

明治大学大学院

2024年度 修士論文

論文題名 視線に連動したぼかし深度制御が単語の記憶容易性に

与える影響の調査

先端数理科学研究科 先端メディアサイエンス専攻

指導教員名 中村 聡 史

本人氏名 青木 柊 八

2024 年度 修士学位請求論文

視線に連動したぼかし深度制御が
単語の記憶容易性に与える影響の調査

明治大学大学院先端数理科学研究科
先端メディアサイエンス専攻

青木 柊八

Master's Thesis

Investigation of the Impact of Gaze-Linked Depth of Field Control on the Ease of Word Memorization

Frontier Media Science Program,
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,
Meiji University

Aoki Tohya

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。特に、学習プロセスにおいて効率的に情報を記憶し、活用することは、個人の成長や社会的成功に大きな影響を与える。特に単語学習のような記憶を要する学習活動では、情報を短期的に覚えるだけでなく、長期的な記憶に定着させることが重要である。そのためには、繰り返し学習が欠かせない。繰り返し学習は、記憶の強化と知識の維持に効果的であることが多くの研究で示されており、間隔を空けて復習を行う「繰り返し学習」などの手法は、単語の定着率を向上させる有効な方法として知られている。しかしながら、繰り返し学習は単純である一方で、多くの学習者にとって困難な側面も伴う。一つには、学習を継続するためのモチベーションを維持することが難しい点が挙げられる。単調な作業が長期間続くと、飽きや疲れによって学習が中断されることが少なくない。また、どのタイミングでどの単語を復習すべきかといった計画的な学習管理が必要であり、これを適切に実行することも、多くの学習者にとって課題となる。

そこで本研究では、繰り返し学習にかかる労力の問題に着目し、覚えたい重要な箇所の上に視線に連動して深度が変化するぼかしをかけることで、その箇所の記憶効率を向上させる学習支援手法を提案する。

提案手法の有効性を検証するために、ぼかしがかかっている文字列に視線を向けると段階的にそのぼかしが弱くなっていくシステムを実装し、架空の記憶対象の特徴情報を用いた実験を実施した。実験では、実験協力者に対して、視線に連動したぼかしが適用された条件と、ぼかしが一切かかっていない条件の両方で記憶課題を実施してもらい、その後、記憶内容に関するテストを実施した。その結果、視線に連動したぼかし条件においては、テストの得点がぼかしなし条件に比べて有意に高い成績を示すことが明らかとなった。さらに、正解を導いた単語に対しては、実験協力者の視線が長時間その箇所に固定されていたことが確認され、視線の維持時間と記憶の定着との間に相関が見られた。これらの結果は、視線に連動した動的な視覚効果が、実験協力者の注意を効果的に誘導し、結果として記憶の効率化に寄与する可能性を示唆するものである。

しかしながら、単にぼかしを適用した場合において、実験協力者が記憶すべき対象が視

覚的に目立つだけで、他の強調手法と同様の効果が得られているのではないかという疑問が生じた。そこで、比較対象として、黄色のマーカーでハイライトした条件も設定し、再度実験を行った。その結果、視線に連動したばかりし条件は、黄色ハイライト条件に対してもテスト成績が有意に高いことが確認された。これにより、単に重要箇所を視覚的に目立たせるのではなく、ユーザの視線操作と連動して動的に流暢度を変化させる点が、記憶効率向上において有効であることが示唆された。

次に、本研究の提案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った。従来の実験では、架空の記憶対象として箇条書きの特徴情報を提示していたが、実際の学習環境では、教科書や授業で作成されたノートといった既存の記憶対象から学習者自身が重要だと判断する箇所を選定する必要がある。そこで、あらかじめ用意された記憶対象の文章や画像に対して、ユーザがマウスやタッチ操作等でその上をなぞることで、該当部分に対して視線に連動したばかりし効果を適用できるシステムを設計した。実利用実験では、学習者が同一の文章を対象に、視線に連動したばかりしを用いた場合と、ハイライトを用いた場合とで、学習後のテスト成績を比較検討した。その結果、実験協力者が同程度の時間文章を閲覧した場合でも、視線に連動したばかりし制御を利用した学習条件においては、ハイライト条件に比べてテスト得点が有意に向上することが確認された。また、実験結果からは、生物系のテーマに関する文章においては、視線に連動したばかりし効果の差が物語系のテーマに比べて顕著に表れる傾向が認められた。さらに、視線に連動したばかりしを利用した場合の方がハイライトを利用した場合に比べてマークされた箇所における正答率が高くなることが明らかになった。このことから、視線に連動したばかりし深度制御は、学習者が自ら重要と判断した情報に対して自然な形で注意を集中させる効果的な手法であるといえる。

また、本システムのユーザビリティについても、実験協力者へのアンケート調査を実施したところ、システムの使用感に関しては不快感や操作性に対する不満がほとんどなく、実際の学習現場においても容易に利用可能であるとの評価が得られた。これにより、視線に連動したばかりしによる学習支援手法は、従来の単調な復習方法に比べ、学習者の積極的な注意の誘導と記憶の定着を促進する効果的な手段として、教育現場や自己学習のサポートツールとして実用性が高いことが示唆された。

以上の実験と分析から、視線に連動したばかりし深度制御手法が単語の記憶容易性を向上させるのに有用であること、そして提案システムが実際の学習現場においても容易に利用可能であることが示唆された。

Abstract

Memory is a crucial element at the core of the ability to accumulate and utilize human experiences and knowledge. In particular, efficiently memorizing and applying information during the learning process has a significant impact on personal growth and social success. In learning activities that require memorization, such as vocabulary learning, it is important not only to remember information in the short term but also to establish it in long-term memory. To achieve this, repetitive learning is essential. Repetition has been shown in many studies to be effective for strengthening memory and maintaining knowledge, and techniques like "spaced repetition," which involves reviewing information at intervals, are known to be effective in improving vocabulary retention. However, repetitive learning, while seemingly simple, presents challenges for many learners. One of the difficulties is maintaining motivation to continue learning. When monotonous tasks continue over long periods, learning is often interrupted by boredom or fatigue. Additionally, there is the need for a well-organized learning plan, such as deciding when to review which words, and effectively executing this plan is another challenge for many learners.

To verify the effectiveness of the proposed method, we implemented a system in which the blur applied to a string of characters gradually diminishes as the user's gaze focuses on it, and conducted experiments using feature information of a fictitious memory target. In the experiment, subjects performed memory tasks under two conditions: one with a gaze-linked blur applied and one without any blur. A subsequent test on the memorized content revealed that scores under the gaze-linked blur condition were significantly higher than those in the no-blur condition. Furthermore, for words answered correctly, it was confirmed that subjects maintained their gaze on those areas for longer periods, indicating a correlation between gaze fixation duration and memory consolidation. These results suggest that dynamic visual effects synchronized with the user's gaze effectively guide attention and contribute to more efficient memory encoding.

Nevertheless, a question arose as to whether the application of a blur merely made the target information visually prominent, yielding effects similar to other emphasis techniques. Therefore, a comparison condition using yellow highlighters was set up, and the experiment was repeated. The results confirmed that the gaze-linked blur condition produced significantly higher test scores even compared to the highlighting condition. This indicates that it is not simply the visual salience of important parts that is effective, but rather the dynamic modulation of fluency in synchrony with the user's gaze that contributes to improved memory efficiency.

Next, we extended the proposed method to be applicable in actual learning scenarios. In previous experiments, bulleted characteristic information was presented as imaginary memory targets. However, in real learning environments, learners must select important sections from existing memory targets, such as textbooks or notes taken during classes. To address this, we designed a system that allows users to apply a gaze-linked blurring effect to specific sections by tracing over them with a mouse or touch operation on pre-prepared text or images. In a real-use experiment, we compared test performance after learning under two conditions: one using gaze-linked blurring and the other using highlighting on the same text. The results showed that even when participants spent the same amount of time viewing the text, test scores were significantly higher under the gaze-linked blurring condition than under the highlighting condition. Additionally, the experimental results indicated that the effect of gaze-linked blurring was more pronounced for texts related to biological themes than for narrative-based themes. Furthermore, the accuracy rate for marked sections was higher when using gaze-linked blurring than when using highlighting. These findings suggest that gaze-linked blur depth control is an effective method for naturally guiding learners' attention to the information they consider important.

Regarding the system's usability, a questionnaire survey conducted with experiment participants revealed minimal discomfort or dissatisfaction with operability, indicating that the system is easy to use in actual learning environments. As a result, gaze-linked blurring as a learning support method has been suggested to be a practical tool for educational settings and self-study, offering a more effective approach than conventional monotonous review methods by actively guiding learners' attention and promoting memory retention.

From these experiments and analyses, it was suggested that gaze-linked blur depth

control is useful for improving word memorization and that the proposed system can be easily implemented in real learning environments.

目次

第1章	はじめに	1
1.1	記憶の重要性と課題	1
1.2	学習のデジタル化	1
1.3	非流暢性効果	2
1.4	研究目的	3
1.5	本稿の構成	3
第2章	関連研究	5
2.1	記憶と学習に関する研究	5
2.2	非流暢性効果に関する研究	6
2.3	ぼかしによる非流暢性効果に関する研究	7
2.4	視線取得と視線分析に関する研究	8
第3章	提案手法とプレ実験	11
3.1	視線に応じた流暢度変更による記憶容易性向上手法	11
3.2	プロトタイプシステムの実装	11
3.3	プレ実験の目的	12
3.4	プレ実験の実験設計	12
3.5	プレ実験の実験手順	13
3.6	プレ実験結果	15
3.7	プレ実験考察	16
第4章	視線に連動したぼかし深度調査の基礎調査	17
4.1	実験設計の変更点	17
4.2	実験結果	19
4.3	実験考察	21

第5章	既存手法との比較実験	23
5.1	実験設計の変更点	23
5.2	実験結果	25
5.2.1	点数分析	26
5.2.2	視線分析	27
5.3	実験考察	30
第6章	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	32
6.1	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	32
6.2	実験の概要	34
6.2.1	問題設計	34
6.2.2	実験の流れ	35
6.3	実験結果	37
6.3.1	点数分析	37
6.3.2	マークされた箇所の分析	39
6.3.3	視線分析	40
6.3.4	システムの使用感に関するアンケート結果	40
6.4	実験考察	41
第7章	総合考察	44
7.1	制約と今後の展望	45
第8章	結論	46

第1章 はじめに

1.1 記憶の重要性と課題

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為に網羅的に記憶しなければならない。しかし、記憶するという行為自体は容易ではなく、多くの人は新しい情報を記憶する際に苦戦を強いられる。その理由の一つとして、覚えたことをすぐに忘れてしまうことがあげられる。記憶にはいくつかの種類が存在し、その中でも特に短期記憶と長期記憶は暗記において大きな役割をもつ。短期記憶とは比較的短い期間頭の中に保持される記憶のことであり、情報を一時的に記憶する能力のことである。短期記憶に保持できる情報量について、Miller[1]は短期記憶の容量は一定であり、短期記憶できる情報量には限りがあることを明らかにした。そのため、一般的に短期記憶を長期記憶に昇華させることが暗記する上で重要である。

情報を長期記憶に保持する方法として、繰り返し学習を行う方法がある。Ebbinghaus[2]は記憶について、忘却は始めに急速に進行するが、ある一定程度忘却が進行すると次第にその忘却率が緩やかになるということを明らかにしている。また別の実験より、時間間隔をあければあけるほど再び学習するまでにかかる時間が多くなることを明らかにしている。これらのことから、情報を長期的に保持する際には、繰り返し学習を行う必要があるが、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。

1.2 学習のデジタル化

スマートフォンやコンピュータの普及に伴い、教科書のデジタル化や勉強用のアプリケーションなど、電子媒体で学習を行う機会が増加している。ここで、文部科学省による全国の公立学校（小学校、中学校、義務教育学校、高等学校、中等教育学校及び特別支援学校）を対象とした学校における ICT 環境の整備状況等の調査 [3] によると、令和3年度の学習者用デジタル教科書整備率は36.1%であり、前年度から29.9%上昇した。また、長塚ら [4] の調査によると、大学生108人のうち56%がパソコンでのノートテイキングの

経験があることがわかった。さらに、清水ら [5] は ICT 教材を活用した授業は、ICT 教材を活用しない授業と比較して、児童・生徒による評価がよく、教科ごとの成績も高くなったことを明らかにしている。これらのことから、今後さらに教材などのデジタル化が進み、紙媒体ではなくノートパソコンやタブレット端末で勉強をする機会が増えることが予想される。そこで本研究では、ノートパソコンやスマートフォン、タブレット端末などのデジタル媒体を利用した学習における支援が可能となるシステムを目指す。

1.3 非流暢性効果

単語の記憶しやすさに関して、様々な研究が行われている。Diemand-Yauman ら [6] は、流暢度の低さが文字の記憶容易性を高める効果を明らかにした。また、Sungkhasettee ら [7] は、文字を上下反転して読みにくくすることで記憶容易性があがることや、Ito ら [8] は手書きで書かれた文字とフォント文字との比較により、読みにくい手書きで書かれた文字のほうが記憶に残りやすいことを明らかにしている。これらのことから、覚えたい単語の流暢度を低くすることは、単語の記憶しやすさを向上させることがわかる。しかし、これらの手法を既存の学習教材に適用するには、文字情報を差し替える必要があるため、紙・デジタルどちらの学習教材においても実現は容易ではない。

非流暢性効果の一つとしてぼかしを利用する方法も存在し、様々な研究が行われている。Yue ら [9] はぼかしのかかった単語とぼかしのかかっていない単語とを比較した記憶実験を実施し、ぼかすことは流暢度を下げる効果があるが、記憶容易性を向上させる効果はないということを明らかにしている。一方、Rosner ら [10] はぼかしの深度が弱い場合は記憶を向上させる効果が弱い、ぼかしの深度が強い場合は記憶力を向上させる効果があることを示している。さらに、黒田ら [11] はワーキングメモリ容量にもとづいて様々な深度のぼかしによる非流暢性効果の検討を行い、非流暢な文字だけを提示した場合には与えたぼかし深度に関わらず非流暢性効果が弱く記憶に残りにくいことを明らかにしている。

ぼかしは文字列の上から適用して流暢度を下げることができるなど、既存のコンテンツに容易に適用可能であるため、本研究において流暢度を変更する手法として適していると考えられる。しかし、ぼかしによる非流暢性効果は研究によってばらつきが大きく、非流暢性効果がうまく機能しない場合が多い。このぼかしが効果的に働いていない要因として、ぼかしが弱い場合だと学習への負荷が十分でなく、視認しやすいぼかしなし条件のほうを相対的に覚えやすいと認識するため、結果として見やすいぼかしなしの単語をよ

り覚えてしまったことが考えられる．この問題はぼかしを強めることで負荷を増加させ、ぼかしあり条件の単語を注視しなければいけない状況を作ることによって解決できる．しかし、これは単語のみを提示した場合の非流暢性効果の話であり、ひとの視線は低解像度の部分から高解像度の部分に誘導されるため [12]、教材における文章内の覚えたい箇所のみにはぼかしをかけるだけではそれ以外の部分に視線が誘導されてしまう．その結果、ぼかしがかかっている部分が読み飛ばされるなど注意が十分に向けられない可能性が考えられる．

1.4 研究目的

そこで著者は、記憶対象をぼかして非流暢性効果を狙いつつ、またぼかしにより流暢度を下げられた記憶対象への注視を誘導する手法を提案する．具体的には、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、記憶対象のぼかしを徐々に弱め、はっきりと見えるようにすることで流暢度を上げるものである．ユーザはぼかされた部分に視線を向けるとその記憶対象文字列の流暢度が高くなっていくため、視線が滞留する．また滞留時に文字列の流暢度が変化するという負荷により文字列が記憶に残りやすくなると期待される．これらを踏まえ、本研究は視線に連動したぼかし深度制御手法の提案とそれを利用した学習支援システムの実装と検討を目的とする．

具体的には、まず「視線による流暢度の変化を文章内の記憶すべき文字列に与えることで、その単語の記憶容易性が向上し、より記憶に残りやすくなる」という仮説のもと、視線に連動したぼかし深度制御手法が単語の記憶容易性に与える影響を特徴記憶実験を通じて調査し、その手法の有用性を検証する．次に、上記の提案手法をシステムとして実装し、実際の学習環境に近い設計で利用実験を実施することにより、その実用性や学習効果を評価する．これらの結果を踏まえ、視線に連動したぼかし深度制御手法およびそれを活用した学習支援システムの有用性について考察する．

1.5 本稿の構成

本稿は、本章を含む全 8 章から構成される．まず、本章では記憶学習の難しさと、単語の記憶容易性を向上させる非流暢性効果について述べた．次に、第 2 章では、本論文に関連する研究を取り上げ、その位置付けを明確にする．第 3 章では、本論文の提案手法および調整のために実施したプレ実験について詳細に説明する．第 4 章では、提案手法の有用性を調査するために実施した比較実験について述べる．第 5 章では、第 4 章の実験

結果を踏まえ、記憶対象の明確化が与える影響を調査するために、実際の学習で利用される既存手法との比較実験について述べる。第 6 章では、実際の学習環境で活用可能な提案手法を組み込んだ学習支援システムの利用実験について述べる。第 7 章では、本研究の総合的な考察と今後の展望を示し、第 8 章で本稿のまとめを行う。

第2章 関連研究

2.1 記憶と学習に関する研究

学習における記憶とその効率の向上に関する研究はいくつか存在する。Gu ら [13] は、英単語学習に使用される技術とその学習成果との関係を調査し、その結果自己主導と選択的注意といったメタ認知技術と英語試験のスコアが正の相関を示すことが明らかになった。また、5つの学習アプローチを特定し、個別の技術ではなくこれらの組み合わせが学習成果の違いに影響を与える可能性が示唆された。Atkinson ら [14] は外国語語彙学習における記憶術「キーワード法」の効果を調査した。その結果、キーワード法は非常に効果的であり、ロシア語の語彙学習において、キーワード法を使用したグループは、最も重要なテストで72%の正答率を記録し、使用していないグループの46%と比較して有意に高い成果を上げた。Kornell[15] はフラッシュカードを用いた学習で間隔効果を調査し、単語ペアの学習においてカードを1つの大きな束として学習する方が小さな束に分けて学習する場合や詰め込み学習よりも効果的であることを示した。また、間隔学習が90%の参加者において効果的であることを明らかにした。Cepeda ら [16] は、学習間隔とテストまでの時間の関係を調査し、最適な学習間隔がテスト間での時間に応じて変化することを発見した。その結果、最初は学習間隔を延ばすことでテスト成績を向上させられるが、その後徐々に低下することが示された。また、最適な間隔はテストまでの時間が長いほど延びるが、その割合としては短縮し、1週間遅延では約20~40%、1年遅延では約5~10%が最適であった。

湯浅ら [17] は、有酸素運動が認知機能を改善する知見に基づき、英単語暗記への応用を提案した。ステップを用いた有酸素運動とスマートフォンのフラッシュカードアプリを組み合わせた手法の効果を検証した結果、正答率が暗記後3日後では7%、1週間後では6%向上することを明らかにした。伊藤ら [18] は、暗記学習における替え歌の活用に注目し、ユーザーが入力した暗記したい項目を歌詞に割り当てるアルゴリズムを用いて、既存楽曲を基に替え歌を生成する暗記用替え歌自動生成システムを提案した。評価実験において、このシステムによる替え歌が丸暗記に比べて学習効果を高めることが示唆され、

暗記学習の新たな方法論としての可能性が示された。Roediger ら [19] は、記憶テストを受けることで単なる再学習よりも長期的な記憶保持が向上する「テスト効果」を調査した。その結果、5 分後にテストが行われた場合、繰り返し学習は繰り返しテストよりも再生率を向上させるが、一週間後にテストが行なわれた場合、繰り返しテストの方が繰り返し学習よりもはるかに大きな記憶保持をもたらすことを明らかにした。これらの研究はどれも学習における効果的な手法の提案を行っている。本提案手法では非流暢性効果と視線による変化を利用することで単語の記憶しやすさの向上を狙う。

2.2 非流暢性効果に関する研究

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。谷上 [20] は文章の書体が読みやすさと記憶に及ぼす影響について、内容が同じであるならば、黒板に手書きで板書するよりフォントでスクリーンに投影するほうがより読みやすい印象を与え、記憶に関してはフォントのような表面的な特徴の影響を受けないことを明らかにしている。山崎ら [21] は記憶対象の文字の太さの違いが記憶容易性に及ぼす影響について、特徴記憶実験を行った結果、文字の太さを変化させても記憶効果は変わらない可能性を明らかにしている。Weissgerber ら [22] は文章を読みづらいフォントで提示するほうが読みやすいフォントで提示する場合よりも、文章を忘れにくくすることを明らかにしている。一方で、根岸ら [23] はフォントタイプによる文章理解の効果を検証するため、読みやすいフォントと読みにくいフォントで単語を 1 分間提示し、30 秒のインターバルの後に記憶テストを行った。その結果、読みにくいフォントで単語を提示された場合のほうが、記憶において不利であることを明らかにしている。Geller ら [24] 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ほうが読みにくい筆記体よりも記憶に残ることを示している。

文字色やその薄さを利用した非流暢性効果についても、様々な研究が行われている。藤原 [25] 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、青色と黒色は短期間での記憶においても長期間の記憶においても差がない可能性を示している。また、Diemand-Yauman ら [6] 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示し、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明らかにしている。宮川ら [26] はフォントと文字色の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示唆

している。このことから、著者は文章内の文字列に動的な変化を与えることがその文字列に特徴を与え、記憶容易性をより向上させると考えた。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が、これらの非流暢性効果は文字自体に変化を与えているため、既存の教材などに手軽に適用できない。そのため、学習に組み込むことが難しい。本研究では、文字の上から変化を与えることが可能なぼかしを文字の流暢度を下げる手段として利用することで、手軽に既存の教材に適用可能であると期待される。

2.3 ぼかしによる非流暢性効果に関する研究

Yue ら [9] は、単語にぼかしをかけることがその単語の学習評価や記憶率に影響があるかを調査した。その結果、ぼかしあり条件とぼかしなし条件の単語を混合して提示した場合ではぼかしなし条件の学習評価と想起率が高くなった。一方で、ぼかしあり条件とぼかしなし条件の単語を混合せずに提示した場合でぼかしなし条件のほうが想起率は高くなるが、学習評価はぼかしあり条件のほうが高くなることを明らかにしている。このことから、ぼかすことで流暢度を下げる効果があっても、記憶を向上させる効果はないことに加え、ぼかしありとなしの両条件を見せた場合、ぼかしなしのほうが覚えやすいことが示唆されている。一方、Rosner ら [10] はぼかしが記憶に与える影響について、ぼかしありとなし条件における単語の記憶率を調査した。その結果、ぼかしあり条件とぼかしなし条件が混合していたかどうかに関係なく、ぼかしあり条件の単語を多く覚えていたことを明らかにしている。しかし、ぼかしの深度を少し下げて実験を行ったところ、ぼかしなし条件のほうがぼかしあり条件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を向上させる効果が弱い、ぼかしの深度が強い場合は記憶力を向上させ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ほうが良く、その場合であればぼかしあり条件となし条件が混合していてもぼかしあり条件の記憶率が高くなる可能性が示唆されている。

さらに、黒田ら [11] はワーキングメモリ容量 (WMC) にもとづいて様々な深度のぼかしによる非流暢性効果の検討を行っている。実験では、実験協力者にぼかしあり条件のひらがな単語とぼかしなし条件のひらがな単語を提示し、2 分の妨害課題の後に単語の再生率がどのように変化したかを調査した。その結果、WMC の個人差に関わらず非流暢性効果が確認されなかったことを明らかにしている。Strukelj ら [27] は、280 文字のスウェーデン語により構成された文章に弱めのローパスフィルタをかけた場合とかけなかった場

合で記憶に影響を与えるのか調査を行った結果、流暢度の変化は学習効果、単語や行の総読書時間、行の 1 回目または 2 回目の読書、または平均固視時間に影響を与えないことを明らかにしている。このことから、文章全体にぼかしをかけるだけでは記憶や視線に影響を与えにくいことが示唆されている。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が、研究によって実験方法が異なり、結果にばらつきが存在する。本研究では同じようにぼかしによる非流暢性効果を狙いつつ、視線に連動した変化でその効果を向上させる。

2.4 視線取得と視線分析に関する研究

視線応用に関する研究はいくつか行われている。Lu ら [28] はビデオを見ている際に流れる広告に関して男性よりも女性のほうが視線の動きが活発であることや、ユーザの目の動きと広告の想起に正の相関があることを明らかにしている。大野 [29] は Web ブラウザにおける閲覧者の情報選択行動と視線についてその関係性を調査し、閲覧者が領域について注視する際に 200~500ms 程度の時間を要することを明らかにしている。加藤ら [30] は、スマートフォンでの Web ページに対するユーザの興味度合いが、注視時間と強い相関があることを明らかにしている。また、視線を応用した研究も様々に行われている。岡谷ら [31] は、ユーザの視線がディスプレイ上の任意の点に注目したときに、その奥行きにフォーカスされた映像を提示することで奥行き感を強化する手法を提案している。Tamura ら [32] は Web 上で共有される動画像に対して、目の動きに応じてエフェクトをかけ、動画像の視聴体験を豊かにする手法を提案した。その結果、映像の衝撃と臨場感が増幅し、視聴体験をより楽しませることが可能であることを明らかにしている。

Yamaura ら [33] はデジタルコンテンツを視聴する際に、周辺視野にぼかしを与えることで、映像コンテンツに対する実験協力者の心理的印象をよくすることが可能であることを明らかにしている。これらのことから、ひとの視線がもつ特性は様々なことに応用可能であるということがわかる。本研究では視線に適切な負荷を与えることで文字列の記憶容易性を向上させ、学習における支援を行う。橋本ら [34] は、動画再生中における広告表示の視線誘導効果を視線計測を用いて調査した結果、視線移動には広告のレイアウトが重要な影響を及ぼす一方で、色の誘目性の影響は限定的であることを明らかにした。また、動的な広告は静的なバナー広告よりも視線を集めやすいことも示された。Lima ら [35] は、視線解析を用いて読解の主観的理解度を推定する手法を提案し、従来の質問回答に基づく方法に比べて 13%精度が向上することを示した。Cheng ら [36] は、自閉症児の

興味分析システムを開発し、視線追跡データを基に注視時間や視線移動パターンを解析する手法を提案した。この研究では興味領域の設定を通じて注視データを評価し、健常児との比較や個別の行動特性の分析を行った。また、視線データの可視化を活用して自閉症児の注意分布や興味傾向を明確化する方法を示した。山田ら [37] は、テレビ画像の視線動作を分析するために開発した「注視点情報分析装置」を用い、視線の動きに基づく心理効果の客観的評価を試みた。実験の結果から、ステレオ音像によって視線が誘導され注視点分布が広がることやハイビジョン映像では視線が画面全体を大きく速く動く一方、興味のある部分では低速で細かく動くことを明らかにした。Toker ら [38] は、Magazine Style Narrative Visualizations (MSNVs) を用いたユーザースタディを通じ、視線追跡データを分析し、ユーザー特性（例：読解能力の低さ）がタスクパフォーマンスに及ぼす影響を調査した。その結果、読解能力の低いユーザーは視線移動が頻繁で、特に関連性の低いバー間やバーとラベル間を移動する傾向があることを明らかにした。

また、視線に関する研究の中には視線分析手法に着目したものもいくつか存在する。天野ら [39] は看護における視線の測定方法、分析方法、対象者数の妥当性を明らかにするため、動作を伴う視線計測に関する先行研究内容を帰納的に分析し、視線の測定方法や分析方法の妥当性を検討した。その結果、参加者 11 名以上を対象とした文献では、若齢者と比較した高齢者の視線、非熟練者と比較した熟練者の視線の特徴を統計学的検定から明らかにしており、分析指標としては「注視時間」「注視回数」「注視項目変化表」「視線軌跡」が多く用いられていたことを明らかにした。Miyagi[40] らは視線軌跡を記号列化し、N-gram 解析を適用することで、興味領域（AOI:Area of Interest）の推移パターンを抽出する手法を提案した。この手法では、階層的に定義された AOI を基に視線の移動を記号列に変換し、N-gram 解析によって特徴的な視線行動を検出した。さらに、抽出されたパターンを力指向グラフを用いて可視化することで、視線軌跡の特徴や実験協力者間の差異を直感的に理解できることを示した。江川 [41] は、視覚的注意をモデル化する Saliency Map を用いて画像をセグメント化し、視線データを基にセグメント間の遷移をネットワークとして構築する手法を提案した。この手法を利用することで、PageRank アルゴリズムを活用して各セグメントの重要度を定量化することで、重要領域の抽出や実験協力者間の視線行動の比較が可能であることを示した。

Mishulina ら [42] は視線イベントの自動検出を目的としたアルゴリズムを提案し、視線ポイントを空間および速度の両方で統合する新しいデータ処理手法を用いて、微細な視線イベントを形成し、それを統合してターゲットイベントを特定するプロセスを開発した。

Avila ら [43] は、視線追跡データに順列エントロピー分析を適用し、眼球運動が認知課題の種類と相関することを示した。実験結果は、実験協力者の行動が順序的パターン空間で2つの異なるグループにクラスター化されることを示しており、これにより種類ごとに異なる問題解決スタイルが存在することが示唆された。Burch[44] は、複数の参加者の眼球運動固定順序を積み重ねた線形表現として視覚的に符号化する新しい眼球運動プロットを提案した。この手法により、時間変動する眼球運動パターンが可視化され、比較可能になり、公共交通システムでのルート探索タスクにおいて有用性が示された。Andrienko ら [45] は視線追跡データの分析に地理的移動データの視覚分析手法を応用し、その有用性を評価した。地理的移動データで開発された 30 種類の分析手法を適用し、そのうち有効と判断された 23 種類について視線追跡データの特性や分析課題に適応できるかを検討し、視線移動の空間的・時間的パターンを効果的に解析するための手法と、それらを目的に応じて選択するためのガイドラインを提供した。これらの研究は視線を取得し、分析することで様々な課題の解決を図っている。本研究も、視線に連動して変化する学習を利用し単語の記憶容易性を向上させつつ、暗記学習の際の視線を取得し分析することで学習支援を行うことを目指す。

第3章 提案手法とプレ実験

3.1 視線に応じた流暢度変更による記憶容易性向上手法

非流暢性効果は記憶容易性を向上させるが、既存の教材に適用するためにはその教材の文字形状や文字色を変える必要がある。しかし、既存の教材が Word ファイルなどで配布されている場合は文字形状が変更できるが、紙の教材や PDF、またその他の電子書籍のフォーマットで表現されているものについては文字形状や文字色を変更することが難しい。

そこで著者は、既存の教材における記憶対象の流暢度を变化させるために、上から簡単に付与可能なぼかしに着目した。ぼかしは手書きや色などといったほかの流暢度操作と違い、その文字列自体に変化を与えるのではなく、文字列の上にフィルタとして付与することが可能であり、どのような場面でも手軽に適用することができる。しかし、1 章でも述べた通り、ぼかしによる非流暢性効果はばらつきが大きく [9, 10, 11]、うまく機能しない可能性がある。また、テキスト上で部分的にぼかしが入っている場合、ユーザが読み飛ばしてしまう可能性も考えられる。これらのことから著者は、視線に連動して記憶対象文字列の流暢度を变化させる手法を提案する。具体的には、記憶対象をぼかしつつ、ユーザの視線がぼかされている対象に向けられた際にぼかしが弱まり、記憶対象がはっきり見えるようになる手法を提案する。また、記憶対象に視線を何度も向けさせるため、記憶対象上のぼかしは、視線が記憶対象の領域にある場合は弱まっていき、視線がその記憶対象の領域から外れると数秒後に元に戻るものとする。本システムの利用イメージを図 1 に示す。

3.2 プロトタイプシステムの実装

視線に連動したぼかし深度制御が記憶容易性に与える影響について調査するため、プロトタイプシステムを実装した。プロトタイプシステムでは記憶箇所を画像として切り出し、それにガウシアンフィルタを用いてぼかしをかけることでぼかし画像を作成する。その後、記憶タスクの該当領域の上にぼかし画像を重畳表示することで記憶タスクの対

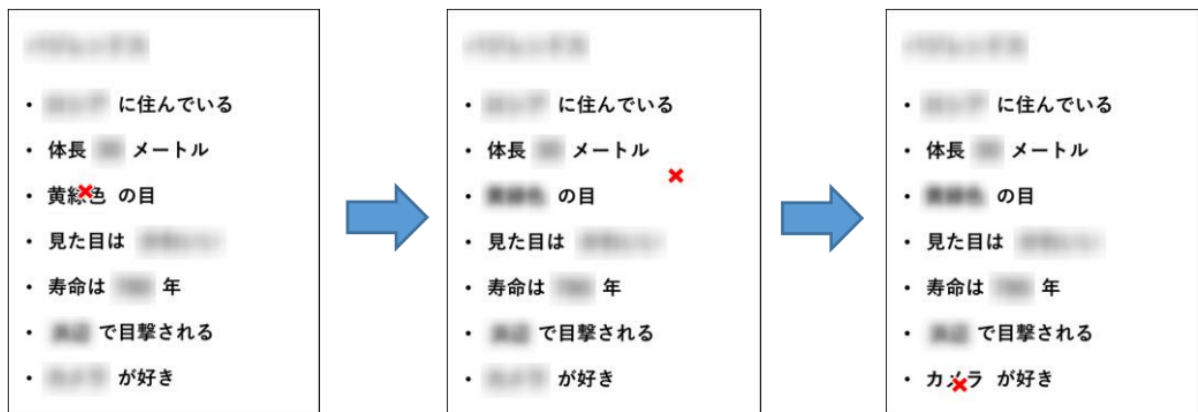


図 1: 本システムの利用イメージ (×を視線の位置と仮定)

象文字列にぼかしがかかっている状態を作り出す。また、視線を常時取得し、視線が文字列の領域内にある場合はぼかしを弱めていき、ぼかしが弱まっている際に視線が領域外に δ フレーム以上あった場合は再度ぼかしがかかるようにする。

文字列はガウシアンフィルタによるぼかしを行い、初期状態を σ_0 とした。文字列に視線を向けている間はその文字列にかかっているガウシアンフィルタの値を毎フレーム σ_{clear} ずつ下げ、ぼかしが晴れていくようにした。プロトタイプシステムは Processing を用いて実装した。また、本実験におけるフレームレートは約 20fps であった。

3.3 プレ実験の目的

「視線による流暢度の変化を文章内の記憶したい文字列に与えることで、その単語の記憶容易性が向上し、より記憶に残りやすくなる」という仮説のもと、特徴記憶実験を行い、その効果についての検証を行う。ここではまず、本実験を行う前に実験設計などに問題がないか、ガウシアンフィルタなどの設定値は適切であるかを確認するため、プレ実験を行った。

3.4 プレ実験の実験設計

実験では、山崎ら [21] が行った架空の物事の特徴を覚えてもらう特徴記憶実験設計における注意点を参考に実験を設計した。まず、普段触れる機会の少ない 4 つのテーマ（宇宙人、化石、惑星、宝石）を選定した。次に、それぞれのテーマについて架空の固有名詞を 3 つずつ創作し、固有名詞ごとに 7 つの特徴を用意した。なお、固有名詞の創作時には、

既存の単語や固有名詞と語感が似ないように工夫を行った。また、7つの特徴カテゴリは、山崎らの実験を参考に、国、1～2桁の数値、色、形容詞、3～4桁の数値、場所、既存の単語を採用した。

この実験では、ぼかしありとぼかしなしそれぞれ2テーマずつの文字を比較対象とした。また、どのテーマがどのような表示方法になるかについてはランダムに設定した。

3.5 プレ実験の実験手順

実験ではまず、視線のキャリブレーションを行い、正確に視線が取得できた人を実験協力者の対象とした。キャリブレーションを行った後に、実験についての説明を行い、サンプルとして用意した特徴記憶実験の例を実験協力者に提示し、視線に連動してぼかしが弱くなっていくことを説明した。また、テストのサンプルを実験協力者に見せることで、覚え方がわからないという問題を防止した。さらに、実験協力者には周りの音で集中が切れないようにノイズキャンセリング機能搭載のヘッドフォンを装着してもらった。

実験では、4種類のテーマについてそれぞれ架空の固有名詞が3つ、それぞれについて特徴が7つ提示されている画面を実験協力者に提示し、それらを90秒で覚えてもらった。図2と図3は実験時に提示された記憶タスクのひとつであり、図2がぼかしあり条件、図3がぼかしなし条件となっている。付録1～3が今回の実験で提示した残りの記憶タスクである。なお、ぼかしあり条件の場合、提示されている画面の重要な文字列にぼかしがかかるようにした。

実験では、 σ_0 を16、 σ_{clear} を2とした。また、 δ の値を40に設定した。毎セット実験を行う前にあらかじめ用意しておいたサンプルを提示することで視線が正しく取得できているかの確認を行った。

記憶対象を提示し始めてから90秒経過後、簡単な百マス計算を10分間行ってもらった。百マス計算を採用した理由は、だれでも簡単にできる単純作業を用いることで、特徴の記憶維持に意識を向けさせず、テスト時には長期記憶に昇華できた結果のみを得るためである。なお、特徴記憶実験では15分のインターバルをとることが多いが、百マス計算という単純作業である以上長時間行わせるとストレスによる負荷が発生すると考えたため、今回は10分に設定した。

テストでは固有名詞3つに対して、それぞれの特徴7つずつの計21項目のうち10項目を問題として出題した。付録4～7が今回の実験で利用したテストである。なお、計4回のテストで出題される全40問のカテゴリにおいて、山崎ら[46]の研究で正答率の高かつ

た国と形容詞の出題回数を7回，正答率の低かった場所と色の出題回数を6回，正答率の最も低かった1～2桁の数値と3～4桁の数値の出題回数を4回に設定した．テストは，提示した固有名詞と特徴を無作為に並べ，固有名詞の特徴を回答してもらう形式で作成した．この一連の流れをテーマごとに合計4回行った．また，毎回テストが終わった後にはそのテストのテーマに沿ったアンケートに回答してもらった．

実験で使用したPC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)を利用した．

宇宙人		
バジレンドス	フェルンヘ	ブレンコセオ
・ ロシア 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 ・ 浜辺 で目撃される ・ カメラ が好き	・ カナダ 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	・ 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 ・ ピアノ が好き

図 2: 記憶タスクの例（ぼかしあり）

宇宙人		
バジレンドス	フェルンヘ	ブレンコセオ
・ ロシア 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 ・ 浜辺 で目撃される ・ カメラ が好き	・ カナダ 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	・ 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 ・ ピアノ が好き

図 3: 記憶タスクの例（ぼかしなし）

3.6 プレ実験結果

実験協力者は大学生及び大学院生9人（男性5人，女性4人）であった．その中で視線取得に問題が生じた3人を分析対象から外し，最終的には6人（男性5人，女性1人）を分析対象者とした．

テストの採点基準は，解答のキーワードが含まれており，正答とみなせれば完全に解答と一致していなくても正解とし，1問10点換算で，100点満点とした．また，固有名詞と特徴の組み合わせを総入れ替えした際に点数が高くなる場合は，単純なミスであると捉えて入れ替えた際の点数を採用した．

テーマごとの得点の平均を図4に示す．ここで，テーマごとに多重比較を行ったところ，どのテーマ間においても有意差はなかった．これにより，テーマによる覚えやすさは同程度であることが示唆された．次に，提示方法ごとの得点の平均は，ぼかしあり条件が79.2点，ぼかしなし条件が78.3点であった．ぼかしあり条件のほうがぼかしなし条件より若干高くなったが，誤差程度であることがわかる．

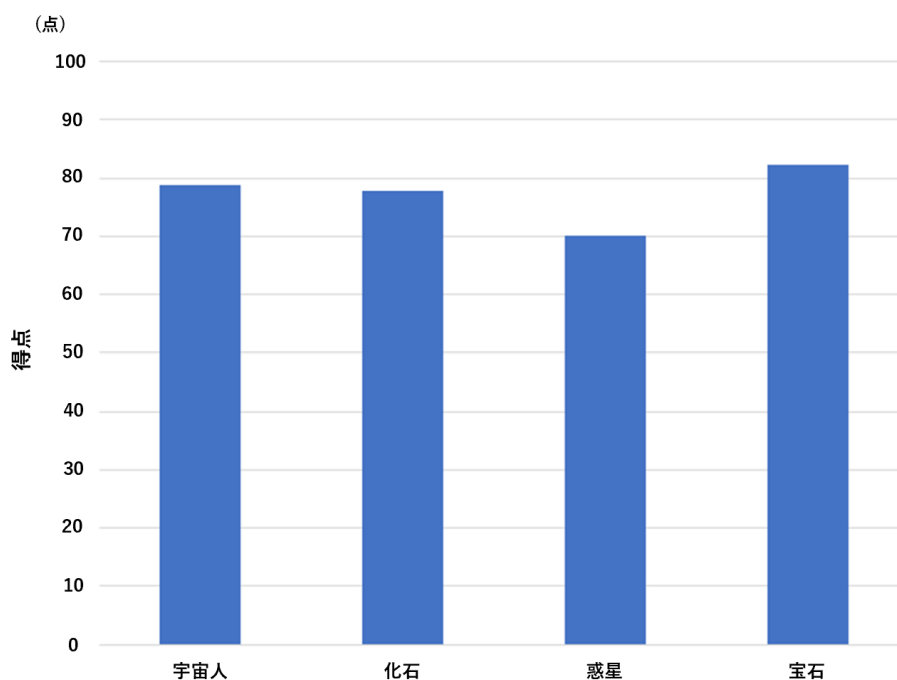


図4: テーマごとの得点の平均

3.7 プレ実験考察

プレ実験を行った結果、視線に連動した非流暢性制御を行うことによる点数の大きな差はあらわれなかった。十分な差が出なかった理由の一つとして、待機時間における10分間の百マス計算が考えられる。特徴記憶実験を利用した研究における待機時間の多くが15分であるのに対し、本研究では百マス計算が実験参加者へ与えるストレスを考慮して10分に設定していたが、この時間設定が適切ではなかったと考えられる。また、「特徴記憶実験における記憶対象の数値と百マス計算の数値を混同してしまう」といったコメントから、数字が出てくる百マス計算は待機時間に行わせるタスクとして適切ではなかったと考えられる。

次に、ぼかしの深度について考察を行う。プレ実験ではすべての文字列において始点の深度を一定にして提示していたが、単語の種類によって見え方が異なっていた。具体的には、ひらがなやカタカナ、数字に比べて漢字の文字密度が高いため、ぼかしによる影響が大きく出ている。図2のそれぞれの文字列の見やすさを確認すると、ひらがな、カタカナ、数字に比べて漢字がわかりにくいことが確認できる。これにより実験の統制が損なわれている可能性があった。そのため、見やすさをもとに、初期段階の深度を統一する必要がある。また、覚えてもらう特徴に関して似ている言い回しがいくつか存在し、別の特徴を回答している場合があった。そのため、提示する文章の言い回しを変更する必要があると考えた。

また、アンケートのコメントとして「時間制限の関係上復習する際にぼかしがかかっていると焦りが生まれてしまった」や「毎回提示される記憶対象のサンプルに記載されている特徴が記憶を邪魔している」といったものもあった。

本実験では、以上の知見やコメントをもとに実験を再設計し実施する。

第4章 視線に連動したぼかし深度調査の基礎調査

3章で行ったプレ実験の結果、実験設計における問題点が4つ浮上した。まず、記憶時間とテストまでの間に設けた待機時間中に行うタスクとして、複数の数字が表れてしまう百マス計算は不適切であった。また、視線取得が適切に行えているかを確認するためのテストとして用意した記憶対象のサンプルの内容が本番のテスト同様意味のあるものであったため、そこに記載されている特徴が記憶する際にノイズとなってしまった。さらに、単語に使われている文字の種類によって、ぼかしの深度にムラができてしまい、一部の単語が他と比べて読みやすい状態となっていた。最後に、復習の際にもぼかしの深度がかわらないため、一度確認した単語であってもぼかしが晴れるのを待たなければ再確認できないことによる焦燥感がストレスとなってしまった。そこで、この4つの問題点を解決するために実験の再設計を行った。

4.1 実験設計の変更点

まず、待機時間に取り組んでもらっていた10分間の百マス計算を15分間のジグソーパズルに変更した。このジグソーパズルはPCで遊ぶことができる Super Jigsaw Puzzle: Generations[47]を利用した。ジグソーパズルを採用した理由は、百マス計算と同様に誰でもできる単純作業であり、長時間行っても飽きにくいという特性をもっているためである。また、単語や数値なども含まれていないため、記憶してもらう文字列に与える影響も少ないことが予想される。実験では、条件の統制のため試行ごとにジグソーパズルを変更し、完成率に関わらず毎回別の絵柄のパズルを最初から行わせるようにした。

次に、最初に見せる練習用のサンプルとして、もともとは名前や特徴などが具体的に書かれている、本番に近い例を見せていたのだが、その特徴の内容を「あれ」や「それ」のように具体性を欠いたものに変更した。これにより、サンプルの内容がその後の記憶に与える影響を軽減した。

また、ぼかしの深度を統制するためにひらがな、カタカナ、数字のぼかしの初期深度を上げることで、文字列が初期段階ではかなり読みにくくなるように調整した(図5)。具体的には、漢字が含まれている文字列の σ_0 を16、 σ_{clear} を2とし、それ以外は σ_0 を24、

σ_{clear} を3とした．全体的に初期段階での読みにくさを上げた理由は，初期段階で文字列を読めるようにした場合，軽く見るだけでも内容を理解できてしまい，途中で視線を外してしまうことによって注視時間が短くなる可能性があると考えたためである．なお δ の値はプレ実験同様40に設定した．さらに，プレ実験のコメントに「復習の際にぼかしが晴れるのを待たなければいけなかったので焦ってしまった」という意見があり，復習として2回目以降に見る際に時間がかかるという問題を解決するため，文字列にかかっているぼかしが完全に晴れるまで視線を向けていた場合，次のぼかしは σ_1 までしか戻らないようにした．具体的には，漢字が含まれている文字列の場合に σ_1 を8，それ以外の場合には σ_1 を16になるようにすることで，図6のようにどの文字列も注視すれば読める状態になるように設定した．これにより，最初にしっかりと文字列を注視する時間を作りつつ，復習の際に焦りが生まれにくくなるようにした．

一方，覚えてもらう特徴に関して似ているような言い回しがあり，それが混乱を招いたというフィードバックもあったため，そのような似ている言い回しがなくなるように提示する単語を再度検討し，変更した．

その他の実験条件としては，プレ実験と同様の条件を採用した．なお，本実験では実験協力者の視線行動と記憶効果との関係を明らかにするため，視線のログを取得することで，実験協力者の視線の推移や各文字列をどれだけ視認していたかの分析ができるようにした．

宇宙人		
・ に住んでいる ・ 体長 メートル ・ の目 ・ 見た目は ・ 寿命は 年 ・ で目撃される ・ が好き	・ に住んでいる ・ 体長 メートル ・ の目 ・ 見た目は ・ 寿命は 年 ・ で目撃される ・ が好き	・ に住んでいる ・ 体長 メートル ・ の目 ・ 見た目は ・ 寿命は 年 ・ で目撃される ・ が好き

図5: 記憶タスクの初期段階でのぼかし深度

宇宙人		
バグレンドス ・ 惑星A に住んでいる ・ 体長 150 メートル ・ 黄緑色 の目 ・ 見た目は 可愛い ・ 寿命は 1000 年 ・ 森で 目撃される ・ 果物 が好き	デューン ・ 惑星B に住んでいる ・ 体長 200 メートル ・ 茶色 の目 ・ 見た目は 怖い ・ 寿命は 10000 年 ・ 図書館 で目撃される ・ 本 が好き	グレンゴ ・ 惑星C に住んでいる ・ 体長 180 メートル ・ 黒色 の目 ・ 見た目は 怖い ・ 寿命は 1000 年 ・ 病院 で目撃される ・ 食べ物 が好き

図 6: ぼかしが戻った後の記憶タスクのぼかし深度

4.2 実験結果

本実験の協力者は大学生および大学院生 22 人（男性 15 人，女性 7 人）であった．テストの採点基準はプレ実験と同様に行い，その結果を分析した．

まず分析にあたり，テーマごとの得点の平均を図 7 に示す．ここで，テーマごとに多重比較を行ったところ，どのテーマ間においても有意差はなかった．これにより，テーマによって覚えやすさが異ならないことが示唆された．次に，手法ごとの得点の平均を図 8 に示す．結果より，ぼかしありの平均得点は 61.6 点であり，ぼかしなしの平均得点は 53.9 点であった．なお，ぼかしあり条件とぼかしなし条件で t 検定を行った結果，ぼかしあり条件のほうがぼかしなし条件よりも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，文字列への注視と記憶との関係を調べるため，実験協力者の視線のログを分析する．まず，実験協力者がテストに出題された特徴となる文字列に視線を向けていた秒数を求め，その注視度合いと成績の関係を求めた．

まず，ぼかしあり条件とぼかしなし条件のそれぞれが，正解した問題の解答となる特徴に向けていた視線の合計時間と固視回数についての分析を行った．ここで，本研究では固視回数の定義として，ある文字列に視線を向けているときの 1 フレーム後の視線の移動距離が 10px 以下だったものとした．表 1 はぼかしあり条件とぼかしなし条件の正解した特徴に対する視線の合計時間の平均を示している．なお，この平均の算出においては， $\pm 2SD$ の間に含まれない値をもつものは事前に外れ値として除外した．この表から，ぼかしあり条件において正解した文字列に向けられた視線の秒数は，不正解した文字列に

向けられた視線の秒数に比べ十分大きいことがわかる。このぼかしあり条件における正解と不正解との間でt検定を行った結果、有意な差 ($p<0.01$) があることが明らかになった。一方、ぼかしなし条件においては正解と不正解には差がないことがわかる。

表2はぼかしあり条件とぼかしなし条件の正解した特徴に対する固視回数の平均を示している。ここでも、 $\pm 2SD$ の間に含まれない値をもつものは外れ値として事前に除外した。この表から、正解不正解に関わらず、文字列に向けられた固視回数においてぼかしあり条件のほうがぼかしなし条件よりやや多いことがわかる。ぼかしあり条件において正解した文字列に対する固視回数と、不正解した文字列に対する固視回数でt検定を行った結果、有意な差はないことが明らかになった。なお、ぼかしあり条件とぼかしなし条件を比較すると、正解・不正解いずれの条件においても記憶対象への固視回数に差があることがわかる。

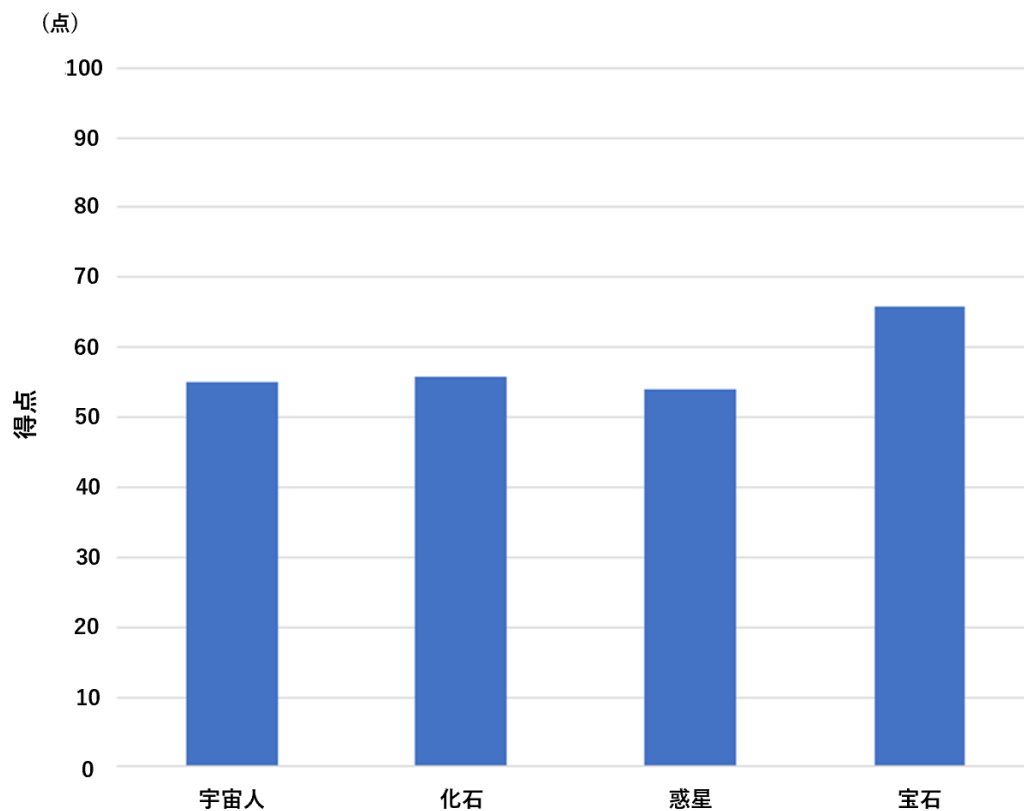


図 7: テーマごとの得点の平均

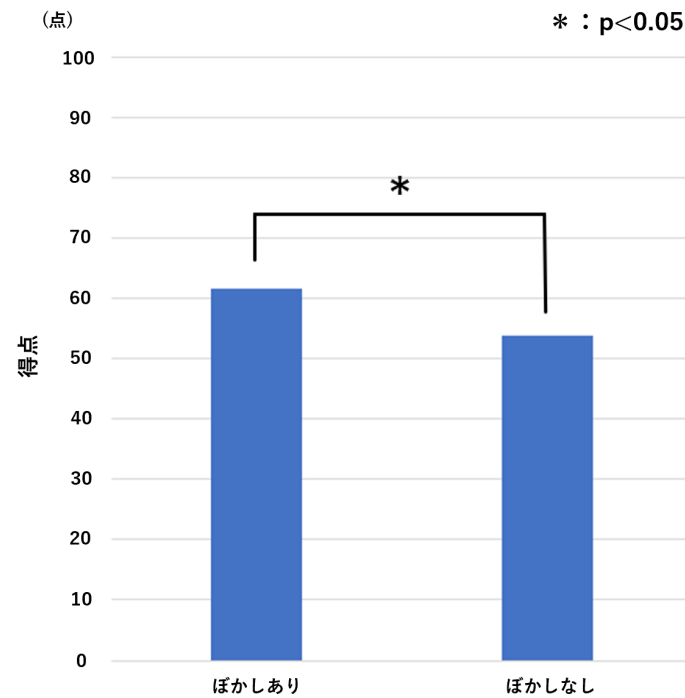


図 8: 手法ごとの得点の平均

表 1: ぼかしあり条件とぼかしなし条件の各文字列に向けられた視線の合計時間の平均

	ぼかしあり	ぼかしなし
正解	2.74s	2.27s
不正解	2.32s	2.35s

表 2: ぼかしあり条件とぼかしなし条件の各文字列に対する固視回数の平均回数

	ぼかしあり	ぼかしなし
正解	19.75	15.92
不正解	18.69	16.90

4.3 実験考察

実験の結果より、ぼかしあり条件のほうがぼかしなしの場合に比べて有意に得点が高かったことから、視線に連動した非流暢性制御を記憶対象文字列に与えることでその記

憶対象文字列の記憶容易性を高めることが可能であることが明らかになった。

また、表1の結果からぼかしあり条件において正解した文字列に向けられた視線の秒数と不正解した文字列に向けられた視線の秒数に有意な差 ($p<0.01$) があることから、視線に連動した非流暢性制御を行うことで視線をその文字列により長い時間向けさせられることが可能となり、それが文字列の記憶容易性を向上させる効果を与えていることが示唆された。

しかし、表2の結果を見るとぼかしあり条件において正解した文字列に対する固視回数と不正解した文字列に対する固視回数には有意な差がなかったことから、視線に連動した非流暢性制御は固視回数を増やす効果があるが、それが文字列の記憶容易性を向上させる効果を与えたわけではないことが示唆された。

これらのことから、視線に連動した非流暢性制御を行うことでより長い時間文字列を視認させることが可能であり、それが視線に対して適切な負荷となって文字列の記憶容易性を向上させている可能性が考えられる。

また、ぼかしをかける際の初期深度に関しては、文字列が読めない程度の初期深度に設定し、文字列にかかっているぼかしが完全に晴れるまで視線を向けていた場合、次にぼかしが戻る際にその文字列が読める程度に設定するのが良いことも示唆された。これは、最初に文字列が読めないように設定することでぼかしが完全に晴れるまでその文字列を見ようという意味をもたせるのと同時に、復習の際に多少視線を向けるだけでも内容がわかるようにすることで円滑に復習を行わせることが可能になるからだと予想される。

第5章 既存手法との比較実験

4章で行った実験の結果、視線による流暢度制御を記憶対象の単語に対して行うことでテストの点数が良くなることが明らかになった。しかし、その実験では比較対象として何も変化を与えていないものを用意したため、ぼかしがかかっていることにより記憶対象が目立ってしまい、ポップアウトのような強調効果が発生し、それが結果に影響を与えてしまった可能性がある。そこで、比較対象としてマーカーによるハイライトを利用する既存手法を用意した（図9）。また、4章の実験では分析方法として記憶対象への固視回数と視線を向けていた時間のみを利用していたが、本研究では記憶対象のテーマや種類、提示されていた位置など様々な要素の分析を行い、視線に連動したぼかし深度制御が記憶容易性に与える影響をより多角的に調査していく。

宇宙人		
バジレンドス	フェルンヘ	ブレンコセオ
・ ロシア 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 ・ 浜辺 で目撃される ・ カメラ が好き	・ カナダ 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	・ 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 ・ ピアノ が好き

図 9: 既存手法を利用した記憶対象の例

5.1 実験設計の変更点

本実験では、過去に行った特徴記憶実験の設計 [4] をもとに実験を再設計した。特徴記憶実験の手順に変更はなく、図9のようにあらかじめこちらで用意しておいた複数のテーマ

マについて創作された架空の固有名詞 3 つずつと、それぞれの固有名詞に対する 7 つの特徴を覚えてもらい、その後 15 分の休憩を挟んで記憶テストを行うこととした。付録 8～12 が今回の実験で利用した記憶タスクであり、付録 13～17 が実験で行わせたテストである。ここで、基本的な実験手順や実験条件は同じであるが、細かい要素に変更を加えたため、この節ではその変更点について述べていく。

まず、提案手法群との比較対象として前回の実験では何も変化のない状態のものを用いたため、提案手法群においてぼかしがかかっていることにより記憶対象が目立ってしまい、それが結果に影響を与えてしまった可能性が考えられる。そこで、既存手法として強調のために利用されることの多いマーカーによるハイライトを用意し比較することで、強調表示による影響を可能な限り減少させる。

次に、本実験では特徴記憶実験での記憶テーマとして、前回の宇宙人、化石、惑星、宝石に微生物を加えた合計 5 つを用いて実験を行う。また、既存手法群と提案手法群の実験協力者の記憶力のある程度揃えるため、過去に行った実験の手順を変更し、実験協力者には最初に 2 回記憶対象に何も変化を与えずに紙媒体で記憶実験を行ってもらい、その結果で群分けした。その約 1 週間後に再度 3 回手法による変化を与えた記憶実験をパソコンで行ってもらい、実験終了とした（図 10）。テーマの順番は固定であり、前半が宇宙人、宝石の順番、後半が化石、惑星、微生物の順番で記憶実験を行った。なお、前半と後半の実験の間に一週間の期間を設けた理由は、実験の統制に加え、前半で行ったテストの記憶を薄れさせて慣れの影響を抑えるためである。この時、後半のテストに与えられる手法による変化は、提案手法群であれば視線に連動したぼかし、既存手法群であればハイライトといったようにそれぞれの群に対応するものとした。

前半 2 回のテストの平均点を実験協力者の基礎点数とし、後半 3 回のテストの平均を基に分析行うことで、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。ここで、過去に行った実験では実験者内比較を用いていたが、実験者間比較ではより詳細な調査を行うことが可能となり、かつテストを行う順番をランダムから固定に変更することで、問題の出題順による影響が少なくなると考えたため、実験者間比較を用いることとした。

前回の実験では記憶後の休憩時間に行ってもらうタスクとしてジグソーパズルを用意したが、図柄の違いによる影響が考えられた。そこで本実験では図柄による違いが発生しない、予め用意された型に複数のピースを隙間なくはめることを目標とするブロックパズルに変更した [48]。今回の実験では 15 分の間このパズルに取り組んでもらった。ま

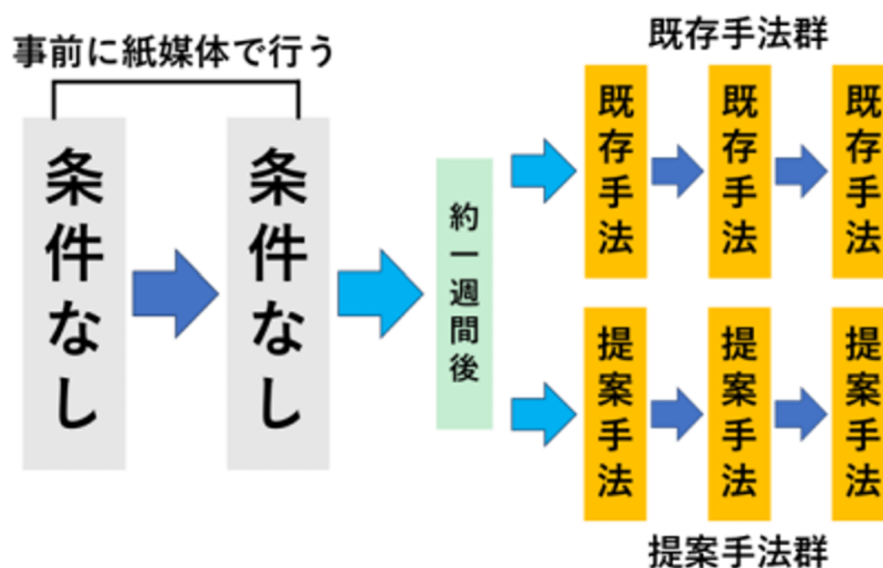


図 10: 実際の実験の流れ

た、このブロックパズルを完成させるはめ方は複数通り存在するため、実験協力者が 15 分以内に完成させた場合には、別の型での完成を目指すよう指示した。このパズルには複数の難易度が存在するが、今回の実験では継続して集中してもらうため難易度が 3, 4, 5 の三種類のパズル（最高難易度が 5）を用意し、実験の統制のためすべての条件において実験協力者には前半では難易度が 4, 3 の順番、後半では 4, 3, 5 の順番でパズルに取り組んでもらった。

5.2 実験結果

本実験の実験協力者は大学生および大学院生 30 名（提案手法群 15 名、既存手法群 15 名）であり、その結果を分析した。なお、前半 2 回のテストの平均点である基礎点数と後半 3 回のテストの平均である手法点数において、片方でも $\pm 2SD$ の間に含まれない値をもつ者は外れ値として分析から除外した。その結果、提案手法群から 1 名、既存手法群から 2 名が除外され、提案手法群 14 名、既存手法群 13 名となった。

図 11 は各手法における平均基礎点数と平均手法点数を示した図である。先述の通り、手法群を分類する際、両者の平均基礎点数に大きな差がでないように分類した。その結果、除外後の両群の平均基礎点数は、既存手法群では 68.0 点、提案手法群では 62.5 点となった。両群の手法点数の平均は、既存手法群では 44.6 点、提案手法群では 49.0 点とな

り，提案手法群の方が基礎点数はやや低いものの，手法での点数は高くなるという結果となった．なお，両群において基礎点数に比べて手法点数が下がっていることがわかる．

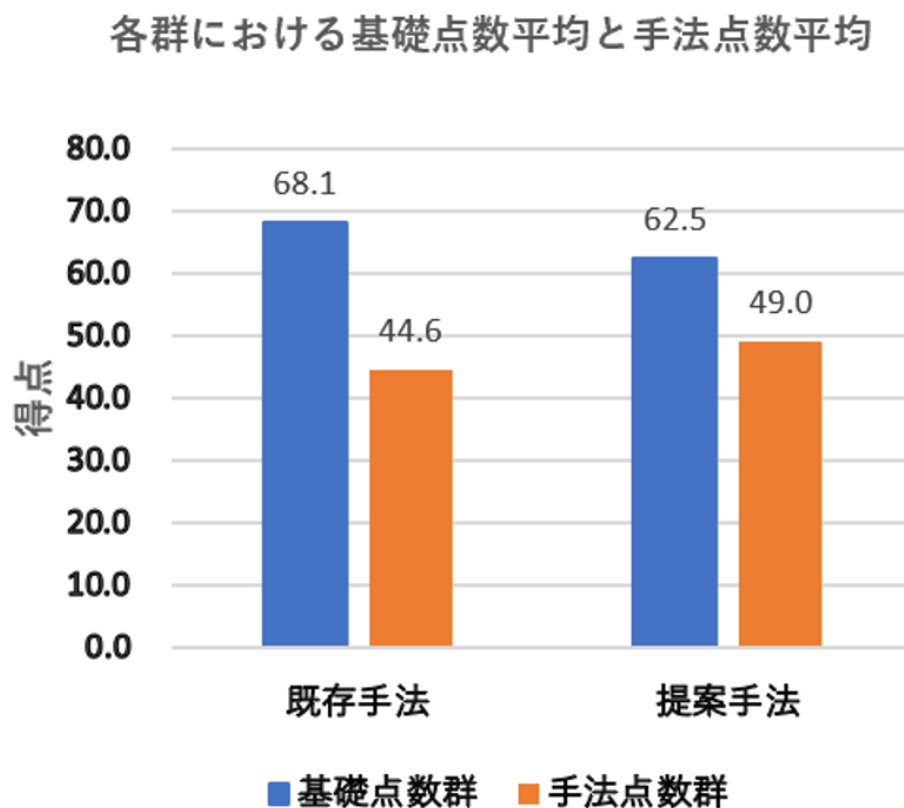


図 11: 各手法における平均基礎点数と平均手法点数

5.2.1 点数分析

図 12 は各手法における点数を示した図である．この図から，提案手法の方が既存手法に比べて分散が大きいことが読み取れる．また，既存手法群では点数が 30～60 点の間に収まっているのに対して，提案手法群では 30～80 点まで広く分布しており，四分位範囲においても提案手法の方がより高い点数に大多数が分布していることから，提案手法の方が既存手法よりも記憶成績が良い傾向にあることがわかる．

次に，基礎点数の高さによる傾向を調べるため，手法ごとに実験協力者を基礎点数の平均点以上のグループ（高得点グループ）と，平均点未満のグループ（低得点グループ）の 2 つに分類した．それぞれの人数は高得点グループが 14 名（既存手法群 7 名，提案手法群 7 名），低得点グループが 13 名（既存手法群 6 名，提案手法群 7 名）となった．図 13 は

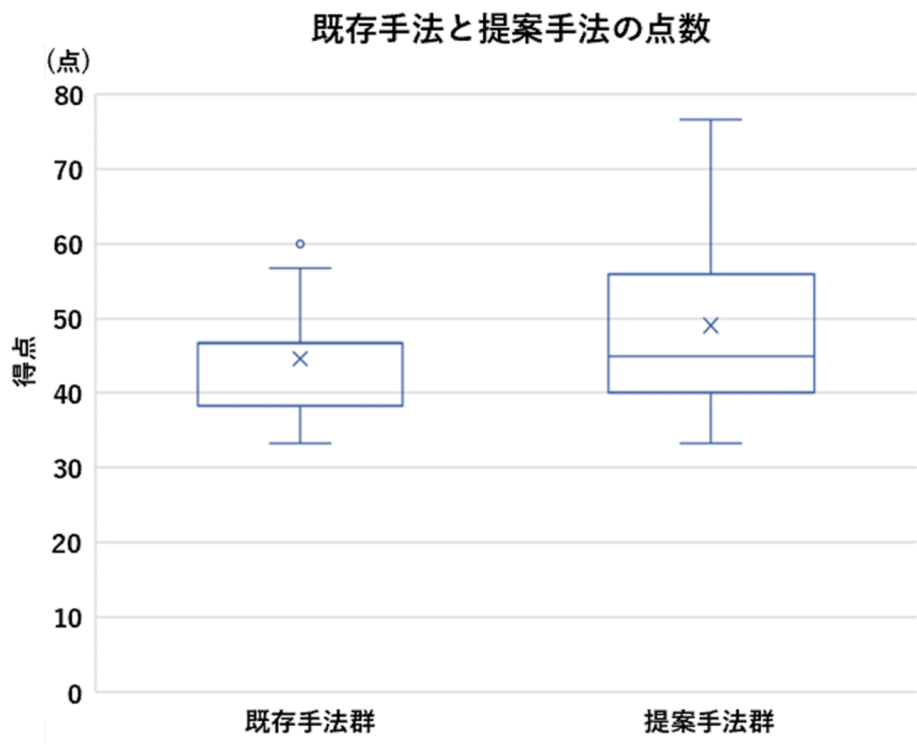


図 12: 既存手法と提案手法の点数

各群におけるグループごとの点数を表す箱ひげ図である。この図から、提案手法群が既存手法群に比べて分散が大きく、全体的に既存手法群よりも高い点数に分布していることが明らかになった。

これらのことから、提案手法の方が既存手法よりも単語の記憶容易性を向上させられる傾向にあることが明らかになった。また、基礎点数が平均点以上の人の場合、提案手法は既存手法と比べてより効果的にはたらく可能性が高いということが示唆された。

5.2.2 視線分析

文字列への視線と記憶との関係性を調べるため、実験協力者の視線データを分析する。具体的には、4 章と同様に実験協力者がテストに出題された特徴となる単語に視線を向けていたフレーム数を求め、出題内容の様々な要素に関して分析を行った。

まず、単語に向けられていた時間の長さがその単語の記憶容易性に与える影響についての分析を行う。表 3 は手法ごとの正解・不正解した単語を見ていた総フレーム数の平均を表している。この表から、問題の正誤に関わらず提案手法群の方が既存手法群よりも単語に向けられていた視線の時間が長いことがわかる。各単語に視線を向けていた時間につ

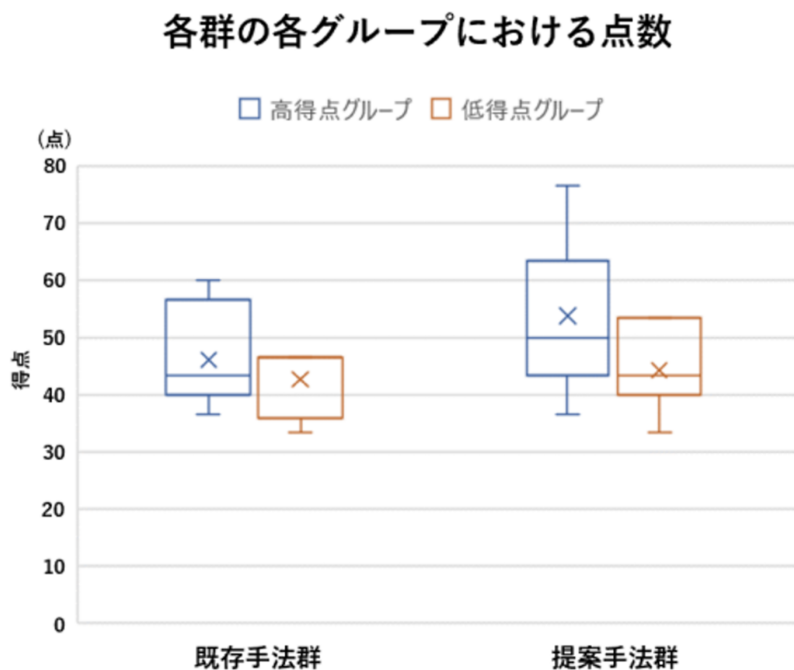


図 13: 各群の各グループにおける点数

表 3: 手法ごとの正解・不正解した単語を見ていた総フレーム数の平均

	既存手法	提案手法
正解	35.0	44.9
不正解	29.6	41.1

いて、提案手法群と既存手法群で t 検定を行った結果、問題の正誤に関わらず提案手法群の方が既存手法群よりも有意に長く視線を向けられていた ($p < 0.01$)。

表 4 は各群の単語に対して、テーマ（微生物、化石、惑星）、単語の種類（漢字のみ、漢字とひらがな混合、ひらがなのみ、カタカナのみ、数字のみ）、位置（左、真ん中、右）において正解・不正解したものに向けられていた総フレーム数の平均を表している。この結果より、提案手法群の単語に関してはほとんどの条件において正解した単語の方が不正解の単語よりも長く見られていたことがわかる。また既存手法群の単語に関しても同様にすべての条件において正解した単語の方が不正解の単語よりも長く見られていたことがわかる。ここで、既存手法群の単語に向けられていた時間に対して、正解した問題と不正解の問題で t 検定を行った結果、正解した問題の方が不正解の問題よりも有意に長く視線を向けられていた ($p < 0.01$)。

表 4: 各群の単語に対して、テーマ、単語の種類、位置において 正解・不正解したものに向けられていた総フレーム数の平均

群	正誤	テーマ			単語の種類					単語の位置		
		微生物	化石	惑星	漢字	漢字ひ	ひらがな	カタカナ	数字	左	真ん中	右
提案手法	正解	49.5	37.2	48.1	41.4	60.6	33.8	52.5	39.1	49.9	39.7	45.7
提案手法	不正解	47.7	34.0	41.6	38.7	43.6	35.9	47.9	38.5	44.6	39.3	39.4
既存手法	正解	40.0	31.9	33.0	29.2	45.7	44.3	44.7	26.8	37.3	34.3	33.2
既存手法	不正解	27.8	30.5	30.4	25.8	33.9	42.3	35.9	23.4	32.6	25.4	31.3

以上の結果より、提案手法を利用した方が単語へ向ける視線の長さを伸ばすことが可能となり、その単語を記憶できることが示唆された。

次に、視線の推移が記憶に与える影響について調査するため、各群においてそれぞれ高い点数を取った人と低い点数を取った人の視線ログをもとに分析していく。図 14 は提案手法群の惑星問題において高い点数を取った人と低い点数を取った人の視線ログを可視化したものである。この図から、高い点数のログに関しては縦の移動が最低限であり、同じ個所での停滞や横の移動が綺麗に表れているのに対して、低い点数のログでは縦方向へのブレが大きく、無駄な動きが見て取れる。図 15 は既存手法群の惑星問題において高い点数を取った人と低い点数を取った人の視線ログの可視化したものである。この図から、どちらのログに関しても縦へのブレがあることがわかる。また、高い点数のログでは単語単体にしっかりと焦点を当てているのに対して低い点数のログでは単語と単語の間に視線を置くことが多く、同時に複数の単語を見ようとしていることが確認できる。また、それぞれの 1 フレームごとの平均視線移動距離を求めたところ、提案手法群の高い点数グループでは 125.5px、提案手法群の低い点数グループでは 91.1px、既存手法群の高い点数グループでは 110.1px、既存手法群の低い点数グループでは 124.4px であった。なお、今回実験で利用したパソコンの画面の大きさは縦が 2160px、横が 3840px であった。提案手法群の高い点数のログでは縦への移動が最低限であったのに対して平均移動距離が長いことから、効率的に多くの見直しができており、その結果得点が高くなったと考えられる。また既存手法群に関しては、平均移動距離は長いが視線のブレが無駄な動きとなり、数値分の学習が行えていなかった可能性が考えられる。

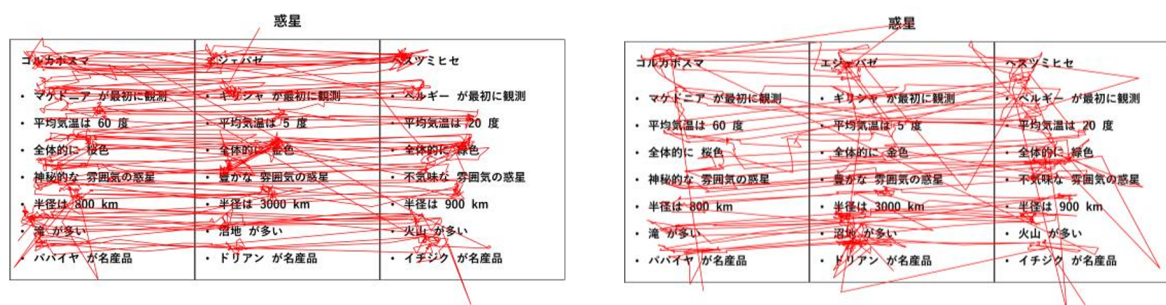


図 14: 提案手法群の高い点数を取った人（左）と低い点数を取った人（右）の視線ログの可視化

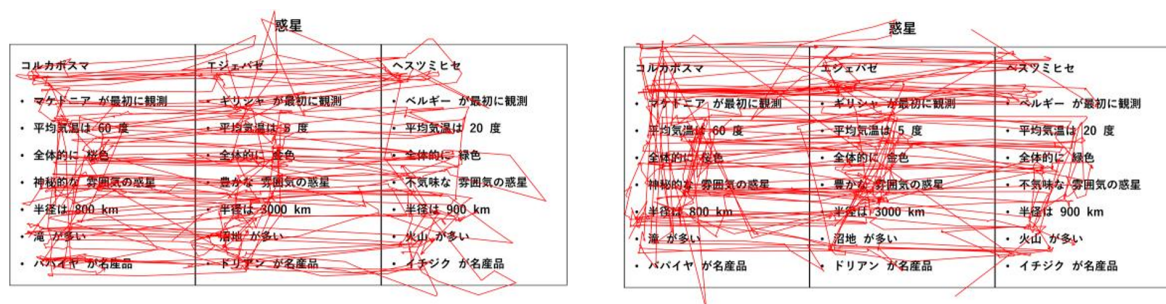


図 15: 既存手法群の高い点数を取った人（左）と低い点数を取った人（右）の視線ログの可視化

5.3 実験考察

実験の結果より、提案手法では既存手法よりも、基礎点数と手法点数の平均の差が小さく、手法点数平均が高いことから提案手法を利用することで既存手法よりも単語の記憶容易性を向上させられることが示唆された。基礎点数の方が高くなった要因として、テーマとして用いた宇宙人、宝石の問題難易度が低かったことがまず考えられる。この点については、今後同じ問題を、順番を変えて提示することで検証予定である。またそれ以外の要因としては、アナログとデジタルの差や視線取得による影響などが考えられる。特に、視線取得に関しては、視線を取得しているという意識やそれによる姿勢の強制が記憶に対して影響を与えた可能性が存在する。

図 12 の結果から、提案手法群の方が既存手法群に比べて点数の分布が大きく、高い点数の分布がいくつか見られた。加えて図 13 より、高得点グループの場合、提案手法群では点数の分布が大きくなっていることから、提案手法が一部の人に有効的にはたらいた結果、全体的に既存手法群より高い結果が得られたことがわかる。低得点グループに関しても、提案手法群の方が既存手法群と比べて分散が大きく、全体的に高い点数を取っていることから、こちらでも有効的にはたらいていることが示された。これらのことから、

ら、視線に連動したばかりの深度制御の記憶効果がポップアウトによるものではないことが明らかになった。

表 3 の結果から、提案手法を利用した方が既存手法を利用した際よりも、正誤に関わらず有意に視線を向けていた時間が長くなることが明らかになった。このことから、提案手法を利用した際にはすべての単語により長く視線を向けさせることが可能となり、その結果単語の記憶容易性が向上し、記憶効率の低下を防ぐことができたと考えられる。

また、表 4 の結果より、提案手法群ではどのテーマにおいても、正解した単語に視線が向けられていた総フレーム数の方が不正解の単語に対する総フレーム数よりも多く、長い時間見ていた方が記憶に残りやすいことが明らかになった。また、単語を提示する位置に関しては、特に左右に提示された単語は真ん中に提示された単語に比べて、正解した際と不正解した際に視線を向けていた時間の長さに差が見られた。そのため、視線を向けていた時間の長さは、左右に存在する単語の正誤により影響を与えやすい可能性が示唆された。ここで、単語の種類に関して、ひらがなのみの単語以外では視線を長く向けていた方が記憶できるという結果になったが、今回の問題ではひらがなのみの単語は 2 問しか存在していなかったため、母数が少ないことによる影響が考えられる。一方、既存手法群ではどのテーマにおいても正解した単語の方が不正解の単語よりも長く見られており、より長い時間見ていた方が記憶に残りやすいことが明らかになった。これらの結果から、単語の記憶容易性を向上させる要因として、視線を向けていた時間の長さが重要な指標であることが示唆された。

最後に、図 14 と 15 より、視線の縦へのブレが大きくなればなるほど無駄な移動が多くなり、記憶効率が下がってしまうことが明らかになった。また、学習を行う際には複数の単語を同時に視野にいれて学習を行うよりも、一つの単語に集中する方がその単語を記憶しやすくなることが示唆された。このことから、自分が今視線を向けている単語のみを段階的に見やすくなり、その他の単語をぼかすことで意識しにくくさせる提案手法は単語の記憶容易性を向上させるのに適していると考えられる。また、この方法を応用すると、記憶における適切な視線移動を促すことも考えられる。

これらのことから、単語を見ていた時間が長ければ長いほど記憶に残りやすく、提案手法を利用することでより長い時間単語に視線を向けさせることが可能となるため、提案手法がポップアウトに依存したものではなく、手法として有用であることが明らかになった。

第6章 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

4章と5章で行った実験の結果、視線に連動したぼかし深度制御手法の有用性が明らかとなった。これまでの実験から得た結果を実際の繰り返し学習に組み込むためには、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視線に連動したぼかしを付与する必要がある。そのため、6章ではあらかじめ用意された記憶対象をなぞることで、そのなぞった個所の上から視線に連動したぼかしがかかるようなシステムを設計し、それを実利用する実験により検証する。

6.1 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

6章では、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。しかし、実際の繰り返し学習に視線に連動したぼかしを組み込むためには、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視線に連動したぼかしを付与する必要がある。そのため、本研究ではあらかじめ用意された記憶対象をなぞることで、そのなぞった個所の上から視線に連動したぼかしがかかるようなシステムを設計し、それを実利用する実験により検証する。

提案システムは前回と同様に Processing を用いて実装した。このシステムでは、ユーザがその画像内で重要だと思った箇所をなぞると、その領域に視線に連動したぼかしが付与される。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、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設計した。

今回のシステムで用いたぼかしは過去の研究で作成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_0 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。

図16と図17は実際のシステムの利用例を示している。まずは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り、その位置を記録する。さらに、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“R”キーを押すことで削除することが可能となっている。このような簡単な操作にすることで、誰でも手軽にシステムを利用できるようにした。そして、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。

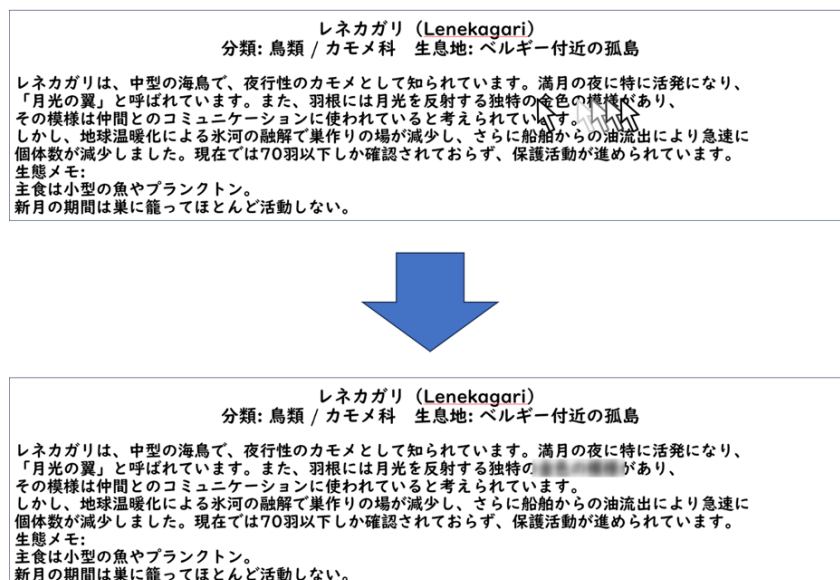


図 16: システムで強調効果を与える際の利用例 (提案手法)

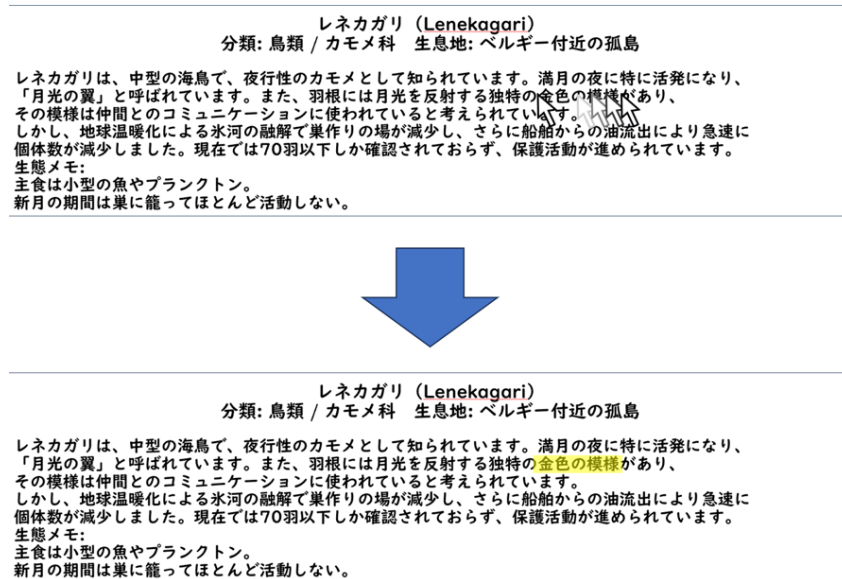


図 17: システムで強調効果を与える際の利用例（既存手法）

6.2 実験の概要

6.2.1 問題設計

4 章と 5 章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あらかじめ強調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 5 章で行った特徴記憶実験の設計をもとにしつつ、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、いま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った。そのため、まずは内容の大まかな統制として ChatGPT を活用した。具体的には、「記憶実験に使える架空の（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。しかし、そのままの内容では記憶しやすさに偏りが出てしまうため、そこから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。また、本実験では理科の生物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。付録 18～21 が本実験で利用した、ChatGPT に作成してもらったのちに調整した記憶課題である。

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たため 4 択の形式で出題した。しかし、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。テストは 2 枚の用紙からなっており、付録 22～25 が今回の実験で実際に行わせたテストである。

6.2.2 実験の流れ

本研究で行う実験の流れは図 18 のようになっており、各セットの流れは図 19 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も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、テストを行った。これは、実際の学習において複数の情報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。

実験は大きく分けて提案システムを利用して記憶対象にマーキングを行うマーキング

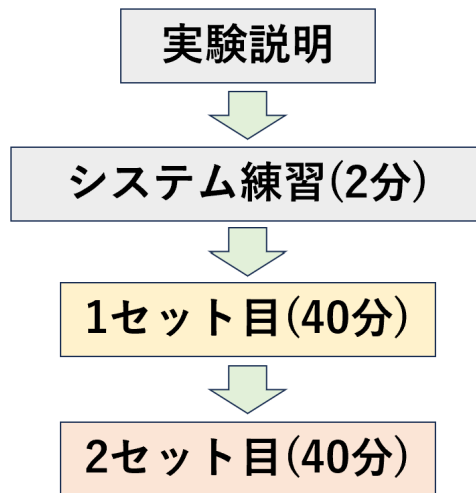


図 18: 実験の流れ

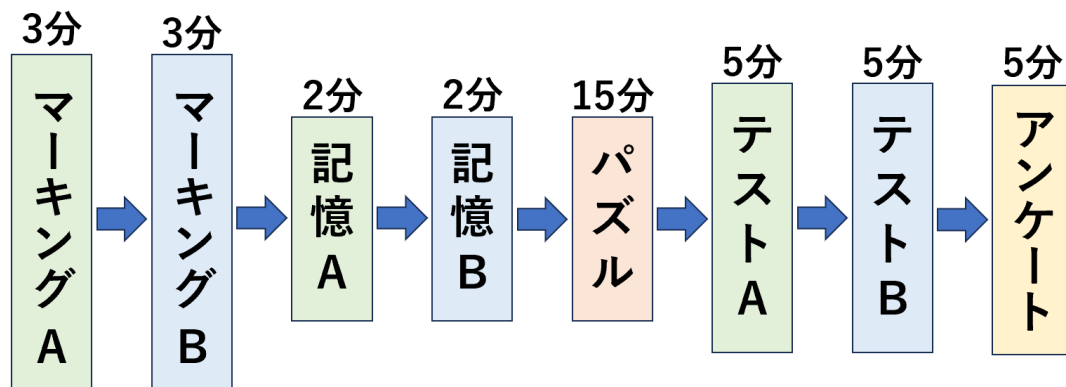


図 19: 各セットの流れ

フェーズ，マークした記憶対象を見ながら追加で記憶を行うための記憶フェーズ，忘却を促すためのパズルフェーズ，そしてどれだけ覚えているのかを確認するためのテストフェーズから構成されている．マーキングフェーズでは実験協力者は記憶対象の重要だと思ふ箇所に，提案手法または既存手法のいずれかを用いてマーキングを行う．マーキングの時間は3分とし，時間内に適切に作業ができるように，画面上にカウントダウンタイマーを表示して残り時間を把握できるようにした．マーキング後，2分間の記憶フェーズを設け，協力者がマーキング済みの記憶対象を追加で記憶できるようにした．このフェーズでは，時間制限による焦りを防ぐためにカウントダウンタイマーの表示を行わなかった．ここで，マーキングフェーズと記憶フェーズをスムーズに進行させるため，一つのプログラム内で両フェーズを実行できるように設計した．これにより，プログラムの切

り替え時に発生するラグや姿勢の変化による視線取得への影響を最小限に抑えた。また、各フェーズ終了時には、次のテーマと使用するマーキング手法が画面に提示され、スペースキーを押すことで次のフェーズへ進めるようにした。この操作については事前に説明し、画面上にも明記した。記憶フェーズ後、5章で使用したブロックパズルを15分間行い、その後、特徴についてのテストを実施した。パズルの難易度は最も難しいレベル5とし、実験協力者が15分以内に完成できないように設定した。これは、パズルの完成が記憶力に影響を及ぼす可能性を排除するためである。実験中、パズルを完成させた協力者はいなかった。テスト終了後、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。マーキングフェーズからアンケートまでの一連の流れを1セットとし、前半・後半で2セット実施した。計4テーマ分のテストを行い、手法の順序効果を考慮して、1セット目で先に実施した手法が2セット目では後にくるように調整した。提案手法を利用したテーマと既存手法を利用したテーマのテストの平均点を比較し、単語の記憶容易性に与える影響を分析した。これにより、各手法の効果を実験者間で比較した。

6.3 実験結果

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±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。

6.3.1 点数分析

図20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既存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、既存手法を利用した際の平均点が35.2点であり、提案手法の方が既存手法よりも平均点が高いことが読み取れる。ここで、提案手法群と既存手法群で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。また、図21は各手法におけるテストの得点の箱ひげ図を示す図であり、ここから提案手法の方が既存手法に比べて全体的に点数が高く、中央値も高いこ

とがわかる．このことから，本提案手法が既存手法と比べて高い効果を持っていることが明らかになった．

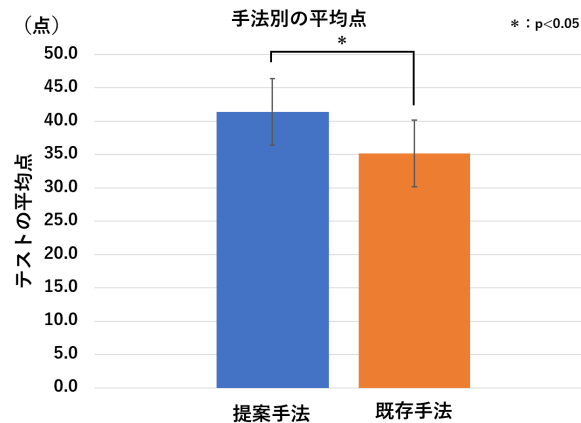


図 20: 提案手法と既存手法のそれぞれの平均点

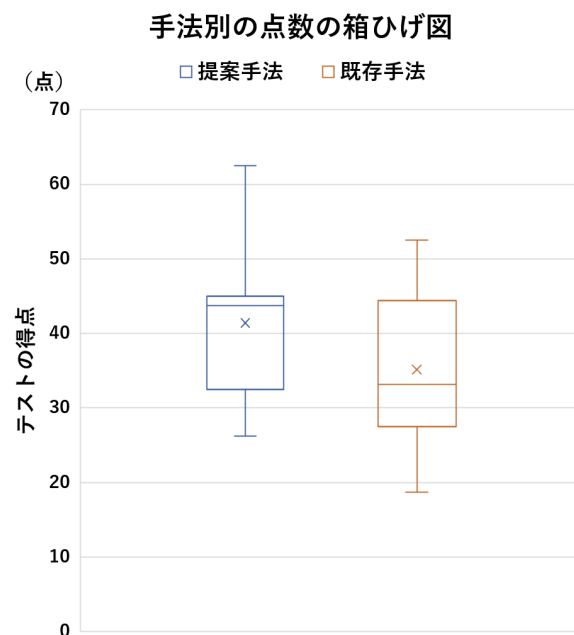


図 21: 各手法におけるテストの得点の箱ひげ図

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 22 はテーマの系統別の平均点を示す図である．この図から，生物系のテーマに関して，提案手法群では平均点が 48.8 点なのに対して既存手法群では 39.1 点であることから，提案手法群の方が既存手法群に比べて 10 点ほど平均点が高い．また，物語系のテーマでは提案手法群では平均点が 34.1 点なのに対して既存手法群では 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既存手法群で 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 ($p < 0.05$) が、物語系のテーマでは有意差は出なかった。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はより効果的に働くことが明らかになった。

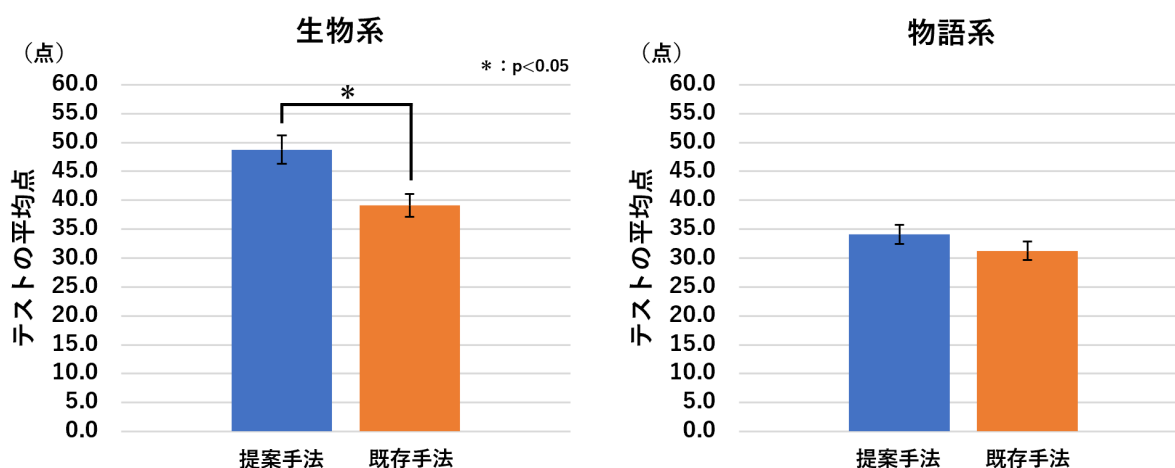


図 22: テーマの系統別の平均点 (左: 生物系, 右: 物語系)

6.3.2 マークされた箇所の分析

マークした箇所がテストの点数に与える影響について調査するため、マークされた箇所について分析する。

表 5 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 6 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トル、名前、国、色、数字はほとんどの実験協力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。

表 5: 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	既存手法	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 6: 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	既存手法
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)

6.3.3 視線分析

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する。表 7 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、恐竜以外のテーマに関してはフレーム数の割合にほとんど差がなく、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、手法間に違いがほとんどないことがわかる。

6.3.4 システムの使用感に関するアンケート結果

表 8 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ばかり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

表 7: 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	既存手法
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

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ふつう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ふつう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」といったような意見が得られた。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。

表 8: システムの不快感についてのアンケート結果（1：とても弱い～5：とても強い）

	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

6.4 実験考察

図 20 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。また、図 21 の結果から、本提案手法が一部の人の対して高い効果を持っていることが示唆された。しかし、図 22 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、今回の実験にて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、重要な個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れる。

表5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既存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6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、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るのに対して、マークされていなかった箇所の正答率による影響はほとんどないことがわかる。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、かぎっこ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7より、見られていたフレーム数の割合がほとんど同じなのに対して提案手法の方が点数が高くなったという結果から、提案手法の方が比較手法と比べて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、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であることが示された。しかし、実験協力者が視線を向けていた割合の期待値は、表6から約0.7である。自身が重要だと選定したうえで割合が期待値よりも下回っているのは、実際にテストとして出題される箇所が不明であったため、どの単語もまんべんなく見る必要があったからであると考えられる。

表8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、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は「どこをマークしたらよいのかがわからなかった」という感想を残している。ここから、不快感が強いと回答した要因がシステムではなく物語系のテーマの重要箇所の選定の難易度にあると考えられる。そのため、

全体的なシステムに対する評価は高いものであった。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。

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ふつう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負荷がかかっていた可能性が考えられる。

第7章 総合考察

本章では、これまでに行った実験やその結果を通しての総合的な考察を行う。まず、視線に連動したばかりし深度制御が学習効率を向上させられたのかについて確認していく。

4章において、視線に連動したばかりし深度制御によって単語の記憶しやすさを向上させられるかを調査した。その結果、視線に連動したばかりし深度制御が単語の記憶容易性を向上させられることが明らかとなった。また、視線に連動したばかりし深度制御を行うことで単語へ向けられる視線の滞在時間が長くなることも明らかになった。次に5章において、既存の学習に使われている強調手法との比較を行うため、ハイライトを与える条件を比較対象として用いて特徴記憶実験を行った。その結果、ハイライトを利用した既存手法群と比べて提案手法群の方がテストでの点数が高くなることが明らかになった。また、もともと記憶力の高い人の方がより効果的にはたらく可能性が示唆された。さらに、単語を見るときはその単語単体に焦点を当てて記憶することでよりその単語の記憶効率が高くなる可能性も示唆された。

6章では実際に暗記学習として視線に連動したばかりし深度制御を利用する場面を考えて、画像内の選択した領域の上に視線に連動したばかりしを与えるシステムを実装し、その有用性の調査のために教科書風の内容を記憶してもらう記憶実験を実施した。その結果、記憶対象が生物系のテーマの際には視線に連動したばかり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有意に点数が高くなり、物語系のテーマよりも生物系のテーマの方がより効果的に働くことが明らかになった。また、見られていたフレーム数の割合が殆ど同じ場合でも視線に連動したばかりし深度制御を用いた場合の方がより単語を記憶しやすいことも示された。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も明らかになった。これらの結果から、本提案手法と記憶学習支援のための暗記学習支援システムの有用性が明らかとなった。

本研究では変化を与えるうえで画像の上に違和感なくかけられるばかりしに注目していたが、他にも流暢度を変化させる手法はいくつも存在する。本研究で提案した視線に連動した流暢度変化手法を応用することによってより手法に対する慣れが発生しにくい学

習支援システムの実現が期待される。また、日本語以外の言語や画像の記憶学習支援も可能となることが期待される。

7.1 制約と今後の展望

これまでの実験で提案手法を用いた学習支援が可能であることを示した。しかし、本研究にはいくつか課題がある。まず、今回の実験はいずれも記憶後にテストを行うまでの時間が15分と短く、覚える回数も一回であったため現実のテスト期間を想定した実験が行えていなかった。そのため、繰り返し提案手法を用いて学習を行うことによる慣れの影響や、長期間利用する上で発生する問題点の考察が足りていない。また、比較対象も黄色のハイライトのみを使用しており、赤シートなどといったただ強調させるだけではない既存手法との比較が行えていないため、提案手法が最も効果的な学習支援手法であるかの調査が不十分である。さらに、ぼかしの深度やぼかしの変化速度の違いなど、様々な要素を調整することでより記憶効率を向上させられる可能性が考えられるため、より詳細な調査が必要である。

単語に視線がピンポイントで向けられたことを検知するためには視線取得の精度が重要になるが、人によってはその精度が悪く、端の方に存在するぼかしがうまく変化しないといった問題が生まれてしまった。また、キャリブレーションの段階ではうまくいていた人でも、その後に姿勢がずれてしまうと視線の取得がうまくいかなくなってしまう場合も存在する。そのため、常に姿勢を正していなければならない、それによりユーザにストレスがかかってしまう問題がある。今後はより精度の高い視線取得技術が登場することによって、より多くの人が手軽に利用できると考えられる。

また、研究の目標として隙間時間に手軽に使用できる暗記学習支援システムとしての実装を挙げていたが、本研究ではノートパソコン上で実装したシステムを利用した記憶実験でのみ効果を検証した。しかし、隙間時間で手軽に行う場面を想定した場合に重要となるiPadやスマートフォンでの実装と検証が行えていない。そのため、これらのデバイスに本システムを実装し、その効果を検証する必要がある。本システムの理想形として、ユーザが教科書やノートから重要だと思った箇所を選定し、それを短時間で効率的に暗記学習を行えることが考えられる。その支援手法の一つとして本研究が役立つことが期待される。

第8章 結論

本研究では繰り返し学習には多くの時間と労力がかかってしまうという問題に着目し、視線に連動したぼかし深度制御という手法を提案した。この手法により単語の記憶容易性が向上し、単語に向けられる視線の滞在時間が増加し、暗記学習の支援に役立つと考えた。手法の有用性を調査するために、視線を向けるとかかっているぼかしが弱くなるシステムを作成し、特徴記憶実験を行った。その結果、視線に連動したぼかし深度制御を与えることで有意に点数が向上することが明らかになった。次に、既存手法と比べた際の有用性について調査するため、実際の学習にも使われているハイライト手法との比較実験を行った。その結果、提案手法の方が既存手法と比べて点数が高くなる傾向が見られた。また、他の単語にぼかしを与えることでより視線を向けている単語への集中が行える可能性も示唆された。

次に、教科書やノートのような実際の学習で利用される記憶媒体に近い内容でも提案手法が有用なのかを調査する必要があるため、提示された文章にユーザ自身がぼかしを与える記憶実験を行った。その結果、記憶対象が生物系のテーマの際には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り、物語系のテーマの場合は大きな差が生まれないことが明らかになった。また、利用実験の結果、システムを利用するうえで不快感がほとんどなく、手軽に利用できることが示された。これらのことから、視線に連動したぼかし深度制御手法とそれを利用した学習支援システムの有用性が明らかになった。しかし、実際の学習において利用するためには、長期間の利用実験やほかの流暢度変化手法の検討と調査を行う必要がある。また、正確な視線の取得に依存しており、人によってはうまく変化が発生しない問題も発生しているため、システムについて日常的な運用に適応できるように再検討していく必要があると考える。

本研究が暗記学習を行うユーザの手助けになることを望む。

謝辞

本研究を進めるにあたり、たくさんの方に支えていただきました。この場を借りて感謝申し上げます。学部3年生から4年間にわたり研究指導してくださった中村聡史先生に深く感謝いたします。先生のご指導のおかげで、充実した研究室生活となりました。また、4年間学生生活を共にしてくださった同期に感謝申し上げます。加えて、論文添削をはじめとした研究活動に積極的に協力してくださった先輩方、後輩の皆様にも感謝申し上げます。最後に、今まで支えてくださった家族に感謝申し上げます。皆様のおかげでここまで来れました。

本当にありがとうございました。最後に、ご支援いただいたすべての皆様に感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- [1] Miller, G. A.: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information., *Psychological Review*, Vol. 63, No. 2, pp. 81–97 (1956).
- [2] Ebbinghaus, H.: *Memory : a contribution to experimental psychology*, Dover Publications, reprint edition (1987).
- [3] 文部科学省：令和 3 年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果：https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/mext_00026.html：(参照 2024/11/20).
- [4] 長塚隆, 山川茜：授業におけるノートテイキングの実態, 情報知識学会誌, Vol. 22, No. 2, p. 57–64 (2012).
- [5] 清水康敬, 山本朋弘, 堀田龍也, 小泉力一, 横山隆光：ICT 活用授業による学力向上に関する総合的分析評価 (<特集>; 学力向上を目指した ICT 活用のデザイン・実践・効果), 日本教育工学会論文誌, Vol. 32, No. 3, pp. 293–303 (2008).
- [6] Diemand-Yauman, C., Oppenheimer, D. M. and Vaughan, E. B.: Fortune favors the bold (and the Italicized): effects of disfluency on educational outcomes., *Cognition*, Vol. 118 1, pp. 111–5 (2011).
- [7] Sungkhasettee, V. and Friedman, M.: Memory and metamemory for inverted words: Illusions of competency and desirable difficulties, *Psychonomic bulletin & review*, Vol. 18, pp. 973–8 (2011).
- [8] Ito, R., Hamano, K., Nonaka, K., Sugano, I., Nakamura, S., Kake, A. and Ishimaru, K.: *Comparison of the Remembering Ability by the Difference Between Handwriting and Typeface*, p. 526–534, Springer International Publishing (2020).

- [9] Yue, C. L., Castel, A. D. and Bjork, R. A.: When disfluency is—and is not—a desirable difficulty: The influence of typeface clarity on metacognitive judgments and memory, *Memory & Cognition*, Vol. 41, pp. 229 – 241 (2012).
- [10] Rosner, T. M., Davis, H. and Milliken, B.: Perceptual blurring and recognition memory: A desirable difficulty effect revealed, *Acta Psychologica*, Vol. 160, pp. 11–22 (2015).
- [11] 黒田都雲, 西田勇樹, 服部雅史: 文字の読みにくさが記憶を促進するときと妨害するとき: ワーキングメモリ容量に基づく非流暢性効果の検討, 日本認知科学会, Vol. 37, pp. 521 – 525 (2020).
- [12] Hata, H., Koike, H. and Sato, Y.: Visual Guidance with Unnoticed Blur Effect, in *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '16, p. 28–35, Association for Computing Machinery (2016).
- [13] Gu, Y. and Johnson, R. K.: Vocabulary Learning Strategies and Language Learning Outcomes, *Language Learning*, Vol. 46, No. 4, p. 643–679 (1996).
- [14] Atkinson, R. C. and Raugh, M. R.: An application of the mnemonic keyword method to the acquisition of a Russian vocabulary., *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, Vol. 1, No. 2, p. 126–133 (1975).
- [15] Kornell, N.: Optimising learning using flashcards: Spacing is more effective than cramming, *Applied Cognitive Psychology*, Vol. 23, No. 9, p. 1297–1317 (2009).
- [16] Cepeda, N. J., Vul, E., Rohrer, D., Wixted, J. T. and Pashler, H.: Spacing effects in learning: A temporal ridgeline of optimal retention, *Psychological science*, Vol. 19, No. 11, pp. 1095–1102 (2008).
- [17] 湯浅成章, 黄瀬浩一: 有酸素運動が英単語暗記に及ぼす影響の確認, 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. 2020, No. 10, pp. 1–5 (2020).
- [18] 伊藤悠真, 寺田努, 塚本昌彦: Mnemonic DJ: 暗記学習のための替え歌自動生成システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 11, pp. 2165–2176 (2015).
- [19] Roediger, H. L. and Karpicke, J. D.: Test-Enhanced Learning: Taking Memory Tests Improves Long-Term Retention, *Psychological Science*, Vol. 17, No. 3, p. 249–255 (2006).

- [20] 谷上亜紀：文章の書体が読みやすさと記憶に及ぼす影響, 彦根論叢, 第 422, pp. 18–29 (2019).
- [21] 山崎郁未, 伊藤理紗, 濱野花莉, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸築他：記憶対象の文字の太さの違いが記憶容易性に及ぼす影響, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2020, No. 22, pp. 1–8 (2020).
- [22] Weissgerber, S. and Reinhard, M.-A.: Is disfluency desirable for learning?, *Learning and instruction*, Vol. 49, pp. 199–217 (2017).
- [23] 根岸一平, 小玉美咲：日本語フォントタイプの変更による学習効果の促進, 工学教育, Vol. 66, No. 4, pp. 4_8–4_12 (2018).
- [24] Geller, J., Still, M. L., Dark, V. J. and Carpenter, S. K.: Would disfluency by any other name still be disfluent? Examining the disfluency effect with cursive handwriting, *Memory & Cognition*, Vol. 46, pp. 1109–1126 (2018).
- [25] 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, Vol. 28, pp. 77–106 (2020).
- [26] 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, 認知科学, Vol. 24, No. 3, pp. 450–456 (2017).
- [27] Strukelj, A., Scheiter, K., Nyström, M. and Holmqvist, K.: Exploring the lack of a disfluency effect: Evidence from eye movements, *Metacognition and Learning*, Vol. 11, pp. 71–88 (2016).
- [28] Lu, Y., Qi, W. and Qin, J.: Research on the Memory of Online Advertising Based on Eye-Tracking Technology, in *2018 IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)*, pp. 324–328 (2018).
- [29] 大野健彦：Web 画面における情報選択行動と視線の関係, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 24.38, pp. 31–36 (2000).
- [30] 加藤勇太, 岩本健嗣, 松本三千人：タッチ操作ログを用いた Web コンテンツ閲覧時における興味度合い推定の研究, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 2, pp. 508–518 (2018).

- [31] 岡谷貴之, 石澤昂, 出口光一郎: 被写界深度ぼけの提示により奥行感を強化する注視反応型ディスプレイ, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム = The IEICE transactions on information and systems, Vol. 92, No. 8, pp. 1298–1307 (2009).
- [32] Tamura, M. and Nakamura, S.: A Method for Enriching Video-Watching Experience with Applied Effects Based on Eye Movements, in Kompatsiaris, I., Huet, B., Mezaris, V., Gurrin, C., Cheng, W.-H. and Vrochidis, S. eds., *MultiMedia Modeling*, pp. 547–553, Cham (2019), Springer International Publishing.
- [33] Yamaura, H., Nakamura, S. and Tamura, M.: Image Blurring Method for Enhancing Digital Content Viewing Experience, *Human-Computer Interaction* (2018).
- [34] 橋本圭輔, 牛木一成, 中村誠: 動画再生中における刺激提示の色の誘目性と配置に関する考察, 情報処理学会研究報告 = IPSJ SIG technical reports, Vol. 2006, No. 3, pp. 75–81 (2006).
- [35] Lima Sanches, C., Augereau, O. and Kise, K.: Estimation of reading subjective understanding based on eye gaze analysis, *PLOS ONE*, Vol. 13, No. 10, p. e0206213 (2018).
- [36] Cheng, X., Cui, W., Zhong, J. and Yang, H.: Interest Screening and Analysis System for Autistic Children Based on Eye Movement Tracking, in *2020 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)*, pp. 117–120 (2020).
- [37] 山田光穂, 福田忠彦: 視線の動きを用いたテレビ画像の分析, テレビジョン学会誌, Vol. 40, No. 2, pp. 121–128 (1986).
- [38] Toker, D., Conati, C. and Carenini, G.: Gaze analysis of user characteristics in magazine style narrative visualizations, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 29, No. 5, p. 977–1011 (2019).
- [39] 天野功士, 當目雅代: 動作を伴う視線計測に関する文献的考察, PhD thesis, Doshisha Women’s College of Liberal Arts (2018).
- [40] Miyagi, Y., Rodrigues, N., Weiskopf, D. and Itoh, T.: Extraction of AOI Transition Patterns by N-grams from Symbolized Eye Tracking Scan-paths and Visualization as Trajectories, *The Journal of the Society for Art and Science*, Vol. 18, No. 4, p. 125–133 (2019).

- [41] 江川陽, 白山晋: 視線分析手法の高度化とその応用, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2009, pp. 1K1OS89–1K1OS89 (2009).
- [42] Mishulina, O. and Sukonkin, I.: Structural Analysis of Human Eye Movement Trajectory, *Procedia Computer Science*, Vol. 71, pp. 221–226 (2015).
- [43] Avila, F., Delrieux, C. and Gasaneo, G.: Complexity analysis of eye-tracking trajectories, *Acta Psychologica*, Vol. 92, No. 273 (2019).
- [44] Burch, M.: Eye movement plots, in *Proceedings of the 10th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*, VINCI '17, p. 101–108 (2017).
- [45] Andrienko, G., Andrienko, N., Burch, M. and Weiskopf, D.: Visual Analytics Methodology for Eye Movement Studies, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 18, No. 12, pp. 2889–2898 (2012).
- [46] 山崎郁未, 澤佳達, 中村聡史, 石丸築: 文字の見た目が記憶に及ぼす影響, 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, Vol. 2020, No. 16, pp. 1–7 (2020).
- [47] “Super Jigsaw Puzzle: Generations”https://store.steampowered.com/app/1036950/Super_Jigsaw_Puzzle_Generations/ (参照 2024-10-23) .
- [48] “脳ブロック ラインアップ/ご購入—Toy & Hobby”<https://tenyo.jp/toyhobby/bb/lineup.html> (参照 2024-11-16) .

研究業績

- [1] 青木柊八, 中村瞭汰, 中村聡史, 山中祥太他：プログレスバーの周辺の視覚刺激と数え方による体感時間の変化の調査, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2021, No. 31, pp. 1–8 (2021).
- [2] 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, 情報処理学会, Vol. 2023, No. 2, pp. 1–8 (2023).
- [3] 小川剣二郎, 青木柊八, 中村瞭汰, 山中祥太：PC とスマートフォンにおけるプログレスバーと周辺視野への視覚刺激の提示による体感時間短縮効果の調査, 情報処理学会, Vol. 2023, No. 55, pp. 1–7 (2023).
- [4] 松田さゆり, 渡邊健斗, 横山幸大, 青木由樹乃, 青木柊八, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸築：メロ字ィ：ペンの位置に応じた音階の音提示による手書き文字練習システムの提案, ヒューマンコミュニケーション基礎研究会 (HCS) (2023).
- [5] Aoki, T., Fujiwara, Y. and Nakamura, S.: Validation of Game Advantage Disadvantage Control Considering Color Vision Characteristics: A Basic Study on “Among Us” with Different Color Settings, *Procedia Computer Science*, Vol. 225, pp. 2982–2991 (2023), 27th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2023).
- [6] 三山貴也, 小川剣二郎, 青木柊八, 中村瞭汰, 中村聡史, 山中祥太：周辺視野への視覚刺激の提示が読み込み中のページ離脱率に及ぼす影響, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 123, No. 188, pp. 35–40 (2025).
- [7] 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).

付録

化石

ゴンサツドレ	アジェオド	グバムデラン
・ スペイン で発掘された ・ 直径 8 センチ ・ 灰色 の見た目 ・ 形状は 星形 ・ 7000 年前のもの ・ 研究所 で展示 ・ 作曲家 が発掘	・ イタリア で発掘された ・ 直径 20 センチ ・ 肌色 の見た目 ・ 形状は 台形 ・ 9000 年前のもの ・ 大学 で展示 ・ 弁護士 が発掘	・ ブラジル で発掘された ・ 直径 6 センチ ・ 白色 の見た目 ・ 形状は 円形 ・ 4000 年前のもの ・ 博物館 で展示 ・ 理容師 が発掘

付録 1: 4 章で利用した記憶タスク（化石）

惑星

ジンドゥカ	ブラベスゼオ	ワーゲクレイ
・ イギリス が発見した ・ 表面重力は約 4 m/s² ・ 空の色は 黄色 ・ 霧が深い 気候 ・ 人口は 2000 億人 ・ 平原 が多い ・ 銅 資源が豊富	・ オランダ が発見した ・ 表面重力は約 10 m/s² ・ 空の色は 桃色 ・ 肌寒い 気候 ・ 人口は 5000 億人 ・ 海 が多い ・ 鉛 資源が豊富	・ スイス が発見した ・ 表面重力は約 7 m/s² ・ 空の色は 紫色 ・ 風が強い 気候 ・ 人口は 6000 億人 ・ 森 が多い ・ 鉄 資源が豊富

付録 2: 4 章で利用した記憶タスク（惑星）

宝石

ヒセムゲアル ・ 産地は エジプト ・ 比重は約 5 ・ 色は 緑色 ・ ざらざら した質感 ・ 値段は 300 億円 ・ 火山 で採取できる ・ 衝撃 に強い特性	セビュレン ・ 産地は アメリカ ・ 比重は約 1 ・ 色は 青色 ・ ごつごつ した質感 ・ 値段は 800 億円 ・ 洞窟 で採取できる ・ 熱 に強い特性	ネビスマゲラ ・ 産地は ドイツ ・ 比重は約 9 ・ 色は 橙色 ・ つるつる した質感 ・ 値段は 400 億円 ・ 炭鉱 で採取できる ・ 紫外線 に強い特性
---	---	---

付録 3: 4 章で利用した記憶タスク（宝石）

お名前_____ スコア_____

1. バジレンドスは何が好き？

2. プレンコセオの目の色は何色？

3. バジレンドスはどの国に住んでいる？

4. フェルンへの寿命は何年？

5. プレンコセオはどの国に住んでいる？

6. バジレンドスの目の色は何色？

7. プレンコセオはどこで目撃される？

8. フェルンへはどのような見た目をしている？

9. バジレンドスの体長は何メートル？

10. フェルンへはどこで目撃される？

付録 4: 4 章で利用したテスト（宇宙人）

お名前_____ スコア_____

1. ゴンサツドレの見た目は何色？

2. アジェオドはどこで展示されている？

3. グバムデランを発掘した人の職業は？

4. アジェオドの直径は何センチ？

5. ゴンサツドレはどの国で発掘された？

6. グバムデランはどこで展示されている？

7. アジェオドはどのような形状をしている？

8. グバムデランは何年前のもの？

9. ゴンサツドレはどのような形状をしている？

10. アジェオドを発掘した人の職業は？

付録 5: 4 章で利用したテスト（化石）

お名前_____ スコア_____

1. ブラペスゼオを発見した国は？

2. ワーゲクレイの空の色は何色？

3. ジンドゥカはどのような気候？

4. ワーゲクレイの表面重力は何 m/s^2 ？

5. ブラペスゼオの空の色は何色？

6. ワーゲクレイを発見した国は？

7. ジンドゥカの人口は何億人？

8. ワーゲクレイはどのような気候？

9. ブラペスゼオは何の資源が豊富？

10. ジンドゥカは何が多い？

付録 6: 4 章で利用したテスト（惑星）

お名前_____ スコア_____

1. ネビスマゲラはどのような触感をしている？

2. ヒセムゲアルの産地は？

3. セビュレンの色は何色？

4. ヒセムゲアルは何に強い特性を持っている？

5. セビュレンの産地は？

6. ネビスマゲラの値段は何億円？

7. セビュレンはどのような触感をしている？

8. ヒセムゲアルはどこで採取できる？

9. ネビスマゲラは何に強い特性を持っている？

10. セビュレンの比重は？

付録 7: 4 章で利用したテスト（宝石）

宇宙人

ラレンツォ	バルゼデンコ	タルムスケア
・ スリランカ で発見された ・ 目撃された個体数は 10 体 ・ 橙色 の目 ・ 友好的 な性格 ・ 寿命は 500 年 ・ 闘技場 で目撃された ・ 白金 が好き	・ ポルトガル で発見された ・ 目撃された個体数は 80 体 ・ 空色 の目 ・ 感情的 な性格 ・ 寿命は 900 年 ・ 地下鉄 で目撃された ・ 水銀 が好き	・ モロッコ で発見された ・ 目撃された個体数は 6 体 ・ 桃色 の目 ・ 懐疑的 な性格 ・ 寿命は 2000 年 ・ 動物園 で目撃された ・ 亜鉛 が好き

付録 8: 5 章で利用した記憶タスク（宇宙人）

化石

タファベレ	アグセムスヘ	フラセバボス
・ パキスタン に展示されてる ・ 7 年前に発掘 ・ 薄い 黄色 ・ まるまる とした形状 ・ 大きさは 600 cm ・ 密林 で発掘 ・ 所有者の職業は 裁判官	・ マダガスカル に展示されてる ・ 2 年前に発掘 ・ 薄い 水色 ・ ごつごつ とした形状 ・ 大きさは 4000 cm ・ 雪原 で発掘 ・ 所有者の職業は 看護婦	・ トルコ に展示されてる ・ 30 年前に発掘 ・ 薄い 赤色 ・ とげとげ とした形状 ・ 大きさは 700 cm ・ 砂漠 で発掘 ・ 所有者の職業は 脚本家

付録 9: 5 章で利用した記憶タスク（化石）

惑星

コルカボスマ	エジェパゼ	ヘスツミヒセ
- マケドニア が最初に着陸 - 平均気温は 60 度 - 全体的に 桜色 - 神秘的な 惑星 - 半径は 800 km - 滝 が多い - パイパイ が名産品	- ギリシャ が最初に着陸 - 平均気温は 5 度 - 全体的に 金色 - 豊かな 惑星 - 半径は 3000 km - 沼地 が多い - ドリアン が名産品	- ベルギー が最初に着陸 - 平均気温は 20 度 - 全体的に 緑色 - 不気味な 惑星 - 半径は 900 km - 火山 が多い - イチジク が名産品

付録 10: 5 章で利用した記憶タスク（惑星）

宝石

ルビュケラ	グバケスタク	ナゴルバメス
- イスラエル が輸入量 1 位 - 硬度は 3 - 黒色 の宝石 - 小さい ことで有名 - 平均価格は 6000 円 - 川 で採取できる - 石言葉は 希望	- ケニア が輸入量 1 位 - 硬度は 9 - 藍色 の宝石 - 重い ことで有名 - 平均価格は 7000 円 - 山 で採取できる - 石言葉は 才能	- コスタリカ が輸入量 1 位 - 硬度は 5 - 紫色 の宝石 - 四角い ことで有名 - 平均価格は 100 円 - 海岸 で採取できる - 石言葉は 強運

付録 11: 5 章で利用した記憶タスク（宝石）

微生物

ギュラバム	ダラレフピア	セギロマチカ
・ 発見者は マレーシア 出身 ・ 大きさは 40 nm ・ シアン色 の体 ・ 特徴は 脆い ・ 8000 年前から存在 ・ 土壌 の中に生息 ・ 毒 に強い	・ 発見者は チェコ 出身 ・ 大きさは 10 nm ・ ライム色 の体 ・ 特徴は 臭い ・ 200 年前から存在 ・ 水田 の中に生息 ・ 電気 に強い	・ 発見者は アルゼンチン 出身 ・ 大きさは 9 nm ・ セピア色 の体 ・ 特徴は 冷たい ・ 5000 年前から存在 ・ 空気 の中に生息 ・ 炎 に強い

付録 12: 5 章で利用した記憶タスク（微生物）

お名前_____ スコア_____

1. バルゼデニコは何が好き？

2. ラレンツォは何色の目を持っている？

3. タルムスケアはどの国で発見された？

4. ラレンツォの寿命は何年？

5. バルゼデニコはどの国で発見された？

6. タルムスケアは何色の目を持っている？

7. バルゼデニコはどこで目撃された？

8. ラレンツォはどのような性格をしている？

9. タルムスケアの目撃された個体数は？

10. ラレンツォはどこで目撃された？

付録 13: 5 章で利用したテスト（宇宙人）

お名前_____ スコア_____

1. アグセムスへの見た目は薄い何色？

2. タファベレはどこで発掘された？

3. フラセバボスの所有者の職業は？

4. アグセムスへは何年前に発掘された？

5. フラセバボスはどの国で展示されている？

6. タファベレはどのような形状をしている？

7. アグセムスへはどこで発掘された？

8. タファベレの大きさは何 cm？

9. フラセバボスはどのような形状をしている？

10. アグセムスへの所有者の職業は？

付録 14: 5 章で利用したテスト（化石）

お名前_____ スコア_____

1. コルカボスマを最初に観測した国は？

2. ヘスツミヒセは全体的に何色？

3. コルカボスマはどのような雰囲気の惑星？

4. エジェバゼの半径は何 km？

5. ヘスツミヒセを最初に観測した国は？

6. コルカボスマは全体的に何色？

7. エジェバゼの平均気温は何度？

8. コルカボスマは何が多い？

9. ヘスツミヒセはどのような雰囲気の惑星？

10. エジェバゼの名産品は？

付録 15: 5 章で利用したテスト（惑星）

お名前_____ スコア_____

1. ルビュケラはどのようなことで有名？

2. ナゴルバメスの輸入量 1 位の国は？

3. グバケスタクは何色？

4. ナゴルバメスの石言葉は？

5. グバケスタクの輸入量 1 位の国は？

6. ルビュケラの平均価格は何円？

7. グバケスタクはどのようなことで有名？

8. ナゴルバメスはどこで採取できる？

9. ルビュケラの石言葉は？

10. グバケスタクの硬度は？

付録 16: 5 章で利用したテスト（宝石）

お名前_____ スコア_____

1. セギロマチカの大きさは何 nm ?

2. ダラレフピアは何に強い？

3. セギロマチカはどのような個体が多い？

4. ギュラバムの体は何色？

5. ダラレフピアは何の中に生息してる？

6. ギュラバムは何に強い？

7. ダラレフピアは何年前から存在してる？

8. ギュラバムの発見者の出身国は？

9. セギロマチカは何の中に生息してる？

10. ダラレフピアの体は何色？

付録 17: 5 章で利用したテスト（微生物）

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 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巣作りの場が減少し、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。現在では70羽以下しか確認されておらず、保護活動が進められています。 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。
ウロダカマフグ (Urodakamafugu) 分類: 魚類 / フグ科 生息地: ギリシャ近海の深海 ウロダカマフグは、体の表面が半透明の膜に覆われている深海魚です。光を吸収して緑色に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。 ウロダ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。 生態メモ: 外敵に襲われると、体を激しく発光させながら逃げる。 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。
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: ポルトガルの乾燥地帯 ヤブラサキワラジムシは、大型のワラジムシで、甲羅のような桜色の硬い外骨格をもっており、「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。 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る。

付録 18: 6 章で利用した記憶タスク（絶滅危惧種）

サウリウム・エクアリス (Saurium equarius) 分類:獣脚類 / スピノサウルス科 生息地:コスタリカの浅い熱帯の海域 サウリウム・エクアリスは全長8メートルの大型肉食恐竜で、水陸両方に適応したスピノサウルスの仲間です。背中には大きな帆状の突起があり、この帆を使って水中を滑るように移動したとされています。また、帆は求愛行動にも使用されたと考えられています。鋭い爪を持ち、魚を主食としますが、小型恐竜も襲うことがありました。その生息地は海岸線や河口付近で、化石は貝殻と共に発見されることが多いです。 注目ポイント: 背中の帆は橙色に輝いていた可能性がある。 泳ぎが得意で「海神の刃」とも呼ばれる。
テラロキス・キリタリス (Terrarox kyritallis) 分類:獣脚類 / ドロマエオサウルス科 生息地:スイスの寒冷地域 テラロキス・キリタリスは、全長3メートルほどの中型肉食恐竜で、全身が空色の厚い羽毛に覆われていました。この羽毛には氷の結晶のような反射性があり、周囲の雪景色に溶け込むことで群れて行う狩りの成功率を高めていたと考えられています。氷原で生活していたため、足裏には滑り止めの役割を持つ肉球状の突起があり、雪上での素早い移動が可能でした。また、鋭い鉤爪を持ち、主に小型の哺乳類や鳥類を狩っていたと考えられています。 注目ポイント: 雪上を跳ねるように移動する姿から「雪の踊り子」の異名を持つ。 獲物の骨を利用して巣を作る恐竜として注目される。
マグナセリ・ラミリス (Magnaceri lamiris) 分類:竜脚類 / ブラキオサウルス科 生息地:エチオピアの熱帯雨林 マグナセリ・ラミリスは全長20メートルの大型草食恐竜で、のどの部分に発光器官を持っていたという特徴的な竜脚類です。この発光器官は普段は社会的な階級表示に使われていたとされており、発情期には鮮やかな紫色の光を放つと考えられています。巨体を持ちながらも動きは比較的俊敏で、高い木々の葉を主食としていました。その骨格から、首の動きが非常に柔軟で、幅広い高さの植物を摂取できたことが示されています。 注目ポイント: その発光器官の明るさから「天の灯火」とも呼ばれている。 特殊な感覚器官で湿度の微妙な変化を感知することができる。

付録 19: 6 章で利用した記憶タスク（恐竜）

『永遠の迷宮 (The Labyrinth of Eternity)』 ジャンル: サイエンスフィクション / ミステリー 監督: エリオット・カースウェル 舞台はマレーシア。科学者エリナ・クロフォードは、時間を操る装置の開発に成功する。しかし、その装置を使用した瞬間、彼女は過去・現在・未来が複雑に絡み合った空間に閉じ込められてしまう。エリナはそこで歴史上の人物と遭遇し、世界の崩壊を防ぐため、正しい時間軸を探さなければならない。映画は人生の選択をテーマにしており、時間のループが視覚的に錯綜する斬新な映像表現が特徴で、観客自身もどの時間が現実なのかを問いかねられる構成となっている。公開年は1960年。 記憶に残る要素: 各時代の交差点で登場する門番が腰につけている鈴。 時間を操る装置であるセピア色の球体。
『天上の橋 (The Bridge of Heaven)』 ジャンル: ホラー / サスペンス 監督: セシリア・ロマーノ アルゼンチンの小さな村では、空に現れる歪んだ虹を見た人々が次々と行方不明になるという怪奇現象が発生していた。記者のサミュエルは、この謎を追うため村を訪れるが、次第に自らも歪んだ虹に引き寄せられていく。やがて、虹は村の地下深くに眠る謎の存在と繋がっていることが明らかになる。映画は、未知の恐怖をテーマにした不気味な音響演出で観客の心理的恐怖を引き出すことに成功している。特に、歪んだ虹が夜空に浮かぶシーンは多くの映画評論家から絶賛された。公開年は1950年。 記憶に残る要素: 村人全員が持つページ色の謎のペンダント。 町長の隠し金庫で発見される石板。
『意識の監獄 (Prison of Consciousness)』 ジャンル: ドラマ / ファンタジー 監督: ルーカス・フィッツジェラルド 舞台は近未来のチェコ。人々はヘッドギアを使い、亡くなった人の記憶を仮想空間で再現できるようになった。しかし、主人公のアンドリューは再現された妻の記憶が、少しずつ現実とは異なり始めていることに気づく。仮想空間と現実の境界が曖昧になる中で、彼は妻の死に隠された真実と向き合うことになる。映画は、現実の喪失というテーマを哲学的に掘り下げ、視覚的にも仮想空間と現実の対比が巧みに描かれている。特にクライマックスの思念が漂う海のシーンは涙を誘う。公開年は1990年。 記憶に残る要素: 仮想空間に浮かぶ無数の写真。 アンドリューの妻の遺品であるシアン色のお守り。

付録 20: 6 章で利用した記憶タスク（映画）

『闇夜の旅 (Journey in the Night)』 作者: レオナルド・ヴァーヴェル ジャンル: ファンタジー / ミステリー モロッコにある古い城は、毎晩動き出し、夜の闇の中を歩くという伝説が語り継がれている。その城の新たな主人となった孤独な少年リオは、城の中で奇妙な声に悩まされる。やがて、リオは城の動きには失われた時間を取り戻すための秘密が隠されていることを知り、城が歩く理由を解明しようとする。物語は、精密な描写が特徴で、リオの冒険が読者を引き込む。結末では、城の動きの真実が明らかになり、魂の成長をテーマにした深いメッセージが浮かび上がる。40年前に出版された。 記憶に残る要素: 夜の静寂に雷鳴のように鳴り響く城の足音。 城の秘密に関する手がかりである茜色の手鏡。
『昔日の声 (Voice from the Past)』 作者: リナ・ヴェクトル ジャンル: 恋愛 / ミステリー 舞台は数十年前のスリランカ。若き作家サンドラは、祖母の古い屋敷で一通の手紙を発見する。それは大戦中に亡くなった祖母の初恋の相手を書いたもので、差出人不明の謎めいた内容だった。手紙を読み解くうちに、彼女は家族に隠された秘密と、自分自身の運命に繋がる驚くべき真実を知ることになる。この小説は、手紙を中心に展開する謎解きのプロットと、運命の愛をテーマにした深い感情描写が特徴。手紙の存在が作品全体に影響を与え、物語が進むにつれてその意味が明らかになる。80年前に出版された。 記憶に残る要素: サンドラが屋敷の中で見つけた古びたコイン。 屋敷の地下に隠された銅像がつけている瑠璃色の宝石がはめ込まれた指輪。
『忘却の街 (The Fading City)』 作者: イシャール・カリム ジャンル: ファンタジー / サスペンス フィリピンのある都市では、住民が次々と姿を消し、街そのものが徐々に消滅しているという奇妙な現象が起きていた。主人公である画家のジョンは、消える直前の人々の肖像画を描く特異な才能を持つ。彼は自分の絵が記憶や存在を留める鍵であることに気づき、真実を追いつめる。しかし、描いた肖像が消えた住民を取り戻す代償として自身の記憶を削り取るものであると判明し、彼は葛藤することになる。作品は、存在の儚さをテーマに、読者に深い感情を呼び起こす。30年前に出版された。 記憶に残る要素: ジョンがいつも大切に持ち歩いている山吹色の絵具。 消える人々が残していくライター。

付録 21: 4 章で利用した記憶タスク（小説）

名前： _____ 自信度 (1) 孤島に生息するカモノ科の絶滅危惧種の名前は？ (A) レナガグリ (B) レナダグリ (C) レネカグリ (D) レネダグリ 1 2 3 4 5 (2) (1) の絶滅危惧種はどの国付近の孤島に生息している？ _____ (3) (1) の絶滅危惧種が現在確認されているのは何羽以下？ _____ (4) (1) の絶滅危惧種の羽毛は何色の模様がある？ _____ (5) (1) の絶滅危惧種の羽毛の模様は何に使われている？ _____ (6) (1) の絶滅危惧種はほとんど活動しないのは何の間？ _____ (7) (1) の絶滅危惧種はその生態から何と呼ばれていた？ _____ (8) 深海に生息するフグ科の絶滅危惧種の名前は？ (A) クロタケメフグ (B) ウレダケメフグ (C) ウレタケメフグ (D) クロダケメフグ 1 2 3 4 5 (9) (8) の絶滅危惧種はどの国近海の深海に生息している？ _____ (10) (8) の絶滅危惧種が現在保護されているのは何匹以下？ _____ (11) (8) の絶滅危惧種は何色に発光する？ _____ (12) (8) の絶滅危惧種の発光は何に使われている？ _____ (13) (8) の絶滅危惧種が捕獲されやすい期間は？ _____ (14) (8) の絶滅危惧種はその性質から何と呼ばれている？ _____	名前： _____ 自信度 (15) 乾燥地帯に生息するワラジムシ科の絶滅危惧種の名前は？ (A) ヤブタサキワラジムシ (B) ヤブレスカワラジムシ (C) ヤブタサカワラジムシ (D) ヤブレスカワラジムシ 1 2 3 4 5 (16) (15) の絶滅危惧種はどの国の沿岸の乾燥地帯に生息している？ _____ (17) (15) の絶滅危惧種は何色の外骨格を持っている？ _____ (18) (15) の絶滅危惧種の再発見時の個体数は何匹以下？ _____ (19) (15) の絶滅危惧種の異名は？ _____ (20) (15) の絶滅危惧種の外骨格はどういう役割を果たしている？ _____
--	---

付録 22: 6 章で利用した記憶タスク（絶滅危惧種）

名前： _____ 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) サウリウム・エタアリス (B) サウロニウム・エタアリス (C) サイロニウム・エタアリス (D) セイリウム・エタアリス 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) の恐竜の肌は何色に輝いていた可能性がある？ _____ (5) (1) の恐竜の肌は水中移動以外に何に使われていたと考えられている？ _____ (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) テラルクス・キリタリス (B) テリタロス・キリタリス (C) テラロクス・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？ _____	名前： _____ 自信度 (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・ラミリス (C) マグナセリ・ラミリス (D) マグネセリ・ラムリス 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？ _____
---	---

付録 23: 6 章で利用した記憶タスク（恐竜）

名前： _____	名前： _____
自信度	自信度
(1) 科学者エリナ・クロフォードが主人公のミステリー映画のタイトルは？	(15) 近未来が舞台であるアンドリューが主人公のファンタジー映画のタイトルは？
(2) (1) の映画の監督の名前は？	(16) (15) の映画の監督の名前は？
(A) エリオット・カースウェル (B) エリオット・カールウィン	(A) ルーク・フィッツジェラルド (B) ルーカス・フィッツジェラルド
(C) エリオース・カールウェル (D) エリオース・カートウィル	(C) ルーカス・フィッツジェラルド (D) ルーク・フィッツジェラルド
(3) (1) の映画の舞台はどの国？	(17) (15) の映画の公開年は？
(4) (1) の映画内で開発された時間を操る装置の色は？	(18) (15) の舞台は近未来のどの国？
(5) (1) の映画の公開年は？	(19) (15) の映画にてでてる妻の遺品のお守りは何色？
(6) (1) の映画にて門番に付けているのは何？	(20) (15) の映画は何というテーマを哲学的に掘り下げている？
(7) (1) の映画は何をテーマにしている？	
(8) 記者サミュエルが主人公のサスペンス映画のタイトルは？	
(9) (8) の映画の監督は？	
(A) セシリア・ラマーニ (B) セシロス・ラマーニ	
(C) セシリア・ロマーノ (D) セシロス・ロマーノ	
(10) (8) の映画の公開年は？	
(11) (8) の映画内で村人が持っているペンダントの色は？	
(12) (8) の映画はどの国の小さな村の話？	
(13) (8) の映画内にて町長の隠し金庫で見られるのは何？	
(14) (8) の映画の音響演出は何をテーマにしている？	

付録 24: 6 章で利用した記憶タスク（映画）

名前： _____	名前： _____
自信度	自信度
(1) 孤独な少年リオが主人公のファンタジー小説のタイトルは？	(14) 画家のジョンが主人公のサスペンス小説のタイトルは？
(2) (1) の小説の作者の名前は？	(15) (14) の小説の作者の名前は？
(A) レオナルド・ヴァルグレン (B) レオニード・ヴァーグレン	(A) イシエル・クラム (B) イシヤール・クラム
(C) レオニード・ヴァルグレン (D) レオナルド・ヴァーグレン	(C) イシエル・クラム (D) イシヤール・クラム
(3) (1) の小説が出版されたのは何年前？	(16) (14) の小説が出版されたのは何年前？
(4) (1) の小説に登場する手帳は何色？	(17) (14) の小説はどの国の都市の話？
(5) (1) の小説の結末では何をテーマにしたメッセージが浮かび上がる？	(18) (14) の小説のテーマは何？
(6) (1) の小説の城はどの国にある？	(19) (14) の小説内でジョンが大切に持ち歩いているのは何色の絵具？
(7) (1) の小説内での城の足音は何のようである？	(20) (15) の小説にて消える人々が残していくのは何？
(8) 作家のサンドラが主人公の恋愛小説のタイトルは？	
(9) (8) の小説の作者の名前は？	
(A) レナ・ヴィクトル (B) レナ・ヴェクター	
(C) リナ・ヴェクトル (D) リナ・ヴィクター	
(10) (8) の小説が出版されたのは何年前？	
(11) (8) の小説は何をテーマにした感情描写が特徴？	
(12) (8) の小説にて出てきた指輪にはめられた宝石は何色？	
(13) (8) の小説の舞台はどの国？	

付録 25: 6 章で利用した記憶タスク（小説）