

Saiki, J., & Hummel, J. E. (1998). Connectedness and the part-relation integration in shape perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 227-251.

物体認識の構造記述理論は、複雑な物体の認識が部分の形状と部分間の空間関係の情報を統合することで成立すると主張している。一方、我々の視覚世界は多くの物体の情報を含み、部分として認識される単純な形状の間の空間関係を網羅的に計算すると組合せ爆発の問題を引き起こす。このため、効率的な物体認知には物体を構成する部分を選択し、必要な空間関係のみを計算する仕組みが必要となる。本研究は、関係計算が必要な部分の選択において、視覚システムが、“推定された物理的結合性”を手がかりとして用いることを実験的に示した。異なる部分形状とその空間関係の組合せで定義された図形の集合を高速系列視覚呈示（RSVP）し、標的物体を検出する課題を行った。妨害刺激を部分の形状と、部分間の空間関係をさまざまに組み合わせることで、部分形状と関係の正しい結合が標的の検出に必要な時間的結合探索課題となっており、探索成績が部分と関係の統合の効率を反映している。2次元図形を用いた一連の実験から、部分が物理的に結合している場合に一貫して探索成績が向上すること、また、結合に伴う画像特徴を検出しているのではないことを示した。しかし、画像上の物理的結合性は必要十分条件ではなく、画像上は離れているが遮蔽関係によって結合が推定できる場合、および、画像上は結合しているが3次元形状の解釈では離れている場合を用いた実験結果から、探索成績は画像上の結合ではなく、推定された物理的結合性を反映しているこ

とが分かった。さらに、結合性の効果は部分形状と空間関係の結合が必要な課題でのみ見られ、色と形状の結合を求める課題では観察されなかった。つまり、推定された物理的結合性は部分 - 空間関係の統合に特異的に効果を持つ。これらの結果は、高次視覚において、3次元視覚世界における結合性を手がかりとして効率的に部分 - 空間関係の統合を行っていることを示す。

Saiki, J. (2003). Feature binding in object-file representations of multiple moving items. *Journal of Vision*, 3, 6-21.

視覚性ワーキングメモリは外界の物体情報を短期間保持し、物体情報の変化に対応して記憶表象を動的に更新している。物体情報の保持に関する研究は、変化のない静止した物体を用い、物体の持つ特徴の数ではなく、物体自体の数が記憶成績を決定していることを明らかにした。この結果は、視覚性ワーキングメモリの機能単位がオブジェクトファイルと呼ばれる特徴を統合した物体表象であり、その容量が3 - 5個であることを示唆する。一方、記憶の更新に関しては、ランダムに運動する複数の同一物体を追跡する多物体追跡法を用いて、追跡できる物体の個数がおよそ4 - 5個であることが示されている。これらの結果を単純に総合すると、我々は4 - 5個のオブジェクトファイルを構成し、刺激の変動に伴って正確に更新できることになるが、この主張の裏付けには、複数特徴からなる運動物体を用いても4 - 5個の物体の変化をモニタできることを示す必要がある。本研究はこの点を検討し、従来の主張とは異なり、4 - 5個のオブジェクトファイルを安定的に追跡するのは極めて困難であることを

明らかにした。具体的には、3—4個の色の異なる物体を用い、それらが仮現運動、または滑らかに運動する画面を観察しながら、その途中に生じる色の変化を検出した。位置情報のみをモニタする多物体追跡法とは異なり、多物体恒常性追跡法と呼ぶこの課題では、物体の位置情報と色情報の組合せを正しく記憶しておく必要がある。多物体恒常性追跡法では、従来主張されていた容量である4個の物体を用いると課題成績が著しく低いこと、色変化の検出成績を向上させるためには運動刺激の予測可能性が重要であることが明らかになった。従来の多物体追跡法の知見は、オブジェクトファイルではなく、物体の位置情報のモニタリングのみを反映している可能性があり、物体表象の更新においては、単なる保持の場合に比べてずっと多くの処理資源が必要であることが示された。

DeBrecht, M., & Saiki, J. (2006). Neural network implementation of saliency map. *Neural Networks*, 19, 1467-1474.

顕著性マップモデルは視覚探索や注意の移動を説明する有力なモデルだが、生物学的に妥当な時間ダイナミクスで実現可能かどうかは不明であった。また、モデルでは実時間のダイナミクスが組み込まれていなかったため、刺激のオンセットによる注意の捕捉などは扱うことができなかった。本研究は、生物学的な妥当性を持つニューラルネットワークモデルを用いてリアルタイムのダイナミクスを持つ顕著性マップモデルを実装することを目的とした。特に、通常の時ダイナミクスを持つニューロンモデルを用いると過競合がおこり、顕著性マップに刺激が表象されなくなってしまう

うという問題がある。既存の顕著性マップモデルは競合計算の回数を人工的に制限することでこれを回避しているが、生物学的モデルでは強制的に計算を終了することはできず、自然に活性状態を収束させる必要がある。本研究では、単一ニューロン研究でその存在が知られている短期シナプス抑制を組み込むことによってこの問題を解決し、複数刺激を顕著性マップ上に安定的に表現することに成功した。具体的には、特徴マップ、特徴次元ごとの conspicuity マップ、次元を統合した顕著性マップの3層からなるネットワークを構築し、側抑制によって競合過程を実装し、シナプス抑制を各ニューロンモデルに実装した。平均場近似を用いてネットワークの実時間ダイナミクスのシミュレーションを行い、最上位の顕著性マップで複数刺激が安定して表現されること、視覚探索におけるポップアウト、結合探索に対応した活性化パターンを示すことを明らかにした。また、オンセット刺激のある課題状況のシミュレーションを行い、注意の捕捉に対応した活性化の変化を示すことを確認した。本研究は、顕著性マップモデルが生物学的に妥当な機構によって実装可能であることを示すとともに、視覚探索や注意の機構を実時間的にシミュレーションする手段を提供した。

Saiki, J. (2008). Stimulus-driven mechanisms underlying visual search asymmetry revealed by classification image analyses. *Journal of Vision*, 8(4):30, 1-19.

探索非対称性とは、視覚探索において標的刺激と妨害刺激を入れ替えることにより探索効率が顕著に変化する現象であるが、その機序は不明である。大別する

と探索特徴のトップダウン的選択を原因とする説と、刺激駆動的な過程を原因とする説に分けられるが、仮説検証的な実験パラダイムの結果からは観察者が探索に用いる視覚特徴を厳密に特定することができないため、仮説の妥当性が検証できない。本研究は、刺激に付加されたノイズを観察者の反応によって分類することで用いている情報を推定する手法である classification image (以下 CI と略) 法を用いて、観察者が用いている探索特徴を推定し、さらに、得られた CI の定量的な分析と信号検出理論に基づくモデルの検討により探索非対称性の成立機序を明らかにすることを目指した。探索非対称性を示す典型的な刺激である円と円に垂直線の付いた刺激を用いて標的が予め指定された探索課題と指定されないシングルトン探索課題を行なった。探索非対称性は両課題で観察され、観察者は垂直線を探索特徴として用いていること、また CI の定量的な解析から特徴の用い方は探索課題に依存しないことがわかった。これらは、探索非対称性が主として刺激駆動的過程によって生起しているという Saiki et al. (2005) (Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31, 1274-1287.) を支持する。CI の定量的解析から観察者の振る舞いは探索特徴の線形変換による信号検出モデルでは説明できず、特徴の非線形変換、或いは特徴検出器の空間的不確定性を考慮する必要があるが示された。より詳細なモデルの比較から、観察者の行動は特徴の非線形変換を含んだモデルで最もよく説明できることが示された。以上より、典型的な探索非対称性は、トップダウン的な視覚的注意の作用ではなく、探索特徴の分布の不均衡が特徴の非線形変換により増幅されたこ

とによる探索画面の S/N 比の非対称性に起因する現象であると考えることができる。

Takahama, S., Miyauchi, S., & Saiki, J. (2010). Neural basis for dynamic updating of object representation in visual working memory. *NeuroImage*, 49, 3394-3403.

物体の表象を視覚性ワーキングメモリの中で動的に更新するメカニズムの神経基盤を Saiki (2003) (Vision Research, 43, 2107-2123.) の多物体恒常性追跡法を用いて機能的核磁気共鳴法 (fMRI) によって検討した。多物体恒常性追跡法は 4 個程度の回転する物体画像を観察し, 物体特徴が遮蔽期間中に物体間に入れ替わるという事象を検出する課題で, 物体の特徴情報のみを保持するのではなく, 特徴とその位置の組合せを保持することが要求される。Imaruoka et al. (2005) (NeuroImage, 26, 277-284.) の先行研究では, 前頭 - 頭頂ネットワークと前頭前野前部が課題の遂行に強く関与することが示されたが, ブロックデザインを用いていたためそれぞれの領野の機能が不明であった。本研究では, 課題関連デザインを用い, 記憶情報の保持, 更新の期間と, 変化が生じてそれを検出する期間の脳活動を分離することを試みた。また, 特徴のバインディングの記憶に特異的に関連する脳領域を同定するために特徴のみの記憶で課題が遂行できる条件を設定し, 条件間の比較を行なった。具体的には, 更新に関して物体運動の有無の 2 条件, 特徴のバインディングに関して, バインディング, 特徴のみ, コントロール (記憶の必要なし) の 3 条件の 2 要因計画の実験を行なった。記憶の保持, 更新期間の脳活動につ

いては、SPL、MFG、infPreCSの3領域が特徴の組合せの更新に特異的に強い活動を示した。一方、前頭前野前部は有意な活動を示さなかった。これに対し、変化検出時の活動は前頭前野前部を含む前頭葉を中心に広範な活動が見られ、前頭葉の活動は主に変化の検出や反応選択を反映していることが分かった。特徴のバインディングを更新する3領域のネットワークは、位置情報のみの更新を行なう多物体追跡法での結果と部分的に重複するが異なる領域が関与しており、位置の更新と特徴の組合せの更新は異なるネットワークが担っていると考えられる。