

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25380977

研究課題名(和文) 高速逐次視覚呈示(RSVP)を用いた視覚的注意の比較心理学的研究

研究課題名(英文) A comparative study on visual attention using a rapid serial visual presentation (RSVP)

研究代表者

實森 正子 (JITSUMORI, MASAKO)

千葉大学・文学部・名誉教授

研究者番号：80127662

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトと同様に、鳥類など多くの動物にとって、視覚情報の高速逐次処理は環境適応に必須である。実験1では、ハトにも適用可能な高速逐次視覚呈示法を開発した。2つの鳥画像のどちらか1つ(標的刺激T)と、他の多様な鳥画像(妨害刺激D)からなる刺激系列が高速呈示された後、どちらのTだったかの弁別が求められた。一連の実験によって、1) Tの処理に約80ミリ秒の呈示時間を要す、2) 処理が完了した後は、Tの記憶は直後のDによって妨害されない、3) 処理完了前に妨害刺激が出現すると、以後の処理が中断される、4) Dの代わりにブランクをT直後に挿入すると、Tの処理が持続されることなどが示された。

研究成果の概要(英文)：For animals to survive in their natural environments, rapid visual processing of visual inputs is of great relevance. Experiment 1 developed an RSVP procedure for pigeons, where pigeons were required to discriminate two bird pictures (the targets) each of which was briefly presented in a rapid sequence of other bird pictures (the distractors). By using the RSVP procedure, a series of experiments revealed that 1) pigeons require the minimum viewing time of 80 ms to identify the target, 2) if a distractor appears after the target processing has been completed, the target's memory is not impaired by the distractor, 3) if the target terminates before its processing is completed, further processing is disrupted by the distractor, and 4) if only the target appears in the absence of distractors, visual processing of the target continues beyond its actual time in view.

研究分野：心理学・実験心理学

キーワード：視覚情報処理 視覚的注意 高速逐次視覚呈示法 画像記憶 比較認知心理学 ハト

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの視覚情報処理に関する研究は、実験心理学、認知科学、神経科学、情報工学など、学際的に広く行われるようになった。とりわけ視覚情報の高速処理の基礎的メカニズムとそれと密接に関連する視覚的注意機構や短期視覚記憶に関して、これまで多くの研究が行われてきた。こうした研究の多くでは、視覚刺激を厳密に統制できる実験室場面において、画像などの視覚刺激を次々と逐次的に高速呈示する方法がとられる。この実験手続きは、Rapid Serial Visual Presentation (RSVP: 高速逐次視覚呈示)と呼ばれ、各試行で刺激系列の呈示が終わった直後に再認テストが行われる。

一方、ヒト以外の動物にヒトと同様の RSVP 課題を適用するのは、行動実験上きわめて困難だった。そのため、ヒトと動物との比較研究はこれまで皆無である。しかし、鳥類のように、さまざまな障害物を避けながら高速で飛行する動物にとって、時々刻々と変化する視覚情報の高速逐次処理は環境適応に必須だと考えられる。また、さまざまな静的および動的な背景視野の中から、ワシやカラスなどの天敵や様々な餌などの標的を迅速に見つけ出しそれらに適切に対処するためには、視覚情報処理過程を効率的に制御する注意機能が不可欠である。しかし、実験室場面で高速逐次呈示される視覚刺激を動物が確実に見るようにし、その刺激を手がかりとしてヒトの再認判断に相当する反応をさせる行動実験パラダイムの開発は、世界的に見てもまだ手つかずのままである。

本研究代表者は、自然カテゴリの構造を模した人工カテゴリや運動刺激などの視覚探索課題をハトに用いて成果を得てきた (Ohkita & Jitsumori, 2012; Ohkita, Obayashi, Jitsumori, 2014 など)。こうした視覚的注意研究の成果、ヒトとハトの視覚的カテゴリ化の比較研究、ハトやサルにおける系列刺激の短期記憶研究、その他の学習・行動研究など、研究代表者がこれまで蓄積してきたすべての知見を総動員して動物にも適用可能な RSVP 課題を開発し、高速移動する動物の視覚情報処理とその注意のメカニズムを明らかにしようとする挑戦的研究を発想するに至った。

本研究は、動物ではこれまでに前例がないテーマに挑むことになる。そのため、その実現可能性が心配された。そこで、本研究費申請の前年度にいくつかの予備実験を行った。その結果、数段階の訓練を経て導入した画像刺激を 483 ミリ秒まで短縮しても、ハトはそれを手掛かりとして反応できることが確認された(訓練方法の詳細は後述)。

## 2. 研究の目的

本研究の目的の 1 つは、動物を用いた行動実験パラダイムの確立という、きわめてプラクティカルな点にある。これは実験 1 で検討

された。実験 2 から実験 4 では、実験 1 で確立された方法を用いて、ハトにどこまで画像刺激の高速処理が可能かを検討することとした。

(1) 実験 1 では、予備実験の成果に基づいて開発された行動実験パラダイムを実験経験のない個体に適用し、標的刺激 (Target: 以下 T) 1 つと妨害刺激 (Distractor: 以下 D) 1 つが逐次呈示 (T-D 系列と D-T 系列) される 2-item RSVP 課題の習得を目指す。訓練の最初は T 呈示時間を 1,000 ミリ秒、D 呈示時間を 483 ミリ秒とする。訓練完成の後、T 呈示時間を徐々に D と同じ 483 ミリ秒まで短縮し、再認成績の推移を見る。

(2) 実験 2 では、1 つの T と 2 つの D (T-D-D, D-T-D, D-D-T 系列) からなる 3-item RSVP 課題を訓練した後、刺激呈示時間を 483 ミリ秒から徐々に短縮し、T の再認成績がチャンス・レベルにまで落ちる呈示時間を求める。これによって、各系列の T 処理に要する時間を査定する。

(3) 実験 3 では、T に後続する D による T 処理妨害効果を検討する。ヒトでは T が十分な視覚的処理を受けないうちに D が呈示されると、T の処理が中断され記憶の固定化 (consolidation) が阻害されることが知られている。また、こうした T の記憶はきわめて脆弱で、時間経過とともに急速に失われる。

本研究では、D に替えてブランク刺激 (B) を呈示する Target-Only (TO) 試行と通常の RSVP 試行の成績を比較することによって、ヒトと同様の D による妨害効果がハトでも見られるか否かを検討する。その際、刺激呈示時間を 17 ミリ秒まで徐々に短縮し、D による T 処理の妨害効果が生じるようになる呈示時間を求めることによって、T の記憶の固定化までに要する処理時間を推定する。

(4) 実験 4 では、新たなハトに対して D として鳥画像と車画像を用いた (T はこれまでの実験と同様の鳥画像)。車画像 D では T 処理に対する妨害が抑制され、T の再認が促進されるか否かを見る。これによって、カテゴリによる注意制御機能について検討する。

(5) これらの実験の他に、実験 1 から 3 で用いたハトに対して 2 つの探索的実験を実施する。1 つの実験では、再認テストまでの保持時間を変化し、T の記憶がどの程度の速さで失われるかを見た。他 1 つの実験では、T とそれに後続する D の間の SOA (Stimulus Onset Asynchrony) を一定に保ちながら、T の呈示時間を変化させた (SOA は、T 呈示時間と D までのブランク時間を加算した一定時間になる)。ヒトで知られているように、T が消失した後のブランク中でも T 処理が持続されるなら (Visual persistence: 視覚的持続)、T 呈示時間にかかわらず一定の高い再認成績が得られることが予想される。

これらの実験の結果は、実験 3 までの結論を支持すると同時に、新たな知見をもたらした。しかし、確定的な結論を出すためには

より詳細なデータ分析や比較のための対照実験を必要とするため、本報告書では割愛する（本年度開催される日本動物心理学会にて発表予定）

### 3. 研究の方法

Tとして実験者が任意に選んだ鳥画像2種（T1とT2）、Dとしてそれ以外の鳥画像24種を用いた（Fig.1）。これらはカテゴリ内類似性が高い同一鳥カテゴリの事例であり、T1とT2のそれぞれをそれ以外の事例Dから明確に区別して識別することが求められた。



Fig. 1. Upper part: The bird pictures used as the targets. Lower part: The bird pictures used as the distractors.

Fig.2は、本研究で開発した3-item RSVP試行の流れを時間軸上に図示したものである。試行開始と同時に+を呈示し、これへの1回の反応が生じた83ミリ秒後、+のすぐ上の位置にT（T1またはT2）と2つの異なるDからなる系列刺激を17ミリ秒の刺激間隔で逐次呈示した。各試行の最後に赤と緑の比較刺激を呈示し、TがT1だったかT2だったかの弁別が求められた（2選択強制選択法）。例えば、T1なら赤と緑の比較刺激から赤に反応し、T2なら緑に反応すると正答で、報酬として餌が与えられた。

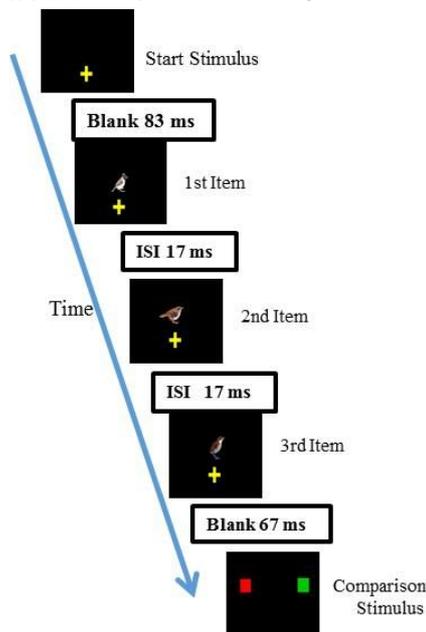


Fig.2. An illustration of a trial with the target embedded in the stimulus stream.

実験3では、Dに替えてブランク刺激（以下B）が、T-B-B、B-T-B、B-B-Tの順序で呈示された。従って、T再認までの時間経過は対応するT-D-D、D-T-D、D-D-TのRSVP試行と等しいが、Tのみが各試行で単独呈示された。

### 4. 研究成果

(1) 実験1で用いた2-item RSVP課題をハトは容易に学習した。本研究の主要な目的の1つは行動実験パラダイムの確立にあったため、以下では、やや詳細に訓練手続きを解説しよう。

RSVP課題の行動形成は、ステップ・バイ・ステップで行われた。訓練第1段階では、各試行でTが3秒間呈示された後の+刺激への最初の反応で比較刺激が呈示され、T1かT2かの弁別が訓練された。弁別完成基準に達した後、徐々にT呈示時間を1秒にまで短縮した。この間、Tへ反応すると比較刺激の呈示が遅延されるというペナルティが課せられた。第2段階では、Tの呈示（1秒）が終了すると自動的に比較刺激が呈示された（すなわち、比較刺激を呈示するために+への反応が求められない）。第3段階では、新たな項目として新奇な鳥画像Dが導入され、T呈示時間1秒、D呈示時間483ミリ秒の2-item RSVP課題が訓練された。D-T試行の成績は高く維持されていたが、T-D試行で顕著な成績の低下が見られ、成績回復までに19~76日の訓練を要した。第4段階では、T呈示時間を1秒から徐々に短縮し、TとDの呈示時間が等しく483ミリ秒になるまで段階的な訓練を続けた。

訓練第4段階でのT-D試行とD-T試行の成績は、T呈示時間を短縮しても高く維持されていたが、呈示時間にかかわらず一貫してD-T試行でT-D試行より有意に高い再認正答率が得られた（訓練完成時点の平均正答率はD-T試行で90%、T-D試行で85%）。すなわち、ハトはきわめて頑強な recency 効果を示し、この傾向は長期訓練によっても矯正することができなかった。何を弁別反応の手掛かりにしやすいかの行動上の問題ではなく、視覚情報処理過程の基礎的特性を反映しているものと考えられる。

(2) 実験2では、3-item RSVP課題を訓練した後、刺激呈示時間を483ミリ秒から徐々に短縮しながら、各呈示時間でそれぞれ3セッションのテストを行った。再認正答率は、刺激呈示時間の短縮とともに低減したが、1羽を除く4羽のハトは、呈示時間を133ミリ秒にまで短縮しても、D-D-T試行でチャンス・レベルより有意に高い正答率を示した。一方、T-D-DとD-T-D試行では一貫して正答率が低く、成績に有意な差がみとめられなかった。このことは、Tに後続するDが1つでもあれば、Tの処理が即座に中断されることを強く示唆した。

(3) 実験3では、Dに替えてブランク刺激（B）を呈示するTarget-Only (TO)試行と通

常の RSVP 試行の成績を比較することによって、RSVP 試行における D による妨害効果を検討した。

もし D による妨害効果がなく、T と D のそれぞれの画像が独立に視覚的処理を受けるなら、どちらのタイプの試行でもほぼ同様の正答率が得られ、正答率は再認までの保持時間が長くなるに従って単調的に減少することが予想された。この場合、これまで見てきた recency 効果は、系列の後ろの方の T ほど再認テストまでの保持時間が短いために起きたことになる。これに対して、D が T の処理を妨害する場合は、T のみが単独呈示される TO 試行より、通常の RSVP 試行での再認成績が低くなることが予想された。

なお、これらのハトは TO 試行での訓練経験がないため、実験を開始するにあたって、TO 試行と RSVP 試行からなる訓練セッションを行い（刺激呈示時間は 483 ミリ秒）、試行タイプにかかわらず同様の高い成績が得られことを確認した。その後、刺激呈示時間を 433, 383, 283, 233 ミリ秒と徐々に短くしながら訓練を続けた。各呈示時間の訓練は、弁別完成基準が得られるまで行われた。

訓練最初のセッションから、いずれのタイプの試行でも同様の recency 効果が出現し、T の再認正答率は  $T-D-D < D-T-D < D-D-T$  のように系列の後ろになるほど高かった。また、再認正答率に試行タイプによる差は見いだせなかった。T の呈示時間が 233 ミリ秒以上あれば、T の処理が D による妨害を受けず、それぞれの画像は独立に処理されていたことになる。この結果は、233 ミリ秒以内にハトは画像を短期視覚記憶に固定化できることを示唆した。

こうした訓練の後、刺激呈示時間を 233, 183, 133, 83, 67, 50, 33, 17 ミリ秒と徐々に短縮して、各呈示時間でそれぞれ 4 セッションのテストを行った。各テストの前で、刺激呈示時間を最終訓練と同様の 233 ミリ秒とする訓練を弁別完成基準が得られるまで行った。これは、刺激呈示時間を下降系列で 17 ミリ秒（本研究に用いたモニタの 1 フレームに相当）まで短縮するテスト中に、ハトの弁別行動が多少なりとも劣化する可能性を考慮したためである。

刺激呈示時間 83 ミリ秒をほぼ境として、それより長い呈示時間と短い呈示時間で、結果に顕著な差異が見出された。長い場合は、233 ミリ秒までの訓練結果と同様の recency 効果が出現し、再認正答率は系列の後ろになるほど高かった。また、再認正答率に試行タイプによる差は見いだせなかった。この結果は、画像が約 80 ミリ秒程度呈示されれば、ハトはそれを短期視覚記憶として固定化できることを示している。これに対して、呈示時間が 83 ミリ秒より短いと、正答率減少に伴って recency 効果が消失すると同時に、T のみが呈示される TO 試行で RSVP 試行より有意に高い再認正答率が得られるようになって

た。この結果は、T が短期視覚記憶として固定化される前にその呈示が終わると、RSVP 試行で T に後続する D が T の処理を中断してしまうことを支持するものである。

このテスト中に、予想外の結果が得られたことを以下に特筆する。刺激呈示時間が 83 ミリ秒より短くなったときの RSVP 試行における平均正答率は、T-D-D, D-T-D, D-D-T 系列それぞれで 67, 63, 60% であった。これに対して、TO 試行における T-B-B, B-T-B, B-B-T 系列それぞれの平均正答率は、74, 76, 70% であった。TO 試行では T が消失した後も、T の視覚的処理が行われた可能性がある。また、T 呈示時間が本研究の限界値 17 ミリ秒まで短縮されてもなお、TO 試行のいずれの系列でもチャンス・レベルより有意に高い正答率が得られた（残像などのアーチファクトによるものではないことが、モニタ特性の光学的詳細分析によって確認された）。これらの結果は、ハトは T が消えた後のブランク時間を利用して T の処理を持続していた可能性を示唆した。こうした現象は、ヒトでは視覚的持続 (Visual persistence) として一般に知られている。ヒトと同様の情報保持機能をヒト以外の動物も有する可能性が本研究によって初めて示されたわけだが、結論は今後のさらなる実証的検討を俟ちたい。

(4) 実験 4 は、研究協力者の牛谷智一（千葉大学・准教授）が実施し、結果の分析を行った。新たなハトに対して、2-item RSVP 課題を訓練した。D として鳥画像と車画像を用い、車画像の D が鳥画像の T の処理を妨害するか否かを見ることによって、カテゴリによる注意制御機能について検討した。

妨害刺激導入前の長期にわたる訓練段階で、これらのハトは T として用いられた鳥画像をすでに経験していた。D として新奇な車カテゴリの画像が突然呈示されると、鳥カテゴリの D を用いた場合より成績が顕著に低下した。これは新奇性による妨害効果と考えられるが、この妨害効果は T-D 試行でのみ認められた。T-D 試行の成績は訓練を続けると徐々に回復し、車カテゴリの D で逆に促進効果が見られるようになった。すなわち、訓練によって T と D のカテゴリ弁別が起きた結果、鳥刺激に選択的な視覚的処理が行われるようになったと考えられる。

本研究で取り上げた鳥類の高速視覚処理に関するわれわれの理解は、これまでは自然観察に基づく推測の範囲に留まり、その働きはほとんど知られていなかった。そのため、本研究は既知の知見に基づいて行われる仮説検証型研究ではなく、問題それ自体を掘り起こしていく探索的スタイルをとることになった。本研究実施期間は、基礎的実験を着実にを行い、できるだけ多くの実証的データを得ること、そこから新たな着想を得て研究全体を展開すること、ヒトで行われている膨大な関連論文をサーヴェイすることなどに多くの時間が費やされた。現在は、実験 1 から

実験3までを英文論文としてまとめており、国際的な学術誌に Original Article として投稿を予定している。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

實森正子. 生物界における環境認知の多様性 比較認知研究への招待 . 広島生物, 36, 1-12, 2015. (査読無し)

\*広島県高等学校の生物を専門とする教師に向けて書かれた総説の中で, 視覚的注意に関連して本研究の RSVP 課題について触れた。

〔学会発表〕(計 5 件)

Tomakazu Ushitani & Masako Jitsumori. Picture discrimination by pigeons in an RSVP task (5): Effects of distractors from target and non-target categories. 第75回日本動物心理学会, 日本女子大学(目白キャンパス, 新泉山館). 9月12日, 2015年

Masako Jitsumori & Noriyuki Nakamura. Picture discrimination by pigeons in an RSVP task (4): The effect of blank intervals. 第74回日本動物心理学会, 京都大学霊長類学研究所(愛知県犬山市, 国際研究センター「フロイデ」). 7月21日, 2014年.

Tomokazu Ushitani, Noriyuki Nakamura, & Masako Jitsumori. Picture discrimination by pigeons in an RSVP task (3): Responses elicited by targets. 第74回日本動物心理学会, 京都大学霊長類学研究所(愛知県犬山市, 国際研究センター「フロイデ」). 7月21日, 2014年.

中村哲之・實森正子. ハトにおける高速逐次視覚呈示下での画像弁別 (2): 3項目リストにおける高速視覚処理. 第73回日本動物心理学会, 筑波大学(筑波キャンパス 大学会館・総合交流会館). 9月16日, 2013年.

實森正子・牛谷智一・中村哲之. ハトにおける高速逐次視覚呈示下での画像弁別 (1): 弁別行動の学習過程. 第73回日本動物心理学会, 筑波大学(筑波キャンパス 大学会館・総合交流会館). 9月16日, 2013年.

〔招待講演〕(計 1 件)

實森正子. 鳥類に見られる高速画像処理. 日本色彩学会, 第21回視覚情報基礎研究発表会, 工学院大学(新宿キャンパス). 9月20日, 2014年.

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

實森 正子 (JITSUMORI MASAKO)

千葉大学・文学部・名誉教授

研究者番号: 80127662

(2)研究協力者

牛谷 智一(USHITANI TOMOKAZU)

千葉大学・文学部・准教授

研究者番号: 2400806