

遠隔授業の質向上に向けた顔映像と心拍情報に基づく 対面授業と遠隔リアルタイム授業の比較調査

角田幸太郎¹ 大西鮎美¹ 寺田 努¹ 加藤 浩² 葛岡英明³ 久保田善彦⁴ 鈴木栄幸⁵ 塚本昌彦¹

概要：COVID-19の影響で遠隔授業が急速に増加しているが、どのように遠隔授業を行えば授業の質が高まるかは模索の段階である。遠隔授業の質を高めるために、現在の大学等の授業では、双方向性を確保することが重視されている。遠隔授業には多様な形式があるが、授業形式によって双方向性の度合いが異なると考えられる。しかし、双方向性の違いが授業の質に与える影響はまだ調査されていない。そこで本論文では、双方向性の違いが授業の質に与える影響を調査するため、対面授業と、遠隔リアルタイム授業で他の学習者の顔映像が映る場合と映らない場合の3つの授業形式における受講者の顔映像と心拍情報を取得し、各授業形式における受講者の集中度や覚醒度を調査した。同時に、遠隔授業での表出を対面と比較した。調査の結果、講師と対面する状態、遠隔リアルタイムで顔を映す状態、遠隔リアルタイム授業で顔を映さない状態の順で受講者の集中度、覚醒度が高いことがわかった。また、遠隔授業における表出が相手を意識した評価行動であるとは結論付けられなかった。これらの結果より、遠隔授業で顔を映すこと、そして対面授業で講師が受講者に働きかけるように、遠隔授業でも講師が受講者に働きかけることが遠隔授業の質を高めると考えられる。

1. はじめに

COVID-19の影響で遠隔授業が急速に増加しているが、どのように遠隔授業を行えば授業の質が高くなるかは模索の段階である。遠隔授業には感染リスクがない、場所に縛られない、移動時間やコストを削減できる、そして現在のような非常時にも授業を継続して行えるというように様々なメリットがあり、今後も重要性が増していくと考えられる。遠隔授業の実施に関するガイドライン等は数多く存在し、どのように遠隔授業を行えば授業の質が高くなるかは議論されているが、未だに明確な方針が確立されていない。

遠隔授業の質を高めるために、2020年現在の大学等の授業では、双方向性を確保することが重視されている。遠隔授業を実施する場合の留意点として、文部科学省は遠隔授業が対面授業に相当する教育効果を有する必要があるとしている [1]。それに対し、文部科学省の調査に回答した対面・遠隔を併用する予定の大学・高等専門学校合わせて855校のうち87%は授業の質を確保するために双方向性を確保していると述べている。

遠隔授業には、オンデマンド型やリアルタイム型、その

中でも受講者の顔が映っていたり映っていなかったりと多様な形式がある。しかし、例えばリアルタイム型授業では、受講者の授業内容に対するうなずきといった表出を講師が確認できるが、オンデマンド型授業では受講者の反応を確認できない。このように授業形式によって「授業中に講師が受講者の表出を見られる/見られない」といったように双方向性の度合いが異なると考えられる。ここで、授業において双方向性が高い状態とは、授業中に質問することができたり、事後アンケート等から授業内容にフィードバックすることができたり、授業中に講師が受講者のリアクションなどの反応を見ることができるといった状態である。しかし、双方向性の違いが授業の質に与える影響はまだ調査されていない。遠隔リアルタイム授業のいくつかのパターンと対面授業を比較することで、遠隔リアルタイム授業において双方向性がどのように授業の質に寄与しているのかが明らかになり、質の高い授業の実施へつながると考えられる。

また、人間の発言や行動などの表出は、対面の場における相手への評価行動として扱われており [2], [3], 評価行動を収集しフィードバック等を行い、教育の評価や会議の質向上を目指す研究は対面、遠隔共に行われている [4], [5], [6], [7], [8]。しかし、遠隔授業では、特に受講者が顔を出していない場合、本来相手に対する評価行動で

¹ 神戸大学大学院工学研究科

² 放送大学教養学部

³ 東京大学大学院情報理工学系研究科

⁴ 玉川大学大学院教育学研究科

⁵ 茨城大学大学院人文社会科学研究科

あるはずの表出を行っても相手に伝わらないため、受講者の表出自体が対面とは異なる可能性がある。遠隔授業における受講者の表出が、対面授業と同じように評価行動となっていれば、受講者から表出が多くみられるような工夫を行ったり、表出を収集して提示したりすることで、授業の質を高められる。またその逆に、遠隔授業における受講者の表出が、対面授業とは異なり評価行動になっていなければ、前述した評価行動を収集しフィードバックを行うといった研究は、支援の方法を再検討しなければならない。以上のように、遠隔授業において、表出が相手を意識した評価行動になっているのかを確かめる必要があると考えられるが、著者の知る限りでは確かめられていない。

そこで本論文では、対面授業と、遠隔リアルタイム授業の顔映像が映る場合と映らない場合の3つの授業形式における受講者の顔映像と心拍情報を取得し、各授業形式における受講者の集中度や覚醒度を調査する。同時に、遠隔授業での表出が相手を意識した評価行動となっているかをうなずきなどの表出の回数やタイミングが対面授業と同じであるかを比較することで調査する。これらの結果をふまえ、各授業形態の差異について考察し、遠隔授業の質を高めるためにはどのような工夫が可能であるかを議論する。

2. 関連研究

本章では、対面授業や遠隔授業の質向上に関する研究、集中度や覚醒度の評価に関する研究、および表出を評価として利用する研究について紹介する。

2.1 遠隔授業に関する研究

遠隔授業の質を向上させるための研究は多く行われている。片岡は、オンデマンド授業において教授者が学習者に視線を向ける量を変化させることで、学習者の気持ちや授業内容への印象に影響を与えることができたと述べている [9]。鎌苅らは、オンデマンド授業の映像視聴時に、オンライン上での聴衆の存在は理解度に影響を及ぼさなかったと述べている [10]。これらはオンデマンド型の授業を改善するための研究であり、対面授業と遠隔授業の差異の調査は対象としていない。

近年では、遠隔リアルタイム授業の質を向上させるための研究が増えてきている。Spathis らは遠隔会議システムの Zoom [11] の機能の一つである、参加者の目線を用いた注意トラッキング機能を使い、遠隔リアルタイム授業での受講者の注意力をスコア化することで成績を評価するための調査を行い、また、Zoom で使える注意トラッキング機能や録画録音といった機能を対面で使うにはどうすればよいかを検討した [12]。調査の結果、注意力と成績には相関がなかったが、Zoom の機能を対面授業で使うためには追加のハードウェアやソフトウェアが必要であり、対面授業を行える状況になっても機能面から Zoom が活用され

る可能性が示されている。なおプライバシーの問題から、現在 Zoom の注意トラッキング機能は使えなくなっている。Goertler らは Zoom を用いた遠隔リアルタイム授業、オンデマンド授業を併用したオンライン言語教育において、テストの結果等の学習成果は対面授業を行った場合と差異はなかったと述べている [13]。Moneyppenny らはオンライン宿題システムを用いた学習において、発音や語彙、文章の作成能力といった言語の習熟度は対面学習を行った場合と差異はなかったと述べている [14]。

このように遠隔授業と対面授業の差異に関する研究は多く行われているが、いずれも学習効果への影響を調査しており、集中度や覚醒度のような受講者の心的状態への影響は調査されていない。そこで本研究ではそれぞれの授業形式による受講者の心的状態の差異を調査する。

2.2 心拍情報、表情や体動に基づいた心的状態の調査

本研究では、双方向性の程度の異なる遠隔リアルタイム授業のいくつかのパターンと対面授業において、授業の質の重要な要素である受講者の集中度や覚醒度といった心的状態の差異を評価することを目的としている。心的状態には様々な調査方法があるが、一般的には自律神経機能の活性度を指標として用いることが多い [15]。また自律神経機能の活性度は心拍情報を用いて解析できることが知られている。

Michail らは運転中のドライバの覚醒度を心拍情報から推定し、眠気に起因する運転ミスを報告できる可能性を示した [16]。Chin らは瞑想による集中力の変化を記憶テストを媒介として心拍情報から推定し、結果として瞑想後は被験者の集中力が上昇したことを示した [17]。Hjortskov らは電極を被験者に取り付け、コンピュータ作業中の精神的負荷が心拍に及ぼす影響を調査した [18]。Rasool らは運転中のドライバと乗客の精神的負荷を評価するためにスマートバンドで心拍情報を計測し、運転中は両者ともに精神的負荷が上昇し続けていることを確認した [19]。Wu らは日常生活の精神的負荷を調査するため、被験者の自己評価とウェアラブル心拍センサと加速度センサで得た特徴量から機械学習を行った結果、85.7 % の精度で精神的負荷の変化を予測できた [20]。Sandulescu らはウェアラブル心拍センサを用いた機械学習によるストレス評価手法を提案し、ユーザがストレス状態であるかどうかをリアルタイムで評価できる可能性を示した [21]。このように、ストレス状態や覚醒度といった心的状態の評価には心拍情報が用いられることが多く、その有効性が示されている。

また、被験者の表情の変化や体動を利用して心的状態を調査する研究も多い。Son らはタイピング操作時の被験者の顔画像と頭部位置を用いて集中度を推定することが可能であることを示した [22]。Whitehill らはスキルテスト中の学習者の没頭度を顔の向きや表情を利用して推定し

た。結果より、学習者の没頭度とスキルテストの結果に相関がみられることを示した [23]。Monkaresi らは Microsoft Kinect Face Tracker [24] によって取得された顔の表情データと心拍数を用いて、作文中の没頭度を推定する手法を提案した [25]。このように、頭部動作や顔の表情から被験者の心的状態を分析する研究は数多く行われている。

また最近の研究では e-ラーニングにおける表情の変化や体動と心的状態との関係が示されている。D'Mello らは背圧と座圧センサを用いて、AutoTutor という家庭教師システムでの学習時の没頭時と非没頭時の区別の可能性を検討した [26]。Nomura らは体圧センサとスマートチェアを用いて遠隔講義での没頭度を調査した結果、79.3 % の平均精度で学生の没頭度を推定できたと報告した [27]。Terai らはビデオベースの学習における覚醒度推定には被験者の表情や頭部の動きを調査することが有効であることを示した [28]。これらの研究が示すように、表出の分析は e-ラーニング中の被験者の心的状態を推定するのに役立つと考えられる。

したがって、本研究でも遠隔リアルタイム授業と対面授業の受講者の心的状態を推定するために、受講者の心拍情報と顔映像を分析する。

2.3 表出を評価として利用する研究

表出は基本的には心的状態の推定に用いられる一方で、他者に対して対面で行っている場合には表出を利用した評価ができる。我々は「なるほど」「すごいね」といった発言や、うなずきや首かしげといった行動を通して、他者の発言や行動を相互行為的に評価することができる。Rach らは、議論の品質を表出から推定する手法を提案するために、第一の被験者群に仮想アバタが議論した内容に対して品質評価を行わせ、また第二の被験者群に、第一の被験者群が品質評価を行っている時の顔の表情や目の動きから、議論の品質評価を行い、2つの一致度を調査した [4]。調査の結果、2つの評価は類似していたことがわかり、表出から議論の質を評価できる可能性を示した。Arakawa らは会話中の人間の視線や姿勢に対し、重要な挙動の変化をリアルタイムに検出し、可視化やフィードバックを行うシステムを考案した [5]。またそのシステムを用いて、コーチング中の会話の質を向上させることができたと報告している。加藤らは、教育の場で表出を収集することで、学習者が実践中に発揮した能力を測定でき、教育評価として用いることができると主張している [2], [3]。Ohnishi らは、対面会議中の参加者の発言やうなずきといった表出を認識するシステムを提案し、提案システムから会議の重要な場面を検出するアプリケーションを考案した [6]。このように、表出は様々な状況の評価に用いられており、その有用性が示されている。

また、遠隔での表出を収集する研究も存在する。前田ら

は、Zoom を使い、遠隔リアルタイムで受講者の視線をトラッキングして画面に映すことで、受講者の反応や興味を可視化し、講師の話しやすさを向上させようと試みた [7]。Prasanth らは、Microsoft Teams [29] を使い、遠隔リアルタイムでのプレゼンテーション中に聴衆の表情や頭の動きを分析することで、最も反応がよく表情豊かな人が発表者から見えるようになる「AffectiveSpotlight」というシステムを考案し、発表者がオンラインで話しやすくなるシステムを考案した [8]。

しかし遠隔での表出が相手を意識した評価行動であるかは確かめられておらず、表出が評価行動といえなければ、どのような支援が双方向性を高めることにつながるのか再検討が必要となる。したがって、表出が評価行動となっているかを確かめることには意義があるといえる。よって本研究では対面授業と遠隔リアルタイム授業の受講者の表出を比較し、遠隔での表出が相手を意識した評価行動となっているかを検討する。

3. 調査方法

3.1 調査目的

本研究では、より質の高い授業の実施のために、遠隔リアルタイム授業のいくつかのパターンと対面授業を比較することで、遠隔リアルタイム授業において双方向性がどのように授業の質に寄与しているのかを明らかにすることを旨とする。この目的を達成するための調査項目を以下に示す。

(1) 表出と心拍情報に着目し対面授業と遠隔授業の心的状態に差異があるかを確認する

各授業形式の心的状態の差異を確認することは、双方向性がどのように授業の質に寄与しているのかを知るために重要である。この調査項目のために、受講者の顔映像からわかる表出を記録する。また受講者に心拍センサを装着させ、心拍情報を取得する。取得した値から、各授業形式の心的状態の差異を調査する。

(2) 遠隔授業での表出が相手を意識した評価行動になっているかを確認する

遠隔授業での表出が相手を意識した評価行動になっているかを確認することは、授業の質を高めるために表出を用いることが適切であるかを確認するために重要である。遠隔授業における受講者の表出が相手を意識した評価行動となっていれば、表出を収集して提示したりすることで、授業の質を高められる。この調査項目のために、受講者の顔映像からわかる表出を記録する。対面授業の受講者は表出を相手を意識した評価行動として行っていると仮定し、うなずき等の表出のタイミングが対面授業と遠隔リアルタイム授業とで一致していれば、遠隔でも相手を意識した評価行動を行っていると考えた。したがって、表出のタイミングが対面授業と遠隔リアルタイム授業とで一致しているか

を調査する。

3.2 実験条件

上記の2つの目的のため、受講者の表出と心拍情報を各授業形式で収集する。遠隔リアルタイム授業の中でも受講者の顔が映る場合と映らない場合とでは得られるデータが異なると考えたため、それらと対面授業を比較できる実験条件を構成する。受講者は受講条件で3群に分けられ、同時に同じ内容の授業(前半約30分、休憩約20分、後半約60分)を受講する。3群とは以下である。

第1群 前半: オンラインで受講者の顔を映す (V_{FON})
 後半: 講師と対面する ($FtoF$)

第2群 前半: V_{FON}
 後半: V_{FON}

第3群 前半: V_{FON}
 後半: オンラインで受講者の顔を映さない (V_{FOFF})

3群とも前半の条件をそろえることで受講者の表出の個人差がわかるようにした。なお、講師は常に画面上に顔が映っている。各群の授業の様子を図1に示す。

3.3 実験方法

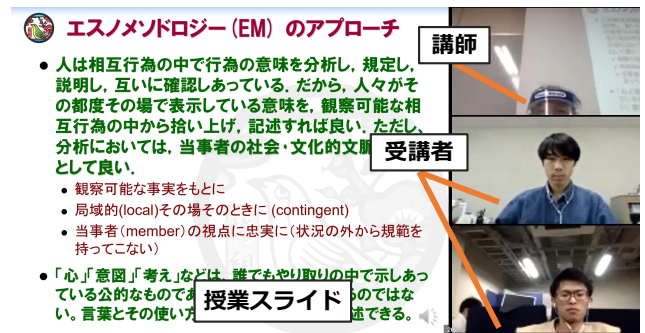
受講環境を図2に示す。実験において受講者は顔映像をPCに装着した正面のWebカメラで撮影され、ユニオントール社のウェアラブル心拍センサ WHS-2 [30] または WHS-3[31] を装着した状態で授業を受ける。

実験参加者は大学生および大学院生で、第1, 3群が各7名、第2群が6名の計20名(男性18名、女性2名)である。受講場所は前半は全群ともに任意の場所で、後半は第1群のみ講師が講義を行っている教室、他の群は前半と同じ場所である。遠隔リアルタイム授業を受講する被験者は、授業をZoomを用いて受講する。講師は遠隔配信に長けている放送大学の教授に依頼した。講師は、大学の講義室で着席した状態で授業を行う。顔がWebカメラに映る状態で、3台の授業配信用PCの前に着席し、そのうち1台のPCでスライドをめくりながら授業を進める。対面群は講義室前方のスクリーンで、遠隔ではそれぞれの群ごとに分かれたZoom内でスライドを見ながら授業を受講する。講師の環境を図3に示す。授業内容は、事前に教育評価の分析の専門家とセンシングの専門家複数人で確認し、前半と後半ができる限り等質となるようにした。授業内容は社会学に関するものである。また、講師が対面群の学生に直接話かけることは、今回は行わないこととした。講師は各群に対してできるだけ均等に視線を配ることを心がけて授業を実施した。

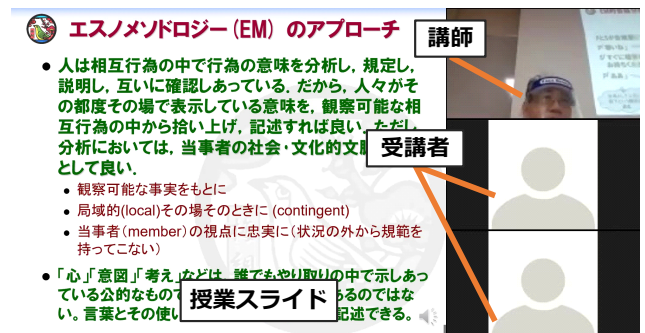
なお、本実験は神戸大学大学院工学研究科倫理委員会の承認を得て行った。



(a) 講師と対面で受講する条件 ($FtoF$)



(b) オンラインで受講者の顔を映して受講する条件 (V_{FON})



(c) オンラインで受講者の顔を映さず受講する条件 (V_{FOFF})

図1: 受講条件ごとの授業時の様子

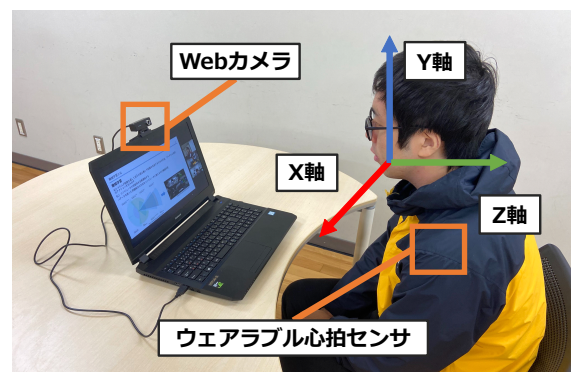


図2: 受講環境

3.4 評価指標

各授業形式の心的状態の差異と、遠隔授業での表出が相

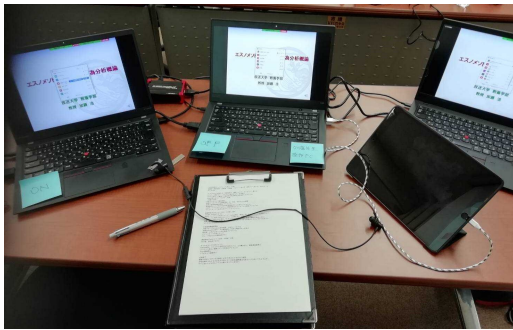


図 3: 講師の環境

手を意識した評価行動になっているかを確認するため、本実験では評価指標として表出と心拍情報を用いる。

表出

表出を Web カメラで録画した受講者の映像から取得するために、OpenFace[32]を用いる。OpenFaceとは顔の特徴点検出、頭部姿勢の検出、人間の顔の動きを顔の外観によって分類するシステムである Action Units (AU) の認識、視線推定が可能なオープンソースの顔動作分析ツールキットである。図2のようにOpenFaceで検出した頭部姿勢の x , y 座標は頭部の上下左右, z 座標は奥行き方向に対応している。また、OpenFaceで取得できない部分の動作を、アノテーションツールである ELAN[33]を使ってラベリングを行い、表出の回数を数える。加えて、授業形式の変化による表出の頻度の変化についても調査する。

また表出は、遠隔授業での表出が相手を意識した評価行動になっているかを確認するためにも用いる。具体的には、対面授業の受講者は表出を相手を意識した評価行動として行っていると仮定し、うなずき等の表出のタイミングが対面授業と遠隔リアルタイム授業とで一致していれば、遠隔でも相手を意識した評価行動を行っているとする。

実際に授業の場における表出として、本研究で観測の対象としたものは以下である。

- うなずき
- 首かしげ
- 笑い
- よそ見
- あくび
- 居眠り
- 飲食

これらの表出は自動検出が困難であるため、ELANを用いて著者が各受講者の授業中の顔映像を観測し、ラベリングを行うことで数えた。表出を数える基準として、うなずきや首かしげは首が動いただけでなく、授業へ反応している部分をひとまとまりとして数える。よそ見は瞬間的なものは回数に入れず、明らかに注意が画面の外に向いていたものを数える。

心拍情報

受講者の覚醒や集中といった心的状態や、表出を行ったときに受講者自身に何が起きているかを把握するために、本研究では自律神経系の解析を行う。自律神経機能の活性度は心拍情報を用いて解析できることが知られている。自律神経系は交感神経と副交感神経で構成されており、一般に交感神経が活性化している状態では集中度、覚醒度、精神的負荷等が高い状態、副交感神経が活性化している状態では集中度、覚醒度、精神的負荷等が低い状態であるといわれている [16], [17], [18]。心拍情報として、RRI から得られる LF/HF (Low Frequency/High Frequency) 値と pNN50 (percent of difference between adjacent normal-to-normal intervals greater than 50 ms) 値という 2 つの指標を用いる。

LF/HF とは、RRI からスペクトル解析によって得られる周波数領域から求めることができる交感神経活動度である [15], [34]。交感神経が活性化している状態では LF 成分が現れる一方で HF 成分が減少するため、LF/HF の値が大きくなるとされている。LF/HF は 30 秒以上程度の区間の心拍データを用いて算出されるため、長期的な解析では信用性が高い。そのため授業中の受講者の覚醒度や集中状態を LF/HF から推定する。

pNN50 とは、一定期間の中で RRI の変動である心拍変動 (HRV) が 50 ms より大きい割合であり、副交感神経系の活動を反映している。副交感神経が活性化している状態にある場合は pNN50 の値が大きくなるとされている。pNN50 はリアルタイム性が高く、短い時間での副交感神経の活動度の変化に注目するのに適している。そのため短時間に起こる表出のタイミングと心拍情報とを合わせて分析する際に pNN50 を用いる。

上記の LF/HF や pNN50 といった心拍情報を取得するためにウェアラブル心拍センサを用いる。実験で使用したウェアラブル心拍センサ (WHS-2, WHS-3) からは心拍間隔 (RRI), LF や HF といった心拍情報を取得できる。また取得した RRI から、連続した隣接する RRI が 50 ms を超える心拍の割合である pNN50 を算出する。心拍センサのサンプリング周波数は 1 kHz である。

質問紙調査

受講者の体験としての質が高いことは重要と考えるため、各条件で被験者の主観的な集中度や理解度等を質問紙により調査する。質問紙調査は実験後に実施する。質問項

表 1: 第 1 群の表出回数 (前半: V_{FON} , 後半: $FtoF$)

受講者	条件	うなずき	首かしげ	笑い	よそ見	あくび	居眠り	飲食
A	前半	0	0	0	0	0	0	0
	後半	0	0	0	0	1	0	0
B	前半	0	0	0	0	0	1	2
	後半	0	0	0	0	0	1	0
C	前半	0	0	0	0	0	0	2
	後半	0	0	0	0	5	0	0
D	前半	0	0	0	0	14	1	0
	後半	0	0	0	0	0	0	0
E	前半	2	0	0	0	0	0	0
	後半	27	0	1	0	0	0	0

表 2: 第 2 群の表出回数 (前半: V_{FON} , 後半: V_{FON})

受講者	条件	うなずき	首かしげ	笑い	よそ見	あくび	居眠り	飲食
H	前半	52	4	0	0	2	0	0
	後半	31	0	5	0	6	1	1
I	前半	0	0	0	0	0	0	0
	後半	0	0	0	0	1	0	4
J	前半	6	12	2	0	2	0	0
	後半	1	2	2	1	5	1	9
K	前半	2	0	0	2	12	0	0
	後半	0	0	0	0	0	1	0
L	前半	0	0	0	0	0	1	0
	後半	0	0	0	0	0	1	0
M	前半	0	0	0	0	0	0	0
	後半	0	0	0	0	1	0	1

目は前半後半ともに以下の内容で、各回答は 5 段階の評価とする。

- 授業は難しかったか
(5: 難しかった- 3: 適切だった- 1: 簡単だった)
- 授業を理解できたか
(5: 理解できた- 3: どちらでもない- 1: 理解できなかった)
- 授業に集中できたか
(5: 集中できた- 3: どちらでもない- 1: 集中できなかった)

4. 実験結果と考察

4.1 対面授業と遠隔授業の心的状態の差異

各受講者が授業中に行った表出の回数を取得し、授業形式によって表出の頻度が変化しているのかを調査した。OpenFace から得られた頭部位置の座標データから表出の検出は困難であったため、受講者の顔映像に ELAN を用いて各表出のラベリングを行うことで検出した。第 1, 3 群は共に 7 名中 2 名が顔映像の録画に失敗していたため、5 名のデータから分析した。前半が約 30 分、後半が約 60 分のデータを取り扱ったため、前半後半ともに 1 時間あたりの表出回数で比較した。結果を表 1 から表 3 に示す。

各表出の回数について各群と前半後半の 3×2 条件で表出回数を標本とした混合 2 要因分散分析を各表出毎に計 7 回行った。分散分析の結果、どの表出でも有意な差は認められなかったため、表出回数は授業形式で変化があるとはいえなかった。そのためそれぞれの特徴的な結果について

表 3: 第 3 群の表出回数 (前半: V_{FON} , 後半: V_{OFF})

受講者	条件	うなずき	首かしげ	笑い	よそ見	あくび	居眠り	飲食
N	前半	42	2	0	0	0	0	0
	後半	37	0	1	0	1	0	0
O	前半	4	0	0	0	8	0	0
	後半	0	0	0	1	4	0	0
P	前半	0	0	0	0	0	0	0
	後半	3	0	0	0	0	0	0
Q	前半	12	0	0	0	0	0	2
	後半	3	0	0	0	0	0	0
R	前半	0	0	0	0	0	1	0
	後半	0	0	0	0	0	1	0

個々に述べる。表 1 より、受講者 B は前半後半ともに居眠りをした。受講者 C は後半の $FtoF$ であくびの回数が増加した。受講者 D は後半の $FtoF$ であくびと居眠りの回数が減少した。受講者 E は後半の $FtoF$ でうなずきの回数が増加した。表 2 より、受講者 H は後半うなずきの回数が減少した。受講者 H, J は後半あくびの回数が増加した。受講者 H, J, K は後半居眠りをした。受講者 L は前半後半ともに居眠りをした。表 3 より、受講者 Q は後半の V_{OFF} でうなずきの回数が減少した。受講者 R は前半後半ともに居眠りをした。また第 1 群では居眠りした人数が減少したが、第 2 群では増加し、第 3 群では変化がなかった。

次にアンケート結果から、各授業形式における受講者の授業に対する印象を調査した。アンケート結果を表 4 から表 6 に示す。各群と前半後半の 3×2 条件で各項目を標本とした混合 2 要因分散分析を行った。分散分析の結果、集中度に関する項目で各要因の交互作用に有意傾向 ($F(2, 17) = 3.29, p < 0.1$) がみられた。そこでこの項目で単純主効果を検定した結果、1 群の後半に有意傾向 ($F(1, 17) = 4.29, p < 0.1$) がみられた。したがって、第 1 群の受講者は後半の $FtoF$ のほうが集中できたと感じていたことがわかる。また後半の各群に有意傾向 ($F(2, 17) = 2.96, p < 0.1$) がみられたため、この要因に対して LSD 法を用いて多重比較を行ったところ、後半において第 1 群の平均が第 3 群の平均より有意に大きかった ($MSe = 0.94, p < 0.05$)。したがって、 V_{OFF} よりも $FtoF$ の受講者のほうが集中できたと感じていたことがわかった。これらの結果から、受講者の理解度や授業の難易度の感じ方は授業形式で変化しなかったが、受講者は遠隔で受講するよりも対面で受講したほうが集中できたと感じていたことがわかった。

最後に、覚醒度や、アンケートで差異があった集中度について、動作として定義できない顔や体の動きと心拍から分析を行った。集中度推定に作業時の頭部位置や顔の画像を用いたという報告 [22] と、頭部位置の動きが小さい受講者ほど質問紙で集中度が高かったと答えたことから頭部の各座標分散が小さいほど授業に集中しているとし、集中度の指標に用いた。図 4, 図 5 に集中度が高いと答えた受講者と集中度が低いと答えた受講者の同時刻の授業態度を

表 4: 第 1 群のアンケート結果 (前半: V_{FON} , 後半: $FtoF$)

受講者	条件	授業は 難しかったか	授業を 理解できたか	授業に 集中できたか
A	前半	4	2	2
	後半	4	3	4
B	前半	4	2	1
	後半	4	2	3
C	前半	4	3	4
	後半	4	3	3
D	前半	3	3	3
	後半	4	2	2
E	前半	3	3	3
	後半	3	4	4
F	前半	5	3	3
	後半	4	4	4
G	前半	3	3	1
	後半	3	4	4

表 5: 第 2 群のアンケート結果 (前半: V_{FON} , 後半: V_{FON})

受講者	条件	授業は 難しかったか	授業を 理解できたか	授業に 集中できたか
H	前半	4	3	3
	後半	4	3	2
I	前半	4	3	4
	後半	4	3	4
J	前半	4	4	4
	後半	4	4	3
K	前半	4	2	2
	後半	4	3	4
L	前半	3	3	1
	後半	3	3	1
M	前半	4	3	3
	後半	4	2	2

表 6: 第 3 群のアンケート結果 (前半: V_{FON} , 後半: V_{FOFF})

受講者	条件	授業は 難しかったか	授業を 理解できたか	授業に 集中できたか
N	前半	4	3	3
	後半	4	3	2
O	前半	4	3	2
	後半	4	3	1
P	前半	4	3	2
	後半	4	3	3
Q	前半	3	3	3
	後半	3	3	3
R	前半	4	3	3
	後半	4	3	2
S	前半	4	2	3
	後半	4	2	1
T	前半	4	4	4
	後半	4	3	3

示す。図のように、受講者によって頭部位置に大きく差があった。頭部位置の分散について、第 1, 3 群は 7 名中 2 名が顔映像の録画に失敗していたため、5 名のデータから分析した。表 7 から表 9 に各群の頭部位置の分散と LF/HF の平均値を示す。

各群と前半後半の 3×2 条件で各座標の分散と LF/HF を標本とした混合 2 要因分散分析を計 4 回行った。分散分析の結果、z 座標の分散と LF/HF の平均値で各要因の交互作用が有意 ($F(2, 13) = 5.58, p < 0.05$),

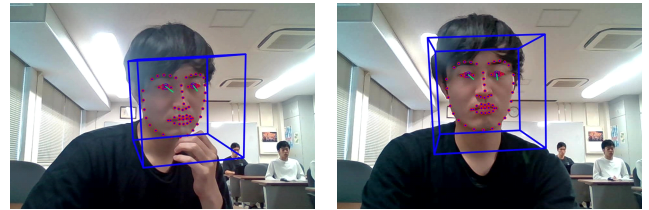


図 4: 集中できたと答えた受講者の頭部位置の変化

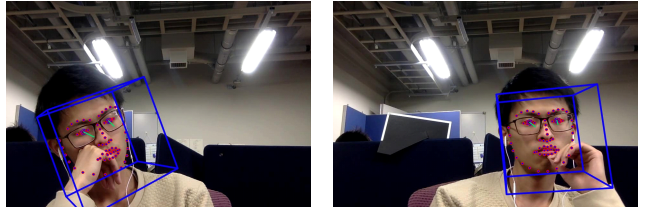


図 5: 集中できなかったと答えた受講者の頭部位置の変化

($F(2, 17) = 4.42, p < 0.05$) で、x 座標の分散で各要因の交互作用に有意傾向 ($F(2, 13) = 3.25, p < 0.10$) がみられた。そこで、x, z 座標の分散と LF/HF で単純主効果を検定した結果、第 1 群では、x, z 座標の分散に有意差がみられ ($F(1, 13) = 5.35, p < 0.05$), ($F(1, 13) = 11.82, p < 0.01$), LF/HF に有意傾向がみられた ($F(1, 17) = 4.04, p < 0.10$)。したがって、前半の V_{FON} と比べて後半の $FtoF$ のほうが集中して授業を受けており、覚醒度が増加したと考えられる。第 2 群では、x 座標の分散に有意傾向がみられた ($F(1, 13) = 3.58, p < 0.10$)。したがって、 V_{FON} では、授業の後半の方が集中していたと考えられる。この結果について、同じ条件内でも後半のほうが集中度が増加した要因としては、授業が進むにつれ授業内容への理解が深まったことや、後半の方が受講時間が長い聴講に集中するようになったことが挙げられる。第 3 群では、LF/HF に有意差がみられた ($F(1, 17) = 4.80, p < 0.05$)。したがって、前半の V_{FON} と比べて後半の V_{FOFF} のほうが覚醒度が減少したと考えられる。この結果から、 $FtoF$, V_{FON} , V_{FOFF} の順に受講者の集中度、覚醒度が高かったと考えられる。この結果は集中度に関しては主観評価と一致した。

4.2 遠隔での表出が評価行動になっているかの調査

授業の前半、後半で各表出が行われたタイミングを時系列で並べたものを図 6, 図 7 に示す。両グラフともに下から第 1 群から第 3 群の結果を並べており、横に並んだ点は各授業形式で表出が行われたタイミングを示している。授業前半のグラフをみると、同じ授業形式でも各群ごとの差が大きく表出の個人差が大きいことが分かる。また授業後半のグラフをみると、遠隔授業でも対面授業と同じタイミングで表出を行っている部分はあり、この部分は相手を意識した評価行動を行っていると考えられる。しかし今回の実験での各群は、図 6 の条件が同じ前半のグラフにおいて

表 7: 第 1 群の頭部位置分散と LF/HF 平均値 (前半: V_{FON} , 後半: $FtoF$)

受講者	条件	頭部位置分散			LF/HF 平均値
		x 方向	y 方向	z 方向	
A	前半	44.40	27.80	74.42	4.70
	後半	24.28	24.84	40.03	7.08
B	前半	31.69	86.31	127.60	1.57
	後半	20.33	23.29	35.50	1.04
C	前半	56.11	40.93	43.46	2.08
	後半	53.42	32.99	22.12	2.38
D	前半	32.89	32.34	89.27	1.87
	後半	22.87	21.33	56.60	5.30
E	前半	33.32	28.27	60.63	2.20
	後半	25.91	38.22	56.39	3.16
F	前半				2.61
	後半	-			3.00
G	前半				5.60
	後半	-			6.93

表 8: 第 2 群の頭部位置分散と LF/HF 平均値 (前半: V_{FON} , 後半: V_{FOFF})

受講者	条件	頭部位置分散			LF/HF 平均値
		x 方向	y 方向	z 方向	
H	前半	48.56	21.70	43.36	1.50
	後半	47.12	41.87	66.98	1.34
I	前半	23.04	18.40	71.79	3.74
	後半	20.03	20.68	66.89	3.64
J	前半	70.13	65.20	117.20	2.48
	後半	50.30	62.66	93.58	4.43
K	前半	33.09	40.87	71.58	5.75
	後半	22.75	46.07	79.03	4.12
L	前半	26.82	94.69	66.74	3.16
	後半	22.51	36.98	58.88	1.50
M	前半	45.27	15.78	48.21	3.93
	後半	33.58	30.19	56.48	5.10

表 9: 第 3 群の頭部位置分散と LF/HF 平均値 (前半: V_{FON} , 後半: V_{FOFF})

受講者	条件	頭部位置分散			LF/HF 平均値
		x 方向	y 方向	z 方向	
N	前半	26.37	14.80	18.49	6.13
	後半	19.41	13.37	20.03	7.27
O	前半	36.26	41.42	80.31	6.18
	後半	66.52	47.14	82.78	5.12
P	前半	20.84	18.58	30.54	4.54
	後半	17.27	15.45	35.24	3.58
Q	前半	30.75	36.58	45.92	5.12
	後半	38.49	51.12	99.32	1.40
R	前半	23.03	20.97	22.25	1.61
	後半	17.76	14.87	17.59	1.09
S	前半				4.03
	後半	-			3.51
T	前半				6.03
	後半	-			2.67

表出の量が異なり, 個人差が大きかったことが分かる. また対面授業と違うタイミングで表出が行われている部分も多数あるため, この評価指標だけでは遠隔下での表出が相手を意識した評価行動になっているかを結論づけることはできなかった.

そこで遠隔授業において, 対面授業と違うタイミングで

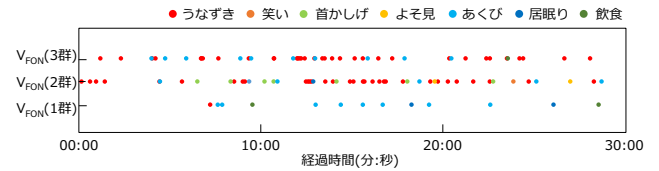


図 6: 授業前半の表出の時系列データ

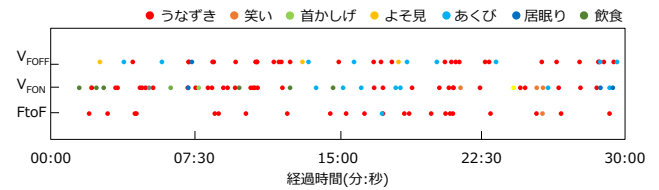


図 7: 授業後半の表出の時系列データ

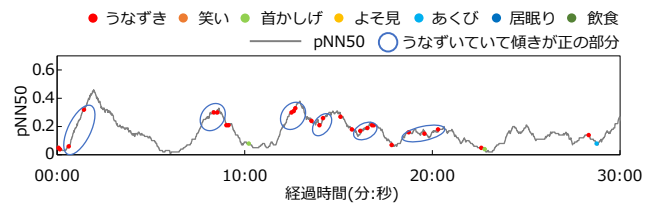


図 8: 受講者 H 前半 (V_{FON}) の pNN50 と表出タイミング

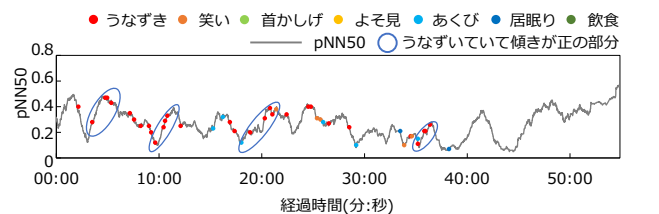


図 9: 受講者 H 後半 (V_{FON}) の pNN50 と表出タイミング

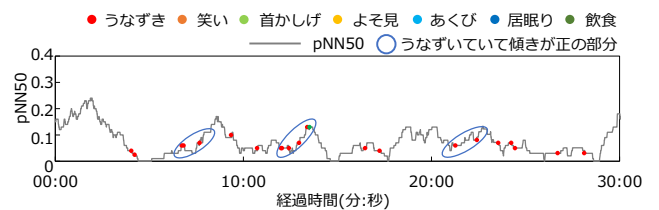


図 10: 受講者 N 前半 (V_{FON}) の pNN50 と表出タイミング

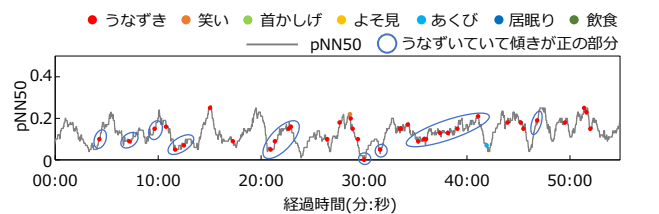


図 11: 受講者 N 後半 (V_{FOFF}) の pNN50 と表出タイミング

表出が行われている部分に着目した。この部分の表出は相手を意識した評価行動を行っていないと仮定したとき、表出は行為者が行為者自身に向けて、何らかの意味や効果を持って行っていると仮説を立てた。この仮説を検証するために、遠隔授業の受講者が表出を行っているタイミングでの心拍情報を用いる。受講者が表出を行ったタイミングと pNN50 の時間変化を比較する。遠隔下で特に表出が多かった受講者 H, N のグラフを図 8 から図 11 に示す。図中の赤い点は受講者がうなずいたタイミングを表している。また pNN50 の値が大きくなっているとき、副交感神経活動が活性化しており、pNN50 が小さくなっているときは副交感神経活動が抑制されている。各グラフの丸で囲った部分をみると、pNN50 の傾きが正になっている部分にうなずきが多いことから、受講者は副交感神経が活性化し眠くなっているタイミングで表出を行うことで、眠気を軽減しようとしていると思われる。よって遠隔授業での表出は、相手を意識した評価行動となっているかは本実験では判断できないが、自身に向けて行っている可能性があり、うなずきは覚醒度を増加させるのではないかと考えた。

この遠隔でのうなずきは覚醒度を増加させるのではないかと、という仮説を検証するために、 V_{FON} の受講者と、 V_{FOFF} の受講者が頷いたタイミングでの pNN50 の傾き (= pNN50 の増加量/時間の増加量 (10^{-3} 秒)) を全て算出する。算出のために、20 個のサンプルでグラフの平傾化を行った。この平傾化によってグラフの概形は変化せず、結果に影響はないと考えられる。

V_{FON} でうなずく表出があった受講者 7 名の、表出を行ったタイミングと pNN50 の時間変化を比較したグラフ計 9 つから、うなずいたタイミングにおける pNN50 の傾きの値、計 150 個を平均した。算出した平均値は 0.1 であり、傾き平均値が正になっていることを確認できた。 V_{FOFF} でうなずく表出があった受講者 4 名の、表出を行ったタイミングと pNN50 の時間変化を比較したグラフ計 4 つから、うなずいたタイミングにおける pNN50 の傾きの値、計 43 個を平均した。算出した平均値は 18.1 であり、傾き平均値が正になっていることを確認できた。よって遠隔の受講者がうなずいた時、覚醒度が増加していると考えられる。この考察から、遠隔授業を行う際にも講師が受講者にうなずきを促すことによって、受講者は覚醒度の高い状態を維持して受講できる可能性があるといえる。

4.3 考察と実験のまとめ

本実験をまとめると、対面授業と遠隔リアルタイム授業の心的状態の差異としては、受講者の集中度、覚醒度が異なったことがわかった。また表出の頻度は授業形式で有意差はなかった。遠隔下での表出が相手を意識した評価行動になっているかは今回の結果からは結論づけられなかったが、うなずきなどの表出が評価行動以外に用いられている

可能性があり、遠隔下でうなずきが覚醒を促す可能性が示唆された。

5. 議論

本章では 4 章で得られた結果をもとに、制約や今後の遠隔授業の展望に関する議論を行う。

5.1 制約

被験者の表出の個人差について、本実験では授業を前半後半に分け、前半の条件を統一することで表出の個人差が分かるようにした。しかしそもそも表出が少ない被験者が多く、実験結果を不明瞭にしている可能性がある。

受講者の自然な表出を取得する方法について、今回の実験では実際の授業を想定して環境を設定した。しかし、被験者に協力を依頼し Web カメラで撮影を行ったという都合上、大げさに表出を行ったり興味が薄れても聴講を続けた可能性がある。そのため実験ではなく撮影もされていない状況では結果が異なる可能性がある。

授業について、本実験では講師を遠隔配信に長けている放送大学の教授に依頼し、事前に授業内容を相談し、教育評価の分析の専門家とセンシングの専門家複数人で確認し、前半と後半ができる限り等質となるようにした。しかし、実験後の質問紙調査で、多くの被験者が授業内容が難しかったと答えていたため、授業内容の難しさが原因で表出が少なかった可能性が考えられる。

集中度や覚醒度を推定した手法について、本論文では心拍情報や表出を用いて推定を行った。しかし集中度について、授業への集中と授業以外への集中を区別していないため、授業と関係のない作業に集中していた可能性がある。また LF/HF は覚醒度と同時に集中度や精神的負荷の指標にもなることがわかっており、この指標には再考の余地がある。

うなずきが覚醒度を増加させたという可能性について、実験結果からうなずいていたタイミングで pNN50 が増加していたことを確認した。しかし、うなずきにはあいづちなど様々な意味があり、その意味を観測者が映像から完全に読み取ることにはできない。具体的には、理解としての頷きなのか、単なる動作としてのうなずきなのかといったことはわからない。そのため次回実験ではこの仮説を核とし、実験条件を決定する必要がある。

5.2 遠隔授業の展望

今回の実験では、講師と対面する状態、遠隔リアルタイムで顔を映す状態、遠隔リアルタイム授業で顔を映さない状態の順で受講者の集中度、覚醒度が高かったことがわかった。そして、遠隔授業での表出が相手を意識した評価行動になっているかはわからなかったが、うなずきが覚醒を促す可能性があることがわかった。この結果から遠隔授

業の質を向上させるためにはどのように授業を行うのが良いかを議論する。

まず授業形式によって集中度、覚醒度が異なったという結果について、オンラインで顔を映している状態のほうが顔を映していない状態よりも集中度、覚醒度ともに高かったため、遠隔授業を行うにあたって顔を映したほうが受講者の体験としての質が高くなったと予測される。そして対面で授業を行える状況であるのならば対面で授業を行ったほうが良いと予測される。

次に遠隔授業でのうなずきが覚醒を促す可能性があることについて、対面授業であれば講師が受講者に語りかけ、うなずきを促すことがあったが、そのように遠隔授業で実際に対面に人がいない状態でも講師から受講者への働きかけを行ったほうが良いと考えられる。この結果は、遠隔授業で双方向性を高めずとも、表出を促すことによって遠隔の受講者の体験としての質を高めることができる可能性を示している。

この議論のまとめとして、遠隔授業を受講するのであれば顔を映したほうが受講者の体験としての質が高く、講師は対面授業で受講者に働きかけるように、遠隔授業でも受講者に働きかけるのが受講者にとって良いことが推測された。そのため、遠隔授業の質を向上させるために、受講者は顔を映し、講師は受講者に対面授業のように働きかけるのが良いと考えられる。また対面授業を行える状態であれば対面授業を行ったほうが、遠隔よりも集中度や覚醒度が高い状態で受講でき、そして相手を意識した評価行動を行うことにより双方向性も高まるため、受講者の体験としての質が高いと考えられる。

5.3 改善点と今後の実験計画

今後実験をする際には、遠隔下での表出が相手を意識した評価行動になっているかを検証するために、5.1節で述べたことを踏まえた改善点として、撮影していることをできる限り隠す、授業内容を理解しやすい内容にする、表出が多そうな被験者で実験を行う、もしくは被験者を増やして表出のデータを更に集めるということが挙げられる。そしてうなずきが覚醒を促すという結果を検証するために、受講者の覚醒度が落ちるタイミングで講師が受講者に働きかける、表出を行わない被験者にもうなずくよう指示する等、今回の授業よりも表出を促す授業を実施する予定である。

6. まとめ

本論文では遠隔授業の質を向上させるために、対面授業と遠隔リアルタイムで受講者の顔を映す形式、遠隔リアルタイムで受講者の顔を移さない形式の3つの授業形式に違いがあるかを受講者の顔映像や心拍情報から調査し、遠隔授業での表出が相手を意識した評価行動となっているかを確かめた。さらに評価実験の結果をもとに、遠隔授業の質

を向上させるためにはどうすれば良いか議論した。

調査の結果、講師と対面する状態、遠隔リアルタイムで顔を映す状態、遠隔リアルタイム授業で顔を映さない状態の順で受講者の集中度、覚醒度が高かった。また対面授業と遠隔リアルタイム授業で表出の頻度に有意差はなく、遠隔リアルタイム授業で表出が相手を意識した評価行動となっているかは結論づけられなかった。しかし心拍情報から遠隔リアルタイム授業での表出の効果を推定したところ、うなずきなどの表出が評価行動以外に用いられている可能性があり、遠隔下でのうなずきは覚醒度に関わる可能性が示唆された。

最後に、実験結果に基づき遠隔授業をどのように改善すべきかを議論した。議論の結果、遠隔授業を受講するのであれば顔を映したほうが受講者の体験としての質が高く、講師は対面授業で受講者に働きかけるように、遠隔授業でも受講者に働きかけるのが受講者にとって良いことが推測された。また対面授業を行える状態であれば対面授業を行ったほうが、遠隔よりも集中度や覚醒度が高い状態で受講でき、また評価行動を行うことにより双方向性も高まるため、受講者の体験としての質が高いと考えられた。そのため、遠隔授業の質を向上させるためには、受講者は顔を映し、講師は受講者に対面授業のように働きかけるのが良いと考えられる。しかし、今回の実験では表出の個人差も大きかったため、条件を変えて再度実験を行い、議論を深める必要がある。また、遠隔下での表出が相手を意識した評価行動になっているかについても再実験を行い、うなずきが覚醒度に影響を及ぼしているかどうかを確認する。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)(18H01059)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 文部科学省: 大学等における本年度後期等の授業の実施と新型コロナウイルス感染症の感染防止対策について(周知), https://www.mext.go.jp/content/20200916-mxt_kouhou01-000004520_1.pdf.
- [2] 加藤 浩, 山下 淳, 市丸俊亮, 鈴木栄幸: モバイル相互評価端末の設計思想と概念, 日本教育工学会第 22 回全国大会講演論文集, Vol. 22, pp. 31-34 (Nov. 2006).
- [3] 加藤 浩: もう一つの教育評価: 状況内評価の活用に向けて, 人工知能学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 163-173 (Mar. 2008).
- [4] N. Rach, Y. Matsuda, S. Ultes, W. Minker, and K. Yasumoto: Estimating Subjective Argument Quality Aspects from Social Signals in Argumentative Dialogue Systems, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 11610-11621 (Jan. 2021).
- [5] R. Arakawa and H. Yakura: REsCUE: A Framework for REal-time Feedback on Behavioral CUEs Using Multimodal Anomaly Detection, *Proc. of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.

- 1–13 (May 2019).
- [6] A. Ohnishi, K. Murao, T. Terada, and M. Tsukamoto: A Method for Structuring Meeting Logs Using Wearable Sensors, *Internet of Things*, Vol. 5, pp. 140–152 (Mar. 2019).
- [7] 前田清州, 暦本純一: 1 対多遠隔コミュニケーションにおける聴衆反応の集成的提示, 第 28 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2020), pp. 115–119 (Dec. 2020).
- [8] M. Prasanth, H. Javier, M. Daniel, R. Kael, S. Jina, and C. Mary: AffectiveSpotlight: Facilitating the Communication of Affective Responses from Audience Members during Online Presentations, *Proc. of the 2021 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2021)* (May 2021).
- [9] 片岡由佳: 教授者の視線が学習者の記憶と教授者に対する印象に及ぼす影響, 日本教育心理学会総会発表論文集第 37 回総会発表論文集, Vol. 2020, p. 137 (Aug. 1995).
- [10] 鎌苅亮汰, 麻生智史, 八尾恵利花, 吉松駿平, 西崎友規子: 録画された発表の視聴時に画面内の聴衆の存在が理解度に及ぼす影響, 2020 年度情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, pp. 1–4 (Sep. 2020).
- [11] Zoom Video Communications, Inc.: Zoom, <https://zoom.us/jp-jp/meetings.html>.
- [12] P. Spathis and R. Dey: What Is Zoom Not Telling You: Lessons from an Online Course during COVID-19, *Online Networking Education Community Discussion Teaching and Learning Computer Networking during the Pandemic, and Beyond*, pp. 1–8 (Aug. 2020).
- [13] S. Goertler and A. Gacs: Assessment in Online German: Assessment Methods and Results, *Die Unterrichtspraxis/Teaching German*, Vol. 51, No. 2, pp. 156–174 (Nov. 2018).
- [14] D. B. Moneypenny and R. S. Aldrich: Online and Face-to-Face Language Learning: A Comparative Analysis of Oral Proficiency in Introductory Spanish, *Journal of Educators Online*, Vol. 13, No. 2, pp. 105–133 (July 2016).
- [15] B. Pomeranz, R. J. Macaulay, M. A. Caudill, I. Kutz, D. Adam, D. Gordon, K. M. Kilborn, A. C. Barger, D. C. Shannon, R. J. Cohen, and H. Benson: Assessment of Autonomic Function in Humans by Heart Rate Spectral Analysis, *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, Vol. 248, No. 1, pp. 151–153 (Jan. 1985).
- [16] E. Michail, A. Kokonozi, I. Chouvarda, and N. Maglaveras: EEG and HRV Markers of Sleepiness and Loss of Control during Car Driving, *Proc. of 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2566–2569 (Aug. 2008).
- [17] L. C. Chin, F. F. B. Rosli, C. Y. Fook, V. Vikneswaran, S. A. B. Awang, and R. Palaniappan: Effect of Mindfulness Meditation toward Improvement of Concentration Based on Heart Rate Variability, *Proc. of 2020 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing and Technologies (3ICT)*, pp. 1–7 (Dec. 2020).
- [18] N. Hjortskov, D. Rissén, A. K. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, and K. Sogaard: The Effect of Mental Stress on Heart Rate Variability and Blood Pressure during Computer Work, *European journal of applied physiology*, Vol. 92, No. 1, pp. 84–89 (Feb. 2004).
- [19] A. Rasool and S. Ullah: Use of Wearable Technology to Measure Influence of Driving Stress on Heart Rate of Professional Drivers, *Journal of Saidu Medical College*, Vol. 10, No. 2, pp. 35–38 (Jan. 2020).
- [20] M. Wu, H. Cao, H. L. Nguyen, K. Surmacz, and C. Hargrove: Modeling Perceived Stress via HRV and Accelerometer Sensor Streams, *Proc. of 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015)*, pp. 1625–1628 (Aug. 2015).
- [21] V. Sandulescu, S. Andrews, D. Ellis, N. Bellotto, and O. M. Mozos: Stress Detection using Wearable Physiological Sensors, *Proc. of International Work Conference on the Interplay between Natural and Artificial Computation (IWINAC 2015)*, Vol. 1, pp. 526–532 (June 2015).
- [22] N. H. Son, Y. Takahata, M. Goto, T. Tanaka, A. Ohsuga, and K. Matsumoto: Estimating the Concentration of Students from Time Series Images, *Proc. of 35th International Conference on Computers and Their Applications*, Vol. 69, pp. 224–229 (Mar. 2020).
- [23] J. Whitehill, Z. Serpell, Y. C. Lin, A. Foster, and J. R. Movellan: The Faces of Engagement: Automatic Recognition of Student Engagement from Facial Expressions, *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 5, No. 1, pp. 86–98 (Apr. 2014).
- [24] Microsoft.: Kinect For Windows SDK - Face Tracking, <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj130970.aspx>.
- [25] H. Monkaresi, N. Bosch, R. A. Calvo, and S. K. D’Mello: Automated Detection of Engagement Using Video-Based Estimation of Facial Expressions and Heart Rate, *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 8, No. 1, pp. 15–28 (Jan. 2016).
- [26] S. S. D’Mello, P. Chipman, and A. Graesser: Posture as a Predictor of Learner’s Affective Engagement, *Proc. of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Vol. 29, pp. 905–910 (2007).
- [27] K. Nomura, M. Iwata, O. Augereau, and K. Kise: Estimation of Student’s Engagement Based on the Posture, *Adjunct Proc. of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (UbiComp 2019) and Proc. of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2019)*, pp. 164–167 (Sep. 2019).
- [28] S. Terai, S. Shirai, M. Alizadeh, R. Kawamura, N. Takemura, Y. Uranishi, H. Takemura, and H. Nagahara: Detecting Learner Drowsiness Based on Facial Expressions and Head Movements in Online Courses, *Proc. of the 25th International Conference on Intelligent User Interfaces Companion*, pp. 124–125 (Mar. 2020).
- [29] Microsoft.: Microsoft Teams, <https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-teams/group-chat-software>.
- [30] ユニオンツール社: WHS-2, https://www.uniontool.co.jp/product/sensor/discon/medical_n.html.
- [31] ユニオンツール社: WHS-3, <https://www.uniontool.co.jp/product/sensor/whs3.html>.
- [32] T. Baltrusaitis, A. Zadeh, Y. C. Lim, and L. P. Morency: OpenFace 2.0: Facial Behavior Analysis Toolkit, *Proc. of the 13th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2018)*, pp. 59–66 (May 2018).
- [33] H. Lausberg and H. Sloetjes: Coding Gestural Behavior with the NEUROGES-ELAN System, *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, Vol. 41, No. 3, pp. 841–849 (Aug. 2009).
- [34] M. Malik: Heart Rate Variability, *Circulation*, Vol. 93, No. 5, pp. 1043–1065 (Mar. 1996).