

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19730475

研究課題名（和文） 日常刺激の視覚探索における記憶の働きに関する研究

研究課題名（英文） The role of memory during visual search in natural scenes

研究代表者

武田 裕司 (TAKEDA YUJI)

独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉医工学研究部門・研究員

研究者番号：10357410

研究成果の概要（和文）：記憶に基づいた注意制御は視覚探索において重要な役割を果たしている。本研究では、自然画像の中の標的を探索する際の記憶の働きについて検討した。その結果、1)探索の難易度は個人間で一致した傾向があり、物理的要因よりも文脈が探索効率に大きく寄与していること、2)画像を学習しても相対的な探索の難易度はほとんど変化しないこと、3)視覚的文脈の短期記憶は学習時に注意を向けられた項目によって構成されていることなどが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Memory-based attentional control plays an important role in visual search. In the present study, I investigated the nature of memory during searching a target object embedded in a natural scene. The results demonstrated that 1) the search difficulty for each scene was consistent across individuals and the scene contexts rather than physical properties contributed to the search efficiency, 2) learning of the scene did not affect the relative difficulty of search for each scene, and 3) the scene contexts in visual short-term memory consisted of objects that were attended during the learning phase.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	0	1,500,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	510,000	3,710,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：注意・意識

1. 研究開始当初の背景

外界から目標物を探し出すという視覚探索は我々の日常生活において頻繁に行われている行動であり、そのメカニズムの解明は利便性の高いユーザーインターフェースの

開発や操作エラーの回避に重要であると考えられる。視覚探索に関しては、1980年代から膨大な研究データが蓄積され、多くのモデルが提案されてきている。しかし、それらの成果が実生活場面に還元される例は極め

て少なかった。これは、過去の研究の多くが、幾何学図形や文字など、抽象的なオブジェクトを実験刺激として利用し、刺激間の類似性など、ボトムアップ情報あるいは物理的特徴にのみ着目してきたことに起因している。我々が生活している視覚環境は有意義なオブジェクト群によって構成されており、オブジェクトと空間位置に一定の関係性が保持されている（例えば、自動車は路面に接した位置にあり、信号機は路面の上方に位置しているなど）。抽象的なオブジェクトを用いた視覚探索の研究ではこのような関係性を排除しているため、その成果を日常場面に適用するのは困難であった。

視覚探索において抽象的な刺激を用いた場合と日常的な刺激を用いた場合の主な差異として、日常刺激の方が抽象的な刺激よりも複雑であること、日常刺激ではオブジェクトと位置との間に一定のルールがあり、過去の経験（記憶）に基づく注意制御が容易であることの二点が挙げられる。前者に関しては、コンピュータビジョンなどの研究分野において様々な検討がなされてきている。一方、後者に関しては世界的にも着手され始めたところであり、研究開始時点で報告されていた研究は、日常刺激は単なる背景として提示され、被験者の課題は日常刺激上に重ねられた幾何学図形を探索するものや刺激のパリエーションが非常に少ないものなど、我々が日常的に直面する視覚環境の記憶と注意制御の関係を調べるのに十分なレベルではなかった。

2. 研究の目的

本研究では日常生活場面をコンピュータグラフィックス（CG）上でシミュレートした実験画像（以下、自然画像と呼ぶ）を用いて、視覚探索における視覚的短期記憶および視覚的長期記憶の働きを明らかにし、既存の視覚探索モデルに組み込むことを目的とした。

実験では、同一の視覚刺激を繰り返し経験することによって探索時間が短縮される文脈学習効果に着目し、視覚的長期記憶の影響を検討することとした。また、自然画像内に含まれるオブジェクトに対する一試行内での記憶容量を調べることで、視覚的短期記憶の特性を検討することとした。

3. 研究の方法

本研究では、主に、以下の4つの実験的検討を行った。

(1) 本研究の第一段階として、抽象的な刺激における視覚探索の特性と自然画像における視覚探索の特性を比較した。抽象的な刺激事象として、左右いずれかに切れ目がある丸

（標的項目）を上下いずれかに切れ目がある丸（妨害項目）の中に提示し、標的項目の切れ目の向きをキー押し反応で報告する視覚探索課題を設定した（図1上を参照）。一方、自然画像では、日常的なシーンの中に左右いずれかを向いているミニカー（標的項目）を提示し、ミニカーの向きを報告する視覚探索課題を設定した（図1下を参照）。抽象的な刺激の実験ではランダムに作成された360の配置パターンについて、自然画像の実験では440枚のCGについて、探索課題を遂行した。

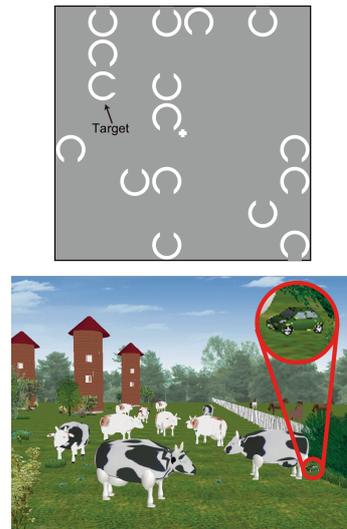


図1 視覚探索実験で用いた刺激の例。

(2) 同じ視覚刺激を繰り返し経験することによって探索時間が短縮される文脈学習効果が自然画像の探索課題においてどのように生起するのかを検討した。課題は自然画像の中に提示されているミニカーを探索し、その向きを報告することであった（図1下を参照）。240種類の自然画像を1ブロックに各1回提示し、計12ブロックの探索課題を参加者に課した。また、学習効果を確認するために、第1ブロックと第12ブロックでは学習刺激として使用していない自然画像48種類を探索課題に加えた。

(3) 我々が、どのようにして視覚的文脈を獲得しているのかを調べるために、視覚的短期記憶の文脈依存効果について実験的検討を行った。実験では、まず4×3の領域に分割された自然画像が提示され、実験参加者は丸で囲まれた項目に注意を向けて記憶することが求められた（図2を参照）。ブランク画面の後、テスト画像が提示され、丸で囲まれたオブジェクトが記憶したものと同じか否かの判断を求められた。

テスト画面は、記憶画像と同じ配置で提示される条件、記憶時に注意を向けていた領域の画像が入れ替わる（あるいは消去される）

条件、記憶時に注意を向けていなかった領域の画像が入れ替わる（あるいは消去される）条件、および標的を除く全ての領域が入れ替わる（あるいは消去される）条件が設定された。

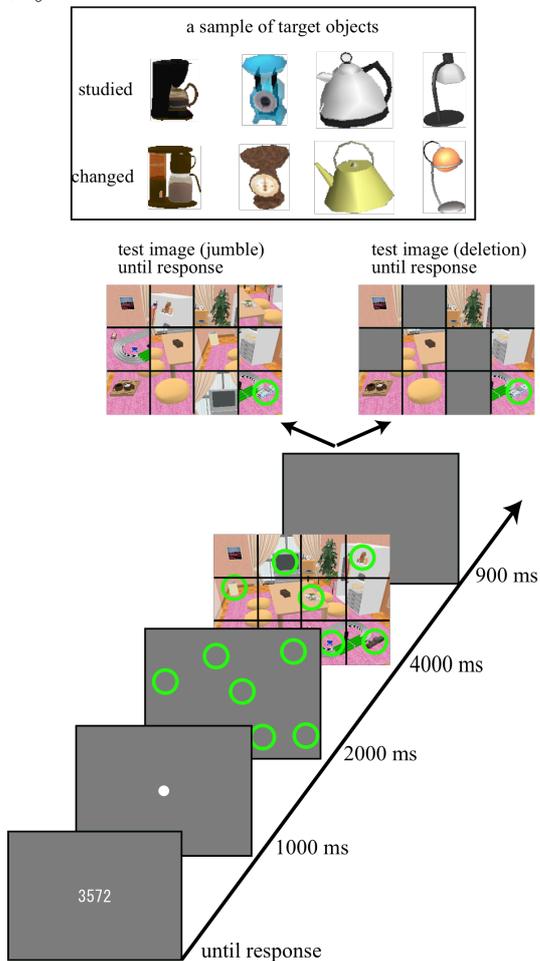


図2 視覚的記憶実験で用いた刺激の例

(4) 上記の研究(3)では、注意を向けたオブジェクトによって視覚的文脈が構築されることが示された。しかし、過去の研究において、自然画像の「認知」に注意は必要ないという報告がなされている。そこで、自然画像の「記憶」に注意が必要か否かを確認する実験を行った。実験では、10枚の写真画像を高速逐次視覚提示(RSVP)し、その後に提示されるテスト画像がRSVP中に含まれていたか否かを問う再認記憶課題を参加者に課した。RSVPでは、その後半に提示された刺激に対してより注意が働くことが知られている(注意の目覚め現象)。もし、自然画像の記憶に注意が必要であるとすれば、RSVPの後半に提示された刺激の記憶成績が向上すると考えられる。

4. 研究成果

本研究の成果を、「研究の方法」の番号と

対応させて、以下に記す。

(1) 抽象的な刺激の配置パターンや自然画像の種類による探索難易度の違いに、参加者間で共通した傾向があるか否かを検討した。その結果、抽象的な刺激(Kendall $\tau=0.32$)、自然画像(Kendall $\tau=0.57$)のいずれにおいても、各刺激に対する相対的な探索時間が参加者間で高い一致率を示した。この結果は、抽象的な刺激の各配置パターンや各自然画像に固有の探索難易度があることを示している。

刺激ごとの探索難易度を決定している要因を特定するため、各刺激の物理的要因を説明変数、平均探索時間を被説明変数とした重回帰分析を行った。その結果、抽象的な刺激の場合、標的の位置および標的項目と妨害項目の距離が探索時間と有意に関連しており、これらの要因によって全分散の約66%を説明できることが明らかになった。一方、自然画像の場合、標的項目の大きさ、標的項目のY座標位置、画像の高空間周波数帯域(32-128 cycle/image)の信号強度、標的項目提示位置での背景輝度の分散が探索時間と有意に関連していることが分かった。しかし、これら4つの要因を含めた重回帰分析においても、全分散の約14%しか説明できないことが明らかになった。このことは、自然画像の探索では、物理的要因よりもシーンのもつ文脈が探索効率に大きく寄与していることを示している。

(2) 自然画像(240種類)の探索を繰り返し経験することで、経験していない画像の探索よりも反応時間が有意に短縮されることが明らかになった。このことは、視覚探索中に自然画像の文脈を学習しており、それが視覚探索中の注意制御に利用可能であることを示している。また、240種類という多くの自然画像に対して学習が生起することから、自然画像における文脈学習の記憶容量は非常に大きいと考えられる。

学習によって各画像に固有の探索難易度がどのように変化しているのかを調べるため、学習前(第1ブロック)と学習後(第12ブロック)の探索時間について順位相関係数を算出した。その結果、全ての実験参加者(13名)において有意な相関が認められた。この結果は、学習が生起しても相対的な探索難易度はほとんど変化しないことを示している。

さらに、学習によって探索時間がどのように短縮されているのかを詳細に調べるため、各学習ブロックにおける探索時間の確率密度分布に対してex-Gaussianでのフィッティングを行った(下式を参照)。その結果、 v は学習によって小さくなり、 μ や σ はほぼ一定であることが明らかになった。すなわち、学

習によって探索時間の分布の歪度が変化していたことを示している。このことから、学習によって全ての自然画像探索が一定の効果を得るわけではなく、探索難度の高い刺激がより効果を受けていると考えられる。

$$f(t) = \int_0^{\infty} \frac{1}{v} \exp\left[-\frac{y}{v}\right] \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t-y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dy$$

抽象的な刺激を用いた過去の研究において、学習された情報は視覚探索の開始後しばらくの時間において利用され始めるという報告がある。このことは、探索難度の高い（探索時間の長い）刺激がより効果を受けやすいという本研究の結果と一致する。このことから、抽象的な刺激と自然画像で注意制御の出力部分では共通のメカニズムが働いている可能性が考えられる。

(3) テスト画面において画像領域を入れ替える操作を行った場合、記憶時に注意を向けていた領域の変化は成績を低下させるが、注意を向けていなかった画像領域の変化は成績に影響しないことが明らかになった（図3上を参照）。この結果は、視覚的文脈が注意を向けた項目によってのみ構成されており、注意を向けなかった項目は関与していないことを示唆している。一方、テスト画像において画像領域を消去する操作を行った場合には、記憶成績に影響しないことが示された（図3下を参照）。

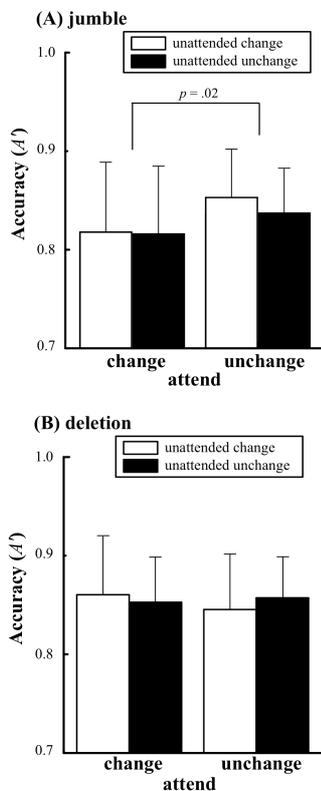


図3 記憶実験の結果

研究代表者の過去の研究（本研究課題の申請後、交付前に実施）において、視覚探索中に生じる自然画像の文脈学習（長期記憶）は、シーンの構造に基づいており、構造が同じであれば視点が異なっても注意制御に利用されることが示されている。本研究において、画像領域の「入れ替え」では文脈の構造が変化するのに対して、「消去」では文脈の構造そのものは維持されている。これらのことから、視覚的文脈の学習では、記憶時に注意を向けたオブジェクトの配置・構造が重要な情報であると言える。

(4) 本研究の結果、RSVP中の標的画像提示位置と再認成績の間に有意な関係（注意の目覚め効果）は認められなかった。この結果は、シーンそのものの再認に寄与する自然画像の文脈の構築には視覚的注意が関与していないことを示唆している。研究成果(3)と合わせると、課題や状況（想起時のマッチングに必要とされる表象など）に依存して、レベルの異なる自然画像の文脈が構築されている可能性が考えられる。すなわち、本研究のようにシーン全体の文脈に依存した課題では記憶時に注意を必要とせず、視覚探索中に生じる文脈学習効果のような現象には、記憶時の注意が必要であると推測される。

以下に、本課題の一連の実験で得られた成果をまとめる。まず、物理的要因が探索時間に与える影響が小さいことから、有意な自然画像特有の要因が探索中の注意制御に大きな影響を及ぼしていることが示された（研究1）。また、記憶に基づく視覚探索中の注意制御（文脈学習効果）は抽象的な刺激事態と同様に生起し、探索難度が高い（探索時間が長い）画像ほど学習効果が大きいことが示された（研究2）。さらに、自然画像の視覚的短期記憶課題では、記憶時に注意を向けたオブジェクトの配置・構造に基づいて文脈が構築されていることが明らかとなった（研究3）。これらの結果は、前注意的に得られたシーン全体の文脈（研究4を参照）ではなく、逐次的に注意を向けて得られた文脈情報に基づいて注意制御が行われていることを示唆している。

視覚探索のモデルとして一般的に受け入れられている誘導探索モデルに、本研究課題の成果を組み込んだモデルを図4に示す。主な修正点は、オブジェクトファイル（オブジェクトの表象を一時的蓄えておく記憶バッファ）に書き込まれた情報の集いで自然画像の視覚的短期記憶が構成されていること、配置・構造を再構築した視覚的長期記憶が存在し、それがトップダウン制御に影響を与えていることにある。研究(1)で示したように、自然画像の視覚探索において物理的要因は

全分散の約14%しか寄与していなかった。このことから、オブジェクトの「意味」を含んだモデルを構築する必要があると考えられる。しかし、現段階では「意味」をモデルに組み込むのに十分な実験データが得られていない。今後、さらに実験的検討を進めることで、より正確なモデル化を目指す必要があると考えられる。

最近（主に本研究課題の開始後）、自然画像の記憶と注意制御の関係について、国外のグループが研究成果を報告している。そのうちのいくつかは、学習された視覚的文脈が空間構造を持っていないなど、本研究とは異なる結論を導いている。本研究課題の成果の一部は国際学術誌に投稿中であり、今後は実験パラダイムの違いなどを考慮した上で、誌上での議論が活発になると期待される。

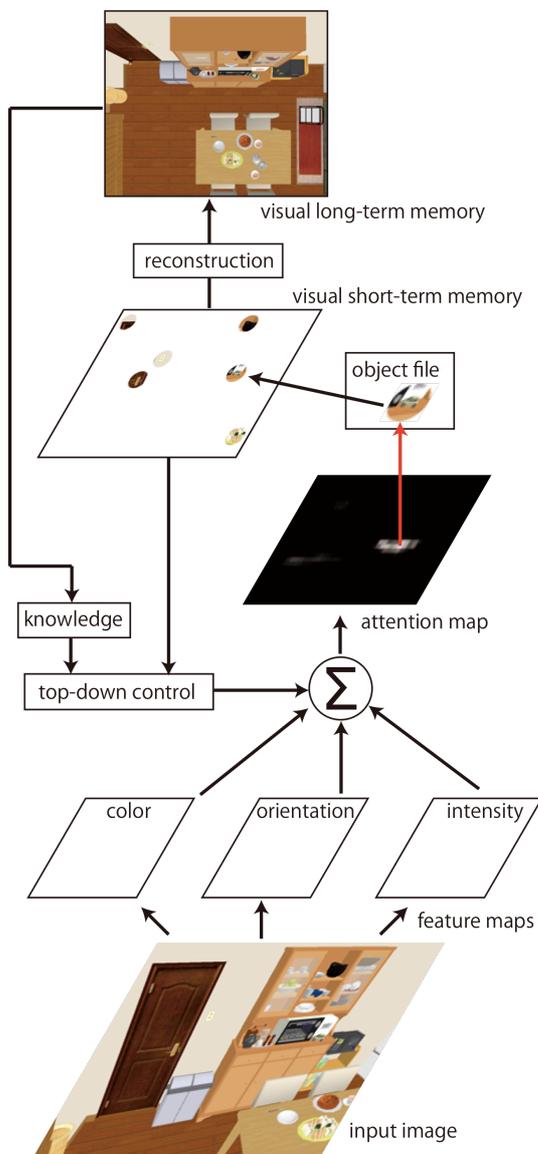


図4 想定されるモデル

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)

[学会発表] (計 4 件)

①武田裕司、高速逐次視覚提示された写真画像の記憶と注意の目覚め、日本基礎心理学会第28回大会、2009年12月6日、日本女子大学目白キャンパス

②武田裕司、自然画像の視覚探索における難易度と物理特性の関係、日本基礎心理学会第27回大会、2008年12月6日、仙台国際センター

③武田裕司、視覚探索における自然画像の文脈学習特性、日本心理学会第72回大会、2008年9月20日、北海道大学

④武田裕司、項目の配置が視覚探索効率に与える影響、日本基礎心理学会第26回大会、2007年12月8日、上智大学四谷キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 裕司 (TAKEDA YUJI)

独立行政法人産業技術総合研究所・人間福祉医工学研究部門・研究員

研究者番号：10357410