

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

梅澤 克之¹ 石田 崇² 齋藤 友彦³ 中澤 真⁴ 平澤 茂一⁵

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づ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づ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. 本報告では, 簡単な問題と難しい問題の設定が容易な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難しい問題が与えられると β 波/ α 波の値が高くなることを再度確認するとともに, 周波数の高低によって複数種類観測される α 波と β 波の組み合わせに関する考察を行い, 低 β 波/低 α 波の値が最も良く課題の困難度を表していることを示す.

A judgment method of difficulty of task for a learner using simple electroencephalograph

KATSUYUKI UMEZAWA¹ TAKASHI ISHIDA² TOMOHIKO SAITO³ MAKOTO NAKAZAWA⁴
SHIGEICHI HIRASAWA⁵

Abstract: There are many causes of failure in study such as quality and difficulty of learning content, and learning proficiency. 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. If the different brain waves depending on degree of difficulty of a task can be measured, the degree of difficulty of a task at the time of e-learning can be changed dynamically according to the brain waves. And we can expect to be able to get the most suitable learning effect to each student. In this study, we use a task as typing practice capable of setting of an easy task and a difficult task is used. We confirm that the β/α will become high-value if the difficult task is given, which is being talked about by a previous study, and consider about combination of the α wave and the β wave we observe more than one kinds by high and low of the frequency. Then, we show that the value of (low β wave) / (low α wave) represents the degree of difficulty of the task best.

1. はじめに

Web教材の効果的な活用法 [1] やデジタル教科書と e-

Learning システムの統合 [2] に関する従来研究がある. また我々は, 大学基盤教育用の教科書としての電子教材の試作を行い, 電子教材の視覚効果が, 授業の分かりやすさなどのように影響するのかを評価してきた [3]. また, 学習時の編集履歴を参照可能とするシステムの構築 [6] と, それを用いた英語教育への活用 [7][10] やプログラミング教育への活用 [4][5][8][9] を行ってきた.

本研究の最終的な目標は, 今まで行ってきた学習履歴情報の活用に加えて, 学習時の脳波や視線を測定することにより学習時 (特に自習時) のつまづきのポイントを検出す

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

² 高崎経済大学, Takasaki City University of Economics, Takasaki, Gunma 370-0801, Japan

³ 東京都立大学, Tokyo City University, Setagaya, Tokyo 158-8557, Japan

⁴ 会津大学短期大学部, Junior College of Aizu, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-0003, Japan

⁵ 早稲田大学, Waseda University, Shinjuku, Tokyo 169-8555, Japan

ることを目指している。また、つまづきポイント別の補助教材の自動提示や補助教材の有効性評価を行うこのも目標の1つである。さらに最終的には総合的な理解度を測定し、有効性の評価を行うことを目標とする。

従来研究として、 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、難しい問題を解くほど負荷が高くなり β/α の値が大きくなることが報告されている [14]。

今回の報告では、簡単な問題と難しい問題の設定が容易な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とともに、周波数の高低によって複数種類観測される α 波と β 波の組み合わせに関する考察を行う。このように、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しくしたり難しくしたりでき、個々の学生に適応させ最適な学習効果を得られることが期待できる。

2. 従来研究

2.1 脳波の学習への応用

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。特に β 波は思考状態と関連性が高いとして、知的作業と脳波を関係を調べた研究報告もある。特に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 [11]。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 [12][13]。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 [14]。

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 [15]。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 [16]。

表 1 取得できる脳波の種類 [18]

Table 1 The kind of brain waves which can be acquired

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

3. 実験の方法

3.1 タイピング練習アプリケーション

今回の実験で用いたタイピング練習用アプリケーションは、1文字ずつ入力すべき文字が表示され表示された文字を入力する「基礎編」と、かなり難しい読み方をする述語交じりの文章が表示され漢字変換を行いながら表示されたおりに文章を入力する「実践編」という2つのモードを有するアプリケーションを利用した。

3.2 脳波計測方法

脳波の測定は、NeuroSky 社製脳波コントロール MindWave® Mobile ヘッドセットを利用した。図 1 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 MindWave Mobile との通信機能を提供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。

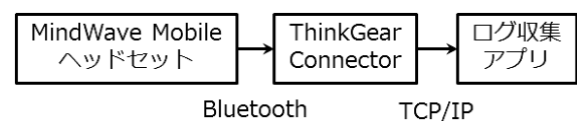


図 1 脳波計測の概要

3.3 被験者と実験方法

新潟県立松代高校を中心に、近隣の高校生を対象に「まつだいサイエンス講座」を開催し、サイエンス講座内で実験を行った [17]。今回の実験の被験者は、10名の高校生を対象とした。1人に対して、「基礎編」および「応用編」の2種類の難易度の異なるモードでタイピングを行い、その時の脳波を計測した。また、「基礎編」全30問および「応用編」全5問の解答に要した時間も合わせて計測を行った。図 2 は実験中の被験者を示す。

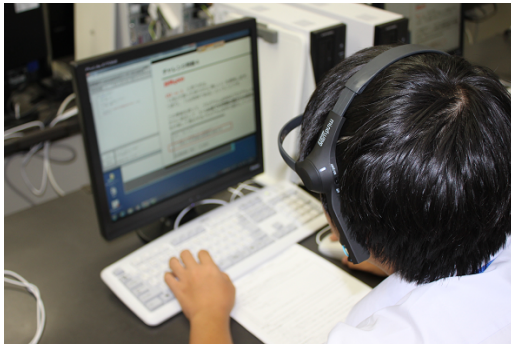


図 2 実験中の被験者

Fig. 2 Experimenting high school student

4. 実験の結果

図 3, 図 4, 図 5 に計測を行った 10 人のうち例として 3 人分の結果を示す*1. 縦軸は β_l/α_l 波の値であり, 横軸は時間である. 図 3 の「基礎編」のグラフの平均は 0.764, 「実践編」の平均は 1.351 であった. それに対して図 4 の「基礎編」のグラフの平均は 1.823, 「実践編」の平均は 1.320 であった. また, 図 5 の「基礎編」のグラフの平均は 1.174, 「実践編」の平均は 1.388 であった.

図 3 や図 4, 図 5 は被験者一人についての脳波の時系列データであるが, これらの時系列データを平均化した結果を示す.

2 章で示したように, 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 [12][13]. 本論文でも β/α に着目する. 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) を加えて全 5 種類の β/α を考えることとする. 表 2 はタイピング練習の基礎編を実行している際の脳波の被験者ごとの平均値である. また, 表 3 に実践編を実行している際の脳波の平均値を示す.

難しい課題を遂行中の方が, β/α の値が高くなるという仮定に基づいて, 表 2 と表 3 の値を比較する. 比較する際に個別の表のままだと比較しにくいので, 図 2 の基礎編の値に対する図 3 の実践編の値の割合 (以降, 「実践編/基礎編」と表す) を表 4 に示す. 表 4 に示した値が 1.0 より大きいとき (太字で表示) に, 実践編のときの β/α の値の方が基礎編のときの β/α より大きな値になっていることを示している.

*1 後の表 4 で明らかになるが, 基礎編の β_l/α_l の値に対する実践編の β_l/α_l の値が, 高かった被験者が ID2, 低かった被験者は ID5, 中間的だった被験者が ID6 である.

表 2 基礎編実行時の脳波

Table 2 Brain waves at typing practice of basic course

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
1	1.353	1.789	1.496	1.388	0.964
2	0.764	0.817	0.921	0.604	0.564
3	1.909	1.382	1.448	1.632	1.008
4	1.185	0.939	1.227	0.843	0.869
5	1.823	1.237	1.638	1.519	1.063
6	1.174	1.014	1.308	0.875	0.883
7	1.057	0.893	1.007	0.773	0.682
8	0.664	0.967	1.011	0.725	0.638
9	1.336	0.998	1.320	0.993	0.876
10	1.349	0.742	1.151	0.762	0.753

表 3 実践編実行時の脳波

Table 3 Brain waves at typing practice of advanced course

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
1	1.263	1.485	1.271	1.478	1.015
2	1.351	1.280	1.454	1.201	0.999
3	2.003	1.392	1.465	1.662	1.006
4	1.576	1.131	1.320	1.046	0.910
5	1.320	0.845	1.188	0.854	0.824
6	1.388	1.298	1.415	1.208	0.987
7	0.954	1.192	1.126	0.909	0.743
8	0.990	1.041	1.189	0.923	0.742
9	1.480	1.062	1.286	1.384	0.917
10	1.467	1.099	1.382	1.094	0.935

表 4 実践編/基礎編の値

Table 4 Value of advanced / basic

ID	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
1	0.933	0.830	0.849	1.065	1.053
2	1.768	1.566	1.579	1.986	1.771
3	1.049	1.007	1.012	1.018	0.998
4	1.330	1.205	1.075	1.241	1.047
5	0.724	0.683	0.725	0.562	0.775
6	1.182	1.281	1.082	1.380	1.117
7	0.903	1.335	1.118	1.176	1.089
8	1.491	1.076	1.176	1.273	1.163
9	1.108	1.063	0.974	1.394	1.046
10	1.087	1.480	1.201	1.436	1.242

5. 結果の分析および考察

5.1 課題遂行時間との関係

表 4 の β_h/α_l の列を見ると, ID5 の被験者以外は 1.0 より大きい値になっている. その他の列を見ても多くの数値が 1.0 より大きい値を示している. これにより, 簡単な課題を実行する時より難しい課題を実行するときの方が (低周波か高周波かは抜きにして,) β/α の値が高くなるということが出来る.

次に, どの周波数の α 波と β 波を利用すべきなのかを考

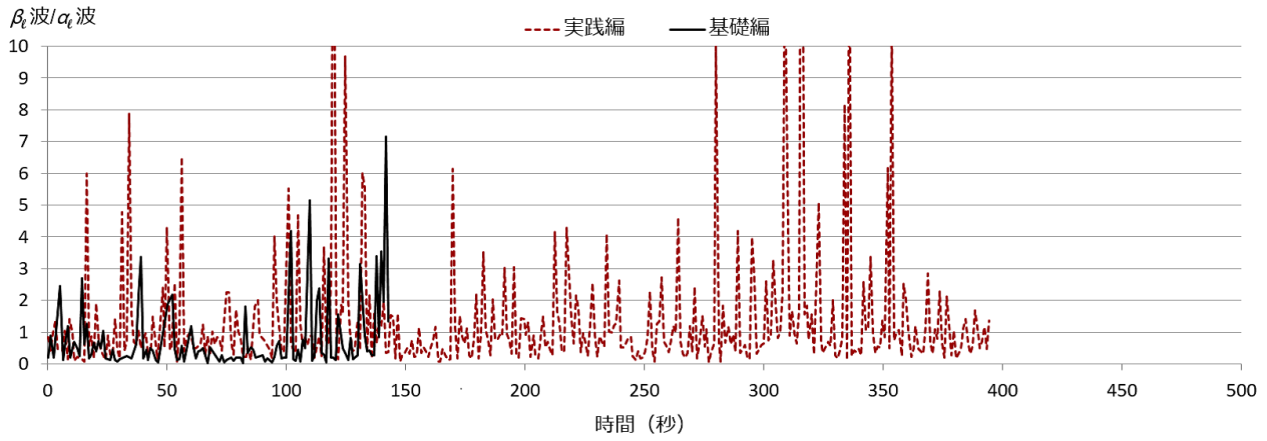


図 3 被験者 ID2 のタイピング練習の難易度別の β_l 波/ α_l 波の値
Fig. 3 The value of β_l wave/ α_l wave according to the degree of difficulty at the time of typing practice by ID2

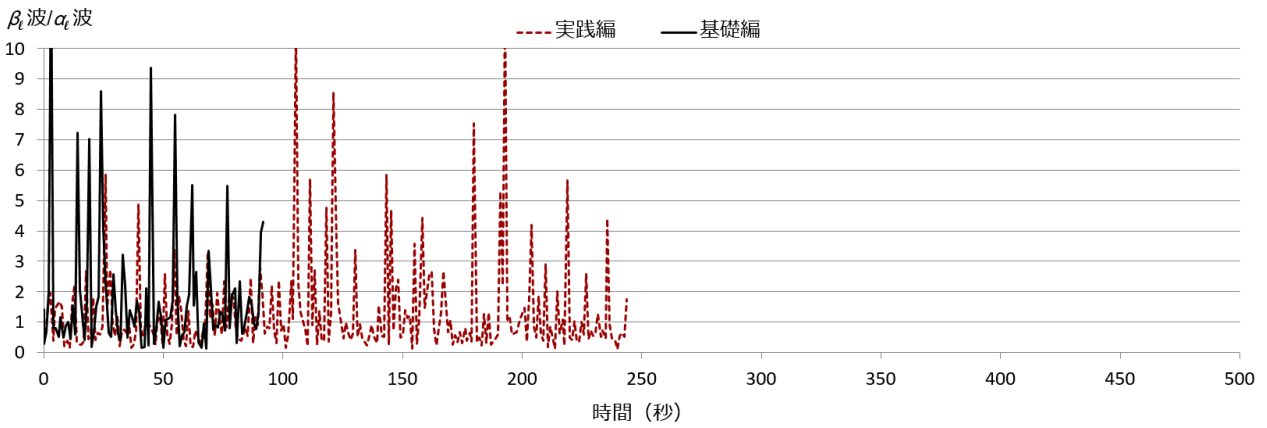


図 4 被験者 ID5 のタイピング練習の難易度別の β_l 波/ α_l 波の値
Fig. 4 The value of β_l wave/ α_l wave according to the degree of difficulty at the time of typing practice by ID5

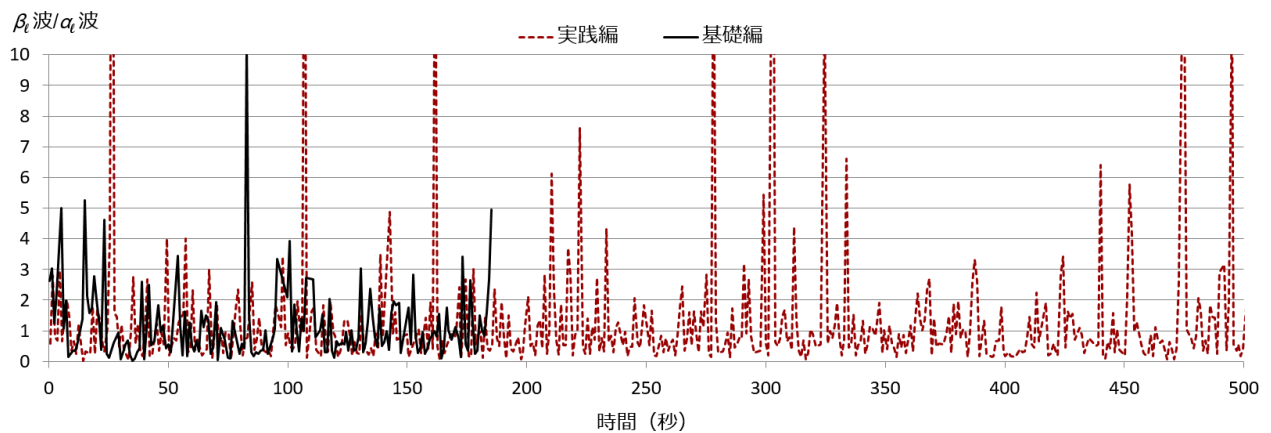


図 5 被験者 ID6 のタイピング練習の難易度別の β_l 波/ α_l 波の値
Fig. 5 The value of β_l wave/ α_l wave according to the degree of difficulty at the time of typing practice by ID6

表 5 タイピング練習に要した時間

Table 5 Required time for typing practice

ID	基礎編 (秒)	実践編 (秒)	時間差 (秒)
1	59.2	154.7	95.5
2	65.8	359.5	293.7
3	59.2	291.1	231.9
4	99.8	403.3	303.5
5	43.8	175.1	131.3
6	126.9	517.9	391.0
7	50.3	262.9	212.6
8	48.7	486.7	438.0
9	46.7	208.0	161.3
10	55.0	154.7	99.7

表 6 表 4 と表 5 の相関

Table 6 Correlation between Table 4 and Table 5

	β_l/α_l	β_h/α_h	β_l/α_h	β_h/α_l	β_{l+h}/α_{l+h}
基礎編	0.2589	0.2941	0.1489	0.2466	0.0977
実践編	0.6304	0.3095	0.4201	0.3472	0.2647
時間差	0.6556	0.2843	0.4422	0.3377	0.2777

える。表 5 に、それぞれの被験者が基礎編と実践編のそれぞれの課題を完遂するまでに要した時間およびその時間差を記載する。この表 5 の実践編にかかった時間はその課題の難しさの一つの指標と考えることができる。あるいは、実践編に要した時間と基礎編に要した時間の差が、難しさの増分と考えることもできる。

そこで、表 4 に示した値と表 5 に示した値との相関係数を求めた。結果を表 6 に示す。これより、実践編に要した時間との相関と実践編と基礎編に要した時間の時間差との相関の両方に関して、 β_l/α_l が 0.6 以上の高い相関を示した。実践編と基礎編に要した時間の時間差と(実践編の β_l/α_l)/(基礎編の β_l/α_l) の相関の様子を図 6 に示す。また、実践編を実行するのに要した時間と(実践編の β_l/α_l)/(基礎編の β_l/α_l) の相関の様子を図 7 に示す。どちらも高い相関を示している。

6. まとめと今後の課題

今回の報告では、簡単な問題と難しい問題の設定が容易な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ことができた。また、周波数の高低によって複数種類観測される α 波と β 波の組み合わせに関する考察を行い、低 β 波/低 α 波の値が最も良く課題の困難度を表していることを示した。

今後は、タイピング練習という課題以外の数学や英語、プログラミング教育における脳波について計測および分析を進めるとともに、学習時のつまづきポイント別の補助教材の自動提示方法の確立や補助教材の有効性評価を行う必要があると考える。さらに最終的には総合的な理解度を測

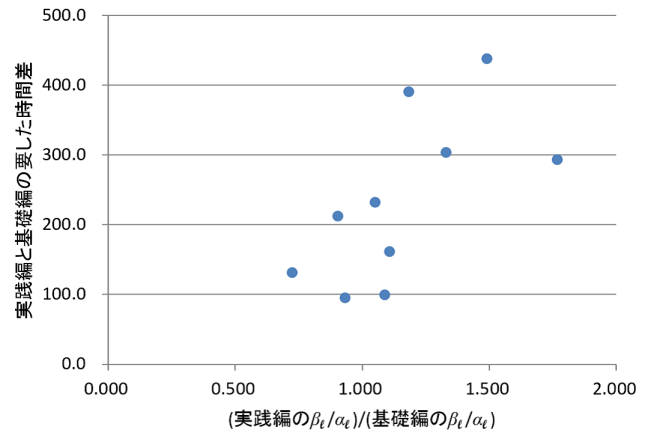


図 6 要した時間差と(実践編の β_l/α_l)/(基礎編の β_l/α_l) の関係
Fig. 6 Relation between required time difference and (advanced β_l/α_l) / (basic β_l/α_l)

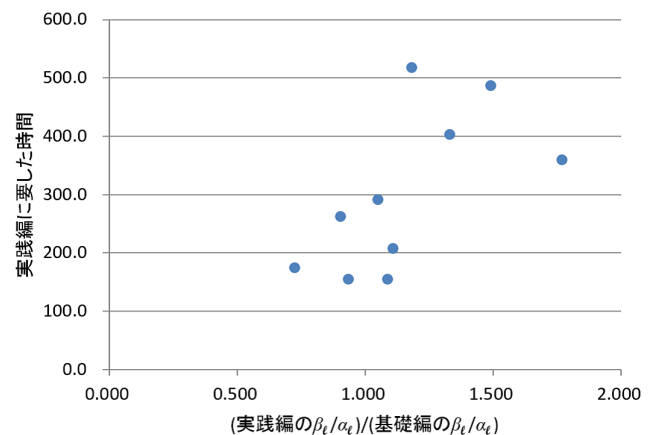


図 7 実践編に要した時間と(実践編の β_l/α_l)/(基礎編の β_l/α_l) の関係
Fig. 7 Relation between required time for advanced mode and (advanced β_l/α_l) / (basic β_l/α_l)

定した有効性の評価を行う必要があると考える。

謝辞 本実験の実施にあたり新潟県立松代高等学校・長谷川雅一先生には多大なるご協力をいただいた。また、(有)早稲田松代協会 代表 木戸一之氏には、現地と大学の間の調整、講座の運営など数々の支援を頂いた。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 (C) 16K00491 の助成による。

商標等に関する表示

- MindWave はニューロスカイインコーポレーテッドの登録商標です。

参考文献

- [1] 杉村藍, 尾崎正弘, 武岡さおり, 足達義則, “授業における Web 教材の効果的な活用法について,” 電子情報通信学会技術研究報告, ET, vol.108(470), p.p.7-12, (2009).

- [2] 鈴木靖, “デジタル教科書と e-Learning のシームレスな統合とその効果,” 私立大学情報教育協会 論文誌 ICT 活用教育方法研究 第 14 巻 第 1 号, p.p.31-35, (2011.11).
- [3] 梅澤克之, 石田崇, 小林学, 平澤茂一, “大学教育のための電子教材の試作と授業への活用方法の評価,” 経営情報学会 (JASMIN) 2013 年秋季全国研究発表大会予稿集, pp.45-48, (2013.10).
- [4] 後藤 正幸, 三川 健太, 雲居 玄道, 小林 学, 荒本 道隆, 平澤 茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~C プログラミング科目における編集履歴と評価得点データを統合した分析モデル,” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-533-4-534, 横浜, (2016.3).
- [5] 中澤 真, 荒本 道隆, 後藤 正幸, 平澤 茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~ Scratch を用いた初等教育向けプログラミング教育における学習者の思考パターン分析,” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-531-4-532, 横浜, (2016.3).
- [6] 荒本 道隆, 小林 学, 中澤 真, 中野 美知子, 後藤 正幸, 平澤 茂一, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~システム構成と実装,” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-527-4-528, 横浜, (2016.3).
- [7] 中野 美知子, 荒本 道隆, 吉田 諭史, 荊 紅涛, “編集履歴可視化システムを用いた Learning Analytics~英文ライティング教育への適応: 文法エラーの難度と訂正時間の関係~” 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, pp.4-531-4-532, 横浜, (2016.3).
- [8] 中澤 真, 荒本 道隆, 後藤 正幸, 平澤 茂一, “ビジュアルプログラミング言語「Scratch」のための学習履歴分析環境とその可能性—初等教育からのプログラミング教育に向けて—,” 日本経営工学会 2015 年秋季大会, (2015.11).
- [9] 小林 学, 後藤 正幸, 荒本 道隆, 平澤 茂一, “プログラミング編集履歴可視化システムとその実践,” 日本経営工学会 2015 年秋季大会, (2015.11).
- [10] 中野美知子, 荒本道隆, 吉田諭史, “プログラミング学習の学習ログ収集ソフトウェアを活用した文法矯正練習の試み,” 日本経営工学会 2015 年秋季大会予稿集, pp11-12, (2015.11)
- [11] D. Giannitrapani, “The role of 13-hz activity in mentation,” The EEG of Mental Activities, p.p. 149-152, (1988).
- [12] 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)
- [13] K. Yoshida, Y. Sakamoto, I. Miyaji, K. 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).
- [14] 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, (2012.09)
- [15] 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, (2013.07)
- [16] 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)
- [17] 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, (2016.9)
- [18] ThinkGear Serial Stream Guide, http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol