研究課題別評価

1. 研究課題名:

知覚と記憶の協調による視覚認知の成立過程

2. 研究者氏名: 齋木 潤

研究員: 伊丸岡 俊秀 （ **研究期間** H.15.04～H.16.03 ）

研究員: 高濱 祥子 （ **研究期間** H.16.04～-H.18.03 ）

技術員: Matthew deBrecht （ **研究期間** H.15.07～H.17.02 ）

3. 研究の狙い:

われわれの見ている視覚世界はきわめて豊かである。私たちは特に努力することもなく複雑な外界を認識できていると感じるために、我々の豊かな視覚認識は極めて精妙で複雑な外界の内部モデルを脳内に構築することであるという考えにたどり着く。しかし、近年の視覚認知研究は、それが正しくないことの証拠を蓄積しつつある。こうした証拠の代表的な2つの現象に「変化の見落とし」として知られる現象と、「超高速カテゴリ判断」として知られる現象がある。両者とも、我々の視覚認知は意識内容を反映した内部モデルを構築していない可能性を示唆している。

このような研究の流れを踏まえ、本研究は、われわれが複雑な外部世界を見る時に脳はどのような情報をどのような形で処理しているのかを明らかにすることを目指した。ヒトの視覚認知システムは「焦点的注意システム」と「分散的注意システム」の2つの機能的下位システムの協調によって成立するという枠組みで研究を進めた。焦点的注意システムは、視覚イメージの局所情報に焦点を当てその詳細構造を復元し、物体の詳細構造の知覚などを担うが、その情報処理容量には強い制約があるために、多くの物体情報を並列的に処理することが出来ない。一方、分散的注意システムは、視覚イメージ全体の情報を並列的に処理できるが、局所構造などは扱えず、イメージ全体の統計的情報や、イメージ内の情報の顕著性分布などを処理すると考えられる。この2つのシステムが相補的に相互作用することで、豊かな視覚認知が成立すると考えられる。

本研究では、このメカニズムを出来るだけ定量的に検討するためにいくつかの心理物理実験パラダイムを用い、心理物理実験、機能的脳イメージング、計算論的モデリングの手法を有機的に組合せながら研究を進めた。

4. 研究成果:

4.1 分散的注意と焦点的注意の相互作用:多物体恒常性追跡法

視覚認知が選択的注意メカニズムにより、必要最小限の視覚情報と記憶情報を高速かつ一過性に統合することを繰り返すことで外界を認識しているという仮説を、多物体恒常性追跡法という実験パラダイムを創造して検討した。多物体恒常性追跡法は、以下のような課題である。

4～6個の色と形態で定義された物体が注視点から等距離に円形状に配置され、風車形の遮蔽物の背後を見え隠れする。物体或いは遮蔽物が回転することによって物体が見える状態と見

えない状態が交互に繰り返される。この系列の途中で遮蔽中に2つの物体の属性の交替を行なう。被験者の課題は系列中の変化のタイプを同定することである（図1）。多物体恒常性追跡法を用いた一連の研究から以下のことがわかった。

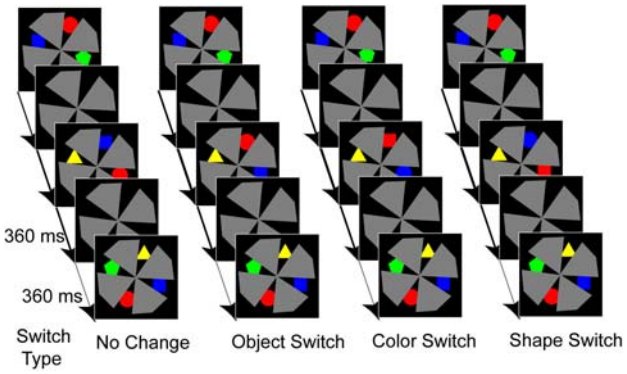

図1．MOPT課題の模式図

(1) 物体が運動している場合、記憶成績は有意に低下する。

(2) しかし、物体が静止している場合でも従来の知見とは異なり、正確に保持できる物体の数は1～2個に過ぎない。標準的な容量推定の方式を用いると容量は約 1.5 個となる。

(3) この記憶の困難さが物体表象の保持の問題なのか、変化同定の際の記憶検索のコストなのかを調べるために、変化時に手がかりを与える実験を行なった結果、同定課題では、変化が起こった直後でも手がかりの効果は全く見られない。このことは保持が困難であることを支持する。

心理物理実験をうけて、多物体恒常性追跡課題 (MOPT)遂行中の脳活動を fMRI を用いて計測した。ブロックデザインを用いた実験1では、MOPT 課題がオブジェクト位置のトラッキング（前頭－頭頂ネットワーク）とオブジェクトの位置情報と色情報の結合（右前部前頭前野）という二つの異なる認知機能を必要としていることを示した。これらの結果は、少なくともこの課題で必要とされるオブジェクト表象は、単一の神経システムではなく、二つのシステム間の協調によって表現されていることを示唆する。実験2では、事象関連デザインを用い、動的な情報の更新を必要とする視覚的作業記憶課題における情報の保持／更新と変化検出に関わる神経基盤を分離することを目的とした。この実験では、物理的に同じ刺激に対して、色をリストとして記憶すればよい条件と色と位置の結合が必要な条件間で有意な脳活動の差異が観察された。

4.2 焦点的注意によって保持される物体表象：時空間視覚探索法

MOPT 課題を用いた一連の実験では、特徴を統合した物体表象の一時的保持容量は従来考えられていたよりもずっと少ないことは明確に示したが、1個ないし2個という以上に容量を特定することは出来ない。しかし、理論的には視覚記憶が一度に1個の物体しか保持できないのか、2個の物体情報を並列的に保持できるのかは重要な問題である。この問題に対するアプローチの第1段階として時空間視覚探索法という実験方法を開発し、一連の心理実験を行なった。

時空間視覚探索法は、以下のような課題である。

8個の色付きのバーが注視点から等距離に円形状に配置され、それぞれの近傍にあるグレーの正方形の下を潜り抜けるように移動する。バーの先端部が正方形に一旦遮蔽され、再び出現する時に、色が変化する場合があり、課題は再出現した時のバーの左右の色が異なるものの検出である。バーの再出現から刺激の消失までの時間の閾値を適応法によって測定した。記憶すべき物体数と、色の比較判断に使える情報を実験的に操作し、知覚情報、記憶情報が両方使える条件と、記憶情報、知覚情報のみが使える条件を設定した。まず、物体の属性情報(色)の記憶は知覚判断を促進しないことが示唆された。また、色の記憶情報がどの程度知覚判断を補完できるのかを評価した結果、属性の知覚情報を補完できる記憶情報は物体1個に限られることが示唆された。

4.3 分散的注意による刺激駆動的標的探索メカニズム:視覚探索法

焦点的注意によって保持できる物体表象が1個程度しかないとすると、いったい我々はなぜたくさんのものを同時に見ているように思えるのだろうか？一つの仮説は、焦点的注意機構を補完する分散的注意機構が注意を向けて詳細を分析すべき物体を効率的に検出しているというものである。分散的注意機構が注意の焦点を決定するメカニズムを考察するため、我々はまず顕著性マップという概念を用いた視覚探索のモデルの構築を行なった。そして、モデルからの予測を心理物理実験によって検証し、さらにその背後にあるメカニズムを検討した。

顕著性という概念に基づく、Itti と Koch のモデルは、単純な視覚探索課題および自然画像を用いた探索課題におけるヒトの行動特性をよく再現した。しかしこのモデルは、視覚探索課題における探索非対称性や、目標刺激と妨害刺激の類似度に応じて連続的に変化する探索特性などを再現することができない。本研究は従来の顕著性マップに、(1)特徴マップの段階における属性間競合、(2)視覚的注意の確率的な移動、という 2 つの新たな仮説を取り入れて改良した。この神経回路網モデルを構成して、モデルにQ-O 刺激を用いた視覚探索課題を行わせたところ、モデルは探索非対称性を再現することが可能であった。

確率的顕著性マップモデルは、探索非対称性の生起メカニズムを明確に刺激駆動的過程と予測する。この予測の妥当性を確かめるために、我々は、標的刺激の不確定性を実験的に操作し、不確定性が探索非対称性の生起に影響を及ぼすかどうかを検討した。一連の実験の結果、探索非対称性の強さは標的刺激の不確定性に影響されないことが明らかになった。

反応時間を指標とした視覚探索実験からは、探索非対称性そのものを生起させるメカニズムに踏み込むことは難しい。その理由は、探索時に用いている視覚特徴を推定することが困難だからである。そのため、我々は次に心理物理学的逆相関法を適用して、ヒトが視覚探索時に用いている視覚特徴の推定を試みた。この手法をOとQの視覚探索課題に適用した結果、非対称性が生じる理由は、従来の定説である、特徴の不在を探索する場合、空間的な不確定性のために探索が困難になるということではなく、視覚特徴の信号処理過程における非線形的(加速的)変換のみで説明可能であることがわかった。

5. 自己評価:

当初の目標の多くの部分は達成できたと考えているが、最も重要な課題であった我々が心的

に保持できる物体は一時に1つなのか2つ以上なのかという問題に対する確たる実験的証拠を提出できなかった点は残念であった。結論としては、この問題は当初考えていたよりもずっと難しかったということになるが、解決のための糸口はいくつか得られたので今後の課題としたい。また、研究開始当初と比べて分散的注意に関する研究が追加されることとなったが、これにより視覚認知の成立過程についてのよりよい理論枠組みが提出できたと考えている。また、この方向での研究はモデル、心理物理実験ともよい成果を挙げることができた。

ポスドク参加型という制度については、研究者の立場からはきわめて有益なものでありこの制度なしでは本研究の重要な部分である機能的脳イメージング研究は実施できなかった。一方、ポスドク研究者の立場から考えると、特に研究期間の途中から採用する場合、期間が1～2年という短期になってしまうという問題があるように思われる。

6. 研究総括の見解:

多くのオブジェクトからなるシーンを統一された全体として認識していると感じる協調的認識メカニズムを、新しく考案した認知実験(多物体恒常性追跡法)と fMRI によって研究した。その結果、特徴を統合した物体表象の一時的保持容量は従来考えられていたものよりはるかに少なく 1 または 2 に過ぎないことを初めて明らかにした。にもかかわらず、われわれが多くのイメージを同時に見ていると感じるのは、局所的で構造化された物体表象を生成する焦点的注意過程と、重要な情報を全体的に効率的に検出する分散的注意のメカニズムの両者の協調作用であるとのフレームワークが必要であることを明らかにした。これらの成果は認識の根本問題にかかわるもので更なる発展を期待する。

7. 主な論文等:

1. Saiki, J. (2003). Spatiotemporal characteristics of dynamic feature binding in visual working memory. Vision Research, 43, 2107-2123.
2. 小池耕彦, 伊丸岡俊秀, 齋木 潤 (2003). 顕著性マップ. 心理学評論, 46, 391-411.
3. Imaruoka, T., Saiki, J., & Miyauchi, S. (2005). Maintaining coherence of dynamic objects requires coordination of neural systems extended from anterior frontal to posterior parietal brain cortices. Neuroimage, 26, 277-284
4. Saiki, J., Koike, T., Takahashi, K., & Inoue, T. (2005). Visual search asymmetry with uncertain targets. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance.31(6),1274-1287.
5. Koike, T., & Saiki, J. (in press). Stochastic saliency-based search model for search asymmetry with uncertain targets. Neurocomputing.

その他論文: 4 件、口頭発表: 48 件、出版: 6 件

受賞:伊丸岡俊秀 オブジェクト表象に関わる脳活動は遮蔽時間に伴って変化するか. 2004 年度日本基礎心理学会優秀発表賞