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

金　ジョンヒョン[†]　橋田　朋子[†]　大谷　智子[‡]　苗村　健[†]

本稿では，筆記音の聴覚的フィードバックが筆記作業に与える影響を検討した．特に，一般的な紙とペンの組み合わせで生じる筆記音に着目し，筆記音を鮮明にフィードバックする条件と，筆記音をあえて遮断する条件を設け，それぞれの条件で筆記作業の単純作業（漢字のなぞり書き）がどのような影響を受けるかを実験的に明らかにした．また，筆記音の聴覚的フィードバックとしての筆記音の音像が一定の場合（モノラル方式）と移動する場合（ステレオ方式）とで作業量への影響が異なるか調べた．その結果，筆記音の聴覚的フィードバックを行うと多く書けることが明らかになった．ただし，フィードバック効果の出現時間はステレオ方式が早いことが分かった．

Effects of Auditory Feedback for Augmenting the Act of Writing

JUNGHYUN KIM[†]　TOMOKO HASHIDA[†]　TOMOKO OHTANI[‡]　TAKESHI NAEMURA[†]

We present effects of auditory feedback for augmenting the act of writing. In this study, we focus on the sound of the act of writing during using an ordinary paper and pen. We evaluated the effectiveness of the auditory feedback among Without Feedback(No), Monaural Feedback(MF) and Stereo Feedback(SF) for writing during a task involving the tracing of Chinese characters. The results of this study showed that Auditory feedback of writing produced more written characters independent of between MF and SF. However, appearance time of the feedback effect was found that SF is faster than MF.

1. はじめに

日常生活の様々な行為や操作には音が付随して発生するものが多数ある．このような音は我々が次の行為や操作を行う上で自然な手掛かりになっていると考えられる．最近ではこのような音の効果に着目し，電子デバイスやユーザインタフェース設計に音を積極的に取り込む研究・システムも提案されている[1][2].

筆者らは，様々な日常の行為の中でも，書き作業に注目し，特に一般的な紙とペンという組み合わせで生じる筆記音が作業に与える影響について検討してきた[3]．本稿では，筆記音を鮮明にフィードバックする条件と，筆記音をあえて遮断する条件を設け，それぞれの条件で筆記作業がどのような影響を受けるかを実験的に明らかにする．具体的には，下敷きにマイクロホンを装着して筆記音を取得し，ユーザにノイズキャンセリングヘッドホンで提示する実験装置を実装した．そして，大学院生 8 名を実験協力者として，（a）無音，（b）モノラル方式，（c）ステレオ方式，のそれぞれで単純作業（漢字のなぞり書き）の量がどのように変化するかを計測した結果を報告する．

2. 関連研究

筆記作業に限らず，手を動かす行為においては，聴覚刺激を同時に提示するインタフェースが提案されている．聴覚刺激として効果音を用い，手の動きにともなわせて提示する例を紹介する．モバイルデバイスにおける研究として Pirhonen ら[4]と Brewster ら[5]は，手の動きとそれにともなって効果音を聞かせることで，作業の完成時間が早いことや手の動作が正確に行えると指摘している．また，書く行為における聴覚刺激の影響に関する研究は，Andersen らの研究[6]が挙げられる．Andersen らは，デジタルタブレットを用い，図形の書き写しの課題を行った結果，書く行為に応じて，書いた軌跡を表示するだけではなく，効果音を提示すると，より正確に描けることを示し，書く行為にともなった聴覚刺激の重要性を指摘している．これまで述べた研究[4-6]は，手の動きにともない，あらかじめ用意されている音を聞かせていた．

一方，人間の生理的状態や身体行動の可聴化において，何らかの音響効果を加えることなく，そのまま聞かせる研究が報告されている．生理的状態として心拍音を聞かせる研究では，安静時にはリラクセーション効果があり[7]，スポーツ中では高いパフォーマンスが得られる[8]とされている．身体行動においては，

† 東京大学大学院 情報理工学系研究科
Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo
‡ 東京大学 インテリジェント・モデリング・ラボラトリー
Intelligent Modeling Laboratory, The University of Tokyo

食べる際の音を拡張して提示する研究[9][10]などがあげられる．以上の先行研究より，人間の行動から発生する音をそのまま聞かせることの有効性が示唆されている．しかし，筆記作業における筆記音の効果においては，必ずしも明らかになっていない．

そこで筆者らは，筆記音が作業量に及ぼす影響を明らかにするため，筆記音を聞かせる仕組みの実装とその仕組を用いて評価実験を行った．

3. 筆記音をフィードバックする実験装置

人間の書く行為にともなって生じる筆記音を聴覚的にフィードバックする実験システムを実装した．本システムでは，筆記音のみ取得できるコンタクトピックアップと，環境音や自分が書いている際に生じる音を遮断するためのノイズキャンセリングヘッドホンを用いることで，筆記音を精度よく提示することができる[3]．具体的な構成は，下敷きに装着するコンタクトピックアップとノイズキャンセリングヘッドホン，オーディオインタフェース，パーソナルコンピュータ，通常の紙，通常のペンとなっている（図 1）．

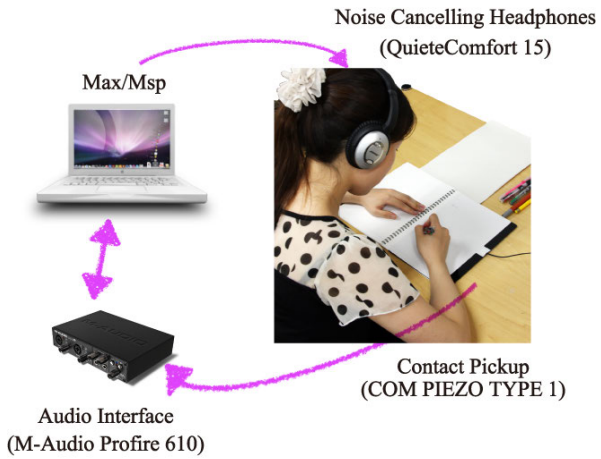

図 1.実験の概要

システムを実装するに当たり，コンタクトピックアップの設置方法を変えることで，音像に関する印象が異なる 2 つのプロトタイプを設けた．具体的には，筆記音の音像の位置が一定であるモノラル方式と，音像の位置が変化し，音の空間性が知覚可能なステレオ方式である．モノラル方式はコンタクトピックアップを 1 つ用いている．ステレオ方式は，コンタクトピックアップを 2 つ用いており，左右のコンタクトピックアップが左右のそれぞれの耳に対応されており，書く方向と音の方向が一致しているように聞こえる．それぞれの方式におけるコンタクトピックアップに設置位置は，筆記作業に支障を与えず，筆記領域全般に渡って筆記音の取得可能な場所を調べ，図 2 のように設置した．

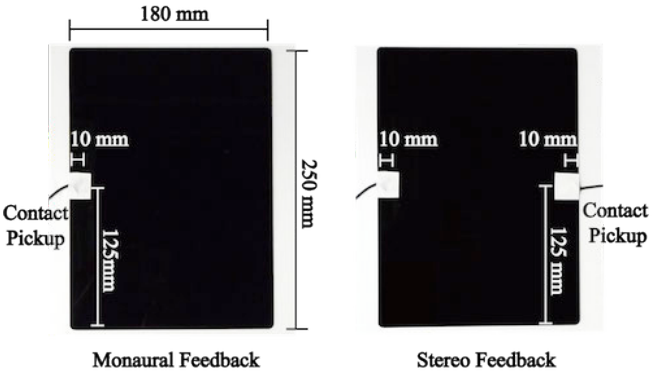

図 2. モノラル方式とステレオ方式における
コンタクトピックアップの設置位置

4. 実験

本実験では，書く行為における筆記音の有無が作業量に及ぼす影響を調べる．具体的には漢字のなぞり書き課題において，Feedback 有と Feedback 無（以下 No）が全体作業量に与える影響を，Feedback 要因と時間要因の関係から明らかにする．さらに，Feedback 要因における Feedback 有では 2 つのプロトタイプのモノラル方式（以下 MF）とステレオ方式（以下 SF）を用い，音像の位置提示が作業量に与える影響を調べる．予測される結果は，Feedback 有が Feedback 無より多く書けることである．また，本実験で用いる課題は文字のなぞり書きのため，作業量における MF と SF の差はないと予測される．

4.1 実験方法

要因計画　Feedback 要因（3 水準）× 時間要因（4 水準）の 2 要因計画であった（被験者内要因）．Feedback 要因では，No，MF，SF の 3 水準と設定した．時間要因では，1 試行全部で 40 分あり，この 40 分を 10 分刻の 4 水準（0 分から 10 分未満の作業量，10 分から 20 分未満の作業量，20 分から 30 分未満の作業量，30 分から 40 分未満の作業量）を用いる．単位時間（40 分）における作業量（書いた漢字の個数）とアンケートを用いた実験協力者の主観評価を分析の対象とする．

実験協力者　東京大学の理系大学院生の日本人男性 8 名である．平均年齢は 23 歳（22～25 歳）である．利き手の内訳は右利き 7 人，左利き 1 人である．

実験環境　実験場所は静かな会議室にて行った．音圧レベルは 60〜70dB になるよう設定した．音圧レベルを計測するメジャリングアンプは B&K 社の Measuring Amp Type 2690 を用い，測定用の刺激には下敷きの中心部（横 9cm, 縦 12.5cm）に直径 3cm の円をボールペンで書いた際の書き音を用いた．漢字は，日本の文部科学省より定められた教育漢字において小学生 1 年から 6 年生までが学ぶ漢字のうち，画数が 8 から 12 までの漢字を，図 4 の左ように一行ごと，1 つずつランダムに並べ，1 ページあたりの総画数が 50 となるように配置し，各画数の出現回数も統制した．課題の紙には 1 ページにおいて，1 行あたり 5 文字で，これを 5 行用い，合計 25 文字が書いてある（図 3）．

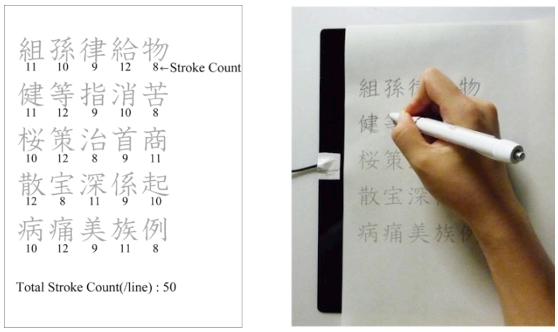

図 3. 実験課題における漢字の並べ方（左）と書き方の例（右）

手続き　実験課題はヘッドホンを着用し，漢字のなぞり書きを行なうことである．実験協力者 8 名は，Feedback 要因の 3 条件をそれぞれ別の日に行った．すなわち，実験は 3 日間にわたって行うよう設計した．これは，同じ日に同じ実験協力者が，2 つの異なる条件の実験を連続して行った際，それぞれの結果に影響を及ぼしたためである．実験 1 の手続きを図 4 に示した．No（図 4 上段）は無音状態で漢字のなぞり書きを 40 分行い，アンケートを行う．MF（図 4 中段）は自分自身の筆記音をモノラル形式で聞きながら漢字のなぞり書きを 40 分行い，アンケートを行う．SF（図 4 下段）は，筆記音をステレオ形式で聞きながら漢字のなぞり書きを 40 分行い，アンケートを行う．実験順序に関しては，No, MF, SF をランダムに並べ，実験を行った．実験協力者は各条件の実験後に，次に述べる主観評価を行った．

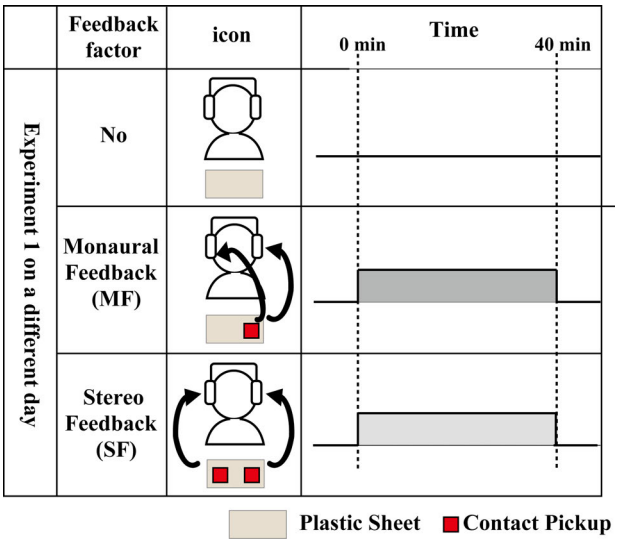

図 4. 実験の Feedback 要因と実験方法

主観評価　質問紙は菅ら[11]が使用した作業に対する印象 8 尺度を用い，7 段階評定を行った．以下に質問項目を挙げる．

- 楽しかった–つらかった
- 短く感じた–長く感じた
- 落ち着いてできた–いらいらした
- 面白かった–つまらなかった
- すき–嫌い
- 集中してできた–気が散った
- 心地良かった–不快だった
- リラックスできた–緊張した

実験協力者は，実験の後，この質問紙に回答した．

4.2　結果と考察

- **作業量**

(1)Feedback 要因と時間要因の関係

作業量おける Feedback 要因と時間要因の関係を調べるために，2 要因被験者内分散分析を行った．この結果を図 5 に示す．縦軸は分単位における平均文字数であり，横軸は Feedback 要因を示す．エラーバーは標準誤差，*印は有意確率 5%を意味する．単位時間における 40 分の内，10 分刻み（0〜10 分，10〜20 分，20〜30 分，30〜40 分）に分けて，分単位における作業量を分析した結果，Feedback 要因の主効果が有意であった（$F(2,14)=4.39$, $p<.05$）．また，時間要因の主効果に有意傾向が見られた（$F(3,21)=2.40$, $p<.10$）．この結果から，経過時間によらず，No と MF，No と SF の両方

に，有意な差が認められた．このことから，Feedback 有のほうが Feedback 無よりも作業量が多いことが明らかになった．すなわち，Feedback を与えることは，筆記作業の継続に有効であるといえる．

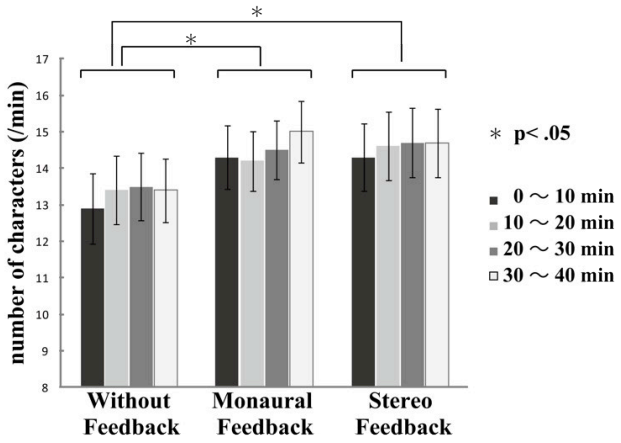

図 5. 作業量における Feedback 要因と時間要因の関係

(2) Feedback 要因と累積時間要因の関係

Feedback 効果が現れた時間を調べるために，Feedback 要因と累積時間要因との関係を調べた．Feedback 要因（No，MF，SF の 3 水準）と累積時間要因（0 分から 10 分未満，0 分から 20 分未満，0 分から 30 分未満，0 分から 40 分未満の 4 水準）の 2 要因被験者内分散分析を行った．その結果を図 6 に表す．縦軸は各累積時間水準における平均文字数（例えば，0～10 分は 10 分間に書いた平均文字数）であり，横軸は累積時間要因を示す．エラーバーは標準誤差，*印は有意確率 5%を意味する．その結果，累積時間要因の主効果が有意であり(F(3,21)=57.13, p<.01)，Feedback 要因の主効果には有意傾向が見られた(F(2,14)=3.50, p<.10)．また，Feedback 要因と累積時間要因の交互作用が統計的に有意であることが認められた(F(6,42)=4.28, p<.01)．下位検定の結果，No と MF において，0～40 分の作業で，有意差が確認できた．一方，No と SF において，0～20 分の作業で，有意差が確認できた．以上の結果から，Feedback 効果が現れたのは，MF は作業開始から 40 分経過後であり，SF は作業開始から 20 分経過後である．以上の結果から，Feedback 効果は SF が MF より早く現れたことが明らかになったといえる．

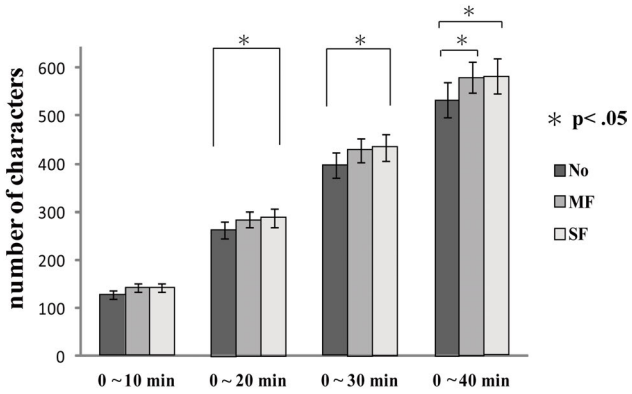

図 6. Feedback 要因と累積時間要因との関係

- **主観評価**

主観評価の得点について，Feedback 要因と質問要因における 2 要因被験者内分散分析を行った．Feedback 要因では，No と MF と SF における 3 水準を用い，質問要因では，作業に対する印象についての 8 尺度における 8 水準を用いた．

その結果，Feedback 要因の主効果が有意であった(F(2,14)=11.49,p<.01)．また質問要因にも主効果が有意であった(F(7,49)=8.30,p<.01)．具体的には，「楽しかった － つらかった」では No が Feedback 有よりつらかったという結果が得られた(F(2,14)=14.29, p<.01)．「短く感じた － 長く感じた」も No が Feedback 有より長く感じたという結果が得られた．(F(2,14)=6.70, p<.01)．「面白かった–つまらなかった」では，No が Feedback 有よりつまらなかったとの結果が得られた(F(2,14)=15.95, p<.01)．「すき － 嫌い」でも，No が Feedback 有より嫌いとの結果が得られた(F(2,14)=8.70, p<.01)．「心地良かった –不快だった」も No が Feedback 有より不快だったとの結果が得られた(F(2,14)=9.23, p<.01)．その他に，「落ち着いてできた － いらいらした」では，有意傾向が見られた(F(2,14)=3.27, p<.10)．他の「集中してできた － 気が散った」と「リラックスした– 緊張した」について統計的に有意な差は得られなかった．下位検定の結果における有意であった項目を図 7 に示す．以上の結果により，Feedback 有より No の方が，辛く，長く感じ，つまらなく，嫌いで，不快だったことが分かった．また，MF のほうが，No より落ち着いて作業に取り込めたことが確認できた．

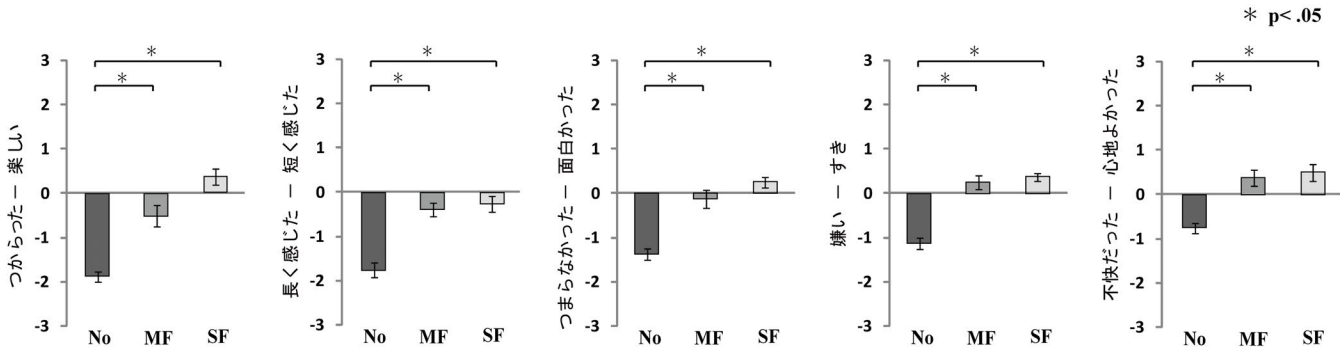

図 7. 実験 1 の主観評価による No, MF, SF の比較

- **まとめ**

  筆記音を聴覚的にフィードバックするシステムが筆記作業に与える影響を調べた．その結果，40 分の単位時間における作業量において，No に比べ，Feedback 有の MF と SF がより多く書けることが明らかになった．さらに，音像の位置提示における MF と SF の差を求めた結果，Feedback 効果が出始めた時間は，SF が MF より早いことが分かり，SF を用いると MF を用いることより短時間で Feedback 効果が得られることが明らかになった．さらに，主観評価では，音像の位置における差はほとんど見られなかったが， Feedback 無が Feedback 有より否定的な印象が強いことが分かった．

5. むすび

本稿では，人間の書く行為にともなって生じる筆記音を聴覚的にフィードバックした際の，筆記作業に与える影響を検討した．

今回の実験では，筆記音の有無の比較だったが，今後は，日常で使われる際に生じる筆記音と強調して聞かせる筆記音の差を明らかにしたい．また，実験課題では，漢字のなぞり書きという，比較的短い線を書き重ねる課題を用いた．一方で，予備的な検討より，筆記作業の中でも, お絵描きのような長い線を書く際に, SF の方が MF より楽しんでいる様子が多く見られるという知見も得ている．そこで今後，課題の種類における Feedback の音像の位置提示の影響を調べたい．

参 考 文 献

1) Hourian, N., Arita, H., AND Sakaguchi Y. : Audiolizing body movement: its concept and application to motor skill learning, Augmented Human International Conference, pp.13:1-13:4, 2011.
2) 和氣 早苗，上窪 真一，福住 伸一，旭 敏之，広明 敏彦：音響インタフェース設計手法"報知音多次元設計手法"確立への一考察(知能情報メディア論文特集)，電子情報通信学会論文誌，J82-D-II(10), pp.1721-1728, 1999.
3) 金ジョンヒョン，橋田朋子，大谷智子，苗村健：書く行為における聴覚的フィードバックが及ぼす影響の検討, 第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会, pp.275-278, 2011.
4) Pirhonen, A., Brewster, S., AND Holguin, C.: Gestural and audio metaphors as a means of control for mobile devices. In Proceedings of Conference on Human Factor in Computing Systems. ACM, New York, pp.291–298, 2002.
5) Brewster, S., Lumsden, J., Bell, M., Hall, M., AND Tasker, S. : Multimodal ’eyes-free’ interaction techniques for wearable devices. In Proceedings of the Conference on Human Factor in Computing Systems. ACM, New York, pp.473–480, 2003.
6) Andersen, T. H. and Zhai, S: “Writing with Music”: Exploring the Use of Auditory Feedback in Gesture Interfaces. Exploring the use of auditory feedback in gesture interfaces. ACM Trans. Appl. Percept. 7, 3, Article 17, 24 pages, 2010.
7) 高井 秀明：安静時における心拍音の傾聴がもたらす心理・生理的変化，バイオフィードバック研究，36(2), pp.157-165, 2009.
8) 高井 秀明，西條 修光，楠本 恭久：アーチェリー実射中の筆記音の傾聴が心理・生理的状態とパフォーマンスに及ぼす影響，スポーツ心理学研究, 36(1), pp.13-22, 2009.
9) Koizumi, N., Tanaka, H., Uema, Y., AND Inami M. : Chewing jockey: augmented food texture by using sound based on the cross-modal effect, ACM 8th international conference on Advanced on

Entertainment technology, pp.21:1-21:4, 2011.
10) Zampini, M., AND Spence, C. : The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips, Journal of Sensory Science, Vol.19, Issue5, pp.347-363, 2004.
11) 菅 千索, 岩本 陽介: 計算課題の遂行に及ぼす BGM の 影響について : 認知的側面と情意的側面からの検討, 和歌山大学教育学部教育実践総合センター紀要, no.13, pp.27-36, 2003.