

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/>

プログラミング学習時の脳波と心拍と表情の関係について

梅澤 克之[†] 中澤 真^{††} 中野美知子^{†††} 平澤 茂一^{†††}

[†] 湘南工科大学 〒251-8511 神奈川県藤沢市辻堂西海岸 1-1-25

^{††} 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

^{†††} 早稲田大学 〒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, †††{nakanom,hira}@waseda.jp

あらまし 現状の自学自習システムはあらかじめ用意された学習コンテンツを使うだけであり、学習者一人ひとりの学習状態に応じた対応はできない。ビデオチャットなどを用いたリアルタイムの教員の指導を想定しないオンデマンド型の授業において、個々の学習者の学習状態を把握して、その学習者に最適な学習コンテンツを提供できる自学自習システムの研究プロジェクトを進めている。このプロジェクトの中で、学習状態を把握する方法として、脳波などの生体情報を用いて学習状態を把握する研究に取り組み α 波と β 波に着目して学習者が課題の難易度を推定する方法を実験的に検証した。実際の運用時には学習者に脳波計を装着させて学習させることが現実的ではない。本研究は、学習状態の推定のために脳波の代替となる非装着型の装置で計測できる生体情報を発見することが目的である。

キーワード プログラミング学習, 学習状態, 脳波, 心拍, 表情分析

About the Relationship Between Brain Waves, Heart Rate and Facial Expressions During Programming Learning

Katsuyuki UMEZAWA[†], Makoto NAKAZAWA^{††}, Michiko NAKANO^{†††}, and Shigeichi HIRASAWA^{†††}

[†] Shonan Institute of Technology Tsujido-Nishikaigan 1-1-25, Fujisawa, Kanagawa 251-8511, Japan

^{††} Junior College of Aizu Monden 1-1, Yahata, Ikki-Machi, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

^{†††} 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, †††{nakanom,hira}@waseda.jp

Abstract In the current self-study system, only the learning contents prepared in advance are used, and it is not possible to respond according to the learning state of each learner. We are targeting on-demand lessons that do not assume real-time teacher guidance using video chat or the like. In on-demand lessons, we are advancing a research project on a self-study system that can grasp the learning status of each learner and provide optimal learning content to that learner. In this project, we are working on research to grasp the learning state using biological information such as brain waves. Then, we experimentally verified the method of estimating the difficulty of the task by focusing on the α wave and the β wave. However, in actual operation, it is not realistic to have the learner wear an electroencephalograph for learning. The purpose of this study is to discover biological information that can be measured by a non-wearable device that substitutes for brain waves for estimating the learning state.

Key words Programming Learning, Learning State, Brain Wave, Heart Rate, Facial Expression Analysis.

1. はじめに

近年、多種多様な生活スタイルに適應するフルオンラインの大学なども複数登場した。また、コロナ禍での新たな学習形態としてオンライン授業やハイブリッド授業なども必要に迫られ

て急激に広まった。さらに通常形態の大学においても学生の主体性を伸ばす方法論として反転授業が注目されており、対面授業に先立って行う自学自習が重要な役割を果たす。このように自学自習の要求は高まるばかりであるが、従来の自学自習システムではあらかじめ用意された学習コンテンツを使うだけであ

り、学習者一人ひとりの学習状態に応じた対応ができるものではなかった。ビデオチャットなどを用いれば対面授業と同じようなこともできるが、時間を問わず学習したい学習者とリアルタイムで会話するには教師側の拘束時間が長くなりすぎる。

我々は、このようなリアルタイムの教員の指導を想定しないオンデマンド型の授業において、個々の学習者の学習状態を把握して、その学習者に最適な学習コンテンツを提供できる自学自習システムの研究プロジェクトを進めている。そのプロジェクトの中で、学習状態を把握する方法として、脳波などの生体情報を用いて学習状態を把握する研究 [1] [2] に取り組んできた。一連のこれらの研究の中で α 波と β 波に着目して、学習者が課題の難易度を推定する方法を実験的に検証した。

これらの研究の課題として、実際に本システムを普及させるには、学習者に脳波計を装着させて学習させることが現実的ではない、という課題を挙げていた。つまり脳波計による学習状態の推定と同じ結果を生じさせる別の非装着型の生体情報機器による学習状態の推定が残された課題の一つとされていた。

本研究は、学習状態の推定のために脳波の代替となる生体情報を発見することが目的である。具体的には、難易度の異なる課題（簡単な課題、中くらいの課題、難しい課題）を行っている時の生体情報（脳波、心拍、表情）を計測して、心拍や表情などの脳波以外の生体情報で脳波を説明することを試みる。

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 [3]。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 α 波や β 波を用いた研究がなされている [4]。

2.2 脳波の学習への応用

β 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 [5]。その結果、 β 波の低周波成分（低 β 波）が読解テスト、数学テスト、図形整列テスト中に優勢となることを示し、 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た。

2.3 脳波計を用いた課題難易度の推定

また、人間の思考状態を観測するために 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、あるいは、 α 波と β 波の比率を測ることが有効とされている [6]。さらに、簡易脳波計を使って α 波と β 波を計測し、 β/α 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、 β/α 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 [7]。また、簡単な問題と難しい問題の設定ができるタイピング練習という課題を用いて、従来研究にあるように β 波/ α 波の値が高くなることを再度確認する。さらに、 α 波と β 波は、周波数が異なる低 α 波と高 α 波、低 β 波と高 β 波が観測されるが、難しいタスクに取り組んでいるときには low β /low α の値が高くなることが示さ

れている [8]。さらに、課題を解決していく過程で被験者が徐々に習熟していくような課題を与えて、脳波がどのように変化していくかを計測し、被験者によって慣れていく過程は様々であるが、課題が易しいと感じる被験者の low β /low α の値は徐々に下がっていくことを示された。つまり、low β /low α が課題の難易度を良く表していることが示された [8]。また、我々は、学習履歴と脳波を総合的に分析することにより、学習者の学習状態を推定するシステムと方法が提案した。さらに、提案手法を用いて C 言語および Scratch 言語を学習する高校生の学習状態を評価した。そして推定結果と実験後に実施したアンケートの結果を比較することにより提案手法の有効性を主張した [9]。

3. 本研究の提案

本研究の目的は、学習状態の推定のために脳波の代替となる生体情報を発見することである。本研究では、難易度の異なる課題（簡単な課題、中くらいの課題、難しい課題）を行っている時の複数種類の生体情報（脳波、心拍、表情）を同時に計測する。得られたデータを分析し、脳波以外の心拍や表情などの生体情報で脳波を説明することを試みる。

4. 実験方法

4.1 実験に使用する問題

今回の実験に使用する問題は Web でプログラミングについて無料で学習できる Paiza ラーニング [10] というサイトを使用した。このサイトは初心者用から上級者用の幅広い範囲の問題が用意されている。また、問題ごとにどの程度の人が挑戦して、正答率が何%なのかの判定を行ってくれる機能が備わっている。判定は 10 回のテストケースで、正答率・実行速度・メモリ消費量を計測し得点が決まる。複数のテストケースで正しい出力がされるか評価 (+50 点)、回答までの速さ評価 (+50 点) で評価される。今回、実験者が解いた問題を自動で判定してくれること、問題の難しさの判定が可能であるという理由で、このサイトを利用することとした。今回の実験に使用する問題を選ぶにあたって難易度を 3 段階に設定した。そのためこのサイトの問題に対する参加人数と正答率を参考に実験に使用する問題を選出した。今回は Paiza ラーニングのスキルチェックより、令和 3 年 12 月 20 日時点で正答率が 91.88%、80.84%、49.35% の問題を実験に用いることにした。プログラミング言語として java を採用している。今回実験に使った問題は Paiza ラーニングの取り扱いの規約上、写真や本文をそのまま載せることができないため簡単な概要を図 1, 2, 3 に示す。

D ランク問題 114：税込の価格

2つの数が入力される。1つ目が消費税率 (%) であり、2つ目が税抜価格である。この二つの入力を用いて税込価格を出力する。結果は小数点以下を切り捨てて表示する。

図 1 問題 A の概要

C ランク問題 017：ハイアンドロー・カードゲーム

一行目に2つのデータが入力される。二行目に数値 N が一つ入力される。三行目以降に N 回分二つのデータが入力される。一行目を親とし三行目以降を子とする。親と子がある法則に則って比べ強弱関係を示す。親カードが強ければ“High”と表示し、そうでなければ“Low”と表示する。

図 2 問題 B の概要

B ランク問題 016：ここはどこ？

一行目に三つの数字が入力される。それぞれマップの横幅・縦幅、移動ログを示す。二行目に二つの数字が入力される。これらはキャラクターのマップ上の X 座標、Y 座標を表す。三行目以降は、キャラクターが動く方向を示す文字と移動距離を表す数値が入力される。マップの端まで移動したときは、それ以上その方向に進もうとする場合は反対の座標に移動し残りを移動する。

図 3 問題 C の概要

4.2 実験に使用する生体機器

4.2.1 簡易脳波計

脳波計測には、NeuroSky 社の MindWave Mobile 2 を使用する。脳波のデータはこのヘッドセットと ThinkGear Connector 間を Bluetooth で接続し、ログ収集アプリが ThinkGear Connector と TCP/IP 通信を行うことで収集する。ThinkGear Connector とは、NeuroSky 社が提供する MindWave Mobile 2 との通信機能を提供するドライバである。また、この脳波計で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。

今回は従来研究 [7] に則り、低 α 波、高 α 波、低 β 波、高 β 波の 4 種類を使用する。また今後は低 α 波を α_l 、高 α 波を α_h 、低 β 波を β_l 、高 β 波を β_h と示す。今回は既存研究 [8] より β/α の組み合わせ 4 種類 (β_l/α_l , β_h/α_l , β_l/α_h , β_h/α_h) と、さらに低周波と高周波の平均として $(\beta_l + \beta_h)/(\alpha_l + \alpha_h)$ を加えた 5 種類の β/α の数値を使用する。今後は $(\beta_l + \beta_h)/(\alpha_l + \alpha_h)$ を β_{l+h}/α_{l+h} と示す。

表 1 取得できる脳波の種類

種類	周波数 (Hz)
δ 波	0.5-2.75
θ 波	3.5-6.75
低 α 波 (α_l)	7.5-9.25
高 α 波 (α_h)	10-11.75
低 β 波 (β_l)	13-16.75
高 β 波 (β_h)	18-29.75
低 γ 波	31-39.75
中 γ 波	41-49.75

4.2.2 心拍計

心拍の計測にはユニオンツール株式会社の“myBeat”ウェアラブル心拍センサ WHS-1 を使用する。myBeat は心拍、加速度、体表温の 3 種類の生体データを計測できる。専用の USB

受信機と付属の専用ソフトを使用し計測が可能である。今回は計測した数値のうち心拍 (HR : Heart Rate) を使用する。

4.2.3 表情判定

表情判定を行うには表情の録画と表情の分析が必要である。表情の録画には、Logicool 社製の C920n の Web カメラを使用する。表情の分析には、撮影した映像を解析する (株) シーエーシー 社の心 sensor (Affectiva 社製の感情認識エンジンを搭載) を使用する。このアプリケーションは撮影された映像またはリアルタイムの映像から人の顔を認識し、感情 (怒り、軽蔑、嫌悪、恐れ、喜び、悲しみ、驚き、真顔、表情の豊かさ、感情価など) を数値化可能である。また、瞬きや顔の向き、顔のパーツの座標などを数値化可能である。今回は前述の数値化された 10 種類の感情を使用する。これらの感情の中で感情価以外は 0 から 100 の間の数値で表され、感情価は -100 から 100 の数値で表される。今回は怒り、軽蔑、嫌悪、恐れ、悲しみ、驚きを負の感情とし、喜びを正の感情とする。

4.3 実験参加者

実験参加者は、9 名の湘南工科大学の 4 年生である。

4.4 実験の方法

実験参加者にはまず生体情報を計測する計測機器 (脳波計・心拍計) を身につけてもらう。表情を録画する Web カメラは PC モニタに設置する。まず、計測機器のテストを兼ねて何もしていない (椅子に座っているだけ) 時に約 5 分の生体情報の計測を行う。次に問題 A、問題 B、問題 C の順にプログラミングを行い、その時の生体情報を計測する。それぞれの時間は問題 A は 10 分、問題 B は 20 分、問題 C は 30 分と設定した。ただしこの設定時間は実験参加者には事前告知はせずに実験を行った。それぞれの問題を行う間に 1 分ほどの休憩を挟むこととした。実験の流れを図 4 に示す。

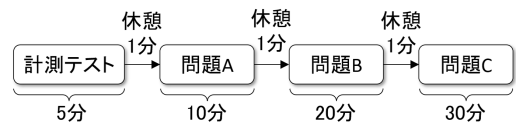


図 4 実験の流れ

5. 実験結果と分析

5.1 平均値の分析

実験参加者 1 の実験結果を表 2 に例示する。それぞれの数値は、各問題を解いている最中に計測した生体情報の平均値である。

前節では、実験参加者 1 の実験結果を示した。実験参加者 9 人分のデータが取得できた。本研究で行いたいことは、脳波 (β/α) の代替となる生体情報を見つけることである。そこで、目的変数をそれぞれ個別の脳波 β/α とし、説明変数を心拍数、怒り、軽蔑、嫌悪、恐れ、喜び、悲しみ、驚き、真顔、表情の豊かさ、感情価とする重回帰分析を行った。これで有意な偏回帰係数を求めることができれば、心拍と表情で脳波の代替が可能となる。

表 2 実験参加者 1 の生体情報の平均値

	種類	別名	A	B	C
脳波	β_l/α_l	y_1	0.5885	0.5592	0.6910
	β_h/α_l	y_2	0.4422	0.4619	1.0417
	β_l/α_h	y_3	0.8259	0.7951	0.9352
	β_h/α_h	y_4	0.7515	0.8260	1.5074
	β_{l+h}/α_{l+h}	y_5	0.6019	0.5995	0.9965
心拍	心拍数	x_1	64.2138	62.3829	47.7976
表情	怒り	x_2	0.0601	0.0605	0.0838
	軽蔑	x_3	0.1910	0.1929	0.1942
	嫌悪	x_4	0.0201	0.0203	0.0716
	恐れ	x_5	0.0213	0.0213	0.0331
	喜び	x_6	0.0816	0.0202	0.0210
	悲しみ	x_7	0.0599	0.0600	0.3486
	驚き	x_8	0.0216	0.0216	0.0387
	真顔	x_9	99.5420	99.6110	99.0507
	表情の豊かさ	x_{10}	0.4217	0.3380	0.4203
	感情価	x_{11}	0.0635	0.0094	0.0367

表 4 実験参加者 1 の生体情報の平均値の差

	種類	別名	AB	AC	BC
脳波	β_l/α_l	w_1	-0.0293	0.1025	0.1318
	β_h/α_l	w_2	0.0197	0.5995	0.5798
	β_l/α_h	w_3	-0.0308	0.1093	0.1401
	β_h/α_h	w_4	0.0745	0.7560	0.6815
	β_{l+h}/α_{l+h}	w_5	-0.0024	0.3946	0.3970
心拍	心拍数	z_1	-1.8310	-16.4162	-14.5853
表情	怒り	z_2	0.0004	0.0236	0.0233
	軽蔑	z_3	0.0019	0.0033	0.0014
	嫌悪	z_4	0.0003	0.0516	0.0513
	恐れ	z_5	0.0000	0.0118	0.0118
	喜び	z_6	-0.0614	-0.0607	0.0008
	悲しみ	z_7	0.0001	0.2887	0.2886
	驚き	z_8	0.0000	0.0171	0.0171
	真顔	z_9	0.0689	-0.4914	-0.5603
	表情の豊かさ	z_{10}	-0.0837	-0.0014	0.0823
	感情価	z_{11}	-0.0541	-0.0267	0.0273

結論としては、表 3 に示すように、決定係数（寄与率）が 0.5 以上になったものは $\beta_l/\alpha_l(y_1)$ と $\beta_l/\alpha_h(y_3)$ のみであった。

表 3 目的変数 ($y_1 \sim y_5$) の重回帰式の決定係数（寄与率）

目的変数	決定係数（寄与率）
y_1	0.5591
y_2	0.3412
y_3	0.7063
y_4	0.2417
y_5	0.3758

それぞれの重回帰式は下記のようになった。

$$\hat{y}_1 = -0.0002x_1 + 0.6322x_2 - 0.0470x_3 + 0.0226x_4 + 0.0188x_5 + 0.0145x_6 + 0.0452x_7 - 0.2270x_8 + 0.0323x_9 + 0.0025x_{10} + 0.0164x_{11} - 2.6525 \quad (1)$$

$$\hat{y}_3 = +0.0015x_1 + 0.3682x_2 - 0.1483x_3 + 0.2411x_4 - 2.8462x_5 + 0.0077x_6 - 0.1272x_7 + 0.7492x_8 - 0.0175x_9 - 0.0031x_{10} - 0.0193x_{11} + 2.5703 \quad (2)$$

ただし、上記 2 式の各変数の回帰係数の中で、 p 値が 5% 水準で有意となったものは、 y_3 の式の x_5 の係数 -2.8462 のみであった。その他の説明変数に関しては β/α を変化させる要因とはいえない、という結果になってしまった。

5.2 差の分析

前節で示したように、それぞれの課題を行っている時の生体情報の平均値では有効な重回帰式を求めることができなかった。そこで、課題の難易度の差に着目し、各問題を解いている時の生体情報の平均値の差に着目することとする。

実験参加者 1 の結果を表 4 に例示する。それぞれの数値は、各問題を解いている最中に計測した生体情報の平均値の差である。例えば AB は、問題 B を解いている時の生体情報の平均値と問題 A を解いている時の生体情報の平均値の差である。

前節と同様に、目的変数をそれぞれ個別の脳波 β/α とし、説明変数を心拍数、怒り、軽蔑、嫌悪、恐れ、喜び、悲しみ、驚き、真顔、表情の豊かさ、感情価とする重回帰分析を行った。結論としては、すべての目的変数 ($w_1 \sim w_5$) で決定係数（寄与率）は高い値となった。それぞれの重回帰式の決定係数（寄与率）は表 5 に示す。一般的な目安としては決定係数（寄与率）が 0.5 や 0.6 以上あれば、有用な回帰式が得られたと考えられる。よってすべての目的変数について有用な回帰式が得られたといえる。

表 5 目的変数 ($w_1 \sim w_5$) の重回帰式の決定係数（寄与率）

目的変数	決定係数（寄与率）
w_1	0.8906
w_2	0.9186
w_3	0.8995
w_4	0.8575
w_5	0.9030

それぞれの重回帰式は下記のようになった。なお、下記の数式の中で太字で示した回帰係数は、重回帰分析の結果 p 値が 5% 水準で有意となったものを示している。多くの説明変数が 5% 水準で有意であることがわかる。なお、実際の p 値は表 6 に示す。なお、残差分析として、残差をグラフにプロットしたところ、残差は縦軸 0 を中心に均等に散らばっており、また、外れ値も無さそうであった。

$$\hat{w}_1 = -0.0074z_1 + 0.1400z_2 + 0.2357z_3 - 0.3210z_4 + 4.4347z_5 + 0.2137z_6 + 0.1805z_7 - 0.9765z_8 + 0.1322z_9 - 0.0164z_{10} - 0.0441z_{11} - 0.0249 \quad (3)$$

$$\hat{w}_2 = -0.0408z_1 + 2.2297z_2 - 0.2697z_3 - 0.5901z_4 - 1.0580z_5 - 0.3072z_6 - 0.7093z_7 - 2.1025z_8$$

表 6 回帰係数の p 値

目的変数	心拍数 z_1	怒り z_2	軽蔑 z_3	嫌悪 z_4	恐れ z_5	喜び z_6	悲しみ z_7	驚き z_8	真顔 z_9	表情の豊かさ z_{10}	感情価 z_{11}	切片
w_1	0.0007*	0.6153	0.0027*	0.0012*	0.0000*	0.0047*	0.1077	0.0027*	0.0247*	0.0000*	0.0022*	0.0531
w_2	0.0000*	0.0036*	0.1044	0.0076*	0.4905	0.0633	0.0126*	0.0053*	0.0734	0.4749	0.1004	0.4132
w_3	0.0002*	0.0103*	0.3292	0.3729	0.0424*	0.4715	0.1539	0.5550	0.9135	0.0014*	0.0142*	0.9295
w_4	0.0000*	0.0084*	0.0003*	0.1735	0.0053*	0.0009*	0.0006*	0.0339*	0.0014*	0.0129*	0.0098*	0.4381
w_5	0.0000*	0.0025*	0.0999	0.0962	0.1893	0.2179	0.0175*	0.0162*	0.1470	0.4287	0.7369	0.5613

$$-0.2420z_9 + 0.0049z_{10} + 0.0498z_{11} + 0.0237 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \hat{w}_3 = & -0.0117z_1 + 1.0896z_2 - 0.0903z_3 + 0.1010z_4 \\ & -1.9064z_5 + 0.0650z_6 - 0.2159z_7 - 0.2238z_8 \\ & -0.0080z_9 - 0.0149z_{10} - 0.0453z_{11} - 0.0015 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \hat{w}_4 = & -0.0545z_1 + 3.8361z_2 - 1.4383z_3 - 0.5347z_4 \\ & -9.5242z_5 - 1.2274z_6 - 2.0989z_7 - 2.9426z_8 \\ & -0.9611z_9 + 0.0366z_{10} + 0.1642z_{11} + 0.0438 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \hat{w}_5 = & -0.0288z_1 + 1.8311z_2 - 0.2136z_3 - 0.2655z_4 \\ & -1.6070z_5 - 0.1538z_6 - 0.5218z_7 - 1.3650z_8 \\ & -0.1501z_9 - 0.0042z_{10} + 0.0076z_{11} + 0.0131 \end{aligned} \quad (7)$$

これらの重回帰式を見ると、心拍数 (z_1) はすべての式で有意となっており、その係数はどれもマイナスになっている。つまり、心拍数が下がるほど、脳波 (β/α) の差が大きくなると言える。脳波の差というのは従来研究より、難易度の差 (課題が難しいと思う割合) と言えるため、簡単な問題から難しい問題に取り組むと心拍が下がるということになる。心拍数と同様に怒り (z_2) も多くの式で有意となっており、その係数はどれもプラスになっている。怒りの表情が現れるほど、脳波 (β/α) の差が大きくなる、つまり怒りの表情が増すことと難易度が上がることが正の相関関係にあるということがわかる。この結果は直観に合うものである。驚き (z_8) も多くの式で有意となっており、驚きが上がるほど、脳波 (β/α) の差が小さくなると言える。課題が難しすぎたための驚きあるいはあきらめによる脳波 (β/α) の低減と考えることができる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、難易度の異なるプログラミングの課題を行っている際の生体情報 (脳波、心拍、表情) を計測を行った。脳波の代替となる生体情報を見つげるために計測したデータを用いて重回帰分析の手法を用いて分析を行った。各課題を遂行時の生体情報からは有意な回帰式を求めることができなかった。しかし、難易度の異なる課題の遂行時の生体情報の平均値の差に着目することによって有意な回帰式を求めることができた。これにより脳波 (β/α) の値を心拍と表情から推測することが可能となり、学習時に脳波計を装着せずに学習状態を推定することが可能となる。

今後は、別の実験参加者の生体情報を計測して、今回の回帰

式によって心拍と表情から脳波を正しく推定できているかを検証していきたいと考えている。

研究倫理について

今回の実験は湘南工科大学研究倫理委員会の承認を得ている。また実験参加者と実験参加者の保護者から実験参加に関する署名を得ている。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 (JP)22H01055, JP21K18535, JP20K03082 の助成を受けたものです。また、本研究の一部は、早稲田理工研特別勘定 1010000175806 NTT 包括協定共同研究、および、経営情報学会「ICT と教育」研究部会の助成を受けたものです。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す。

文 献

- [1] Katsuyuki Umezawa, Makoto Nakazawa, Manabu Kobayashi, Yutaka Ishii, Michiko Nakano, and Shigeichi Hirasawa, "The Development of a Self-Study System for Language Learning ? Overview of the Project and Related Work?," 2021 6th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed), Nov. 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/iSTEM-Ed52129.2021.9625093.
- [2] Katsuyuki Umezawa, Makoto Nakazawa, Manabu Kobayashi, Yutaka Ishii, Michiko Nakano, and Shigeichi Hirasawa, "Research Results on System Development of the Research Project of a Self-Study System for Language Learning," Proceeding of the IEEE World Engineering Education Conference (IEEE EDUNINE 2022), p.p. xx-xx, Mar. 2022
- [3] N. Yoshimine, "Mystery of the brain: Why the brain-waves oscillate rhythmically?," The Bulletin of Tama University, pp. 93-100, (2017).
- [4] H. Berger "On the electroencephalogram in man," Archiv fur Psychiatrie and Nervenkrankheiten, 87, pp. 527-570, (1929).
- [5] D. Giannitrapani, "The role of 13-hz activity in mentation," The EEG of Mental Activities, pp. 149-152, (1988).
- [6] H. Uwano, K. Ishida, Y. Matsuda, S. Fukushima, N. Nakamichi, M. Ohira, K. Matsumoto, and Y. Okada, "Evaluation of software usability using electroencephalogram - comparison of frequency component between different software versions," Journal of Human Interface Society, 10(2), pp. 233-242, (2008). (in Japanese)
- [7] K. Yoshida, Y. Sakamoto, I. Miyaji, and K. Yamada, "Analysis comparison of brain waves at the learning status by simple electroencephalography," KES'2012, Proceedings, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, pp. 1817-1826, (2012).
- [8] K. Umezawa, T. Saito, T. Ishida, M. Nakazawa and S. Hira-

sawa, “An Electroencephalograph-based Method for Judging the Difficulty of a Task given to a Learner,” Proceeding of the IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (IEEE ICALT 2017), p.p.384–386, July 2017.

- [9] K. Umezawa, T. Saito, T. Ishida, M. Nakazawa, and S. Hirasawa, “Learning-State-Estimation Method Using Browsing History and Electroencephalogram During Programming Language Learning and Its Evaluation,” In: Agrati L.S. et al. (eds) Bridges and Mediation in Higher Distance Education. HELMeTO 2020. Communications in Computer and Information Science, vol. 1344. Springer, Cham. p.p. 40-55, Feb. 2021.
- [10] <https://paiza.jp/works>