

簡易脳波計と教育版マインクラフトを用いた ビジュアルプログラミング学習時の難易度の評価

梅澤 克之^{1,a)} 中澤 真² 石井 雄隆³ 小林 学⁴ 中野 美知子⁴ 平澤 茂一⁴

概要: 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 ラーニング時に出題する課題の難易度を脳波に合わせて動的に易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, 教育版マインクラフトを利用しビジュアルプログラミングの学習時に脳波情報を計測することによって, 個々の学習者の学習状況の把握を試みる. さらに把握できた学習状況を実験後に実施したアンケートの結果を用いて統計的に評価を行い, 課題が難しいと感じるか否かはプログラミング経験の有無よりもマインクラフトの経験の有無の方が有意に影響していることが分かった.

Evaluation of Difficulty during Visual Programming Learning using a Simple Electroencephalograph and Minecraft Educational Edition

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」「学習時の集中度や退屈度」, 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 α 波と β 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 β/α の値が高くなることが示されている [7][8].

本研究では, 文法エラーを生じないビジュアルプログラミングを対象として, プログラミング学習時の脳波を計測し, 個々の学習者の学習状況の把握を試みる. 具体的には教育版マインクラフトを利用し学習時に脳波情報を計測する. さらに把握できた学習状況を統計的に分析するために実験後にアンケートを実施する.

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章で実験結果を示す. 5章で実験結果をアンケートによって評価し, 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. 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.

¹ 湘南工科大学
Shonan Institute of Technology, Tsujido-Nishikaigan 1-1-25,
Fujisawa, Kanagawa, 251-8511, Japan

² 会津大学短期大学部
Junior College of Aizu, Monden 1-1, Yahata, Ikki-Machi,
Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

³ 千葉大学
Chiba University, Yayoicho 1-33, Inage Ward, Chiba-shi,
Chiba, 263-8522 Japan

⁴ 早稲田大学
Waseda University, Okubo 3-4-1, Shinjuku, Tokyo 169-
8555, Japan

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

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 [1]. 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.

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 [4][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, 全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 [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 γ 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 [9]. さらに, 記憶作業に反応する低 γ 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 θ 波の 2 つの脳波の関係性を分析し, $(\theta$ 波 + α 波) / 10 と低 γ 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 $(\theta$ 波 + α 波) / (10 × 低 γ 波) が有効であることを示している [10].

3. 実験について

今回の実験では, マイクロソフト社が提供している教育版マインクラフトを利用した. また実験に利用した教科書は参考文献 [11] を利用した.

3.1 教育版マインクラフト

教育版マインクラフトは, MakeCode と呼ばれるビジュアルプログラミングと連携して, マインクラフトの世界でエージェント (ロボット) をプログラムで動かして様々なアクション (ブロックを積む等) を行うことができる.



図 1 教育版マインクラフト

3.2 実験で用いた教材

「ハナのマイクラでプログラミング冒険」[11] は, エデュランドという世界でプログラミングでエージェントを操ってヒスイ蘭という花を探す物語である. 全 5 章構成になっている. 第 1 章は準備, 第 2 章はエージェントを呼び出す基本操作, 第 3 章は繰り返しを使った橋の建設, 第 4 章は条件分岐を使った迷いの森からの脱出, 第 5 章は, 3D 空間での座標の概念, という内容である. 各章は, ストーリーを説明する漫画と, プログラミングの見本を例示しながら解説をする本編と, 本編が終わった人向けの追加問題という構成になっている. 今回の実験では下記の 3 種類の脳波を測定した.

- (a) 第 3 章の漫画を読んでいるときの脳波 (以降 Manga と呼ぶ)
- (b) 第 3 章の橋を建設する課題を教科書通りにプログラミングを行っているときの脳波 (以降, Bridge と呼ぶ)
- (c) 上記の橋とは幅の異なる柵付きの橋を自分で考えながらプログラミングを行っているときの脳波 (以降, Extra と呼ぶ)

3.3 実験参加者について

湘南工科大学梅澤研究室の 4 年生, 湘南工科大学付属高校の 3 年生, 早稲田大学本庄高等学院の 1~3 年生の合計 30 名の実験を行った.

3.4 脳波計測方法

脳波の測定は, NeuroSky 社製脳波コントロール MindWave(R) Mobile ヘッドセットを利用した. 文献 [12] 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.

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 (リラックス度) を

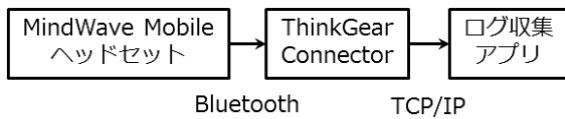


図 2 脳波計測の概要

取得できる。

表 1 取得できる脳波の種類 [12]

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. 実験結果

図 3 に例として実験参加者 27 の一人分の脳波の計測結果を示す。なお生データを表示するとデータの個数が多すぎて見にくいので、図 3 は、60 秒ごとに平均を取ったデータを示している。

縦軸は β 波/ α 波の値である。ただし、表 1 に示した通り、今回計測に用いた簡易脳波計では α 波と β 波はそれぞれ高周波と低周波の 2 種類の脳波を計測可能である。つまり、 α 波と β 波の比である β/α を考える際に、 β_l/α_l , β_h/α_h , β_l/α_h , β_h/α_l の 4 種類の組み合わせが考えられる。さらに低周波と高周波の平均の比 $(\beta_l+\beta_h)/(\alpha_l+\alpha_h)$ (以降 β_{l+h}/α_{l+h} と表す) も加え全 5 種類の β/α を記載している。

4.1 実験結果

図 3 を見ても、どの種類の脳波が上がったのか、あるいは下がったのかが判別できない。そこでまず、各実験参加者について、Manga と Bridge を比較する。さらに Bridge と Extra を比較する。この比較にはまず、 F 検定を行い等分散と仮定できるか否かを検定した上で、 t 検定を行った。Manga と Bridge の t 検定の結果 (p 値) を表 2 に示す。太字の箇所が 0.05 より小さな値であり、平均値に有意差があると判定されたことを示している。また、各数字の右肩の + 記号は Manga と Bridge を比較した際に Bridge の方が平均値が有意に高くなったことを示しており、- 記号は Bridge の方が平均値が有意に低くなったことを示している。さらに Bridge と Extra の t 検定の結果 (p 値) を表 3 に示す。太字の意味は表 2 と同じであり、各数字の右肩の + 記号は Bridge と Extra を比較した際に Extra の方が平均値が有意に高くなったことを示しており、- 記号は Extra の方が平均値が有意に低くなったことを示している。

表 2 Manga と Bridge の比較

参加者	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
01	0.5626	0.0000 ⁺	0.6419	0.9329	0.0049 ⁺
02	0.1004	0.3886	0.3144	0.0028 ⁺	0.1118
03	0.5150	0.4894	0.7718	0.9912	0.7937
04	0.1617	0.0065 ⁺	0.2113	0.1978	0.5875
05	0.1842	0.7861	0.8375	0.1805	0.2945
06	0.3709	0.6185	0.1840	0.6578	0.6169
07	0.2375	0.8462	0.3192	0.1194	0.6586
08	0.3076	0.6196	0.4439	0.1229	0.3695
09	0.2780	0.8531	0.2907	0.1940	0.4955
10	0.9274	0.7058	0.9666	0.9567	0.5342
11	0.1077	0.0000 ⁺	0.0000 ⁺	0.0000 ⁺	0.0000 ⁺
12	0.0000 ⁺	0.0579	0.0115 ⁺	0.1248	0.1880
13	0.0002 ⁺	0.0002 ⁻	0.0000 ⁺	0.5109	0.9090
14	0.3137	0.0000 ⁺	0.1501	0.4415	0.0039 ⁺
15	0.0036 ⁺	0.0412 ⁺	0.0706	0.0033 ⁺	0.0002 ⁺
16	0.0000 ⁺	0.0000 ⁺	0.0016 ⁺	0.0000 ⁺	0.0000 ⁺
17	0.4149	0.0000 ⁺	0.2088	0.0795	0.0008 ⁺
18	0.3227	0.0002 ⁺	0.5957	0.2939	0.3651
19	0.5193	0.0011 ⁺	0.2183	0.0018 ⁺	0.0280 ⁺
20	0.2733	0.0000 ⁺	0.4743	0.0003 ⁺	0.0006 ⁺
21	0.5523	0.6804	0.3221	0.7251	0.6111
22	0.8316	0.0141 ⁺	0.2703	0.6676	0.5907
23	0.7221	0.7106	0.6300	0.4343	0.7128
24	0.2561	0.4852	0.4271	0.7199	0.5958
25	0.0511	0.0066 ⁺	0.6265	0.0085 ⁺	0.0293 ⁺
26	0.0520	0.0001 ⁺	0.5199	0.3799	0.9471
27	0.0051 ⁺	0.0050 ⁺	0.4638	0.0000 ⁺	0.0000 ⁺
28	0.8002	0.0177 ⁻	0.2257	0.1982	0.0081 ⁻
29	0.1108	0.7917	0.5612	0.2232	0.9590
30	0.4945	0.4080	0.3861	0.5234	0.8058

4.2 考察

表 2 および表 3 を見ると、表 2 の実験参加者 13 と、表 3 の実験参加者 17 だけが「平均値が有意に上がった」と「有意に下がった」が混在したが、それ以外の実験参加者は結果が一致した。つまりここから言えることは、低 α 波、高 α 波、低 β 波、高 β 波のどの組み合わせを利用すべきかということではなく、すべての組み合わせを参照すべきということができる。

また、表 2 を見ると多くの実験参加者が、漫画を読んでいる時 (Manga) に比べて教科書通りにプログラミングを行っているときのほうが β/α の値の平均値が優位に高くなっている実験参加者が多くなった。この結果は困難な問題を解く際に β/α の値が高くなるという従来研究の主張に沿ったものとなっている。

表 3 では、 β/α の平均値が高くなる実験参加者と低くなる実験参加者が混在する結果となった。自分で考えて問題を解く (Extra) の方が困難度は増すのではないかと考えていたが、教科書通りにプログラミングを行う (Bridge) こと

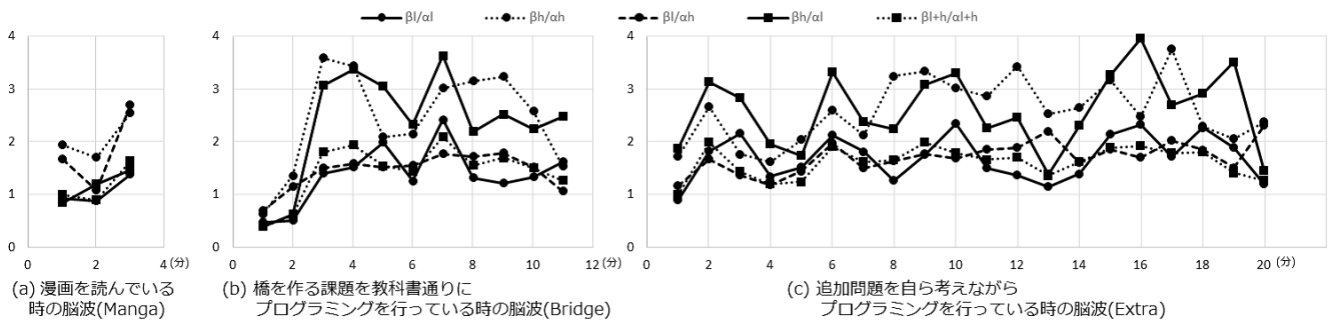


図 3 実験参加者 27 の α 波/ β 波の値

表 3 Bridge と Extra の比較

参加者	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
01	0.2044	0.0209 ⁻	0.2068	0.8512	0.0484 ⁻
02	0.9389	0.5035	0.7836	0.7776	0.7113
03	0.0976	0.0535	0.4809	0.0496 ⁺	0.0299 ⁺
04	0.2081	0.3930	0.0209 ⁺	0.2079	0.2000
05	0.9039	0.0160 ⁺	0.0539	0.3709	0.2354
06	0.0188 ⁻	0.0000 ⁻	0.2140	0.0000 ⁻	0.0000 ⁻
07	0.0041 ⁻	0.0000 ⁻	0.1452	0.0000 ⁻	0.0000 ⁻
08	0.0814	0.0205 ⁺	0.9662	0.0001 ⁺	0.7092
09	0.6604	0.0226 ⁻	0.3045	0.0411 ⁻	0.0014 ⁻
10	0.2201	0.1796	0.0887	0.0490 ⁺	0.0344 ⁺
11	0.1388	0.7737	0.7192	0.3480	0.9897
12	0.0002 ⁺	0.4142	0.0222 ⁺	0.0357 ⁺	0.0000 ⁺
13	0.7385	0.9226	0.3749	0.8016	0.9656
14	0.2822	0.0156 ⁺	0.0629	0.5638	0.0120
15	0.0049 ⁻	0.7027	0.2765	0.0391 ⁻	0.0090 ⁻
16	0.8443	0.2107	0.5516	0.5449	0.3478
17	0.5652	0.0000 ⁻	0.0006 ⁺	0.1662	0.7103
18	0.3026	0.0000 ⁺	0.9481	0.4383	0.0000 ⁺
19	0.5870	0.4299	0.8853	0.7444	0.2541
20	0.2010	0.0293 ⁻	0.9732	0.6764	0.5844
21	0.1100	0.4203	0.9605	0.5183	0.8164
22	0.3152	0.0173 ⁻	0.0379 ⁻	0.9500	0.1009
23	0.4909	0.2008	0.2880	0.4456	0.3736
24	0.8875	0.0307 ⁻	0.0903	0.5460	0.0511
25	0.3290	0.6658	0.8995	0.5351	0.5816
26	0.7583	0.1087	0.5516	0.6249	0.3283
27	0.0106 ⁺	0.7424	0.0286 ⁺	0.3134	0.0937
28	0.1980	0.6134	0.9928	0.6089	0.0013 ⁺
29	0.0247 ⁺	0.0481 ⁺	0.5068	0.0020 ⁺	0.0023 ⁺
30	0.3130	0.0072 ⁺	0.8393	0.0498 ⁺	0.6204

で、プログラミングの方法を理解することができた結果、その後の追加問題を自分で考えて解く (Extra) 際に困難度が下がった実験参加者も見られたのではないかと考えることができる。

5. アンケートによる評価

本章では、毎回の対面授業の最後に実施したグループ分

けに関する理解度と授業の難易度に関するアンケートに関する分析を行う。

5.1 アンケート項目の説明

以下の4つの質問 (Q1, Q2, Q3, Q4) を行った。

Q1 プログラミングの経験の有無

- A1. 有り
- A2. 無し

Q2 プログラミングは得意か

- A1. 苦手
- A2. やや苦手
- A3. 普通
- A4. やや得意
- A5. 得意

Q3 マインクラフトの経験の有無

- A1. 有り
- A2. PC 以外のマインクラフトの経験あり
- A3. 無し

Q4 漫画は面白かったか

- A1. つまらない
- A2. ややつまらない
- A3. 普通
- A4. やや面白い
- A5. 面白い

5.2 Manga と Bridge に関するアンケート評価

Manga と Bridge に関してアンケート結果を分析する。アンケートの各設問毎にアンケート結果と Manga と Bridge で平均値が「上がった」、「変わらない」、「下がった」の各項目でクロス集計を行った。クロス集計の結果を表 4～表 7 に示す。「上がった」、「変わらない」、「下がった」の考え方は表 2 において各実験参加者について5種類の脳波のうち一つでも「+」がある場合、その実験参加者は平均値が「上がった」と考えることとした（「下がった」についても同様）。また、5種類の脳波のすべてに「+」も「-」もつかない場合と「+」と「-」が混在する場合、その実験参加者は平均値が「変わらない」と考えることとした。

表 4 プログラミング経験の有無

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
有	5	6	0	11
無	11	7	1	19
合計	16	13	1	30

表 5 プログラミングは得意か

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
苦手	2	2	0	4
やや苦手	2	3	1	6
普通	8	7	0	15
やや得意	3	1	0	4
得意	1	0	0	1
合計	16	13	1	30

表 6 マインクラフトの経験の有無

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
無	3	2	0	5
有 (PC 版)	7	8	1	16
有 (PC 版以外)	6	3	0	9
合計	16	13	1	30

表 7 漫画は面白かったか

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
つまらない	1	2	0	3
ややつまらない	0	5	0	5
普通	4	2	1	7
やや面白い	7	3	0	10
面白い	4	1	0	5
合計	16	13	1	30

表 4～表 7 の各クロス集計データについて χ^2 検定を行った結果、 p 値は表 8 のようになった。「漫画は面白かったか」というアンケート結果が若干 p 値は小さくなったものの残念ながらすべてのアンケート結果から有意な差を見出すことはできなかった。

表 8 Manga と Bridge の χ^2 検定結果

アンケート項目	p 値	結果
プログラミング経験の有無	0.5260 > 0.05	有意差なし
プログラミングは得意か	0.6357 > 0.05	有意差なし
マインクラフトの経験の有無	0.7584 > 0.05	有意差なし
漫画は面白かったか	0.1169 > 0.05	有意差なし

5.3 Bridge と Extra に関するアンケート評価

Bridge と Extra に関してアンケート結果を分析する。クロス集計の結果を表 9～表 11 に示す。

表 9～表 11 の各クロス集計データについて χ^2 検定を行った結果、 p 値は表 12 のようになった。

表 12 に示した通り「マインクラフトの経験の有無」に有意差が認められた。

表 9 プログラミング経験の有無

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
有	5	4	2	11
無	7	6	6	19
合計	12	10	8	30

表 10 プログラミングは得意か

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
苦手	0	2	2	4
やや苦手	4	2	0	6
普通	6	4	5	15
やや得意	1	2	1	4
得意	1	0	0	1
合計	12	10	8	30

表 11 マインクラフトの経験の有無

平均値	上がった	変わらない	下がった	合計
無	1	0	4	5
有 (PC 版)	7	5	4	16
有 (PC 版以外)	4	5	0	9
合計	12	10	8	30

表 12 Manga と Bridge の χ^2 検定結果

アンケート項目	p 値	結果
プログラミング経験の有無	0.7240 > 0.05	有意差なし
プログラミングは得意か	0.4404 > 0.05	有意差なし
マインクラフトの経験の有無	0.0227 < 0.05	有意差あり

そこで、「マインクラフトの経験の有無」に対して残差分析を行う。残差分析の結果を表 13 に示す。表 13 の太字で示した項目が残差分析により有意に差がある (絶対値が 1.96 以上) 項目である。

表 13 マインクラフトの経験の有無に関する残差分析結果

平均値	上がった	変わらない	下がった
無	-1.000	-1.732	2.954**
有 (PC 版)	0.448	-0.259	-0.221
有 (PC 版以外)	0.325	1.690	-2.162*

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

マインクラフトの経験が無い実験参加者が平均値が下がる (つまり追加問題の方が難しいと感じない) 人が有意に多くなった。また、マインクラフトの経験はあるが PC 版の経験はない実験参加者は、追加問題の方が難しいとは感じない (平均値が下がる) 人が有意に少なくなった。

6. まとめと今後の課題

本研究では、教育版マインクラフトを利用しビジュアルプログラミングの学習時に脳波情報を計測することによって、個々の学習者の学習状況を把握し、その学習状況を実験後に実施したアンケートの結果を用いて統計的な評価を行った。その結果、課題が難しいと感じるか否かはプログ

ラミング経験の有無よりもマイクラフトの経験の有無の方が有意に影響していることが分かった。今後は、ビジュアルプログラミング言語ではない通常のテキストベースのプログラミング言語を用いて、同様の実験を行い、脳波による学習状況の把握を試みる予定である。

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。

参考文献

- [1] D. Giannitrapani, “The role of 13-hz activity in mentation,” *The EEG of Mental Activities*, pp. 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 圃裕, “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, Kunihiro and 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).
- [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] 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)
- [10] 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)
- [11] 安藤昇監修, “ハナのマイクラでプログラミング冒険,” *マイクロソフト*, (2017).
- [12] ThinkGear Serial Stream Guide, http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol (2019/11/12 参照)