

# 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

青木 柊八<sup>1</sup> 高野 沙也香<sup>1</sup> 中村 聡史<sup>1</sup>

**概要**：文字列を記憶する際には、繰り返し学習を行い、その文字列を確実に定着させようとするが、それにはある程度の時間と労力がかかる。ここで、記憶に係る効果として、流暢度の低い文字のほうが流暢度の高い文字よりも記憶に残りやすくなるという非流暢性効果が知られている。そこで本研究では、視線に連動して記憶対象文字列の流暢度を変化させることで、文字列自体の記憶容易性を向上させ、暗記学習における支援になるのではないかと考えた。本研究では、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、それを用いて特徴記憶実験を行った。またプレ実験の分析結果と評価コメントを参考に実験条件を再度設計し、本実験を行った。その結果、ぼかしあり条件のほうがぼかしなし条件よりも平均点が高くなり、提案手法の有効性が明らかになった。

**キーワード**：ぼかし、視線、記憶、記憶容易性、非流暢性効果

## 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、短期記憶を長期記憶に昇華させる必要がある。この情報を長期記憶に保持する際には、繰り返し学習を短期間のうちに行う必要がある[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非流暢性効果が存在し、様々な研究が行われている。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明らかにした。また、Sungkhasettee ら[3]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、さらに Ito ら[4]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、これらの手法は既存の学習教材などに適用する場合、文字情報を差し替える必要があるためシステム化は容易ではない。

一方、非流暢性効果のひと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[5]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、記憶を向上させる効果はないということを明らかにした。一方、Rosner ら[6]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た。さらに、黒田ら[7]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が、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、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かったのは、ぼかしが弱い場合だと学習への負荷が十分でなく、ぼかしなしのほうが視認しやすいため、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原因の一つとして考えられる。この問題はぼかしを強めることで解決できる可能性が示唆されているが、Hata ら[8]が示している通り、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、教材の覚えたい箇所に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い、結果としてぼかされている部分が読み飛ばされるなどして注意が十分に向けられない可能性が考えられる。

そこで本研究では、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

<sup>1</sup> 明治大学  
Meiji University

見えるようにすることで流暢度を上げるものである。ユーザは視線をばかされた部分に向けてとその記憶対象文字列の流暢度が高くなっていくため、その記憶対象の部分に視線が滞留することになり、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。

本研究では、提案手法をシステムとして実装し、「視線による流暢度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」という仮説を立て、評価実験を実施することにより視線に連動したばかしの記憶における有用性を明らかにする。

## 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。谷上[9]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は活字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、記憶に関しては書体のような表面的な特徴の影響を受けないと結論付けている。Itoら[4]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ほうが記憶に残りやすいことを明らかにした。山崎ら[10]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があることを明らかにした。Gellerら[11]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明らかにした。また、読みやすい筆記体の文字のほうが読みにくい筆記体の文字よりよく記憶される傾向も明らかにした。

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。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明らかにした。藤原[12]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。

このように、文字フォントや文字色、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の形状と同様に既存の教材などに適応できないため手軽に学習に組み込むことが難しい。

また、宮川ら[13]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示唆している。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。このことから、我々は文章内の文字列に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た。

### 2.2 ばかしによる非流暢性と記憶に関する研究

Yueら[5]は単語にば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、ばかしありとばかしなしの単語を混合して提示した際にはばかしなしの学習評価と思い出し率が高くなった。一方で、ばかしありとばかしなしの単語を混合せずに提示した際はばかしなしのほうが思い出し率は高くなるが、学習評価はばかしありのほうが高くなることを明らかにした。このことから、ばかすことは流暢度を下げる効果があるが、記憶を向上させる効果はないことに加え、ばかしありとばかしなしの両パターンを見せた際には、ばかしなしのほうが覚えやすいと思われることが示唆された。

一方、Rosnerら[6]はばかしが記憶に与える影響について調査した。その結果、ばかしありとばかしなしが混合していたかどうかに関係なく、ばかしありの単語を多く覚えていたことが明らかになった。しかし、ばかしの深度を少し下げて実験を行ったところ、ばかしなしのほうがばかしありより単語記憶率が高かったことから、ばかしの深度が弱い場合は記憶を向上させる効果が弱い、ば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、ばかしの深度は強いほうがよく、その場合であればばかしありとばかしなしが混同していてもばかしありの条件の記憶率が高くなる可能性が示唆された。

さらに、黒田ら[7]はワーキングメモリ容量(WMC)にもとづいて様々な深度のばかしによる非流暢性効果の検討を行っている。実験では、実験協力者にばかしありのひらがな単語とばかしなし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、すべての条件で非流暢性効果が観察されなかったことを明らかにしている。

Strukeljら[14]は、弱めのローパスフィルタを280文字のスウェーデン語により構成された文章に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について視線を取得し調査を行った。その結果、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、平均固視時間に影響を与えないと結論付けている。この結果から、文章全体にばかしをかけるだけでは記憶の支援にはならず、視線に与える影響もないということが示唆された。

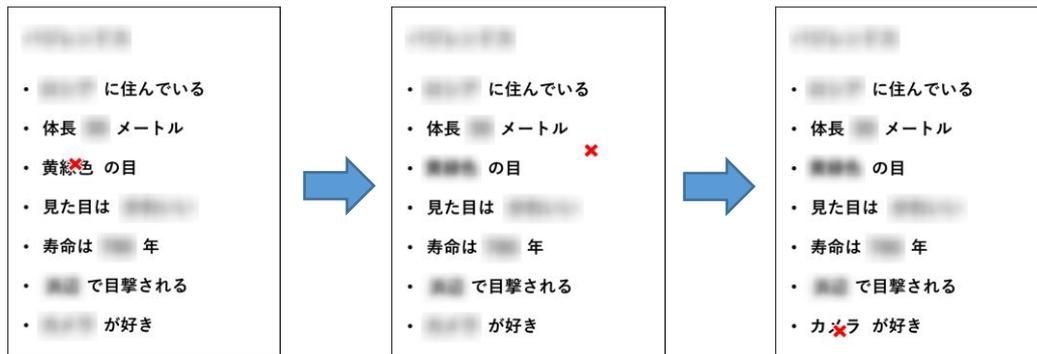


図1：本システムの利用イメージ（×を視線の位置と仮定）

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、論文によって実験方法が異なり、結果にばらつきが存在する。

### 3. 提案手法

#### 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

非流暢性効果は学習の支援になるが、既存の教材に適用する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ものの、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。

我々は既存の教材上の記憶対象の流暢度を変化させる手段として、追加的に付与することが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[5]-[7]、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、ひとはそこを読み飛ばしてしまう可能性も考えられる。そこで我々は、視線に連動して記憶対象文字列の流暢度を変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、ユーザの視線がそのぼかされている対象に向けられた際にぼかしが弱まり、記憶対象がく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り、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。本提案手法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

本システムでは、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 $\delta$ 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りぼかしを行い、初期状態を $\sigma_0$ 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 $\sigma_{clear}$ 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。

### 4. プレ実験

#### 4.1 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どうか、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。

#### 4.2 プレ実験の実験設計

実験では、山崎ら[10]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、著者らで事前に協議を行い、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工夫を行った。また、7つの特徴のカテゴリは、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、そして既存の単語とした。

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。

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	・ カナダ に住んでいる	・ インド に住んでいる
・ 体長 30 メートル	・ 体長 2 メートル	・ 体長 50 メートル
・ 黄緑色の目	・ 茶色の目	・ 黒色の目
・ 見た目は 怖い	・ 見た目は 怖い	・ 見た目は たくましい
・ 寿命は 700 年	・ 寿命は 1000 年	・ 寿命は 800 年
・ 浜辺 で目撃される	・ 図書館 で目撃される	・ 病院 で目撃される
・ カメラ が好き	・ リボン が好き	・ 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	・ カナダ に住んでいる	・ インド に住んでいる
・ 体長 30 メートル	・ 体長 2 メートル	・ 体長 50 メートル
・ 黄緑色の目	・ 茶色の目	・ 黒色の目
・ 見た目は かわいい	・ 見た目は 怖い	・ 見た目は たくましい
・ 寿命は 700 年	・ 寿命は 1000 年	・ 寿命は 800 年
・ 浜辺 で目撃される	・ 図書館 で目撃される	・ 病院 で目撃される
・ カメラ が好き	・ リボン が好き	・ ピアノ が好き

図 3：記憶タスクの例（ぼかしなし）

### 4.3 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、問題なく正確に視線が取得できた人に実験の協力を依頼した。キャリブレーションを行った後に、実験についての細かい説明を行った。その際に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理解してもらった。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が起きることを防止した。さらに、実験協力者にはより集中できる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、図 3 がぼかしなしとなっている。なお、ぼかしありの場合、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、 $\sigma_0$  を 16、 $\sigma_{clear}$  を 2 とした。また、 $\delta$  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。図 4 は問題文の例である。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[15]の研究で正答率の高かっ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～

お名前 \_\_\_\_\_ スコア \_\_\_\_\_

1. バジレンドスは何か好き？  
\_\_\_\_\_
2. ブレンコセオは何色の目を持っている？  
\_\_\_\_\_
3. フェルンヘはどこに住んでいる？  
\_\_\_\_\_
4. ブレンコセオの寿命は何年？  
\_\_\_\_\_
5. バジレンドスはどこに住んでいる？  
\_\_\_\_\_
6. フェルンヘは何色の目を持っている？  
\_\_\_\_\_
7. バジレンドスはどこで目撃される？  
\_\_\_\_\_
8. ブレンコセオはどのような見た目をしている？  
\_\_\_\_\_
9. フェルンヘの体長は？  
\_\_\_\_\_
10. ブレンコセオはどこで目撃される？  
\_\_\_\_\_

図 4：問題文の例

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った形式で作成した。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。

実験用 PC としては、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。

### 4.4 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

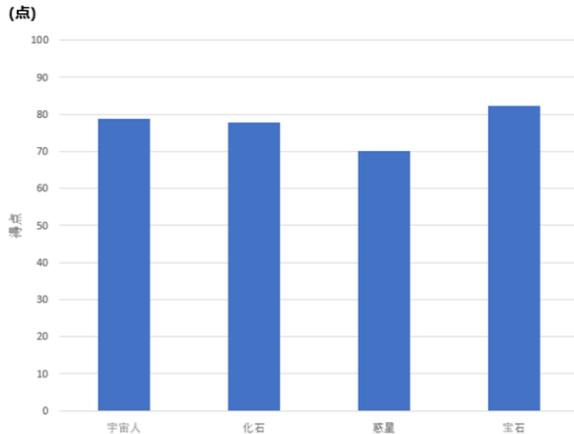


図 5：テーマごとの得点の平均

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 5 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、ぼかしあり条件の平均得点は 79.2 点であり、ぼかしなし条件の平均得点は 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。

#### 4.5 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予想される。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ような問題が発生していた可能性があり、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、今回の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い。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ような言い回しがいくつか存在し、別の特徴を回答として

書いてしまう場合があった。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。

本実験では、以上の知見とアンケートでのコメントを参考に実験を設計し実施する。

## 5. 本実験

### 5.1 本実験設計

本実験では、プレ実験の結果をもとに実験を再設計した。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[16]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と考えたためである。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、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であり本番に近いようなものを見せていたのを、あえて特徴が「あれ」や「それ」のように具体性を欠いたものに変更した。これは、プレ実験のコメントで「サンプルで見せられた内容が残り、記憶の邪魔になった」というものがあったためである。

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 6)。具体的には、漢字が含まれている文字列の  $\sigma_0$  を 16、 $\sigma_{clear}$  を 2 とし、それ以外は  $\sigma_0$  を 24、 $\sigma_{clear}$  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  $\delta$  の値はプレ実験同様 40 に設定した。

また、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が明らかになった。そこで我々は、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  $\sigma_1$  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  $\sigma_1$  を 8、それ以外の場合には  $\sigma_1$  を 16 になるようにすることで、図 7 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。

宇宙人		
ぼかしあり	ぼかしなし	ぼかしあり
・ <b>火星</b> に住んでいる	・ <b>火星</b> に住んでいる	・ <b>火星</b> に住んでいる
・ 体長 <b>1.5</b> メートル	・ 体長 <b>1.5</b> メートル	・ 体長 <b>1.5</b> メートル
・ <b>黒い</b> の目	・ <b>黒い</b> の目	・ <b>黒い</b> の目
・ 見た目は <b>黒い</b>	・ 見た目は <b>黒い</b>	・ 見た目は <b>黒い</b>
・ 寿命は <b>100</b> 年	・ 寿命は <b>100</b> 年	・ 寿命は <b>100</b> 年
・ <b>火星</b> で目撃される	・ <b>火星</b> で目撃される	・ <b>火星</b> で目撃される
・ <b>火星</b> が好き	・ <b>火星</b> が好き	・ <b>火星</b> が好き

図 6：記憶タスクの初期段階でのぼかし

宇宙人		
ぼかしあり	ぼかしなし	ぼかしあり
・ <b>火星</b> に住んでいる	・ <b>火星</b> に住んでいる	・ <b>火星</b> に住んでいる
・ 体長 <b>1.5</b> メートル	・ 体長 <b>1.5</b> メートル	・ 体長 <b>1.5</b> メートル
・ <b>黒い</b> の目	・ <b>黒い</b> の目	・ <b>黒い</b> の目
・ 見た目は <b>黒い</b>	・ 見た目は <b>黒い</b>	・ 見た目は <b>黒い</b>
・ 寿命は <b>100</b> 年	・ 寿命は <b>100</b> 年	・ 寿命は <b>100</b> 年
・ <b>火星</b> で目撃される	・ <b>火星</b> で目撃される	・ <b>火星</b> で目撃される
・ <b>火星</b> が好き	・ <b>火星</b> が好き	・ <b>火星</b> が好き

図 7：ぼかしが戻った際の記憶タスクのぼかし

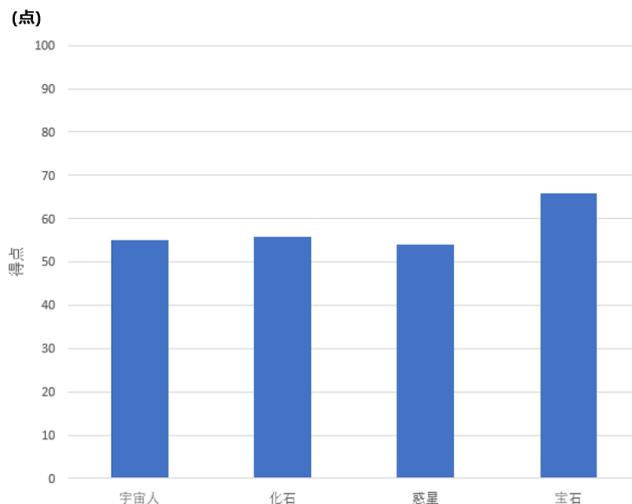


図 8：テーマごとの得点の平均

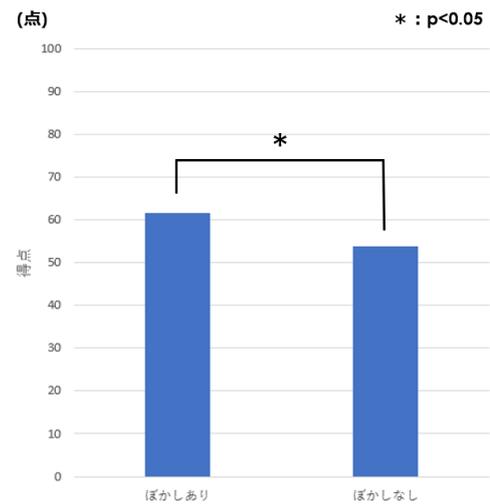


図 9：本実験の結果（得点）

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、そうした似ている言い回しがなくなるように提示する文章に変更を加えた。

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。

## 5.2 本実験結果

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 8 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ることが示唆された。次に、手法ごとの得点の平均を図 9 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性を調べるため、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回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一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て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

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

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。

### 5.3 実験考察

本実験の結果より、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てい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思をもたせると同時に、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。

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

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

## 6. まとめ

本研究では、文字列の記憶容易性を向上させ、繰り返し学習の負担を軽減することを目的とし、記憶したい文字列にぼかしを付与し、視線に応じてそのぼかしを段階的に晴らしていく手法を提案した。また視線に連動して文字列にかかっているぼかしの深度が変化するシステムを実装し、「視線による流暢度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、提案手法の有効性を検証するため、視線計測が可能な PC 上で特徴記憶実験を行い、類似度の高さが記憶に及ぼす影響について検証した。

本研究ではまずプレ実験を行い、実験設計における問題点や提案手法を用いた際の傾向を調べた。その結果、記憶してもらった後の待機時間に行わせる作業として、10 分の百マス計算は適切ではないことが明らかになった。また、ぼかしの初期深度を統一してしまうと漢字とその他で差が出てしまうため、漢字にかけるぼかしはほかの場合よりも弱くしたほうが良いということも明らかになった。そこでこの結果を踏まえて実験設計を調整し、本実験を行った。

本実験では、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た場合のほうが与えなかった場合よりも有意に得点が高いことが示された。またそれぞれの条件が正解した問題と不正解した問題に向けていた視線の合計時間の平均を分析した結果、ぼかしあり条件において正解した問題に向けられていた視線の合計時間のほうが不正解した問題に向けられていた視線の合計時間より有意に長いことがわかった。一方、ぼかしなし条件において正解した問題に向けられていた視線の合計時間と不正解した問題に向けられていた視線の合計時間に大きな差がなかったことから、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ことが明らかになった。しかし、それぞれの条件が正解した問題と不正解した問題に対する固視回数に関しては、ぼかしあり条件のほうがぼかしなし条件より多くなるが、ぼかしあり条件において正解した問題に対する固視回数と不正解した問題に対する固視回数に有意な差がなかったことから、固視回数の多さは文字列の記憶容易性に影響を与えない可能性がある。

今回の実験では視線のログは取得していたものの、どの段階でぼかしがかかっていたか、もしくはかかっていなか

ったかの判別は行っておらず、ぼかし自体が記憶に与えていた影響についての分析を行うことができなかった。そのため、今後はこの視線をより詳細に分析することで手法の有用性について検討予定である。また、今後はより文字列の記憶しやすさを向上させるために、より適切なぼかしの初期深度やぼかしの変化速度についての調査を行う。さらに、視線に連動した非流暢性制御を行うことが文字列の記憶容易性に与える影響について、視線への負荷だけではなく、ぼかしが与えた負荷についても調査していく。

[16] "Super Jigsaw Puzzle: Generations". [https://store.steampowered.com/app/1036950/Super\\_Jigsaw\\_Puzzle\\_Generations/](https://store.steampowered.com/app/1036950/Super_Jigsaw_Puzzle_Generations/) (参照 2022-12-12)

## 参考文献

- [1] Hermann Ebbinghaus. *Memory: A Contribution to Experimental Psychology* (2011), Nabu Press.
- [2] Oppenheimer, D. M., Diemand-Yauman, C., Vaughan, E. B.. Fortune favors the bold (and the italicized): Effect of disfluency on educational outcomes. *Cognition*. 2011, vol. 118, no. 1, p. 111-115.
- [3] Sungkhasettee, V.W., Friedman, M.C. and Castel, A.D. Memory and metamemory for inverted words: Illusions of competency and desirable difficulties. *Psychon Bull Rev*. 2011, vol. 18, no. 973.
- [4] Ito R., Hamano K., Nonaka K., Sugano I., Nakamura S., Kake A., Ishimaru K.. Comparison of the Remembering Ability by the Difference Between Handwriting and Typeface, *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2020, vol. 1224, p. 526-534.
- [5] 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. *Mem Cogn*, 2013, vol. 41, p. 229–241.
- [6] Rosner T.M., Davis H., Milliken B. Perceptual blurring and recognition memory: A desirable difficulty effect revealed. *Acta Psychologica*. 2015, vol 160, p. 11-22
- [7] 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*, 2020, vol. 37, p. 521-525.
- [8] Hata, H., Koike, H., Sato, Y.: Visual Guidance with Unnoticed Blur Effect. In: *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*. Association for Computing Machinery, 2016, p. 28–35.
- [9] 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*. 2019, no. 422, p. 18-29.
- [10] 山崎郁未, 伊藤理紗, 濱野花莉, 中村聡史, 掛晃幸, 石丸築. 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, *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)*, 2020, vol. 2020-HCI-189, no. 16, p. 1-7.
- [11] Geller, J., Still, M.L., Dark, V.J, Carpenter, S.K. Would disfluency by any other name still be disfluent? Examining the disfluency effect with cursive handwriting. *Mem Cogn*. 2018, vol. 46, p. 1109–1126.
- [12] 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*, 2020, no. 28, p. 77-106.
- [13] 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*. 2017, vol. 24, no. 3, p. 450-456.
- [14] Strukelj, A., Scheiter, K., Nyström, M, Holmqvist, K. Exploring the lack of a disfluency effect: evidence from eye movements. *Metacognition Learning* 11. 2016, p. 71–88.
- [15] 山崎郁未, 澤佳達, 伊藤理紗, 濱野花莉, 中村聡史, 掛晃幸, 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*, 2020, vol. 2020, no. 16, p. 1-7.