

# テレビゲーム熟達者の超絶技巧に関わる脳活動

## Brain activity about super skill of video game master

八田原 慎悟<sup>1\*</sup> 藤井 叙人<sup>1</sup> 風井 浩志<sup>2</sup> 古屋 晋一<sup>2</sup> 片寄 晴弘<sup>2</sup>

Shingo Hattahara<sup>1</sup> Nobuto Fujii<sup>1</sup> Koji Kazai<sup>2</sup> Shinichi Furuya<sup>2</sup> Haruhiro Katayose<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 関西学院大学大学院

<sup>1</sup> Graduate School, Kwansai Gakuin University

<sup>2</sup> 関西学院大学

<sup>2</sup> Kwansai Gakuin University

**Abstract:** The present study investigated the neural activation pattern at the prefrontal region during learning a novel video game task by a highly-skilled game player. We measured brain activity, performance, and hand movement during playing a video game using fNIRS and video camera. The results demonstrated clear decreases in brain activity as well as the amount of finger and hand movements during playing the game with training. These findings would reflect the acquisition of more efficient movement patterns during playing the video game.

## 1 はじめに

テレビゲームは、老若男女を問わず多くのヒトに親しまれており、家庭におけるエンタテインメントの一翼を担うに至っている。近年、テレビゲームと脳活動の関連性に注目した研究も取り組まれるようになり、実施中および継続的に、脳活動、特に前頭前野の活動が低下するという報告がなされた。ゲームジャンル別分析 [1] や、対人 vs. 対 Computer 条件の比較 [2] 等、精緻な要因計画による脳活動計測事例も蓄積されつつある。他にも、テレビゲームのアマチュアと経験者という基軸での脳活動の比較実験を行ったものには川島らの研究 [3] があるが、これを含め、関連研究では経験者としてはいわゆる中級者のみを取り上げられることが多かった。

この点に関して筆者らは被験者を熟達者 (対象ゲームの全国ランキング入賞者)、中級者 (関連研究での経験者相当)、初心者 (普段テレビゲームをせず対象ゲームは未経験) に分類してテレビゲーム実施中の脳活動を計測し、「初心者、中級者においては前頭前野の活動が低下するが、熟達者においては上昇する」「熟達者の前頭前野の活動は熟達したゲームにおいて最も上昇する」ということを示した [4]。熟達者は中級者、初心者と比較してパフォーマンス (テレビゲームのスコア) が極めて高いだけでなく、動作においても中級者、初心者とは違った特徴的な動きをしつつ、自分の腕を通してコ

ントローラ、画面上の自機まで自分という意識を広げ高いレベルで操っており、筆者らはその獲得過程に興味を持って研究を進めている。本稿ではその第一報として、熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に熟達していく過程での脳活動、パフォーマンス、運動技能の変化について報告する。

## 2 先行研究

脳活動とテレビゲームの関係に注目した研究としては、開らがゲームジャンルによる脳活動への影響の差を調査している [1]。ジャンルにはシューティングゲーム、リズムアクションゲーム、パズルゲームの3ジャンルを対象とし、テレビゲーム実施時の被験者の前頭前野の脳活動を計測している。その結果、全てのジャンルにおいて前頭前野の脳活動が低下していると報告している。この脳活動の低下の原因として「視覚情報を伴ったシーケンシャルな運動の学習において、学習が進むにつれて前頭前野の脳活動が低下する」 [5]、「視覚刺激を伴った様々なタスクの実行時に、共通して正中前頭部付近の活動が低下する」 [6] ということからテレビゲームというメディア固有の影響ではなく、単に視覚情報を伴う学習に起因する脳活動の変化を見ていた可能性があると考えしている。

関連領域の先行研究として、運動技能に関する脳研究として次のものがある。

Karni らは運動技能と脳活動に注目し、複雑な指運動による短期記憶と長期記憶を伴う一次運動野 (M1) の活動変化を調べ、短期的には M1 の活動量は低下す

\*連絡先：関西学院大学片寄研究室  
〒662-8501 兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155  
E-mail: hattahara@ksc.kwansai.ac.jp

るが、長期的には上昇すると報告している [7] .

Hund-Georgiadis らは運動技能と熟達度に注目し、ピアニストと非音楽家に複雑な指運動課題 (タッピング) を学習させ、その時の脳活動の変化を fMRI を用いて調査している [8] . その結果、学習に伴う脳活動の変化の仕方が、ピアニストと非音楽家では異なるという報告をしている . 学習と共に両群においてタッピング速度の向上というパフォーマンスの変化がある一方、その背景となる脳活動では、一次運動野の活動量においてはピアニストの方が大きく、より高次の脳部位 (二次運動野、補足運動野、運動前野、小脳) の活動量の減少量は、ピアニストの方が小さいこと示している . このことから熟達度が違えば学習における脳活動にも違いが現れると考察している .

脳活動とテレビゲーム、脳活動と運動技能の関係に注目した研究では以上に挙げたものなどがあるが、ゲームにおける熟達度を厳密に定義し、運動技能の解明を目的とした研究はこれまでに一切報告されていない . 音楽 [9]、言語 [10]、将棋 [11] などの領域においては熟達度と脳活動の関係を焦点に当てた研究、音楽の分野では一流ピアニストという極めて高い能力を持つものの運動技能についての研究 [12] が実施されており、タスク実施における熟達者の特異な脳活動、運動技能計測事例が示されている . これらの研究は熟達という人間の高度な知識、技能についての理解を深める研究である .

### 3 実験

熟達者が熟達に至る過程での脳活動、パフォーマンス、運動技能の変化を検討するために、テレビゲーム熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に対して、一定の訓練を重ねていく上での脳活動を計測し、スコアの推移、コントローラの操作情報、2 次元における指運動を記録、検討した .

#### 3.1 被験者

シューティングゲーム熟達者 1 名 (23 歳) に対し、実験した . この熟達者は他のシューティングゲームにおいて、全国 1 位のスコアを保持していた経験を持つ .

#### 3.2 実験環境とゲームタイトル

本実験には、Sony Computer Entertainment 社製 PlayStation2 上で動作するゲームを用いた . シューティングゲーム熟達者に対して、「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」としてデータム・ポリスター社製シューティングラブ。～TRIZEAL～(コントローラはアーケードコントローラを使用) を用いた . 本実験に用いたシューティングゲームではプレイヤーが自機となるキャラクタを操り、画面上部から飛来する敵及び敵



図 1: シューティングゲーム画面例

弾をかわしながら、攻撃をしていくことが目的となる (図 1) .

#### 3.3 fNIRS 計測

fNIRS とは生体に対して非常に高い透過性を持つ近赤外光の特徴を利用して、頭部に近赤外光を照射し、屈折を繰り返しながら透過してきた光を分析することによって血液中に含まれる酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) の増減を計測する手法である . 特徴として非侵襲、身体をほぼ拘束なしの普段に近い状態で計測が可能であることが挙げられる . 本研究ではテレビゲームを普段の状態で行っている時の脳活動を計測するために fNIRS を脳機能計測手法として選択した .

この実験では fNIRS 計測システム (FOIRE3000、島津製作所製、図 2) を用い、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb)、ヘモグロビン総量 (total-Hb) の変化の相対値を測定した (図 3) . 測定部位は前頭前野とし、脳波計測国際 10-20 法における Fpz を基点に 24 チャンネル (図 4) で測定した (図 5) . サンプリングレートは 10 Hz とした .

#### 3.4 実験手続き

実験の流れを図 6 に示す . 実験前に、被験者に対して実験内容を説明し、実験参加への同意を得た . その後、被験者に対し実験を行った . 実験要因として以下の 1 つを設定した .

- 要因 1 : 対象ゲームの訓練時間 (訓練なし、1 時間、2 時間、3 時間)

1 試行は 240 秒間のタスク (課題遂行時間) の前後に 30 秒間の安静時間 (前レストおよび後レスト時間) を含めた 300 秒間とした . 被験者に実験するテレビゲームについて説明すると共に練習をさせた後、fNIRS の計測装置を装着、計測を開始した . 同時に、実施する



図 2: fNIRS 計測システム (FOIRE3000 , 島津製作所製)

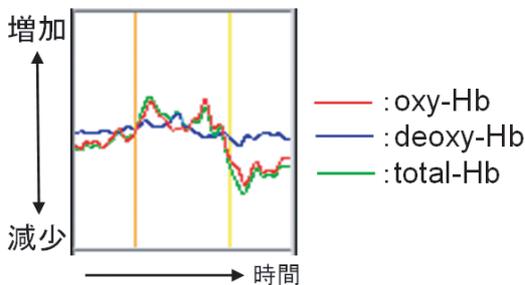


図 3: 計測波形例

テレビゲームのパフォーマンス、コントローラの操作情報を記録した。指運動はポイント1:人差し指第二関節, ポイント2:親指関節, ポイント3:人差し指付け根にシール上のポイントを設置, 実験時にカメラで録画した(図6)。テレビゲームの開始, 及び終了の指示はモニタに表示すると共にアラームが鳴るようにした。安静時間中はモニタに注視点を表示し, そこに注目させた。測定を終えた後, 実験に対する内省を聴取した。

### 3.5 データ処理

#### 3.5.1 NIRS データ処理

fNIRS からは oxy-Hb , deoxy-Hb , total-Hb の 3 種類のデータが得られるが, 本研究では脳の神経活動と正の相関がある [13][14] と報告されている oxy-Hb を分析の対象とした。

fNIRS によって計測されたデータは Hb 変化の相対値であるため, 測定された oxy-Hb データの前処理を以下の手順で行った。まず fNIRS によって計測された oxy-Hb データに対して各チャンネル内で標準化 (平均を 0 , 分散を 1 にする) を行い, z-score を算出した。その上で, 前レスト時間の oxy-Hb の平均値とタスク

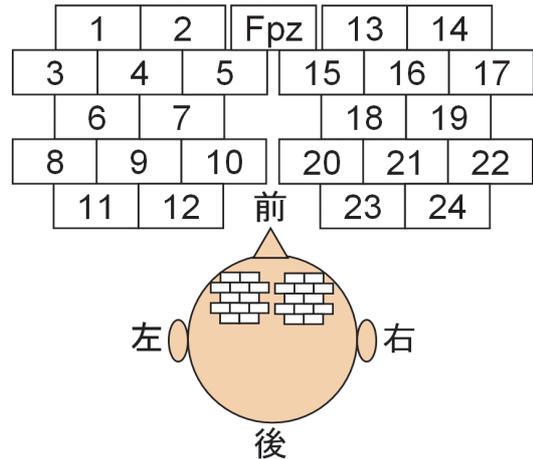


図 4: 測定部位とチャンネル配置



図 5: 実験風景

時間内の oxy-Hb の平均値の差分をタスクによる変化量と定義した。

#### 3.5.2 コントローラ操作情報処理

コントローラ操作情報は使用したアーケードコントローラの信号をゲーム機と PC に分岐させ記録した。記録した内容はジョイスティックの ON/OFF , ショットボタンの ON/OFF である。これらの情報から打鍵 (ON になった) 回数, および使用平均時間 (ON になってから OFF になるまでの時間) を算出した。

#### 3.5.3 指運動情報の処理

指運動は手に付着したポイントをカメラで取得して記録した。各々の点を画像情報処理で抽出し重心を計算, 実験時間における録画されたフレームにおける移動距離を指運動量として定義する。この指標は相対的な値となり, 訓練時間ごとの比較において意味をなす。

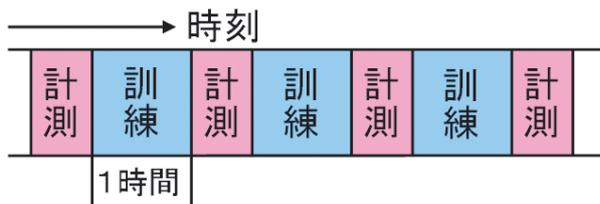


図 6: 実験の流れ

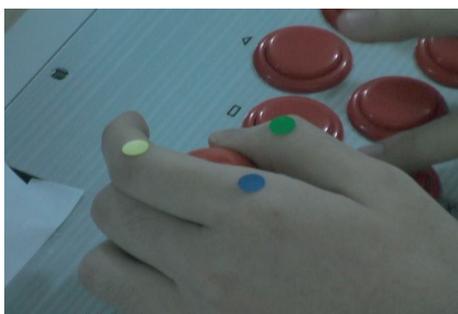


図 7: 手のポイント

### 3.6 結果

実験結果を図 8, 図 9, 図 10, 図 11 に示す. 図 8 は「3.5 NIRS データ処理」によって処理したデータからタスクによる oxy-Hb の増減を色で示したものである. 図 9 は各実施時のパフォーマンスを訓練なしの段階における最低点を 100 として正規化し, 表示したものである. 各点は試行ごと点数を、線分は平均値を示している図 10 は使用したコントローラからの信号を記録し, 各計測時におけるジョイスティックとショットボタンの打鍵回数, 平均打鍵時間を表示したものである. 図 11 は指運動を計測するためのポイントの運動量を正規化して表したものである. 人差し指付け根のポイント 3 については画像認識時のノイズが大きく, 分析に向かなかったためこれ以降の議論から外す.

- 記録したスコアは訓練を重ねるにつれて上昇した.
- 被験者の oxy-Hb は, 訓練なしの状態では上昇し, 訓練を行った後は訓練時間に関らず減少した.
- コントローラ信号について, ショットボタン打鍵回数は 2 時間訓練後 までには一定であったが, 3 時間訓練後に減少した. またジョイスティック使用平均時間は計測 3 までには増加傾向にあったが, 3 時間訓練後では減少している. ショットボタン平均打鍵時間, ジョイスティック使用回数はほぼ一定であった.
- 指運動量は運動なしの状態において最大であり, 1 時間訓練後は減少, 2 時間訓練後, 3 時間訓練

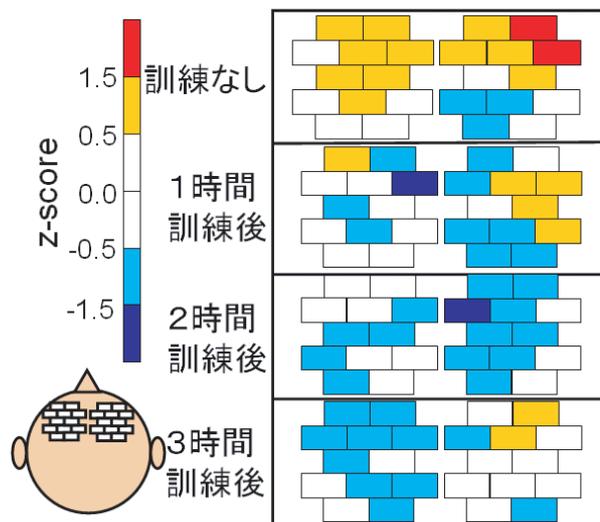


図 8: 実験の結果: oxy-Hb の変化

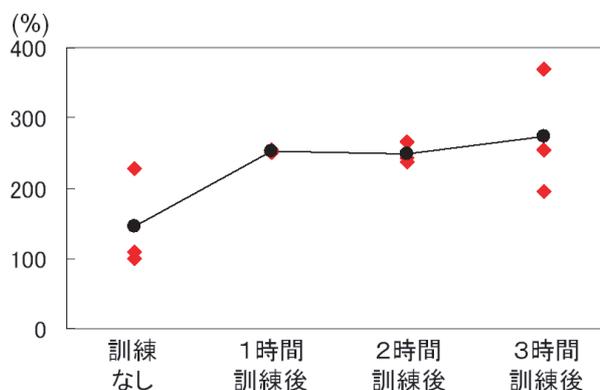


図 9: 実験の結果: パフォーマンス

後には徐々に上昇したが, 運動なしの状態までは上昇しなかった.

### 3.7 考察

記録したスコアの平均値において, 点数が徐々に上昇している様子から熟達者が訓練を重ねるにつれて対象ゲームに熟達していること, また訓練, 計測を繰り返すことによる疲労の影響が少ないことが確認された.

脳活動について, 訓練なしの状態では oxy-Hb は上昇したが, 訓練を行った後は oxy-Hb が減少した. これは「運動計画を行う際に前頭前野が賦活する」[15] という先行研究から, 熟達者が訓練なしの状態では手の動き, 及び画面上の自機の動きの運動計画を行っていたため, 脳活動が上昇したが, 訓練が進むにつれて各々の運動計画を体得し, 必要性が薄くなったことに起因する可能性が考えられる. 上記に関連して筆者らの研究ではリズムアクションゲームの熟達者が熟達したゲー

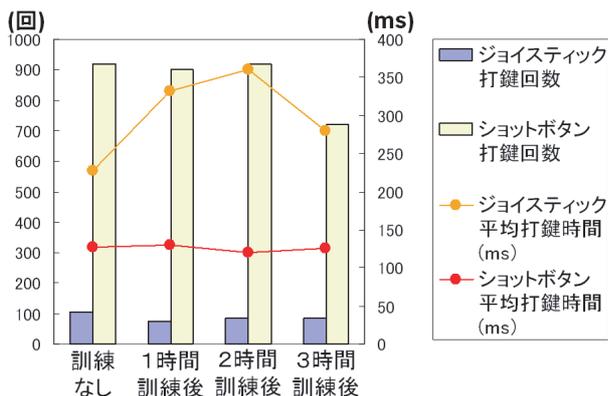


図 10: 実験の結果：コントローラ操作情報

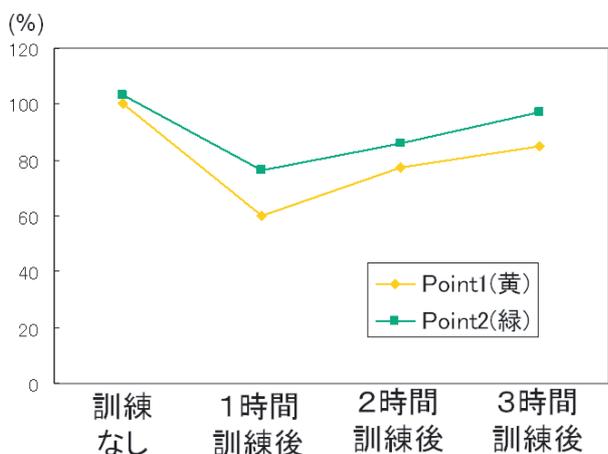


図 11: 実験の結果：指運動量

ムを実施している際は前頭前野の活動が上昇していた。これはリズムアクションというゲームが視覚情報だけでなく、聴覚情報も用いて行うことから、リズムの知覚による前頭前野における活動の上昇 [16] や、旋律の知覚による運動前野における活動の上昇 [17] に関連するものではないかと考察した。シューティングゲーム熟達者、リズムアクションゲーム熟達者は共に高得点を取得するために必要な情報を多く処理しており、それが脳活動の上昇に繋がっているのではないかと考えられる。また oxy-Hb は 2 時間訓練後 までは減少傾向にあったが、3 時間訓練後 では若干減少が弱まっている。本実験では熟達者による「これ以上の得点向上は見込めない」との内省報告から 3 時間で訓練を停止したが、熟達に至った段階での脳活動の上昇はさらなる訓練を重ねた後に生じる可能性が考えられる。

記録したコントローラ情報においても熟達に関する変化を見ることができる。ショットボタン打鍵回数が計測 3 までは一定であったが、計測 4 で減少、ジョイスティック使用平均時間が計測 3 までは増加傾向にあったが、計測 4 では減少している。よって計測 4 の段階

ではスコアは上昇傾向ながら、ショットボタンの使用回数が減り、ジョイスティックの使用時間が減りコントローラ操作の効率化が進んだことがわかる。この点からも、熟達に至る傾向が示唆されている。

また指運動量について、熟達者の内省報告と合わせて考えると訓練なしの状態では自機の動き、敵の動きなど多くの要素を確認するために大きく動き、1 時間訓練後にはゲーム内での高得点取得要素を細分化するため動きが減少、以降は高得点を取得するための要素を取り込んでいったため指運動量が大きくなっていったと考えられる。

コントローラ操作情報と指運動量の関係についても興味深い。図 12 はコントローラ操作情報と指運動量をそれぞれの初期値を 100 としてレンジを合わせて表示したものである。この図から被験者のジョイスティックを動作させた回数と指運動量が同様の変化をしていることがわかる。カメラでとらえた指運動量の変化はジョイスティック動作回数によるところが大きく、熟達という現象はジョイスティックを操作する時間に関わるものである可能性がある。

本実験では「熟達者の熟達したゲーム実施時における脳活動の上昇」は確認されなかった。この理由については Karni らの「複雑な指運動の学習に伴う運動関連領域の活動量の変化について、短期的な訓練の結果、脳活動量は減少するが、長期的な訓練に伴い、活動量が増大する [7]」とする報告に関連する可能性がある。Karni らは、学習初期では運動効率の良い運動プログラムを習得するために脳活動量は減少するが、時間の経過に伴い、学習した運動記憶を長期間保持できるように増強されたと考察している。我々は、先行研究において、ゲーム課題時の脳活動量は、非熟達者に比べて熟達者の方が高いことを明らかにした [4]。さらに、本研究の結果、短期間のゲーム訓練により、前頭前野の活動量が減少することが明らかとなった。これらの結果は、短期的な学習と長期的な学習に関わる神経機構の違いに関する Karni らの考察を支持するものであると考える。また他の理由としては「熟達」というものが点数の上限に達することではなく、上限となった点数を常に出せるようになること、または上限が通常の状態になることである可能性がある。訓練、計測を一両日に行ったことによる慣れの効果も考えられる。今後の実験計画において訓練期間の延長、数日に分けての実験が必要である。

## 4 まとめ

本研究ではテレビゲーム熟達者の訓練を重ねる過程において、パフォーマンスが上昇するとともに脳活動が低下するという結果を得た。また脳活動が低下した後に熟達者に特有の脳活動の上昇が存在する可能性に

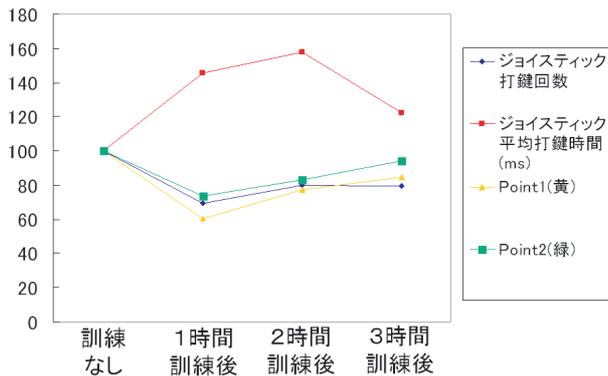


図 12: コントローラ操作情報と指運動量

についても示唆された。

今後は、熟達者を熟達者たらしめているものが何か、熟達過程実験の熟達者の被験者を増やし、訓練期間についての検討を重ね、中級者や初心者の熟達過程についても実験を行い、熟達者との差について検証していく。

## 参考文献

- [1] 開一夫, 松田剛: インタラクティブゲームにおける脳血流変化, 株式会社キャラ研 スカラシップ研究発表, (2002).
- [2] 玉越勢治, 高橋励, 寺尾将彦ほか: fNIRS を用いた対戦型ゲームのエンタテインメント性の初期的検討, 第 3 回エンタテインメントコンピューティング抄録, (2006).
- [3] 川島隆太, 泰羅雅登: テレビゲームの脳への影響についての基礎的研究, 中山財団レポート, Vol.13, pp.9-16 (2005).
- [4] 八田原慎悟, 藤井叙人, 長江新平ほか: テレビゲームプレイ時の熟達者と非熟達者の脳活動の比較, エンタテインメントコンピューティング 2007, (2007).
- [5] Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., et al.: Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning: Journal of Neuroscience, Vol.18, pp.1827-1840 (1998).
- [6] Shulman, G.L., Fiez, J.A., Corbetta, M., et al. Common blood flow changes across visual tasks: II. Decreases in cerebral cortex, Journal of Cognitive, Neuroscience, Vol.9, pp.648-663 (1997).
- [7] Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., et al.: Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning, Nature, Vol.14, pp.155-158 (1995).
- [8] Hund-Georgiadis, M., Von Cramon, D.Y.: Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. Exp Brain Res, Vol.125, pp.417-425 (1999).
- [9] 増田清香, 片平健太郎, 岡ノ谷一夫ほか: 音楽熟達者における聴覚表象の形成, 第 9 回認知神経科学会発表, (2004)
- [10] Tatsuno, Y. and Sakai, K.L.: Language-Related Activations in the Left Prefrontal Regions Are Differentially Modulated by Age, Proficiency, and Task Demands, Journal of Neuroscience, Vol.25, pp.1637-1644 (2005).
- [11] 羽生善治, 伊藤毅志, 松原仁: 先を読む頭脳, 新潮社 (2006).
- [12] Furuya S, Kinoshita H.: Expertise-dependent modulation of muscular and non-muscular torques in multi-joint arm movements during piano keystroke, Neuroscience (in press), (2008).
- [13] Hoshi, Y., Kobayashi, N. and Tamura, M.: Interpretation of nearinfrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfusedrat brain model, Journal of Applied Physiology, Vol.90, pp.1657-1662 (2001).
- [14] Jueptner M. and Weiller C.: Does measurement of regional cerebral blood flow reflects synaptic activity? - Implications for PET and fMRI, Neuroimage, Vol.2, pp.148-156 (1995).
- [15] Tanji, J., Hoshi, E.: Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control: Physiol Rev., Vol.88, pp.37-57 (2008).
- [16] Zatorre, R.J., Chen, J.L. and Penhune, V.B.: When the brain plays music: auditory?motor interactions in music perception and production: Nature Reviews Neuroscience, Vol.8, pp.547-558 (2007).
- [17] Chen, J.L., Zatorre, R.J. and Penhune, V.B.: Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms: NeuroImage, Vol.32, pp.1771-1781 (2006).