

表情筋による協同学習プロセスの推定：ICAP に着目した検討 Estimating Collaborative Learning Process by Facial Muscles: A Study Focusing on ICAP framework

CAI Yuying[†], 下條 志巖[‡], 林 勇吾[†]
Yuying CAI, Shigen Shimojo, Yugo Hayashi

[†]立命館大学総合心理学部, [‡]立命館大学大学院人間科学研究科
College of Comprehensive Psychology, Ritsumeikan University[†], Graduate School of Human Science, Ritsumeikan University[‡]
cp0060ex@ed.ritsumei.ac.jp

概要

適応的なフィードバックを行う場合に、学習者の状態を検知する必要があるため、学習プロセスを推定できる表情モデルを作ることが重要である。本研究の目的は、学習プロセスごとに関連する表情を検討することである。分析方法として、学習プロセスごとにおける各表情の出現頻度を算出した。結果として、学習プロセスごとに異なる特徴的な表情が生じることが明らかになった。今後の課題として、より詳細に分析し、学習者の表情から ICAP を定量的に捉える検討を行う。

キーワード：表情分析, ICAP 理論, 協同学習, 学習支援

1. まえがき

協同においては、異なる視点に基づいて自分の理解を再構築する建設的なインタラクションが重要であることが分かっている[1][2][3]。そうした中で、近年では協同学習のプロセスを自動的に推定することが教育工学の分野で注目されている。協同学習において支援を行うために、学習者の状態に基づいた支援は重要である[4]。本研究では、協同学習時の学習者の表情に着目し、協同学習のプロセスを推定する上で効果的な指標であるのかを検討する。

以下、1.1 節では、協同学習の支援に向けてどのようなことが求められているのかを説明し、1.2 節では表情を用いた学習支援に関する研究に加えて、表情と本研究で着目する協同プロセスとの関係を説明し、1.3 節では目的と仮説を述べる。

1.1 協同学習における支援に向けて

協同において相手との相互作用を行うことによって、学習パフォーマンスが促進されることが分かっている[1][2][3]。ペアでの学習は、個人での学習よりも新たな発見をしやすく、説明活動が促進され、積極的に参加するため、パフォーマンスが良い[2]。また、協同問題解決においては、自己説明を行うことによって、既存

の知識を新しい知識と統合することが分かっている[1]。そして、折り紙の課題において、異なる視点に基づいて、自分の理解を再構築する建設的相互作用が重要であることが知られている[3]。異なる視点に基づく協同活動を引き起こし、お互いの理解を深めることを目的とした実践的研究の例として、ジグソー学習研究がある。ジグソー学習法は、相互補完的な知識を持ち寄って学習するものである。例えば、[5]ではジグソー学習法による授業を受けた学生のインタビューデータを分析し、なぜ学生の学習方略が「独習型」から「協働型」へと移行するののかを検討した。一方で、実験室研究の例としては、錯視の原理を応用した実験課題を用いて、異なる視点に基づく検討を行った[6]がある。その研究は、協同相手の視点を取得することが難しいことを明らかにした。以上のように、他者の異なる視点に基づいて自分の理解を再構築することは重要であることが分かった。しかし、そうした学習活動は、「コミュニケーション齟齬の解消」、「正しい他者視点の取得」、「建設的なインタラクション」などが難しいことが分かっている。そのため、協同学習のための支援システムを作るときには、こうした学習者間の協同プロセスに着目し、それを支援する必要があるといえる。

協同学習のための学習支援システムの開発に向けた課題の 1 つに、学習者の状態に応じてフィードバックを提示することが挙げられる。こうした支援は、適応的なフィードバックと呼ばれている。具体的なシステムの例としては、学習者の状態を検知するモデルを用いて適応的なフィードバックを提示する Cognitive Tutor[7]がある。ただし、協同学習においてこうした適応的なフィードバックを検討した研究はまだ少ない。そのため、協同学習場面で学習者の状態を検知し、協同学習のメンバーにとって適切な内容のフィードバックを行うことが重要な研究テーマとなっている。例えば、[4]では、協同学習における PCA がファシリテーシ

ョンを行う場面において、視線リカレントと言語アラ イメントの2つの指標に基づき、協同プロセスを推定 する方法を検討し、そのモデルの有効性を示している。 ただし、学習者の状態を検知するための指標を増やす 必要があることも指摘されており、協同学習において 他の有用な指標を検討することが必要である。そこで、 本研究では、コミュニケーションにおいて重要な非言 語情報の1つである表情に着目して検討を行う。

1.2 学習者の状態検知に関する検討：表情分 析

長年、表情に関する研究が行われてきた。その中で、 表情で感情を推定できることも知られている[8]。 FACS(Facial Action Coding System)は顔面動作(Action Unit)を区別し、AU を単独で表示することまたは組み 合わせることで、表情を表現する測定方法である。AU とは顔面を解剖学的に分割でき、視覚的に見分けがで きる最小単位である[9]。そして、FACS を利用した学 習者の表情と感情状態の関係を調べた研究がある。例 えば、悩みの感情はAU4とAU7と関連することがわか った。ここでは、表情で協同学習における相互理解 に関する感情を推定できると述べている[10]。そこで、 学習者の表情から学習者の状態を検知できる可能性が 示唆される。このように表情と感情状態との関係は検 討されてきたが、学習者の状態に合わせた適応的なフ ィードバックを行うには、表情と学習プロセスとの関 係を検討する必要がある。本研究では協同学習のプロ セスに着目し、[11]が提供した深いインタラクションを 捉えられるICAPによって定義される学習者の活動状 態を扱う。なお、本研究は表情と学習プロセスとの関 係を検討するため、表情と感情状態との関係の分析は ここでは行わない。

ICAPフレームワークとは学習活動をPassive, Active, Constructive, Interactiveに分類したものである [11][12]。 以下で具体的にみていく。Passiveとは、学習材料から 情報を収集するが、指導を受けるだけであり、自発的 な学習行動を伴わない場合である。例えば、メモしな いまま取り組む。Activeとは、自発的に学習材料に関 して行動をとる場合である。例えば、学習材料を読み 上げることである。Constructiveとは、学習者が学習材 料を掘り下げて、その内容を外化することである。例 えば、AとBという知識があってそれを関連付けて、 その内容を発話したり、コンセプトマップ上にリンク

を作成したりするなどである。Interactiveとは、相手が 発言した内容に基づいて、自分の考えをその上に構築 したり、その内容についての疑問を提示したり、反論 したり、葛藤を含む会話をしたりすることである。例 えば、ある学習者が相手の学習者の説明した概念につ いての矛盾点を見つけて、そのことについてさらに説 明するように求めることである。

以上のことを踏まえると、ICAPを用いて学習者の状 態を予測すると、Activeでは学習材料を読み上げたり するだけの発話であるため、口元の筋肉が主に動く。 Constructiveでは自己内省や深く考えて発話するため、 口元の筋肉の動きに加えて顔をひきしめる。Interactive では葛藤を含むような会話が現れるため、眉毛を引き 上げ、目を見開くといった表情筋が現れる。

1.3 目的と仮説

協同学習における学習者に適応的な支援を行うため には、学習者の協同プロセスを推定できる人間の表情 モデルを作る必要がある。そのため、本研究の目的は、 ICAPの各状態における出現頻度が高いAUの種類を検 討することである。以下の仮説を検証していく。

H1-1: Activeでは、学習材料を読み上げたりするだ けの発話であるため、えくぼを作るような口元の筋 肉が主に動く。

H1-2: Constructiveでは、自己内省や深く考えて発話 するため、口元の筋肉の動きに加えて顔をひきしめ る。

H1-3: Interactiveでは、葛藤を含むような会話が現れ るため、眉毛を引き上げ、目を見開くといった表情 筋が現れる。

2. 方法

本研究に使われているデータは[13]による10人のデ ータをサンプルとして利用した。ここでは、協同学習 に取り組むペアが心理学の専門用語を用いて、ある心 理学の現象についてコンセプトマップを作成しながら 説明活動を行う課題を行っている（詳しくは [14][15][16]を参照のこと）。

2.1 実験参加者

大学生10名(男性1名・女性9名)が参加した。そ の中の2名はICAPフレームワークに分類できる条件

を満たさないため、除外した。

2.2 実験の材料とシステム

PC とモニターそれぞれ 2 台を用意し、会話と表情を記録するために、ビデオ 2 台 (Sony, HDRCX680) を用意した。またコンセプトマップを作成するツールである Cmap Tools を用意した (<https://cmap.ihmc.us/>)。ディスプレイとビデオを実験参加者の前に置き、実験参加者は向き合って座っていた。ディスプレイは実験参加者の視線を妨げ、相手の姿が見えないように設定されていた。

2.3 実験の手順

実験では、学習者は心理学の専門用語を使って、ある心理的な現象に関する推論を行うことが学習の課題になっている。課題の前に実験参加者は、原因帰属の学習テキストを読んだ。そして、実験参加者はピーターの新学期に対する語りのテキストを読んだ。そこで、ピーターの語りに関して原因帰属を用いてなぜピーターが新学期を心配するか推論した。また、個別で推論する場合と協同で推論する場合に、コンセプトマップを用いて推論した内容をまとめた。その作成や会話時の表情のデータを本研究では収集した。

本研究では、[13]のデータに基づき、実験参加者の発話により、ICAP フレームワークにある Interactive, Constructive, Active ごとのビデオを切り取り、切り取られたビデオを OpenFace で分析した。

2.4 従属変数：AU

[13]では実験参加者の発話に基づき、ICA ごとに分類した。それにより Interactive, Constructive, Active ごとに切り取られたビデオにおいて、実験参加者が示した表情の動きを OpenFace で 1/20 秒単位で分析した。そこで OpenFace は AU が出現しているかいないかを自動的に計算した。OpenFace で出力される値は、[17]で説明される計算式によって得られる当該 AU の強さの数字であった。ここでは、AU の種類として 18 個があり次の通りであった。AU01：眉毛内側を上げる、AU02：眉毛外側を上げる、AU04：眉毛を下がる、AU05：上の脛を上げる、AU06：顔の頬を上げる、AU07：脛をひきしめる、AU09：鼻をしかめる、AU10：上の唇を上げる、AU12：口元を引っ張る、AU14：え

くぼを作る、AU15：口元を下げる、AU17：あごを上げる、AU20：唇を伸ばす、AU23：唇にしわをつくる、AU25：唇を離す、AU26：あごを下げる、AU28：唇を引き伸ばす、AU45：瞬く。

次に、ICA に分類された学習プロセスごとに実験参加者が発話する時の動画を分析した。ここでは、ビデオ (秒) ごとに各 AU の出現頻度を集計した。分析に際しては、z 得点を算出した。なお、切り取ったビデオの時間に関して、Interactive は 418.72 分で、Constructive は 158.19 分で、Active は 123.85 分であった。

3. 結果

3.1 自動コーディングの信頼性の確認

ここでは、本研究の仮説を検証するメインの分析に入る前に、実際に OpenFace によって算出された AU の信頼性の確認を行った。ここでは、18 個の AU のうちの 6 つを全参加者のデータでランダムにサンプリングして分析を行った。そして、各 AU の表情に対してコーディングの基準を設けて、人手でラベリングを行った。コーディングの基準は、例えば、AU45 の場合では、「目を閉じ、開くこと」といった動きと定義した。

表 1 AU の分類の信頼性：人間とソフトウェアの一致率

Action Unit	Interactive	Constructive	Active
AU02	87%	90%	85%
AU05	100%	55%	95%
AU07	12%	6%	29%
AU17	76%	99%	78%
AU20	98%	100%	95%
AU45	92%	95%	95%

次に、この人手によるコーディングの結果と OpenFace との一致度を計算するため、それぞれで得られたデータを z 得点に変換し、一致率を計算した。表 1 には、全体の一致率の結果を記す。表 1 によると、AU07 の一致率が低いが、それ以外の AU の一致率が高いということが分かった。そのため、人手によるコーディングと OpenFace による評定の間にはある程度関連があることが明らかになった。この結果を踏まえて、

OpenFace の自動コーディングを用いて H1-1, H1-2, H1-3 の検討を行う。

3.2 協同プロセス(ICA)と各表情筋の関係の分析結果

本節では、OpenFace を用いて、ICA の各協同学習プロセスにおいてどの表情筋(AU)が用いられていたのかの結果を記す。図1は、「ICA ごとの各 AU の z 得点」を示している。以下では、分析結果の詳細を記す。

3.2.1 Active において出現頻度が高い AU

Active の時に、AU05 (Upper Lid Raiser), AU14 (Dimpler), AU45 (Blink)の頻度が高いと示している。z 得点を算出し、1 よりも高いものを頻度が高いと判断した。以下 Constructive と Interactive も同様である。そのうえで1 より高い AU 間での差も検討した。検討に際しては、どの表情筋が最も強く表れていたのかを検討するため、1 以上の Active における AU05, AU14, AU45 の平均値の比較も行った。そこで、1 要因の実験参加者内分散分析を行ったところ、有意な差は確認されなかった ($F(2, 14) = 1.80, p = 0.20, \eta_p^2 = 0.21$)。つまり、3 つの AU は全て同程度に表れていた。

以上のことから、Active の時に、AU14 が高い頻度で現れていたため、H1-1 は概ね支持されたといえる。

3.2.2 Constructive において出現頻度が高い AU

Constructive の時に、AU02 (Outer Brow Raiser), AU06 (Cheek Raiser), AU07 (Lid Tightener), AU09 (Nose Wrinkler), AU12 (Lip Corner Puller), AU15 (Lip Corner Depressor), AU23 (Lip Tightener)と AU25 (Lips part)の頻度が高いとわかった。そのうえで、z 得点が1 よりも高い AU02, AU06, AU07, AU09, AU12, AU15, AU23, AU25 の平均値の比較を行った。1 要因実験参加者内分散分析を行ったところ、有意な差が確認された ($F(7, 49) = 3.48, p < .01, \eta_p^2 = 0.33$)。そこで、どこに差があるのか確かめるために多重比較を行ったところ、有意な差は認められなかった。つまり、これらの AU は全て同程度に表れていた。

以上より、AU07 の出現頻度が高く、AU14 の頻度が高くなかったものの口元の筋肉の動きである AU12, AU15, AU23, AU25 の頻度が高かったため、H1-2 を概ね支持したといえる。

3.2.3 Interactive において出現頻度が高い AU

Active と Constructive と同様の基準によって Interactive の時に、AU01 (Inner Brow Raiser)と AU28 (Lip

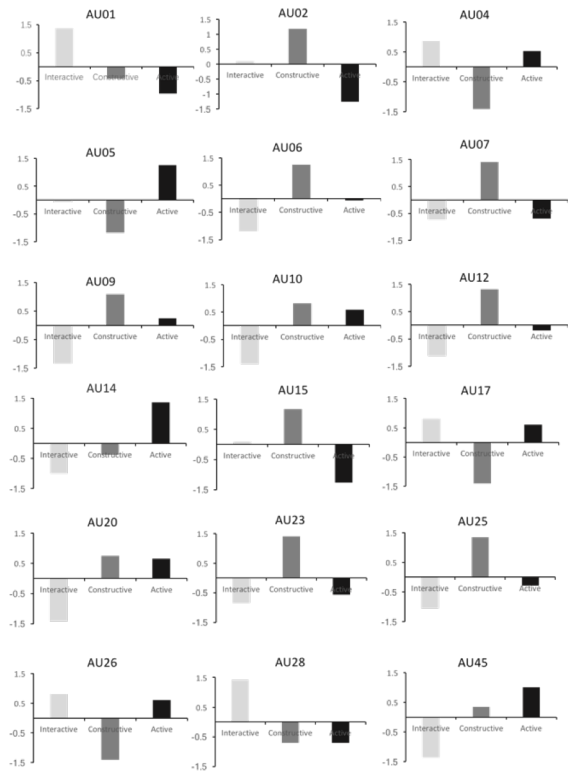


図1 ICA ごとの各 AU の z 得点

Suck)が高い頻度であることがわかった。そのうえで、z 得点が1 よりも高い AU01, AU28 の平均値の比較を行った。対応のある t 検定を行ったところ、有意に AU01 が AU28 よりも多いことが分かった ($t(7) = 4.12, p < .01$)。

したがって、目を見開く動きである AU05 の頻度が高くないが、眉毛の引き上げである AU01 の頻度は高いため、H1-3 を部分的に支持したといえる。

3.2.4 出現頻度が高い AU のまとめ

以上の統計的な分析の結果、ICA の協同学習プロセスごとに異なる AU が出現していることが明らかになった。本研究の2 つ目の目的は、ICA の各状態で生じる AU の種類をまとめることであったため、以下の表2 にこの内容をまとめる。出現頻度が高い AU に記されている順番は、分散分析と t 検定によって明らかになった AU の高低の順も反映されている。

以上より、ICA ごとに重なった AU はなく、それぞれの状態において異なるため、ICA を推定するのに有用であるといったことが考えられる。この点についてのより詳細な考察は、次節で述べる。

表 2 ICA ごとの出現頻度が高い AU

ICAP フレームワーク	出現頻度が高い AU
Interactive	AU01, AU28
Constructive	AU02, AU06, AU07, AU09, AU12, AU15, AU23, AU25
Active	AU05, AU14, AU45

4. 考察

本研究の H1-1 は、Active では、えくぼを作るような口元の筋肉が主に動く、H1-2 は、Constructive では、口元の筋肉の動きに加えて脛をひきしめる、H1-3 は、Interactive では、眉毛を引き上げ、目を見開くことの頻度が高いというものであった。ICA ごとに頻度の高い AU を検討した結果、Active の時には、AU05 (Upper Lid Raiser), AU14 (Dimpler), AU45 (Blink), Constructive の時には AU02 (Outer Brow Raiser), AU06 (Cheek Raiser), AU07 (Lid Tightener), AU09 (Nose Wrinkler), AU12 (Lip Corner Puller), AU15 (Lip Corner Depressor), AU23 (Lip Tightener) と AU25 (Lips part), Interactive の時には AU01 (Inner Brow Raiser) と AU28 (Lip Suck) の頻度が高いことが明らかとなった。以上の結果から、H1-1 は、AU14 の頻度が高いから概ね支持され、H1-2 は、AU07, AU12, AU15, AU23 と AU25 の頻度が高いから概ね支持され、H1-3 は、AU01 の頻度が高いことから部分的に支持されたことが分かった。しかし、Interactive では H1-3 にある目を見開くことの頻度が高いというものが見られなかったため、今後さらに多くのデータを分析することでその原因を検討する必要がある。また、ICA ごとに AU の出現頻度が高いものがあり、出現頻度が高い AU が異なっていることが分かった。そのため、ICA を推定するのに有用であると考えられる。たとえば、Interactive であるのか推定するにあたって、AU01 と AU28 が生じていれば、Interactive である可能性が高いということである。

これまでの研究では、表情を用いて感情を推定する試みが検討されてきた。たとえば、[10]では、表情で協同学習における相互理解に関する感情を推定できるこ

とが明らかになっている。そして、協同学習において学習者の状態に基づいて適応的なフィードバックを行うために必要な協同プロセスの推定も多く検討されている。例えば、[4]では、協同学習の場面において、視線リカレントと言語アライメントの 2 つの指標に基づき、協同プロセスを推定する方法を検討し、そのモデルの有効性を示している。一方で、本研究は、協同場面において、学習活動に基づき適応的な支援を行う上で、表情の利用可能性に新しい知見を提供したといえる。また、[11]において提唱された ICAP フレームワークは、これまで表情において分類する試みはされてこなかった。そのため、本研究において ICA それぞれにおいて特徴的な出現頻度の高い AU が異なっていたことは今後の協同学習における適応的な支援に向けて重要な知見を与えたといえる。

また、[18]では怒りと嫌悪の表情を対象として、時系列分析を行うことで、怒りの表情に関連する AU04 と AU07 が連動して出現することが明らかになった。本研究では今後時系列分析を行うことで、ICA ごとにおける AU と AU の関連性を検討し、AU の出現とその順番で ICA を推定することができると考えられる。さらに、[11]では、ICAP に発話や行動などで分類されている。本研究では学習者の会話活動に基づき、ICAP に分類したデータを分析したため、今後会話活動だけではなく、学習者の行動や視線などの指標を用いることによって、より厳密に ICAP に分類する必要があると考えられる。また、ICAP はそれぞれに違う学習レベルを予測していて、Active は Passive より高い学習レベルを実現し、Constructive は Active より高い学習レベルを実現し、Interactive は Constructive より高い学習レベルを実現する[11]。本研究では ICA ごとに出現頻度が高い AU を調べたが、Passive に関しては検討していない。学習者の状態は Passive から Active への移行を促進するため、Passive であることを検知する場合に適応的なフィードバックを行う必要がある。そのため、今後 Passive における出現頻度が高い AU を検討することで、AU から Passive を推定し、適応的なフィードバックを行うことができると考えられる。

5. まとめ

本研究では、学習者ペアの協同学習の支援に向けて学習者の学習プロセスを学習者の表情から定量的に捉える検討を行う。ここでは、[13]が学習者の会話活動に

に基づき、ICAPに分類した。それにより分類されたICAごとに表情筋(AU)の分析を行う。そこで本研究の目的として、(1)表情筋から学習状態を推定し、(2)ICAPの各プロセスにおいてどのようなAUの種類が現れるのかを整理する。検討に際しては、筆者らのグループで収集した協同学習ペアによる概念説明課題で得られた会話データと表情のデータを用いて検討した。仮説として次の3つの点を検討した。(1)Activeでは、学習材料を読み上げたりするだけの発話であるため、口元の筋肉が主に動く。(2)Constructiveでは、自己内省や深く考えて発話するため、口元の筋肉の動きに加えて瞼をひきしめる。(3)Interactiveでは、葛藤を含むような会話が現れるため、眉毛を引き上げ、目を見開くといった表情筋が現れる。データ分析を行った結果、概ね支持された。一方で、仮説で考えていた表情筋以外の微表情も関連していることが明らかになった。したがって、今後の課題として、ここで分類したAUに基づいて学習プロセスとの関係をより詳細に検討し、学習者ペアの協同学習の支援に向けて学習者の学習プロセスを学習者の表情から定量的に捉える検討を行う予定である。

文献

- [1] Chi, M. T. H., Leeuw, N., Chiu, M., & Lavancher, C., (1994) "Eliciting self-explanations improves understanding", *Cognitive Science*, Vol. 18, No. 3, pp. 439-477.
- [2] Okada, T., & Simon, H. A., (1997) "Collaborative discovery in a scientific domain", *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 109-146.
- [3] Shirouzu, H., Miyake, N., & Masukawa, H., (2002) "Cognitively active externalization for situated reflection", *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 469-501.
- [4] 林 勇吾, (2019) "知的学習支援システムによる協同学習の支援に向けて:視線情報と言語情報を用いた学習プロセスの推定モデル", *認知科学*, Vol. 26, No. 3, pp. 343-356.
- [5] 朱 桂栄・砂川 有里子, (2019) "ジグソー学習法を活用した大学院授業における学生の意識変容について —活動間の有機的連携という観点から—", *日本語教育*, Vol. 145, pp. 25-36.
- [6] 林 勇吾・三輪 和久・森田 純哉, (2007) "異なる視点に基づく協同問題解決に関する実験的検討", *認知科学*, Vol. 14, No4, pp. 604-619.
- [7] Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., Pelletier, R., (1995) "Cognitive tutors: Lessons learned", *Journal of the Learning Sciences* Vol. 4, No. 2, pp. 167-207.
- [8] Ekman, P. & Ancoli, S., (1980) "Facial Signs of Emotional Experience", *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 39, No 6, pp. 1125-1134.
- [9] Ekman, P. & Freisen, W. V., (1976) "Measuring facial movement", *Environmental psychology and nonverbal behavior*, Vol. 1, No. 1, pp. 56-75.
- [10] Hayashi, Y., (2019) "Detecting collaborative learning through emotions: An investigation using facial expression recognition", *Proceedings of the 15th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS2019)*, pp. 89-98.
- [11] Chi, M. T. H. & Wylie, R. (2014) "The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes", *Educational Psychologist*, Vol. 49, No. 4, pp. 219, 243.
- [12] Chi, M. T. H., (2009) "Active-Constructive-Interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities", *Topics in Cognitive Science*, Vol. 1, No. 1, pp. 73-105.
- [13] 下條 志巖・林 勇吾, (投稿中)
- [14] 下條 志巖・林 勇吾, (2019) "コンセプトマップを用いた協同学習ペアの説明活動に関する実験的検討学習パフォーマンスにおける理解度と異なる視点の発現に着目した分析", *信学技報*, Vol. 119, No. 39, pp87-91.
- [15] 下條 志巖・林 勇吾, (2019) "他者の知識を可視化した協同学習における会話活動と学習パフォーマンスの関係性: ターンテイキングと知識の収束に着目して", *日本認知科学会第36回大会発表論文集*, pp. 748-752.
- [16] Shimojo, S. & Hayashi, Y., (2019) "How shared concept mapping facilitates explanation activities in collaborative learning: An experimental investigation into learning performance in the context of different perspectives", *Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education(ICCE2019)*, pp. 172-177.
- [17] Baltrušaitis, T., Robinson, P. & Morency, L., (2016) "OpenFace: An open source facial behavior analysis toolkit", *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, pp. 1-10.
- [18] 高橋 直樹 (2002) "FACSを用いた表情の時系列分析とその展望: 怒りと嫌悪の表情分析を例として", *対人社会心理学研究*, Vol. 2, pp. 75-82.