

運動性イメージと脳波

山口 勝 機

はじめに

様々なタイプのイメージと大脳活動との関係については、アルファ波を中心とした脳波活動⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、又は皮質血流量を指標とし⁽⁵⁾⁽⁶⁾、更にこれらの変化を画像化することにより検討が加えられてきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。アルファ波とイメージとの関係について、従来の研究結果はイメージによるアルファ波活動の抑制であり、その発生する大脳皮質部位はイメージに用いる感覚様式に対応するというものであった⁽²⁾⁽³⁾。皮質血流量に関しては、作業課題もしくはイメージのタイプの違いにより、血流量の増加する部位が異なるという結果が得られており、例えば計算問題では左角回、言語的課題では左上縁回、視覚性課題では視覚連合野における皮質血流量が増加を示している。前頭前野に関しては、いずれの課題時にも血流量は増加を示している⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

これらの結果を参考にしつつ、ランニングイメージ⁽⁹⁾及びピアノ演奏イメージ時⁽¹⁰⁾における脳波活動を検討した結果、いずれの場合もイメージ発現時には、アルファ波の抑制ではなく、その増強が観察された。更にアルファ波を周波数により、alpha-1 (8.06 Hz～9.77 Hz) と alpha-2 (10.01 Hz～12.94 Hz) の2つのタイプに分類し、いずれのタイプがイメージと相関があるか検討したところ、イメージ発現時には alpha-2 の増加が認められた。従って、イメージによる脳波活動の特徴としては単なるアルファ波活動の抑制ではなく、むしろ、alpha-2 の発現が特徴的であり、alpha-1 との相関は認められなかった。

しかしながら、前回のランニングイメージについては前頭部と後頭部のみの脳波分析しかおこなっていなかったことから、今回の運動性イメージについては、前頭部、中心部、後頭部にかけて広く脳波記録を実施し、部位差など詳細な分析をおこなった。

実験方法

被験者は、脳波測定の実験がある8名の女子大学生（年齢：20～21歳）で、いずれも右利きであった。

脳波記録用皿電極を国際式 10/20 法に基づき、前頭部 (F_3, F_4)、中心部 (C_3, C_4)、頭頂部 (P_3, P_4) および後頭部 (O_1, O_2) の各部位に装着した。不関電極としては、左右の耳乃結合 (A_1+A_2) をおこない、各部位との単極導出をおこなった。全ての脳波記録は、被験者がシールドルーム内のソファーに楽な姿勢で座わり、かつ閉眼状態の下で実施した。実験は以下の 3 条件下でおこない、各条件とも約 5 分間の脳波を記録した。なお、各条件間の間隔は、被験者に対する次の実験条件の説明が終り次第とした。脳波は、脳波計で観察すると同時にデータレコーダーにて磁気テープに記録した。脳波モニター時の紙送り速度は、全体的な変化を観察しやすくするため、毎秒 0.1 cm とした。

control：閉眼安静状態下で、可能な限り考え事をしないようにしてもらい脳波記録をおこなった。

image-1：大学のグラウンドで、被験者がランニングを始める場面を想定したテープを聞かせた後、グラウンドでのランニングをイメージしている時の脳波を記録した。その教示内容は次の通りであった。『いま、あなたは大学のグラウンドに立っています。グラウンドのトラックの白線がはっきり見えます。芝の緑がとてもきれいです。仲間が数名、トレーニングをしています。あなたはこれからランニングをするところです。それでは、そのような情景をイメージしてランニングを始めて下さい』このテープ教示は、image-2 においても同じであった。

image-2：実験にはいる直前に、各被験者はランニングを体験し、次に image-1 と同じテープを聞いた後、ランニングイメージをおこなった。

実験終了後、各被験者のイメージ内容について質問し、イメージと脳波の関係を明らかにするうえでの参考とした。

データ処理は、各被験者について実験条件ごとの脳波を A/D 変換ボードを介してパーソナルコンピュータに入力し、脳波分析用ソフトによりパワーアレイ及びパワースペクトル値を求めた。本実験で使用した分析クロックは 4 ミリ秒で、これによる 1 回あたりの分析時間は約 4 秒間であった。本研究では 4 秒間毎のパワースペクトルを 45 回加算することで、約 3 分間についての平均パワースペクトル値を求めた。4 ミリ秒の分析クロックの周波数分解能は 0.244 Hz であることから、記録される周波数は 0.244 Hz から 124.756 Hz までとなるが、実際には 0.488 Hz から 30.029 Hz までの周波数範囲で表示し、パワースペクトル値はアルファ波 (8.06 Hz から 12.94 Hz) について求めた。

イメージ条件により、アルファ波が変動するかどうかについて詳細に分析するためには、アルファ波を alpha-1 (8.06 Hz から 9.77 Hz まで) と alpha-2 (10.01

Hz から 12.94 Hz まで) とにタイプ分けし、それぞれのパワースペクトル値を求めた。また各被験者の分析の対象とした脳波ならびにパワースペクトル図は、すべてフロッピーディスクに保存した。

イメージ条件により、アルファ波の出方に違いがあるかどうかを検討するため、アルファ波 (alpha-1, alpha-2)、記録部位 ($F_3, F_4, C_3, C_4, P_3, P_4, O_1, O_2$)、実験条件 (control, image-1, image-2) 等の要因について分散分析をおこなった。

結果

イメージング時における脳波的特徴について、特にアルファ波に焦点をあてて検討した。Fig. 1 は、control, image-1 及び image-2 の各条件下において、alpha-1 及び alpha-2 の各記録部位におけるパワースペクトル値を示したものである。これらのアルファ波のタイプ、実験条件ならびに記録部位等の 3 要因間について分散分析した結果、統計的に有意な交互作用が認められた ($F=3.33, P<.001$)。

多重比較の結果、alpha-1 のタイプに関しては control 時と比較して、イメージング時に有意な変化が認められず、alpha-1 とイメージとの関係がないことを示している。alpha-2 については、image-2 における alpha-2 のパワースペクトル値が、 P_3, P_4, O_1, O_2 の各部位において control の平均より有意に高く ($Mse=3.35, df=224, P<.05$)、更に O_1, O_2 については image-1 の平均よりも有意に高かった ($Mse=3.35, df=224, P<.05$)。 F_3, F_4, C_3, C_4 においては、各測定条件間に有意な差は何ら認められなかった。

以上の結果から、運動性イメージに特徴的な脳波活動は alpha-2 のタイプであり、この傾向は image-2 において、頭頂部 (P_3, P_4) 及び後頭部 (O_1, O_2) で顕著であった。更に後頭部においては、image-1 よりも image-2 において alpha-2 が有意に多く出現したことから、イメージ直前のランニング体験が alpha-2 の出現に対する促進的効果を及ぼしたものと考えられる。一方、control と image-1 の間に有意差が認められなかったことは、image-1 時のイメージングがうまいかなかったことを示しており、イメージの内容についての指示のみでは、イメージが困難であることを意味している。

次にイメージが非常にうまく出来た被験者と出来なかった被験者の image-1 及び image-2 についての自省報告と脳波との関係について検討したのが Fig. 2 と Fig. 3 である。各図は約 2 分間のイメージ期間について、 P_3, P_4, O_1, O_2 における 4 秒間ごとの脳波変化を示したパワーアレイである。poor image (Fig. 2)

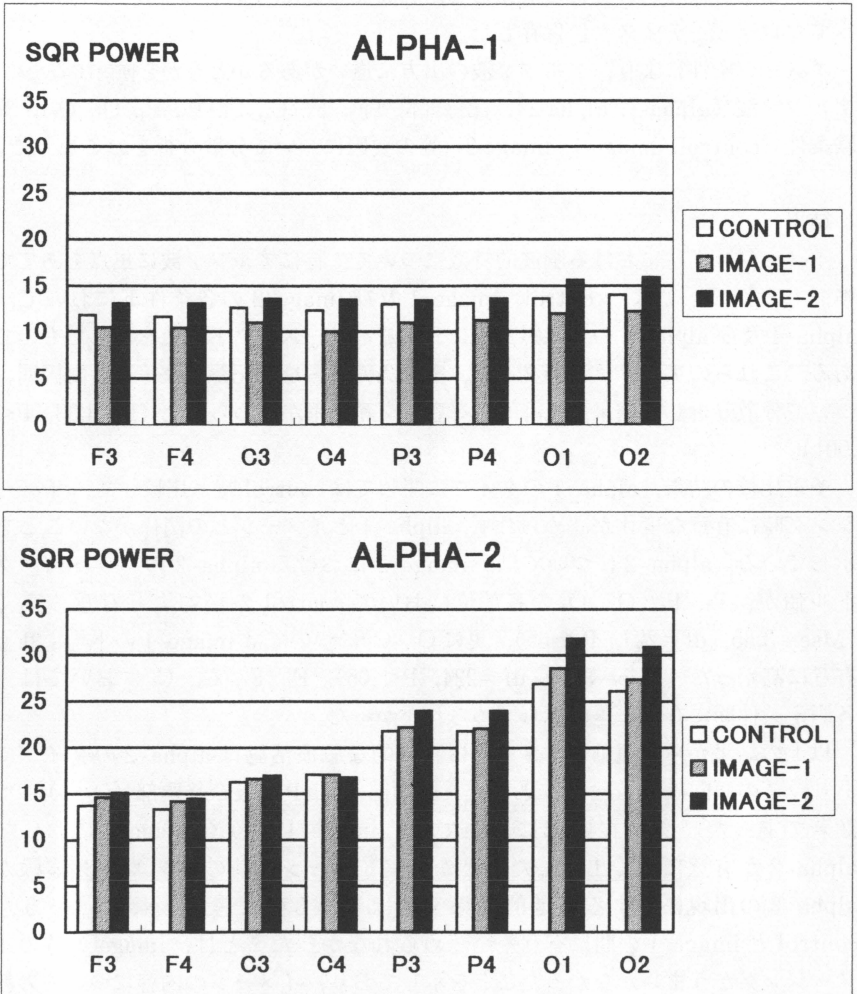


Fig.1 コントロール、イメージ条件時における alpha-1 及び alpha-2 のパワースペクトル変化。image-2 の条件で頭頂部と後頭部に alpha-2 の増加が認められた。

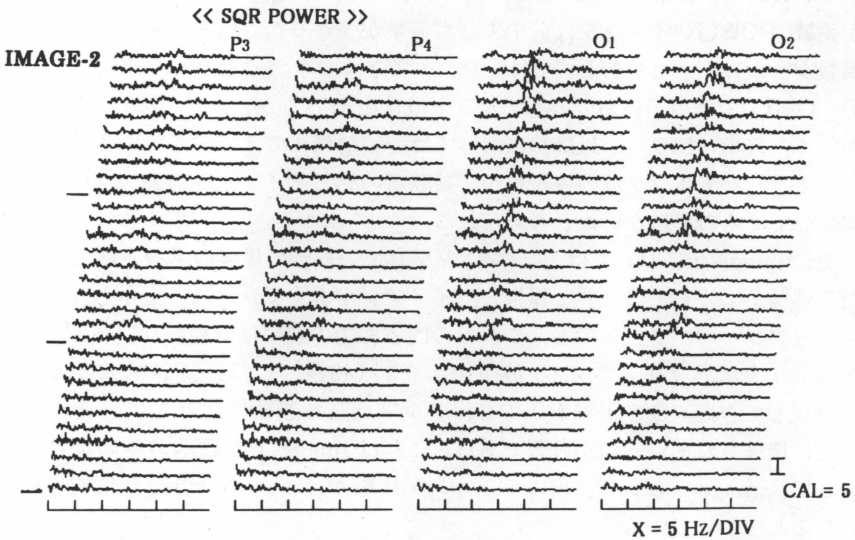
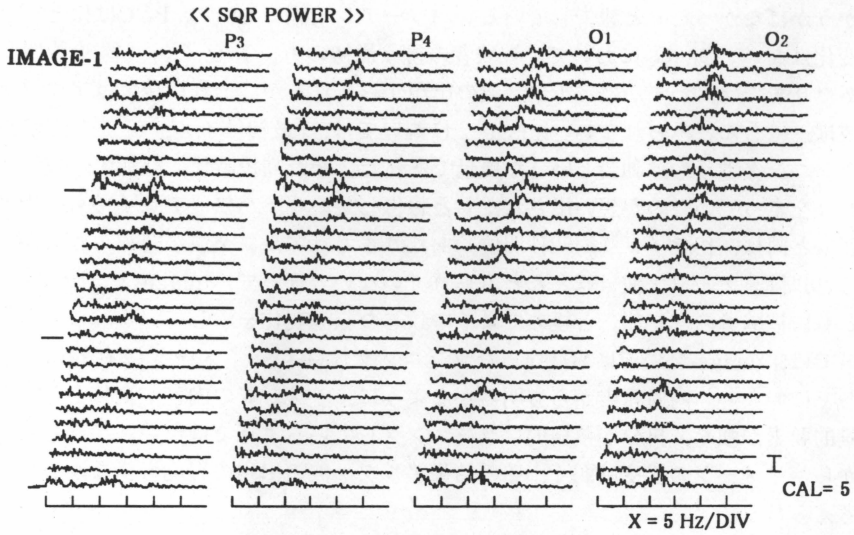


Fig.2 イメージがうまくいかなかった被験者の image-1 と image-2 のパワーアレイベン図。いずれの条件でもアルファ波の出現は低い。

の被験者は、image-1について「最初、イメージがうかんだが後半は、なかなかうかばなかった」と報告している。パワーアレイ図でも、 P_3 、 P_4 ではほとんど変化はない。 O_1 、 O_2 において、被験者の言う最初の方、15ライン（約60秒間）あたりまでは、わずかにアルファ波の出現がみられるが、それ以後ではアルファ波は、ほとんどみられない。image-2については、「最初はイメージできたが、ランニングよりも運動会といった風景であった。また高校時代、部活で学校のまわりを走っていたのが思い出された」と報告している。パワーアレイでも、内省報告と同様、13ライン（約52秒間位）あたりまではアルファ波が認められるが、これ以降、アルファ波はほとんどみられていない。従って、image-1、image-2ともに被験者の内省報告と極めてよく一致した脳波変化を示している。このケースでは、image-2の前におこなったランニング体験も、イメージに有効に作用してはいない。内省報告からも明らかのように、イメージの内容が全体として風景の要素が強く、自分が積極的にランニングしているようではない。こうした点から、イメージの程度は弱く、その結果アルファ波の出現の程度も少なかったと考えられる。

これに対し、rich image (Fig. 3) の被験者は、image-1について「イメージが長続きしない。イメージは前半よりも後半が強かった。自分の走っている時の風景がうかんだ」と報告している。 P_3 、 P_4 でアルファ波はほとんど出現していない。 O_1 、 O_2 では前半においてもアルファ波は出ているが、その出かたは連続性が弱く、後半（15ライン以降）においては連続的に出てきているといえる。従って、こうしたアルファ波の連続性が、被験者の感じるイメージの強い、弱いとも関係してくるのではないかと考えられる。

更にimage-2においては、「ランニングしている時の足裏の感触、風が顔にあたる感触がよくできた」と報告し、イメージがよくできたことを示している。パワーアレイのパターンでも、これらの内省報告の違いは認められ、 P_3 、 P_4 ではimage-1とは異なり、アルファ波が10ライン（40秒）以降、連続的にかなりよく出現してきた。 O_1 、 O_2 においても、アルファ波の連続性ととともに、その出現が更に増強されているのが顕著である。これはimage-1の教示のみの条件と比較して、image-2に入る直前のランニング体験がイメージ発現に効果的に機能したことを示している。

次に、前記の poor image と rich image を示した被験者について、各条件時の alpha-1 と alpha-2 のパワースペクトル値の比較を示したのが Fig. 4 である。その結果、alpha-1 のタイプについては、いずれも極めて低いパワースペクト

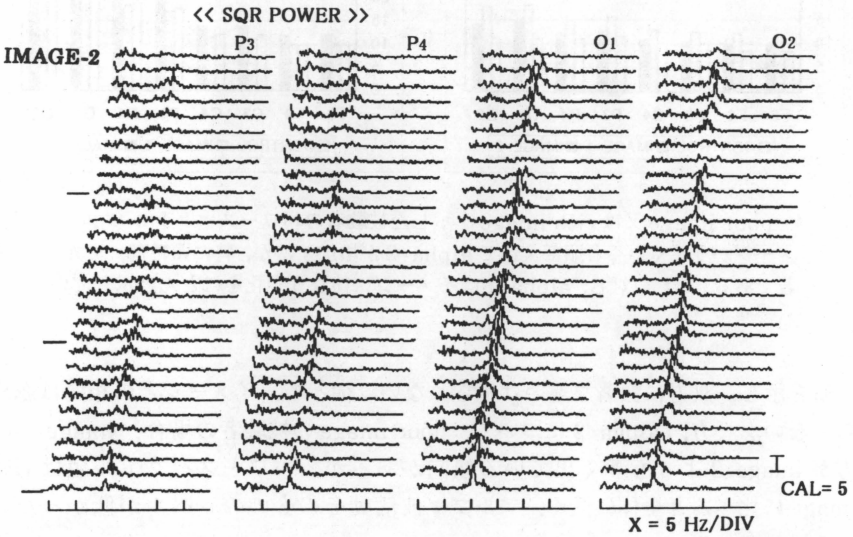
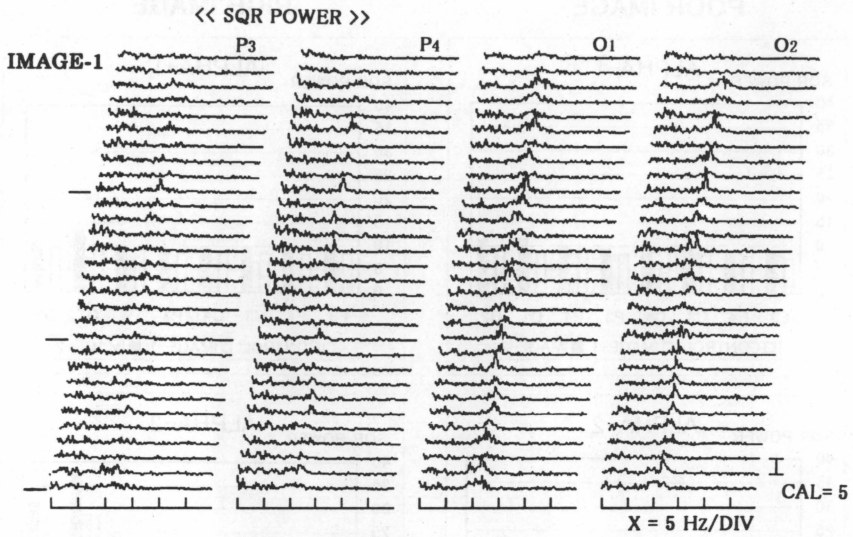


Fig.3 イメージがよくできた被験者のimage-1とimage-2のパワーアレイ変化。image-2では鮮明なイメージを報告しており、アルファ波の出現も高く連続性もある。

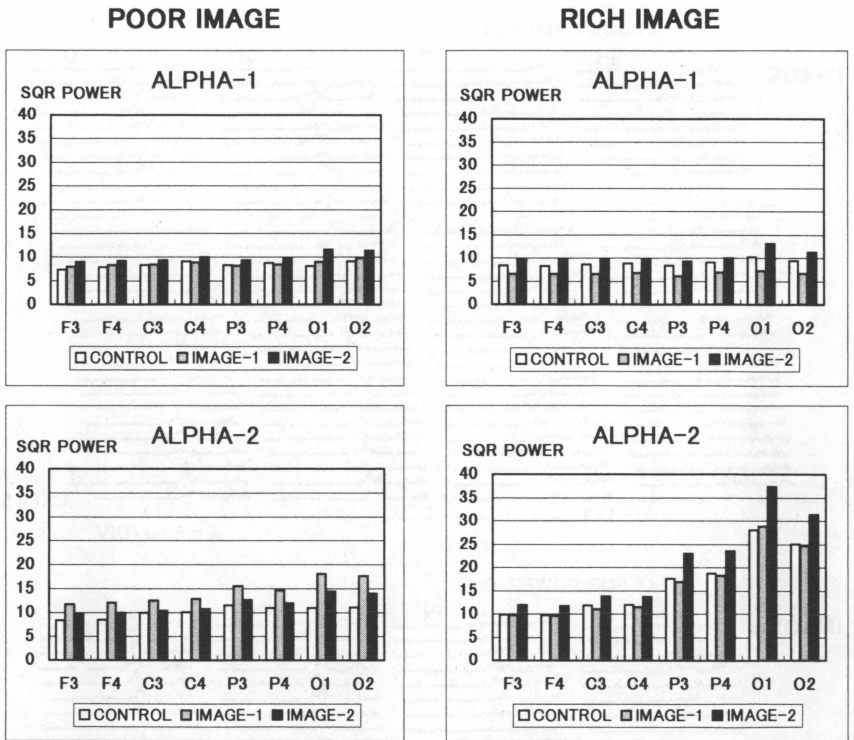


Fig.4 poor image 又は rich image を示した被験者のパワースペクトルパターン。イメージがうまくいくと頭部全体で alpha-2 が増加するが、特に頭頂部、後頭部で顕著である。これに対し、alpha-1 はイメージに伴う変化をほとんど示していない。

ル値を示し、双方に顕著な違いはみられない。従って、イメージとの相関は認められない。一方、alpha-2 について、poor image の被験者の場合、image-1 の方が image-2 よりも多く出ている傾向があるが、パワースペクトル値は rich image に比べると全体に低く、アルファ波活動そのもののレベルが低かったことを示している。

これに対し、rich image の被験者の場合、control と image-1 ではほとんど違いはみられないが、image-2 になると記録部位全体について、alpha-2 のパワースペクトル値が増大し、特に頭頂部、後頭部において顕著であった。このこ

とはイメージと alpha-2 の相関が高いことを示し、イメージについての教示のみではイメージのわきにくいことも示している。

考察

ランニング場面を中心とした運動性イメージ時のアルファ波活動について検討した結果、従来のランニングイメージ⁽⁹⁾、又はピアノ演奏イメージ実験⁽¹⁰⁾で得られたのと同様の結果が得られた。つまり、イメージ発現時には速い周波数のアルファ波である alpha-2 の出現が頭頂部及び後頭部で顕著にみられ、前頭部及び中心部においては明確でなかった。

この傾向は、イメージ直前に実際のランニングを体験した後、ランニングのイメージにはいる条件 (image-2) 下で最もよく観察されたことから、ランニング体験がイメージの促進効果に役立ったと考えられる。従って、イメージの内容に関する具体的な体験や程度の有無が、イメージの豊かさ、貧しさに関係してくるといえる。本研究で示した rich image と poor image のケースでは、poor image であった被験者は、ピアノ演奏イメージでは rich image であり、ピアノをもともと弾くことができたのである。一方、今回、運動性イメージで rich image であった被験者は、ピアノ経験はなく、ピアノ演奏イメージでは rich image とはいえなかった⁽¹⁰⁾。

従って、イメージの内容に関する教示のみの条件 (image-1) では、ランニングイメージへの関与度は極めて弱く、alpha-2 のパワースペクトル値もコントロールとほとんどかわらなかった。また、アルファ波の遅いタイプである alpha-1 に関しては、いかなるイメージ条件でも変化が認められず、イメージとの相関はないといえる。

従来の研究では、イメージにともなうアルファ波の抑制が報告されているが、こうした変化は今回の実験でも観察されなかった。被験者の内省報告から判断すると、アルファ波の抑制は、むしろイメージがうかんでこない状態もしくはイメージの中断と関係があるように考えられる。

イメージと脳波の関係について、現在までの結果から推定すると、イメージの豊かな時には alpha-2 を中心としたアルファ波が連続的に出現しているのではないかと考えられる。

イメージと大脳皮質血流量との関係については⁽⁶⁾、前頭部はいかなるタイプのイメージング時にも血流量の増加を示すとされるが、脳波所見では、特に alpha-2 のタイプが前頭部で顕著に増加する傾向は認められなかった。これに対し、視

運動性イメージでは視覚連合野の皮質血流量が増加するとの結果は、後頭部における alpha-2 の増加と対応しており、皮質血流量の増加と alpha-2 の相関がある程度あることを示している。今後は、スポーツ選手、楽器演奏者あるいは技能熟練者について各専門領域に関するイメージング時における alpha-2 の出方もしくは皮質血流量の変化について検討を加えることで、特定のイメージと大脳皮質部位との関係が、より明確になってくるのではないかと考えられる。

REFERENCES

- 1) Davidson, R. J. 1977 Brain mechanisms subserving self-generated imagery: Electrophysiological specificity and patterning. *Psychophysiology* 14 : 598-602
- 2) Ehrlichman, H. and Wiener, M. 1980 EEG asymmetry during covert mental activity. *Psychophysiology* 17 : 228-235
- 3) Morgan, A. H., Macdonald, P. J. and Macdonald, H. 1971 Differences in bilateral alpha activity as a function of experimental task, with a note on lateral eye movements and hypnotizability. *Neuropsychologia* 9 : 459-469
- 4) Mundy-Castle, A. C. 1957 The electroencephalogram and mental activity. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 9 : 643-655
- 5) Nishizawa, Y., Olsen, T. S., Larsen, B. and Lassen, N. A. 1982 Left-right cortical asymmetries of regional cerebral blood flow during listening to words. *Journal of Neurophysiology* 48 : 458-466
- 6) Roland, P. E. and Friberg, L. 1985 Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology* 53 : 1219-1243
- 7) Short, P. L. 1953 The objective study of mental imagery. *British Journal of Psychology* 44 : 38-51
- 8) Slatter, K. H. 1960 Alpha rhythms and mental imagery. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 12 : 851-859
- 9) 山口勝機 1977 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
- 10) 山口勝機 1977 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誌 第8巻第1号, 29-33