

文章の読み速度および視線の動き特徴を用いた 難読領域検出に関する検討

伊藤 悠大 石沢 千佳子 景山 陽一
秋田大学

1. 背景・目的

COVID-19のパンデミックの影響を受け、リモートワークやオンライン授業の機会が増加した。同時に、遠隔での仕事や学習が心身に与える影響が指摘されており[1]、PC作業中の様子から健康状態悪化の予兆をとらえたいという要望が社会的に高まっている。通常、作業が順調に進んでいる場合はメンタル的なストレスは少ないものの、作業が順調に進まず、つまずく場合はメンタル的なストレスが多くなる。したがって、PC上での作業におけるつまずきを発見することができれば、健康状態悪化の予兆を捉えることに寄与すると考える。

視線の動きは作業に対する集中の有無を表すことが報告されており、停留(fixation)[2]やサッケード(saccade)[3]の回数などが指標に用いられている[4]。PC作業中に行われる基本的な作業の1つは文章を読む作業であり、理解に時間のかかる単語ほど、停留時間が長くなる傾向があることが知られている[5]。同様に、集中が低下したり、文章に対する理解度が低下したりする場合にも、単語の理解に時間がかかるため、同一の領域に対して長く視線が停留すると考えられる。すなわち、つまずきが起きている場合には、順調に文章を読み進めているときの一般的な停留時間よりも長く視線が停留する「注視」が発生すると考えられる。

注視を検出するためには、視線の停留時間に対して閾値を設ける必要があるものの、閾値の設定方法について、詳細に検討している先行研究は見当たらない。さらに、文章を読む速度は人それぞれであり、注視時の視線の停留時間は、読み速度の遅い被験者は長くなり、逆に読み速度の速い被験者は短くなる傾向がある。したがって、注視の検出に用いる閾値を、被験者の読み速度に応じて調節可能にすることは、個人差に依存しない注視の検出を可能にすると考える。

本研究ではこれまでに、一般的な停留と注視を区別するために適切な視線の留まった時間(閾値)を、被験者の読み速度に応じて推定する手法(閾値推定手法)を提案した。PC作業時に注視検出を行うためには、注視の検出対象とは異なる文章を用いて予め閾値を推定しておく必要があるものの、その場合の検出精度を検証するまでには至っていない。そこで本稿では、検出対象とは異なる文章を用いて提案手法の閾値を算出し、その検出精度について検討を加えた。

Study on Detecting Difficult-to-Read Areas Using Text Reading Speed and Eye Movement Features
Yudai Ito, Chikako Ishizawa, Yoichi Kageyama
Akita University

2. 使用データ

アイトラッカー(Tobii Eye Tracker 4C[6])を用いて、文章を黙読している間の視線を取得した。また、読み難いと感じた単語や文字をアンケート用紙に記入してもらい、これらを注視された領域(注視領域)と定義した。

被験者は日本語を母国語とし、日常的にPCを使用している、20代の大学生および大学院生の20名である(a~t)。性別は男性12名、女性8名であり、視力の矯正方法は、裸眼が5名、眼鏡が5名、ソフトコンタクトレンズが10名であった。なお、データ取得は「秋田大学手形地区における人を対象とした研究に関する倫理規程第6条第2項」に基づき、被験者の同意のもとで行った。

被験者とアイトラッカーの距離は、デバイスの推奨距離に従い、平均69cmとした。1文字の大きさは約4mmであり、視野角は約0°19'19"である。フォントは、モニタ上における文字の位置を算出しやすくするため、1文字の幅が均等であるMS明朝を用いた。提示文章は日本漢字能力検定協会が実施する日本漢字能力検定試験[7]の読みテストから引用した5文章であり、全被験者が初見の文章であった。

3. 提案手法

3.1. 注視領域の検出手法

注視領域は文章ごとに視線ヒートマップを用いて検出する。視線ヒートマップは、モニタのピクセル上に視線が存在していた時間の累積を算出して注視位置を発見する解析方法である。具体的には、ある一点を被験者が見つめていた場合、見つめられていた点とその周辺の円形の領域(視線領域)に累積時間を加算する。本検討に用いたアイトラッカーは90Hzの頻度で、PCモニタ上の視線の存在する座標点を取得する。したがって、座標値が取得されるたびに、座標点とその周辺の円形の領域(視線領域)に1を加算する処理を行い、0.09で除した値を視線の累積時間(ms)とした。作成されたヒートマップに対して、閾値以上の累積時間となった箇所を検出された注視領域とした。

3.2. 閾値推定手法

提案する閾値推定手法は、注視検出に用いる閾値の最も検出率の高い値(最適な閾値)を被験者の読み速度に基づいて推定する。以下に閾値推定手法の手順を示す。

(i) 読み速度の算出

1文字当たりの平均黙読時間(ms/文字)を読み速度として、被験者ごとに算出する。

(ii) 閾値および視線領域サイズの全数探索

閾値および視線領域サイズを変化させた場合の検出率を算出する(全数探索)。なお、検出

率を表す指標には F 値[8]を用いた。F 値は図 1 に示す指標を用いて算出し、値が 1 に近いほど注視領域を検出できていると判断した。探索範囲は、閾値が 0ms から 10s まで、視線領域サイズが 0 文字サイズから 11 文字サイズまでとした。

- (iii) 視線領域サイズに対する閾値の増加量を算出
探索結果において最も F 値が大きく、視線領域サイズおよび閾値が最小となる組み合わせに着目し、閾値を視線領域サイズで除した値(増加量)を算出する。
- (iv) 増加量と読み速度から近似直線を算出
全被験者を対象とし、読み速度と増加量の関連を散布図にプロットし、それらの近似直線を最小二乗法で算出する。
- (v) 近似直線を用いた閾値の推定
近似直線を用いて、任意の被験者の読み速度から、増加量の推定値を算出する。その後、任意の視線領域サイズと推定された増加量を掛け合わせることで最適な閾値を推定する。

4. 実験方法

異なる文章が閾値推定手法に与える影響を検討するため、取得した 5 文章のうちの 1 文章に対して閾値推定手法を用い、近似直線を算出した。次に、残りの 4 文章に対して、得られた近似直線と読み速度を用い、視線領域のサイズが 1 文字の場合における閾値の推定を行った。比較手法として、1 文章の探索結果である最適な閾値を全被験者で平均し、その値を残りの 4 文章の閾値とする手法を用いた。

5. 実験結果および考察

5 文章全てに対して推定された閾値の検出率を算出し、文章ごとに平均した結果を図 2 に示す。図 2 から提案手法は文章 1, および文章 2, 文章 4 において、比較手法よりも高い検出率を得た。さらに、全数探索から得られた最適な閾値と推定された閾値の誤差の大きさを比較すると、文章 1 の提案手法においては、20 名中 12 名の被験者が比較手法よりも小さい誤差を示した。これは、異なる文章から求めた閾値であっても、各被験者の読み速度が考慮されているため、提案手法は比較手法よりも誤差が小さくなることを示唆している。

一方、文章 5 における提案手法の検出率は最も低く、比較手法よりも推定された閾値の誤差が大きくなった被験者は 9 名存在した。文章 5 は 5 文章の中で最も読み難い文章であるため、9 名中 8 名におい

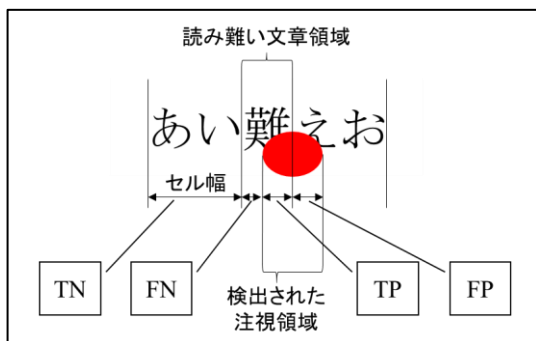


図 1 F 値算出に用いた TN, FN, TP, FP の定義

ては、推定された閾値が最適な閾値よりも大きい値を示した。8 名の中で最も大きい誤差を示した被験者 r の全数探索結果と、提案手法および比較手法の推定された閾値を図 3 に示す。さらに、提案手法の手順(iii)から算出される増加量を黒色の直線として示す。提案手法を用いて任意の視線領域サイズにおける閾値を推定した場合、黒色の直線上の検出率が得られる。このため、提案手法の推定値は、増加量を表す直線が F 値の大きい領域を閾値の増加する方向に逸脱した結果、推定された閾値が大きくなり、検出率が低下したことがわかる。したがって、赤線に示すように、曲線を用いて増加量を近似する手法を検討する予定である。

本研究は、科学研究費(C)(No.JP18K02852)の助成により行われたことを付記する。

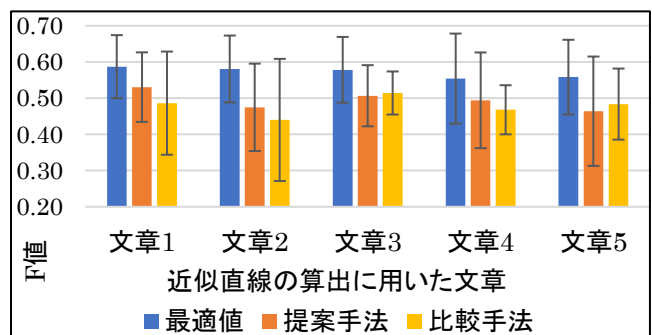


図 2 各文章における注視領域の検出率(平均)

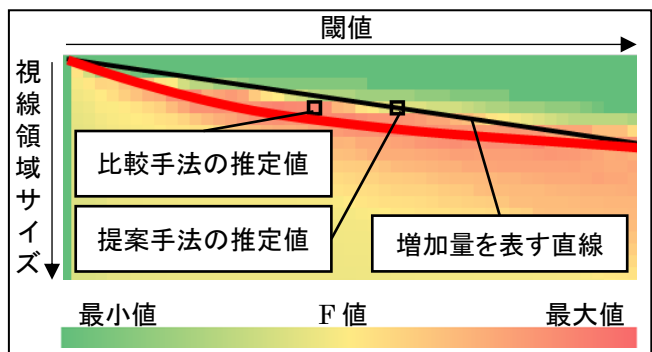


図 3 全数探索結果(被験者 r, 文章 5)

参考文献

- [1] B.Barone Gibbs, C.E. Kline, K.A. Huber, J.L. Paley, S. Perera: Covid-19 shelter-at-home and work, lifestyle and well-being in desk workers, *Occup. Med.*, Vol.71, pp.86-94 (2021).
- [2] S. Martinez-Conde, S.L. Macknik, D.H. Hubel: The role of fixational eye movements in visual perception, *Nat. Rev. Neurosci.*, Vol.5, No.3, pp.229-240 (2004).
- [3] J.E. Hoffman, B. Subramaniam: The role of visual attention in saccadic eye movements, *Percept. Psychophys.*, Vol.57, No.6, pp.787-795 (1995).
- [4] S. Hutt, K. Krasich, C. Mills, N. Bosch, S. White, J.R. Brockmole, S.K. D'Mello: Automated gaze-based mind wandering detection during computerized learning in classrooms, *User Model. User Adap. Inter.*, Vol.29, pp.821-867 (2019).
- [5] M.A. Just, P.A. Carpenter: A theory of reading: From eye fixations to comprehension, *Psychol. Rev.*, Vol.87, No.4, pp.329-354 (1980).
- [6] Tobii, Specifications for the Tobii Eye Tracker, <https://help.tobii.com/hc/en-us/articles/213414285-Specifications-for-the-Tobii-Eye-Tracker-4C> (Accessed: 2021/12/28).
- [7] 日本漢字能力検定協会, 日本漢字能力検定, <https://www.kanken.or.jp/kanken/> (Accessed: 2021/12/28).
- [8] A.F. Peter: *Machine Learning: The Art and Science of Algorithms That Make Sense of Data*, Cambridge University Press (2012).