

## テレビゲーム熟達者の脳活動に関するケーススタディ

八田原 慎悟<sup>†1</sup> 藤井 叙人<sup>†1</sup> 古屋 晋一<sup>†2</sup>  
風井 浩志<sup>†2</sup> 片寄 晴弘<sup>†3</sup>

脳活動とテレビゲームの関係に注目した関連研究の多くで、テレビゲーム実施時の前頭前野活動の低下が報告されてきた。しかし、これらはゲーム初中級者を対象としたものに限られ、熟達者の脳活動の活動様相および熟達にともなう変化については未解明の点が多い。本研究では2名の熟達者が「未熟達のゲーム」に訓練を重ねて熟達していく過程で脳活動にどのような変化が起こるのかを運動技能とあわせて検討を行った。その結果、当該熟達者の前頭前野活動は、学習初期に上昇し、学習中期には低下し、学習後期には再び上昇するというU-shapeを示した。

### A Case Study on the Brain Activity of Video Game Masters

SHINGO HATTAHARA,<sup>†1</sup> NOBUTO FUJII,<sup>†1</sup>  
SHINICHI FURUYA,<sup>†2</sup> KOJI KAZAI<sup>†2</sup>  
and HARUHIRO KATAYOSE<sup>†3</sup>

Previous studies have focused on the relation between playing video games and brain activity. Most of these studies have reported that the prefrontal cortex shows decrease in its activity during playing video games. However, it seems reasonable to assume that the effect of playing games on the brain activity is dependent on the player's mastery level. As an initial step to address this issue, we examined brain activity at the prefrontal cortex while two top-level game players ("masters") were learning to master video games using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). Results demonstrated that their prefrontal activity during playing the game varied with the stage of learning; it increased at the early stage of learning, then decreased, and increased again at the later stage. These findings imply that prefrontal activity during playing the game might change in relation to learning stage and expertise, presumably which would provide implication for designing and programming a novel 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世界中で親しまれており、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。同時に、産業としても日本の重要な位置を占めるに至っており、社会的な影響は大きい。日本では「脳を鍛える」という言葉に代表されるようにテレビゲームを実施することが脳に良いといわれるような現象も起きている。しかしテレビゲームによるヒトへの影響は詳しく分かっておらず、特に、エンタテインメントによるヒトへの影響という視点をふまえた分析は急務となっている。

近年、テレビゲームと脳活動の関係に注目した研究も取り組まれるようになり、実施中および実施後継続的に、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<sup>1)</sup>。それ以降、「やる気の低下」「少年犯罪」などの社会問題にも関連させる形で、ゲームが脳に及ぼす影響についてマスコミに大きく取り上げられた。一方で、冷静な態度での研究も進められており、アマチュアと経験者の比較<sup>2)</sup>、ゲームジャンル別分析<sup>2),3)</sup>や、対人 vs. 対CPU (Com) 条件の比較<sup>4)</sup>など、より精緻な要因計画による脳活動計測事例が蓄積されつつある。テレビゲーム実施による視覚能力の向上を示す研究<sup>5)</sup>も行われており、テレビゲームというエンタテインメントによるヒトへの影響が多方面から検討されつつある。

このような現状において、筆者らはテレビゲームによるヒトへの影響を検討する際の要因として「熟達度」に焦点を当てて研究を進めている<sup>6)</sup>。八田原<sup>6)</sup>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2)での経験者相当)、初心者(ふだんテレビゲームを実施せず、対象ゲームは未経験)に分類し、テレビゲーム実施時の脳活動を計測し、「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」という新たな事例を示した。この事例から熟達者は「未熟達のゲーム」に訓練を重ね、熟達する過程で脳活動に変化が起こることが推測される。

熟達度がテレビゲームによる脳活動に影響するということを考慮すると、テレビゲームと脳活動との関係を十分に論議するためには、熟達過程にも焦点を当てた知見の集積が必要で

†1 関西学院大学大学院

Graduate School, Kwansai Gakuin University

†2 関西学院大学理工学部ヒューマンメディア研究センター

Research center for human media, School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

†3 関西学院大学理工学部

School of Science and Technology, Kwansai Gakuin University

あると考えられる。このような観点から、本研究では、テレビゲーム熟達過程研究の1つとして、八田原ら<sup>6)</sup>の実験に参加した2名のテレビゲーム熟達者が新たなテレビゲームに熟達していく過程を、脳活動と行動指標・パフォーマンスを指標として検討する。

訓練による脳活動の変化という点に関して、松田<sup>7)</sup>は、一般的なレベルのプレイヤー(八田原ら<sup>6)</sup>の初級者・中級者に該当すると考えられる)がテレビゲームを訓練することによって、プレイ中の脳活動が変化することを報告している。松田の実験結果によれば、訓練前よりも訓練後の方が、プレイ中の前頭前野の脳活動は低下する<sup>7)</sup>。他方、八田原ら<sup>6)</sup>の実験結果は、熟達者と中級者とではプレイ中の脳活動が異なるということを示している。両者の結果を考慮すると、熟達者における訓練の効果は初級者・中級者における訓練の効果とは異なる可能性が高い。

以下、2章で関連研究を紹介し、3章で熟達者の短期熟達過程における脳活動、運動技能の変化、4章で、熟達者、中級者の長期熟達過程における脳活動、運動技能の変化について述べ、最後に考察を行う。

## 2. 関連研究

脳活動とテレビゲームの関係に注目した研究としては川島らがゲームジャンルによる脳活動への影響を、他の遊びと絡めて検討している<sup>2)</sup>。この研究では6つのジャンルのテレビゲームと他の遊びをしているときの被験者の前頭前野の活動を計測している。ジャンルはシューティングゲーム、格闘ゲーム、スポーツゲーム、RPG(Role-Playing Game)、アクションゲーム、リズムアクションゲームを使用し、他の遊びはカードゲーム(百人一首、トランプ、UNO)、手指運動遊び(けん玉、積み木、知恵の輪)、対戦型ボードゲーム(将棋、囲碁、オセロ)を使用している。その結果、テレビゲーム実施時の被験者の前頭前野の活動は他の遊びと比較して、ジャンルによる程度の差はあるものの低下傾向にあることを示している。また被験者の熟達度にも触れており、パズルゲームにおいて熟達度の違いにより、脳活動変化のパターンに違いが見られたと報告している。

Matsudaら<sup>8)</sup>もテレビゲームの種類による前頭前野活動への影響を検討しているが、テレビゲーム中の脳活動は、概して、抑制される傾向であるか無変化である、と報告している。また、Matsudaら<sup>9)</sup>は、児童・生徒を対象にした実験においても同様に、テレビゲーム中の前頭前野活動の抑制を報告している。

玉越ら是对戦型のゲームにおける対戦相手が人間である場合とCPUである場合の差について検討している<sup>4)</sup>。格闘ゲームで対戦相手がCPUである場合、被験者から見えている人

間である場合、被験者からは見えない人間である場合について、被験者には対戦相手を告知せずに前頭前野の脳活動を計測している。結果、相手が人間で、かつ見えている場合でのみ脳活動が上昇し、他の条件では脳活動の低下が観察された。玉越らは質問紙の結果と合わせて、この変化は対戦相手への認識によって起こるゲームに対する没入によるものではないかと推察している。

これらの研究例が示すように、テレビゲーム中の脳活動を計測した実験の多くは脳活動が抑制されるという結果を報告している。これに対して、八田原ら<sup>6)</sup>は、熟達者(全国ランキング入賞レベルのプレイヤー)を被験者とした実験を実施し、これらの熟達者が当該ゲームをプレイしているときには脳活動が上昇するという結果を報告した。八田原らの研究<sup>6)</sup>は、傑出した技能を持つ者は一般的なレベルの技能を持つ者とは異なる認知情報処理を実行していることを示唆している。

テレビゲームがヒトの認知情報処理能力に及ぼす影響に着目した研究として、Greenら<sup>5)</sup>は視覚能力に与える影響について検討している。被験者を「ふだんテレビゲームを実施する被験者」と「実施しない被験者」に分類し、視覚的注意を計測する数種類の視覚課題を行わせた結果、「ふだんテレビゲームを実施する被験者」群の方が課題成績が高かったと報告している。さらにふだんテレビゲームを実施しない被験者群にシューティングゲームを10日間にわたり訓練させた結果、視覚的注意の能力が向上したと報告し、テレビゲームがヒトに与える正の側面を示唆している。

テレビゲーム実施がヒトに及ぼす影響に注目した研究では以上にあ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、その違いに焦点を当てた報告例はほとんどない。言語<sup>10)</sup>、将棋<sup>11)</sup>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も実施されており、課題実施における熟達者の特異な脳活動計測事例が示されている。

一方、ヒトの学習過程の脳活動に注目した研究としてはKarniら<sup>12)</sup>が複雑な指運動課題(タッピング)の学習過程について検討している。複雑な指運動を学習する過程において、一次運動野の活動量が学習初期には低下するが、より長期的なトレーニングにともない上昇すると報告している。

熟達度と学習過程に注目した研究では、Hund-Geordiadisら<sup>13)</sup>が熟達度を考慮し、被験者をピアニスト、非音楽家に分け、双方に複雑な指運動課題(タッピング)を学習させた際の脳活動変化について検討している。その結果、両群においてタッピング速度は向上するというパフォーマンスの変化を観測する一方、脳活動においては、一次運動野の活動量の増分がピアニストの方が非音楽家より大きく、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と報告している。

現在のスキルサイエンスでは上記の指運動課題(タッピング)のほか, 回転盤追跡<sup>14)</sup>や拍打リズムの学習<sup>15)</sup>など, 単純な動作の「学習」が取り扱われることが多く, 複雑, 複合的な課題の学習である「熟達」はほとんど取り扱われていない。またエンタテインメントの評価を取り扱った研究においても, 熟達者の内省報告や自律神経系活動など<sup>16)</sup>からアプローチされており, 脳機能の観点からの研究はほとんど例を見ない。本論文では, エンタテインメントの評価, およびスキルサイエンスにおける熟達過程解明にむけての基礎データの1つとして位置づけられる実験観察事例を紹介する。

### 3. 実験1: 短期熟達過程実験

#### 3.1 実験概要

本実験では熟達者が「未熟達のゲーム」の訓練を重ね, 熟達していく過程の脳活動, 運動技能の変化について検討する。複雑な指運動課題の学習時においては, 一次運動野の活動が短期的には減少するが長期的には上昇すると報告されている<sup>12)</sup>。このことから本研究では熟達者の「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を短期過程と長期過程に分けて実験を行い, 検討していく。実験1では熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に熟達していく短期熟達過程における脳活動, および運動技能の変化について議論を行う。

シューティングゲーム熟達者に「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」について1日の中で3時間の訓練を行わせ, 訓練なし, 1時間訓練後, 2時間訓練後, 3時間訓練後に脳活動, スコア, コントローラの操作情報, 指運動を記録し, 検討を行った。

#### 3.2 被験者

右利きの健全な成人男性であるシューティングゲーム(ST)熟達者1名(23歳)に対し, 実験した。この熟達者は2種類のSTにおいて, 全国1位のスコアを保持していた経験を持つ。

被験者には実験内容について十分に説明し, 同意を得たうえで実験を行った。

#### 3.3 実験環境とゲームタイトル

ゲームにはRPG, アクション, アドベンチャなど数多くのジャンルが存在する。本研究では時間の制約があり, かつゲーム中のタスクが被験者に関係なく一定であるゲームジャンルとしてSTとリズムアクションゲーム(RA)を選択し, 実験1ではSTを使用した。実験1には, Sony Computer Entertainment社製PlayStation2上で動作するゲームを用いた。



図1 シューティングゲーム。～TRIZEAL～画面例

Fig.1 A screen image of the shooting game used in Experiment 1.

ST熟達者の「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ゲーム。～TRIZEAL～(図1)(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ST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および敵弾をかわしながら, 攻撃をしていくことが目的となる。

#### 3.4 fNIRS 計測

本研究では脳波(Electroencephalogram)やfMRI(functional Magnetic Resonance Imaging: 核磁気共鳴画像法)など数ある脳機能計測手法の中からfNIRS(機能的近赤外分光法)を選択した。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。

fNIRSの特徴として非侵襲, 身体をほぼ拘束なしのふだんに近い状態で計測が可能であることがあげられる。本研究ではテレビゲームをふだんの実施状態に可能な限り近い状態で実施している際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)で横12cm×縦6cmの範囲を測定した(図5)。サンプリングレートは10Hzとした。

#### 3.5 実験手続き

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



図 2 fNIRS 計測システム (FOIRE3000, 島津製作所製)  
Fig. 2 A measurement system of fNIRS.

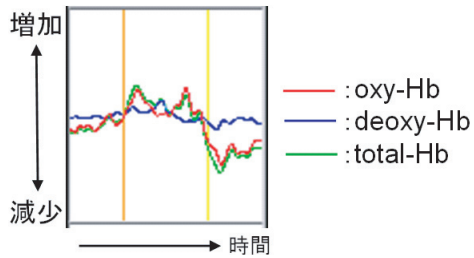


図 3 計測波形例

Fig. 3 An example of fNIRS data.

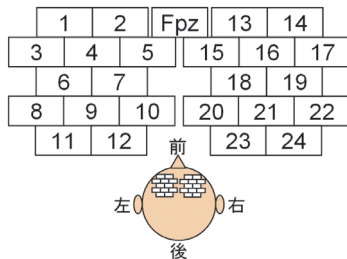


図 4 測定部位とチャンネル配置

Fig. 4 The channel assignment of the fNIRS recording in Experiment 1.



図 5 実験風景

Fig. 5 A participant playing the shooting game.

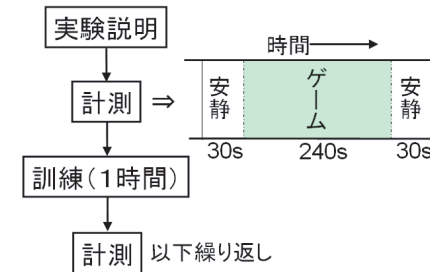


図 6 実験の流れ

Fig. 6 Flow of Experiment 1.

に対し実験を行った。実験の流れを図 6 に示す。被験者の脳活動を計測すると同時に、パフォーマンスとコントローラの操作情報、指運動情報を記録した。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) 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、各条件を 3 試行ずつ行った。それぞれのテレビゲームに慣れてもらうため、およびゲームシステムを説明するために、1 試行と同じ時間の練習をさせた後、fNIRS の計測装置を装着、計測を開始した。タスクの開始、および終了の指示はモニタに表示するととも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。本実験では脳活動、パフォーマンス (ゲームのスコア)、運動技能の変化も見するためにコントローラの操作情報、指運動について記録した。指運動はシール状の 3 つのポイント (ポイント 1: 人差



図 7 手に装着したポインタ

Fig. 7 Locations of pointers for the finger-movement recording.

し指第二関節，ポインタ 2：親指関節，ポインタ 3：人差し指付け根）を設置，実験時にカメラで録画した（図 7）。

### 3.6 データ処理

#### 3.6.1 fNIRS 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<sup>17)</sup>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，各サンプルポイントの z-score を算出し，各チャンネルごとの差を標準化した。そのうえで，前レスト時間の z-score の平均値とタスク時間内の z-score の平均値の差分をタスクによる変化量（安静時とゲーム実施時の脳活動変化量）と定義した。

#### 3.6.2 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 に分岐させることにより，ゲームを実施している際の操作をゲーム実施と同時に PC で記録した。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。

#### 3.6.3 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。

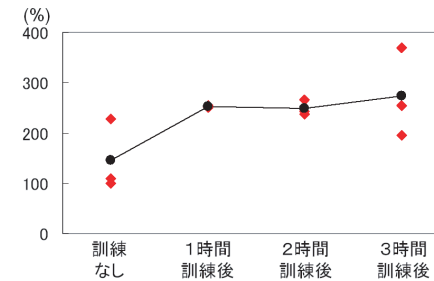


図 8 実験 1 結果：パフォーマンス

Fig. 8 Performance of each task session.

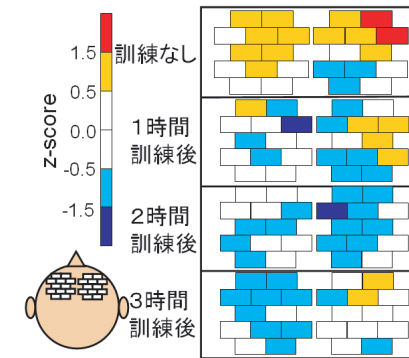


図 9 実験 1 結果：oxy-Hb の変化

Fig. 9 Brain activities of the expert during the game play in Experiment 1.

### 3.7 結 果

実験結果を図 8，図 9，図 10，図 11 に示す。図 8 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。各点は試行ごとの点数を，線分は平均値を示している。図 9 はタスクによる oxy-Hb の増減を色で示したものである。図 10 は指運動を計測するためのポイントの運動量を初期値を 100 として正規化して表示したものである。人差し指付け根のポイントについては画像認識時のノイズが大きく，分析に向かなかつたためこれ以降の議論から外す。図 11 は使用した記録したコントローラ信号から，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。

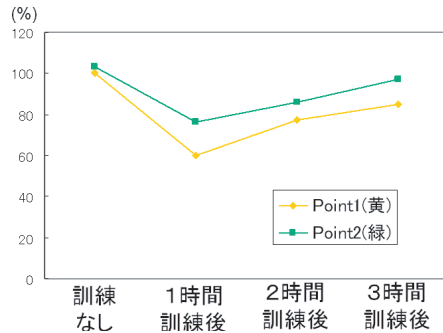


図 10 実験 1 結果：指運動量

Fig. 10 Finger-movements of each task session in Experiment 1.

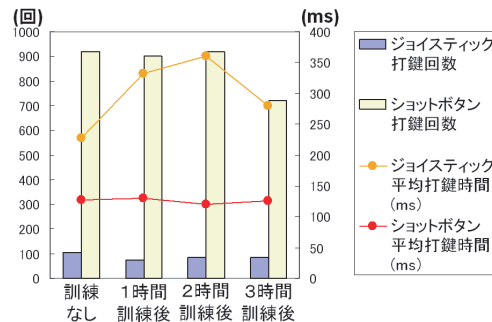


図 11 実験 1 結果：コントローラ操作情報

Fig. 11 Results of stick and button presses.

- 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かかわらず減少した。
- 指運動量は訓練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 時間訓練後には徐々に上昇したが、訓練なしの状態までは上昇しなかった。
- 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。

### 3.8 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を学習していることが確認された。

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」<sup>18)</sup> という先行研究の結果から、熟達者が訓練なしの状態では手の動き、およ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、運動計画の負荷が低下したことに起因する可能性が考えられる。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。本実験では熟達者は 3 時間訓練後に「これ以上の得点向上は見込めない」との内省報告をしていたが、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 2 時間訓練後までは一定であったが、3 時間訓練後で減少、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、3 時間訓練後では減少している。よって 3 時間訓練後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分かる。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し、取捨選択を行ったため動きが減少、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 としてレンジをあ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分かる。カメラでとらえた指運動量の変化はジョイスティックの操作方法が変わるのではなく、動作回数によるところが大きいことが分かった。

実験 1 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。この結果は Karni らの「複雑な指運動の学習にとまな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、長期的な訓練にとまなう活動量が増大する」「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

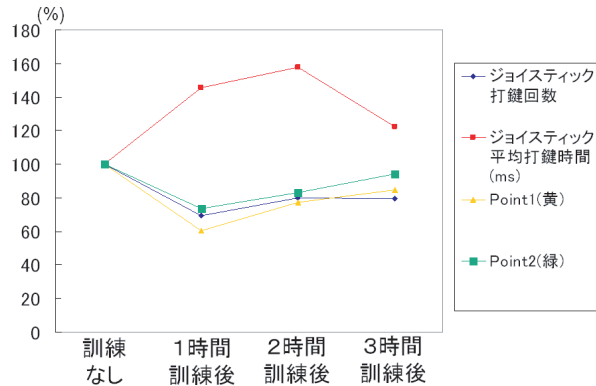


図 12 コントローラ操作情報と指運動量

Fig. 12 Finger-movements and number of stick presses.

量は減少するが、時間の経過にともない、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<sup>12)</sup> という知見に合致するものである。また脳活動低下について考えられる他の理由としては、「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つね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り、3時間の訓練では熟達に至っていない可能性がある。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。

#### 4. 実験 2：長期熟達過程実験

##### 4.1 実験概要

実験 1 で行った短期熟達過程実験では、短期的なゲームの訓練により、実験 1 に参加した熟達者の前頭前野の活動量が減少することが明らかとなった。しかし、長期間にわたるゲーム訓練が脳に及ぼす影響については、未検討である。したがって実験 2 では、熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に熟達していく長期訓練過程における脳活動、および運動技能の変化について議論を行う。

ST 熟達者、ST 中級者、リズムアクションゲーム (RA) 熟達者、RA 中級者に「熟達者の熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」について 10 日間にわたる訓練を行わせ、脳活動、スコア、コントローラの操作情報、指運動を記録し、検討を行った。



図 13 トウエルブスタック画面例

Fig. 13 A screen image of the shooting game in Experiment 2.

##### 4.2 被験者

実験 2 では被験者を以下のように定義した。

- 熟達者 … 対象ゲームジャンルの全国ランキング上位入賞者
- 中級者 … 日常的にテレビゲームを実施し、対象ゲームについては 1 週間の訓練を実施  
ST 熟達者 1 名 (24 歳)、ST 中級者 1 名 (21 歳)、RA 熟達者 1 名 (24 歳)、RA 中級者 1 名 (24 歳) について計測した。被験者には実験内容について十分に説明し、同意を得たうえで実験を行った。

##### 4.3 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。「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」として ST 熟達者、ST 中級者に対してタイトー社製トウエルブスタック (図 13、コントローラはアーケードコントローラを使用) を、RA 熟達者、RA 中級者に対して実験 2 で使用したコナミ社製 pop'n music 10 (図 14、コントローラは pop'n music 専用コントローラを使用) を用いた。

##### 4.4 実験手続き

実験の流れを図 15 に示す。Green らの研究<sup>5)</sup> を参考に訓練期間を 10 日間に設定した。実験手続きは図 6 に示す短期熟達過程実験の手続きと同じであるが、各実験前に被験者には今後の予定、当日の訓練回数と現在の状況を説明した。脳活動の測定部位は実験 1 の前頭前野に加え、運動関連領域の活動も見ると同時に脳波計測国際 10-20 法における C3、C4 の前方 3 cm を中心とした横 6 cm × 縦 6 cm の範囲も測定した (図 16)。被験者の脳活動を計測すると同時に、パフォーマンスと指運動情報、ST 実施時のみコントローラ操作情報を記録した。実験要因として以下の 1 つを設定した。



図 14 pop'n music 10 画面例

Fig. 14 A screen image of the rhythm action game in Experiment 2.

1日目	2時間訓練 3回計測
2日目	2時間訓練 3回計測
3日目 ~5日目	1時間訓練
6日目	1回計測
7日目 ~9日目	1時間訓練
10日目	1回計測

1週間以上の空白期間後に1回計測

図 15 長期熟達過程実験の流れ

Fig. 15 The schedule of training and recording in Experiment 2.

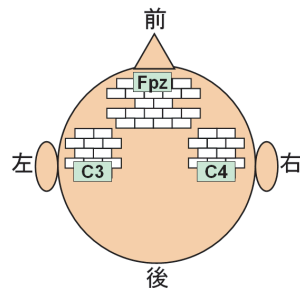


図 16 実験 2 の測定部位

Fig. 16 A screen image of the rhythm action game in Experiment 2.

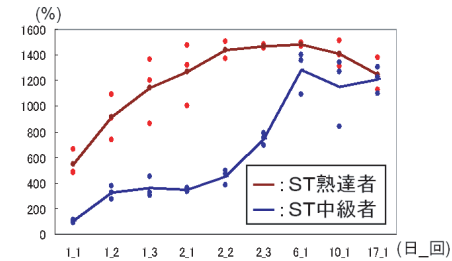


図 17 実験 2 の結果：ST のパフォーマンス

Fig. 17 Performance on the shooting game in Experiment 2.

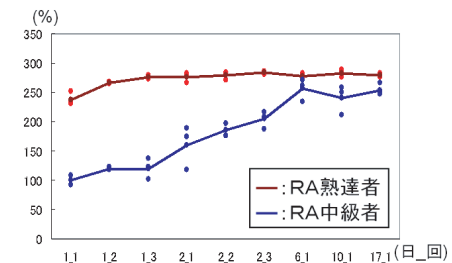


図 18 実験 2 の結果：RA のパフォーマンス

Fig. 18 Performance on the rhythm action game in Experiment 2.

● 要因 1：対象ゲームの訓練時間

実験のタイムラインは短期熟達過程実験と同じものを使用した。実験 1 と同じく fNIRS を使用して脳活動とパフォーマンス（ゲームのスコア）を計測するだけでなく、運動技能の変化も見するためにポイントのカメラ録画による指運動情報、ST 熟達者、ST 中級者のゲーム実施時にはコントローラの操作情報についても記録した。

4.5 データ処理

fNIRS データ処理、コントローラ操作情報処理、指運動情報の処理それぞれについて実験 1 の「3.5 節データ処理」と同じ方法を使用した。

4.6 結果

実験結果を図 17～図 28 に示す。

図 17、図 18 は ST、RA 実施時のパフォーマンスを各々の中級者の 1 回目の計測時の平



2790 テレビゲーム熟達者の脳活動に関するケーススタディ

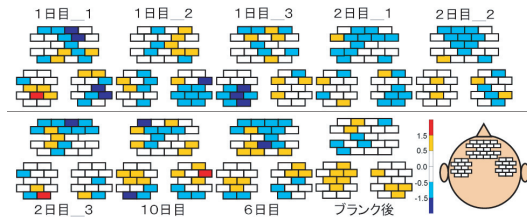


図 19 実験 2 の結果：ST 熟達者の脳活動

Fig. 19 Brain activities of the shooting game expert during the game play in Experiment 2.

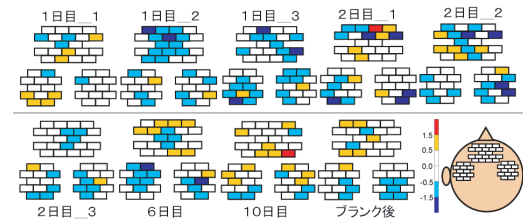


図 21 実験 2 の結果：RA 熟達者の脳活動

Fig. 21 Brain activities of the rhythm action game expert during the game play in Experiment 2.

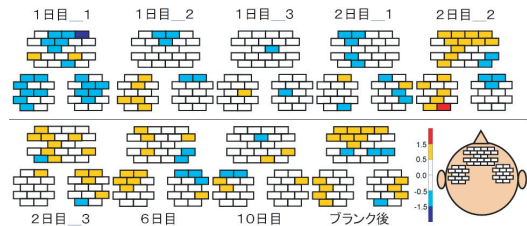


図 20 実験 2 の結果：ST 中級者の脳活動

Fig. 20 Brain activities of the intermediate player during the shooting game play in Experiment 2.

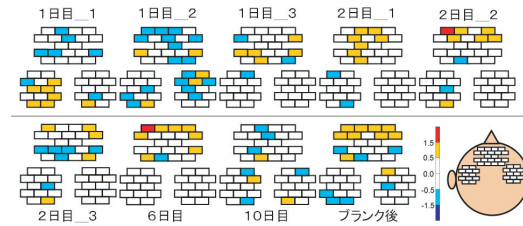


図 22 実験 2 の結果：RA 中級者の脳活動

Fig. 22 Brain activities of the intermediate player during the rhythm action game play in Experiment 2.

均値を 100 として正規化し、表示したものである。各点は試行ごとパフォーマンスを、線分は平均値を示している

- ST と RA, 熟達者と中級者すべてにおいて訓練を重ねるにつれてスコアは徐々に上昇した。
- 熟達者は中級者よりも学習初期においてスコアが高く、訓練による上昇も早く、最終的なパフォーマンスも中級者より上であった。

図 19, 図 20, 図 21, 図 22 は「4.5 節データ処理」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。

- 各々の被験者についてチャンネル別に注目した場合には明確な傾向を見ることはできなかった。

そこで、前頭部、左側頭部、右側頭部、の 3 区画の全体的な脳活動の変化を検討するために、区画内のチャンネルのデータを平均した結果、熟達者において図 23, 図 24 が得られた。熟達者双方の前頭前野活動において 1 日目の学習初期に上昇し、2 日目以降学習が進

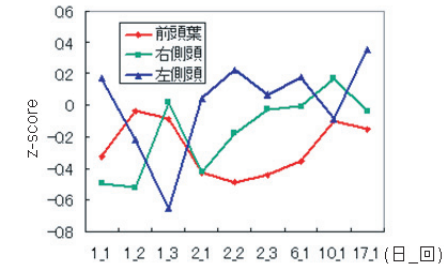


図 23 実験 2 の結果：ST 熟達者の各部位ごとの oxy-Hb 変化

Fig. 23 Averaged brain activities of each brain area of the shooting game expert during the game play in Experiment 2.

むにつれて減少するが、6 日目、10 日目の学習後期には再び上昇するという U-Shape が確認された。これに対して、図 25, 図 26 に示すように、中級者の前頭前野活動においては、学習初期から学習後期にかけて上昇する傾向が見られた。このことは、熟達者と中級者ど

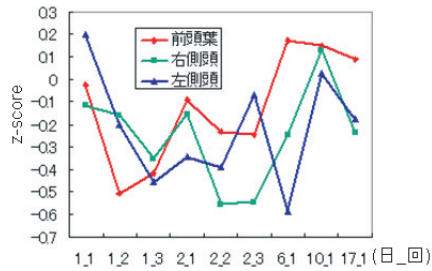


図 24 実験 2 の結果：RA 熟達者の各部位ごとの oxy-Hb 変化

Fig. 24 Averaged brain activities of each brain area of the rhythm action game expert during the game play in Experiment 2.

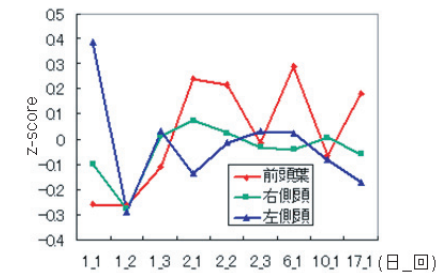


図 26 実験 2 の結果：RA 中級者の各部位ごとの oxy-Hb 変化

Fig. 26 Averaged brain activities of each brain area of the rhythm action game intermediate during the game play in Experiment 2.

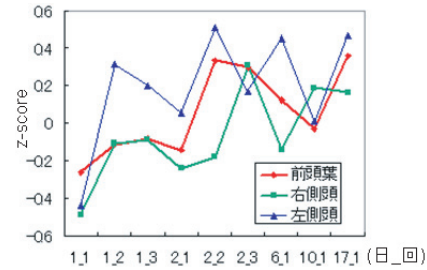


図 25 実験 2 の結果：ST 中級者の各部位ごとの oxy-Hb 変化

Fig. 25 Averaged brain activities of each brain area of the shooting game intermediate during the game play in Experiment 2.

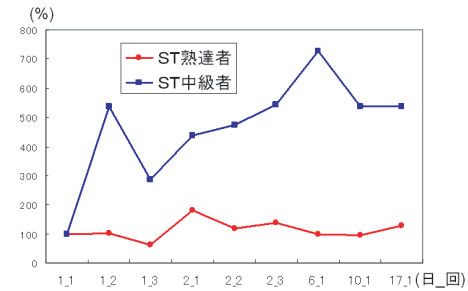


図 27 実験 2 の結果：ST 実施時の指運動量

Fig. 27 Finger-movements during the shooting game in Experiment 2.

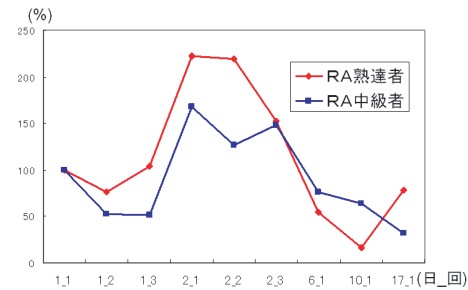


図 28 実験 2 の結果：RA 実施時の指運動量

Fig. 28 Finger-movements during the rhythm action game in Experiment 2.

は学習による脳活動への効果が異なることを意味する。

図 27, 図 28 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。それぞれの被験者について初期値を 100 として正規化していることに留意されたい。

- ST 実施時の指運動量において、熟達者は学習が進んでもほぼ一定値であったが、中級者は徐々に増加した。
- RA 実施時の指運動量について、熟達者、中級者共に学習中期に向けて増加した後、学習後期では減少した。

図 29, 図 30 は ST 実施時において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

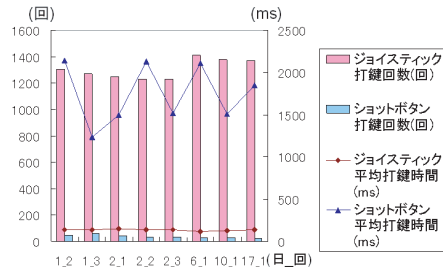


図 29 実験 2 の結果：ST 熟達者のコントローラ操作情報

Fig. 29 Stick and button presses by the shooting game expert in Experiment 2.

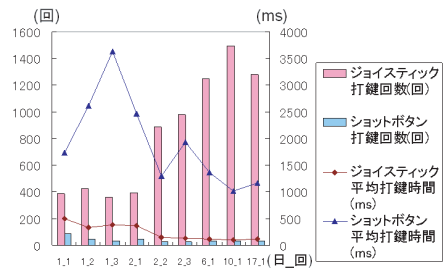


図 30 実験 2 の結果：ST 中級者のコントローラ操作情報

Fig. 30 Stick and button presses by the intermediate player during the shooting game play in Experiment 2.

ある。ST 熟達者の 1 日目 1 回目の計測では機器の問題で記録できていなかったため、表示していない。

- 熟達者のジョイスティック打鍵回数は学習が進んでも一定であったが、中級者は増加した。
- ショットボタンの平均打鍵時間について、熟達者はほぼ一定であったが、中級者は学習が進むに連れて減少した。

#### 4.7 考察

##### 4.7.1 パフォーマンス

ST と RA、熟達者と中級者すべての被験者においてスコアが徐々に上昇したことから、訓練を重ねるにつれて対象ゲームに学習していること、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。また ST、RA とともに 6、10 日目には熟達者の方が若干高得点ではあるがほぼ同じレベルに達し、点数も上昇していないことからスコアが上限に達していることが推察される。熟達者は中級者よりも学習初期においてスコアが高く、上昇傾向も早く、最終的な点数も中級者より上であった。このことから熟達者はこれまでに培った能力、知識により訓練を行っていない状態であっても比較的高い得点を取得でき、学習初期においても中級者より早く上達し、中級者のたどり着けないレベルに至っていると考えられる。

##### 4.7.2 脳活動

ST 熟達者、RA 熟達者双方の前頭前野活動において、学習初期に上昇し、学習中期には低下し、学習後期には上昇するという結果を得た。これは川嶋らの「テレビゲーム実施時、初心者の前頭前野活動は上昇するが、ゲームに慣れた熟達者（本研究での中級者相当）では低下する」という報告と合致するものである。

##### 4.7.3 指運動量

ST 実施時の指運動量において、熟達者は学習が進んでもほぼ一定値であったが、中級者は徐々に増加した。RA 実施時の指運動量について、熟達者、中級者共に学習中期に向けて増加した後、学習後期では減少した。ST は熟達者が使い慣れたコントローラと同様の形状のアーケードコントローラを使用したため、熟達者、中級者に大きな差が生まれたものと考えられる。一方、RA は熟達者にとっても新たな専用コントローラを使用したため、同様の指運動量の変化が起こったと考えられる。そのことから指運動については熟達者は特定のコントローラについて熟達している、しかし新たなコントローラについては中級者と同様の変化が起こるが、スコアに差が出ていることから、指運動量以外の部分でスコア取得にかかわる差が出ていると推察される。

##### 4.7.4 コントローラ操作情報

ST 熟達者のジョイスティック打鍵回数は学習が進んでも一定であったが、ST 中級者は増加した。ST 熟達者のジョイスティック打鍵回数について詳細に見ると、訓練による学習が進むにもかかわらず、上下左右方向に倒す回数がほぼ一定であった。このことから ST 熟達者の訓練によるスコアの上昇は、自機操作の回数はほとんど変化せず、攻略方法の効率化、最適化のみで行われているというきわめて特異な状況が観測された。

ショットボタンの平均打鍵時間について、ST 中級者は学習が進むにつれて減少したことから攻撃は減少しつつ、スコアが上昇するという効率化が行われていると推察される。

## 5. 検 討

この章では、関連研究との比較と運動学習の観点から、今回の実験で得られた事例の解釈を試みる。

### 関連研究との比較

運動学習にともなう脳活動の変化を調べた研究では、動作の効率化にともない、運動関連脳領域の賦活量が減少するという知見が数多く報告されてきた<sup>12),19)</sup>。また、熟練度やトレーニング期間に応じて、運動関連脳領域に起こる学習効果が異なるという結果もいくつか報告されている<sup>12),13),20),21)</sup>。しかし、これらの研究は運動関連領域に焦点を絞ったものであり、運動のプランニングや感覚運動統合といったより高次の情報処理を司る脳領域の学習効果については十分な検討がなされてこなかった。本研究では、テレビゲームという高度な脳情報処理を要する課題において、熟達者が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」を学習する際、前頭前野の賦活量が学習初期に増大し、学習中期には低下し、学習後期には増大するという現象が観測された。これは、少数の被験者の結果ではあるが、初級者や中級者を対象とした従来研究で提言されてきた「ゲームを行うことによって脳活動が抑制される」という考えに対する反証事例といえる。

### 熟達過程実験（実験1，実験2）

本研究の熟達過程実験では、「熟達者が“熟達したジャンルの初めて実施するゲーム”に上達していく過程における脳活動は学習初期に上昇し、学習中期には低下し、学習後期には上昇する」という結果を得た。

ではどのような脳内の情報処理によって学習後期における前頭前野活動の上昇が起きたのであろうか。テレビゲームの訓練に際しては様々な処理が脳内で行われているであろうが、本検討では熟達者と中級者との差異から2つの観点に分けて議論を進める。

1つ目は、最適行動の予測である。たとえば、STで高得点を得るためには、自機をどのように動かせばよいのかを、ゲーム内の様々な事象に基づき、適切に予測しなければならない。RAでは高速で落ちてくるバーが判定バーに当たるタイミング、およびそれらをすべて網羅する手の動かし方を適切に予測しなければならない。前頭前野は、予測に基づいて最適な行動を決定する役割を担っていることが知られているため<sup>22)</sup>、本研究における学習中後期における前頭前野の賦活量の増大は、本研究の被験者がスコアを最大化するような動きを予測する能力を獲得したことを示唆している可能性がある。

2つ目は、手続き記憶の増強である。手続き記憶とは技能や手続き、ノウハウ（手続き的

知識）を保持する長期記憶の一種であり、テレビゲームの方略もこの記憶にあてはまると推察される。Karniらは、複雑な指運動の学習にともなう運動関連脳領域の賦活量の変化について、学習初期では脳活動量が減少するが、長期的な訓練にともない、学習した運動記憶が増強され、課題実施時の脳活動量が増大すると報告している<sup>12),21)</sup>。テレビゲームのようなより高次の脳情報処理を要する課題においても、10日間の訓練終了後、7日間のブランクを空けてもパフォーマンスが保持されていたという実験結果から、学習中後期における前頭前野の賦活量の増大は、高得点を得るための手続き記憶の頑健化を示唆していると推察される。

### 今後の展開

本研究結果は、熟達者は熟達したゲームに対して特異な情報処理を行っており、「熟達」に至る過程で情報処理の仕方が切り替わるということを示唆している。諏訪は、メタ認知（自分の情報処理を認知する）という観点から、スポーツの上達過程における得点の伸びの分析と徹底的なプロトコル解析から熟達過程の分析を試みている<sup>23),24)</sup>。我々の今後の研究の展開としても、熟達者が自分の能力、状況をどのように認知しているかについても考慮し、熟達に対するさらなる理解につなげていく計画である。特に、熟達者がどのような方略を選択しているのか、その方略を熟達者自身は意識できているのかという点は興味深い問題である。事実、熟達にともない、運動制御の方略が、正確さを重視したものから効率を重視したものに遷移することは、数多くの腕運動で報告されている（たとえば、Franklinら<sup>25)</sup>）。したがって、本研究で観察された熟達にともなう前頭前野の活動量の増大は、本研究に参加した熟達者の運動制御方略の変化を反映したものである可能性がある。

また、諏訪の研究は、スキル獲得においては、パフォーマンスは「向上期－停滞期－ブレーク」を繰り返し、学習が進むことを示唆している。今回の実験2におけるST熟達者のパフォーマンス（図17）に注目すると、訓練10日目でパフォーマンスの低下傾向が見受けられる。この現象が、諏訪の指摘するスキル獲得の推移における停滞期に該当するならば、この後にパフォーマンスのさらなる向上が生じることが期待される。この点に関して、さらに訓練期間を延長した実験を実施することによって検討することが今後の課題としてあげられる。

本研究では、熟達者については、2名のみを被験者として実験を行った。本研究は、テレビゲームと脳活動との関係についての定説に対する反証事例を提供したという学術的意義を有する一方で、得られた実験結果が本研究に参加した熟達者のみに生じる現象である可能性は否定できない。それでもなお、少数ながらも傑出した熟達者の熟達過程を考察すること

は、熟達過程研究の発展に寄与するものであると考えられる。全国ランキング入賞レベルにまで熟達した被験者の確保は容易ではないが、より般化性の高い知見を得るために、今後、熟達被験者の事例を集積していくことが必要である。

## 6. ま と め

関連研究の多くで、テレビゲーム実施時のヒトの脳活動は低下するという報告がなされていた。これに対し、八田原らは、熟達者に関しては熟達したゲームの実施時に前頭前野の脳活動が上昇するという関連研究を覆す結果を報告した<sup>6)</sup>。本研究では、さらに、八田原らの実験に参加した熟達者の2名が「熟達したジャンルの初めて実施するゲーム」に上達していく過程を検討した。実験の結果として、これらの熟達者の脳活動は「学習初期に上昇し、学習中期には低下し、学習後期には上昇する」という、事例を確認した。

本研究は、fNIRSを用いた脳機能計測がエンタテインメントの評価に有用であることを示唆する1つのエビデンスとして位置づけられよう。本論文でとりあげた内容は、エンタテインメントにおける熟達過程の一側面をとらえたにすぎないが、今後、さらなる計測事例の蓄積により、脳機能計測がエンタテインメントデザイン領域に応用展開されていくことを期待したい。

謝辞 本論文の執筆にあたり、松田剛博士（東京大学）および匿名査読者から有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 森 昭雄：ゲーム脳の恐怖，日本放送出版協会。
- 2) 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，中山財団リポート，Vol.13, pp.9-16 (2005)。
- 3) 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)。
- 4) 玉越勢治，高橋 励，寺尾将彦，澤井大樹，今西 明，森本文人，八木昭宏，片寄晴弘：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—対人間と対コンピュータにおける比較，情報処理学会研究報告，Vol.2006, pp.35-41 (2006)。
- 5) Green, C.S. and Bavelier, D.: Action video game modifies visual selective attention, *Nature*, Vol.423, pp.534-537 (2003)。
- 6) 八田原慎悟，藤井叙人，長江新平，風井浩志，片寄晴弘：熟達度を視点としたテレビゲーム実施時の脳活動の分析，情報処理学会，Vol.49, No.12, pp.3859-3566 (2008)。
- 7) 松田 剛：テレビゲーム使用時における前頭葉の血流変化：近赤外分光法による検討，

東京大学大学院博士論文 (2005)。

- 8) Matsuda, G. and Hiraki, K.: Prefrontal cortex deactivation during video game play, *Gaming, Simulations and Society: Research Scope and Perspective*, Shiratori, R., Arai, K. and Kato, F. (Eds.), pp.101-109, Springer-Verlag Tokyo (2004)。
- 9) Matsuda, G. and Hiraki, K.: Sustained decrease in oxygenated hemoglobin during video games in the dorsal prefrontal cortex: A NIRS study of children, *Neuroimage*, Vol.29, pp.706-711 (2006)。
- 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) Karni, A., Meyer, G., Jezard, P., et al.: Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning, *Nature*, Vol.377, pp.155-158 (1995)。
- 13) Hund-Georgiadis, M. and 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)。
- 14) Hatakenaka, M., Miyai, I., Mihara, M., et al.: Frontal regions involved in learning of motor skill-A functional NIRS study, *NeuroImage*, Vol.34, pp.109-116 (2007)。
- 15) Tjeerd, W.B., Andreas, D., Michael, B., et al.: Multivariate time-frequency analysis of electromagnetic brain activity during bimanual motor learning, *NeuroImage*, Vol.36, pp.370-377 (2007)。
- 16) 棟方 渚，富田正浩，小松孝徳ほか：エンタテインメントコンテンツ評価のための皮膚電気活動測定装置の開発，EC2007 予稿集，pp.161-164 (2007)。
- 17) Hoshi, Y., Kobayashi, N. and Tamura, M.: Interpretation of nearinfrared spectroscopy signals: A study with a newly developed perfused rat brain model, *Journal of Applied Physiology*, Vol.90, pp.1657-1662 (2001)。
- 18) Tanji, J. and Hoshi, E.: Role of the lateral prefrontal cortex in executive behavioral control, *Physiol. Rev.*, Vol.88, pp.37-57 (2008)。
- 19) Ikegami, T. and Taga, G.: Decrease in cortical activation during learning of a multi-joint discrete motor task, *Exp. Brain Res.*, Vol.191, pp.221-236 (2008)。
- 20) Rosenkranz, K., Williamon, A. and Rothwell, J.C.: Motorcortical excitability and synaptic plasticity is enhanced in professional musicians, *Journal of Neuroscience*, Vol.27, No.19, pp.5200-5206 (2007)。
- 21) Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., et al.: The acquisition of skilled motor performance - Fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex, *Proc. National Academy of Science USA*, Vol.95, pp.861-868 (1998)。
- 22) Petrides, M.: Specialized systems for the processing of mnemonic information within the primate frontal cortex, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Biol. Sci.*, Vol.351,

2795 テレビゲーム熟達者の脳活動に関するケーススタディ

pp.1455-1461 (1996).

- 23) 諏訪正樹：身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化，人工知能学会誌，Vol.20, pp.525-532 (2005).
- 24) 諏訪正樹：スポーツの技の習得のためのメタ認知的言語化：学習方法論（how）を探究する実践，FIT2007 第 6 回情報科学技術フォーラム招待講演資料 (2007).
- 25) Franklin, D.W., Burdet, E., Tee, K.P., Osu, R., Chew, C., Milner, T.E. and Kawato, M.: CNS learns stable, accurate and efficient movements using a simple algorithm, *Journal of Neuroscience*, Vol.28, pp.11165-11173 (2008).

(平成 21 年 3 月 18 日受付)

(平成 21 年 9 月 11 日採録)



八田原慎悟（学生会員）

2007 年関西学院大学工学部卒業．2009 年関西学院大学大学院理工学研究科修士課程修了．研究テーマ「テレビゲームによるヒトへの影響」．



藤井 叙人（学生会員）

2007 年関西学院大学工学部卒業．2009 年関西学院大学大学院理工学研究科修士課程修了．研究テーマ「テレビゲームにおける方略学習」．



古屋 晋一

大阪大学基礎工学部卒業後，2008 年大阪大学大学院医学系研究科博士課程修了．博士（医学）．関西学院大学ヒューマンメディア研究センター博士研究員を経て，現在，ミネソタ大学神経科学部博士研究員．



風井 浩志（正会員）

1998 年関西学院大学大学院文学研究科博士課程単位取得退学．現在，関西学院大学工学部ヒューマンメディア研究センター専門技術員．日本心理学会，日本生理心理学会，日本視覚学会等の会員．博士（心理学）．



片寄 晴弘（正会員）

1991 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了．工学博士．イメージ情報科学研究所，和歌山大学を経て，現在，関西学院大学工学部教授．ヒューマンメディア研究センターセンター長．音楽情報処理，感性情報処理，HCI の研究に従事．科学技術振興機構 さきがけ研究 21「協調と制御」領域研究者．科学技術振興機構 CREST「デジタルメディア（略称）」領域 CrestMuse プロジェクト研究代表者．電子情報通信学会，人工知能学会各会員．