

視覚認知における物体情報と空間情報の統合 Integration of object and spatial information in visual cognition

研究代表者 名古屋大学大学院人間情報学研究科 助手

齋木 潤

Research Associate, Graduate School of Human Informatics, Nagoya University.

Jun SAIKI

Visual information processing goes through two relatively independent pathways: object information pathway (ventral pathway) and spatial information pathway (dorsal pathway). This study examined the interaction of these two pathways, and found out that (1) substantial amount of spatial processing is executed in the object pathway, and (2) spatial attentional selection is modulated by object information in the image. Spatial representations used in the object pathway may be different from that used in the spatial pathway, in particular, in terms of its orientation sensitivity. On the other hand, visual form representations functioning as an object to the visual attention are constrained by uniform connectedness and simple topological structure of the form.

1. 研究目的

物体の認知のような人間にとって極めて容易で半ば自動化された活動は、実は脳の非常に複雑な情報処理過程に支えられている。近年、人間の脳は外界の物体情報と空間情報を2つの異なる処理経路でかなり独立に処理していることが示された。しかし、人間が最終的に物体とその位置を統合し、何があるか認知できること、また、物体の同定自体に部分間の関係という空間情報が必要なことから、物体情報と空間情報の統合が人間の視覚認知に不可欠であることは明らかである。本研究は、研究の遅れている物体情報と空間情報の統合の問題を物体認知における部分情報の空間関係による統合、及び視覚的注意における物体の役割という側面から明らかにすることを目的とした。具体的には、第1の点に関しては、複数の部分の形態情報を統合して複雑な物体の形態情報を構成するとき用いられる部分間関係情報の性質を実験的に調べた。第2の点に関しては、複数属性の定位と同定をするときに背景となる物体の性質がどのような効果を持つかを、空間手がかり課題と属性の比較判断課題を用いて調べた。

2,3. 研究経過と成果

以下では、2つの実験プロジェクトに分けて、研究経過と成果をまとめて述べる。

(1) 物体認知における部分の空間関係による統合

Saiki & Hummel (1998)は部分情報をその空間関係によって統合して物体全体の認知をする際に、

部分間の推定された結合性が重要な役割を果たしていることを示した。複雑な物体の認知は、部分がイメージ上での結合や輪郭の共線性によりそれらの外界での結合性が推定できる場合に容易になることが分かった。この結果は、部分が結合して単一の物体を構成する場合(物体内空間関係)と部分が分離して複数物体を構成する場合(物体間空間関係)で空間関係の処理が異なることを示唆するが、その差異が量的なものか質的のものかは不明である。そこで、本研究では、物体内空間関係と物体間空間関係の処理には質的な差異が存在することを示すことを目的とした。具体的には、物体内空間関係は物体自体の向きの変化に対してより頑健な様式で表現されているという仮説を検討した。

方法

継時的形態マッチング課題を用いた。これは、連続して呈示される2図形が同一であるか否かをできる限り速く正確に判断する課題である。その際、図形全体の向きの変化は無視するよう教示することにより、部分間の位置関係が図形全体の向きに対してどの程度頑健に表象されているかを検討した。図形として、部分が物理的に結合した図形と分離した図形を用いた。図1に例を示した。もし、物体内空間関係がより物体の向きに対して頑健に表象されているならば、図形の回転による判断時間のコストは結合図形においてより小さいであろう。実験では第1図形を150ms呈示し、その後100msのブランク

画面を挟んで第2図形を呈示した。

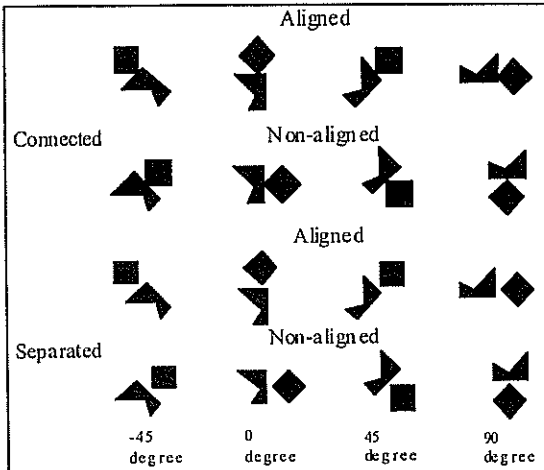


Figure 1. Examples of stimuli used in the successive form matching experiment

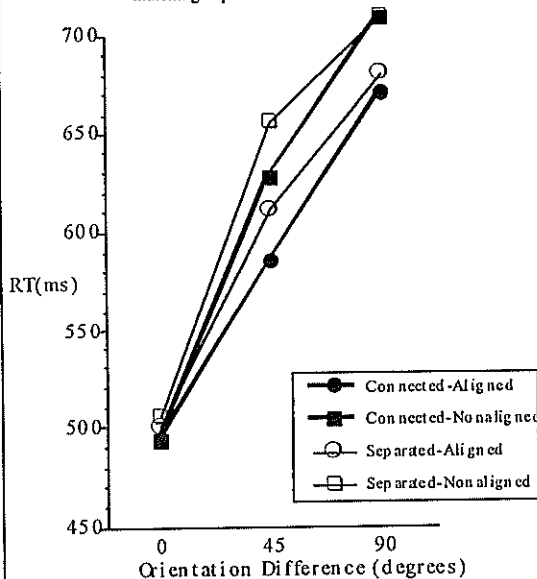


Figure 2. Mean reaction times for the same judgments as a function of orientation difference in the successive form matching Experiment.

結果

図2に形態マッチング課題における反応時間の平均を示した。結合図形と分離図形を比較すると、向きが0度の場合には、反応時間に有意な差がみられないのに対して、差異が45度、90度の場合には、結合図形の方が反応時間が短くなった。この結果は、物体内空間関係が物体全体の向きの変化に対してより頑健な形で表象されていることを示唆

するものである。

(2)視覚的注意における物体の役割。

近年、視覚的注意は空間上の位置或いは領域に向けられるというよりも、物体に対して向けられるという考え方が脚光を浴びている。この物体ベースの注意効果は物体情報処理と注意という視空間上のメカニズムの相互作用を示すものであり、視覚認知における物体情報と空間情報の相互作用の典型例であると考えられる。本研究では注意メカニズムにとってどのような物体が“物体”として作用するかを2種類の実験を通して検討した。

実験2-1：空間手がかり課題を用いた検討

第1実験では、Posnerの空間手がかり課題の変形版を用いて、注意が凹構造を持つ複雑な図形を1つの物体として扱っているかどうかを検討した。Egry, Driver, & Rafal (1994)は手がかりと標的の位置が異なる場合、手がかり一標的間距離は同一でも標的が手がかりと同じ物体中にある場合のほうが、反応時間が短くなることを示した。しかし、この物体ベースの注意効果は単純で凸構造を持つ長方形を物体として用いており、複雑な凹構造を持つ物体の場合は今まで検討されていなかった。物体認知の理論においては、凸構造を持つ図形は物体の構成要素として特権的な機能を持つことが仮定されており、その意味で、注意メカニズムの選択対象が凸図形に限定されていることは十分考えられる。一方、こうした凸図形は単独で日常的な物体を構成するとは限らず、多くの日常的物体は、こうした凸図形の組合せからなる。従って、注意メカニズムが日常的物体をその選択対象とするならば複雑な凹図形も物体として機能することが考えられる。

方法

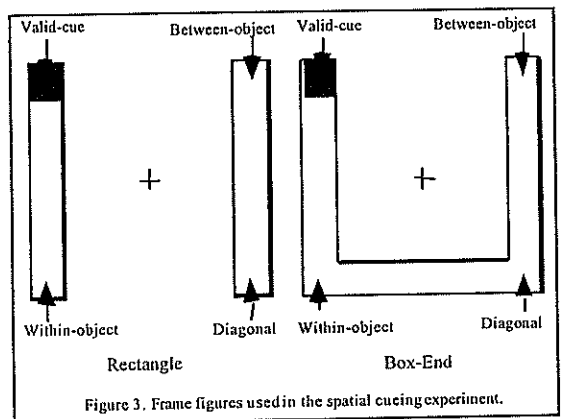


Figure 3. Frame figures used in the spatial cueing experiment.

空間手がかり課題を用いた。図3に課題で用いられたフレーム図形を示した。各試行は始めにフレーム図形を1秒間表示し、その後フレーム図形の4隅のうちの1ヵ所に手がかりが107ms表示される。200msの間隔の後、標的と妨害刺激がフレームの4隅に呈示された。4隅のうち3ヵ所は回転したF字型の妨害刺激で、1ヵ所に回転したT又はLの標的が呈示される。課題は、標的を見つけ、それがTかLかをできる限り、速く正確に判断することであった。フレーム図形として、Egley et al. (1994)で用いられた並行長方形と2つの長方形を第3の長方形で結合したボックスフレームを用いた。もし、凹図形であるボックスフレームが1つの物体として機能するならば、注意がボックスフレームに沿って伝播する現象が観察されるはずである。

結果

図4に平均の反応時間を示した。この中で最も重要な結果は、ボックスフレーム条件において、標的が手がかりに対して対角線上に呈示された場合のほうが、フレームの端点に呈示された場合よりも反応時間が短くなることである。長方形条件では、この関係が逆転していることを考慮すると、この結果は、注意が手がかり位置であるボックスフレームの端点から、フレームに沿って伝播したことを示すものといえる。

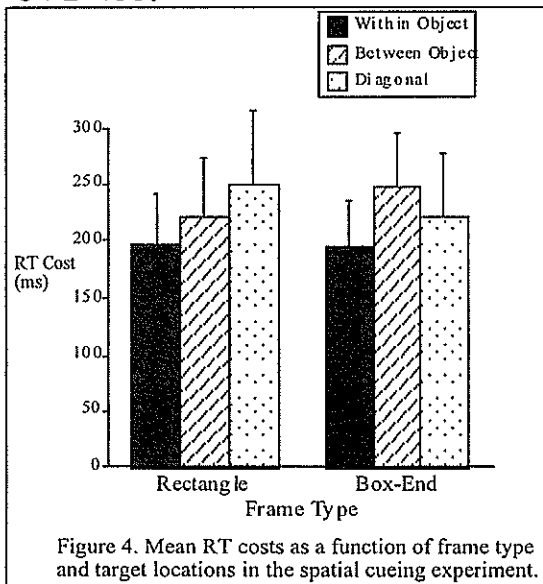


Figure 4. Mean RT costs as a function of frame type and target locations in the spatial cueing experiment.

実験 2-2：属性比較判断課題を用いた検討

第2実験では、属性比較判断課題を用いて、複雑な凹図形における物体ベースの注意効果をさら

に詳細に検討した。空間手がかり課題を用いた実験ではフレーム図形が1秒間先行呈示されるため、物体情報処理のどの段階で物体ベースの注意効果が生じているのかが不明であった。物体ベースの注意効果の時間的メカニズムを検討するために、物体情報と判断属性の呈示間の SOA を操作した。

また、本実験では物体ベースの注意効果が生じるための物体の幾何学的特性をより詳細に検討した。具体的には、表面属性の均質結合性と物体の位相構造の効果を調べた。表面属性の均質結合性が初期の物体表象を構築する上で重要な役割を果たしていることが近年指摘されており、この見解に従えば、均質で結合した表面属性によって構成される領域が注意メカニズムにとって最初に物体として機能することになる。一方、この見解では、均質結合領域は形態情報をもたないと仮定されているが、この仮定の妥当性を領域の位相構造の効果を検討することで調べる。形態情報を持たなければ均質結合性の効果は領域の位相構造によらず一定であるはずである。

方法

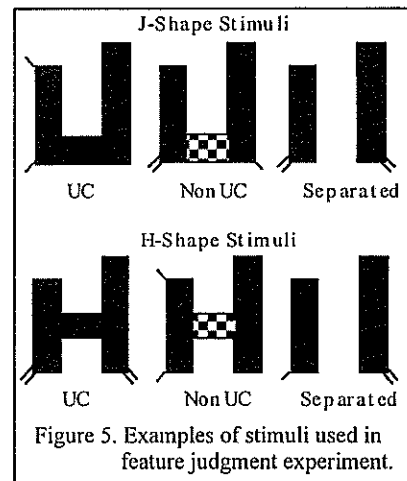


Figure 5. Examples of stimuli used in feature judgment experiment.

属性比較判断課題を用いた。図5に刺激図形の例を示した。課題は図形の2ヵ所に付けられた短い線分の数(2本と1本の組合せ)になっているか否かをできる限り速く正確に判断することであった。図形としては、分岐を持たない凹図形(J字型)、分岐を持つ凹図形(H字型)、分離図形、及びJ,H図形でテクスチャの均質性を持たないものの5種類が用いられた。物体ベースの注意効果の発現の時間的過程を調べるために、図形の呈示と線分の呈示に時間差(SOA)を付けた。SOAは0ms(同時呈示)と200msであった。

結果

図6に0 ms SOA条件における平均の反応時間のデータを示した。この中で最も重要な結果は、均質結合性の効果が単純な位相構造を持つJ字型と複雑な位相構造を持つH字型で異なることである。J字型条件では、均質結合条件(UC条件)の方が非均質結合条件(nonUC条件)よりも判断時間が短かったが、H字型条件ではこの様な均質結合性の効果はみられなかった。この様な均質結合性と領域の位相構造の相互作用が図形と属性の同時呈示でも見られたこと、また、判断時間は、単純位相構造の均質結合条件のみで短くなることから、前注意的なメカニズムで構成されるとされる均質結合領域はその領域が単純な位相構造を持つときのみ、視空間的選択課題において促進効果を持つと考えられる。即ち、視空間的注意メカニズムにとって物体として機能するものは領域の表面属性の均質結合性、及びその位相構造によって制約を受けている。

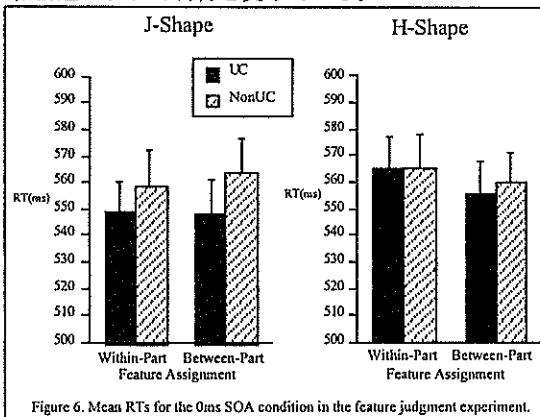


Figure 6. Mean RTs for the 0ms SOA condition in the feature judgment experiment.

4. 今後の課題と発展

本研究は、物体の構造の認知における空間関係情報の役割、視空間的注意における物体情報の役割という2つの相補的な観点から視覚認知における物体情報と空間情報の相互作用について実験心理学的に検討してきた。その結果、従来言われてきたように物体情報は腹側経路、空間情報は背側経路と言った単純な図式では理解できない現象が示された。物体認知における物体内空間関係の役割は腹側経路内でも、ある限定された種類の空間情報が処理されていること、又その様式は背側経路での処理様式と異なる可能性があることを示唆する。一方、空間上の選択的注意における物体情報の効果は視覚情報処理のかなり早い段階で、物体の構造情報(表面属性の均質結合性、結合領域の位相構造)が視空間情報

処理に影響を与えていることを示している。

実験心理学研究としてここで報告した3つの研究はそれぞれまだ課題を抱えている。第1に、物体内空間関係はより方向変化に頑健であるという知見は今後、他の図形を用いて現象の一般性を検討する必要がある。また、複雑な凹図形における視覚的注意の迂回効果(実験2-1)についても、類似の現象との関連を検討しなければならない。さらに、注意における物体の均質結合性と位相構造の効果(実験2-2)に関しても、初期、中期視覚における物体表象形成の時間的過程についてさらに実験的に吟味する必要がある。

しかしながら、心理実験に基づく研究のみでは、こうした物体情報処理と空間情報処理の相互作用が脳のどの領域で起こっているのかについては明らかできない。今後、心理実験だけでなく、fMRIやMEGのような脳の機能的イメージング技法などを用いて、検討する必要がある。同時に、心理実験やイメージング研究の知見を基にして、視覚認知における物体情報処理と空間情報処理の統合メカニズムの計算モデルを構築する必要がある。人間の高度視覚認知は様々な脳領域の緊密な相互作用によって成立するものであり、その過程を十全に理解するためには、心理実験による行動レベルでの理解、神経科学研究による対応する脳領域の特定、計算論的アプローチによる脳情報処理モデルの構築の緊密な連携が不可欠である。本研究が、このような学際的アプローチに向けての心理実験という側面における基盤作りの一翼を担うことを切に願うものである。

5. 発表論文リスト

齋木 潤 (1997). 複雑な物体における物体ベースの注意の伝播. 日本心理学会第61回大会発表論文集 (pp. 485).

Saiki, J. (1997). Object-based detour of visual attention. *Abstracts of the Psychonomic Society*, 2, 26

齋木 潤 (1998). 光点検出課題における物体ベースの注意の迂回効果(日本視覚学会1998年冬季大会ポスター発表). *Vision*, 10, 67

Saiki, J. (1998). Uniform connectedness, simple topological structure, and object-based attention. *Selection and Integration of visual Cognition: Proceeding of the International Workshop on Visual Cognition*, (pp. 73-85), Science and Technology Association and National Institute of Bioscience and Human-Technology.