

修士論文

雑音環境が記憶作業時の
脳血流変化と心理状態に及ぼす影響

同志社大学大学院 生命医科学研究科
医工学・医情報学専攻 医情報学コース
博士前期課程 2013年度 1016番

將積 彩芽

指導教授 廣安 知之教授

2014年11月25日

Abstract

In this research, we investigated the gender difference in the influence of sound environments on performance and brain function during memory task. This study was examined 20 subjects, which is 10 males and 10 females. The subjects performed the numerical string task in the three sound environments, silence, pinknoise, and white noise. We examined the influences of the sound environments on the task by measuring the cerebral blood flow change using fNIRS (functional Near Infrared Spectroscopy) . Furthermore, we conducted questionnaires of VAS(Visual Analogue Scale) after the experiment to investigate the affects of psychological state.

As the results, The males showed better performance in the order of silence, white noise, pink noise, and the females did in the order of white noise, silence, pink noise. From the results of t-test, significant difference between males and females was observed at the 5% level only in the white noise. The pleasant sound environments were different between males and females, and in the sound environment they felt more pleasant, they showed better score. The activated area was inferior frontal gyrus of left temporal region, and the cerebral blood flow changes increased more in the sound environments that subjects showed better performance.

目次

1	序論	1
2	fNIRS	2
2.1	fNIRS の概要	2
2.2	fNIRS の計測原理	2
2.3	fNIRS データにおけるフィルタ処理	4
3	知的作業と心理状態	5
3.1	外向性と認知機能	5
3.2	VAS (Visual Analogue Scale) 法	5
3.3	BIS/BAS 尺度	6
4	雑音環境が記憶作業時の脳血流変化と心理状態に及ぼす影響	9
4.1	数字記憶課題	9
4.2	3種類の音環境	10
4.3	実験概要	11
4.4	脳の活性部位の検討方法	12
4.5	男女による成績比較	13
4.6	成績と心理状態の検討	13
4.7	静音時の成績による群分け	14
4.8	成績および心理状態と脳血流変化の関係性	14
5	考察	17
5.1	成績と快の度合い	17
5.2	成績及び心理状態と脳血流変化の関係性	17
6	結論	19

1 序論

現代社会では、多くの人がオフィスワークや学習のような知的作業に携わっている。その中で、作業環境による疲労やストレスから健康を損なう可能性、作業効率の悪化などが懸念される。このことから、知的作業において最適な作業環境が求められる。これまでに脳波や心電図の計測により、BGMや雑音などの音環境が作業に及ぼす影響が明らかにされている¹⁾²⁾³⁾。また、温度や音など様々な環境因子がある中で、例えば、男性は温度の変化に作業が影響されるが、女性は影響を受けないことなど、環境による影響には男女差があることが報告されている⁴⁾⁵⁾。先行研究⁶⁾では被験者に男性8名を採用し、音環境が作業成績と脳血流変化に影響を与えることをfNIRS (functional Near Infrared Spectroscopy) を用いて報告しているが、その影響の男女差については検討されていない。より良い音環境を検討するためには、その影響の男女差についても検討する必要があると考えられる。

脳機能イメージング装置のひとつとしてfNIRSが注目されている。脳機能イメージング装置は、非侵襲的に脳機能の計測、可視化ができることから、診断や治療に結びつく研究、脳機能や認知活動に対する研究にも広く用いられる装置である。代表的な脳機能イメージング装置として、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging) やPET (Positron Emission Tomography) などが挙げられる。しかし、これらの装置は操作が困難であること、強磁場が必要であることや、被曝の影響を考慮する必要性があることなど様々な課題がある。一方で、fNIRSは価格の低さや操作が比較的容易であること、自由度の高い実験設計を行えることなどから様々な分野で利用され始めている⁷⁾。本研究では、非侵襲であること、日常作業を自然な体位で計測可能であること、静かな動作音を備えていることから、fNIRSを用いる。

本稿では、音環境が作業成績と脳血流変化に及ぼす影響に着目した。音環境がもたらす作業成績の変化と脳血流変化に関係性を見出すことで、脳血流変化を指標とした音環境の客観的評価に繋がると考えられる。実験では、課題として、画面上に表示される8つの数字を記憶する数字記憶課題を選択し、成績として平均正答文字数を計測する。さらに、課題遂行時の脳血流変化を計測し、音環境が作業成績と脳血流変化、心理状態に及ぼす影響の男女差について検討を行う。

次章ではfNIRS装置の概要や原理、データ処理について述べる。第3章では、被験者の心理状態である快の度合いや外向性を調査するためのアンケート手法について述べる。その後、第4章で雑音環境が数字記憶課題の成績と脳血流変化、心理状態に及ぼす影響について検討する。

2 fNIRS

本章では、fNIRSの概要及び計測原理、fNIRSにおけるデータの処理方法について述べる。

2.1 fNIRSの概要

fNIRSは、近赤外分光法を用い、大脳皮質付近の神経活動に伴い変化する血流量の相対的变化を多点で計測し画像化する、脳機能イメージング装置である。近赤外光を用いることで、脳血流変化に伴う血液中のオキシヘモグロビン濃度（以下 Oxy-Hb）とデオキシヘモグロビン濃度（以下 Deoxy-Hb）の相対量変化を計測する。以下に一般的な脳機能計測実験で頻繁に用いられるfMRIおよびPETと比較した際のfNIRSの長所と短所を述べる。

- 長所
 - － 低侵襲性
近赤外光を用いるため、生体への有害な影響がない。
 - － 可搬性
装置が小型で移動が容易なため、動くことのできない被験者に対しても計測可能である。
 - － 高時間分解能
0.1秒ごとの測定が可能であり、脳機能の変化の時間経過を検討できる。
 - － 低磁場ノイズ性
fMRIのように磁場シールドを必要としない。
- 短所
 - － 低空間分解能
近赤外光の散乱などにより、空間分解能は10～30mm程度である。そのため、脳の部位と機能の対応関係をそれ以上の精度で特定することができない。
 - － 深部計測が不可能
照射された近赤外光は頭皮下20～30mmまでしか到達しないため、主に大脳皮質を測定する。よって、大脳皮質より深部の計測はできない。
 - － データの不確実性
被験者により頭長が異なるため、光路長が異なるという問題が生じる。そのため、被験者間でのデータの取り扱いが複雑となる。

2.2 fNIRSの計測原理

fNIRSで使用される近赤外光は、700～900nmという生体を透過しやすい波長である。波長700～900nmの近赤外光は皮膚や骨などの生体組織には高い透過性を持つ。これは、近

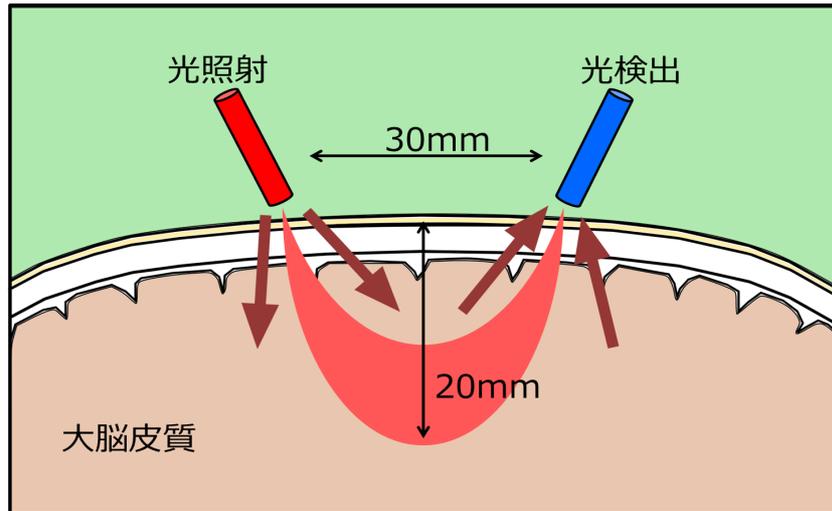


Fig. 2.1 fNIRS の計測原理

赤外光が可視光と比較して散乱を受けにくく、血液中のヘモグロビンのように生体内の限られた物質のみが近赤外光を吸収する性質を持つからである。fNIRS は近赤外光の高い透過性とヘモグロビンの酸化状態により吸光度が異なる性質を利用して、Fig. 2.1 に示すように頭皮上から照射した近赤外光を約 30mm 離れた位置で検出し、性状を解析することにより時間変化に伴う大脳皮質のヘモグロビン濃度変化を計測できるとされる⁸⁾。

ヘモグロビンなどの光を吸収する物質の濃度変化の算出には、式(2.1)に示す拡張ランベルト・ベール則が用いられる。

$$A = \log \frac{\Delta I_{out}}{I_{in}} = \varepsilon \Delta C d + \Delta S \quad (2.1)$$

ここで、 d は光路長、 I_{in} は照射光強度、 ε は吸光係数 (単位: $M^{-1}cm^{-1}$)、 C は分子濃度 (単位: M) である。 ΔI_{out} は透過光量変化、 ΔC は濃度変化、 ΔS は散乱による光の減衰量を意味し、通常は定数として扱われる。生体に入射される波長 λ の光量を $I_{in}(\lambda)$ 、生体内で吸収と散乱を受けて外に戻ってきた光の変化量を $\Delta I_{out}(\lambda)$ 、Oxy-Hb の吸光係数を $\varepsilon_{oxy}(\lambda)$ 、Deoxy-Hb の吸光係数を $\varepsilon_{deoxy}(\lambda)$ 、そして Oxy-Hb の濃度変化を ΔC_{oxy} 、Deoxy-Hb の濃度変化を ΔC_{deoxy} とすると以下の式(2.2) が成り立つように fNIRS は設計されている。

$$A = \log \frac{\Delta I_{out}}{I_{in}} = (\varepsilon_{oxy}(\lambda) \Delta C_{oxy} + \varepsilon_{deoxy}(\lambda) \Delta C_{deoxy}) d + \Delta S \quad (2.2)$$

fNIRS 計測では複数の波長を用いて Oxy-Hb、Deoxy-Hb、両者の和である総ヘモグロビン (Total-Hb) の濃度変化を算出するが、光路長を計測することが出来ないため、得られる信号強度は濃度変化と光路長の積となる。すなわち fNIRS 計測で得られるヘモグロビンの変化量は絶対量ではなく、相対量を測定するものであり、生体を通過することによる様々な不確定要素を勘案している。

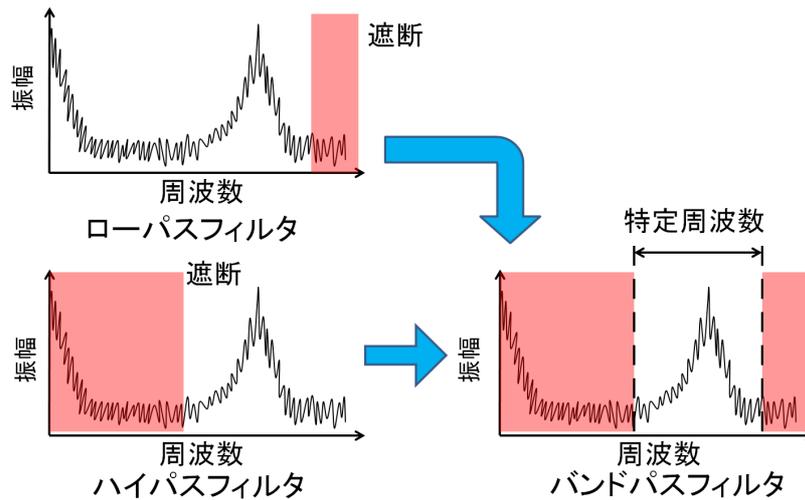


Fig. 2.2 フィルタ処理の種類

2.3 fNIRS データにおけるフィルタ処理

フィルタ処理は、目的とする周波数成分を取り出しデータを明確化するための処理である。fNIRS データにはノイズが含まれており、血流変化の特徴を正確に捉えることはできない。ノイズを取り除くため、Fig. 2.2 に示すフィルタ処理を行う。

出力されたデータは時間領域であるため、高速フーリエ変換で周波数領域のデータに変換する。周波数領域のデータに、特定成分を取り除くバンドパスフィルタ (Band Pass Filter : BPF) の機能を使用する。BPF は、高周波数を遮断して低域周波数のみを通過させるローパスフィルタ (Low-pass filter : LPF) , 低周波数を遮断して高域周波数のみを通過させるハイパスフィルタ (High-pass filter : HPF) の 2 つを組み合わせたフィルタである。正確な脳血流変化の特徴を捉えるためにはデータの状況に応じた遮断周波数の選択が必要である。

3 知的作業と心理状態

これまでの研究により、外向的な被験者と内向的な被験者で実行機能に差異があることが報告されている。ホワイトノイズは男性の自己開示性を低下させ、女性の自己開示性を向上させること⁴⁾や、自己開示性は外向性と正の相関があること⁹⁾が報告されている。先行研究¹⁰⁾においても、ホワイトノイズ提示時に男女で知的作業のパフォーマンスに差が生じたことが報告されているため、本研究では音環境が快の度合い、外向性に及ぼす影響を調査する。

3.1 外向性と認知機能

外向性とは、刺激に敏感に反応し、決断が速く行動的である性質であり、内向性とは、実行力や社交性に乏しい性質である。外向的な人は、ワーキングメモリを支える、情報の更新 (updating)、課題ルールのシフト (shifting)、抑制 (inhibition) といった実行機能が内向的な人よりも優れていることが分かっている¹¹⁾。例として、数字を記憶し、その後想起するスタンバーク短期記憶課題において、外向的な被験者は内向的な被験者よりも高成績、早い反応を示すことを報告した研究¹²⁾や、文字の正像、鏡像を数個記憶し、想起する Letter Rotation 課題において、外向的な被験者は高パフォーマンスを示すことを述べた研究¹³⁾が挙げられる。本研究では、ワーキングメモリを必要とする数字を記憶する課題を行うため、外向性の差異が被験者のパフォーマンスに影響を及ぼすと考えられる。

3.2 VAS (Visual Analogue Scale) 法

3.2.1 VAS 法による快の度合いの調査

被験者が音に対して感じる快の度合いの調査を目的とし、アンケートを行う。アンケートにはVAS法を用いた。VASとは相反する単語を線分の両端に設定し、被験者にその主観値を線分上に記入させるアンケートであり、線分の長さに対して左端からチェック位置までの長さの割合 (0%~100%) を心理量として測定することができる手法である。本実験に用いるアンケートを Fig. 3.1 に示す。快・不快を線分の両端に設置し、快の度合いを調査する。

3.2.2 快の度合いの評価方法

本実験では快の度合いの調査を目的としてアンケート調査を行うため、不快の点を0点、快の点を10点とする。10cmの線上において、不快の点から、実際に被験者が印をつけた点の長さを得点として算出し、快の度合い得点として検討に用いる。

●それぞれの音に感じた感覚を、直線上に×で示してください
(線や枠の外に×をつけることはできません)

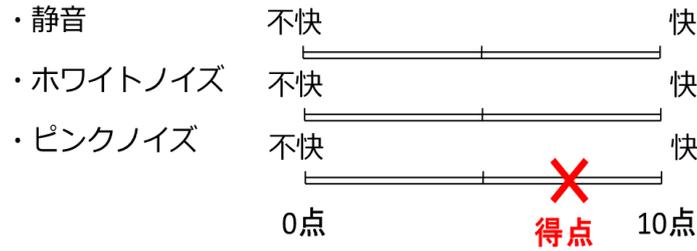


Fig. 3.1 VAS を用いた快の度合いの調査

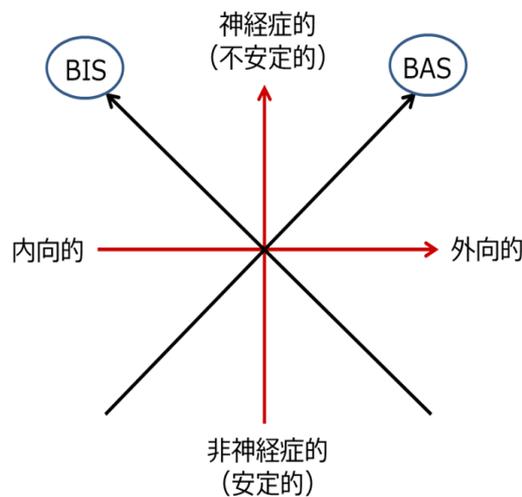


Fig. 3.2 Eysenck と Gray によるモデル

3.3 BIS/BAS 尺度

3.3.1 BIS/BAS 尺度と外向性

外向性の調査方法として、BIS/BAS 尺度がある。Eysenck は神経症傾向と外向性という二次元を持つモデル¹¹⁾を仮定し、外向性は脳幹網様体と大脳皮質の覚醒水準の差で生じると報告した。Eysenck モデルと競合するような形で生まれたのが Gray による気質モデルである。Gray¹⁴⁾ は人間の行動は Behavioral Inhibition System (行動抑制系；以下、BIS)、Behavioral Activation System (行動賦活系；以下、BAS) の 2 つの大きな動機付けシステムの競合によって制御されていると述べた。Gray モデルにおける BIS/BAS の 2 次元と、Eysenck モデルにおける神経症傾向/外向性の 2 次元との関係性は以下のように定義されている¹⁵⁾。BIS の高さは神経症傾向の高さと外向性の低さによって、BAS の高さは神経症傾向の高さと外向性の高さによって定義される。また、Fig. 3.2 に示すように Gray モデルは Eysenck モデルの 2 軸を 45 度回転させたものである¹⁶⁾。

本実験に用いるアンケートを Table 3.1 に示す。20 項目に対して、「あてはまらない」＝

1, 「あまりあてはまらない」 = 2, 「少しあてはまる」 = 3, 「あてはまる」 = 4 で回答するアンケート¹⁷⁾を使用した。設問1～7はBIS, 設問8～20はBASで構成されている。

Table 3.1 BIS/BAS アンケート

	設問
1	誰かが私のことを怒っているんじゃないかと思ったり、怒っていることを知ったりすると、かなり心配したり動揺する
2	何かについて自分の出来が悪かったと思うと悩んでしまう
3	非難や叱責されるとかなり傷つく
4	何かミスをしやしないかと気になる
5	友達と比べるとほとんど恐れを抱かない方である
6	いやなことが起こりそうな時、イライラして落ち着かない
7	たとえ悪いことが自分に起きようとも、めったに恐れたり、緊張したりすることはない
8	コンテストに勝ったら、興奮するだろう
9	何か良いことが自分に起こると、それに強く影響される
10	自分の望むチャンスに恵まれたら、すぐに興奮する
11	欲しいものが手に入るチャンスに恵まれたら、私はすぐに手に入れようとする
12	何か欲しいものを手に入れると、興奮して活気付く
13	自分のしていることがうまく行っている限り、根気よく続けたい
14	突然衝動に駆られて行動することがある
15	欲しいものがあると、無理をしてでもそれを手に入れたい
16	何か欲しいものがあると、どんな手段を使ってでも手に入れようとする
17	何か欲しいものがあるとき、いつも全力でそれを手に入れようとする
18	楽しそうであれば、新しいことは試してみる方である
19	楽しそうであるという理由だけで行動に移したくなる
20	興奮したり新しい感覚を経験したいと強く願っている

3.3.2 外向性の評価方法

本研究では、実験時の被験者の心理状態として、BIS/BAS 尺度を用いて外向性を調査する。各尺度の得点は、単純合計によって求められる。外向性の得点を求めるため、まず BIS, BAS それぞれの得点を算出する。この際、各回答の得点は、「あてはまらない」 = -2、「あまりあてはまらない」 = -1、「少しあてはまる」 = 1、「あてはまる」 = 2 と定義する。その後、Fig. 3.3 に示すように BIS, BAS の得点 A(x,y) から 45 度回転した外向性の軸におろした垂線の交点を外向性の得点として検討に用いる。外向性の得点はピタゴラスの定理、点と直線の距離の公式を用い、式 (3.1) によって求めることができる。

$$\sqrt{x^2 + y^2} - \frac{|x + y|}{2} \quad (3.1)$$

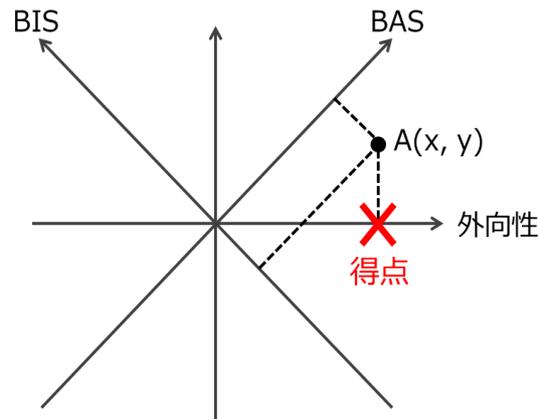


Fig. 3.3 外向性得点の算出

4 雑音環境が記憶作業時の脳血流変化と心理状態に及ぼす影響

先行研究では被験者に男性 8 名を採用し、3 種類の音環境下で数字記憶課題を行った時の脳血流変化を fNIRS で計測し、音環境が成績及び脳血流変化に及ぼす影響について検討している。音環境には、静音 (fNIRS 動作音のみ)、モーツァルトの「2 台のピアノのためのソナタ」(以下、モーツァルト)、ホワイトノイズの 3 種類を用いている。その結果、課題成績は静音 > ホワイトノイズ > モーツァルトの順で高成績を示し、音環境が成績に及ぼす影響に有意差が認められた。また、脳血流変化は静音 > ホワイトノイズ > モーツァルトの順に大きく活性化した。この結果により、音環境による作業成績の変化と脳血流変化には関係性があることが報告されている¹⁰⁾。

4.1 数字記憶課題

数字記憶課題とは、画面に円形表示される 8 つの数字を記憶し、数秒後に記憶した数字を入力する課題である。Fig. 4.1, Fig. 4.2, Fig. 4.3 のような画面を提示して実験を行った。

実際のオフィスにおいて、記憶や入力の作業が想定されるため、本研究では数字記憶課題を用いて検討を行う。また、一般的に数秒数秒間で記憶できる文字数が 6~8 文字とされているため、課題に使用する文字数を 8 文字とした。

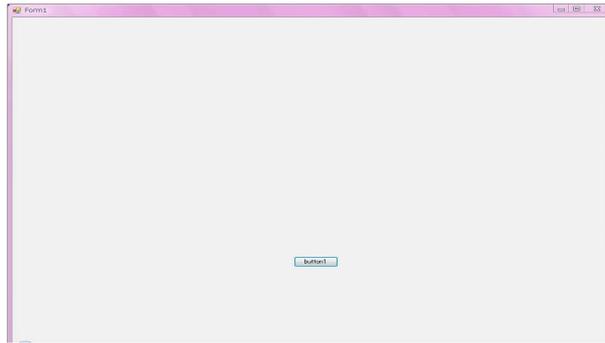


Fig. 4.1 安静時の画面

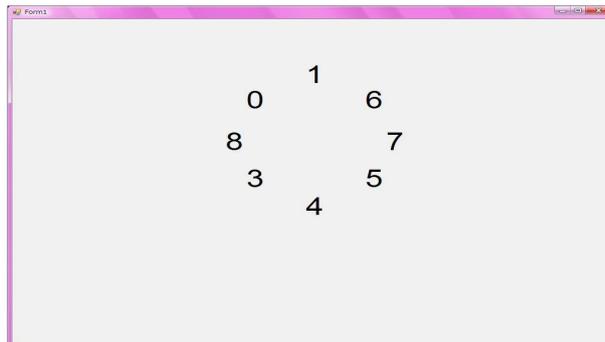


Fig. 4.2 課題提示画面

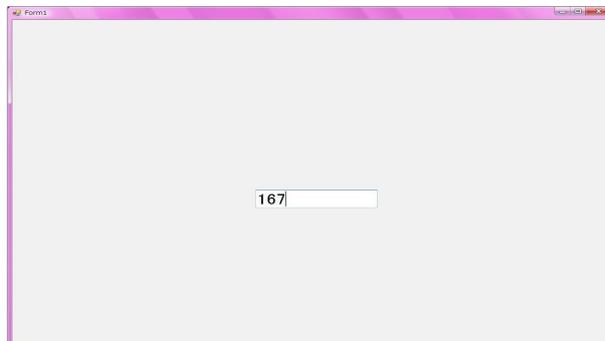


Fig. 4.3 入力画面

4.2 3種類の音環境

本実験で用いる音環境は、静音、ピンクノイズ、ホワイトノイズの3種類である。ピンクノイズはパワースペクトルが周波数に反比例する音で、周波数が大きくなるほど音が小さくなる。一方、ホワイトノイズはパワースペクトルが全ての周波数に対して一定である音である。ピンクノイズやホワイトノイズのようなカラードノイズは、集中力を高めたり、心身のリラックス効果があるとされている。そして、ホワイトノイズは先行研究により数字記憶課題の成績を低下させることが報告されていた¹⁸⁾ため使用した。

静音時はノイズキャンセリングイヤホン(オーディオテクニカ, ATH-ANC23)を着用し、他の音環境の音圧は、実験ごとに普通騒音計 (Indonetwork Priority, Intell Safe AR 814



Fig. 4.4 実験風景

Sound Level Meter) を用いて A 特性音圧レベル (A-weighted sound pressure level) を測定し、平均音圧を 65 ± 0.5 [dB] に統一した。A 特性音圧レベルとは、人間の聴感に基づいた感覚量である騒音の大きさを表すために、騒音の音圧レベルに等ラウドネス曲線に従った周波数重み付けを行ったものである。ただし、全ての音環境は fNIRS の動作音の音圧を含む。

4.3 実験概要

4.3.1 雑音環境下における記憶作業時の成績と脳血流変化

本実験の目的は、音環境が作業成績及び脳血流変化に及ぼす影響、また、その影響における男女差を検討することであり、被験者は成人男性 10 名、女性 10 名 (平均年齢: 23 ± 1 歳, 利き腕: 右, 男性 1 名のみ左) である。実験は室温 $22.3 \sim 25.6$ °C, 湿度 49~57 % の環境下で 11 時~17 時の時間帯に行う。

本実験では作業時に音を提示し、安静時は静音状態を保つ。作業成績として、数字記憶課題の正答文字数を音環境ごとに測定する。課題の提示は液晶ディスプレイで行い、ディスプレイの左右に設置したスピーカ (ASI Audio Technologies, EMCPU1-0G) を通して音を出力する。実験設計は先行研究⁶⁾を参考にしたものである。実験で用いた数字記憶課題は、被験者により与えられた問題数 (30 問) を解答し終わる時間が異なるため、イベントデザインで設計した。実験風景を Fig. 4.4 に示す。国際 10-20 法に準拠して被験者に fNIRS 装置のプロンプを装着し、Fig. 4.5 の流れで実験を行う。

以下に実験の流れを示す。

- (1) 安静: 30 秒間画面を注視しながら指を動かす。
- (2) 作業 (記憶): 円形に表示されるランダムな数字 8 個を 3 秒間で記憶する。
- (3) 作業 (記憶保持): 1 秒間記憶を保持する。

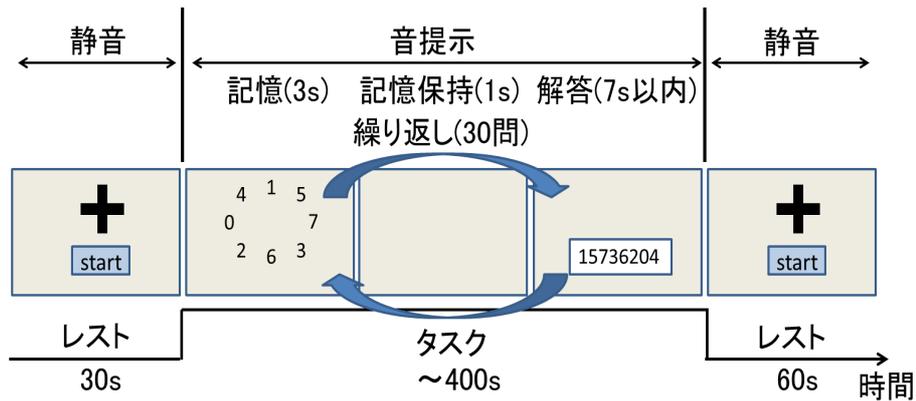


Fig. 4.5 実験の流れ

- (4) 作業 (解答) : 記憶した数字を順番通りに 7 秒以内に入力する.
- (5) 作業 (繰り返し) : 2~4 を 30 回繰り返す.
- (6) 安静 : 30 秒間画面を注視しながら指を動かす.

作業時の音環境を静音, ピンクノイズ, ホワイトノイズの 3 パターンに設定して計測を行い, 音の提示順序はカウンターバランスをとるために, 被験者ごとにランダムで提示する.

また, ハイパスフィルタはかけず, ローパスフィルタは 1.0 [Hz], 移動加算平均処理のサンプル秒数は 10 秒に設定する.

4.3.2 雑音環境が外向性に及ぼす影響

心理学研究により, ホワイトノイズは男性の自己開示性を低下させ, 女性の自己開示性を向上させること⁴⁾や, 自己開示性は外向性と正の相関があること⁹⁾が報告されている. 前実験において, ホワイトノイズ提示時に男女でパフォーマンスに差が生じた要因の調査のために, 音環境が外向性に及ぼす影響を検討することが目的である. 前実験と同様に, ピンクノイズ, ホワイトノイズ環境下で数字記憶課題を行い, その後, BIS/BAS アンケートを実施する. また, 各被験者内で外向性を比較するため, 静音状態でもアンケートを実施し, 対照となるデータを計測する. アンケートの回答を覚えている可能性があるため, 3 回の計測は別日に行う. 被験者は, 前実験と同じ男性 10 名, 女性 10 名である.

4.4 脳の活性部位の検討方法

一度の計測において, t 検定と積分値について以下の二条件を満たすチャンネルを, 活性チャンネルとした.

- t 検定

タスク開始直前の 50 サンプルと, タスク開始 10 秒後の 50 サンプルとの間に, 有意水準 1% で有意差が見られたチャンネルを活性チャンネルとする. 動作が脳血流変化に表れるまで, 6~7 秒程かかるとされているため, タスク開始 10 秒後の 50 サンプルを用いた.

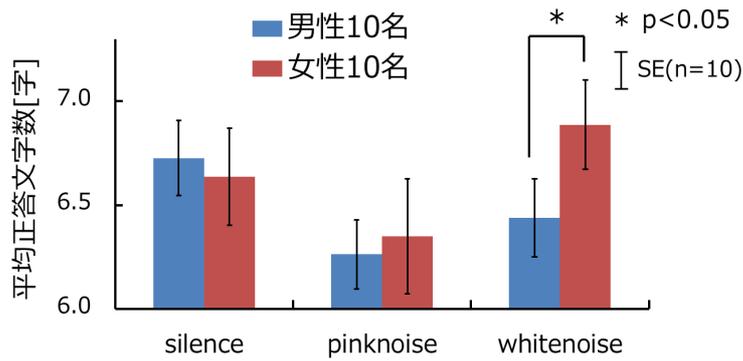


Fig. 4.6 男女の成績比較

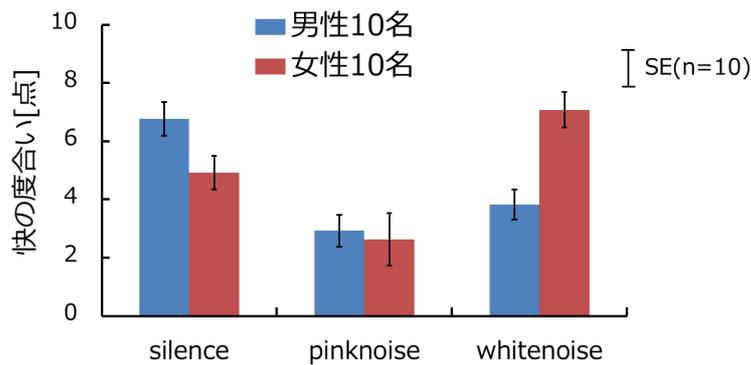


Fig. 4.7 快の度合い

- 積分値

各被験者，同一プローブ内の，平均積分値よりも積分値が大きいチャンネルを活性チャンネルとする。

4.5 男女による成績比較

男女それぞれの数字記憶課題における平均正答文字数の結果を Fig. 4.6 に示す。男性は，静音>ホワイトノイズ>ピンクノイズの順に良い成績を示したのに対して，女性は，ホワイトノイズ>静音>ピンクノイズの順に良い成績を示した。男女それぞれの成績に対する二元配置分散分析の結果，男性は $F(2,22) = 6.87, p < .05$ ，女性は $F(2,22)=17.5, p < .05$ となり，男女共に音環境の要因は 5%水準で有意であった。この結果より，数字記憶課題の成績に音環境が影響することが示された。その影響の男女差について検討するために，音環境ごとに男女の成績間で t 検定を行った結果，静音は $t(10)=0.37, p > .05$ ，ピンクノイズは $t(10)=0.39, p > .05$ ，ホワイトノイズは $t(10)=0.047, p < .05$ となり，ホワイトノイズのみ 5%水準で有意差が認められた。

4.6 成績と心理状態の検討

快の度合いの結果を Fig. 4.7 に示す。男性は，静音>ホワイトノイズ>ピンクノイズの順に高い快の度合いを示したのに対して，女性は，ホワイトノイズ>静音>ピンクノイズ

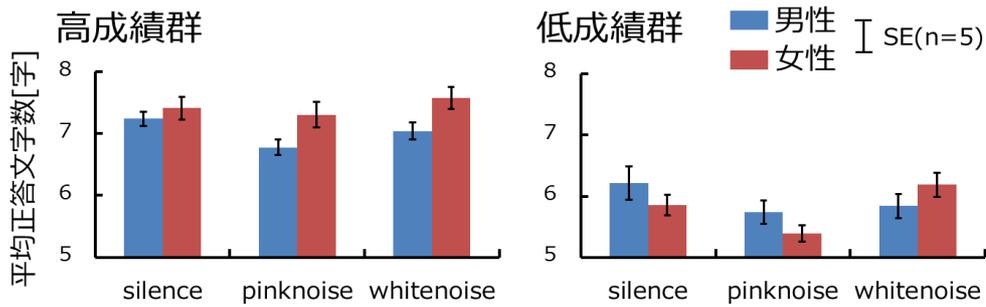


Fig. 4.8 各群の課題成績

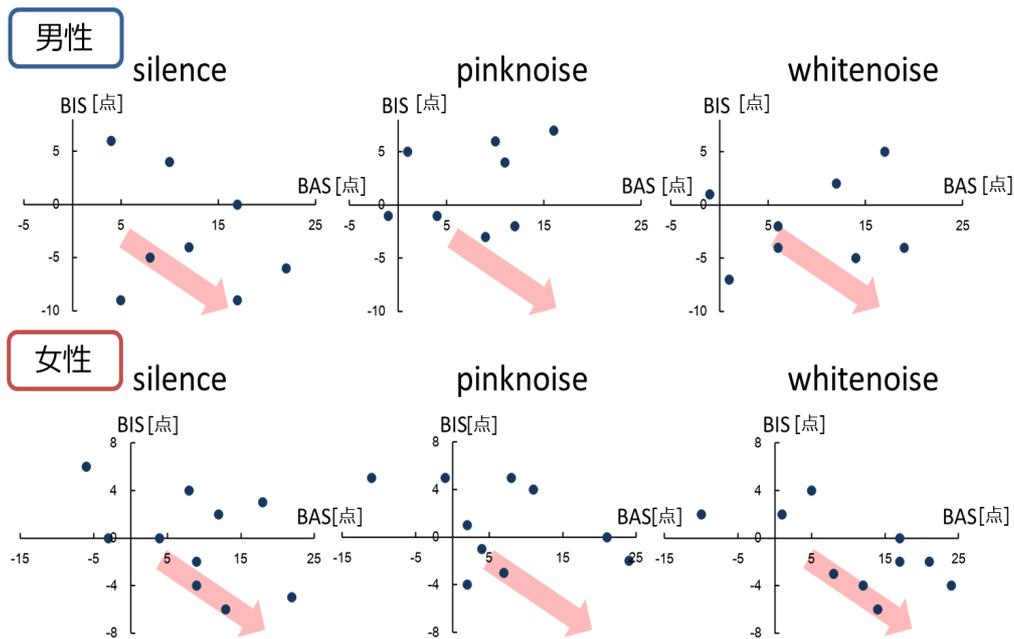


Fig. 4.9 BIS/BAS の分布結果

の順に高い快の度合いを示した。Fig. 4.6, Fig. 4.7 より，快と感じる音環境ほど高成績につながる結果となった。

4.7 静音時の成績による群分け

静音時の成績をもとに，男女それぞれ高成績群，低成績群に分類した。Fig. 4.8 は各群の課題成績である。各群の成績に対して二元配置分散分析を行った結果，男性高成績群： $F(2,8)=4.24, p > .05$ ，女性高成績群： $F(2,8)=2.82, p > .05$ ，男性低成績群： $F(2,8)=9.31, p < .05$ ，女性低成績群： $F(2,8)=22.95, p < .05$ となり，男女共に，高成績群は音環境の要因は有意でなかったが，低成績群は音環境の要因が有意である結果となった。

4.8 成績および心理状態と脳血流変化の関係性

各音環境における，BIS/BAS アンケートによる男性被験者，女性被験者の散布図を Fig. 4.9 に示す。Fig. 3.2 のモデルより，Fig. 4.9 では，右下に近づくほど外向性が高い。Fig.

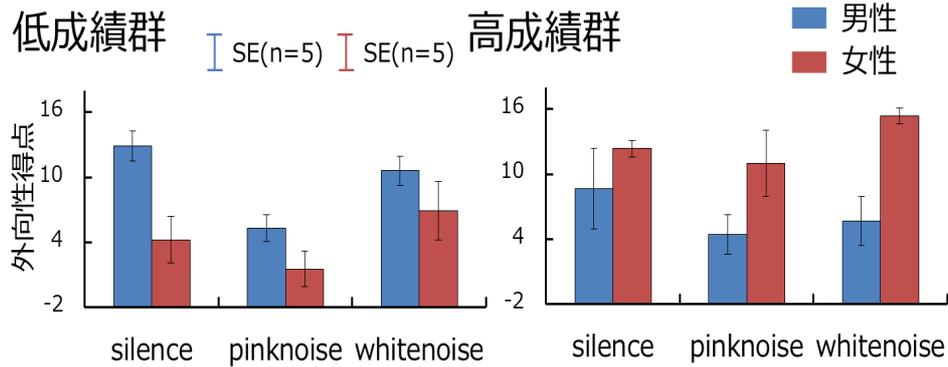


Fig. 4.10 群ごとの外向性得点

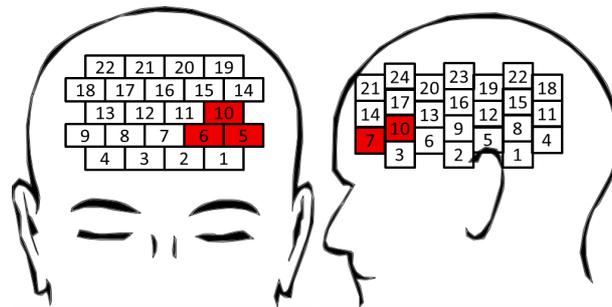


Fig. 4.11 活性部位

4.9より、男性は静音、女性はホワイトノイズにおいて、右下の領域に被験者がより多くなる結果となった。

前実験で群分けした、成績群ごとの外向性得点を Fig. 4.10 に示す。男女共に、高成績群、低成績群どちらも、高成績を示す音環境ほど外向性が高い結果となった。また、二元配置分散分析を行った結果、男性高成績群： $F(2,8)=3.02, p > .05$ 、女性高成績群： $F(2,8)=3.64, p > .05$ 、男性低成績群： $F(2,8)=10.20, p < .05$ 、女性低成績群： $F(2,8)=6.91, p < .05$ となり、男女共に、高成績群は音環境の要因は有意でなかったが、低成績群は音環境の要因が有意であった。

全ての音環境において、半分以上の被験者でレスト・タスク間に有意差が認められ、タスク時に脳血流が大きく増加していたのは、Fig. 4.11 に示す左側頭部の CH7, 10 および、前頭部の CH5, 6, 10 であった。活性部位となったチャンネルの脳血流変化を加算平均し、成績結果と比較した。Fig. 4.12 に男性被験者、Fig. 4.13 に女性被験者それぞれ一名の結果を例として示す。より快と感じ、外向性が向上し、良い成績を示す音環境において、Fig. 4.11 に示す部位で大きい脳血流変化を示す結果となった。また、多くの被験者において、この傾向が見られる結果となった。

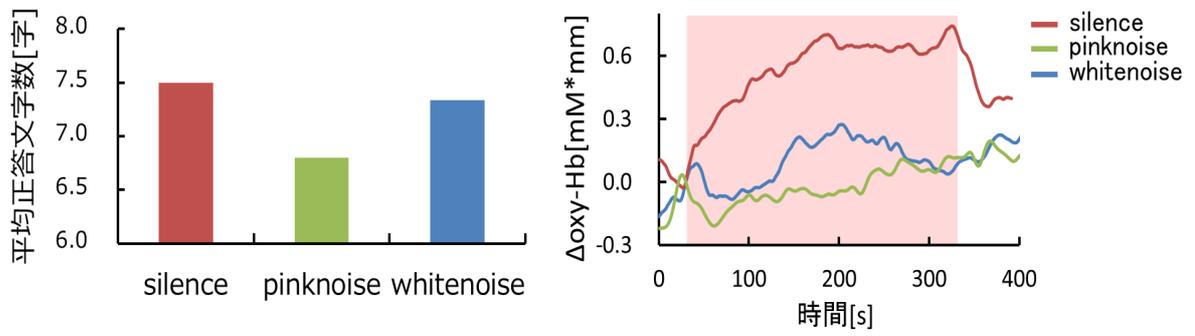


Fig. 4.12 男性被験者

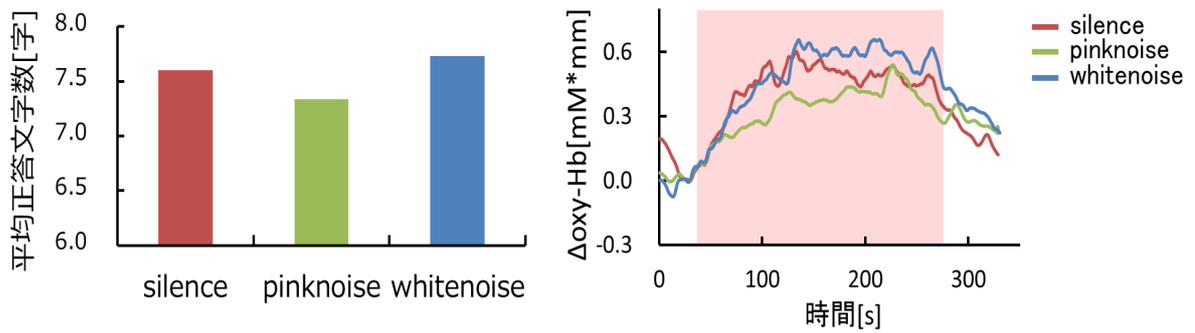


Fig. 4.13 女性被験者

高成績群

低成績群

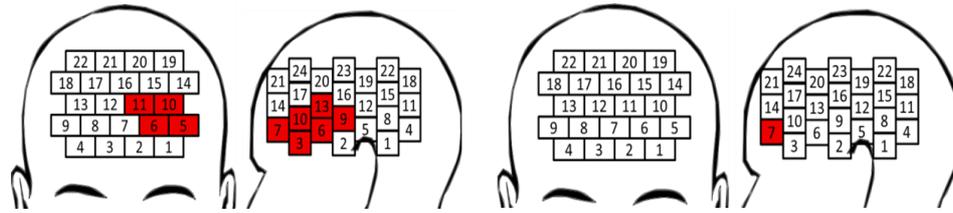


Fig. 5.1 各群の活性部位

5 考察

5.1 成績と快の度合い

実験結果より、男性と女性では高成績を示す音環境が異なり、男性は静音、女性はホワイトノイズであることが分かった。心理学研究によると、女性は男性に比べてホワイトノイズを快に思い、リラックスできる音環境であるとされている⁴⁾。本実験においても、アンケート結果により、男性は静音を快と感じ、女性はホワイトノイズを快と感じた傾向にあった。また、脳血流変化は快音条件では増加し、不快音条件では減少することが報告されている¹⁹⁾。このことより、被験者は快適だと感じた音において、良い成績を示すことができ、脳血流変化が大きく増加したと考えられる。また、ホワイトノイズには、他の音をマスキングする効果や、集中力向上の作用³⁾などがあり、NIRSの動作音などをマスキングした可能性がある。

5.2 成績及び心理状態と脳血流変化の関係性

男女共に、高成績群は音環境の要因は有意でなかったが、低成績群は音環境の要因が有意であった。高成績群共通の活性部位、低成績群共通の活性部位を Fig. 4.11 に示す。今回、活性部位として抽出された左側頭部の CH7, 10 および前頭部の CH5, 6, 10 は下前頭回付近である。下前頭回はワーキングメモリや、行動の抑制を担っている。また、高成績群共通の活性部位、低成績群共通の活性部位を Fig. 5.1 に示す。群分けにより、低成績群は活性 CH がほぼなかったのに対し、高成績群では下前頭回付近が広く活性していた。音を聞かないように抑制、注意し、ワーキングメモリを働かせることで、高成績につながり、音環境の要因が有意でなかったと考えられた。

心理学研究により、ホワイトノイズは、男性の自己開示性を低下させる効果、女性の自己開示性を向上させる効果があることが報告⁴⁾されている。また、自己開示性は外向性と正の相関があること⁹⁾が分かっている。このことから、ホワイトノイズは外向性と関係性があると考えられる。本実験より、ホワイトノイズ提示環境において知的作業のパフォーマンスに男女差があることが分かったが、ホワイトノイズは知的作業時の男性の外向性に負の影響、女性の外向性に正の影響を及ぼしたと考えられる。また、外向的な人は、ワーキングメモリを支える、情報の更新 (updating)、課題ルールのシフト (shifting)、抑制

(inhibition) といった実行機能が内向的な人よりも優れることが分かっている¹¹⁾。さらに、外向性が向上すると、前頭前野におけるドーパミン濃度が上昇し、ワーキングメモリが向上すること²⁰⁾、感情は認知よりも先立つ²¹⁾ことが報告されている。短期記憶、記憶保持、出力という作業で構成され、ワーキングメモリを必要とする本課題において、被験者は快と感じた音環境で外向性が向上することにより、前頭前野にドーパミンが放出され、ワーキングメモリが向上し、高成績を示したと考えられる。また、活性部位として抽出された部位はワーキングメモリや行動の抑制を担っている、前頭前野、下前頭回付近である。高成績群は、課題成績、快の度合い、外向性得点全てにおいて音環境の要因は有意でなかったものの、男性は静音の環境、女性はホワイトノイズの環境において各パフォーマンスが向上する結果となった。これらのことより、音を快と感じ、外向性が向上し、前頭前野にドーパミンが放出されながらも、音を聞かないように注意・抑制して課題に集中することができるため、ワーキングメモリを働かせ、高成績を示すことができたと考えられた。

6 結論

本研究では、音環境が知的作業と脳血流変化に及ぼす影響、その影響における男女差の検討及び、音環境が外向性に及ぼす影響を目的とした。実験では知的作業に数字記憶課題を用い、静音、ピンクノイズ、ホワイトノイズの3種類の音環境の中で実験を行った。その際の脳血流変化をfNIRSで計測し、作業成績と脳血流変化に音環境が及ぼす影響における男女差について調査した。

その結果、ホワイトノイズ提示下において、課題成績への影響に有意に男女差が見られた。VAS法を用いたアンケートの結果、快と感じる音は男女で異なる傾向となり、それぞれ快と感じる音ほど高成績につながる結果となった。また、外向性を調査するBIS/BASアンケートの結果、快と感じる音、高成績を示す音環境と、外向性が向上する音環境が一致する結果となった。本実験において、活性部位として抽出された部位は下前頭回付近であった。そして、低成績群は活性CHがほぼなかったのに対し、高成績群では下前頭回付近が広く活性していた。下前頭回はワーキングメモリや、行動の抑制を担っており、外向性が向上すると、前頭前野におけるドーパミン濃度が上昇し、ワーキングメモリが向上することが分かっている。高成績群は、課題成績、快の度合い、外向性得点全てにおいて音環境の要因は有意でなかった。これらのことより、音を快と感じ、外向性が向上し、前頭前野にドーパミンが放出されながらも、音を聞かないように注意・抑制してして課題に集中することができるため、ワーキングメモリを働かせ、高成績を示すことができたと考えられた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、3年間に渡って熱心にご指導を頂きました、同志社大学生命医科学部の廣安知之教授に心より感謝いたします。また、本研究を進める上で多くのご助言と丁寧なご指導を頂きました、同志社大学生命医科学部の山本詩子助教に心より感謝いたします。そして、fNIRS に関して様々なご指導を頂き、研究の基盤を支えていただきました横内久猛氏にこの場をお借りしてお礼申し上げます。本論文を執筆するにあたり、校正してくださいました同志社大学生命医科学研究科博士前期課程の大西夏子氏と西村祐二氏に心より感謝いたします。お忙しい中、丁寧な校正や助言をして頂きありがとうございました。さらに、本研究を遂行するにあたり、活発な議論をして頂いた環境班の皆様と、研究室の皆様に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 相馬洋平, 松永哲雄, 曾我仁, 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.
- 2) 岩城護, 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, Vol. 108, No. 52, pp. 19–24, 2008.
- 3) 辻村壮平, 上野佳奈子. 教室内音環境が学習効率に及ぼす影響. 日本建築学会環境系論文集, Vol. 75, No. 653, pp. 561–568, 2010.
- 4) 小口孝司. 音環境が自己開示に及ぼす効果. *The Japanese Journal of Experimental Social Psychology*, Vol. 32, No. 1, pp. 27–33, 1992.
- 5) 山本ゆう子. 温熱環境が作業効率に与える影響に関する基礎的研究 (修士論文梗概). 生活工学研究, Vol. 3, No. 1, pp. 14–15, 2001.
- 6) 星野雄地. 音環境が数字記憶課題の成績と脳血流変化に及ぼす影響の検討. 生体医工学会, 2012.
- 7) 福田正人. 精神疾患と NIRS 光トポグラフィ検査による脳機能イメージング. 中山書店, 2009.
- 8) 酒谷薫, 岡田英史, 星詳子, 宮井一郎, 渡辺英寿. NIRS-基礎と臨床-. 新興医学出版社, 2012.
- 9) 大坊郁夫, 岩倉加枝. 自己開示におけるパーソナリティと状況要因の役割. 山形大學紀要. 教育科学, Vol. 8, No. 3, pp. 315–341, 1984.
- 10) 將積彩芽. 音環境が数字記憶課題の成績と脳血流変化に及ぼす影響の検討. 日本光脳機能イメージング学会, 2013.
- 11) Eysenck S. B. G., Eysenck H. J., and Barrett P. A revised version of the psychoticism scale. *Personality and Individual Differences*, Vol. 1, No. 6, pp. 21–29, 1985.
- 12) Matthew D.L. Introversion and working memory: central executive differences. *Personality and Individual Differences*, Vol. 28, No. 3, pp. 479–486, 2000.
- 13) Alana M. C., Deana B. D., David P. M., and Lucy J. T. Executive functions and extraversion. *Personality and Individual Differences*, Vol. 51, No. 6, pp. 720–725, 2011.
- 14) Gray J. A. The psychophysiological basis of introversion-extraversion. *Behaviour Research and Therapy*, Vol. 8, No. 1, pp. 249–266, 1970.

- 15) 高橋雄介, 山形伸二, 木島伸彦, 繁榊算男, 大野裕, 安藤寿康. Gray の気質モデル bis/bas 尺度日本語版の作成と双生児法による行動遺伝学的検討. 日本パーソナリティ心理学会, Vol. 15, No. 3, pp. 276–289, 2007.
- 16) Gray J. A. A critique of eysenck's theory of personality. *A Model for Personality*, Vol. 8, No. 1, pp. 246–276, 1981.
- 17) 上出寛子, 大坊郁夫. 日本語版 bis/bas 尺度の作成. 対人社会心理学研究, Vol. 5, No. 1, pp. 49–58, 2005.
- 18) 後藤卓司, 中山実. 数字記憶課題における脳波への音環境の影響. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 103, No. 135, pp. 31–36, 2003.
- 19) 浅野裕俊, 広重暁, 井出英人. 機能的近赤外分光法を用いた快-不快音聴取時の脳活動評価. 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), Vol. 131, No. 1, pp. 70–75, 2011.
- 20) Raija L., Antti H., Maria A., Ying H.L., Pekka T.M., and Matthew D.L. Catechol 0-methyltransferase inhibitor tolcapone has minor influence on performance in experimental memory models in rats. *Behavioural Brain Research*, Vol. 82, No. 2, pp. 195–202, 1997.
- 21) 野村里朗. 神経科学の観点から-感情と行動、脳、遺伝子の連関について-. 感情心理学研究, Vol. 16, No. 2, pp. 143–155, 2008.

付 図

2.1	fNIRS の計測原理	3
2.2	フィルタ処理の種類	4
3.1	VAS を用いた快の度合いの調査	6
3.2	Eysenck と Gray によるモデル	6
3.3	外向性得点の算出	9
4.1	安静時の画面	10
4.2	課題提示画面	10
4.3	入力画面	10
4.4	実験風景	11
4.5	実験の流れ	12
4.6	男女の成績比較	13
4.7	快の度合い	13
4.8	各群の課題成績	14
4.9	BIS/BAS の分布結果	14
4.10	群ごとの外向性得点	15
4.11	活性部位	15
4.12	男性被験者	16
4.13	女性被験者	16
5.1	各群の活性部位	17

付 表

3.1	BIS/BAS アンケート	8
-----	-------------------------	---