば、マトリクス図なのか、または階層図なのか）、そのカテゴリーに適用可能な慣習的知識を利用して読解を行っていると考えられる。慣習的知識によって図的表現の構成要素の体制化や、視覚的注意をどのように向けるかといったボトムアップ的な視空間的処理が変化した結果、より効率的な読解が可能となる。

## 2. 図的表現を用いた視覚認知実験

### 2.1. 視覚認知における大域優先性

日常生活における物体の多くは階層的構造を有している[11]。たとえば、人間の体は頭や脚といった部分から構成されているが、これらの部分もさらに細かい

部分から構成されている（頭は眼や鼻などから構成される、など）。図的表現も他の視覚的物体と同様に階層的構造を有しているが、どのような特性が図的表現の大域的構造や構成要素となっているかは慣習として文化の中で共有されている[8]。たとえば、階層図の大域的構造として、一つの接点から枝分かれしていて、いくつかの水準に分けることができる、といった特性があげられる。

これまで視覚認知において、大域的構造の処理が局所的な細部に対する処理に先行することが実験的に明らかにされてきた[12]。典型的には、大域的な判断をおこなう課題における反応時間が局所的な判断をおこなう場合よりも有意に速くなることと、局所的な判断をおこなう課題において大域的な水準で定義される妨害刺激による干渉が生じるといった結果が報告されてきた[13]。提示された視覚刺激に対する局所的な判断をおこなう課題において、視覚刺激の大域的特性は課題非関連的な情報である。課題非関連的な情報であるにもかかわらず、自動的に注意が向けられた結果、局所的な判断に要する時間が長くなったと説明される。

視覚認知における大域優先性は、視覚刺激が大域的に意味を持った対象としてとらえることができない条件では生じないことが明らかにされている[14][15]。このような実験結果は、視覚認知において大域的構造の分析と同時に並行して大域的または局所的な水準における同定処理が働いていることを示している。視覚認知課題の遂行中に大域的または局所的のいずれかの水準において何かしらの意味を持った対象が同定された場合、注意の割り当てに対してバイアスがかかる。その結果、大域的特性から意味情報が活性化されない場合は、局所の特徴が優先的に処理されることが起こりうる。

### 2.2. 課題セットによる図的表現に対する視覚認知への影響（実験1）

図的表現を構成する視覚的特徴は、図的表現の表現対象の違いと関連しているかどうかによって二つに分けることができる。たとえば、階層図における最上位の節点が画面の上と左のいずれに位置しているかは表現対象の違いを反映していない。それに対して、同じ最上位の節点から下位水準の節点に対する分岐数の違いは、カテゴリー数の違いといった表現対象の特性を反映している。図的表現の理解においては、後者の特徴について大域的・局所的のいずれの水準であっても

素早く認知することが必要となる。もし図的表現の理解において、図的表現の大域的または局所的な特徴に対して、表現対象の特性を結びつけることで意味をとらえているとすれば、視覚認知課題において大域優先性は生じないと予測される。

実験では、課題セットによって図的表現に対する視覚認知のモード（大域的または局所的処理）に違いがみられるのかが検討された。実験参加者は、階層図の大域的または局所の特徴に関して識別判断を求められた。この時、階層図は大域的または局所の特徴の違いが表現対象の違いを反映している条件と反映していない条件に分けられた（例えば、図1のように階層図が3層構造になっているのか、または4層構造になっているのかは表現対象の違いを反映しているが、図2のように階層図が全体として右にノードが集まっているか、それとも左に集まっているかは表現対象の違いと無関係）。

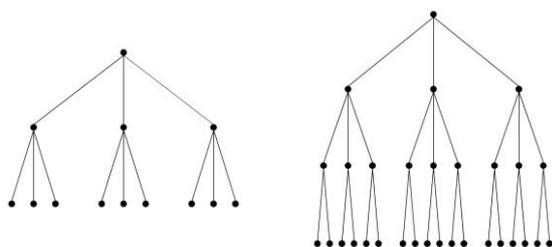


図1 表現対象の違いを反映した大域的特徴  
(左：3層構造，右：4層構造)

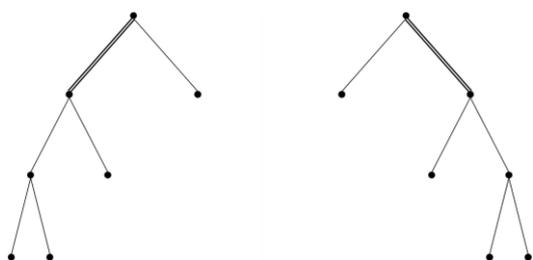


図2 表現対象の違いを反映していない大域的特徴  
(左：全体的に左に偏っている，右：全体的に右に偏っている)

その結果、識別課題において対象となっている階層図の視覚特徴が、表現対象の違いを反映していない場合のみ大域優先性がみられた。この結果は、図的表現の視覚認知においても他の視覚的なパターンと同様に、大域的特徴が優先的に処理されていることを示し

ている。こうした処理特性は低い空間周波数成分に対して感度が高い大細胞系の処理を反映していると考えられる[15]。

それに対して、表現対象が異なるかどうかの識別を求めた場合は、大域的処理と局所的処理の間で反応時間に有意な差はみられなかった。この結果は、図的表現からその表現対象に関する情報を得ることが必要な場合、大域的処理と局所的処理が並列的に行われていることを示唆している。

### 2.3. 慣習的知識が視覚的注意の働きに及ぼす影響（実験2）

図的表現の大域的特徴に基づいて異なる図的表現を認識することは可能であるが、図的表現から情報を読み取るためには、どのような視覚的要素が情報を担っている単位となっているのかについて知識を利用できる必要がある[8]。階層図の場合、個々の節点自体はその階層図が表現する対象の中にその接点に対応した構成要素が含まれるということの意味しているが、構成要素間の関係については何ら情報を担っていない。節点と下位水準へのリンクを含む節点が情報を担っている最小の単位となっている[8]。私たちは図的表現を理解する際に、慣習的知識に基づいてどのような視覚的特徴のまとまりが情報を担っている最小単位となっているかを判断していると考えられる。

視覚認知においてどのように対象に対して注意を割り当てるかは課題の性質に依存している[16][17]。図的表現を理解する上で、慣習的知識に基づいて図的表現内の位置ではなく意味を担っている最小単位に対して注意を割り当てているかどうかを実験的に検討する必要がある。

実験では、階層図に関する慣習的知識が（上下関係がどのような規則によって表現されているか等）、階層図に対する視覚的注意の定位にどのように影響するかについて、修正先行手がかり課題を用いた検討を行った。具体的には、階層図内の1つの接点に対して先行して注意を定位されることで、他の接点に提示される標的刺激の検出時間への影響が検討された。

その結果、手がかりと標的が同じ上位水準の接点を共有している場合は検出時間が短くなっただけでなく、標的が手がかりに対して上位水準に提示された場合は、直接的な結合が存在していなくても検出時間が短くなることが明らかにされた（図3）。さらに、階層図の上下を空間的な上下と一致させなかった場合、

手がかりと直接結合した上位水準の接点に提示された標的に対しても検出が速くなった。このことは、階層図が空間的な上下と一致している場合は、手がかりが提示された接点と同水準の接点を直感的に判断することができるのに対して、一致していない場合は、階層図の概念的な上位水準から順にたどっていく形で接点間が同じ水準にあるかどうかを判断していることを示している。

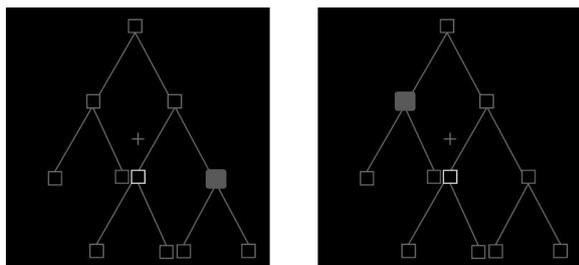


図3 目標刺激の検出が早い条件

(白枠：先行手がかりが提示された節点，灰色塗りつぶし：目標刺激が提示された接点。左が先行手がかりと目標刺激が同じ構成単位に属しているのに対して，右は異なっている。)

このように、図的表現の理解において視覚認知の段階から慣習的知識に基づいた注意の割り当てがおこなわれている。しかし、こうした知識に基づいた制御をおこなうためには、より多くの処理資源が必要とされる。この点に関して、ワーキングメモリー容量の個人差が図的表現の理解における慣習的知識の利用の程度に及ぼす影響などを検討していく必要がある。

### 3. まとめ

#### 3.1. 視覚認知をふまえた情報の視覚化

図的表現が読み手に対してどのように情報を伝達するかを明らかにする上で、視覚認知についての十分な理解が必要である[18][19]。本稿で紹介した実験結果は、課題セットや個々の図的表現の種類に特化した慣習的知識が、図的表現に対する処理モード（大域的または局所的）や視覚的注意の定位に影響することを示している。このような視覚認知メカニズムの特性をふまえることは、情報の視覚化において重要である。

#### 3.2. 今後の展望

今後は、視覚認知におけるトップダウン的な制御過

程の個人差に関する検討をおこなっていく予定である。こうした個人差の影響を明らかにすることで、図的表現の作成や読解における教育のあり方に対しても実験的に得られた知見を適用していくことができるようになると思われる。

**謝辞** 本稿において紹介した実験はすべて高田直子氏の同志社大学大学院文化情報学研究科 2016 年度修士論文の一部として実施されたものであり、JSPS 科研費 15K00215 および 15H02716 の助成を受けて行われた。

### 参考文献

- [1] Reed, S. K. (2010). *Thinking visually*. New York, NY: Taylor & Francis.
- [2] Schneider, D. W., & Logan, G. D. (2014). Tasks, task sets, and the mapping between them. In J. A. Grange & G. Houghton (Eds.), *Task switching and cognitive control* (pp. 27-44). New York, NY: Oxford University Press.
- [3] Sakai, K. (2008). Task set and prefrontal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 219-245.
- [4] Shah, P., Freedman, E. G., & Vekiri, I. (2005). The comprehension of quantitative information in graphical displays. In P. Shah, & A. Miyake (Eds.), *Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 426-476). New York, NY: Cambridge University Press.
- [5] Kosslyn, S. M. (1989). Understanding charts and graphs. *Applied Cognitive Psychology*, 3, 185-225.
- [6] Hurley, S. M., & Novick, L. R. (2010). Solving problems using matrix, network, and hierarchy diagrams: The consequences of violating construction conventions. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63, 275-290.
- [7] Novick, L. R. (2006). Understanding spatial diagram structure: An analysis of hierarchies, matrices, and networks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1826-1856.
- [8] Novick, L. R., & Hurley, S. M. (2001). To matrix, network, or hierarchy: That is the question. *Cognitive Psychology*, 42, 158-216.
- [9] Novick, L. R., Hurley, S. M., & Francis, M. (1999). Evidence for abstract, schematic knowledge of three

- spatial diagram representations. *Memory & Cognition*, 27, 288-308.
- [10] Trapp, S., & Bar, M. (2015). Prediction, context, and competition in visual recognition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1339, 190-198.
- [11] Kimchi, R. (2015). The perception of hierarchical structure. In J. Wagemans (Ed.). *Oxford handbook of perceptual organization* (pp.129-149). Oxford, UK: Oxford University Press.
- [12] Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- [13] Kimchi, R. (1992). Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: A critical review. *Psychological Bulletin*, 112, 24-38.
- [14] Poirel, N., Pineau, A., & Mellet, E. (2006). Implicit identification of irrelevant local objects interacts with global/local processing of hierarchical stimuli. *Acta Psychologica*, 122, 321-336.
- [15] Poirel, N., Pineau, A., & Mellet, E. (2008). What does the nature of the stimuli tell us about the Global Precedence Effect? *Acta Psychologica*, 127, 1-11.
- [16] Bleckley, M. K., Durso, F. T., Crutchfield, J. M., Engle, R. W., & Khanna, M. M. (2003). Individual differences in working memory capacity predict visual attention allocation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 884-889.
- [17] Bleckley, M. K., Foster, J. L., & Engle, R. W. (2015). Working memory capacity accounts for the ability to switch between object-based and location-based allocation of visual attention. *Memory & Cognition*, 43, 379-388.
- [18] Kosslyn, S. M. (2006). *Graph design for the eye and mind*. New York, NY: Oxford University Press.
- [19] Cairo, A. (2013). *The functional art: An introduction to information graphics and visualization*. Berkeley, CA: New Riders.