

ターゲットに対する反応回数は遂行成績並びに視覚的注意に影響するのか

渡辺 友里菜 (愛知淑徳大学 心理医療科学研究科, kashimir1928@gmail.com)

吉崎 一人 (愛知淑徳大学 心理学部, yoshizak@asu.aasa.ac.jp)

Response frequency to a specific target does not affect the performance and visual attention

Yurina Watanabe (Graduate School of Psychology and Medical Sciences, Aichi Shukutoku University, Japan)

Kazuhito Yoshizaki (Department of Psychology, Aichi Shukutoku University, Japan)

Abstract

Visual attention refers to cognitive functions for selecting task-relevant information and filtering out task-irrelevant information. Psychological research on visual attention has utilized congruency effects observed in Stimulus-Response compatibility paradigms, such as the Stroop task, the Flanker task, and the Simon task as the benchmark for investigating cognitive control. A number of studies (e.g., Egner, 2007) have demonstrated that the congruency effect is larger when congruent trials appear frequently within a given block than when they appear infrequently. This phenomenon is termed the proportion congruency (PC) effect, which is considered to reflect fluctuations in visual selectivity. Recently, however, a number of researchers have challenged the view that the PC effect reflects the modulation of visual selectivity. Schmidt (2013) for example argued that the PC effect is driven by performance improvements based on learning predictive relationships between stimuli and responses, rather than by the modulation of visual selectivity. It is notably unclear whether performance improvements are caused by increased contingency of a specific stimulus-response, or high response frequency resulting from the increased contingency in a block. This study was designed to examine the effect of response frequency on Simon task performance by manipulating the number of responses (pushing response buttons) to a target in the Simon task. More specifically, right-handed undergraduate and graduate students ($N = 16$) were requested to press a key once for a specific target (e.g., red circle) and press the key twice for the other target (e.g., green circle). Our results demonstrated that reaction times and error rates were not dependent on the number of reactions. This finding suggests that performance improvement is caused by contingency learning of stimulus-response pairs and not by the high response frequency.

Key words

contingency learning, performance, visual attention, proportion congruency effect, Simon task

1. 問題と目的

ヒトは、生活の中で、多くの情報の中から必要な情報を選択し、処理している。更に、現在の状況を読み取り、情報の処理方略の変更や、維持を行っている。この機能は、認知的制御と呼ばれる。その中でも、重要な情報を優先的に処理する機能である、視覚的注意の研究では、ヒトがどのように選択を行うのか、その遂行成績は、どのように向上、あるいは低下するのかに着目してきた (Corbetta & Shulman, 2002)。これらの研究では、認知課題を用いて、特定のキー押しによる反応を行動指標とすることが多い。そして、ある条件と比べて、遂行成績が向上すること (反応時間の短縮や誤答率の低下) を、視覚的注意による反応の促進だと捉えてきた (Egner, 2007)。しかし、遂行成績の向上は、視覚的注意の存在を前提とせずとも、特定の刺激と反応間の随伴性の学習によって説明ができるとの解釈もみられ、議論が続いている (Schmidt, 2013)。本研究は、特定の刺激に対する反応頻度を操作することで、刺激と反応のどのような関係が、遂行成績を向上させるのかを示す。これにより、視覚的注意を前提としない遂行成績の向上が、どのように生じるのかを詳細に示すこ

とができる。具体的には、刺激呈示頻度が一定で反応回数が異なる事態が、遂行成績に与える影響を観察することで、刺激-反応の随伴性と、反応回数のどちらが遂行成績に影響を及ぼしているのかを明らかにする。

これまでに、視覚的注意の研究の多くが、刺激反応適合性パラダイムを用いて検討されてきた。例えば、刺激反応適合性パラダイムの一種であるサイモン課題 (Simon, 1990) では、左右配置の反応キーによって、左右にランダムに呈示されるターゲットに対し、できるだけ速く、できるだけ正確に反応するよう求められる。一般的に、反応時間や誤答率といった遂行成績は、刺激と反応キーが反対側に位置する不一致条件の方が、同側である一致条件よりも低下する。このときの不一致条件と一致条件の差は、適合性効果と呼ばれる。これは、課題を遂行するために必要な情報が、課題に無関連な情報に干渉された程度を反映する指標であり、視覚的注意の働きを示すものとして扱われる。

適合性効果の大きさは、様々な状況で変化することが明らかにされているが、本研究では、ブロックレベルの適合性効果の変化に着目する。これまでに適合性効果は、実験ブロックの一致試行出現確率に比例して大きくなることが示されており、その変化量は比率一致効果とよばれている (Gratton, Coles, & Donchin, 1992; 嶋田・芦高, 2012)。例えば、一致試行出現確率が 75% であるときの

適合性効果よりも、一致試行出現確率が25%であるときの適合性効果の方が小さければ、その差分を比率一致性効果として捉える。一致試行出現確率の低下は、競合の解消を要する、不一致試行が占める割合の上昇を意味する。よって、比率一致性効果は、ブロック内の不一致試行の割合により、課題無関連情報を排除する効率が変動することで生じるとされてきた。つまり、比率一致性効果は、視覚情報選択性の調整の反映であり、注意の制御による効果と考えられてきたのである。

しかし、2000年代後半より、比率一致性効果を、学習によるものと捉える解釈が出現してきた(Levin & Tzelgov, 2016; Schmidt, 2016; Schmidt, Crump, Cheesman, & Besner, 2007)。動物は、ある事象(事象A)に続いて、もう一つ的事象(事象B)が発生する、という事態を繰り返し経験することで、事象Aの発生から、事象Bを予測するようになる。このように事象の随伴性を学習することを、随伴性学習という。近年では、ストロープ課題(Stroop, 1935)のような刺激-反応適合性課題において、随伴性学習により、反応の促進が生じることが示唆されている(Levin & Tzelgov, 2016; Schmidt, 2016; Schmidt et al., 2007)。これらの知見は、視覚情報選択性の調整として扱われてきた比率一致性効果を、随伴性の学習により解釈している。例えば、Schmidt et al. (2007)は、文字の意味を無視して文字のインク色を回答するストロープ様の課題を用いて、単語刺激と反応の随伴性を操作し、随伴性の高低が、遂行成績に影響することを示した。具体的には、色名ではない中立単語を赤色、青色、緑色、オレンジ色に着色し、実験参加者には、キーボードのキー押しによるインク色の回答を求めた。その際、各単語は、特定のインク色での呈示確率が高く、その他の3色での呈示確率は低くなるように操作されていた。つまり、各単語には、随伴性の高い色との組み合わせ(高随伴性条件)と、随伴性の低い色との組み合わせ(低随伴性条件)が混在していた。実験の結果、高随伴性条件の方が、低随伴性条件よりも反応時間が速く、誤答率は低くなり、遂行成績が向上することが示された。このような知見は、中立単語を使用していることから、課題無関連情報の排除効率の変動を前提とした視覚情報選択性の変化では、説明ができない。このことから、比率一致性効果は、随伴性学習の寄与が示唆された。

このように、比率一致性効果が、視覚的注意の制御によるものなのか、随伴性学習によるものなのかが議論されている現状を顧みると(Bugg & Crump, 2012; Schmidt, 2013; Schmidt, Notebaert, & Van Den Bussche, 2015)、随伴性学習が反応の促進に与える影響の詳細を明らかにする必要がある。このための方策の一つは、随伴性の上昇と、反応頻度の上昇の交絡を解くことである。これまでに、随伴性学習は、刺激と反応間の関係を学習することで生じることが明らかになっている(Schmidt et al., 2007, Exp.4)。Schmidt et al. (2007, Exp.4)では、一つの反応キーに対して、二つのインク色への反応が対応付けられた。このとき、特定の単語(例えば“MOVE”)で高随伴性条

件である色と、反応を共有している低随伴性条件の色は、“MOVE”に対する反応が、他の低随伴性条件の色よりも速くなることが示されている。これは、特定の反応キーで“MOVE”に対する反応を行う頻度が高いことで、反応が促進された結果とも捉えられる。しかし我々が知る限りでは、反応の促進に、随伴性の上昇が影響しているのか、反応頻度の高さが影響しているのかは、分離して検討されていない。つまり、随伴性学習が反応の促進に与える影響を示すためには、反応頻度の高さが、反応時間に与える影響だけを取り出し、明確にする必要がある。このことを受けて本研究では、サイモン課題を用いて、刺激に対する反応頻度の高さの、反応時間への影響を観察した。具体的には、1回のキー押しを必要とするターゲットと(通常のサイモン課題)、2回のキー押しを必要とするターゲットを設定し、反応回数を操作した。もし、実験ブロック内での反応頻度が高いほど、反応時間が速くなるのであれば、1回のキー押しを必要とするターゲットよりも2回のキー押しを必要とするターゲットの方が、反応時間が短いと予測した。

さらに、随伴性学習と視覚的注意の関係を明らかにしていくためには、反応頻度の違いが、視覚的注意に与える影響も検討する必要がある。本研究は、刺激に対する反応回数の違いが、競合解消効率に変化をもたらすかどうかを併せて検討する。視覚的注意の領域では、競合解消効率の変化は、コンフリクトモニタリングモデルによって解釈されることが多い。Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen (2001)は、現試行の競合レベルを検出し、得られた情報を次試行の競合排除効率性の調整に使用するというコンフリクトモニタリングモデルを示した。また、前部帯状回(Anterior Cingulate Cortex: ACC)が活性化することから、ACCを認知的制御に関わる脳領域として報告し、その活動量は競合量に応じて高くなることを示唆した。つまり、ACCの活性化量の変化は、競合解消効率の変化を予測させるものである。ここで着目するのは、刺激-反応の随伴性の操作が、ACCの活動量に与える影響を検討した知見である(Braver, Barch, Gray, Molfese, & Snyder, 2001)。Braver et al. (2001)では、随伴性が低いときの方が、高いときよりもACCの活動量が高まることが示されている。つまり、刺激-反応間の随伴性は競合解消効率に変化をもたらしている可能性がある。しかし、遂行成績と同様に、ここでも、ACCの活性化量は、随伴性の上昇が影響しているのか、実験ブロック内での反応頻度の高さが影響しているのかは、分離して検討されていない。したがって、反応頻度の偏りによって競合排除効率に変化するのかどうかを調べるために、競合解消効率を示す指標である適合性効果の大きさに着目する。具体的には、刺激に対する反応回数を操作し、1回のキー押しを必要とするターゲットと、2回のキー押しを必要とするターゲットの適合性効果を比較する。もし、反応頻度が高いほど競合解消効率が高まるのであれば、1回のキー押しを必要とするターゲットよりも2回のキー押しを必要とするターゲットの方が、適合性効果は小さいと予測

した。

2. 方法

2.1 要因計画

反応回数 (2; 1回、2回) × 適合性 (2; 一致条件、不一致条件) の2要因実験参加者内計画であった。

2.2 実験参加者

実験参加への同意書に署名を得た、19歳から22歳までの右手利きの大学生、あるいは大学院生16人 ($M = 20.56$ 歳、 $SD = 1.27$ 、女性15名) が実験に参加し、実験終了後に500円相当の謝礼を得た。利き手の判定にはフラングス利き手テストを用いた (大久保・鈴木・Nicholls, 2014)。すべての実験参加者は、矯正視力を含む正常な視力を有していた。

2.3 装置

刺激はパーソナルコンピュータとそれに接続された17インチCRTディスプレイ (Sony社製CPD-E230; リフレッシュレート70 Hz) によって呈示された。反応の採取はCedrus社製反応キー (RB-530) により行われた。刺激呈示の制御、反応の記録には、Cedrus社製SuperLab (Ver. 4.52) を使用した。また、頭部を固定し、画面と目の距離を一定に保つために顔面固定台を使用した。

2.4 刺激

ターゲット刺激は、赤色 ($R = 255$, $G = 0$, $B = 0$) もしくは緑色 (0 , 255 , 0) で塗りつぶされた円であった。円は、全て黒色 (0 , 0 , 0) の実線で輪郭を縁どられていた。円の大きさは、縦横ともに視角にして 2.32° であった。適合性は、ターゲット刺激の呈示位置 (左、右) と反応キーの配置 (左、右) によって定められた。すべての刺激は、白色の背景に呈示された。ターゲットは画面中心に呈示される凝視点“+” (視角にして $0.46^\circ \times 0.46^\circ$) を通る水平線上の左右いずれかに呈示され、凝視点からターゲットの中心までの距離は、視角にして 4.65° であった。

2.5 手続き

実験は個別に行われた。実験参加者は画面から37cmの距離に顔面固定台によって頭部を固定され、実験中は、画面中心を凝視するように求められた。

実験は、ディスプレイに表示された質問項目への回答から始められた。質問は、“以下の質問にお答えください。”と記された行に続く、以下の3項目であった。実験参加者は、口頭による回答を求められた。一つ目の質問項目は、“1. 以下の円の色は、異なりますか?” で、この行の下部に、ターゲットである赤色の円と、緑色の円が呈示されていた。色は異なる旨の回答を、正答とした。二つ目は、“2. 左の円は、何色ですか?” という質問項目であった。一つ目の質問項目の回答に使用したターゲットの例示では、左側に赤色の円、右側に緑色の円が呈示されていたため、この項目の正答は赤色であった。三つ目は、“3. 右の円は、

何色ですか?” という質問項目で、正答は緑色であった。全ての実験参加者が、三つの質問項目に正答した。

試行の流れは、以下の通りであった。まず、画面中央にチャイム音と共に凝視点が500ms呈示された。その後、刺激が左右2箇所のいずれかに、150ms呈示された。実験参加者は、ターゲットの色が赤色か緑色かの同定を、できるだけ速く、できるだけ正確に、左右手の人さし指で、左右に配置された反応キーを指定された回数だけ押すことによって行うことを求められた。反応回数は、2種類のターゲット刺激のうち、片方の刺激で1回、もう片方の刺激で2回となっていた。実験参加者の反応後、1000msのブランク画面を挟んで、次試行が開始された。また、実験参加者が、ターゲット呈示から1000ms無反応であった場合は、さらに1000msのブランクを挟み、次試行がスタートした。ターゲット呈示から1000msまで、反応は1ms単位で記録された。ブロック間の休憩は20秒であった。

本試行前の練習試行は16試行で、刺激の種類、呈示位置、適合性の条件は、いずれも均等であった。本試行では、64試行からなる1ブロックを4ブロック、計256試行を実施した。ターゲット (赤、緑) と反応キー (左、右)、反応回数 (1回、2回) の対応は参加者間でカウンターバランスされた。

3. 結果

実験参加者個々に、正答に要した反応時間の平均と、誤答率の平均を、実験条件別に算出した。1回押し反応、2回押し反応の双方で、反応回数が、教示で指定した回数と異なる場合は、誤答とした。2回押し反応では、1回目にキーが押された際の記録を、反応時間とした。2回押し反応における反応間隔の平均は218ms ($SD = 45$ ms) であった。反応時間が150ms未満の尚早試行はみられなかった。図1、表1に、各実験条件での16名の反応時間の平均と標準誤差、誤答率の平均と標準偏差をそれぞれ示す。

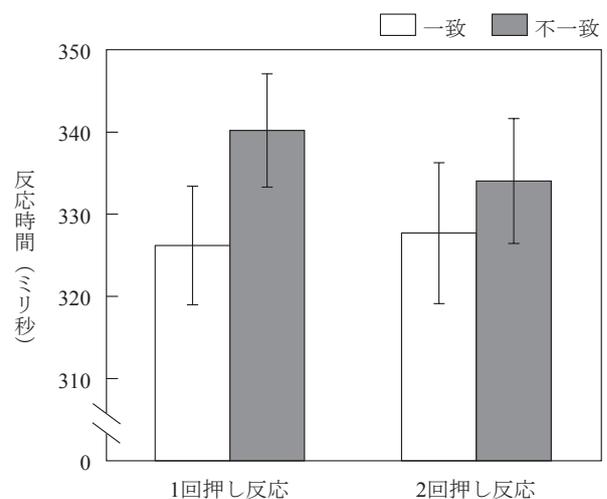


図1: 各条件における反応時間の平均値
注: バーは標準誤差を示す。

表 1：各条件における誤答率の平均値と標準偏差 (%)

	一致	不一致
1 回押し反応	1.6 (1.8)	2.2 (2.5)
2 回押し反応	1.5 (1.7)	2.2 (3.5)

注：括弧内は標準偏差である。

3.1 反応時間

正答に要した反応時間を使って、要因計画に沿った分散分析を行った。その結果、適合性に主効果がみられ ($F(1, 15) = 14.37, p < .01, \eta_p^2 = .49$)、不一致条件 (337 ms) よりも一致条件 (327 ms) の方が速く、サイモン効果 (10 ms) が得られた。重要なことに、反応回数×適合性の交互作用は有意にならなかった ($F(1, 15) = 1.58, p = .229, \eta_p^2 = .10$)。また、反応回数の主効果はみられず、1 回押し反応 (333 ms) と 2 回押し反応 (331 ms) の反応時間に有意な差はなかった ($F(1, 15) = 0.28, p = .604, \eta_p^2 = .02$)。

併せて、2 回押し反応の中で、初回と 2 回目のキー押しの間で、サイモン効果に変化があるかどうかを検討した。1 回目のキー押しと、2 回目のキー押しから、サイモン効果を算出し、 t 検定を実施した。その結果、1 回目のキー押し ($M = 6.32, SD = 17.88$) と、2 回目のキー押し ($M = 7.48, SD = 18.05$) のサイモン効果の大きさに、有意な差はみられなかった ($t(15) = 0.78, p = .445, \text{Cohen's } d = .07, r = .95$)。

3.2 誤答率

反応時間と同様に要因計画に沿った分散分析を行った。その結果、適合性に主効果はみられず ($F(1, 15) = 1.56, p = .230, \eta_p^2 = .09$) 不一致条件 (2.2%) と一致条件 (1.5%) に有意な差はなく、サイモン効果は得られなかった。反応回数の主効果と交互作用のいずれも、有意ではなかった ($F_s < 0.02, p > .895$)。

4. 考察

本研究の目的は、刺激に対する反応回数を操作し、刺激と反応のどのような関係が、遂行成績を向上させるのかを、明らかにすることであった。これまで、実験ブロック内において、高頻度な特定の刺激に対する反応 (随伴性) が、反応時間や誤答率といった遂行成績を向上させることが示されている (Levin & Tzelgov, 2016; Schmidt, 2016; Schmidt et al., 2007)。しかし、その遂行成績の向上は、随伴性の高低が影響しているのか、刺激に対する反応頻度が影響しているのか、明らかではなかった。本研究では、その交絡を解くために、刺激呈示頻度が一定で、反応回数のみが異なる事態における遂行成績を観察した。

更に本研究では、刺激に対する反応回数が、競合排除効率に影響するかどうかにも焦点をあてた。これまでに、前部帯状回 (ACC) の活動量は、競合量を反映することが示されている (Botvinick et al., 2001)。また、ACC の活動量は、刺激—反応の随伴性が高いときよりも、低いときに高まること示されている (Braver et al., 2001)。これらの知見から、刺激—反応の随伴性の高低が、競合排

除効率の変動に関わっている可能性が考えられたが、遂行成績と同様に、刺激に対する反応頻度の影響とも捉えられた。よって本研究では、刺激に対する反応回数の違いが、競合解消効率を示す指標である適合性効果に及ぼす影響を観察した。

実験の結果、刺激に対する反応回数の違いによって、反応時間と誤答率、および適合性効果に有意な差はみられなかった。つまり、反応頻度の偏りは、遂行成績と競合解消効率に影響しない可能性が示された。このことから、過去の知見 (e.g., Schmidt et al., 2007) でみられた遂行成績の上昇は、刺激に対する反応回数が多く、反応頻度が高いことで生じるのではなく、刺激—反応の随伴関係を学習することで生じることが示唆された。

加えて、本研究の結果は、随伴性学習が生じる事態の要因を明らかにする有益な情報を提供している。それは、顕在的な反応頻度の偏りが、遂行成績に与える影響に関してである。Entel, Tzelgov, & Bereby-Meyer (2014) は、教示段階で実験参加者に、特定の刺激と反応が頻出することを伝えた場合の遂行成績を観察した。このとき、前半の実験ブロックは、各刺激と反応の割合は均等で、後半の実験ブロックは、事前の通告通りに刺激—反応の随伴性が操作されていた。実験の結果、遂行成績の上昇は、後半ブロックだけでみられた。この結果から Entel et al. (2014) は、教示に依拠した顕在的トップダウン制御ではなく、刺激—反応の随伴性を経験することが、遂行成績の上昇に重要だと主張している。本研究で参加者は、赤色の円に 1 回のキー押し、緑色の円に 2 回のキー押し、というように、刺激により、反応回数を変化させることを求められていた。各刺激に対する反応頻度の差は、顕在的なものであるため、本研究の結果から、反応頻度の偏りの予測は、遂行成績に影響しないことが示された。つまり、随伴性学習は、特定の刺激—反応の偏りの予測や、反応の偏りの予測では生じないと推測される。

本研究は、遂行成績と適合性効果を指標として、刺激に対する反応回数が、遂行成績に及ぼす影響を観察した。これにより、反応頻度の上昇ではなく、刺激—反応の随伴性の上昇が、遂行成績の上昇をもたらすことが示唆された。しかし、比率一致性効果が、刺激—反応随伴性と、視覚的注意のどちらに依拠しているのかは、明らかではない。今後は、脳波や磁気共鳴機能画像法 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) からの指標を併せて取り、反応につながる運動準備電位や、ACC の活性化量を指標とし、反応速度が上昇する過程や、競合解消効率の変動の詳細をみることで、比率一致性効果の機序を明らかにすることが必要である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K04198 (研究代表者：吉崎一人)、JP16J02232 (研究代表者：渡辺友里菜)、愛知淑徳大学研究助成・特定課題研究 (16TT12：研究代表者 吉崎一人) の助成を受けた。

引用文献

- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624-652.
- Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, D. L., & Snyder, A. (2001). Anterior cingulate cortex and response conflict: Effects of frequency, inhibition and errors. *Cerebral Cortex*, 11(9), 825-836.
- Bugg, J. M. & Crump, M. J. (2012). In support of a distinction between voluntary and stimulus-driven control: A review of the literature on proportion congruent effects. *Frontiers in Psychology*, 3, 367.
- Corbetta, M. & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215.
- Egner, T. (2007). Congruency sequence effects and cognitive control. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(4), 380-390.
- Entel, O., Tzelgov, J., & Bereby-Meyer, Y. (2014). Proportion congruency effects: Instructions may be enough. *Frontiers in Psychology*, 5, 1108.
- Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(4), 480-506.
- Levin, Y., & Tzelgov, J. (2016). Contingency learning is not affected by conflict experience: Evidence from a task conflict-free, item-specific Stroop paradigm. *Acta Psychologica*, 164, 39-45.
- 大久保街亜・鈴木玄・Nicholls, M. E. R. (2014). 日本語版 FLANDERS 利き手テスト—信頼性と妥当性の検討—。心理学研究, 85 (5), 474-481.
- Schmidt, J. R. (2013). Questioning conflict adaptation: Proportion congruent and Gratton effects reconsidered. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(4), 615-630.
- Schmidt, J. R. (2016). Proportion congruency and practice: A contingency learning account of asymmetric list shifting effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(9), 1496-1505.
- Schmidt, J. R., Crump, M. J. C., Cheesman, J., & Besner, D. (2007). Contingency learning without awareness: Evidence for implicit control. *Consciousness and Cognition*, 16(2), 421-435.
- Schmidt, J. R., Notebaert, W., & Van Den Bussche, E. (2015). Is conflict adaptation an illusion? *Frontiers in Psychology*, 6, 172.
- 嶋田博行・芦高勇氣 (2012). 認知コントロール—認知心理学の基礎研究から教育・臨床の応用をめざして—。培風館。
- Simon, J. R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor, & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp. 31-86). Amsterdam, NH: Elsevier.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.

(受稿 : 2016 年 11 月 25 日 受理 : 2017 年 1 月 18 日)