

楽曲を元にしたバイノーラルビートが知的集中に与える影響の検討

Examination of the Effect of Binaural Beats Based on Musical Compositions on Intellectual Concentration

大川 直[†] 伊藤 淳子[‡]
Nao Okawa Junko Itou

1. はじめに

情報社会の発展に伴って、これまで人間が担ってきた作業の一部が機械やコンピュータに代替されるようになった。一方で、代替の難しいオフィスワークのような知的作業の割合が増加しており、集中しながらの作業が求められる。またリモートワークの普及などの業務体系の変化により、作業者は集中できる環境を自ら構築することが求められる。

集中できる環境の構築に関連して、知的集中の促進に関する研究が数多く行われている。その中でも、音環境を研究対象として議論する文献は多い。Wang ら [1] は、純音を用いた 40Hz のバイノーラルビートを聴くことにより、ワーキングメモリ課題の成績の向上を確認した。しかし、純音を用いたバイノーラルビートは単調であるため、不快感やストレスを感じる場合がある。また、相馬らの研究 [2] では、クラシック曲などリラックスできる音楽を聴いたときに暗算課題の作業時間と誤答率が改善される傾向が示された。しかし、作業効率改善の示唆に留まっており、オフィスワーク環境下での効果は確認されていない。

そこで本研究では、リラックスできる楽曲を元にしたバイノーラルビートを作成し、その楽曲が不快感が少なく知的集中を促進することの検証を目指す。

2. 関連研究

2.1 40Hz バイノーラルビートに関する研究

バイノーラルビートとは、左右の耳に異なる周波数の音を提示したときに、脳内にその差分の周波数が知覚される聴覚現象である。Wang ら [1] は、40Hz のバイノーラルビートがワーキングメモリに与える影響を検証した。この研究では左耳に 400Hz、右耳に 440Hz の音を提示し、40Hz のバイノーラルビートを生成している。40Hz の周波数は注意や記憶など知的集中と関係が深いガンマ帯域に属しており、脳の周波数追従反応を誘発することが期待される。

実験では、参加者にワーキングメモリ課題を実施させた。その結果、40Hz バイノーラルビートを聴取した条件では、ピンクノイズと比較して課題の正答率や単語の再生スコアが有意に高くなり、ワーキングメモリのパフォーマンス向上が確認された。

一方で、バイノーラルビートは聴いている最中に不快感や不安定さを感じる場合があることが指摘されている。Wahbeh ら [3] の研究では、一部の被験者がバイノーラルビートに対して不快感を訴えたケースが報告されており、刺激の快適性に関する問題が残っている。

2.2 リラックス音楽に関する研究

相馬ら [2] は、音楽環境の違いが知的作業における集中や作業効率に与える影響を検討している。この研究では、活気のある音楽、リラックスできる音楽、および無音の 3 つの音環境を設定し、これらが知的集中に及ぼす効果を比較した。

その結果、リラックス効果のある音楽を聴きながら課題に取り組んだ場合において暗算課題の解答時間が短縮や正答率の向上が見られ、作業効率の向上が示唆されている。

3. 楽曲を元にしたバイノーラルビートの作成

3.1 音源の処理

本研究では、リラックスできる楽曲を元にしたバイノーラルビートを作成する。これにより、知的集中の向上とバイノーラルビートを聴取した際の不快感の改善を目指す。そのために、楽曲をバイノーラルビートとして利用できるように音源を処理する。

処理は以下の手順で行う。周波数シフトプラグインである Mfreqshifter を Audacity 上で用いて、使用する楽曲の音源を高域に 40Hz シフトする。左耳にはオリジナルの音源を配置し、右耳には周波数をシフトした音源を配置することにより 40Hz のバイノーラルビートとする。

3.2 使用する楽曲

知的作業が必要な作業を行う際には歌詞がなく、無音の続かない楽曲がよい [4]。その中で、モーツァルトの楽曲は副交感神経に作用するものが多く、リラックス効果が高い [5] とされている。そのため、先行研究でも用いられたピアノソナタ K.310 の第二楽章を使用する。

4. 知的集中評価のための実験

4.1 比較実験の概要

実験は、被験者による 20 分間の知的作業を条件を変えながら 3 度実施する。実験前に説明と 10 分間の操作練習をした後、被験者はヘッドホンを着用し、楽曲を元にしたバイノーラルビートを聴いている状態、未加工の楽曲を聴いている状態、何も聴いていない状態で 20 分ずつ、計 3 セットの知的作業を行う。練習と各セットの間には 10 分間の休憩を設ける。実験の際は順序効果を考慮して、各条件の順序を入れ替えながら実施する。各セット完了後にそれぞれの音環境への印象や疲労感を問うアンケートへの回答を指示し、実験終了後に実験全体を総括したアンケート調査を実施する。また、生活統制として前日に睡眠を十分にとること、実験当日は激しい運動を控えることを被験者に指示する。

4.2 知的作業の内容

本研究では知的集中の向上を検証しなければならないため、実験に用いる知的作業はオフィスワークに必要とされる能力と同様の能力を必要とするものが望ましい。そこで本研究では、

[†] 和歌山大学大学院システム工学研究科, Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

[‡] 和歌山大学システム工学部, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University



図 1: 比較問題タスクの画面

オフィスワークで必要とされる言語処理能力、数字処理能力、比較判断能力を要求する知的作業として比較問題タスク [6] を使用する。図 1 にそのイメージを示す。比較問題では、画面左側の出題部分に 2 つの単語と 2 つの数字が表示される。被験者は、単語問題と数字問題の解答の組み合わせ 4 種から、正しい解答を選択する。単語問題は、2 つの単語が同じ意味カテゴリに属するかを、数字問題は 2 つの数字による不等式の正しさを解答する。

図 1 では、パンダとベッドを比べた際に意味カテゴリが動物と人工物であるため、異なると判断できる。さらに、不等式は左の数の方が大きいいため、不等号の向きは誤りである。そのため、この問題においては、左下の「異/誤」を選択するのが正答となる。

問題の難易度による回答時間の差を抑制するため、数字問題は 1 と 7 のような似た字形の数字の組み合わせが出ないようにする。また、単語比較問題に使用する単語は事前の聞き取り調査により検討を行ったうえで選出し、他の同音異義語と混乱しないような表記を使用する。

4.3 評価方法

楽曲の聴き心地や疲労度などの主観評価はアンケートなどにより調査し、知的集中の客観的評価には宮城ら [7] が提案する集中時間比率 CTR(Concentration Time Ratio) を用いる。

知的作業中の執務者の作業処理状態は「作業状態」「短期中断状態」「長期休息状態」の 3 つに分類する。作業状態は作業対象に注意が向いており、作業が進行している状態である。短期中断状態は作業対象に注意は向いているものの、無意識に作業が止まり、作業が進んでいない状態である。長期休息状態は作業対象に注意を向けず、作業が停止している状態である。さらにこの 3 つの作業状態について、作業対象に注意を向けている状態を「集中状態」、注意を向けていない状態を「非集中状態」と定義する。また、図 2 のように集中状態における作業状態と短期中断状態との遷移確率が一定のマルコフモデルを形成していると仮定すると、難易度が均一な認知タスク 1 問当たりの解答時間の頻度ヒストグラムは図 3 のようになる。このとき、長期休息が生じなかった設問の解答時間 t の頻度は式 (1) で表される対数正規分布 $f(t)$ で近似できる。なお、これは宮城らがモデルに従ってシミュレーションした結果および実際に収集した解答時間から導かれたものである。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \exp\left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (1)$$

ここで、対数正規分布 $f(t)$ の最頻値を μ 、標準偏差を σ としている。集中状態での解答 1 問当たりの平均回答時間は $f(t)$ の期待値 $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$ である。そのため、集中状態での合計回答時間 T_c は総解答数 N を用いて、式 (2) のように求めること

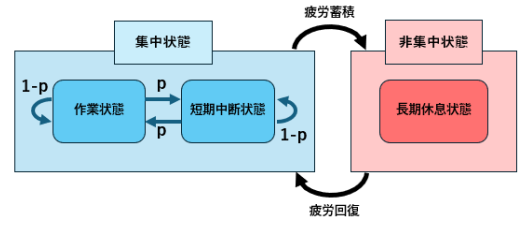


図 2: 集中の 3 状態遷移モデル

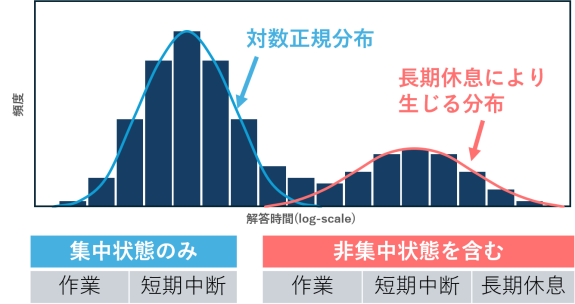


図 3: 解答時間ヒストグラムと集中時間

ができる。

$$T_c = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot N \quad (2)$$

したがって、式 (3) に示す CTR を知的集中の定量評価指標とする。なお、 T_{total} は知的作業の実施時間、 T_c は集中状態での合計解答時間であり、CTR は実施時間 T_{total} に対する集中状態の合計時間の割合である。

$$CTR = \frac{T_c}{T_{total}} \quad (3)$$

4.4 実験結果と考察

4.4.1 音環境への印象と疲労に関する主観評価

音の種類による知的集中や不快感を簡易的に検証することを目的として、2 名の被験者に対して小規模な実験を実施した。被験者 A は未加工の楽曲、楽曲を元にしたバイノーラルビート、楽曲なしの順で楽曲の条件を変更した。被験者 B は楽曲無し、未加工の楽曲、楽曲を元にしたバイノーラルビートの順でタスクを実施した。各条件のタスクの実施後に、アンケートへの回答を依頼した。アンケートの結果を表 1 に示す。

表 1 は音楽の有無による 3 項目の主観評価を 5 段階で示している。質問項目は快適である、集中しやすい、疲労感があるの 3 項目である。1 は該当しない、2 はやや該当しない、3 はどちらでもない、4 はやや該当する、5 は該当するに相当する。快適であるの項目が 1 の場合には快適でないとなり、疲労感が 1 の場合には疲れていない、と判断する。

音環境の快適さおよび集中のしやすさに関する評価において、楽曲を元にしたバイノーラルビートを提示した条件は、他の音環境条件と比較していずれの被験者においても相対的に低い評価を示した。音環境に対する自由記述回答には「4 分おきぐらいで特殊な音に集中を持っていかれた」「加工音が右側から強く感じて意識が右側に引っ張られた」などの意見が見られた。本条件では、楽曲全体に対して一律に 40Hz の周波数差が生じるよう処理を施しているが、楽曲中の音高は時間とともに変化し、高音域から低音域まで幅広く含まれている。一般に、

表 1: 音環境と疲労に関するアンケート結果

音環境	被験者 ID	快適である	集中しやすい	疲労感がある
楽曲を元にしたバイノーラルビート	A	2	3	2
	B	3	2	5
未加工の楽曲	A	4	4	3
	B	4	2	3
楽曲なし	A	3	4	3
	B	4	4	4

表 2: CTR 結果

音環境	被験者 ID	CTR
楽曲を元にしたバイノーラルビート	A	0.257
	B	0.961
未加工の楽曲	A	0.467
	B	0.964
楽曲無し	A	0.631
	B	0.915

同じ 40Hz の周波数差であっても、音高が低くなるほど音階上の間隔は大きく感じられる傾向がある。そのため、音高の差が知覚上のぼらつきとして現れ、違和感や注意の逸脱といった影響が生じ、集中の妨げとなった可能性が考えられる。

また、使用した楽曲がピアノ演奏のみで構成されていたことも、周波数差による違和感が強調される要因の一つであると考えられる。ピアノ音には明瞭な音高が含まれるため、音高の違いによる違和感が生じやすい。したがって、音源自体が快適さに影響を及ぼした可能性がある。

疲労感に関する評価は条件間でぼらつきが見られた。特に、楽曲を元にしたバイノーラルビートを提示した条件において、疲労感を 5 と回答した被験者から「それまでのセットで 40 分間集中したのでそれによる疲労の方が影響が大きかった」との自由記述回答が得られた。このことから、各条件の実施順序の影響が疲労感に反映されたことが示唆される。音環境の疲労感に対する影響をより正確に検討するためにはより多くの休憩時間を設ける必要があると考えられる。

4.4.2 比較問題タスク実施時の CTR

CTR の分析結果を表 2 に示す。解答時間の頻度分布を対数正規分布によって近似する際には、対数正規分布の右側の区間に長期休息が生じた場合の頻度分布が重畳される。そのため、解答時間が長いデータを除外し、長期休息の影響を受けにくい区間に限定して近似曲線を算出する必要がある。比較問題タスクは通常の集中状態であれば数秒以内で回答が可能と考えられることから、本実験では解答時間が 5 秒以内のデータのみに限定して近似曲線を求め、CTR を算出した。これにより、被験者 A については実施順に 85 件、78 件、53 件のデータを、被験者 B については 32 件、27 件、28 件のデータを除外した。

被験者 A は楽曲無し条件が最も高い値を、楽曲を元にしたバイノーラルビート条件が最も低い値を示した。被験者 A のアンケート評価における快適さの項目も同様の傾向が見られたことから、音環境の快適さが知的集中に影響を与えた可能性が考えられる。一方で、被験者 B はすべての条件において 0.9 を上回る結果となった。これはタスク実施時間の 9 割以上にわたって集中していたことを示している。CTR には明確な基準値は存在しないが、実験中において比較的一貫した集中状態が維持されていたと解釈できる。しかし、被験者 B の解答時間において、5 秒を超えるデータは全体の 1 割程度であったため、5 秒という閾値では長期休息の影響を十分に排除できなかった可能性がある。このことから、個人差を考慮したより厳

密な閾値設定手法の検討が必要であると考えられる。

5. おわりに

本研究では、リラックス音楽を音源に用いた 40Hz バイノーラルビートについて提案する。この手法により、不快感を抑えての知的集中の向上を目指す。簡易実験の結果、楽曲を元にしたバイノーラルビートは、快適性や集中のしやすさにおいて課題がある可能性が示唆された。今後は実験条件や分析方法の再検討、使用する楽曲の見直しを行った上で、被験者数を増やして検証を進める予定である。

参考文献

- [1] Wang et al. : The Effect of 40 Hz Binaural Beats on Working Memory, IEEE Access, Vol.10, pp.81556-81567, (2022).
- [2] 相馬ら：音楽環境の違いによる作業効率に関する人間工学的基礎研究, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.304, pp.43-46, (2005).
- [3] Wahbeh et al. : Binaural beat technology in humans: a pilot study to assess psychologic and physiologic effects, The Journal of Alternative and Complementary Medicine, Vol.13, pp.25-32(2007).
- [4] 辻村ら：教室内音環境が学習効率に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, Vol75, pp.561-568, (2010).
- [5] 井手 沙織：モーツァルト音楽による快適性の脳波変動への影響, 九州大学総合臨床心理研究, Vol.6, pp.3-15, (2014).
- [6] 上田ら：オフィス環境における知的集中計測のための認知課題の開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 論文集, pp.403-410, (2016).
- [7] 宮城ら：知的生産性評価のための集中指標の提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.16, No.1, pp.19-28, (2014).