

修士論文

作業時における色温度が脳血流量変化に  
及ぼす影響のfNIRSを用いた検討

同志社大学大学院 生命医科学研究科 生命医科学専攻  
博士前期課程 2010年度 121番

大西 佑奈

指導教授 廣安 知之教授

2012年1月25日

## **Abstract**

In this thesis, brain function mapping was observed and discussed when the human environment was changed during the same tasks. The target environment in this thesis was color temperature of lighting. Under the two types of lighting condition (low color temperature and high color temperature), the change of oxygenated hemoglobin of frontal region and temporal region including prefrontal area was measured while conducting the calculating task and Go/NoGo task. From the experiment of the calculating task, the change of oxygenated hemoglobin was much more increased with low color temperature than the high color temperature environment at front of head. From the experiment of the Go/NoGo task, the change of oxygenated hemoglobin was much more increased on high color temperature than the low color temperature environment at right of head. And, average of reaction time under high color temperature is slower than under low temperature for performance. From these results, the activity level of brain function can differ by the change of color temperature and it could have likely affected to the performance.

# 目次

<b>1</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>近赤外分光法による脳機能イメージング (fNIRS)</b>	<b>1</b>
2.1	fNIRS の概要 . . . . .	2
2.2	fNIRS の計測原理 . . . . .	3
<b>3</b>	<b>2つの色温度環境における脳血流量変化の差異の検証</b>	<b>6</b>
3.1	実験概要 . . . . .	6
3.2	実験環境 . . . . .	6
3.3	計測機器・計測部位 . . . . .	7
3.4	計測データの処理 . . . . .	7
<b>4</b>	<b>計算課題</b>	<b>9</b>
4.1	概要 . . . . .	9
4.2	実験結果 . . . . .	9
4.3	考察 . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Go/NoGo 課題</b>	<b>13</b>
5.1	概要 . . . . .	13
5.2	実験結果 . . . . .	14
5.3	考察 . . . . .	15
<b>6</b>	<b>結論</b>	<b>18</b>

# 1 序論

近年、オフィスや公共施設などにおいて、在室者の快適性や健康性ならびに生産性の向上を求める声が高まっている。そして、室内環境が作業のパフォーマンス、または疲労感などの心理的・生理的に影響を与えるという研究は、すでに多数行われている。田辺らは、室内の温熱環境が作業中に与える影響を主観的と生理的に評価している<sup>1)</sup>。相原らは、室内温度と香りが単純作業に及ぼす影響を調査している<sup>2)</sup>。また、光環境を改善することで知的生産性の向上が図れることも報告されている<sup>3)</sup>。

また近年、脳血流量の変化量を計測する近赤外分光法による脳機能イメージング (functional Near-Infrared Spectroscopy : fNIRS) が、機能的磁気共鳴画像 (functional Magnetic Resonance Imaging : fMRI) に並ぶ非侵襲的に脳血流量変化を測定できる新たな脳機能解析手法として、注目を集めている。fMRI と比べると、空間分解能が脳回程度で低く、脳深部が測定できない点では劣るものの、装置を移動でき、座位での検査が可能であるため、日常的な作業時の脳機能を検討するのに適している。そして、fMRI の計測条件から、室内環境の影響を調査することが難しいため、fNIRS の方が室内環境の影響を調査するのに適している。

先ほど述べたように、室内環境が人に何らかの影響を与えていることはわかっている。本研究では室内環境の中でも光環境に焦点をあてた。環境を検討する要因として、照度、輝度、色温度などがあるが、本研究は色温度に着目した。色温度とは、有る光源が発している光の色を定量的な数値で表現する尺度のことである。色温度に対しても、Shi らが 3 種類の色温度環境の下エクササイズを行い、その際の色温度の影響を脳波と主観的評価により、評価している<sup>4)</sup>。このことから、色温度環境も人に何らかの影響を与えていることがわかるが、脳血流量に与える影響はまだ調べられていない。

そこで本研究は、異なる色温度環境の下で同じ作業をした場合の脳血流量の変化の差異を fNIRS による結果を基に検討することを目的としている。対象とする作業として、計算課題と Go/NoGo 課題を用いた。日常的な作業には同じことを繰り返す単純な作業と、まず注意は向けているが何かしらの判断が必要とされる作業がある。そこで、単純な作業の代表として計算課題を、判断が必要とする課題の一番基本的なモデルとして Go/NoGo 課題を選んだ。そして、2 種類の色温度環境の下、その 2 つの課題で実験を行い、色温度の差異と脳血流量の変化の差異の関連について示した。

以降、2 章で fNIRS の概要と計測原理、3 章で 2 つの色温度環境における脳血流量変化の差異を検証する実験について述べる。そして 4 章、5 章で用いる対象課題とその際の実験結果について述べ、6 章でまとめる。

## 2 近赤外分光法による脳機能イメージング (fNIRS)

近赤外分光法による脳機能イメージング (fNIRS) は、非侵襲の脳機能イメージング装置の一種であり、近赤外光を用いて血中ヘモグロビンの相対的变化量を多点で計測することで脳の活動を画像化することができる。本章では fNIRS の概要および fNIRS の計測原理について述べる。

## 2.1 fNIRS の概要

人間が知的機能を活用する場合、その機能に応じた大脳皮質の部位が活性化することが知られている。このため、大脳皮質には機能の局在性があると言われている<sup>5)</sup>。さらに活性状態にある脳の周辺部では、神経血管カップリングにより脳血管が拡張し脳血流が増加する。神経血管カップリングとは、神経活動による酸素代謝の亢進に伴い脳血管が拡張し脳血流が上昇する仕組みのことを示す<sup>6)</sup>。これに従い毛細血管も拡張するため組織に含まれる血液量が増加し、赤血球の中で酸素を運搬する働きを持つヘモグロビンの酸化還元率も変化する。fNIRSはこの毛細血管におけるヘモグロビンの相対的変化量を計測するものである。Fig. 2.1 に示すような機器で測定する。



Fig. 2.1 fNIRS (光トポグラフィETG-7100)

fNIRSには、以下のような長所と短所が挙げられる<sup>6)</sup>。

- 長所

- 非侵襲性

光を用いた測定であるため生体への有害な影響はなく、幼児に対しても反復して測定することが可能である。

- 高時間分解能

市販の装置でも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することが可能である。

- 可搬性

装置が小型で移動可能であり、診療室やベッドサイドをはじめとする様々な臨床現場で場所を選ばず検査を行うことが可能である。

- 低拘束性

座位や立位などの自然な姿勢で、発声や運動を行いながら検査が可能である。臥位で無動を保たなければならない他の脳機能イメージング法と比較すると、より自然な状態での検査が可能となる。

- 短所

- 低空間分解能

- 測定に散乱光を用いるため、空間分解能は 10 ~ 30 mm 程度の大きさである。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決定することは困難である。

- データの不確実性

- 得られるデータがヘモグロビン濃度の相対的変化量であり、絶対量を求めることはできない。そのため頭皮や頭蓋骨板間など、脳以外に流れる血流の影響を受ける。fNIRS を用いて脳の活動に応じた変化を測定する場合、脳活動変化後のデータから変化前のデータを除外できるよう留意する必要がある。

## 2.2 fNIRS の計測原理

fNIRS で用いる近赤外光は、血液中のヘモグロビンによって吸収、散乱される。光の吸収、散乱の度合いは酸素と結び付いた酸素化ヘモグロビン (Oxy-Hb) と酸素が外れた脱酸素化ヘモグロビン (Deoxy-Hb) の量により変化する。これを利用すれば、Oxy-Hb と Deoxy-Hb の濃度変化量は脳組織を通過した光の量を計測することで得られる連立方程式を解いて求めることができる<sup>6)</sup>(詳細は 2.2.2 項に示す)。Fig. 2.2 に計測原理の概略図を示し、以下に計測の流れについて述べる。

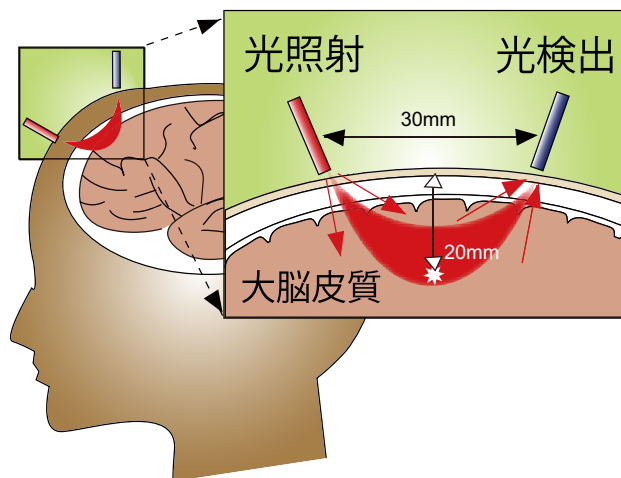


Fig. 2.2 fNIRS の計測原理

- (1) 頭皮上に設置された照射点から、波長の異なる 2 種類の近赤外光を光ファイバを用いて頭蓋内に向け照射する。
- (2) 近赤外光は、頭部の組織内で吸収、散乱を繰り返し、約 20mm の深部 (大脳皮質) にまで到達する。
- (3) 照射点から約 30mm 離れた検出点で散乱光を検出する。このとき 30mm より短い場合は、大脳皮質を通過する光量が減り、また 30mm より長い場合は検出用の光ファイバで検出される光量と S/N 比が低下する。

(4) 検出された光から大脳皮質の Oxy-Hb, Deoxy-Hb の濃度変化を算出する。

### 2.2.1 近赤外光を用いた生体測定

生体組織の光測定には波長が 700 ~ 900nm の近赤外光が使用される。この理由は、近赤外光よりも波長の短い可視光ではヘモグロビンによる吸収が大きく、また長い波長では水による吸収が大きくなり、光が生体内を進めないためである。これに対し、近赤外光の波長領域は生体を透過しやすいため、生体の窓とも呼ばれる。光の生体組織への浸透深さはおよそ Fig. 2.3 のように表せる。

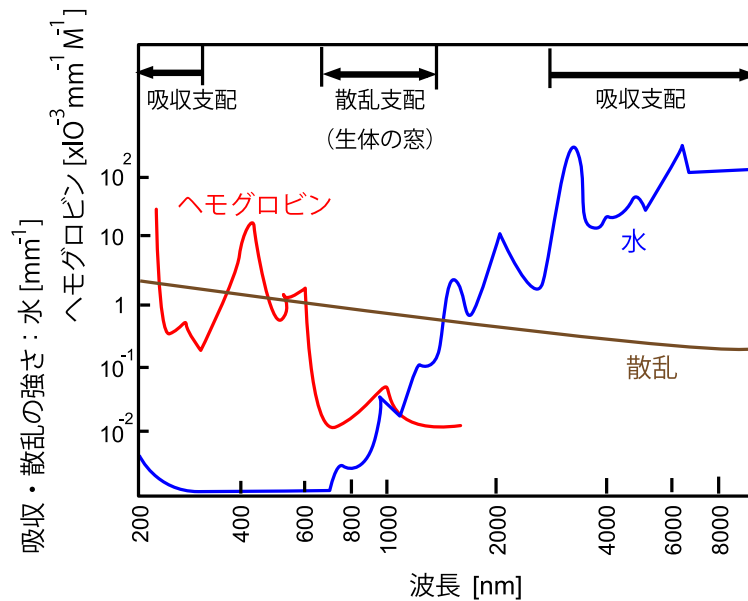


Fig. 2.3 体組織による光吸収・散乱の波長特性

この波長域での光の吸収は Oxy-Hb と Deoxy-Hb によって生じるが、両者は異なる吸収スペクトルを持ち、Fig. 2.4 に示すように 805nm 近傍が等吸収点となっている。このため Oxy-Hb と Deoxy-Hb の吸光係数が既知であれば、2 波長以上での吸光量変化を計測することで Oxy-Hb と Deoxy-Hb の濃度変化を算出することができる。

### 2.2.2 分光学に基づいた生体測定

fNIRS を用いてヘモグロビン濃度の変化を測定する方法は、分光学に基づいて設計されている。この設計とは吸収量を計測することによって物質濃度を定量するものであり、波長の異なる複数の光を用いなければならない。その基礎となっているのがランベルト・ベールの法則 (Lambert-Beer law) である<sup>7)</sup>。

Fig. 2.5 のような一直線上に向かい合わせた光源と検出器の間にサンプルを置くことを想定した場合、サンプルの距離  $d$  とサンプルに含まれる物質濃度  $C$  との積によって、入射した光は指数的に減少する。サンプルに入射する光量を  $I_{in}$ 、濃度  $C$  の物質を均一に含むサンプル溶液を距離  $d$  だけ透過した後に検出される光量  $I_{out}$ 、吸光係数  $\varepsilon$  とおくと式 (2.1) が成立する。

$$-\text{Log} \frac{I_{out}}{I_{in}} = \varepsilon C d \quad (2.1)$$

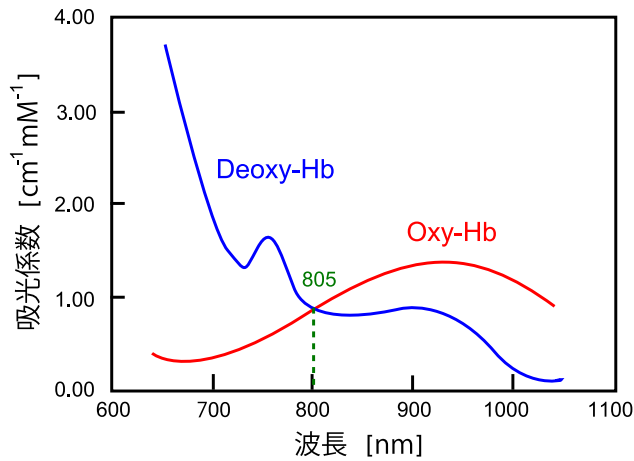


Fig. 2.4 ヘモグロビンの吸収スペクトル

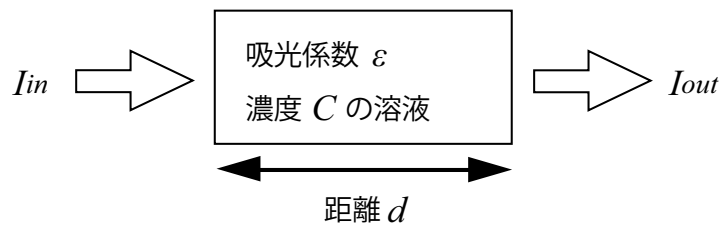


Fig. 2.5 ランベルト・ベールの法則

式 (2.1) より、予め特定波長での溶液の吸光係数  $\varepsilon$  が求められていれば、 $I_{in}$ 、 $I_{out}$ 、 $d$  を測定することで対象とする溶液の濃度  $C$  を求めることができる。

しかし、ランベルト・ベールの法則は透明な液体に適用されるものである。透明とは吸収のみを示すものである。実際には、生体に照射された光は吸収と散乱による減衰を受けつつ伝播する。また生体測定では、光源と検出器が一直線上に向かい合う位置よりも、光源と検出器が同じ方向の位置で測定することのほうが多い。このような背景の中で、ランベルト・ベールの法則を拡張して散乱のある媒体に適用したのが式 (2.2) のモディファイド・ランベルト・ベールの法則 (modified Lambert-Beer Law) である<sup>8)</sup>。

$$-\text{Log} \frac{\Delta I_{out}}{I_{in}} = \varepsilon \Delta C d + \Delta S \quad (2.2)$$

式 (2.2)  $\Delta I_{out}$  は透過光量変化、 $\Delta C$  は濃度変化、 $\Delta S$  は散乱による影響変化を示すものである。生体に入射される波長  $\lambda$  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  $\varepsilon_{deoxy}(\lambda)$ 、Oxy-Hb の濃度変化を  $\Delta C_{oxy}$ 、Deoxy-Hb の濃度変化を  $\Delta C_{deoxy}$  とすると以下の式 (2.3) が成り立つよう fNIRS は設計されている。

$$-\text{Log} \frac{\Delta I_{out}}{I_{in}} = (\varepsilon_{oxy}(\lambda) \Delta C_{oxy} + \varepsilon_{deoxy}(\lambda) \Delta C_{deoxy}) d + \Delta S \quad (2.3)$$

式 (2.3) より変数が  $\Delta C_{oxy}$  および  $\Delta C_{deoxy}$  の 2 つである。よって、2 種類の異なる波長の近赤外光を用いることで連立方程式を立て、これらを求めることができる。



### 3 2つの色温度環境における脳血流量変化の差異の検証

#### 3.1 実験概要

色温度環境の差異が脳血流量に影響を与えるかどうかを調査するため、2種類の色温度環境の下、後述の計算課題、Go/NoGo課題の実験を行った。被験者は男性健常者6名(21~24歳)である。被験者全員に各課題を2種類の色温度環境で行ってもらい、その際のOxy-Hbの変化量に着目する。なお、実験デザインにはFig. 3.1に示すブロックデザインと、設計の考え方は同じだがそれぞれの時間を実験者の任意で決めるイベントデザインを用いる。

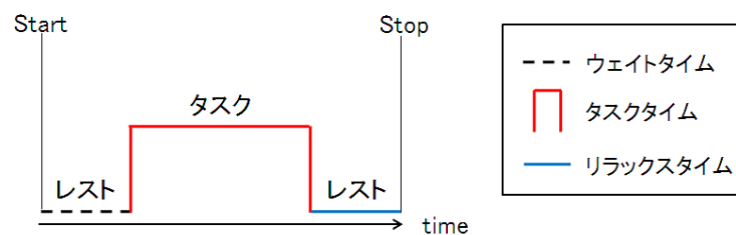


Fig. 3.1 ブロックデザイン

fNIRSは機器の設計上、血液に含まれるヘモグロビンの相対的变化量しか計測できない。そのため、目的とする脳活動を検出するための作業(以下タスク)の他に、タスクに対する参照状態となる作業(以下レスト)を検討する必要がある。タスクに応じて設定したレストは、タスクタイム前後のウェイトタイムおよびリラックスタイムで実施する。

#### 3.2 実験環境

本実験は、室温22.8~24.9℃、湿度29~56%という環境の下行った。また、計測する時間帯を17~21時とし、被験者ごとの誤差は1時間未満とした。2種類の色温度環境の照明として、 $\alpha$ -200 LED Color Desk Lamp(株式会社アルファリンク JP製)を使用し、それ以外の照明は消灯した環境で行った。高い色温度環境を7000[K]、低い色温度環境を4000[K]と設定した。その実験の様子をFig. 3.2とFig. 3.3に示す。



Fig. 3.2 高色温度：7000[K]

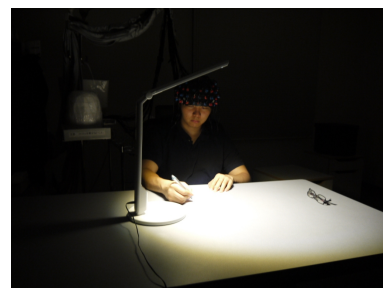


Fig. 3.3 低色温度：4000[K]

### 3.3 計測機器・計測部位

本実験では fNIRS 装置として、光トポグラフィ ETG-7100 (株式会社日立メディコ製) を使用した。本装置は Fig. 3.4 と Fig. 3.5 に示す 3×5 プローブホルダと 4×4 プローブホルダを組み合わせること  
でさまざまな部位・タスクに応じてデータを計測することが可能である。実験では、3×5 プローブホルダ (22ch) を用いて前頭部を、4×4 プローブホルダ (24ch) を用いて側頭部を計測することで、計測部位である前頭葉をカバーする。なおプローブの設置は再現性を保つために国際 10-20 法の Fpz, T4, T3 を参考に設置する<sup>6)</sup>。具体的には、前頭部のプローブにおける 2ch-3ch の間を Fpz, 右側頭部のプローブにおける 2ch を T4, 左側頭部における 2ch を T3 とした。それぞれの設置位置と計測されるチャンネルの番号, 参考点を Fig. 3.6 および Fig. 3.7 に示す。実際に装着した様子を Fig. 3.8 に示す。

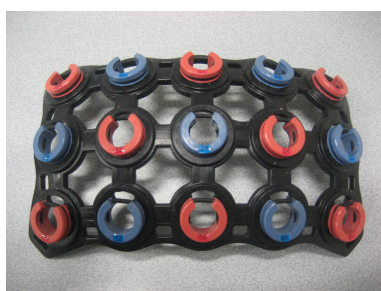


Fig. 3.4 3 × 5 プローブ



Fig. 3.5 4 × 4 プローブ

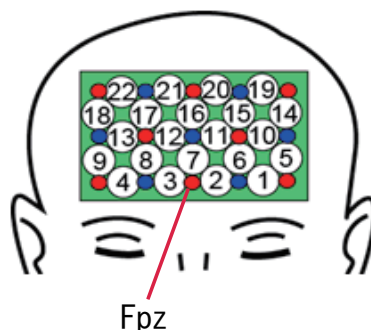


Fig. 3.6 前頭部のプローブ設置位置

### 3.4 計測データの処理

fNIRS で計測したデータはノイズが含まれていたり、呼吸運動や体動による基準線の変動が発生する。よって、これらのことを考慮した上で、脳活動の特徴を捉えたデータ処理が必要となる。本実験で得られたデータには、以下の処理を行った。

- 移動加算平均処理

ノイズを含んだ時系列データを平滑化する処理である。本実験での移動平均に用いたサンプル秒数は 10 秒 (= 100 サンプル) である。



Fig. 3.7 側頭部のプローブ設置位置



Fig. 3.8 プローブを装着している様子

- ベースライン処理

ベースライン処理とは、データをタスク毎に切り出し、各タスク前後のレストを基準とすることで、タスクにおける反応を標準化、明確化する処理である。fNIRS の計測では、予め PreTime、PostTime を設定し、PreTime と PostTime のそれぞれの平均値に対して、最小二乗近似で 1 次方程式（以下 Fitting 直線と呼ぶ）を算出し、タスクに伴う Oxy-Hb 変化量を Fitting 直線からの変化として補正する（Fig. 3.9）。本実験での PreTime と PostTime は以下の通りである。

- PreTime：タスク直前の 5 秒
- PostTime：一番最初に脳の血流量が落ち着いた点の前後の合計 5 秒

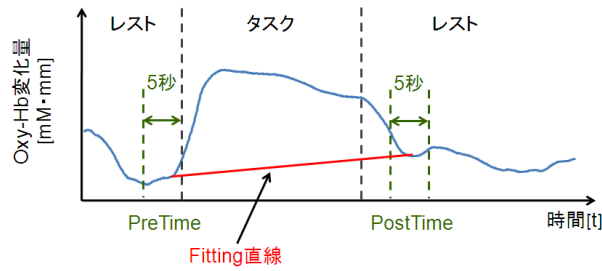


Fig. 3.9 ベースライン処理

## 4 計算課題

### 4.1 概要

計算課題でのタスク、被験者は2桁×1桁の乗算を行い、計算式が書いてある問題用紙に答えを記入する。また、実験より以前にタスクと同時間、25問用意した2桁×1桁の乗算を解いてもらい、その時解いた問題数の1.5倍の問題数を用意し、それをタスク時間内に全て解くことを目標とした。そして、基準となる脳血流量の変化を計測するため、レストは紙に0から9の数字を順に記述する作業を行った。計算課題の計測シーケンスを Fig. 4.1 に示す。

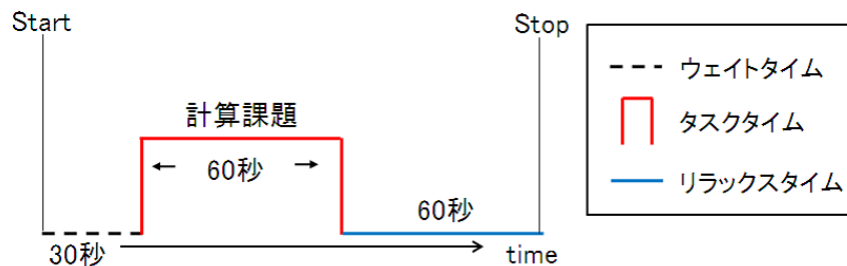


Fig. 4.1 計算課題の計測シーケンス

また、脳血流量が落ち着くための事前準備として、1環境において消灯した状態と点灯した状態で Fig. 4.1 に示す時間と同じ時間である150秒間のレストの作業を行った。その後、点灯した状態で計算課題を行った。

### 4.2 実験結果

#### 4.2.1 課題のパフォーマンス

本実験では、パフォーマンスとして正解数に着目する。短時間の作業では、パフォーマンスに差は見られないことがわかっている<sup>9)1)</sup>。被験者ごとの解答数を Table 4.1 に示す。

Table 4.1 より、解答数の差がある場合でも1, 2問であり、色温度の差による傾向も見られない。

また、被験者のレベルに合わせて出題する問題数を変えているため、回答数の再現性はあると考えられる。

Table 4.1 計算課題の回答数

	A	B	C	D	E	F
高色温度	14	14	13	15	17	27
低色温度	14	12	15	15	18	27

#### 4.2.2 fNIRS の計測結果

Fig. 4.2 は1人の被験者の前頭部における Oxy-Hb 変化量である。縦軸は Oxy-Hb 変化量，横軸は時間を表しており，赤の線が低色温度，青の線が高色温度の環境下においての計測結果である。また，ここで述べる Oxy-Hb 変化量は 3.4 節の処理を施したものである。そして，緑色で囲んだ区間がタスクである。

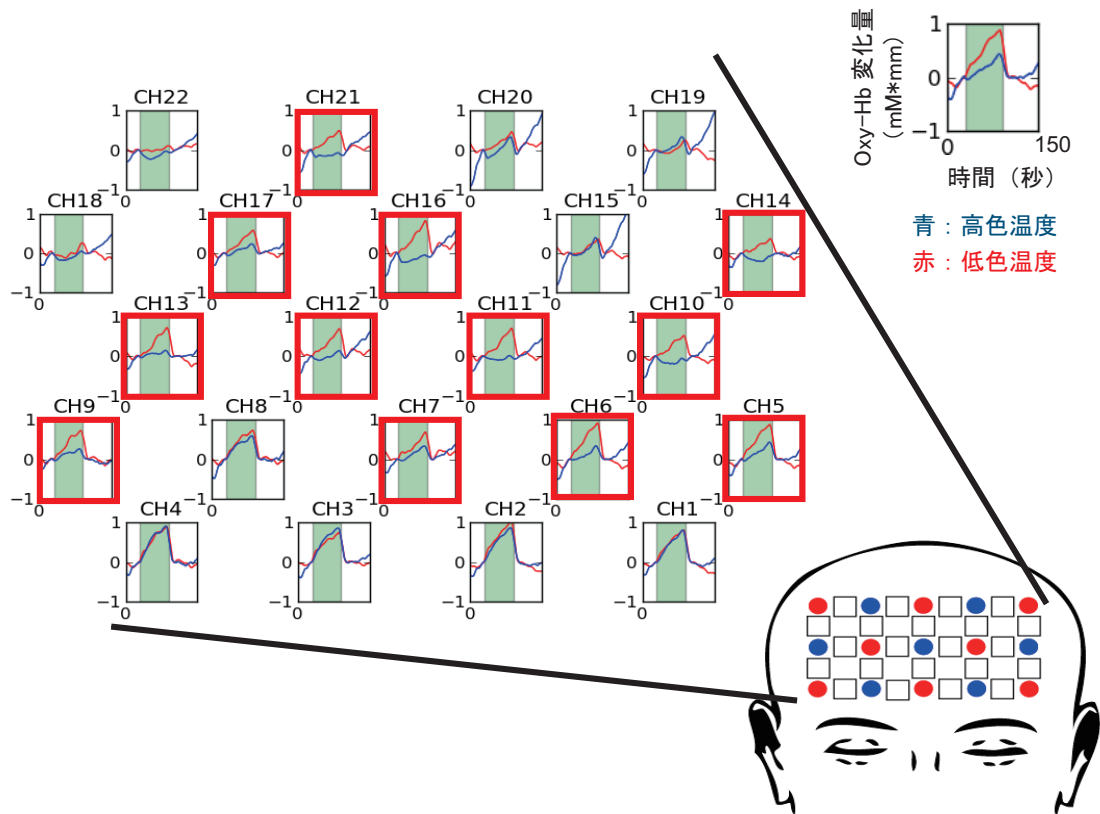


Fig. 4.2 計算課題の計測結果の例（前頭部）

赤色で囲ってあるチャンネルのグラフは，低色温度の時の方が高色温度の時と比較し，タスクでより上昇している箇所である。このように，複数のチャンネルにおいて，低色温度の時の方が高色温度の時と比較し，タスクでより上昇している箇所が全ての被験者で見られた。そこで，タスク中に含まれる Oxy-Hb 変化量を積分し，全ての測定部位のチャンネル毎で t 検定を行った。t 検定の結果，低色温度の時の方がタスクの Oxy-Hb 変化量の積分値が有意に大きいというチャンネルを，前頭部は Fig. 4.3，側頭部は Fig. 4.4 に示す ( $p < 0.05$ )。赤色のチャンネルが有意に大きいチャンネルである。

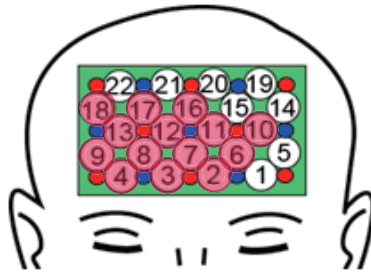


Fig. 4.3 前頭部において低色温度が有意に大きいチャンネル



Fig. 4.4 側頭部において低色温度が有意に大きいチャンネル

また、タスクでどの部分において Oxy-Hb 変化量が上昇しているかを知るため、事前準備である点灯した状態で 150 秒間レストの作業を行った際のタスクにあたる時間中に含まれる Oxy-Hb 変化量の積分値と計算課題を行った際のタスク中に含まれる Oxy-Hb 変化量の積分値で、それぞれの色温度において t 検定を行った。その結果、計算課題を行った際の方がタスクの Oxy-Hb 変化量の積分値が有意に大きいというチャンネルを、高色温度における前頭部は Fig. 4.5、側頭部は Fig. 4.6、低色温度における前頭部は Fig. 4.7、側頭部は Fig. 4.8 に示す ( $p < 0.05$ )。赤色のチャンネルが有意に大きいチャンネルである。



Fig. 4.5 高色温度で前頭部において計算課題を行った際有意に大きいチャンネル

これらのことから、前頭部においては、低色温度では計算課題を行うとタスク中に Oxy-Hb 変化量が有意に増加するが、高色温度では増加しているとは言えない。そのため、前頭部の多数のチャンネルにおいて、低色温度の時の方が高色温度の時と比較し、タスクで Oxy-Hb 変化量が有意に増加して



Fig. 4.6 高色温度で側頭部において計算課題を行った際有意に大きいチャンネル



Fig. 4.7 低色温度で前頭部において計算課題を行った際有意に大きいチャンネル



Fig. 4.8 低色温度で側頭部において計算課題を行った際有意に大きいチャンネル

いる．右側頭部においては，どちらの色温度でも計算課題を行うと，前方のチャンネルでタスク中に Oxy-Hb 変化量が有意に増加している．低色温度の時の方が有意に増加しているチャンネルが多いが，低色温度の時の方が高色温度の時と比較し，タスクで Oxy-Hb 変化量が有意に増加しているチャンネルは前方の ch11 と ch18 だけである．左側頭部においては，どちらの色温度でも計算課題を行うと，前方のチャンネルでタスク中に Oxy-Hb 変化量が有意に増加している．しかし，色温度による有意差は見られない．

### 4.3 考察

計算課題のパフォーマンスは、解答数の差がある場合でも1, 2問であり、色温度の差による傾向も見られなかった。このことから、1, 2問の差というのは、解答のばらつきであると考えられる。

左側頭部において、計算課題を行うと、前方のチャンネルでタスク中に Oxy-Hb 変化量が有意に増加しているが、色温度による有意差はみられなかった。これは、この前方のチャンネルが前頭前野背外側部という部分を含んでいるために、どちらでも同程度増加した可能性があると考えられる。前頭前野背外側部には、数字を短期記憶として保持する必要がある条件において活性化するとされている<sup>10)</sup>。

前頭部の多数のチャンネル及び右側頭部の ch11 と ch18 では、低色温度の時の方が高色温度の時と比較し、タスクで Oxy-Hb 変化量が有意に増加しているという結果になった。しかし、右側頭部の ch18 以外は、高色温度の際、計算課題を行ってもタスク中に Oxy-Hb 変化量が有意に増加しないという結果になった。このことから、例えばパフォーマンスに差があるとは言えなくても、計算課題において、低色温度の方が前頭部で、脳機能の活性度が高いと予測される。

## 5 Go/NoGo 課題

### 5.1 概要

Go/NoGo 課題とは、「被験者に Go 信号または NoGo 信号を提示し、Go 信号に対しては何らかの運動（レバーを引く、ボタンを押すなど）によって即座に反応し、NoGo 信号であれば動いてはいけない」という課題である。本実験の Go/NoGo 課題は Smith ら<sup>11)</sup>の先行研究を参考にしたものである。2種類の周波数（1100Hz と 2000Hz）の音をランダムに提示し、1100Hz の音を Go 信号、2000Hz の音を NoGo 信号とした。Go 信号が提示された際はボタンを押し、NoGo 信号が提示された際は押さないこととし、信号は合計 125 回提示されるよう設計した。また、Go 信号と NoGo 信号の発生する割合はそれぞれ 70% と 30% とした。Go/NoGo 課題の設計図を Fig. 5.1 に示す。レストは消灯した状態でリラックスするよう指示し、時間は実験者が脳血流量が十分に落ち着いたのを目視するまでとした。Go/NoGo 課題の計測シーケンスを Fig. 5.2 に示す。

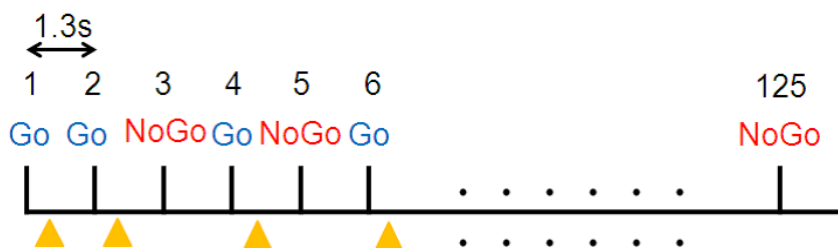


Fig. 5.1 Go/NoGo 課題の設計図

Fig. 5.2 を 1 環境において、3 回繰り返した。最初の 2 回は課題に慣れてもらうために行ったもので、消灯状態で行った。3 回目は Go/NoGo 課題を行っているときのみ点灯して行った。



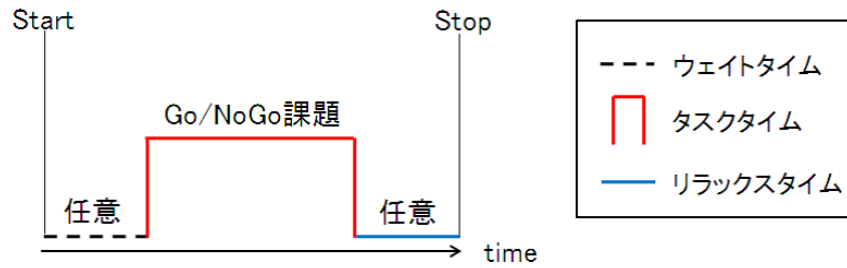


Fig. 5.2 Go/NoGo 課題の計測シーケンス

## 5.2 実験結果

### 5.2.1 Go/NoGo 課題のパフォーマンス

本研究では，Go/NoGo 課題のパフォーマンスとして，NoGo 信号の際にボタンを押してしまった割合と Go 信号の際にボタンを押さなかった割合，平均反応時間に着目した．2 つの割合を Table 5.1 と Table 5.2 に示す．

Table 5.1 NoGo 信号の際にボタンを押してしまった割合

	割合 [%]					
	A	B	C	D	E	F
高色温度	0.00	0.10	0.05	0.03	0.19	0.00
低色温度	0.00	0.10	0.00	0.00	0.19	0.00

Table 5.2 Go 信号の際にボタンを押さなかった割合

	割合 [%]					
	A	B	C	D	E	F
高色温度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
低色温度	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

NoGo 信号の際にボタンを押してしまった割合においては，被験者 6 人中 4 人がどちらの色温度でも同じである．Go 信号の際にボタンを押さなかった割合においては，押さなかった人が 1 人しかいないという結果である．これらのことから，このパフォーマンスでは色温度の差による傾向は見られないと言える．

次に平均反応時間を Fig. 5.3 に示す．

Fig. 5.3 より，全ての被験者で高色温度の時の方が低色温度と比較し，平均反応時間が遅いことがわかる．しかし，被験者 D は反応時間が 0.5 秒以上であった回数がボタンを押す回数の半数近くあったことや，被験者 E の反応時間を速い順に並べ，その上位 10% を平均したものが 0.1 秒台になるこ

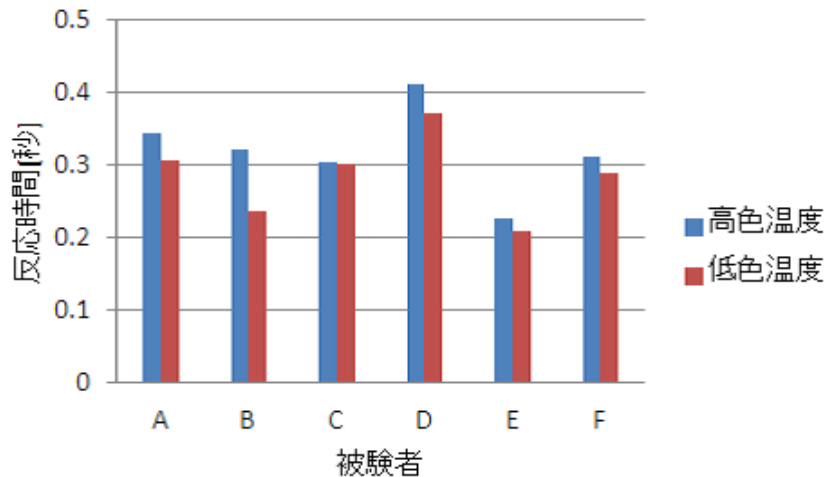


Fig. 5.3 Go/NoGo 課題の平均反応時間

とから、この2人の被験者のデータは信憑性が低いと考えられる。しかし、その2名を除いても高色温度の時の方が平均反応時間が遅い傾向は変わらないため、Go/NoGo 課題では、高色温度の時に低色温度の時と比較し、平均反応時間が遅くなる可能性が示唆される。

### 5.2.2 fNIRS の計測結果

被験者 A と G の前頭部の Oxy-Hb 変化量を例として Fig. 5.4 と Fig. 5.5 に示す。縦軸は Oxy-Hb 変化量、横軸は時間を表しており、赤の線が低色温度、青の線が高色温度の環境下における計測結果である。また、ここで述べる Oxy-Hb 変化量は 3.4 節の処理を施したものである。そして、緑色で囲んだ区間がタスクである。これらのように高色温度の時と低色温度の時の Oxy-Hb 変化量に差が見られない結果と、高色温度の時の方が低色温度の時と比較し、タスクでより上昇しているチャンネルが見られる結果があり、一見どのような傾向かわからない。

そこで、タスク中に含まれる Oxy-Hb 変化量をチャンネル毎に平均し、チャンネル毎で t 検定を行った。t 検定の結果、高色温度の時の方がタスクの Oxy-Hb 変化量の積分値が有意に大きいというチャンネルを、前頭部は Fig. 5.6、側頭部は Fig. 5.7 に示す ( $p < 0.05$ )。赤色のチャンネルが有意に大きいチャンネルである。

これらの結果より、右側頭部の多数のチャンネルにおいて、高色温度の時の方が低色温度の時と比較し、タスクで Oxy-Hb 変化量が有意により増加していることがわかり、他の計測部位と比較し、広範囲に及ぶことがわかる。

### 5.3 考察

fNIRS の計測結果より、右側頭部の広範囲において、高色温度の時の方が低色温度の時と比較し、タスクで Oxy-Hb 変化量が有意により増加していることがわかった。そして、パフォーマンスにおいて、高色温度の時の方が低色温度の時と比較し、平均反応時間が遅くなる傾向が見られた。この2つのことから、Go/NoGo 課題では、右側頭部で高色温度の時、低色温度の時と比較し、脳機能の活性

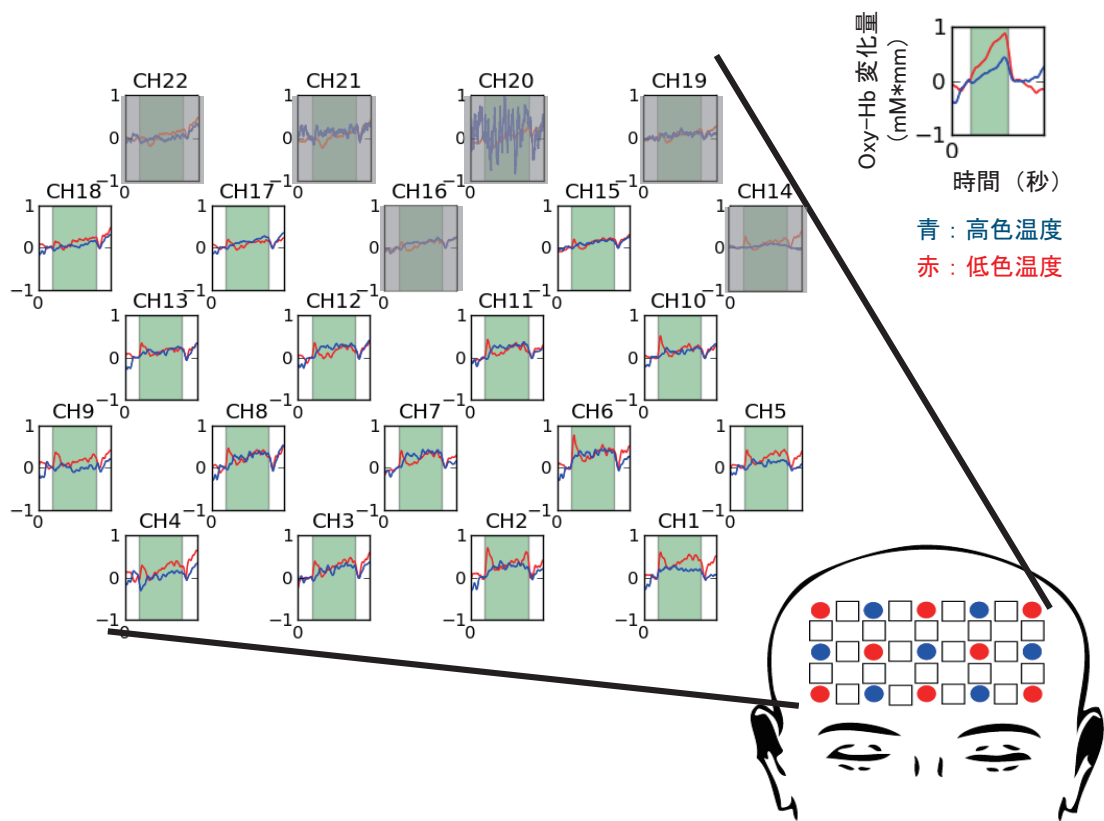


Fig. 5.4 Go/NoGo 課題における前頭部の計測結果 (被験者 A)

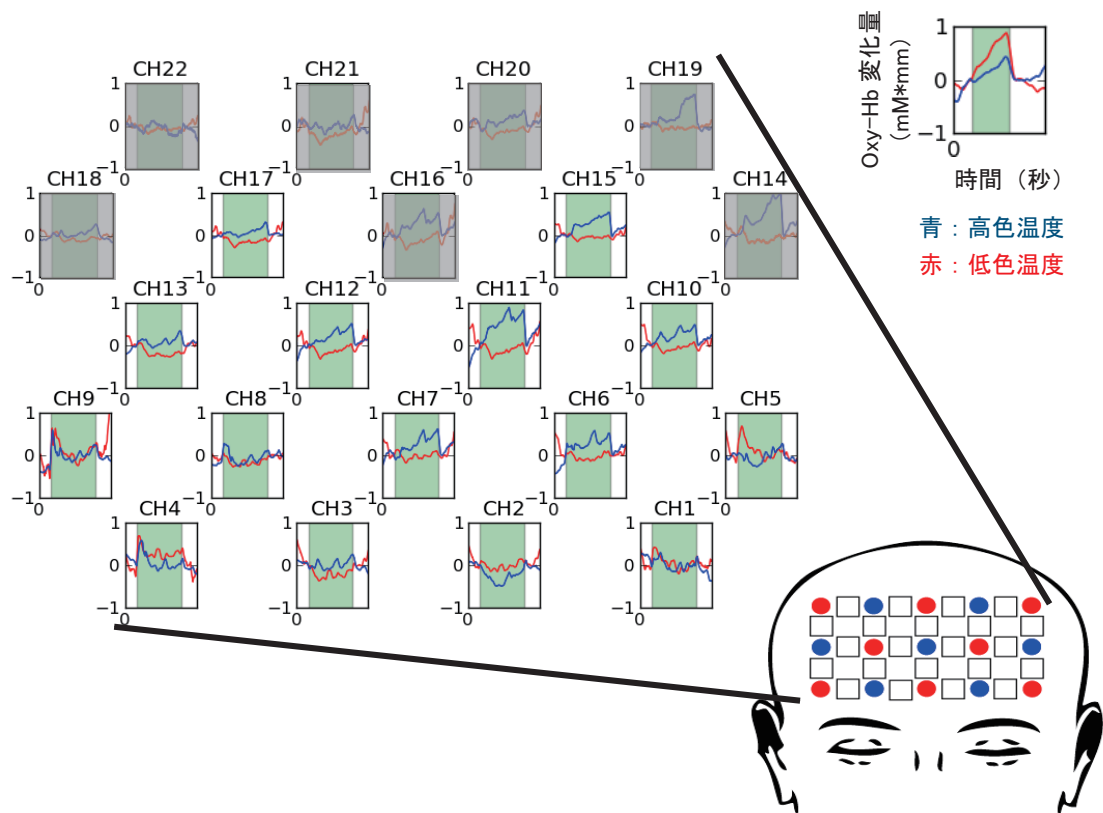


Fig. 5.5 Go/NoGo 課題における前頭部の計測結果 (被験者 G)

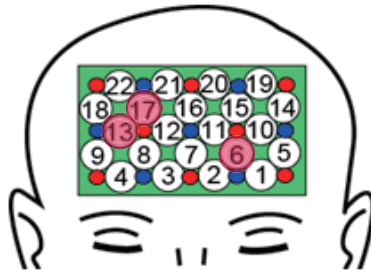


Fig. 5.6 前頭部において高色温度が有意に大きいチャンネル



Fig. 5.7 側頭部において高色温度が有意に大きいチャンネル

度が高く、そのことが反応時間に影響している可能性が示唆された。

## 6 結論

本研究は、異なる色温度環境の下で同じ作業をした場合の脳血流量の変化の差異を検討した。脳血流量の測定には、自由度が高く自然な状態での計測が可能な fNIRS を用い、脳血流量の様子を脳血流に含まれる Oxy-Hb の変化量でとらえた。また、対象とする作業には計算課題と Go/NoGo 課題を用いた。

被験者実験の結果、計算課題における回答数と、Go/NoGo 課題においては NoGo 信号の際にボタンを押し間違えた割合と Go 信号の際にボタンを押さなかった割合については、どちらも色温度の差異による影響が見られるとは言えなかった。しかし、Go/NoGo 課題の平均反応時間については、高色温度の時の方が低色温度の時と比較し、遅くなるという傾向が見られた。

fNIRS の計測結果については、計算課題を行うと、左側頭部において前方のチャンネルでタスク中に Oxy-Hb 変化量が有意に増加しているが、色温度による有意差はみられなかった。これは、この前方のチャンネルが前頭前野背外側部という部分を含んでいるために、どちらでも同程度増加した可能性があると考えられる。また、高色温度の時に前頭部では計算課題を行うと有意に増加するとは言えないが低色温度の時には有意に増加したため、前頭部の広範囲で低色温度の時の方がタスクにおいて有意に Oxy-Hb 変化量が大いという結果であった。このことから、例えばパフォーマンスに差があるとは言えなくても、計算課題においては、低色温度の方が前頭部で、脳機能の活性度が高いと予測さ

れる。

Go/NoGo 課題の結果，右側頭部の広範囲において，高色温度の時の方が低色温度の時と比較し，タスクで Oxy-Hb 変化量が有意に増加するという結果であった．このことと平均反応時間のことから，右側頭部で高色温度の時，低色温度の時と比較し，脳機能の活性度が高く，そのことが反応時間に影響している可能性が示唆された．

この2つの結果から，例えパフォーマンスが同一であっても、脳機能の活性度が環境の変化で異なっている可能性があること，また，脳機能の活性度が環境の変化で異なり、それがパフォーマンスにも影響を与える可能性があることが予想される．

なお，計算課題では課題時間が1分というとても短時間であったことから，パフォーマンスに差が見られなかった．今後，長時間課題に取り組んでもらうなど，パフォーマンスにも差が出るような実験設計をする必要がある．また，Go/NoGo 課題では，課題を行う際にしか照明を点灯させなかったため，さらに長く点灯させた場合，Oxy-Hb 変化量にどのような影響が現れるのかも調査する必要がある．

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、2年間に渡って熱心なご指導、多くのご協力を頂きました、同志社大学生命医科学部の廣安知之教授に心より感謝致します。

また、本研究を進める上で、多くの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横内久猛教授に心より感謝いたします。

本研究を進める上で、多くの助言を頂き、研究の議論に時間を割いて下さいました fNIRS 研究グループの福原理宏氏に心より感謝いたします。

そして、本研究を進める上で多くの議論の場に参加し、私を支えていただきました、fNIRS 研究グループの皆さまに心より感謝いたします。

また、本論文の修正に時間を割いていただき、多くの助言をいただきました、宮地正大氏に心より感謝いたします。

そして、本研究を進める上で多くの被験者実験に参加していただきました、医療情報システム研究室の皆さまに心より感謝いたします。最後に、私の研究活動を理解し、経済的や精神的な面で支え続けてくれた家族と友人に深く感謝し、修士論文とします。

## 参考文献

- 1) Shin ichi Tanabe, Naoe Nishihara, Masaoki Haneda. Indoor temperature, productivity, and fatigue in office tasks. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Vol. 13, No. 4, pp. 623–633, 2007.
- 2) 合原妙美, 岩下剛. 室内環境の快適性と単純作業パフォーマンスに関する考察 室内の気温及び香りによる覚醒がパフォーマンスに及ぼす影響 . 日本建築学会環境系論文集, Vol. 572, pp. 75–80, 2003.
- 3) 大林史明, 富田和宏, 服部瑤子. オフィスワークの生産性改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価. ヒューマンインターフェースシンポジウム 2006, 2006.
- 4) Lu Shi, Tetsuo Latsuura, Yoshihiro Shimomura, Koichi Iwanaga. Effects of different light source color temperatures during physical exercise on human eeg and subjective evaluation. *Journal of the Human-Environmental System*, Vol. 12, No. 1, pp. 27–34, 2009.
- 5) 船橋新太郎. 前頭葉の謎を解く. 京都大学学術出版会, 2005.
- 6) 福田正人. 精神疾患とNIRS 光トポグラフィー検査による脳機能イメージング. 中山書店, 2009.
- 7) Osamu Hazeki, Mamoru Tamura. Quantitative analysis of hemoglobin oxygenation state of rat brain in situ by near-infrared spectrophotometry. *American Physiological Society*, Vol. 64(2), No. 16, pp. 796–802, 1988.
- 8) Hideaki Koizumi, Tsuyoshi Yamamoto, Atsushi Maki. Optical topography: practical problems and new applications. *Optical Society*, Vol. 42, No. 16, pp. 3054–3062, 2003.
- 9) Peter Mills, Susannah Tomkins, and Luc Schlangen. The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*, Vol. 5, pp. 1–9, 2007. 10.1186/1740-3391-5-2.
- 10) Bessie Alivisatos Michael Petrides. Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Neurobiology*, Vol. 90, pp. 878–882, 1993.
- 11) Janette L. Smith, Stuart J. Johnstone, Robert J. Barry. Inhibitory processing during the go/nogo task: an erp analysis of children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, Vol. 115, pp. 1320–1331, 2004.