

脳波を用いた基礎的な学習課題解決プロセスの生体情報工学的研究

山口 有美 (和歌山大学経済学部) 山口 晴久 (岡山大学教育学部)

本研究は、基礎的な学習課題(計算、幾何証明、漢字の書き取り、ワープロ入力作業、マウスによる描画作業)を紙上、VDT (Visual Display Terminals) の学習メディア提示形態で被験者に行わせ、脳波の周波数分析を用いて、人間の学習認知状態における心理負荷量を教材知識、教授メディアの質の違いから比較分析した。被験者を用い、 α ブロッキングを基準とした脳波の周波数解析実験を行った。その結果、開眼安静時を基準として各学習時の学習課題解決における学習者の心理負荷量を考察したところ、各学習作業において α 波の出現量比はワープロ入力、漢字問題、計算問題、マウスによる描画問題、幾何の順に低くなる、また学習の過程で脳波性状が大きく変化する、学習での脳波成分の個人差が大きい、等の知見を得た。

キーワード：脳波，メディア，基礎的な学習課題解決，VDT， α ブロッキング

1. はじめに

人間の体は一種の発電機であり、約700ワットの発電を行いながら生命活動を行っている。この電気エネルギーは、脳で発生する命令を、全身に伝えるニューラルネットワークの信号に変えて、精神的活動や肉体的活動に利用している。この脳の情報処理活動は複雑で、その特性を分析することは今日の科学の重要な課題となっている。脳の中での神経回路網の動きは電位の変動として表れ、これが脳波として観測できる。脳波は、人間の認知的領域や精神的運動領域などの変動に対応して周波数が変化することから、精神障害や情緒障害などの判定に用いられてきた。測定技術も向上し、脳のどの部分が人間の知的情報処理活動においてどのような機能と役割を果たしているのかが、徐々に明らかにされつつある。これまでこのような研究は、医学や臨床生理学の分野を中心に研究されてきた。しかし、医療や臨床分野における患者の診断や治療は、その生体の認知過程を解明し、実用的利用をめざしているという点で、教育分野における学習者の認知過程分析と似た特徴をもっている。ところが、教育の分野における脳波と学習との相関を調べた研究は非常に少なく、最近教育工学分野での研究が始まったばかりである¹⁾。これまでの先行研究としては、嘉悦らは記憶想起への α 波の影響について調べている²⁾。山本らはVDT作業時の脳波変動について調べている³⁾。百らはコンピュータゲームを行っている場合についてFm θ 波を測定している⁴⁾。また近年このような教育への応用研究が注目され増加してきている^{5) 6)}。

しかし、学校教育における学習課題のような多様で複雑な質的体系を持つ学習状態についての資料は乏しいのが実状である⁷⁾。そこで本研究では前報⁸⁾に引き続き、生理心理学的な研究手法が、今後の教育という分野において何をなすうかを探るための基礎的な研究として、学習者に、机上作業、VDT作業で、教材知識として典型的な代表的学習教材(計算、幾何証明、漢字の書き取り、ワープロ入力作業、マウスによる描画作業)を学習させた。そして、学習者の精神的負荷の大きさを比較する見地から、このときの学習者の心理的安定及び緊張状態を比較する基準として、脳波の周波数成分のうち、 α 波の減弱に注目し、 α ブロッキング⁹⁾を基準とした脳波の周波数解析を行った。

2. 実験

2-1. 実験目的

これまで脳波の研究は、医学や臨床生理学の分野でその身体の瞬時の反応より認知特性を解明し人間の生理機構の解明をめざしているという点で、微視的研究である。ところが、教育の分野における学習との相関を調べる研究は、臨床生理学の実験より長期的な刺激であり、経時的学習認知行為の質に影響を受ける巨視的研究である。そこで本研究では、学習教材の質に着目し、さまざまな種類の学習の中で、特に学校教育でよく用いられる知識処理として、基礎的で代表的な課題学習を選んだ。というのは、代表的学習行動(知識処理エレメントと考えられる)時の脳波を調べた研究は乏しく、その一方で計算や

幾何や漢字などの学習は我々の生活と密接に関わっており、学校における学習の中心的役割を果たしているという点で重要だからである。しかしこの研究の難しさは、その学習課題水準の設定をどの段階とするか、実験状態をどのように設定するかによって脳波性状が異なる可能性があることである。以上のことから、本研究では典型的教材で実験を行った。被験者を大学生とし、大学生から見て易しすぎず難しすぎないレベルの学習行為であることを基準として学習教材を選定した。学習手法を広く俯瞰し、学習という分野において汎用的で基礎になる学習行為という視点から、教材知識のうち典型的な学習行為である計算、幾何証明（合同、相似）、漢字の書き取り、ワープロ入力作業（和文、英文）、マウスによる描画作業を選定し、これらを学習させたときの脳波の性状について比較した。

2-2. 実験

2-2-1. 実験環境の設定

実験はW大学教育学部の情報実験用にコーディネートされた情報実験室で行われた。前段階に行なった測定では、実験環境について周りの空間から受ける電磁波の影響（=アーチファクト）対策として十分な配慮を行っていない状態であったため、実験結果に信頼感を得られなかった。よってアーチファクトや誘電ノイズを避けるため実験環境について先の実験⁸⁾よりさらに改善をはかり、以下のような対策を行った。

- 1) 照明と脳波計以外の全ての電源（コンピュータの電源、プリンタの電源、換気扇の電源、エアコンの電源、携帯電話の電源）を切って、防磁カーテンをつけ電気機器のアースをしてから実験を行なう。
- 2) 床に防磁シートを貼り、防磁シートから配線した銅線を椅子の座面に取り付けて、被験者にその上に座ってもらい実験を行なう。
- 3) 被験者に付けている皿電極を被験者から外れにくくするため、ティッシュペーパーの切れ端を皿電極の上に付ける。また、皿電極の外れやすい手首や耳朶には、テープを用いて張り付け、皿電極を外れにくくする。
- 4) 被験者には静電気を発しにくい自然繊維の服装を身につけてもらう。
- 5) 導電作用のあるピアス、指輪、腕時計など金属類は外してもらう。

以上により、実験環境から受ける周りのアーチファクトの影響をある程度押さえることができた。

2-2-2. 被験者に提示する教材の設定

特に学校教育でよく用いられる代表的な課題学習として、次のような課題学習を用意し健常な大学生の被験者に行なわせた。（問題は付録に収録）

（1）から（7）にその概要を示す。

（1） 計算：連続的に数を書き込んだ数列の左の数字から右の数字を引かせる引き算の演算課題。

（2） 幾何：三角形の合同条件を使う証明問題で、記述で解答させる課題。問題レベルは中学2年生程度。

（3） 幾何：三角形の相似条件を使う証明問題で、記号で解答させる課題。問題レベルは中学2年生程度。

（4） 漢字の書き取り：問題レベルは、大学生を被験者としたいくつかの予備実験から、ある程度の精神活動のレベルを必要とする点で中学2年生程度が妥当と考え、中学2年生用の漢字問題集から問題を抜粋した。（ミニドリル 中学2年漢字 教育書籍）

（5） ワープロ入力作業：ひらがな文を提示し、ワープロソフトを使いローマ字入力でかなを表示し、日本語のかな漢字変換機能（MS-IME）を用いて文章を作成する課題で、変換箇所には下線を引いた。なお使用した文章は日本国憲法前文の和文である。

（6） ワープロ入力作業：英文を提示し、ワープロソフトを使い英文をそのまま入力する課題。なお使用した文章は日本国憲法前文の英文である。

（7） マウスによる描画作業：グラフィックソフト上で、マウスを用いて、正方形の外周になるべく等間隔に次々と正方形を書き続ける課題。なお図の大きさは特に指定しない。

（1）～（4）は机上での紙とペンによる作業、（5）～（7）の作業はCRT画面を見ながら行なうVDT作業である。

2-2-3. 被験者について

実際に実験を行った被験者は合計15人いるが、以下のそれぞれの解析に用いた人数とは異なる。というのは、アーチファクトなどにより正確なデータが取れなかった部分のある者のデータは各解析時に

除いたためである。各解析時の被験者数については、後の実験方法の説明時に述べる。

2-3. 実験方法

測定は、まず脳波測定の標準的方法である国際10-20法⁷⁾によって、脳波電極をつけた状態で被験者に学習機に向かい、いすにすわって静粛にしてもらう(この状態を安静状態という)。まず閉眼状態(すなわち目を閉じた状態)で、1分半精神的に安定した状態になってもらう。次に開眼状態(すなわち目を開けてそのまま正面を見ている状態)で1分半静粛にしてもらう。これは、開眼によって目から視覚情報のみを得ているが、何も作業課題を与えられていない無作業でリラックスした開眼安静時の脳波を測定するためである。次に、先に示した各課題をそれぞれ約1分半ずつ(1)から(7)の順に行なってもらい。そして各状態における脳波、心拍数を測定し、各測定結果の違いについて比較した。なお実験機器として、デジタル多用途脳波計(日本電気株式会社製SYNAFIT EE2514 20900BZZ00985000)を用いた。

また解析方法として

(I) キッセイコムテック株式会社製 EEGマッ

ピング研究用プログラムATALAS FOR WINDOWS VER2.3(シリアルNo. KF1609)を用いてトポグラフィー図を出し、そこから脳波分布を比較する。トポグラフィー図として、各波の最大値をすべて10 μ Vに設定したものと、この図だけでは違いが見つかりにくかったため、各波ごとに最大値を決定したものをだし、この2種類の図からそれぞれ比較した。また、この図は各課題開始から10秒後を目安に45秒間の範囲の測定値を抽出した。比較の方法として、各被験者ごとに開眼時を基準として各課題時におけるトポグラフィー図から読み取ることができる各波の増減を表計算ソフトExcel(以下Excel)を用いて表にした。なお、この解析の対象となった被験者は8人(Sa1、Y、U1、Su、O、Tn1、N1、N2)である。

(II) 測定した脳波から、各波の含有率(%)と含有量(μ V)を、各波ごとの変化をグラフにした。なお、この解析の対象となった被験者は8人(Sa1、Y、U1、Su、O、Tn1、N1、N2)である。実験においては矯正を含めて1.0以上の視力を持つ被験者を選んだ(表1参照)。

表1: 実験の被験者

被験者名	生年月日	性別	備考
Sa1	S. 5 0/7/2 6	男	教育学部4回生、実験時に少し緊張していた。
Sa2	S. 5 0/7/2 6	男	教育学部4回生
Su	S. 5 5/3/2 1	男	実験中、少し話が多かった。システム工学部2回生
Tk	S. 5 2/9/4	男	同じ研究室であるため、リラックスしていた。教育学部3回生
M	S. 5 0/1 1/5	男	寡黙に課題を解いてくれていた。教育学部4回生
J	S. 5 1/7/1 9	男	文系の人で数学系の課題に抵抗を感じていた様だった。教育学部生
N1	S. 5 3/2/3	男	ワープロ入力が得意であった。システム工学部2回生
N2	S. 5 2/3/1 3	女	アルバイトで塾の講師をしているため、今回の教材レベルでは簡単すぎた模様。教育学部4回生
U1	S. 5 3/7/3	男	実験を行った時間中、落ち着いていた。
U2	S. 5 3/7/3	男	経済学部2回生
Tn1	S. 5 3/1/2 2	女	比較的リラックスしていた。
Tn2	S. 5 3/1/2 2	女	教育学部3回生
O	S. 5 2/6/3	女	文系の人で数学系の課題が苦手であった。教育学部3回生
Y	S. 5 2/1 0/3 0	女	クラブの時間を気にしていたため、少し気が散っていた。システム工学部3回生
I	S. 5 2/3/1 7	男	同じ研究室でリラックスしていた。教育学部4回生

(Ⅲ) 課題開始からの10秒間と解答中の10秒間と課題終了直前の10秒間の3段階の心拍数を測定し比較した。なお、この解析の対象となった被験者は6人(Sa1、Y、U1、Su、N1、N2)である。

(Ⅳ) (Ⅰ)と(Ⅱ)と(Ⅲ)の解析から十分な考察が出来なかったため、ここでは学習時の精神的負担の状態ともっとも関係した波といわれる α 波の全脳波に占める比率、すなわち α ブロッキングを精神負荷の大きさを表す指標として比較した。ここで α ブロッキングについて説明する。人間は目を閉じてリラックスしていると後頭部を中心に α 波が現れるが、目を開けてものを見たり何か行動しようとする、 α 波が減弱して β 波が増加すると言われている。つまり β 波が増加する分だけ相対的に脳波量全体に占める α 波の比率が下がる。すなわち精神的に負荷がかかる活動をすればするほど、 α 波の比率が下がるという現象が起きる。これを α ブロッキングという。この α ブロッキングについて比較するため、各被験者ごとに各課題ごとの α 波の総量を出し、表にまとめた。そしてこの表を元に各被験者の開眼時を基準として、各被験者ごとのデータの相対比較による各学習状態別の α 波増減比率を出し、表にまとめた。そしてこの表を元に被験者ごとの各学習時の精神的状態の変化を α 波の増減の割合から比較した。そしてこれを被験者集団全体で統計値としてその増減比率を平均化し、学習課題ごとの α 波の占める割合の変化率の差を求めた。なお、この解析の対象となった被験者は9人(N2、Su、U1、U2、Tk、Tn2、Sa2、M、J)である。

(Ⅴ) 眼球運動による脳波成分へのアーチファクトの影響が大きいことを考慮し、前頭部の4カ所(Fp1、Fp2、F3、F4)の脳波成分を除いた電極位置からの α 波の総量を出し、表にまとめた。この表を元に(Ⅳ)と同様のことを行なった。なお、この解析の対象となった被験者は9人(N2、Su、U1、U2、Tk、Tn2、Sa2、M、J)である。また、確認のため再度追試実験を行ったが、その解析の対象となった被験者は4人(Tn2、Sa2、M、J)である。

(Ⅵ) また新たに ATALAS のマッピングデータの分析結果から、アーチファクトと考えられる部分をすべて取り除いたデータを抽出し、なおかつ眼瞼からの影響が大きいと考えられる前頭部の4カ所(Fp1、Fp2、F3、F4)を除いた電極位置からの α 波の総量を出し、表にまとめた。この表を元に(Ⅳ)と同様のことを行なった。なお、この解析の対象となっ

た被験者は9人(N2、Su、U1、U2、Tk、Tn2、Sa2、M、J、I)である。また、実験上アーチファクト混入の可能性があり、追試実験が必要であった被験者は4人(Sa2、M、J、I)である。

2-4. 実験結果

2-4-1. 結果分析の方法

まず、各被験者ごとに閉眼時、開眼時、各課題ごとの各波の含有率(%)と含有量(μ V)について調べた。

次に、各被験者ごとに、開眼時と各課題作業時の平均心拍数について表にまとめた。その表が表2である。

次に各被験者ごとの開眼時と各課題作業時の α 波の総量を出し、表3のようにまとめた。そして、この表から各被験者の開眼時を基準にして各課題時の α 波の相対的な増減比率を出し表にまとめた。その表が表4である。

次に、以上の結果をみて眼瞼からの影響が出現し、脳波性状に大きな影響を与えている(=元来、人間の知的行動の源泉となる情報入力には視聴覚器官から入力されるがその8割が視覚からであるといわれており視覚による刺激電位の変化が脳波分析においては眼瞼周辺部、前頭部で支配的であるといわれている。)ことが明白であるという反省を踏まえて、眼球運動による影響を考慮し、前頭部の4カ所(Fp1、Fp2、F3、F4)を除いた電極位置からの α 波の総量をソフト解析によって計算し、表にまとめた。その表が表5である。次に、この表から各被験者の開眼時を基準にして各課題時の α 波の相対的な増減比率を出し、表にまとめた。その表が表6である。

次に、以上の解析におけるアーチファクト混入の反省を踏まえ、ATALASからアーチファクトと考えられる部分をすべて除いたデータを抽出し、なおかつ前頭部の4カ所を除いた電極位置からの α 波の総量を出し、表にまとめた。その表が表7である。そして、この表から各被験者の開眼時を基準にして各課題時の α 波の相対的な増減比率を出し、それを表にまとめた。その表が表8である。

2-4-2. 結果データ

トポグラフィー図等は資料が膨大であり、被験者への実験結果の全てを示すことは紙幅の制約上難しく、実験結果データについては統計的に整理した部分を次に示す。

表 2 : 心拍数

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワープロ (和)	ワープロ (英)	描画
Sa1	72	78	72	72	84	78	78	78
U1	66	72	66	66	66	66	60	60
Su	78	78	72	72	72	72	78	72
N1	66	66	60	60	66	60	66	66
N1	84	90	90	84	84	84	84	78
Y	84	84	90	90	90	90	90	84

表 3 : 解析 (IV) における α 波の総量

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワ (和)	ワ (英)	描画
N1	103.7	139.8	129.9	176.5	171.8	137.5	136.4	142.7
Su	130.6	138.8	105.6	116.4	113.6	145.4	127.9	106.4
U1	164.2	110.4	120.7	120.7	106.6	120.2	133.7	103.5
U2	107.7	119.4	113.4	123.2	131.5	129.6	204.2	118.6
Tk	105.2	118.9	184	137.8	162.3	118.5	141.5	101.1
Tn2	121.2	184.5	167.5	215.5	200.6	243.9	172.4	146.8
Sa2	286.2	138.3	151.3	142.3	155.2	129.2	121.2	168.8
M	78.7	119.3	106.5	112.5	101.3	147.6	114.8	90.9
J	136.1	148.7	106.6	113.1	145.5	120.6	158.1	127.9

(単位: μV)

表 4 : 開眼時を 100% とした α 波の増減比率

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワ (和)	ワ (英)	描画
N2	100%	135%	125%	170%	166%	133%	132%	138%
Su	100%	106%	81%	89%	87%	111%	98%	81%
U1	100%	67%	74%	74%	65%	73%	81%	63%
U2	100%	111%	105%	114%	122%	120%	190%	110%
Tk	100%	113%	175%	131%	154%	113%	135%	96%
Tn2	100%	152%	138%	178%	166%	201%	142%	121%
Sa2	100%	48%	53%	50%	54%	45%	42%	59%
M	100%	152%	135%	143%	129%	188%	146%	116%
J	100%	109%	78%	83%	107%	89%	116%	94%
合計	900%	994%	965%	1032%	1049%	1073%	1082%	878%
平均	100%	110%	107%	115%	117%	119%	120%	98%

表 5 : 解析における α 波の総量

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワ (和)	ワ (英)	描画
N1	81.5	110.5	102	139.8	139.8	112.4	106.4	109.5
Su	101.2	108.1	84	90.8	90.1	115.7	101.2	82.1
U1	125	86.9	96.2	95.4	84.3	92.9	104.5	81.9
U2	85.5	94	90.6	97.6	106.9	100.1	164.3	94.6
Tk	89.2	96.2	150.7	110.5	133.8	96.5	111.6	80.6
Tn2	102.8	153.8	144.6	172.7	168.8	208.1	142.4	124.6
Sa2	152.1	108.4	117.8	115.9	120.3	104.4	95.5	134.2
M	95.8	96	84.8	90.5	83.7	121.6	87.2	72.8
J	109	117.6	86.4	89.4	114.6	98.2	125.3	101.3

(単位: μV)

表 6 : 開眼時を100%としたα波の増減比率

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワ(和)	ワ(英)	描画
N1	100%	136%	125%	172%	172%	138%	131%	134%
Su	100%	107%	83%	90%	89%	114%	100%	81%
U1	100%	70%	77%	76%	67%	74%	84%	66%
U2	100%	110%	106%	114%	125%	117%	192%	111%
Tk	100%	108%	169%	124%	150%	108%	125%	90%
Tn2	100%	150%	141%	168%	164%	202%	139%	121%
Sa2	100%	71%	77%	76%	79%	69%	63%	88%
M	100%	100%	89%	94%	87%	127%	91%	76%
J	100%	108%	79%	82%	105%	90%	115%	93%
合計	900%	959%	946%	996%	1039%	1040%	1039%	860%
平均	100%	107%	105%	111%	115%	116%	115%	96%

表 7 : アーチファクトを除いたα波の総量

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワ(和)	ワ(英)	描画
N1	102.2	110.5	102	139.8	139.8	112.4	106.4	109.5
Su	101.2	108.1	84	90.8	90.1	115.7	101.2	82.1
U1	125	86.9	96.2	95.4	84.3	92.9	104.5	81.9
U2	85.5	94	90.6	97.6	106.9	100.1	128.9	94.6
Tk	89.2	96.2	150.7	110.5	133.8	96.5	111.6	80.6
Sa2	152.1	108.4	117.8	115.9	120.3	104.4	95.5	134.2
M	95.8	96	84.8	90.5	83.7	121.6	87.2	72.8
J	109	117.6	86.4	89.4	114.6	98.2	125.3	101.3
I	95.7	64.8	67.4	70.8	72.4	76.9	68.4	74.2

(単位: μV)

表 8 : アーチファクトを除き開眼時を100%としたα波の増減比率表

	開眼時	計算	合同	相似	漢字	ワ(和)	ワ(英)	描画
N1	100%	108%	100%	#137%	#137%	#110%	#104%	#107%
Su	100%	107%	83%	90%	89%	114%	100%	81%
U1	100%	70%	77%	76%	67%	#74%	#84%	#66%
U2	100%	110%	106%	114%	125%	117%	151%	111%
Tk	100%	108%	#169%	#124%	150%	108%	125%	90%
Sa2	100%	71%	77%	76%	79%	69%	63%	88%
M	100%	#100%	#89%	#94%	87%	127%	91%	76%
J	100%	108%	79%	82%	105%	90%	115%	93%
I	100%	68%	70%	74%	76%	80%	71%	78%
合計	900%	849%	850%	868%	916%	890%	904%	789%
平均	100%	94%	94%	96%	102%	99%	100%	88%
#即排除後 平均	100%	94%	85%	85%	97%	101%	102%	88%

2-5. 考察

まずトポグラフィ図（紙幅制約上省略）から、閉眼時に比べて開眼時では α 波が減弱していることがわかる。これは眼球から受ける外的刺激が作用するためと考えられる。次に（1）から（7）までの各学習実験時の相対的な違いを比較する方法であるが、基準となるのは安静開眼時と考える。それは人間が学習を行っていないリラックス状態時に相当するからである。まず（1）～（4）のグループすなわち紙と鉛筆での作業と（5）～（7）のグループすなわちVDT作業で比較する。図で（1）～（4）に比べて、（5）～（7）ではデルタ波とシータ波の前頭部が増加している。しかし開眼時中にデルタ波が増加するという事はありえない事で、アーチファクトが前頭部で増加した結果と考えられる。これはVDT作業で、必然的に眼球を通して脳に与えられる光の刺激による影響と、原稿とCRT画面を交互に見なくてはならないことから、眼球運動が激しいことを示す。この状態を長時間続ければ眼精疲労が激しく、疲れやすいことが予想される。

表2の心拍数の解析からは、各被験者の心拍数の出現方法に個人差が大きく、ここでは有意な差異を示す傾向を導くことができなかった。その理由としては、心拍数は経時変化の時間遅れがあるにも関わらず、今回の実験では、被験者の疲労を考慮して一つの学習を行わせた時間数が1分30秒と比較的短時間の測定であったこと、7種の学習を次々行わせたので、先の学習との刺激の差異が混在したことが考えられる。今後さらに実験方法を改善してゆかねばならない。

次に、表3から、同一の学習刺激に対しても、脳波の出方は個人差が非常に大きい、また α 波が優位に出現する人と出現しても少ない人がいることがわかる。これは各教材に対する各学習者の指向性（パーソナリティ）、適性の違いや個人間でも脳波の出力特性に違いがあることが考えられる。

また、この結果の α 波の増減比率表（表4）から、統計結果全体から見た特性を考察すると、閉眼時を基準として、計算では α 波が平均10%増加した。合同条件を用いた証明問題では α 波が平均7%増加し、相似条件を用いた証明問題では α 波が平均15%増加した。幾何証明では、個人差はあるが、全体として計算より α 波の割合が増加した。よって計算よりも幾何の証明の方がリラックスして課題に取り組んでいると考えられる。また、合同証明と相似

証明を比較すると、合同証明より相似証明のほうが α 波の出現量比が増加している。これは合同証明が記述で解答させる問題であるのに対して、相似証明は記号で解答させる問題であったため、答えやすかった可能性があると考えられる。漢字の書き取りでは α 波が平均17%増加し、幾何証明に比べて増加率は高くなった。これは中学2年生用の問題集から抜粋した問題であるため、それほど難しいレベルであったこと、また漢字は記憶から取り出すだけの単純作業で、幾何の証明のような定理を用いた手続きの知識運用が必要でないため、比較的解答しやすかったことが考えられる。これらについては、漢字テストの難度を変えた追試実験がさらに必要である。ワープロ（和文）とワープロ（英文）は、VDT作業のうちでもワープロ課題の質的な違いを表す。ワープロ（和文）は問題文を変換して漢字かな混じり文を作成する課題で、キーボード上から入力した文字を必要な文節に区切り、漢字に変換するという習熟度に関する課題である。この課題では α 波出現の個人差が大きく、実験後に行った被験者のワープロ習熟度の調査との比較から、ワープロ入力習熟者の α 波の割合が最大101%増加し、非習熟者の α 波の割合が最大55%減少するという結果になり、平均では19%増加した。ワープロ（英文）は原稿どおり英文字を入力する作業である。この作業でも個人差が大きく、ワープロ入力習熟者ほど α 波の比率が高くなった。開眼安静時に本当にリラックスしていたかが大きな問題であるが、ワープロ入力習熟者で最大90%増加し、非習熟者で最大58%減少し、平均では20%増加した。この結果は α 波がリラックス度を表すという点で、同じ種類の学習でも、その学習に対する習熟が心理を変化させることを表す知見であると言える。またワープロ入力作業の精神負荷量は、日本語入力と英文入力で区別して考えるべきであることがわかる。よってワープロ入力作業では α 波の出現量において個人差が大きく、被験者のワープロ習熟履歴との比較により、特に慣れが学習者をリラックスさせることが定量的に示された。マウスによる描画作業では、 α 波が平均2%減少した。同じVDT作業でもワープロ入力では α 波の出現量比が増加し、マウスによる描画作業では減少した。

次に、表5から、脳波の出方は α 波が優位に出現する人と出現しても少ない人がいることがわかる。 α 波の増減比率表（表6）から考察すると、開眼時

を基準として、計算では α 波が平均7%増加した。合同条件を用いた証明問題では α 波が平均5%増加し、相似条件を用いた証明問題では α 波が平均11%増加した。合同証明と相似証明では、個人差はあるが、全体として計算より α 波の割合が増加した。よって、一般に学習者は計算よりも幾何の証明の方が、リラックスして課題に取り組んでいると考えられる。また、合同証明と相似証明を比較すると、合同証明より相似証明のほうが α 波の出現量比が増加している。これはこの出題形式では、合同証明は記述で解答させる問題であるのに対して、相似証明は記号で解答させる問題であったため、答えやすかったことが考えられる。漢字の書き取りでは α 波が平均15%増加し、合同証明と相似証明に比べて増加率は高くなった。これは中学2年生用の問題集から抜粋した問題であるため、それほど難しくないレベルであったこと、また漢字は記憶から取り出すだけの単純作業で、幾何の証明のような定理を用いた手続きの知識運用が必要でないため、比較的解答しやすかったことが考えられる。ワープロ入力（和文）では個人差が大きく、実験後に行った被験者のワープロ習熟度の調査との比較から、ワープロ入力習熟者の α 波の割合が最大102%増加（Tn2）し、非習熟者の α 波の割合が最大31%減少（Sa2）するという結果になり、平均では16%増加した。ワープロ入力（英文）でも個人差が大きく、ワープロ入力習熟者ほど α 波の比率が高くなった。開眼安静時が本当にリラックスしていたかが大きな問題であるが、ワープロ入力習熟者で最大92%増加（U2）し、非習熟者で最大37%減少（Sa2）し、平均では15%増加した。この結果は先の表4と同様に、同じ種類の学習でもその学習に対する習熟が人間をリラックスさせることを表す知見であると言える。また、同様に、ワープロ入力作業の精神負荷は、日本語入力と英文入力で区別して考えるべきであることがわかる。よってワープロ入力作業では α 波の出現量において個人差が大きく、被験者のワープロ習熟履歴との比較により、特に慣れが学習者をリラックスさせることが示された。マウスによる描画作業では α 波が平均4%減少した。同じVDT作業でもワープロ入力では α 波の出現量比が増加し、マウスによる描画作業では減少した。これはワープロ入力では問題（定形課題）を解こうという意識が低いと考えられ、その反面、マウスによる描画作業（不定形課題）では丁寧に書こうという意識が一種の緊張

状態を招き、このことにより α 波が減弱した事が考えられる。

以上のことは表4とほぼ同様の傾向といえる。

しかし、この解析は眼球運動の影響によると思われるアーチファクトが多く入ったデータを元に考察したため、次に示す、表7、表8のアーチファクトを除去したデータによる検討の方が確度が高いと考えられる。

次に、表7から、脳波の出方は個人差が大きい α 波のみに限定して考えると α 波の総量には個人的な違いもあるが、人が緊張すると α 波の出現が抑制される傾向が明白である。表7の α 波の増減比率表（表8）から考察する。この表のうち#を付けた数値は、アーチファクトが混入しているデータであると判断されたため取り除き、残りの数値で平均を出した。表から開眼時を基準として、計算では α 波が平均6%減少した。合同条件を用いた証明問題では平均15%減少し、相似条件を用いた証明問題では平均15%減少した。幾何証明（合同証明と相似証明）では、個人差はあるが、全体として計算より α 波の割合が減少した。また、合同証明と相似証明を比較すると α 波の出現量比にほとんど差がないという結果になった。漢字の書き取りでは α 波が平均3%減少し、幾何証明に比べて減少率は低くなった。これは中学2年生用の問題集から抜粋した問題であるため、それほど難しくないレベルであったことから、比較的解答しやすかったことが考えられる。ワープロ入力（和文）では個人差が大きく、実験後に行った被験者のワープロ習熟度の調査との比較から、ワープロ入力習熟者の α 波の割合が最大27%増加（M）し、非習熟者の α 波の割合が最大31%減少（Sa2）するという結果になり、平均では1%増加した。ワープロ入力（英文）でも個人差が大きく、ワープロ入力習熟者ほど α 波の比率が高くなった。開眼安静時が本当にリラックスしていたかが大きな問題であるが、ワープロ入力習熟者で最大51%増加（U2）し、非習熟者で最大37%減少（Sa2）し、平均では2%増加した。この結果は α 波がリラックス度を表すという点で、同じ種類の学習でもその学習に対する習熟が人間をリラックスさせることを表す知見であるとも考えられる。またワープロ入力作業の精神負荷度は日本語入力と英文入力で区別して考えるべきであることがわかる。よってワープロ入力作業では α 波の出現量において個人差が大きく、被験者のワープロ習熟履歴との比較により、特

に慣れが精神的負荷の軽減につながることを示された。マウスによる描画作業では α 波が平均12%減少した。同じVDT作業でもワープロ入力では α 波の出現量比が増加し、マウスによる描画作業では減少した。これはワープロ入力では問題(課題)を解こうという意識が低いと考えられ、その反面、マウスによる描画作業では白紙画面上に丁寧に書こうという意識が一種の緊張状態を招き、このことにより α 波が減弱したのではないかと考えられる。全体的に見ると、 α 波の出現量比はワープロ入力が一番高く、以下、漢字問題、計算問題、マウスによる描画作業、幾何の問題の順に低くなった。無論これは問題の難易度とも関係するが、今回の実験で用いた教材では以上のような結果になった。

よって、今後さらに教材知識を変えて別の追試実験を積み重ねていくことが必要である。

3. まとめ

以上の事項をまとめると次のようになる。

- (1) 脳波の出方は個人差が大きい。
- (2) α 波の出現量比は、ワープロ入力、漢字問題、計算問題、マウスによる描画作業、幾何の問題の順に低くなった。ただし、この結果は本研究で用いた課題についてのものである。
- (3) ワープロ入力は被験者の習熟差によって脳波の出方に大差があった。また、トポグラフィ図のデルタ波とシータ波から、原稿とCRT画面を交互に見ることで、眼球運動が激しく、長時間の作業は眼精疲労を引き起こすと予想される。
- (4) 同じVDT作業でもワープロ入力では、個人差はあるものの一般に α 波の出現量比が高く、マウスによる描画作業では低くなった。これはマウスによる描画作業では丁寧に書こうという意識が働くことで、緊張感が大きくなり α 波の割合が減少したと考えられる。
- (5) 今後の課題として、まず漢字の難易度の違いによる脳波の性状についてさらに研究を深める必要がある。次に、同じ種類の教材でも教材の難易度を変え、また学習者の年齢や、学習状態を様々に変えた実験例をさらに増やす必要がある。また、精神集中の指標と言われているFm θ 波(Frontal midline シータ波)など他の指標による検証も行う必要がある。
- (6) 脳波による学習時の精神物理的状态把握の関

数として本研究では α ブロッキングに注目したが、必ずしもその基準で学習時の精神的緊張状態を同定しうるかは議論のあるところである。他の脳波成分分析法による研究や教材知識を変えた実験も積み重ねこれらをさらに比較することが必要である。

参考文献

- 1) 石山陽事：脳波と夢，コロナ社(1990)
- 2) 嘉悦勲・内田熊男・須谷康一・井奥匡彦・花田雅憲・外池光雄：記憶想起と脳波(第1報)，臨床脳波，Vol.33，No.10(1996)
- 3) 山本栄・松岡成明：VDT作業時の脳波変動と精神負荷評価，臨床脳波，Vol.33，No.10(1996)
- 4) 石原務：Fm θ 波の出現要因について，臨床脳波，Vol.33，No.2(1991)
- 5) 七条文雄：第33回日本脳波・筋電図技術講習会テキスト
- 6) 山本貴則・石倉信：脳波の周波数解析による着用感覚評価，大阪府立産業技術総合研究所(インターネット)
- 7) 末長和栄・岡田保紀：脳波標準テキスト，NECメディカルシステムズ(1998)
- 8) 山口有美・山口晴久：脳波の周波数解析による学習課題解決プロセスの比較，岡山大学教育学部教育実践総合センター紀要，No.1(2001)
- 9) 梶原智・宮内利郎・遠藤青磁・萩元浩・石井みゆき・岡嶋次郎・田中健吉・山沢浩：経過観察からみた精神分裂病患者の脳波基礎活動の臨床的意義：臨床脳波，Vol.37，No.12(1995)

(平成13年1月31日原稿受理)

Title: A Study of Human Computing on Solving Process of Basic Problems in Exercises for learning by Brain Wave

Yumi YAMAGUCHI (Faculty of Economics, Wakayama University)
Haruhisa YAMAGUCHI (Faculty of Education, Okayama University)

Abstract: In this paper, we describe the comparative experiments to the students on solving process of Problems on typical school teaching material knowledge (calculation, geometry, Kanji dictations, typewriting, drawing) in exercises in both in VDT works and on desktop works by frequency analysis of Brain Wave. The cognitive states of each mental working were compared on brain waves. And α reduction rate in brain waves in each mental work (calculation, geometry, Kanji dictations, typewriting, drawing) were comparatively analysed. As the results, it was elucidated that, on VDT works, the α reduction rate in brain waves was put in order , typewriting, Kanji dictations, calculation, drawing , geometry. And VDT works are more impressive to the brain work than desktop works. And, by frequency analysis of brain waves, α reduction rate of brain waves in the studying process changes so quickly and the differences of α reduction rate between individuals are recognized to be so high.

Key Words: Brain Wave, Media, Solution of Basic learning Problems, Visual Display Terminal, α Wave Blocking

付録 実験に用いた7種類の学習課題

①計算

- 5 1 4 2 1 2 3 2 5 6 1 0 4 5 1 7 3 9 2 3 6 5
 () () () () () () () () () () ()
- 2 3 4 9 3 2 5 7 1 6 4 1 2 6 5 2 4 5 1 3 2 4
 () () () () () () () () () () ()
- 8 2 1 2 5 9 2 6 2 4 1 5 7 3 1 8 4 6 4 7 1 9
 () () () () () () () () () () ()
- 1 7 4 1 3 6 1 2 2 8 4 3 1 9 4 7 4 3 1 2 4 9
 () () () () () () () () () () ()
- 2 2 1 4 1 7 6 5 3 3 1 8 1 4 5 9 1 6 6 4 1 1
 () () () () () () () () () () ()

②幾何 (合同条件)

下の図の三角形の中で、合同な三角形はどれか。記号≡を使って答えよ。また、そのとき使った合同条件をいえ。

ポイント
 ◇ 三角形の合同条件
 1 3辺が、それぞれ等しい。
 2 2辺とその間の角が、それぞれ等しい。
 3 1辺とその両端の角が、それぞれ等しい。

③幾何 (相似条件)

下の図の三角形を相似な三角形の組に分け、相似条件をいえ。

ポイント
 ◇ 三角形の相似条件
 1 3組の辺の比がすべて等しい。
 2 2組の辺の比とその間の角がそれぞれ等しい。
 3 2組の角がそれぞれ等しい。

④漢字の書き取り（中学４年生レベル）

- 1 父に資金の援助をアイガンする。
- 2 対戦相手の選手とアクシユする。
- 3 イアツ的な態度でにらみつけた。
- 4 彼のコウイはあらゆる人から非難された。
- 5 イダイな事業をなす。
- 6 明治イシン以後、日本は近代化の道を歩み始めた。
- 7 父は会社のイアン旅行に出かけた。
- 8 じゃがイモをふかして食べる。
- 9 あの人はいんけんな性格だ。
- 10 和歌をロウエイする。
- 11 名刀だけあって、切れ味はスルドいものだ。
- 12 エンテン下で、サッカーの試合をする。
- 13 エンカイでカラオケを歌う。
- 14 一九九二年はサル年だ。
- 15 姉のエンダンがまとまった。
- 16 ついで相手をナグる。
- 17 友人がオロシウリ商を営んでいる。

⑤ワープロ入力（ひらがな文→漢字かな交じり文）

にほんこくみんは、せいとうにせんきよされたこっかいにおけるだいひようしゃをつうじて
こうどうし、しよこくみんとのきようわによるせいかと、わがくにせんどにわたってじゆう
ものたらすけいたくをかくほし、せいふのこういによってふたたびせんそうのさんかがおこ
ることのないようにすることをけついし、ここにしゅけんがこくみんにそんすることをせん
げんし、このけんほうをかくていする。

⑥ワープロ入力（英文）

We, the Japanese people, acting through our duly elected representative in the National Diet, determined that we shall secure for ourselves and our posterity the fruits of peaceful cooperation with all nations and the blessings of liberty throughout this land, and resolved that never again shall we be visited with the horrors of war through the action of government, do proclaim that sovereign power resides with the people and do firmly establish this Constitution. Government is a sacred trust of the people, the authority for which is derived from the people, the powers of which are exercised by the representatives of the people, and the benefits of which are enjoyed by the people. This is a universal principle of mankind upon which this Constitution is founded. We reject and revoke all constitutions, laws, ordinances, and rescripts in conflict herewith.

⑦マウスによる描画作業

