

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00215

研究課題名(和文) 図的表現の柔軟な読解における実行機能の働き

研究課題名(英文) The role of executive function in the flexible reading of the diagrams

研究代表者

杉尾 武志 (Sugio, Takeshi)

同志社大学・文化情報学部・教授

研究者番号：60335205

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：日常のさまざまな場面において、図的表現の読解を柔軟におこなうためには、個々の図的表現から意味を導出するための慣習的知識を利用する必要がある。本研究は、図的表現の大域的・局所的な知覚・認知に対する視覚的注意および認知的制御の役割を実験的に検討することと、大域的読解に関与している脳内メカニズムをfMRI計測により明らかにすることを目的とした。実験の結果から、図的表現の大域的読解時により強く競合する情報に対して抑制的制御が働くことと、視覚的注意の広がり慣習的知識の影響を受けることが明らかにされた。このことは、図的表現のデザインにおいて慣習的知識をいかに反映させるかが重要であることを示している。

研究成果の概要(英文)：Reading a diagram in a flexible manner requires the utilization of the conventional knowledge about the diagram for deriving its meaning. In the present study, we investigated how both visual attention and cognitive control are involved in the perception and the cognition of the diagrams at both a global and a local level. In addition, we explored the neural mechanisms of global reading of the diagrams by using fMRI. As a result, we found that the category-specific knowledge of the diagrams indeed influenced both the global and the local processing of the diagrams. Moreover, the brain activation showed that inhibitory control was involved in the global processing of the diagrams. These results suggest that the role of conventional knowledge in the flexible reading of the diagrams, and it is necessary to consider how to apply such principle to a diagram design.

研究分野：視覚認知

キーワード：図的表現 抑制的制御 大域的特性 局所的特性 慣習的知識

1. 研究開始当初の背景

(1) 認知的活動における図的表現の有用性

グラフや地図といった図的表現は、コミュニケーションや思考の補助手段として、現代社会のあらゆる場面で用いられている。例えば、さまざまなプレゼンテーションツールの普及に伴って、図を用いた表現が情報の伝達において効果的であることが広く認識されつつある。さらに、数学や物理学といった領域における問題に対して、図的表現を用いた解決方略が有効であることもよく知られている。このように、図的表現はさまざまな認知的活動を円滑に進めていく上で重要な役割を担っている。

(2) 図的リテラシー教育の必要性

問題解決において図的表現が有用であることを示した研究は数多く存在しているが、図的表現自体についてどのような知識が保持されているかを検討した研究は少ない。しかし、実際に問題に対して適切な図的表現を適用するためには、図的表現の形式ごとに適用できるための条件や制約を知識として有している必要がある。こうした図的表現の運用能力は図的リテラシーと呼ばれ、情報の視覚化およびその共有が進んだ現代の情報化社会においては必須の能力となっている。

このように、こうした図的リテラシーをどのようにして獲得し、日常のさまざまな場面に対して適切に用いることを効率的に学ぶための方法を明らかにすることが求められている。同時に、人間の認知的メカニズムをふまえた形で図的表現のデザインをおこなうことにより、多くの負荷がかからない形での図的リテラシーの運用が可能となる。例えば、スマートフォンなど、画面のサイズに制限がある情報端末上で地図などを表示する場合、同時に表示できる情報には制約がある。こうした制約を補うには、閲覧時にスケールを変更したり、スクロール操作を行いながら、対象の視空間的なイメージを生成したりすることが必要となる。さらに、環境内の多様な刺激から注意を図的表現に対して向けさせるために、情報の正確な読解を妨害する可能性があるような装飾が必要となることがある。こうしたさまざまな場面における情報デザインの問題を人間の認知能力をふまえて検証することで、図的表現の生成および読解の両面に関わる原理を明らかにすることができる。

(3) 認知的負荷が高い状況における図的表現の読解メカニズム

日常場面における図的表現の使用を考えると、認知的負荷が高い中で読解が行われることが多い。図的表現の読解のような複雑な認知的活動を、認知的負荷が高い状況下でどのように遂行しているかを検討することで、認知メカニズムの柔軟性や適応性を考えることが必要である。

2. 研究の目的

本研究は、認知的負荷が高い状況下で、図的表現の読解がどのように働くかについて、視覚認知実験の結果を中心に、脳内メカニズムをふまえたモデル化を行うことで、認知の柔軟かつ適応的な特性を明らかにすることを目的とした。さらに、得られた知見に基づき、認知の個人差をふまえた図的リテラシーの教育や、読解学習支援への応用を目指した。具体的には、図的表現の大域的読解と実行機能の関係について実験的な検討を行うこととした。多次元的な情報を図として二次元的に縮約して表現するためには、局所的要素から構成されるまとまりに対して、大域的な読解が可能である必要がある。例えば、散布図における個々の点の値ではなく、点の集合に対して大域的な傾きを読み取り、二変数間の相関の強さを判断する際には、図的表現に対する大域的な読解が行われていると言える。

本研究の申請代表者は、このような大域的読解は、通常状況においては優勢である局所的要素の読み取り（局所的読解）の結果として生じる反応を抑制する必要があるため、認知的負荷が高くなることを明らかにした（Sugio, 2014）。しかし、こうした高負荷な状況において複雑な認知的課題を遂行するために働いていると考えられる実行機能の特性との関係についてはこれまであまり実験的な検討がなされてこなかった。このため、本研究では抑制的制御およびワーキングメモリの関与に焦点をあてて、実験的な検討を進めることとした。

3. 研究の方法

(1) 視覚認知実験

これまで視覚認知における抑制の問題は、視覚的注意に関する研究の枠組みの中でとらえられてきた。提示された視覚画面を構成する要素間の近接性や類似性を操作することにより、要素同士の群化といった知覚的体制化がはたらきやすくなる。一方で、こうした知覚的体制化のはたらきやすさとは独立に、要素の意味的特性や慣習的知識の関与を操作することで、知覚的体制化が自動的にはたらく条件と、体制化がはたらかないように制御的な処理をおこなうことが必要となる条件を設定することができる。条件間での反応時間や誤答率といった行動指標を比較することで、要素の意味的特性や慣習的知識といった情報が、図的表現の読解においてどの程度トップダウン的な役割を担っているかを明らかにすることができる。

(2) fMRI 実験

多くの図的表現は読み手の目的に応じて柔軟な読解が可能となるようにデザインされている。しかしながら、どのようなメカニズムによって目的に沿った形で図的表現の読解の方略が選択されているのかについて

はほとんど明らかにされていない。このような内的な方略の違いを明らかにするためには、従来の視覚認知実験によって得られる行動指標のみに基づいた議論だけでは必ずしも十分ではない。fMRI に代表される脳イメージングの手法を、図的表現の読解メカニズムの解明に用いることで、目的に応じて変化する柔軟性を持った図的表現に対する読解に参与している処理の性質を明らかにすることができる。

4. 研究成果

(1) 慣習的知識が階層図に対する視覚的注意の広がり及ぼす影響

階層的な関係を表した図的表現（階層図）を用いて、図的表現を構成する局所的な要素の明るさを変化させることで視覚的注意を誘導した際に、階層図全体に注意の効果がどのように広がるかについて視覚認知実験により検討をおこなった。

階層図に関する意味知識の関与を除くために、階層図を構成する要素として幾何学的図形（正方形）を用いた。Egly ら（1994）による修正空間手がかり法を用いて参加者内 2 要因のデザインで実験を実施した。明るさを瞬間的に変化させた要素（手がかり刺激）と検出対象となった要素（標的刺激）の関係について、手がかり刺激に対して標的刺激が提示された階層図における水準（上、同、下）と、標的刺激が手がかり刺激と同じ構成単位に属しているかの 2 つが要因として操作された。階層図における構成単位は、階層図において表現されている個々の概念などの局所的な要素とは異なり、要素間の階層的關係を理解する上で有意義な最小の単位を意味している。具体的には、概念的に上位にある水準における 1 つの要素と、隣接した下位水準における 2 つの要素がそれぞれ連結されることで構成されるまとまりを指している。こうしたまとまりは階層図全体の中で最小の階層的關係を表すものとなっている。

実験参加者は、画面上に提示された階層図に関して、構成している要素（正方形）のいずれかが塗りつぶされた状態に変化したら（標的刺激の提示）できるだけ速くかつ正確に指定されたボタンを押すように求められた。全体の 1.0% であった誤反応を除いて手がかりと同じ要素が標的とならなかった試行（手がかり無効条件）における検出に要した時間について中央値を実験参加者ごとに求め、参加者内 2 要因の分散分析をおこなった。その結果、要因間の交互作用がみられた。単純主効果の検定をおこなった結果、手がかり刺激と標的刺激が同じ構成単位に含まれていない場合に、標的刺激が提示された階層図における水準に関して 1% の有意水準で有意差がみられた。多重比較をおこなった結果、標的刺激が手がかり刺激よりも概念的に上位の水準で提示された場合の方が、同じまたは下位の水準で提示された場合よりも

検出時間が有意に速くなっていた。このことは、同じ構成単位に含まれている場合は、構成単位が視覚的注意の広がり境界を定める領域として機能していることを示している。さらに、上位の水準に提示された場合に検出が速くなっていたことは、階層図全体の上部に対して注意の分布に偏りが存在したことを示している。この階層図上部に対する注意の偏りについては、追加実験において階層図の概念的な上下と空間的な上下が一致しない条件において要素に対する手がかりの効果を検討しており、単なる空間的な上部に対する注意の偏りによるものではないことを確認している。

一方で、手がかり刺激と標的刺激が同じ構成単位に含まれるかどうかについては、両者が階層図内の同じ水準で提示された場合のみ単純主効果が有意であった。こうした結果は、階層図における要素間の関係を把握する過程において、要素同士の共線性といった階層図における大域的特性が利用されていることを示している。

実験により明らかとなった階層図に対する視覚的注意の定位に関する特性は、あらゆる図的表現に当てはまるものではなく、階層図がどのように作成されるかに関する慣習的知識を反映している。こうした慣習的知識を用いることにより、図的表現に対する理解がより効率的におこなわれると考えられる。本成果は国際学会において報告予定である（Diagrams 2018）。

(2) 表の読解における認知的制御の脳内メカニズム

図的表現の読解における方略の違いについて、大域性に着目して研究をおこなった。多くの図的表現において情報は、個々の要素について記号等を用いて象徴化した形で局所的に表現されているだけでなく、個々の要素間の関係を示した形で大域的にも表現されている。例えばマトリクス型の表の場合、個々のセルにおける要素は、記号とその意味との間の恣意的な対応関係を利用して局所的に情報を表現している（ならば出席で×ならば欠席、など）。それに対して、表における特定の列全体に関して、含まれる要素同士の関係から創発される情報（すべてで全員一致、subitizing をおこなって と×で○の方が多いと判断した結果、列が表す曜日に関しては出席者が欠席者よりも多い、など）は大域的に表現されていると言える。

実験は事象関連型のデザインに基づいておこなわれた。参加者は装置内に横たわった状態でスクリーンに提示された表刺激を観察した。課題はラベルの色により指定した行と列が交差したセルについて反応をおこなう局所的読解と、指定した行または列におけるすべての要素について○と×のいずれが多いかを判断する大域的読解のいずれかであった。課題の指定は手がかりとして画面中

央に提示されたアルファベットによりおこなった。

正反応の試行に関して conjunction 解析をおこなった結果、手がかりに対して局所的または大域的読解の方略を選択および適用する段階で脳活動に違いがみられた。大域的読解時に、左中側頭回の後部および下前頭回（状況依存的な意味づけ）および島から前頭前野弁蓋部（課題セットの維持）に関してより高い活動がみられた。このように図的表現に対して認知的制御過程の切り替えをおこなうことで、柔軟な読解が実現されていると考えられる。本成果は日本心理学会第 79 回大会（2015 年）において報告された。

(3)高速教示課題学習パラダイムを用いた大域的読解時の脳内基盤の解明

図的表現に対して大域的読解をおこなう際に認知的制御に関わる処理過程が関与していることが明らかにされたが、これまで用いてきた課題の場合、純粋に読解範囲の大域性のみを取り出して扱っていなかった。そのため、より読解の大域性に特化したメカニズムを明らかにするために、Coleら（2013）による高速教示課題学習パラダイムを用いた検討をおこなった。

実験では、表刺激を読む範囲（大域的・局所的）読む方向（行方向・列方向）反応をおこなう判断の種類（指示された 2 か所が「同じ」場合に指定されたボタンを押す・「異なる」場合に押す）反応ボタン（人差し指におかれたボタン・中指におかれたボタン）の組み合わせ 16 通りのいずれかが教示として試行の最初に提示された。参加者は表刺激に対して直前に提示された教示にしたがって反応をおこなうように求められた。

正反応の試行について、大域的および局所的読解の事象間で集団解析をおこなった結果、右下前頭回弁蓋部および大脳基底核の視床下核において有意な活動がみられた。これらの領域は、反応抑制経路を形成していると考えられており、大域的読解時における認知的制御の役割が、課題に関連していない情報の抑制に関わることが明らかにされた。今後、大域的読解における抑制的制御に影響する要因を検討することで、効率的な図的表現の読解における最適な方略が明らかになると期待できる。本成果は、日本心理学会第 81 回大会（2017 年）において報告された。

<引用文献>

- Cole, M. W., Laurent, P., & Stocco, A. (2013). Rapid instructed task learning: A new window into the human brain's unique capacity for flexible cognitive control. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 13(1), 1-22.
- Egly, R., Driver, J., & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention

between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 161-177.

Sugio T. (2014). Neural Mechanisms of Global Reading. In: Dwyer T., Purchase H., Delaney A. (eds) *Diagrammatic Representation and Inference. Diagrams 2014. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8578. Springer, Berlin, Heidelberg

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Sugio, T. (2018). The role of top-down knowledge in spatial cueing using hierarchical diagrams. In: Chapman, P. et al. (eds) *Diagrammatic Representation and Inference. Diagrams 2018. Lecture Notes in Computer Science*, vol.10871, 500-508. Springer, Berlin, Heidelberg. 査読有 DOI: 10.1007/978-3-319-91376-6_45

Ogawa K. & Imai F. (2016) Hand-independent representation of tool-use in the left inferior parietal lobule, *Experimental Brain Research*, 234(12), 3677-3687. 査読有 DOI: 10.1007/s00221-016-4765-7

〔学会発表〕(計 8 件)

杉尾武志、図的表現の視覚認知メカニズム、日本認知科学会第 34 回大会、2017 年

杉尾武志、表の読解における抑制的制御の関与、日本心理学会第 81 回大会、2017 年

Imai F., Ogawa K., Nihashi J., & Abe J. Neural representational similarity of individual finger movements: the study including a skilled piano player who suffered from focal hand dystonia. 6th Conference of the Asia-Pacific Society for the Cognitive Sciences of Music (APSCOM), 2017

Ogawa K., Imai F., Shinozaki J., Nagahama H., Sakurai Y., & Nagamine T. Role of the precentral cortex for kinesthetic motor imagery: fMRI multivariate decoding of finger movements. 47th annual meeting of the Society for Neuroscience. 2017

小川健二、fMRI を使った運動スキルの脳内基盤の検討、第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2016 年

杉尾武志、表の読解における認知的制御の脳内メカニズム、日本心理学会第 79 回大会、2015 年

杉尾武志、ダイアグラムの読解における制御機構、日本心理学会第 79 回大会、2015 年

小川健二、使用する手に非依存の道具使用行為の神経表象：fMRI デコーディングによる検討、第 39 回日本神経心理学会、2015 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉尾 武志 (SUGIO, Takeshi)
同志社大学文化情報学部・教授
研究者番号：6 0 3 3 5 2 0 5

(2) 研究分担者

小川 健二 (OGAWA, Kenji)
北海道大学文学研究科・准教授
研究者番号：5 0 5 8 6 0 2 1

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()