

視線に連動したぼかし深度制御を用いた 単語の記憶容易性向上システムの開発と検証

青木 柊八^{1,a)} 中村 聡史¹

概要: 記憶は、人間の経験や知識を蓄積し、それを活用する能力の中核をなす重要な要素である。しかし、そのために主に行われている繰り返し学習には多くの労力と時間がかかってしまうという問題がある。我々は過去の研究にて、視線に連動して記憶対象文字列の読みやすさが変化する流暢度制御手法を提案し、実際に提案手法がハイライトを与える比較手法と比べて単語の記憶容易性を向上させることを明らかにした。しかし、これまでの実験では主に特徴記憶実験という形式を用いて行っており、情報が箇条書きで提示されていたりあらかじめ出題箇所的手法が付与されている状態であったりと実際の記憶学習とは乖離のある条件で実験を行っていた。そこで本研究では、重要だと思った箇所を自身で選択し、ぼかしによるマーキング可能とするシステムを作成し、より実環境に近い設計のもと実験を行った。その結果、実環境に近い設計でも視線に連動したぼかし深度制御を利用した場合の方がハイライトを利用した場合よりも点数が高くなることが明らかになった。

1. はじめに

記憶は人と密接な関係にあり、多くの場面で大きな役割を担っている。特に学業においては、様々な教科の情報をテストの対策のために網羅的に記憶しなければならない。この記憶するという行為は容易ではなく、短期記憶を長期記憶に昇華させる必要があり、そのためには繰り返し学習を短期間のうちに行うことが求められる [1]。しかし、繰り返し学習には多くの時間と労力がかかるという問題が存在するため、できるだけ少ない繰り返しにより記憶できることが望まれている。

ここで、単語の記憶しやすさに関して、文字の流暢度を低下させることがその文字の記憶しやすさを向上させるという非流暢性効果が知られている。これまでの研究では、文字色を薄くする、手書き文字で提示する、文字を上下反対に提示するといったように、単語の文字の流暢度を下げることによって単語の記憶容易性を向上させることが明らかにされている [2][3]。しかし、これらの手法は文字情報を差し替える必要があるため、既存の学習教材に適用することは容易ではない。

既存の学習教材の文字列の上から適用して流暢度を下げることができ、非流暢性効果が狙える手法として、ぼかしが存在する。我々は過去の研究 [4] において、事前に記憶

対象をぼかしておき、その記憶対象の領域に視線が入ったときにそのぼかしを徐々に弱めていくことで非流暢性効果を狙いつつ、記憶対象への注視を誘導する手法を提案し、システムとして実装した (図 1)。また、マーカーによるハイライトを利用した比較手法 (図 2) との比較実験を実施し、提案手法の方が比較手法に比べ、特徴記憶テストの点数が高くなることを明らかにした [5]。しかし、これまでの実験では暗記する内容が箇条書きで書かれていたうえ、重要箇所に手法があらかじめ付与されていたため実際の学習の場面とは違って暗記箇所が把握しやすいものとなっていた。そのため、実際の記憶学習において利用可能かどうかは明らかになっていなかった。

そこで本研究では、視線に連動したぼかし深度制御手法を実際の学習シーンに応用するためのシステム拡張を行う。具体的には、ユーザが記憶したい文章を読み込み、その内容に対してユーザ自身が重要だと思う箇所をなぞることで、その領域にぼかしを付与するとともに、視線に連動してぼかしを制御するシステムを実装する。また、そのコンテンツを利用した記憶実験を行い、比較手法と比べた際の有用性について調査する。

2. 関連研究

2.1 非流暢性効果と記憶に関する研究

文字の形状を利用した非流暢性効果について、様々な研究が行われている。

¹ 明治大学
Meiji University, Nakano, Tokyo 164-8525, Japan
^{a)} tohya@nkmr-lab.org

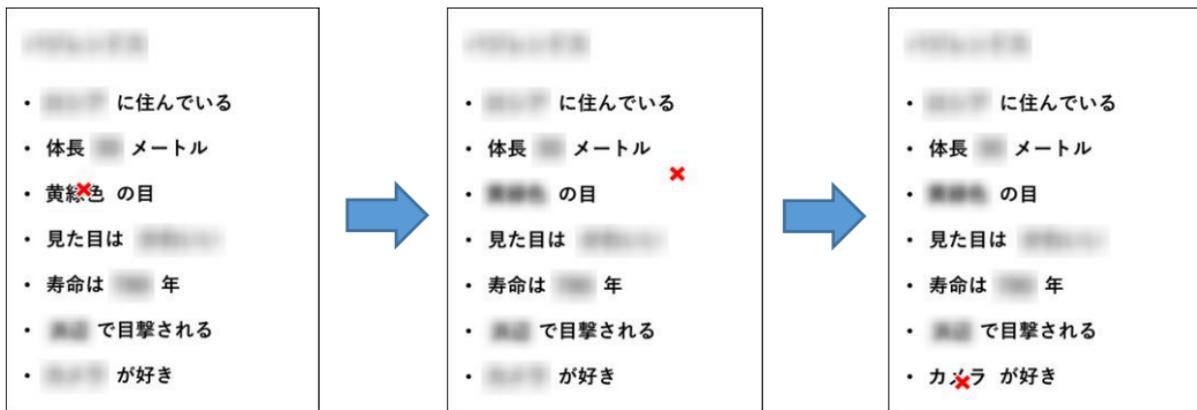


図 1: 本システムの利用イメージ (×を視線の位置と仮定)

宇宙人			宇宙人		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙人 に住んでいる ・ 体長 30 メートル ・ 黄緑色の目 ・ 見た目は かわいい ・ 寿命は 700 年 ・ 図書館 で目撃される ・ カメラ が好き 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 宇宙人 に住んでいる ・ 体長 2 メートル ・ 茶色の目 ・ 見た目は 怖い ・ 寿命は 1000 年 ・ 図書館 で目撃される ・ リボン が好き 	<ul style="list-style-type: none"> ・ インド に住んでいる ・ 体長 50 メートル ・ 黒色の目 ・ 見た目は たくましい ・ 寿命は 800 年 ・ 病院 で目撃される ・ ビアノ が好き 			

図 2: 記憶対象の例 (左: 提案手法, 右: 比較手法)

Oppenheimer ら [2] は、文字色を薄くしてフォントを読みにくくすることで、記憶保持力が向上されることを明らかにし、流暢度の低さが文字の記憶容易性を高める非流暢性効果を示した。Ito ら [6] は手書きで書かれた文字と活字で書かれた文字との比較により、読みにくい手書き文字の方が記憶に残りやすいことを明らかにした。高野ら [7] は、読みやすさの異なる手書きで書かれたテキスト情報の記憶容易性に及ぼす影響について検証を行った。その結果、最も読みにくい筆跡において記憶成績が高くなることと、自筆との類似性が高いほど記憶成績が高くなることを明らかにした。Geller ら [8] は筆記体を利用した記憶実験を行い、筆記体による非流暢性効果は流暢度の度合いによって変わり、読みやすい筆記体の方が読みにくい筆記体よりも記憶に残ることを明らかにした。

藤原 [9] は、英単語の長期間と短期間の記憶と色の関係において、英単語を赤色で表記すると長期間の記憶の際は悪影響を及ぼすことや、青と黒では短期間での記憶でも長期間の記憶でも差がなかったことなどを明らかにした。また、宮川ら [10] は、フォントと濃度による非流暢性効果の発生メカニズムとして、非流暢な文字が特徴的であり、その特徴性が記憶のための手がかりを担っている可能性を明らかにしている。これは、流暢な文字と非流暢な文字を混合させて提示した場合に、非流暢な単語がより記憶に残りやすくなるという対比効果仮説を明らかにしたものである。このように、文字形状や文字色、文字色の薄さなどを

利用した非流暢性効果については多くの研究が行われている。我々はこの効果に加えて、視線に連動した変化を与えることがその文字列の記憶容易性をより向上させると考えている。

2.2 ぼかしによる非流暢性と記憶に関する研究

Yue ら [11] は、単語にぼかしをかけることがその単語の学習評価や思い出し率に影響があるかを調査した。その結果、ぼかしありとぼかしなしの単語を混合して提示した際には、ぼかしなしの学習評価と思い出し率が高くなることを示した。また、ぼかしありとぼかしなしの単語を混合せずに提示した際には、ぼかしなしの方が思い出し率は高くなるが、学習評価はぼかしありの方が高くなることを明らかにした。一方、Rosner ら [12] は、ぼかしありとぼかしなしを混合して提示していたかどうかに関係なく、ぼかしありの単語を多く覚えていたことを明らかにした。しかし、ぼかしの深度を少し下げて実験を行ったところ、ぼかしなしの方がぼかしありより単語記憶率が高かったことから、ぼかしの深度が弱い場合は記憶力を向上させる効果が弱いが、ぼかしの深度が強い場合は記憶力を高める効果があると結論付けている。このことから、ぼかしの深度は強い方がよく、その場合であればぼかしありとぼかしなしが混同していてもぼかしありの条件の記憶率が高くなると考えられる。

このように、単語や文章にぼかしを加える研究は多く存

在する。我々の研究では、このぼかしによる非流暢性効果に視線による変化を与えることで、その単語の記憶効率がより向上すると考え、比較手法との比較を行っていく。

3. 視線に連動したぼかし深度制御を活用した記憶支援システム

3.1 提案システムの手法

本研究では、既存の学習コンテンツ内の暗記したい対象に対して視線に連動したぼかしを付与し、その対象の記憶容易性を向上させるシステムを提案する。ここでは、教科書やノートといったあらかじめ用意されている記憶対象を画像として読み込み、その中からユーザ自身が重要だと考えた箇所にはぼかしを付与することを可能とする。また、視線に連動してぼかしを制御する仕組みを実現する。

ぼかしの付与においては、記憶対象をマウスなどにより範囲選択することで実現する。

3.2 提案システムの実装

提案システムは前回 [5] と同様に Processing を用いて実装した。このシステムでは、ユーザがマウスをクリックした地点を始点、クリックを終了した地点を終点としてその領域を画像として保存し、ガウシアンフィルタを用いてぼかしをかけたうえで重畳表示することで記憶タスクの対象文字列にぼかしがかかっている状態を作り出す。また、視線が画像領域内に入っている場合にそのぼかしが弱まっていくように実装した。

今回のシステムで用いたぼかしは過去の研究 [5] で実現したシステムと同じ原理になっており、ぼかしの初期深度 σ_i を 10、ぼかしが晴れる速度 σ_{clear} を 2 に設定した。そのため、単語に視線を向けてから 5 フレーム (250 ミリ秒) で完全にぼかしが晴れるようになっている。また、単語か

ら視線を外した 40 フレーム後にそのぼかしが復活する。本システムはアイトラッカーを内蔵した ALIENWARE 17 (Intel Core i7-8750H, 17.3 インチディスプレイ, Tobii Eye Tracker 内蔵) にて実装した。

3.3 提案システムの利用方法

図 3 は実際のシステムを利用している様子である。ユーザはまずカーソルをマークする箇所が存在する行の中心に合わせ、マウスでドラッグアンドリリースをするとその領域に視線に連動したぼかしがかかる。ここで、誤操作や領域のずれが発生する可能性もあるため、作成した領域はマウスカーソルをその領域の上に置いた状態で、キーボードの“R” キーを押すことで削除することが可能となっている。また、記憶を行う際には事前に作成したぼかしを与えた状態の記憶対象を再提示し、それを利用して視線に連動したぼかしを利用した記憶学習が行えるようにした。

4. 実験

4.1 問題設計

これまでの研究で行った実験はいずれも特徴記憶実験の形式であり、記憶対象における重要な箇所にはあらかじめマーキングが施されているような形となっていた。しかし、実際の繰り返し学習で利用する記憶対象には教科書のような文章形態のものも多い。そのため、本実験では過去に行った特徴記憶実験の設計 [5] をもとにしつつ、より実際の記憶学習に近い内容での比較実験を行う。

具体的には、今までの特徴記憶実験のような特徴を箇条書きするような記憶課題ではなく、より教科書の内容に近い形のものを用意し、それを記憶対象とした記憶実験を行う。教科書の内容に近い形のを準備するにあたり、今回は ChatGPT を活用する。具体的には、「記憶実験に使

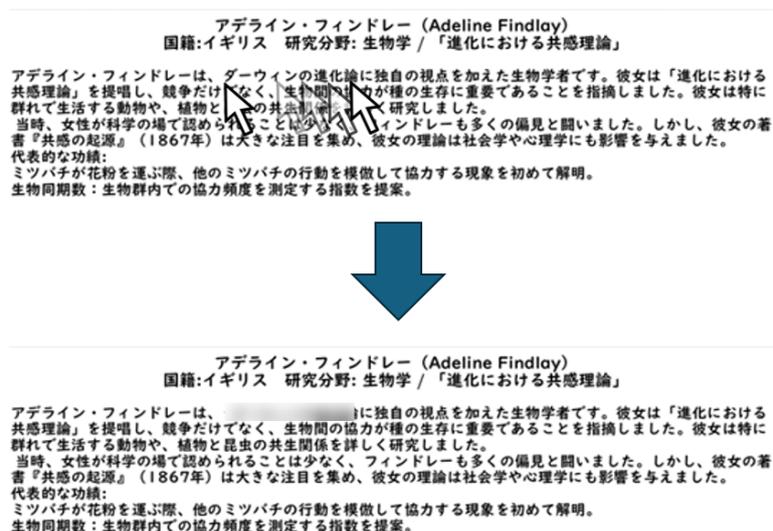


図 3: システムでマーキングを行う際の利用例

える架空の（テーマ）を3（数え方）つくってください。それを教科書風に説明してください。」というプロンプトのもと、ChatGPTに記憶課題を作成してもらうことで、どのテーマにおいても文章が似たような雰囲気になるようにした。ここで、ChatGPTが出力した内容だけでは記憶しやすさに偏りが出してしまうため、そこから筆頭著者が内容を調整し、各記憶課題の記憶しやすさに偏りが発生しないようにした。

なお、本実験では理科の生物分野に近いと考えられる生物系のテーマである恐竜と絶滅危惧種、社会の歴史と同じように流れが存在すると考えられる物語系の映画と小説を今回の記憶実験で使うテーマとして用意した。図4はChatGPTに作成してもらったのちに調整した記憶課題の例（テーマ：絶滅危惧種）である。

テストは一部4択、基本記述式の20問とし、出題される問題の傾向が同じ系統のテーマで差がないように調整した。出題内容としてどちらの系統でも共通でカタカナの名前、色、数字、国名、既存の単語が含まれており、生物系のテーマには役割と二つ名が、物語系のテーマにはタイトルとテーマがそれに追加して含むようにした。基本的にはこれらの要素が各3問出題されており、既存の単語だけ2問の出題となっている。また、カタカナの名前に関しては架空であるという点から記述式で完答するのが難しいと考え、4択の形式で出題した。ここで、簡単にしすぎると問題としての意味がなくなると考えたため、選択肢の差は名前のうち一文字を変化させる程度とし、回答に対する自信度を答えてもらうことで正解が偶然であるかの調査もある程度行えるようにした。また、あらかじめ実験説明の際にテストが記述式であることとカタカナの架空の名前だけはほとんど差のない4択として出題されることを説明した。図5は今回の実験で実際に行われたテストの一例である。

4.2 実験の流れ

本研究で行う実験の流れは図6のようになっており、各

<p>レネカガリ (Lenekagari) 分類: 鳥類 / カモメ科 生息地: ベルギー付近の孤島</p> <p>レネカガリは、中型の海鳥で、夜行性のカモメとして知られています。満月の夜に特に活発になり、「月光の翼」と呼ばれています。また、羽根には月光を反射する独特の金色の模様があり、その模様は仲間とのコミュニケーションに使われていると考えられています。しかし、地球温暖化による氷河の融解で餌の減少、さらに船舶からの油流出により急速に個体数が減少しました。現在は70羽以下しか確認されており、保護活動が進められています。</p> <p>生態メモ: 主食は小型の魚やプランクトン。 新月の期間は巣に籠ってほとんど活動しない。</p>
<p>ウログカマフグ (Uretakemafugu) 分類: 魚類 / フグ科 生息地: ギリシャ近海の深海</p> <p>ウログカマフグは、体の表面が半透明の膜に覆われている深海魚です。光を吸収して緑色の発光する性質を持ち、「海底の宝石」と呼ばれます。この発光は捕食者への威嚇に使われると考えられています。ウログカマフグの個体数が減少した原因は、底引き網による混獲と、環境汚染による餌となる甲殻類の減少とされています。また、その美しい発光体を目的とした違法な採取も問題となっており、現在は30匹以下しか保護されていません。</p> <p>生態メモ: 産卵時に、体を激しく発光させながら逃げます。 産卵期には浅瀬に上がる習性があり、この期間に捕獲されやすい。</p>
<p>ヤブラサキワラジムシ (Yaburasaki Warajimushi) 分類: 節足動物 / ワラジムシ科 生息地: ボルトガルの乾燥地帯</p> <p>ヤブラサキワラジムシは、大型のワラジムシで、甲羅のような硬い外骨格を持っており、「古代の防人」という異名を持っています。この外骨格は乾燥地帯の過酷な環境に耐えるためのものであり、体内の水分を保持する役割を果たしています。ヤブラサキワラジムシは数年前に絶滅したとされていましたが、近年地中海沿岸の岩場で再発見されました。しかし、その個体数は60匹以下と非常に少なく、その後も生息地の破壊や気候変動による影響で再び絶滅の危機に瀕しています。</p> <p>生態メモ: 主に枯れた植物や落ち葉を食べる。 音波を通じて近くの個体に情報を伝えることができます。</p>

図4: 実験で利用した記憶課題の例

セットの流れは図7のようになっている。最初に実験協力者には実験について軽く説明したのちに、視線のキャリブレーションを行った。実験の説明では実験の流れやシステムの利用方法、テストの形式についての説明を行い、疑問点がないようにした。テストの形式の説明の際には、テストが記述式であることとカタカナの架空の名前だけはほとんど差のない4択として出題されることを説明することで、実験協力者がテストが記述式であるという前提で記憶が行えるようにした。その後、練習用のシステムを2分間利用させることで操作に慣れてもらった。この練習用のシステムでは実際のシステムと同様に重要箇所にはマーキングが可能であるが、付与する手法を切り替えることも可能となっており、両方の手法でシステムの練習ができるようになっている。その後、記憶実験を行ってもらった。

今回の実験では、実験協力者は同じ系統のテーマの特徴を2つ同時に記憶し、順番にマーキング、記憶、テストを行うこととした。これは、実際の学習において複数の情報

		自信度				
(1)	浅い熱帯の海域に生息するスピノサウルス科の恐竜の名前は？ (A) サウロウム・エクアリス (B) サウロニウム・エクアリス (C) サイロニウム・エクアリス (D) セイリウム・エクアリス	1	2	3	4	5
(2)	(1)の恐竜はどの国の浅い熱帯の海域に生息していた？ _____					
(3)	(1)の恐竜は全長何メートル？ _____					
(4)	(1)の恐竜の帆は何色に輝いていた可能性がある？ _____					
(5)	(1)の恐竜の帆は水中移動以外に何に使用されていると考えられている？ _____					
(6)	(1)の恐竜の化石は何と発見されることが多い？ _____					
(7)	(1)の恐竜はその生態から何と呼ばれていた？ _____					
(8)	寒冷地域に生息するドロマエオサウルス科の恐竜の名前は？ (A) テラルケス・キリタリス (B) テリラロス・キリタリス (C) テラロテス・キリタリス (D) テラロキス・キリタリス	1	2	3	4	5
(9)	(8)の恐竜はどの国の寒冷地域に生息していた？ _____					
(10)	(8)の恐竜は全長何メートル？ _____					
(11)	(8)の恐竜の厚い羽毛は何色？ _____					
(12)	(8)の恐竜の肉球状の突起はどういう役割があった？ _____					
(13)	(8)の恐竜の異名は？ _____					
(14)	熱帯雨林に生息するブラキオサウルス科の恐竜の名前は？ (A) マグナセリ・ラミリス (B) マグラセル・ラミレス (C) マグナサリ・リミラス (D) マグネセリ・ラムレス	1	2	3	4	5
(15)	(14)の恐竜はどの国の熱帯雨林に生息していた？ _____					
(16)	(14)の恐竜は全長何メートル？ _____					
(17)	(14)の恐竜の発光器官は発情期には何色の光を放つ？ _____					
(18)	(14)の恐竜の発光器官は普段は何に使われていた？ _____					
(19)	(14)の恐竜は何とも呼ばれている？ _____					
(20)	(14)の恐竜は特殊な感覚器官で何の変化を感じることができる？ _____					

図5: 実際に行われたテストの一例

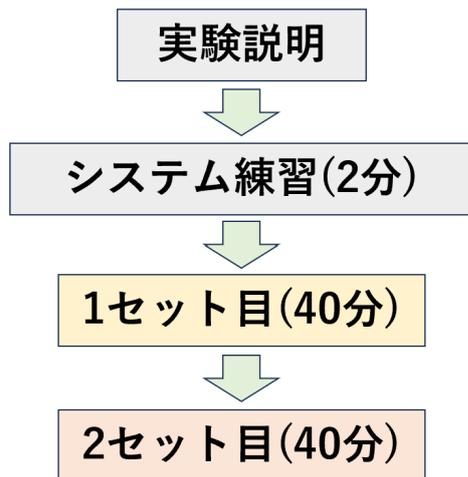


図 6: 実験の流れ

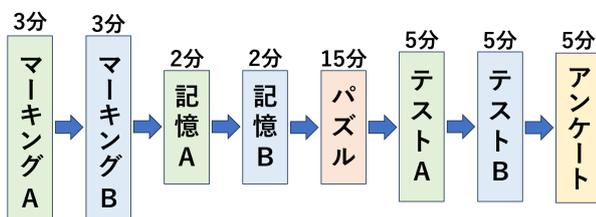


図 7: セットの流れ

を同時に覚えることがあるためである。ここで、テーマや手法の提示順番をランダムにすることで順序効果による影響の対策をした。

実験協力者はまずマーキングフェーズで3分間で記憶対象の重要だと思う箇所にマーキングしてもらった。ここでマーキング結果はどちらの手法を利用するかで変化するようにした。なお、その際マーキングを時間内で満足に行えるように、カウントダウンタイマーを画面に表示し、残り時間を把握できるようにした。次に、記憶フェーズでは2分間でマーキング後の記憶対象を追加で記憶してもらった。この際、時間制限による焦りが生まれないようにカウントダウンタイマーは画面に表示しなかった。各フェーズが終了した際に、画面に次のテーマと利用するマーキング手法が提示され、スペースキーを押すとそのまま次のフェーズへ移行できるようにした。その後、過去の実験 [5] でも利用したブロックパズル [13] を 15 分で行ったのちに特徴の記憶度を測るテストに 5 分間で回答し、最後にシステムの使用感に関する簡単なアンケートに回答してもらった。ここで、ブロックパズルの難易度として、15 分で完成できない最も難しい難易度 5 のパズルを利用した。これは、パズルを早く完成してしまうことが記憶に影響を及ぼす可能性があったためである。なお、実験中にこのパズルを完成させた実験協力者はいなかった。

マーキングフェーズからアンケートまでの流れをひとつのセットとし、これを前半後半で 2 セット行い、計 4 テー

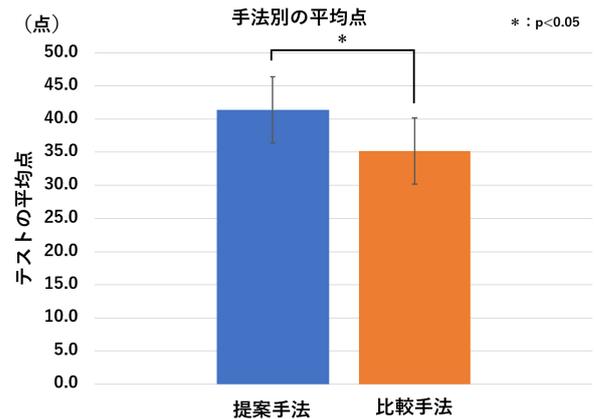


図 8: 提案手法と比較手法のそれぞれの平均点

マ分のテストを行ってもらった。提案手法を利用したテーマのテストの平均点と比較手法を利用したテーマのテストの平均点を分析することで、各手法が単語の記憶容易性に与える影響について実験者間比較を行う。

5. 実験結果

5.1 点数の分析

実験協力者は大学生及び大学院生 16 名 (男性 12 名, 女性 4 名) で、テストの点数が平均 $\pm 2SD$ に含まれない者はいなかったため、除外はなかった。

テストの採点基準は基本ひらがな可の完答 5 点であるが、生物系のテーマにおける二つ名と物語系のテーマにおけるタイトルとテーマに関しては回答が「○○の○○」といったように、2 つの既存の単語を組み合わせたものとなっていたため、片方があった場合は部分点として半分の 2.5 点を加算した。結果として、今回のテストのテーマ別の平均点は恐竜が 43.9 点、絶滅危惧種が 43.9 点、映画が 31.3 点、小説が 34.1 点であった。

図 8 は本実験における提案手法であるぼかしを利用したテストと比較手法であるハイライトを利用したテストの平均点を示した図である。この図より、提案手法を利用した際の平均点が 41.4 点なのに対し、比較手法を利用した際の平均点が 35.2 点であり、提案手法の方が比較手法よりも平均点が高いことがわかる。ここで、提案手法群と比較手法群で対応ありの t 検定を行った結果、提案手法群の方がテストの結果が有意に高い ($p < 0.05$) ことが明らかになった。

次に、テーマの系統による差を調査するため、テーマの系統別の平均点を算出した。図 9 はテーマの系統別の平均点を示す図である。図 9 の左のグラフは生物系のテーマである恐竜と絶滅危惧種における各手法別のテストの平均点であり、図 9 の右のグラフは物語系のテーマである映画と小説における各手法別のテストの平均点である。この図より、生物系のテーマに関して、提案手法群では平均点が 48.8 点なのに対して比較手法群では 39.1 点であることから、提案手法群の方が比較手法群に比べて 10 点ほど平均点

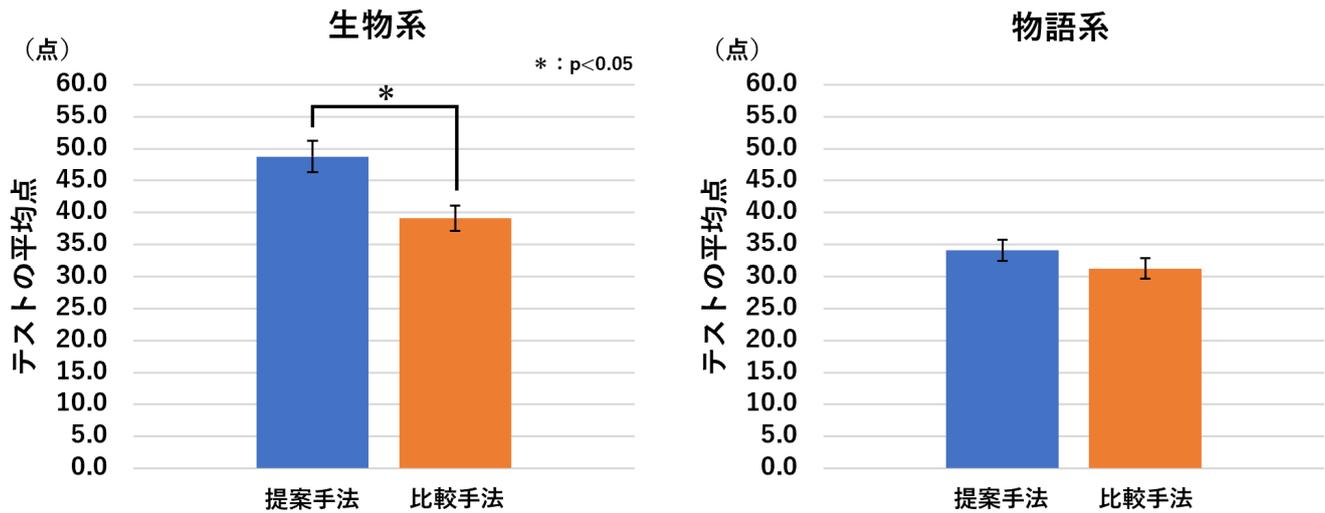


図 9: テーマの系統別の平均点 (左: 生物系, 右: 物語系)

が高い。また、物語系のテーマでは提案手法群では平均点が 34.1 点なのに対して比較手法群では 31.3 点であることから、提案手法群の方が比較手法群に比べて 3 点ほど平均点が高い。ここで、各テーマ系統において提案手法群と比較手法群で対応ありの t 検定を行った結果、生物系のテーマにおいては提案手法群の方がテストの結果が有意に高い ($p < 0.05$) ことが明らかになったが、物語系のテーマでは有意差はなかった。このことから、視線に連動したばかりし深度制御手法はどちらのテーマ系統においても単語の記憶容易性を向上させることが可能であるが、生物系のテーマに対してより効果的に働くことが明らかになった。

5.2 マークされた箇所の分析

表 1 は、テストで出題された箇所に関して、マークされていた場合とされていなかった場合におけるそれぞれの正答率を表したものである。この表から、マークされていた場合に関しては提案手法の方が比較手法より正答率が 0.07 ほど高く、マークされていなかった場合においては比較手法の方が提案手法より正答率が 0.06 ほど高いことがわかる。

ここで、表 2 はテストにおける手法のマークされていた箇所とマークされていなかった箇所の平均単語数と標準偏差を表している。この表から、提案手法と比較手法ではマークされていた個数の差がほとんどないことが明らかとなった。また、マークされていた単語数の割合はどちらも約 7 割であり、点数に大きな影響を与えるのに対して、マークされていなかった箇所は 3 割ほどであるため点数に与える影響がほとんどないことがわかる。

重要な箇所としてマークされた内容として、生物系のテーマでは名前、国、色、数字、二つ名はほとんどの実験協力が者がマークしていたが、役割と既存の単語に関してはほとんどがマークしていなかった。物語系のテーマではタイ

表 1: マークされていた箇所とされていなかった箇所における正答率の平均

	提案手法	比較手法	全体
マークあり	0.50	0.43	0.47
マークなし	0.15	0.21	0.18

表 2: 各手法のマークされていた箇所とマークされていなかった箇所の平均単語数と標準偏差 (括弧の中が標準偏差)

	提案手法	比較手法
マークあり	14.0 (2.95)	13.8 (2.88)
マークなし	6.0 (2.95)	6.2 (2.88)

表 3: 重要だとマークされた領域へ視線を向けていた平均フレーム割合

	提案手法	比較手法
恐竜	0.59	0.73
絶滅危惧種	0.60	0.56
映画	0.59	0.57
小説	0.57	0.57
平均	0.59	0.61

トル、名前、国、色、数字はほとんどの実験協力が者がマークしていたが、テーマに関してはほとんどがマークしていなかった。また、既存の単語に関して、映画では多くの実験協力が者がマークしたが小説ではほとんどマークされていなかった。今回のテストにおいて、どちらのテーマにおいても名前、色、数字の正答率が特に高く、あまりマークされていなかった役割、テーマの正答率が低かった。

5.3 視線の分析

視線の影響について調査するため、実験協力者の視線データを分析した。表3はテストの回答かつ実験協力者がマークした領域に対して、実験協力者が視線を向けていた割合の平均である。ここで、単純なフレーム数では個人差が出てしまうと考えたため、それをテストの回答となる領域に向けられていた視線の総フレーム数で割ることで軽減した。この表から、全体におけるフレーム数の割合に関してはどちらの手法でも0.6程度であり、手法間に違いがないことがわかる。

5.4 システムの使用感とぼかしに関するアンケート結果

表4は実験協力者に行った本システムを利用した重要箇所の選定と視線に連動したぼかしに対する不快感についてのアンケート結果である。評価方法は5段階のリッカート尺度（1：とても弱い～5：とても強い）で回答してもらっており、前半と後半を合わせた結果としては選定に対する不快感の平均が2.1であり、ぼかしに対する不快感の平均が2.6であった。実験協力者が本システムを利用した重要箇所の選定に対する不快感が普通以下であると回答した回数は全体の9割以上であり、実験協力者が視線に連動したぼかしに対する不快感が普通以下であると回答した回数は全体の7割以上であった。

同時に行った重要箇所選定システムに対する感想として、「特に不快感なく使いやすいシステムだった」や「学校の勉強のような感覚で使えた」といった意見が得られた。また、視線に連動したぼかしに対して不快感が強いと回答した実験協力者からは、「端の方にあるぼかしが変化するのに少し時間がかかった」や「領域の少し下を見たらぼかしを晴らしやすかった」といったような意見が得られた。

6. 考察

図8の結果より、視線に連動したぼかし深度制御を用いた場合の方がハイライトを用いた場合に比べて点数が高くなることが明らかになった。しかし、図9が示すように、提案手法は生物系のテーマのテストの方が効果的に働く。これは、物語にはストーリーがあり、単語よりも流れを重視している可能性が考えられる。また、今回の実験で回答してもらったアンケートの中には、「映画の内容が自分の知っている映画と類似点が多かったので覚えやすかった」という意見もあり、内容による身近さが発生しにくい生物系のテーマに対して、物語系のテーマは回答者の好みや経験による点数への影響が表れやすい傾向があったことが示唆された。さらに、物語系のテーマの記憶内容は物語の流れを重視したものであったため、重要な箇所の選定が生物系のテーマと比べて難易度が高かったと考えられる。その結果、提案手法による有効性が表れにくかったと考えら

表4: システムの不快感についてのアンケート結果

	平均	標準偏差
重要箇所の選定システム	2.1	0.89
視線に連動したぼかし	2.6	0.96

れる。

表1の結果より、マークされていた場合に関しては提案手法の方が比較手法より正答率が高くなることが明らかになった。また、表2の結果より、マークされていた単語数の割合はどちらも約7割であり、マークされていなかった箇所は3割ほどであった。そのため、提案手法を利用した場合の方が比較手法を利用した場合よりも点数が高い結果となったのはマークされていた箇所の正答率が点数に大きな影響を与えていたからであると考えられる。このことから、提案手法を利用してマークすることでその単語の記憶容易性を効果的に向上させられることが示された。そして実験協力者のマーク傾向に関しては、名前や数字や色、国といった出題されやすい箇所や、カギ括弧で囲まれた箇所をマークしやすいことが明らかになった。

表3より、手法間で見られていたフレーム数の割合にほとんど差がなかった。視線を向けられた時間にほとんど差がないのにも関わらず提案手法の方が比較手法よりもテストの平均点が高かったことから、提案手法の方が比較手法よりも単語の記憶容易性を高められることが明らかになった。また、テストの回答かつ実験協力者が重要と選定した領域に対して、実験協力者が視線を向けていた割合の平均が0.6であった。

表4より、実験協力者が本システムを利用した重要箇所の選定に対する不快感がふつう以下であると回答した回数が全体の9割以上であったことや、重要箇所選定システムに対して「特に不快感なく使いやすいシステムだった」や「学校の勉強のような感覚で使えた」といった回答が得られたことから、本提案システムは実験参加者に負荷を与えず手軽に単語の記憶容易性を向上させられることが明らかになった。また、「学校の勉強のような感覚で使えた」という意見もあったため、実際の学習への応用も可能であると考えられる。一方、重要箇所の選定に対する不快感が強いと回答した実験参加者から「どこをマークしたらよいかかわからなかった」という感想があったが、これはシステムではなく通常学習に使用しない物語系のテーマの重要箇所の選定の難易度にあったことから、今後はより学習教材のようなものを対象に実験を実施していく予定である。

次に、実験協力者が視線に連動したぼかしに対する不快感が普通以下であると回答した回数が全体の7割以上で

あったが、一部の実験協力者は不快感が強かったと回答していた。ぼかしに対する感想として「端の方にあるぼかしが変化するのに少し時間がかかった」や「領域の少し下を見たらぼかしを晴らしやすかった」といったような回答があったことから、視線座標の取得が完璧に行えておらず、一部の単語に対して通常よりも視認に負荷がかかっていた可能性が考えられる。

7. まとめ

本研究では、繰り返し学習の負担を軽減することを目的とした視線に連動したぼかし深度制御手法のより実環境に近い状況での効果の検証を行うため、画面内をなぞることでその箇所に視線に連動したぼかし深度制御を与えるシステムを作成し、教科書風の記憶対象を暗記してテストに回答してもらって記憶実験を行った。

実験の結果、マーカーによるハイライトを与える群と比べて視線に連動したぼかし深度制御を与える群のほうがテストの点数が有意に高いことが明らかになった。また、マークされていた箇所に関して、視線を向けていたフレーム数にほとんど差がないが、提案手法のほうが比較手法に比べて正答率が高いという結果が示された。これらのことから、教科書風の内容であっても提案手法のほうが比較手法に比べて単語の記憶容易性を向上させられることがわかった。さらに、システムの使用感について、不快感を感じた実験協力者はほとんどおらず、実際の学習環境に近い利用が可能であることから、本提案システムは実験参加者に負荷を与えず手軽に単語の記憶容易性を向上させられることが示された。

しかし、視線の取得に関しては完璧ではなく、一部の実験協力者はぼかしの変化が想定通りに行えていない可能性があった。今後はより正確なアイトラッキングを用いた実験を行うことで、視線取得による影響を軽減していく。また、今回の実験ではぼかしの深度は一定であり、単語の種類や長さで変化するにはしていなかった。そのため、同じ深度でも内容によって読みにくさに差が生まれていた。それぞれの内容に最も効果的なぼかしの深度が存在した場合、ぼかしを与える単語の内容によってぼかしの初期深度を変化させるなどといった調整がより単語の記憶容易性を向上させる可能性が考えられる。また、流暢度を変化させる手法として現在はぼかしを利用しているが、ほかにもさまざまな流暢度変化手法への応用が考えられる。今後はぼかしの初期深度が与える影響やほかの流暢度変化手法への応用可能性について調査していく予定である。

参考文献

- [1] H. Ebbinghaus. *Memory: A Contribution to Experimental Psychology*, Nabu Press (2011).
- [2] D. M. Oppenheimer, C. Diemand-Yauman, and E. B.

- Vaughan.: Fortune favors the bold (and the italicized): Effect of disfluency on educational outcomes, *Cognition*, Vol. 118, No. 1, pp. 111-115 (2011).
- [3] V. W. Sungkhasettee, M. C. Friedman, and A. D. Castel.: Memory and metamemory for inverted words: Illusions of competency and desirable difficulties, *Psychon Bull Rev*, Vol. 18, No. 973, pp. 973-978(2011).
- [4] 青木柊八, 高野沙也香, 中村聡史.: 視線に連動した記憶対象文字列への非流暢性制御による記憶容易性向上手法, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (*HCI*), Vol.2023-HCI-201, No.2, pp.1-8 (2023).
- [5] 青木柊八, 高野沙也香, 中村聡史.: 視線に連動した記憶対象文字列へのぼかし深度操作による記憶容易性向上手法のより多角的な調査, *MVE2023-44*, Vol.123, No.433, pp.13-18 (2024).
- [6] R. Ito, K. Hamano, K. Nonaka, I. Sugano, S. Nakamura, A. Kake, and K. Ishimaru.: Comparison of the Remembering Ability by the Difference Between Handwriting and Typeface, *International Conference on Human-Computer Interaction*, vol. 1224, pp. 526-534 (2020).
- [7] 高野沙也香, 山崎郁未, 伊藤理紗, 濱野花莉, 菅野一平, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸築. 筆跡の自筆との類似性が記憶容易性に及ぼす影響の検証, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (*HCI*), vol. 2022-HCI196, no.2, pp.1-8 (2022).
- [8] J. Geller, M.L. Still, V. J. Dark, and S. K. Carpenter.: Would disfluency by any other name still be disfluent? Examining the disfluency effect with cursive handwriting, *Mem Cogn*, vol. 46, pp. 1109-1126 (2018).
- [9] 藤原采音.: 英単語の記憶と色の関係: 英単語を効果的に暗記するために, 東京女子大学言語文化研究会, no. 28, pp. 77-106 (2020).
- [10] 宮川法子, 服部雅史.: 文字の流暢性が単語記憶課題に与える影響: ワーキングメモリの観点から, *Cognitive Studies*, vol. 24, no. 3, pp. 450-456 (2017).
- [11] C. L. Yue, A. D. Castel, and R. A. Bjork.: When disfluency is—and is not—a desirable difficulty: The influence of typeface clarity on metacognitive judgments and memory, *Mem Cogn*, vol. 41, pp. 229-241 (2013).
- [12] T.M. Rosner, H. Davis, and B. Milliken.: Perceptual blurring and recognition memory: A desirable difficulty effect revealed, *Acta Psychologica*, vol. 160, pp. 11-22 (2015).
- [13] 脳ブロック ラインアップ/ご購入 | Toy & Hobby, 入手先 (<https://tenyo.jp/toyhobby/bb/lineup.html>) (2025.01.18).