

ゲーム・暗算・読書時の脳波的特徴

－ Fm θ と Alpha 2 －

山 口 勝 機

This experiment was intended to investigate the characteristic of the brain electrical activity during game-playing, mental arithmetic and silent reading. The results were analyzed by EEG mapping method. Two types of EEG activities were observed in two subjects during these tasks. In subject A, Fm θ appeared dominantly on the frontal area such as Fz, Fp1 and Fp2 in both game-playing and mental arithmetic. Fm θ tended to increase with the performance of tasks. Also, it was proved that Fm θ was related to the concentration. On the other hand, subject B showed a fast alpha activity with 10-13 Hz (alpha 2) on the occipital area throughout all tasks. The appearance of the alpha 2 synchronized with the start of each task and continued throughout task performance. From these results, the function of the alpha 2 seems to be similar to Fm θ . Consequently, both Fm θ and alpha 2 are considered to play an important role in regulating the moderate arousal level of the brain to concentrate on the task processing.

Key Words: Fm θ , alpha 2, game-playing, mental arithmetic, silent reading, EEG mapping

はじめに

大脳の高次機能の中では比較的単純な演算処理である足し算や引き算あるいは暗算などの数的処理作業時の脳波活動について多くの研究がおこなわれてきた。その結果、主として前頭正中線部から6~7Hzのシータ波がバースト状に発現することが明らかにされたが、このシータ波はその発現部位からFm θ と呼ばれるようになった⁽¹⁾。このFm θ は楽器演奏⁽¹⁵⁾、音楽聴取⁽⁴⁾⁽¹⁶⁾、鏡映描写⁽⁵⁾、そろばん等の作業課題でもよく発現する。Fm θ の発現に関しては、被験者の内省報告

から作業の処理が順調に進んでいるという感覚と関係があるほか⁽⁷⁾、被験者の性格特性とも関係があることが明らかになった⁽⁶⁾。つまり外交的で不安傾向の低いタイプはFm θ が発現しやすく、内向的で不安傾向の高いタイプはFm θ が発現しにくいということである。

またFm θ は実際に楽器を演奏するほかに楽器演奏に関係するイメージ、つまり楽譜を見て演奏しているつもりになる、録音テープを聞いて楽器を演奏しているつもりになるなど実際の演奏を伴わないイメージ演奏によっても発現することが観察されている⁽¹⁵⁾。

このようにFm θ は連続加算作業、楽器演奏又はそのイメージ演奏、鏡映描写、そろばんなど様々な場面での発現が認められている。全ての課題遂行に共通した要因として課題の難易度が適度であり、そのため被験者が興味を失わず課題への取り組みが維持され集中力が保たれやすいことと指摘されている⁽²⁾⁽⁷⁾。

こうした課題の特徴を持っていると考えられる一つに子供から大人までよくされている様々なゲームをあげることができる。ゲームは親しみやすく比較的長時間遊んでしまうことから最近、ゲームのやりすぎにより子供の脳の機能が低下するのではないかと懸念もされている。ゲーム時の脳波については前頭葉のFzを中心とした部位からFm θ が記録されたが、これはゲームにかなり注意集中した状態であることを示している⁽¹⁷⁾。更にゲームや計算をしている時、脳のfMRIを調べた結果、ゲームにより活性化した脳部位は前頭葉、頭頂葉、後頭葉であった。ただし前頭葉については運動野が活性化されたが意欲・創造性にかかわる前頭前野は活性化されなかった。一方、連続加算作業や一桁の数字を思い浮かべたりすると前頭前野が活性化された⁽⁸⁾。つまり計算では前頭前野が活性化しFm θ が発現するのに対しゲームでは前頭前野は活性化されないがFm θ は発現することから、前頭前野の活性化とFm θ の発現には直接の関係はないようである。本実験はゲームとFm θ の関係についてさらに分析すると同時に、暗算や読書時の脳波の特徴についても明らかにするために実施した。

実験方法

実験 1

【被験者】 実験の被験者は21歳から22歳の健康な女子大学生2名でいずれも右利きで脳波記録の経験があり、実験室の環境にも十分慣れていた。被験者には実験前に実験について詳しい説明をおこなうと同時に、予備実験として内田クレペリ

ン作業検査用紙を利用した連続加算作業時の脳波記録を実施し、あらかじめ $Fm\theta$ が出現するかどうかを含めて被験者の脳波パターンについて確認した。

〔脳波記録〕 脳波記録は国際10-20法に基づいて記録電極が19部位に配置された脳波測定用キャップを使用し、両耳朶結合を共通電極として全ての記録電極より単極導出法で記録した。脳波記録に際しては電極抵抗を下げるため、記録電極に開いた小孔にゲル状の電極糊を注入した。記録条件は時定数が0.3秒、ハイカットフィルターは60Hz、サンプリング周波数が200Hz（分解能0.39Hz）であった。

被験者はシールドルーム内のソファに楽な姿勢で座り、すべての脳波記録は開眼状態で実施した。まずコントロールとして開眼安静時脳波を5分前後記録したが、被験者には前方に設定した注視点を見ることで眼球の動きと瞬きは出来るだけ抑えるように指示した。次に脳波記録を中断することなく「始め」の合図で各被験者個人の携帯電話に付属したゲーム（ゲーム名称はテトリスとフルーツ）を連続10分間おこなわせた。ゲームが早めに終了した場合には「止め」の合図があるまでゲームを反復するように教示した。またこれらのゲームの操作については、あらかじめ慣れておくように指示した。脳波は19チャンネルデジタル脳波計でモニターすると同時に光磁気ディスクに記録した。

〔脳波分析〕 脳波分析に際しては分析対象のシータ波、アルファ波、ベータ波の周波数帯域が6~30Hzであることからアーティファクト成分除去のため4.0~30.0Hzのバンドパスフィルターを設定した。ゲーム前・中・後における脳波出現状況をみるための周波数帯域別マップの作成に使用した周波数分析帯域はシータ波（4.0-8.0Hz）、アルファ波はアルファ1（8.0-10.0Hz）とアルファ2（10.0-13.0Hz）、ベータ波はベータ1（13.0-20.0Hz）とベータ2（20.0-30.0Hz）の6帯域とした。アルファ波とベータ波については周波数の早い成分と遅い成分の変化も分析するため2帯域に分けて検討した。データ分析はMOドライバーよりA/D変換ボードを介してパーソナルコンピュータに脳波を入力し、脳波分析用ソフトによりコントロール時及びゲーム時におけるシータ波からベータ波までの6帯域についての平均パワースペクトル値、周波数マップを求めることにより脳波パターンの変化を分析した。基本的な分析時間はコントロール時3分間、ゲーム時10分間、ゲーム終了後3分間としたが、ゲーム時に $Fm\theta$ が典型的に発現した部分についても分析した。周波数解析条件はFFTポイント数分（基本的な分析時間単位は5.12秒）を1つの区間としてコントロールまたはゲーム時各々にFFT解析を行いパワースペクトルを算出し、最終的に全分析時間について加算平均したスペクトルを求め比較分析した。これらの結果は各周波数帯域ごとの

頭皮上分布を表す周波数マップとしても画像で表示した。またゲーム時の $Fm\theta$ はスペクトル分析により中心周波数をもとめた。

【結果】

被験者 A がゲーム時に $Fm\theta$ を顕著に発現した部位についての脳波とその周波数マップを示したのが Fig. 1 である。コントロール時には $Fm\theta$ はほとんど発現しなかったがゲーム時には前頭葉の1(Fp1), 2(Fp2), 3(F3), 4(F4), 及び前頭正中線部の17(Fz)に見られるように、前頭葉の広い領域にわたり約6.6Hzの $Fm\theta$ 波が出現した。 $Fm\theta$ の出現量は17(Fz)が最も多く、次に前頭極の1(Fp1), 2(Fp2), ついで3(F3), 4(F4)の順であった。しかし $Fm\theta$ の発現に明確な左右差は認められなかった。 $Fm\theta$ の出現時期についてはゲーム開始時よりもある程度時間経過してからの方がバースト状で良く発現する傾向が認められた。更に $Fm\theta$ の出現している時の意識状態については眠気などの内省報告はなかった。ゲーム終了により被験者が安静状態にもどるとともに $Fm\theta$ の出現はほとんど見られなくなった。一方、アルファ波やベータ波の発現については実験を通して顕著な変化は認められなかった。

別の被験者 B のゲーム時脳波の特徴とその周波数マップについて示したのが

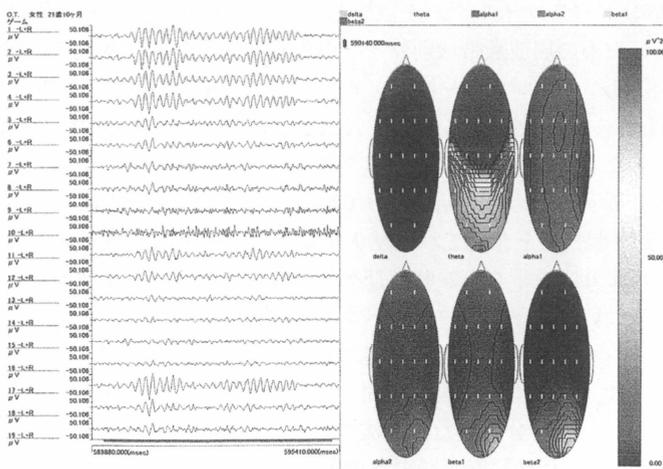


Fig. 1 $Fm\theta$ observed during game-playing and EEG mapping. $Fm\theta$ was concentrated in the frontal lobe. (Subject A)

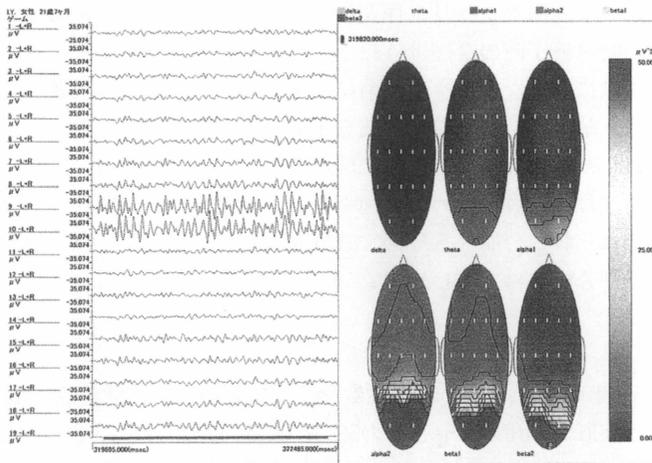


Fig. 2 Alpha 2 activity appeared on the occipital lobe during game-playing. Also, the components of beta waves increased simultaneously. (Subject B)

Fig. 2である。この例ではゲーム時にFm θ ではなく、アルファ波の顕著な発現が後頭部の9(O1)及び10(O2)に認められたことである。更に、その発現の仕方は開眼安静状態の速波を中心とした覚醒時脳波からゲームを「始め」の合図で後頭部O1, O2に10.5Hzをピークとするアルファ2及びベータ1, ベータ2が連続的に発現してきたことである。この脳波パターンはゲーム進行中持続したが、特に脳波所見ではアルファ2の振幅が高振幅で律動的であることが特徴的であった。しかし、ゲーム終了とともにアルファ波は見られなくなりゲーム開始前の覚醒時脳波へと変化した。一般的には熟練作業や楽器演奏が調子よく進んでいる時にはFm θ の発現を伴うが、この例ではゲーム時のFm θ 発現はほとんど認められなかった。また、Fm θ は間歇的に発現するのに対し、アルファ波は中断することなくゲーム終了まで継続した。これらの結果からは、Fm θ とアルファ2が何らかの作業時に同期して出現することはないように思われる。

実験2

〔脳波記録と分析〕 実験1においてゲーム時の優勢脳波として一人の被験者にはFm θ が、もう一人にはアルファ2が観察された。そこで、暗算、読書（黙読）という課題でも同様の脳波パターンが認められるかどうかを検討した。

暗算の課題には内田クレペリン作業検査用紙の数字を5秒前後の間隔で1分間読みあげた。暗算終了時の合図は「以上では」と聞いたがアーティファクト防止のため答えは口に出さないよう実験前に指示しておいた。この課題に関する脳波記録は暗算前、暗算時、暗算後の脳波を1分間ずつ連続記録した。

読書に使用した本は乳幼児心理学に関するもので、この中の一文を5分間黙読した。黙読開始は実験者が始めの合図をした。脳波記録は黙読前、黙読中、黙読後についてそれぞれ3分間、5分間、3分間と連続記録した。以上の各条件での脳波記録法及び分析法は実験1と同じであった。

【結果】

暗算中のFFT解析から求めた周波数マップにおいて、被験者Aでは前頭葉の1(Fp1), 2(Fp2), 3(F3), 4(F4), 中心領の5(C3), 6(C4), 後頭葉の7(P3), 8(P4), 前頭正中線上の17(Fz), 18(Cz), 19(Pz)等、ほぼ全頭領域にわたって著しいFm θ の発現が認められた。しかしながら被験者は眠気はなかったと報告している (Fig. 3)。

この場合も暗算開始前にはFm θ はあまり認められないが暗算の進行するにつれてバースト状のFm θ が発現し、暗算終了とともにFm θ は出なくなるという傾向はゲームの場合と同じであった。Fm θ の他には周波数がシータ波に近いア

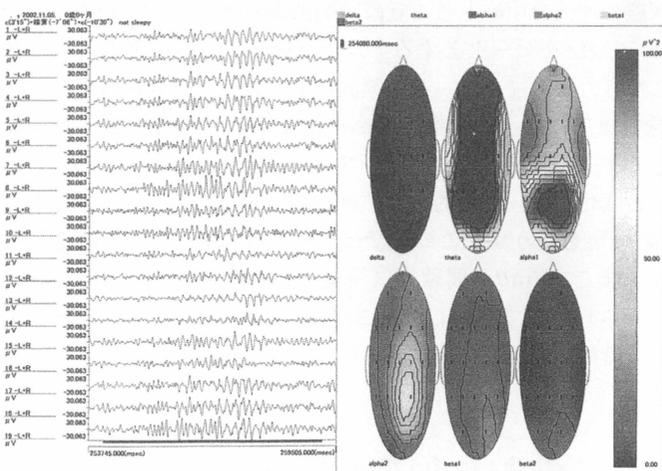


Fig. 3 Fm θ observed during mental arithmetic and EEG mapping. Fm θ appeared widely from the frontal lobe to the parietal lobe. (Subject A)

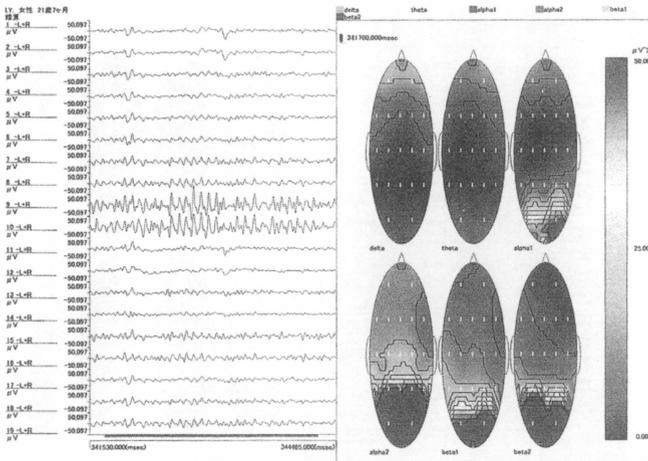


Fig. 4 Alpha 2 activity appeared on the occipital lobe evidently during mental arithmetic. The components of beta waves increased at the same time. (Subject B)

ルファ1波の成分が認められた。またゲームと暗算とどちらでFm θ が良く発現するかについては明確な違いはないように思われた。

次に被験者Bの暗算中のFFT解析結果に基づいて示した周波数帯域ごとの周波数マップがFig. 4である。暗算開始前は速波中心の一般的な覚醒時脳波であったが、暗算開始と同期して主として10.5Hzのアルファ2及びベータ波が後頭葉9(O1), 10(O2)に持続的に発現してきた。このアルファ2は暗算中継続して発現していたが、暗算終了とともに見られなくなった。一方、Fm θ は暗算時にほとんど認められなかった。

次に被験者Bの黙読時の脳波活動についてFFT解析した後、周波数帯域ごとの周波数マップを求めたのがFig. 5である。文章黙読時の脳波パターンは後頭部9(O1), 10(O2)に10.9Hzのアルファ2波及び13.3Hzを中心としたベータ波が優勢に発現した。しかし読書開始前の脳波は速波中心の覚醒脳波であり、読書開始とほぼ同時にアルファ2とベータ波が発現し、この脳波パターンは黙読中持続した。しかし、Fm θ の発現は黙読時にほとんど認められなかった。また黙読を止めると同時にアルファ2とベータ波の優勢脳波は見られなくなり覚醒脳波へと変化した。

以上、ゲーム時にFm θ あるいはアルファ2やベータ波が優勢に発現した二人

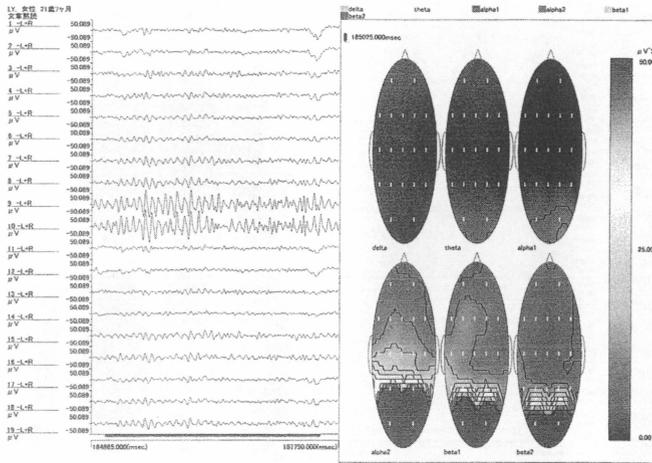


Fig. 5 Alpha 2 activity appeared evidently on the occipital lobe during silent reading. The components of beta waves increased at the same time. (Subject B)

の被験者について、暗算または黙読時においてはどのような脳波像を示すか検討した結果、課題により本来の脳波パターンが変わることはなかった。被験者Aは暗算課題でもゲームと同様にFm θ を示した。一般的にはゲームや暗算などにはFm θ の発現が報告され、その発現の様子は作業開始直後よりも時間経過した段階でバースト状に出現し増加してくる傾向があるが⁽¹¹⁾、被験者Bのアルファ2を中心とした脳波パターンは暗算や黙読開始と同期して発現しその振幅も増加してきた。課題遂行中、アルファ波は振幅の増減を繰り返しながら持続したが課題終了と同時に消失し覚醒脳波へと変化した。つまり、アルファ波は課題の継続性と関係があるものと思われる。

〔考察〕

簡単な計算や熟練作業で発現するFm θ はゲーム時においても認められるが、今回さらに検討した結果、Fm θ が典型的に発現するタイプの被験者のほかにアルファ波の中で10~13Hzの速い周波数成分であるアルファ2をゲーム時に優勢に示すタイプの被験者のいることが明らかになった。

まずゲーム時にFm θ をよく発現した被験者Aについては暗算でもFm θ がよく発現し、いずれも中心周波数が6.6Hz前後で課題による違いは認められなかつ

た。興味あるのは被験者Bである。コントロール時は通常の覚醒脳波であるがゲーム開始とほぼ同期して高振幅のアルファ2が優勢に発現してきた。この脳波パターンにはベータ波成分の増加も含まれ、ゲームをしている間持続したがゲーム終了と同時にアルファ2は消失し、覚醒脳波へと変わるの大きな特徴であった。しかし $Fm\theta$ はゲーム中ほとんど発現しなかった。こうした連続加算など知的作業にもなう $Fm\theta$ の増強は課題への注意集中などの一定の精神状態と関係があると考えられている⁽⁷⁾。被験者Bにみられた連続加算作業中におけるアルファ2及びベータ波の増強は $Fm\theta$ と同じく機能的には課題への注意集中や課題の継続性と関係していると思われる。ただし $Fm\theta$ とアルファ2が注意集中などの心理状態で同時に発現することはないと思われる。

被験者Bについてはゲームや暗算時観察されたアルファ2やベータ波が文章黙読という精神作業ではどうか検討したが、同じくアルファ2及びベータ波が黙読開始に同期して発現し黙読期間持続した。今回の実験で興味あるのはゲーム、暗算などでは一般的に $Fm\theta$ が発現するのに対し被験者Bはゲーム、暗算、黙読などの精神活動でベータ波成分の増加とともに特にアルファ2を優勢に示したことである。

アルファ2に関しては運動性イメージや楽器演奏イメージにより顕著な発現が頭頂部や後頭部に認められている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。従来、イメージとアルファ波との関係ではアルファ波の抑制が起こるか又は変わらないといわれていた⁽³⁾。しかし山口⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾のイメージ実験から、イメージによりアルファ2が発現することが明らかとなった。またイメージの豊かさ、貧しさとアルファ2の増減は関係があり、豊かなイメージはアルファ2の顕著な発現を誘発するのにに対し貧弱なイメージではアルファ2の発現は少ない⁽¹⁴⁾。更にイメージ実験での内省報告からアルファ2の発現は鮮明なイメージの生起と関係があるように思われる。従って被験者Bの暗算や黙読時におけるアルファ2の発現は運動性イメージや楽器演奏イメージの場合と同様、課題に関する視覚的に豊かなイメージの発想を示すとともに課題への注意集中時に見られる $Fm\theta$ と同じ機能を果たしていると思われる。

ゲーム、暗算、黙読それぞれの課題時の脳活動についてfMRIによる分析をしたところ、ゲームで活性化する脳部位は前頭葉（運動野）、頭頂葉、後頭葉であった。後頭葉から頭頂葉に至る経路は空間の位置関係や向き認識に、後頭葉から側頭葉の経路はパターン認識に関係することから、ゲームでは視覚情報処理系が賦活されていることを示している⁽⁸⁾。数の暗唱や計算では両側半球の前頭前野、運動前野、側頭葉のウェルニッケ野や後頭葉が活性化され、読書では左右の前頭

前野, 両側半球の後頭葉の視覚野, 言葉の理解やひらがなを処理するウェルニッケ野, 言葉の意味を理解する頭頂葉が活性化する⁽⁸⁾⁽⁹⁾。イメージと大脳皮質血流量との関係については基本的にどのようなタイプのイメージでも前頭前野の血流量が増加し, 視運動性のイメージでは視覚連合野の血流量も同時に増加する⁽¹⁰⁾。

これらの実験ではいずれもイメージで前頭前野及び後頭葉ならびにイメージ感覚に関係する大脳皮質が活性化することが明らかである。従って本実験のゲーム, 暗算, 黙読課題においてもこうした脳部位の血流増加による活性化が生じていると思われる。ただしこの大脳活性化の水準はFm θ やアルファ2が発現することから適度な興奮水準にあると考えられる。

従って大脳が適度な興奮水準の状態のとき課題への注意集中もうまくいき順調な作業の遂行が出来るようになると思われる。

今回の実験において被験者Bはすべての課題でFm θ ではなくアルファ2を発現したが, アルファ2の機能としてはFm θ と同じく注意集中状態を表していると考えられる。しかし, Fm θ は時間経過にしたがい発現が増すのに対し, アルファ2は課題開始から終了まで発現することから注意集中のほか, 課題に対する継続性やイメージも関与しているのではないと思われる。以上のことからゲーム, 計算, 読書などの課題処理時の注意集中状態における脳波パターンに関してはFm θ が優勢に出るタイプとアルファ2が優勢に出るタイプのあることが明らかとなった。

参考文献

- (1) 石原 務・作田 齋・町原 英・吉井直三郎：精神活動と脳波活動について(1)分散分析による検討 臨床脳波, 12, 102-108, 1970
- (2) 石原 務・出海光子：暗算, 安静および傾眠状態におけるFm θ の頭皮分布 臨床脳波, 18, 638-644, 1976.
- (3) Ehrlichman, H and Wiener, M. EEG asymmetry during covert mental activity. Psychophysiology 17: 228-235, 1980
- (4) Katayama, S., Hori, Y., et al: Electroencephalographic changes during piano playing and related mental tasks. Acta Med Okayama, 46, 23-29, 1992.
- (5) Mizuki, Y., Takii, O., et al.: Periodic appearance of frontal midline theta activity during performance of a sensory-motor task. Folia Psychiatrica et Neurologica Japonica, 375-381, 1982.
- (6) 水木 泰, 田中正敏他：Fm θ と性格特性について 脳波と筋電図, 4, 182-191,

1976.

- (7) 丹羽健一, 山口雄三: 精神作業時前頭シータ突発波の精神生理. 臨床脳波, 17, 173-177, 1975.
- (8) 松澤大樹編著: 目でみる脳とこころ NHK 出版, 2003.
- (9) Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E. et al. Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. Proc Natl Acad Sci USA, 90, 878-882, 1993.
- (10) Roland, P. E., Friberg, L. Localization of cortical areas activated by thinking. Journal of Neurophysiology, 53, 1219-1243, 1985.
- (11) 谷 嘉代子他: 精神活動と脳波 (1) 加算作業テストのさいの脳波 大阪市立大学家政学部紀要, 16, 183-189, 1968.
- (12) 堀 浩, 星田 徹: Fm θ と作業習熟過程にみられる F θ (II) 臨床脳波, 39, 185-192, 1997.
- (13) 山口勝機 ランニングイメージとアルファ波 鹿児島女子大学研究紀要 第18巻第2号, 71-82, 1997.
- (14) 山口勝機 運動性イメージと脳波 鹿児島女子大学研究紀要 第19巻, 第2号, 57-66, 1998.
- (15) 山口勝機 ピアノ演奏イメージ時の脳波について 鹿児島失語症研究会会誌 第8巻, 第1号, 29-33, 1997.
- (16) 山口勝機 音楽活動中の Fm θ について 鹿児島失語症研究会会誌 第9巻, 第1号, 41-48, 1998.
- (17) 山口勝機 ゲーム時の脳波活動について 鹿児島失語症研究会会誌 第14巻, 第1号, 15-19, 2003.