

# デスクワーク中の頭部姿勢に応じた 空間音響フィードバック提示手法

田中雄大<sup>†1</sup> 藤田和之<sup>†1</sup> 高嶋和毅<sup>†1</sup> 北村喜文<sup>†1</sup>

**概要**：デスクワークにおいて猫背や仙骨座りといった不良姿勢をとり続けることは、首や肩の凝り、ストレートネック等の様々な疾患の原因となりうる。本研究では、空間音響を用いた聴覚フィードバックにより不良姿勢を矯正する手法の確立を目指し、このための初期検討として、聴覚フィードバックがユーザの座位姿勢やタスクの遂行に与える影響を調査した。聴覚フィードバックには、作業中に聴くことのできる音楽を用い、ユーザの頭部変位に応じて音楽の音量が空間的に変化する Spatial Sound (SS) 条件と、SS 条件に加えて、頭部変位に応じてホワイトノイズの音量が変化する Spatial Sound+Noise (SSN) 条件を設計・実装した。これらの条件に空間音響を用いない Baseline 条件を加えた3つの条件のもと、6名の参加者にデスクワークタスクを実施してもらい実験を行った。この結果、タスク中の頭部の変位量が、Baseline 条件に比べて SS 条件では 37.9%、SSN 条件では 60.2%減少したことがわかり、空間音響を用いた姿勢矯正の可能性を確認できた。加えて、SS 条件は SSN 条件に比べて主観的に許容されやすいことがわかり、タスクへの干渉が少ない姿勢矯正手法となり得ることが示唆された。

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

デスクワークを主な業務とするオフィスワーカーは多く、日本人は平日平均7時間を座って過ごしている[1]。さらに昨今、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の流行に伴い在宅勤務の機会が増加している。長時間のデスクワークの弊害として、猫背や仙骨座りといった不良姿勢は肩こりやストレートネックの要因となりうる問題[2]が報告されており、社会的な問題となっている。

これに対してヒューマン・コンピュータ・インタラクション (HCI) の分野では、不良姿勢を改善するための不良姿勢矯正手法が数多く検討されている。例えば、画面上の通知、振動触覚フィードバック、卓上オブジェクトの形状変化等が挙げられる[3]。しかし、暗黙的な方法ほどユーザに無視されやすく、明示的な方法ほどユーザのタスクを阻害しやすいといったトレードオフの関係が存在する[3]。タスクへの干渉を抑える方法として、ユーザが見ているモニタ位置[4]や着座している座面の傾き[5]を低速で動かし姿勢を誘導する手法もあるが、特殊なデバイスを用意する必要がある。

本研究では、新たな不良姿勢矯正手法のアプローチとして、空間音響を用いた聴覚フィードバックに焦点を当てる。聴覚フィードバックは、画面を見ないタスクにも利用でき、イヤホンまたはヘッドホンのみで実現できる可能性があるため、将来的にモバイルで作業場所に縛られない不良姿勢矯正手法となり得ると考えられる。聴覚フィードバックを姿勢矯正に用いた先行研究として、ユーザの体幹情報を音量・周波数・左右バランスに変換し、健康者の姿勢のバランス改善を目指したもの[6]はあるが、その多くが立位や歩行時の姿勢を想定したものである。また、デスクワーク中

の姿勢矯正に向けた聴覚フィードバックを設計した研究[7]はあるが、ユーザによる評価は行われていない。

そこで本研究では、空間音響を用いた聴覚フィードバックによる不良姿勢矯正手法の確立を目指す。空間音響に着目したのは、人に備わっている音像定位能力により、無意識的に姿勢の変化を知覚できる可能性があると考えたためである。このための初期検討として、空間に固定されたバーチャル音源による聴覚フィードバックが、ユーザの座位姿勢やタスクの遂行にどのような影響を与えるのかを調査する。具体的には、空間音響を用いた聴覚フィードバックとして、作業中に聴くことのできる音楽を用い、ユーザの頭部変位に応じて音楽の音量が空間的に変化する Spatial Sound (SS) 条件と、SS 条件に加え、頭部変位に応じてホワイトノイズの音量が変化する Spatial Sound+Noise (SSN) 条件を設計・実装し、空間音響を用いない Baseline 条件と比較する。すなわち、SS 条件では頭部の聴覚フィードバックが遠ざかって聞こえることで姿勢の悪化を知覚し、SSN 条件ではこれに加えてホワイトノイズの音量が増加することで姿勢の悪化を知覚することを想定している。本稿では、ユーザのデスクワーク作業や頭部姿勢にどのような影響を与えるのかを調査するユーザスタディ (N=6) の結果について述べ、空間音響を用いた聴覚フィードバックの不良姿勢矯正手法の可能性を考察する。

## 2. 空間音響を用いた聴覚フィードバック

本章では、ユーザスタディで用いた Baseline 条件、および空間音響を用いた SS 条件と SSN 条件の設計と実装について述べる。本研究では、デスクワーク時の姿勢矯正のために空間音響を用いた聴覚フィードバックを提示することを検討する。

## 2.1 実装環境

実験では、Intel®Core™i7-11700F, 32GB RAM, GeForce RTX 3060 Ti 8GB GDDR6 を搭載した PC を使用した。OS は Windows 10 Home 64bit であった。実際の環境を図 1 に示す。図 1 のように、頭部位置の測定を VIVE トラッカーを用いて実現し、参加者の横と後ろのカメラで実験の様子を撮影した。バーチャル音源の配置をゲームエンジンである Unity, バーチャル音源の提示をヘッドホン (Sennheiser MOMENTUM 3 Wireless) を用いて実現する。ヘッドホンの Windows 上での音量は、予備実験から、煩わしくない最大音量として、35 に設定する。実際にユーザに届く最終的な音量は、Windows 上の音量である 35 に、Unity 上の音量を掛けたものとなる。

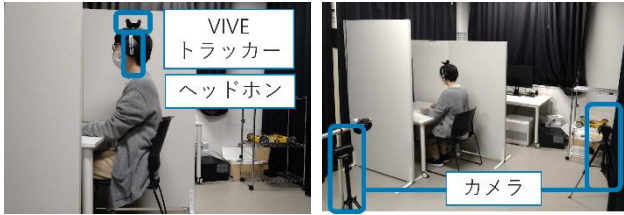


図 1 実装環境

## 2.2 空間音響なし (Baseline) 条件

本条件では、バーチャル音源は現在時刻  $t$  における頭部位置  $(x_t, y_t, z_t)$  に追従する。このため、ユーザが頭部姿勢を変化させたとしても、音楽音量のゲインは常に 1 に保たれる。

## 2.3 Spatial Sound (SS) 条件

本条件では、音楽のバーチャル音源を初期時刻  $t_0$  における頭部位置  $(x_{t_0}, y_{t_0}, z_{t_0})$  に固定する。時刻  $t$  における頭部位置  $(x_t, y_t, z_t)$  の、初期位置  $(x_{t_0}, y_{t_0}, z_{t_0})$  からの変位量を  $d$  とすると式 (1) より求まる。

$$d = \sqrt{(x_{t_0} - x_t)^2 + (y_{t_0} - y_t)^2 + (z_{t_0} - z_t)^2} \quad (1)$$

音楽音量のゲイン  $g_s$  は図 2 のように、 $d$  が大きくなるにつれ線形的に小さくなるようにする。予備検討より、最小のゲインとなる変位量  $d_{max}$  を 15cm と設定し、 $g_s$  は式 (2) のように定義した。

$$g_s = \begin{cases} -\frac{d}{d_{max}} + 1 & (0 < d \leq d_{max}) \\ 0 & (d_{max} < d) \end{cases} \quad (2)$$

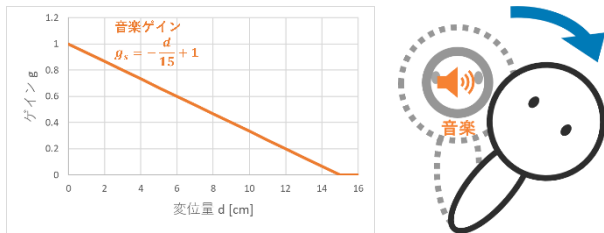


図 2 Spatial Sound 条件でのゲイン (左) と模式図 (右)

## 2.4 Spatial Sound + Noise (SSN) 条件

本条件では、SS と同様、音楽のバーチャル音源を初期時刻  $t_0$  における頭部位置  $(x_{t_0}, y_{t_0}, z_{t_0})$  に固定し、音楽音量のゲ

イン  $g_s$  は式 (2) によって求めた。

加えて、SSN 条件では頭部の変位量に応じたホワイトノイズを提示する。ホワイトノイズには空間音響を利用せず、現在時刻  $t$  における頭部位置  $(x_t, y_t, z_t)$  に固定する。予備検討より、Unity 上のホワイトノイズゲイン  $g_n$  を 0 に維持する変位量  $d_{min}$  を 3cm, 最大のゲインとなる変位量  $d_{max}$  を 15cm とし、式 (3) のように定義した。

$$g_n = \begin{cases} 0 & (0 < d \leq d_{min}) \\ \frac{d}{d_{max} - d_{min}} - \frac{d_{min}}{d_{max} - d_{min}} & (d_{min} < d \leq d_{max}) \\ 1 & (d_{max} < d) \end{cases} \quad (3)$$

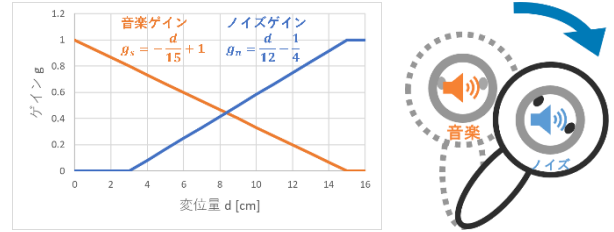


図 3 Spatial Sound+Noise 条件でのゲイン (左) と模式図 (右)

## 3. ユーザスタディ

本章では、前述の 3 つの聴覚フィードバック条件がデスクワーク時のユーザの作業姿勢や許容性等に与える影響について調査したユーザスタディについて述べる。

### 3.1 実験参加者

6 名の学部生または大学院生 (男性 4 名と女性 2 名, 平均年齢: 22.8 (SD=1.67)) が実験に参加した。すべての参加者は、この研究に関する予備知識を事前 to 得ることなく実験に参加した。

### 3.2 実験デザイン

実験は、3 つの聴覚フィードバック条件 (Baseline, SS, SSN) を適用した状態でタスクを実行する参加者内実験計画による実験を行った。実験のタスクは、姿勢の変化がある程度見込まれるデスク作業タスクとして、日常にあるモノの代替利用アイデアを発想して紙に記入する The Alternative Uses Test[8]を採用した。

また、長時間の実験は集中力の低下が懸念されることから、各試行 1 回の作業時間は 6 分に設定した。この時間は、聴覚フィードバックが座位姿勢に与える長期的な影響を調査するためには、十分な長さではないが、短時間で姿勢に与える影響や作業の許容性、タスク成績を調査するためには十分であると考えた。

測定項目は、ユーザの姿勢への影響とタスクへの影響の 2 つの観点に分けて用意した。姿勢への影響を測定する指標では、頭部位置の変位量、主観的な姿勢維持の強制力を測定した。頭部位置の変位量は、ヘッドホンに取り付けた VIVE トラッカーの値を 10Hz で Unity 上に記録した。主観的な姿勢維持の強制力は、7 段階のリッカート尺度を用いた姿勢維持の強制力に関する質問 (「タスク中、どのくらい

姿勢を同じ場所に維持しなければならないと感じたか?」, 7:「非常にそう感じた」, 1:「全く感じなかった」)を含む独自項目アンケートを採用した。

タスクへの影響を測定する指標では、主観的な許容性、主観的な作業負荷、タスク成績を測定した。主観的な許容性は、7段階のリッカート尺度を用いたシステムの許容性に関する質問(「このシステムは作業を行う上で許容できるものでしたか?」, 7:「非常に許容できる」, 1:「全く許容できない」)を含む独自項目アンケートを採用し、主観的な作業負荷は、6項目(知的要求、身体的欲求、タイムプレッシャー、作業成績、努力、フラーストレーション)を0から100点の範囲で回答してもらい、作業負荷を算出するNASA-TLXを採用した。タスク成績は本実験で用いたThe Alternative Uses Testの回答数を採用した。加えて、実験の最後にインタビューを行うことで、全体を通しての印象や条件間の差異に関するコメントをもらった。

本実験では、音楽の音源に、歌詞がない音源かつ音楽聴取時における作業効率を測る先行研究[9]でも用いられていることから、Johann PachelbelのCanonを用いた。

### 3.3 実験手順

はじめに、参加者は椅子に座り、実験の説明を受け同意書に署名した。次に、実験の一連の流れに関する説明を受けた後、机の位置とヘッドホンが身体に合うように調整し、聴覚フィードバックが正常に流れるかの確認を行った。

実験者は、The Alternative Uses Testの問題用紙(例。「タイヤ」の代替利用法としてのアイデアをなるべくたくさん記入してください)を参加者に配布し、6分間にできるだけ多くの代替利用法のアイデアを紙に記入することを課題として与えた。代替利用法を考えるための題目は、1試行目「タイヤ」、2試行目「クリップ」、3試行目「定規」と固定し、聴覚フィードバック3条件(Baseline, SS, SSN)の提示順序は参加者間でカウンターバランスをとった。

聴覚フィードバックの動作確認後、再度参加者はヘッドホンを装着し、実験者の合図で試行を開始した。参加者は各試行の後に、NASA-TLXによる作業負荷を測定するアンケートとGoogle formを用いた姿勢維持の強制力や許容性を測定する独自項目のアンケートに回答してもらった。

その間、実験者は次の試行で用いる聴覚フィードバック条件への変更を行った。全ての試行の最後に実験全体を通じた印象や条件間の差異に関するコメントをもらい、実験を終了した。

### 3.4 結果

合計18回の試行が問題なく実施された。以下では参加者をP1-P6として識別する。なお、本実験では統計的な検定を実施するために十分な参加者数を確保できなかったことから、以下では得られた平均値のみを報告する。

#### 3.4.1 姿勢への影響

姿勢への影響を測る指標として、頭部位置の変位量、主

観的な姿勢維持の強制力を測定した。図4(a), (b)は、それぞれ参加者6名の頭部位置の平均変位量と主観的な姿勢維持の強制力に関する平均スコアの結果を示している。図4(a)から、頭部位置の変位量の平均値は、Baselineが0.103m, SSが0.064m, SSNが0.041mとなり、SSN, SS, Baselineの順で頭部位置の平均変位量は小さくなった。図4(b)から、主観的な姿勢維持の強制力に対する平均スコアは、Baselineが1.83, SSが4.50, SSNが5.83となり、SSN, SS, Baselineの順で強制力が強く感じられたことがわかった。

#### 3.4.2 タスクへの影響

タスクへの影響を測定する指標として、主観的な許容性、主観的な作業負荷、タスク成績を測定した。図4(c), (d), (e)は、それぞれ参加者6名の主観的な許容性の平均スコア、主観的な作業負荷(NASA-TLX)、タスク成績(The Alternative Uses Testの平均回答数)の結果を示している。主観的な作業負荷を測定するNASA-TLXでは、まず6項目中2項目が表示され、どちらがタスクを行う上で重要度が高かったかを回答するPairwiseと、各項目のスケールスコアを回答するRatingを行う。Pairwiseの結果から項目ごとの重みを測定し、その重みにRatingで得られた結果を掛けることで、重みを考慮した主観的な作業負荷の値を算出している。

図4(c)から、主観的な許容性の平均スコアは、Baselineが5.17, SSが4.50, SSNが3.33となり、Baseline, SS, SSNの順で許容性が高くなった。図4

(d)から、主観的な作業負荷の平均スコアは、Baselineが45.8, SSが57.5, SSNが59.4となり、Baseline, SS, SSNの順で主観的な作業負荷が小さくなった。図4(e)から、The Alternative Uses Testの平均回答数は、Baselineが11.83個, SSが11.50個, SSNが10.33個となり、Baseline, SS, SSNの順で回答数が多くなった。

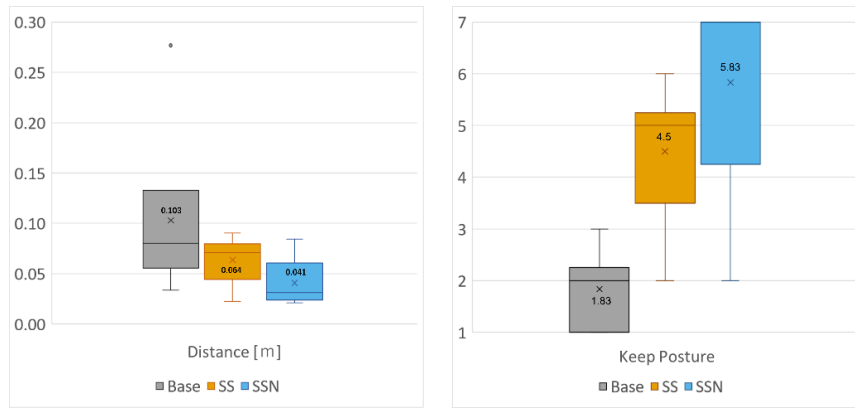
## 4. 考察

### 4.1 実験結果の考察

SS条件では、主観的な許容性において2名の参加者(P2, P3)が、音源の変化では気が散らず、Baselineより許容すると回答したことや、「音量の変化はあまり気にならなかったが、音源位置の変化は気になった」(P6)、「中心付近で、少しの動きで音源が左右に移動するため、鬱陶しかった」

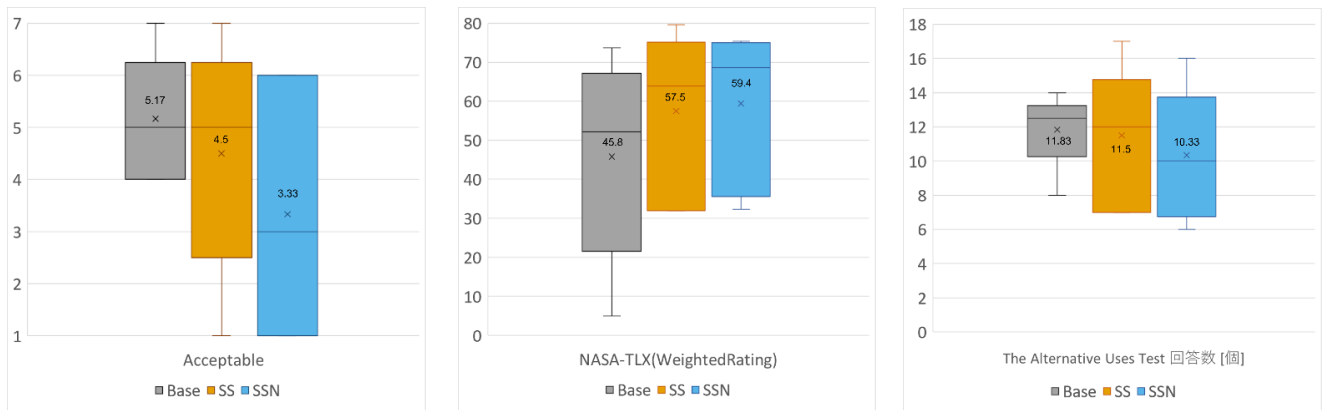
(P4)といった参加者のコメントから、個人差はあるが、SS条件がユーザの注意を散漫させず、より許容されやすい姿勢矯正手法となり得ることが示唆された。

SSN条件では、ほぼ全ての参加者(P1, P2, P3, P4, P5)から不快感やタスク阻害感の増加、タスク成績の低下に関するコメントがあったことから、タスクへの阻害が大きいたことがうかがえた。これは先行研究[3]で述べられていた、



(a) 頭部位置の変位量

(b) 姿勢維持の強制力



(c) 許容性

(d) NASA-TLX

(e) タスク成績

図 4 実験結果

姿勢維持を促す力と許容性はトレードオフであるという結果にも整合する。

#### 4.2 研究の制限と今後の展望

本研究では、聴覚フィードバックが姿勢に与える影響の調査として、比較する3条件でカウンターバランスが考慮できる最小人数の6名で実験を行ったが、聴覚フィードバックが姿勢に与える影響は個人差が大きいと考えられるため、参加者を増やし追加検討を行う必要がある。

次に、本研究では聴覚フィードバックが、頭部移動量に影響することは示されたが、この頭部姿勢の変化がユーザによる意識的なものであったか否かの特定はできていない。そのため、参加者が音源の変化を知覚できたか否かといった、ユーザの音源に対する意識を測定できる評価指標、条件を利用する必要がある。

また、本研究では、簡易に実装できる方法として、頭部位置の測定に VIVE トラッカーを用いたが、将来的には、加速度センサ・ジャイロセンサが搭載されているワイヤレスイヤホンを用いることで、モバイルな実装で同様の聴覚フィードバックを実現したい。加えて、本研究で試した空間に固定されたバーチャル音源だけでなく、移動音源が与える影響についても調査したい。

## 5. 結論

本研究では、空間音響を用いた聴覚フィードバックによる姿勢矯正手法実現のための初期検討として、頭部姿勢に応じた聴覚フィードバックがデスクワーク時の成績や姿勢に与える影響の調査を行った。3つの異なる聴覚フィードバック条件を用いて、The Alternative Uses Test を行ってもらい、姿勢の変位量や主観的な許容性等を評価してもらい実験を行った。その結果、ユーザの頭部変位に応じて音楽の音量が空間的に変化する SS 条件、および SS 条件に加えて頭部変位に応じてホワイトノイズの音量が変化する SSN 条件をそれぞれ用いることで、空間音響を用いない Baseline 条件に比べて頭部の変位量の減少が見られ、空間音響を用いた聴覚フィードバックが座位姿勢に影響を与えられることが確認できた。また、SS 条件では、個人差は見られるものの、ユーザに許容されやすい姿勢矯正手法となり得ることが示唆された。今後の課題として、より大規模な人数での実験の実施、実装のモバイル化、移動音源の検討等が挙げられる。

**謝辞** 本研究の一部は、JSPS 科研費 21K11974 の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] 岡浩一郎：長生きしたければ座りすぎをやめなさい (2017).
- [2] 竹井仁：正しく理想的な姿勢を取り戻す 姿勢の教科書 (2015).
- [3] Haller, M., Richter, C., Brandl, P., Gross, S., Schossleitner, G., Schrempf, A., Nii, H., Sugimoto, M., and Inami, M. (2011). Finding the right way for interrupting people improving their sitting posture. In *IFIP conference on human-computer interaction* (pp. 1-17). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] Shin, J. G., Onchi, E., Reyes, M. J., Song, J., Lee, U., Lee, S. H., & Saakes, D. (2019). Slow robots for unobtrusive posture correction. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-10).
- [5] Fujita, K., Suzuki, A., Takashima, K., Ikematsu, K., & Kitamura, Y. (2021). TiltChair: Manipulative Posture Guidance by Actively Inclining the Seat of an Office Chair. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-14).
- [6] Schwarz, M., & Olson, P. R. (2003). A historical perspective on the field of biofeedback and applied psychophysiology,[in:] *Biofeedback: a practitioner's guide*. Guilford, New York, 3-19.
- [7] 岡田滉太郎, 平井重行. (2019). 座位姿勢矯正に向けたインタラクティブ・ソニフィケーションのサウンドデザイン. 研究報告音楽情報科学 (MUS), 2019(4), 1-5.
- [8] Guilford, J. P. (1967). Creativity: Yesterday, today and tomorrow. *The Journal of Creative Behavior*, 1(1), 3-14.
- [9] 新井良彦, 柏倉健一：BGM 聴取時の作業効率に関する脳部位の検討, 群馬県立 県民健康科学大学紀要, pp. 45-53, <http://id.nii.ac.jp/1725/00000061/> (2012)