

氏 名	和崎 夏子
学 位 の 種 類	博士（心理学）
学 位 記 の 番 号	甲第251号
学位授与年月日	2023（令和5）年3月20日
学位授与の要件	日本女子大学学位規程第5条第1項該当
学 位 論 文 題 目	現実世界における視覚探索のメカニズム － 路線図、運転場面、仮想現実空間における検討 －
論 文 審 査 委 員	主査 竹内龍人 （心理学専攻 教授） 副査 藤崎和香 （心理学専攻 教授） 伊村知子 （心理学専攻 准教授） 今井久登 （学習院大学文学部心理学科 教授） 木村昭悟 （N T Tコミュニケーション科学基礎研究所 メディア情報研究部 部長）

氏名：和崎 夏子

学位論文題目：現実世界における視覚探索のメカニズム

—路線図、運転場面、仮想現実空間における検討—

論文の内容の要旨

第1章 序論 —研究の背景と目的—

視覚（vision）に関連したあらゆる認知的活動は探索（search）から始まっているといっても過言ではない。コーヒーを飲むためにはまず、テーブル上のどこにマグカップがあるかを探索するし、あるアプリを使いたい場合にはまず、スマートフォンの画面上でそのアイコンを探索する。現実世界にある膨大な視覚情報から、どのように目標物を探し当てるのか、どのように適切な情報にのみ注意を向けるのかといった探索のメカニズムを解明することは、視覚研究における大きな目標の1つであり、また認知心理学における主要なテーマの一つである。

視覚による探索は視覚探索（visual search）という枠組みで研究されてきた。第一人者である A. Treisman は単純な図形（円や四角形など）を題材として、そうした図形が持つ視覚属性（色、大きさ、形、動きなど）と図形の探索のしやすさとの関係を確立し、視覚探索の理論を提唱した（Treisman & Gelade, 1988）。しかしながら、現実世界における視覚情報（例えば身の回りの物の見え方）はこうした単純な図形よりはるかに複雑であり多様でもある。そもそも探索行動は目標物の視覚属性のみでは説明できない。目標物が存在する文脈（周辺情報）や目標物が持つ意味、そして探索者の経験も重要になる。探索を繰り返す毎にその精度は高まり（学習）、また何かを探す時には身体を動かすことが普通である。現実世界における視覚探索はきわめて複雑な行動であり、そのメカニズムの解明にはほど遠い状況である（Wolfe, 2020）。

本論文では、現実世界における視覚探索のメカニズム解明という目標に向けて、実験心理学的手法による研究を行った。視覚探索において重要な要因である文脈、学習、そして身体動作を実験的に操作しつつ、探索者（実験参加者）の視線パターンを眼球運動計測器により計測した。視線一回の停留時間（注視一回に要する時間）やサッカード振幅（視線が一度に移動する距離）といった視線パターンは、ある課題遂行時に働く脳のメカニズムを反映することが、画像理解の研究から示されている（Gegenfurtner, et al., 2011）。そこで論文では、得られた視線パターンの解析を通して、視覚探索に関わるメカニズムを推定するという手法をとった。

第2章 路線図における視覚探索

視覚探索においては文脈が重要になる。教室に入り空席を探すとき、天井から探索を始めることはない。それは椅子や机はどこにありうるかという情報（一般的な部屋の構造に関する文脈情報）を私たちが利用しているからであり、視覚探索の精度はこうした文脈情報に大きく依存する。第2章では、視覚探索における文脈を検討する刺激として、地下鉄路線図を用いた。路線図自体は変化がないことから、その文脈は完全に固定されたものだといえる。実験参加者は初見、つまりこれまでに使用した経験がない地下鉄路線図から、2本の路線が接続する駅名を探索した。路線図をディスプレイに映し出し、実験参加者が探索に要した時間（反応時間）および視線パターンを記録した。実験の結果、反応時間は数試行で最小となり、短時間で初見の路線図の学習が完了することがわかった。また、視線一回の停留時間が試行の進行とともに増加した（実験1）。

視線一回の停留時間の短縮は、単純な図形を用いた視覚探索実験や複雑な画像を理解する時にみられ、注意の精緻化（関連する箇所へ注意を正確に振り向けること）を示す。一方で、視線一回の停留時間の増加は、場面全体を記憶するためのメカニズムが機能していたことを示す。したがって、路線図の探索では、路線という文脈情報が記憶され、探索の高速化を支えていたといえる。一週間後に同じ実験参加者に対して同じ路線図を用いた探索課題を行ったところ、探索時間の短縮化が保たれた一方で視線パターンに変容はなかったことから、路線図の探索には長期記憶メカニズムがその土台となっていたと結論づけられる（実験2）。実験3ではこの結論が他の条件にも当てはまることを確認した。実験4では、身体動作の要因を調べるために、路線図の探索時に手を動かして路線をなぞるためのマウスを使用させた。すると試行が進んでも視線一回の停留時間は変動しなかったが、サッカード振幅が増加した。サッカード振幅の増加は、周辺視を活用して画像全体を高速に走査し情報を得る全体的処理メカニズムの関与により、処理される空間範囲が広がったことを示す。まとめると、路線図の探索では、身体動作の有無により、記憶メカニズムと全体的処理メカニズムが切り替わることが判明したといえる。

第3章 運転場面における視覚探索

前章の課題では、無変化で固定された文脈において未経験者が探索したが、第3章では、文脈内における変化が大きい状況や経験の効果を調べるために、運転場面（実験参加者が運転席にいる状況）の画像を用い、探索課題を行った。運転場面は道路や信号、周囲の自動車、歩行者といった文脈は共通しているものの、その状況は刻一刻と変化する。実験参加者はさまざまな交通状況の静止画像および動画像を観察し、危険状況を探しだした。実験参加者は運転経験者（2年）および運転未経験者であった。

静止画像としては、運転席から見た複数の危険箇所（歩行者や対向車）が埋め込まれた写真を使用した。実験参加者の課題は、注意すべきと判断した対象について回答することであり、画像探索中の視線および回答時間を計測した（実験5）。その結果、運転経験群

は未経験群と比較して短い時間でより多くの危険箇所を見つけ出し、また経験群は探索時のサッカード振幅が未経験群よりも増加していた。視線一回の停留時間は経験者と未経験者で差はなかった。つまり、全体的処理メカニズムの関与により運転経験群では探索する空間範囲が広がった一方で、記憶メカニズムの関与度合いは運転経験の有無で変わらなかったといえる。路線図とは異なり運転場面では状況が変わりうるために、探索時に場面全体を毎回記憶する方略がとられていないことは、探索の効率性を高める上で妥当な方略だといえる。

続いて、より現実的な交通場面を検討するために、運転席から見て危険場面が記録された動画を提示し、危険箇所を報告する課題を行った（実験6）。その結果、運転経験群と未経験群との間において視線パターンには一貫した傾向はみられず、交通場面に応じた違いのみがみられた。これは、課題の難易度により視線パターンの出方が変化することを示している。

第4章 仮想現実空間における視覚探索

これまでの多くの視覚探索実験では、顎台により顔を固定した状態で画面を観察する方法が主流であり、身体動作は厳密に制限されていた。一方で日常では、探索の際には自由な身体動作を伴うのが一般的であり、それにより場面に関する複数視点からの3次元情報が得られる。身体動作は学習の効率を高めるといった知見も得られていることから、第4章では、身体動作が可能な仮想現実（virtual reality、VR）空間内において視覚探索実験を行った。ヘッドマウンテッドディスプレイ（HMD）を装着した実験参加者は、VR空間内で、目標刺激（例えば12個の円柱で構成した立方体）を妨害刺激群（空間全域にランダムに散りばめられた1900個の円柱）の中から探索した。探索の際には自由に身体を動かすことができ、またHMDによる両眼立体視のため、3次元情報を利用することができた。そして、目標刺激の発見に要した時間および探索中の視線パターンを計測した（実験7）。

これは視覚探索として簡単な課題ではなく、実験参加者たちは頭や体を大きく動かし空間内を探索した。その結果、試行が進むにつれて、サッカード振幅が増加し、かつ視線一回の停留時間が減少する傾向がみられた。さらにサッカードの傾向は、周辺視への高い依存性を示していた。これらの結果は、VR空間に対して全体的処理メカニズムが機能し、注意の精緻化が生じた一方で、場面を記憶するメカニズムは機能していなかったことを意味する。また、探索の精度は目標刺激の種類に依存し、地面に向かって縦方向に配置された目標刺激は容易に発見されたが、それを横方向に配置したものの探索は困難であった。これは2次元平面上でみられる、垂直／水平のパターンは検出が容易であるという「斜め効果」とは異なる異方性である。実験4の結果と合わせると、身体運動を伴う視覚探索では記憶メカニズムが機能しない（つまり毎回の場面を覚えようとしない）。また、垂直刺激への感度の高さは、あらかじめ垂直成分に対するテンプレートが脳内にあり、それが注意

を誘導して生じたと考えられる。

第5章 総合考察

現実世界における視覚探索のメカニズム解明のために本論文において行った実験から、以下の知見が得られた。

- (1) 文脈に応じた全体的処理メカニズムと長期記憶メカニズムの関与
- (2) 身体動作時の記憶メカニズムの抑制
- (3) 長期記憶におけるテンプレートの存在と注意の誘導
- (4) 短時間の学習による視線の変容

これまでに行われた数多くの視覚探索研究では、短期記憶やワーキングメモリのメカニズムが視覚探索に関わっているという指摘はいくつもあるが、長期記憶メカニズムが視覚探索の土台となっており、また身体動作が視覚探索に関与するメカニズムを変えうるといいう指摘や実証的証拠はきわめて少ないことから、(1)と(2)で記した知見は重要であると考えられる。(3)と(4)は視覚探索における長期記憶メカニズムがどのように機能しているか、その実態を補完する知見であるといえる。

第5章ではさらに視覚探索行動を支える神経生理学的側面について記し、続いて本論文で得られた知見をどのように発展させていくか、という点について議論した。それらは、交通場面で得られた結果が他の場面における探索行動にどれほど適用できるのか、探索行動は発達の過程でどのように獲得されるのか、身体運動のどのような側面が探索行動と関連するのか、といった問題である。これらを今後の研究の課題とする。

氏名 : 和崎 夏子

学位論文題目 : 現実世界における視覚探索のメカニズム

ー 路線図、運転場面、仮想現実空間における検討 ー

論文審査結果の要旨

I 論文の概要

本論文では現実世界における視覚探索を実験心理学的に検討しており、全5章から構成されている。第1章「序論－研究の背景と目的－」では、本論文の背景及び目的を記している。視覚に関連したあらゆる活動は探索から始まる。コーヒーを飲む時にはまずマグカップを探索するし、アプリ使用の際はまずアイコンを探索する。膨大な視覚情報から目標物を探索するメカニズムの解明は認知心理学における主要なテーマの一つであり、視覚探索 (visual search) という枠組みで研究されてきた。着席し顔を動かさないよう指示された実験参加者が、画面上に提示された円や四角形などの単純な図形を探索する課題が主に行われ、視覚探索の理論が提唱された (Treisman & Gelade, 1988)。しかしながら現実には遭遇する視覚情報は遙かに複雑であり、また探索時に身体が固定されることもないため、現実場面において私たちがどのように視覚探索を行っているのか、その理解は十分ではない (Wolfe, 2020)。本論文では、現実世界における視覚探索のメカニズム解明という目標に向けて、実験心理学的研究を行った。探索実験では、探索場面の文脈を操作した上で、実験参加者の視線パターンを眼球運動計測器により取得した。視線一回の停留時間 (一回の注視に要する 0.2 秒程度の時間) やサッカード振幅 (視線が一度に移動する距離) といった視線パターンは、視覚的注意や記憶を司る脳のメカニズムを反映する (Gegenfurtner ら, 2011)。そこで本論文では、視線パターンの解析を通して、現実世界における視覚探索に関わるメカニズムを推定した。

第2章「路線図の視覚探索」では、文脈が固定された例である地下鉄路線図を用いた探索実験を行った。実験参加者は画面上の路線図から駅名を探索し、その際の視線パターンが記録された。その結果、試行の進行とともに探索に要した時間は減少する一方で、視線一回の停留時間は増加した (実験1～3)。停留時間の短縮は視覚的注意の精緻化を示すが、その増加は、場면을記憶するメカニズムの関与を示す。したがって路線図の探索では、場面の記憶が探索の高速化を支えていたといえる。路線図の探索時にマウスを使用させたところ、視線一回の停留時間は変動せず、サッカード振幅が増加した (実験4)。サッカード振幅の増加は視覚的注意の精緻化を示すことから、身体動作により記憶の関与が減り、視覚的注意が探索の土台となったといえる。

第3章「運転場面における視覚探索」では、運転場面 (実験参加者が運転席にいる状況) の画像を観察し、危険状況を探索した (実験5)。運転場面では文脈は共通だが、その状況は刻一刻と変化する。その結果、運転経験群では未経験群よりもサッカード振幅が増加したが、視線一回の停留時間は変わらなかった。つまり運転経験群では視覚的注意の精緻化が生じていた一方で、記憶の関与の度合いは運転経験の有無で変わらないといえる。運転席から

見て危険場面が記録された映像を提示した場合は、視線パターンに一貫した傾向はみられなかった（実験6）。

第4章「仮想現実空間における視覚探索」では、探索における身体動作を検討するために、仮想現実（VR）空間内における視覚探索実験を行った。眼球運動計測器付きのヘッドマウンテッドディスプレイ（HMD）を装着した実験参加者は、VR空間内で、目標刺激（例えば円柱からできた立方体）を妨害刺激群（空間全域に散りばめられた多数の円柱）の中から探索した（実験7）。実験参加者は自由に体を動かして空間内を探索した。その結果、試行が進むにつれてサッカード振幅が増加し、視線一回の停留時間は減少した。これは、VR空間においては視覚的注意の精緻化が生じた一方で、場面を記憶するメカニズムは機能していなかったことを示す。

第5章「総合考察」では、実験結果を以下のようにまとめた。(1) 探索時には、その文脈に応じて視覚的注意と記憶のメカニズムが切り替わる。(2) 身体動作時に記憶メカニズムが抑制される。(3) 長期記憶に基づくテンプレートが存在する。これらの結果から、現実世界における視覚探索は、状況に応じて記憶と注意の関与の度合いが変わりながら効率性を高めるように行われると結論した。第5章ではさらに、視覚探索行動を支える神経生理学的側面および本論文の知見をどのように発展させるか、という2点について議論した。

II 審査結果報告

本審査委員会は、本論文における研究課題の重要性と新規性、研究手法や結果の妥当性、今後の発展性といった観点から、本論文が博士号（心理学）の学位授与に値する水準に達しているかを検討した。本論文の優れている点として、審査委員会から特に高く評価された事項を以下の4点にまとめた。

- ・視覚探索に関する実験的研究の多くが抽象的（人工的）な視覚刺激を用いたものであり、現実場面における探索行動の理解には必ずしも結びついていないが、現実場面における視覚機能を理解してはじめて、その仕組みが解明できたといえる。無数にある現実場面を対象とした研究は難しく、短い期間内で成果が得られるという保証はない。それにも関わらず本論文では、手法を工夫した上で難題に挑戦し、重要な結果を得ることができた点を評価する。

- ・現実場面を対象とした研究の困難さの一つに、場面の選択や計測する生体データの選択がある。本論文では、測定対象を視線特性に絞り、異なる場面における探索行動を統一的に理解しようとしている点が優れている。そして、場面に応じて視覚的注意と記憶がダイナミックに切り替わりながら探索が行われる仕組みを示すことができた。こうした共通の手法を取り入れたため、多様な状況が絡み合った内容であるにも関わらず、全体として筋の通った理解しやすい論文となっている。

- ・研究手法自体の新規性が高い点も評価できる。特にVR空間を利用する心理学実験は今後、現実場面における人間行動を理解するための主流な手法となるであろうが、国際的にみても研究例は少ない。本論文では、VR空間において探索者の視線を計測するという技術的に高いレベルの研究を実現したことに加えて、そこから従来手法では得られなかった発見をしたことが評価できる。

・コンピュータ上に視覚を構築するという工学的目標達成のためには、現実場面における人間の行動に関する心理学的データが役立つ。現実場面における探索行動に着目した本論文のデータは、そうした点で応用的な活用が可能である。本論文で示した手法を今後、異なる現実場面に適用することにより、応用的側面におけるさまざまな波及効果が期待できる。

また審査委員会からは、今後の検討を要する点として、以下の3点の指摘がなされた。

・各章における実験結果を見ると、さらにさまざまな興味深い問いが立てられる。例えば、得られた視線特性は用いられた場面特有なのか、あるいは場面に関わらず不変なのかという疑問への回答は、現実場面における視覚探索を理解するためには避けて通れない。今後はこの点の解明を目指す必要がある。

・本論文のキーワードの一つである文脈をどのように定義するかについて、より深い考察が必要である。また、身体動作はどのように効果を及ぼしているのか、あるいは記憶のどういった側面が視覚探索に関わっているのか、といった疑問に対しても、本論文ではまだ答えが得られていない。今後取り組むべき問題である。

・現実場面を実験室内で再現する場合、基礎研究としても応用研究としても中途半端になりうる危険性がある。本論文はこの点をうまく回避しているが、この問題は今後も注意すべきである。

これらの問題は今後検討していく価値があり、本論文で示した研究内容をさらに発展させるであろうとの指摘が審査委員からなされた。

以上の点を総合的に勘案し、本審査委員会は、本論文が博士（心理学）の学位を授与するにふさわしいものと審査員全員が判断したことを報告する。