

脳波・小テスト・アンケートを用いた 少人数授業における集中度と理解度の推移

塩尻(斎藤)亜希^{*1}, 上條浩一^{*1}, 鈴木圭^{*2}, 大関和夫^{*1}, 鈴木雅実^{*1}, 菅谷みどり^{*2}

^{*1} 東京国際工科専門職大学

^{*2} 芝浦工業大学

Changes in Concentration and Comprehension in a Small Class Using EEG, Test, and Questionnaires

Aki SHIOJIRI(SAITO)^{*1}, Koichi KAMIJO^{*1}, Kei SUZUKI^{*2},
Kazuo OHZEKI^{*1}, Masami SUZUKI^{*1}, Midori SUGAYA^{*2}

^{*1} International Professional University of Technology in Tokyo

^{*2} Shibaura Institute of Technology

The recent COVID-19 pandemic has increased the demand for education online. Aside from online classes, effective teacher behaviors in face-to-face classes are not always clear. Therefore, this study identifies teacher behaviors that enhance student concentration and proposes effective teaching methods. We taught a total of 90 students in face-to-face classes, where we analyzed brain wave fluctuations, changes in test scores before and after class, and post-class questionnaires. As a result, we found that there is a correlation between certain teacher behaviors and students' ability to concentrate. We also found a discrepancy between the students' concentration (EEG) and their own perception of concentration in the questionnaires.

キーワード: 脳波, 自己評価, 集中度, 授業アンケート, 高等教育

1. はじめに

昨今の新型コロナウイルスの流行に伴い、感染症対策の一環として教育現場にも遠隔教育の一形態であるオンライン授業が急速に取り入れられはじめている。オンライン授業は、歴史をたどればインターネットの普及に伴い、インターネットを介した教育手段として1990年代頃から大学でも広く採用され、最近では文部科学省から遠隔教育システムの効果的な活用に関する実証^①も報告されている。しかし、このような実証報告や先行研究における評価は、対面授業もしくはオンライン授業といった教育形態に関わらず、予測や推測で評価・議論されることが多い。また、定量評価方法も、学生が回答する授業アンケートを用いた数値化を手法とすることが一般的で、恣意的な意見を避けるこ

とが難しいことが懸念され、テキストマイニングを使った分析などが進められているものの、アンケート結果によっては、評価システムが教職員の意欲を奪っているときえ言われることもある^②。他方、テストの結果から教育効果を議論することも多々あるが、定量的かつ即効性を伴う理解度の把握に特化した教育効果の評価という点では有効であると考えられるものの、テストの難易度や今後の学修意欲など、中長期的教育効果まで鑑みれば、テストの結果のみで議論を繰り広げることにも必ずしも効果的であるとは言えない^③。

そこで本研究では、従来のアンケートや理解度確認テストを用いた教育効果ではなく、恣意的な操作などに極力左右されない客観的、かつ、中長期的視点で教育効果を評価するために、学生の脳波情報を用いて検証することを試みた。

2. 方法

2.1 授業実施方法

本研究では、東京国際工科専門職大学の工科学部情報工学科の「Python プログラミング(1 年次後期選択)」および「プログラミング概論(2 年次前期必須)」の講義・演習科目の補講として同学科に所属する 2 年次の学生(全 121 名)を対象に受講者を募った。補講の実施に当たり、事前に授業内容の詳細から当該研究の趣旨、及び倫理的配慮の記載された資料を作成し、説明の機会を対面にて設け 38 名の被験者を集め実施を行った。

2.1.1 授業実施時期

補講は 1 講義あたり 60 分とし、2022 年 6 月 28、7 月 5、12 日の全 3 回を行った。結果、延べ 90 名の被験者からデータを採取することができた。なお、プログラミングという授業の性質や、新型コロナウイルスといった昨今の情勢を加味し、1 回の授業に対し、午前の部(11:25~12:25)、午後の部(13:05~14:05)、夜の部(18:15~19:15)という 3 つのセッションを用意し被験者の分散を図ったため、全 9 回の授業の実施となっている(表 1)。なお、カッコ内は脳波測定器を装着し、有効データを取得できた学生の内数を記している。

表 1 講義内容と被験者数

講義内容	午前 (11 時)	午後 (13 時)	夜 (18 時)
第一回：制御構文基礎	8(1)	15(1)	12(0)
第二回：ライブラリ	6(2)	13(3)	13(1)
第三回：モジュール	5(0)	8(1)	10(3) ^{※1}

※1 第三回夕方 10 名の内、オンライン受講者 1 名を含む。

2.1.2 授業実施環境・構成

授業を実施する場所として被験者の学生が所属する同大学の教室を使用して実施した。座席は、ソーシャルディスタンスを考慮し、かつ、学生の脳波測定器の装着有無に応じて座席エリアを分離し、各座席エリアで学生が着席する座席を選択できるようにした。つまり、普段大学生が授業を受ける時に座席を選ぶという行為と極力相違がないように配慮した。授業構成は、学生の理解度を測るために、授業前に 5 分間のテストを実施し、その後講義を 40 分程度行い、そして理解度

を測る授業後テストを 5 分間、最後に時間無制限で授業アンケートを実施した。なお、全被験者とも授業アンケートの回答時間は 5 分以内であった。

2.2 脳波測定

脳波の測定には、Muse2 (InteraXon 社、図 1)、スマートフォン (Google Pixel 4a)、及び EEG raw データ取得アプリ (Mind Monitor) を使用した。Muse2 は、脳波センシング・ヘッドバンドであり、従来の生体センサのような電極ジェルなどが不要なため長時間の装着が可能である。また、国際 10-20 法に対応し、複数の電極 から 3 次元加速度、3 次元ジャイロ、 δ 波 (0.5-4Hz)、 θ 波 (4-8Hz)、 α 波 (8-12Hz)、 β 波 (12-35Hz)、及び γ 波 (35Hz 以上) の情報を取得可能である⁽⁴⁾。データ記録開始・終了は、Android スマートフォンに事前にダウンロードした Mind Monitor⁽⁵⁾ を使用し、授業開始直前から授業終了直後を計測した。なお、自発脳波のサンプリングは 300Hz で取得し 75Hz でリサンプリングした。さらに 5-40Hz 帯域幅をもつバンドパスフィルタを適用し、さらに標準偏差を電極毎に 4 秒間に記録されたデータを 1 秒間隔毎で算出し、値が 15 以上の電極をノイズとして除外した。ノイズ除去には EEGLAB⁽⁶⁾ を使用した。人間の脳は、様々な周波数からなる電気の振動を常に発しており、それらは周波数帯域ごとに名前がつけられ、それぞれ異なった生理学的な意義を有している(表 2)⁽⁷⁾。本研究では、学生の授業における集中度を測ることを目的としているため、 α 波、 β 波の計測結果と β/α の結果を使用することとした⁽⁸⁾。



図 1 Muse 2 の本体(左)⁽⁴⁾と脳波センサ(右, TP9, TP10, AF7, AF8)⁽⁵⁾

表 2 脳波の特徴⁽⁷⁾

Frequency band	Frequency	State of brain
Gamma (γ)	>35 Hz	Concentrated
Beta (β)	12-35 Hz	Anxiety dominant, Active, External-attention state, Relaxed
Alpha (α)	8-12 Hz	Very relaxed, Passive-attention state
Theta (θ)	4-8 Hz	Deeply relaxed Inwardly focused
Delta (δ)	0.5-4 Hz	In sleep

2.3 テストを用いた理解度の数値化

学生の理解度を定量化するために、授業前後で5分間のテストを行った。テストは各回に関する基礎的な知識を問う内容で、全6問単一選択式で用意した。

2.4 アンケート

全授業後、授業アンケートを実施した。アンケート項目を表3に記す。アンケート項目は、学生による授業アンケートを分析する先行研究⁽⁹⁾などを参考に作成した。

表 3 授業アンケート項目

大項目	小項目	回答形式		
		単一	複数	記述
参加者情報	氏名 (フリガナ)			○
	学籍番号			○
測定環境	脳波測定器装着の有無	○		
	凡その着席位置	○		
学生について	受講理由		○	
	受講態度(授業前)	○		
	自己採点(授業前)	○		
	自己採点(授業後)	○		
教員について	熱意	○		
	説明の上手さ・発音の明瞭さ	○		
	視覚的情報伝達手段利用の上手さ	○		
	内容の理解	○		
教員の行動	集中できたと感じた時		○	
	集中できなかったと感じた時		○	
その他	授業の良かった点			○
	改善して欲しい点			○

3. 結果

3.1 アンケート・テスト結果による学生の理解度

授業前後のテストの結果を表4に記す。全体平均は授業前よりも授業後が高かった。ただし、講義別にみると第3回目の授業については若干の平均点の低下が認められた。

表5は表2の大項目「学生について」のアンケート結果である。自身の受講態度・熱意は4.28 / 5点と非常に高く、成績に関する自己評価も4.46 / 10点から6.57 / 10点に上昇していることから、学生は総じて真摯に授業を受けていたと言える。

3.2 アンケートによる学生の集中度

表6は表2の大項目「教員の行動」の内、「(複数回答可) 今日の授業で集中できたと感じたのはどんな時でしたか」(総回答数275)、反対に表7は表2の大項目「教員の行動」の内、「(複数回答可) 今日の授業で集中できなかったと感じたのはどんな時でしたか」(総回答数98)の回答結果である。

表6から学生が集中したと感じているのは主に「教員の呼びかけがあった時」、「授業最初のテストの時」、「授業最後のテストの時」、「自分が間違った問題の説明の時」の4つであることが分かった。また、「教員が授業で説明をしている時」と「教員が手を叩いたとき」も集中したと感じた学生が若干名いることが分かった。「その他」では「メモしているとき、例え話で説明した時、脳波を見て動いてなかったとき」という3つの回答がなされた。

一方、表7から学生が集中できなかったと感じているのは主に「教員が授業全般の説明をしているとき」

表 4 授業前後のテスト結果

講義内容	受講人数	平均点 (授業前)	平均点 (授業後)
第一回：制御構文基礎	35	2.06	4.94
第二回：ライブラリ	32	3.64	4.00
第三回：モジュール	23	4.61	4.48
全体平均	90	3.27	4.48

表 5 学生による自己採点結果

項目 (点)	この授業に対するあなたの受講態度(熱意)を評価してください。 [受講態度・熱意]	※※授業前※※	※※授業後※※
		あなた自身が自分の成績をつけるのであれば、何点ですか (10点満点)。 [自己採点]	あなた自身が自分の成績をつけるのであれば、何点ですか (10点満点)。 [自己採点]
10		4	8
9		2	9
8		8	18
7		9	15
6		3	13
5	36	13	9
4	45	15	8
3	7	12	7
2	2	13	2
1	0	11	1
平均	4.28	4.46	6.57

表6 集中度できたと感じる項目

選択肢（複数回答可）	該当数
教員の呼びかけがあった時	55
教員が手を叩いた時	17
教員が教室をうろうろしている時	4
授業最初のテストの時（教員が静かに待っているとき）	54
授業最後のテストの時（教員が静かに待っているとき）	55
教員が授業全般の説明をしている時	30
自分が間違った問題の説明の時	54
プログラミングしているとき	3
その他	3

表7 集中できなかったと感じる項目

選択肢（複数回答可）	該当数
教員の呼びかけがあった時	3
教員が手を叩いた時	5
教員が教室をうろうろしている時	8
授業最初のテストの時（教員が静かに待っているとき）	10
授業最後のテストの時（教員が静かに待っているとき）	9
教員が授業全般の説明をしている時	33
自分が間違った問題の説明の時	2
プログラミングしているとき	3
その他	25

であるが「その他（フリーアンサー）」の回答も多く、全体的に意見が分散した。「その他」の回答は具体的に、「特になし、常に集中(14)」、「テストで正解できた、知っている内容が解説されている時(3)」、「脳波を見て動いていなかったとき(2)」、「眠かった」、「一つの説明が長い」、「不意打ちで物が落ちて音が出た時」、「お腹すいた」、「自分の作業と先生の解説スライドが違う時」、「過去に受けたことがあると言われた後の説明時」と多種多様に富んだ。（()内は回答数）

3.3 生体情報（脳波）による学生の集中度

図2は脳波測定の結果である。授業ごとに α 波、 β 波のパワー平均値、集中度（ β/α または β/α 比）を授業開始前、授業前テスト中、講義中、授業後テスト、授業後にそれぞれ算出した。講義の授業が長いので、講義を2つのセクションに分けて集中度を算出した。結果、授業前後のテストより、教員による講義の間に集中度が高いことが確認された。さらに、テスト中の α 波振幅が低いことが観測されたが、これは α 波が記憶課題において、特に減少するという先行研究による報告に一致する⁽¹⁰⁾。しかし、集中時に変化することが報告されている β 波に比べて α 波の振幅レベルは相対的に低いため⁽¹¹⁾、 β 波の振幅が集中度の度合いをほぼ決定することになった。

4. まとめ、考察

4.1 学生の生体情報と自己分析による差異

改めて、今回の研究結果の要点をまとめる。

- 授業前後でテストの得点が向上したことから、テストの難易度について議論の余地があるが、Pythonプログラミングの理解度向上に対し、大半の学生に一定の教育効果があった。
- 授業後のアンケート結果から、学生が集中したと感じているのは主に「教員の呼びかけがあった時」、「授業最初のテストの時」、「授業最後のテストの時」、「自分が間違った問題の説明の時」の4つである。
- 授業後のアンケート結果から、学生があまり集中しなかったのは主に「教員が授業全般の説明をしているとき」であるが「その他（フリーアンサー）」の回答も多く、全体的に意見が分散した。
- 脳波計測の結果から、60分間の授業において、学生は講義を受けている時間帯で集中度が高く、授業前後のテストでは集中度が低下する傾向が強い。

上記A)～D)の実験結果はいくつかの傾向を示している。

A)の結果から、今回の実験において、テストの難易度に議論の余地を残すが、授業による一定の教育効果があり、前提条件となる授業による教育指導は正しく行われたと想定できる。よって、授業による教育効果は認められるものの、C)の結果をみると学生は特定の事柄以外、授業中集中できなかったと感じているため、必ずしも学生の集中度が理解度を促進すると言えない。

B)の結果から、学生が集中できたと感じるタイミングは、教員が学生個人を指名し質問した時、個々の学生が授業前にテストで間違った問題を解説している時といった、集団の中でもその学生に直接関与する事柄が列挙されていることから、「少人数型の授業スタイルは集中度を高める」と学生に思わせるには効果的であろう。加えて、B)の結果では、授業前後のテストもほぼ同等数の学生が集中したと感じている。これは、

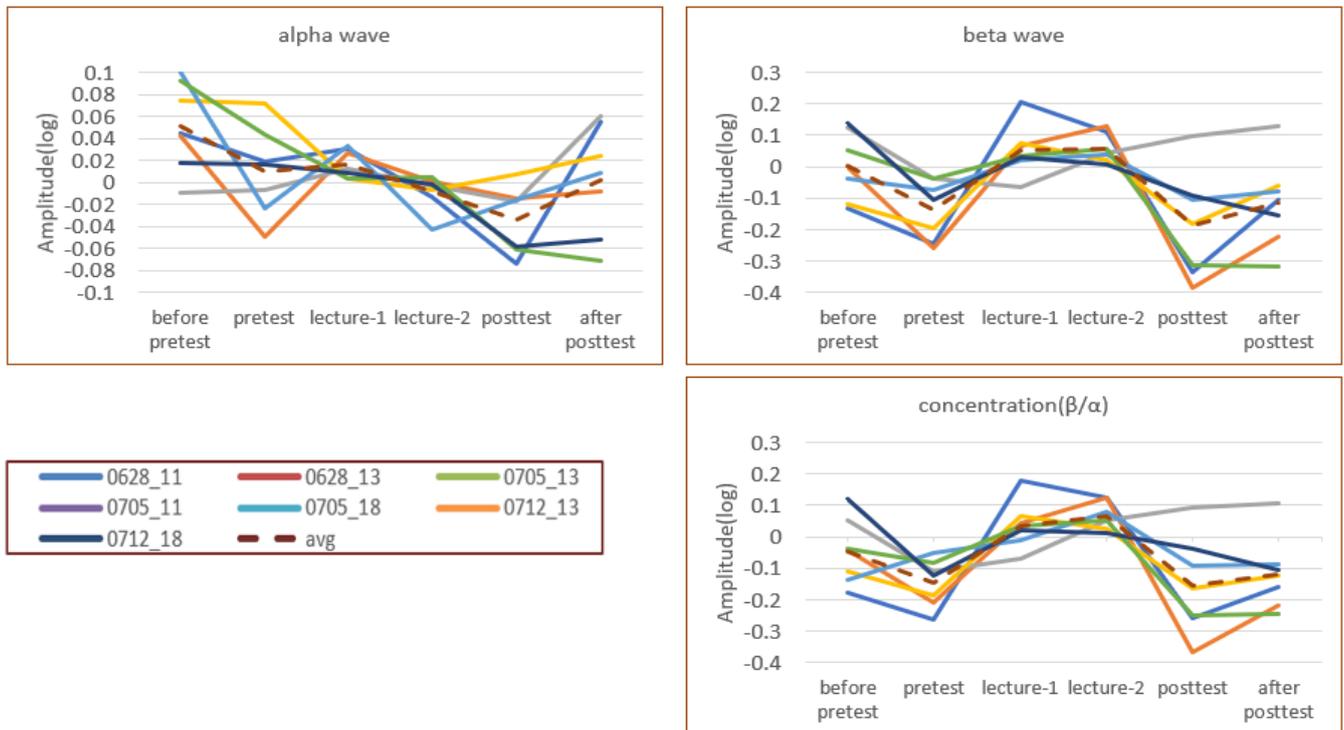


図 2 講義別、脳波のパワー変位 (α 波 (左上)、 β 波(右上)、集中(β/α)(右下))

11 は午前の 13 は昼の 18 は夜の講義セッションを示す

教員の直接的な講義がなくとも、学生に集中度が高まったと感じさせることができるという点は吟味すべきである。また、C) の結果にある、延べ 90 名中 14 名の学生は常時集中していたと答えているのも考察すべき点であるだろう。

そして、今回の研究結果から最も注目すべきと示唆されるのは、B)、C) と D) の実験結果の比較である。多数の学生はテストが最も集中し、授業全体は集中できなかったと答えている。逆に、脳波計測結果ではテスト時に集中度が下がっており、教員が講義をしている間は集中度が高まっている。

4.2 考察

4.2.1 集中したタイミングの相違

今回の研究から様々なことが示唆されたが、その中でも最も考察すべきは、学生自身が感じている集中しているタイミングと学生の脳波による集中しているというタイミングが全く逆を示している点であろう。

脳波が大きく変化したのは、テスト中は授業と異なり学生それぞれのペースで回答を行うため、集中状態 (β 波) からリラックス状態 (α 波) に移行し、集中度が低下した可能性があるとして示唆される。加えて、授業中の教員の講義は教員が話している事柄を聞き逃さ

ないためといった一種の緊張や、いつ、教員から指名され質問されるのかといった緊張状態 (high β) があるため、集中度が高まったのではないかと示唆する。

4.2.2 テストの得点低下と受講人数の減少

表 4 の結果から、第三回目の講義は平均点が授業後の方が低下しており、受講人数も著しく減少しているため、考察を深める必要がある。

得点の低下の原因は難易度の設定と学生の意欲と考えられる。授業前テストの平均点が 4.61 / 6 と高いため、難易度の設定に問題があった可能性がある。加えて、授業前テストの点数が徐々に向上していることから講義が進むにつれて学生の理解度が高まり、最終回のテストが簡単になってしまった可能性もあるだろう。どちらにしても理解度の計測について疑問を残した。また、数名の学生において回答時間が 2 分未満であったため、そもそもテストについて真摯に受験していない可能性もある。

受講人数の低下の原因は、学生が講義内容に興味がなく受講を拒んだ、および、この講義を行った 2022 年 7 月 12 日は新型コロナウイルスの流行が著しく増加した時期であり、全国の感染者数が 2022 年 3 月 3 日ぶりに 7 万人を超えた日でもあった⁽¹²⁾ため、受講人数

が減った可能性が考えられる。よって、今回の実験結果については受講人数の減少は止むを得なかった前提で、原因の切り分けが必要である。

4.2.3 集中度とアンケート総数の関係

表 6 と表 7 にある、集中の有無について質問したアンケート結果は、単純に回答総数だけで比較することが可能である。延べ 90 名の学生が、これまでの単一回答と違い、複数回答可のアンケートに答えると、集中したと挙げたのが 275 であったのに対し、集中できなかったと挙げたのが 93 であった。ただし、集中できなかったと回答した中には「特になし」などが含まれるため、実質集中できなかったと感じた総数は 79 とすれば、凡そ 3.4 倍も違うことになる。これは表 5 の結果にある通り、受講態度・熱意が平均で 4.28 / 5 点と高いことから、単純に学生が集中できたと思った事柄が多かった、もしくは集中できたと感じた時間帯が長かったためと推察するが、アンケート項目の並び順が「(複数回答可)今日の授業で集中できたと感じたのはどんな時でしたか」が先行し「(複数回答可)今日の授業で集中できなかったと感じたのはどんな時でしたか」が後になったため、アンケート回答にストレスを感じ、後者の質問で複数回答を列挙することを諦めた可能性や、学生の深層真意から「集中できなかった」と答えること自体に拒絶反応を示した可能性もあると考える。

5. 今後の展望

今回の結果から、学生はテスト時が最も集中し、講義は集中できなかったと感じ、一方で、脳波ではテスト時に集中度が低下し、講義は集中度が高まっていることが分かった。よって、教育機関が学生に求めている従来の授業評価アンケートを直接教育方法の改善に用いることは、一概に良いとは限らないことが示唆できると考える。しかし、本来の目的である中長期的な教育効果を考えるのであれば、そもそも授業全てを集中して聞くことが教育効果を高めるのか、高い集中度の持続は身体的疲労を伴い、日々の教育指導という観点からは適さないのではないかなど、学生の体調に関するデータを追加で取得することも必要になると考えられる。

また、実験方法を中心にいくつか懸念点が発見できた。特に今回の実験において、授業時間は 60 分間と設定したが、多くの高等教育機関では 90 分以上の授業を実施している。よって、今回の実験において 60 分という講義時間が適しているのかは議論の余地を残す。さらに、学生の理解度を測るテストの難易度設定や学生の受験態度にも疑問が残ったため、今後は学習塾などでみられる受講学生の理解度を事前にチェックしてからテストの難易度を設定したり、テスト結果に応じて報酬があるといった手法を取ることも必要であろう。そして、複数回答可としたアンケートについて、回答総数に著しい差が生まれたことから、アンケートデザインについても先行研究を参考にし、検討が必要であろう。

今回は、脳波、授業前後のテストの結果、及び、授業アンケートの集中度に関する項目を主に用いて分析し議論を行った。しかし、表 3 にあるように、実際に使用した授業評価アンケートには、今回取り上げた項目の他に、教員の熱意や話し方など、教員に対する項目や、授業の良かったところや改善を望むところといった授業全般に対する記述式の項目があり、これらについて未だ分析・議論を行っていない。今後は未着手の実験データに関する分析、および、今回の結果から懸念となった項目を改善した追加実験を進めようと思う。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金 (22K0286) の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) (令和 2 年度 文部科学省委託)株式会社内田洋行 教育総合研究所, “「遠隔教育システムの効果的な活用に関する実証」遠隔教育システム活用ガイドブック 第 3 版”, 文部科学省 (2021)
- (2) 杉浦健, “< 論文 > 教員評価システムが教員に受け入れられない根本的な理由—感情分析とテキストマイニングを使った大阪府教職員の評価・育成システムに関するアンケート調査自由記述の分析から—”, 近畿大学教育論叢, 32(1), pp.45-74 (2020)

- (3) 大塚 雄作, 松下 佳代, 湯浅 太一, 荒木 光彦, “京都大学工学部における授業アンケートへの取組とその特徴”, 工学教育, 第 54 卷, 第 3 号, pp.142-148 (2006)
- (4) Muse 2, <https://choosemuse.com/muse-2/>, (Available: September 2022)
- (5) Mind Monitor, <https://mind-monitor.com/>, (Available: September 2022)
- (6) Delorme A & Makeig S, “EEGLAB: an open-source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics”, *Journal of Neuroscience Methods* 134:9-21 (2004)
- (7) Abhang, Priyanka A., Bharti W. Gawali, and Suresh C. Mehrotra, “Technological basics of EEG recording and operation of apparatus”, *Introduction to EEG-and Speech-Based Emotion Recognition*, pp.19–50 (2016)
- (8) Abhang, Priyanka A., Bharti W. Gawali, and Suresh C. Mehrotra, “Technological basics of EEG recording and operation of apparatus”, *Introduction to EEG-and Speech-Based Emotion Recognition*, pp. 19–50 (2016)
- (9) 松谷満, 平井松午, 佐竹昌之, 桑折 範彦, “全学共通教育の現状と課題 —学生による授業評価アンケート調査の分析から—”, *大学教育研究ジャーナル大学教育研究ジャーナル*第 2 号, pp.13-25 (2005)
- (10) R. L. Charles and J. Nixon, “Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review”, *Appl. Ergon.*, vol. 74, pp. 221–232 (2019)
- (11) J. Xu and B. Zhong, “Review on portable EEG technology in educational research”, *Comput. Human Behav.*, vol. 81, pp. 340–349 (2018)
- (12) NHK NEWS WEB 【国内感染】新型コロナ 23 人死亡 7 万 6011 人感染 (12 日 18:45), <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20220712/k10013714091000.html>, (2022 年 10 月 8 日確認)