

文字表示に同期した音の提示が読書体験に与える影響

西川尚志¹ 橋本直¹

概要：日常生活の中には行為に付随して音が発生するものがあり、そのような音の聴覚フィードバックが行為のパフォーマンス向上につながることを示唆されている。我々は本来音の発生しない行為であっても、その行為と連動した音を提示することで同様の効果が得られるのではないかと考えた。そこで本研究では読書に着目し、文字表示に同期した効果音を提示することで文章の理解度や物語への没入感にどのような影響があるかを調査した。本稿では実験のために開発した電子書籍リーダーについて説明し、提示方法として、文字数に基づいた効果音提示、音韻数に基づいた効果音提示、無音の3条件を比較した結果について報告する。

キーワード：読書支援、文章理解、音提示

1. はじめに

日常生活では、足音や筆記音のように自身の行為に音が付随して発生することがある。そのような音を、行為を行っている人間に対して聴覚フィードバックすることで、作業や運動のパフォーマンスが向上することが報告されている[1][2]。我々は、本来音の発生しない行為であっても、その行為と連動した音を提示することで同様の効果が得られるのではないかと考えた。

本研究では読書を対象に検証を行うこととした。読書では文字を目で追っている最中に物理的に音が発生することはないが、読者が文字を視認するタイミングで同時に効果音を提示すれば、読書という行為に付随して音が発生している状況を作れると考えた。そこで、ゲームにおけるメッセージ表示のように文章を一文字ずつ逐次表示しながら効果音を提示する方法により、文字の視認タイミングに同期した効果音の提示を疑似的に実現する。

本研究では文章を1文字ずつ表示しながら効果音（正弦波による短音）を提示する電子書籍リーダーを実装し、実験を行った。今回の実験では、効果音の提示条件を、文字数に基づいた効果音、音韻数に基づいた効果音、無音の3条件に設定し、文章の内容に対する理解度と読書への没入感を評価した。

2. 関連研究

2.1 行為に伴う音の聴覚フィードバックの効果

日常生活の行為に伴って発生した音を聴覚フィードバックすることで作業のパフォーマンスが向上する事例が報告されている。Kimらは筆記作業において、自身の筆記音を聞かせることで単位時間における作業量が増加することを示している[1]。また、高井らはアーチェリーにおいて自身の心拍音を聞かせることで高いパフォーマンスが得られることを示している[2]。自身の発した音を聴覚フィードバックすることが、認知に影響を与えることも明らかになっている。Tajadura-Jiménezらは特定の周波数帯を強調した足

音をフィードバックすることで、踵が地面に設置している時間や歩行に対する印象へ影響があると報告している[3]。小泉らは食べる際の音を拡張して提示することで食感を変化させることが可能であると報告している[4]。

2.2 読書中の音提示

Kallinenは騒音環境下の読書において、BGMのテンポがもたらす影響を調査し、テンポが速いときに読書効率（単位時間あたりに読んだ単語数×理解度）が向上することを示している[5]。読者が読んでいる文章に即したBGMや効果音（動物の鳴き声や雨音など）を提示することで読書体験の没入感を高めるインタフェースが研究されている[6]。Sanchezらの研究[7]では、効果音のみ、振動のみ、効果音と振動の両方、提示なしの4条件を比較し、効果音、振動のどちらか一方を提示した場合、物語への没入感が高まることを明らかにしている。草野らは読者が読んでいる文章に合わせてBGMを切り替える電子書籍閲覧アプリを提案し、実験の結果、普段読書をしない人から高い評価が得られたと報告している[8]。なお、文献[6][7]では視線情報を解析することで読者の読んでいる文章を取得している。また、文献[8]では1文字ずつ文字を表示し、表示している文章に合わせてBGMを切り替えている。

このように、読書中にBGMや本の内容に関係のある効果音を提示することの効果については検証がなされているが、単純な短音を提示することの読書への影響については明らかになっていない。本研究では、文字列の表示に同期して正弦波による短音の提示を行い、その効果について検証する。

3. 実験システム

実験のための電子書籍リーダーをProcessing3.3.6で開発した。今回は比較のために2種類の効果音の提示方法を実装した。文字の表示および効果音の提示の仕様について説明する。

¹ 明治大学
Meiji University

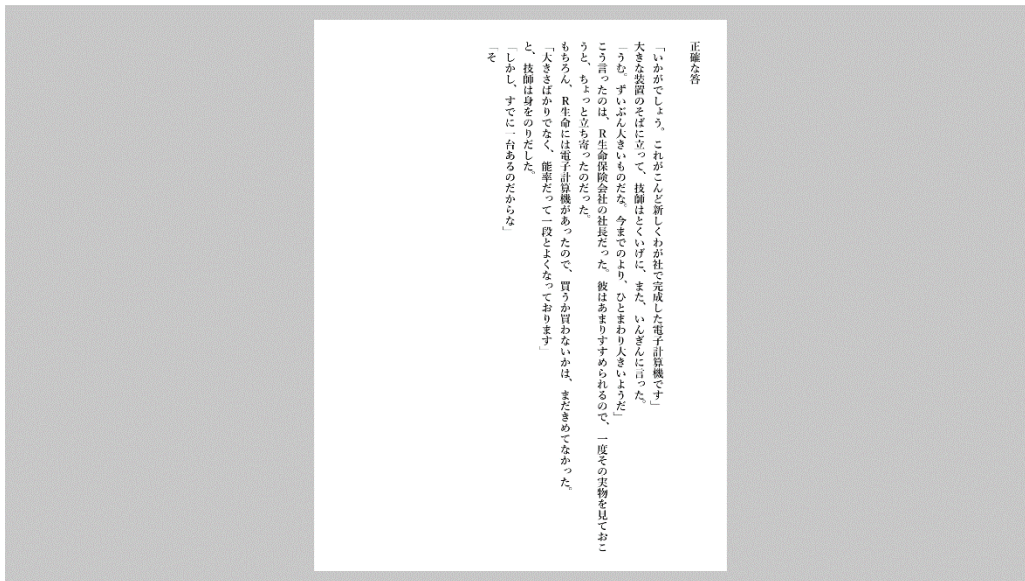


図 3.1 動作画面

3.1 文字の表示

本システムでは縦書きの文章を1文字ずつ順番に表示する。文字の表示間隔は後述する効果音の提示時間と同一とした。実際の動作画面を図 3.1 に示す。画面構成は電子書籍リーダーの Kindle[a]を参考にした。表示する文字は1ページにつき 17 行×46 文字となるように設定した。フォントは 18 ポイントの游明朝 Demibold を行間 1.5 文字として設定した。

3.2 効果音の提示

読書という行為について「文字を見る」と「頭の中で音声として聞く」という2つの捉え方ができる。これを考慮し、文字単位での効果音の提示と、音韻単位での効果音の提示の2種類を実装した。例えば「山」の場合、文字単位では1文字であるから1回効果音を提示し、音韻単位では「ヤマ」であるから2回効果音を提示する。

3.2.1 文字単位での提示

この方法では、画面に1文字表示するごとに効果音を提示する。効果音には周波数 440Hz の正弦波を使用した。1文字あたりの提示時間は 100ms とし、音量をフェードアウトするように設定した。効果音の提示時間は1秒間に読み取れる文字数が 7.7~11.5 文字であるという清原らの主張[9]を参考にした。本システムでは文章が比較的平易な文章であることを考慮し、1秒間に読み取れる文字を 10 文字として算出した。

表示される文字列と音量の関係の一例を図 3.2 に示す。拗音の小文字や促音は1文字として扱い、効果音を提示する。長音符、読点、記号については、100ms 間無音とした。句点は文末を表わすため、記号や読点と区別する目的で、200ms 間無音とした。

3.2.2 音韻単位での提示

この方法では、1文字に含まれる音韻と同じ数の効果音を提示する。効果音には周波数 440Hz の正弦波を使用した。1文字あたりの提示時間は 145ms とし、音量をフェードアウトするように設定した。効果音の提示時間は人間の平均音韻長が 145ms であるとする河野の主張[10]を参考にした。

表示される文字列と音量の関係の一例を図 3.3 に示す。拗音は小文字と合わせて1文字として扱い、小文字と同時に表示し効果音を提示した。促音は 72ms 間無音とした。長音符は2拍分である 290ms 間提示した。読点、記号については、145ms 間無音とした。句点は文末を表わすため、記号や読点と区別する目的で、200ms 間無音とした。

4. 実験

文字の表示と同期した効果音の有無やその提示方法が、読書における文章の理解度や没入感にどのような影響を与えるかを調査した。

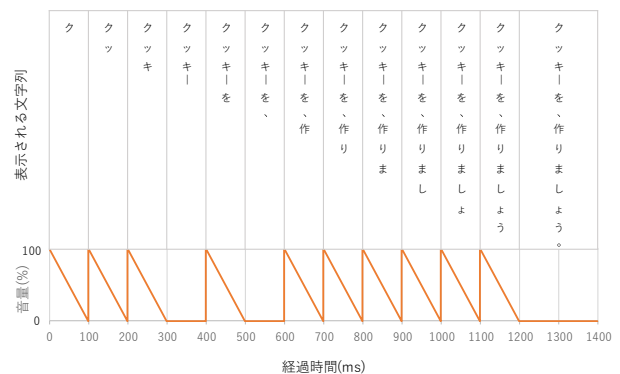


図 3.2 文字単位で提示した際の文字列と音量の関係

a) "Kindle". <https://www.amazon.co.jp/kindle-dbs/fd/kcp> (参照 2020-02-21)

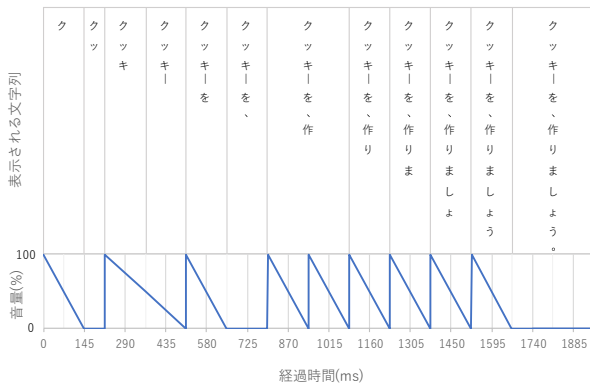


図 3.3 音韻単位で提示した際の文字列と音量の関係

4.1 実験環境

本実験は、大学の研究室で静かな状況（45～60dB）で行った。開発した電子書籍リーダーを表示する環境として PC（NEC LAVIE Hybrid ZERO, 13.3 インチ型, 2560 ドット×1440 ドット）を使用した。効果音の提示にはヘッドフォン（mpow 社製 MPBH059AB）を使用した。実験中、参加者は椅子に着席し、机の上に置かれた PC で読書を行った。実験者は説明と進行の確認のために参加者の付近に待機した。

4.2 実験条件

晴眼者 10 名（20～24 歳、男性 8 名、女性 2 名）を対象に実験を行った。参加者は全員コンピュータを日常的に使用している大学生である。

(1) 使用した文章

実験で用いる文章として日本語の短編小説を 3 編選出した。それぞれについて、文章中の漢字をひらがなに変換し、表示される文字ごとにカンマで区切ったテキストファイルを作成した。

使用する文章は、『宝の地図』[b]（2810 文字）、『上品な応対』[c]（2911 文字）、『屋上での出来事』[d]（2690 文字）の 3 作品である。選出する際、以下の 3 点を考慮した。

- ・ 作者による影響を考慮し、同じ作者の作品であること
- ・ 内容が平易であること
- ・ 文章量に極端な差がないこと（2500～3000 字）

なお、実験後にそれぞれの作品を読んだ経験の有無を聞いたところ、実験以前にこれらの作品を読んだ経験のある参加者はいなかった。

4.3 実験手順

試行開始前の準備として、参加者にヘッドフォンを着用させ、例文を閲読するように指示した。この際、参加者には効果音の音量が適切に聞こえるように調節させた。試行では、PC の画面に表示される文章を閲読し、その後、内容の理解度を測る課題と体験に関するアンケートに回答する

表 4.1 選出した質問と改変した質問の対応

番号	IEQにおける質問項目	使用した質問項目
Q1	ゲームはどれくらい注意を維持させましたか	注意深く読むことができたと感じますか
Q2	どれくらい集中しましたか	集中して読むことができたと感じますか
Q3	どのくらいの時間が過ぎたと感じますか	どのくらいの時間が過ぎたと感じますか
Q4	ゲーム中にどれくらい現実を意識していましたか	読書中にどれくらい現実を意識していましたか
Q5	日々の心配事をどの程度忘れていましたか	日々の悩みをどの程度忘れていましたか
Q6	周囲で起きていることをどれくらい意識しましたか	周囲で起きていることをどれくらい意識しましたか
Q7	どのくらいゲームに難しさを感じましたか	内容の理解に難しさを感じましたか
Q8	どのくらいゲームを楽しんだと言えますか	内容を楽しむことができましたか
Q9	もう一度プレイしたいと思いますか	もう一度読みたいと思いますか
Q10	どのくらい没頭しましたか	どのくらい没頭しましたか

表 4.2 IEQ に基づいた分析項目と質問の対応

項目	質問番号
Immersive	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (4, 6は反転)
Cognitive Involvement	1, 2, 7, 8
Real World Dissociation	4, 5, 6 (4, 6は反転)
Emotional Involvement	4, 5, 8, 9

よう参加者に指示した。これを条件を変え、3 回繰り返した。なお、課題とアンケートの回答時間には制限を設けなかった。最後に、参加者に対して口頭で実験全体に関するインタビューを行った。

4.4 課題とアンケート

内容の理解度を測る課題として、本文中に存在する文章を選択肢から選ぶ方式の問題を 10 問出題した。また、体験に関するアンケートは Jennett らの Immersive Experience Questionnaire (IEQ) を参考に制作した[11][12]。IEQ はゲームのプレイにおける没入感を主観的に評価するアンケート項目であり、Cognitive Involvement（認知関与）、Real World Dissociation（現実との乖離）、Emotional Involvement（感情移入）、Control（操作性）、Challenge（やりがい）の 5 つの項目からなる 31 種類の質問で構成される。この回答の総計が Immersive のスコアとなり、5 つのそれぞれの項目についてもスコアが算出可能である。IEQ では、これらに直接没入感を問う質問を加えた 32 種類の質問を行っている。本実験では、読書における没入感を評価するため、この 32 種類の中から 10 問を選出し、回答可能な形に改変して使用した。選出した質問と改変した質問の対応を表 4.1 に示す。回答には 7 段階のリッカート尺度（1: そう思わない～7: そう思う）を用いた。IEQ の分析方法にもとづいて、Immersive（没入感）、Cognitive Involvement（認知関与）、Real World Dissociation（現実との乖離）、Emotional Involvement（感情移入）の 4 つの項目で評価を行った。表 4.2 にこれらの項目と質問の対応表を示す。なお、Immersive と Real World Dissociation の項目では Q4, Q6 はスコアを反転した

b) 星新一. つぎはぎプラネット. 新潮文庫, 2013, pp.219-225.
c) 星新一. つぎはぎプラネット. 新潮文庫, 2013, pp.322-328.
d) 星新一. つぎはぎプラネット. 新潮文庫, 2013, pp.337-343.

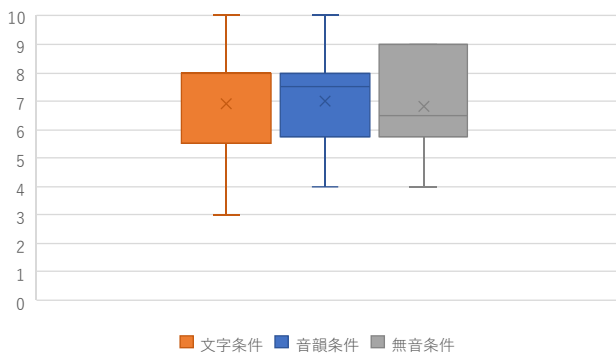


図 4.1 内容の理解度を測る課題のスコア分布

ものを用いた。

4.5 結果と考察

(1) 効果音の有無が文章の理解度に与える影響

内容の理解度を測る課題のスコア分布を図 4.2 に示す。文字条件の正解率は 69.0%，音韻条件の正解率は 70.0%，無音条件の正解率は 68.0%であった。条件間の理解度の差を調査するため、一要因参加者内分散分析を行った結果、有意な差は見られなかった ($F(2,18)=0.05, ns$)。このことから、効果音の有無は文章の理解度への影響がないことが示唆された。

(2) 効果音の有無が読書体験へに与える影響

体験に関するアンケートの回答結果を図 4.3 に示す。条件の違いによる体験への影響を調査するため、それぞれの質問について一要因分散分析を行った結果、体感時間を問う質問 (Q3) でのみ有意な差がみられた。Holm 法を用いた多重比較を行ったところ、音韻条件と文字条件の間、音韻条件と無音条件に間に有意な差がみられ、いずれも音韻条件のほうが大きな値を示した ($p<.05$)。これは、音韻条件が音韻を基準に効果音を提示するため、他の条件に比べ閲読時間が長いことが原因であると考えられる。このことから、効果音の有無は読書体験へ影響を及ぼさない可能性ことが示唆された。

体験に関するアンケートの IEQ に基づく分析結果を図 4.4 に示す。条件の違いによる体験への影響を調査するため、それぞれの項目について一要因分散分析を行った結果、すべての項目で有意差は見られなかった。以上の結果から、没入感に関しても効果音の有無は影響しないことが示唆された。今回の評価項目の中で Real World Dissociation の項目のみ、すべての条件で平均値が負値であった。Real World Dissociation のスコアは最小値-13，最大値 5，中央値-4 の値をとり、スコアが大きいほど現実と乖離が大きいことを示している。

今回の平均値は文字条件：-3.1，音韻条件：-2.6，無音条件：-3.8 であり、中央値に近い値をとっている。このため現実との乖離が一樣に大きいこと、または小さいことを示唆する結果ではない。

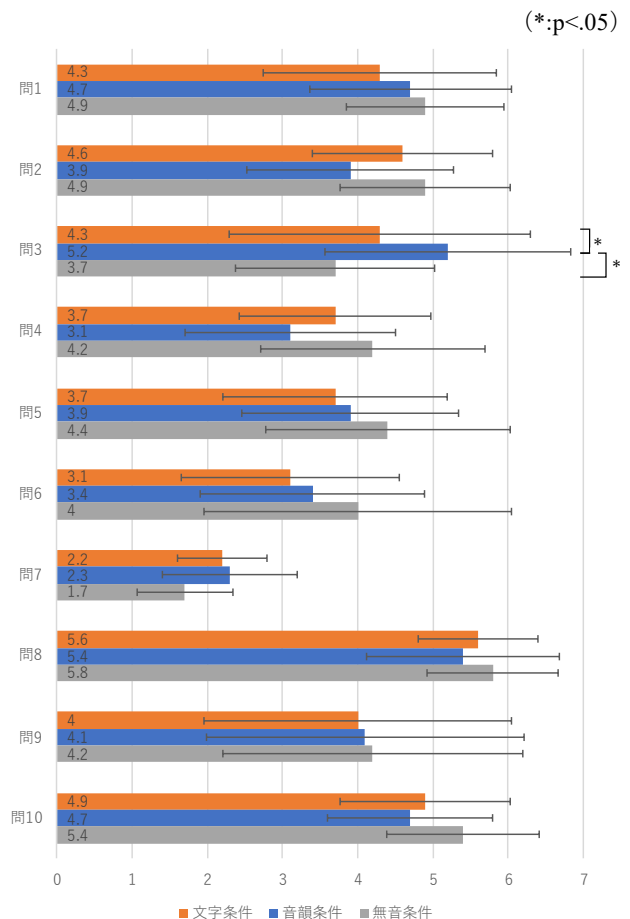


図 4.2 体験に関するアンケートの回答結果

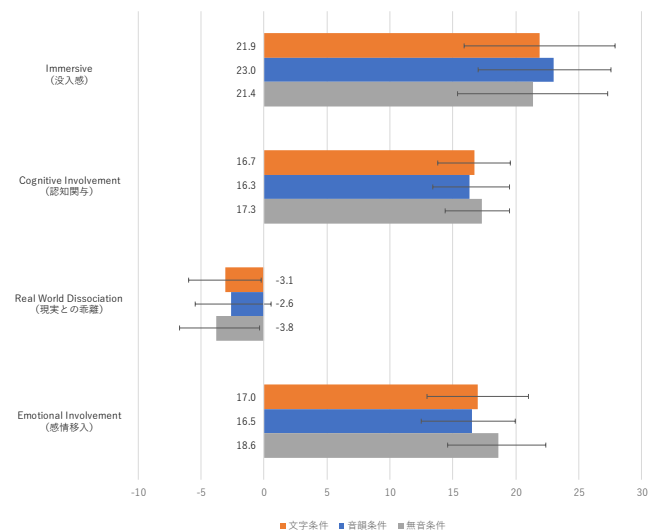


図 4.3 IEQ に基づく分析結果

(3) インタビュー

7 人の参加者から、すべての条件において「文字の表示速度が遅い」という意見が得られた。また、効果音を提示する 2 条件に対しては、「長い文章や単語はどの文字の音になっているのか分からなくなり、読みづらく感じた」「頭の中で思っていた音と効果音に齟齬があり、読みにくく感

じた」といった意見が得られた。これは、アクセントやイントネーションを無視したため、実際の発音との齟齬が生じたことが原因であると考えている。一方で、効果音を提示する2条件に対して「音が自分のペースにあった時は読みやすく感じた」「短い文章は読みやすく感じた」「会話文は気持ちよく読めた」といった意見も得られた。これは、参加者が自身の読んでいる文字に効果音を対応させることができたためであると考えている。

5. 議論

5.1 文字の提示速度

本研究では文字を1文字ずつ表示する方法を採った。実験では参加者間で表示速度を統一した。具体的には、文字条件、無音条件では文字を読み取る平均速度を、音韻条件では日本人の平均音節長を表示速度の基準として設定した。しかし、4.5で述べた通り、文字の表示速度が遅いという意見がすべての条件において多数みられた。このことから、文字をより速く提示する条件をもうけて調査をおこなうことで結果が変わる可能性がある。

5.2 効果音の提示手法の改善

我々は読者が文字を視認するタイミングで同時に効果音を提示すれば、読書という行為に付随して音が発生している状況を作れると考えた。しかし、上記のインタビューの意見から、本手法では文字の視認タイミングに同期して効果音を提示できていない可能性が示唆された。一方で、効果音と読むペースが一致していると参加者が感じた場合や短い文、会話文では「読みやすい」「気持ちがいい」といった意見を得られた。このことから、適切に効果音を提示することで、読書における内容の理解度や没入感が向上する可能性がある。本稿では、文字の視認タイミングに同期して効果音を提示できなかった原因とその改善策について述べる。

(1) 視線同期を用いた効果音提示

文字の視認タイミングに同期して効果音を提示できなかった原因として、本手法が受動的であったことが挙げられる。2.1で紹介した先行研究では身体の動きに伴った能動的な聴覚フィードバックを行っている。このことから、文字を読む際の身体の動きに対して効果音を提示することで、読書における内容の理解度や没入感が向上する可能性がある。そこで、改善方法として効果音の提示を視線に同期させることを検討している。アイトラッカーを用いて文字を読む際の視線移動を検出し、読んだ文字に対応した効果音を提示することで、読者の眼球運動という身体の動きに効果音を提示することが可能になる。これにより、文字の視認タイミングに同期して効果音を提示できるのではないかと考えている。

(2) 発話をもとにした効果音の制作

インタビューで「頭の中でイメージした音と効果音に齟

齬があった」と回答した参加者にどのように齟齬があったのか質問したところ、「音の間隔が一定過ぎて違和感を覚えた」と「抑揚やアクセントがあるといい」と回答した。読者が読書中に想像する効果音は発話に近いものであり、今回使用した効果音を文字に対応付けることが困難であったことが予想される。このことから、アクセントやイントネーションを取り入れた効果音を提示することで、文字と効果音の対応付けが容易になると考えられる。改善方法として、発話をもとに効果音を制作することが挙げられる。あらかじめ朗読した音声や機械による読み上げ音声を加工することで、アクセントやイントネーションを残した発話に近い効果音が作成できる。

また、発話音声そのものを提示することも考えられる。音声そのものを提示することでより正確に文字と対応付けることが可能になる。しかし、読者に合わせて提示速度を調節することが難しい。このため、(1)で議論した視線情報に基づいた文字を提示をおこなう際は音声を加工して提示する必要がある。

6. おわりに

我々は、読者が文字を視認するタイミングで同時に効果音を提示することで、内容の理解度や没入感といった読書のパフォーマンスが向上するのではないかと考えた。

そこで文章を一文字ずつ逐次表示しながら効果音を提示する電子書籍リーダーを実装し、文字の視認タイミングに同期した効果音の提示を疑似的に実現する。

実験において、文字単位での効果音提示、音韻単位での効果音提示、無音の3条件を設定し、文章の理解度と没入感の感じ方を調査した結果、有意な差は見られなかった。また、実験後に行ったアンケートから、我々の手法では文字を視認するタイミングで同時に効果音を提示できていなかった可能性が示唆された。一方で、短い文や会話文などでは、「読みやすい」「気持ちがいい」といった意見を得られた。このことから、適切に効果音を提示することで、読書のパフォーマンスが向上する可能性がある。

今後は視線情報に基づく効果音提示や発話に近い効果音の提示など、他の条件でも調査を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 金ジョンヒョン, 橋田朋子, 大谷智子, 苗村健. 筆記音のフィードバックが筆記作業に与える影響について. インタラクシオン, 2012.
- [2] 高井秀明, 西條修光, 楠本恭久. アーチェリー実射中の心音の傾聴が心理・生理的状态とパフォーマンスに及ぼす影響. スポーツ心理学研究, 2009, vol. 36, p.13-22.
- [3] Tajadura-Jiménez, A. et al.. As Light as your Footsteps: Altering Walking Sounds to Change Perceived Body Weight, Emotional State and Gait. CHI, 2015.
- [4] 小泉直也, 田中秀和, 上間裕二, 稲見正彦. Chewing JOCKEY: 咀嚼音提示を利用した食感拡張装置の検討. TVRSJ, 2013, vol. 18, no.2, p.144-150.

- [5] Kallinen, K. Reading news from a pocket computer in a distracting environment: effects of the tempo of background music. *Computers in Human Behavior*, vol. 18 , no. 5 2002, p. 537–551.
- [6] Biedert, R. et al.. The eyeBook – Using Eye Tracking to Enhance the Reading Experience. *Informatik-Spektrum*, 2010, vol. 33, Issue. 3, p. 272-281.
- [7] Sanchez, S. et al.. Embodied Reading: A Multisensory Experience. *CHI*, 2016.
- [8] 草野有沙, 西由佳梨, 北原鉄朗. ゲーム風演出で読書を促進するモバイルアプリケーション. *情報処理学会論文誌*, 2019, vol. 60, no. 11, p. 1978-1982.
- [9] 清原一暁, 中山実, 木村博茂, 清水英夫, 清水康敬. 日本教育工学会論文誌, 2003, vol. 27, no. 2, p. 117-126.
- [10] 河野守夫. モーラ, 音節, リズムの心理言語学的考察. *Journal of the Phonetic Society of Japan*, 1998, vol. 2, no. 1, p. 16-24
- [11] Jennett, C. et al.. Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2008, vol. 66, issue. 9, p. 641-661.
- [12] Jennett, C. Is game immersion just another form of selective attention? An empirical investigation of real world dissociation in computer game immersion. PhD Thesis, UCL, 2010.