

小規模な協同学習における学習者の動作の分析 (第1報)

渡邊 栄治^{1,a)} 尾関 孝史² 小濱 剛³

概要: 本報告では, 少人数の学習者から構成される小規模なグループによる協同学習を対象として, 学習者の動作における類似性を定量的に把握するための手法について検討する. 協同学習における学習者の動作として, (a) 学習者間の相互作用, (b) 手元のハンドアウトに対する読み書き, (c) 講師による説明を聴講, (d) 講師との質疑応答が挙げられる. ここでは, 上記の (a) および (b) に焦点を絞り, 学習者の動作の相関関係を定量的に把握するための指標などを提案する. まず, 画像処理およびウェアラブルデバイスによる学習者の動作の検出方法について述べる. つぎに, 検出された学習者の動作に対する相関関係を評価するための指標を提案する. 最後に, ある事例に対する学習者の動作の分析結果について述べる.

Analysis of behaviors of students in small-scale cooperative learning (First report)

EIJI WATANABE^{1,a)} TAKASHI OZEKI² TAKESHI KOHAMA³

Abstract: In this report, we discuss methods for the analysis of the correlation between behaviors of students in small-scale cooperative learning groups. We treat the following behaviors of students in cooperative learning; (a) the interaction between students, (b) the reading/writing behaviors the handout, (c) the listening to explanations by the lecturer, and (d) question and answer with the lecturer. Here, we focus on the above behaviors ((a) and (b)) and propose for the evaluation of the correlation between behaviors of students. First, we introduce methods for the detection of behaviors using the image processing and wearable devices. Next, we propose methods for the evaluation of the correlation between behaviors/ Finally, we discuss the analysis results for behaviors of students in some cooperative learning cases.

1. まえがき

近年, 教育機関において, 学習者自身による能動的な学習形態が積極的に導入されている. 特に, 学習者間で, 「相互に教える/教わる」形態を指す「協同学習」について, 活発に議論されている [1], [2], [3]. 協同学習の目的は, グループとしての協調性を高めつつ, 当該の内容に対する理解度を深めることである. また, 協同学習では, 知識の単なる give and take だけでなく, コミュニケーション能力の育成にも有効である. さらに, グループを効果的にする基本要素として, 「互恵的な協力関係」, 「個人の役割責任」, 「促進的な相互作用」, 「社会的スキル」および「グループに

よる改善手続き」が挙げられている [1].

学習者が机の周りに着席するような学習環境では, 学習者の動作 (話す/聞く/ノートを取るなど) が生じる. したがって, これらの学習者の動作を検出するために, 視線, 顔および手の動きに着目する必要がある. しかしながら, 1人または少数の教員が, リアルタイムに「協同学習」における上記の基本要素を評価し, かつ多数の学習者の理解度や協調性を把握することは困難である. そこで, 学習者や参加者の非言語動作などを自動的に検出し評価することが検討されている [4], [5], [6], [7], [8], [9]. 著者などは, 特に, 協同学習を対象として, 学習者の非言語動作を分析するための手法および実験結果について報告している [10], [11]. 提案した分析手法では, 学習者の顔領域の大きさに基づいて, 学習者の非言語動作を検出した. しかしながら, 顔領域の大きさのみでは, 頭の回転運動や手の動きなどを伴う

¹ 甲南大学知能情報学部

² 福山大学工学部

³ 近畿大学生物理工学部

a) e_wata@konan-u.ac.jp

動作を精度良く検出することが困難である場合が生じる。したがって、[12]では、映像やウェアラブル型デバイスを利用した部位の変動を検出する方法および、階層型ニューラルネットワークに基づいて、学習者の動作における相互作用に対するモデリング手法を提案した。

本報告では、少人数の学習者から構成される小規模なグループによる協同学習を対象として、学習者の動作の類似性を定量的に把握するための手法について検討する。協同学習における学習者の動作として、(a) 学習者間の相互作用、(b) 手元のハンドアウトに対する読み書き、(c) 講師による説明を聴講、(d) 講師との質疑応答などが挙げられる。ここでは、上記の (a) および (b) に焦点を絞り、学習者の動作の相関関係を定量的に把握するための指標などを提案する。まず、画像処理およびウェアラブルデバイスを用いることにより、学習者の動作を検出するための手法について述べる。つぎに、検出された学習者の動作に対する相関関係を評価するための指標を提案する。最後に、提案した指標に基づいて、ある事例に対する学習者の動作の分析結果について述べる。

2. 学習者の非言語動作の検出

図1に示すように、協同学習におけるグループ内の学習者の動作 ((a) 学習者間の相互作用、(b) 手元のハンドアウトに対する読み書き、(c) 講師による説明を聴講、(d) 講師との質疑応答) に対して、(i) 映像から OpenPose [13] により体の部位の座標を検出する方法 (非接触型)、(ii) J!NS MEME [14] に搭載された EOG (Electrocardiography) および 6 軸 (加速度、ジャイロ) センサにより動作を検出する方法 (接触型) について述べる。

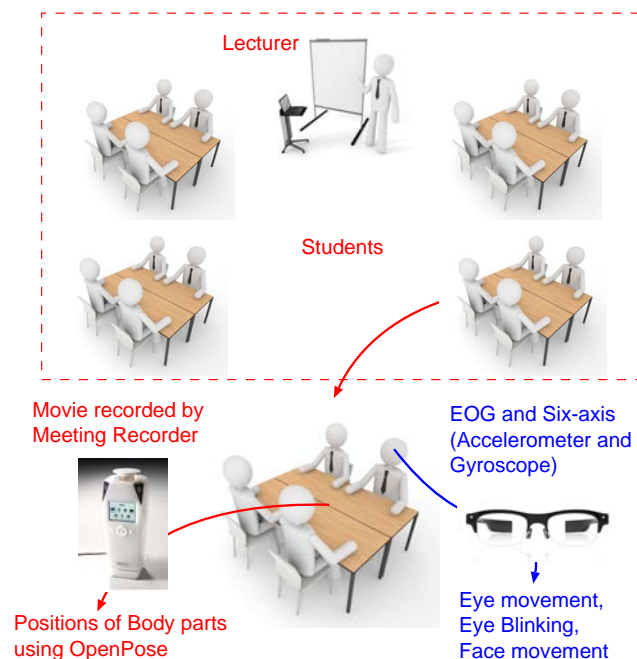


図1 協同学習における学習者の動作の検出

2.1 OpenPose [13] による非言語動作の検出

図2のように、単一の画像から、学習者の体、手、顔、足などの部位の座標 (135点) を検出可能な OpenPose [13] を用いる。

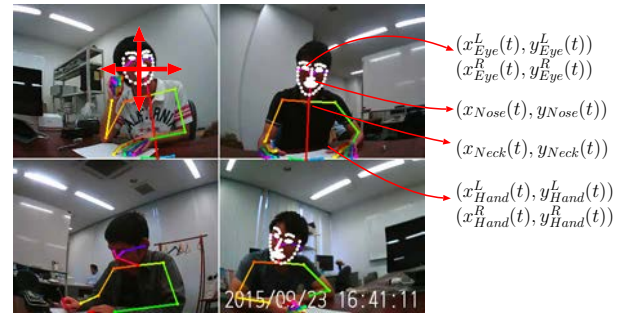


図2 OpenPose [13] による部位の検出

まず、OpenPose により検出された学習者の部位の座標を $\mathbf{p}^{OP}(t)$ と定義する。

$$\mathbf{p}_i^{OP}(t) = (x_{Neck,i}(t), y_{Neck,i}(t), x_{Nose,i}(t), y_{Nose,i}(t), x_{Eye,i}^L(t), y_{Eye,i}^L(t), x_{Eye,i}^R(t), y_{Eye,i}^R(t)), \quad (1)$$

ここで、 i は学習者を表す。また、 $(x_{Neck,i}(t), y_{Neck,i}(t))$ は学習者の首の位置を、 $(x_{Nose,i}(t), y_{Nose,i}(t))$ は鼻の位置を、 $(x_{Eye,i}^L(t), y_{Eye,i}^L(t))$ および $(x_{Eye,i}^R(t), y_{Eye,i}^R(t))$ は左目および右目の位置を表す。したがって、学習者の動作 (他の学習者に顔を向ける/手元に顔を向ける) に対応して頭部の動きが生じ、座標 $\mathbf{p}^{OP}(t)$ が変化する。

つぎに、学習者の部位の座標 $\mathbf{p}_i^{OP}(t)$ を、新たな特徴量 $\mathbf{q}_i^{OP}(t) = \{q_{m,i}^{OP}(t)\} (m = 1, 2, 3, 4)$ に変換する。以下に示すように、特徴量 $q_{m,i}^{OP}(t)$ に基づいて、「顔の向き」、「ノーティング動作」などを検出することができる。

- 顔の向き (左右方向および上下方向) :

$$\begin{cases} q_{1,i}^{OP}(t) = x_{Neck,i}(t) - x_{Nose,i}(t), \\ q_{2,i}^{OP}(t) = y_{Neck,i}(t) - y_{Nose,i}(t), \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $q_{1,i}^{OP}(t)$ は左右方向に、 $q_{2,i}^{OP}(t)$ は上下方向に対応する。

- ノーティング動作など :

$$q_{3,i}^{OP}(t) = \begin{cases} 1 & x_{Eye,i}^L(t) \neq 0, \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

$$q_{4,i}^{OP}(t) = \begin{cases} 1 & x_{Eye,i}^R(t) \neq 0, \\ 0 & \text{Otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $q_{3,i}^{OP}(t) = 0$ および $q_{4,i}^{OP}(t) = 0$ の場合、ノーティング動作などのために、手元方向に顔を向けていると判定できる。

図 3 に, OpenPose により検出された学習者の部位に対する特徴量などを示す. 例えば, 125 [sec] 付近において, 特徴量 ($q_{1,i}^{OP}(t)$, $q_{2,i}^{OP}(t)$, $x_{Eye,i}^L(t)$) の変動と顔方向 (やや左上方向) が対応していることがわかる, 同様に, 150 [sec] 付近においても, 特徴量の変動と顔方向 (手元方向) が対応していることがわかる.

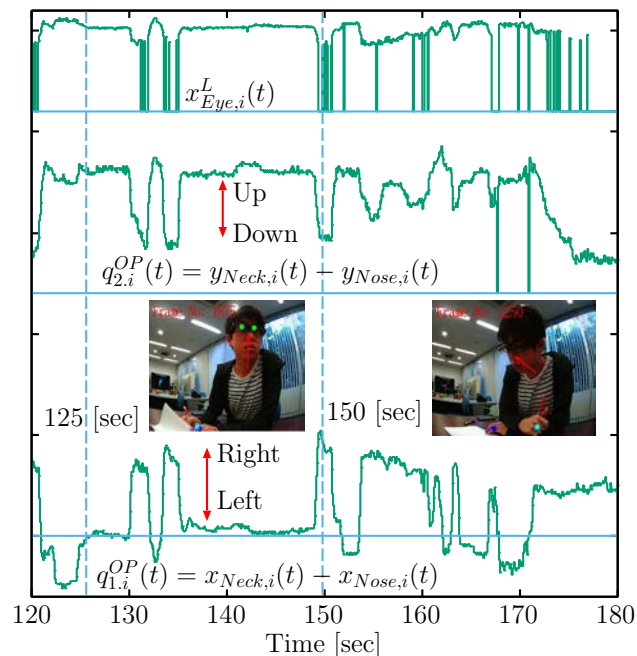


図 3 OpenPose [13] により検出された部位に対する特徴量 ($q_{1,i}^{OP}(t)$, $q_{2,i}^{OP}(t)$, $x_{Eye,i}^L(t)$)

2.2 J!NS MEME [14] による非言語動作の検出

図 4 に示すように, J!NS MEME [14] は, EOG およびモーションセンサを搭載したメガネ型デバイスであり, 視線方向 (左右上下), 瞬き (強さ/速さ), 頭部の動き (Roll/Pitch/Yaw 軸方向の加速度, 角度), および歩行の有無を計測できる.

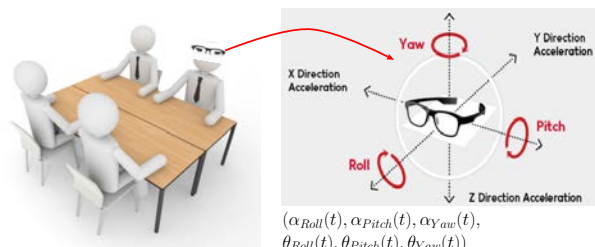


図 4 J!NS MEME における 6 軸 (加速度, ジャイロ) センサ [14]

図 4 に示したように, 学習者の顔方向と加速度 $\omega_i^{JM}(t)$ を対応づけることができる. しかしながら, 斜め方向など, 2 軸または 3 軸まわりの回転運動が伴うような複合的な動作が生じるために, 加速度 $\omega_i^{JM}(t)$ を, 学習者の動作に対する特徴量として用いる. ここでは, 検出された加速度に

対して, 平滑化および区分直線近似などを施して得られた加速度 $\omega_i^{JM}(t)$ を, 学習者の頭部の動きに対する特徴量として扱う.

$$\omega_i^{JM}(t) = (\omega_{Roll,i}(t), \omega_{Pitch,i}(t), \omega_{Yaw,i}(t)), \quad (5)$$

ここで, i は学習者を, $\omega_{Roll,i}(t)$, $\omega_{Pitch,i}(t)$ および $\omega_{Yaw,i}(t)$ は, それぞれ Roll, Pitch および Yaw 軸方向の加速度を表す.

図 5 に, 加速度 $\omega_i^{JM}(t)$ を示す. 図 3 と同様に, 学習者の動作 (125 [sec] 付近 (顔方向がやや左上方向) および 150 [sec] 付近 (顔方向が手元方向)) と加速度 $\omega_i^{JM}(t)$ が対応している.

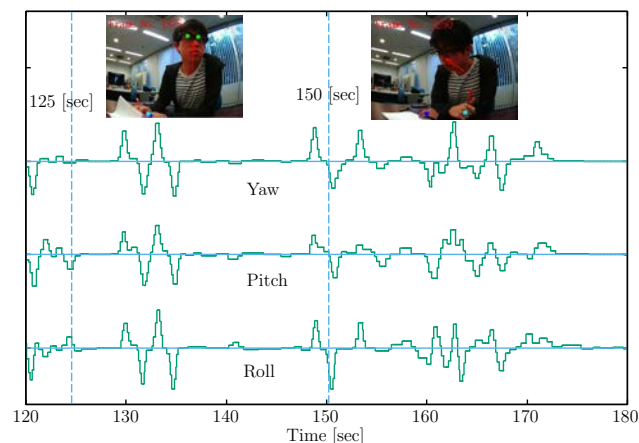


図 5 J!NS MEME [14] により検出された加速度 $\omega_i^{JM}(t)$

3. 学習者の非言語動作における類似性

協同学習において, 与えられた課題に対する進捗状況やグループ内の協調性が, 各学習者の動作 (講師の説明を聞く, 他の学習者と対話する, ノートをとる) に影響を及ぼす. しかしながら, グループの数が多の場合, 少数の講師では, 全てのグループの進捗状況や協調性を, 即時に評価することは困難である. ここでは, 学習者間において類似した動作が生じることから, 学習者の類似性に注目することにより, 各グループにおける包括的な動特性を把握することを検討する. 具体的には, 学習者の顔方向や顔の動きに対する特徴量に対して, 学習者間の相関係数を算出し, 相関係数に基づいて学習者間の類似性を評価する.

まず, 同一のグループにおける i 番目および j 番目の学習者の動作における OpenPose による特徴量 $q_i^{OP}(t)$ および $q_j^{OP}(t)$ の間に生じる同期現象を, 次式の余弦 $\cos_{i,j}^{OP}(t + \tau)$ により定量化する.

$$\cos_{i,j}^{OP}(t + \tau) = \frac{q_i^{OP}(t) \cdot q_j^{OP}(t + \tau)}{|q_i^{OP}(t)| |q_j^{OP}(t + \tau)|} \quad (6)$$

ここで, τ は時間遅れを表す. また, $-1 \leq \cos_{i,j}^{OP}(t + \tau) \leq 1$ である.

同様に、同一のグループにおける i 番目および j 番目の学習者の動作における J!NS MEME による特徴量 $\omega_i^{\text{JM}}(t)$ および $\omega_j^{\text{JM}}(t)$ の間に生じる同期現象を、次式の余弦 $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t+\tau)$ により定量化する。

$$\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t+\tau) = \frac{\omega_i^{\text{JM}}(t) \cdot \omega_j^{\text{JM}}(t+\tau)}{|\omega_i^{\text{JM}}(t)| |\omega_j^{\text{JM}}(t+\tau)|} \quad (7)$$

つぎに、同一グループ内における第 i 番目および第 j 番目の学習者の動作 (OpenPose および J!NS MEME により検出された) の類似度を定量化した余弦 $\cos_{i,j}^{\text{OP}}(t+\tau)$ および $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t+\tau)$ に基づいて、第 g グループにおける学習者の包括的な類似度 (OpenPose および J!NS MEME) を、以下の指標 $R_g^{\text{OP}}(\tau)$ および $R_g^{\text{JM}}(\tau)$ により評価する。

$$R_g^{\text{OP}}(t+\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \cos_{i,j}^{\text{OP}}(t+\tau) \quad (8)$$

$$R_g^{\text{JM}}(t+\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i,j} \cos_{i,j}^{\text{JM}}(t+\tau) \quad (9)$$

ここで、 N は学習者の組み合わせの総数を表す。指標 $R_g^{\text{OP}}(t+\tau)$ および $R_g^{\text{JM}}(t+\tau)$ に基づくことにより、グループ内の類似度およびグループ間の類似度の比較を評価することができる。

4. 実験結果

4.1 協働学習の概要

下記の要領で実施した協働学習を対象とする。

- 協働学習-1: 経済学における数学入門 (約 90 分)
 - 講師: 大学教員
 - 構成:
 - (1) 開始から 10 分間: ホワイトボードを用いた講義,
 - (2) 10 分から 80 分: 協働学習 (適宜, 講師による説明を含む),
 - (3) 80 分から 90 分: 発表,
- 協働学習-2: 文書の協同作成, 協同レビュー (約 90 分)
 - 講師: テクニカルコミュニケーション講師
 - 構成:
 - (1) 演習-1: 要約文の作成,
 - (2) 演習-2: 文章力の自己評価,
 - (3) 演習-3: 文のつながりを考える,
 - (4) 演習-4: 要約文の作成と協働でまとめる,
- 講義方法: 板書, プロジェクタを基に説明後, 協働学習,
- 学習者: 学部学生 13 名 (グループ: 3 名あるいは 4 名). ただし, 協働学習-1 の学習者をシャッフルを行い, 協働学習のグループを構成した。
- 使用機器: J!NS MEME [14], Meeting Recorder [15].
- 使用教室など: 面積は 75 [m²] であり, 図 6 に, 教室内の設備および学習者の配置などを示す。

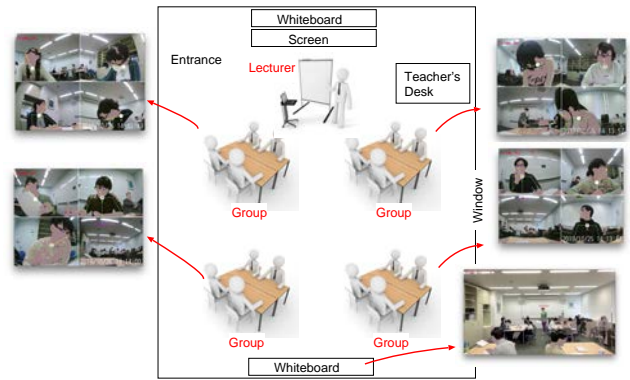


図 6 使用教室など

4.2 学習者の動作の検出結果

図 7 に, OpenPose による特徴量 $q_{1,i}^{\text{OP}}(t)$ を示す. 102 [sec] 付近で, 学習者-A は前方を, 学習者-B はやや左を, 学習者-C は大きく右を, 学習者-D はやや右を向いており, 特徴量 $q_{1,i}^{\text{OP}}(t)$ と顔方向 (水平方向) と対応している。

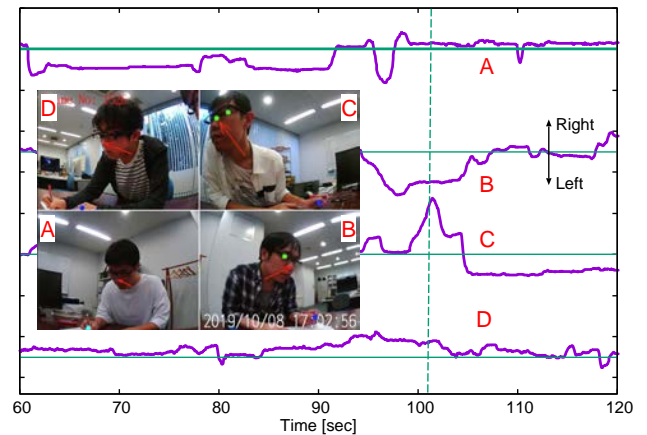


図 7 OpenPose により検出された部位に対する特徴量 $q_{1,i}^{\text{OP}}(t)$

図 8 に, J!NS MEME [14] による Yaw 方向の加速度 $\omega_{\text{Yaw}}(t)$ を示す. 同様に, 102 [sec] 付近における学習者-B および C の顔の移動方向 (図 7) から, 加速度 $\omega_{\text{Yaw}}(t)$ と顔方向 (水平方向) が対応している。

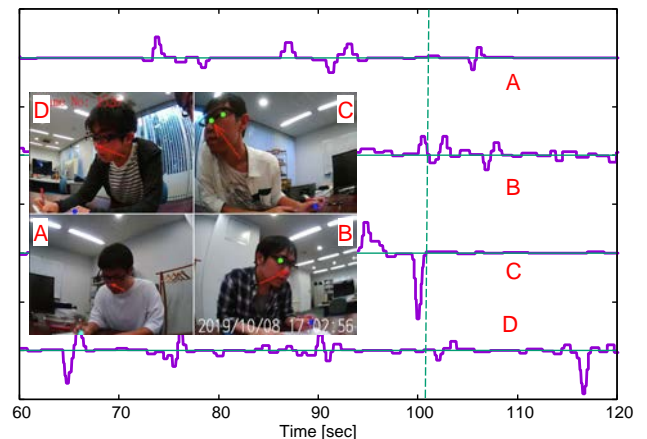


図 8 J!NS MEME により検出された Yaw 方向の加速度 $\omega_{\text{Yaw}}(t)$

4.3 相関係数に基づいた学習者の動作における類似性

4.3.1 学習者の動作 (JINS MEME) における類似性

図9に、協同学習-1におけるグループ-1(4名)の学習者の動作(JINS MEME)による特徴量 $\omega_i^{\text{JM}}(t)$, $\omega_j^{\text{JM}}(t)$ に対する余弦 $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t+\tau)$ を示す。なお、時間遅れ $\tau=0$ と設定した。区間[04:00-09:00][min]において、余弦 $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t)$ が1に近い値を呈している。動画から、講師が課題を説明し、複数の学習者が講師の説明を聴き、手元の配布資料を読む状況を確認している。このことから、 $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t)$ が、動作における類似性を表していることがわかる。同様に、[20:00-23:00][min]の区間において、講師がホワイトボードを使用した説明を行っており、複数の学習者が講師側を見ることにより、余弦 $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t)$ が1に近い値を呈している。

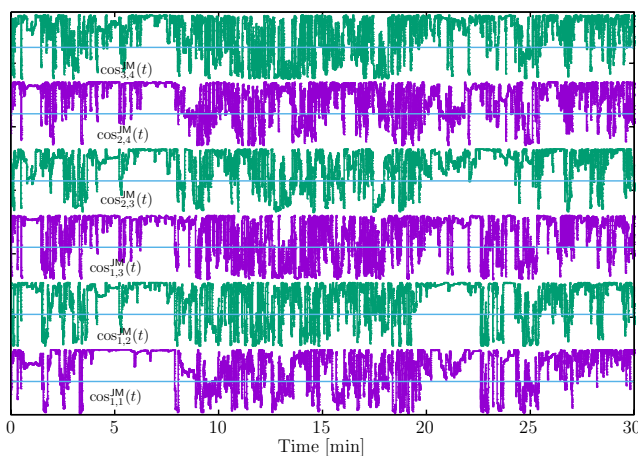


図9 JINS MEMEによる特徴量に対する余弦 $\cos_{i,j}^{\text{JM}}(t)$ (協同学習-1, グループ-1)

また、図10に、協同学習-1における指標 $R_g^{\text{JM}}(t+\tau)$ を示す。上記の区間において、グループ-1, 4の学習者は、類似した動作を呈しているものの、グループ-2, 3の学習者は、異なる動作を呈している。動画において、講師を見る/手元を見る動作が混在していることを確認している。

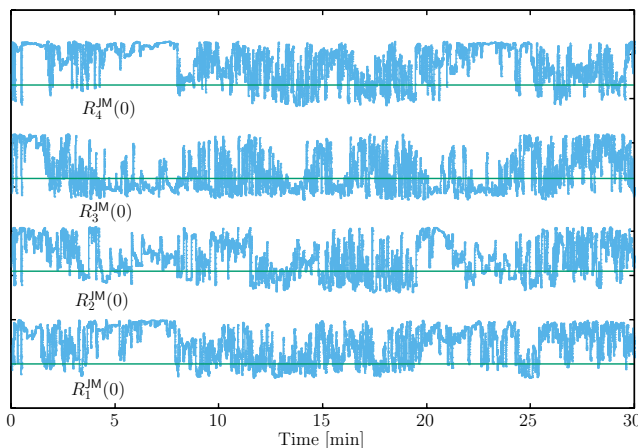


図10 JINS MEMEによる特徴量に対する指標 $R_g^{\text{JM}}(t+\tau)$ (協同学習-1)

さらに、図11に、協同学習-2に対する指標 $R_g^{\text{JM}}(t+\tau)$ を示す。[13:00-20:00][min]の区間において、指標 $R_g^{\text{JM}}(t+\tau)$ が1に近い値を呈していることがわかる。なお、この区間における動画において、「演習-1: 要約文の作成」が実施され、多くの学習者が手元の配布資料を元にして、要約文の作成を行なっている。

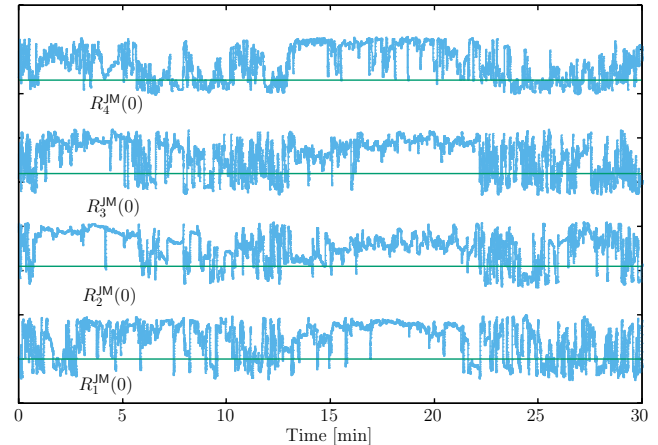


図11 JINS MEMEによる特徴量に対する指標 $R_g^{\text{JM}}(t+\tau)$ (協同学習-2)

4.3.2 学習者の動作 (OpenPose) における類似性

図13に、OpenPoseにより検出された学習者(協同学習-1, グループ-1)の動作に対する特徴量 $q_{2,i}^{\text{OP}}(t) = y_{\text{Neck},i}(t) - y_{\text{Nose},i}(t)$ を示す。ここで、特徴量 $q_{2,i}^{\text{OP}}(t)$ は、学習者の顔の動き(鉛直方向)を表している。前述したように、協同学習-1における区間[04:00-09:00][min]において、講師が課題を説明し、複数の学習者が講師の説明を聴き、手元の配布資料を読む状況を確認している。同区間において、学習者-4を除き、特徴量 $q_{2,i}^{\text{OP}}(t)$ の変動から顔を上方に向けていることが示されている。ここで、学習者-4はカメラや手元に顔を近づけることが多いために、この学習者の部位を正しく検出できない区間が多い。

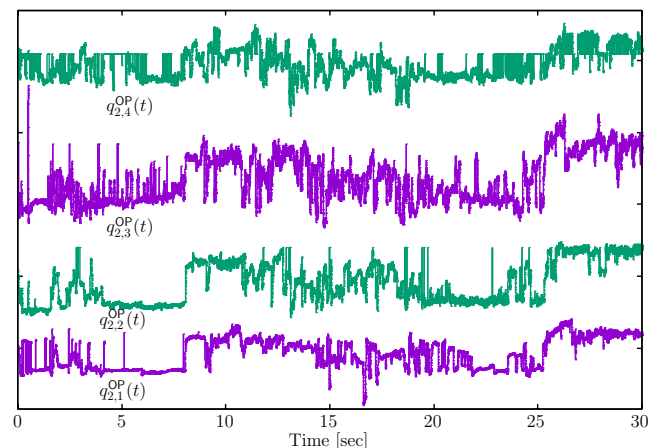


図12 OpenPoseによる顔の向き(鉛直方向)に関する特徴量 $q_{2,i}^{\text{OP}}(t)$ (協同学習-1, グループ-1)

また、図 13 に、協同学習-1 における指標 $R_g^{OP}(t)$ を示す。図 12 における学習者-4 のように、他のグループにおいても、正しく部位の検出できないケースがあり、指標 $R_g^{OP}(t)$ が正しく算出できていないことが示されている。

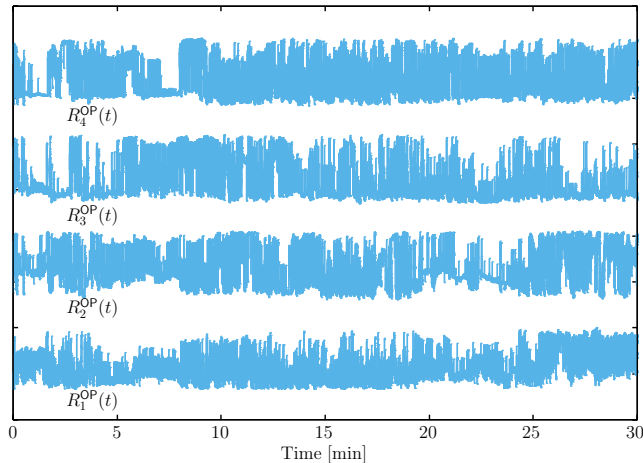


図 13 OpenPose による特徴量に対する指標 $R_g^{OP}(t)$

5. むすび

本報告では、少人数の学習者から構成される小規模なグループによる協同学習を対象として、学習者の動作の類似性を定量的に把握するための手法について検討した。協同学習における学習者の動作として、(a) 学習者間の相互作用、(b) 手元のハンドアウトに対する読み書き、(c) 講師による説明を聴講、(d) 講師との質疑応答などが挙げられることから、画像処理およびウェアラブルデバイスを用いることにより、学習者の動作を検出するための手法について述べた。また、余弦に基づいて、(a) および (b) に焦点を絞り、学習者の動作の相関関係を定量的に把握するための指標などを提案した。最後に、ある事例に対して、学習者の動作の検出精度および動作の類似度を評価した。その結果、(i) ウェアラブルデバイスにより、精度良く学習者の動作を検出できること、(ii) 提案した動作の類似度が、協同学習における包括的な学習者間の相関を表していることが示された。しかしながら、OpenPose により学習者の動作を検出する際、カメラの設置位置などについて検討する必要があることが示された。

今後の課題として、学習者の動作の相関関係には、時間遅れを考慮する必要があるために、(i) 時間遅れを考慮した類似度、(ii) 動作に対する時系列モデルの考慮などが挙げられる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 19K03095, 19K12261 の助成を受けました。また、実験にご協力頂きました、株式会社ハーティネス 高橋慈子様、立命館大学 市野泰和教授、近畿大学小濱研究室、甲南大学の学生諸氏に感謝致します。

参考文献

- [1] ジョンソン, D. W. 他 (著), 石田裕久 他 (翻訳): 学習の輪, 二瓶社, 2010.
- [2] 杉江修治: 協同学習入門 — 基本の理解と 51 の工夫, ナカニシヤ出版, 2011.
- [3] Martinez-Maldonado, R., Yacef, K., Kay, J.: TSCL: A Conceptual Model to Inform Understanding of Collaborative Learning Processes at Interactive Tabletops, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 83, pp. 62-82, 2015.
- [4] Kumano, S., Otsuka, K., Ishii, R., Yamato, J., Collective First-Person Vision for Automatic Gaze Analysis in Multiparty Conversations, *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol. 19, No. 1, pp. 107-122, 2017.
- [5] 新西 誠人, 糟谷 勇児, 稲本 浩久: わいわいメーター: 場の活性度計測による会議の評価システムの試作, *信学技報*, Vol. 114, No. 273, pp. 19-24 (2014)
- [6] 近藤 杏祐, 加藤 浩, 大西 鮎美, 寺田 努, 葛岡 英明, 久保田 善彦, 鈴木 栄幸, 塚本 昌彦, 議論の場における参加者の表出自動推定のための他者ラベリングと自己申告評価およびセンサによる評価との関係調査, *信学技報*, Vol. 119, No. 236, pp. 9-14, 2019.
- [7] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ブレインストーミングにおける参加者の動作の分析, *映情学技報*, AIT2015-100, pp. 9-12, 2015.
- [8] 大西 鮎美, 村尾 和哉, 寺田 努, 塚本 昌彦, 装着型センサを用いた会議ログの構造化システム, 「マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, pp. 1860-1868, 2014.
- [9] Otsuka, K., Sawada, H., Yamato, J., Automatic Inference of Cross-modal Nonverbal Interactions in Multiparty Conversations, *ICML 2007*, 8 pages, 2007.
- [10] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ビデオ講義を対象とした学習者のノーティング動作の分析 (第 2 報), *信学技報*, Vol. 117, No. 29, pp. 37-42, 2017.
- [11] Watanabe, E., Ozeki, T., Kohama, T.: Analysis of nonverbal behaviors by students in cooperative learning, *Proceedings of 8th International Conference on Collaboration Technologies*, 9 pages, 2016.
- [12] 渡邊 栄治, 尾関 孝史, 小濱 剛: ビデオ講義を対象とした協同学習における学習者の動作の分析 (第 4 報), *信学技報*, Vol. 119, No. 359, pp. 1-6, 2020 (発表無).
- [13] Cao, Z., Simon, S., Wei, S., Sheikh, Y.: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, <https://arxiv.org/abs/1611.08050> (Last accessed 12 Dec. 2018).
- [14] J!NS MEME, <https://jins-meme.com/en/products/es> (Last accessed 11 Nov. 2019).
- [15] MR360, <https://www.kingjim.co.jp/sp/mr360> (Last accessed 11 Nov. 2019).