

# 英語とプログラミング言語の学習時の生体情報の 差異分析について

梅澤 克之<sup>1,a)</sup> 但馬 匠<sup>1,2</sup> 中澤 真<sup>3,b)</sup> 中野 美知子<sup>4,c)</sup> 平澤 茂一<sup>4,d)</sup>

**概要：**2016年には「学習指導要領」でグローバル化と教育の国際化に向けて英語教育とプログラミング教育の早期導入が強調された。第2言語とプログラミング言語の類似性や教育方法に関する研究などがなされているが、これらの研究の多くはアンケートによる評価にとどまっており、学習者の集中度や緊張度などのような直接的に計測できる学習者の生体情報データに基づく定量的な評価がなされていない。本研究は、英語とプログラミング言語の学習時の生体情報の差異を明らかにするために、両言語の同類問題を定義し、それらの問題を解いている最中の18種類の生体情報（5種類の脳波、1種類の心拍、12種類の表情）を計測する。英語とプログラミング言語の難易度の変化によって学習時の生体情報が異なるか否かを知るために、難易度毎の差に着目して、データの分析を行った。残念ながら英語とプログラミング言語の同類問題に関して、生体情報の有意差の有無は確認できなかったが、課題の難易度によって生体情報、特に負の感情を表す表情について統計的に有意な差を観測できた。

**キーワード：**学習分析、生体情報、脳波、心拍、表情分析

## Differential Analysis of Biological Information during Learning English and Programming Languages

### 1. はじめに

コロナ禍により必要に迫られ遠隔学習が広まったという事実はあるが、コロナ禍に陥る前から学習者が自分のペースで学習を進める非同期型遠隔学習（遠隔オンデマンド型学習）の必要性が指摘されていた（大学ICT推進協議会2015）。教室における対面型の授業においても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。学生の表情や学習態度を実際に見ること

のできる対面授業や同時双方向授業とは異なり、現状の遠隔オンデマンド型学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る。つまり全ての学生を同等に扱っており、学習者一人ひとりの学習状況に応じたきめ細かな対応ができるものではない。個人ごとの学習状況の把握が遠隔オンデマンド型学習の質および効果を高めると確信している。

また、対象科目に関しては、2016年には「学習指導要領」でグローバル化と教育の国際化に向けて英語教育とプログラミング教育の早期導入が強調された。英語教育に関しては、国際的に高等教育の多様な質を評価することが求められる、国際レベルの英語力の向上は急務である。一方、プログラミング教育に関しては、小・中学校での必修化も発表され、さらに総務省も100万人育成方針を示しプログラミング教育を推進している。このように現在の日本では第2言語として英語習得の重要性が指摘されているが、ここで海外の研究に目を向けると、当然英語を母語とする国も多いわけであり、英語に限定せずに母語以外の第2言語の習得に関する研究が多いことに気づく。さらに第2言語

<sup>1</sup> 湘南工科大学  
Shonan Institute of Technology, Fujisawa, Kanagawa 251-8511, Japan

<sup>2</sup> 実験を行った当時の所属

<sup>3</sup> 会津大学短期大学部  
Junior College of Aizu, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

<sup>4</sup> 早稲田大学  
Waseda University, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

a) umezawa@info.shonan-it.ac.jp

b) nakazawa@jc.u-aizu.ac.jp

c) nakanom@waseda.jp

d) hira@waseda.jp

とプログラミング言語の類似性や教育方法に関する研究などがなされている。しかしこれらの研究の多くはアンケートによる評価にとどまっており、学習者の集中度や緊張度などのような直接的に計測できる学習者の生体情報データに基づく定量的な評価がなされていない。

本研究の最終目標は、第2言語の習得とプログラミング言語の習得の方法論の確立を目指すことである。具体的には学習中の生体情報取得による学習状況の定量的分析結果を用いて、第2言語の学習方法をプログラミング言語の学習方法に適用する際の評価を厳密化し効果的な学習方法を確立することである。本研究では、英語とプログラミング言語の学習中の生体情報を計測し、課題の難易度の差によって学習者の生体情報にどのような差異が生じるかを分析する。

## 2. 従来研究

### 2.1 プログラミング言語と他の言語との関係

第2言語とプログラミング言語の類似性に着目した研究として、SLA-aBLe Project [1]がある。このプロジェクトでは、プログラミング言語と自然言語の共通点に着目し、教え方の観点で第2言語習得の成功例をプログラミング言語教育に応用した。結論として第2言語習得のための教育方法を応用した方が成績は高くなったと述べている。この時の評価項目としては、内発的動機づけ指標（興味や緊張感等）と自己評価型の作業負荷指標（努力やフラストレーション等）をアンケートにより評価している。また従来研究 [2]では、未習得のプログラミング言語を習得済みプログラミング言語の知識を活かして学習するクロストレーニングの重要性を主張している。さらに従来研究 [3]では、第2言語の種類（英語、ロシア語、ラテン語など）とプログラミング言語の関係性を明らかにすることや、プログラミング言語の習得は、学習の方法と相関があるのではないかとというような更なる問いを投げかけている。

### 2.2 生体情報の学習への活用

学習者の学習状況を把握するための生体情報の取得・分析に関しては、松居らの研究 [4]が進んでいる。松居らは、機械学習を用いて学習に関わる多面的情報から学習者の心的状態の推定を試みた。また学習者の心的状態（情動的領域）と理解状態（認知的領域）は相互に関連性を有すると述べている。松居らは最終的には心理状態を推定し、適切な教育支援、学習支援、最終的には自動メンタリングを実現するモデルの構築を目指している。従来研究 [5]では、関数より細かい単位で主観的なプログラム難易度を推定するために、生体情報として視線と心拍を計測し組み合わせることで、ソースコードメトリクスを用いるよりも、正確に理解難易度の推定を可能にした。主観的な理解難易度の推定性能をさらに向上させるために、視線と心拍以外の生体

情報の活用について検討されている。従来研究 [6]では脳波データと視線データを基に被験者の TOEIC スコア推定を行う提案手法について推定アルゴリズムに SOM マップを用いるという点で妥当性があることが確認された。一方で、推定精度に改善の余地があることが分かっている。従来研究 [7]では難易度の異なるプログラミング課題を行っている際の生体情報（脳波、心拍、表情）の計測を行った。難易度の異なる課題の遂行時の生体情報の平均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を可能にした。そして、脳波 ( $\beta/\alpha$ ) 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を可能にした。

## 3. 提案方式

本研究では、従来研究 [8]の（難易度の差に着目する）分析手法を使用し、英語とプログラミング言語の関係性、理解度の推定を生体情報の取得を基に検証する。

### 3.1 英語とプログラミング言語の対応について

本研究の目的は、プログラミング言語と英語の学習時の学習者の生体情報を取得し、分析することで理解度の推定と共通点の発見を目指すことである。プログラミング言語と英語の学習において、表1に示したような対応関係があるのではないかと考えた。今回の実験では、表1に示した英語4種類 (E1~E4)、プログラミング4種類 (P1~P4)の合計8種類の問題を解く際の生体情報を計測する。

表1 英語とプログラミング言語の対応表

英語	プログラミング言語
英単語 (E1)	予約語 (P1)
英文法 (E2)	構文 (P2)
英文読解 (E3)	プログラム読解 (P3)
英作文 (E4)	プログラミング (P4)

### 3.2 実験に使用する問題

今回の実験では、プログラミング4種類と英語4種類の合計8種類の問題のそれぞれについて、難しい（以降、難と表記）、普通（以降、中と表記）、易しい（以降、易と表記）の3段階の難易度の問題を各4問ずつ解くこととした。

プログラミング言語の問題は、paiza ラーニング [9]および書籍 [10]を参考にして作成した。paiza ラーニングには難易度別の問題が多数用意されている。書籍を参考にした際には、書籍の前半、中盤、後半から問題を作成することで難易度を区別した。また、英語の問題に関しては、英検4級、3級、準2級、2級の教材を参考にして問題を作成した。

プログラミング言語と英語の比較を行うために、表1の対応表を基に問題形式を揃えるよう心掛けた。例として英

単語 (E1) と予約語 (P1) の易しい問題を図 1 に示す。両言語とも一つの単語につき 4 つの選択肢から選ぶ形式とした。次に、英文法 (E2) と構文 (P2) の問題を図 2 に例示する。両言語とも、選択肢の中から並び替えて文を完成させる形式とした。さらに、英文読解 (E3) とプログラム読解 (P3) の問題を図 3 に例示する。両言語とも文 (英文とプログラム) を読み、4 つの選択肢から選んで回答する形式とした。最後に、英作文 (E4) とプログラミング (P4) の問題を図 4 に例示する。両言語とも文 (英語やプログラム) を作成する問題である。

<p><b>E1(英単語)：難易度(易)</b></p> <p>①afternoon a.午前 b.夜 c.正午 d.午後 A.( )</p> <p>②collect a.きれいにする b.~を集める c.~を大切に作る d.~を可能にする A.( )</p> <p>③pick a.絵、写真 b.~を計画する c.~を演じる d.~を描む A.( )</p>	<p><b>P1(予約語)：難易度(易)</b></p> <p>①class a.繰り返し処理を行う b.クラス宣言で使用 c.変数の宣言で使用 d.条件分岐を行う A.( )</p> <p>②int a.真偽値を表す型 b.整数を表す型 c.小数点を表す型 d.文字列を表す型 A.( )</p> <p>③return a.クラス宣言で使用 b.繰り返し処理を行う c.条件分岐を行う d.戻り値を返す A.( )</p>
--	--

図 1 E1(英単語) と P1(予約語) の問題例 (難易度：易しい)

<p><b>E2(英文法)：難易度(易)</b></p> <p>説明：( )内の単語を並び替えて、日本語の意味に合うように英文を完成させてください。記入の際は、( )内の単語をコピーしても構いません。カンマなどは必要に応じて自分で記入してください。</p> <p>[1] Man: ①( skiing, I'm, going, Sunday, this). If you have no plans, you should come with me. Woman: That's sounds fun. I'd love to.</p> <p>①今度の日曜日にスキーに行くんだ。 ( )</p> <p>[2] Man:(Nagano, went, I, in, Saturday, last, hiking). Woman:That's pretty far from here. Did you stay there? Man:No, I came back to Tokyo that evening.</p> <p>②先週の土曜日、長野にハイキングに行ったんだ。 ( )</p>	<p><b>P2(構文)：難易度(易)</b></p> <pre>[1] public class EX1{     public static void main(String[] srgs) {         ①[ out, System, "Hello World !!", println ]     } }</pre> <p>①Hello World!! と出力するプログラムを書いてください。 ( )</p> <pre>[2] public class EX2{     public static void main(String[] srgs) {         ①[ out, System, "こんにちば", print, "今日も良い天気です" ]     } }</pre> <p>①二つの命令文を使って、改行なしで「こんにちば」と「今日も良い天気です」を出力するプログラムを書いてください。 ( )</p>
--	--

図 2 E2(英文法) と P2(構文) の問題例 (難易度：易しい)

<p><b>E3(英文読解)：難易度(易)</b></p> <p>つぎの掲示の内容に関して、①と②の質問に対する答えとして最も適切なものを(a)~(d)から1つ選びなさい。</p> <p style="text-align: center;"><b>King's Pizza Place</b> <b>One-Day Sale on October 28</b> All pizzas are \$8 each! When you buy two pizzas, you'll get one more for free! We have 10 different kinds of desserts for \$3 each. Drinks are \$1 each. We have the best pizzas in town, so don't miss this sale! We are open from 11 a.m. to 10 p.m.</p> <p>① How much is a pizza on October 28? (a) \$1. (b) \$3. (c) \$8. (d) \$10.</p> <p>② People will get a free pizza when they (a) try two kinds of desserts. (b) buy two pizzas. (c) come to the shop at 11 a.m. (d) buy a large drink.</p>	<p><b>P3(プログラム読解)：難易度(易)</b></p> <pre>①public class Main {     public static void main(String[] args) {         int a = 6; int b = 2;         int c = a/b;         System.out.println(c);     } }</pre> <p>上記のプログラムの実行結果はどのようになるか (a)~(d)の中から選びなさい。 (a) 3 (b) 3.0 (c) 4 (d) 4.0 A.( )</p> <pre>②public class Main {     public static void main(string[] args) {         int a = 9; int b = 2;         double c = (double)a/(double)b;         System.out.println(c);     } }</pre> <p>上記のプログラムの実行結果はどのようになるか (a)~(d)の中から選びなさい。 (a) 4.0 (b) 4.5 (c) 5.0 (d) 5.5 A.( )</p>
--	---

図 3 E3(英文読解) と P3(プログラム読解) の問題例 (難易度：易しい)

<p><b>E4(英作文)：難易度(易)</b></p> <p>・あなたは外国人から以下の質問をされました。 ・質問について、あなたの考えとその理由を二つ英文で書きなさい。</p> <p>where do you like to go shopping? (あなたはどこに買い物に行くのが好きですか?)</p>	<p><b>P4(プログラミング)：難易度(易)</b></p> <p>実行するたびに、1から3までの数値をランダムに生成して、順位として表示するプログラムがあります。ここにJ文を追加して、1位の時には「おめでとう!」と表示するようにしてください。</p>
---	--

図 4 E4(英作文) と P4(プログラミング) の問題例 (難易度：易しい)

### 3.3 実験方式

今回の実験の参加者は、湘南工科大学の4年生の8名である。彼らは同じ大学の同じ学部でプログラミング関連のコースを数年間学んだ経験を有する。彼らのプログラミングスキルはほぼ同等であると考えられる。また彼らは学部1年次と2年次に必修科目の英語を計8単位取得している。工科系の大学生なので、英語よりプログラミング言語の方を得意とする学生の方が多い可能性がある。

英語の問題を解いてからプログラミング言語の問題を解いてもらうグループ4名(以降Aグループ)とプログラミング言語の問題を解いてから英語の問題を解いてもらうグループ4名(以降Bグループ)の二つのグループに分けた。実験の全体の流れを図5に示す。

Aグループは、英作文(E4)が終わった後で10分間の休憩の後、予約語(P1)からプログラミングの問題を解いていく。Bグループはその逆でプログラミング(P4)が終わった後に英単語(E1)に進む。

各問題は制限時間を設けた。英単語(E1)と予約語(P1)は、すべての難易度で1分の制限時間を設定した。それ以外(英文法(E2)、構文(P2)、英文読解(E3)、プログラム読解(P3)、英作文(E4)、プログラミング(P4))は、すべての難易度で2分の制限時間を設定した。制限時間内に問題を早く解き終わった場合は、終わった時点で次の難易度の問題を始めてもらう。問題を解いている最中に制限時間を過ぎてしまった場合、次の難易度の問題を解き始めることとした。

各課題(図5の四角)の開始時に生体情報の計測(脳波計測、心拍計測、表情録画)を開始し、課題の終了時に計測を停止する。各課題の中で易しい問題、普通の問題、難しい問題の順番で連続して課題に取り組む。その際に生体情報は連続して計測し、それぞれの難易度の問題を解いていた時の生体情報を実験後に切り出す。

### 3.4 生体情報の測定機器について

本研究では、脳波の計測に Neuro Sky 社の Mind Wave Mobile 2、心拍の計測に Garmin 社の VENU 2 SERIES を使用する。また、表情分析のために(株)シーエーシー社の心 sensor を使用する。

#### 3.4.1 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

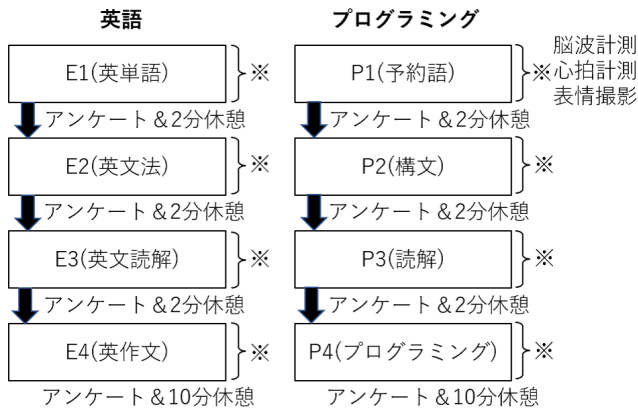


図 5 実験の流れ

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、 $\delta$  波 (0.5–2.75 Hz),  $\theta$  波 (3.5–6.75 Hz), 低  $\alpha$  波 (7.5–9.25 Hz), 高  $\alpha$  波 (10–11.75 Hz), 低  $\beta$  波 (13–16.75 Hz), 高  $\beta$  波 (18–29.75 Hz), 低  $\gamma$  波 (31–39.75 Hz), 中  $\gamma$  波 (41–49.75 Hz) の 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 [11] に則り、低  $\alpha$  波、高  $\alpha$  波、低  $\beta$  波、高  $\beta$  波の 4 種類を使用する。また今後は低  $\alpha$  波を  $\alpha_l$ 、高  $\alpha$  波を  $\alpha_h$ 、低  $\beta$  波を  $\beta_l$ 、高  $\beta$  波を  $\beta_h$  と示す。今回は既存研究 [12] より  $\beta/\alpha$  の組み合わせ 4 種類 ( $\beta_l/\alpha_l$ ,  $\beta_h/\alpha_l$ ,  $\beta_l/\alpha_h$ ,  $\beta_h/\alpha_h$ ) 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  $\beta/\alpha$  の数値を使用する。今後は  $(\beta_l + \beta_h)/(\alpha_l + \alpha_h)$  を  $\beta_{l+h}/\alpha_{l+h}$  と示す。

### 3.4.2 心拍計

心拍の計測には Garmin 社の VENU 2 SERIES を使用する。この製品は手首に装着するウェアラブルデバイスである。このデバイスでは、心拍数、呼吸数、ストレス、血中酸素レベルなどの統計データを取得することができる。また計測データは、Garmin Connect というサイトにアップロードでき、生データ (TCX データ) としてダウンロードすることができる。TCX データは様々な変換ツールを使って、例えば csv ファイルに変換することができる。

### 3.4.3 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、恐怖、喜び、悲しみ、驚き、感傷、混乱、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 12 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。

## 4. 実験結果と評価

今回の実験では、2 分間 (問題によっては 1 分間) の時系列データを取得している。ただし今回の分析では、それらのデータの平均値に着目し、平均値に変化が見られるかという観点で評価を行うこととする。学習中の生体情報を分析するにあたり、従来研究 [13] でも指摘しているように、各難易度の実験データ単体で分析するとうまく行かず、難易度ごとの差に着目するとより良い分析ができることを指摘している。今回も差に着目することとする。難易度毎の差とは、難易度中と難易度易の差、難易度難と難易度中の差に着目することである。つまり難易度があがるとそれに伴ってどのくらい生体情報が変化するかを評価することを意味する。今回は、難易度中と難易度易の差、難易度難と難易度中の差は個別に扱うのではなく、両者とも同時に扱うものとする。つまり、各問題について、8 名の実験参加者が居て、中と易の差および難と中の差の 2 種類のデータが得られるので、16 セットのデータが分析の対象となる。これらの 16 セットのデータが脳波 5 種類、心拍 1 種類、表情 12 種類の計 18 種類のデータ分取得できたことになる。なお、表情に関しては撮影に失敗した参加者が 1 名いたため合計 7 名となる。

今回は正規分布を前提としないノンパラメトリック分析の一つである「対応のある 2 標本データに対するウィルコクソン符号付順位検定」を用いて検定を行う。研究の目的としては英語とプログラミング言語の同類問題 (例えば英単語 (E1) と予約語 (P1)) の間の差を検定したい。ただし今回は、同類以外の問題との関係も調査対象とする。つまり予約語 (P1) は、英語の 4 種類の問題 (英単語 (E1), 英文法 (E2), 英文読解 (E3), 英作文 (E4)) と異なるか否かを分析する。この時、検定を 4 回繰り返すので、多重性の問題が生じる。よってボンフェローニ法を使って多重性を回避する。具体的には  $p$  値の閾値である 0.05 を多重度 (今回は 4) で割ることによって調整する。構文 (P2), プログラム読解 (P3), プログラミング (P4) についても同様に英語の 4 種類の問題 (英単語 (E1), 英文法 (E2), 英文読解 (E3), 英作文 (E4)) と平均値が異なるか否かを分析する。分析結果を表 2 に示す。

有意差なしと記述したセルは、検定の結果、 $p$  値  $> 0.05/4$  となり、平均値に差があるとは言えないという結果になったセルを表す。まず、同類問題、つまり表 2 の対角線のセル (例えば P1 と E1, P2 と E2 など) について、有意差がないという結果を期待していたが、残念ながらそのようにはならなかった。英語の E3, E4 の列を見ると、有意差あ

表 2 ウィルコクソン符号付順位検定の結果

	E1 (英単語)	E2 (英文法)	E3 (英文読解)	E4 (英作文)
P1 (予約語)	有意差 なし	心拍 (P1<E2) $p = 0.0110$	有意差 なし	心拍 (P1<E4) $p = 0.0017$
P2 (構文)	有意差 なし	有意差 なし	有意差 なし	有意差 なし
P3 (プログラ ム 読解)	有意差 なし	有意差 なし	驚き (P3<E3) $p = 0.0052$	怒り (P3<E4) $p = 0.0067$ 表情豊かさ (P3<E4) $p = 0.0067$
P4 (プログラ ミング)	有意差 なし	有意差 なし	表情豊かさ (P4<E3) $p = 0.0040$	嫌悪 (P4<E4) $p = 0.0052$

りとなった生体情報については全てが英語の方が大きな値となった。つまり英語の E3 と E4 に関しては、難易度の設定、つまり易と中の難易度の差、中と難の難易度の差が大きかったのではないかと考えられる。それに対してプログラミング言語の P2 の行は E3 と E4 に有意差が表れなかった。つまり P2 に関しては、英語の E3 と E4 と同じくらいの難易度の設定だったのではないかと考えられる。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、英語とプログラミング言語の学習を行っている際の 18 種類の生体情報（脳波 5 種類、心拍 1 種類、表情 12 種類）を計測した。英語とプログラミング言語の難易度の変化によって学習時の生体情報が異なるか否かを知るために、難易度毎の差に着目して、データの分析を行った。残念ながら英語とプログラミング言語の同類問題に関して、生体情報の差異によって傾向を見出すことはできなかった、課題の難易度によって生体情報、特に負の感情を表す表情について統計的に有意な差を観測できた。今後は課題の難易度を調整するとともに、工学系の学生だけでなく文系の学生にも実験に参加してもらい、英語とプログラミング言語の学習時における両者の差異の有無を明らかにしていきたい。

## 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 JP22H01055, JP21K18535, JP20K03082 の助成を受けたものです。また、本研究の一部は、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。

## 参考文献

- [1] Christina M. Frederick and Lulu Sun. Work in progress: Using second language acquisition techniques to teach programming - results from a two-year project. *American Society for Engineering Education, ASEE Annual Conference*, pp. 18825 1–13, 2017.
- [2] Nick B. Pandža. Computer programming as a second language. In: *Nicholson, D. (eds) Advances in Human Factors in Cybersecurity. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 501, pp. 439–445, 2016.
- [3] Jutshi Agarwal, Gregory Warren Bucks, Kathleen A. Ossman, Teri J. Murphy, and Cijy Elizabeth Sunny. Learning a second language and learning a programming language: An exploration. *American Society for Engineering Education*, p. #34240, 2021.
- [4] 松居辰則. 生体情報を用いた学習者の心的状態推定と学習支援の試み. *教育システム情報学会誌*, Vol. 36, No. 2, pp. 76–83, 2019.
- [5] 曾我遼, 横山由貴, 鹿糠秀行, 久保孝富, 石尾隆. 視線と心拍を用いた主観的なプログラム理解難易度の推定. *ソフトウェア工学の基礎ワークショップ論文集*, pp. 71–80, 2021.
- [6] 八子拓也, 下田明, 八子亮太, 和田政輝, 土田泰子, 外山茂浩. 自己組織化マップを用いた英文読解時の視線・脳波解析による英語能力推定. *ヒューマンインターフェース学会論文誌*, Vol. 23, No. 4, pp. 397–406, 2021.
- [7] 梅澤克之, 中澤真, 中野美知子, 平澤茂一. 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. *電子情報通信学会 (IEICE) 技術報告*, pp. 14–19, 2022.
- [8] Katsuyuki Umezawa, Makoto Nakazawa, Michiko Nakano, and Shigeichi Hirasawa. About the relationship between brain waves, heart rate and facial expressions during programming learning. *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE) Technical report*, pp. 14–19, 2022.
- [9] Paiza learning. <https://paiza.jp/works>. Accessed: 18 December 2022.
- [10] 三谷純. *Java 第 2 版 入門編 ゼロからはじめるプログラミング*. 翔泳社, 2017.
- [11] Kouji Yoshida, Yuuta Sakamoto, Isao Miyaji, and Kunihiro Yamada. Analysis comparison of brain waves at the learning status by simple electroencephalography. In: *Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems 2012*, pp. 1817–1826, 2012.
- [12] Katsuyuki Umezawa, Tomohiko Saito, Takashi Ishida, Makoto Nakazawa, and Shigeichi Hirasawa. 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)*, pp. 384–386, 2017.
- [13] Katsuyuki Umezawa, Makoto Nakazawa, Michiko Nakano, and Shigeichi Hirasawa. A study on the relationship between brain waves, heart rate, and facial expressions during programming learning. *Proceedings of the International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2022)*, pp. 1–7, 2022.

## 付 録

## A.1 計測結果

表 A-1 にプログラム読解 (P3) の計測データの一部を示す。紙面の都合上省略しているが、実際には横方向には 18 種類の生体情報が並ぶ。また縦方向には 8 名の参加者のデータが並ぶ。ここでは予約語 (P1) の問題を解いている際の生体情報を例示しているが、実際にはこの他に、予約語 (P1)、構文 (P2)、プログラミング (P4)、英単語 (E1)、英文法 (E2)、英文読解 (E3)、英作文 (E4) のデータも計測している。

## A.2 分析結果

表 A-2 にプログラム読解 (P3) の分析結果の一部を示す。「中 - 易」は、難易度中の平均値から難易度易の平均値を引き算することを意味している（「難 - 中」も同様）。プログラム読解 (P3) に関して 4 種類の英語との検定を行っているため、多重度は 4 となる。実際の有意性の判定には  $0.05/4 = 0.125$  を閾値として用いた。灰色に網掛けした箇所が有意差があると判定された箇所となる。

表 A-1 プログラム読解 (P3) の計測データの一部

		$\beta_l/\alpha_l$	$\beta_l/\alpha_h$	...	心拍	怒り	...	驚き	...	表情豊かさ	感情価
参加者 1	易	1.1145	1.5126	...	61.0000	1.0145	...	0.1328	...	35.9503	1.0494
	中	2.0832	1.7695	...	64.5000	0.3502	...	0.0680	...	5.2497	0.0000
	難	1.9894	1.6003	...	64.6667	0.2579	...	0.0697	...	1.6612	0.0000
参加者 2	易	1.1554	1.1419	...	80.5000	0.1997	...	0.0887	...	2.7627	-0.2269
	中	0.8741	1.6395	...	87.2000	0.1530	...	0.0698	...	2.1216	-0.0464
	難	1.7426	1.3048	...	84.8000	0.1376	...	0.0641	...	1.5971	-0.0064
参加者 3	易	0.9799	1.3605	...	84.3750	0.8548	...	0.1413	...	66.0674	15.3937
	中	1.1471	1.6351	...	79.8333	0.7950	...	0.1989	...	61.9845	15.3081
	難	1.1093	0.8780	...	83.0000	0.4884	...	0.0814	...	33.9960	4.7426
参加者 4	易	0.6525	1.1647	...	70.5000	0.8807	...	0.1573	...	35.2138	0.2495
	中	0.9898	1.0590	...	72.0000	0.3421	...	0.0680	...	5.6299	-0.6164
	難	1.3116	1.0727	...	72.6667	0.3385	...	0.0633	...	9.0824	0.0000
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
参加者 8	易	0.5385	0.9266	...	78.6667	0.5014	...	0.8934	...	32.9875	0.0062
	中	0.7401	0.9843	...	82.7143	0.3932	...	0.3807	...	17.8361	0.0000
	難	0.9519	0.9691	...	81.5000	0.2406	...	0.0770	...	8.9858	-0.0387

表 A-2 プログラム読解 (P3) の検定結果の一部

		$\beta_l/\alpha_l$	$\beta_l/\alpha_h$	...	心拍	怒り	...	驚き	...	表情豊かさ	感情価
参加者 1	中 - 易	0.9687	0.2569	...	3.5000	-0.6643	...	-0.0648	...	-30.7005	-1.0494
	難 - 中	-0.0938	-0.1692	...	0.1667	-0.0923	...	0.0017	...	-3.5886	0.0000
参加者 2	中 - 易	-0.2813	0.4977	...	6.7000	-0.0467	...	-0.0189	...	-0.6411	0.1805
	難 - 中	0.8685	-0.3347	...	-2.4000	-0.0153	...	-0.0057	...	-0.5245	0.0399
参加者 3	中 - 易	0.1672	0.2746	...	-4.5417	-0.0597	...	0.0576	...	-4.0829	-0.0856
	難 - 中	-0.0379	-0.7571	...	3.1667	-0.3066	...	-0.1175	...	-27.9885	-10.5656
参加者 4	中 - 易	0.3373	-0.1057	...	1.5000	-0.5386	...	-0.0894	...	-29.5838	-0.8659
	難 - 中	0.3218	0.0137	...	0.6667	-0.0036	...	-0.0047	...	3.4525	0.6164
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
参加者 8	中 - 易	0.2016	0.0576	...	4.0476	-0.1082	...	-0.5127	...	-15.1514	-0.0062
	難 - 中	0.2118	-0.0152	...	-1.2143	-0.1526	...	-0.3037	...	-8.8503	-0.0387
平均		0.2321	-0.0208	...	0.3651	-0.1377	...	-0.0750	...	-8.1426	-0.8132
ウィルククソン 符号付 順位検定	E1 との検定	0.5282	0.4332	...	0.1754	0.8552	...	0.4631	...	0.1726	0.2412
	E2 との検定	0.4637	0.9799	...	0.6322	0.7609	...	0.4263	...	0.1353	0.2412
	E3 との検定	0.1167	0.8209	...	0.4037	0.0245	...	0.0052	...	0.0166	0.2676
	E4 との検定	0.0577	0.8999	...	0.5966	0.0067	...	0.5016	...	0.0067	0.3575