

対連合学習課題における誤情報フィードバックの学習促進効果

岩木 信喜* ・ 富田 詩織*
田中 紗枝子** ・ 高橋 功***

(2017年10月24日受付, 2018年1月17日受理)

1. 問題と目的

日常の学習活動では、テストや質問を通じて自らの誤りを知り、その後、正答が学習される。その際、誤答はテストの返却や、教師による黒板への板書によって視覚的に確認されることが多々ある。このような学習行動において与えられる自己生成したエラー反応の視覚的情報はそのあとの学習にどのような影響を与えるのであろうか。これが本研究の問題意識であり、教育実践に資する基礎的データを得ることが目的である。

テストにおけるエラーの生成は正反応の学習に有害な影響を与えることがある。エラー反応の生成はそれと刺激との連合を強化する結果、正反応の生起に干渉を生じると考えることができるので、エラーレス学習が望ましいという主張がある (e.g., Terrace, 1963)。この考えを支持する研究は多数ある。たとえば、二桁の数字 (手がかり) と3つの子音の組み合わせ (ターゲット) との対連合学習課題で参加者にターゲットを推測させ、エラー反応を生成させた場合、はじめから正しい対を読んで憶えるよりも再生テストの成績が低下した (Cunningham & Anderson, 1968)。これは、順向干渉 (e.g., Postman & Underwood, 1973) によると考えられている。エラー生成がその後の学習に対してもたらすこのようなネガティブ効果の存在は、学習はエラーの最少化によって最適化されるという主張を支持している。学習に対するこのエラー最少化、または、エラーレスのアプローチは脳損傷患者や神経心理学的障害のある患者に応用されて成功している (e.g., Clare & Jones, 2008; Mueller, Palkovic, & Maynard, 2007)。さらに、テストのエラーが保持されて後のテストに侵入することは、すでに様々な研究で確認されている (e.g., Butler & Peterson, 1965; Cunningham & Anderson, 1968; Marsh, Roediger, Bjork, & Bjork, 2007; Roediger & Marsh, 2005)。以上の研究成果に基づいて考えれば、エラー反応の生成は古典的な A-B/A-D パラダイム (e.g., Postman & Underwood, 1973) と類似した事態をもたらし、刺激とエラー反応の連合の強化が正反応の生起に対して順向干渉を生じると考えられる。さらに、生成されたエラー反応の視覚的呈示は A-B/A-D パラダイムの “A-B” そのものであり、“視覚的

* 岩手大学教育学部

** 徳島文理大学人間生活学部

*** 山陽学園大学総合人間学部

確認”は刺激とエラー反応表象との連合を強める結果、正反応に対する干渉効果を強めるように働くと考えられる。

一方、テストをすると、正しく検索された項目の記憶が促進されるだけでなく、エラー反応が生成されても矯正フィードバックがあればその後の学習が促進されることを示す事実がある。一般に、テストで正しい項目が検索されればその保持は再読条件よりもよい (e.g., Roediger & Karpicke, 2006)。類似の効果として、手がかりから生成した項目が読んで憶えた項目よりも保持されやすいこともよく知られた事実である (e.g., Slamecka & Graf, 1978)。しかし、手がかりと対をなす実験者の心にあるターゲット項目の推測 (guess) を誤ったとしても (以下、この手続きを指して「誤った推測」と表記)、むしろその方がその後に表示されるターゲットの学習が促進されるケースもある (e.g., Kornell, Hays, & Bjork, 2009; Richland, Kornell, & Kao, 2009; see also Izawa, 1967)。たとえば、Kornell et al. (2009) は、弱い連想価をもつ2つの単語 (e.g., frog-pond) を使い、手がかり (frog) だけを8秒間呈示して実験者の心にあるターゲットを推測させるテスト条件を設けた。その直後に間をおかずに、手がかりとターゲットの対が5秒間呈示された。最終手がかり再生テストの成績は、手がかりとターゲットの対を読んで憶えるだけの対照条件よりもテスト条件の方が良かった。このパラダイムの特徴は、テスト条件で参加者がターゲットを報告する正答試行の確率がおよそ5%であり、ほとんどの試行で反応とターゲットが一致しないことである。このような弱い連想価の項目対をテストのない対照条件 (読むだけの条件) にも使うことで項目選択問題 (e.g., 事前テストを受けない読み条件の項目については、テストをしていたならば誤っていたのかどうかを特定できないという問題。Pashler, Zarow, & Triplett, 2003) の影響を実質的に取り除くことが可能となった。そして、正答試行を分析から除いたテスト条件の手がかり再生成績は単語対を読むだけの条件よりもよく、結果は頑健であった。

エラー反応の検索はそれに意味的に関連する諸概念を同時に活性化させる (e.g., Anderson, 1983) と想定できることから、その説明としては、活性化された概念の中にターゲットが含まれているとするサーチセット説 (Grimaldi & Karpicke, 2012)、活性化された概念ネットワークを手がかりとターゲットの連合に関連づけるという精緻化説 (e.g., Hays, Kornell, & Bjork, 2013; Huelser & Metcalfe, 2012; Knight, Ball, Brewer, DeWitt, & Marsh, 2012; Kornell et al., 2009) が提唱されている。また、エラー反応が手がかりとターゲットの関連づけの媒介として機能するとする媒介説 (e.g., Carpenter, 2011; Knight et al., 2012; Pyc & Rawson, 2010; Soraci, Carlin, Chechile, Franks, Wills, & Watanabe, 1999; Vaughn & Rawson, 2012) もある。これらの仮説は、手がかりとターゲットが意味的に関連しない場合には、誤った推測が学習を促進しなかった (e.g., Huelser & Metcalfe, 2012)、あるいは阻害した (Knight et al., 2012) という事実が根拠になっている。しかし、その後、手がかりとターゲットの意味的関連性は誤った推測の学習促進現象の十分条件を構成する要素としては必ずしも必要ないことが明らかにされた。誤った推測による学習促進は、手がかりとターゲットの意味的関連性が参加者に知られていない珍しい英語や新規の外国語 (Euskara 単語) の学習でも生じたのである (Potts & Shanks, 2014)。Potts & Shanks (2014) は、参加者が正答を学習することに強い好奇心を維持していた可能性、及び、エラー反応と正答との差異が驚きを生じさせ、正答の符号化に充当される注意が増大した可能性を指

摘している。

以上の誤った推測による学習促進効果を示した研究では、一般的に、参加者にパソコン画面を見ながら文字をタイプ入力させることにより反応させ、一定時間が経過するまで画面を凝視することを求めている。こういった場合、エラー反応は生成されるだけでなく、反応した際に視覚的に確認されているため、これらの実験ではエラー反応の生成と視覚的確認が交絡している。したがって、エラー反応の視覚的確認が手がかり再生績に対して与える独立の効果についてはこれまでのところよくわかっていない。検討すべき一つの可能性は、エラー反応の視覚的確認がそれに続けて学習した正答の想起に対して順向干渉を生じることである。これは先に述べた先行研究の成果に鑑みれば十分に考える事態であり、誤った推測の学習促進効果と順向干渉効果が相殺する事態が生じているかもしれない。もしそうならば、反応を口頭報告にして視覚的情報を除去すれば、誤った推測の学習促進効果はより大きく現れるはずである。この可能性はこれまでまだ実験的に検討されていない。

そこで、Kornell et al. (2009) が使用したパラダイムの対連合学習課題を用い、エラー反応の視覚的確認の有無を独立変数とする。参加者には口頭報告を求める。実験者がその反応をタイプし、反応の視覚的フィードバック (visual feedback: VFB) を操作する。こうすることで、単に読んで憶える条件 (以下、読み条件) よりも VFB のない口頭報告条件 (以下、口頭報告条件) の方が最終テストの成績が良ければ、これは従来から言われる誤った推測の効果である。また、口頭報告条件とエラー反応の VFB のある口頭報告条件 (以下、VFB 条件) との間の最終テストの成績の差は、エラー反応の視覚的確認が誤った推測とは独立に学習に対してもつ効果と考えることができる。もしエラー反応の視覚的確認が順向干渉の原因となるならば、VFB 条件の最終テストの成績は口頭報告条件よりも低いはずである。

2. 実験1

2-1. 方法

参加者 大学学部生32名が参加した。謝金は800円であった。1名のデータは誤って消去してしまったので、分析対象は31名である。

材料と手続き 水野・柳谷・清河・川上 (2011) の連想語頻度表から、手がかりとターゲットの連想価が0.047-0.054となる低連想価の日本語単語を90組 (180単語) 使用した。手がかりは3モーラ、ターゲットは2-6モーラの単語であり、各単語は日本人には一般的な3種の表記法 (漢字、ひらがな、カタカナ) で表示された。実験は、学習課題、挿入課題、最終の手がかり再生テストで構成した。読み条件では、手がかりとターゲットの対を左右に並べて5秒間同時にモニター中央に呈示した。口頭報告条件と VFB 条件では、手がかり語のみを呈示し、参加者はそれから連想される単語を口頭報告するように求められた。実験者はその報告をタイプし、手がかり呈示からタイプ内容確定までの時間を反応時間としてミリ秒単位で計測した。タイプ内容の確定と同時に口頭報告条件では手がかり語とターゲット語を5秒間呈示した。VFB 条件では、手がかり語と連想語を5秒間呈示し、それに続けて、手がかり語とターゲット語を5秒間呈示した。連想語の報告に厳密な時間

的制約は設けなかったが、できるだけ5秒以内に報告するように教示した。また、連想語はめったにターゲット語とは一致しないが、そのことは気にせずに集中するように教示し、ターゲットの再テストを予告した。参加者ごとに、各条件に刺激プールから30試行をランダムに割り当て、90試行の呈示順序もランダム化した。実験手続きに慣れるため、本試行では使わない5ペアの刺激対を各条件にランダムに割り当てて混ぜ合わせた15試行の練習を行ってから本試行を実施した。

全試行終了後、視空間課題（テトリス）を5分間行い、引き続いて、最終の手がかり再生テストを実施した。手がかりの呈示順序は参加者ごとに再度ランダム化した。参加者は一度に一つ呈示される手がかり語に対してターゲット語を入力したが、全く想起できない場合には“？”を入力するように教示した。その入力が入力が確定されると同時にそれは消去され、次に学習課題時に連想した語を入力した。これも、全く想起できないならば“？”を入力させた。この連想語の想起は予告なしの再テストであった。読み条件では連想していないので、参加者がそう判断した場合は「なし」と入力させた。

分散分析では、Mauchlyの球面性の仮定が統計的に否定された場合、Greenhouse-Geisserの ϵ によって自由度を調整したが、 ϵ と調整前の自由度を記載した。対応のある t 検定の効果量として dD を用いた。

2-2. 結果と考察

連想語とターゲットが一致した試行（4.5%）は分析から除いた。

手がかりの呈示から実験者による反応入力が入力が確定するまでの時間に条件差がないかを検討するために t 検定を行ったところ、口頭報告条件（ $M = 5876$ ms, $SD = 1225$ ms）とVFB条件（ $M = 5875$ ms, $SD = 1116$ ms）の間に有意差はなかった（ $t(30) = 0.008, p = .99, d_D = 0.001$ ）。

各条件の最終手がかり再生テストの平均正答率を図1に示した。分散分析の結果、有意な効果が認められた（ $F(2, 60) = 18.85, MSE = 0.02, \epsilon = 0.69, \eta_p^2 = .39, p < .001$ ）。読み条件（ $M = 0.71, SE = 0.03$ ）よりも口頭報告条件（ $M = 0.83, SE = 0.02; t(30) = 3.78, p < .001, d_D = 0.68$ ）やVFB条件（ $M = 0.86, SE = 0.02; t(30) = 5.36, p < .001, d_D = 0.96$ ）の方が有意に高く、口頭報告条件よりもVFB条件の方が有意に高かった（ $t(30) = 2.11, p = .043, d_D = 0.38$ ）。読み条件よりも口頭報告条件の成績が良かったこと（差の平均=12%）は、誤った推測の効果である。また、VFBが口頭報告にもたらしたアドヴァンテージ（3%）は、エラー反応の視覚的確認が誤った推測とは独立に学習に対してもつ効果と考えられる。古典的なA-B/A-Dパラダイムの干渉理論にもとづけば、エラー反応のVFBは順向干渉を生じるはずであるが、実際には、エラー反応の視覚的確認は有害な効果を示さなかった。むしろ、小さいながらも学習促進効果が認められた。

次に、エラー反応の符号化が最終テストの成績にどのような影響を与えたのかを見るため、2種類の口頭報告条件の最終手がかり再生テストの成績を、元エラーの想起の有無によって分けて計算した（図2）。2（口頭報告条件 vs. VFB条件） \times 2（元エラー想起の有無）の分散分析の結果、元エラー想起の有無の主効果だけが有意であり、再生率は想起できた方が高かったが（ $F(1, 20) = 18.32, MSE = 0.05, \eta_p^2 = .48, p < .001$ ）、学習条件の主効果（ $F = 1.11$ ）も交互作用（ $F = 0.45$ ）も有意ではなかった（いずれかの条件、または、両条件

で元エラーを全て想起できた参加者が10名いた)。これらの結果から、エラー反応の符号化がターゲットの想起を促進した可能性はあるが、その促進がVFBによって影響を受けることは確認されなかった。

元エラーが想起された方がターゲットも想起されやすかったという事実とVFBに小さな正の効果が認められたという事実を解釈する上で、Vaughn & Rawson (2012) の仮説が手がかりになるように思われる。Vaughn & Rawson (2012) は、Kornell et al. (2009) タイプの弱い連想価の単語対の対連合学習課題(実験4のタイプ)を用いた。彼らは、プレ試行としてテスト条件と読み条件を操作したが、それに加えて、その後の学習フェーズのタイミングも操作した。直後学習条件では、プレ試行直後に手がかりとターゲットの対を呈示した。これは、Kornell et al. (2009) と基本的に同じ手続きである。一方、遅延学習条件では、プレ試行の全項目対をブロック化して経験した後で、手がかりとターゲットの対の学習フェーズを後でまとめて行った。その結果、直後学習条件では誤った推測の学習促進効果が確認されたが、遅延学習条件では逆効果が認められた。Vaughn & Rawson (2012) は、推測したエラー反応がワーキングメモリにロードされ、手がかりとターゲットの媒介項として符号化されると想定することによって、直後学習条件における誤った推測の学習促進効果を説明した。遅延学習条件の場合は、読み条件でスペーシング効果(spacing effect, いわゆる、分散学習の効果)が入るために見た目に効果が逆転すると考察されている。エラー反応表象がワーキングメモリにロードされる必要があるなら、誤った推測をしてからターゲットの呈示までの時間が長い遅延学習条件では、エラー反応の想起が要求されるので、それだけ媒介としての符号化が難しくなると考えられ、これに一致する結果が得られている。このように、Vaughn & Rawson (2012) は、(a) エラー反応表象がワーキングメモリにエンター、保持され、(b) 手がかりとターゲットの媒介として符号化されると考えている。この仮説にもとづけば、エラー反応の視覚的確認はワーキングメモリのエラー反応表象をリフレッシュすることによって、その表象の保持をサポートすることができる。Vaughn & Rawson (2012) が想定するようにエラー反応が手がかりとターゲットをつなぐ媒介として符号化されるのであれば、エラー反応の視覚的確認は、間接的にはあるが、学習を促進すると考えられる。

では、VFBの効果が小さかったという事実をどのように考えればよいであろうか。エラー反応表象がワーキングメモリにロードされ、その表象が手がかりとターゲットの媒介として符号化されるというプロセスは、口頭報告条件でもVFB条件でも同様に起こりえたシナリオである。参加者が健常の大学生であることを考えれば、エラー反応表象を短時間保持することはVFBの有無にかかわらず容易であったはずである。しかし、一部の試行ではエラー反応表象が不明瞭であった試行や、保持できなかった試行も存在したと考えられる。そのような場合、口頭報告条件ではエラー反応表象が利用しにくくなるか、できなくなる。しかし、VFB条件では、VFBがエラー反応表象のリフレッシュや再エンターを可能にするので、その表象は常に利用可能であったはずである。VFBが効力を発揮するこのような試行が多くなかったとすれば、VFB効果が小さかったことはむしろ合理的な結果と思われる。この解釈の妥当性を調べる方法の一つは、エラー反応表象をワーキングメモリに保持するためのリハーサルを妨害する手続きをとることである。誤った推測の学習促進効果を可能にする一つの要件がエラー反応表象のワーキングメモリにおける保持

であるならば、リハーサルの妨害によって手がかり再生成績は低下するはずである。しかし、たとえこのような手続きをとったとしても、エラー反応のVFBを与えれば、その表象のリフレッシュや再エントリーがなされることにより、リハーサルの妨害にもかかわらず、誤った推測の学習促進効果は維持されると予想される。

3. 実験2

実験2の目的は、誤った推測によって生成された反応表象がワーキングメモリに保持されにくいように妨害したとしても、エラー反応のVFBが誤った推測の学習促進効果を維持する能力があるのかどうかを調べることである。Vaughn & Rawson (2012)の仮説によれば、エラー反応を手がかりとターゲットの媒介として符号化するための要件の一つは、エラー反応表象のワーキングメモリにおける保持である。実験1の手続きでは、そのような保持が大学生にとっては容易であったために、口頭報告条件でもVFB条件と類似した鮮明なエラー反応表象が保持される傾向があり、その結果、VFBの効果が小さかったのかもしれない。そこで、実験2では、ワーキングメモリにおける言語表象のリハーサルを妨害して、エラー反応表象の保持を難しくする。こうすることによって、VFBがない口頭報告条件では最終の手がかり再生成績が低下すると予想される。しかし、VFB条件では、エラー反応表象のリフレッシュや再エントリーが行われる結果、リハーサルの妨害にもかかわらず誤った推測の学習促進効果が維持されると予想される。

3-1. 方法

参加者 大学学部生30名が参加した。謝金は800円であった。

材料と手続き 材料と手続きは以下の諸点を除いて実験1に同じであった。各条件は30試行で構成されたが、その半数(15試行)では、2行4列のランダムな数字の並びを手がかりの下に呈示し、呈示直後から3秒間、左上から時計回りに口頭で数唱させた(およそ3秒で1周のペース)。したがって、実験計画は3(学習条件)×2(数唱の有無)の参加者内要因計画であった。読み条件では、数唱を課さない場合は手がかりとターゲットの対を5秒間呈示した。数唱を課す場合は、数列を3秒間呈示して数唱させ、その消去の500ms後に手がかりとターゲットの対を5秒間呈示した。口頭報告条件とVFB条件では、手がかり語からはじめに思いつく単語を報告するように教示した。この際、ターゲットを連想するようには言わなかった。ターゲットを言い当てようとするれば、その連想語がターゲットと一致するかどうかに関心事となり、数唱中も連想語を積極的に憶えておこうとするかもしれないからである。この可能性を小さくするため、「手がかり語からはじめに思いついた単語」を報告するように求めた。参加者が単語を報告し終わると同時に実験者は“Esc”キーを押した。数唱を課さない場合、“Esc”キーの押下から3.5秒後に、口頭報告条件では手がかりとターゲットの対が5秒間呈され、VFB条件では、手がかりと参加者の回答の対が5秒間呈示された後、手がかりとターゲットの対が5秒間呈示された。これらの条件で数唱を課した場合は、“Esc”キーの押下と同時に数列を呈示した。参加者には数列が3秒後に消去されるまで数唱させ続け、消去の500ms後に口頭報告条件では手がかりとターゲットの対を5秒間呈示した。VFB条件では、手がかりと回答のペアを5秒呈示し

た後、手がかりとターゲットの対を5秒間呈示した。数唱の3秒間に実験者は回答反応をタイプした。実験手続きに慣れるため、本試行では使わない6試行ずつを各条件にランダムに割り当てて混ぜ合わせた18試行の練習を行ってから本試行を実施した。誤った推測がどの程度短期記憶に保持されていたかを測定するため、実験終了後、数列が消去された時点で反応をどの程度鮮明に憶えていたかを、「1：全く忘れていた～5：鮮明に覚えていた」までの5段階で評定させた。

3-2. 結果と考察

口頭報告した連想語がターゲットと一致した試行は4.5%あり、これらの試行をまず以下の分析から除外した。その後、数列の呈示から消去までの時間を3秒に統制するため、タイプに要した時間が3秒を超えた試行(8.0%)も分析から除外した。合計12.5%であり、各条件は15試行で構成されるので、平均して1.9試行が除外されたことになる。

手がかりの呈示から反応確定(“Esc”キー押下)までの平均反応時間は、口頭報告条件の数唱なしが3192 ms ($SD = 801$ ms), 数唱ありが3229 ms ($SD = 855$ ms), VFB条件は数唱なしが3186 ms ($SD = 809$ ms), 数唱ありは3319 ms ($SD = 948$ ms)であった。2(口頭報告; VFB) \times 2(数唱の有無)の分散分析を実施したところ、主効果も交互作用も有意ではなかった ($F_s \leq 1.44$)。

各条件の最終の手がかり再生テストの平均正答率を図3に示した。3(学習条件) \times 2(数唱の有無)の分散分析の結果、学習条件の主効果が有意であった ($F(2, 58) = 39.53$, $MSE = 0.02$, $\eta_p^2 = .58$, $p < .001$)。正答率は読み条件よりも他の2条件の方が有意に高く ($p_s < .001$)、口頭報告条件よりもVFB条件の方が有意に高かった ($p < .02$)。交互作用は有意傾向であった ($F(2, 58) = 2.46$, $MSE = 0.03$, $\epsilon = 0.94$, $\eta_p^2 = .08$, $p < .10$)。一対比較の結果は以下のとおりである。数唱なしの場合、口頭報告条件 ($M = 0.85$, $SE = 0.02$) の再生成績は読み条件 ($M = 0.66$, $SE = 0.03$) よりも高く ($t(29) = 6.09$, $p < .001$, $d_b = 1.11$)、これは誤った推測の効果である。VFB条件 ($M = 0.87$, $SE = 0.02$) は口頭報告条件よりも数値的には(2%)高かったが有意差はなかった ($t = 0.77$)。これらの結果は実験1の結果パターンを再現するものであり、VFBのネガティブ効果は認められなかった。

一方、再生成績に対する数唱の効果は口頭報告条件で有意であり ($t(29) = 2.89$, $p < .01$, $d_b = 0.53$)、読み条件とVFB条件では有意ではなかった ($t_s = 0.35$)。口頭報告条件の結果は、数唱の操作が効果的であったことを示している。数唱をさせた場合、VFB条件 ($M = 0.86$, $SE = 0.03$) は口頭報告条件 ($M = 0.78$, $SE = 0.03$) よりも成績が良く ($t(29) = 2.82$, $p < .01$, $d_b = 0.52$)、口頭報告条件は読み条件 ($M = 0.67$, $SE = 0.03$) よりもよかった ($t(29) = 3.26$, $p < .01$, $d_b = 0.59$)。これらの結果から、エラー反応のVFBは、数唱によるリハーサルの妨害にもかかわらず、誤った推測の学習促進効果を数唱なしの時と同レベルに維持する能力をもつことが示された。Vaughn & Rawson (2012) の仮説に従えば、この効果は、VFBがエラー反応表象のリフレッシュや再エントリーを可能にすることによってその表象の保持に貢献した結果と考えられる。ここで、数唱がターゲットの符号化を直接的に妨害した可能性も考えられるが、もしそうならば、読み条件でも数唱による成績の低下がみられたはずであるから、おそらく数唱によるそのような妨害の影響はなかったかあったとしても小さかったと思われる。

誤った反応表象の媒介説を検討するため、元エラーの想起の有無別に、各条件の最終手がかり再生テストの正答率を計算した（図4）。元エラーを想起できなかった試行が全体の1割未満で少なかったため、そのような試行の2（口頭報告 vs. VFB）×2（数唱の有無）のセルすべてにデータがあった参加者は5名しかいなかった。そこで、条件を込みにして元エラーの想起の有無別に最終テストの正答率を計算したところ、正答率は想起できた試行（ $M = 0.85, SE = 0.02, n = 30$ ）の方ができなかった試行（ $M = 0.70, SE = 0.05, n = 27, 3$ 名はすべて想起できた）よりも有意に高かった（ $t(26) = 2.64, p < .02, d_p = 0.51$ ）。これは、誤った反応表象の媒介説を支持する結果である（他の解釈可能性については総合考察で言及する）。さらに、元エラーを想起できた場合について、2（口頭報告 vs. VFB）×2（数唱の有無）の分散分析を行ったところ、VFBの有無の主効果（ $F(1, 29) = 7.06, MSE = 0.01, \eta_p^2 = .20, p < .02$ ）と数唱の有無の主効果（ $F(1, 29) = 6.04, MSE = 0.01, \eta_p^2 = .17, p = .02$ ）、及び、交互作用（ $F(1, 29) = 4.83, MSE = 0.01, \eta_p^2 = .14, p < .05$ ）が有意であった。一対比較の結果、数唱をした口頭報告とその他の条件との間には有意差（ $t_s(29) \geq 3.51, p_s < .01, d_{ps} \geq 0.64$ ）があったが、その他の比較はすべて有意ではなかった（ $t_s \leq 0.45$ ）。以上の結果から、数唱をした口頭報告条件でだけ、最終テストの正答率が低下することがわかった。つまり、エラー反応表象の保持を妨害した場合、その表象を手がかりとターゲットの媒介として符号化できない試行が増えることが示唆された。

4. 総合考察

本研究の目的は、誤った推測をしたときの推測内容の視覚的確認がその後の学習に順向干渉を生じるのかを調べることであった。そのために参加者に口頭報告による反応を要求し、VFBの有無を独立変数として操作した。誤った推測の後で正答が呈示される手続きは、古典的なA-B/A-Dパラダイムと類似した事態をもたらすものであり、エラー反応生成がターゲットの学習に順向干渉を生じる可能性があった。さらに、その反応の視覚的確認はエラー反応表象と刺激との連合を強化することによってその干渉効果をよりいっそう強める可能性もあった。それにもかかわらず、2つの実験においてそのようなネガティブな効果は全く認められなかった。逆に、実験1では3%ではあったが最終手がかり再生テストの成績を有意に向上させるという結果が得られた。実験1の追試に当たる実験2の数唱を課さない場合にも、統計的には有意ではなかったが、数値的には同様（2%）の傾向が認められた。

このような2つの実験で観察されたVFBの小さな利得は、Vaughn & Rawson（2012）の提案にしたがえばよく理解できると思われる。彼らはKornell et al.（2009）パラダイムにおける誤った推測の学習促進効果を説明するため、生成されたエラー反応がワーキングメモリにエントリーされ、手がかりとターゲットをつなぐ媒介として符号化されると仮定した。ここで着目したい点は、エラー反応表象が媒介として符号化されるためには、それがワーキングメモリに保持されている必要があるということである。したがって、誤った推測をしてからターゲットの呈示までの時間が長くなり、エラー反応表象をワーキングメモリに保持しておけない場合には後でそれを想起する必要があるため、それだけ媒介としての符号化が難しくなるはずであり、これに一致する結果をVaughn & Rawson（2012）は

繰り返し確認している。本研究で操作した VFB がワーキングメモリにおけるエラー反応表象の保持や再エントリーをサポートしたと仮定すると、実験1や数唱を課さなかった実験2で得られた VFB 条件と口頭報告条件の小さな差異をよく理解できると思われる。生成されたエラー反応がワーキングメモリにロードされるという点は両条件で同様のはずである。また、エラー反応表象の鮮明度が低かった試行や、何らかの理由でエラー反応表象がワーキングメモリに保持できなかった試行も、両条件で同様に存在していたと想定できる。このような試行が含まれることによって口頭報告条件の成績が低下した可能性はあるが、VFB 条件ではそうはならなかったはずである。VFB の手続きはエラー反応表象のリフレッシュと再エントリーの機会を参加者に与えたからである。このように考えれば、VFB 条件の口頭報告条件に対するアドヴァンテージ (2%~3%) はワーキングメモリにおけるエラー反応表象が不鮮明であった試行や保持できなかった試行がどの程度あったかに依存すると推測される。

そこで、実験2ではエラー反応表象の短期記憶における保持を妨害することによって VFB 条件の口頭報告条件に対する利得が明瞭に検出できるかを検討した。参加者は手がかかりからはじめに思い浮かんだ連想語を報告すると同時に、半数の試行では数唱が課された。これはエラー反応表象のワーキングメモリにおける保持を困難にするための手続きである。VFB の支援のない口頭報告条件では、この手続きの影響が明瞭に現れるはずであり、実験結果はこの手続きの効力を示していた。つまり、口頭報告条件では、数唱すると数唱しない場合よりも最終テストの正答率が有意に低下したのである。VFB 条件でも、数唱をした時点では正答率を低下させる影響があったはずであるが、最終テストの正答率には数唱の効果は現れなかった。これは VFB による学習促進効果であり、ワーキングメモリにおけるエラー反応表象のリフレッシュや再エントリーを可能にしたことにもとづくと考えられる。ここで、個人差に着目してみると興味深い事後分析ができる。口頭報告条件では数唱によってエラー反応表象が劣化したりその保持が困難になったりしたと考えられるわけであるが、それには個人差があるはずである。実験2では、実験終了後、数列が消去された時点で反応をどの程度鮮明に憶えていたかを、参加者に“1: 全く忘れていた~5: 鮮明に覚えていた”までの5段階で評定させていた。そこで、実験後の事後的な主観的判断ではあるが、全く忘れていたと評定した1を“忘却群”(n=7)、評定値2以上を“保持群”(n=23)として各群の数唱の効果を調べた。その結果、口頭報告条件について、忘却群では数唱をした場合 ($M = 0.68, SE = 0.06$) はしない場合 ($M = 0.84, SE = 0.07$) よりも有意に正答率が低かったが (差の平均 = 0.16, $SE = 0.06$; $t(6) = 2.92, p < .05, d_p = 1.11$)、保持群では、数唱をした場合 ($M = 0.81, SE = 0.03$) としなかった場合 ($M = 0.85, SE = 0.02$) の差異がより小さく、傾向差であった (差の平均 = 0.04, $SE = 0.03$; $t(22) = 1.72, p < .10, d_p = 0.36$; この差は実験1の3%に近似している)。つまり、実験後の評定においてエラー反応を数唱直後に忘れたと報告した参加者においては、保持していたと報告した参加者よりもより明瞭な数唱の妨害効果が認められたのである。この結果もまた、エラー反応表象のワーキングメモリへのエントリーと保持が誤った推測による学習促進効果の一つの要件であるとする Vaughn & Rawson (2012) の仮説に一致している。

2つの実験とも、ターゲットの最終手がかかり再生率は元エラーが想起された場合の方が想起できなかった場合よりも有意に高く、これは媒介説に一致する結果であった。また、

実験2では、元エラーを想起できた試行に限った分析において、数唱をした口頭報告条件のターゲット正想起率が他の条件よりも低下していた。これらのことから、数唱がワーキングメモリに負荷を与えると媒介機能が失われる、あるいは、損なわれる試行が増え、その結果、ターゲットの正答率が低下したと解釈できる。しかし、エラー反応のVFB効果のメカニズムとしては、他にもいくつか検討すべき仮説がある。

一つの候補は注意配分量による説明である。確かに、VFBは注意の集中に役立つように思われる。Potts & Shanks (2014)が指摘するように、正答率が低くて難しい、回答に努力を要する課題に直面して好奇心が強めに維持されることがターゲットへの注意配分量を増大させるかもしれない (see also Kang, Hsu, Krajbich, Loewenstein, McClure, Wang, & Camerer, 2009)。この場合、生成された誤りと正答との乖離 (discrepancy) が一種の定位反応としての“自動的な”注意捕捉を生じるかもしれないし (Butterfield & Mangels, 2003; Butterfield & Metcalfe, 2006; Fazio & Marsh, 2009; Metcalfe, Butterfield, Habeck, & Stern, 2012), 努力を要するという認知や好奇心から“制御的”処理が注意資源の配分量を増やすことも考える (see Shiffrim & Schneider, 1977)。実験2で数唱が一時的に注意を要求することによって直後に現れるターゲットへの注意配分量が低下した可能性はあるし、VFBがあることによって一度低下したターゲットへの注意配分量が復活した可能性もある。しかし、注意の量という観点からだけでは、数唱の効果をすべて説明することは難しい。数唱がターゲットへの注意配分量を低下させたと考えるなら、読み条件でも数唱の効果があつたはずだからである。口頭報告条件の数唱の効果は、ターゲットへの注意の量だけではなく、エラー反応表象の鮮明度や保持にも着目した方が理解できるように思われる。

一方、精緻化説 (e.g., Kornell et al., 2009) はある程度本実験の結果を説明できると思われる。エラー反応が検索された際に意味ネットワークに活性化拡散が生じ、ネットワークの一部が文脈を形成する。それに手がかり、ターゲット、エラー反応を関連づけることによって精緻化が成立し、ターゲットを想起する際の手がかりが豊富化する。これによって最終テストにおけるターゲットの想起可能性が高まると考えられる。また、数唱を課すと精緻化に配分される注意資源が低減する、あるいは、精緻化の材料となるエラー反応表象が劣化するので、その結果、精緻化が比較的不十分となる。この線で考えると、VFBはエラー反応表象を活性化させ続けることで精緻化を助ける働きをしているとも考えられる。ただし、この精緻化は、検索段階ではなく、検索後のワーキングメモリにおける処理によってもたらされたはずのものである。ワーキングメモリを介した精緻化や媒介処理はいずれも誤った推測の学習促進効果に影響力を持っているのかもしれないが、この点は今後の検討課題である。

意味ネットワークにもとづく他の仮説であるサーチセット説 (Grimaldi & Karpicke, 2012) は、エラー反応が検索された時に発生する意味ネットワーク上の活性化の範囲を念頭に置いている。この仮定の下では、実験2の口頭報告条件における数唱の効果を解釈できるかどうか焦点であるように思われる。数唱によってサーチセットの活性化範囲が縮小するか、活性化が低下すると考える必要があるが、この可能性については現段階ではよくわからない。

以上の考察から得られる教育実践上の示唆は次の通りである。まず、エラー反応の視覚的確認は古典的A-B/A-Dパラダイムから予想されるようなその後の学習に対する有害な効

果(順向干渉)をもたらさなかった。むしろ学習を促進する可能性が示唆された。したがって、テストの返却時に誤答を確認しても正答の学習は阻害されず、むしろ促進される可能性がある。また、教師は児童・生徒の誤り反応を板書すると、その誤りを誤って学習してしまう可能性を危惧するかもしれないが、正答を確認できるようにしておけば学習は妨害されないようである。ただし、本実験は大学生が対象であり、また対連合学習という単純な課題事態を用いているので、今後、一般化可能性を検討することが必要である。

【注】本研究は科学研究費補助金（基盤（C）16K04285）の支援を受けた。

引用文献

- Anderson J. R.: A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 261-295, 1983.
- Butler, D. C., & Peterson, D. E.: Learning during "extinction" with paired associates. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 4, 103-106, 1965.
- Butterfield, B., & Mangels, J. A.: Neural correlates of error detection and correction in a semantic retrieval task. *Cognitive Brain Research*, 17, 793-817, 2003.
- Butterfield, B., & Metcalfe, J.: The correction of errors committed with high confidence. *Metacognition and Learning*, 1, 69-84, 2006.
- Carpenter, S. K.: Semantic information activated during retrieval contributes to later retention: Support for the mediator effectiveness hypothesis of the testing effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37, 1547-1552, 2011.
- Clare, L., & Jones, R. S. P.: Errorless learning in the rehabilitation of memory impairment. A critical review. *Neuropsychology Review*, 18, 1-23, 2008.
- Cunningham, D. J., & Anderson, R. C.: Effects of practice time within prompting and confirmation presentation procedures on paired associate learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 7, 613-616, 1968.
- Fazio, L. K., & Marsh, E. J.: Surprising feedback improves later memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 88-92, 2009.
- Grimaldi, P. J., & Karpicke, J. D.: When and why do retrieval attempts enhance subsequent encoding? *Memory & Cognition*, 40, 505-513, 2012.
- Hays, M. J., Kornell, N., & Bjork, R. A.: When and why a failed test potentiates the effectiveness of subsequent study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39, 290-296, 2013.
- Huelser, B. J., & Metcalfe, J.: Making related errors facilitates learning, but learners do not know it. *Memory & Cognition*, 40, 514-527, 2012.
- Izawa, C.: Function of test trials in paired-associate learning. *Journal of Experimental Psychology*, 75, 194-209, 1967.
- Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T., & Camerer, C. F.: The wick in the candle of learning: Epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. *Psychological Science*, 20, 963-973, 2009.
- Knight, J. B., Ball, B. H., Brewer, G. A., DeWitt, M. R., & Marsh, R. L.: Testing unsuccessfully: A specification of

- the underlying mechanisms supporting its influence on retention. *Journal of Memory and Language*, 66, 731-746, 2012.
- Kornell, N., Hays, M. J., & Bjork, R. A.: Unsuccessful retrieval attempts enhance subsequent learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 989-998, 2009.
- Marsh, E. J., Roediger, H. L., III, Bjork, R. A., & Bjork, E. L.: The memorial consequences of multiple-choice testing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 194-199, 2007.
- Metcalfe, J., Butterfield, B., Habeck, C., & Stern, Y.: Neural correlates of people's hypercorrection of their false beliefs. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 1571-1583, 2012.
- 水野りか・柳谷啓子・清河幸子・川上正浩: 連想語頻度表－3モーラの漢字・ひらがな・カタカナ表記語－ナカニシヤ出版 2011
- Mueller, M. M., Palkovic, C. M., & Maynard, C. S.: Errorless learning: Review and practical application for teaching children with pervasive developmental disorders. *Psychology in the Schools*, 44, 691-700, 2007.
- Pashler, H., Zarow, G., & Triplett, B.: Is temporal spacing of tests helpful even when it inflates error rates? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 1051-1057, 2003.
- Postman, L., & Underwood, B. L.: Critical issues in interference theory. *Memory & Cognition*, 1, 19-40, 1973.
- Potts, R., & Shanks, D. R.: The benefit of generating errors during learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143, 644-667, 2014.
- Pyc, M. A., & Rawson, K. A.: Why learning improves memory: Mediator effectiveness hypothesis. *Science*, 330, 335, 2010.
- Richland, L. E., Kornell, N., & Kao, L. S.: The pretesting effect: Do unsuccessful retrieval attempts enhance learning? *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 15, 243-257, 2009.
- Roediger, H. L., III, & Karpicke, J. D.: The power of testing memory: Basic research and implications for educational practice. *Perspectives on Psychological Science*, 1, 181-210, 2006.
- Roediger, H. L., III, & Marsh, E. J.: The positive and negative consequences of multiple-choice testing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31, 1155-1159, 2005.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W.: Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190, 1977.
- Slamecka, N. J., & Graf, P.: The generation effect: Delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 4, 592-604, 1978.
- Soraci, S. A. Carlin, M. T., Chechile, R. A., Franks, J. J., Wills, T., & Watanabe, T.: Encoding variability and cuing in generative processing. *Journal of Memory and Language*, 41, 541-559, 1999.
- Terrace, H. S.: Discrimination learning with and without "errors." *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 6, 1-27, 1963.
- Vaughn, K., & Rawson, K.: When is guessing incorrectly better than studying for enhancing memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 1-7, 2012.

対連合学習課題における誤情報フィードバックの学習促進効果

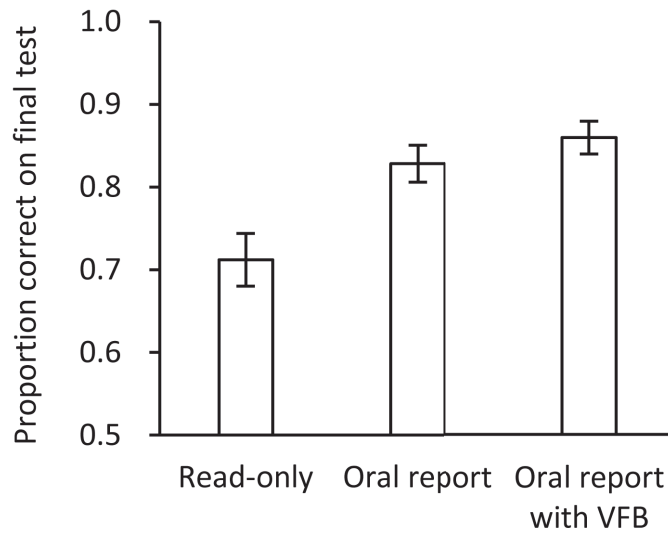


図1:再テストの平均正答率 (実験1). エラーバーは標準誤差を示す.

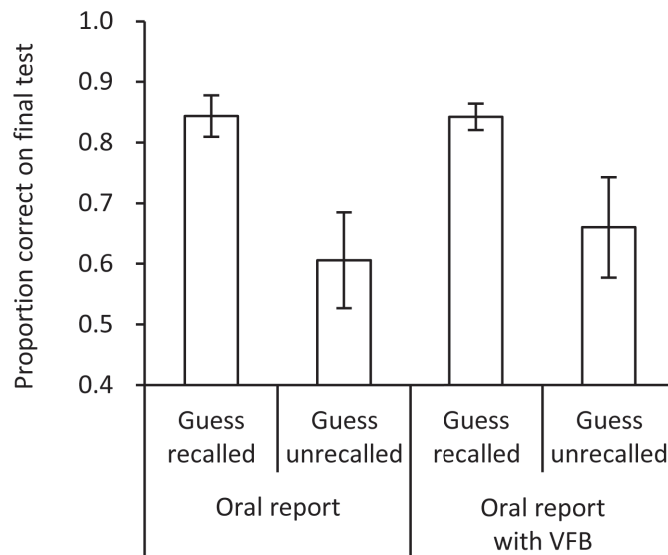


図2: 誤った推測の想起に成功した試行と失敗した試行の条件別再テスト平均正答率 (実験1). エラーバーは標準誤差を示す.

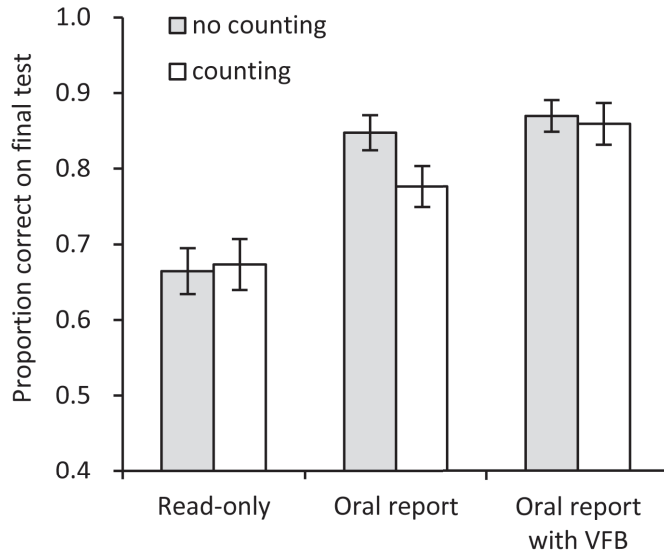


図3：学習条件と計数の有無の関数としての再テスト平均正答率（実験2）。エラーバーは標準誤差を示す。

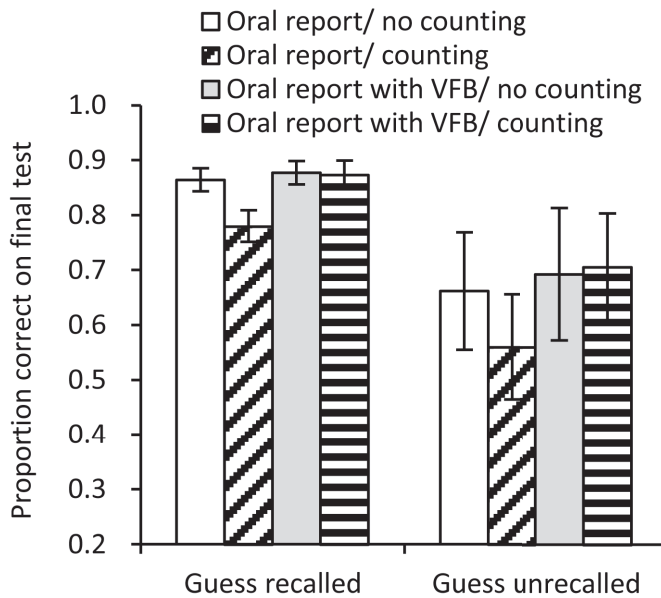


図4：誤った推測の想起の有無、学習条件、計数の有無の関数としての条件別再テスト平均正答率（実験2）。エラーバーは標準誤差を示す。