

エネルギー科学研究所
エネルギー社会・環境科学専攻修士論文

題目： 音環境が知的集中に与える影響の
実験検討

指導教員： 下田 宏 教授

氏名： 松田 宅司

提出年月日： 平成30年2月13日(火)

目 次

第 1 章 序論	1
第 2 章 研究の背景と目的	3
2.1 研究の背景	3
2.2 既往研究	4
2.2.1 知的生産性に関する既往研究	4
2.2.2 音環境に関する既往研究	5
2.3 研究の目的	6
第 3 章 研究概要	7
3.1 評価対象とする音環境の選定	7
3.2 選定した音環境の実現案の策定	8
3.3 選定した音環境の実現案についての予備検討	9
3.3.1 予備検討の概要	9
3.3.2 予備検討の結果	9
3.3.3 音環境条件の改善	10
3.4 評価実験で検証する音環境条件の詳細	11
3.4.1 音楽環境	11
3.4.2 ノイズキャンセリング環境	12
3.4.3 オフィス環境	12
3.4.4 道路環境	12
第 4 章 知的集中の定量評価手法	13
4.1 集中時間を表す指標 CTR	13
4.2 集中の深さを表す指標 CDI	16
4.3 認知タスク	19
第 5 章 各音環境での知的集中評価実験	21
5.1 実験の目的と概要	21

5.2 実験方法	21
5.2.1 室内環境	21
5.2.2 提示する音環境条件	22
5.2.3 実験参加者	23
5.2.4 実験手順	27
5.2.5 測定項目	28
5.3 実験の結果	30
5.3.1 比較問題タスク実施時の CTR	37
5.3.2 比較問題タスク実施時の CDI	38
5.3.3 主観的疲労度・モチベーション	39
5.3.4 各音環境条件の主観評価	41
5.4 まとめと考察	41
5.4.1 各音環境条件間における比較	41
5.4.2 音楽の主観評価による違い	42
5.4.3 男女による違い	45
第 6 章 結論	52
謝 辞	54
参 考 文 献	55

図 目 次

2.1 Woods らによる拡張モデル ^[10]	4
4.1 知的集中の定量評価手法の概略	13
4.2 Card らの人間情報処理モデルのイメージ ^[20]	14
4.3 宮城らによる集中-非集中モデル ^[19]	15
4.4 集中時間比率 CTR	15
4.5 1つの対数正規分布では近似できない解答時間ヒストグラムの例	16
4.6 上田らによる作業集中モデル ^[22]	17
4.7 比較問題における集中の深さと解答時間のイメージ	18
4.8 集中の深さを表す指標 CDI	18
4.9 2つの集中状態に対応する対数正規分布の近似例	19
4.10 比較問題の提示インタフェース	20
4.11 経過時間による解答時間変化の一例	20
5.1 実験室の見取り図	22
5.2 実験風景	23
5.3 参加者席の位置と番号	24
5.4 実験プロトコル	27
5.5 基本属性アンケート	29
5.6 自覚症しらべの回答画面	31
5.7 経過アンケート	32
5.8 タスクアンケート	33
5.9 終了時アンケート 1 ページ目	34
5.10 終了時アンケート 2 ページ目	35
5.11 終了時アンケート 3 ページ目	36
5.12 各音環境条件下での CTR 平均値比較	37
5.13 各音環境条件下での CTR (正規化) 平均値比較	37
5.14 各音環境条件下での CDI 平均値比較	38

5.15 各音環境条件下での CDI（正規化）平均値比較	38
5.16 各音環境条件下での疲労度の主観評価の変化の平均値比較	39
5.17 各音環境条件下での疲労度の主観評価の変化（正規化）の平均値比較	39
5.18 各音環境条件下でのモチベーションの主観評価の変化の平均値比較	40
5.19 各音環境条件下でのモチベーションの主観評価の変化（正規化）の平均値比較	40
5.20 各音環境条件下での快適さの主観評価の平均値比較	41
5.21 各音環境条件下での集中しやすさの主観評価の平均値比較	42
5.22 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較	43
5.23 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CTR（正規化）平均値比較	43
5.24 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較	44
5.25 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CDI（正規化）平均値比較	44
5.26 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較	45
5.27 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CTR（正規化）平均値比較	46
5.28 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較	46
5.29 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CDI（正規化）平均値比較	47
5.30 男性参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較	47
5.31 男性参加者の各音環境条件下での CTR（正規化）平均値比較	48
5.32 男性参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較	48
5.33 男性参加者の各音環境条件下での CDI（正規化）平均値比較	49
5.34 女性参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較	49
5.35 女性参加者の各音環境条件下での CTR（正規化）平均値比較	50
5.36 女性参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較	50
5.37 女性参加者の各音環境条件下での CDI（正規化）平均値比較	51

表 目 次

3.1 予備検討で使用した音環境条件	9
5.1 各参加者席におけるオフィス騒音の等価騒音レベル実測値	24
5.2 各参加者の属性と提示される音環境の順番（グループ1）	25
5.3 各参加者の属性と提示される音環境の順番（グループ2）	25
5.4 各参加者の属性と提示される音環境の順番（グループ3）	26
5.5 各参加者の属性と提示される音環境の順番（グループ4）	26
5.6 実験参加者に配布した日程表	28
5.7 自覚症しらべでの質問項目 ^[24]	30
5.8 解析対象外とした実験参加者	30

第 1 章 序論

近年、日本では少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少によって、様々な業種において労働力不足が深刻となっている。また、長時間労働による過労死が社会問題となるなど労働環境の改善も求められている。そこで、機械やコンピュータで代替可能な単純労働については、無人化を進めることで労働生産性を高める取り組みが行われている。一方で、代替が難しいオフィスワークのような知的作業については、近年の情報化社会の進展もあって、より多くの労働力が必要な状況となっている。そのため、企業にとっては知的作業の効率化、すなわち知的生産性の向上が重要な課題となっている。

また、環境問題やエネルギー問題が深刻化する中、企業にも積極的な取り組みが求められている。日本では、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所での事故を受けて、日本中の原子力発電所が稼働できない状態に陥ったことで、多くの電力会社で深刻な電力不足を回避するために節電要請を出すなど、社会的にも節電や省エネルギーの必要性が意識されるようになった。オフィスにおいても、空調の設定温度の変更や照明の間引き、OA 機器のスタンバイモード利用などの節電活動が行われた^{[1][2]}。しかし、それらの節電活動はオフィスビル全体でのエネルギー消費量削減を目的としたものであり、その副作用としてオフィス環境の快適性が損なわれ、執務者の知的集中を妨げる恐れがある。オフィスにおける執務は、情報管理や情報処理といった知的作業が大半を占めているため、執務者の知的集中の低下はオフィスにおける知的生産性も低下させる可能性がある^[3]。それによって、執務者の労働時間が長くなれば、オフィスの稼働時間も長くなってしまうため、節電行動が結果的にエネルギー消費量も増加されることにもなりかねない。このように、省エネルギーの観点からも知的生産性の重要性が増している。

オフィス環境の構成要素の中で、知的生産性に影響を与えるものとしては温熱環境、照明環境、音環境、空気質環境などが挙げられる^[4]。音環境が執務者の快適性や作業効率に影響を与えてることは数多くの既往研究から明らかだが、実施する知的作業の種類と提示される音環境の組み合わせによってその影響は変化すると考えられる^[5]。また、それらの研究では執務者の主觀や単純な作業効率によって評価が行われており、音環境が知的集中に与える影響について客観的かつ定量的に評価した研究事例は報告されていない。

そこで、本研究では、様々な音環境について、知的集中にどのような影響を与えているのかという知見を得ることを目的とし、各音環境での被験者実験によって得られた知的集中の客観的かつ定量的な評価をもとに考察を行う。

本論文は第1章の序論を含めて、全6章で構成されている。第2章では、研究の背景と既往研究について述べたうえで、本研究の目的を述べる。第3章では、本研究において評価対象とする音環境の選定と、その音環境を実現する方法についての検討過程とその結果について述べる。第4章では、本研究で用いる知的集中の定量評価手法について述べる。第5章では、第3章で選定された音環境での知的集中評価実験とその結果について述べる。最後に、第6章では、本研究の結論と今後の課題について述べる。

第 2 章 研究の背景と目的

本章では、まず本研究の背景として近年のオフィスにおける省エネルギー活動が知的生産性に与える影響について述べる。次に、関連研究として、知的生産性や音環境に関する既往研究について述べたうえで、本研究の目的と意義を述べる。

2.1 研究の背景

近年、コスト削減や環境負荷の低減のために、省エネルギー活動に積極的に取り組む企業が増加している。特に日本では、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所での事故を受けて、日本中の原子力発電所が稼働できない状態に陥ったことで、多くの電力会社が電力不足を回避するために節電要請を出すなど、社会的にも節電や省エネルギーの必要性が意識されるようになった。その結果、国内全体のエネルギー消費量の減少傾向はさらに進んだが、事務所・ビルにおけるエネルギー消費量の削減はあまり進んでいない^[6]。そこで、経済産業省は空調の設定温度の変更や照明の間引き、OA機器のスタンバイモード利用などのオフィスビルにおける節電活動の推進を企業に要請している^{[1][2]}。しかし、それらの節電活動はオフィスビル全体でのエネルギー消費量削減を目的としたものであり、その副作用としてオフィス環境の快適性が損なわれ、執務者の知的集中を妨げる恐れがある。オフィスにおける執務は、情報管理や情報処理といった知的作業が大半を占めているため、執務者の知的集中の低下はオフィスにおける知的生産性も低下させる可能性がある^[3]。それによって、執務者の労働時間が長くなれば、その分の人工費が必要となるだけではなく、オフィスの稼働時間も増加し、却って多くのエネルギーを消費することにもなりかねない。また、昨今では長時間労働や労働者不足が社会問題化する中、より知的生産性の高いオフィス作りが求められている。

オフィス環境の構成要素の中で、知的生産性に影響を与えるものとしては温熱環境、照明環境、音環境、空気質環境などが挙げられる^[4]。音環境が知的集中に影響を与えることは数多くの既往研究によって示されている。しかし、それらの研究は執務者による主観的な評価を基にしているものがほとんどであり、音環境が知的集中に与える影響について客観的かつ定量的に評価した研究はこれまでに行われていない。

2.2 既往研究

2.2.1 知的生産性に関する既往研究

一般に生産性とは、インプットに対するアウトプットの比率を示す。中でも労働者数をインプット、一定期間内に生み出された付加価値をアウトプットとした場合の比率を労働生産性と呼び^[8]、労働効率を表す指標として広く用いられている。近年では、社会の情報化が進んだことで知的作業によって生み出される付加価値の重要性が増し、労働に占める知的作業の割合が増加したため、知的作業の生産性を示す知的生産性に関する研究が多くみられるようになった。しかし、知的作業にはアイデアの創造など、生み出される付加価値を定量的に評価しづらいものも多く、既往研究においても何をインプット、アウトプットとするのかの定義は様々であり、それぞれの知的生産性の意味合いは異なる^{[8][9]}。そこで、Woods らは既往研究をもとに知的作業に影響を与える要因を分析し、知的生産性は作業効率と経済的要因によって決定されるものと定義した^[10]。そのモデルを図 2.1 に示す。

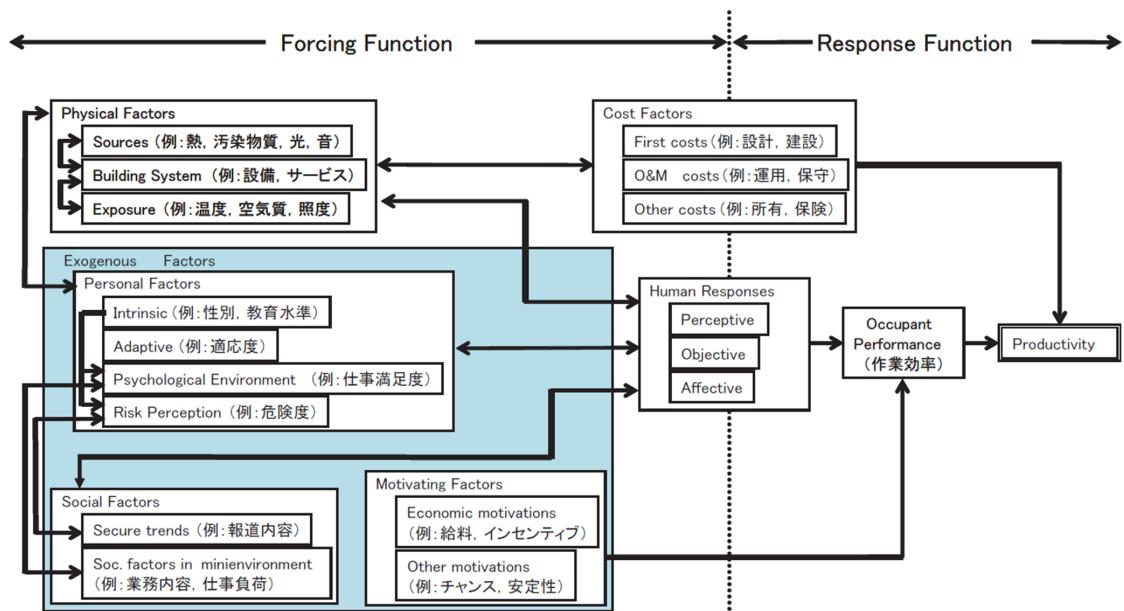


図 2.1: Woods らによる拡張モデル^[10]

このモデルでは、気温や音、光などの環境要素や建物の設備、サービスなどを含む物理的要因は、その環境への適応度や耐性などの個人特性による影響を受けたうえで、人間の心理的、生理的な反応を経由して、作業効率への影響を及ぼすとしている。一方で、給料やインセンティブ、チャンス、安定性といったモチベーション要因は直接的

に作業効率に影響を与えていているとしている。このように物理的要因やモチベーション要因によって影響を受ける作業効率と、設備の導入や保守にかかるコスト等の経済的要因によって、最終的な知的生産性が決定されるとしている。

本研究では、オフィスにおける作業環境によって執務者の知的生産性にどのような影響があるのかを評価することで、より知的生産性の高いオフィス環境について検討することを目的としている。そのため、本研究においては単位時間当たりの知的作業の量、つまり作業効率を知的生産性の定義とする。

2.2.2 音環境に関する既往研究

オフィスにおける音環境が執務者の知的作業の進行に影響を与えてることは数多くの既往研究によって報告されているが、実施する知的作業の種類と提示される音環境の組み合わせによって影響の大きさが異なることが示唆されている^[5]。

定常広帯域白色雑音が1桁加算作業に与える影響を調べた藤井らの研究では、雑音によって集中が妨げられることが執務者の主観評価によって示唆された^[11]。道路交通騒音の有無によって計算作業、記憶作業にどのような影響があるのかを調べた羽田らの研究では、計算作業においては道路交通騒音があることによって精神負荷が高くなり、作業への集中が阻害され、作業後の疲労度が高くなるといった悪影響が見られた一方、記憶作業における各指標には有意な差が見られなかった^[12]。これは、記憶作業においては騒音のない環境が静かすぎることによっても作業に悪影響を及ぼす可能性があることを示唆している。佐伯らの研究では、騒音を白色雑音や道路交通騒音といった無意味騒音と会話音などの有意味騒音に分類した場合、有意味騒音では低い音圧レベルであってもうるさく感じるなど無意味騒音に比べて心理的影響を与えやすいことが示唆されている^[13]。

また、音楽が知的作業に与える影響として有名なものに「モーツアルト効果」が挙げられる。Rauscher らによれば、モーツアルト作曲の「2台のピアノのためのソナタニ短調 K. 448」を聴くことで短時間ながら空間認知能力などが向上するとされている^[14]。ただし、「モーツアルト効果」については肯定または否定する研究結果が数多く報告されるなど、研究者間でもその存在が論争となっており、結論は出ていない。

相馬らの研究では、リラックス効果のある音楽を聴く環境において暗算課題の解答時間の短縮や正答率の向上などが見られ、作業効率の向上が示唆された^[15]。音環境とタイピング作業の効率について調べた岩城らの研究でも、緊張の程度を低く保つ音環境ではタイプミスが減少するなど作業効率の改善につながることが示唆されている^[16]。

2.3 研究の目的

以上の背景より、音環境が知的生産性に与える影響について調べた研究事例は多く存在するが、音環境が知的集中に与える影響について客観的かつ定量的に評価した研究は報告されていない。

そこで、本研究では、様々な音環境が知的集中にどのような影響を与えるのかという知見を得ることを目的とする。具体的には、オフィスでの知的集中に影響を与えると考えられる音環境において知的集中評価タスクを執務者に行ってもらう被験者実験を行い、各音環境下における知的集中を計測する。また、比較対象として標準的なオフィスにおける騒音を再現した環境でも同様の実験を行い、知的集中を計測することで、各音環境が知的集中に与える影響について客観的かつ定量的に評価する。

第 3 章 研究概要

本章では、まずオフィスにおける音環境が知的集中に与える影響に関する既往研究をもとに、本研究において評価・検証の対象とする音環境について選定を行う。続いて、選定した音環境について実験的に再現する方法を決定するための予備検討について述べ、本研究で行う評価実験での音環境の詳細について述べる。

3.1 評価対象とする音環境の選定

騒音と知的集中の関係について着目した既往研究として、藤井らの研究からは、白色雑音による騒音環境が執務者の集中を妨げることが示唆されている^[11]。また、羽田らの研究では、道路交通騒音環境においては作業への集中が阻害されるだけではなく、精神負荷や疲労感が増加するなどの悪影響も見られた^[12]。このことから、騒音を低減することで知的集中を促すことができると考えられる。その一方で羽田らの研究では、防音室内でパソコンの駆動音と執務者の作業音程度しか聞こえないような静かすぎる音環境についても知的集中への悪影響を与える可能性があると示唆しており^[12]、適度な騒音があることが集中につながるとも考えられる。

また、オフィスにみられる音環境として、BGM(Back Ground Music)が流れている環境についても検討する必要性があると考える。BGMには場所や状況に応じて様々な音楽が用いられているが、気分が向上するような曲よりもリラックスできるような曲を聴いた場合に知的集中が向上する可能性が示唆されている^{[15][16]}。佐伯らの研究^[13]では、騒音を工場騒音や道路交通騒音などの無意味騒音と、会話などの有意義騒音に分類したとき、無意味騒音と比較して有意義騒音は低い音圧レベル値であってもうるさく感じ、防音対策が難しいことから、適度な無意味騒音によって有意義騒音をマスキングすることで知的集中への悪影響を低減できる可能性があると示唆しており、音楽を聞くことがオフィス騒音のマスキングにもなると考えられる。

以上の文献調査の結果から、本研究では、知的集中を促す音環境として、

- (1) オフィス騒音を低減する環境
- (2) リラックス効果のある音楽によってオフィス騒音をマスキングする環境

について検証する。また、比較対象として、

(3) 一般的なオフィスにおける音環境

での知的集中も評価対象とする。また、知的集中にネガティブな影響を与えると考えられる

(4) オフィス騒音に加えて道路交通騒音にも曝される音環境

についても評価を行い、既往研究と矛盾しない結果が得られるか検証する。

3.2 選定した音環境の実現案の策定

最もオフィス騒音を低減できる方法として考えられるのは、防音室のように作業スペース全体を外部の音から遮蔽し、その中で作業を行う方法である。しかし、前述の羽田らの研究において、知的集中を促すためには過度に静かな環境を作る必要はないことが示唆されている^[12] うえに、導入コストが高く、防音工事を行う期間はオフィスの稼働が制限されるなど、この方法では費用対効果が低いと考えられる。次に考えられる方法として、執務者個人に届くオフィス騒音を低減することが考えられる。具体的には、執務者が耳栓やノイズキャンセリングヘッドホンを装着することで実現する。この方法では、導入コストが執務者の人数分必要となるものの比較的安価であり、大掛かりな工事なども必要がないため従来のオフィスにすぐに導入することができるといったメリットがある。デメリットとしては、耳栓やノイズキャンセリングヘッドホン装着していること自体による知的集中への影響が考えられるため、騒音を低減しない他の条件との比較において、純粋に音環境のみによる影響を評価することが難しいという点が挙げられる。そこで本研究では、オフィス騒音を低減する方法としてノイズキャンセリングヘッドホンを使用することとし、ヘッドホンを装着していること自体が知的集中に与える影響を相殺するために、全ての音環境条件でヘッドホンを装着することを前提に実現するものとした。ただし、オフィス騒音を低減する環境以外では、ノイズキャンセリング機能はオフの状態で使用するものとした。また、執務室内は一般的なオフィスにおける音環境を再現するものとした。

次に、オフィス騒音をマスキングするために使用する音楽について検討する。前述のように、リラックス効果のある音楽が適当であると考えられるが、同様の効果を意図した研究においても使用している音楽はそれぞれ異なっている。しかし、何らかのクラシック音楽が使用されている場合が多くみられる。また、クラシック音楽は精神

を落ち着かせる効果があるBGMとして、一般に用いられることも多い。クラシック音楽の中でも、特にモーツアルトの楽曲には高いリラックス効果があるとされていることも考慮に入れると、モーツアルト作曲のクラシック音楽を使用するのが妥当であると考えられる。また、マスキング効果を期待するのであれば、音の強弱が激しい曲や曲中に無音が続く場面がある曲などはあまり好ましくない。以上の要件を満たす楽曲として、本研究ではモーツアルト作曲の「2台のピアノのためのソナタ ニ短調 K.448」を使用することとした。「2台のピアノのためのソナタ ニ短調 K.448」という楽曲は、「モーツアルト効果」として知られる研究^[14]において使用されたものであり、その研究において空間認知能力などが向上することが示唆されている。

3.3 選定した音環境の実現案についての予備検討

3.3.1 予備検討の概要

予備検討では、複数の執務者が作業しており散発的に会話が発生する環境において、ノイズキャンセリングヘッドホンATH-ANC9で各音環境条件用の音声ファイルを再生しながら資料作成やデータ整理などの作業を行い、主観評価をしてもらった。各音環境条件におけるノイズキャンセリング機能（NC）の有無とヘッドホンで再生する音声ファイルについては、表3.1に示す。なお、音量調節は任意で行うものとし、音量による違いについても評価してもらった。

表 3.1: 予備検討で使用した音環境条件

音環境条件	NC	音声ファイル
ノイズキャンセリング	○	なし
音楽でマスキング	×	2台のピアノのためのソナタ ニ短調 K.448
一般的なオフィス	×	なし
道路交通騒音	×	録音された実際の道路交通騒音

3.3.2 予備検討の結果

ノイズキャンセリングのみの音環境条件では、空調機器やPCの駆動音などの定常に聞こえる騒音がほとんど聞こえなくなった一方、会話音やタイプ音などの不定期に聞こえる音はある程度聞こえるため、むしろそれが気になるといった感想が得られ

た。また、ノイズキャンセリングの際に発生する音自体が気になるという意見もみられた。この音環境条件では、オフィス環境における騒音を全体的に低減した状態を想定しており、一部の音が強調されたり、余計な音によって影響を受けることはあまり好ましくない。ノイズキャンセリング機能の特性は製品によって異なるため、本研究により適した特性を持つノイズキャンセリングヘッドホンに切り替えることで改善されると考えられる。

音楽によって騒音をマスキングする音環境条件については、音楽を聴くこと自体によって集中しやすくなるといった意見が見られた。また、マスキング効果によって会話音なども含めた周辺の騒音がほとんど気にならなくなるなど、他の条件よりも集中しやすいという意見が多くかった。この音環境条件については想定通りの結果が得られ、知的集中を促す効果がみられるのではないかと考えられる。また、ノイズキャンセリング機能をオンにした状態で音楽を聴くことで、さらに周囲の音が気にならなくなり、より集中しやすい環境にすることができると考えられる。

一般的なオフィスにおける音環境条件については、ノイズキャンセリング機能をオフにして、何も音声ファイルを再生していない状態のヘッドホンを装着しているだけだが、ヘッドホンを装着していない状態に比べて周囲の音が聞こえなくなったという意見が見られた。これは、一般的にノイズキャンセリングヘッドホンは密閉性が高く、ノイズキャンセリング機能をオフにしても物理的に遮音する効果が高いことによるものであると考えられる。

道路交通騒音に曝される音環境条件については、道路交通騒音自体にはストレスを感じ、集中を妨げるという印象を受けるが、音量を小さくした場合には音に対する不快感はあまり気にならなくなり、マスキング効果によってむしろ集中力が増すといった意見も見られた。この音環境条件は、知的集中にネガティブな影響を与える音環境を想定しているため、音量設定をある程度大きくする必要があることが分かった。ただし、過度の大音量での実験は実験参加者に聴覚障害等の健康被害を招く危険性があることに注意する必要がある。

3.3.3 音環境条件の改善

3.3.2 項の予備検討の結果を受けて行った各音環境条件の改善内容について述べる。

ノイズキャンセリングヘッドホンについては、複数のノイズキャンセリングヘッドホンを実際に使用して、ノイズキャンセリング時に発生する音の大きさやノイズキャンセリング自体の性能について確認を行った。その結果、評価実験では WH-1000XM2

を使用することとした。また、WH-1000XM2には外音取り込み機能があり、この機能を使用することでヘッドホンを装着していない状態に近い音量で周囲の音を聞くことができる。そこで、ノイズキャンセリング機能を使用しない音環境条件では、ノイズキャンセリング機能をオフにするだけではなく、外音取り込み機能を使用することとした。

また、音楽によって騒音をマスキングする音環境条件については、より知的集中を促すことができると考えられるノイズキャンセリング機能をオンにした状態で音楽を聴く音環境条件を評価実験の検証対象とすることとした。

道路交通騒音の音量は、どの程度の大きさまでが許容範囲となるのかについて文献調査を行ったところ、厚生労働省の定める「騒音障害防止のためのガイドライン」において等価騒音レベル85dB以上の場合には保護具の使用や標識の設置などの騒音対策が求められることが分かった。そこで、評価実験における道路交通騒音は、等価騒音レベル80dB相当になるように設定するものとした。また、道路交通騒音として再生する音声ファイルは、録音された1分程度の道路交通騒音3種類をつなぎ目がわからないように加工して複数組み合わせることで作成した。これによって、タスク時間中は継続的に道路交通騒音に曝される音環境実現できる。

また、オフィス騒音については、評価実験では実験室の四隅に設置したスピーカーから出力するものとし、各実験参加者席において、騒音基準における騒がしいオフィスと同等の等価騒音レベル70dB程度となるよう調整するものとする。

3.4 評価実験で検証する音環境条件の詳細

予備検討の結果、本研究では下記の4つの音環境条件について評価実験を行うこととする。

3.4.1 音楽環境

この音環境条件では、各参加者席において等価騒音レベル70dB程度になるようスピーカーから出力されたオフィス騒音の中で、ノイズキャンセリング機能をオンにした状態のヘッドホンで「2台のピアノのためのソナタ ニ短調 K.448」を聴きながら作業を行う。

3.4.2 ノイズキャンセリング環境

この音環境条件では、各参加者席において等価騒音レベル 70dB 程度になるようスピーカーから出力されたオフィス騒音の中で、ノイズキャンセリング機能をオンにした状態のヘッドホンで音声ファイルは何も再生せずに作業を行う。

3.4.3 オフィス環境

この音環境条件では、等各参加者席において等価騒音レベル 70dB 程度になるようスピーカーから出力されたオフィス騒音の中で、外音取り込み機能をオンにした状態のヘッドホンで音声ファイルは何も再生せずに作業を行う。

3.4.4 道路環境

この音環境条件では、各参加者席において等価騒音レベル 70dB 程度になるようスピーカーから出力されたオフィス騒音の中で、外音取り込み機能をオンにした状態のヘッドホンで等価騒音レベル 80dB 相当の道路交通騒音を聴きながら作業を行う。

第 4 章 知的集中の定量評価手法

本章では、本研究で用いる知的集中の定量評価手法について述べる。その概略を図 4.1 に示す。まず、本研究で用いる知的集中の定量評価指標とその算出方法について述べ、それらを算出するために実験参加者に行ってもらう認知タスクについて述べる。

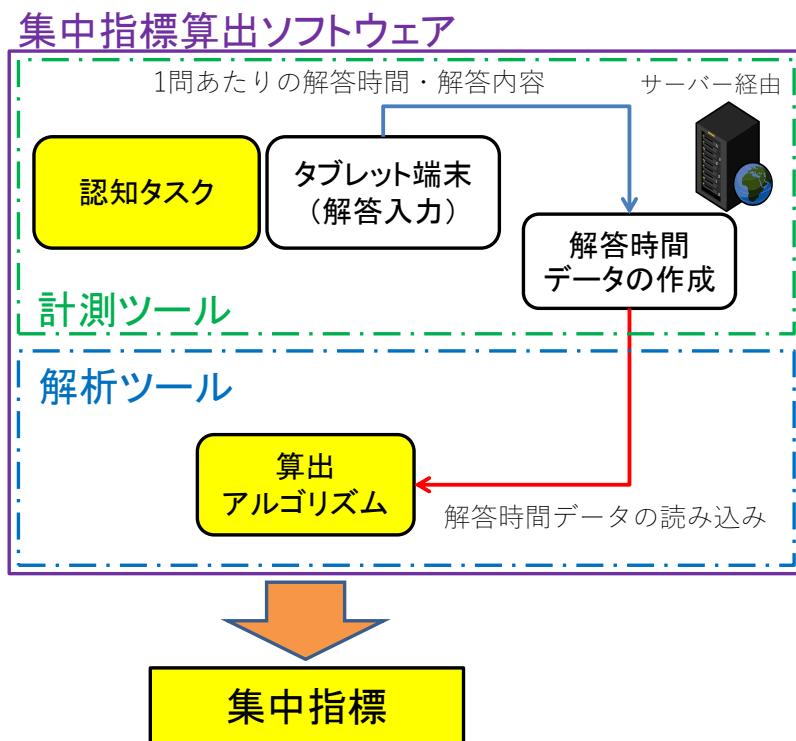


図 4.1: 知的集中の定量評価手法の概略

4.1 集中時間を表す指標 CTR

宮城らは図 4.2 に示す Card らが考案した人間情報処理モデル^[17]を参考に、知的作業中の執務者の作業処理状態を「作業状態」「短期中断状態」「長期休息状態」の 3 つに分類した^[18]。「作業状態」は、作業対象に注意が向いており、作業自体も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が、無意識に作業を中断てしまっている状態である。「長期休息状態」は、作業対象に注意を向けず、疲労回復などのために意識的に作業を中断している状態である。さらにこの 3 つの作

業処理状態について、作業対象に注意を向けているかに着目して、「作業状態」と「短期中断状態」を集中状態、長期休息状態を非集中状態と定義したのが、図4.3に示す集中-非集中モデルである^[19]。

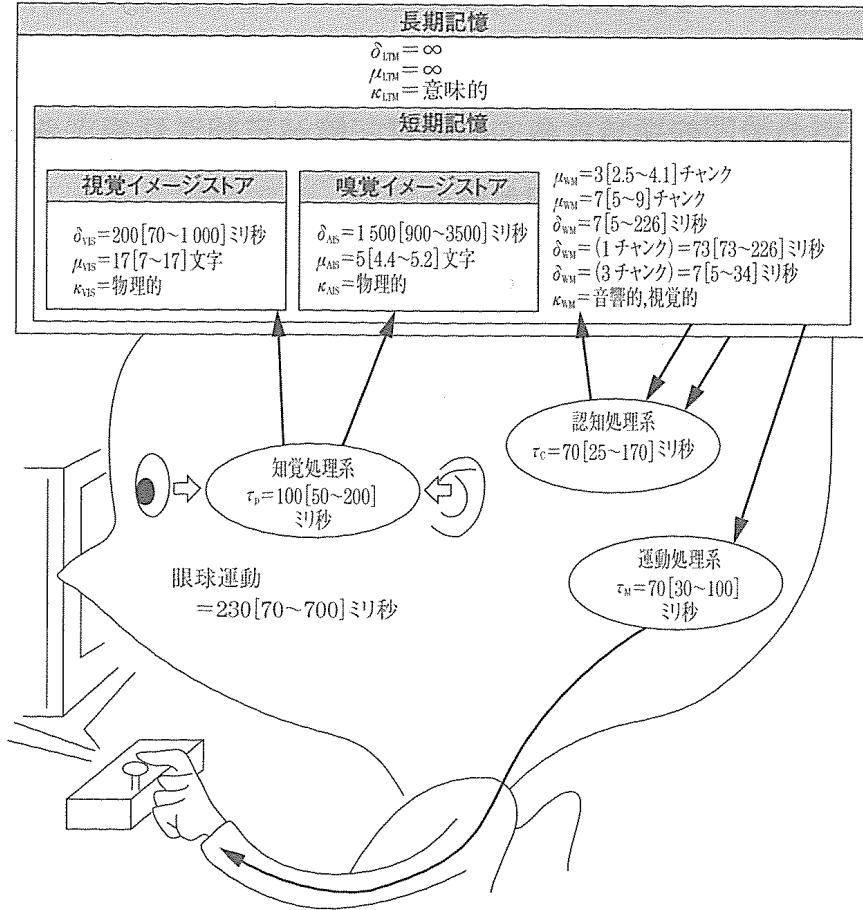


図 4.2: Card らの人間情報処理モデルのイメージ^[20]

また、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、図4.4のように、難易度が均一な認知タスク1問当たりの解答時間 t の頻度ヒストグラムは、式4.1で表される対数正規分布 $f(t)$ で近似できる。

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \exp \left[-\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \cdot p \quad (4.1)$$

なお、対数正規分布 $f(t)$ の最頻値を e^μ 、標準偏差を σ としている。集中状態の合計時間 T_c は $f(t)$ の期待値 $\exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})$ と総解答数 N を用いて、式4.2のように求めることができる。

$$T_c = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot N \quad (4.2)$$

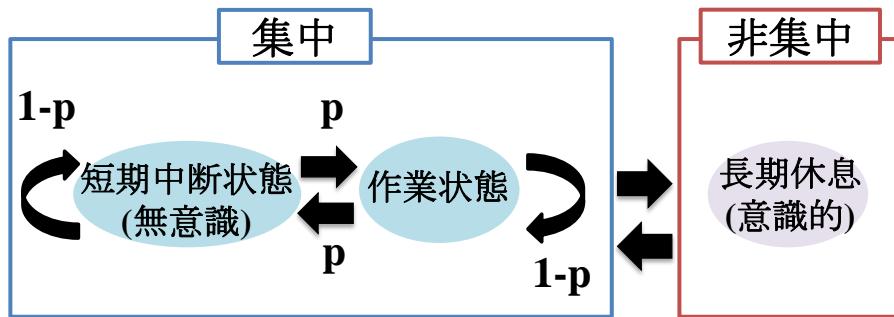


図 4.3: 宮城らによる集中-非集中モデル^[19]

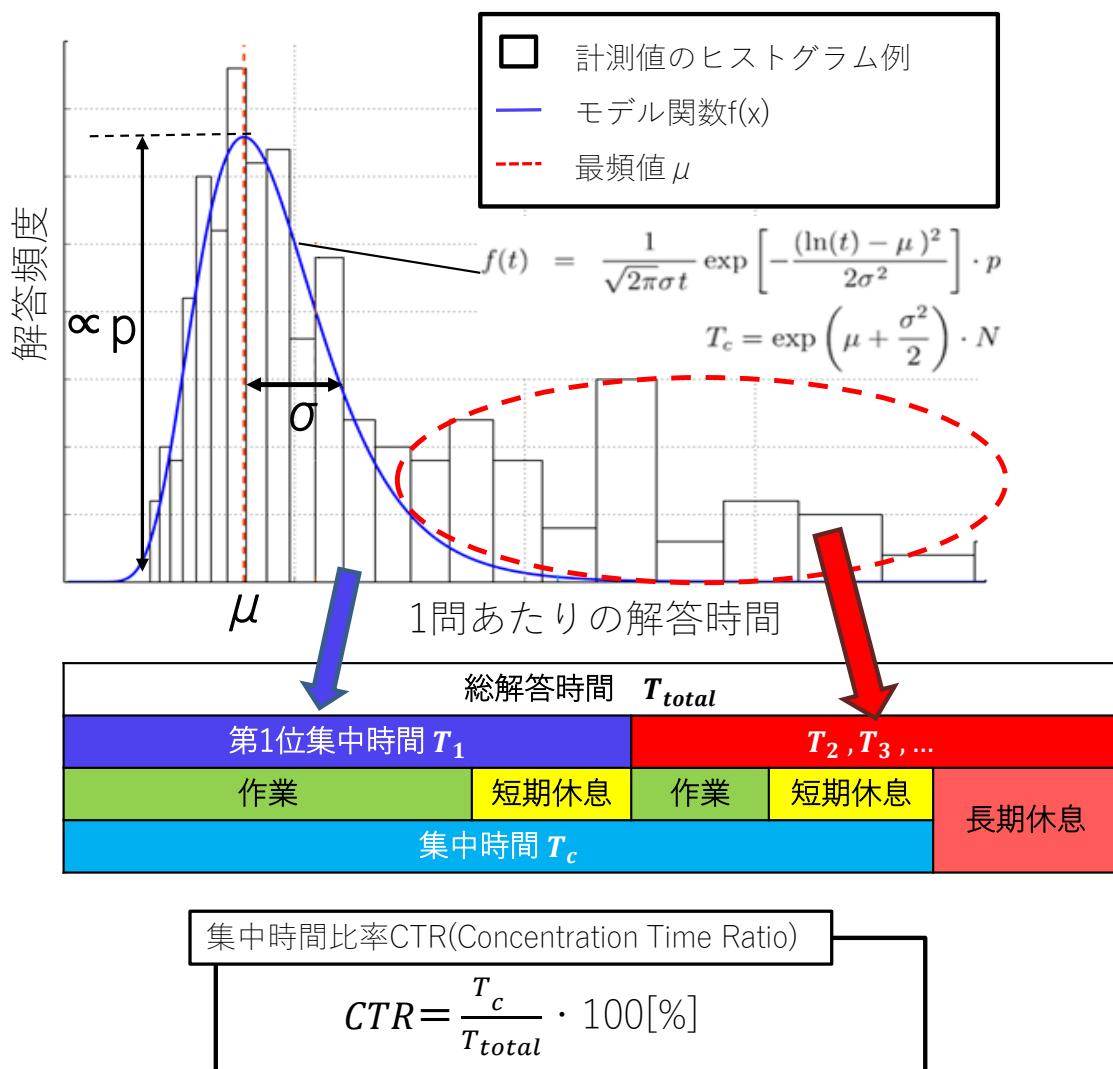


図 4.4: 集中時間比率 CTR

したがって、式 4.3 に示すように、認知タスクの実施時間 T_{total} に対する集中状態の合計時間 T_c の比率を集中時間比率 CTR (Concentration Time Ratio) と定義することで、オフィスにおける知的集中の定量評価指標として求めることができる。

$$CTR = \frac{T_c}{T_{total}} \quad (4.3)$$

4.2 集中の深さを表す指標 CDI

前節で述べた CTR の算出過程に用いられている 3 状態集中モデルでは、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であると仮定することで、集中状態での解答時間を 1 つの対数正規分布で表現している。しかし、実際の実験結果から得られた解答時間のヒストグラムでは、図 4.5 のように集中状態として近似された対数正規分布の他にも同様の分布が見られることも多い。また、執務者は認知資源を様々な手法で活用していることが示唆されており^[21]、作業にどの程度の認知資源を割いているか、つまり作業に対する集中の深さは変化するものと考えられる。

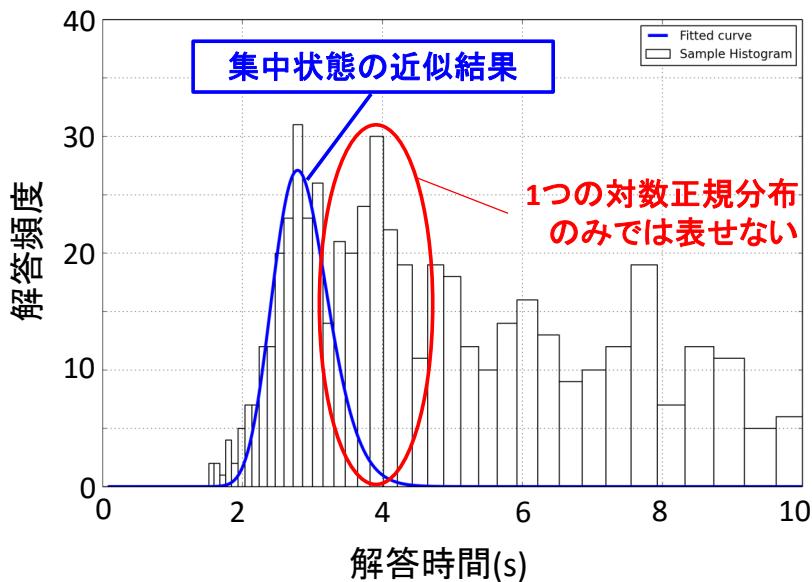


図 4.5: 1 つの対数正規分布では近似できない解答時間ヒストグラムの例

そこで、上田らは 3 状態集中モデルに集中の深さの概念を加え、図 4.6 に示す新たな作業集中モデルを提案した^[22]。このモデルでは、3 状態集中モデルにおける集中状態を集中の深さに応じて第 1 位集中状態、第 2 位集中状態、第 3 位集中状態、…と複数に

分割し、それぞれの集中状態ごとに遷移確率が一定のマルコフモデルを形成すると定義している。

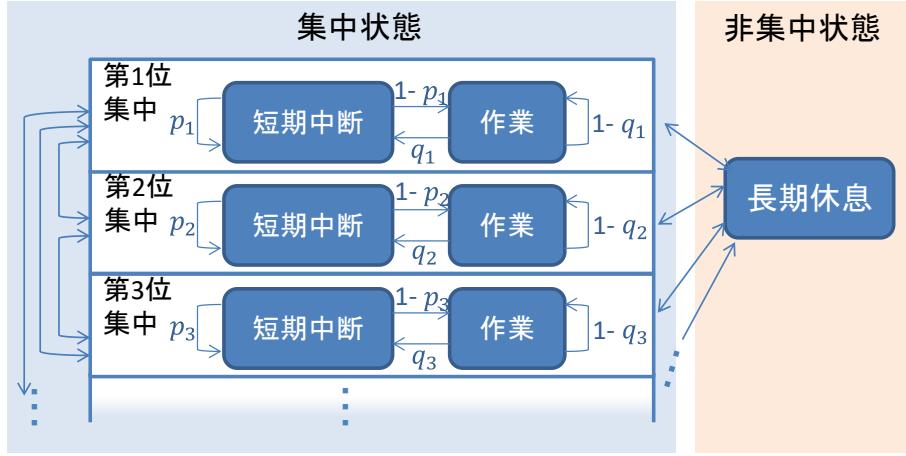


図 4.6: 上田らによる作業集中モデル^[22]

比較問題の解答時間ヒストグラムにおける各集中状態の分類イメージを図 4.7 に示す。第 1 位集中状態は最も深い集中状態であり、執務者の多くの認知資源が作業対象に割かれている状態を表す。具体的には、周囲の環境や疲労感といった作業以外の要素に注意を奪われずに、没頭して作業を進めることができるような集中状態を表す。第 2 位集中状態では、認知資源の一部が作業対象以外に割かれており、執務者は作業に意識を集中させようとしているが音や光などの周囲の要因に注意を奪われている場合や、あまり意識を集中させようとせずに作業を進めている場合などに見られる集中状態である。第 3 位以降のさらに浅い集中状態では、認知資源を作業対象にほとんど割いておらず、作業に対する意識が散漫になっている状態であると考えられるが、実際の実験データでは長期休息状態との区別が困難なほどに情報処理が遅く、知的集中の評価に与える影響も十分に小さいと考えられるため、非集中状態とみなして解析する。

この作業集中モデルをもとに考案された集中の深さを表す指標 CDI(Concentration Depth Index) の概要を図 4.8 に示す。また、CDI の算出手順について以下に述べる。まず図 4.9 に示すように、解答時間ヒストグラムから第 1 位集中状態と第 2 位集中状態に対応する対数正規分布 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ の近似を行い、解答時間データを第 1 位集中状態、第 2 位集中状態、非集中状態の 3 つに分別する。各集中状態での解答数 N_1 、 N_2 と、式 4.4 で算出される解答時間期待値 E_1 、 E_2 を用いて、各集中状態の合計時間 T_1 、 T_2 は式 4.5 で算出される。

$$E_i = \exp \left(\mu_i + \frac{\sigma_i^2}{2} \right) \quad (i = 1, 2) \quad (4.4)$$

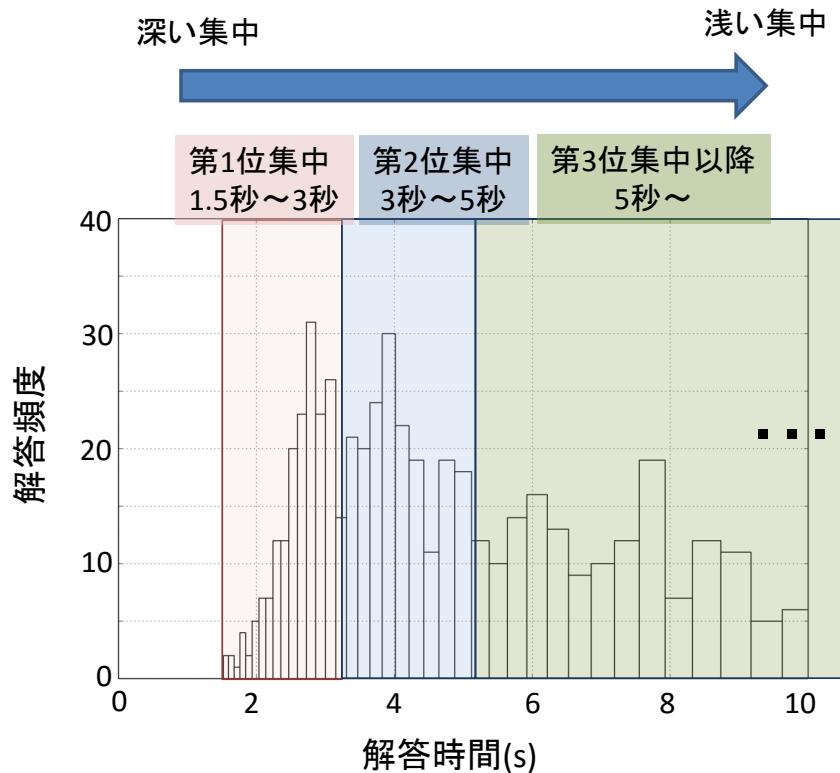


図 4.7: 比較問題における集中の深さと解答時間のイメージ

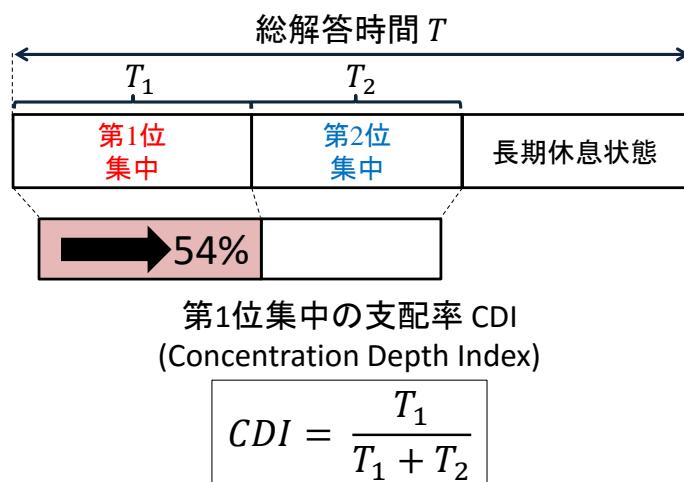


図 4.8: 集中の深さを表す指標 CDI

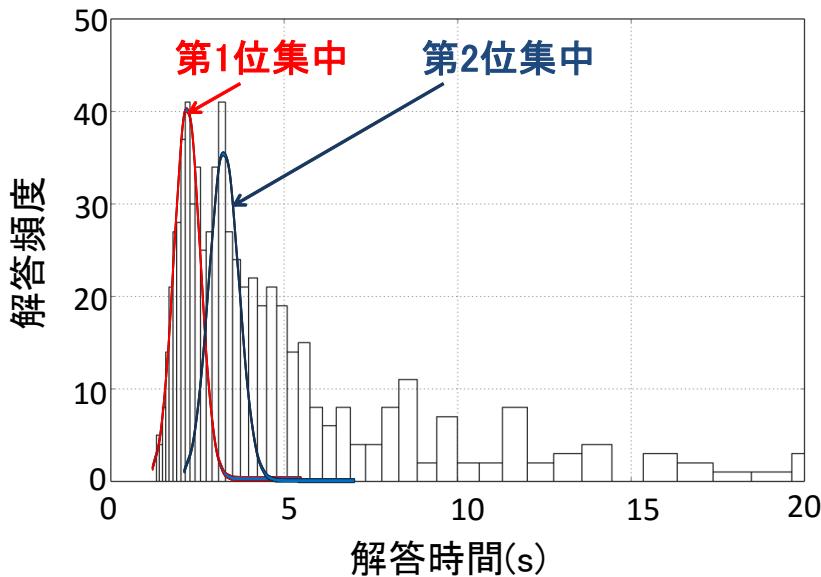


図 4.9: 2 つの集中状態に対応する対数正規分布の近似例

$$T_i = E_i \cdot N_i (i = 1, 2) \quad (4.5)$$

集中の深さを表す指標 CDI は、集中時間全体において第 1 位集中状態の時間が占める割合を示し、式 4.6 によって算出される。

$$CDI = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad (4.6)$$

4.3 認知タスク

本研究では、主にオフィスにおける知的集中を評価することを目的としている。そのため、実験に用いる認知タスクはオフィスにおける知的作業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。また、1 問当たりの解答時間をもとに知的集中を算出するため、難易度が均一な問題を実験時間内により多く解答できる認知タスクが望ましい。そこで本研究では、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認知タスクとして本研究室で開発した比較問題タスク^[23]を使用する。比較問題タスクの概要について図 4.10 に示す。

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。これは、2 つの単語が同じ意味カテゴリーに属するかどうかを比較する問題と、2 つの数字の大小を比較して不等式が正しいかどうかを判断する問題であり、それらの解答を画面右側の 4 つのボタンから選択する問題である。問題の解答時間は集中の度合いに依

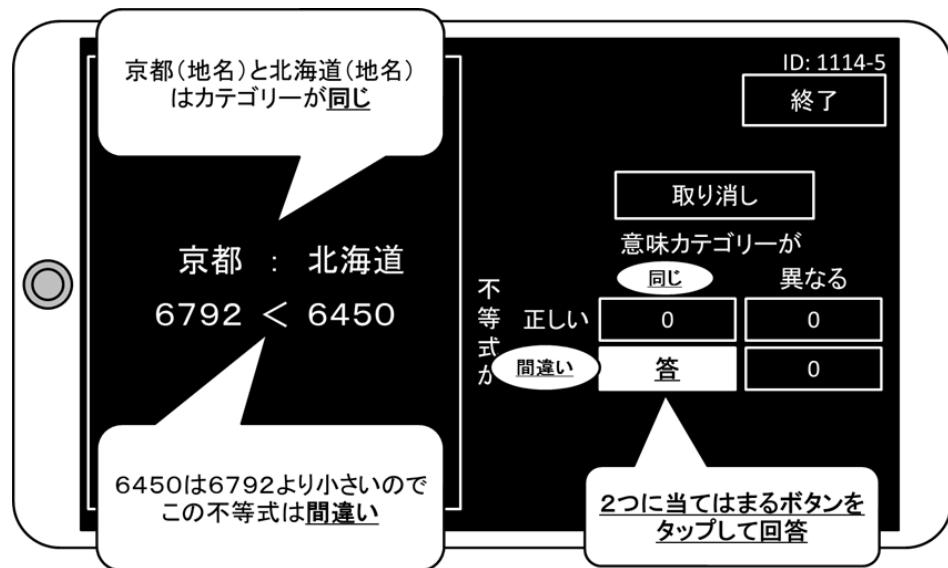


図 4.10: 比較問題の提示インタフェース

存するものと考えられ、図 4.11 のようにタスク中の経過時間によって集中状態がどのように変化しているかを見ることができる。

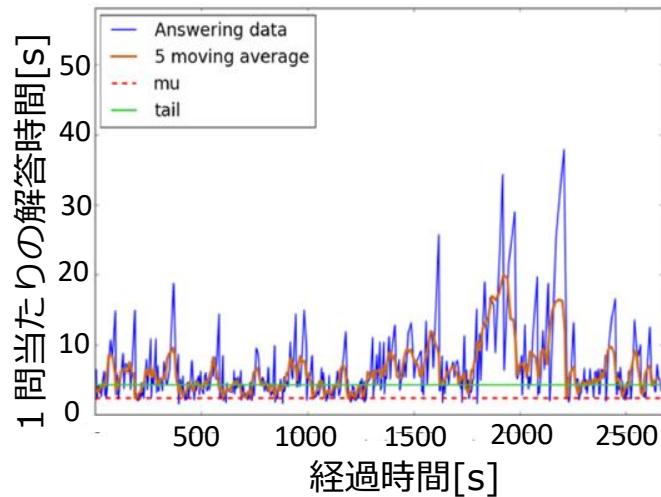


図 4.11: 経過時間による解答時間変化の一例

第 5 章 各音環境での知的集中評価実験

本章では、3 章で選定された 4 種類の音環境条件が知的集中に与える影響について、4 章で述べた定量評価手法を用いて検証する評価実験について述べる。まず実験の目的と概要について述べ、実験の方法について説明した後に、その結果と考察を述べる。

5.1 実験の目的と概要

本評価実験は、3.4 節で選定された 4 種類の音環境条件が知的集中に与える影響について、客観的かつ定量的に評価し、比較検討することを目的とする。実験には健康な学生 32 名が参加し、京都大学総合研究 10 号館 010 号室において 2017 年 12 月 12 日～12 月 19 日に被験者実験を行った。各音環境条件については、実験室内に設置されたスピーカーと実験参加者に装着してもらったノイズキャンセリングヘッドホンを用いて実現するものとした。

5.2 実験方法

5.2.1 室内環境

本実験における執務環境について、実験室のレイアウトを図 5.1 に示す。また、実験中の作業風景を図 5.2 に示す。実験室は中央の高さ 1650mm のパーティションで 2 つに分割し、両側にそれぞれ実験参加者席を 4 つずつ配置した。各実験参加者席の正面に高さ 1200mm のパーティションを設置することで、前方に座っている実験参加者の様子が気にならないようにした。また、各実験参加者の作業スペースを確保するために、実験者席の両隣には高さ 900mm のパーティションを設置した。外光による影響を避けるために実験室の窓は遮光し、机上面での照明の反射による影響を減らすために作業机上にはアンチグレアの灰色の布を敷いた。また、実際のオフィスの机で作業する際に感じる視覚ノイズを再現するために、20 冊程度の書籍を作業机上に配置した。また、室内の温度にむらが生じたり、空気がよどむのを防ぐために、実験室の四隅に設置したサーチュレーターで空気を循環させた。その他の室内環境は、音環境以外の要素に

による影響を極力排除するように、標準的なオフィス環境に準じた設定で統一するものとした。具体的には、実験中は下記の条件を維持するよう調整するものとした。

- 室温 $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- 湿度 $40 \pm 10\%$
- CO_2 濃度 1000ppm 以下
- 机上面照度 $700 \pm 20\text{lux}$

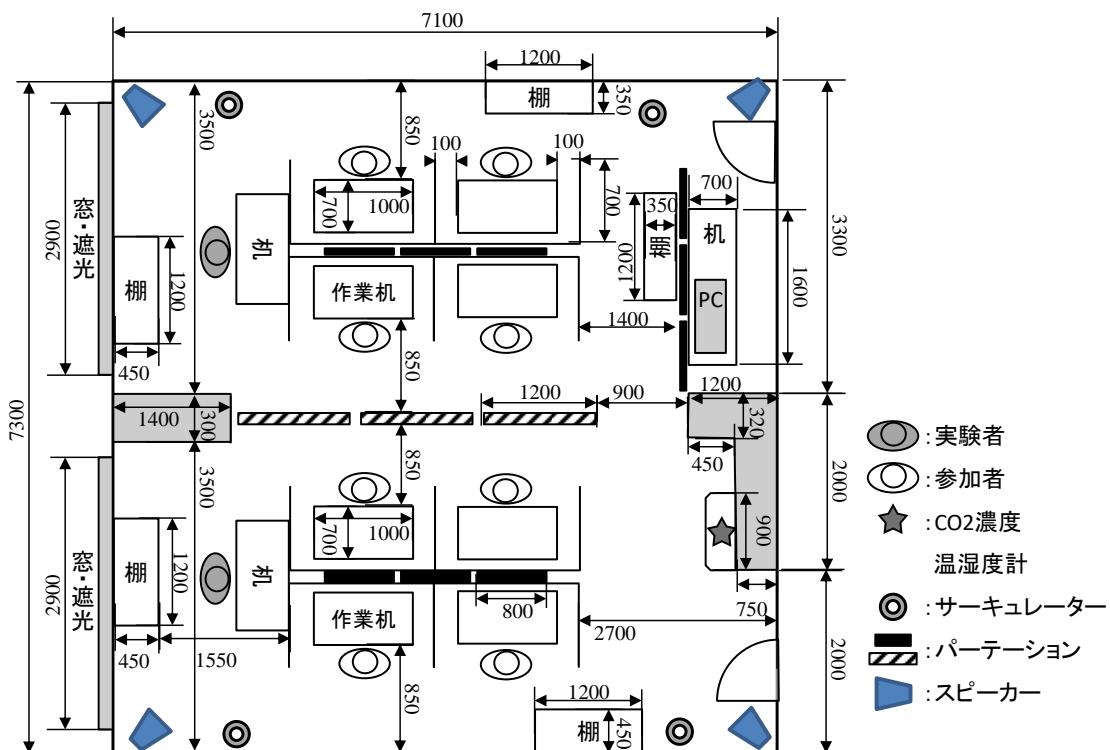


図 5.1: 実験室の見取り図

5.2.2 提示する音環境条件

本実験では下記の4つの音環境条件を各実験参加者に提示した。各音環境条件の詳細については、3.4節で述べたものと同様である。

- クラシック音楽によるマスキングとノイズキャンセリングでオフィス騒音を低減する音環境（以下、音楽環境）



図 5.2: 実験風景

- ノイズキャンセリングのみでオフィス騒音を低減する音環境（以下、NC 環境）
- 一般的なオフィスにおける騒音環境（以下、オフィス環境）
- オフィス騒音に加えて道路交通騒音に曝される音環境（以下、道路環境）

ただし、疲労や習熟といったタスクを実施した順序による影響を少なくするため、各音環境条件の提示順は実験参加者ごとに変更し、なるべくカウンターバランスがとれるようにした。

また、図 5.3 に位置と番号を示した各参加者席において、スピーカーから出力されたオフィス騒音を計測した結果を表 5.1 に示す。

5.2.3 実験参加者

実験参加者は健康な男子学生 21 名、女子学生 11 名の計 32 名（19~25 歳、平均 21.4 歳）で、各グループ 8 名ずつで計 4 グループに分けて実験を行った。なお、実験参加者には応募する際に、実験で実施するものと同様の比較問題タスクを行ってもらい、その成績によってスクリーニングを行った。これは、実験者の教示に従って実験に取り組んでもらえる参加者であるかを事前に確認するとともに、比較問題タスクへの習熟を促すことを目的としている。具体的には、実験応募者には PC または携帯端末からアクセスできる Web サイト上で比較問題タスクの説明ページを参照した後に、解答ページで 20 分間の比較問題タスクを行ってもらった。その際の解答データについて、以下に示す基準を全て満たす応募者を先着順で採用した。

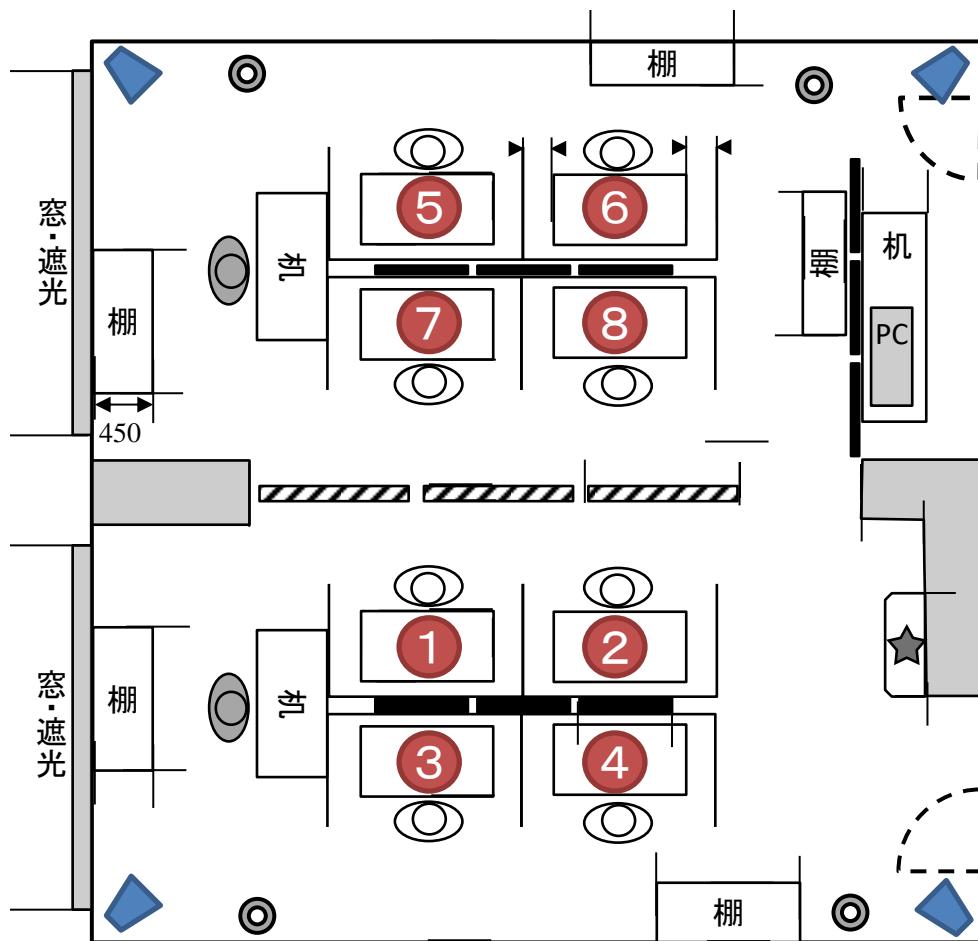


図 5.3: 参加者席の位置と番号

表 5.1: 各参加者席におけるオフィス騒音の等価騒音レベル実測値

参加者席 No.	等価騒音レベル (dB)	最大値 (dB)	最小値 (dB)
1	68.7	79.2	62.4
2	67.7	77.8	61.1
3	69.3	78.0	63.0
4	68.3	77.3	61.7
5	68.2	76.2	62.6
6	67.9	73.3	61.6
7	67.8	79.5	61.5
8	68.0	79.5	62.3
平均	68.2	77.6	62.0

参加者席 No.	等価騒音レベル (dB)	最大値 (dB)	最小値 (dB)
1	68.7	79.2	62.4
2	67.7	77.8	61.1
3	69.3	78.0	63.0
4	68.3	77.3	61.7
5	68.2	76.2	62.6
6	67.9	73.3	61.6
7	67.8	79.5	61.5
8	68.0	79.5	62.3
平均	68.2	77.6	62.0

- 20分間のタスクを最後まで実施している
- 総解答数が100問以上
- タスク中に3分以上の中断がない
- 正答率が90%以上

各実験参加者の性別、年齢、提示される音環境の順番について、表5.2、5.3、5.4、5.5に示す。

表5.2: 各参加者の属性と提示される音環境の順番（グループ1）

実験実施日	参加者 No.	性別	年齢	SET1	SET2	SET3	SET4
12月12日	1	男	19	音楽	N C	オフィス	道路
	2	男	21	音楽	オフィス	道路	N C
	3	女	19	音楽	オフィス	N C	道路
	4	女	22	音楽	N C	道路	オフィス
	5	男	24	音楽	道路	N C	オフィス
	6	男	20	音楽	道路	オフィス	N C
	7	男	21	N C	音楽	オフィス	道路
	8	男	19	N C	音楽	道路	オフィス

表5.3: 各参加者の属性と提示される音環境の順番（グループ2）

実験実施日	参加者 No.	性別	年齢	SET1	SET2	SET3	SET4
12月13日	9	男	23	N C	オフィス	道路	音楽
	10	男	23	N C	道路	音楽	オフィス
	11	男	24	オフィス	N C	音楽	道路
	12	男	20	オフィス	N C	道路	音楽
	13	女	23	N C	道路	オフィス	音楽
	14	女	22	N C	オフィス	音楽	道路
	15	男	21	オフィス	音楽	N C	道路
	16	男	25	オフィス	道路	音楽	N C

表 5.4: 各参加者の属性と提示される音環境の順番 (グループ 3)

実験実施日	参加者 No.	性別	年齢	SET1	SET2	SET3	SET4
12月14日	17	男	20	道路	音楽	N C	オフィス
	18	男	20	道路	オフィス	音楽	N C
	19	男	20	道路	オフィス	N C	音楽
	20	男	21	道路	N C	オフィス	音楽
	21	女	24	オフィス	道路	N C	音楽
	22	女	20	オフィス	音楽	道路	N C
	23	男	21	道路	N C	音楽	オフィス
	24	女	19	道路	音楽	オフィス	N C

表 5.5: 各参加者の属性と提示される音環境の順番 (グループ 4)

実験実施日	参加者 No.	性別	年齢	SET1	SET2	SET3	SET4
12月19日	25	男	19	オフィス	N C	道路	音楽
	26	男	19	オフィス	道路	音楽	N C
	27	男	21	N C	道路	音楽	オフィス
	28	男	24	道路	オフィス	音楽	N C
	29	女	23	N C	オフィス	音楽	道路
	30	女	20	音楽	オフィス	N C	道路
	31	女	25	道路	音楽	オフィス	N C
	32	女	23	道路	N C	音楽	オフィス

5.2.4 実験手順

本評価実験における実験プロトコルを図 5.4 に示す。1回のタスク時間は 20 分とし、計 5 回の比較問題タスクを行った。1 回目を練習とし、SET1～4 にはそれぞれ異なる音環境条件で比較問題に解答してもらった。各タスクの前後には疲労感やモチベーション、音環境の印象などを問うアンケートに回答してもらった。各タスク間には 10 分間の休憩を設けた。

なお、実験の最後に行うタスクでは終末効果によってモチベーションが向上するなどの影響が考えられるため、これを回避するために、実験参加者に配布した資料には SET4 の後に休憩をはさんで SET5 を行う予定とした表 5.6 に示す日程表を記載した。実際の実験時には SET4 後のアンケート回答終了時に SET5 を実施しない旨を伝えることとした。

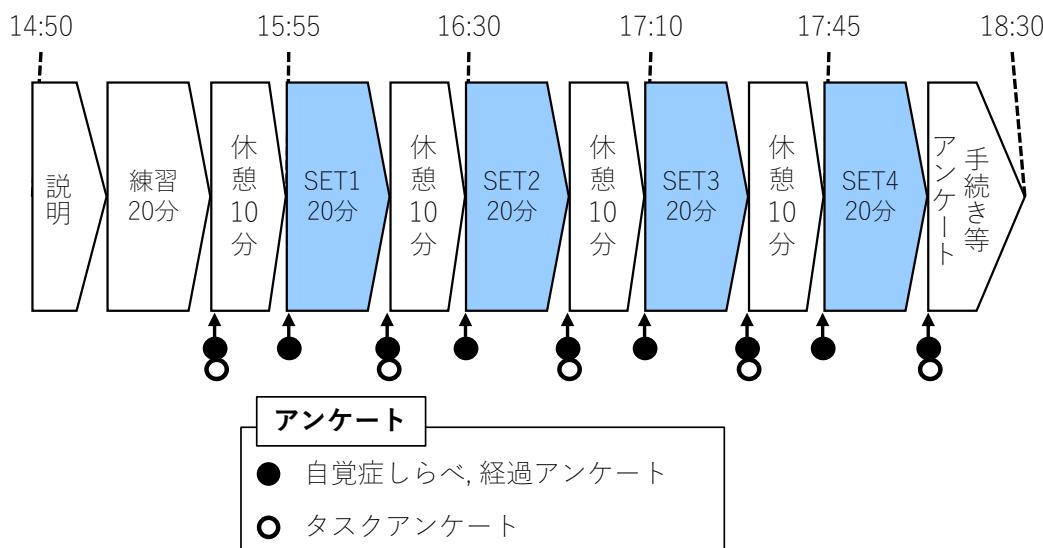


図 5.4: 実験プロトコル

また、各タスク開始時には実験参加者に対して、以下のような教示を行った。

- 間違えないように注意しながらもなるべく早く解答すること
- 実験中は休憩時間も含めて眠らないこと
- 休憩時間以外に席を立たないこと
- タスク以外の作業をしないこと
- ヘッドホンに触れないこと

表 5.6: 実験参加者に配布した日程表

時間	業務内容	アンケート	
		タスク前	タスク後
14:45	集合		
15:00	実験説明		
15:10	作業説明・練習（20分間）		① ② ③
15:40	休憩(10分間)		
15:50	比較問題 SET1 (20分間)	① ②	① ② ③
16:15	休憩(10分間)		
16:25	比較問題 SET2 (20分間)	① ②	① ② ③
16:50	休憩(10分間)		
17:00	比較問題 SET3 (20分間)	① ②	① ② ③
17:25	休憩(10分間)		
17:35	比較問題 SET4 (20分間)	① ②	① ② ③
18:00	休憩(10分間)		
18:10	比較問題 SET5 (10分間)	① ②	① ② ③
18:25	終了時アンケート・謝礼金手続き		
18:45	解散		

また、生活統制として以下のようないい教示を実験前日と実験開始時に行った。

- 睡眠時間を十分とること
- 実験当日は激しい運動を控えること
- 実験中は配布される飲料水以外を摂取しないこと

5.2.5 測定項目

4章で述べた知的集中の定量評価手法を用いて、各音環境条件での集中時間比率CTR^[19]と集中の深さを表す指標CDI^[22]を算出し、評価を行った。また、客観評価指標であるCTR、CDIに寄与する心理生理的要因や個人の属性を分析するとともに、既往研究における知見との整合性について考察するために、計5種類のアンケートを行った。まず実験開始前に、実験参加者個人の属性や、睡眠時間などの作業成績に影響を与える可能性がある要素を聞く基本属性アンケートを行った。その内容を図5.5に示す。なお、音環境に関する個人属性についてのアンケートは、質問することによって実験に対する先入観を持ってしまい、結果に影響を及ぼす可能性があるため、実験終了時

基本属性アンケート

日付 : _____ 月 _____ 日 参加者番号 : _____

基本属性

- ・性別 : 男・女
- ・年齢 : _____ 才
- ・学校名 : _____
- ・身長 : _____ cm、 体重 : _____ kg
- ・利き手 : 右・左
- ・メガネ・コンタクトの有無 : メガネ・コンタクト・使用していない
- ・喫煙 : しない・する (____ 本/日)
- ・普段の平均睡眠時間 : _____ 時間
- ・本日の睡眠時間 : _____ 時間
- ・普段の睡眠習慣（毎日、就寝時刻や起床時刻が同じ⇒規則正しい）：
1. 規則正しい 2. たまに乱れることもある 3. 不規則

図 5.5: 基本属性アンケート

を行うこととした。実験中には、実験参加者の疲労度や覚醒度、モチベーション、集中度の主観評価の変化を調べるために、自覚症しらべ^[24]とマグニチュード推定法を用いて疲労度・モチベーション・集中度の主観評価を行う経過アンケートを各タスクの前後に行った。自覚症しらべの質問項目を表5.7に示す。また、実際の回答画面を図5.6に示す。経過アンケートの内容を図5.7に示す。各音環境条件における作業の感想を

表 5.7: 自覚症しらべでの質問項目^[24]

I群	IV群	V群
ねむけ感	だるさ感	ぼやけ感
ねむい	腕がだるい	目がしょぼつく
横になりたい	腰がいたい	目がつかれる
あくびがでる	手や指がいたい	目がいたい
やる気がとぼしい	足がだるい	目がかわく
全身がだるい	肩がこる	ものがぼやける

記入してもらうタスクアンケートを各タスク終了時に行った。タスクアンケートの内容を図5.8に示す。実験終了時には、実験全体を振り返っての感想や各音環境条件の比較、音環境に関する個人属性を調べる終了時アンケートを行った。終了時アンケートの内容を図5.9、図5.10、図5.11に示す。

5.3 実験の結果

実験参加者32名のうち、実験者の教示に従わず作業成績が著しく低い実験参加者と、本研究で用いた評価ツールでは解答データを適切に解析できなかった実験参加者の計3名については解析対象外とし、そのほかの29名の実験結果をもとに解析を行った。表5.8に解析対象外とした実験参加者の参加者番号と解析対象外とした理由を示す。

表 5.8: 解析対象外とした実験参加者

実験参加者 No.	除外理由
3	解析不能
10	解析不能
12	解答数が極端に少ない

自覚症しらべ

今のあなたの状態についてお聞きします。

次のようなことについて、どの程度当てはまるか回答してください。

質問項目	まったく あては まらない	わずか にあて はまる	少しあ てはま る	かなり あては まる	非常に よくあ てはま る
目がかわく	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
目がいたい	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
肩がこる	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
あくびがでる	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
手や指がいたい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ねむい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
やる気がとぼしい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ものがぼやける	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
全身がだるい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
腕がだるい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
横になりたい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
目がつかれる	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
腰がいたい	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
目がしょぼつく	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
足がだるい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

回答完了

図 5.6: 自覚症しらべの回答画面

経過アンケート

記入日 月 日 参加者番号 _____

それぞれのタスクにおけるあなたの状態についてお聞きします。

下の表を、1～100の数値でお答えください。

	① 作業による疲労の蓄積 (回復した場合は減少) 0 : 全く疲労を感じない 100 : これ以上作業を継続できないほどの疲労感	② 作業に対するモチベーション 0 : 全くやる気が起きない (起きなかつた) 100 : やる気に満ちている (満ちていた)	③ 作業に対する集中度 0 : 全く集中ができない (できなかつた) 100 : これ以上ない程の集中ができそう(できた)
比較問題 練習	(開始)		
	(終了)		
比較問題 SET 1	(開始)		
	(終了)		
比較問題 SET 2	(開始)		
	(終了)		
比較問題 SET 3	(開始)		
	(終了)		
比較問題 SET 4	(開始)		
	(終了)		
比較問題 SET 5	(開始)		
	(終了)		

図 5.7: 経過アンケート

タスクアンケート

記入日 月 日 参加者番号 _____

それぞれのタスクにおける音環境の感想や、作業に対する影響などの自己評価を自由に記述してください。
このアンケートをもとに、実験終了時アンケートでそれぞれのタスクを比較していただきます。

比較問題 練習	
比較問題 S E T 1	
比較問題 S E T 2	
比較問題 S E T 3	
比較問題 S E T 4	
比較問題 S E T 5	

図 5.8: タスクアンケート

終了時アンケート

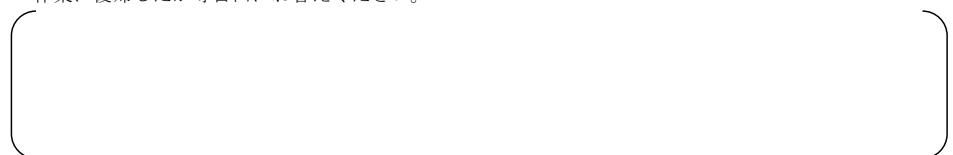
記入日 月 日 参加者番号 _____

「理由」を書く部分は、覚えていることをなるべく書くようにしてください。
ただし、全く思いつかない・よくわからない等の場合には、「思いつかない」「わからない」と書いていただいても構いません。無理に理由を作る必要はありません。

本日の実験参加を振り返って正直にお答えください。

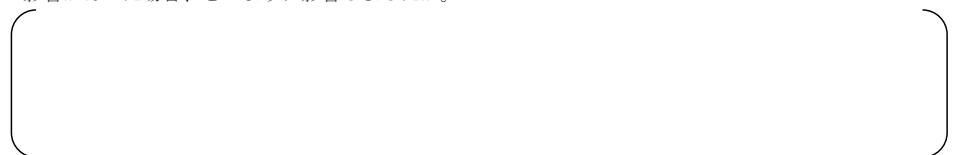
1：比較問題 20 分間のタスク中、集中が途切れたことがありましたか。

途切れたことがあった場合、何セット目のタスクで 20 分間のうちいつ頃だったか、どのように対処して作業に復帰したか等自由にお答えください。



2：周りの参加者(隣、斜め前)の様子およびスタッフの様子によって作業の進行に影響が出ましたか。

影響があった場合、どのように影響しましたか。



3：実験時間中、作業に対するモチベーション・疲労感が大きく変化したことがありましたか。

変化した場合は、その時間帯やどのように変化したか、考えられる理由などをお答えください。



次のページへ

図 5.9: 終了時アンケート 1 ページ目

4-1 : 各タスクで異なる音をヘッドホンで聞きながら作業をしていただきました。
それを踏まえて、4種類の音環境の快適さを100点満点で得点付けしてください。

S E T 1 [点]

S E T 2 [点]

S E T 3 [点]

S E T 4 [点]

また、その理由についてもお答えください。



4-2 : 4種類の音環境の集中しやすさを100点満点で得点付けしてください。

S E T 1 [点]

S E T 2 [点]

S E T 3 [点]

S E T 4 [点]

また、その理由についてもお答えください。



5 : その他、何か本実験に関する意見等があればご自由にお書きください。



次のページへ

図 5.10: 終了時アンケート 2ページ目

ここからは、普段の生活における音環境についてお聞きします。

普段、音楽を聴く環境について、状況（移動中、勉強しながら、おちついでなど）、音源（ヘッドホン、イヤホン、スピーカーなど）、音量などをわかる範囲で記入してください。



今回の実験では、クラシック音楽を聴きながら作業していただきましたが、普段の生活の中で集中したいときに聴く音楽（曲やジャンルなど）がありましたら、お教えください。



普段の生活で、大きな音に曝されるようなことはありますか。

ありましたら、どのような環境か具体的にお答えください。

（電車や車通りの多い道路などの騒音環境、ゲームセンターやパチンコ店などの大きな音が流れる環境など）



ご協力ありがとうございました

図 5.11: 終了時アンケート 3 ページ目

5.3.1 比較問題タスク実施時の CTR

4.1節で説明した手法を用いて、解析対象とした実験参加者の各SETにおける比較問題の解答データから集中時間比率CTRを算出した。各音環境条件でのタスクにおけるCTRの平均値を図5.12に示す。また、CTRの平均値や振れ幅の大きさの個人差による影響を小さくするため、実験参加者ごとに正規化した場合の各音環境条件でのCTRの平均値を図5.13に示す。なお、各音環境条件でのCTRについてTukey法による多重比較を行ったところ、有意傾向($p < 0.05$)は見られなかった。

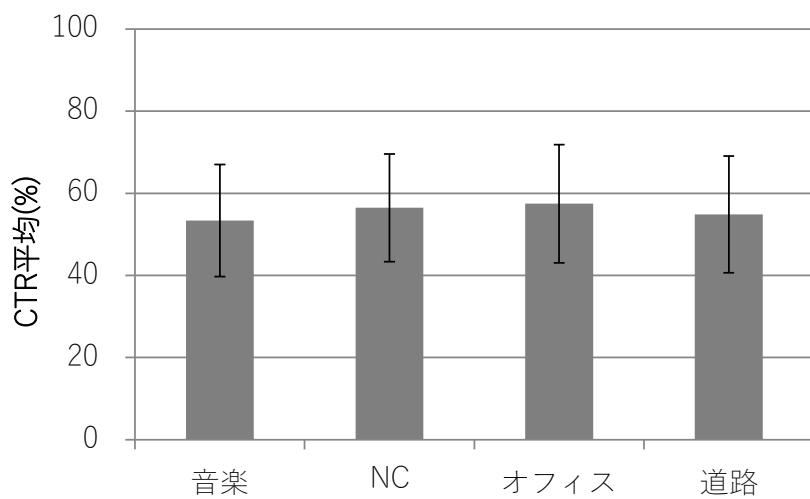


図 5.12: 各音環境条件下での CTR 平均値比較

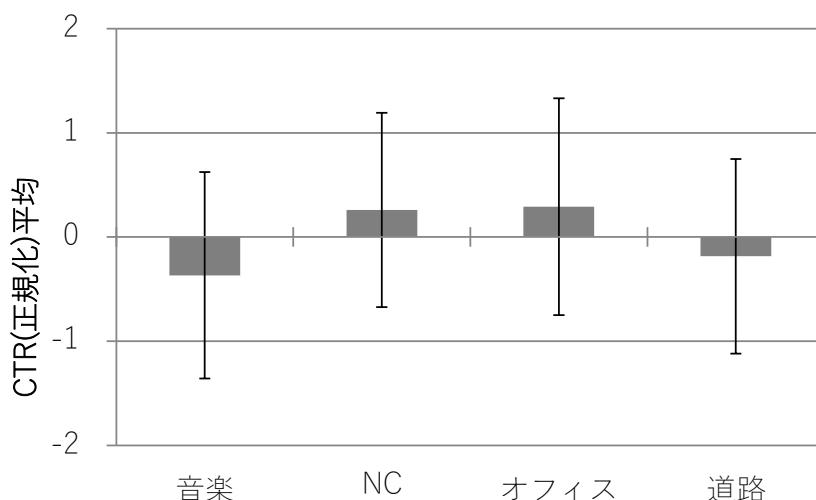


図 5.13: 各音環境条件下での CTR (正規化) 平均値比較

5.3.2 比較問題タスク実施時の CDI

4.2 節で説明した手法を用いて、解析対象とした実験参加者の各 SET における比較問題の解答データから集中の深さを表す指標 CDI を算出した。各音環境条件でのタスクにおける CDI の平均値を図 5.14 に示す。また、CDI の平均値や振れ幅の大きさの個人差による影響を小さくするため、実験参加者ごとに正規化した場合の各音環境条件での CDI の平均値を図 5.15 に示す。なお、各音環境条件での CDI について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) は見られなかった。

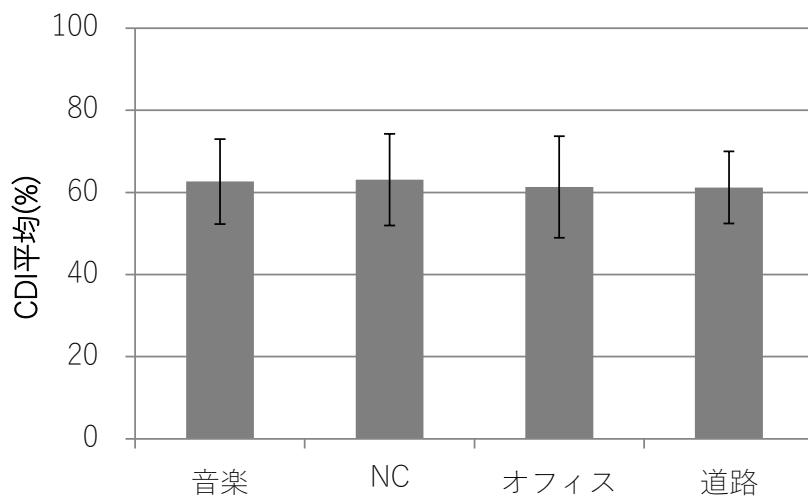


図 5.14: 各音環境条件下での CDI 平均値比較

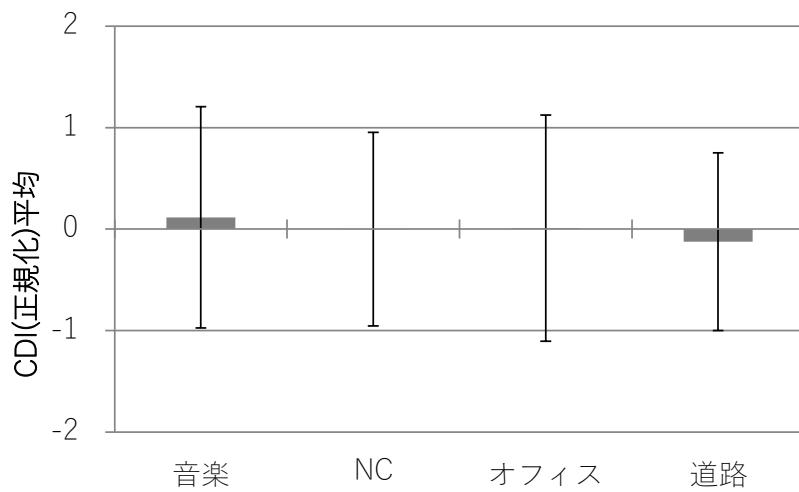


図 5.15: 各音環境条件下での CDI (正規化) 平均値比較

5.3.3 主観的疲労度・モチベーション

経過アンケートにおける「作業による疲労の蓄積」「作業に対するモチベーション」の項目について、各音環境条件下的タスク後の値からタスク前の値を引いて求めた変化量の平均値を図 5.16、図 5.18 に示す。また、各値の変化量の平均値や振れ幅の大きさの個人差による影響を小さくするため、実験参加者ごとに正規化した変化量の各音環境条件での平均値を図 5.17、図 5.19 に示す。なお、各音環境条件での値について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) が見られた組合せについても図 5.19 に示す。

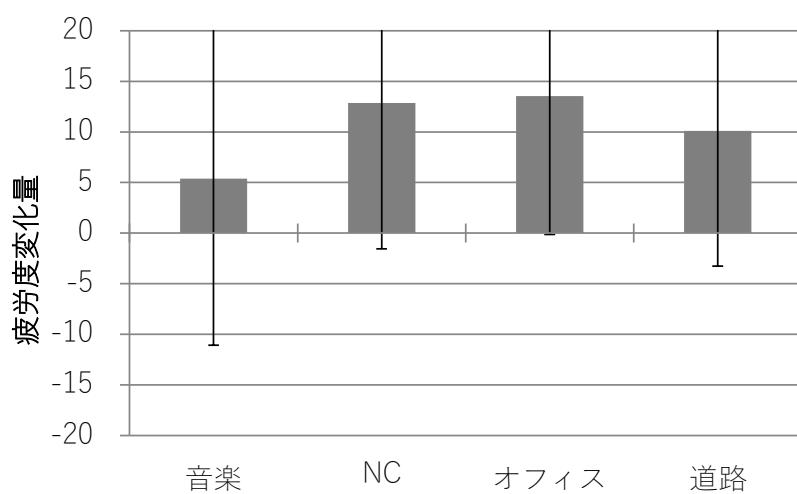


図 5.16: 各音環境条件下での疲労度の主観評価の変化の平均値比較

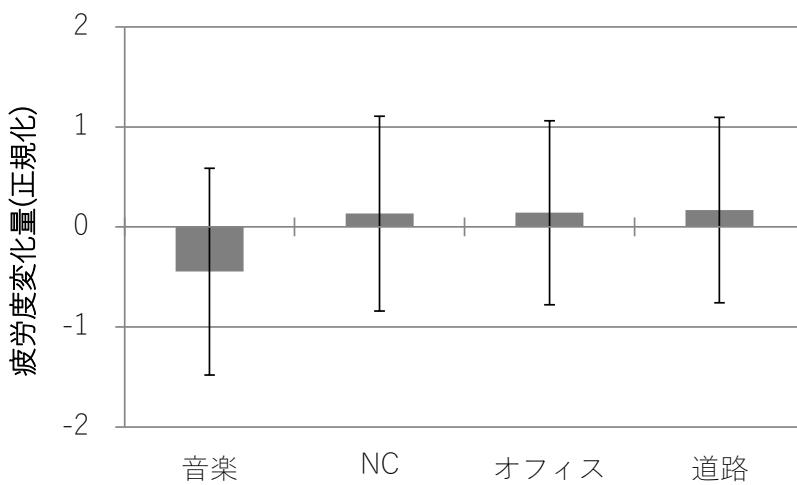


図 5.17: 各音環境条件下での疲労度の主観評価の変化（正規化）の平均値比較

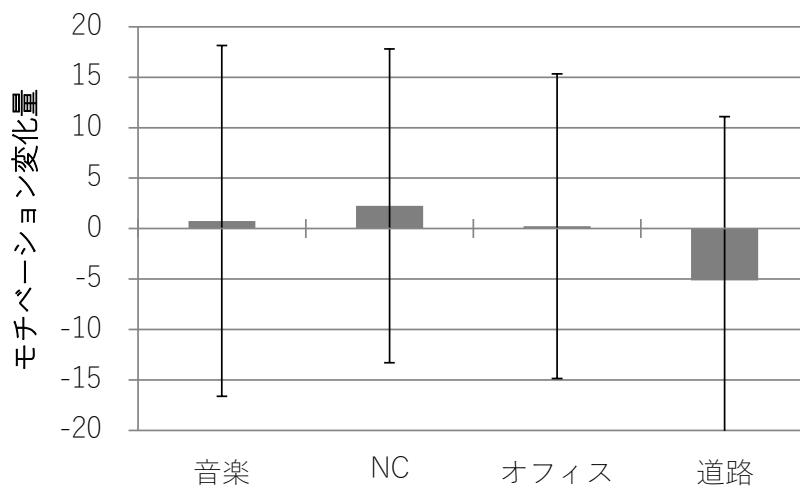


図 5.18: 各音環境条件下でのモチベーションの主観評価の変化の平均値比較

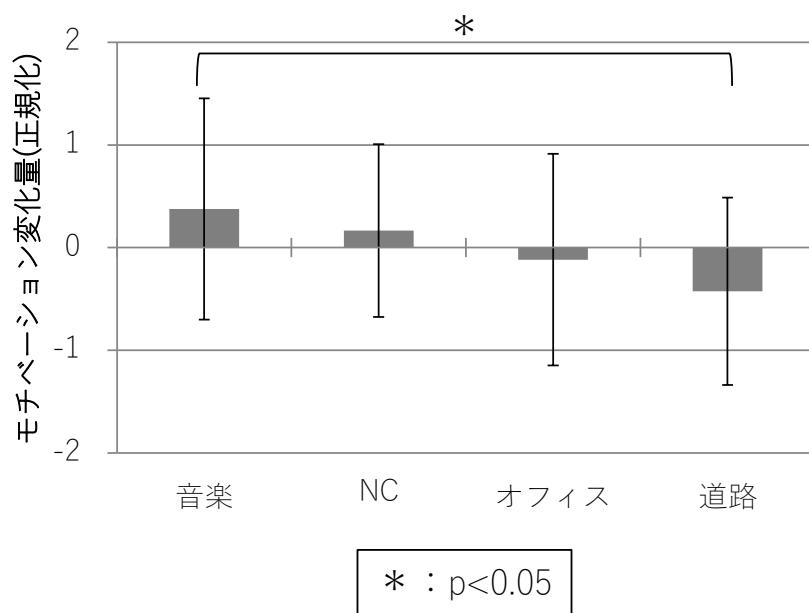


図 5.19: 各音環境条件下でのモチベーションの主観評価の変化（正規化）の平均値比較

5.3.4 各音環境条件の主観評価

終了時アンケートにおける「4種類の音環境の快適さ」「4種類の音環境の集中しやすさ」の項目について、各音環境条件の主観評価の平均値を図 5.20、図 5.21 に示す。なお、各音環境条件での値について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) が見られた組合せについても図 5.20、図 5.21 に示す。

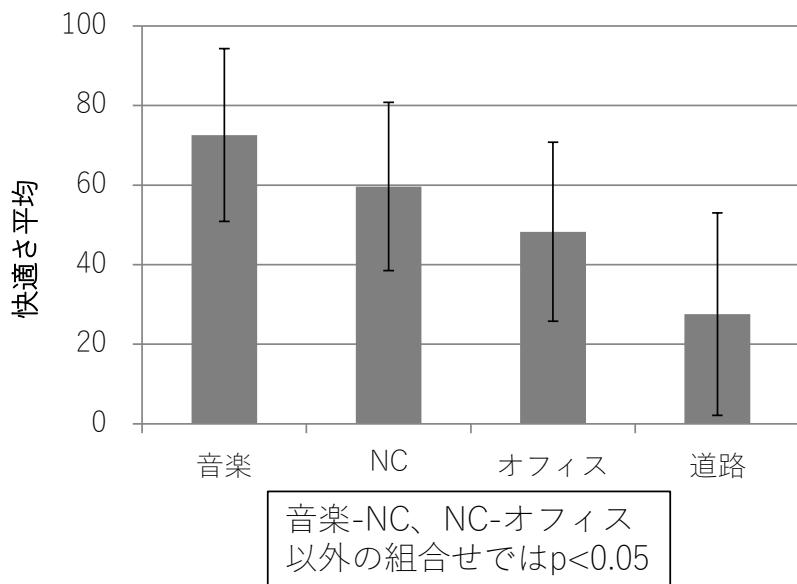


図 5.20: 各音環境条件下での快適さの主観評価の平均値比較

5.4 まとめと考察

5.4.1 各音環境条件間における比較

図 5.12 に示したように、有意差とは言えないものの、音楽環境での CTR 平均値が最も低く、オフィス環境での CTR 平均値が最も高いという結果が得られ、実験前の想定とは大きく異なるものとなった。しかし、図 5.21 に示すように、音楽環境については主観的にも集中しづらいと評価されており、今回実施した比較問題タスクとの相性が良くない音環境であったとも考えられる。また、CTR が高い音環境ほど疲労度の上昇量が多い傾向が見られることから、より長時間のタスクでの計測を行った場合には高い CTR を維持できないことも考えられる。一方で CDI 平均値については、図 5.14 に示したように、音楽環境やノイズキャンセリング環境で高く、オフィス環境や道路環境では低くなっている。有意差とは言えないものの実験前に想定された集中効果が

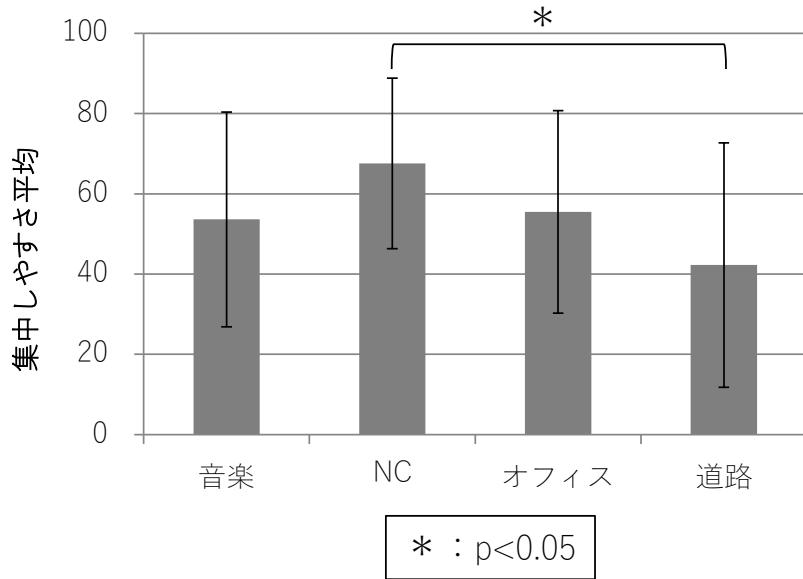


図 5.21: 各音環境条件下での集中しやすさの主観評価の平均値比較

見られた。これは、主観評価における快適さやモチベーション変化量と同様の傾向となっており、快適だと感じる音環境下では集中が深くなるとともにモチベーションも維持されると考えられる。

5.4.2 音楽の主観評価による違い

音楽環境の主観評価については、他の音環境条件と比べても実験参加者ごとのばらつきが特に大きく、音楽環境での作業については執務者によって向き不向きがあるとも考えられる。そこで、音楽環境の主観的な集中しやすさが客観評価指標である CTR と CDI にどのように影響があるのかを検証する。具体的には、音楽環境条件での主観的な集中しやすさが 4 条件の平均以上のグループと平均未満のグループに分け、それぞれのグループでの CTR、CDI の平均値を求めて比較を行う。

まず、音楽環境での作業が集中しやすいと回答した実験参加者グループ 18 名の CTR 平均値を図 5.22 に、実験参加者ごとに正規化した CTR の平均値を図 5.23 に示す。また、CDI 平均値を図 5.24 に、実験参加者ごとに正規化した CDI の平均値を図 5.25 に示す。なお、各音環境条件での値について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) は見られなかった。

次に、音楽環境での作業が集中しづらいと回答した実験参加者グループ 11 名の CTR 平均値を図 5.26 に、実験参加者ごとに正規化した CTR の平均値を図 5.27 に示す。ま

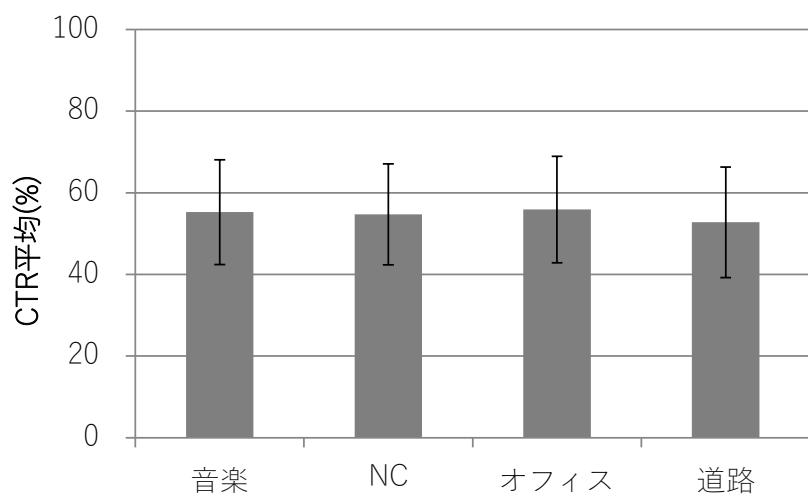


図 5.22: 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較

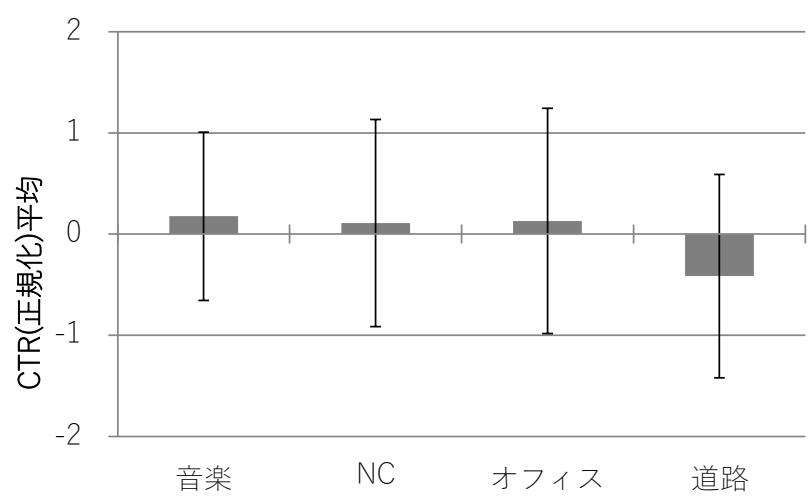


図 5.23: 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CTR (正規化) 平均値比較

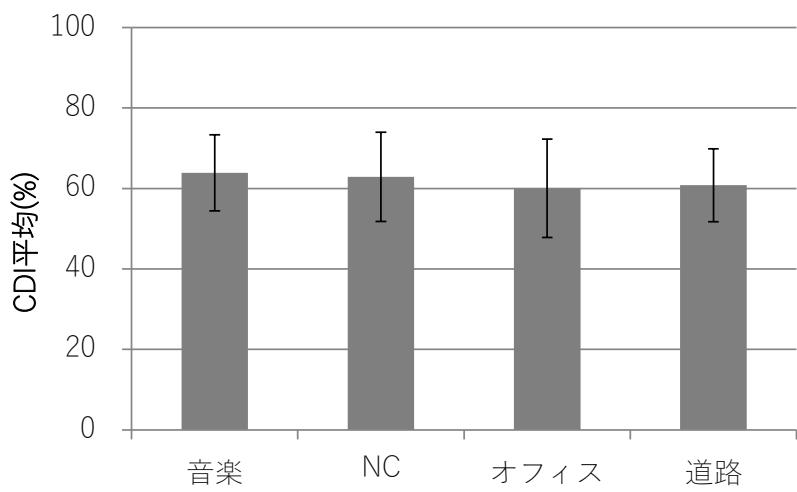


図 5.24: 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較

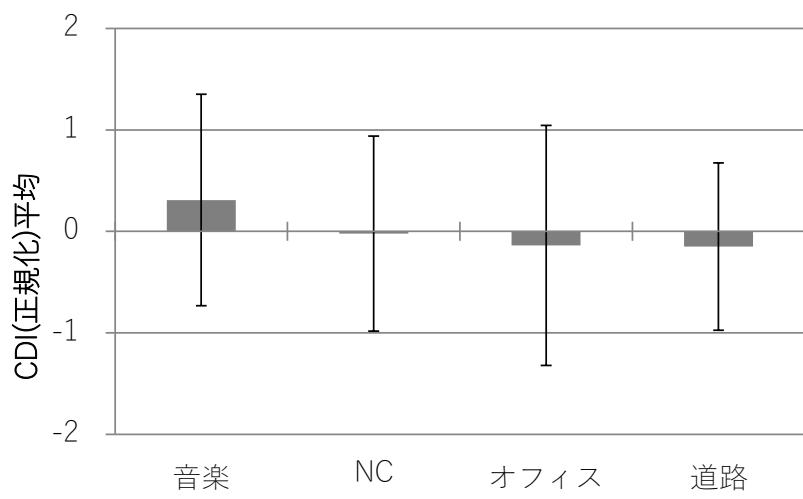


図 5.25: 音楽で集中しやすい参加者の各音環境条件下での CDI (正規化) 平均値比較

た、CDI 平均値を図 5.28 に、実験参加者ごとに正規化した CDI の平均値を図 5.29 に示す。なお、各音環境条件での値について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) が見られた組合せについても図 5.27 に示す。

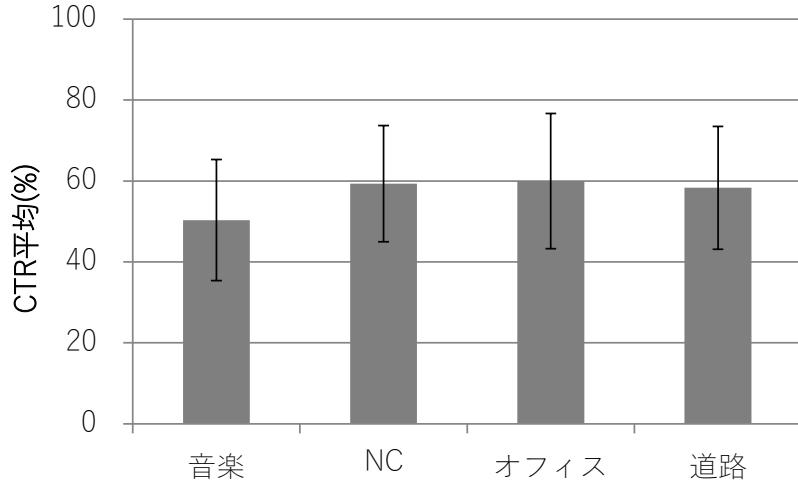


図 5.26: 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較

これらの結果から、音楽環境での作業が集中しやすいと回答した実験参加者は CTR においても集中できている人とできていない人に分かれるのに対して、音楽環境での作業が集中しづらいと回答した実験参加者は全員が CTR においても集中できていないことがわかる。このことから、主観評価の分かれる音環境においては、ネガティブな評価の方が信用できると考えられる。

5.4.3 男女による違い

本実験では、音環境条件の提示順について実験参加者全体でカウンターバランスをとるようにしているが、男性と女性についてもそれぞれカウンターバランスをとるように、各実験参加者への音環境条件の提示順を決めている。そこで、男性参加者と女性参加者で各音環境条件での影響が異なるのか検証を行う。

まず、男性参加者の CTR 平均値を図 5.30 に、実験参加者ごとに正規化した CTR の平均値を図 5.31 に示す。また、CDI 平均値を図 5.32 に、実験参加者ごとに正規化した CDI の平均値を図 5.33 に示す。なお、各音環境条件での値について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) が見られた組合せについても図 5.31 に示す。

次に、女性参加者の CTR 平均値を図 5.34 に、実験参加者ごとに正規化した CTR の

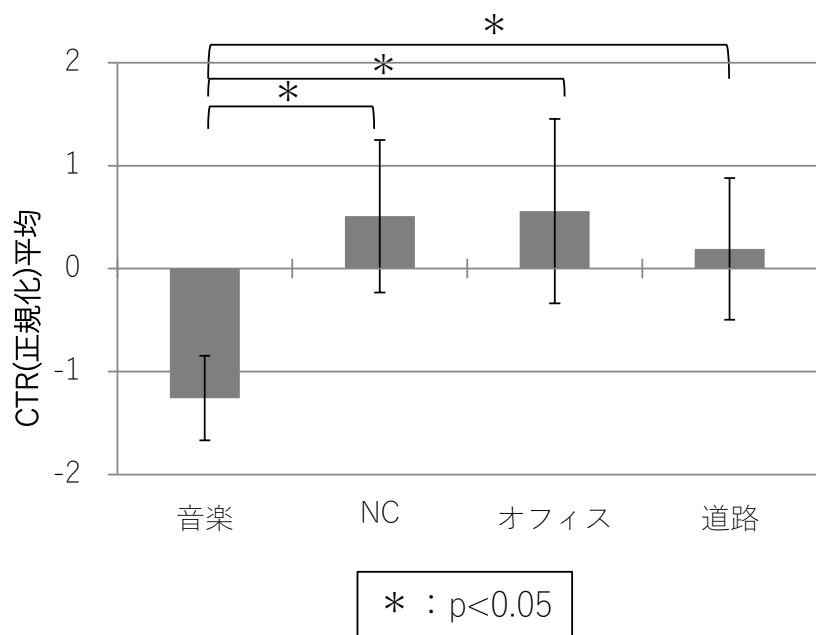


図 5.27: 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CTR (正規化) 平均値比較

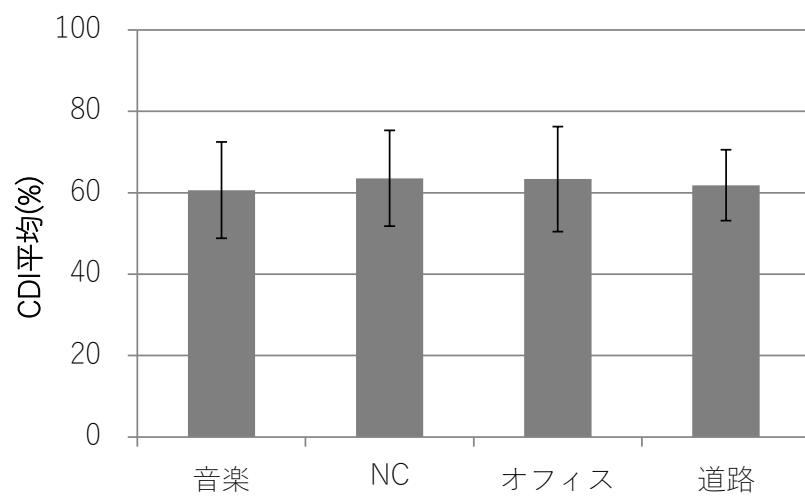


図 5.28: 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較

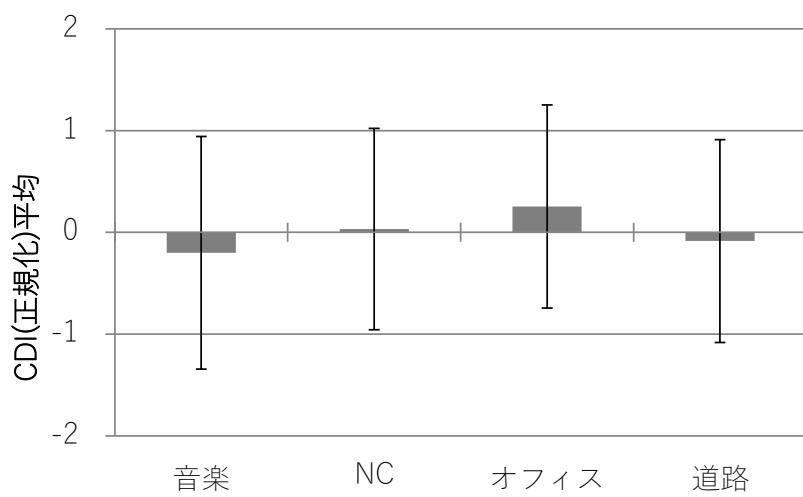


図 5.29: 音楽で集中しづらい参加者の各音環境条件下での CDI (正規化) 平均値比較

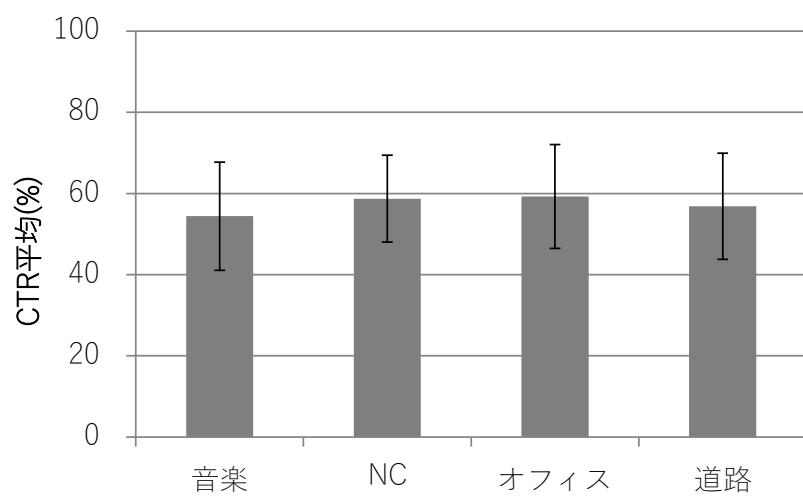


図 5.30: 男性参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較

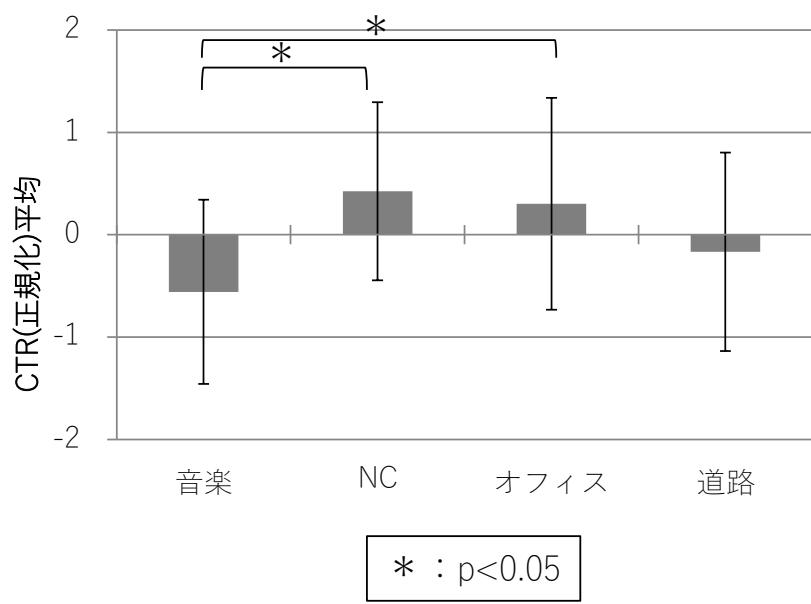


図 5.31: 男性参加者の各音環境条件下での CTR (正規化) 平均値比較

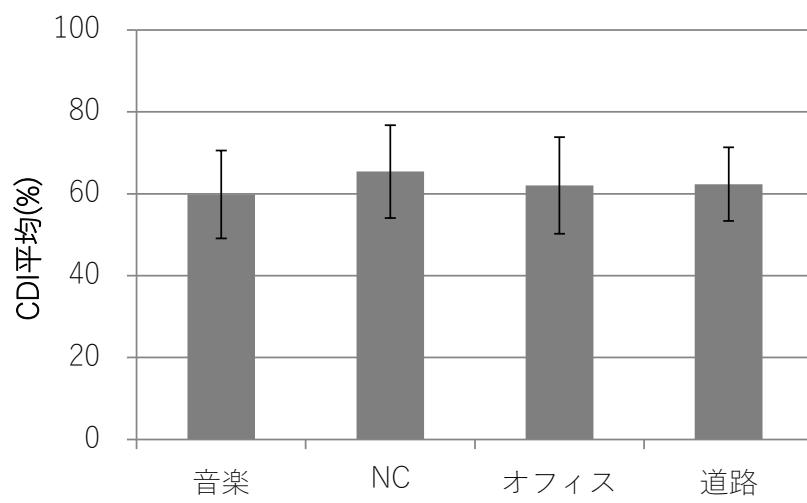


図 5.32: 男性参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較

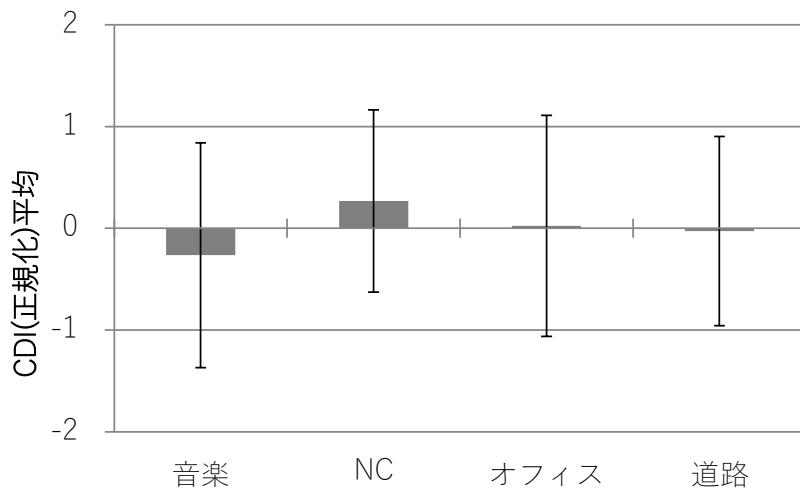


図 5.33: 男性参加者の各音環境条件下での CDI (正規化) 平均値比較

平均値を図 5.35 に示す。また、CDI 平均値を図 5.36 に、実験参加者ごとに正規化した CDI の平均値を図 5.37 に示す。なお、各音環境条件での値について Tukey 法による多重比較を行ったところ、有意傾向 ($p < 0.05$) が見られた組合せについても図 5.37 に示す。

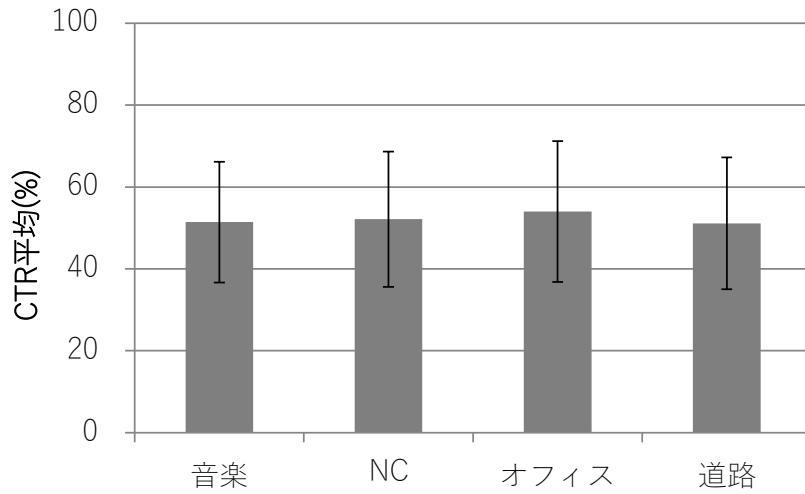


図 5.34: 女性参加者の各音環境条件下での CTR 平均値比較

これらの結果から、図 5.31 に示したように男性参加者は音楽環境での CTR が有意に低く、CDI も低いのに対して、図 5.37 に示したように女性参加者は音楽環境での CDI が有意に高くなっている。これは、女性参加者 10 名中 8 名が音楽環境を主観的に集中しやすいと評価していることによるものとも考えられるが、音楽環境を主観的に集中

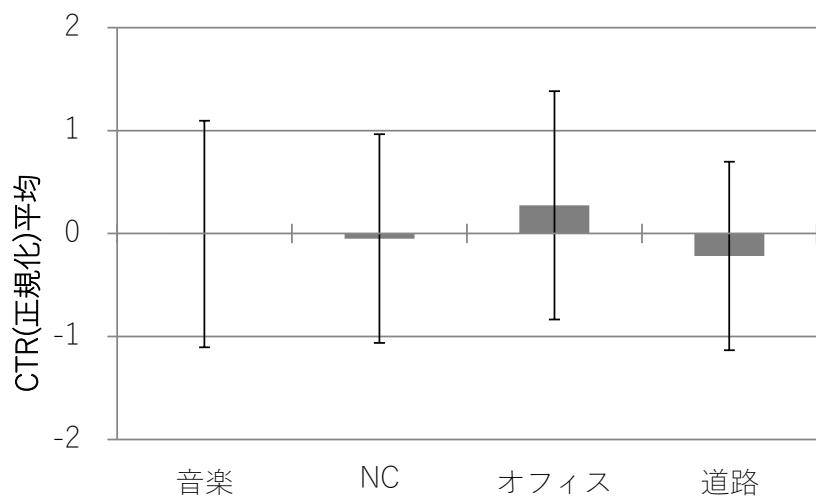


図 5.35: 女性参加者の各音環境条件下での CTR（正規化）平均値比較

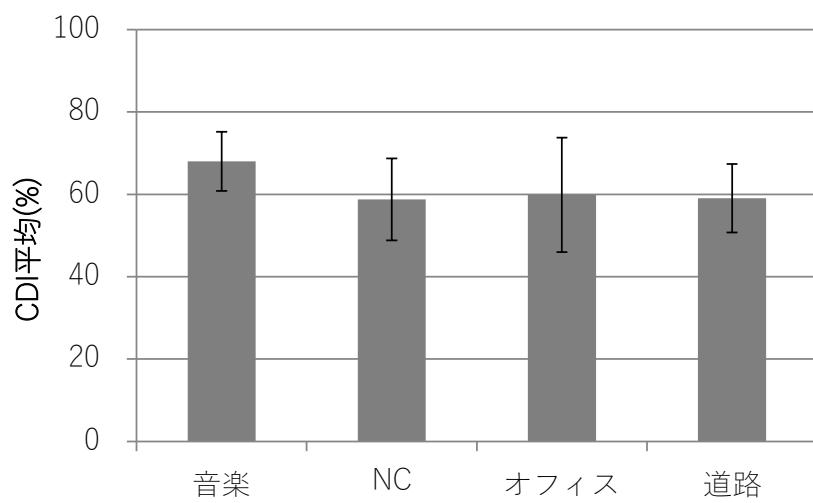


図 5.36: 女性参加者の各音環境条件下での CDI 平均値比較

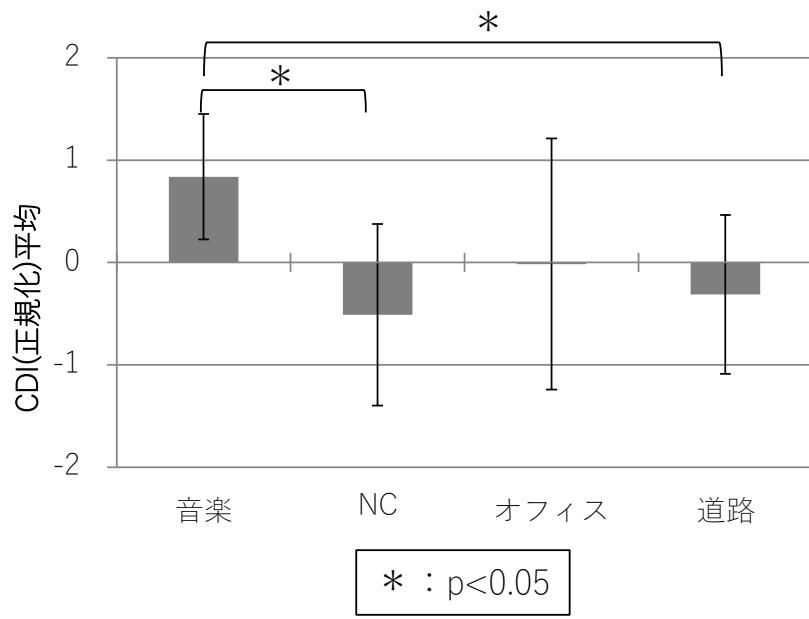


図 5.37: 女性参加者の各音環境条件下での CDI（正規化）平均値比較

しやすいと評価している実験参加者全体と比べても高くなっている、男女差によるものとも考えられる。また、ノイズキャンセリング環境において、男性参加者は CTR、CDI ともに高くなる傾向があるが、女性参加者は低くなっている。

このことから、女性参加者は音楽環境において集中しやすく、男性参加者はノイズキャンセリング環境において集中しやすいといった傾向が見られ、男女によって集中しやすい音環境が異なる可能性が見られた。

第6章 結論

近年、日本では少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少によって、様々な業種において労働力不足が深刻となっている。また、長時間労働による過労死が社会問題となるなど労働環境の改善も求められる中、政府は働き方改革の推進を行っている。そこで、機械やコンピュータで代替可能な単純労働については、無人化を進めることで労働生産性を高める取り組みが行われている。一方で、代替が難しいオフィスワークのような知的作業については、近年の情報化社会の進展もあって、より多くの労働力が必要な状況となっている。そのため、企業にとっては知的作業の効率化、すなわち知的生産性の向上が重要な課題となっている。

また、環境問題やエネルギー問題が深刻化する中、企業にも積極的な取り組みが求められている。日本では、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所での事故を受けて、日本中の原子力発電所が稼働できない状態に陥ったことで、多くの電力会社で深刻な電力不足を回避するために節電要請を出すなど、社会的にも節電や省エネルギーの必要性が意識されるようになった。オフィスにおいても、空調の設定温度の変更や照明の間引き、OA機器のスタンバイモード利用などの節電活動が行われた^{[1][2]}。しかし、それらの節電活動はオフィスビル全体でのエネルギー消費量削減を目的としたものであり、その副作用としてオフィス環境の快適性が損なわれ、執務者の知的集中を妨げる恐れがある。オフィスにおける執務は、情報管理や情報処理といった知的作業が大半を占めているため、執務者の知的集中の低下はオフィスにおける知的生産性も低下させる可能性がある^[3]。それによって、執務者の労働時間が長くなれば、オフィスの稼働時間も長くなってしまうため、節電行動が結果的にエネルギー消費量も増加されることにもなりかねない。このように、省エネルギーの観点からも知的生産性の重要性が増している。

オフィス環境の構成要素の中で、知的生産性に影響を与えるものとしては温熱環境、照明環境、音環境、空気質環境などが挙げられる^[4]。音環境が執務者の快適性や作業効率に影響を与えてることは数多くの既往研究から明らかだが、実施する知的作業の種類と提示される音環境の組み合わせによってその影響は変化すると考えられる^[5]。また、それらの研究では執務者の主觀や単純な作業効率によって評価が行われており、音環境が知的集中に与える影響について客観的かつ定量的に評価した研究事例は報告

されていない。

そこで、本研究では、様々な音環境について、知的集中にどのような影響を与えているのかという知見を得ることを目的とする。具体的には、ノイズキャンセリングとクラシック音楽によるマスキング効果によってオフィス騒音を低減する音環境、ノイズキャンセリングのみでオフィス騒音を低減する音環境、一般的なオフィスにおける騒音環境、オフィス騒音に加えて道路交通騒音にも曝される音環境の4条件について、各音環境での被験者実験によって得られた知的集中の客観的かつ定量的な評価をもとに考察を行った。

第2章では、本研究の背景について述べ、関連する知的生産性や音環境に関する既往研究について述べたうえで、本研究の目的について述べた。

第3章では、まず既往研究から本研究において検証すべき音環境条件について選定を行い、選定された音環境をする方法について述べ、その実現案についての予備検討を行い、その結果をもとに評価実験で用いる音環境条件の詳細を決定した。

第4章では、評価実験において用いる知的集中の定量評価手法として、集中時間比率CTR、集中の深さ指標CDI、比較問題タスクについて述べた。

第5章では、第3章で述べた4つの音環境条件における知的集中を客観的かつ定量的に評価する被験者実験について述べた。この評価実験では、客観評価指標においては各音環境条件間での有意差は見られなかったが、主観的に集中しやすいと感じる音環境ではCTRが高くなり、主観的に快適であると感じる音環境ではCDIが高くなることが示唆された。また、音楽を聴きながら作業をする環境については、特に主観評価で大きく実験参加者間の差が生じ、音楽環境が集中しづらいと回答した実験参加者はCTRにおいても低い値となっていることがわかった。また、男性はノイズキャンセリング環境において、女性は音楽環境において知的集中にプラスの影響を受けやすい傾向が見られた。

今後の課題として、執務者自身が集中しやすいと感じる音楽を事前に用意してもらい、それを聴きながら作業をする環境や、音楽のように個人の趣向が分かれるものではなく、ホワイトノイズや川のせせらぎ音などによってサウンドマスキングのされた環境など、他の音環境についても定量評価を行い、音環境と知的集中に関してさらなる知見を得る必要がある。そのうえで、多くの執務者に共通して知的集中向上効果のみられる音環境を提案する、もしくは、執務者個人の属性に応じた最適な音環境を提示できるような手法を確立していきたいと考える。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、研究会やチームミーティング等で様々なご助言をいただき、また、休学等で長い間にわたり多大なご迷惑をお掛けしたにもかかわらず、親身になってご指導いただいた下田宏教授に心より感謝いたします。

研究や論文執筆等に際して多くのご助言をいただいたこと、また研究室イベントなどで楽しめる環境を作っていた石井裕剛准教授に深く感謝いたします。

プロダクティビティチームとして、チームミーティングなどの際に、知的生産性研究に関する様々な知識やご意見をいただいたパナソニック株式会社の大林史明様に深く感謝いたします。

同じプロダクティビティチームとして、チームミーティングや実験の準備などで多くの意見をいただき、実験実施の際にも多大な協力をいただいた修士2回生の上田樹美さん、緒方省吾君、修士1回生の川本聰真君、電気電子工学科4回生の竹川和佳子さんに深く感謝いたします。

研究室内で日頃から気さくに接してくださった修士2回生の浦山大輝君、大橋由暉君、辻雄太君、岩崎達郎君、修士1回生の日下部曜君、原園友規君、井上純輝君、電気電子工学科4回生の木村覚君、三木直也君に深く感謝いたします。

そして、研究における様々な事務手続き等サポートしていただき、また、休学していた際などにもご相談に乗っていただいた秘書の普照郁美様に深く感謝いたします。

最後に、様々なご支援、ご助力をいただいたすべての方々に心より感謝の意を申し上げます。

参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁: 夏季の節電メニュー(事業者の皆様) 東北・東京・中部・北陸・関西・中国・四国・九州, www.meti.go.jp/setsuden/pdf/150522/150522_01f.pdf, (2015).
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁: 冬季の節電メニュー(事業者の皆様) 東北・東京・中部・北陸・関西・中国・四国・九州, www.meti.go.jp/setsuden/pdf/151030/151030_01f.pdf, (2015).
- [3] 多和田 友美, 伊香賀 俊治, 村上 周三, 内田 匠子, 上田 悠: オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響, 日本建築学会環境系論文集, 第75巻, 第648号, pp.213-219, (2010).
- [4] 知的生産性研究委員会: 平成23年度知的生産性研究委員会報告書～知的生産性に優れた空間の設計と評価～, 国土交通省住宅局 (2012).
- [5] 岩田 紀: 音響環境が作業遂行に及ぼす影響の規定因としての注意の集中度, 心理学研究, Vol.46, pp.91-99, (1975) .
- [6] 経済産業省資源エネルギー庁: エネルギー白書 2017: http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017pdf/whitepaper2017pdf_2_1.pdf, (2017).
- [7] Lomonaco, C., Miller, D.: Environmental Satisfaction, Personal Control and the Positive Correction to Increased Productivity, Johnson Controls, Inc. (1997).
- [8] 中島隆信: 日本経済の生産性分析, 日本経済新聞社, (2001).
- [9] 生産性研究所: 研究開発と知識生産性, 社会経済生産性本部, (1997).
- [10] Nisha P. Sensharma, James E. Woods: An Extension of a Rational Model for Evaluation of Human Responses, Occupant Performance, and Productivity, Healthy Building 2000, Workshop 9 (2000).
- [11] 藤井 健生, 佐伯 徹郎, 山口 静馬: 無意味雑音存在下での単純計算作業時におけるうるささ・疲労感および作業成績, 人間工学, Vol.31, pp.19-28, (2001) .

- [12] 羽田 正沖, 西原 直枝, 田辺 新一: 道路交通騒音が知的生産性に与える影響に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集 Vol.73, pp.355-362, (2008).
- [13] 佐伯 徹郎, 藤井 健生, 山口 静馬, 加藤 裕一: 短期記憶作業時における騒音の影響 - うるささの心理的印象と作業成績-, 日本音響学会誌, Vol.59, No.4, pp..209-214, (2003).
- [14] Frances H. Rauscher, Gordon L. Shaw, Catherine N. Ky: Music and spatial task performance, Nature 365, 611, (1993).
- [15] 相馬 洋平, 松永 哲雄, 曽我 仁, 内山 尚志, 福本 一朗: 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).
- [16] 岩城 譲, 新川 慎吾, 木竜 徹: タイプ作業における音環境の生体影響と作業効率の変化, 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, 108(52), pp.19-24, (2008)
- [17] Stuart K. Card, Thomas P. Moran, Allen Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, (1983).
- [18] Kazune Miyagi, Shou Kawano, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda: Improvement and Evaluation of Intellectual Productivity Model based on Work State Transition, The 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.1491-1496, (2012).
- [19] 宮城 和音, 内山 皓介, 大林 史明, 岩川 幹生, 石井 裕剛, 下田 宏: 知的生産性評価のための集中指標の提案, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.16, No.1, pp.19-28, 2014.
- [20] 吉川 榮和, 下田 宏, 仲谷 善雄, 丹羽 雄二: ヒューマンインターフェースの心理と生理, コロナ社, (2006).
- [21] Alan Baddeley: Exploring the central executive, The Quarterly Journal of Experimental Psychology A, Human Experimental Psychology, 49, pp.5-28, (1996).

- [22] 上田 樹美, 下中 尚忠, 下田 宏, 石井 裕剛, 大林 史明: 集中の深さに着目した知的生産性の定量的評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017, pp.171-178, 2017.
- [23] 上田 樹美, 辻 雄太, 下田 宏, 石井 裕剛, 大林 史明, 谷口 和宏: 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.
- [24] 日本産業衛生学会: 産業疲労研究会編集委員会(編) 産業疲労ハンドブック, 労働基準調査会, (1988).