

# Investigation of the Influence Which Room Temperature and the Color Temperature of Lighting Have on a Brain

Tomoyuki HIROYASU<sup>\*</sup> Tatsuya TANABE<sup>\*\*</sup> Mitsunori MIKI<sup>\*\*\*</sup> Hisatake YOKOUCHI<sup>\*</sup> and Masato YOSHIMI<sup>\*\*\*</sup>

(Received October 18, 2010)

Here, we investigated the influence of brain activities on the human being by the combination of a color temperature and room temperature using optical topography. We measured the amount of change of oxygenation hemoglobin concentration in each frontal lobe and temporal lobe. Concretely, we carried out the calculation subject and the picture memory subject under four kinds of environment. They are two kinds of color temperatures and two kinds of room temperature. As the results of the experiment, the rise of the oxygenation hemoglobin concentration in a calculation subject was seen in the range in which the high temperature environment is wider than low-temperature environment.

**Key words** : optical topography, nirs, brain function , lighting , temperature

キーワード : 光トポグラフィ, 近赤外分光分析, 脳機能, 照明, 温度

## 室温と照明の色温度が脳に与える影響の検討

廣 安 知 之・田 辺 竜 也・三 木 光 範・横 内 久 猛・吉 見 真 聡

### 1. はじめに

室内の温度や照明が人体に及ぼす心理的・生理的影響に関する研究は、快適な生活環境の創造という目的のもので数多く行われている。Kruithof は照明の色温度が快、不快に関連する生理的作用を生み出すことや、照度によっては快適に感じる色温度が変化することを

発見した<sup>2)</sup>。この研究は色温度の影響に関する研究の先駆けとして、さまざまな追加実験が行われている。また照明環境以外にも室温や環境音といった複合的な環境の評価に関する研究も行われている<sup>3)4)</sup>。これら複合効果の評価方法にはSD 法などを用いた心理測定や、脳波や心拍変動などを用いた生理測定がある。し

---

<sup>\*</sup> Department of Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6932, Fax:+81-774-65-6780, E-mail:thiroyas@mail.doshisha.ac.jp ,  
hyokouch@mail.doshisha.ac.jp

<sup>\*\*</sup> Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6130, Fax:+81-774-65-6780, E-mail:ttanabe@mail.doshisha.ac.jp

<sup>\*\*\*</sup> Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6796, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp ,  
myoshimi@mikilab.doshisha.ac.jp

かし、複合効果の評価方法はまだ確立されていないのが現状である。本研究では生理測定の中でも人間の脳血流の変化量を計測する光トポグラフィに着目する。光トポグラフィは近年、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<sup>7)</sup>。fMRI と比べると、空間分解能が脳回程度で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、脳機能を自然な状態で検討できる点で fMRI より優れる。この点が精神疾患における有用性の基盤となっている<sup>1)</sup>。また臨床分野での研究のほか<sup>5)</sup>、心理学分野の研究において精神活動時の生体情報取得装置として用いられるなど<sup>6)</sup> 幅広い分野で利用されている。本研究は室温と照明の色温度の組み合わせが人間の脳血流に及ぼす影響の検討を目的としている。

## 2. 脳の構造

大脳は左右に分かれており、それぞれ左大脳半球、右大脳半球と呼ぶ。働きとしては、見る（視覚）、聞く（聴覚）、においを嗅ぐ（嗅覚）、味わう（味覚）、痛みを感じる（体性感覚）などの五感や手足を動かしたりする運動機能、言葉を話す言語機能、そして思考・記憶といった高次脳機能など様々である。左右の大脳半球には形態的な違いはほとんど存在しないが、優劣は存在する<sup>9)</sup>。つまり、感覚性言語野や運動性言語野の言語機能を担当する側を優位半球、他方を劣位半球としている。右利きの人の約 96 %、左利き、両利きの約 70 % が左側が優位半球であり、右側が優位半球なのは約 3 % にすぎないとされている<sup>9)</sup>。つまり、ほとんどの人が左脳に言語機能をつかさどる領域を持っている。左脳における言語中枢は、Fig. 1 に示す位置にある。

言語機能だけでなく、優位半球には計算をしたり、字を書いたり、読んだりする機能をもつ領域が存在する。言語による分析や判断、言葉や記号を用いた論理的な思考、複雑な計算や時間の概念などにも関わっている。このため左脳は一般に論理的思考を行うと考えられている<sup>8)</sup>。一方で、右脳はイメージやパターン認

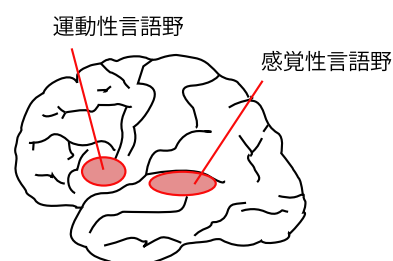


Fig. 1. 言語中枢のある優位半球（大脳を左から見た様子）。

識に優れているといわれている。視覚情報を把握して空間を認識し、直感的な判断をしたり、形を見分けたりする能力をつかさどるなど芸術的な分野を担当している<sup>8)</sup>。

## 3. 室内環境が脳に与える影響の検証実験

2 章で述べたように、人間の脳は左右で異なる役割を担っている。本実験ではこの 2 つの脳の特徴にあわせた作業を異なる環境下で行う。本章では室内の温度と照明の色温度に着目し、被験者が計算作業と記憶作業を行った際の脳血流の変化を調べる。

### 3.1 実験概要

本実験は、照明と室温の変化が人間の脳活動に与える影響の調査を目的としている。用意した環境は室内温度が高温・低温の 2 通り、また照明の色温度が電球色・昼白色の 2 通りを組み合わせた計 4 通りである。各環境で 20 代前半の男性被験者 1 名を被験者に以下の 2 つの作業を行ってもらい、その際の脳血流の変化を計測した。

#### 3.1.1 計算作業

計算作業のブロック図を Fig. 2 に示す。

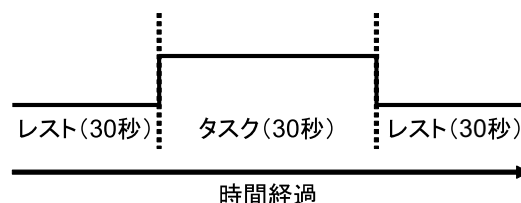


Fig. 2. 計算作業のブロック図。

#### ● レスト

被験者は着席した状態で 30 秒間安静無心を保つ。

なお，このとき被験者は計算問題が記述されている A4 用紙 1 枚を裏に向けた状態で手にしている．

### • タスク

手にしている計算用紙を表に向けた状態にし，目の前にまで持ってきて暗算を 30 秒間行う．このとき，頭部の傾きに応じて頭部内の血液が移動すると考えられるため，計測中はできる限り頭部を動かさないよう注意する．使用する計算用紙には全部で 15 問の問題が記述されている．使用する問題は 1 つの問題に最大で 4 つの整数を用いる四則演算であり，1 つの整数の桁数は最大で 3 桁である．被験者はタスク開始とともに 1 番の問題から暗算を行い，計算結果を口頭で述べる．

### 3.1.2 記憶作業

記憶作業のブロック図を Fig. 3 に示す．

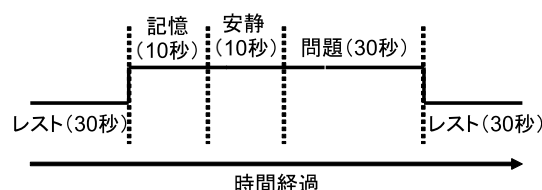


Fig. 3. 記憶作業のブロック図.

### • レスト

被験者は着席した状態で 30 秒間安静無心を保つ．このとき被験者の着席位置から前方に 1.5m，高さ 1.2m の位置にモニタサイズ 20 インチ，色温度 6500lx のディスプレイを設置している．ディスプレイには白い背景 ( $R=255$ ， $G=255$ ， $B=255$ ) が表示されており，被験者はレスト中ディスプレイの画面を見続ける．

### • タスク

10 秒間ディスプレイに複数の動物が描かれているイラストが表示されるため，被験者はそのイラストを記憶する．次に，ディスプレイをレストの状態にもどした後，被験者は 10 秒間安静状態を保つ．その後，先ほど表示したイラストに関する質問を実験者が 30 秒間に 3 問 (10 秒ごとに 1 問) 口頭で行い，被験者もその質問に口頭で答える．用いたイラストの例を Fig. 4 に示す．

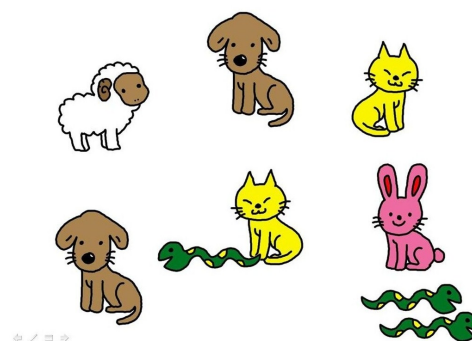


Fig. 4. イラストの例.

ここで使用するイラストは全部で 5 種類 (イヌ，ネコ，ウサギ，ヘビ，ヒツジ)，合計 9 匹の動物が描かれている．各種の動物は 1 つのイラストにつき最低でも 1 匹，最大 3 匹まで登場する．なお実験者からの質問は「イヌは 2 匹でしたか」や「1 番多かったのはネコですか」というように，全て「はい」または「いいえ」で回答が可能なものである．

## 3.2 実験環境

### 3.2.1 室内環境

本実験は同志社大学京田辺キャンパスの医心館内にある IN205N で行う．本実験室は，室内温度および照明の色・明るさの設定が可能である．本実験は室内温度に高温・低温の 2 通りを用い，ここでは高温を 28℃，低温を 20℃ とした．また照明の色温度に電球色・昼白色の 2 通りを用い，ここでは電球色の色温度を 3000K，昼白色の色温度を 4600K とした．これらの室内温度と照明の色温度を組み合わせると，Table 1 に示す 4 つの環境を用いる．

Table 1. 室内環境.

環境	室内温度 [℃]	色温度 [K]
環境 A	20	3000
環境 B	20	4600
環境 C	28	3000
環境 D	28	4600

### 3.2.2 計測機器と計測部位

本実験では脳の活動計測に光トポグラフィを用いる。光トポグラフィとは、近赤外分光法（near-infrared spectroscopy : NIRS）を用いた脳機能画像診断法である。脳の活動は、直接的には神経細胞の活動電位によって示されるが、この神経活動の結果、エネルギー代謝が活発となり、グルコースや酸素を脳に供給する血液量が二次的に増加する。従って、脳の神経活動に伴って起こる局所の脳血流量の増加を捉えることにより、外界からの刺激に対しての脳活動の変化を検出することができる。光トポグラフィは頭蓋骨のすぐ内側に位置する大脳皮質を計測対象とし、頭皮上からの多チャンネル反射光により脳血流に含まれる酸素化ヘモグロビン（Oxy-Hb）の増加を計測することで、その活動を可視化する。本実験には Fig. 5 に示す日立メディコ社製の光トポグラフィETG-7100<sup>10)</sup>を用いる。



Fig. 5. 光トポグラフィ（ETG-7100）。

また、本装置は  $3 \times 5$  プローブホルダと  $4 \times 4$  プローブホルダを組み合わせることでさまざまな部位・タスクに応じて計測に対応してデータを計測することができる。本実験では  $3 \times 5$  プローブホルダ（22ch）を用いて前頭葉を、 $4 \times 4$  プローブホルダ（24ch）を用いて左右の側頭葉をそれぞれ計測する。各プローブホルダを Fig. 6 と Fig. 7 に示し、それぞれの設置位置と計測されるチャンネルの番号を Fig. 8 および Fig. 9 に示す。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 を参照点として用いる<sup>1)</sup>。具体的には Fig. 8 の前頭葉のプローブにおける 2ch-3ch の間を Fpz, Fig. 9 の右側頭葉のプローブに

おける 11ch を T4、左側頭葉における 14ch を T3 とした。

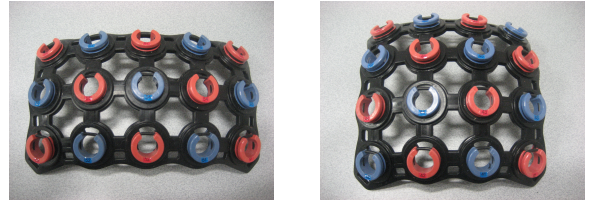


Fig. 6.  $3 \times 5$  プローブ. Fig. 7.  $4 \times 4$  プローブ.

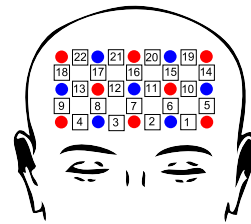


Fig. 8. 前頭葉のプローブ設置位置.

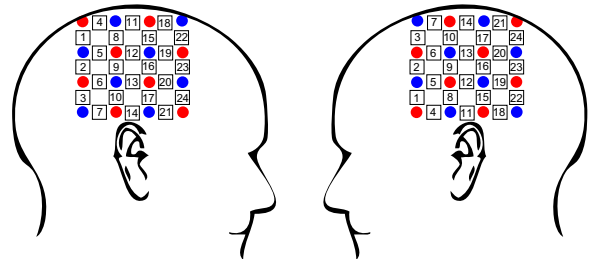


Fig. 9. 側頭葉のプローブ設置位置.

## 4. 実験結果

計算および画像記憶実験の結果、被験者の前頭葉と側頭葉に Oxy-Hb の上昇が確認できた。以下に、被験者の各環境における実験結果を 2 次元トポグラフィ画像で示す。なお 2 次元トポグラフィ画像が示す色と濃淡は計測開始時からの Oxy-Hb の相対的な変化量（単位:mM\*mm）を示すものである。Fig. 10 に色と Oxy-Hb の関係をカラーバーで示す。



Fig. 10. 色と Oxy-Hb の対応関係.

### 4.1 計算実験の結果

本稿では取得されたデータのうち Fig. 11 に示す (1) タスク開始直後 (2) タスク開始から 15 秒後 (3) タ



スク終了直後（タスク開始から 30 秒後）の 3 つを 2 次元トポグラフィ画像で表す．なお，以下に示す 2 次元トポグラフィ画像の向きは Fig. 8 および Fig. 9 のプローブ配置に対応している．また実験は，4.1.1 から 4.1.4 の各項順通りに行われた．

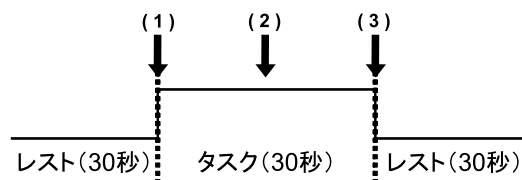


Fig. 11. 画像の抽出点.

#### 4.1.1 環境 A（低温・電球色）の実験結果

環境 A（低温・電球色）の下での実験結果を Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14 に示す．

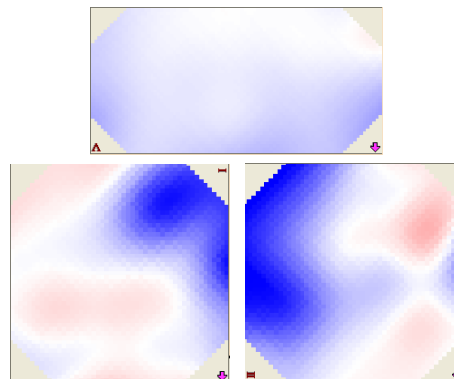


Fig. 12. (1) タスク開始直後の実験結果.

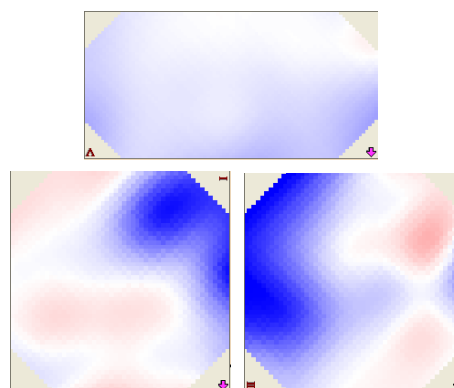


Fig. 13. (2) タスク開始から 15 秒後の実験結果.

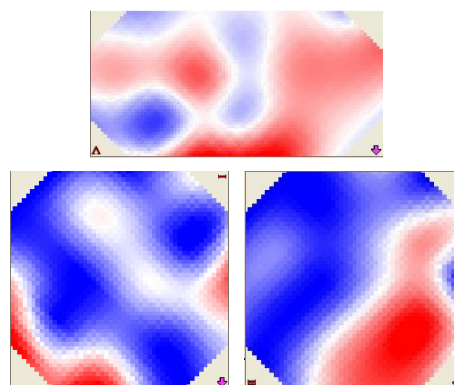


Fig. 14. (3) タスク終了直後の実験結果.

#### 4.1.2 環境 B (低温・白色) での実験結果

環境 B (低温・白色) の下での実験結果を Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17 に示す.

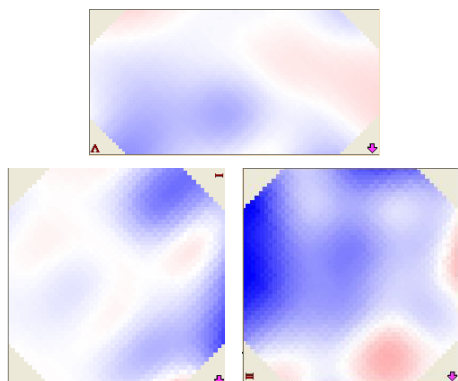


Fig. 15. (1) タスク開始直後の実験結果.

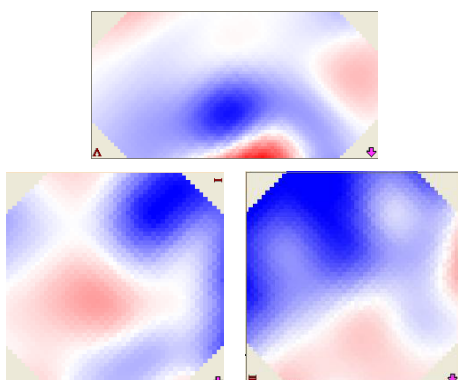


Fig. 16. (2) タスク開始から 15 秒後の実験結果.

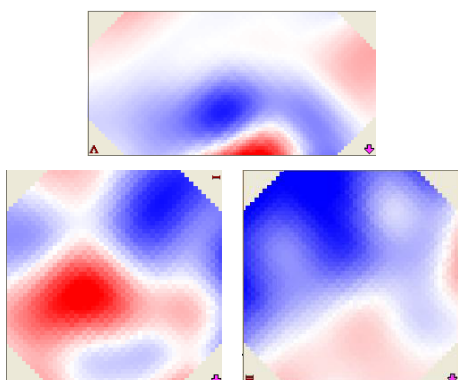


Fig. 17. (3) タスク終了直後の実験結果.

#### 4.1.3 環境 C (高温・電球色) での実験結果

環境 C (高温・電球色) の下での実験結果を Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20 に示す.

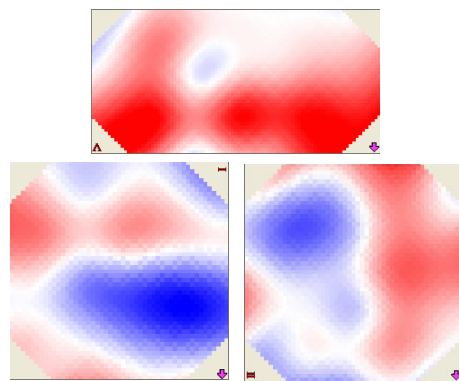


Fig. 18. (1) タスク開始直後の実験結果.

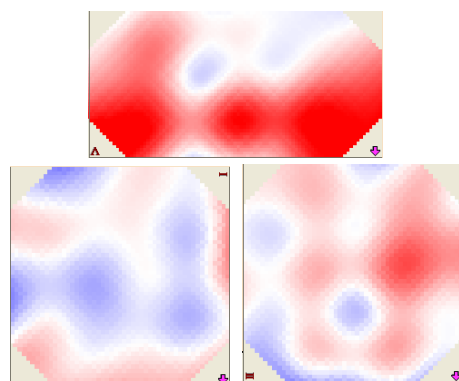


Fig. 19. (2) タスク開始から 15 秒後の実験結果.

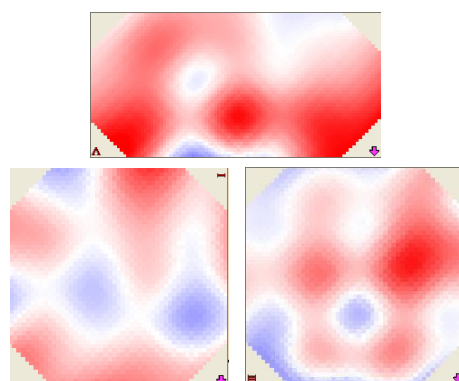


Fig. 20. (3) タスク終了直後の実験結果.

#### 4.1.4 環境 D（高温・白色）での実験結果

環境 D（高温・白色）の下での実験結果を Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23 に示す．

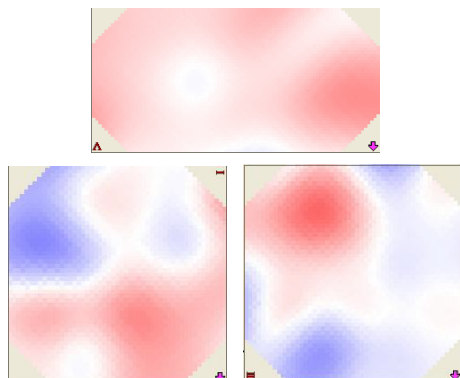


Fig. 21. (1) タスク開始直後の実験結果.

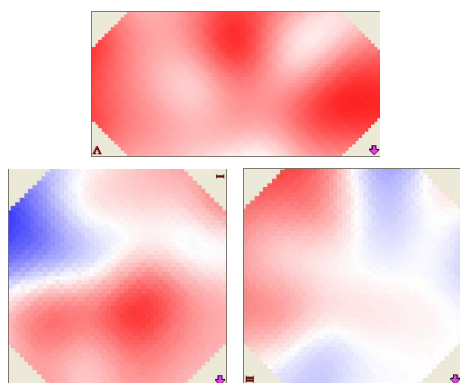


Fig. 22. (2) タスク開始から 15 秒後の実験結果.

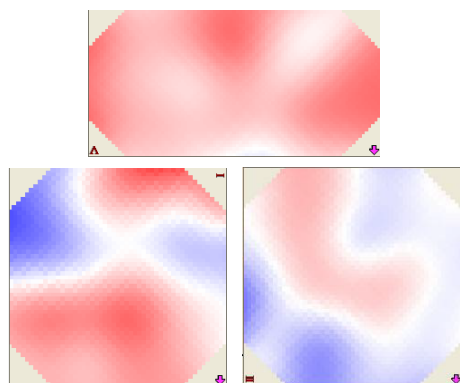


Fig. 23. (3) タスク終了直後の実験結果.

#### 4.1.5 検討

実験の結果，4 つすべての環境でタスク中に Oxy-Hb が上昇することが確認できた．いずれの環境でも前部前頭前野での反応が確認できたのは，計算を行うのに作業記憶を用いているためであると考えられる．ここで室温の違いに着目する．室温 20[ ] の環境では Oxy-Hb の上昇が計測部位の限られた部位で見られるのに対し，室温 28[ ] の環境では前頭葉および側頭葉の全体で見られた．

#### 4.2 画像記憶実験の結果

本稿では取得されたデータのうち Fig. 24 に示す (1) 記憶開始直後 (2) 記憶終了直後 (3) 問題の開始直後 (4) 問題の終了直後の 4 つを 2 次元トポグラフィ画像で表す．なお，以下に示す 2 次元トポグラフィ画像の向きは Fig. 8 および Fig. 9 のプローブ配置に対応している．また実験は，4.2.1 から 4.2.4 の各項順通りに行われた．

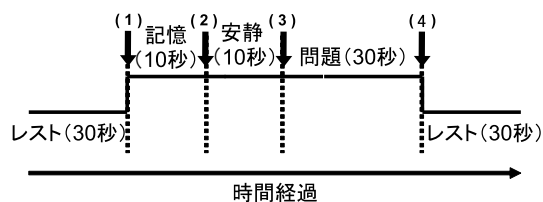


Fig. 24. 画像の抽出点.

各環境における実験結果を，以下の 4.2.1 節～4.2.4 節にそれぞれ示す．

#### 4.2.1 環境 A（低温・電球色）の記憶実験結果

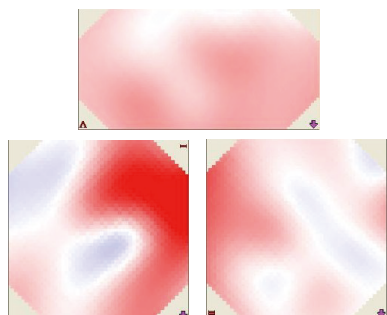


Fig. 25. (1) 記憶開始直後の実験結果.

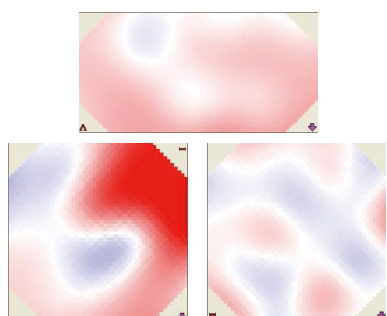


Fig. 26. (2) 記憶終了直後の実験結果.

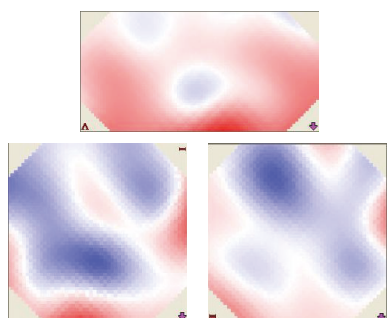


Fig. 27. (3) 問題開始直後の実験結果.

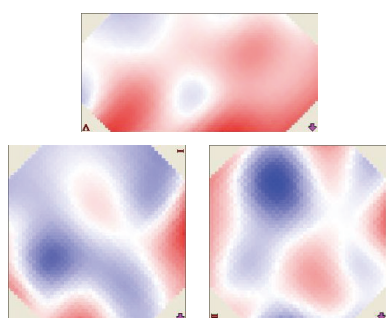


Fig. 28. (4) 問題終了直後の実験結果.

#### 4.2.2 環境 B（低温・白色）の記憶実験結果

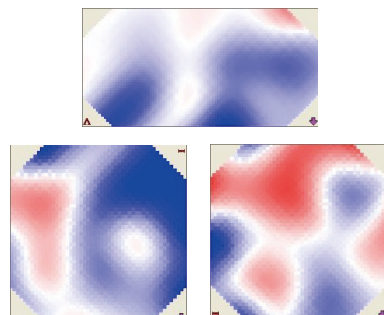


Fig. 29. (1) 記憶開始直後の実験結果.

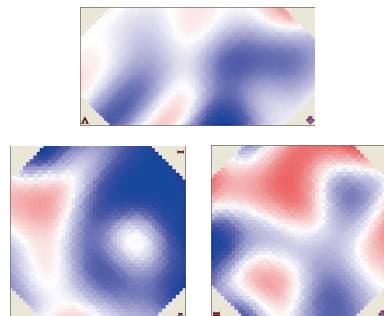


Fig. 30. (2) 記憶終了直後の実験結果.

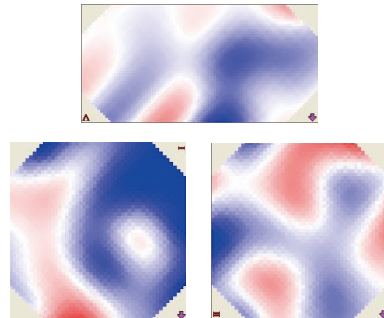


Fig. 31. (3) 問題開始直後の実験結果.

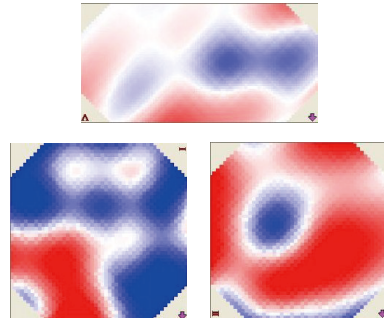


Fig. 32. (4) 問題終了直後の実験結果.

#### 4.2.3 環境 C（高温・電球色）の記憶実験結果

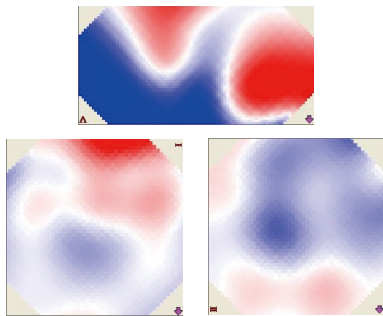


Fig. 33. (1) 記憶開始直後の実験結果.

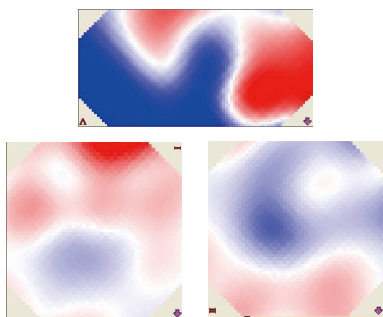


Fig. 34. (2) 記憶直後の実験結果.

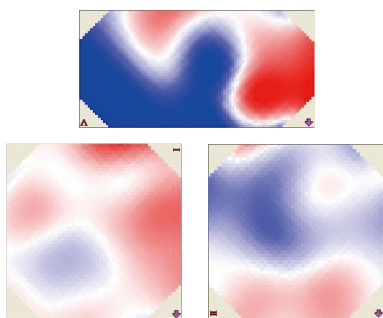


Fig. 35. (3) 問題開始直後の実験結果.

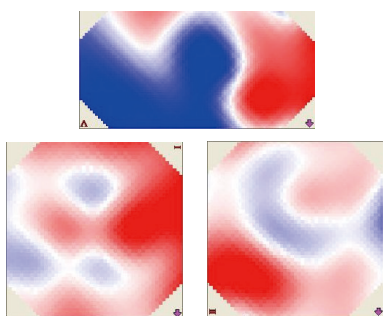


Fig. 36. (4) 問題終了直後の実験結果.

#### 4.2.4 環境 D（高温・白色）の記憶実験結果

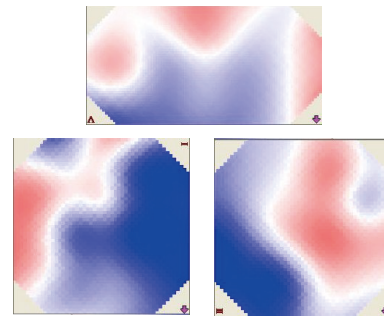


Fig. 37. (1) 記憶開始直後の実験結果.

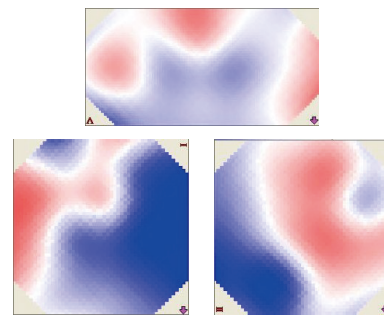


Fig. 38. (2) 記憶終了直後の実験結果.

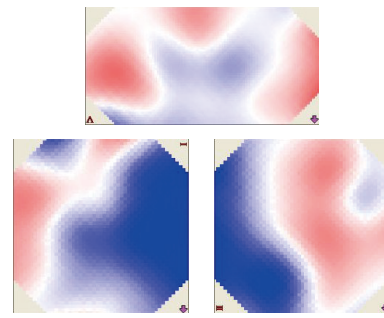


Fig. 39. (3) 問題開始直後の実験結果.

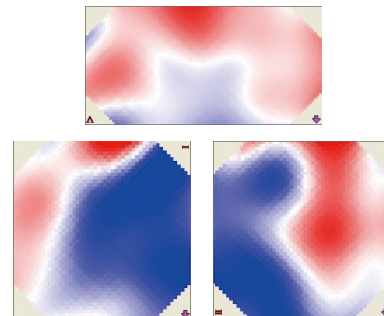


Fig. 40. (4) 問題終了直後の実験結果.



#### 4.2.5 検討

実験の結果, 4 つすべての環境でタスク中に Oxy-Hb が上昇することが確認できた。本実験からは環境による差異を見出すことはできなかった。しかし実験結果から, 環境を変え実験を繰り返すたび, 前頭葉では頭頂寄り, 側頭葉では後頭寄りの部位でしか Oxy-Hb の上昇が見られなくなり, 脳の活動範囲狭まっていく様子が確認できた。

#### 4.3 考察

計算問題実験からは, 4.1 節のように高温環境のほうが低温環境に比べて脳血流量の上昇が広範囲でみられるという結果が得られた。高温環境のほうがより体が温められ, 血管が拡張したために低温環境時に比べ多くの血液が脳に運び込まれたためであると考えられる。

一方, 画像記憶実験からは環境による脳活動の違いは確認できなかったものの, 4.2 節のように被験者が実験を行うにつれて脳血流量の上昇範囲が狭まっていく様子が確認できた。これは, タスクを繰り返すうちに脳が作業を正確におこなえるよう変化した, 脳の可塑性による結果と考えられる。

以上より, 脳血流の変化には外部環境が影響を及ぼす場合と, 作業に対する慣れが影響を及ぼす場合が存在することが示唆される。

### 5. まとめ

従来より, 室内温度や照明などの生活環境を生理学的指標で評価する研究は数多く行われている。しかし, 脳血流の変化に着目し検証した例は少なく, その意味で意義があると考えている。今回の実験結果から, 脳血流の変化には環境のほか, 実施する精神集中課題への慣れも結果に影響を与えていることが考えられる。どちらの方がより強い影響を与えるのかは被験者の経験によるところが大きいと考えられるため, 今後はより多くの被験者データを基に実験の設計を考える必要がある。

また, 脳血流のほか, 脳波などの生体情報にも注目し, 測定手法の改良, 実験課題の変更, ならびにデータ分析手法の再検討を行い, より信頼性の高いストレ

ス評価の指標の探索, および同指標を応用した工学的システムの開発を目指す。

#### 参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) Kruithof A. A, “ Tubular luminescence lamps ofr general illumination ”, Philips Technical Review, Vol.6, Issue.3, pp.65-96, 1941.
- 3) 垣鍔直, 中村肇, 稲垣卓造, 堀越哲美, 心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組み合わせに関する実験的研究, 「日本建築学会計画系論文集」, Vol.528, pp.67-73, 2000.
- 4) 長野和雄, 松原斎樹, 藏澄美仁, 環境音・室温・照度の複合環境が及ぼす心理的影響: 夏季の実験データにおける考察 (複合環境), 「日本建築学会学術講演梗概集」, pp.723-724, 1998.
- 5) Tomohiro Suto, Masato Fukuda, Makoto Ito, Toru uehara, Masahiko Mikuni, “ Multichannel near-infrared spectroscopynext term in previous termdepression and schizophrenia: cognitive brain activation study ”, Biological Psychiatry, Vol.55, Issue.5, pp.501-511, 2004.
- 6) Miho Suzuki, Jiro Gyoba, Yuiko Sakuta, “ Multi-channel NIRS analysis of brain activity during semantic differential rating of drawing stimuli containing different affective polarities ”, Neuroscience Letters, Vol.375, Issue.1, pp.53-58, 2005.
- 7) 江田秀雄, 佐瀬一郎, 高槻玲, 精山明敏, 柳田敏雄, 宮内哲 fMRI による BOLD 信号と光計測による Hb 信号との比較検討, 「信学技報」, Vol.101, No.406, pp.95-99, 2001.
- 8) 永江誠司, 「脳と認知の心理学-左脳と右脳の世界-」, ブレーン出版, 1999.
- 9) 酒谷薫, 青山尚樹, 佐々木淳, 「勉強したい人のための脳のしくみ」, 日本実業出版社, 2009.
- 10) 株式会社日立メディコ, 「光トポグラフィ装置」, <http://www.hitachi-medical.co.jp/product/opt/index.html>, (参照 2010-08-30).