

## 電子情報通信学会「著作権規程」の基本方針より

電子的利用については、著作者本人ならびに所属機関が著作者の著作物の全文を著作者の研究室や所属機関のホームページもしくはプレプリントサーバに掲載する場合、一定条件の下で出版社版 PDF もしくは早期公開版 PDF の掲載を許諾します。

※掲載条件等、詳細については「利用申請基準」を御覧ください。

## 本会出版物に掲載された論文等の著作物の利用申請基準より

条件 A : 権利表示 (例 copyrightc2013 IEICE)

条件 B : 出版社版 PDF(紙版をスキャンで作成したもの含) の掲載。著者最終版は不可。

条件 C : 出所の明示 (例 著作者名、書名 (題号)、雑誌名、巻、号、頁、発行年など)

条件 D : 著作者の了解

条件 E : IEICE Transactions Online トップページへのリンク

上記、公開基準に従い出版社版 PDF を公開いたします。

なお、IEICE Transactions Online トップページは下記になります。

<https://search.ieice.org/>

## 簡易脳波計を用いたプログラミング学習時のケアレスミスの検出

梅澤 克之<sup>†</sup> 中澤 真<sup>††</sup> 小林 学<sup>†††</sup> 石井 雄隆<sup>††††</sup> 中野美知子<sup>†††††</sup>  
平澤 茂一<sup>††††††</sup>

<sup>†</sup> 湘南工科大学工学部 〒251-8511 神奈川県藤沢市辻堂西海岸 1-1-25

<sup>††</sup> 会津大学短期大学部 〒965-0003 福島県会津若松市一箕町大字八幡門田 1-1

<sup>†††</sup> 早稲田大学 データ科学総合研究教育センター 〒162-0042 東京都新宿区早稲田町 27

<sup>††††</sup> 千葉大学教育学部 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

<sup>†††††</sup> 早稲田大学 教育・総合科学学術院 〒169-8050 東京都新宿区戸塚町 1-104

<sup>††††††</sup> 早稲田大学 理工学術院 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: †umezawa@info.shonan-it.ac.jp, ††nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp, †††{mkoba,nakanom,hira}@waseda.jp,  
††††yishii@chiba-u.jp

あらまし 学習コンテンツの出来の良し悪し, 学習内容そのものの難易度, 学習の習熟度など, 学生の学習時のつまずきのポイントは多く存在する. 学習コンテンツの閲覧履歴や編集履歴, 学習時の脳波や視線などの生体情報を計測することによって, そのような学習時のつまずきのポイントを検出できる場合がある. 課題遂行の難易度によって異なる脳波が測定できれば e ラーニング時に出题する課題の難易度を脳波に合わせて動的に易しくしたり難しくしたりでき, 個々の学生に対して最適な学習効果を得られることが期待できる. 本研究では, プログラミングの学習時の脳波情報を計測し, 課題の回答時間と脳波の関係に着目し, 注意力が欠けたためのケアレスミスを検出することを試みる. キーワード 反転授業, e ラーニング, ブレンディッドラーニング, 効果的授業

## Detection of Careless Mistakes during Programming Learning using a Simple Electroencephalograph

Katsuyuki UMEZAWA<sup>†</sup>,

Makoto NAKAZAWA<sup>††</sup>, Manabu KOBAYASHI<sup>†††</sup>, Yutaka ISHII<sup>††††</sup>, Michiko NAKANO<sup>†††††</sup>, and  
Shigeichi HIRASAWA<sup>††††††</sup>

<sup>†</sup> Shonan Institute of Technology Tsujido-Nishikaigan 1-1-25, Fujisawa, Kanagawa, 251-8511, Japan

<sup>††</sup> Junior College of Aizu Monden 1-1, Yahata, Ikki-Machi, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

<sup>†††</sup> Waseda University Waseda-cho 27, Shinjuku, Tokyo, 162-0042, Japan

<sup>††††</sup> Chiba University Yayoicho 1-33, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522, Japan

<sup>†††††</sup> Waseda University Totsukamachi 1-104, Shinjuku, Tokyo, 169-8050, Japan

<sup>††††††</sup> Waseda University Okubo 3-4-1, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

E-mail: †umezawa@info.shonan-it.ac.jp, ††nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp, †††{mkoba,nakanom,hira}@waseda.jp,  
††††yishii@chiba-u.jp

**Abstract** There are many points of stumbling at the time of student learning, such as good or bad of learning content, difficulty level of learning contents itself, learning proficiency degree. It would be possible to detect such causes by measuring browsing history, edit history, and biological information such as brain wave or eye tracking information. In this paper, we measure electroencephalogram information during programming learning, and focus on the relationship between task response time and electroencephalogram, and try to detect careless mistakes due to lack of attention.

**Key words** Flipped-Classroom, e-Learning, Blended-Learning, Effective Classroom

## 1. ま え が き

本研究の目的は、言語学習を統一的な枠組みで捉え、相手（学習者）を感じて助言を行う人工教師を搭載した自学自習システムを開発し、その評価を行うことである。「相手を感じる」とは、学習行動の背後にある「学習者の理解度」や「学習者ごとの思考プロセスの差異」「学習時の集中度」、学習者毎の「問題解決の困難度」等の学習者の学習状況をシステム側が把握することを指す。

学習時の学習状況を把握する方法として脳波情報を学習に応用する研究が多く行われている [1] [2] [3]。人間の思考状態を観測するために  $\alpha$  波と  $\beta$  波の比率を測ることが有効とされている [4] [5] [6]。また難しい課題に取り組んでいるときには  $\beta/\alpha$  の値が高くなることが示されている [7] [8]。

本研究では、プログラミングの学習時の脳波情報を計測し、課題の回答時間と脳波の関係に着目し、注意力が欠けた際のケアレスミスを検出することを試みる。ケアレスミスを起こしやすい問題を集中的に訓練することでプログラミングの技術向上につなげることができると考える。

2章では、関連技術として、脳波に関する研究および脳波の学習への応用事例について述べる。3章で実験について説明し、4章でケアレスミスの判定方法を述べ、5章に実験結果を示す。最後に6章でまとめと今後の課題を示す。

## 2. 従 来 研 究

### 2.1 脳波に関する研究

脳波の波形を関連事象とともに観測するとと精神状態の指標として用いることができるということは従来から心理学や脳科学の研究で経験的にわかっている [9]。また、人間の精神状態を観測するために、得られた脳波に対して離散フーリエ変換を施して得られた  $\alpha$  波や  $\beta$  波を用いた研究がなされている [10]。

### 2.2 脳波の学習への応用

$\beta$  波は思考状態と関連性が高いとして、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 [1]。その結果、 $\beta$  波の低周波成分（低  $\beta$  波）が読解テスト、数学テスト、図形整理テスト中に優勢となることを示し、 $\beta$  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た。

また、人間の思考状態を観測するために  $\alpha$  波や  $\beta$  波のパワースペクトルや、 $\alpha$  波や  $\beta$  波の脳波全体に対する割合、あるいは、 $\alpha$  波と  $\beta$  波の比率を測ることが有効とされている [4] [6]。さらに、簡易脳波計を使って  $\alpha$  波と  $\beta$  波を計測し、 $\beta/\alpha$  の値を評価することにより人の脳の活性度や活動度が測れることが示され、また、一般的に計算問題より言語問題の方が、 $\beta/\alpha$  の値の変化が大きくなり負荷が高いことが報告されている [5]。

また、記憶に関しても脳波を用いた研究がなされており、低  $\gamma$  波が記憶の度合いを測る指標として有効であることが報告されている [11]。さらに、記憶作業に反応する低  $\gamma$  波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す  $\theta$  波の2つの脳波の関係性を分析し、 $(\theta \text{波} + \alpha \text{波})/10$  と低  $\gamma$  波が同期した波

長であることを突き止め、記憶の度合いを測る指標として  $(\theta \text{波} + \alpha \text{波})/(10 \times \text{低 } \gamma \text{波})$  が有効であることを示している [12]。

## 3. 実験について

### 3.1 実験参加者について

湘南工科大学の学部4年生3名を実験参加者とした。

### 3.2 実験の方法

学習内容はJava言語の基礎であり、7つの課題「1. 変数、演算」「2. 分岐」「3. 繰り返し」「4. 配列」「5. メソッド」「6. クラス1」「7. クラス2」を学習する。各課題にはその内容を解説する資料と理解度を測定するための10問の設問で構成される。まず、実験参加者は1つ目の課題の「1. 変数、演算」についての解説資料を読んで学習する。その際の脳波を5分間計測し、5分経過後に計測を一旦止める。引き続き「1. 変数、演算」についての設問を1問目から10問目まで順番に回答する。その際に脳波を計測する。各設問で計測を止めずに連続して計測する。計測時間がログとして残るので各設問ごとの脳波を切り出すことが可能である。これを課題「1. 変数、演算」から課題「7. クラス2」まで繰り返す。

Moodle上に構築した設問の例を図1に示す。設問1問ごとに簡単に答えられる難易度のアンケートを実施した。また、各設問をMoodleの1つの課題として構築したので、Moodleの機能により回答開始時間と回答終了時間を後でログとして収集できる。



図1 Moodle上に構築した設問

### 3.3 脳波計測方法

脳波の測定は、NeuroSky社製脳波コントロール Mind-

Wave(R) Mobile ヘッドセットを利用した。文献[13]で示されているように、MindWave Mobile は額(国際 10-20 法の  $F_{p1}$  位置)と耳(国際 10-20 法の  $A_1$  位置)の皮膚の電位差(電圧)を検出する。信号は、一般に 1~50Hz の範囲の信号を保持するために、アナログおよびデジタルのローパスおよびハイパスフィルターを通過する。これらの信号は最終的に 128Hz でサンプリングされる。毎秒信号は時間領域で分析され、ノイズが修正される。その後フィルタ処理された信号に対して標準の高速フーリエ変換(FFT)が実行される。

図 2 に示すようにヘッドセットと ThinkGear Connector 間を Bluetooth で接続した上で、ログ収集アプリが ThinkGear Connector と TCP/IP 通信を行うことにより脳波のログを収集する。ここで、ThinkGear Connector とは、NeuroSky 社が提供するドライバであり、MindWave Mobile 内で変換された脳波データを転送するだけの機能を有するドライバである。

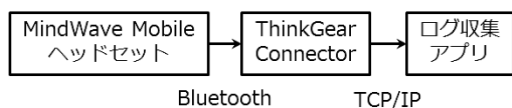


図 2 脳波計測の概要

また、取得できる脳波の種類は表 1 に示す 8 種類であり、各値は単位のない 4 バイトの浮動小数値である。それに加えて Mobile ヘッドセットでは、0 から 100 の間の値の Attention (集中度)と Meditation (リラクセス度)を取得できる。

表 1 取得できる脳波の種類 [13]

種類	周波数 (Hz)
$\delta$ 波	0.5-2.75
$\theta$ 波	3.5-6.75
低 $\alpha$ 波 ( $\alpha_l$ )	7.5-9.25
高 $\alpha$ 波 ( $\alpha_h$ )	10-11.75
低 $\beta$ 波 ( $\beta_l$ )	13-16.75
高 $\beta$ 波 ( $\beta_h$ )	18-29.75
低 $\gamma$ 波	31-39.75
中 $\gamma$ 波	41-49.75

#### 4. ケアレスミスの判定方法の提案

今回我々は、ケアレスミス「時間をかけず回答して誤答した」かつ「よく考えずに回答して誤答した」、つまり「適当に答えたために誤答した」と定義する。

そのうえで、ケアレスミスの判定方法を提案する。まず、実験参加者毎の各設問の解答時間の平均値を求める。そして誤答した設問に着目し、さらに各設問の解答時間が平均値よりも小さいものに着目する。つまりこの段階では、時間をかけずに誤答してしまった設問について着目していることになる。

つぎに、対象の設問を解いている際の脳波の平均値と、1 問目から対象の設問の一つ前の設問(対象の設問は含まない)の平均値(以降累積平均と呼ぶ)を比較し、累積平均よりも小さい値を抽出する。ただし、設問 1 に関しては、比較する累積平

均値が存在しないので対象外とする。最後に、抽出した平均値とそれに対応する累積平均値に対して、 $F$  検定(等分散の検定)および  $t$  検定(平均値の差の検定)を実施し、平均値に有意な差が認められるかを検定する。

#### 5. 実験結果

まず、実験参加者の回答時間の平均を表 2 に示す。

表 2 実験参加者毎の各設問の回答時間の平均

	回答時間の平均値(秒)
実験参加者 1	39.6
実験参加者 2	59.6
実験参加者 3	44.2

表 3 に、実験結果およびケアレスミスの判定結果を示す。まず表 3 の全体は、各実験参加者が誤答したもののうち各設問の回答時間が各実験参加者の平均回答時間よりも小さいものを抜き出したものである。なお、平均解答時間よりも長くかかった設問はケアレスミスに該当しないと表 3 には含めていない。

表 3 の 10 列目から 14 列目までは、各設問を解いている際の脳波の平均値である。脳波の種類は従来研究に則って  $\beta_l/\alpha_l$ ,  $\beta_h/\alpha_h$ ,  $\beta_l/\alpha_h$ ,  $\beta_h/\alpha_l$ ,  $\beta_{l+h}/\alpha_{l+h}$  の 5 種類としている。

また表 3 の 5 列目から 9 列目までは、累積平均値である。例えば 5 列目の上から 3 つ目の 1.499 という値は、課題 3 設問 7 の行なので、3 つ目の課題つまり「3. 繰り返し」の関する設問のうち、1 問目の設問から 6 問目までの設問に回答している際の脳波の平均値ということになる。

次に 10 列目から 14 列目までの網掛けの箇所は、5 列目から 9 列目までの累積平均値よりも小さい値を示している。この網掛けの箇所と対応する累積平均値に対して、平均する前の元データを使い  $F$  検定および  $t$  検定を実施し(付録参照)、有意差ありと判定されたものに“\*”を付与している。すなわち、“\*”を付与した箇所は、直前までの脳波の平均値と比較して、統計的に有意に小さい値となっていることができる。

回答時間が短いだけでなく、脳波からも  $\beta/\alpha$  の値が小さくなっている、つまり回答のために熟考していないということが判定でき、これによりケアレスミスを判断できる。

表 3 より、実験参加者 1 はそもそも誤答が少なく実験で行った Java プログラミングの内容は得意だったと考えられる。実験参加者 2 に関しては、誤答の数は少なくはないがケアレスミスと判定されるものはなく、熟考したうえで間違えてしまったと考えられる。実験参加者 3 に関しては、多くの誤答があり、その中の課題 2 の設問 9, 課題 4 の設問 9, 課題 5 の設問 7, 課題 6 の設問 7, 課題 8 の設問 3 と 9 に関してはケアレスミスであると判定できる。実験参加者 3 は各課題について後半の設問になるとケアレスミスが目立つ結果となった。

#### 6. まとめと今後の課題

本研究では、プログラミングの学習時の脳波情報を計測し、課題の回答時間と脳波の関係に着目し、注意力が欠けた際のケ

表 3 ケアレスミス判定結果

実験 参加者	課題	設問	回答時間 (秒)	1 問目から対象の設問の直前までの脳波の平均値					対象の設問を解いている際の脳波の平均値				
				$\beta_l/\alpha_l$	$\beta_h/\alpha_h$	$\beta_l/\alpha_h$	$\beta_h/\alpha_l$	$\beta_{l+h}/\alpha_{l+h}$	$\beta_l/\alpha_l$	$\beta_h/\alpha_h$	$\beta_l/\alpha_h$	$\beta_h/\alpha_l$	$\beta_{l+h}/\alpha_{l+h}$
1	3	2	25	0.871	1.904	1.382	1.572	0.908	1.575	1.871	1.097	2.838	1.555
	7	3	29	0.709	0.982	0.778	0.737	0.570	0.734	0.800	1.083	0.561	0.560
2	3	7	39	1.499	1.351	1.385	1.302	0.976	1.146	1.518	1.959	1.093	0.993
	4	8	17	1.038	1.257	1.274	1.002	0.856	1.128	0.946	1.303	0.829	0.880
	5	10	27	1.372	1.240	1.303	1.292	0.950	1.273	1.216	1.380	1.133	0.964
	7	5	38	1.167	1.218	1.216	1.254	0.928	1.380	1.122	1.226	1.800	0.887
	7	7	30	1.180	1.208	1.211	1.264	0.911	1.028	1.649	1.672	1.000	1.120
	7	8	35	1.168	1.243	1.248	1.243	0.928	0.962	1.149	0.956	1.267	0.899
	8	2	28	1.316	1.369	1.259	1.176	1.068	0.860	1.197	1.176	0.841	0.871
3	2	6	40	1.636	1.811	1.375	1.967	1.239	1.199	2.130	1.495	1.834	1.142
	2	7	24	1.583	1.849	1.389	1.951	1.228	1.178	2.198	1.166	1.822	1.202
	2	9	39	1.469	1.761	1.386	1.781	1.172	1.020	<b>1.290*</b>	1.365	<b>0.992*</b>	1.017
	3	9	11	1.455	1.673	1.338	1.673	1.151	1.412	1.387	1.096	2.160	1.262
	3	10	34	1.453	1.662	1.329	1.691	1.155	1.172	1.965	1.450	1.638	1.156
	4	3	26	1.283	1.330	1.201	1.638	1.013	1.376	1.488	1.111	1.901	1.158
	4	5	14	1.266	1.477	1.154	1.754	1.112	2.581	2.232	1.620	2.445	1.488
	4	9	43	1.370	1.461	1.121	1.759	1.101	<b>0.899*</b>	1.275	1.057	<b>1.165*</b>	0.926
	5	7	40	1.349	1.410	1.337	1.458	1.071	<b>0.904*</b>	1.536	1.110	1.229	1.025
	5	10	26	1.346	1.454	1.356	1.507	1.098	2.268	1.448	1.291	2.218	1.342
	6	3	43	1.283	1.701	1.392	1.468	1.033	1.010	1.712	1.053	1.305	1.034
	6	5	24	1.144	1.601	1.241	1.330	1.029	2.252	1.430	1.511	1.616	1.052
	6	7	38	1.488	1.602	1.376	1.532	1.105	<b>0.812*</b>	1.251	1.040	<b>1.044*</b>	<b>0.871*</b>
	6	9	17	1.377	1.525	1.289	1.488	1.072	1.067	1.413	1.864	1.105	1.076
	7	3	30	1.197	1.449	1.191	1.541	1.093	1.279	1.658	1.216	1.540	1.118
	7	4	33	1.222	1.514	1.199	1.540	1.101	1.731	1.551	1.381	2.377	1.223
	7	5	36	1.356	1.524	1.247	1.760	1.133	1.244	1.323	1.167	1.286	0.994
7	9	40	1.289	1.643	1.317	1.747	1.169	2.926	1.729	1.605	2.426	1.569	
8	3	18	1.648	1.810	1.363	2.202	1.216	2.918	<b>1.018*</b>	1.116	1.715	0.996	
8	9	30	1.968	1.727	1.408	2.603	1.266	<b>1.106*</b>	1.714	1.134	<b>1.560*</b>	1.226	

アレスミスを検出することができた。今後は、今回のケアレスミスの判定方法を相手（学習者）を感じて助言を行う人工教師を搭載した自学自習システムへ組み込み、実証実験を通して有効性を評価していきたい。

## 謝 辞

本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会学術研究助成基金助成金基盤研究 (B)19H01721, (C)17K01101, (C)16K00491, 早稲田理工総研特別助成 1010000175806 NTT 包括協定共同研究、および、経営情報学会「ICT と教育」研究部会の助成による。本研究成果の一部は早稲田大学理工総研プロジェクト研究「次世代 e-learning に関する研究」の一環として行われたものである。

## 文 献

- [1] D. Giannitrapani, "The role of 13-hz activity in mentation," The EEG of Mental Activities, p.p. 149–152, (1988).
- [2] Pavlo Antonenko, Fred Paas, Roland Grabner, and Tamara van Gog, "Using Electroencephalography to Measure Cognitive Load," Educational Psychology Review, Vol. 22, Number 4, p.p. 425–438, (2010).
- [3] Antonenko, P., and Niederhauser, D., "The effects of leads on cognitive load and learning in a hypertext environment," Computers in Human Behavior, 26, p.p. 140–150, (2010).
- [4] 上野 秀剛, 石田 響子, 松田 侑子, 福嶋 祥太, 中道 上, 大平 雅雄, 松本 健一, 岡田 保紀, "脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価: 異なるバージョン間における周波数成分の比較," ヒューマンインタフェース学会論文誌 10(2), p.p. 233–242, (2008.5)
- [5] 吉田 幸二, 坂本 佑太, 宮地 功, 山田 困裕, "簡易脳波計による学習状態の脳波の分析比較," 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 112(224), p.p. 37–42, (2012.9)
- [6] Kouji Yoshida, Yuuta Sakamoto, Isao Miyaji, Kunihiko and

表 4  $F$  検定と  $t$  検定の結果

実験 参加者	課題	設問	回答時間 (秒)	$F$ 検定における $p$ 値					$t$ 検定における $p$ 値				
				$\beta_l/\alpha_l$	$\beta_h/\alpha_h$	$\beta_l/\alpha_h$	$\beta_h/\alpha_l$	$\beta_{l+h}/\alpha_{l+h}$	$\beta_l/\alpha_l$	$\beta_h/\alpha_h$	$\beta_l/\alpha_h$	$\beta_h/\alpha_l$	$\beta_{l+h}/\alpha_{l+h}$
1	3	2	25	-	0.185	0.001	-	-	-	0.948	0.456	-	-
	7	3	29	-	0.002	-	0.009	<b>0.204</b>	-	0.436	-	0.282	0.927
2	3	7	39	0.000	-	-	0.000	-	0.108	-	-	0.228	-
	4	8	17	-	0.001	-	0.001	-	-	0.131	-	0.309	-
	5	10	27	0.000	0.005	-	0.000	-	0.746	0.882	-	0.561	-
	7	5	38	-	<b>0.412</b>	-	-	0.001	-	0.973	-	-	0.638
	7	7	30	0.000	-	-	0.000	-	0.430	-	-	0.172	-
	7	8	35	0.000	0.046	0.000	-	0.137	0.198	0.666	0.104	-	0.802
	8	2	28	0.000	0.011	0.180	0.004	0.008	0.075	0.593	0.716	0.116	0.246
	2	6	40	0.000	-	-	0.003	0.000	0.217	-	-	0.785	0.462
3	2	7	24	0.000	-	0.034	0.006	<b>0.377</b>	0.280	-	0.402	0.810	0.922
	2	9	39	0.000	0.000	<b>0.273</b>	0.000	0.023	0.052	<b>0.006</b>	0.941	<b>0.000</b>	0.294
	3	9	11	0.001	0.013	0.187	-	-	0.881	0.466	0.498	-	-
	3	10	34	0.000	-	-	0.100	-	0.282	-	-	0.903	-
	4	3	26	-	-	0.247	-	-	-	-	0.753	-	-
	4	5	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	9	43	0.000	0.000	0.099	0.000	0.000	<b>0.009</b>	0.310	0.715	<b>0.004</b>	0.095
	5	7	40	0.000	-	0.000	0.000	0.000	<b>0.004</b>	-	0.311	0.243	0.670
	5	10	26	-	<b>0.310</b>	0.034	-	-	-	0.986	0.825	-	-
	6	3	43	0.001	-	0.000	0.001	-	0.213	-	0.125	0.594	-
	6	5	24	-	0.039	-	-	-	-	0.757	-	-	-
	6	7	38	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.001</b>	0.164	0.087	<b>0.017</b>	<b>0.025</b>
	6	9	17	0.001	0.000	-	0.000	-	0.228	0.705	-	0.118	-
	7	3	30	-	-	-	0.127	-	-	-	-	-	1.000
	7	4	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	5	36	0.146	<b>0.411</b>	0.011	0.008	0.023	0.743	0.509	0.698	0.231	0.491
7	9	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	3	18	-	0.030	0.105	0.016	0.110	-	<b>0.043</b>	0.439	0.390	0.246	
8	9	30	0.000	0.062	0.000	0.000	0.141	<b>0.023</b>	0.966	0.159	<b>0.015</b>	0.827	

Yamada, "Analysis comparison of brain waves at the learning status by simple electroencephalography," KES'2012, Proceedings, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, p.p. 1817-1826, (2012).

- [7] 梅澤 克之, 中澤 真, 石田 崇, 齋藤 友彦, 平澤 茂一, "高校生を対象とした学習時の閲覧編集履歴と生体情報の収集とその分析," 経営情報学会 (JASMIN) 2016 年秋季全国研究発表大会, D2-1, p.p. 1-6, (2016.9)
- [8] 梅澤 克之, 石田 崇, 齋藤 友彦, 中澤 真, 平澤 茂一, "簡易脳波計測を用いた学習者にとっての課題難易度の判定方法," 情報処理学会コンピュータと教育研究会 137 回研究発表会, (2016.12)
- [9] 良峯 徳和, "脳波の謎: リズムとその存在理由," 多摩大学研究紀要, p.p. 93-100, (2017).
- [10] Hans Berger "On the electroencephalogram in man," Archiv fur Psychiatrie and Nervenkrankheiten, 87, p.p. 527-570, (1929).
- [11] 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 (DICOMO2013) シンポジウム, p.p. 1441-1446, (2013.7)

- [12] 平井 章康, 吉田 幸二, 宮地 功, "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," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, p.p. 633-638, (2014.07)
- [13] ThinkGear Serial Stream Guide, [http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear\\_communications\\_protocol](http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol) (2020/1/16 参照)
- [14] 永田靖, "入門 統計解析法," 日科技連出版社, (1992.4)

## 付 録

表 4 に,  $F$  検定および  $t$  検定の結果を示す。まず  $F$  検定を行った結果が表 4 の 5 行目から 9 行目である。ここで薄い網掛けを行っていない箇所が  $p$  値が 0.2 より小さくなった箇所, すなわち  $F$  検定の帰無仮説 (2 群の母集団が等分散である) が棄却され, 2 つの母集団は等分散でない判定された箇所である。

逆に薄い網掛けを行っている箇所が2つの母集団は等分散である判定された箇所である。文献[14]に従い  $F$  検定の有意水準を20%とした。

また、 $F$  検定の結果に従って、等分散を仮定した  $t$  検定と分散が等しくないと仮定した  $t$  検定を実施した結果が、表4の10行目から14行目である。濃い網掛けを行った箇所が  $t$  検定の結果  $p$  値が0.05より小さくなった箇所、つまり平均値に差があると言える箇所となる。