

## 《第2回》前頭葉脳活動計測とその応用

八木 透<sup>\*,\*\*</sup>・向井 利春<sup>\*\*</sup>・大西 秀憲<sup>\*\*\*</sup>

\* 東京工業大学 大学院情報理工学研究所

東京都区目黒区大岡山 2-12-1-W8-20

\*\* 独立行政法人理化学研究所 名古屋支所

愛知県名古屋市守山区大字下志段味字穴ヶ洞 2271-130

\*\*\* 株式会社テクノスジャパン 兵庫県姫路市北条 1-266

\* Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology 2-12-1-W8-20, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan

\*\* The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Nagoya Facility, 2271-130 Anagahora, Shimoshidami, Moriyama-ku, Nagoya, Aichi, Japan

\*\*\* Technos Japan Co., Ltd., 1-266, Hojyo, Himeji, Hyogo, Japan

\* E-mail: tyagi@mei.titech.ac.jp

キーワード: 前頭葉 (frontal lobe), 脳機能計測 (brain functional measurement), BCI (brain computer interface), 意思伝達装置 (communication devise), ストレス (mental stress).

JL 0002/11/5002-0143 ©2011 SICE

## 1. はじめに

前頭葉は前額部(ひたい)から頭頂部,そして側頭部(こめかみ)にわたる頭蓋下に位置し,大脳を中心溝と外側溝で囲まれた脳部位である。前頭葉の機能研究は歴史が長く,後述する脳機能計測手法が開発される以前から,前頭部を損傷した患者を観察することで機能が詳しく調べられてきた<sup>1)</sup>。たとえば,1848年に米国でPhineas Gageという鉄道工事監督者が事故で左前頭葉を大きく損傷した事例が挙げられる。この人物は奇跡的に一命をとりとめたものの,彼の理性的な性格は事故後に攻撃的・感情的な性格へと激変した。このほかにも数多くの臨床事例から前頭葉の機能に関する研究が進み,現在では前頭葉は精神集中や長期記憶,行動計画の立案,計画実行の判断などに重要な役割を果たしていると考えられている。そして近年は,脳波(EEG),近赤外分光法(NIRS),脳磁図(MEG),機能的磁気共鳴画像診断法(fMRI),陽電子放射断層撮影法(PET),単光子放射線コンピュータ断層撮影法(SPECT)などの脳機能計測手法によって前頭葉の機能がさらに詳しく調べられている。

このうち EEG と NIRS は装置価格が比較的安価で,セットアップも簡単,そして装置の取り扱いも容易な計測手法である。EEG は大脳皮質の活動状態を表わす電位変動として古くから用いられており,臨床医学の分野では脳腫瘍の検査,睡眠の深さの検査,癲癇(てんかん)のモニタリングなどに用いられている<sup>2)</sup>。EEG の空間分解能は他の計測手法に比べると低い,大局的な活動を計測するには十分であり,何よりも EEG は他手法に比べて時間分解能が優れている特徴をもつ。一方,NIRS は,脳の血液量や血中の酸素化ヘモグロビン量(oxyHb),脱酸素化ヘモグロビン量(deoxyHb),およびそれらの合計量である総ヘモグロビン量(totalHb)を非侵襲的に計測する手法である<sup>3)</sup>。頭皮上から近赤外光を照射すると光は頭蓋骨を透過して散乱光が戻ってくるが,脳の神経活動によって血液量が増加すると,血液中のヘモグロビンに光が吸収されて戻ってくる光量が増加する。この光量の変化を脳神経活動の変化と考える計

測手法である。

前頭葉の機能を計測する際,EEG では電極,NIRS では送光・受光プローブを前頭部や頭頂部に取りつける。特に前額部は頭髪がないため,頭髪がある部位よりも計測が容易と思われるがちであるが,発汗,眼球運動による角膜網膜電位(EOG),眼瞼や表情筋による筋電位(EMG)などが他所以上にアーチファクト(注目している信号とは異なる不必要な信号)となる。また EEG においては, $\alpha$ 波や事象関連電位(ERP)などの特徴的な脳波は,前頭部よりも頭頂部から後頭部にかけての領域で顕著に現れる。したがって,前頭葉における EEG および NIRS を用いた計測ならびにデータ解析は注意が必要である。しかしそれらの点に留意さえすれば,前頭葉は前述したように高次脳機能を司る重要な部位であるので,医学的にも工学的にも有益な情報が得られ応用先も広いと思われる。そこで本稿では,EEG や NIRS を用いたわれわれのこれまでの取り組みを中心に,精神集中課題実行時の前頭葉の脳機能計測の研究や,前頭葉の神経活動を用いた応用研究について解説する。

## 2. 前頭葉の脳機能計測

EEG や NIRS を用いた前頭葉の研究として,精神集中やメンタルヘルスに関するものが数多く知られている。たとえば EEG では,暗算問題など注意や集中を要する精神作業中に,Fm $\theta$ (前頭正中中部シータ律動)と呼ばれる6~7 Hz の脳波が大振幅で出現することや,開眼やストレス課題時に8~13 Hz の $\alpha$ 波が消失する $\alpha$ ブロックという現象が知られ,注意・集中・ストレス・不安などの心理状態と脳波の関連について数多くの研究が行われている<sup>4),5)</sup>。一方,NIRS では,ストループ課題(意味の相反する刺激対を同時に提示して葛藤を生じさせる課題)をストレスサとして与えて,前頭前野の活動が有意に変化することを示した研究が多数報告されている<sup>6)-8)</sup>。また暗算などの精神集中課題時でも前頭前野で脳血液量の増加が観測され,さらに被験者のストレス耐性の違いにより前頭葉の脳血液量に左右差があることが判明している<sup>9)</sup>。

## 2.1 実験

これらの従来研究をふまえてわれわれのグループは、精神集中課題時およびリラククス課題時の前頭葉における脳機能を EEG および NIRS を用いて調べている (なお本稿では紙面の都合で記さないが、心拍変動 (Heart rate variability: HRV) と指尖脈波 (Peripheral arterial tonometry: PAT) についても同時計測して関連を調べている)<sup>10)~13)</sup>。われわれが行っている研究では、生理心理学の分野で用いられている精神集中課題を参考に、以下の課題を用意した。

[閉眼安静課題 1] 目を閉じて何もせず安静にする (3 分間)。  
[精神集中課題] 目を開け、画面に提示される乗算問題を暗算する (2 分間)。

[リラククス課題] 目を開け、ヒーリング効果があるといわれている視聴覚コンテンツ (清流が流れる山中の風景を川のせせらぎの音と共に長時間にわたって録画したもの) を視聴する (10 分間)。

[閉眼安静課題 2] 目を閉じて何もせず安静にする (3 分間)。

休憩を挟まずに上記課題を順に行い、各課題遂行中の脳神経活動を EEG および NIRS を用いて計測した。なお被験者がリラククスして実験に参加できるように適度な硬さのソファに腰を掛けさせ、外光が入り空調が効く 16 畳ほどの大きさの居室 (普段は応接室として使用している部屋) にて実験を実施した (図 1 (a))。またアーチファクト軽減のために計測中は身体と目の動きを極力控えさせた。

EEG 計測における電極の配置は国際 10-20 法に従い、前頭部から頭頂部にかけて記録電極 9 個、耳朶にリファレンス電極 1 個、頭頂部 (Fz と Cz の間) にアース電極 1 個を貼付し、生体信号収録装置 (TEAC 社製 Polymate II) を用いて単極誘導によりサンプリング周波数 1kHz で計測した (図 1 (b))。また NIRS 計測では島津製作所製 NIRStation

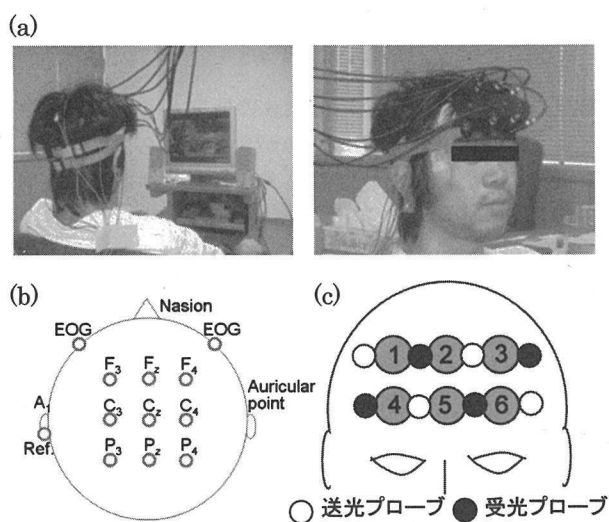


図 1 実験のセットアップ<sup>10)</sup>。

(a) 被験者の前額部に取り付けた電極とプローブ、(b) 脳波電極の配置、(c) NIRS のプローブの配置と測定箇所。

OMM-3000 を用いて計測を行った。この装置では、送光ファイバから 3 種類の波長 (780 nm, 805 nm, 830 nm) の近赤外光を頭皮上から脳内へ向けて照射し、受光ファイバで脳内からの散乱光を検出する。脳内から検出された散乱光に含まれる 3 種類の波長から 3 波長吸光度演算法により、酸素化ヘモグロビン量 (oxyHb)、脱酸素化ヘモグロビン量 (deoxyHb)、およびそれらの合計量である総ヘモグロビン量 (totalHb) の、初期値からの相対変化量をそれぞれ推定することができる。実験では送光ファイバ、受光ファイバをそれぞれ 4 個ずつ前頭前野の直上の頭皮に設置し、6 箇所脳血液量変化を計測した (図 1 (c))。サンプリング周期は 0.21 秒 (3 点移動平均あり) とした。

## 2.2 EEG 計測の結果

実験実施にあたり、理化学研究所・和光研究所研究倫理第三委員会において実験内容および実験実施場所について承認を受けた。また実験前に各被験者にインフォームドコンセントを行い、実験参加同意書への記入で同意を確認して実験を実施し、男性健常者 7 名 (年齢 23 歳~49 歳、全員右利き) からつぎのような結果を得た。まず最初に EEG の結果を記す。図 2 は正中前頭部 (Fz) および正中頭頂部 (Pz) におけるデータの代表例である。同図は横軸を時間 (各グラフの時刻ゼロは各課題の中央時刻で、閉眼安静課題では実験開始 90 秒後、精神集中課題は 240 秒後、リラククス課題は 600 秒後を表わす)、縦軸を周波数とした平面上に、波形エネルギーを示した時間-周波数分布である。計測波形に対してハミング窓 (データ点数 1,024 点) を適用し、オーバーラップ点数を 1,000 点とした短時間フーリエ変換を行って時間-周波数分布を得ている。閉眼時やリラククスしている状態では  $\alpha$  波領域 (8~13 Hz) のパワーが大きく、覚醒状態に近づくほどそのパワーは小さくなることが知られているが、われわれの実験でも閉眼安静課題から精神集中課題にかけて同様の結果を得た。また 5 Hz 以下の低周波でパ

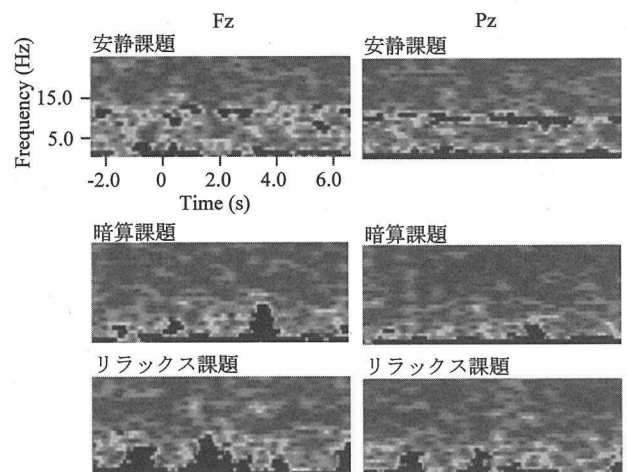


図 2 電極 Fz, Pz における脳波のスペクトログラム

(カラー画像: <http://www.sice.or.jp/~journal/moku50-02.html>)

ワーの大きな信号がFzでは観測されたのに対してPzは観測されなかった。これらは冒頭で説明したアーチファクト(EOG, EMG, その他)と考えられ、前頭部でも $\alpha$ 波領域の信号を計測できるが、頭頂部のほうがアーチファクトの影響が少ないという、従来の知見を支持する結果となった。

一方、精神集中課題時に $\beta$ 波以上の高周波領域でパワーが大きかったケース1例を除いて、7名中6名の被験者において精神集中課題時とリラックス課題時で違いは見られず、リラックス課題においても $\alpha$ 波領域のパワーは小さかった。そこで閉眼安静課題から精神集中課題に移行した際に生じた $\alpha$ ブロックがそのまま引き続きリラックス課題でも生じたために $\alpha$ 波が観測されなかったのではと考え、精神集中課題とリラックス課題の間に閉眼安静課題を挿入して実験を実施した。するとリラックス課題が始まって5分ほどして $\alpha$ 波が出現することがあった(図3の丸囲い部分)。つぎにリラックス課題を前半と後半に分割し $\alpha$ 波領域のパワーの積分値を比較した(図4)。その結果、被験者#7では後半に $\alpha$ 波の増加が見られるものの、他の被験者では顕著な差が見られなかった。実験後のインタビューから、リラックス課題の後半になるとすべての被験者が眠気を感じていたことが判明した。したがって長時間にわたる実験によって生じた眠気で $\alpha$ 波が現れたと考えられ、コンテンツ自体が $\alpha$ 波を誘発させているわけではないと思われる。

一方、開眼状態で実験したことが $\alpha$ 波の出現頻度に影響したとも考えられる。そこで計算問題をスピーカから音声で指示して、閉眼状態で暗算する60秒間の精神集中課

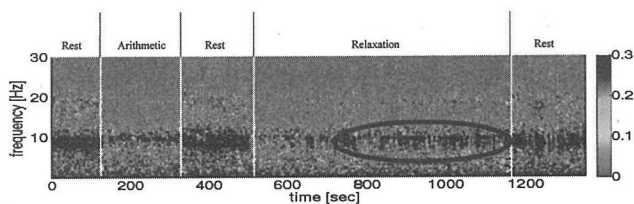


図3 課題遂行中の脳波スペクトログラム<sup>10)</sup>  
(カラー画像:<http://www.sice.or.jp/~journal/moku50-02.html>)

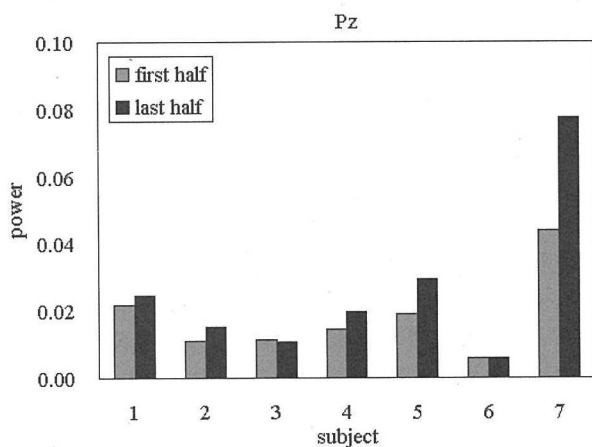


図4  $\alpha$ 波のパワーの変化<sup>10)</sup>。

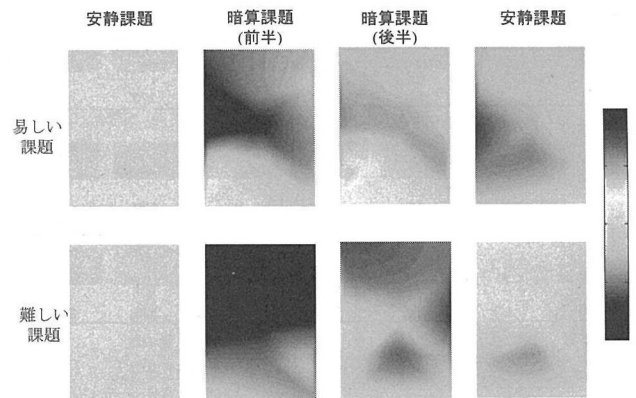


図5  $\alpha$ 波振幅変動のトポロジカルマップ  
(カラー画像:<http://www.sice.or.jp/~journal/moku50-02.html>)

題の実験を実施した(なお同課題の前後にコントロールとして30秒間の閉眼安静課題をおいた<sup>14)</sup>。ところで $\alpha$ 波は時間的に振幅や周波数が変化する(ゆらいでいる)ことが知られている<sup>15)</sup>。そこで今回は課題遂行中の $\alpha$ 波の「振幅ゆらぎ」に注目して解析を行った。ヒルベルト変換を用いて得た $\alpha$ 波の包絡線のグラフにおいて、課題前30秒・課題時の前半30秒と後半30秒、そして課題後の30秒の4つの区間にわけ、各区間の振幅の標準偏差を「振幅ゆらぎ指数」として定義した。なお電極の配置は前述した9個に加えて、左前頭極部(Fp1)、右前頭極部(Fp2)、左後頭部(O1)、右後頭部(O2)の4個を加えた合計13個で計測し、内挿法を用いて「振幅ゆらぎ指数のトポロジカルマップ」を得た。いまだ詳細な検討を終えていないが、これまでに健常男性7名(21~25歳)に対して実験を実施したところ、7名中5名において精神集中課題時の前半に、前頭葉から頭頂部にかけての範囲で振幅ゆらぎ指数が減少することが判明した(図5)。また、より難しい計算問題を解かせたところ、7名中4名において振幅ゆらぎ指数がより広範囲にわたってさらに大きく減少することが明らかになった。以上の実験から、 $\alpha$ 波のゆらぎ情報に着目することで、精神の集中度合いを定量的に評価できる可能性が示された。

### 2.3 NIRS計測の結果

EEG計測と同時に、NIRSを用いて前述の閉眼安静時、精神集中課題、そしてリラックス課題を行う際の被験者の前頭前野における脳血液量変化を計測した(7名に対して実験を実施したが、2名のデータには大きなノイズが混入したため解析から除外した)。すべての被験者において精神集中課題時にtotalHb値が上昇し、リラックス課題時にそれが減少することが判明した。図6は得られた実験結果の典型例で、前頭前野における血液量の時間変化を示したトポグラフィカルマップである。各マップの上部が前部前頭前野、下部が背側前頭前野を示している。図中の色は脳血液の変化量を表わしており、6箇所計測点間は補完されている。また図7は、閉眼安静時のtotalHb値に対して、精

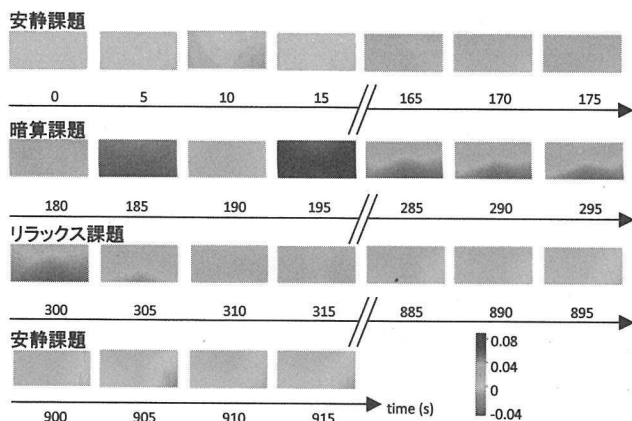


図6 前頭葉における脳血流量の変化<sup>10)</sup>  
 (カラー画像: <http://www.sice.or.jp/~journal/moku50-02.html>)

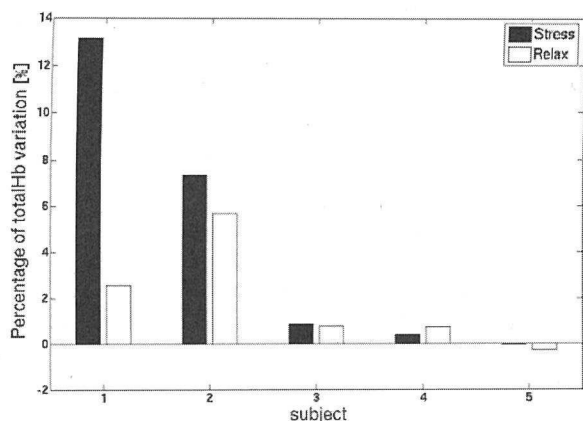


図7 前頭葉における総ヘモグロビン量の変化<sup>10)</sup>.

精神集中課題時とリラックス課題時の totalHb 値がそれぞれの程度増加したかを示したものである(背側前頭前野は分散値が大きく平均を求めるのに適さなかったため、前部前頭前野の3箇所を平均を用いた)。これらのデータを見る限りでは、精神集中課題では totalHb 値の上昇が観察され、被験者#1と#2のようにリラックス課題時で totalHb 値の上昇があっても、その値は精神集中課題の値よりは低かった。fMRI を用いた各種認知課題における前頭前野の反応を調べた従来研究によると、ルール学習時に前部前頭前野 (Anterior Prefrontal Cortex: APFC) が顕著に活動すること<sup>16)</sup>、また APFC および背外側前頭前野 (Dorsolateral Prefrontal Cortex: DLPFC) が長期記憶に関連して活動すること<sup>17)</sup>、が明らかになっている。本研究における NIRS を用いた計測ではプローブを APFC と DLPFC の境界近傍に取り付けており、得られた各時刻のトポジカルマップを見る限りでは、前部前頭前野と背外側前頭前野の間で差が生じているものもある。したがって今回得られた結果は従来研究に、ある程度は一致しているといえる。しかし他の従来研究<sup>9)</sup>で指摘されていた、精神集中課題時に前頭前野に現れる脳血流量変化や左右差については、観察するこ

とができなかった。またリラックス課題時に、精神集中課題時に比べて脳血流量が減少したが、視聴覚コンテンツがリラックス効果を与えたと考えするにはデータが不足しており、精神集中課題が単に終了したので減少したのかもしれない。しかしリラックス課題は EEG ではなんら特徴が得られないが、NIRS を用いると血液量変化として特徴をとらえることができたので、NIRS は必ずしも EEG で計測される脳の電氣的活動を反映しているわけではないことがわかった。

### 3. 前頭葉機能計測の応用

さて筋萎縮性側索硬化症 (ALS) や筋ジストロフィーなどの重度肢体不自由者は、進行すると眼球運動や瞬きさえもできなくなり運動機能が全廃する。そのため唯一残された意思伝達の手段は、脳機能を計測して患者の意思を推測することである。そこで EEG や NIRS を応用した意思伝達装置の開発に注目が集まっているが、開発の際に留意すべきことが数多くある。たとえば EEG の場合、電極インピーダンスや皮膚と電極の接触インピーダンスを十分に低くして、かつ電極と生体との間に生じる分極電圧を小さくする工夫が必要である。また電極の直上で信号を増幅するなど外来誘導雑音の影響をできるだけ小さくしなければならない。他方、NIRS の場合は送光プローブならびに受光プローブ先端を頭皮上に密着させる必要がある。そして EEG も NIRS も電極やプローブが動くことで発生するモーションアーチファクトをなくすために、できるだけしっかりと固定できるようなデザインにすることが望ましい。以上のような点に考慮して、すでにいくつかの装置は商品化されている。本章では、医療従事者や患者およびその家族の間ですでに広く利用されている市販製品のなかで、EEG や NIRS で前頭葉の脳機能を計測して意思伝達を実現する重度肢体不自由者向けの装置について紹介する。

#### 3.1 EEG の応用

EEG を利用した意思伝達装置の研究開発はすでに 60 年代から開始されている。詳細は他に譲るが、P300 と呼ばれる事象関連電位を利用するものや、運動を想像する際に生じる事象関連脱同期 (ERD) を利用するものが現在は研究用として市販されている。これらは頭頂部 (Pz, P3, P4) や中心部 (Cz, C3, C4) の神経活動を利用する BCI である。前頭葉の機能に着目したものとしては、1999 年に製品化された意思伝達装置「マクトス (MCTOS: Mind Controlled Tool Operation Switch, テクノスジャパン製)」が挙げられる(図8)。この装置は前額部に装着して使用するアンプ搭載のディテクタと信号処理を行う本体から構成されている。ディテクタには3個の皿電極が組み込まれており、中央の電極をリファレンスとして、前頭極 (Fp1, Fp2) より少し正中寄りに位置している左右の電極を用いて双極誘導で EEG, EMG, EOG を検出する。検出された信号は本体内部で周波数解析され、任意に選択した周波数範囲の信号

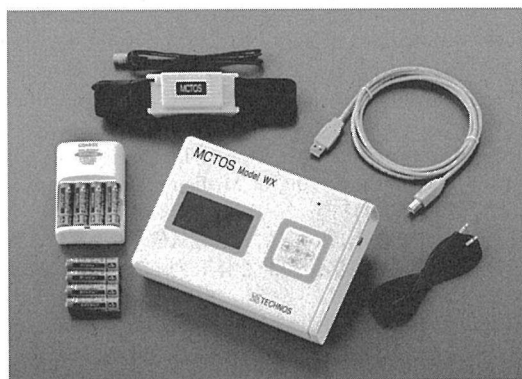


図8 脳波などの生体信号を用いた意思伝達装置「MCTOS」.

強度が設定値を超えたときに本体内蔵のブザーが鳴り、同時に接点出力および USB 出力を出すことができる。また本体には信号を周波数解析したスペクトルをリアルタイムで表示する液晶ディスプレイが設置されているので、ユーザが発生信号強度を知ることができる。本装置は、EEG、EMG、EOG のいずれの信号でも使用できるような仕様になっているが、それは療養者の残存機能を最大限に利用することが装置の目的だからである。もし EEG を使用する際は、「頭で強く念ずる」「意識を集中させる」「興奮する、または怒る」などの方法で  $\beta$  波 (14~30 Hz) を発生させる。本装置を使うと ON / OFF の 1 ビット信号を出力でき、外部機器の操作が可能となる。またこの装置をオートスキャンソフトと組み合わせれば文書作成が可能となり、運動機能が全廃したにも関わらず俳句集を執筆し出版した患者さんもある<sup>18)</sup>。この装置を装着後、ただちに使いこなすことができる患者さんもあるが、人によってはリラックス状態と興奮状態を意識的にコントロールするトレーニングが必要で、バイオフィードバックを利用したトレーニングプログラムが用意されている。

### 3.2 NIRS の応用

NIRS を使った意思伝達装置は各所で研究開発が進められているが、2005 年に開発された「心語り」が世界最初の市販製品である (図 9)。この製品は株式会社日立製作所が 1999 年に開発を始め、東京女子大学・日本 ALS 協会の協力を得て、エクセル・オブ・メカトロニクス株式会社の製品となった。この装置は研究用の NIRS と異なり、光源に発光ダイオード、受光素子として PIN フォトダイオードを利用した 1 チャンネルの簡易型 NIRS である。多局所で脳血液量の変化を知ることはできないが、フォトダイオードが検出する光量の変化から、前頭葉において血液量が増えたか減ったか程度の変化を知ることは可能である。ユーザは精神集中課題の代表的課題である「暗算」や「歌を速く歌う」などの課題を自らの意思で行うことで前頭葉の脳血液量を増加させることができるので、本装置を用いれば安静時の光量変化データと比較して Yes/No の 1 ビット信号を



図9 NIRS を応用した意思伝達装置「心語り」.

出力することができる。現在のシステムにおける Yes/No の判定方法はつぎのようなものである。脳血液量の変化に起因する光量変化のデータは、振幅とゆらぎをもつ信号である。開発過程で、Yes の時 (すなわち精神集中課題を行う時) は光量の振幅が大きくなる半面ゆらぎは小さくなり、反対に、No の時 (すなわち精神集中課題を行わずに安静にしている時) は振幅が小さくなるが、ゆらぎは大きくなるのが判明している。そこで光量変化データをヒルベルト変換して光量変化の振幅とゆらぎのデータを得て、前者を縦軸に後者を横軸にとり、Yes/No の典型例であるモデルデータをプロットすると Yes/No の判定領域が示されたグラフが得られる。この傾向は個人差があるが、各人ごとに Yes/No の判定領域が示されたグラフをあらかじめ用意しておけば、そのグラフをもとに質問に対する測定データが Yes/No 領域のどちらに位置するかで Yes/No を判定できる。現在は 1 ビット出力に 36 秒を要するため、情報伝達速度の向上が今後の課題である。

## 4. おわりに

暗算などの精神集中課題はなんらかのストレスを脳に対して与えていると考えられ、本稿で記した研究は一種のストレス研究である。しかし一般にストレス研究では被験者間で各種生理学的指標の結果が大きくばらつくことが以前から指摘されており、依然としてストレスと生理学的指標との関係は十分には解明されていない。またタスクのわずかな違いで被験者は異なる応答を示すため、開発した機器の定量的な評価は難しい。それらの原因は、計測技術、対象選択、状況因子などが複雑に絡み合った結果にあると考えられている<sup>4)</sup>。

EEG は神経細胞の電気的活動を反映したものであるのに対して、NIRS は血液量に関連した指標である。血液量が心拍や血管収縮などの自律神経活動と密接に関連しているので、NIRS は脳波よりも自律神経活動の優れた指標になるかもしれない。また本研究の結果が示すように、NIRS

は EEG で捉えることができない現象を計測できる可能性がある。ただし現在の NIRS は Hb 濃度の絶対値を示しているわけではなく、頭皮、頭蓋骨などの脳外組織の影響を受けたアーチファクトを含んだ信号であるので、データの解釈には注意が必要である<sup>19)</sup>。光路長を実測することにより、神経活動時の Hb 濃度変化を定量的に計測して頭皮や頭蓋の影響を低減し、脳組織の血液量の測定精度を向上させる試みも行われているので<sup>20)</sup>、今後の当該分野の発展に期待したい。

以上、前頭葉の脳機能研究ならびにその応用について概観した。今後ますます、前頭葉に関する研究が盛んになり、さまざまな製品が開発されることになると思われるが、その際、科学的な根拠を提供する学界の役割は重要となる。本稿がその一助になれば幸いである。

謝辞：本稿の執筆にあたり、株式会社日立製作所の小澤邦昭氏、東京女子大学の内藤正美先生に助言をいただいた。ここに記して感謝する。  
(2010年10月14日受付)

#### 参考文献

- 1) K. Kandel, J. Schwartz and T. Jessell: Principles of Neural Science, Fourth Edition, McGraw-Hill Medical (2000)
- 2) 大熊輝雄：臨床脳波学 (第5版), 医学書院 (1999)
- 3) 山下優一, 牧敦, 山本剛, 小泉英明：光による無侵襲脳機能画像化技術「光トポグラフィー」, 分光研究, **49**-6, 275/286 (2000)
- 4) 宮田洋：新生理心理学 (1巻：生理心理学の基礎, 2巻：生理心理学の応用分野), 北小路書房 (1997)
- 5) R.S. Lewis, N.Y. Weekes and T.H. Wang: The effect of a naturalistic stressor on frontal EEG asymmetry, *Biological Psychology*, **78**, 239/247 (2007)
- 6) R.A. Shaw, J.R. Mansfield, V.V. Kupriyanov and H.H. Mantsch: In vivo optical / near-infrared spectroscopy and imaging of metalloproteins, *Journal of Inorganic Biochemistry*, **79**, 285/293 (2000)
- 7) M.L. Schroeter, S. Zysset, T. Kupka, F. Kruggel and D.Y. Cramon: Near-infrared spectroscopy can detect brain activity during a color-word matching Stroop task in an event-related design, *Human Brain Mapping*, **17**, 61/71 (2002)
- 8) I. Akirav and M. Maroun: The role of the medial prefrontal cortex-amygdala circuit in stress effects on the extinction of fear, *Neural Plasticity*, Article ID 30873 (2007)
- 9) M. Tanida, K. Sakatani, R. Takano and K. Tagai: Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task: near infrared spectroscopy study, *Neuroscience Letters*, **369**, 69/74 (2004)
- 10) 尾形元, 石井良和, 向井利春, 大西秀憲, 八木透：精神集中課題時の各種生理学的指標に関する研究～近赤外分光法 (NIRS), 脳波, 脈波の比較～, 電気学会論文誌電子・情報・システム部門誌, **129**-10, 1808/1814 (2009)
- 11) Y. Ishii, H. Ogata, H. Takano, H. Ohnishi, T. Mukai and T. Yagi: Study on Mental Stress Using Near-Infrared pectroscopy, Electroencephalography, and Peripheral Arterial Tonometry, Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4992/4995 (2008)
- 12) T. Yagi, Y. Ishii, H. Ogata and T. Mukai: Analysis on the

frontal cortex in cognitive tasks for brain-computer interface, Proceedings of 22nd SICE Symposium on Biological and Physiological Engineering, 175/176 (2008)

- 13) H. Ogata, T. Mukai and T. Yagi: A study on the frontal cortex in cognitive tasks using near-infrared spectroscopy, Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4731/4734 (2007)
- 14) 尾形元, 竹中貴史, 八木透：生体電気信号によるストレス評価に関する研究, 電気学会医用・生体工学研究会資料, MBE-09-22～35, 65/70 (2009)
- 15) S. Palva and J.M. Palva: New vistas for  $\alpha$ -frequency band oscillations, *Trends in Neurosciences*, **30**-4, 150/158 (2007)
- 16) B.A. Strange, R.N.A. Henson, K.J. Friston and R.J. Dolan: Anterior Prefrontal Cortex Mediates Rule Learning in Humans, *Cerebral Cortex*, **11**-11, 1040/1046 (2001)
- 17) J.S. Simons and H.J. Spiers: Prefrontal and Medial Temporal Lobe Interactions in Long-term Memory, *Nature Reviews*, **4**, 637/648 (2003)
- 18) 大貫操, 和川はつみ：声とどけ—和川次男句集, 宝文堂 (2001)
- 19) 江田英雄：NIRSによる脳活動計測の原理とその限界に関して, 信学技報, HIP, **106**-328, 63/66 (2006)
- 20) K. Sakatani, D. Yamashita, T. Yamanaka, M. Oda, Y. Yamashita, T. Hoshino, N. Fujiwara, Y. Murata and Y. Katayama: Changes of cerebral blood oxygenation and optical pathlength during activation and deactivation in the prefrontal cortex measured by time-resolved near infrared spectroscopy, *Life Sciences*, **78**, 2734/2741 (2006)

#### [著者紹介]

や ぎ とおる  
八 木 透 君



1967年3月30日生。96年名古屋大学大学院博士課程修了。同年理化学研究所基礎科学特別研究員。98年名古屋大学助手。2001年ニデック人工視覚研究所所長。04年理化学研究所研究員。05年東京工業大学准教授。現在に至る。脳と視覚を中心とした医用生体工学, 生体情報工学, ロボット・システム工学に関する基礎・応用研究に従事。工学博士。

むか い とし はる  
向 井 利 春 君 (正会員)



1967年2月24日生。95年東京大学大学院博士課程修了。同年理化学研究所研究員。2000年Laboratoire de Neurobiologie, CNRSにてポストドク。01年より理研生物型感覚統合センサー研究チームのリーダーとなり、現在に至る。センサ情報処理, ロボティクス, 人工筋肉, マンマシンインタフェースなどの研究に従事。愛知工業大学非常勤講師。工学博士。

おお にし ひで のり  
大 西 秀 憲 君



1947年7月27日生。67年関西TV技術専門学校卒業。NEC入社。三田事業場を経て兵庫日本電気入社。生産技術に従事及び同社電気主任技術者就任。93年1月同社退職。93年3月(株)テクノスジャパン設立, 代表取締役就任。97年バイオスイッチMCTOSを開発。主として新製品の研究開発に従事, 現在に至る。