

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2017～2019
課題番号：17H02648
研究課題名（和文）注意の逆説的投資効果とニューロフィードバック

研究課題名（英文）Inverse investment effect of attention

研究代表者

河原 純一郎 (Kawahara, Jun-ichiro)

北海道大学・文学研究院・教授

研究者番号：30322241

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究はトップダウンの認知制御が3つの注意の下位成分を変調しうるかを調べた。注意ネットワーク課題を用いて、認知エフォートをすべて投入する場合と、自分もつ半分の認知エフォートのみを投入する場合を設けた。行動成績は当初の通り、予定した効果を概ね再現することができたため、この手法は妥当であるといえる。一方で、前年までに実施した脳機能計測実験の結果を再分析したが、予測した部位での神経活動と、認知資源の意図的配置との関連は得られなかった。しかし、意図的な注意制御に関して、視覚探索中の抑制テンプレートを調べたプロジェクトが派生し、その生起要因を特定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

注意の逆説的投資効果はこれまで試みられてこなかった方向性であり、新規性のある発見であった。これまでの認知心理学の研究では被験者は全力を使って課題に取り組むことが最良の課題遂行成績を生むことが当然に思われてきた。しかし、本研究では警戒と葛藤制御については50%の投資のほうが100%の投資よりも空間的手がかり効果を強く生じることがわかった。本研究から派生した時間的な探索と隠蔽方略のメタ認知に関する成果は5つの方略を特定した。これらには候補の顕著性に基づく方略に加えて、時空間次元、及び、候補の取りやすさ、時間的な遠さ、初頭・新近効果、無作為選択の方略であった。

研究成果の概要（英文）：The present study examined whether top-down cognitive control could modulate three sub-component of attention (i.e., orienting, interference control, and arousal). We implemented an attention-network test while requiring participants to invest their all might or half cognitive effort. Behavioral performance successfully reflected participants' intention in that orienting was delayed when participants invested only a half of their effort. However, region of interest analyses on the fMRI data revealed no activation at the predicted sights related to the spatial disengagement of attention. An alternative project that explored active suppression of a specific visual feature progressed successfully. We also extended a new line of research regarding the contrast of meta-cognition of visual search and concealment. The latter study identified five strategies including salience of target feature, temporal remoteness, approachability, recency, and randomness.

研究分野：認知心理学

キーワード：注意

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来の注意研究では、例えば右側へ注意する、赤いものを探すというように、空間や特徴にもとづいて注意を制御できることはわかっており、その詳細な特性が調べられてきた(河原・横澤, 2015; Fawcett et al., 2015)。しかし、そこでは被験者は教示されたとおりに課題に取り組むことが前提とされており、被験者がその教示の下にどれだけの労力を投じたかは不問となっている。この点は、運動選手が競技直前に全力で練習しないことからわかるように、骨格筋を抑制して出力できることは古くから知られている(Stevens & Mack, 1959; Muraven et al., 2006)ことは対照的である。

心的資源の配分に関連した知見としては、定常的注意課題での注意の逸脱に関する研究が挙げられる。定常的注意の研究では、単純な検出課題(多くは Go/No-go 課題)を連続実施中の反応時間の分散を、課題に専念している程度を知る指標とする(Rosenberg et al., 2015)。被験者はできるだけエラーを減らし、かつ素早く応答するように求められている。そのため、従来の手法では意図的に注意資源を減じて配分するという“注意の手抜き”状態を調べることはできない。

申請者は疲労と認知資源に関する研究で、大腿部外側広筋は、かなり正確に意図に基づいて50%、100%と出力し分けることができることを示した。一方、最近の研究(Kawahara & Kumada, 2016)のパイロット実験から、思いがけない副産物として、意図的に資源配置を減じたほうが、注意の効果が大きく生じるという逆説的投資効果を得た。また、その効果が大きく生じる被験者は、自らのトップダウンの注意制御に鋭敏な感覚を持っている可能性があるという着想を得た。

とくに、機能的核磁気共鳴法(fMRI)を使ったニューロフィードバックにより、脳の特定の部位の活動を自己制御できることが明らかになってきている。そこで本研究は、ニューロフィードバックによって動機づけに関わる脳活動を自己制御で増加させ、課題成績を向上させることを試みた。対象部位として腹側被蓋野(Ventral Tegmental Area: VTA)を選定した。VTAは課題に取り組む際のモチベーションに関与することが知られており、先行研究から、外的・物理的報酬に関連することが明らかになっている(Ballard et al., 2011; Mameli, et al., 2009)。さらにMacInnes et al., (2016)は、外的報酬によらない内発的動機づけによってもVTAを活動増加させることができることを報告している。すなわち、参加者が自発的にモチベーションの高い状態を作ることで、VTAを活動増加させることが可能である点が示されている。

2. 研究の目的

そこで本研究では、次の2つの手法を用いて投入した注意資源の特定と、メタ認知とのずれを測定する。第1に、注意ネットワーク検査(Attention Network Test (ANT), Fan et al., 2009)を用いることで、注意の意図的制御が及ぶ成分を特定できる。第2の段階として、fMRIによるリアルタイムのニューロフィードバック技法を利用して、50%の注意配分を最適にできている状態を訓練する。訓練の効果はスキャナ外で、ANTの派生版(-Interaction; ANT-I, Ishigami et al., 2016)を利用して頑健性を検証する。fMRIニューロフィードバックによってVTA活動を高めることが可能か、さらにVTAの活動増加によって内発的にモチベーションを高めることで行動課題成績を増加させることができるかを検討した。

意図的な注意資源の投入が可能であることはこれまで知られていた。特徴ベースの注意は意図的な注意制御の典型である(Carrasco, 2011)。本研究の後半では第3段階として、特徴ベースの注意に注目し、妨害刺激を抑制し探索に役立たせるネガティブテンプレートについて検討した。人間の視覚システムは、標的に関連する特徴に注意を向け、それらを重みづけることで探索を容易にすることが知られている(Watson & Humphreys, 1997)。同様に、標的に関連する特徴だけでなく、非標的特徴も探索に貢献し、手がかりで与えられた非標的特徴(i.e. 色や形状)を抑制するネガティブテンプレートの存在が報告されている(Arita, Carlisle, & Woodman, 2012; Tanda & Kawahara, 2018)。このネガティブテンプレートの検討が進み、近年では特徴ではなく、物体の位置に基づいて形成される可能性が示唆された(Beck, Luck, & Hollingworth, 2018)。しかし従来の研究では、抑制の手がかりとして物体の位置と特徴の次元が交絡していた。そこで本研究は、ネガティブテンプレートが物体の特徴と位置のどちらをもとに形成されているかを明らかにすることを目的とした。従来のパラダイムでは一画面内に複数の物体が呈示されていたため、物体の特徴と位置が分離不可能であった。そこで本研究では、物体の定義に位置を含まない新たなパラダイムを用いることで、特徴ベースのネガティブテンプレートを検討した。

3. 研究の方法

(1) 意図的な注意資源配分が行動成績に及ぶ場合、注意のどの下位成分に反映されるかを特定した。3つの成分(定位、実行系、警戒)を特定可能な注意ネットワークテスト(Fan et al., 2009)を用いる。これは汎用性が高い単純な標的の検出課題で、多様な被験者群に適用可能である。20程度の実施で3つの成分が条件間の差として抽出可能である。教示を2水準(注意資源の投資: 100%, 50%, 被験者内要因)設ける。これに被験者間で教示なし条件を加える。メタ認知は教示にどれだけ忠実に従って注意資源を配分できたかを視覚アナログスケールで評定した。

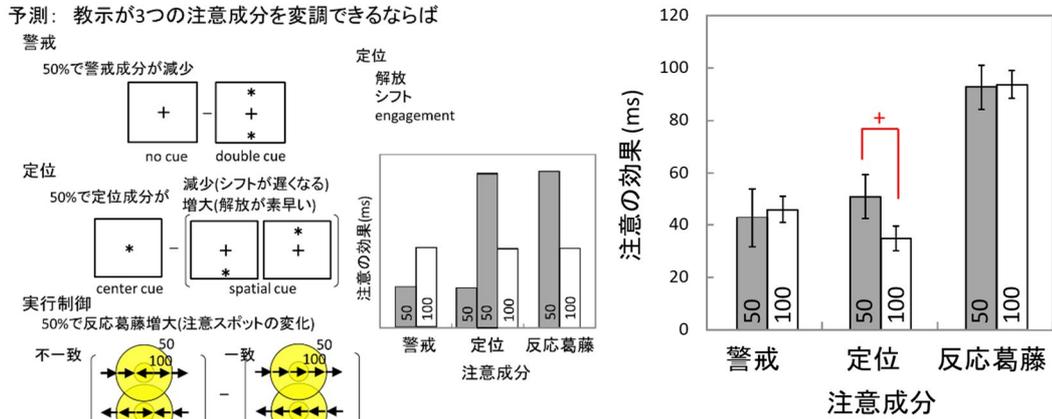


図 3-1 行動実験の手続きと結果

被験者 それぞれの実験で、投資教示あり 20 人(被験者内デザイン)および投資教示なし・統制 20 人(被験者間デザイン)ずつ実施する。現実的には、最初に注意ネットワーク課題を少人数で実施し、刺激サイズ、負荷等の課題パラメタを調整しながら投資効果の差が最も大きく見られる課題で本実験を実施した。

(2) 健常成人 12 名(男性 8 名、女性 4 名、年齢 20~25 歳、平均年齢 21.6 歳)が参加した。実験では、MRI スキャナ内で行動課題として指の系列タッピング課題と、VTA を対象とした fMRI ニューロフィードバックを行った。系列タッピング課題は、ニューロフィードバックの前後に行い、それぞれ事前・事後テストとした。

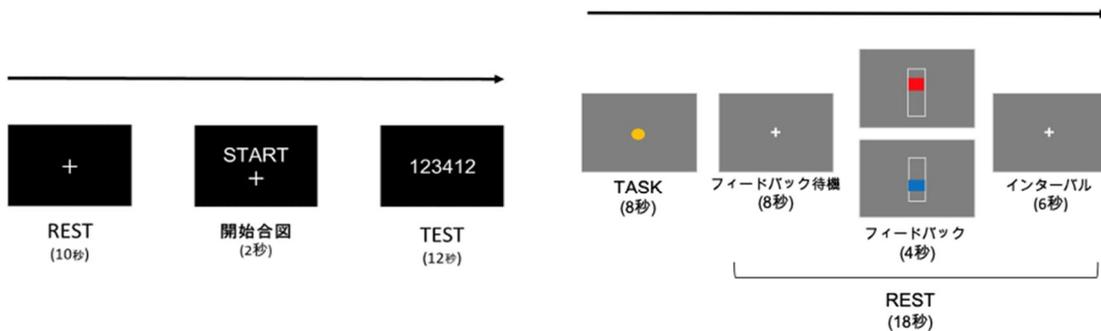


図 1 系列タッピング試行の流れ

図 2 ニューロフィードバック試行の流れ

系列タッピング試行(図 1)は、呈示される数系列と対応した番号のキーを繰り返し入力する課題であった。数系列は 6 桁であり、1 から 4 までの整数を用いてランダムに作成した。まず、REST では注視点を呈示した(10 秒)。続いて、開始合図を呈示した(2 秒)。その後の TEST では、1 試行につき数系列を 1 つ呈示し(12 秒)、参加者はその数系列に対応するキーを繰り返し入力し続けた。入力は全て右手を使い、1 を人差し指、2 を中指、3 を薬指、4 を小指で行うよう指示した。これらのキー入力は、できるだけ速く正確に行うように教示した。

ニューロフィードバック試行(図 2)は、fMRI により計測した自身の VTA の活動値を増加させる課題であった。TASK では、黄色の円形キューを呈示し(8 秒)、参加者には課題に対するモチベーションが高い状態を自発的に作るよう求めた。フィードバック呈示までの待機期間では、注視点を呈示した(8 秒)。続くフィードバック期間では、棒グラフを呈示した(4 秒)。この棒グラフは、TASK 時の脳活動がベースライン時の脳活動に対してどれだけ変化したか(パーセンテージ)を示していた。

(3) 抑制テンプレート

抑制テンプレートが物体そのものか、空間座標上の位置にもとづいて形成されるかを明らかにすることを目的とした。従来の手法では、探索すべき物体が分散しており、それぞれの形状が位置と不可分であった。物体の特徴と位置を切り離すため、新たな探索画面を用いた(図 4-2)。重なった形状が回転して 2 個呈示されるため、探索画面内での形状の純粋な位置の抑制を防ぐ手法であった。実験 3-1 では図形は 1 つが時計回りに、もう 1 つが反時計回りに回転した。実験 3-2 では図形は往復回転運動した。

4. 研究成果

行動実験の結果を示したものが図 3-1 右である。まず、教示の効果がみられた。100%教示に比べて50%教示で反応時間が延長した。教示に關与する交互作用はないので、探索効率に手がかりや一致性は影響しない可能性があった。最も重要な結果は、それぞれの注意成分に及ぼす教示の効果である。どの注意の成分が制御可能かを ANT 課題の 3 成分分類に従って詳細に分析したところ、警戒、反応葛藤は制御不能であることがわかった。しかし、100%教示より50%教示で定位成分が増大していた。これを注意の逆説的投資効果という。この結果は実験 2 でも再現された。

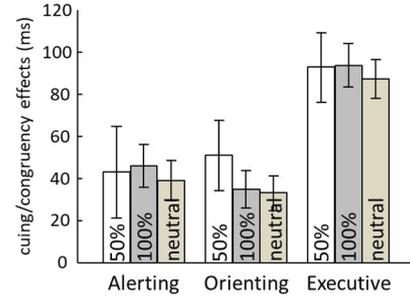


図 4-1 行動実験の結果(実験 2)

行動成績結果として、事前テストに比べて事後テストの方が有意に正しいタッピング回数が増加した ($t(11) = -2.39, p < .05$)。次に VTA の脳活動について、セッション (4) × 課題 (2: TASK/REST) を要因とした 2 要因参加者内分散分析を行った結果、セッションの主効果 ($F(3,30) = 1.07, p = .38$)、課題の主効果 ($F(1,10) = 0.00, p = .99$) およびセッションと課題の交互作用 ($F(3,30) = 1.73, p = .18$) は有意でなかった。すなわちニューロフィードバックによる VTA 活動の変調や学習は見られなかった。また、事前・事後テストでのタッピング回数変化と VTA の活動平均値との相関も有意でなかった ($r = .12, p = .73$)。すなわち VTA 活動と行動成績との関連も見られなかった。

ニューロフィードバックによる VTA 増加が見られた MacInnes et al., (2016) の先行研究では、2 秒毎の連続的フィードバックであったのに対し、本実験では 8 秒間の平均活動を返す間欠的フィードバックである違いがあった。一方で運動イメージを用いた運動野のニューロフィードバックでは、連続的より間欠的フィードバックが有効である報告があり (Johnson et al., 2012) 課題や脳部位によって最適なフィードバック・スケジュールが異なる可能性が考えられる。行動実験の結果、探索画面に動きを持たせない場合 (Tanda & Kawahara, 2018) と同様に、抑制テンプレートを形成し、探索を早めることができた。この結果は、抑制テンプレートが物体の位置をもとにしたものではなく、特徴ベースの注意を反映しているといえる。

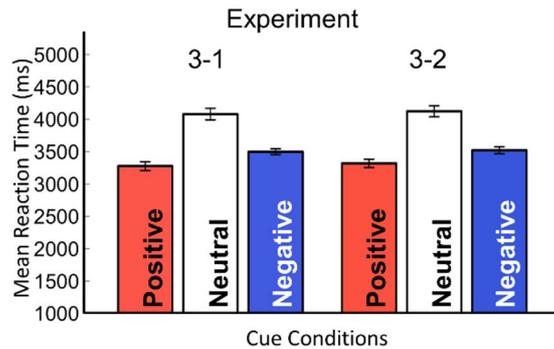
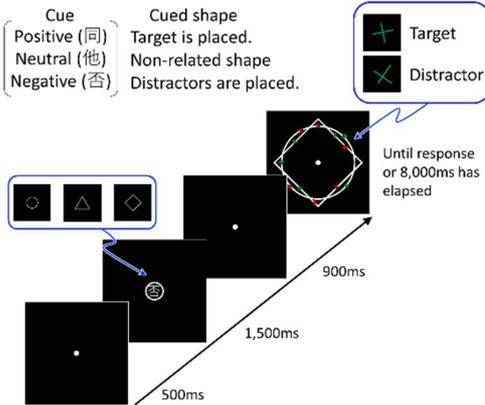


図 4-2 行動実験 3 の手続き(左)と結果(右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yamauchi Kenji, Kawahara Jun I.	4. 巻 192
2. 論文標題 A singleton distractor updates the inhibitory template for visual marking	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Psychologica	6. 最初と最後の頁 200 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actpsy.2018.11.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamauchi, K., Kihara, K. & Kawahara, J.	4. 巻 38
2. 論文標題 Predicting sustained performance over a short time	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Psychonomic Science	6. 最初と最後の頁 2-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14947/psycho.38.3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tanda Tomoyuki, Kawahara Jun I.	4. 巻 81
2. 論文標題 Association between cue lead time and template-for-rejection effect	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Attention, Perception, & Psychophysics	6. 最初と最後の頁 1880 ~ 1889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3758/s13414-019-01761-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tsurumi Shuma, Kanazawa So, Yamaguchi Masami K., Kawahara Jun-Ichiro	4. 巻 186
2. 論文標題 Rapid identification of the face in infants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Child Psychology	6. 最初と最後の頁 45 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jecp.2019.05.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maezawa Tomoki, Kawahara Jun I.	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of Visual Working Memory on Individual Differences in Echolocation Performance in Sighted Participants	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2041669519872223	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Maezawa Tomoki, Kawahara Jun I	4. 巻 48
2. 論文標題 Distance Estimation by Blindfolded Sighted Participants Using Echolocation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Perception	6. 最初と最後の頁 1235 ~ 1251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/0301006619884788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanda Tomoyuki, Kawahara Jun	4. 巻 28
2. 論文標題 An object-based template for rejection effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Visual Cognition	6. 最初と最後の頁 87 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13506285.2020.1722774	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maezawa Tomoki, Tanda Tomoyuki, Kawahara Jun I.	4. 巻 11
2. 論文標題 Replicability of the Curvature Effect as a Function of Presentation Time and Response Measure in Japanese Observers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/2041669520915204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Tanda, T., & Kawahara, J.
2. 発表標題 Object-based template for rejection
3. 学会等名 Vision Sciences Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ito, M., & Kawahara, J.
2. 発表標題 Mere presence effects of entirely task-irrelevant but significant objects on visual search performances
3. 学会等名 Vision Sciences Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 大元 慎二、糸田 省吾、河原 純一郎、土橋 治子、村 千鶴子	4. 発行年 2019年
2. 出版社 商事法務	5. 総ページ数 248
3. 書名 別冊NBL No.169 強調表示と打消し表示に関する景品表示法上の考え方 調査報告書の概説と関連分野からの考察・評価	

1. 著者名 日本基礎心理学会 河原純一郎(1.1, 1.6, 4.3章執筆)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 608
3. 書名 基礎心理学実験法ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

