

# 文章間の連続性と視線に着目した可読性の理解

小林 龍ノ介<sup>1,a)</sup> 角 康之<sup>1,b)</sup>

**概要:** 本研究では、文章間の連続性と人が文章を読む際の視線の関連性を調査し、文章の可読性について理解することを目的とする。文章間の連続性とは、文章同士の意味的なつながり具合のことを指す。BERTのNSP(Next Sentence Prediction)を用いることで文章間の連続性を数値化する。また、それと同時に文章を読む際の視線も計測する。文章間の連続性のデータから、文章の意味的な飛躍がある箇所の特定が可能である。視線データからは、注視箇所や視線の軌跡を分析することで、読み手が読みにくいと感じている箇所の特定が可能である。これらの2種類のデータを用いて、文章間の連続性の数値と視線から、人間が感じている文章の可読性にはどのような特徴があるのかを分析する。

## 1. はじめに

本研究では、人が文章を読む際の視線と、その文章間の意味的な連続性との関連性を調査し、文章の可読性について理解することを目的とする。我々は普段から多くの文章に触れている。特に論文執筆や講義のレポート課題のような読み手にわかりやすく伝えることが重要な文章を書くことが多い。しかし、自分が書いた文章が読み手にとって理解しやすいかどうかは不透明である。自分の文章に対する主観的評価と、他人からの客観的評価に大きな差があることも多い。そのため、文章の可読性の特徴を理解することにより、書き手にとっても読み手にとっても読みやすい文章が作成できる。このことから、人間が感じる文章の可読性について分析することは非常に有意義であると考えられる。

文章の可読性について Crossley らの研究 [1] では、語彙的・構文的特性だけでなく、意味的特性も大きな要因であると明らかにしている。しかし、Crossley らの研究 [2] では語彙的・構文的特性に関する表面的な要素だけでは可読性を理解する指標として不十分であると言及している。また、意味的特性についての研究はまだ限定的であり、その影響について理解が十分ではないとも言及している。そのため、文章間の連続性を数値化し、意味的特性に焦点を当てることで、文章の可読性について新たな知見が生まれることが期待される。

さらに、文章の可読性に対する意味的特性の影響を定量的に評価するために、視線計測を導入する。読者の視線データを収集し、そのデータから注視箇所や視線の軌跡を

分析する。これにより、文章間の連続性の数値と、読者の視線との関連性を明らかにすることが可能である。

これらの調査を行うことで、最終的には文章の執筆を支援するシステムや、言語学習ツール、文章を意味的な観点から推敲するサービスの構築への貢献が期待される。

## 2. 関連研究

文章の視線を計測する先行研究として Ishimaru らの研究 [3] では、物理学のテキストとタスクを含むドキュメントを被験者に読んでもらい、その際の視線を計測した。その後、視線データからヒートマップを作成することで、被験者の注意を視覚的に表現し、読書行動をより詳細に分析可能になった。このことから、文章について分析する際には、視線データを用いることが重要であると明らかになった。

Godfroid の研究 [4] では、文章読解中の眼球運動の特徴として、注視 (fixation) とサッケード (saccade) があると言及している。注視は人が文章の意味情報を獲得する際に行われていることが多いとされている。サッケードは注視から注視に映る際の素早い眼球の動きを指している。また、Roberts & Siyanova-Chanturia の研究 [5] によると、左から右へと起こる文章に対して、その逆である右から左へのサッケードが起こることがあり、このことを読み戻りと呼ぶと言及している。この読み戻りが起こった場合には、単語や文章の理解において困難であると解釈されるとも言及している。Godfroid の研究 [3] と Roberts & Siyanova-Chanturia の研究 [4] から、注視は文章の意味情報を獲得する際に行われるため、読み戻りが発生した際には、注視によって意味情報がうまく獲得できなかった可能性が高いと言える。その要因として、文章間の連続性が保

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学

<sup>a)</sup> r-kobayashi@sumilab.org

<sup>b)</sup> sumi@acm.org

たれていないという可能性が考えられる。そのため、文章の可読性において、文章間の連続性と視線の関連性を分析することは非常に有意義であると推測される。

### 3. 研究手法

#### 3.1 データの収集

本研究では、文章データと、その文章を読んだ際の視線データを収集する。

文章データについては論文や学生の研究報告書、新聞記事といった複数の種類の日本語の文章を収集する。文章を1種類に絞らなかった理由は、文章の種類ごとに可読性の特徴が異なる可能性があると考えたためである。文章の収集後は、視線計測の実験に使用しやすいように、1ページに2列の横書きの文章が記述されている形にする。このレイアウトについては、ある程度の文字量が確保でき、且つ計測した視線の軌跡とヒートマップの図が見やすいという理由で試験的に選定した。実際の例について図1に示す。

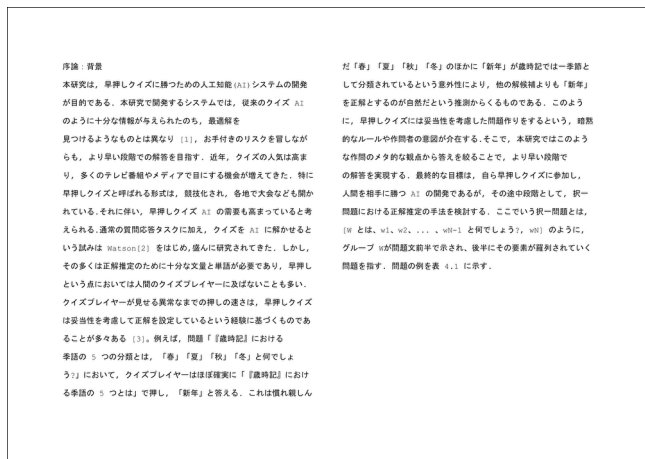


図1 1ページ2列の横書きの文章の例

視線データについては、Tobii Pro Nano<sup>\*1</sup>と Tobii Pro Lab<sup>\*2</sup>を使用して収集した。Tobii Pro Nanoは赤外線カメラによって眼球の動きから視線計測が行える設置型アイトラッキング装置である。Tobii Pro Labは視線データの録画や分析が可能なソフトウェアである。Tobii Pro Nanoを選定した理由としては、Ishimaruらの研究[3]では、実験時、メガネ型のアイトラッキング装置を用いると被験者が無意識のうちにメガネに触れてしまい、キャリブレーションにより調整した視線追跡の精度が落ちてしまったと言及していたためである。また、設置型のアイトラッキング装置にすることで、被験者の負担も少なくなり、普段メガネをかけて生活している人でも簡単に視線データを収集することも利点である。

<sup>\*1</sup> <https://www.tobii.com/ja/products/eye-trackers/screen-based/tobii-pro-nano>

<sup>\*2</sup> <https://www.tobii.com/ja/products/software/data-analysis-tools/tobii-pro-lab>

#### 3.2 分析手法

まず、文章データについて、それぞれの文章に対して、文章間の意味的な連続性を数値化する。数値化の方法についてはBERTのNSPを用いる。事前学習モデルについては、東北大学自然言語処理研究グループが公開している日本語の事前学習モデル<sup>\*3</sup>を使用した。その理由は、BERTの公式サイトで公開されている英語の事前学習モデルでは日本語に対しての精度が悪かったためである。実際に文章間の連続性を数値化し、折れ線グラフにしたものを図2に示す。図2では横軸は何文目と何文目の間かを示しており、1文目と2文目の連続性を1、2文目と3文目の連続性を2...というように表示している。縦軸は連続性の数値を表しており、下限は0.0で、1.0に近づくほど連続性が高いことを示している。この図では横軸が13の箇所まで縦軸が0.5と急激に数値が低下しているため、13文目と14文目の間で文章間の連続性が途切れていると言える。このような箇所文章の可読性についての特徴があると予想し、研究を進める。

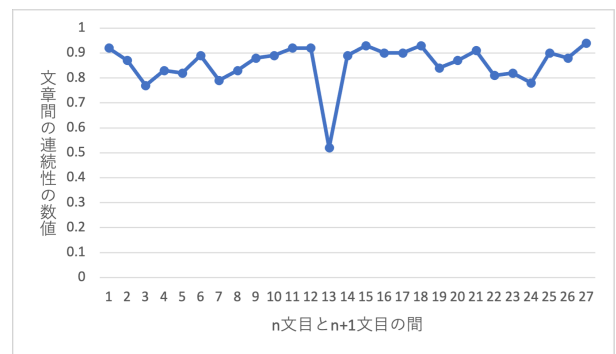


図2 文章間の連続性について折れ線グラフで表した例

視線データについては、ヒートマップを作成し、文章のどここの箇所を注視しているのかを調査する。また、視線の軌跡も観察し、注視している箇所が視線の滞留による注視なのか、読み戻りによる注視なのか調査する。実際にTobii Pro Labを用いて作成したヒートマップの画像を図3に示す。この画像により、被験者がどの場所を注視しているかを判別することができる。

また、被験者の視線の軌跡を表示した画像を図4に示す。図4では、赤い円の色が薄い箇所から濃い箇所へと視線が遷移していることを表している。この図では、文章が起きている方向に沿って視線が遷移しているため、読み戻りが発生していないことが読み取れる。これらを用いて、注視している箇所や、読み戻りの発生の有無といった視線の動きについて詳しく分析可能になる。

これらの分析手法を用いて、文章間の連続性と視線の関連性を分析し、可読性の理解を深めていく。具体的には、

<sup>\*3</sup> <https://huggingface.co/cl-tohoku/bert-base-japanese>

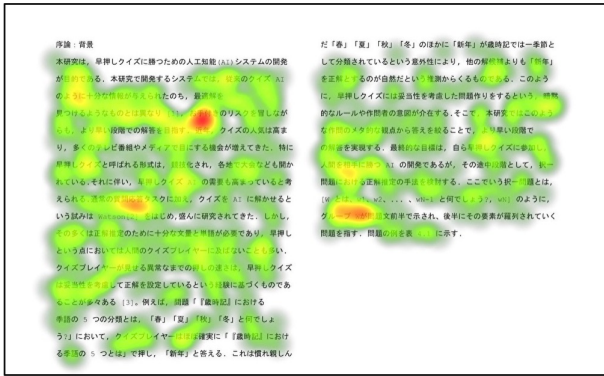


図 3 文章を読んだ際のヒートマップ

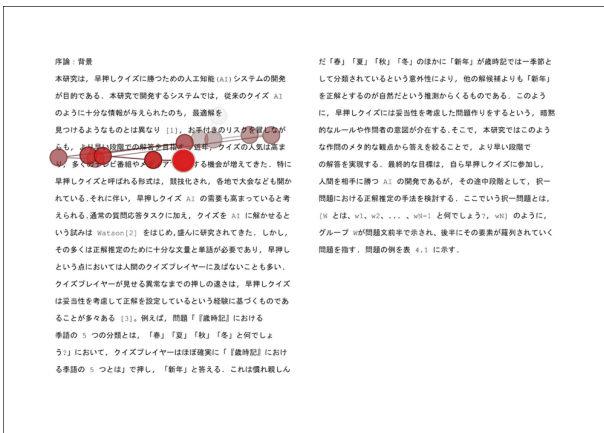


図 4 文章を読んだ際の視線の軌跡

文章間の連続性の高低と注視している箇所の相関関係の分析や、読み戻りが発生した箇所での数値や単語の特徴についての分析を行う。また、実験後のアンケートで、文章の要約をしてもらったり、被験者が主観的に読みにくかったと感じた箇所を答えてもらうため、その結果についても踏まえながら分析を進めていく。

## 4. 実験

### 4.1 手順

視線計測の実験を行う際に必要なものは以下のとおりである。

- Tobii Pro Nano
- Tobii Pro Lab
- デスクトップ PC
- モニタ
- 被験者が読む文章

実際の手順は、まずデスクトップ PC に Tobii Pro Nano を接続し、Tobii Pro Lab で録画できる状態にした。次に、被験者にはデスクトップ PC が見える且つ視線が計測できる位置に座ってもらい、実験の説明を行った。被験者は大学生の男女 8 名である。

被験者には文章を読む際には査読するように読んで欲しい旨を伝えた。その後、キャリブレーションを行い視線の

動きがずれていないかを確認した後、文章を読んでもらった。その後は、文章を簡単に要約してもらい、読みにくい箇所があったかどうかを聞くアンケートを行った。これを 5 種類の文章について行った。5 種類の文章とは、査読付き論文と、学生の研究計画書の第 1 稿と第 2 稿、卒業論文、新聞記事である。

### 4.2 結果

今回、被験者 8 名の内 2 名が視線データの記録に失敗しており、正しいデータとして扱えるのは 6 人分であった。この 6 人分のデータを分析したところ、文章間の連続性と注視している箇所に関連性があった。注視されることが多い箇所は文章の連続性が、比較的低い箇所かその箇所の 1~2 文前の箇所であることが多かった。それを表したものを図 5 に示す。図 5 では学生の研究計画書を読んだ際の 6 人分のデータをヒートマップで表示した。文章間の連続性が比較的低い 0.81 の箇所とその前の文章に視線が集まっていることが読み取れる。

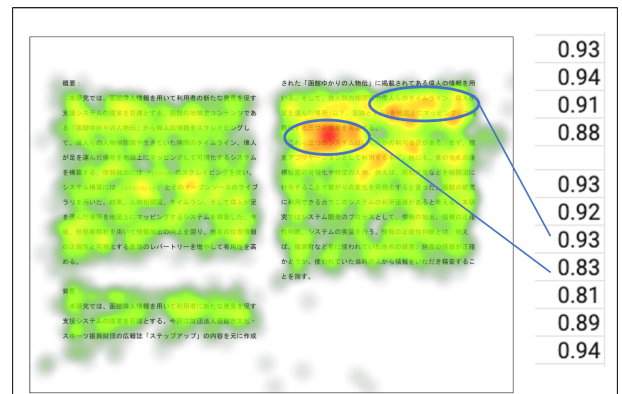


図 5 被験者 6 人分の視線データで研究計画書のヒートマップを作成した図

一方で、図 6 のように卒業論文を読んだ際のヒートマップでは 0.93 といった文章間の連続性が非常に高い箇所にも視線が集まっている。これらについて、ヒートマップだけでなく視線の軌跡にも焦点を当て、さらに深い分析が必要である。

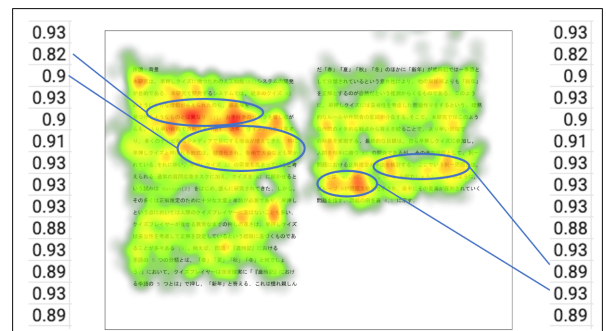


図 6 被験者 6 人分の視線データで卒業論文のヒートマップを作成した図

アンケート結果については、学生の研究計画書を読んだ後のアンケートでは、読みづらいつとして挙げた箇所と、図5の注視されている箇所が一致していた。また、文章の簡単な要約をしてもらったところ、要約の中で出現した単語はあまり注視されていなかった。

### 4.3 考察

図5から文章間の連続性が低い箇所か、その箇所の1~2文前の箇所を注視する傾向が読み取れた。この理由として、読みづらいつと感じた箇所があった際には、読者は自分が何か情報を取りこぼしたと思いつ、読み戻っているのではないかと考察する。このことから、文章を書く際にはまず最初に結論や主題といった一番読み手に伝えたいことを書くべきであり、説明文等は後ろに書いた方が読み手にとっては読みやすいとも考察できる。

図6のように文章間の連続性が高い箇所でも注視されていることについては、語彙自体が難しかったり、構文的な問題がある可能性がある。しかし、専門用語のような難しい単語が注視されると言うような傾向は読み取れなかったため、さらに深い分析が必要である。

アンケート結果についても、分析が不十分であるが現状での考察を行う。アンケートで読みにくい箇所があったと答えた人と、ヒートマップ上で注視されていた箇所が一致していたことから、文章の読みやすさを調査する際には視線が重要な役割を担うことが考察できる。また、要約をもらった文章に出現した単語と注視箇所には関連性が見られなかったため、読みづらいつと感じてしまった箇所は読み手にとって重要な部分ではないと判断されてしまう可能性が示唆された。

## 5. 今後の方針

今後の方針として、まず実験のデータを増加させることを考えている。現時点ではまだ6人分とデータ数が少ない。そのため、視線データに偏りがある可能性がある。統計的信頼性と優位性を向上させるためにもデータ数を増加させる必要がある。

また、文章間の連続性と視線データの関連性についても分析を続ける。現状では、ただのヒートマップを用いた分析しか行えておらず、視線の軌跡に焦点が当てられていない。視線の軌跡にも焦点を当てることで、ヒートマップの注視されている箇所が、視線の滞留による注視なのか、読み戻りによって複数回読まれたことによる注視なのかを判別可能になる。また、アンケート結果を用いた分析も不十分であるため、アンケート結果についても分析を進める。

## 6. まとめ

本研究では、文章間の連続性と視線に着目し、人が文章を

読む際の可読性について理解することを目的とした。文章間の連続性の数値化についてはBERTのNSPを用いることで可能にした。視線についてはTobii Pro NanoとTobii Pro Labを用いてデータを収集した。現在は実験データから文章間の連続性と注視されている箇所にどのような関連性があるのか分析を進めている。今後は実験データを増やし、実験データの分析をさらに進めることで、本研究の目的を達成したいと考えている。

## 謝辞

言語モデルを用いた文章間の意味的な連続性に基づいた文章の質評価については、暦本純一氏のツイート\*4から発想を得たものである。ここに記して感謝する。

## 参考文献

- [1] Crossley, Scott A., Stephen Skalicky, Mihai Dascalu, Danielle S. McNamara, and Kristopher Kyle. Predicting text comprehension, processing, and familiarity in adult readers: New approaches to readability formulas. *Discourse Processes*, 54(5-6): 340-359, 2017.
- [2] Crossley, Scott A., Greenfield, J, and Danielle S.McNamara,(2008). Assessing text readability using cognitively based indices. *TESOL Quarterly*, 42, 475-493.
- [3] Shoya Ishimaru, Syed Saqib Bukhari, Carina Heisel, Jochen Kuhn, Andreas Dengel. Towards an Intelligent Textbook: Eye Gaze Based Attention Extraction on Materials for Learning and Instruction in Physics. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*, Heidelberg, Germany, 12-16 September 2016, 1041-1045.
- [4] Godfroid, A. Eye tracking in second language acquisition and bilingualism: A research synthesis and methodological guide. New York: Routledge, 2019.
- [5] Roberts, L., & Siyanova-Chanturia, A. Using eyetracking to investigate topics in L2 acquisition and L2 processing. *Studies in Second Language Acquisition*, 35, 213-235, 2013.

\*4 2022年10月7日,  
<https://x.com/rkmt/status/1578187448483708929?s=20>