

## 百人一首かるた選手の競技時の脳の情報処理に関する研究

武田 昌一<sup>1</sup>, 長谷川 優<sup>2</sup>, 平井 祥之<sup>1</sup>, 小杉 年範<sup>1</sup>, 津久井 勤<sup>3</sup>, 山本 誠一<sup>4</sup>

## 要旨

かるた競技時の選手の脳の情報処理過程を明らかにする研究の一環として、4 名のかるた選手を被検者として光脳機能イメージング装置による計測を行った。光検出器が 8 個、同時計測点数を 22 点のプローブを用い、かるたの勝敗に最も重要な脳の情報処理を司ると考えられる前頭部で計測を行った。計測データを解析した結果、次のことがわかった。(1) 全被検者に共通している特性は、ほとんどの部位において、下の句の読み開始から上の句の読み終わりまでの 1 周期ごとに酸素化ヘモグロビン濃度値にピークが現れている。これは、選手の「緊張 → 緊張極限 → 弛緩」のサイクルに対応するものと考えられる。(2) 前頭前野前部の方が酸素化ヘモグロビン濃度値は後部より相対的に大きく終盤まで持続している。これは、種々の高度な思考が序盤から終盤まで持続していることを示唆している。(3) 被検者によっては前頭前野後部の多くの部位で酸素化ヘモグロビン濃度値が時間と共に減少する傾向が見られる。これは、運動を持続することによる疲労のため運動制御能力が低下したことを示すものと考えられる。しかし、この傾向が見られない部位が多い被検者もいる。これは、試合進行の違い、個人差などの要因によるものと考えられる。(4) A 級の 1 被検者について、場面の違いにより脳活動に差異が見られるか調査した結果、多くの部位で「取る」場合と「空札」の場合との間で有意差が認められた。(5) 「取る」場合に有意に酸素化ヘモグロビン濃度値が上昇する要因は、前頭前野における高度な作戦の構築、運動前野における手などを動かすための指令などが考えられる。以上の結果は、競技中の選手がかるたを取る場合の高度な聴覚情報の受容、認知、処理、俊敏な運動を繰り返す脳の情報処理サイクルに符合するものであると結論づけられる。

## 1. 緒論

近年、脳機能計測装置や計測技術の進展に伴い、医療の現場のみでなく、様々な分野で脳研究が盛んになってきた。その中には、様々な視聴覚刺激に対して脳がどのように反応してどのような情報処理をしていくかを解明する研究から、最近では脳からの情報を指令として義手やコンピュータを制御するいわゆる BMI (Brain-Machine Interface) あるいは BCI (Brain-Computer Interface) の研究も盛んになり始めている<sup>(1)-(3)</sup>。

筆者らはこれまで感性情報解明研究の一環として、前者の研究を主として脳波計を用いて行ってきた。その中には、配色パターンの印象に関連する脳波成分の抽出<sup>(4)</sup>、ピアノ和音聴取時の脳の反応<sup>(5)</sup>、ビートトラッキング（音楽に合わせて手拍子を打つこと）時の脳の反応<sup>(6)</sup>などの研究がある。

脳波計を用いる研究では、以上のように視聴覚刺激を受動的に受容する活動が主対象であり、被検者の動作が伴うような場合は筋電雑音の混入が問題となり、測定が困難であった。上記のビートトラッキングを被検者に行わせる場合も、手拍子を打つ代わりに指先だけでタッピングを行うという動作で代用せざるを得なかった。このように、脳波計は動作を伴う状況での脳活動の測定には不向きである。

「動き」を含めて、人間の知性、感性、運動など総合的に働かせる場面での脳の反応が計測できれば、芸術やスポーツなど、人類の高度な精神活動の根源を解明する道が開けると考えられる。筆者らは、人間の感性の問題を深

原稿受付 2009 年 7 月 20 日

本研究は近畿大学生理工学部戦略的研究 No.07-IV-27, 2008 の助成を受けた。

1. 近畿大学生理工学部電子システム情報工学科, 〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

2. 近畿大学大学院生理工学研究科電子システム情報工学専攻, 〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

3. 社団法人 全日本かるた協会, 〒112-0012 東京都文京区大塚 4-39-12 内藤ビル 1 階

4. 同志社大学理工学部情報システムデザイン学科, 〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3

く掘り下げ、本質に迫ることを目指している。感性に関する具体的課題として、大きくは「言語的・非言語的感性情報に対する脳機能」ととらえて、(1) 音楽行為と脳の反応<sup>(7), (8)</sup>, (2) 感情（音声）と脳の反応，などについての基礎検討を対象としている。

このように、更に深く踏み込んだ領域での研究を実現するために、脳波計に代わるものとして、現在では動きに対して雑音の影響を受けにくい光脳機能イメージング装置を用いている。本論文は、そのうち小倉百人一首競技かるた（以下略して「競技かるた」と呼ぶ）を対象とした検討結果について述べたものである。競技かるたは、後述するように選手が「心技体」を極限まで駆使するスポーツである。すなわち、研ぎ澄まされた視覚、聴覚、瞬時に取り札を認識する能力、卓越した記憶力、俊敏な運動能力、これらを統合する高度な戦略を立てる能力、長時間の極度な緊張に耐える精神力，などのすべてを兼ね備えていなければ競技に勝つことはできない。競技かるたは、動作を伴い、同時に高度な脳の情報処理を必要とする人間の活動の好例である。

競技かるたにおいて「熟達した選手は決まり字（取り札であることが確定する最初の文字）の前に来る音韻の微妙な違いによって、次に何の字が来るか予測できる」と言われている（2005 年1 月（社）全日本かるた協会主催の競技かるたデモンストレーションにおける解説にて）。このことを検証する研究として、これまでに決まり字音素先頭付近のどのような音響の手がかり（cue）を基にしてかるた選手が取り札を認識しているかについて、種村（競技かるた永世名人）によるスペクトログラム分析と聴取実験を組み合わせた研究がある<sup>(9)</sup>。しかし、実験に用いたスペクトログラムは、ラインプリンタに印字して表示したものであり、精度の点で問題がある。そして、調音結合（口の動きの変化）の違いから聞き分けることを明確に示す聴取実験結果が得られていない。更に、決まり字音韻先頭付近のどのタイミングでかるた選手が取り札を認識しているか精密に計測した例は見当たらない。

そこで筆者らは、聴取実験と音声分析を併用し、かるた選手が取り札を認識するタイミングを精密に測定する実験法を新たに考案・開発した。そして、かるた選手を被験者として実施した聴取実験から、かるた選手は手掛かりになる音の先頭から平均 30~40 ms 後に取り札を認識していることを見出した<sup>(10)-(13)</sup>。

その後、筆者らは一連の競技の中で、かるた選手の脳はどのように反応するか光脳機能イメージング装置を用いて計測する実験を行った<sup>(14)</sup>。この実験は、被験者は 1 名であり、計測データの解析も定性的な結果にとどまっている。

更にその後、被験者を 4 名に増やし同様の計測実験を行い、計測データについて更に詳細な定量的解析を行った。本論文では、4 名の被験者の競技全体を通しての大局的な特徴について述べると共に、最も顕著な特徴が見られる 1 名の被験者のデータについて更に詳細に解析した結果を報告する。

## 2. かるた競技時の脳の情報処理過程

「競技かるた」で相手に勝つためには心技体が最も大切である。この心技体の中で、まず誰でも最初は「技」を身につけることから始まる。次いで、何試合も勝ち抜かないと上に上がれないと知ると、「体」が無いと務まらないのでこれが要求される。最後は「心」が試合を決めることを知る<sup>(15)</sup>。

図1 は、かるた競技時の選手の脳の情報処理過程の時間変化を想定して、かるたを「取る」場合を例として示したものである。1 枚のかるたを取る競技は、下の句の読み上げから始まる。かるた読み上げのルールにより、下の句の音が消えてから 1 秒の無音の後に上の句を読み始める。この無音時間長は 1 ゲームを通じて正確に等時でなければならないことになっている。時間がばらつくと選手がかるたを取りにくいからである。

かるたの選手は、下の句の読みが始まると緊張が始まり、次の上の句の読み上げが始まる瞬間あたりに緊張が極限状態になると考えられる。そして、上の句の読み上げ音を頼りに素早く取り札を認識し、取り札を決定したら、あるいは認識と同時くらいに手が取り札に向かって動き、指先を取り札に接触させる。取った瞬間緊張状態から解放される。

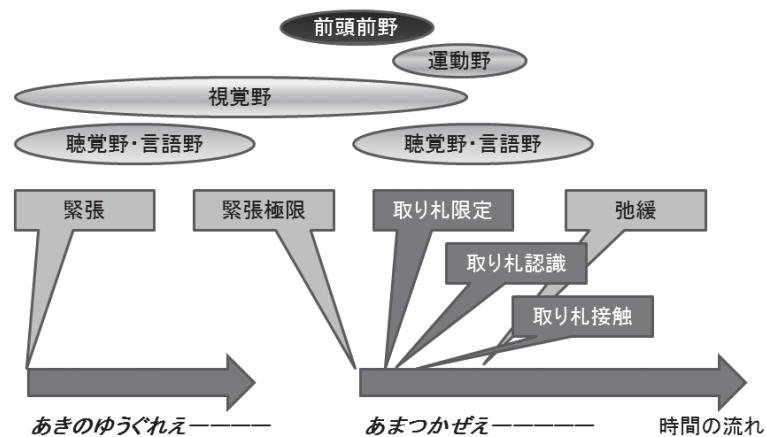


図1 想定されるかるた競技時の脳の情報処理（かるたを「取る」とき）

ここまでの瞬間的な動作を実現するために、選手の脳は次のような順に活性化すると考えられる。まず、常に場を監視しているので視覚野が活性化し持続する。読手が下の句を読み始めると聴覚野が、場合によっては言語野も活性化する。下の句が終わり1秒の無音時間中は聴覚野・言語野の活動は一時収まり、上の句の読み上げ開始と共に再び活性化する。この無音時間が勝敗を決する最も重要な時間であり、この間に選手の脳の中は瞬時に作戦を組み立てたりそれを実行したり高度な情報処理を行っていると考えられる。したがって、高度な情報処理を司る前頭前野が活性化すると考えられる。そして、取り札が限定され認識確定される頃、瞬時に腕や手が動き出すのでこの時期から運動野が活性化すると考えられる。

上記の心技体を大脳生理学の言葉で表現すれば、視聴覚情報処理、前頭前野における高度な作戦組立や判断処理、運動野における運動指令はすべて「心」の働きであり、これらの巧みな組合せにより「技」が実現すると考えられる。また、運動野から指令が出て手が動く部分が「体」に対応すると言えるが、耳から読手の声を聴き、目で場を見るのは感覚器官からの視聴覚情報の受容を行っていることであり、これも「体」の一部と考えることもできる。

### 3. 光脳機能イメージング装置による脳の情報処理計測

#### 3. 1 実験手法の概要

競技かるたは大きな体の動きを伴う。そこで本研究では、体の動きにより生ずるアーチファクト（雑音）の影響を受けにくい光脳機能イメージング装置を用いて脳の活動を計測する。光脳機能イメージング装置は国内2社（日立メディコと島津製作所）で開発・販売され、それぞれ「光トポグラフィ装置」、「近赤外光イメージング装置 (fNIRS)」という別の名前で呼ばれている。今回の実験は、同志社大学に設置してある日立メディコ製の装置 ETG-4000 を用いて行った。

装置の概要は次の通りである<sup>(16)</sup>。この装置を使用し脳の血流変化を見るには、(1) 頭皮上から近赤外光を光ファイバーで照射する。(2) この照射された光は、頭部の組織内で散乱・吸収を繰り返し、約数十ミリメートル程度の大脳皮質まで浸透する。(3) 散乱光を照射30mm 程度離れた位置で検出する。このとき照射位置と検出位置の間にはプロービング領域が形成され、この領域内部で大脳皮質の活動に伴い、血流変化が生じる。この変化が、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化（還元）ヘモグロビン (deoxy-Hb) の濃度変化として観察される。

従来から知られる装置として、脳波計 EEG (Electroencephalograph — 神経細胞の電気的な活動を捉える) のほかに陽電子放射断層撮影法 PET (Positron Emission Tomography — 神経活動に伴う脳内血流変化を捉えて計測)、核磁気共鳴法 fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging — 脳の血中酸素レベル変化を計測)、脳磁場計測法 MEG (脳磁計: Magnetoencephalograph — 無侵襲の脳機能画像計測技術) などがある。これらに比べて、光脳機能イメージング

装置は脳深部計測が出来ない欠点を持っているが、動きもある程度可能な簡易装置といえる。そのため、日常生活環境での計測が可能となる。また、脳波計は安価な装置ではあるが、アーチファクトの影響を受けやすいという欠点があり、競技かるたのように動きが伴う場合の計測には適していない。

次に、脳の活性状況を見るにはその部位がどこにあり、その場所がどのような機能を持っているか知っておくことが不可欠である。その手がかりとして、ブロードマンによる大脳皮質の機能地図が良く知られている<sup>(17)</sup>。

### 3. 2 実験手順

#### 3. 2. 1 計測点

現有の光脳機能イメージング装置では、光検出器が 8 個、同時計測点数が最大 24 点であるため、頭部の一部しか同時計測できない。そこで今回の実験では、かるたの勝敗に最も重要な脳の情報処理を司ると考えられる前頭部に限定して測定する。

図 2 に実際のプローブの装着状況（位置）と計測点（チャンネル）の配置を示す。この図の配置の場合、図 1 で想定される脳の情報処理の内、主として後頭部に活動部位がある視覚野や、側頭部に活動部位がある聴覚野や言語野は測定部位から外れる。そこで今回は、主として前頭前野の活動状態を計測することとなる。また運動前野は計測可能範囲内に入っている。

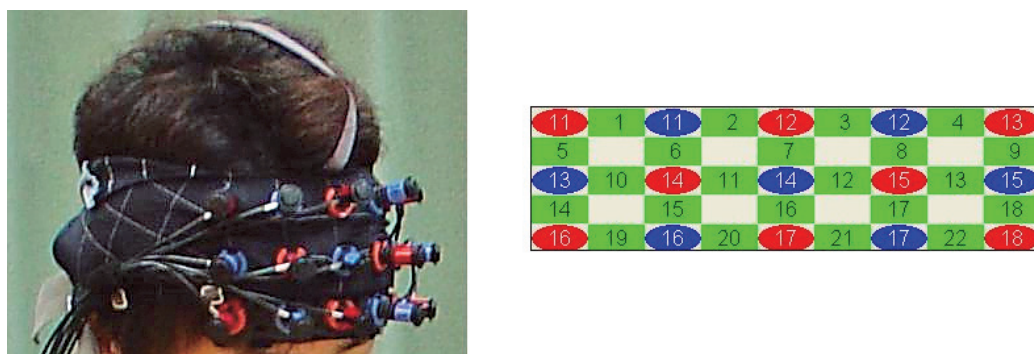


図2 プローブの装着位置（左）とチャンネルの配置（右）。右図中、赤い楕円は発光素子の位置、青い楕円は受光素子の位置、緑色の長方形は計測点、中の数字はその位置のチャンネル番号を示している。これらは被検者側から見た配置であり、上側が被検者頭部の前方である。

図 3 に光脳機能イメージング装置により計測した結果の例を示す。図 4 は一例としてチャンネル 7 のグラフを拡大表示したものである。このグラフは、上の句が読み上げられてから数秒たって酸素化ヘモグロビン濃度が最大値に達し、その後上の句が読み終わるまでに減少していることを示している。他方脱酸素化ヘモグロビン濃度はほとんど変化が見られない。

#### 3. 2. 2 被検者および読手

##### ● 被検者

A級 A2（神戸大学かるた会）、A1（大阪大学かるた会）

C級 C2（神戸大学かるた会）、C1（大阪大学かるた会）

##### ● 読手 : A級公認読手 HT（大阪晩会）



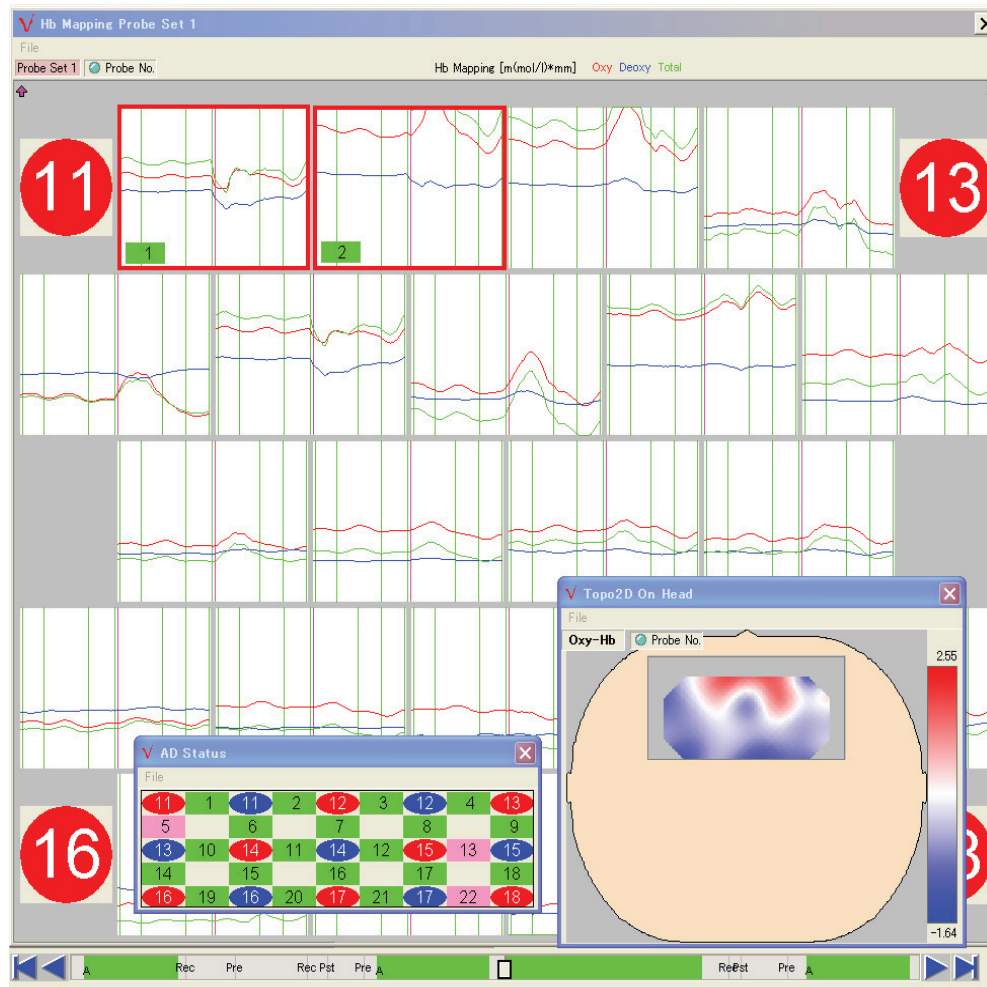


図3 光脳機能イメージング装置による計測結果の例。図は被検者から見た配置であり、各チャンネルにおける酸素化ヘモグロビン濃度（赤い曲線）、脱酸素化ヘモグロビン濃度（青い曲線）、両濃度の合計（緑色の曲線）、の時間変化を長方形の枠内に示している。図左上の赤い枠で囲んである2つの長方形は左からチャンネル1,2における濃度変化である。図の左側が被検者の左耳の方向の部位、上側が頭の前部部位を示している。図右下には、これらの濃度のグラフから各部位の濃度分布を疑似カラーで表したマッピング図を示している。

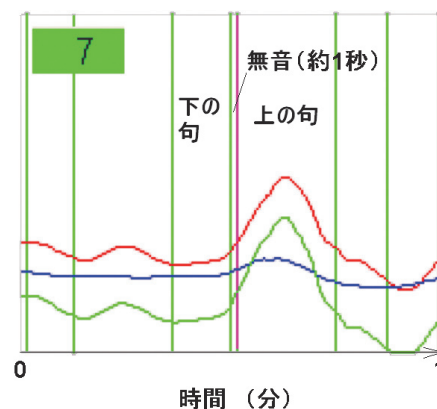


図4 光脳機能イメージング装置による計測結果の一つのチャンネル拡大図。赤い曲線は酸素化ヘモグロビン濃度、青い曲線は脱酸素化ヘモグロビン濃度、緑色の曲線は両濃度の合計、の時間変化を示している。

### 3. 2. 3 試合の方法

- 使用札 時間制約から 50 枚を使用してランダムに 30 枚を取札にする. 取札 15 枚× 2 名, 空札 20 枚, 合計 50 枚

<使用札の詳細>

- ・むめふせ, つしも, ひき, よか, み, こ, わ … 42 枚
- ・あし, あけ, あき, あま, あら … あ札 8 枚
- 試合形態 測定上の技術的制限のため, テーブル上に取札を並べ, 椅子に座って取り合う.
  - ・被検者は前頭部にプローブをつける.
  - ・対戦者はプローブなし (装置が 1 つしかないため).
  - ・試合は固定したビデオカメラで撮影.

<測定上の技術的制限>

- ・プローブと脳の各部との位置がずれないように, 頭をあまり動かしてはいけない.
- ・脳内の血液のヘモグロビン量を測定する原理から, 頭がうつむいただけでも血流が変わってノイズになるので, 頭をあまり動かしてはいけない.
- 対戦
  1. 第 1 試合 A 級対戦 : A1 (被検者) — A2 (対戦者)
  2. 第 2 試合 C 級対戦 : C1 (被検者) — C2 (対戦者)
  3. 第 3 試合 A 級対戦 : A2 (被検者) — A3 (対戦者)
  4. 第 4 試合 C 級対戦 : C2 (被検者) — C1 (対戦者)
- タスク 下記の 1 ~ 3 を一連の作業 (タスク) として繰り返し実施し, 試合終了まで測定する.
  1. 読み開始合図…読み開始, 測定開始  
下の句の読みとともに測定を開始する.
  2. 上の句マーク合図…測定マーク  
上の句の開始にマーキングする.  
読手は通常通り上の句を読み, 被検者及び対戦者はかるたを取る.
  3. 上の句の読み終了の後, 15 秒間待つ  
競技者はこの間に札の整理等を終えて, 次に備える.  
測定上の本来の目的は脳の休息時間としての待ち時間.

## 4. 実験結果

### 4. 1 1 試合全体を通しての特性

本節では, 4 名の被検者について, 一試合全体を通しての酸素化ヘモグロビン濃度の変化傾向について考察する. 図5 左は被検者 A1 (第 1 試合), 同図右は被検者 A2 (第 3 試合) の一試合全体を通しての脳血流のヘモグロビン濃度の時間変化を計測した結果を示している. 両被検者とも A 級選手である. 被検者 C1 と被検者 C2 についての結果は一部のプローブの設置が不完全で正確にデータが採取できなかった部位があるため, 図は省略する.

図より, 被検者により部位ごとの活動パターンが異なることがわかる. 共通している特性は, ほとんどの部位において, 下の句の読み開始から上の句の読み終わりまでの 1 周期ごとに酸素化ヘモグロビン濃度値にピークが現れているということであり, グラフに山谷の起伏パターンとして現れている. これは, 図1 に示した「緊張 → 緊張極限 → 弛緩」のサイクルに対応するものであり, 酸素化ヘモグロビン濃度のピーク付近で緊張が極限に達していると解釈される. また, このような特性は, 過去に行った実験結果<sup>(14)</sup>とも一致している.

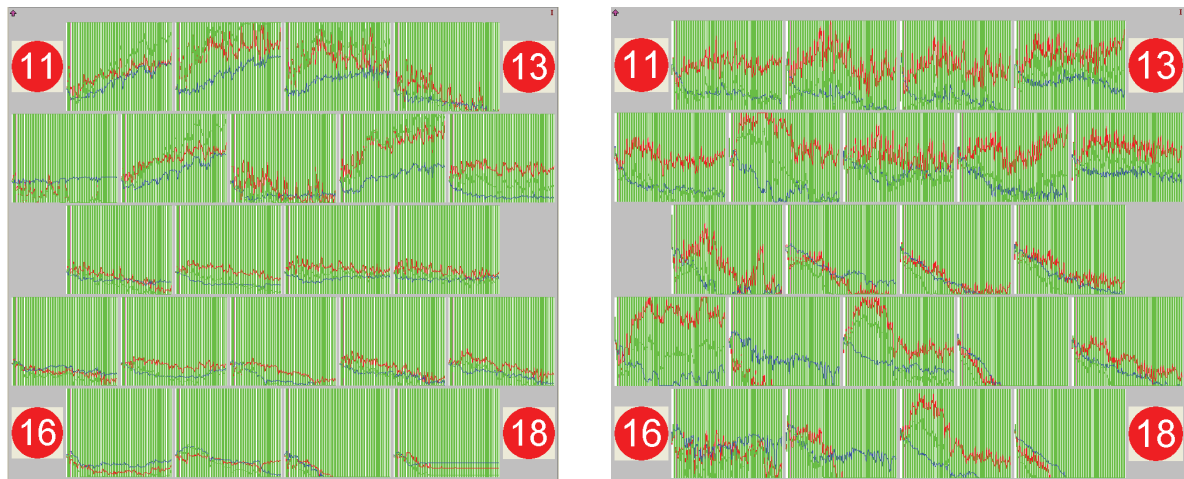


図5 1 試合全体を通しての前頭各部位における酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビン濃度の時間変化  
(左：被検者 A1, 計測時間 21 分, 右：被検者 A2, 計測時間 23 分, 被検者は共にA級選手)

2 名のA級選手 A1, A2 のデータで共通しているのは、前頭前野の前の部分の方が酸素化ヘモグロビン濃度値は相対的に大きく終盤まで持続しているのに対し、後の部分では相対的に小さく終盤に近づくほど減少する傾向が見られるということである。前の部分では、種々の高度な思考を行っており、それが終盤まで持続していることを示唆している。それに対し、後の部分は運動前野の領域が含まれているため、読み音の聴覚情報と場の視覚情報を受けて手を動かす指令生成に関与していると考えられる。この後部でのヘモグロビン濃度値の減少特性は、運動を持続することによる疲労のため運動制御能力が低下したことを示している可能性がある。

なお、チャンネル2,3 および 8 の脱酸素化ヘモグロビン濃度は時間が経過するに従って、被検者 A1 では増加し、被検者 A2 では減少するという異なった傾向が見られるが、この解釈については今後の課題としたい。

他の 2 名の被検者 (C級選手) についても、山谷の起伏パターンが見られることと、前頭前野前部における酸素化ヘモグロビン濃度値が相対的に大きく終盤まで持続しているという傾向は、2 名のA級選手とほぼ共通している (図略)。しかし、前頭前野後部では時間と共に減少する傾向が見られない部位が多く、試合進行の違い、個人差などの要因によるものと考えられる。

#### 4. 2 場面の違いによる脳活動の差異

本節では、A級選手 A2 (第3試合) を例に取り、試合の場面を被検者が「取る」場合、「取られる」場合、「空札」の場合の3場面に分類し、場面の違いにより脳活動に差異があるかどうかを調査する。

##### 4. 2. 1 各場面における酸素化ヘモグロビン濃度

前節で述べたように、1 試合中の酸素化ヘモグロビン濃度の値は部位ごとに異なる。図6 は、下の句の読み開始から上の句の読み終わりまでの 1 周期における酸素化ヘモグロビン濃度のピーク値を「取る」、「取られる」、「空札」の場面ごとに求めた 1 試合の平均値と標準偏差を示している。左の図がチャンネル 4、右の図がチャンネル 16 における算出結果の例である。

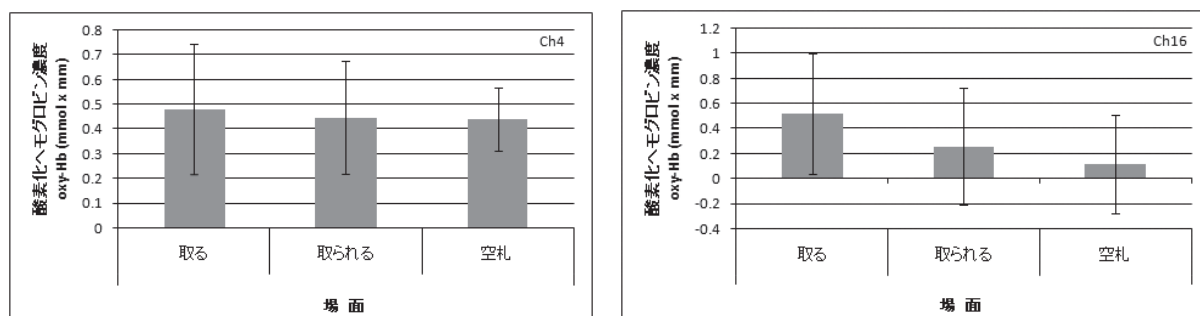


図6 1 試合中の場面（「取る」、「取られる」、「空札」）別の酸素化ヘモグロビン濃度ピーク値の平均値（被検者 A2 の例）．左図：チャンネル 4，右図：チャンネル 16．図中誤差棒は標準偏差を表す．

図からわかるように，チャンネル 4 では場面ごとの酸素化ヘモグロビン濃度ピーク値に差異が見られないが，チャンネル 16 では「取る」場合が最も大きく，「空札」で最も小さくなる傾向が見られる．その他のチャンネル（部位）においても，場面ごとの差が見られる部位と見られない部位がある．差が見られる部位においては，場面ごとに特別な情報処理をしていると考えられる．

#### 4. 2. 2 統計的検定結果

そこで，チャンネルごとに場面の違いによって酸素化ヘモグロビン濃度ピーク値に有意な差が見られるかどうかを検証するために，t 検定を行った．その結果をまとめて図7 に示す．

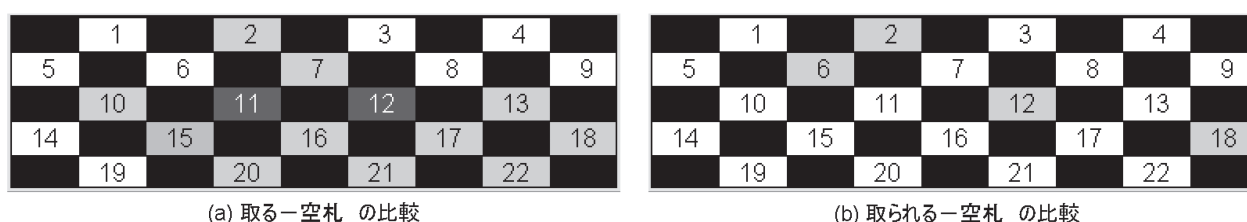


図7 統計的検定結果（被検者 A2 の例）．図中濃灰色のチャンネルでは有意水準 1%，薄灰色のチャンネルでは有意水準 5% で有意差が見られる．白色のチャンネルでは有意差は見られない．

図からわかるように，「取る」と「空札」の間と「取られる」と「空札」の間で複数の部位において有意差が見られる．特に「取る」と「空札」の間で有意差が見られる部位が多い．しかし，「取る」と「取られる」の間では有意差が見られる部位はなかった．

被検者の頭部のサイズの違いなどのために，同一チャンネルであっても見ている部位が若干異なる可能性がある．ので，確定的には論じられないが，概略チャンネル 16, 20, 21 あたりが運動前野に対応すると考えられる．前節で議論したように，「取る」場合に有意に酸素化ヘモグロビン濃度値が上昇する要因は，前頭前野における高度な作戦の構築，運動前野における手などを動かすための指令などが考えられる．また「取られる」場合は，取りに行き相手先に取られる場合と抜け札（場にある札の中で暗記し忘れていた札）の大きく 2 種類あるが，両者が混在しているため「取る」場合ほど顕著な傾向が見られなかったと考えられる．他方「空札」の場合は「取る」あるいは「取られる」場合ほど高度な情報処理は行われず，しかも動作が小さいために有意な酸素化ヘモグロビン濃度値の増大が見られなかったと考えられる．

今回の解析により，図1 に示した「取る」場合についての想定された脳の情報処理過程に符合する結果が得られたと考える．



## 5. 結論

かるた競技時の選手の脳の情報処理過程を明らかにする研究の一環として、4 名のかるた選手を被検者として光脳機能イメージング装置による計測を行った。計測データを解析した結果、以下のことがわかった。

1. 全被検者に共通している特性は、ほとんどの部位において、下の句の読み開始から上の句の読み終わりまでの 1 周期ごとに酸素化ヘモグロビン濃度値にピークが現れているということである。これは、「緊張 → 緊張極限 → 弛緩」のサイクルに対応するものと考えられる。
2. 前頭前野前部の方が酸素化ヘモグロビン濃度値は後部より相対的に大きく終盤まで持続している。これは、種々の高度な思考が序盤から終盤まで持続していることを示唆している。
3. 被検者によっては前頭前野後部の多くの部位で酸素化ヘモグロビン濃度値が時間と共に減少する傾向が見られる。これは、運動を持続することによる疲労のため運動制御能力が低下したことを示すものと考えられる。しかし、この傾向が見られない部位が多い被検者もいる。これは、試合進行の違い、個人差などの要因によるものと考えられる。
4. A 級の 1 被検者について、試合の場面を被検者が「取る」場合、「取られる」場合、「空札」の場合の 3 場面に分類し、場面の違いにより脳活動に差異が見られるかどうかを調査した結果、多くの部位で「取る」と「空札」の間で有意差 ( $p < 0.01$  あるいは  $p < 0.05$ ) が認められた。また、「取られる」と「空札」の間でも、前頭前野前部など一部で有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。しかし「取る」と「取られる」の間ではいずれの部位においても有意差は見られなかった。
5. 「取る」場合に有意に酸素化ヘモグロビン濃度値が上昇する要因は、前頭前野における高度な作戦の構築、運動前野における手などを動かすための指令などが考えられる。

以上の結果は、競技中の選手がかるたを取る場合の高度な聴覚情報の受容、認知、処理、俊敏な運動を繰り返す脳の情報処理サイクルに符合するものであると結論づけられる。

今後は、他の被検者についても酸素化ヘモグロビン濃度値の変化について詳細な解析を行うと共に、前頭前野以外に視覚野、聴覚野、言語野など他の部位についても計測を行い、脳の情報処理過程を解明していく。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、被検者として協力して頂いた競技かるた選手各位、ならびに実験を実施し種々の助言を頂いた(株)日立メディコ 竹内義高、鈴木昭彦両氏に深謝する。また、競技かるたについて種々ご助言を頂いた(社)全日本かるた協会大阪協会 長谷和彦氏をはじめとして協会関係各位にも謝意を表する。そして、データの整理を手伝って頂いた元卒業研究生の上野雄大、小林正幸、山本貴雄諸氏にも感謝する。

## 参考文献

- (1) Donoghue, J. P. (2008) Bridging the Brain to the World: A Perspective on Neural Interface Systems, *Neuron* 60, 511-521.
- (2) Kim, S. et al., J (2008) Neural control of computer cursor velocity by decoding motor cortical spiking activity in humans with tetraplegia, *Neural Eng.* vol. 5, 455-476.
- (3) Truccolo, W. et al. (2008) Primary Motor Cortex Tuning to Intended Movement Kinematics in Humans with Tetraplegia, *Journal of Neuroscience* 28(5), 1163-1178.
- (4) 武田昌一, 山本佐代子, 細川弥生, 田中美枝子, 加藤修一 (2004) 配色パターン印象に関連する脳波成分の抽出, 感性工学研究論文集 Vol.5 No.1, 13-18.

- (5) 山本佐代子, 廣瀬百合子, 佐川泰広, 武田昌一 (2005) ピアノ音色和音聴取時における脳波パワー変動, 感性工学研究論文集 Vol.6 No.1, 51-60.
- (6) 山本佐代子, 中西里果, 佐川泰広, 武田昌一 (2005) ビートトラッキング時と音楽聴取時の脳波  $\alpha$  波帯域パワー変動の比較検討, 感性工学研究論文集 Vol.5 No.3, 61-70.
- (7) 廣瀬百合子, 山本佐代子, 藤井正子, 大山 玄, 井上正雄, 武田昌一 (2007) 近赤外分光法による「音楽ドリル」実施時の前頭葉機能について —高次脳機能障害リハビリテーションのためのソルフェージュ課題「音楽ドリル」の検証—, 日本音楽療法学会学術大会抄録.
- (8) 廣瀬百合子, 山本佐代子, 藤井正子, 井上正雄, 武田昌一 (2007) fNIRS による「音楽ドリル」実施時の前頭葉機能について —高次脳機能障害リハビリテーションのためのソルフェージュ課題「音楽ドリル」の検証—, 第 11 回日本代替・相補・伝統医療連合会議第 7 回日本統合医療学会合同大会 in 松島大会抄録 G4-2.
- (9) 種村貴史 (1985) スペクトルグラムで見た調音結合の影響, 昭和 59 年度慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業論文.
- (10) 落合大介, 黒田洋元, 佐藤和則, 清水聡之, 高萩裕斗, 町田一弘, 武田昌一, 津久井 勤, 大山 玄, 外田万紀子, 村岡輝雄 (2006) 百人一首かるた競技における取り札認識タイミングの聴取実験による計測, 日本音響学会 2006 年春季研究発表会講演論文集(CD-ROM) 2-3-8, 409-410.
- (11) 武田昌一, 落合大介, 黒田洋元, 佐藤和則, 清水聡之, 高萩裕斗, 町田一弘, 津久井 勤, 大山 玄, 外田万紀子, 村岡輝雄 (2006) 百人一首競技かるた選手の取り札認識タイミング計測手法の提案, 日本音響学会 2006 年秋季研究発表会講演論文集(CD-ROM) 1-5-6, 291-292.
- (12) 武田昌一, 落合大介, 津久井 勤, 大山 玄, 外田万紀子, 村岡輝雄 (2006) 百人一首競技かるた選手の取り札認識タイミングの統計的特徴, 日本音響学会 2006 年秋季研究発表会講演論文集(CD-ROM) 1-5-7, 293-294.
- (13) 落合大介, 三浦貴大, 津久井 勤, 井野秀一, 伊福部 達, 村岡輝雄, 武田昌一 (2007) 百人一首かるた競技からみた高速音声認識の特性と学習方法, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007, 1431, 1-4.
- (14) 津久井 勤, 小林好真, 雨木庄平, 千代間大和, 小林達郎, 武田昌一, 廣瀬百合子, 灰田宗孝, 井上正雄, 川口文男 (2007) 「競技かるた」における選手の近赤外光による脳の反応(その 1), 第 7 回光脳機能イメージング研究会資料.
- (15) 津久井 勤 (2003) 競技かるたにおける心技体, 第 2 回 21 世紀連合シンポジウム —科学技術と人間—.
- (16) 日立メディコ (2009) 近赤外線を利用した光トポグラフィの原理, <http://www.hitachi-medical.co.jp/info/opt/index.html>.
- (17) 加藤修一, 武田昌一 (1999) マルチメディア概論 —心を持ったコンピューター, 第 1 版, pp.31-33, 共立出版, 東京.

## A Study of Information Processing in the Brains of Players During Playing the *Hyakunin-Isshu Karuta* Game

Shoichi Takeda<sup>1</sup>, Yu Hasegawa<sup>2</sup>, Yoshiyuki Hirai<sup>1</sup>, Kazunori Kosugi<sup>1</sup>, Tsutomu Tsukui<sup>3</sup> and Seiichi Yamamoto<sup>4</sup>

This paper describes an experiment using an optical functional brain imaging (fNIRS) aiming at clarifying information processing in the brains of players during playing the *Hyakunin-Isshu karuta* game (traditional Japanese playing cards). We measure oxidized hemoglobin (oxy-Hb) values in the prefrontal cortex, which is responsible for the most important information processing to produce tactics for winning, at 22 measuring points using 8 optical detectors. The experimental results for 4 players show the following. (1) One of the characteristics common to all the players is that a peak of the oxy-Hb values is observed in every cycle of one-unit game of taking one card (one poem-reading unit). This cycle corresponds to the cycle of “tense → maximum tense → relax” in the mind of the players. (2) Oxy-Hb values in the front parts of the prefrontal cortex are greater than those in the back parts of the prefrontal cortex and are sustained until the end of the game. This suggests that various high-degree thinking continues all through the game. (3) Oxy-Hb values tend to decrease in many back parts of the prefrontal cortex as the game progresses. This tendency suggests that motor controllability decreases due to fatigue caused by repeated body movements. However, this tendency is not observed in some parts for some players, which may be caused by the factors such as difference in progress of games, difference in players, etc. (4) The results of investigation for one top-grade player about brain activities depending on situations show that there are significant differences in many parts between when the player has taken the *karuta* and when there is no target *karuta*. (5) The factors of this significant increase in oxy-Hb values when the player has taken the *karuta* may be the production of high-degree tactics in the prefrontal cortex, command of body movements in the pre-motor cortex, etc. The above results are consistent with the information processing cycles in the brain, in which high-degree reception, cognition and processing of auditory information, and quick body movements are repeated in the case that a player takes a *karuta* during the play.

---

1. Department of Electronic Systems and Information Engineering, Kinki University, Wakayama 649-6493, Japan

2. Program in Electronic Systems and Information Engineering, Graduate School of Biology-Oriented Science and Technology, Kinki University, Wakayama 649-6493, Japan

3. All-Japan Karuta Association, Tokyo 112-0012, Japan

4. Department of Information Systems Design, Doshisha University, Kyoto 610-0321, Japan