語彙学習のための誤答が強調された生成画像における視線と記憶の検証および評価

Evaluating Eye Movements and Memory in Error-Emphasized Generated Images for Vocabulary Learning

落合 卓登[*1],杉田一樹[*1],太田光一[*1],長谷川忍[*1]
Takuto OCHIAI[*1],Kazuki SUGITA[*1], Kochi OTA[*1], Shinobu HASEGAWA[*1]
[*1] 北陸先端科学技術大学院大学
[*1]Japan Advanced Institute of Science and Technology
Email:s2410030@jaist.ac.jp

あらまし：生成 AI により，誤答単語を含む英文から「誤答が強調された生成画像」を生成し，学習者に提示する語彙学習支援が提案されている．本研究は，誤答強調の設計指標として定義された誘目性（誤り概念の一致度・コンテクストの一致度・誤り概念表層比率・誤り概念色差）を操作した生成画像を刺激とし，画像閲覧時の視線探索と記憶成績の対応関係を検証する．具体的には，各英文につき 16 条件の生成画像を用意し，被験者ごとに割り当てた 10 題を黒背景上に提示して視線を計測する．視線指標は等面積 AOI 分割に基づく分布エントロピー，滞在割合，遷移指標などにより「文脈探索」の特徴を定量化する．記憶課題は直後の自由再生および一週間後の再認により評価し，誤答単語想起および文脈想起の深さとの関連を分析する．
キーワード：語彙学習支援，生成 AI，誤答生成画像，アイトラッキング，視線探索

1. はじめに

近年，深層学習を基盤とする生成 AI の普及により，高い写実性をもつ画像生成が可能となり，教育分野でも教材としての応用が議論されている．語彙学習では，語彙情報と言語外情報（画像等）を併用することが想起や保持を促進し得ることが報告され，これは二重符号化理論により説明される(1)(2)．一方，従来の語彙学習支援では正解語に対応する典型画像が提示されることが多いが，杉田らは学習者の誤答語を含む英文から誤答箇所が強調された生成画像を提示し，誤りへの気づきを促す L-VEIGe を提案している(3)(4)(5)．

しかし，誤答が強調された生成画像が学習者の注意配分や情報処理，および記憶形成にどのような影響を与えるかは十分に検証されていない．本研究では，誘目性を構成する 4 指標を操作した誤答生成画像を用い，画像全体の文脈をどのように視線探索するかに着目して，視線行動と記憶成績の対応関係を実験的に検証する．

2. 関連研究

視線行動は注意配分や情報処理過程を反映し，アイトラッカーにより注視位置・停留時間・遷移などを定量化できる(8)(9)．記憶との関係として，視線パターンが海馬活動や後続の想起成績と関連することが報告されている(6)(7)．

語彙学習における画像利用は，二重符号化理論に基づくマルチメディア学習研究として蓄積がある(1)(2)．一方で，誤りに基づく学習支援として，誤答生成画像を用いた誤り駆動学習の枠組みが提案されており，L-VEIGe では生成画像の設計指標として想起性・印象性が定義されている(3)(4)(5)．

3. 方法

本研究では，L-VEIGe の誤答生成画像生成システムによって，誤答単語を含む英文（例：a table covered with bananas and a ( )）の空欄に誤答語を挿入して出力された，誤答語が画像内で強調された生成画像を使用する．L-VEIGe における問題文を図 1 に，誤答した場合に生成され，表示される画像例を図 2 に示す．

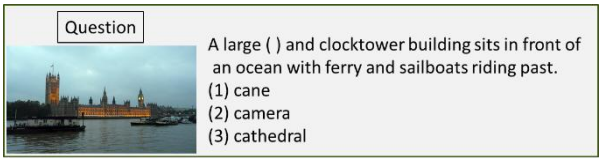

図 1　L-VEIGe における問題文と選択肢[5]

図 2　誤答を含んだ生成画像[5]

誘目性は，(i)誤り概念の一致度，(ii)コンテクストの一致度，(iii)誤り概念表層比率，(iv)誤り概念

色差の 4 指標で表現し，各指標を高/低の 2 水準として英文あたり 16 条件の画像を作成する．誘目性はそれぞれ 0 から 1 の範囲である．

杉田らは，想起性を構成する要素として，「誤り概念の一致度」と「コンテクストの一致度」を挙げている．これらは，「誤り概念」および「文脈性」という軸で要素を分解したものである．

「誤り概念の一致度」とは，生成画像が学習者の誤答語彙（誤り概念）をどの程度正確に視覚的に表現しているかを示す指標であり，「コンテクストの一致度」とは，誤答が生じた文脈や状況が画像内でどの程度再現されているかを表す指標である．これらが高い場合，生成画像は学習者にとって誤答内容を理解しやすく，後の想起を促進する可能性が高いと考えられる．

一方，印象性とは，生成画像が学習者に対して誤りへの気づきをどの程度強く与えるかを示す指標であり，学習者が誤りに気付きやすい可視化表現の観点から定義される[7]．印象性は，学習者の注意を誤答箇所に向けさせ，誤りを印象付ける役割を担う．杉田らは，印象性を構成する要素として，「誤り概念表層比率」と「誤り概念色差」を設定している．こちらも「誤り概念」および「文脈性」の軸で要素を分解したものであり，対応を表 1 に示す．

表 1　4 つの評価軸

	誤り概念	文脈性
想起性	誤り概念の一致度	コンテクストの一致度
印象性	誤り概念表層比率	誤り概念色差

視線計測では，刺激画像領域のみを等面積の AOI（3×3 を主，4×4 を補助）に分割し，滞在割合ベクトル，最頻遷移，同一 AOI 連続滞在の最長時間，分布エントロピー等から視線探索の特徴を定量化する．また，過度な強調は認知的負荷を増大させ学習を阻害し得るため，解釈では認知負荷理論も踏まえる[10]．

記憶課題は直後の自由再生（誤答単語の想起，および文脈想起の深さ）と，1 週間後の再認課題により評価する．分析では，誤答単語想起の成否および文脈想起スコアと視線指標の関係を比較し，誘目性の違いが注意配分と記憶に与える影響を検討する．

4.　実験

4.1 被験者

被験者は大学生・大学院生 16 名とし，事前アンケートで英語学習歴等を取得する．本実験はライフサイエンス委員会の承認（承認番号：人 07-041）を得て実施した．

4.2 手続き

実験は，(1)説明・同意取得，(2)事前アンケート，(3)視線計測予備実験（キャリブレーションと練習），(4)視線計測実験，(5)休憩，(6)自由再生テスト，(7)（1 週間後）再認テストの順に実施する．

視線計測実験では，黒背景上に正方形刺激画像を中央提示し，各画像を 10 秒間表示する．提示する画像は 10 題であり，各英文について 16 条件のうち被験者ごとに割り当てた 1 条件を用いることで，被験者間で条件をカバーする設計とする．各提示後に短い事後アンケートを挟み休憩を兼ねる．自由再生テストでは英文を除いた画像を提示し，記憶された英文または関連語を自由記述で回答させる．

5.　おわりに

本稿では，誤答が強調された生成画像に対する視線探索と記憶成績の関係を検証するための方法と実験計画を述べた．誘目性指標を操作した 16 条件の誤答生成画像を刺激として用い，等面積 AOI に基づく視線分布指標と，直後・遅延の記憶課題を統合して分析する．結果および詳細な統計的検討は発表会にて報告する．

参考文献

(1) Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). "Dual Coding Theory and Education", Educational Psychology Review, 3, 149–210. https://nschwartz.yourweb.csuchico.edu/Clark%20&%20Paivio.pdf

(2) Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E., & Leutner, D. (1998). "Supporting Visual and Verbal Learning Preferences in a Second-Language Multimedia Learning Environment", Journal of Educational Psychology, 90(1), 25–36.

(3) Sugita, K., et al. (2023). "Error-driven learning: Vocabulary learning support using error by image generation", IIAI Letters, 3, 1. https://doi.org/10.52731/iil.v003.078

(4) 杉田一樹, et al. (2023). 「語彙学習支援システム：画像の示唆性に対する指標」，教育システム情報学会論文誌, 38(2), 118–124.

(5) 杉田一樹, et al. (2024). 「語彙学習支援システム：誤答生成画像に対する定量評価」，第 49 回教育システム情報学会全国大会, 147–148.

(6) Hannula, D. E., & Ranganath, C. (2009). "The eyes have it: Hippocampal activity predicts expression of memory in eye movements", Neuron, 63(5), 592–599. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19755103/

(7) Fehlmann, B., et al. (2020). "Visual Exploration at Higher Fixation Frequency Increases Subsequent Memory Recall", Nature Communications, 11, 4489. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8153053/

(8) Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & van de Weijer, J. (2011). "Eye Tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures", Oxford University Press.

(9) Duchowski, A. T. (2007). "Eye Tracking Methodology: Theory and Practice" (2nd ed.), Springer.

(10) Sweller, J. (1988). "Cognitive load during problem solving: Effects on learning", Cognitive Science, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4