

簡易脳波計による記憶作業における脳波状況フィードバック学習 システムの試作

平井章康^{†1} 吉田幸二^{†2} 宮地功^{†3}

近年, 登場してきた簡易脳波計は携帯可能な大きさであり, 装着が簡単で, 装着者の行動を制限しない. このため, 日常的な使用が可能で, 比較的安価で入手し易い利点がある. そこでこの簡易脳波計を用いて脳波情報を取り入れた遠隔教育における指導支援にフィードバックできるシステムの構築を検討している. 本論文では昨年の実験で記憶作業に関する反応が low_γ と, ワーキングメモリと呼ばれる短期記憶領域で反応を示している θ 波の2つの波長の関係性を調べ, その特性を利用したサポートシステムを構築, 実際に脳波計測において学生の記憶作業中の脳波データの相関関係を実験により比較分析した. その結果, $(\theta + \alpha)/10$ と Low_γ が同期した波長である事が判明した. またこの2つの波長の特性を利用したプロトタイプシステムを構築し, 実験により, $(\theta + \alpha)/(10 \times low_\gamma)$ がサポートシステムの有無で記憶力の変化が見られた事から記憶の度合いを測る指標として有効であると結果が出た.

Trial of the EEG state feed-back learning system at the time of the memory work by the simple electro-encephalograph

FUMIYASU HIRAI^{†1} KOUJI YOSHIDA^{†2} ISAO MIYAJI^{†3}

1. はじめに

生体情報として脳波は, 脳の情報処理過程の評価指標として広く用いられており, 脳波の特性の中でもその周波数特性が学習, 言語, 知覚などの認知過程と密接に関連することが示されている¹⁾. 近年, 従来のような高価で大掛かりな装置だった脳波計から, 脳科学分野や技術の発展により, 携帯可能な程の大きさになり, 装着が容易で装着者の行動を制限せず, 比較的安価で入手し易い簡易脳波計が登場してきた. そこで簡易脳波計の利点に注目し, 遠隔教育に脳波情報をフィードバックさせたシステムの構築を検討している.

遠隔学習システムは学習の進捗状況や結果を即座にフィードバックして確認できるという利点がある. しかし, 実際に学習している様子を確認できない点や, 学習状況や進捗情報などの情報だけではサポートに限界が生じるといった欠点も存在する. そこで学生の状態を把握しながら, フォローする為にユーザの思考や精神状態を脳波の生体情報を用いて確認する事で欠点を改善し, 指導支援及び学生の学習を助長するシステムに繋がると考える.

本論文ではワーキングメモリについて θ 波が反応を示す事と²⁾, 昨年の実験で記憶作業に関する反応が Low_γ に見られた事から³⁾, この2つの波長の関係性を調べ, その特性を利用したサポートシステムのプロトタイプを構築,

実際に脳波計測において学生の記憶作業中の脳波データの相関関係を実験により比較分析した.

2. 脳波

脳波は人の情報処理過程の一つの指標として捉えることができる. 例えば, 医療などでは脳の統合的な機能評価に用いられ, 癲癇や血管障害などの脳障害を調べるために利用される. 脳内の神経細胞の発火やシナプスの神経伝達の際に電気信号が生じる. この生体信号は脳内での電位変化として現れるため, 頭皮上に置いた電極など用いて記録することが出来き, これを脳波と呼ぶ⁴⁾. 脳波にはいくつか種類があり, 周波数の大きさから5つに分類できる. 以下に名前, 周波数範囲, とくに出現が見られる心理状況を挙げる.

- ・ δ 波(デルタ波), 1 ~ 4 Hz, 睡眠時
- ・ θ 波(シータ波), 4 ~ 8 Hz, 睡眠時・注意時
- ・ α 波(アルファ波), 8 ~ 12 Hz, リラックス・閉眼時
- ・ β 波(ベータ波), 15 ~ 20 Hz, 集中・運動時
- ・ γ 波(ガンマ波), 30 ~ Hz, 記憶・視覚処理時

これらの周波数は得られた原脳波データに対してフーリエ解析することでそれぞれのパワースペクトルを求めることができる.

しかし, 脳波は個人差によって大きく同一人物でも時間帯・状況によって脳波と思考状態の関係は変化し, 巷で言われているような α 波が見られればリラックスしているというものではない. したがって何度も測定を重ねて各個人の様々な状況における脳波と比較することが必要となって

^{†1} 湘南工科大学 工学研究科 博士前期課程 電気情報工学専攻

^{†2} 湘南工科大学 工学部 情報工学科

^{†3} 岡山理科大学 総合情報学部 情報科学科

くる。

3. 簡易脳波計

脳波を測定するには脳波計を用いる。従来の脳心理学研究では大掛かりな装置を用いて実験を行っていた。しかし、この脳波計は日常使用に向いておらず大量に電極が付いた医療型では装着に手間がかかる上に被験者の行動が制限されるという問題点があり、ユーザにストレスを与えてしまう。これでは本研究の目的とした学習を助長させることも難しくなる。脳波データの取得に関して医療レベルの精度を求められる場合には、脳波装置を使用すべきであるが、簡易的な脳波入力インタフェースや日常使用を想定したアプリケーションに脳波情報を適用することを考えた場合、出来るだけ小型で手軽に利用できる携帯の物のほうが理想である。

そのため本研究のような教育への導入を考慮した場合には医療用の脳波計よりも簡易脳波計を使用の方が簡便的で効果的だと考えられる。よって本研究では簡易脳波計と呼ばれる比較的安価で装着性の良い NeuroSky 社の MindSet という脳波計を使用する⁵⁾。MindSet は脳波の数値データを PC に送信する。額のセンサーと耳の電極の2点間の電位差を測り、イヤパッドに内蔵されているオンボードチップにより取得した脳波を解析し、通信用 PC へ無線通信方式の一つである Bluetooth を用いて送信が行われる。図1は MindSet 本体と PC との通信を示す。

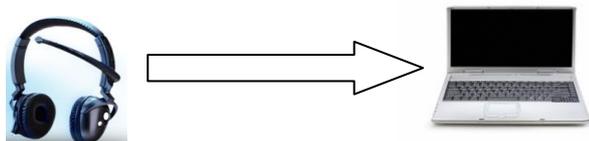


図1. MindSet 本体と通信

MindSet の特徴を以下に列挙する。

- ・測定箇所：前頭葉(国際 10/20 法(Fp1))の一点のセンサー
- ・耳に基準点を設けている
- ・ドライセンサー型 EEG モジュール
- ・センシングから解析までイヤパッド内チップで行う
- ・ほとんどのプロセッサや D P S で動作可能
- ・PC へのデータ転送は Bluetooth 通信を用いる
- ・512Hz でサンプリング
- ・1 秒ごとに FFT(高速フーリエ変換)をかけて各周波数成分を抽出

サンプリング周波数 512Hz であるため一秒間に 512 個の原脳波データを得る。このデータに FFT をかけて周波数成分を抽出し、データをデジタル信号化して PC にデータを送信する。これ以外にも送信されるデータがあり、poor_sig_lev(ノイズの強さ)・e-sense メーター(NeuroSky 社独自の指標)である attention(集中度)と meditation(瞑想度)も

データとして受け取ることが可能である。FFT の際の各周波数成分範囲は表1のとおりである。

表1. 周波数成分値域

タイプ	測定可能データ (Hz)	心理状態
δ波	0.5 - 2.75	夢を見ない深い睡眠、ノンレム睡眠、無意識
θ波	3.5 - 6.75	直感的、創造的、想起、空想、幻想、夢
Low α波	7.5 - 9.25	リラックス、ただし気だるくはない、平穩、意識的
High α波	10 - 11.75	旧 SMR (感覚運動リズム)、リラックスしているが集中している、統合的
Low β波	13 - 16.75	思考、自己および環境の認識
High β波	18 - 29.75	警戒、動揺
Low γ波	31 - 39.75	高次精神活動
Mid γ波	41 - 49.75	視覚情報処理

NeuroSky 社の簡易脳波計に対応したライブラリやアプリケーションがあり、研究や開発をすることがしやすい環境になっている。本研究のシステム環境には NeuroSky 社提供のアプリケーションを利用して脳波データの取得を行う。

4. 脳波状況と学習状態

脳波の波形は関連事象と共に観察すると精神状態の指標として用いることが出来るということは従来からの心理学や脳科学の研究結果から経験的にわかっている。人間の精神状態を観察するために、得られた脳波に対して離散フーリエ変換することで得られた α 波や β 波のパワースペクトルや、α 波や β 波の脳波全体に対する割合、および α と β 波の比率を測ることが有効とされている⁶⁾⁷⁾。一般的に α 波は安静時・覚醒時共に見られる波形だが、リラックス状態時には α 波の振幅が大きくなり、反対に緊張時には α 波の振幅が小さくなり β 波の出現が見られるなどの特徴がある。

特に β 波(13-30Hz)が思考状態と関連性が高いとして、知的作業と脳波の関係を調べた研究報告もいくつか存在している。中でも Giannitrapani らは知的作業と脳波の関係を調査し、知能テストを受けている最中の健常者の脳波を測定した⁸⁾。その結果 β 波の低周波成分が読解テスト・数学テスト・図形整理テスト中に優勢となり、それ以外のテスト中には優勢でなくなることがわかった。これは β 波が思考状態を推定する指標としてある程度有効であることを示している。

γ 波(31Hz-)は記憶作業中に反応を示す事が判明している。思考状態を推定する指標として有効である β/α との関連性はさほど見られない。また γ 波は筋肉や眼球の動きによって影響を受けやすいので識別するための慎重な信号の分離が必要不可欠となる。

θ 波は暗算を行ったりする上で、ワーキングメモリに関して反応がある。

4.1 ワーキングメモリ

ワーキングメモリとは前頭前野にあり、思考における重要な役割を果たしている。情報を一時的に保ちながら操作するための領域で、暗算や会話、思考能力等に影響する。例えば暗算の時に頭の中で数式を描いたり、人と会話する時、会話の内容を踏まえて理解しながら次の言葉を発するという動作は全てワーキングメモリが活動している。

また、ワーキングメモリが劣化すると物忘れなどが起こる。劣化はトレーニングで防ぐことが可能で、トレーニングで代表的なのが N-Back 課題である。

4.2 N-Back 課題

N-Back 課題とはワーキングメモリと呼ばれる“脳の一時記憶に関する能力”の実験、調査、測定に用いられる課題のことである。数字や文字、位置など簡単に覚えておけるものを n 個覚えた状態からスタートし、1 つ覚えては 1 つ忘れて、を繰り返しながら簡単なテストを続け、その成績でワーキングメモリの能力を測る。

5. 脳波計測実験

この実験の目的は、簡易脳波計装着時の認知作業における脳波と学習状態時の思考及び記憶の関係性を分析することである。よって認知プロセス中の脳波を測定し、採取した脳波と思考との関係や周波数特性を観察し、学習状態と脳波の相関関係を検討する。脳波計測は本研究室の学生数名に被験者として協力をお願いした。計測場所はゼミ室で行い、また十分な休憩時間を設けることで集中力を損なうことに配慮する。

被験者が PC と向かい合った状態で椅子に座り、簡易脳波計を装着した状態で指定の認知課題を行う。そのときの脳波を脳波取得システムにより逐次記録していく。その後、表計算ソフトにより各周波数パラメータの分散、各パワースペクトル量を比較分析する。

実験では各周波数帯パワースペクトルとセンサー感度を記録する。解析する際の前提条件としてセンサー感度が一番良好の時のみしか解析を行わない。また、稀にセンサー感度が一番良好の時でも、連続した安定したデータの中に明らかに数値がおかしい場合がある。これもノイズが発生していると判断して解析は省いている。

5.1 実験 I 記憶作業時の脳波分析

5.1.1 システム概要-脳波取得システム-

本研究では脳波を観察し実験を行うが、その前に脳波を

記録する脳波取得システムの構築をする必要があった。MindSet の API は脳波データを取得するだけで記録はできない。そこでまず脳波データを記録する Windows 用プログラムを Java で作成・実装した。図 2 に脳波取得システムの概略図を示す。

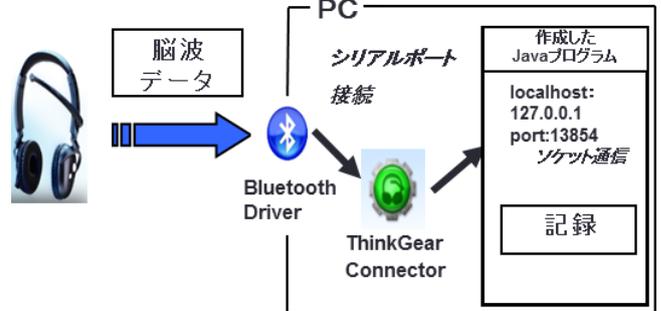


図 2. 脳波取得システム概略図

MindSet は BluetoothDriver を介して PC にデータを送信する。PC 内部からデータを取り出すには NeuroSky 社が提供するサーバプログラム (ThinkGearConnector) に対して TCP でアクセスする。自作した Java プログラムはサーバプログラムに対してソケット通信を行い、データの受信を行う。一秒おきにパケットが送信され、取得したパケットを解析することで、各周波数帯の数値データ、集中度、リラックス度、センサー感度を取り出すことが出来る。受信データはビクエンディアン方式のため、本システムで扱うことが出来るようにリトルエンディアン方式の浮動小数点形式でテキストファイルにログデータの書き込みを行う。

5.1.2 実験概要

- ・被験者：二十代男性 2 名 (理系大学生)
- ・計測時間：300 秒。
- ・認知課題：視覚の N-Back 課題(易)

認知課題を行い、記憶に関する周波数成分 low_{γ} との関連性を調べる。

5.1.3 実験手順

認知課題は視覚の N-Back 課題(易)として 3×3 マスの範囲で行う。連続して表示されるマスの位置を覚えて n 個前の位置を答える。答える度に新しいマスが表示されていく。正解すると 1 ポイント、不正解で -2 ポイント与えられる。10 ポイントになると Back する数が増え、逆に 0 ポイント以下になると Back する数が減る。1-Back の場合に 0 ポイントになっても変化はしない。

5.1.4 結果

(1) 実験結果

表 2 は被験者 A の取得した周波数成分全体の平均値と Back 数ごとに平均値を示す。図 3 は low_{γ} と $(\theta + \alpha)/10$ を Back 数ごとに区分してグラフを示す。同様に表 3、図 4 は被験者 B の平均値とグラフを示す。

表 2. 被験者 A の平均

被験者 A	$(\theta+\alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$	low_γ	$(\theta+\alpha)/10$
全体	1.519313	0.65212	0.75759
1-Back	1.413536	0.48508	0.64600
2-Back	2.919791	0.42949	1.02912
3-Back	1.876649	0.55389	0.73732
4-Back	1.967423	0.64110	1.07972
5-Back	1.203801	0.68442	0.65613
4-Back	1.044208	0.80779	0.67041
5-Back	1.517707	0.71996	0.59556

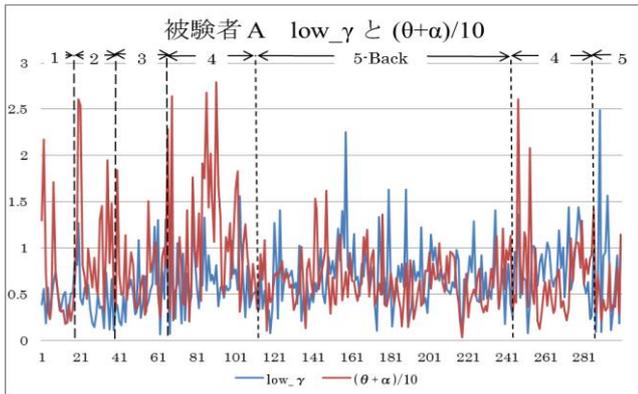


図 3. 被験者 A の low_γ と $(\theta + \alpha)$

表 3. 被験者 B の平均

被験者 B	$(\theta+\alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$	low_γ	$(\theta+\alpha)/10$
全体	1.238932	0.98762	0.89352
1-Back	1.318315	0.70915	0.54295
2-Back	1.024247	0.99008	0.64746
3-Back	1.501329	1.65401	1.60173
4-Back	1.362321	0.75920	0.84789
5-Back	1.219325	0.66215	0.63952
4-Back	0.906946	1.05416	0.71312
5-Back	1.321904	0.92247	0.91737
4-Back	1.139217	0.82575	0.76147
5-Back	1.219454	1.24023	1.09453

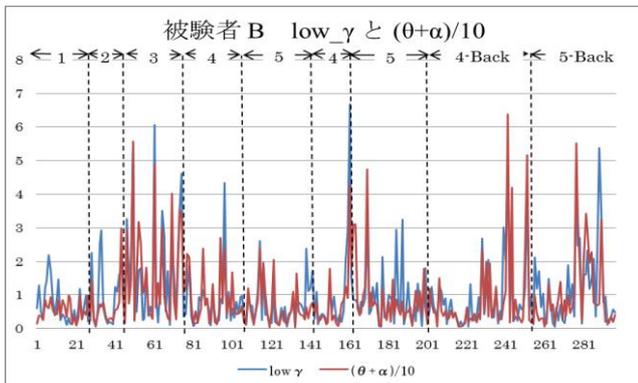


図 4. 被験者 B の low_γ と $(\theta + \alpha)$

(2) 結果分析・評価

実験結果を見てみると $(\theta + \alpha)/10$ と low_γ が同期し動きをしていた。 $(\theta/10)$ 単体でもある程度は low_γ と同期した形をしていたが、 $(\theta + \alpha)/10$ の方がより重なる部分が多かった。 また α 波と β 波が同期していた為に β/α が指標として有効だった事から、同期した 2 つの成分の比率 $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$ を求め、グラフ化してみた。 図 5 は $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$ のグラフを示す。

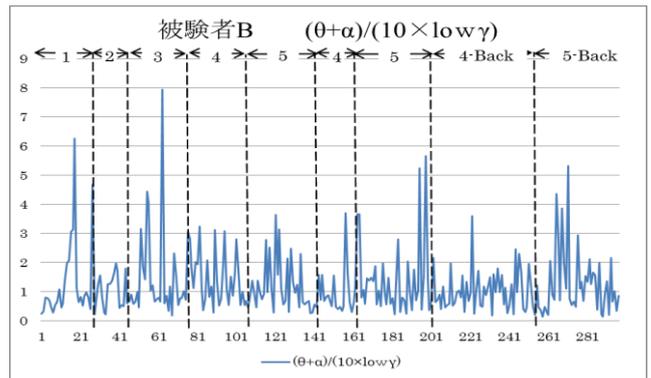
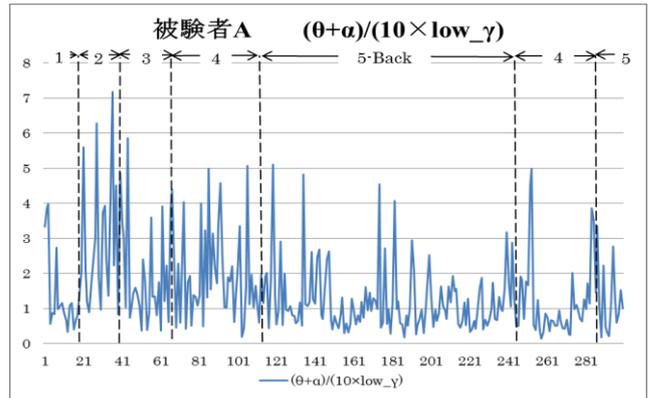


図 5. $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$

脳波は波長に個人差がある為、 $(\theta + \alpha)/10$ と low_γ を指標とした場合だと、比較する対象は同じ被験者のみでしか有効でない。しかし、 $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$ は波長の大きさに個人差があっても、一定の値として取得できる為、複数人での比較をするにあたり有効であると考えられる。

5.2 実験 II フィードバックシステムを用いた比較

5.2.1 脳波データフィードバック学習システム-

実験 I で使用した脳波取得システムをベースに分析・評価を行う機能を追加し、その結果から利用者へフィードバックをかけるシステムを作成した。 図 6 にフィードバックシステムの概略図を示す。

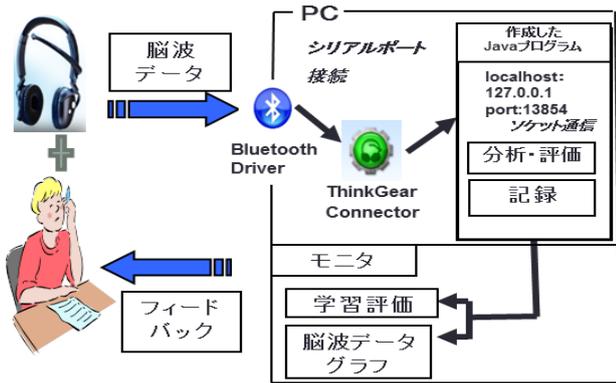


図 6. フィードバックシステム概略図

一定時間毎に指定されたデータの平均値を比較し、その増減により脳活動の活性度合いを判断し評価を行う。同様に一定時間ごとにグラフが表示される為、自身の脳波状態の把握が容易となった。

5.2.2 実験概要

- ・被験者：二十代男性 4 名（理系大学生）
- ・計測時間：認知課題終了まで、
- ・認知課題：視覚の N-Back 課題(難)

実験 I の結果より有効と考えられる成分を利用し、作成した評価システムの使用時と未使用時の 2 通りで認知課題を行い、比較する。

5.2.3 実験手順

サポートシステムは実験 I より $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{Low}_\gamma)$ を記憶力の度合いを推定する指標として 5 秒ごとに平均値を取り、これを比較する。平均値が連続で低下した場合に記憶能力の低下と判断され、単音と画面上にリスタートするよう指示が表示される。被験者は認知課題を即座に中断し、頭をリフレッシュさせてからリスタートをかける。

認知課題は視覚の N-Back 課題(難)として 3×3 マスの範囲で行う。実験 I との相違点は以下の通りである。

- ・4-Back 固定で行う。
- ・2.5 秒間隔でマスが表示される。
- ・50 回マスが表示されると終了する。
- ・新しく表示されたマスと n 個前に表示されたマスの位置が正しい場合のみ答える。

5.2.4 結果

(1) 実験結果

表 4,5,6 それぞれにはサポートの有無の正答率、 $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$ の平均値を示す。また図 7, 8, 9 は「サポート有り」、「サポート無し」、それぞれの 5 秒ごとの平均のグラフを示す。サポート有りのグラフには平均値を取得する度に比較し、前回より増加したか減少したかを分析、リスタートの指示をした場所を R として線で区分した。サポート無しのグラフに表示されている R については指示があった場合の位置として記載している。

表 4. 被験者 A の正答率と $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$

	サポート	正答率	$(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$
被験者 A	無し	42%	0.79683
	有り	56%	0.89894

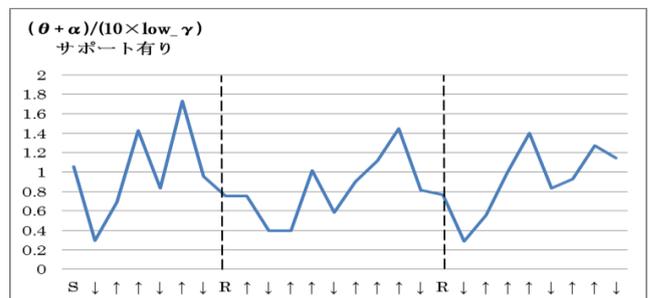
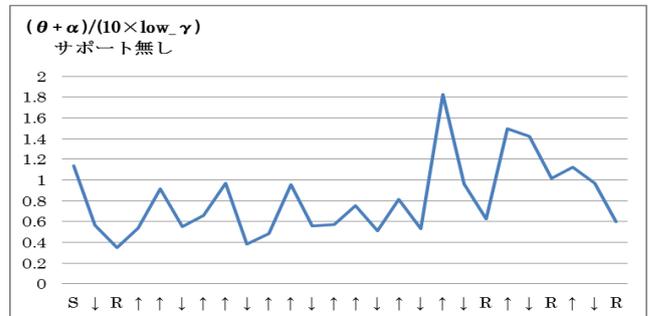


図 7. 被験者 A の $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$ グラフ

表 5. 被験者 B の正答率と $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$

	サポート	正答率	$(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$
被験者 B	無し	36%	4.17965
	有り	60%	4.10338

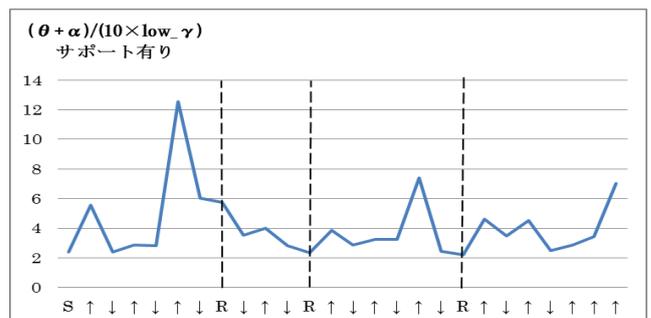
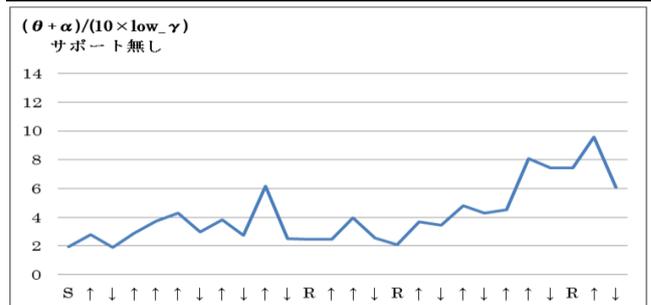


図 8. 被験者 B の $(\theta + \alpha)/(10 \times \text{low}_\gamma)$ グラフ

表 6. 被験者 C の正答率と $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$

	サポート	正答率	$(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$
被験者 C	無し	38%	0.80107
	有り	50%	1.16837

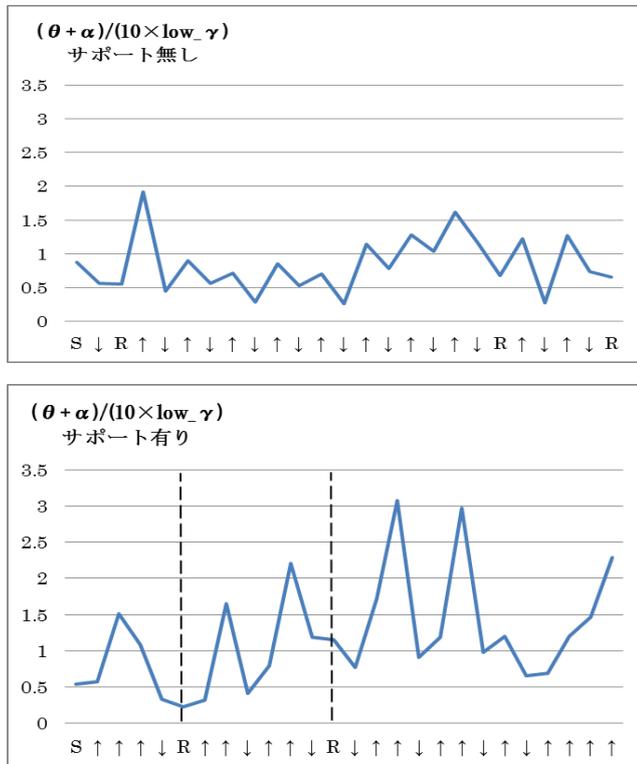


図 9. 被験者 C の $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ グラフ

(2) 結果分析・評価

サポートシステムの有無の比較の結果、サポート有りの正答率が高くなった。サポート有りでリスタートをかけると平均値が上昇する傾向が多かった。実験後にアンケートを行ったところ、リスタートの指示が出た前後に被験者の記憶作業が追いついていない状態にあったという回答が多かった。結果、リスタートの指示が出たタイミングが良かったため、効率よく課題に取り組み正答率が上がった。

また、実際に実験を行った被験者の中には例外としてサポート無しの方が良い結果になった者もいた。これは調査したところ、リスタートの指示されるタイミングが遅過ぎて逆にサポートシステムが邪魔になっていた事が解った。

6. 総合評価と考察

(1) 実験 I では $(\theta + \alpha) / 10$ と low_γ が同期した動きをしていた事が判明した。学習状態を推定する指標として α 波と β 波の比率 β / α が有効である事から、同様に同期した $(\theta + \alpha) / 10$ と low_γ の値の比率は記憶作業に関する指標として有効である可能性がある。比率を用いる利点は、波長の大きさに個人差のある脳波から一定の値を取得できる為、複数人での比較をするにあたり有効であると考えられる。

以上の事から記憶作業中の脳の活性度合いを推定する指標として $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ が有効である可能性がある。

(2) 実験 II では正答率がサポート有りの方が高くなるという結果が出た。アンケートの回答とリスタートの指示が出たタイミングから被験者の記憶容量に $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ が関係しているのではないかと考えられる。その為、リスタートをかけると $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ の平均値が増加する傾向が多かったのは、記憶領域を初期化して容量の確保を行った為に再び増加したのだと考えられる。

以上のことから $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ を記憶力の度合いを推定する指標として有効であり、またフィードバックサポートシステムとしての有用性の確認ができた。

7. まとめ

本論文では記憶作業に関する反応が low_γ と、ワーキングメモリと呼ばれる短期記憶領域で反応を示している θ 波の 2 つの波長の関係性を調べ、その特性を利用したサポートシステムを構築、実際に脳波計測において学生の記憶作業中の脳波データの相関関係を実験により比較分析した。

実験の結果、 $(\theta + \alpha) / 10$ と low_γ が同期した動きをしていた事が判明した。また、比率の $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ を指標としたサポートシステムを用いた実験により、サポートにより、正答率が向上した結果を出したことから、 $(\theta + \alpha) / (10 \times \text{low}_\gamma)$ は記憶力の度合いを推定する指標として有効であり、またフィードバックサポートシステムとして効果が期待できると考えられる。尚、本研究は科学研究費補助金「24501219」の補助を受けている。

参考文献

- 1) 坂本佑太, 吉田幸二, 宮地功, “簡易脳波計による学習状態の思考比較分析”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)2012 シンポジウム論文集, pp. 724 - 729, 2012
- 2) 川崎真弘, 山口陽子 “主観的な好みに影響されたワーキングメモリの神経機構” 電子情報通信学会論文誌 2011/9 vol.J94-D NO.9
- 3) 平井章康, 吉田幸二, 宮地功, “簡易脳波計による学習時の思考と記憶の比較分析”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)2013 シンポジウム論文集, pp. p1441~p1446, 2013
- 4) 北城圭一, 山口陽子, “脳波位相同期解析による視知覚の研究”, Vision 19, No.4, pp193-200, 2007
- 5) Neuro Sky, Inc. <http://www.neurosky.com/>
- 6) 上野, 石田, 松田, 福嶋, 中道, 大平, 松本, 岡田: “脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価” ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.10, No.2, pp.233-242, (2008)
- 7) Kouji Yoshida, Fumiaki Hirai, Yuta Sakamoto and Isao Miyaji: “Evaluation of the change of work using simple electroencephalography”, KES'2013, Proceedings, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, pp.1817-1826 (Sept. 2013)
- 8) D.Giannitrapani: “The role of 13-hz activity in mentation”, The EEG of Mental Activities, pp.149-152, 1988.