

原 著

脳波コヒーレンスを用いた脳活動の推定について

—ワーキングメモリ課題遂行中の脳活動の推定—

森田 尚亭^{1*}

要約：ここ数年、著者は脳波コヒーレンスを用いて脳活動の推定を行っている。平成23年度前期（4月～9月）の研究では、健常成人2名（女性、年齢21歳）を被検者とし、ワーキングメモリ課題としては暗算課題および視覚野に特化した画像課題を用いて、安静時、課題遂行時の脳波と心電図を同時測定した。そして、脳波データから求めた脳波コヒーレンスを用いて、脳部位間のネットワークを調べた。また、安静時に対する課題遂行時の精神状態をチェックするために心拍変動を計測し、コヒーレンスの分析における参考データとした。その結果、低域 θ 波のコヒーレンスは集中度の高さを反映することが推測された。さらに視覚処理には、特定の周波数帯（ θ 4～低域 α 帯域（8 Hz～10 Hz 付近））の周波数が関与している可能性が考えられた。これまでの実験結果から、自律神経活動は α 帯域と関連性が高いが、 θ 帯域とは関連性が低いことが考えられた。

キーワード：脳波、ワーキングメモリ、高次脳機能、コヒーレンス、ブレイン・マシン・インターフェース

はじめに

21世紀は脳の世紀であると言われて久しい。¹⁾非侵襲的に脳の機能や活動状態を研究することは、1980年代のPET（陽電子放射断層撮影装置）利用を端緒としている。それ以降、機能磁気共鳴画像（functional MRI）や脳磁図（magnetoencephalogram: MEG）または光トポグラフィを用いて、ヒトの脳の高次機能をマッピングして、機能部位を同定する研究が主流となっている。²⁾しかしながら、それらの機器はいずれも高額（億単位）であり、我々が日常的に研究利用できるものではない。また研究用では、臨床的に利用されている脳波計の電極数19個を遙かに超える、128や256チャンネルを

備えた高密度脳波計（例：株式会社ミユキ技研、高密度センサ脳波計測システム、NetStation System 300³⁾）も利用されているが、これも数千万円と高額であり、我々にとって、やはり日常的な利用は困難である。ところで、近年飛躍的に発達した脳科学によって得られた知見を、医療や教育、産業などに応用しようという試みが生まれ、2000年以降、ブレイン・マシン・インターフェース（BMI）という研究分野が勃興してきている。⁴⁾ここでは、脳波（electroencephalogram: EEG）を用いた方法が盛んに研究されており、医用・生体工学分野において脳波への関心が高まっている。

著者もここ数年、専攻科応用生命科学専攻の卒

^{1*}高知学園短期大学 専攻科 応用生命科学専攻 Email: morita@kochi-gc.ac.jp

業研究（修了研究）を通して、脳波コヒーレンスを用いて、ワーキングメモリを必要とする脳活動の評価を行っている。本稿では、まず脳の高次機能とワーキングメモリ、およびそれらとBMIとの関連について簡単に解説したのち、今までの研究によって著者が得た知見を報告する。

脳の高次機能とワーキングメモリ

単純な感覚入力や運動出力ではない、認知、記憶、思考、情動、意識などの精神機能を高次脳機能という。⁵⁾ また、ワーキングメモリは短期記憶の一連の研究から生まれてきた新しい概念であり、作業記憶とも呼ばれ、高次認知活動を根本から担うシステムとして、その概念が誕生した。⁶⁾ 我々は上述の精神機能を常に働かせて日常生活を行っており、ワーキングメモリがうまく働かないと、日常生活に支障が生じる。ワーキングメモリ機能には、脳の多くの領域が関わり、特に前頭連合野が中心的な役割を果たしている。⁷⁾ 前頭前野背外側領域（DLPFC）は前部帯状回（ACC）と協調して注意の実行系の制御を担っており、その下部領域にはブローカ野や前頭前野腹外側領域（VLPFC）がある。DLPFCは多くのワーキングメモリ課題で活性化し、記憶の容量制約の中で情報の処理と保持を行いながら、注意の制御を行っている。同時に、プラン形成などの意思決定を伴う実行系機能とも関わっている。一方、VLPFCは発話やワーキングメモリの音韻リハーサル（緑上回の音韻ストア領域とリンクして音韻リハーサルを形成）を担い、個人の経験と関わるエピソード記憶では情報の符号化や検索と関わるようになってきた。⁸⁾ 以上のことから、我々は脳の多くの領域のネットワークを通して、高次脳機能を実現していることが分かる。

一方、近年、脳科学研究（ニューロサイエンス）の成果に基づき、「脳を活用する」ためのさまざまな技術である、ニューロテクノロジーの開発が盛んに行われている。特に注目されているのは、脳と外部機器との直接入出力を行う「ブレインマシン インターフェース（BMI）」技術である。

このBMI技術を用い、脳から直接読み取った信号をもとにロボットアームやコンピューターカーソルを動かす技術に関する研究が10年ほど前から欧米先進国を中心として始まり、国内でも類似の研究が盛んになりつつある。このBMI技術は、脳機能や身体機能に障害のある患者の治療や、ハンディキャップをもつ人の生活の質を向上させる技術として期待されている。⁹⁾ しかしながら、上述のように、脳は複雑なネットワークによってその機能を実現している。このため、BMIにおいて脳機能を理解しようとするなら、脳の一部分の機能を取ってきても、全体の機能は分からない。つまり、脳機能を理解するにはネットワークを構成している脳部位間の関係性をもとに、脳全体の機能を理解できるようにならなければならない。¹⁰⁾ 以上のことから、脳部位間のネットワーク関係を研究することはヒトの高次脳機能の理解やBMI研究にとって、非常に重要であることがわかる。脳波としては α 波や β 波がよく知られているが、脳波はその周波数帯域によって、 δ 波（0～4 Hz）、 θ 波（4～8 Hz）、 α 波（8～13 Hz）、 β 波（13Hz～）に分けられる。¹¹⁾ また、頭皮上から計測される脳波は、これら4つの周波数帯域の成分波が混在した状態で計測されている。脳波コヒーレンスとは、2つの脳部位間でそれぞれ得られた脳波に含まれる周波数成分ごとの相関関係を示すもので、統計学でなじみの深い相関係数の周波数成分版と捉えることができる。したがって、脳波コヒーレンスを調べることで、2つの脳部位間がどの脳波周波数で相関しているかが分かり、離れた2つの脳部位間の協調性を評価できる。¹²⁾¹³⁾ つまり、脳波コヒーレンスから脳部位間のネットワーク関係を調べるのが可能である。

ワーキングメモリと電極配置（国際10/20法）

図1に脳内の主要ワーキングメモリの処理の流れを示す⁶⁾。視覚ワーキングメモリ（背側と腹側ストリーム）と運動ワーキングメモリ、言語ワーキングメモリなどのシステムはいずれも前頭前野領域や注意と関わる前部帯状回（ACC）と関わり

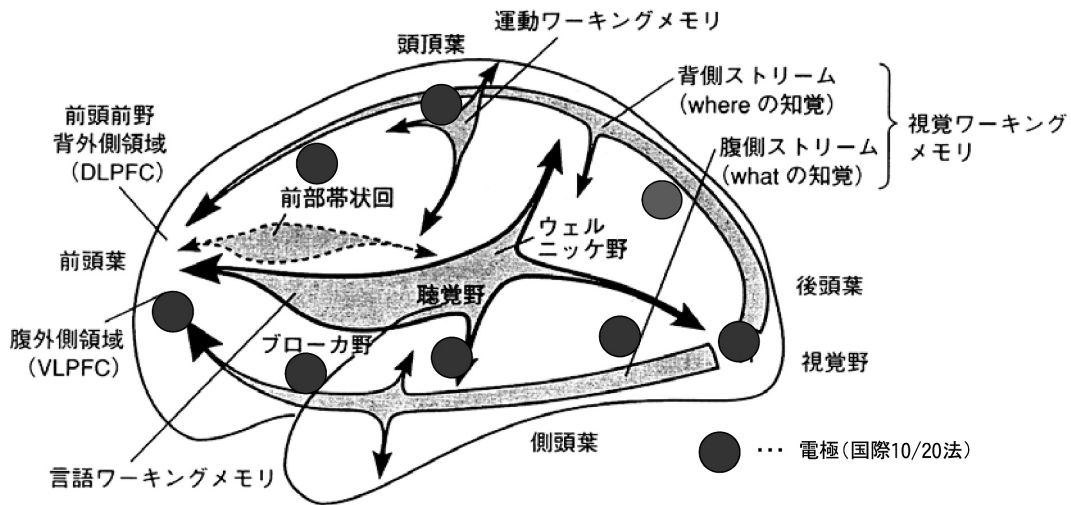


図1 ワーキングメモリの脳内表現 (茂木健一郎編著：脳の謎に挑む (2003) サイエンス社より)

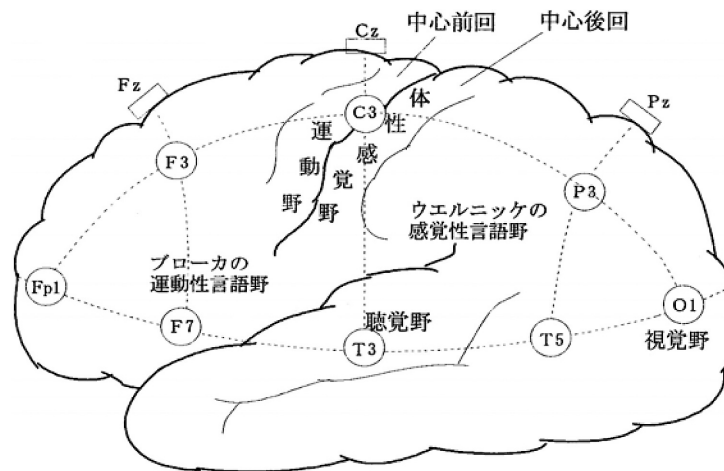


図2. 脳の機能分布と国際10/20法の電極位置 (最新脳波標準テキスト、メディカルシステム研修所より)

を持っている。言語ワーキングメモリは視覚ワーキングメモリの2つのストリームの中にヒトに固有に形成される高次領域で言語の理解に関わるウェルニッケ野、発話運動に関わるブローカ野などが含まれる。

図2には、臨床脳波での基本である国際10/20法の電極位置を示す。また図2中の電極位置を図1中では黒丸で示している。また、国際10/20法の電極は、それぞれFp1、Fp2 (中前頭回下部)、F3、F4 (中前頭回上部)、C3 (中心前回後部)、C4 (中心前回)、P3、P4 (上頭頂小葉下部)、O1、O2 (鳥距溝上部の後頭葉)、F7、F8 (下前頭回)、T3、T4 (前側中側頭回)、T5、T6 (後側中側頭回)のように、脳部位を反映してい

る。³⁾

図1および図2より、国際10/20法の電極位置はワーキングメモリの流れにはほぼ沿っていることが分かる。したがって、このような電極から得られる脳波データから求めた脳波コヒーレンスを用いて、脳部位間のネットワークを調べることができる。

実験

暗算では計算する間、途中で現れる数字を一時的に記憶・保持したり、計算の進行に伴い消去したりしなければならない。また暗算中は脳の言語野を用いて計算処理を行うため、言語ワーキングメモリが機能している。そして計算に関する数

字を認識し、その一時的な記憶およびその記憶の再利用では視覚が働いているため、視覚ワーキングメモリがほぼ同時並行的に機能していると思われる。

このようなことから、著者は平成20年度から、暗算課題遂行中の脳活動状態の推定を行ってきたが、当然ながら従来の結果には言語処理と視覚処理の両方が反映されていると思われる。そこで、視覚処理の状態をとらえることで、従来の結果を言語処理と視覚処理にふり分けすることができないかと考え、平成23年度前期（4月～9月）の研究では、ワーキングメモリ課題としては暗算課題および視覚野に特化した画像課題を用いた。これら課題の遂行中と安静時の脳波コヒーレンスを統計的に検定し、有意に増大した2電極間コヒーレンスを抽出し、分析を行った。ところで、脳波は精神状態の影響をかなり受ける。また、自律神経である交感神経や副交感神経の活動も精神的緊張・安定度の影響を受け、心機能の亢進・抑制、心拍数の上昇・低下として発現する。このため、心拍変動は種々の精神的ストレスの指標になることが知られている。¹⁴⁾そこで、安静時に対する課題遂行時の精神状態をチェックするために心拍変動を計測し、コヒーレンスの分析における参考データとした。

1) 測定方法

健常成人2名（女性、年齢21歳）を被検者（A・B）とし、安静時、課題遂行時の脳波と心電図を同時測定した。課題は暗算課題と画像課題を行わせた。暗算課題については、測定の直前に口頭で説明を行い、二桁×二桁の積算を5問行わせた（表1）。被検者には、縦式で積算を行ってもらい、頭の中で思い浮かべるよう指示した。また、計算間違いや、計算途中の数字忘れがあっても、途中で中止せず最後まで行うように指示した。画像課題については、測定の直前に口頭で説明を行い、立方体の展開図を見せ、頭の中で組み立てる問題を5問行わせた（図3）。暗算課題時と同様に、被検者には間違いや、画像忘れがあっても、途中で

中止せず最後まで行うように指示した。

各課題では、問題が1問終わるごとに精神負荷のないニュートラルな状態にするため、パソコン画面に表示してある黒の画面を30秒間見てもらい、次の問題を行わせた。課題の提示はパソコン画面に表示した。

表1. 暗算課題

問題1	13×18
問題2	16×23
問題3	26×28
問題4	24×32
問題5	33×38

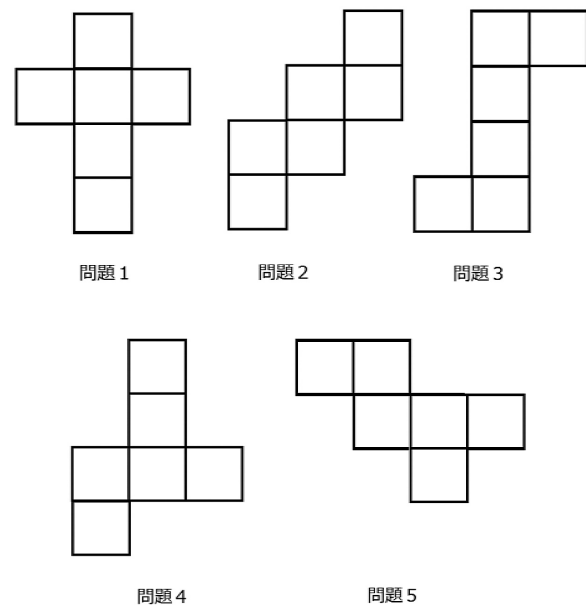


図3. 画像課題

脳波測定はデジタル脳波計（日本光電工業株式会社製：EEG-1714）を用いて国際10/20法に従ったキャップ電極を使用し、基準電極は両耳朶連結電極（A1+A2）とした。心電図測定は心電計（フクダ電子株式会社製：FDX-4520(L)）を用いて標準肢誘導に従い電極を配置した。

また、測定の時間帯は、脳の覚醒リズムを考慮して午後1時から3時の間に統一した。更に測定の前後には各課題に対する得意・不得意、心理状況を把握するため各被検者に対し、聞き取り調査を行った。

なお、被検者に対しては、事前に脳波・心電図

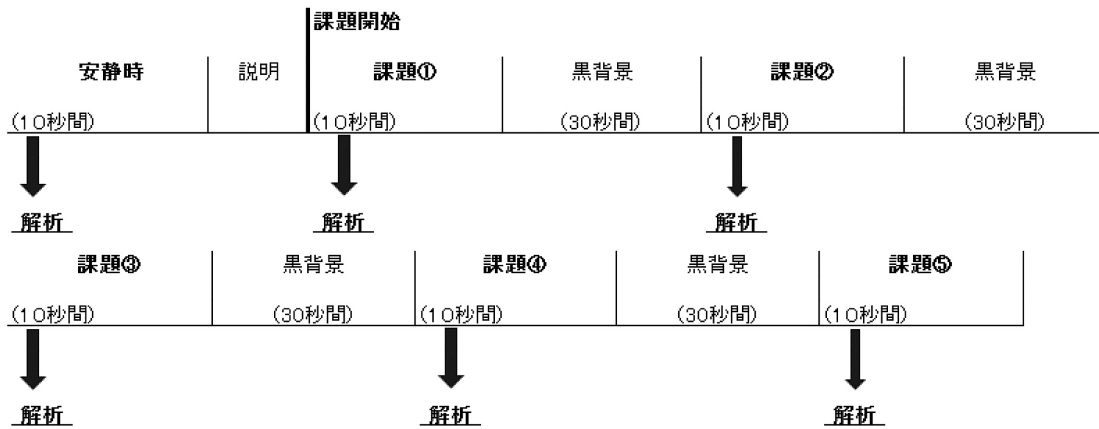


図4. 測定の流れと解析区間

測定に関しては座位で行うことや測定時間についての説明も行い、肉体的・精神的負荷についても十分説明することで、実験内容、注意事項に対する同意を得た。また、得られたデータの使用については本研究のみに使用し、研究結果の公開における個人情報、年齢・性別以外、一切明らかにされないことを十分に説明して、同意を得た。

2) 解析方法

測定した課題遂行時の脳波・心電図の中で、測定開始から最初の10秒間を解析の対象とした。しかし、画像課題は1問あたりの測定時間が短い(2～4秒)ものが大部分であったため、1問ごとの有意差検定は適切でないので、5問分の測定時間の合計を解析対象とした。

解析する脳波データは、1区間1.024秒の脳波にハミング窓を適用し、連続2区間分の平均をとったものを1エポックとして、1.024秒おきに連続10エポックを解析対象とした。安静時の脳波・心電図は課題遂行前に測定したものをを用いた。(図4) また、基線の動揺が無く、雑音、アーチファクトの含まれていない10秒間の10エポックを安静時の脳波データとした。

本研究では、EEGマッピング研究用プログラム(キッセイコムテック株式会社: ATAMAP II)を用いて、 θ 帯域(4-8Hz)、 $\alpha 1$ 帯域(8-10Hz)、 $\alpha 2$ 帯域(10-13Hz)のコヒーレンス解析を行った。なお、コヒーレンスの周波数は、

ATAMAP IIの設定より、 θ 帯域は4分割($\theta 1$: 4.883Hz, $\theta 2$: 5.859Hz, $\theta 3$: 6.836Hz, $\theta 4$: 7.813Hz)、 $\alpha 1$ 帯域は2分割($\alpha 1-1$: 8.789Hz, $\alpha 1-2$: 9.776Hz)、 $\alpha 2$ 帯域は3分割($\alpha 2-1$: 10.742Hz, $\alpha 2-2$: 11.719Hz, $\alpha 2-3$: 12.695Hz)とし、半球内と半球間の全電極ペア数66のコヒーレンスを求め、安静時データに対して、課題遂行時データが統計的に有意に大きいものを調べ、解析した。

コヒーレンス値が高い場合、コヒーレンスの分布は歪んだ分布となる。よって、これを正規分布に近似させるため、相関係数で用いられているFisherの z 変換を行った。¹²⁾¹³⁾¹⁵⁾なお、コヒーレンスの平方根が z 変換における相関係数に対応する。

また脳波データに関しては、用いた電極は12電極で、前頭極(Fp1、Fp2)、前頭葉(F3、F4)、前側頭(F7、F8)、後側頭(T5、T6)、頭頂葉(P3、P4)、後頭葉(O1、O2)である(図5)。

心電図データに関しては、心電図測定後のR波ピークを検出し、心拍変動(RR間隔変動)を求め、安静時に対する課題遂行時の精神状態をチェックするための参考データとして使用した。

3) 統計処理

統計処理には、統計ソフトIBM SPSS Ver.18を用いた。解析対象が10エポック程度と少数であ

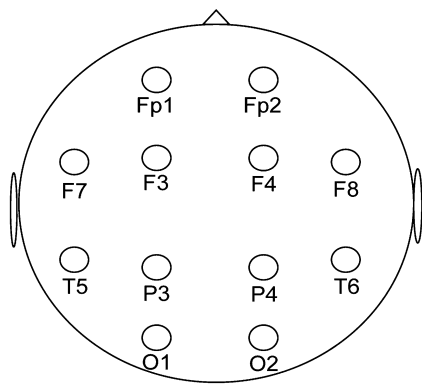


図5. コヒーレンス解析に用いた電極部位

ることを考慮して、各電極ペアのコヒーレンス値に対するFisherの z 変換後の値について、課題遂行時と安静時の間でマンホイットニー検定を行い、課題遂行時に有意に増大した電極ペアを検出した ($p < 0.05$)。また心拍変動に関しては、一元配置分散分析した後、多重比較を行った ($p < 0.05$)。

結果

1) コヒーレンス解析結果

被験者A・Bのコヒーレンス解析結果を図6、7に示す。これらの図は課題遂行時において、統計解析により安静時に比べコヒーレンスが有意に増大した電極ペアを配線で示したものである。

配線の色は、解析方法で述べたATAMAP-IIの周波数設定に対応しており、 θ 帯域では青色は θ 1成分、水色は θ 2成分、黄緑色は θ 3成分、緑色は θ 4。また α 帯域では、橙色は α 1-1成分、黄色は α 1-2成分、桃色は α 2-1成分、紫色は α 2-2成分、赤色は α 2-3成分である。図中、課題ごとに、それぞれ左側は θ 帯域、右側は α 帯域の結果を示している。

さらに、図中、赤丸は暗算課題（暗算①～⑤までの合計）と画像課題において、12電極のそれぞれが関係する上述の θ 帯域と α 帯域の配線をカウントし、カウント総計に対する割合が10%以上であった電極を示している。

結局、暗算課題および画像課題遂行中の電極間がどの周波数を用いて協調しているか、またこの

ような協調性の高い電極部位はどこか、ということを図6、7は示している。図6、7から被験者及び、課題に関わらず、 θ 帯域、 α 帯域ともに安静時に比べ有意に増大したコヒーレンスと関わりが多い電極は、主に前頭連合野に含まれるものと、頭頂部であった。暗算課題では被験者A・Bともに、 θ 帯域、 α 帯域に共通して頭頂部(P3)が常に出現している。画像課題においても後側頭部や頭頂部において出現していた。

さらに、図6、7に示す配線の数を集計し、グラフ化した(図8)。

図8は、 θ 帯域および α 帯域における、それぞれの配線の総数に対して、各帯域の周波数成分の配線数を正規化した、帯域ごとの出現頻度分布を示したものである。なお、図中には聞き取り調査により判明した課題遂行中の被験者の心理状態も表記している。

2) 心拍変動の分析結果

被験者ごとの心拍変動(RR間隔)の平均値を求めた結果を図9、10に示す。左縦軸はRR間隔を、右縦軸はそれを安静時に正規化したものを表し、横軸は課題の種類である。心拍変動(RR間隔)に対して一元配置分散分析および多重比較を行った結果では、両被験者ともに安静時に対して、課題遂行時は有意差があった。さらに、被験者Aでは暗算①・②、暗算③・④・⑤、画像の3グループに分かれた(但し①は③・④・⑤にも近い)。一方、被験者Bでは、暗算①・④、暗算②・③・⑤・画像の2グループに分かれた。これらの分析結果は図9、10からも窺える。

考察

図6、7より、コヒーレンス増大に関与し、脳活動性が高い電極部位に関しては、被験者及び、課題に関わらず、 θ 帯域、 α 帯域ともに前頭連合野に分布していたことから、課題遂行中にワーキングメモリが機能している状態を反映していると思われる。暗算課題では被験者A・Bともに、 θ 帯域、 α 帯域に共通して頭頂部、右前頭部が常

●： θ 帯域、 α 帯域において安静時に比べ有意に増大したコヒーレンスと関わりが多い電極（暗算の場合は暗算①～⑤までの合計として）

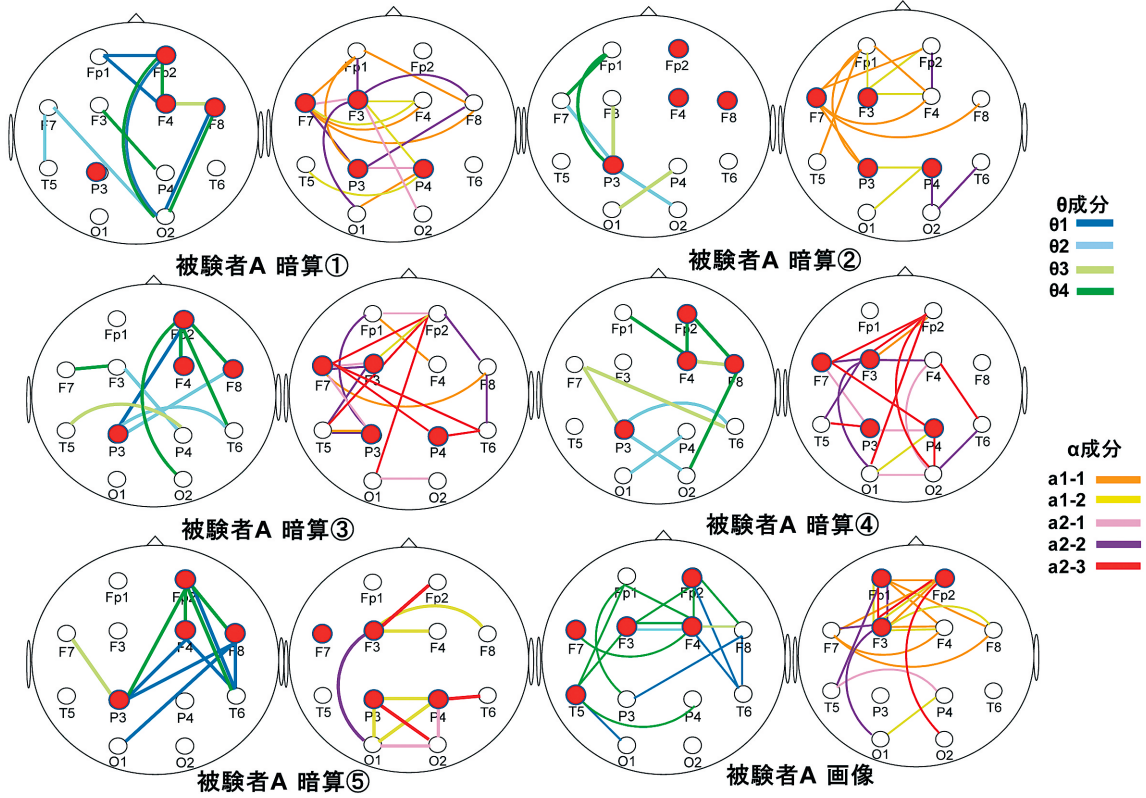


図6. 被験者A：コヒーレンス解析結果

●： θ 帯域、 α 帯域において安静時に比べ有意に増大したコヒーレンスと関わりが多い電極（暗算の場合は暗算①～⑤までの合計として）

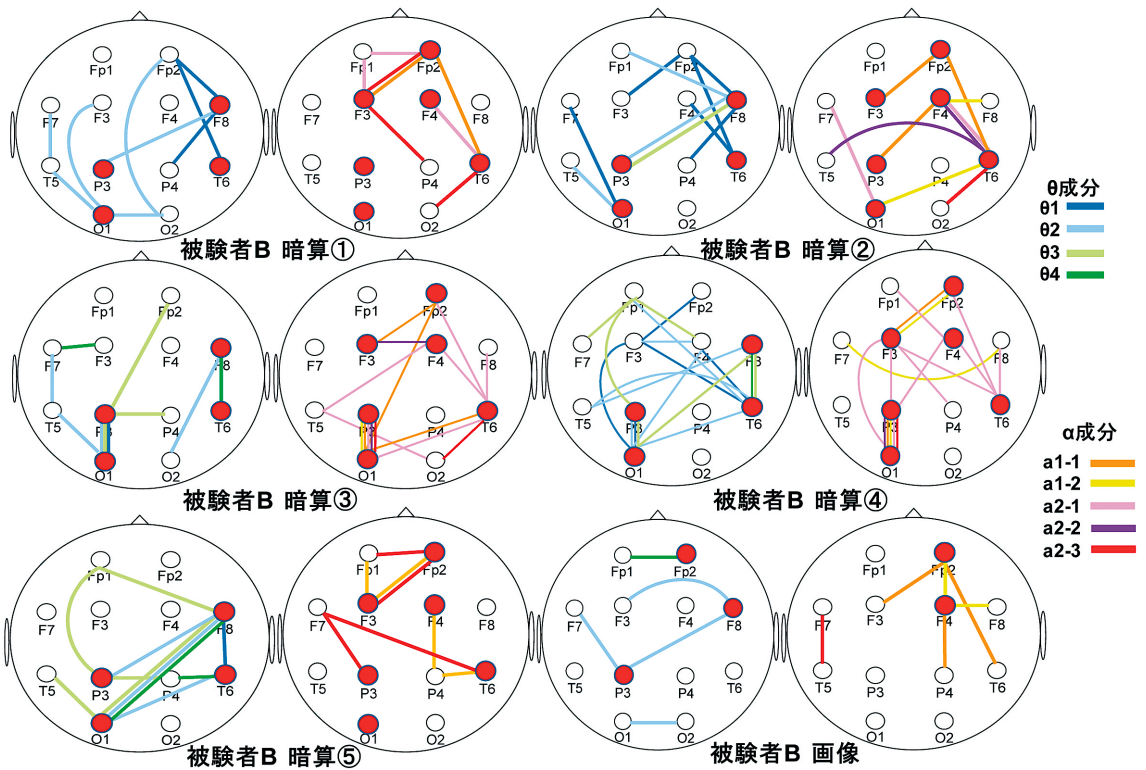
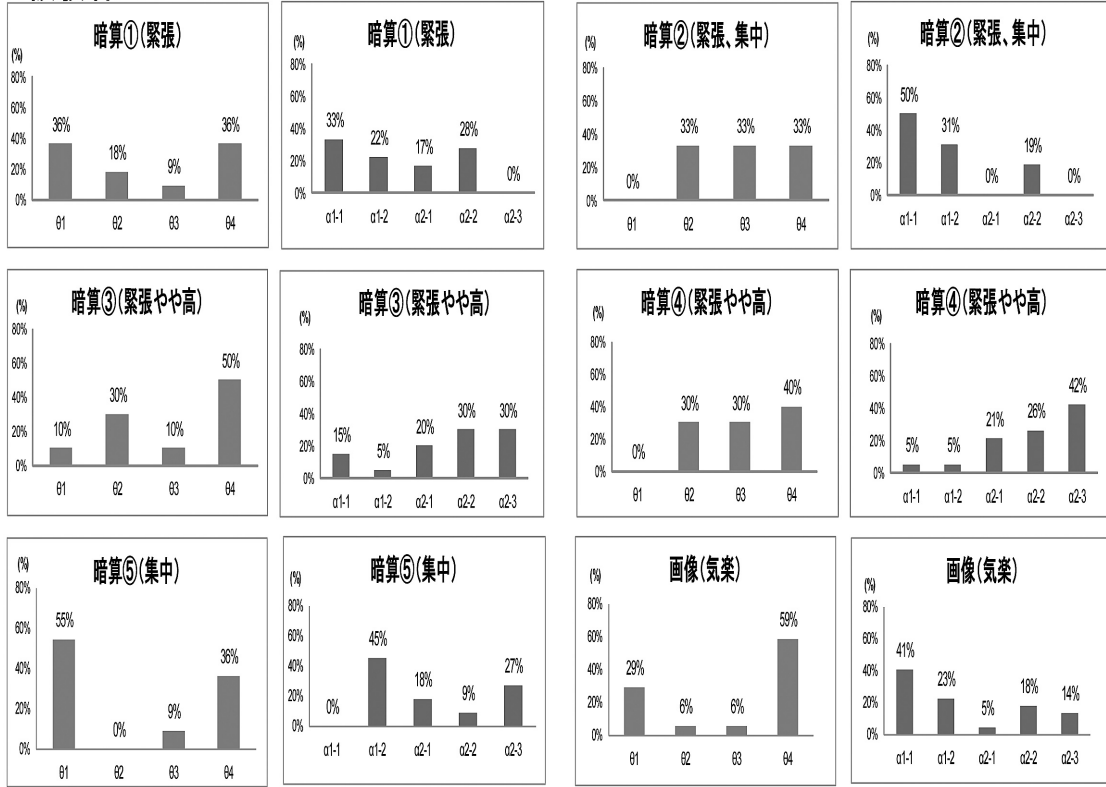


図7. 被験者B：コヒーレンス解析結果

被験者A



被験者B

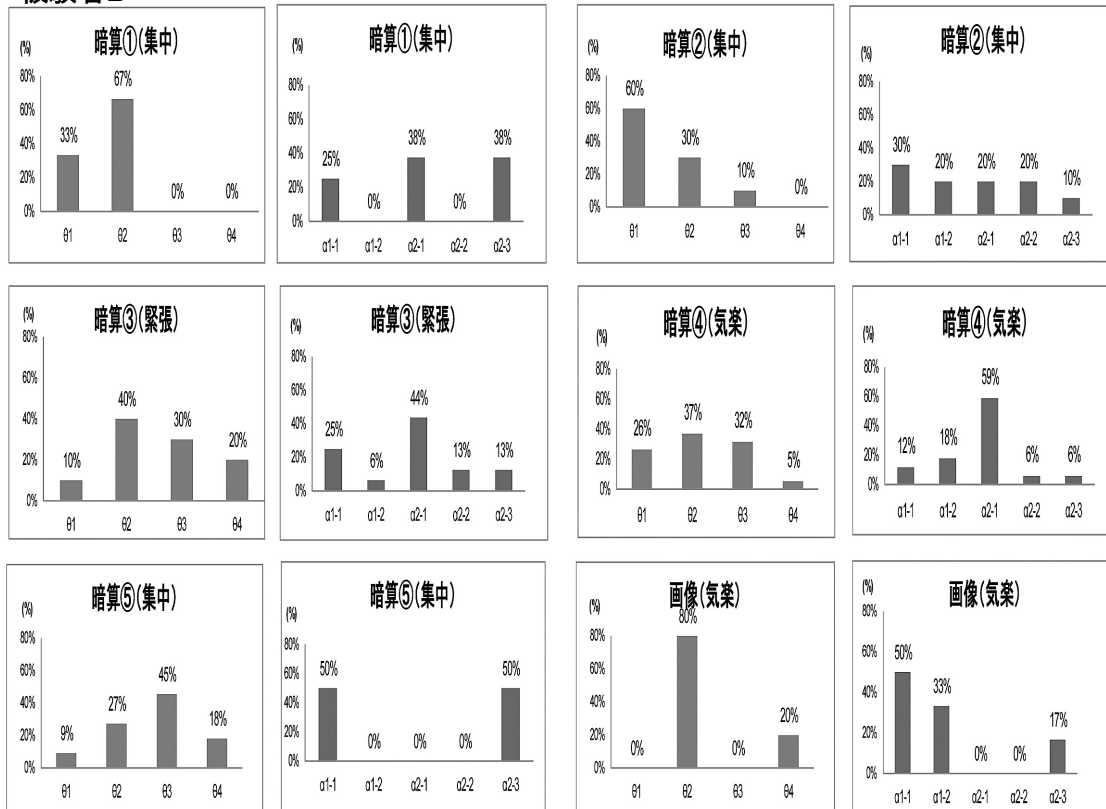


図8. 各 θ ・ α 帯域における安静時に対して有意に増大したコヒーレンスの出現頻度

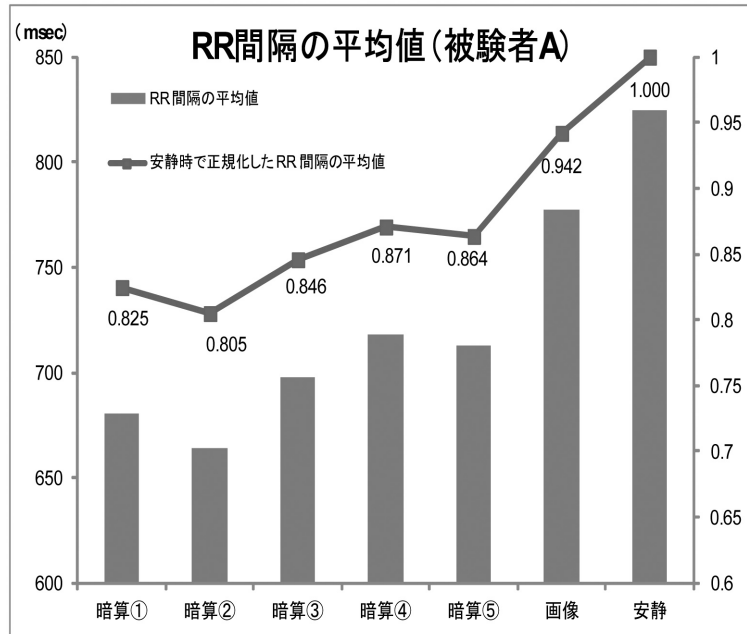


図9. 被験者 A の RR 間隔の平均値

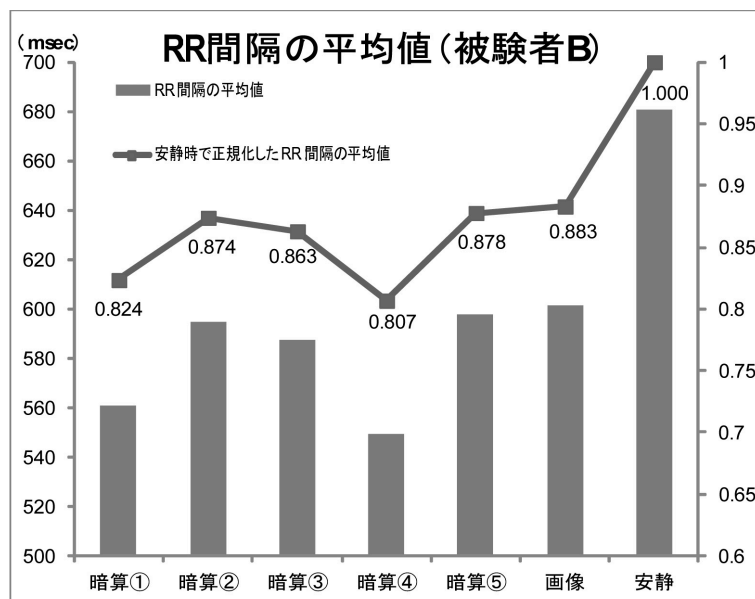


図10. 被験者 B の RR 間隔の平均値

に活動していると思われ、画像課題においても後側頭部や頭頂部において活動性が高いと思われる。苧阪らによると、ヒトの視覚情報処理と関わる脳内領域には、左頭頂と左後頭、右下前頭回、右頭頂がある。また、fMRI を用いて行った結果、ワーキングメモリにとっては前頭前野、特に下前頭回と頭頂葉とのネットワークが重要であり、言語的な負荷が高い場合には左が、視覚的負荷が高い場合には右の、前頭—頭頂ネットワークが強く活動することが示されている。⁸⁾ 本研究で推定さ

れた脳内領域は、苧阪らの研究結果にほぼ含まれる。

なお、以前の研究(平成21年度)¹⁶⁾では、F7・Fp1の関与が示唆されたが、今回の結果ではこれらの電極の出現頻度は低かった。平成21年度の場合、被験者は全員男性であるが、本研究では被験者は全員女性だった。この相違は、脳活動における男女差を反映しているかもしれない。¹³⁾

図8より、課題遂行中の θ 帯域、 α 帯域の増大コヒーレンスの出現頻度には個人差があることが

分かる。しかしながら、両被験者とも画像課題では、 $\alpha 1.1$ (8.789Hz) および $\alpha 1.2$ (9.776Hz) のコヒーレンスの増大する頻度が高くなっている ($\alpha 1.1 > \alpha 1.2$)。また θ 帯域ではコヒーレンスが増大する頻度の周波数は異なるが、2つの周波数に偏る傾向がみられた (被験者A: $\theta 1$ (4.883Hz)、 $\theta 4$ (7.813Hz)、被験者B: $\theta 2$ (5.859Hz)、 $\theta 4$ (7.813Hz))。以上のことから、画像課題においては特定の周波数帯 ($\theta 4 \sim$ 低域 α 帯域 (8 Hz \sim 10Hz付近)) を利用している可能性があると思われる。

一方、暗算課題では、測定後に被験者に行った聞き取り調査と対照すると、両被験者ともに集中度が高いと低域 θ 波 (4 \sim 6 Hz) のコヒーレンスの増大が高頻度になる傾向がみられる (被験者A: 暗算⑤、被験者B: 暗算①・②)。

ここで、図9、10の結果と測定後に被験者に行った聞き取り調査の結果について考察する。被験者Aでは緊張状態のRR間隔は相対的に低くなっているが、被験者Bでは緊張状態に関してこのような傾向はない。すなわち、緊張度が高くてもRR間隔は低値ではなく、気楽であってもRR間隔は低値である。したがって、聞き取り調査の結果と心拍変動の対応には個体差はあるが、安静時と比較すると、いずれのRR間隔も有意に短縮しており、交感神経活動の亢進と聞き取り調査の結果は、ほぼ対応していると思われる。

平成22年度の結果では暗算時における脳活動には低域 θ 波 ($\theta 1$ 、 $\theta 2$) が関与し、さらに α 帯域もワーキングメモリ機能に関与する可能性があるとして推測した。¹⁷⁾ 今回の実験結果と22年度の推測を合わせて考えると、低域 θ 波のコヒーレンスの増大は暗算に固有というわけではなく、集中度の高さを反映していることが推測される。

次に、心拍変動に対して一元配置分散分析および多重比較を行った結果について考察する。22年度は α 帯域の出現と精神状態は関連するが、 θ 帯域は α 帯域のコヒーレンスと精神状態は関連が低いことを示唆した。¹⁷⁾ そこで、自律神経の影響を直接反映する心拍変動と、 $\theta \cdot \alpha$ 帯域の関連性を

確認するために、 θ 帯および α 帯それぞれの増大したコヒーレンスの出現頻度に対して、階層的クラスター分析を行い、得られた結果 (図11、12) を、一元配置分散分析・多重比較の結果と対照し考察する。 α 帯域 (図11) に注目すると、被験者Aでは暗算①・②および画像が近い距離に分類され、また暗算の③・④・⑤は近い距離に分類される。被験者Bでは暗算①・④が近い距離に分類され、暗算②と画像が近くに分類される。なお暗算③・④は同じグループに分類されている。この結果は一元配置分散分析・多重比較のグループ分けにほぼ対応する。

一方、 θ 帯域 (図12) に注目すると、被験者Aの暗算①・②は遠く離れ、暗算②・④は同じグループである。被験者Bでは暗算①・④は α 帯域に比べより遠くなっており、暗算④は暗算③・⑤と近いグループである。以上のことから、22年度同様、自律神経活動は α 帯域のコヒーレンスと関連性が高いが、 θ 帯域とは関連性が低いことが推測される。

まとめ

今回、脳波コヒーレンスを用いて暗算課題と画像課題を遂行中の脳活動状態を分析し、処理課題の違いと脳波周波数の関連性を推定した。その結果、低域 θ 波のコヒーレンスは集中度の高さを反映していることが推測された。また視覚情報処理には、特定の周波数帯 ($\theta 4 \sim$ 低域 α 帯域 (8 Hz \sim 10Hz 付近)) の周波数が関与している可能性が考えられた。さらに、自律神経活動は α 帯域のコヒーレンスと関連性が高いが、 θ 帯域とは関連性が低いことが再確認されたと思われる。

著者が現在得ている知見は、ワーキングメモリの脳内機構などの視点から見れば、すでに高度機器を使って得られている知見と比べると、非常に初歩的なものである。しかしながら、BMIに関する基礎的な知見の収集という視点から見れば、意外と見落とされている点を扱っているかもしれない。なぜなら、現在研究されているBMI用の脳波部位は、中心部 (C 3、C 4)、頭頂部 (P 3、P 4)、

後頭部 (O 1、O 2) 周辺部位が多い⁹⁾¹⁹⁾²⁰⁾ため、いわゆる高次脳機能に関する前頭連合野の脳部位は含まれていないからである。しかも、BMI 研究には脳部位間のネットワーク関係の理解が重要であるので、脳波コヒーレンスによるアプローチはあながち、的外れとも思われない。今後は、視覚情報処理と言語処理の違いをより明確にするために、言語処理に特化したモデルで実験を行う予定である。またこれまで β 帯域の分析をおこなっていないが、 β 帯域の言語処理へ関与も示唆されている。¹⁸⁾このため、この帯域の分析も行う予定である。

今回の結果から α 帯域は自律神経の影響を受けるとともに、視覚情報処理にも関与していることが示唆された。また θ 帯域はワーキングメモリに関与していることが示唆されている。⁷⁾ここで、ワーキングメモリ機能に対してだけではなく、脳活動において、各周波数帯は他の帯域とは無関係に、単独に関与しているのか、それとも活動内容によって、いくつかの帯域が協調して処理を行っているのか？ このような疑問が生じてきた。この点に関しては、今までにほとんど報告がないようである。²¹⁾²²⁾そこで、 β 帯域も含めて周波数間の関連性を調べる予定である。さらに今まで蓄積されたデータを再検討し、脳活動における男女差も調べてみたい。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、本学専攻科において脳波実験に携わって、粘り強くデータ解析を行ってくれた専攻科生、西川沙希さん (20年度)、中村早甫さん (21年度)、岡林由紀子さん・吉良瑞喜くん (22年度)、そして市川真紀さん (23年度) に感謝いたします。

引用文献等

- 1) NPO 特定非営利活動法人 脳の世紀推進会議 <http://www.braincentury.org/suishin/index.html>
- 2) 飛松省三, 非侵襲的脳機能計測法の進歩と臨床神経生理学, 福岡医誌, 2008, 99(1), 7-12
- 3) 株式会社ミユキ技研, 高密度センサ脳波計測システム *NetStation System 300*
<http://www.miyuki-net.co.jp/jp/seminar/dense-arrayeeg/densearrayeeg.shtml>
- 4) 長谷川良平, ブレイン-マシン インタフェースの現状と将来, 電子情報通信学会誌, 2008, Vol.91, No.12, 1066-1075
- 5) 酒田英夫, 外山敬介編集, 脳・神経の科学II - 脳の高次機能 (岩波講座: 現代医学の基礎 7), 1999, 岩波書店 (東京)
- 6) 茂木健一郎編, 脳の謎に挑む ブレイクスルーへの胎動より, 苧阪直行, 意識とワーキングメモリ, サイエンス社 (東京), 2003, 126-134
- 7) 苧阪満里子, 脳のメモ帳 ワーキングメモリ, 新曜社 (東京), 2005, 123-185
- 8) 苧阪直行, ワーキングメモリの脳内表現, 京都大学学術出版会 (京都), 2008, 20-21
- 9) 独立行政法人 産業技術総合研究所プレスリリース, 脳波計測による意思伝達装置「ニューロコミュニケーター」を開発 (2010年3月29日付), http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100329/pr20100329.html
- 10) 藤井尚敬, つながる脳, NTT 出版 (東京), 2009, 207-241
- 11) 大熊輝雄, 臨床脳波学 第5版, 医学書院 (東京), 2007, 77-135
- 12) Shaw, J. C, An introduction to the coherence function and its use in EEG signal analysis, *Journal of Medical Engineering & Technology*, 1981, 5, (6), 279-288.
- 13) Beaumont, J. G., Mayes, A. R., & Rugg, M. D, ASYMMETRY IN EEG ALPHA COHERENCE AND POWER EFFECTS OF TASK AND SEX, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1978, vol.45, 393-401.
- 14) 林博史, 心拍変動の臨床応用, 医学書院 (東京), 2004, 1-15

- 15) 藤森利美, *分析技術者のための統計的方法*, 社団法人 日本環境測定分析協会 (東京), **1986**, 340-354
- 16) 中村早甫, ワーキングメモリーと脳波周波数成分の関連について—暗算時における, θ , $\alpha 1$, $\alpha 2$ 成分を用いた推定—, 平成21年度専攻科応用生命科学専攻修了論文集
- 17) 吉良瑞喜, 暗算時における脳活動に關与する脳周波数の推定, 平成22年度専攻科応用生命科学専攻修了論文集
- 18) Okuda T. S, Okazaki SI, & Maekawa H., EEG coherence pattern during simultaneous and successive processing tasks, *International Journal of Psychophysiology*, **2009**, 72, 89-96
- 19) 金田泰明, 中山謙二, 平野晃宏, 脳波のスペクトルとニューラルネットワークによる BCI における特徴抽出と汎化能力について, 第22回情報処理シンポジウム抄録集, (2008年11月), 604-609
- 20) 堀田大貴, 中山謙二, 平野晃宏, 多チャンネル脳波の直交成分を用いたニューラルネットワークによるブレイン・コンピュータ・インターフェイス, 第23回情報処理シンポジウム抄録集(2008年11月), 176-181,
- 21) Osipova D. et al., Theta and Gamma Oscillations Predict Encoding and Retrieval of Declarative Memory, *The Journal of Neuroscience*, **2006**, 26(28), 7523-7531
- 22) Sauseng P. et al., Brain Oscillatory Substrates of Visual Short-Term Memory Capacity, *Current Biology*, **2009**, 19, 1846-1852

Original Paper

**On the estimation of the brain activity using EEG coherence
— The estimation of the brain activity during performing
working memory tasks —**

Naoyuki MORITA^{1*}

Abstract: The author has estimated the brain activity using EEG coherence, last few years. In the study in the first semester in 2011, electroencephalogram (EEG) and electrocardiogram (ECG) were recorded simultaneously from two healthy subjects (all of them is female and 21 years old), ongoing the mental arithmetic tasks and the pictorial tasks specialized for the visual cortex of working memory tasks. EEG coherence obtained from EEG was employed to examine the networks among the brain regions. In addition, heart rate variabilities during their tasks loading were recorded and used as references to the coherence analyses, for checking the mental condition against the relax. As a result, it is presumed that the increases of coherence on lower theta band reflect the degree of concentration to a task. Moreover, the involvement of the specific frequency band (theta-4 to lower alpha band (around 8-10 Hz)) to the visual information processing must be considered. From the past results, it is considered that the autonomic nerve activity is probably, strongly linked to the alpha band but not to the theta band.

Key words: electroencephalogram (EEG), working memory, higher brain function, coherence, brain machine interface (BMI)

^{1*} Kochi Gakuen College, Advanced Course in Applied Life Sciences, Email: morita@kochi-gc.ac.jp