

# 読んでいる行を自動でハイライトする リーディングツールの提案と開発

佐藤樹<sup>†1</sup> 加藤直樹<sup>†2</sup>

**概要**：デジタル画面でのリーディングでは、文字サイズ調整やスクロールにより直前まで読んでいた行を見失い、行の読み飛ばしや重複読みが生じやすいことが問題点である。ハイライトを付与するとしても、手動操作に頼る場合、注意の分断や集中の低下を招く恐れがある。そこで本研究では、視線の動きから行移動を検知し、ユーザーの操作を伴わずにハイライトを自動更新するリーディングツールを提案し、実装を行った。

## 1. はじめに

### 1.1 研究背景

平成30年(2018年)に改訂された学習指導要領では、資質・能力の三つの柱を育成することが重視されている[1]。こうした教育目標の実現に資する手段として、音声と文字の両面から学習する機会が多く、特に活用が期待できる場面が多い英語を先行として、学習者用デジタル教科書の導入が進められてきた。文部科学省の調査(2024年度)でも、音声再生機能や個別最適化学習との親和性などが評価されている[2]。

しかし、デジタル画面で文章の黙読や音読の練習を行う(以下、リーディングと記す)にあたって、視認性に関する課題が存在する。文字サイズの小ささは視認性に影響を及ぼし、読み取り速度を低下させることが、Wilkinsらの研究[3]や、Katzirらの研究[4]からわかっている。一方で、子どもの発達段階に応じて1ページに載せるべき情報量が増加するため、学年が上がるにつれて教科書の文字サイズは小さくなる傾向にある。デジタル教科書には文字の大きさを調整する機能が備わっており、学習者一人一人のニーズに応じた表示形式に設定できるという強みがある。しかし、文字を大きくすることで、一行に表示される文字数や画面内に表示される行数が減少し、その結果、スクロールの頻度や視線移動が増加して、かえって読みにくさを感じる場合もある。また、文字サイズを小さいままにして指やペンで目印をつけながら読むという方法も、一時的なピンチ操作による拡大・縮小や連続的なスクロールといったデジタル画面ならではの操作により、視点の位置が動的に変化しやすく、目印と表示位置のずれも生じやすいため、結果として直前まで閲覧していた箇所を見失いやすいという別の課題が生じる。

特に、通常の学級に在籍する児童生徒のうち、読み書きに困難を示す可能性のある児童生徒は小学校・中学校で3.5%、高等学校で0.6%ほど存在する[5]と言われており、こうした視点位置のずれや行の見失いといった問題は、これらの児童生徒においてより顕在化しやすいと考えられる。一方で、これらの問題は読み書きに困難を抱えている児童生徒に限ったものではない。デジタル画面における頻繁なスクロールや拡大・縮小操作は、特別な困難がない児童生徒においても、直前まで読んでいた行を見失い、行の読み飛ばしや重複読みを引き起こす要因となりうる。

デジタル画面には紙媒体とは異なる課題もあるものの、その柔軟な表示機能を活かすことで学習支援の可能性を広げることできる。先のデジタル画面でのリーディングにおける課題を解消して、行の読み飛ばしや重複読みの防止に繋がる手立ての一つに、リーディング行のハイライト表示がある[6]。しかし、ハイライトを移動させるためには、マウスやキーボードによる追加動作を伴い、視覚的注意の分断や内容理解への集中を妨げる恐れがある。深い集中を要する作業は、外的刺激によって中断されるたびに再集中に時間的・精神的コストを要する。実際にAlonsoら[7]の視覚探索課題では、探索対象が常に一定であったにもかかわらず、作業の中断によって反応時間が有意に遅延し、注意や目標の再活性化に伴う認知的コストの存在が示唆された。これを踏まえると、ハイライトは自動で移動することが望ましい。

ハイライトの自動化を実現するためには、ユーザーが読んでいる行から次の行へ移った(以下、次行移行と記す)タイミングを適切に検出する必要がある。しかし、リーディング中の振る舞いには個人差が大きく、読む速度や注視が生じやすい箇所は文章内容や状況によって変化するため、一律の基準で更新のタイミングを決定することは容易ではない。そのため、自動化手法の選択にあたっては、リーデ

<sup>†1</sup> 東京学芸大学教育学部

<sup>†2</sup> 東京学芸大学

イングをできるだけ阻害せず、かつユーザの状態を適切に反映できることが重要となる。

## 1.2 研究の目的

本研究では、英文テキストのリーディング中に、行の読み飛ばしや重複読みといった、読んでいる行（以下、注視行と記す）の見失い防止を目標に、注視行を自動的にハイライトする機能を有したリーディングツールを開発する。

注視行を示すハイライトの移動を自動化する手法として、音読時の音声情報や経過時間、頭部の向きに基づく制御などが考えられる。しかし、音声入力には対応できない上、一定以上の音量や明瞭な発音が求められるほか、外部音などの入力環境の影響を受けやすい。また、経過時間に基づく制御についても、ユーザ間の個人差や文章の難易度によって適切な設定時間が異なるため、一律に値を定めることは難しい。さらに、一般的な端末であれば、顔を多少動かすだけで視線を画面全体に移せるため、リーディング位置の変化を捉える指標としては有効性が低く、頭部の向きを検出する手法も効果は期待しにくい。

そこで本研究では、これらの課題を解消する方法として、視線追跡技術（アイトラッキング）を用いる。しかし、視線を計測するためのアイトラッカー専用機器は高価であるうえ、機器の装着が児童生徒や教師への負担となるため、現実的ではない。そこで、児童生徒がリーディングで用いる端末に搭載されたフロントカメラを用いた簡易的なアイトラッキングによりおおよその視線を推定し、その推定視線の変化を手がかりにハイライトする行の更新タイミングを判定する手法を提案し、前述の機能を実装する。

なお、フロントカメラが撮影した画像から視線を推定する処理には WebGazer.js を用いる。

## 2. 既製品と関連研究

### 2.1 既製品

#### 2.1.1 Lentrance（レントランス）

様々なアクセシビリティ機能を備える学習支援ツールの一つとして、Lentrance がある。本文を拡大表示すると音声ボタンが現れ、「音声+ハイライト」「音声のみ」「ハイライトのみ」の3つのモードを選択できる。この機能により、発音の確認、シャドーイングやオーバーラッピング、単語を隠す機能と掛け合わせて穴埋めリーディングなどの学習方法が実現できる。しかし、自身のペースに合わせてハイライトをする機能は無い。その機能が加われば、より個々のペースで学習を進めやすくなる可能性がある。

#### 2.1.2 マルチメディアデジター教科書

テキストのハイライト表示と、音声読み上げが同期して

提示されるデジタル教科書である。主に読みの困難を抱える小中学校の児童生徒を対象として提供されており、通常の学級だけでなく、通級指導教室や特別支援学級でも、音読練習等に活用できる。しかし、2.1.1と同様に、自身のペースに合わせてハイライトする機能は無い。

### 2.2 関連研究

#### 2.2.1 ハイライト効果

生田ら[6]は、Media Overlays 機能を備えた電子書籍を用いた音読活動において、文や文節が音声と同期してハイライト表示される環境を継続的に利用した結果、「行飛ばし」や「勝手読み」といった読みの逸脱行動が早い段階で減少したと報告している。加えて、電子書籍の音声読み上げをオフにした状態においても、学習者がハイライトの進行に合わせて文字を追い、読もうとする様子が観察されたことを報告している。これは、ハイライトが読み進める位置を視覚的に明示する手がかりとして機能し、ユーザの視覚的注意を現在の注視行に維持させることで、行の見失いを抑制する可能性を示唆している。

金森ら[8]は、音読時の視機能の評価及び読み能力検査を通じて、読みに困難のある児童に対するデジタル教材におけるハイライト機能の効果の検証を行い、音読潜時（文字や単語などを呈示してから発声を開始するまでの時間）が短くなり、単語や文の認識を高めていること、視線が散在しにくくなり、正確に文章を読む支援にもつながることを報告している。

#### 2.2.2 WebGazer.js による視線追跡

Kandel ら[9]は、視線追跡のオープンソースライブラリである WebGazer.js の視線推定精度では、視線の位置をおおよその範囲でしか特定できず、特に、垂直方向においては水平方向よりも精度が劣る傾向があると述べている。谷ら[10]も、プログラミングのソースコードにおいて、数フレーム分の視線位置をもとにヒートマップを作成することで注視した行を推定しているが、前後といったおおよその注視行でしか推定できなかつたと述べている。したがって、WebGazer.js では特定の行を視線情報のみで特定することは困難であると考えられる。そのため、読み出し地点はユーザが手動で指定し、リーディング時の視線の動きを活かしてハイライトを移動する方が、精度が向上すると考えられる。

また、WebGazer.js で収集された注視点には、不確実領域が存在するのだが、高山らの研究[11]や Chang の実験[12]からもわかるように、画面を一定のサイズに分割した際の識別はできる。ゆえに、画面を分割し、視線の動きの情報と組み合わせることで、一行の中でどの辺りを読んでいるかある程度予測できる可能性がある。

### 3. リーディング中の視線移動特性の分析

前章で述べた通り、現時点でのフロントカメラ映像からの視線推定技術の精度は低い。その技術を用いて注視行を判定するには、ユーザのリーディング中に見られる推定視線の移動特性を知る必要がある。そこで、英文リーディング中の視線データを大学生 14 名から収集し、その特性に関して複数の指標で検証を行った。

#### 3.1 データ収集方法

各行ごとのリーディング中や次行移行時における視線データを取得するため、計測ツールを実装した。本ツールでは、視線データとして、スクリーンの録画映像に加えて、録画開始からの経過時間、取得された視線座標 (X, Y)、および次行移行操作に対応するキー押下時刻を記録する。また、英文テキスト各行の外接矩形の左右端の X 座標を記録する。なお、本研究で扱うこれらの座標情報はいずれも、ブラウザ表示領域左上を原点としたピクセル座標である。テキスト表示エリアの横幅については、端末ごとの画素数の違いによる座標変化のばらつきを抑え、X 軸方向の視線移動を同一基準で検出するため、各端末において同一のピクセル値 (1200px) を指定し、ブラウザ表示領域の中央に配置した。なお、実験中は、ブラウザは全画面表示とした。

被験者には、キャリブレーションを実施した後、英文テキストを黙読してもらい、次の行に視線を移すタイミングでは下矢印キーを押下してもらった。読み始めは先頭行がハイライトされており、キーを押すたびに順次次の行にハイライトを移すことで、読んでいる行をハイライトするようにした。

#### 3.2 分析方法

注視行を特定するアルゴリズムの設計に向けて、次の 4 項目について視線データの分析を行った。

- 次行移行時における行端付近の視線検知範囲
- 各行のリーディング中の推定視線の変化量
- 次行移行時の推定視線の座標変動
- ユーザが次の行へ移行するにあたってハイライトの移動を求めるタイミング

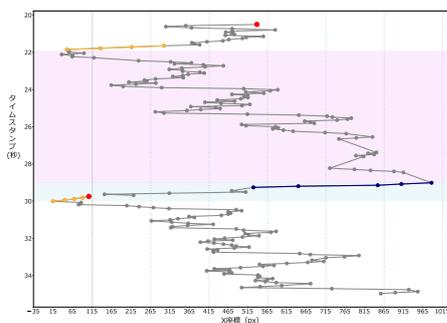


図 1 X 座標の視線推定例

#### 3.2.1 次行移行時における行端付近の視線検知範囲

視線の推定に伴う注視位置の誤差を考慮し、テキストエリア横幅の 3% に相当する許容範囲を設け、その範囲を超える X 座標値が推定されたか否かを各行ごとに判定した。逸脱が確認された場合には、当該行においてテキストエリアの端から最も遠い X 座標値を記録し、逸脱に至らず、視線が端部まで到達しなかった場合には、端に最も近い X 座標値を記録した。それぞれの条件 (逸脱あり/未到達) における X 座標値の平均を算出するとともに、全体に対する逸脱が発生した行の割合 (逸脱率) および未到達となった行の割合 (未到達率) も求めた。

#### 3.2.2 各行のリーディング中の推定視線の変化量

視線推定には一定の空間的誤差が存在し、その影響により実際の視線移動と無関係に推定座標が上下左右に変動する。そこで、各注視行リーディング中に生じる誤差の変動と行移動時の視線移動を識別するため、X 座標においては、文を読んでいるときは概ね正方向への変化が継続し、行移行時には大きな負方向の変化が生じる可能性が高いことを踏まえ、X 軸の負方向への変化が観測された場合、隣接する推定視線間の差分を算出した。また、負方向への変化が連続して生じた場合には、それらの差分を合算した。さらに、得られた全ての負方向の変化量について、各行ごとに平均値および最大値を算出した。Y 座標においては、3.2.3 で述べる次行移行の終了位置の次の推定から開始位置の直前までを一行分 (リーディング中に取得された X 座標値の時系列データを折れ線グラフとして可視化した一例である、図 1 中の背景色がピンク色で示されている区間) として扱い、その区間における Y 座標の変動幅を算出した。さらに、視線の上下方向の変動量を時系列で可視化した。

#### 3.2.3 次行移行時の推定視線の座標変動

次行移行過程における視線移動は、全被験者において一貫して負方向へおおよそ直線的になっていた。一方で、行末付近では注視による揺らぎが頻繁に観察されるため、視線移動の正方向から負方向への転換点を厳密に特定することは困難である。そこで、転換点の検出ではなく次行移行時の負方向への視線移動過程そのものに注目し、各移行の特徴を定量的に評価した。

単一または少数点の X 座標減少は視線推定誤差によっても生じ得るため、次行移行の開始と誤判定する可能性がある。よって、次行移行中の視線の動きとして、「次行移行の開始位置」から「終了位置」までの間について、次の指標を抽出する。

- 移動幅 (終了位置から開始位置の距離) の平均値
- 単調減少率 (全次行移行回数を母数とし、視線の X 座標が開始から終了まで一度も増加に転じることなく、連続して減少し続けた移動回数の割合)

- 隣接する推定視線間の大幅変動回数（移動過程で連続する推定視線の X 座標の差が、200px 以上（テキストエリア横幅の約 16.7%）、または 400px 以上（約 33.3%）の変動が生じた回数）
- 各次行移行において取得された視線推定点の個数
- 所要時間（開始位置と終了位置のタイムスタンプ差）

なお、「次行移行の開始位置」は 4 点以上連続して X 座標値が減少し始めた地点（図 1 中の青い点線）、その後、減少傾向が続く中で、3 点以上連続して減少が維持されなかった場合（例：増加→増加→増加、または増加→減少→増加など）を「終了位置」とした（中のオレンジ色の点線）。

さらに、これら各指標について全被験者における平均値や相関係数を算出し、次行移行における視線挙動の特徴を明らかにした。加えて、視線移動の変化をより詳細に捉えるため、推定された X 座標値の差分から算出した速度および加速度の時系列も分析した。

### 3.2.4 ハイライトを移動させたいタイミング

被験者には、「その行を読み終わり、次の行に視線を移すときに下矢印キーを押下して」と指示した。この指示は、次の行への移行に際して被験者がハイライトの更新を必要と感じたタイミングをキー押下として取得することを目的としたものであり、結果として被験者ごとの認知的基準の違いが反映されることを想定している。

図 1 において、キー押下時点でグラフの線分を分割するとともに、赤色で表示する可視化を行った。これにより、次行移行のどの段階（行末付近・移動中間・行頭付近）でハイライト移動が要求されているかを視覚的に把握し、目視によるタイミングの分析を行った。

## 3.3 分析結果と考察

ここでは、前項に記した分析の結果とそれを元にした考察を述べる。

### 3.3.1 次行移行時における行端付近の視線検知範囲

逸脱率の平均は左端では 46.3%、右端では 64.2%であった。また、逸脱が確認された場合の X 座標の逸脱幅の平均値は、左端が 175.4px、右端が 195.3px であった。未到達率は左端で 46.3%、右端で 21.9%であり、右端の未到達率については、もともと行の長さが短かったために到達しなかった場合を除外して算出した値である。

これらの結果より、テキストエリア左側においては視線推定の精度が低下する可能性があること、あるいは左端まで視線が到達しない傾向があることが示唆される。また、右側では視線がテキストエリアを逸脱する割合が被験者の 6 割を超えており、加えて未到達率は相対的に低い水準であったことから、推定視線は右側にずれている、あるいは視線は全体として右方向に偏る傾向があることが示唆される。

したがって、ハイライトの更新タイミングにおいては、テキストエリア右端から中央付近にかけての視線移動を次行移行の判定領域として扱うと良いと考えられる。

### 3.3.2 各行のリーディング中の推定視線の変化量

X 座標について、個々の被験者においてリーディング中に負方向の変化があったときの変化量にはばらつきが見られたが、多くの場合、その値はテキストエリア横幅の 5% 未満にとどまっていた。また、最大値についても、おおむね 30~40% 程度であった。一方で、平均値がおおよそ 10% に達する被験者が 2 名存在し、これらの被験者では、テキストエリア横幅の 50% を超える大きな変化量の存在も確認された。

Y 座標の変動幅を算出したところ、全被験者において平均値が画面縦幅の 30% を超えていた。また、まばたきなどの影響により、横に視線を映しているであろうリーディング中であっても、Y 座標には上下方向の変動が頻繁に生じている様子が確認された。ゆえに、現時点の視線推定精度では、特定の行を正確に判別することが難しく、行選択やハイライト位置の動的制御に視線推定結果として得られる Y 座標を直接利用することは困難であると考えられる。

### 3.3.3 次行移行時の推定視線の座標変動

単調減少率は、最低でも 61% で、被験者平均は約 86% であった。単調減少率が低下したケースを詳細に確認したところ、値の変化は多くの場合、「100→130→80」のように、一時的に 10~30px 程度の増加を示した後に再び減少する傾向がみられた。全被験者の全移動データを通して確認したところ、その一時的な増加幅は最大でも 100px 以内に収まっていた。また、テキストエリア中央付近で発生するケースが多かった。このような一時的な増加は、実際の視線移動を正確に反映できていない可能性を示しており、視線推定のタイムラグや精度の誤差によって一時的に増加した値が推定される現象であると考えられる。

さらに、視線推定回数の平均および所要時間と単調減少率の相関分析の結果、視線推定回数の平均および所要時間が増加するほど、単調減少率がわずかに低下する傾向が認められた（表 1 参照）。

一方で、開始位置がテキストエリア右端付近であるほど、単調減少率がやや高い傾向がみられた。このことから、テキストエリア右端から視線移動が開始される場合、視線軌跡の変化がより安定して検出されやすい可能性が示唆される。

速度および加速度については、被験者全体を通して共通する特徴的なパターンは確認されず、被験者個人のデータにおいても、速度・加速度の変動は大きかった。そのため、速度指標から視線移動の方向性や安定性を一貫して推定することは困難であると判断した。

隣接する推定視線間の大幅変動について、大きな座標変動が生じた場合には、WebGazer.js の内部処理が一時的に停滞した可能性が考えられる。この仮定が正しければ、一回の次行移行における視線推定回数は減少し、移動に要する時間は増大すると推定される。しかし、推定視線間の移動距離が 200px を超えた場合であっても、推定回数や処理時間との間に明確な相関は認められなかった。したがって、200px 程度の変動については、処理遅延に起因すると判断する根拠は得られなかった。一方で、400px を超える変動は発生頻度が低く、全被験者における 200px 超過が 57%であったのに対し、400px 超過は 12% に留まった。400px 超過が観測された 30 件について、その前後の推定間隔および移動距離を比較したところ、多くの場合で推定間の時間差が通常より約 10 倍大きくなっていった。時間差が増大していないケースにおいても、前後の移動距離に大きな差が生じており、その結果として得られる移動速度は通常時とは大きく異なる値となった。これらの結果から、400px を超える変動については処理遅延によって生じた可能性が示唆される。ただし、発生数が限られているため、確定的な判断にはさらなる検証が必要である。この結果を踏まえると、200px 前後の変動は検知できる設計が求められる。

### 3.3.4 ハイライトを移動させたいタイミング

分析対象とした 14 名の被験者のうち、下矢印キーを押下した位置が行頭付近であったのは 8 名であった。中央付近で押下したのは 3 名、行末付近であったのは 2 名であり、残る 1 名は毎回ランダムなタイミングで押下しており、特定の位置に分類できなかった。行頭付近で押下した 8 名のうち 2 名については、キーの押下直後に視線が正方向に移動しており、すでに次の行への視線移動がほぼ完了した段階で押下していた。一方、これら 2 名を除く 12 名の被験者は、視線が次の行頭に向かって負方向へ移動する途中でキーを押下していた。

行頭付近でのキー押下が最多であったことから、視線移動がある程度進行した後にハイライトを移動する方が、読み手の自然な読み動作と整合しやすいと考えられる。また、次行移行開始からハイライト更新までの時間的猶予が確保できるため、更新判定に必要な情報量を増やすことができ、判定精度の向上にも寄与すると考えられる。

## 4. フロントカメラによる注視行更新タイミング判定手法の設計

### 4.1 視線の推定方法

視線の推定処理には WebGazer.js を用いる。

撮影された画像から顔や眼周辺の特徴点を抽出し、リーディング前に行うキャリブレーションによって、あらかじめ指定された画面内の位置をユーザが注視しているときの

視線座標と、その際に取得される画像中の顔や眼周辺の特徴点の対応関係を正解データとして収集し、学習されたリッジ回帰モデルを用いて画面解像度に応じた視線座標を得る。

なお、推定した視線座標には外れ値やばらつきが含まれる可能性があり、その特性を事前に仮定することは難しい。そこで、ばらつきの特性に依存しないノンパラメトリックな手法でメディアンフィルタを適用して外れ値の影響を低減し、得られた視線位置の推定結果を、ハイライト制御に用いる。

### 4.2 注視行更新タイミングの判定方法

前章の分析から、特定箇所を注視していても、推定視線のみで注視行を一意に決定することは困難であることがわかった。一方で、注視行の検出には、次行移行時の推定視線の移動を利用できることから、各行を独立に判定するのではなく、推定視線の動きに応じて、次行へ移行したタイミングを判定する方法をとる。

前節の分析の結果、各行を読んでいる最中（視線が右に流れる最中）にも一定程度の負方向への推定視線の移動が生じることが確認された。したがって、次行移行を判定するためには、次行移行時の負方向への連続的な視線移動を指標としてする方法が適切である。ただし、一時的に正方向への変動が生じたり、連続する推定間で座標値が大きく変化したりする場合がある。そこで、テキスト表示エリアを X 軸方向に① 0~45%、② 45~70%、③ 70~100% の比率で 3 分割し、推定座標がいずれのエリアに位置しているか分類した上で、推定視線が段階的に左側のエリアへ移動したときを次行移行として検出することとする（図 2）。

また、一時的な処理遅延により、エリア③から①へ直接遷移する可能性もある。そこで、①の記録後に 1 秒以内に③が再度確認されなかった場合も、次行移行が成立したものとみなす。

## 5. リーディングツールの機能設計と実装

本章では、前章で提案した注視行更新タイミング判定方法を用いて、読んでいる行をハイライトするリーディングツールの機能設計と実装について述べる。

ツールの実装にあたっては、リアルタイム性やセキュリティの観点からブラウザのみで動作させるため、開発言語は HTML、CSS、JavaScript を使用し、アイトラッキングは追加機器を必要とせず無料で利用できる WebGazer.js を用

表 1 単調減少率との相関分析の結果

指標	相関係数	P値	傾向
出力回数平均	-0.2638	1.4066	増加するほど単調減少率が低下
所要時間平均	-0.3114	1.5356	増加するほど単調減少率が低下

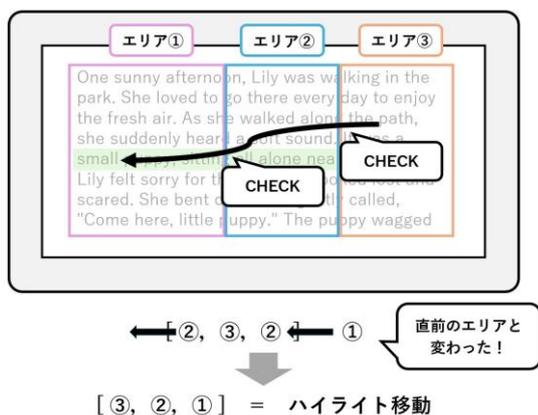


図 2 注視行更新タイミングの判定

いた。

### 5.1 キャリブレーション機能

視線推定精度を向上させるために、キャリブレーション機能を提供する。ユーザはツール利用開始時にこのキャリブレーション機能を使うことになる。

キャリブレーションにはカメラが取得する画像と、ユーザが実際に見ている画面上の座標との対応関係を学習させ、出力を補正するための基準点が必要なため、画面中央および画面四隅を含む 3×3 の黄色の点を格子状に配置し、ユーザは各点を見ながら、計 2 回ずつクリックする。各点ごとにクリックされた回数がわかるように、クリックがされると、色をオレンジ、赤と変化させる。

全ての点についてのクリックが終了すると、自動で元の画面へ遷移する。

### 5.2 ハイライト機能

ユーザが自身の注視行を常に意識できるようにするために、リーディング中は、読んでいる（と思われる）行をハイライト表示する機能を提供する。また、色の視認性に関する個人差に対応するため、ハイライトの色はユーザごとに変更可能とした。

リーディングは、メニュータブ内に設けたリーディング開始行選択モードを選択し、ユーザが読み始めたい行をタップすると、当該行にハイライトが付与され、その後は、4.2 節の判定方法によって、更新が判定された時に、次行にハイライトが移る。また、ハイライトが誤作動した場合や開始行を誤って選択した場合には、上下の矢印キー押下によってハイライト行を手動で修正できる。

## 6. おわりに

本稿では、行の読み飛ばしや重複読みといった、注視行の見失い防止を目標として、端末に搭載されたフロントカメラによる簡易的なアイトラッキングを用いて注視行更新のタイミングを判定する手法を提案し、その方法を用いて

注視行を自動的にハイライトする機能を有したリーディングツールの設計について示した。

今後、実際にツールを利用してもらい、ハイライト自動更新アルゴリズムの精度の定量的評価、及び、その自動更新がユーザにとって有用であるかの検証を進めていくことが課題である。

## 参考文献

- [1] 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説 総則編
- [2] 文部科学省：デジタル教科書をめぐる状況、デジタル教科書推進ワーキンググループ第 1 回資料（2025）
- [3] Wilkins, A., Cleave, R., Grayson, N. and Wilson, L.: Typography for children may be inappropriately designed. *Journal of Research in Reading*, Vol.32, No.4, pp.402-412 (2009)
- [4] Katzir, T., Hershko, S. and Halamish, V.: The effect of font size on reading comprehension on second and fifth grade children: bigger is not always better. *PLoS ONE*, Vol.8, No9 (2013)
- [5] 文部科学省：通常の学級に在籍する特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査（2023）
- [6] 生田 茂, 葛西 美紀子：文や文節をハイライトしながら同期をとって読み上げを行う 電子書籍を用いた音読活動の取り組み, *人間生活文化研究*, Vol.24, pp.160-167 (2014)
- [7] Alonso, C. A., Lavelle, M. and Drew, T.: The performance costs of interruption during visual search. *Cognitive Research: Principles and Implications*, Vol.6, No.1, p.64 (2021)
- [8] 金森 裕治, 楠 敬太, 今枝 史雄：読み書きに困難のある児童に対するデジタル教材におけるハイライト機能の効果について 一音読時の視機能の評価を通して一, *研究助成論文集 / 明治安田こころの健康財団 編*, No.52, pp.106-113 (2016)
- [9] Kandel, M. and Snedeker, J.: Assessing two methods of webcam-based eye-tracking for child language research. *Journal of Child Language*, Vol.52, No.3, pp.675-708 (2025)
- [10] 谷 祐貴, 坂中 翔矢, 榎原 絵里奈, 小野 景子：遠隔プログラミング学習における視線情報を用いた躰き解消手法の提案, *同志社大学ハリス理化学研究報告*, Vol.63, No.4, pp.173-180 (2023)
- [11] 高山 裕暉, 金澤 拓己, 井垣 宏：注視情報共有型アバタシステムを用いたオンライングループディスカッション評価手法の検討, 第 9 回実践的 IT 教育シンポジウム (rePiT2023) 論文集 (2023)
- [12] Chang, K.: Detecting user behavior with WebGazer data. California State Polytechnic University, Pomona, (2021)