

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：20103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25540060

研究課題名(和文)「寝かせ」が文章推敲に及ぼす効果の眼球運動による測定

研究課題名(英文)Effect of Delay Strategy on Text Revising Measure by Eye Movements

研究代表者

椿本 弥生 (Tsubakimoto, Mio)

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号：40508397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プログラミングの問題文読解とプログラム産出を対象とし、推敲による問題解決プロセスを検証した。実験協力者は、プログラミングの問題文を読解し、解答となるプログラムを生成した。分析に際しては、協力者をプログラミング上級者と初心者に分けた。眼球運動を分析した結果、プログラムの産出においては、上級者のほうが視線移動の距離と時間が長かった。このことから、上級者は初心者よりも一度に見ている語句が多く、ゆっくり読むことで頭の中で組み立てたプログラムを確認しながら書き進めていることが示された。一方初心者では、ひとつひとつの語句に注目し、書けるところからランダムにプログラムを書く方略が示された。

研究成果の概要(英文)：In this research, the author investigated cognitive processes in revision for programming study. Subjects are required reading questions and answer by writing program and labeled as advanced learners or beginners along with summative result of some questionnaire. Consequently, in wiring a program, advanced learner's distande and time of saccade were more longer than begginers. Therefore, advanced learners could recognize more words and check these words one by one by reading program slowly. On the other hand, begginer's distinction as seeking word which they could understand in question and writing program irregular were revealed.

研究分野：教育工学

キーワード：眼球運動 オンライン推敲 文章読解 文章推敲 プログラム産出 上級者 初心者

1. 研究開始当初の背景

近年、我々の脳は目的の作業をしていない状態でも、潜在的な認知活動 (Unconscious thought) が行われていることが明らかにされており (阿部 2010, 中井 2012), 視線計測や脳機能イメージングなどでその活動を可視化する研究が進められている。文章の推敲でも潜在的な認知活動が行われる。書き手は、これ以上推敲できないと判断した際に一時的に書き進めることを中止するという「寝かせ」を行う。寝かせに関して Anderson (1980) は、創造的問題解決過程の一部である孵化 (Incubation) と寝かせとの類似性に言及している。創造的問題解決とは、試行錯誤 (失敗を繰り返す)、孵化 (一時的に直接の解決方法についての考察を休止し、問題そのものを温める)、ひらめき (突発的に解法を得る)、検証 (解法の適用)、の 4 段階を経る過程である (Ohlsson 1992)。試行錯誤からひらめきの段階に至る過程の解明は進んでいる一方、孵化 (寝かせ) が問題解決に及ぼす役割やメカニズムは明らかになっていない。

創造的問題解決である文章推敲過程における孵化、つまり寝かせにおいて、学習者の推敲中の認知過程で何が生じているのか、寝かせによって推敲や文章の何がどのように変化するのか、その変化に推敲熟達者と初心者で差はあるのか、を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、文章およびプログラム産出中に随時出現するオンライン推敲における認知過程に注目する。推敲する対象への眼球運動と、推敲による対象の変化との関係を考察する。

研究代表者の所属大学の学生 (調査協力者) は、理系であり Processing 言語を全員必修で学習するため、主にプログラミングにおける推敲活動を検証することで推敲活動そのものに対する妥当性の高いデータ収集が可能であると考えた。

3. 研究の方法

本研究では、予備実験と本実験を実施する。予備実験では、文章推敲方略質問紙を実施し、項目得点で高群に属する実験協力者に対して文章推敲中の眼球運動を測定する。その結果より、推敲に特徴的と思われる眼球運動を見出し、仮説生成を行う。本実験では、代表者の所属大学における実験協力者の専門分野の背景から、プログラミングの問題における問題文の読解および、プログラム産出過程における推敲の特徴を分析する。

4. 研究成果

(1) 予備実験

目的: 推敲方略質問紙の得点高群の被験者を対象に、推敲中の視線データを取得する。そのデータから、文章の推敲に特徴的と思われる眼球運動を検討する。

方法: 協力者は、事前に実施した文章推敲方略質問紙の得点高群から選出した。視線データの収集と分析には、トビー・テクノロジー社の Tobii T60 アイトラッカーおよび、データ処理ソフトウェア Tobii Studio Professional を用いた。実験文章は向後 (2004) を用いた。実験に際しては、推敲の必要性を増加させるために、原文の段落をランダムに入れ替えた文章を提示した (表 1)。

表 1 実験文章 (段落の入れ替え済み)

世論調査で、書く力、読む力、話す力が低下していると感じられているのだから、それに対処した教育政策をとる必要がある。

書く力、読む力、話す力が低下していると感じられているというデータは、実際に書く力、読む力、話す力が低下していることを示すものではない。そのためには、全国的に、書く力、読む力、話す力の試験をして、データをとるべきだろう。

文化庁が実施した、国語の能力に関する世論調査によると、書く力が低下していると答えた人が 88% であった。読む力は 68%、話す力は 59% であった。

書く力、読む力、話す力の低下の原因は、すべてが学校教育にあるわけではないとしても、まず学校教育で対策がとられるべきである。

もし国語の能力が低下していることが事実であるとしても、理数系の能力はもっと低下しており、その方が緊急な課題であるかもしれない。しかし、学校における学習時間は限定されている。

理数系の能力が落ちていないことを条件にして、国語の学習に力を入れるべきだろう。

文部科学省は、全国の小中高約 200 校をモデル校に指定して、国語の能力を向上させる授業を開始したい。

説得文をアイトラッカー上に表示する前の教示は、「次に表示するのは、新聞が文部科学省の方針を伝えた文章です。論理的なつながりがよくなるように書き直すとしたら、どのように書き直しますか。文章を実際に修正してください」であった。視線の記録には、Tobii Studio Professional の Screen Recording 機能を用いた。この機能を使うことで、画面に表示している全ての文章の読み書きに関する視線を取得できる。

手続き: 実験文章の修正にあたっては、表示される文章はあらかじめ段落が入れ替わっていることと、文末表現の変更や接続詞の削除により段落間の接続が悪くなっていることをあらかじめ協力者に伝えた。その後、アイトラッカーの初期設定 (キャリブレーション) を実施し、実験を開始した。時間制限は設けなかった。実験後は、視線移動を記録した画面を協力者と実験者の双方で参照しながら、

今回の推敲活動に対する半構造化インタビューを実施した。

結果と考察：画面上で実験文章を全て読むためには多少のスクロールが必要であり、そのうえで段落の入れ替え等を行わなくてはならなかった。画面の一覧性が低かったことが推敲に必要な読解作業を妨げ、説得文のファイルを開いてから数分は、読解も推敲も効率的に進まなかった。そのうち実験者は協力者から、推敲に紙とペンを使うことの許可を求められた。紙とペンを用いている時間帯は視線データを取得できないことから、本来は紙とペンの利用は想定していなかった。しかし、今回は予備実験であり、実験の改善点を考察するデータを収集するために使用を許可した。紙とペンを使用している様子と実際のメモを図1に示す。メモからは、文章の段落に番号をふり、番号の横に段落の内容を要約しているなど、協力者が自分なりの方略を用いて推敲を進めていることが確認できる。

紙とペンをPCでの推敲の補助道具として用いることは、特に今回のように文章の一覧性が低い状況下での推敲では自然にとられる方法の一つであろう。この実験の協力者のように、文章の推敲経験が豊富であるほど、このような方法の知識や、それを用いた成功経験を持っている可能性がある。もしそうであれば、推敲方略質問紙高群の被験者であればあるほど、画面外での推敲活動が推敲の成功の鍵を握るのかもしれない。しかしながら、画面外の推敲活動については視線データを取得できない。

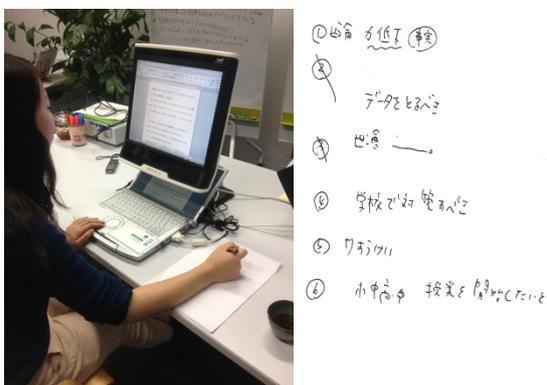


図1 外部装置（紙とペン）の補助を受けながら推敲する様子（左）と実際のメモ（右）

特徴的な眼球運動としては、段落変更後の確認の際の視線の動きがあげられた。推敲の後半で段落間の論理の流れを確認する場合は、1文ずつ読むことはせず、段落の頭だけを見ていくという、縦方向の視線の動きが見られた（図2）。段落の入れ替えは、Faigley and Witte (1981) の分類では文章の深層レベルに関する推敲である。このような推敲時には、修正候補箇所を縦断的に視線が移動する可能性が示唆された。

説得文の段落の頭は、接続詞を付与することで、論理の流れをよりスムーズにできる箇

所である。しかしながら、今回の実験では、協力者は段落の頭の確認のみにとどまり、接続詞は付与しなかった。実験後の半構造化インタビューにて、付与しなかった理由を尋ねた。その結果、「付与しなくても意味は通じると判断したので、かえって煩雑になると思い付与しなかった」と述べた。今回用いた説得文は、475文字と比較的短い新聞記事であった。新聞記事は、多くの接続詞を用いずとも意味が通じやすく書かれる傾向がある。したがって今後、オンライン推敲をより効率的に検出するために、接続詞の付与に関する眼球運動を測定する場合は、①単純に、文章を長くする、②複雑な構造を持つ文章や、被験者にとって新規性の高い内容を含む文章を採用する、などの改善が必要だと推察された。

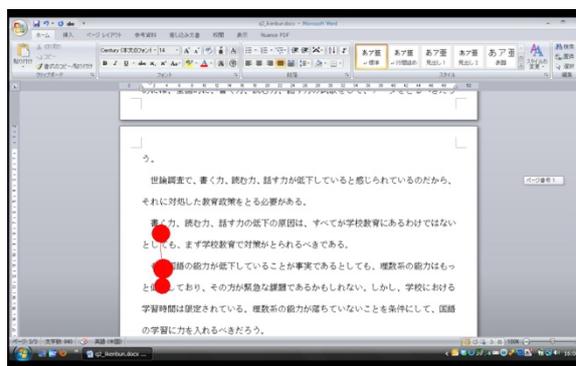


図2 段落の流れを確認する縦方向の視線

（2）本実験

目的：プログラミングの問題解決プロセスのうち、問題文理解プロセスとプログラム生成プロセスの眼球運動データを測定する。それにより、プログラミング上級者と初心者の問題解決プロセスの差を検証する。

方法：視線データの収集と分析には、トビー・テクノロジー社の Tobii TX300 アイトラッカーおよび、データ処理ソフトウェア Tobii Studio Professional を用いた。実験に用いたプログラミング問題は Processing 言語の初学者レベルの問題を2問作成した。1問は練習用、もう1問は本番用である。問題文の平均文字数は111文字であり、両方とも10～15行程度のプログラムで書ける難易度の問題とした。Processing 言語は記述が他の言語と比較して直感的であり、プログラミング初学者が学ぶのに適した言語であると言われている。

実験素材のプログラミング問題は、高久ら (2010) による Web 利用者の情報探索行動の眼球運動データからの解析を参考に、事前に意味エリアを設定した（図3）。それを用いた実験画面を図4に示す。実験では、画面を左右に二分割した。協力者から向かって左側に問題文を提示し、右側にプログラム産出用のエディタを表示した。

協力者のプログラミングへの取り組み方を調査するために、質問紙を作成した。全33項

目であり、(1) 普段のプログラミングについて、(2) プログラミング信念、(3) プログラミングの学習方略、(4) プログラミングの問題への取り組み方、(5) 新聞や書籍といった一般の文章への取り組み方とした。

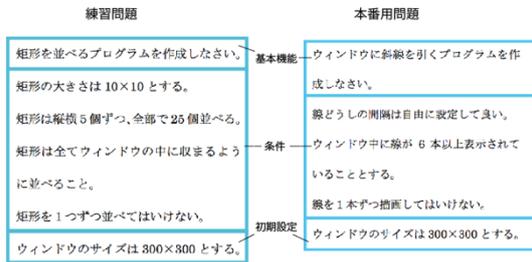


図3 プログラミング問題文と意味エリア分け

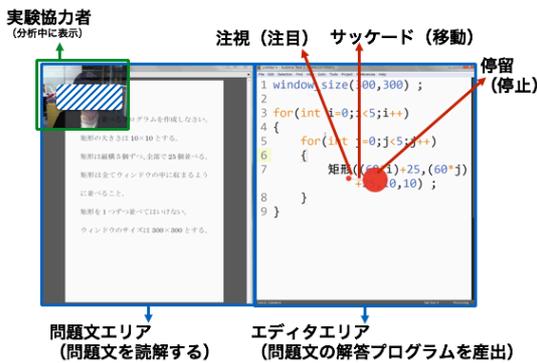


図4 実験の画面

手続き：実験の手順は以下のとおりであった。

- (1) 研究目的、実験手順、注意点の説明
- (2) 問題2間の実施 (Webや書籍などのリファレンスやノートの使用不可)

- ・練習問題：何度でも練習可能、制限時間なし
- ・本番問題：制限時間なし

なお、実験中の質問は可とした。ただし、問題の解法などに関する質問は不可とした。

- (3) プログラミングの学習経験や好悪に関する質問紙の実施

- (4) 質問紙の回答と視線の実験映像を振り返りながら、半構造化インタビューを実施

インタビューにおける主な質問項目は、問題の内容をいつ把握しているか、プログラミング言語によって取り組み方に違いがあるか、プログラムを書く際に決まった手順はあるかであった。なお、本報告では、紙幅の都合上、インタビュー結果の記述は割愛する。

結果と考察：質問紙の結果から、協力者をプログラミング上級者と初心者に群分けした。分析には、眼球運動データのうち、①問題文理解プロセスとプログラム生成プロセスでの注視の時間と位置、②停留の時間と位置、③サッケードの時間と移動距離、を利用した。なお、停留は、注視のうち200ms以上のものと定義した。

上級者と初心者について、(1) エディタエリア、(2) 問題文エリア、(3) 問題文エリア内の各ブロック、(4) エリア間の移動距離、(5) 問題文エリアとエディタエリアについて眼球運

動データを比較した。比較に用いた特徴量を表1に示す。

表1 比較に用いた特徴量

観点	項目
(1)エディタエリア (2)問題文エリア (5)問題文エリアとエディタエリア	・注視時間
	・注視位置(X,Y)
	・サッケード距離
	・停留時間
	・停留位置(X,Y)
(3)問題文エリア内の各ブロック	・サッケード時間
	・注視時間
	・サッケード距離
(4)エリア間の移動距離	・サッケード時間
	・エリア間の距離

各観点について、上級者と初心者における各項目を比較した。比較にはU検定を用いた。上級者と初心者で有意差がみられた項目を、観点別に表2にまとめて示す。

表2 観点と項目の比較結果のまとめ

	全項目数	上級者>初心者	上級者<初心者
エディタ	8	注視位置X**停留位置X** サッケード時間**、距離**	注視時間** 注視位置Y**停留位置Y**
問題文	8	注視位置XY**停留位置X** サッケード時間**	停留位置Y+
初期設定	3	サッケード距離*	—
条件	3	サッケード距離+	サッケード時間*
エリア間	1	—	移動距離**

エディタエリア上級者は初心者より注視位置と停留時間のX座標の値が大きく、サッケードの距離と時間が長いことがわかった。注視位置や停留位置の座標値が大きいということは、X座標であれば画面の右側、Y座標であれば下側まで見る傾向があると言える。また本研究において、停留は注視の中でも注視時間が長いものを示す。そのため、停留では、画面上の対象を注目しながら考え事をしていると言える。上級者はプログラムを既に頭の中で組み立てて書いているため、エディタに注目する時間が短い。また、注視や停留のX座標が大きいことから左から右へと書き進めている。サッケードの距離と時間が長いことから、一度に見ている語句が多く、ゆっくり読むことで頭の中で組み立てたプログラムを確認しながら書き進めていると考えられる。

一方、初心者は上級者より、注視時間が長く、注視位置と停留位置のY座標の値が大きいことがわかった。初心者は、注視時間が長く、サッケード距離が短いため、ひとつひとつの語句に注目し、考えながらプログラムを生成している。注視位置と停留位置のY座標が大きいことから、書けるところを少しずつ書いているために左から右に移動する動きより、書けるところからプログラムを書いては改行するような動きが活発であると考えられる。

問題文エリア上級者は初心者より注視位置のX座標、Y座標、停留位置のX座標の値が大き

く、サッケード時間が長いということがわかった。上級者は注視位置の値が大きいため、問題文を左右にも上下にも読んでいくことがわかる。また、サッケードの時間が長いことから、問題文をゆっくり読み、重要な情報を探していると考えられる。

一方、初心者は上級者より停留位置の Y 座標の値が大きい傾向にあるということがわかった。初心者は停留位置の Y 座標が大きい傾向にあるため、問題文の一文一文を読んでいくというよりは、問題文の中でわかりそうな語句だけ注目し、それらをかいつまんで読んでいくと考えられる。今回、注視時間、サッケード距離、停留時間について有意差は認められなかったことから、問題文を注目する時間や注目しているときに考える時間は熟達度に影響されないと考えられる。

また、問題文内の各ブロックに着目すると、以下のような結果となった。初期設定では、上級者の方が初心者よりサッケード距離が長く、条件でもサッケード距離は長い傾向にある。条件ではサッケード時間が初心者の方が上級者より長い。上級者は初期設定と条件で、一つ一つの語句を把握するのではなく、意味や関連を考えながら読んでいたためサッケードが長いと考えられる。一方、初心者は具体的な内容が書かれている条件はゆっくりと読む傾向にあることがわかる。初心者は全体的内容よりも自分がプログラムで書けるかどうか意識が向き、ゆっくり読むため、サッケード時間が長くなったと考えられる。

また、いずれの項目も基本機能では有意差が認められなかった。これは基本機能の位置づけが、今回求められているプログラミングの概要であり、何度も見返したり、集中してみたりする必要がないと判断した実験協力者が多かったためだと考えられる。

エディタと問題文のエリア間 エリア間の移動距離を上級者と初心者で比較した。その結果、初心者の方が上級者よりエリア間の移動距離が長いという結果が得られた。

実験協力者はエディタにプログラムを書き加えながら、問題文を読んで、プログラムを書き、必要に応じてエリアの行き来を繰り返す。その際、上級者は、プログラムを書き始めている時には既にどの順番でプログラムを生成するかという手順があり、問題文の参照が効率的に行われているため、問題文への移動距離が短くなると考えられる。一方、初心者はその場でわからないところがあれば、逐次問題文を参照するため、プログラムでは初期設定を書いているにもかかわらず、問題文は基本機能を参照するなどして移動距離が長くなると考えられる。高久ら(2010)でも同様に、熟達度が高い協力者の方が効率的な情報収集が行えていることが示唆された。

群ごとの問題文エリアとエディタエリアの比較 上級者では、問題文の方がエディタよりも注視位置と停留位置の Y 座標の値が大きく、エディタの方が問題文よりも注視位置と停留

位置の X 座標の値が大きいという結果が得られた。問題文は縦方向の注視の移動が活発で、エディタは横方向の注視の移動が活発であるということがわかった(表3)。

表3 エディタと問題文での移動の比較

	項目数	問題文>エディタ	問題文<エディタ
上級者	8	注視位置(Y)** 停留位置(Y)**	注視位置(X)** 停留位置(X)**
初心者	8	注視位置(Y)** 停留位置(Y)**	注視位置(X)** 停留位置(X)**

サッケード距離**、時間** 注視時間**停留時間**

本研究では、問題文を読んでプログラムを産出する際の眼球運動の差を上級者と初心者で比較した。問題文では、ブロックごとに上級者と初心者で読み方が異なることが示された。エディタでは、注視位置やサッケードなどの指標から、プログラム産出時の認知過程が推察された。特に、停留とサッケード距離が産出時の推敲の様相を反映していると思われる。今後は、プログラム産出時のこれらの指標の様相と文章産出時の様相との比較を行う必要がある。また、今回計測したオンライン推敲と、より長時間の寝かせであるオフライン推敲とを比較し、推敲後の対象(プログラムや文章)の変化の質を検討したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①竹川佳成, 平田圭司, 田柳恵美子, 椿本弥生(2017) 鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムを用いた熟達過程の評価分析. 情報処理学会論文誌, 58(5), 1093-1100 [査読あり]

〔学会発表〕(計5件)

①椿本弥生, 富永敦子(2016) 文章産出困難感尺度の因果関係の検討—大学初年次の文章産出の訓練は因果関係を変化させるか—. 日本教育心理学会第58会総会発表論文集, 345 (2016年10月8日 サンポートホール高松・かがわ国際会議場(香川県高松市))

②Takegawa, Y., Hirata, K., Tayanagi, E. and Tsubakimoto, M. (2015) Analysis of a Chunk-Based Learning Process in a Piano Learning Support System. In S. Carliner, C. Fulford & N. Ostashevski (Eds.), Proceedings of EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology 2015 (pp. 1577-1585). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). (2015年6月22日 Montreal, Canada)

③光田航, 飯田龍, 徳永健伸(2014) 単一述語項関係アノテーション課題における視線情報の収集と分析. 情報処理学会自然言語処理研究会, SIGNL-217-02, 1-9 (2014年7月3日 オホーツク・文化交流センター(北海道網走))

市)

④ Iida, R. and Tokunaga, T (2014) Building a Corpus of Manually Revised Texts from Discourse Perspective. In Proceedings of the 9th Conference on Language Resources and Evaluation, 936-941 (2014年5月28日 Reykjarik, Iceland)

⑤ Takegawa, Y., Tayanagi, E., Tsubakimoto, M., and Hirata, K. (2013) Evaluation of a Piano Learning Support System Focusing on the Learning Process. Proceedings of World Conference on Educational Media and Technology, 2306-2314 (2013年6月24日 Victoria, Canada)

[図書] (計2件)

① 犬塚美輪, 椿本弥生 (2014) 論理的読み書きの理論と実践－知識基盤社会を生きる力の育成に向けて－. 北大路書房 (全176頁)

② 望月俊男, 山下清美(監), 富永敦子(編著), 椿本弥生, 他(著) (2016) 大学生のための文章表現ワークブック－読み手・書き手と対話する. 専大書房 (全139頁)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

椿本 弥生 (TSUBAKIMOTO, Mio)
公立ほこだて未来大学・システム情報科学部・准教授
研究者番号：40508397

(2) 研究分担者

徳永 健伸 (TOKUNAGA, Takenobu)
東京工業大学・情報理工学系研究科・教授
研究者番号：20197875

飯田 龍 (IIDA, Ryu)
情報通信研究機構・情報分析研究室・主任
研究員
40464276