

文章作成時の視線分析に基づく 読み返しを促す視線誘導手法の提案

福地翼[†] 中村聡史[†]

概要：質の良い論理的な文章を作成する上で、作成された文章を指導する人の存在は重要である。しかし、そういった指導は非常に手間であり、指導を代替するようなシステムを作ることは容易ではない。そこで我々は、指導者を必要とせずに文章の質を担保する方法として、文章作成時のふるまいに着目した。文章作成時のふるまいは文章内容の確認などを目的としており、こういった文章作成時のふるまいを矯正することで文章作成力の向上を促すと期待される。しかし、文章作成時のふるまいが文章の質とどのような関係にあるかは明らかになっていない。本研究では、様々な文章作成時のふるまいから「読み返し」に焦点を絞り、作成される文章の質と文章作成時のふるまいとの関係性について調査を行い、その結果をもとに、読み返しを促す視線誘導を行うことで文章作成を支援する手法の提案とプロトタイプシステムの実装および利用実験を行った。

キーワード：文章作成，視線誘導，視線分析，文章評価，認知心理学

1. はじめに

報告書やレポート，論文などの論理的かつ他者が再現可能な文章を作成する場合，相手に齟齬なく正しい情報を伝達できる質の高い文章であることが求められる。こうした文章の質を担保するため，文章作成を補助することを目的とした文章作成支援ソフトウェアも多く登場しており，誤字脱字や表記ゆれなどを指摘してくれる。しかし，こうしたソフトウェアで検出される修正は機械的に検出できる単位の単純なミスであることが多く，全体を俯瞰しなければ気づくことのできない論述展開におけるミスなどの修正が難しい。

ここで，論述展開を修正し，文章の質や文章作成力を向上させるには作成した文章について丁寧な指導を受け，さらに修正していくといった手間をかける必要がある。その指導者の手間をできるだけ軽減しつつ，文章作成力を向上させるために，文章作成指導をしてくれるコンピュータエージェントなどが求められるがその実現は容易ではない。つまり，指導者による指導を必要とせず，文章の質を担保できるような手法が求められる。また，指導者による指導は，文章を一通り作成した後で指導が入るため，文章作成中に学びを得ることができない。

指導者やコンピュータエージェントによらずに文章の質を維持するためには，文章作成者自身に論述展開におけるミスへの気づきを与え，修正を促す必要がある。これを実現する方法として，我々は文章作成時のふるまいに着目した。文章作成時には，文章の流れを確認するような視線的なふるまいや，内容を箇条書きして整理するような編集行動としてのふるまいがみられる。こうしたふるまいは文章内容の見直しや，全体を俯瞰して内容を確認するために行われる行為だと考えられる。つまり，これらのふるまい

を補助することで文章作成者がミスに気づく機会を与え，文章の質を向上させることができると期待される。本研究では，文章作成時のふるまいを補助する文章作成支援手法について検討を行う。

文章作成時に現れるふるまいとしては様々なものが考えられるが，その中でも視線は特徴的である。実際に，視線は人の思考や潜在的な興味，能力を推定する上で重要な要素であり，様々な研究で利用されている。そのため，文章作成のような情報を整理し，文章に落とし込むといった情報処理を伴う作業では，視線が作成される文章に与える影響は顕著であると考えられる。また，視線から文章作成者の能力を推定することができれば個人の能力に合わせた文章作成支援も可能になると期待される。

そこで本研究では，この文章作成時に現れる視線特徴の中でも「読み返し行動」に着目する。読み返し行動とは，文章作成者が記述した文章における誤字の確認や現在記述している内容と既に記述した内容の整合性，文章全体の流れの確認を行う際に，文章の先頭や段落の先頭などに視線を戻して文章を読む行為である。この行為は，文章内容における主張の一貫性や文体における表現方法の統一性，主語と述語の関係のような文構造の正確性といった文章の質にかかわる項目の質を高める上で重要な行動であり，文章作成能力との関わりが深いと考えられる。本研究ではこの読み返し行動と文章の質がどのような関係にあるのかを明らかにし，その結果をもとに文章作成時のふるまいを補助する文章作成支援手法の検討およびプロトタイプシステムの実装を行う。また，そのプロトタイプシステムを実際に使ってもらいシステムの問題点を整理する。

2. 関連研究

文章作成の支援を目指す研究領域では，古くから文章作

[†] 明治大学
Meiji University

成プロセスを複雑な問題解決プロセス[1][2], またはデザインプロセス[3]の一種として捉えている. また, こうしたプロセスを一つの文章作成行動モデルとして定義し, 手法の提案を行ってきた. 例えば, 柴田ら[4]の研究では, Hunterら[5]の提案する「生成」「組織化」「作文」「修正」という4つのプロセスからなる文章作成モデルをベースに「組織化」と呼ばれる文章作成前の情報処理を行うプロセスに焦点を絞り文章作成を支援している. この研究では, 「組織化」プロセスにおける情報把握において有用な「木構造表現」と「二次元表現」の2つの表示方法を組み合わせることで文章作成を支援する枠組みを提案している. また, 北田ら[6]の研究では, 大規模な知識を有する電子辞書を用い, ユーザが作成した文章と文章に取り入れたい情緒を入力させることで, 適切な比喻表現の施された文章を出力するシステムを提案している. これは, 文章作成モデルの4プロセスのうち「作文」プロセスに焦点をあてた文章作成支援手法といえる. このように文章作成の支援を行う研究の多くは, 文章作成プロセスに対してアプローチを試みることで支援を実現している. 本研究では, これらの研究のように文章作成のプロセスを直接的に補助するのではなく, 読み返し行動のような認知的な行動を促進させることで間接的に文章作成のプロセスを支援する手法について検討を行う.

文章作成を認知的な側面から観察する研究はこれまでもいくつか行われている. Danemanら[7]は, 文章作成能力と記憶力の関係について調査し, 文章作成能力の高い人ほど短期記憶に優れていることを明らかにしている. また Alamgortら[8]は, 文章作成者の視線やペン入力, 情報の参照回数などを取得可能なデバイスを用いた様々な研究結果から, 視線行動は文章作成プロセスを理解するだけでなく, 認知機能と文章作成能力の関係性を明らかにする上で重要な要素と位置付けている. これらの研究から文章作成において視線行動が重要であると考えられるが, 具体的にどのような視線行動が文章作成と関わりをもっているのかについては明らかになっていない. そこで本研究では, 文章作成時にみられる視線行動に着目し, その中でも, 文章の流れや文章構造を確認する際に, 頻繁にみられる読み返し行動に焦点をあてた視線行動の分析を行うことで, 文章作成と視線活動の関係性を明らかにする.

文章作成に限らず, 文章に対する読み取り行動は読み手の能力やその文章が持っている性質を理解する上で重要な役割を果たしている. 読み手の能力を推定する研究として, 藤好ら[9]の研究では, 英文読解時の視線行動から読み手の英語能力を推定する研究を行っており, 10問程度の少ない問題数で TOEIC と同程度の英語能力推定を可能としている. Buscherら[10]の研究では, 文章に対する読み取り行動からその文章が読み手にとって既知の情報であるかを推定する手法を提案し, 8割近い精度で既知の情報を判別し, 読み手の知識量を推定することに成功している. Hovenら

[11]の研究では, 物語文章における読み手の感性の個人差が読み取り行動の速度に現れることを明らかにしている. このように文章の読み手の視線行動に着目し, 文章の質や読み手の能力に関する様々な情報を推定する研究は多い. 本研究は, 読み手ではなく, 文章作成中の書き手の視線を読み取り, 文章の質や書き手の能力を推定し, 文章作成者の能力に合わせた適切な支援の実現を目指すものである.

3. 読み返しと文章評価の関連調査

3.1 実験目的

文章作成中の視線検出に関する予備的な実験を行ったところ読み返し行動には, 大きく変化する視線移動や, 小刻みに変化する視線移動など複数の視線移動パターンが存在していた. しかし, それら視線パターンがどのように文章作成能力と関わっているのかについては調査されていない. そこで, 文章作成能力と後述する読み返し行動にどのような相関があるかについてまず調査を行う.

3.2 読み返し行動

事前に行った文章作成時の視線分析から, 後述する3つの視線の動きを読み返し行動と定義する. それぞれの読み返しにおける視線移動の様子は図1に示す.

- **短い読み返し**: 記述している文章の内容やミスを確認するような, 記述している文章の先頭や一つ前の文章に向かって短く内容を戻る読み返し
- **長い読み返し①**: 記述している内容がそれ以前に主張した内容との整合性が取れているかを確認するため, これまでに記述した内容に瞬間的に視線を移動する読み返し
- **長い読み返し②**: 記述した内容が全体として正しい流れになっているかを確認するため, 段落の先頭または作成文章の先頭に戻って, 文章内容を全て精査するような読み返し

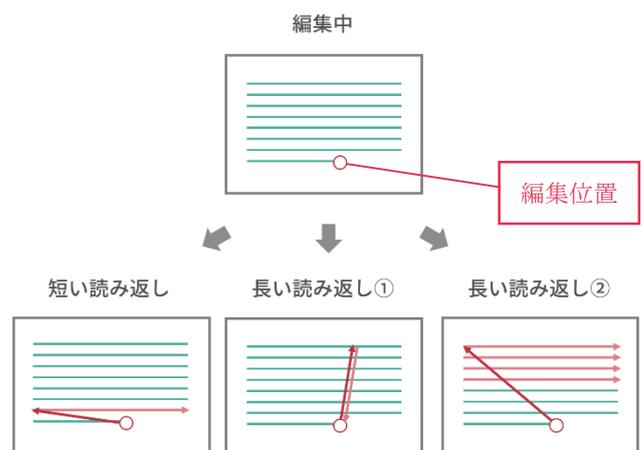


図1 それぞれの読み返しの動き

3.3 課題設計

読み返し行動を観察するために, それらの行動が発生するような論理的な文章を作成してもらう必要がある. そのこ

で本研究では、論理的な文章作成を求められる課題として、1つの題材に2つの立場を用意し、その中から1つの立場を選択し、意見を展開するような小論文形式の課題を設定した。具体的に実験に用いた題材は以下の3つで、実験協力者はこの中から1つの題材を選択し、課題を行う。

- 「人と人が直接会ってコミュニケーションする方が、手紙や電子メール等の文字を使ったコミュニケーションより優れている」という意見があります。この意見に対して賛成・反対どちらかの立場で意見を述べよ。
- 「Web」と「テレビ」どちらの情報源をより信頼していますか？理由を挙げて意見を述べよ。
- ある物語を「本などの文章で読むことを好む」と「映画やテレビなどの映像で見ることを好む」のどちらかの立場で意見を述べよ。

3.4 実験手順

実験では、21～23歳の男子大学生9人を対象として、着席した状態で以下の手順で文章作成を行ってもらった。

- ① 着席した実験協力者は視線検出器のキャリブレーションを行う。
- ② 実験監督者から作成する文章の題材を提示され、作成する文章の構成について10分間で考える。
- ③ 与えられた題材について700文字前後の文章を30分間で作成する。

実験には27インチのデスクトップPCを用い、ディスプレイと実験協力者の距離は30cmになるように調整した。また、視線検出器にはTobii EyeXを用い、文章作成にはWordを用いて実験を行った。さらに、実験中の文章作成の様子はOBS Studioを用い、動画を保存した。この際、保存される動画はTobii EyeXから受信した視線情報が重畳して保存される。この動画をもとに、それぞれの読み返し回数の算出を行う。

実験での文章作成における文字数に目安を設けたのは、作成させる文章量が少なかった場合に読み返し行動が発生しなかったり、文章量が多すぎた場合に文章評価の結果にぶれが生じたりする可能性があったためである。また時間制限を設けたのは、文章作成にかかる時間によって、読み返しの回数や文章評価の条件に大きな違いが生じると考えられたためである。なお、文章作成に制限を加えたことで時間内に文章が完成しない可能性を考慮し、題材が提示されたタイミングで構成を考える時間を与え、制限時間内は文章作成に集中させるよう調整を行った。

3.5 文章評価

作成された文章の評価には著者による主観評価と、客観評価の2つの指標を用いてそれぞれ評価する。これは、主観評価のみで評価を行った場合に評価者によって、評価傾向に偏りが発生すると考えられたためである。そこで、客観評価と主観評価で結果を比較することで、文章評価の偏りを考慮した分析を実現する。

文章の主観評価には、「適切」「簡潔」「明確」「一貫」「統一」「正確」「構成」の7つの評価項目を設けた[12][13]。それぞれの評価項目の定義は表1の通りである。この評価項目と評価基準をもとに著者が採点を行った。また、文章評価は減点方式を採用し、各項目における点数の上限は5とした。

表1 文章評価基準

適切	主語の欠落や助詞・助動詞の使用が誤っている箇所があれば1つにつき -1点
簡潔	「ということ」といった省略可能な言い回しを行っている箇所や「思い浮かべる⇒想起する」のような短い単語に置き換え可能な箇所があれば1つにつき -1点
明確	理由の説明が同一もしくは直後の文章中でなされていない著者の主張があれば1つにつき -1点
一貫	文中で展開している内容が1つにまとまってない箇所やこれまでの文章に矛盾する主張を行っている箇所、文章の流れを無視した論調の転換がされている箇所があれば1つにつき -1点
統一	並列に述べている文の末尾が揃っていない箇所や同じ意味を違う言い回しで述べている箇所があれば1つにつき -1点
正確	誤字や脱字、句読点の欠落があれば1つにつき -1点
構成	主張とその理由が離れすぎている箇所や接続詞に続く文章の内容が接続詞に即していない箇所、文章の順序が論理的でない箇所があれば1つにつき -1点

文章の客観評価には、CaboChaを用いた係り受け分析を行い、単語間での係り受けが相互に成り立っている個数(以下「相互」)、1つの単語に対して伸びている係り受けの個数(以下「太さ」)、1つの単語から伸びている係り受けの個数(以下「広さ」)、係り受け関係にある単語の間に挟まれている単語の個数(以下「飛躍」)、一文での係り受け階層の深さ(以下「深さ」と定義し、それぞれの個数を算出することで評価を行った。

3.6 実験結果

表2は実験協力者ごとの主観的文章評価の各項目と3つの読み返しパターンの回数から主観的文章評価と読み返しの回数に関する相関係数を算出し、まとめたものである。項目ごとに見ていくと、「適切」では、短い読み返しと長い読み返し①において、弱い正の相関がみられ、長い読み返し②において、負の相関がみられた。「簡潔」では、短い読み返しと長い読み返し①において、負の相関がみられ、長い読み返し②において、強い正の相関がみられた。「明確」では、全ての読み返しパターンにおいて、正の相関がみられた。「一貫」では、全ての読み返しパターンにおいて、負の相関がみられた。「統一」では、短い読み返しと長い読み

表2 主観評価と読み返しの相関

	適切	簡潔	明確	一貫	統一	正確	構成	合計
短い読み返し	0.2899	-0.3042	0.5515	-0.4077	0.5988	0.2099	0.7379	0.4875
長い読み返し①	0.2243	-0.4344	0.3321	-0.4357	-0.0239	-0.4630	0.3057	-0.0168
長い読み返し②	-0.4747	0.7116	0.5541	-0.1892	0.7711	0.5014	0.7754	0.7082

表3 客観評価と読み返しの相関

	相互	太さ	広さ	飛躍	深さ
短い読み返し	0.5906	0.3632	0.0645	0.7182	0.3243
長い読み返し①	0.0441	0.0729	-0.2236	-0.0274	-0.3308
長い読み返し②	0.6960	0.2762	0.2729	0.6034	0.1423

返し②において、正の相関がみられた。「正確」では、短い読み返しと長い読み返し②において、正の相関がみられ、長い読み返し①において、負の相関がみられた。「構成」では、全ての読み返しパターンにおいて、正の相関がみられ、長い読み返し①を除き、強い相関がみられた。「合計」では、長い読み返し②と短い読み返しにおいて、正の相関がみられた。

表3は実験協力者ごとの客観的文章評価の各項目と3つの読み返しパターンの回数から客観的文章評価と読み返しの回数に関する相関係数を算出し、まとめたものである。「相互」では、全ての視線パターンで正の相関がみられた。「太さ」でも同様に、全ての視線パターンで正の相関がみられた。「広さ」では、長い読み返し①において、弱い負の相関がみられ、長い読み返し②において、弱い正の相関がみられた。「飛躍」では、短い読み返しと長い読み返し②において、強い相関がみられた。「深さ」では、短い読み返しにおいて、正の相関がみられ、長い読み返し①において、負の相関がみられた。

保存した動画の観察から文章作成行動の分析を行ったところ、文章作成に2つの型が存在していた。1つ目は、文章を上から順に作成していく文章作成の型（以下「フロー型」という）であり、実験協力者のうち7人がこのフロー型に該当していた。2つ目は、作成を想定している文章内容を箇条書きし、文章を箇条書きの順序に関係なく作成していく文章作成の型（以下「プロット型」という）であり、フロー型の実験協力者を除く2人がこのプロット型に該当していた。

3.7 考察

実験結果より、主観的文章評価における「構成」「明確」といった項目が全ての読み返しパターンと正の相関をもっていた。これは読み返しにより、定期的に文章内容が確認されることで、過去の文章内容を頭に残したまま先の文章を書くことができたためだと考えられる。つまり、読み返しを促し、読み返しの回数を増加させることで、文章の構成力や主張を明確に伝える力の向上を支援できると期待さ

れる。しかし、「一貫」に着目した場合には、全体的に負の相関を示しているため、文章の一貫性を維持するには読み返しの促進を適切な回数で行う必要があると考えられる。また、長い読み返し②に着目すると「一貫」「適切」を除いた全ての項目において、0.5以上の正の相関がみられることから、長い読み返し②の回数を増加させるような支援を行うことで、文章作成能力全体の向上を実現できると考えられる。一方で、長い読み返し①では、項目ごとの相関が弱いことや相関の一貫性が乏しいことから、文章作成能力との関わりが少なく、文章構造の確認や文章の流れの確認といった文章作成における意図をもたない行動だと考えられる。

客観的文章評価と読み返しでは、長い読み返し②において、強い相関を示している項目が多くみられた。これは主観評価と同様に、既に記述した文章を確認しながらの文章作成によって、内容ごとのつながりや構成が考慮された文章作成が行われたためだと考えられる。このことから読み返し②が作成される文章の構造に対して、影響を与える可能性のある視線行動だと考えられる。短い読み返しについても全ての項目が正の相関を示していた。これは、一文単位での内容確認であっても文章の質に影響を与えることを示しており、文章作成において短い読み返しが必要なものだといえる。しかし、短い読み返しと長い読み返し②を比較した場合には、長い読み返し②の方が正の相関を示している項目が多い。このことから、文章作成を支援する際には、長い読み返し②の促進に重点をおいた支援手法を考える必要がある。

フロー型とプロット型の2つの文章作成型については、文章作成過程に異なる傾向がみられ、読み返しの仕方にも僅かな違いがあった。このことから、文章作成の支援手法を検討するにあたり、両者それぞれの特性に合わせた支援手法を提案することが重要となると考えられる。本研究では、これら2つの文章作成型のうち、より人数の多かった文章を上から順に作成していくフロー型について文章作成の支援手法を検討および提案を行う。

4. 提案手法

3章より作成された文章の評価と「読み返し行動」の回数が多くの文章評価項目と正の相関があることがわかった。そこで本研究では、実験で得られた読み返しと文章評価の関係性から、読み返しを促すことで文章作成を支援する手法を提案する。具体的には、文章作成者の視線データからリアルタイムに読み返しが行われた回数を取得し、「長い読み返し②」や「短い読み返し」といった文章評価と相関をもつ読み返し行動が行われた回数の少ない文章作成者に対して、システム側からそれぞれの読み返し行動を促す視線誘導を行うことで読み返しを習慣化させ、文章作成の支援を実現する。

ここで視線を誘導する手法には、解像度を使った誘導や動作物体を利用した誘導など様々なものが考えられる。本研究では、それらの視線誘導手法から、視野の周辺に周期的に点滅する物体や回転する振動物体があった場合に、その方向に視線が誘導されるという視覚がもつ特性[14]を考慮し、実装を行う。具体的には、文章を作成する領域の周りに点滅や回転を行う物体を出現させる領域を設け、任意の場所に点滅や回転を行う物体を出現させることで視線誘導を実現する。これの誘導手法と、リアルタイムに取得された読み返し行動という文章作成能力の指標を組み合わせることで、文章作成者の能力に合わせた適切な視線誘導を行う。これにより、文章作成時の読み返しが習慣化され、利用者の文章作成能力の向上を支援できると期待される。

5. プロトタイプシステム

提案手法をもとに視線誘導によって文章作成を支援するシステムのプロトタイプシステムを実装した。なお、実装には Unity を用い、視線情報の取得には、Tobii EyeX と Tobii Unity SDK for Desktop を使用した。

5.1 読み返し検出アルゴリズム

リアルタイムに読み返しを検出し、読み返しの回数が少ない文章作成者を判定するため、読み返しの検出アルゴリズムを設計する。ここで、実験で着目した読み返しの視線パターンは3種類存在したが、本研究では、文章評価と正の相関関係が確認できた「短い読み返し」と「長い読み返し②」を対象とした読み返し検出アルゴリズムの設計を行う。視線データを利用するにあたり、固視微動を取り除き、視線の停留点を求めるために Fixation 処理を行う。本研究では、この停留点を抽出する手法として、Buscher ら[10]の提案する Fixation-Saccade 判定を用いた抽出を行う。また、Fixation-Saccade 判定を行うための T1, T2 には、文章を構成する最小単位である文字のサイズを用い、視線の移動量が1文字未満になる 8px を T1 とし、その2倍の値である 16px を T2 として Fixation-Saccade 判定を行った。

読み返しの検出にあたり、まず、思考中や時間の確認といった読み返しに関係のない視線移動を取り除き、文章の

読み取りと考えられる視線位置を抽出する。ここで、読み取りの検出には、視線の移動方向が水平だった場合を抽出する。これは、読み取りが作成された文章もしくは作成している文章に沿って、水平方向に行われると考えられたためである。条件については、Fixation-Saccade 判定が行われた連続する2つの停留点 $(x_n, y_n), (x_{n+1}, y_{n+1})$ から n 番目の視線の方向ベクトル v_x, v_y を以下の数式で算出し、その方向が水平であった場合にその視線位置を読み取り箇所として検出する。

$$v_x = (x_{n+1} - x_n) / dist$$

$$v_y = (y_{n+1} - y_n) / dist$$

$$-t < \cos(v_y * 1.0 + v_x * 0.0) * \left(\frac{180}{\pi}\right) < t$$

$$180 - t < \cos(v_y * 1.0 + v_x * 0.0) * \left(\frac{180}{\pi}\right) < 180 + t$$

$$n \text{ 番目の視線座標: } (x_n, y_n)$$

$$n + 1 \text{ 番目の視線座標: } (x_{n+1}, y_{n+1})$$

$$\text{角度の閾値: } t \quad \text{視点間の距離: } dist$$

ここで、視線の僅かなブレによって水平方向への視線移動が微小に変動する可能性を考慮しなければならない。そこで、水平を定義する角度に誤差条件 t を設け、その範囲内にある視線を水平とみなす処理を追加した。

本研究において検出する読み返しには、「短い読み返し」と「長い読み返し②」の2つの視線パターンが存在する。そのため、それぞれの読み返し行動について検出条件を設けた。まず、「短い読み返し」については、記述している文章の先頭や一つ前の文章を確認するため短く内容を戻す読み返しという定義に従い、 x 座標の移動距離、 y 座標の移動距離に対する条件に加え、時間条件を含んだ以下のような式を条件として設けた。

$$\begin{cases} (x_{n+1} - x_n) > size * col \\ (y_{n+1} - y_n) < size * row \\ (ts_{n+1} - ts_n) < time \end{cases}$$

$$n \text{ 番目の視線座標と timestamp: } (x_n, y_n, ts_n)$$

$$n + 1 \text{ 番目の視線座標と timestamp: } (x_{n+1}, y_{n+1}, ts_{n+1})$$

$$\text{行差: } row \quad \text{列差: } col$$

$$\text{時間閾値: } time \quad \text{文字サイズ: } size$$

実験では、短い読み返しを、「一文の中で行われる視線移動の内、移動量が3行以上にならないもの」と定義し、 $row = 3, col = 7, size = 8, time = 0.5$ として短い読み返しの検出を行った。

次に、「長い読み返し②」については、段落の先頭または作成文章の先頭に戻って、文章内容を全て精査するような読み返しという定義に従い、 x 座標の移動距離、 y 座標の移動距離に対する条件に加え、時間条件を含んだ以下のような式を条件として設けた。

$$\begin{cases} (x_{n+1} - x_n) > size * col \\ (y_{n+1} - y_n) > size * row \\ (ts_{n+1} - ts_n) < time \end{cases}$$

n 番目の視線座標と timestamp : (x_n, y_n, ts_n)

$n + 1$ 番目の視線座標と timestamp : $(x_{n+1}, y_{n+1}, ts_{n+1})$

行差 : row 列差 : col

時間閾値 : time 文字サイズ : size

実験では、長い読み返し②を、「一文を超えて行われる視線移動の内、移動量が3行を超えて、左上に向かうもの」と定義し、 $row = 3, col = 5, size = 8, time = 1.5$ として長い読み返しの検出を行った。

5.2 読み返しの誘導

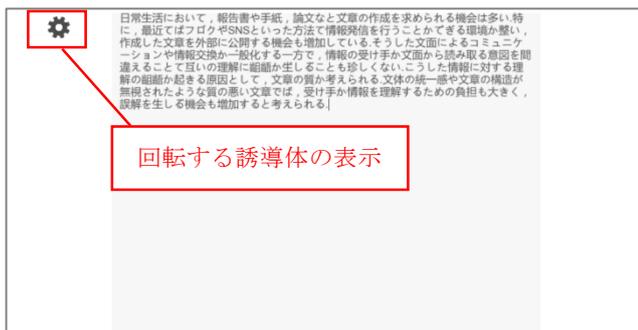


図2 周辺物体による視線誘導の様子

プロトタイプシステムは2層のレイヤ構造で作成した。1つ目の層には、文書編集機能と文章編集位置計算機能を配置し、2つ目の層には、間接的な視線誘導を制御する誘導物体の管理を行う誘導物体管理層を配置した。また、2つ目の層は、文章作成層が計算した編集位置と読み返し推定の結果から視線誘導を行う文章を決定し、その文章と同一の行に誘導物体を出現、回転させることで任意の方向に視線誘導を行う機能をもっている(図2)。また、誘導物体は文章作成領域の両端に設置した。これは短い読み返しの性質を考慮したためである。短い読み返しでは、記入中の一文の確認が主であるため、文の先頭が右側にあることも考えられる。そこで、左右どちらに対しても視線誘導が行えるよう文章作成領域の両端に誘導物体を配置した。

5.3 視線誘導を行う閾値設定

提案手法を実現する上で、特定のタイミングにおける読み返し行動の回数に対して、何を基準に回数の大小を測るかが重要になる。単純に特定のタイミングで回数が少なかった場合に読み返しの誘導を行ってしまうと文章作成初期の文章量が少なく、読み返し対象が存在しない場合にも誘導を行ってしまう、文章作成の妨げになることも考えられる。そこで本研究では、3章の実験で得られたデータから縦軸を読み返しの回数、横軸を時間とした読み返し回数の時間的変化のグラフをモデルとして、特定のタイミングにおける読み返し回数の変化量をグラフに近似するように視線誘導の有無を決定する。この際、視線誘導の有無の決定を行うタイミングには様々なものが考えられるが、本研究では、編集内容を確定させたタイミングとした。これは、文章作成者の行動が完了したと考えられる文章編集の確定時であれば、文章作成の流れに沿った視線誘導を行うことができると考えたためである。

具体的なモデルを設計する上で、文章評価の高い人と文章評価の低い人でのグラフの違いに着目した。その結果、文章評価の高い人、低い人にかかわらず短い読み返しは対数関数的に、長い読み返しは指数関数的に増加していることがわかる(図3)。つまり、読み返し回数の時間的な変化は文章評価の高低にかかわらず、同じ規則で増加していると考えられる。一方で、回数の増加率については、どちらの読み返しにおいても文章評価の高い人の方が高い増加率で読み返しが行われていることがわかる。この結果をもとに我々は、グラフから高スコア者について、短い読み返しに関する近似式(1)と長い読み返しに関する近似式(2)をそれぞれ求めた。

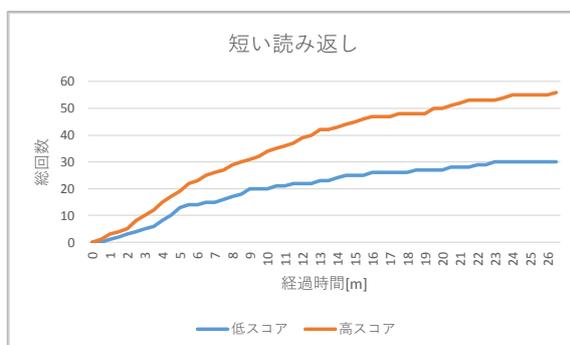
$$y_s = 0.0002t^3 - 0.0361t^2 + 2.5211t - 4.7187 \quad (1)$$

理想回数 : y_s 経過時間 : t

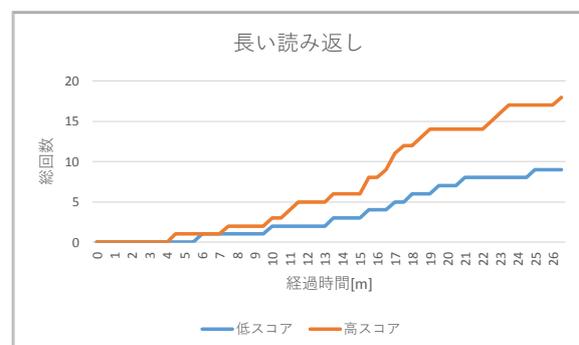
$$y_l = -0.0003t^3 + 0.0265t^2 - 0.341t + 1.0587 \quad (2)$$

理想回数 : y_l 経過時間 : t

これら2つの式から、経過時間 t におけるそれぞれの読み返しの優先度を求める。ここで、読み返しの優先度は経過時間 t における読み返しの総回数 y の増加率 Δy を用いた数



(1) 短い読み返し



(2) 長い読み返し

図3 高スコア者と低スコア者の読み返し回数のグラフ

式によって算出する。増加率 Δy_s , Δy_l は, (1)(2)をそれぞれ微分した数式から算出し, この増加率を用いて以下の数式によってそれぞれの読み返しの優先度 p_s , p_l を算出する。

$$p = \Delta y * time / sect$$

優先度 : p 最後の読み返しからの経過時間 : $time$

優先度を判定する区間 : $sect$

なお, $sect$ については, 短い読み返しでは 30s とし, 長い読み返しでは 7.5s として実装を行っている。この優先度の判定区画の設定は, 実験で設定した文章作成課題の制限時間である 30 分をグラフから算出した高スコア者が行ったそれぞれの読み返しの総回数で割ったものを設定している。これは, 短い読み返しと長い読み返しで増加率を正規化する必要があったためである。次に, $time$ については, 最後にそれぞれの読み返しが行われてからの経過時間が保存されており, 読み返しが行われると値が初期化される。これらの値を代入した式により算出された優先度の値を用い, 優先度が 1 を超えた場合に視線誘導を行う。また, 長い読み返しと短い読み返しの優先度がともに 1 を超えていた場合には, より優先度の値が高い読み返しについて視線誘導を行うものとした。

6. 利用実験

提案手法の利点および欠点を明らかにするため, プロトタイプシステムの利用実験を行った。ここでは, 提案手法が文章評価や使用感に与える影響を既存ソフトウェアと比較するため, 実験課題および実験手順は 3 章で用意したものを使用した。また, 実験環境についても 3 章と同様のものを利用し, 文章作成を行うテキストエディタのみ, Word から提案システムに差し替えて, 利用実験を行った。実験には, 3 章の実験協力者において文章評価が高かった 2 名と低かった 2 名の計 4 名を対象に実験を行った。

6.1 実験結果

表 4 は実験協力者ごとの利用実験結果をまとめたものである。表は左から順に, 文章評価の前回比, 短い読み返しの実行数に対する検出数, 長い読み返しの実行数に対する検出数, 誘導に対する実験協力者の反応回数である。読み返しの算出は 3 章と同様に保存した動画から算出し, 文章評価は著者が行った。まず文章評価については, 3 章での実験と比較した際に, 実験協力者 D を除いて, 差が 2 以下であった。次に, 読み返しの回数について, 短い読み返しでは, 全ての実験協力者において, 回数が過剰に検出され

た。長い読み返しでは, 実験協力者によって回数が過剰に検出される場合と不足している場合の両方が存在した。また, 文章評価との相関については, 短い読み返しと長い読み返しの両方で 0.5 以上の正の相関があった。

誘導については, スコアと誘導数が負の相関を示していた。また, 実験協力者 A は最も視線誘導をされていたにもかかわらず, 実際に読み返しを誘導された回数は最も少なかった。さらに, 利用後の感想として視線誘導については, 誘導体が現れたタイミングで読み返しを行ったことで文章のつながりにおけるミスが見つかったといった肯定的な意見がみられた。一方で, 誘導体の出現意図が分からなかった, 右に誘導体が表示されても無視したといった視線誘導がうまく機能していないと考えられる感想もあった。

6.2 考察

利用実験の結果から, まず文章評価については, 実験協力者 D を除き, 3 章の実験と差異の少ない結果が得られた。これは文章の質がテーマにそこまで依存せず, 書き手の能力に依存するものだったからだと考えられる。また, 実験協力者 D は文章評価の低下とともに, 読み返しの回数も減少していた。このことから文章評価と読み返しの相関が確認できる。

システムの精度について, 短い読み返しでは, 全ての実験協力者で過剰に読み返しが検出された。これは読み返し検出アルゴリズムに使用した時間と距離の閾値が緩かったためと考えられる。そこで, 今後はより適切な閾値の設定を行う必要がある。長い読み返しでは, 実験協力者によって, 過剰に検出される場合と検出が不足する場合があった。これは長い読み返しの視線の動き方が個々に異なるからだと考えられるため, 文章作成時の視線を追跡し, 個人に対応した閾値の設定を行うようなアルゴリズムの改良を行う必要がある。また, 実験協力者 A の読み返しの検出精度が特に悪かった。これは, 実験協力者 A が文章作成の際, プロット型による文章作成を行っていたためと考えられる。今回の読み返し検出アルゴリズムおよびプロトタイプシステムはフロー型を対象としたものであった。つまり, 文章作成の型によって, 読み返しの検出方法を変更する必要があるため, プロトタイプシステムの改良とともに, プロット型に対応する読み返し検出アルゴリズムの設計や文章作成型の変化検出手法の検討を行う予定である。

視線誘導について, 視線を誘導される場面が何度か確認

表 4 システムの精度結果および文章評価

実験協力者	文章評価/前回評価	短い読み返し/検出数	長い読み返し/検出数	被誘導数/誘導数
A	20/19	35/48	3/ 8	1/49
B	25/23	72/83	17/18	9/30
C	18/18	57/69	7/ 4	7/42
D	24/29	57/63	13/ 9	5/43

され、使用後の感想でも誘導をきっかけに読み返しを行ったという意見が得られた。しかし、実験協力者Aのように、ほとんど視線誘導されない場合もあった。こういった文章作成者にどう対応していくかが今後の課題になってくる。

6.3 システムの課題

利用実験からいくつかのシステムの課題が挙げられる。まず現状のシステムでは、読み返しの優先度算出に、経過時間 t における読み返しの総回数を表した数式を用いたが、読み返しの回数は記述された文章の記述量にも依存すると考えられる。そのため、読み返しの優先度算出に経過時間を基準とした数式を利用した場合と、文章の記述量を基準とした数式を利用した場合で動作の違いを比較し、より読み返しの優先度算出に適している数式を決定する必要がある。また、現在の視線誘導では文章作成者に無視されることや気づかれないことがあった。そのため、誘導物体の表示方法の変更など刺激の調整や、ぼかしのようにより自然な視線誘導が可能な手法を用いた方法について検討する必要がある。さらに、考察でも述べたように、読み返しの検出精度に問題があったため、アルゴリズムを改良する必要がある。最後に、アンケートで頻繁に見られた意見として、テキストエディタとしての機能不足があった。今後はテキストエディタとして最低限必要な機能を実装する必要がある。

7. まとめ

本研究では、読み返し行動のような文章作成時のふるまいを補助する文章作成支援手法の検討および実装を目的として、人の思考や能力と関係が深い視線行動と作成される文章の質の関係性について調査を行った。その結果、文章全体を確認するような長い読み返しと、記述中の文章の先頭に戻るような短い読み返しの2種類が作成される文章の質と正の相関を持っていることが明らかになった。また、実験で得られた結果をもとに、文章作成を支援する手法の提案と実装を行った。

今後の課題として、文章の質と読み返し行動の関係性に関する実験については、実験の人数を増やし、分析の精度を高める必要がある。また、今回の実験では700文字前後という比較的少ない文章量を課題として設定したが、論文のような文章量の多いものを課題とした場合には、読み返し行動の回数や挙動が変化すると考えられる。そこで、課題として与える文章量を変えた実験を行い、作成を要求される文章の量が読み返し行動に与える影響について調査する。さらに、文章の評価方法については、今後は文章の評価をする人数を増やすことでより客観性の高い文章評価を実現し、実験結果の信頼性を高める。

プロトタイプシステムについては、利用実験で様々な課題が浮き彫りになった。今後は6章で挙げたシステムの課題を考慮した追加実装をすることでシステムを改善し、再

び利用実験を行うことによって、提案手法の有用性を明らかにする。また、今回の実装では、Tobii EyeXなどの視線検出装置に依存した読み返し行動の推定と視線の誘導を行っているが、視線検出装置が付属していないPCでの利用も想定する必要がある。そこで今後は、文章の変更履歴やタイピング速度といった文章作成行動と文章の質の関係性について追加で調査を行い、その結果をもとに、視線以外の要素から文章作成者の能力を推定し、読み返しの誘導を行う手法についても検討していく。

謝辞

本研究の一部は、JST ACCEL (グラント番号 JPMJAC1602) の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Hayes, J.R. and Flower, L.S.. Writing as problem solving, *Visible Language*, vol. 14, no. 4, 1980, p. 288-299.
- [2] Galbraith, D., and Torrance, M.. Conceptual processes in writing: From problem solving to text production, *Knowing what to write: Conceptual processes in text production*, Torrance, M. and Galbraith, D. (Eds.), 1999, p. 1-12, Amsterdam University Press.
- [3] Sharples, M.. An account of writing as creative design, *The science of writing*, Levy, C.M. and Ransdell, S. (Eds.), Lawrence Erlbaum Associates, 1996, p. 127-148.
- [4] 柴田博仁, 堀浩一. デザインプロセスとしての文章作成を支援する枠組み, *情報処理学会論文誌*, vol. 19, no. 1, 2004, p. 108.
- [5] Hunter, W.J. and Begoray, J.. A framework for the activities involved in the writing process, *The Writing Notebook*, vol. 7, no. 3, 1990.
- [6] 北田純弥, 萩原将文. 電子辞書を用いた比喻による文章作成支援システム, *情報処理学会論文誌*, vol. 42, no. 5, 2001, p. 1232-1241.
- [7] Daneman, M. and Green, I.. Individual differences in comprehending and producing words in context. *Journal of Memory and Language*, vol. 25, 1986, p. 1-18.
- [8] Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac C. and Ros C.. Eye and Pen: A new device for studying reading during writing. *Behavior Research Methods*, vol. 38, 2006, p. 287-299.
- [9] 藤好宏樹, 吉村和代, Kunze Kai. 英文問題解答時の視点情報をういた英語能力推定法, *信学技報*, vol. 115, no. 22, 2015, p. 49-54.
- [10] Buscher, G. and Dengel, A.. Gaze-based filtering of relevant document segments, In *Workshop on Web Search Result Summarization and Presentation. Workshop on Web Search Result Summarization and Presentation (WSSP-2009)*, located at in conjunction with WWW, vol. 9, 2009, p. 20-24.
- [11] Hoven, E., Hartung, F., Burke, M. and Willems, R.S.. Individual Differences in Sensitivity to Style During Literary Reading: Insights from Eye-Tracking, *Collabra*, vol. 2, no. 25, 2016, p. 1-23.
- [12] 田島ますみ. 日本語の文章に対する分析的評価の信頼性に関する検証, *中央学院大学人間・自然論叢*, vol. 31, 2010, p. 85-104.
- [13] 宇佐美慧. 小論文評価データの統計解析, *行動計量学論文誌*, vol. 38, no. 1, 2011, p. 33-50.
- [14] Bailey, R., McNakara, A., Sudarsanam, N. and Grimm, C.. Subtle Gaze Direction, *ACM Trans. Graphics (TOG)*, vol. 28, Issue 4 2009.