

蛍光マーカーペンを用いた情報整理方法が学習者の視線移動に与える影響の研究

西村 浩樹 (京都工芸繊維大学 大学院先端ファイブプロ科学, arc-nnlervmenve@arc-edu.com)

桑原 教彰 (京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科, nkuwahar@kit.ac.jp)

The study of the learning effect that a highlighter pen gives and development of the evaluation system

Hiroki Nishimura (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology, Japan)

Noriaki Kuwahara (Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology, Japan)

要約

日本において、1980年代に提唱された「ゆとり教育」により、学習内容の削減や指導時間の大幅な削減が行われ、学校は、週5日制授業が導入された。OECD（経済協力開発機構）が、2000年から3年ごとに実施している学習到達度調査（PISA）では、読解力において2003年に8位から14位、2006年には15位に順位を大幅に下げ、数学的リテラシーにおいても、2003年には1位から6位、2006年に6位から10位に下げる結果になるなど、「ゆとり教育」における削減された学習指導要領での指導の影響から日本の学力低下問題が指摘されるようになった。ゆとり教育を取り入れた背景として、それまでの「詰め込み教育」と呼ばれ、1970年代までに実施されていた知識重視の増大した学習量が、創造力の欠如やテストが終わると忘れてしまう剥落学力と言われる問題があるとされたこと、また、学習内容を理解し、知識として取り入れていくことができず、授業についていけないことが原因で生徒間の学力格差が広がり、不登校や落ちこぼれなどの問題があったことが要因としてある。このため、2008年の「脱ゆとり教育」と称された学習指導要領では、「生きる力」を育むとし、学習面では、主に「基礎的な知識・技能の習得」を目的に改訂され、授業時間数は増加し、学習内容も増加させるなど大きく方向転換が図られた。また、基礎学力以外にも思考力、表現力を身につける必要性が指摘されている。この学習指導要領の改訂により、読解力では、2012年には15位から7位、数学的リテラシーでは、10位から7位に順位を上げる結果となった。つまり、基礎学力を習得することは、思考力・応用力・表現力を育成する上で必要な力であると言える。そこで本研究は、学習者が、学習をする際の認知過程に焦点をあて、学習材料と自身の知識を関連づける学習方法を検討するため、文字に着色することによる視覚的效果によって学習効果を向上させる目的に使用される蛍光マーカーペンを用いた学習方法が、学習時の認知過程、特に視線移動回数や視線停留時間にどのような影響を及ぼすかを検証し、その評価システムの開発を目的とした。

キーワード

蛍光ペン, 学習方略, 認知科学, 学習科学, 視線計測

1. 緒言

現在、世界では科学的根拠に基づいた教育（エビデンス・ベースド）が注目されている。米国では、教育政策を決定する際、ランダム化比較実験と呼ばれる社会実験を行い教育政策の効果を測定することが主流になっており、教育政策実践の意志決定を行う重要な要素になっている。

日本においては、世界と比較して、教育政策と科学的調査や科学的根拠の繋がりを求める動きは弱い。近年、教育や医療分野でエビデンス・ベースドによる政策や取り組みが注目されつつある。教育における学習においても、学習者が学習する際の学習過程や認知過程を研究対象とする学習科学や認知科学など科学的根拠に基づいた学習方法や学習システムが注目され、学力向上に貢献できるのではないかと期待されている。

現在、学習者（主に学生）の学力を測る方法として、主にペーパーテストでの得点により判断される場合が大半である。学習者にとって、ペーパーテストで高得点を取ることは学習する上で大きな目的の一つであると言える。そのペーパーテストの出題形式は、空所補充、記述式、選択式など様々であるが、どのような出題形式であっても、解答を導くキーワードを見つけ出し、認知することは必要不可欠である。そこで、学習

者が、問題材料を与えられた時のキーワードを見つけ出す情報処理過程と認知過程に注目した。キーワードを検索し、正確に認知し、正答を導くことができる指導者や学習者の情報整理方法がどのようなになっているか視線の動きに着目した。また、キーワード検索時に視線の動きを誘導するため、蛍光マーカーペンでの色の刺激がどのような効果を及ぼすのか検討を試みた。

人間の情報処理課程を単純化したモデルを提唱したCard et al. (1983) によるModel Human Processorは、知覚システム、認知システム、運動システムの3つのシステムで構成されている。人間は、情報処理過程で、知覚システムである目や耳で情報を入力し、その情報をもとに認知プロセッサが文字を認識する。その後、長期記憶とのマッチングを行い、反応決定内容が運動プロセッサによって手や口に伝達され、解答用紙に記入もしくは、口頭で解答をする。学習者は、この作業を繰り返し、問題を解いていく。

また、Daniel Kahneman (2014) によれば、情報処理過程で人間が物事を判断する際、ファスト（システム1）とスロー（システム2）と言われる2つの思考システムが存在するとしている。ファスト（システム1）は、直感的・感情的な価値判断による思考で、無意識的・自動的に物事を判断し、学習経験を検索照合して、物事の判断を行う。瞬時的に的確な情報同士を結合し、問題解決のネットワークを構築するが、短絡的思考になると言われ、様々な錯覚や間違いを引き起こしやすい

いと言える。対して、スローは、情報を深く認知することで秩序だった判断をする思考と言える。

つまり、学習者が問題材料を目でとらえた時の認知過程の知覚システムにおいて、様々な情報の中からキーワードに蛍光マーカーペンで文字に着色し、目立たせること（以下：マーキング）で、視覚から入ってくる情報が制限され、キーワードを認知しやすくなることにより、解答までの認知負荷が軽減されることが予想される。また、キーワードへのマーキングは、直感的・無意識的で、間違いを引き起こしやすい判断を、情報を深く認知させることで正答へ導くことができるのではないかと考える。

これまでに視線の測定や、学習環境や学習方略など様々な研究が行われている。蛍光マーカーペンによるマーキングの効果に関して、視覚にとって好ましい色や記憶に及ぼす影響として、ピンク、グリーンの色の比較、方法として文字を塗る、下線を引く比較が行われ、ピンクで文字を塗るがマーキングの効果が最も大きいとされた(鈴木他, 2002)。また、マーキングの有無が学習効果に与える影響についての研究(西村・桑原, 2014; 2015)、さらに、マーキングが視線の動きと問題解決に与える影響が研究されている(西村他, 2015; 2016)。しかしながら、マーキングによる学習効果が期待されることは示されたが、その理由は未だ解明されていない。

そこで本研究では、蛍光マーカーペンを用いた情報整理方法が、学習者に与える効果を明らかにするため、視線の動きに着目し、マーキングの有無による視線移動の傾向の違いを検証した。またその結果を受けて、日常的な学びの場で視線データを計測し、その結果を生徒にフィードバックすることができる評価システムの開発を行った。

2. 実験方法

2.1 視線計測装置を使用した計測実験

2.1.1 実験時使用問題

被験者が解く問題材料として英語の三単現のSと時制の問題を用意した。問題パターンとして、マーキングなし10問(2種類)、マーキングあり10問(1種類) の合計3種類とし、マーキングなし、あり、なしの順に実施した。問題に対する慣れ

Ken	① helps ② helped ③ will help ④ help	his mother last Sunday.
-----	--	-------------------------

マーキングなし

We (ア watch イ watches)	TV every day.
------------------------	---------------

She	① practices ② will practice ③ practiced ④ practice	the piano every day.
-----	---	----------------------

マーキングあり

図1：出題問題例

を考慮し、それぞれに3単元のSと時制の問題が5問ずつ含まれている。出題問題例を図1に示す。

2.1.2 実験装置

視線計測装置として、ナックイメージテクノロジー(株)のEMR-9を使用した。帽子型になっており、ヘッドユニットを図2に示す。2つの小型カメラを両眼の下方に設置し、瞳孔角膜反射法により赤外線を使用することで目の動きを検出している。サンプリングレートは60Hzであり、両眼の視差補正後の視点の座標データを得ることができる。また、実験時に頭部が動かないように、被験者の頭部を頭部固定装置(顎台)で固定した。図3に示す。



図2：視線計測装置／EMR-9



図3：頭部固定装置と実験の様子

2.1.3 実験環境

実験は、東大阪市の学習塾の教室で行われた。問題は、プロジェクタによってホワイトボードに映し出した。被験者は、ホワイトボードから約130 cmの位置に着座し、頭部固定装置に顎をのせ、固定し実験を実施にした。

2.1.4 被験者

被験者は、本実験で使用する3単元のSと時制の内容を既習している学習塾に通塾する中学1年生から3年生とした。男子11名、女子9名の合計20名とし、裸眼・矯正で正常な視力である者とした。

2.1.5 実験方法

被験者は、ホワイトボードから約130 cmの距離の位置に着座し、頭部固定装置の顎台で頭部が動かないように固定した。次に、ヘッドユニットを頭部に装着し、キャリブレーション

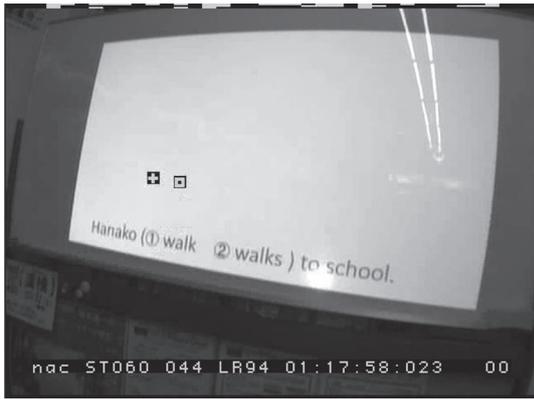


図4：映像のスナップショット

ンを行い、正常にキャリブレーションが終了すれば問題を解く準備に入ることとした。問題回答に入る前に、できるだけ早く口頭で解答すること、頭部をできるだけ動かさないようにすることを指示した。その後、ホワイトボードに問題が映し出され、被験者が口頭で答えた解答を確認し、記録した。問題は、マーキングなし10問、マーキングあり10問、マーキングなし10問の順に合計30問で実施した。映し出された問題を図4に示す。図中にある「□」は右眼の視点、「+」は左眼の視点を示している。

2.1.6 分析方法

EMR-9で計測した視線データのついたエクセルファイルの問題ごとに分割したファイルを作成した。このファイルとEMR-9で録画した映像を元に分析を行った。まず、問題の英文を主語、動詞、時間、その他の構成要素に分割した。分割



図5：問題分の分割例



図6：分析例

例を図5に示す。録画した映像のスナップショットの画像と、記録された視線データからヒートマップを作成し、構成要素の範囲を目測で決定した。それぞれの構成要素の範囲内にある視線フレーム数から「注視フレーム数」を、異なる構成要素への視線の移動を「視線移動回数」をして分析を行った。分析例を図6に示す。

2.2 視線計測装置を用いた評価システムの開発

2.2.1 評価システム開発の目的

2.1の計測実験では、EMR-9を使用し、計測を行ったが、キャリブレーションに約10分の時間がかかること、また、実際に被験者30人の内、10人のキャリブレーションがうまくいかなかったことから、簡易に視線の動きを評価するシステムの開発を検討することにした。

我々は2.1の視線計測実験の結果から、成績上位群は下位群よりも視線移動回数とキーワードへの注視フレーム数が少なくなる傾向があったことから、自分の視線データの傾向を生徒にフィードバックすることで成績下位群の学力が向上する可能性があると考えた。そこで、装着や計測の際のストレスを軽減した注視フレーム数や視線移動回数を評価するシステムを開発し、日常的に生徒が自分の視線データの傾向に気付ける環境を提供することを目的とした。

2.2.2 トビーテクノロジー社製視線計測装置の採用

視線計測装置として図7に示すものを採用することとした。これは、トビーテクノロジーが開発したイトラッキングシステムである。近赤外線の光源を使用しており、光学センサーで角膜上に反射点を作り、画像センサーで被験者の角膜上の瞳孔点と反射点を記録し、そのパターンから特徴を捉える方式で視線の動きを測定している。EMR-9との、大きな違いは、装置の装着を被験者ではなく、パソコンに装着して使用することができる点である。装着状態を図8に示す。

使用方法は、装置をUSBで本体に接続した後、キャリブレーションを開始し、被験者が目の状態が「裸眼・眼鏡・コンタクト」のいずれであるかを選択。次に視線入力する目を「右眼・左眼・両眼」から選択をする。

その後、被験者の着座位置が適切かどうかを確認し、パソ



図7：トビーテクノロジー社製視線計測装置

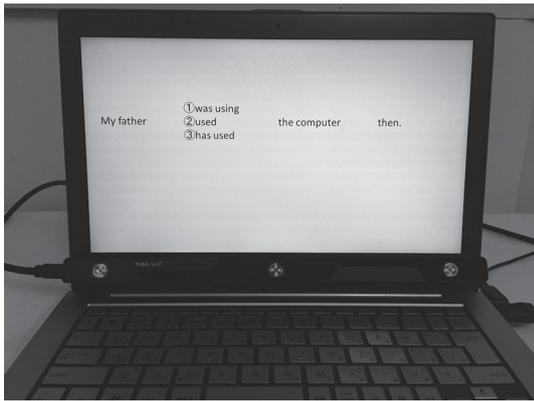


図8：視線計測装置の設置例

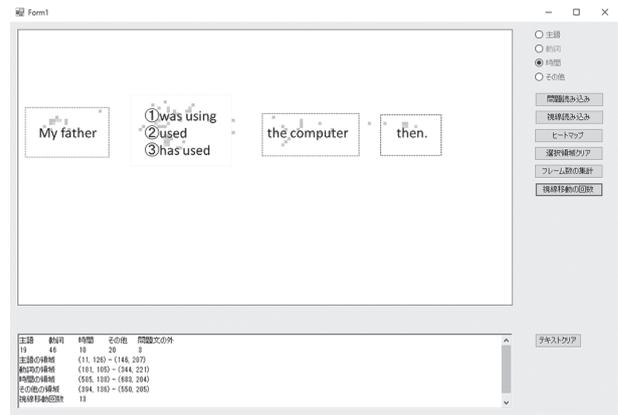


図11：視線集計部の利用例

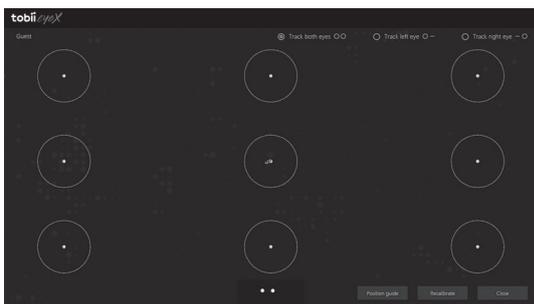


図9：キャリブレーションの精度の確認

コンのモニターに映るピンクのマーカーを凝視し、キャリブレーションが適切に行われたか確認を行う。キャリブレーションの確認画面を図9に示す。

2.2.3 評価システムの概要

本実験の評価システムは、まず事前に実験時に表示する問題のスクリーンショットを保存しておき、視線計測を開始するが、視点データの座標が必要となるため、座標データを得

るプログラムを作成した。サンプリングレートは約16 Hzとし、自動的に画面サイズを読み取り、視点のX座標及びY座標、時間経過を抽出する。全問題の視線計測終了後、視線の座標データより、視線集計部が提示された問題文のスクリーンショット上に視線データをヒートマップ表示させる。その後、主語・動詞・時間・その他の構成要素の範囲を決定し、視線移動回数と注視フレーム数を確認する。システムの構成を図10に示す。視線集計部の使い方を図11に示す。「問題読み込み」と「視線読み込み」をクリックし、問題画像と視線データを読み込み、問題のスクリーンショットを表示させる。表示画面に視線データのヒートマップが表示される。次に、主語、動詞などの問題文の構成要素を選択し、マウスのドラッグ&ドロップでその領域を選択する。その後、「フレームの集計」と「視線移動回数」を押すことで、構成要素ごとの注視フレーム、構成要素の範囲、視線移動の回数が出力される。この注視フレーム数と視線の移動回数から、成績上位群と下位群の視線移動の違いや、マーキングの学習による効果を確認することができる。

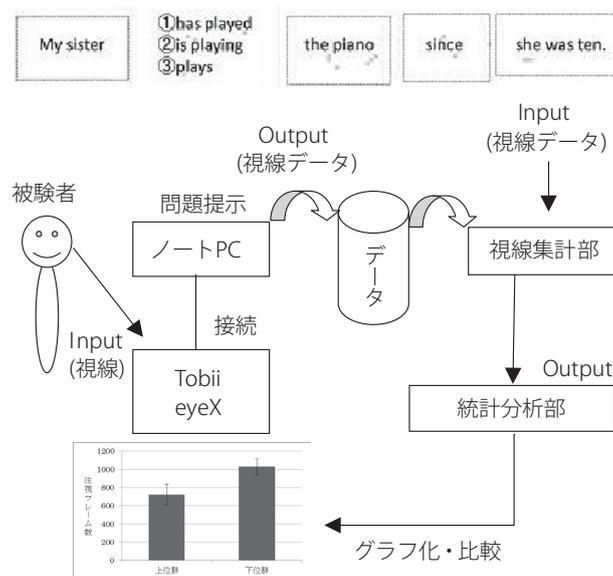


図10：評価システム構成図

2.2.4 実験環境

東大阪市の学習塾の教室内で実験を行った。教室内の一角に周りからの情報が視界に入らないように、四隅を白い壁及びパーティションで囲んだ。問題は、視線計測装置を設置したノートパソコン(13.3インチ、900×1,600)に問題を表示した。操作を行うためのモニター(26インチ)は、被験者の後方に設置した。実験環境の様子を図12に示す。



図12：実験環境の様子

2.2.5 被験者

被験者は、中学3年生お男子10人、女子9人の計19人とした。なお、被験者は全員、裸眼または矯正で正常な視力であった。

2.2.6 実験方法

被験者が着席した後、キャリブレーションを開始した。キャリブレーション終了後、口頭でできるだけ早く解答をすることを意識するよう指示した。問題は1問ずつ表示され、練習問題を1問解いた後に視線計測を開始した。今回はマーキング無しの条件で視線データを収集した。

2.2.7 分析方法

本実験では、上位群と下位群に分けて分析を行った。中学生の学校の定期テストにおける英語の平均点が80点以上の上位5名を上位群、60点以下の5名を下位群とし、注視フレーム数と視線の移動回数を確認した。

3. 結果

3.1 視線計測装置を使用した計測実験

3.1.1 実験結果

実験で行った問題のうち、最初のマーキングなし10問をA、次のマーキングあり10問をB、最後のマーキングなし10問をCとする。また、本実験の正答率の上位3名を上位群、下位3名を下位群とする。図13に示すように、三単現においては上位群ではBの場合に回答に関係のある主語の部分への注視フレーム数が増加し、一方で選択肢を選ぶ動詞部分へのそれが減少する傾向が得られた。また回答に関係ない時間、その他の部分への注視フレーム数も減少した。一方で図14に示すように、下位者についてはそのような傾向はみられなかった。図15に示すように、時制については、上位者では回答に関係

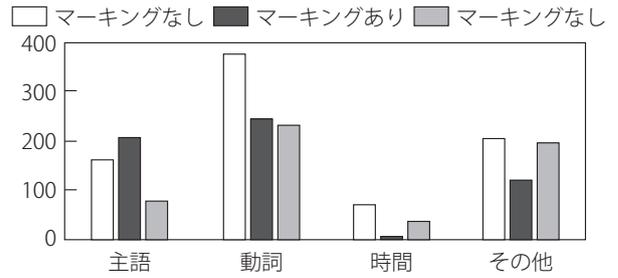


図13：注視フレーム数-上位群(三単現)

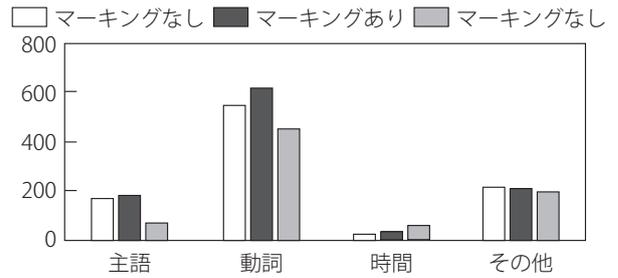


図14：注視フレーム数-下位群(三単現)

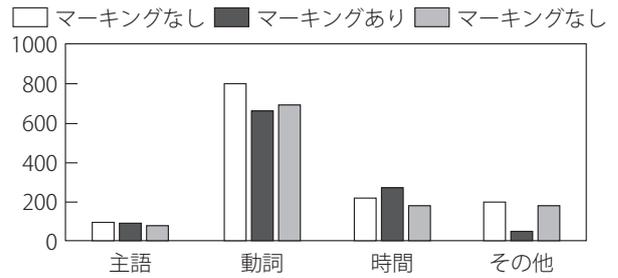


図15：注視フレーム数-上位群(時制)

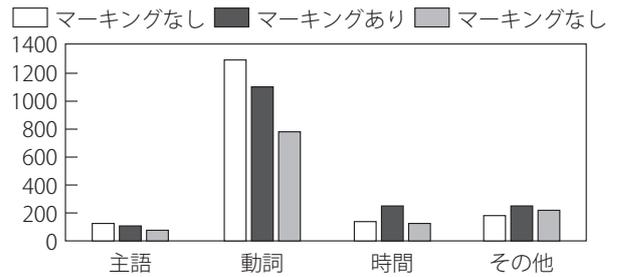


図16：注視フレーム数-下位群(時制)

する時間の注視フレーム数が増加し、他は減少する傾向がみられた。図16に示すように、下位者は回答に関連する時間の注視フレーム数は増加する傾向にあった。一方、選択肢を選ぶ動詞部分は減少する傾向にあった。主語、その他の部分についてはあまり変化がみられなかった。

次に、視線移動回数のA、B、Cの問題について、上位群と下位群の比較を行った。三単現を図17、時制を図18に示す。下位群に比べ、上位群の視線移動回数はそれぞれの問題において少なくなっており、上位群は無駄な視線移動を行わずに素早く選択肢から回答を導いていると考えられる。しかし上

位者3名、下位者3名での比較であるため、統計的な有意差は得られなかった。

3.1.2 考察と課題

図13から図16の結果から、マーキングの存在(Bの場合)は上位者にとっては回答の手掛かりになっている一方、下位者にとってはそうになっていない可能性が示唆された。またBの後にマーキング無しの問題を解いたCのケースでは、上位者、下位者ともAの場合と同様な傾向がみられることから、一度マーキングを意識付けしてもそれだけではその効果は続かない可能性が示唆された。

また、回答の選択肢が表示されている動詞部分の注視フレーム数を確認すると、A,B,Cの全ての場合において、上位群が下位群よりも注視フレーム数が少ない傾向がある。図17、図18における視線移動回数の比較においても、A、B、Cの全ての場合で、上位群が下位群よりも少ない結果となっている。これはマーキング箇所の視線停留時間が増加し、動詞である選択肢の視線停留、及び視線の移動回数が減少したという結果(鈴木他, 2002)と符合する。

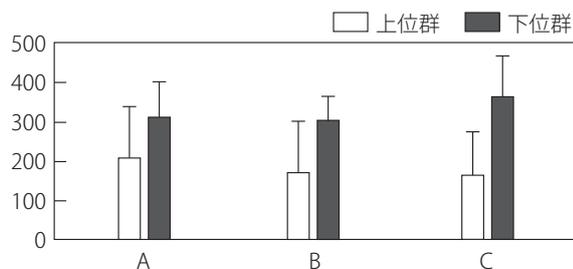


図17：視線移動回数-上位群と下位群の比較(三単現)

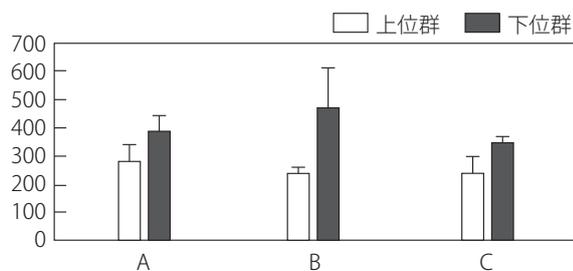


図18：視線移動回数-上位群と下位群の比較(時制)

この傾向が一般的に当てはまることなのか、統計的有意差が得られるのか、より多くの被験者からデータを収集する必要がある。しかしこのために、EMR-9におけるキャリブレーションに時間がかかる、また回答中に顎台で顔を固定されるストレスを与えることの2点を解決することが求められた。

3.2 視線計測装置を用いた評価システムの開発

3.2.1 実験結果

前述の目的で新たに開発した視線集計ソフトで視線の座標を集計し、上位群5名と下位群4名の構成要素ごとの注視フレーム数を集計した結果を図19に示す。また、上位群と下位群の視線移動回数を図20、回答までの時間の比較を図21に

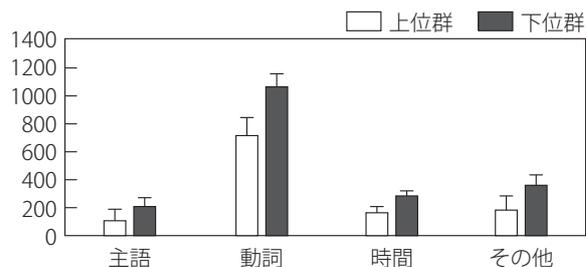


図19：構成要素ごとの注視フレーム数の比較(上位群と下位群)

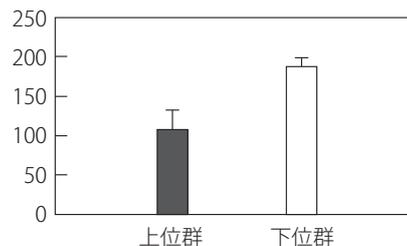


図20：視線移動回数の比較(上位群と下位群)

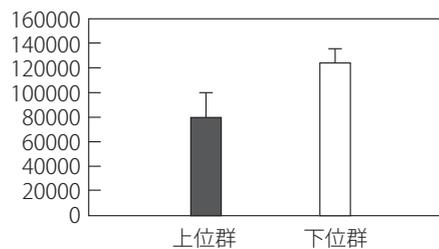


図21：回答時間(フレーム数)の比較(上位群と下位群)

示す。各構成要素の注視フレーム数の上位群と下位群の平均の差をt検定で分析したところ、主語では統計的有意差が認められなかったが、動詞、時間の部分については $p < 0.01$ 、その他の部分については $p < 0.05$ の水準で有意差が確認された。また視線移動回数については、 $p < 0.01$ の水準で平均値に有意差が確認された。回答時間については上位群と下位群の平均の差に $p < 0.01$ の水準で有意差が認められた。

つぎに、正答率と注視フレーム数の関係、正答率と視線の移動回数に関するグラフを図22、図23に示す。注視フレーム数における相関係数は、約-0.715であり、強い負の相関が確認された。また、視線の移動回数の相関係数においても約-0.877の強い負の相関が確認された。

本実験では、視線データを得るためにトビーテクノロジー社の視線計測装置を用い、このために視線データを評価するソフトウェアを開発した。EMR-9を使用した実験と比較して本評価システムでの視線測定は、プロジェクタや頭部固定装置などを準備する必要がなく、容易に日常的に問題回答中の生徒の視線データの傾向を評価することが可能となった。また、キャリブレーションはEMR-9では、10分弱要することもあったが、この評価システムでは3分以内にほぼ終了することができ、短時間で多くの被験者データを得ることが可能になった。

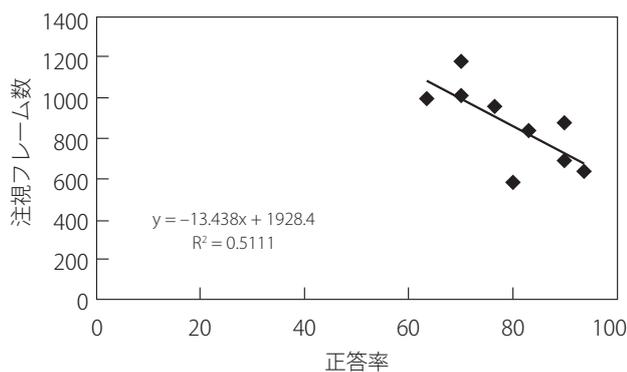


図22：正答率と動詞の注視フレーム数

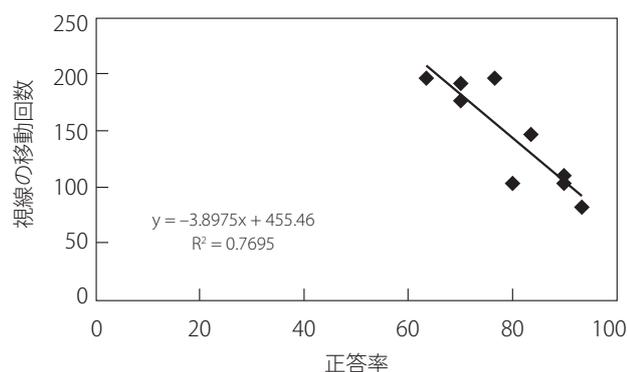


図23：正答率と視線の移動回数

3.2.2 考察と課題

本実験の分析では、成績上位群は下位群と比較して主語を除く構成要素の注視フレーム数と視線の移動回数が有意に少なくなるという結果となった。これは、藤吉他 (2015) による英語習熟度が低いほど解答中に文書や問題をじっくり読んでおり、また答えを探索するため多くの文書を読んでいるという結果と一致するため信頼できる結果であると考えることができる。

一方、EMR-9の使用時と比較して、準備や時間、被験者の負担を大幅に減少させることはできたが、データ処理に一部操作が必要で、生徒自身が自分でそれを操作して視線データの集計結果を確認することは現状、困難である。今後、問題回答、視線計測から結果の提示までの一連の流れを自動化し、生徒が日常の学びの中で自分の視線データの傾向を知り、改善させるツールとして活用できるようにしたいと考えている。

4. 結言

本研究ではまず、マーキングの有無が視線移動に与える影響についてEMR-9を使用して計測した。マーキングの有無が視線移動に与える影響については、成績上位者については問題文のキーワードにマーキングがあれば、それ以外の部分への注視が少なくなり、回答時の視線移動回数も減る傾向が得られた。さらに解答の選択肢である動詞の注視時間が短くなるため、正答を導き出すための時間が減少する傾向がみられ

た。これはマーキングにより意識が自然にキーワードに向くため認知負荷、特に情報探索の負担が軽減されるためではないかと考える。しかし成績下位者はマーキングが上手く活用できていない、すなわちマーキングされたキーワードに必ずしも視線が集中していない可能性も示唆された。さらに一旦マーキングでキーワードへの意識付けを行っても、その効果はすぐに失われることも示唆された。

しかし我々は先行する研究 (Nishimura and Kuwahara, 2015) で、生徒自身が蛍光ペンによるキーワードへのマーキングを繰り返し訓練することで国語による登場人物・場所・時間などのキーワードの記憶力や算数における計算力が向上することを示している。このため我々は、蛍光ペンによるマーキングは単に情報探索の負荷を軽減するだけでなく、日々の訓練によるキーワードへの無意識の意識付けの効果も無視できないと考えている。そこで現在、e-ラーニング用のマーキング訓練コンテンツを作成しており、訓練により得られる学習者の視線データなどの変化を中、長期的に観察している (Nishimura and Kuwahara, 2017)。

このためには日常的な学びの場で使用できる評価システムが必要である。このためトピーテクノロジー社の視線計測装置を用い、得られたデータを評価するシステムを開発した。実験の結果、成績上位群と下位群の視線データの特徴について予想される結果が得られた。また、実験時の準備、キャリブレーションの時間、被験者への負担など、大幅に軽減する事ができた。今後は評価システムを生徒自身が使用できるように、視線計測から結果表示までの自動化を実現し、日常的な学びの場でこのシステムを使用して学力向上の一助になるようにしたいと考えている。

引用文献

- Card, S. K. Mora, T. P., and Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Taylor & Francis.
- 藤好宏樹・吉村和代・Kunze Kai (2015). 英文問題解答時の視点情報を用いた英語能力推定法. 電子情報通信学会技術研究報告, 信学技報, Vol. 115, No. 22, 49-54.
- Kahneman, D. (2014). *Thinking fast and slow*. ハヤカワ・ノンフィクション文庫.
- 西村浩樹・桑原教彰 (2014). 蛍光ペンによるマーキングの有無が及ぼす学習効果に関する一考察. 日本人間工学会中国四国支部大会予稿集.
- Nishimura, H. and Kuwahara, N. (2017). A study on the effect of learning strategy using a highlighter pen on gaze movement. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 8, No. 5, 76-83.
- Nishimura, H. and Kuwahara, N. (2015). A study on learning effects of marking with highlighter pen. *Springer Lecture Note on Computer Science*, Vol. 9184, 357-367.
- 西村浩樹・芝田和正・稲塚有紀・桑原教彰 (2015). 蛍光ペンを用いた情報整理方法による視線動向の変化と学習効果に与える影響. 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, 65-68.
- Nishimura, H., Shibata, K., Inazuka, Y., and Kuwahara, N. (2016).

A study of eye movement analysis for investigating learning efficiency by using a highlighter pen. *Springer Lecture Note on Computer Science*, Vol. 9745, 576-585.

鈴木・木村・堀江・大内 (2002). 蛍光色によるマーキングの効果. 日本人間工学会大会講演集, Vol. 38, 500-501.

(受稿：2017年5月10日 受理：2017年6月5日)