

学習時における学習者の生体情報と心的状態の関係の形式化の 試み

Study on Formalization of Relations between Mental States and Physiological Information during Learning Activities

竹花和真^{1*} 田和辻可昌² 村松慶一³ 松居辰則⁴

Kazuma TAKEHANA¹, Yoshimasa TAWATSUJI², Keiichi MURAMATSU³, Tatsunori MATSUI⁴

¹ 早稲田大学人間科学部

¹ School of Human Sciences, Waseda University

² 早稲田大学大学院人間科学研究科

² Graduate School of Human Sciences, Waseda University

⁴ 早稲田大学人間科学学術院

⁴ Faculty of Human Sciences, Waseda University

³ 埼玉大学大学院理工学研究科

³ Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

Abstract: Estimation of learners' mental states during the interaction between teacher and learners is very important issues from quality of learning environment design point of view. In this experimental study, relationship between teacher's utterances, behaviors, learner's physiological indexes and mental states were tried to be detected by the association rule detection method. After that some additional trials to formalize relations between mental states and some physiological information of learner were carried out. As a result, some meaningful generalized rules have been detected.

1 はじめに

教授・学習過程において学習者の心的状態を把握することは教育効果・学習効果の観点から極めて重要である。人間教師の場合は教授・学習過程の適材適所において学習者の心的状態を把握して教授戦略や教授方略に反映させることができるが、これを計算機支援によって自動的に行わせることは今後の教育システム研究においては重要な課題である。教育工学研究においても、学習者の眼球運動や発汗量など生体情報を学習行為や心理状態と関係付けるための基礎的な研究は多くの知見を蓄積している [5]。そして、昨今の計算機や生体計測機器の高機能化と低廉化によって、生体計測機から得られるリアルタイムかつ大量のデータを高速に処理することにより、生体情報や行動情報を用いた学習者の心理状態の計算機による自動推定と教育支援への試みが盛んに行われている。

一方、教育実践研究においては、教授・学習過程における教師と学習者のインタラクションは学習者の心的状態の変化に影響を及ぼし、学習効果の決定要因として重要であることは広く共有されているところである。

特に、教師の発問や教授行動は学習者の心的状態や学習環境の規定要因となり、その質の向上が教師教育においても求められるところである。したがって、学習時における教師の行動や発言と学習者の心的状態、あるいは心的状態の変化に関する要因との関係の形式化は重要な課題であり、その成果は学習支援システム（後述する知的メンタリングシステム）への学習者の心的状態の推定機能の実装のための基礎的な知見を与えることも期待される。

そこで、本研究では、教師と学習者のインタラクションにおいて教師の発話と学習者の生理データ、および学習者の心的状態との関係の形式化を実験的に試みた。具体的には [9] では、約 60 分の授業の 1 シーン（約 60 秒）についてのみ分析を行ったが、本研究では同一の授業についてさら 5 シーン（いずれも 30 秒～90 秒程度）について分析を行った。その結果、学習者の心的状態と観測可能な生体情報との比較的一般性の高い関係性を導くことができた。

*連絡先：早稲田大学人間科学部 松居辰則研究室
〒 359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15
E-mail: takehana@moegi.waseda.jp

2 学習に関わる多面的情報の統合的分析

本研究ではデータマイニングの手法を用いて学習に関わる多面的な情報の関係に関する分析を実験的に試みた。具体的には、教師の発話、学習者の生理データ（NIRS データ、脳波、呼吸数、皮膚コンダクタンス、容積脈波）、学習者の心的状態の関係を相関ルール抽出手法を用いて導いた。相関ルール抽出を行うに当たっては、分析の対象となるデータ（上記）の形式や粒度が異なるため、全てのデータをカテゴリカルデータに変換した。従来の生理データ、生体データの分析においてはその特徴量を数学的に求める方法が中心であったが、この場合は得られた特徴量と実際の現象との対応付け（データの解釈）が困難であった。そこで、今回採用した方法は、計測されたデータに分析者の分析観点に基づいてカテゴリを付与するため、分析結果と実現象との対応付け（データの解釈）の可能性が高まるという特長をもつ。以下、本節では、データ取得のための実験、データの加工方法（カテゴリカルデータへの変換）、相関ルール抽出と実現象との対応付け（解釈）の順に述べる。

2.1 データ取得のための実験

本実験では生体計測機器を用いた計測を中心に行った。被験者は個別指導塾（教師1名、学習者1名の個別学習）に通う中学生2名（被験者A、B）であった。使用した機材は脳波計（Emotiv EEG）、NIRS（日立WOT-100）、呼吸・皮膚コンダクタンス・容積脈波計（NeXus）であった。被験者には上記の機材を全て装着してもらい、通常通りの授業を受けてもらった。ただし、脳波計とNIRSに関してはどちらか一方しか装着することができないため、被験者Aには脳波計を、被験者BにはNIRSを装着してもらった。各計測機器は計測時間に対応させるために計測開始、終了時にマーカーを付与した。実験中の様子は3か所から3台のビデオカメラで撮影した。また、被験者には後日実験で得られた映像を見ながら学習時の心的状態の内省報告を求めた。実験中の様子を図1に示す。

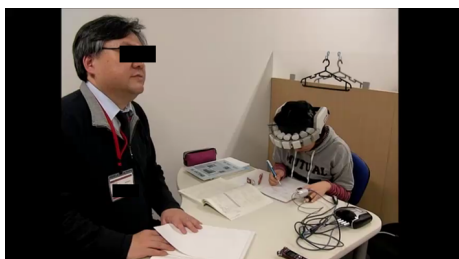


図1: 実験中の様子

2.2 分析の対象としたデータ

今回分析の対象としたのは、約60分授業の中で教師と学習者のインタラクションが比較的多く確認できた以下の6シーン（授業区間）であった。各シーンには様々なインタラクションが含まれるようにシーンを選定した。各シーンの区間情報とそこに含まれるインタラクションは以下の通りである。

シーン1：記録開始後30分50秒から31分50秒まで（60秒）。「計算のミス指摘」、「正しい計算方法を問いかける」、「生徒がよく間違えているところであるということに注意（それほど厳しくは言っていない）」といったインタラクションが含まれていた。

シーン2：記録開始後34分30秒から35分30秒まで（60秒）。「生徒の計算方法をほめる」、「そのうえで、間違えているところや上手にやるコツなどを説明する」といったインタラクションが含まれていた。シーン2は授業全体を通して唯一褒める行為を行っているシーンであった。また、雑談は少なめであった。

シーン3：記録開始後36分53秒から37分20秒まで（27秒）。「計算問題が終わった生徒に応答する」、「そのうえで次の問題を提示する」といったインタラクションが含まれていた。シーン3は授業全体を通しても数少ない応答行為を行っているシーンであった。

シーン4：記録開始後51分04秒から52分27秒まで（83秒）。「生徒に説明をする」、「例題を解きながら計算方法の解説を行う」、「最後に生徒の苦手なところを聞く」といったインタラクションが含まれていた。

シーン5：記録開始後53分51秒から54分22秒まで（31秒）。「生徒の間違いを気づかせるような注意をする」、「生徒の理解しているぶりを見抜いてさらに注意をする」といったインタラクションが含まれていた。

シーン6：記録開始後57分55秒から58分51秒まで（56秒）。「同じ間違いをした生徒を注意する」、「冗談を少し交えて厳し過ぎない注意をする」といったインタラクションが含まれていた。

3 取得データからの相関ルール抽出

本研究では、学習者の心的状態と生体情報との関係性の抽出においては、最も基本的な関係性を抽出することを目的にして、相関ルール抽出アルゴリズムを適用した。ここでは、シーン1のデータを対象にして取得データからの相関ルール抽出の方法についての概要を述べる。詳細については[9]を参照されたい。

3.1 データの加工（カテゴリカルデータへの変換）

今回の実験で得られたデータは形式や粒度が異なるため統一的なデータ分析を可能とするために、全てカテゴリカルデータへの変換を行った。取得されたデータとカテゴリとの関係を表2に示す。生理データ（呼吸

数、皮膚コンダクタンス等)は連続データであるため、1つ前のデータからの変化量に応じて1から5の5段階で分類した。NIRS データは大域平均基準化 [6][1] を施したのちカテゴリ化を試みたが、秒間データ取得数が5Hz と少ないためデータの変化量ではなく数値の大きさによって5段階に分類した。心的状態を表すカテゴリは、Achievement Emotions Questionnaire(AEQ)[7] で使用されている9感情についての尺度 (Enjoy, Hope, Pride, Anger, Anxiety, Shame, Hopelessness, Boredom, Other) を用いた。被験者にはアノテーション付与のための自作アプリケーション (自身の動画を再生しながら該当する心的状態のボタンを押すことによってその時の心理状態を内省報告する) を用いて授業時の心的状態の内省報告を求めた。教師の発話を表すカテゴリは、先行研究 [3][2][8] で使用されていたカテゴリを一部修正した9種類のカテゴリ (1:説明, 2:発問, 3:指示確認, 4:復唱, 5:感情受容, 6:応答, 7:注意, 8:雑談, 9:その他) を用いた。教師の発話へのカテゴリの付与に関しては、分析者が授業映像を見ながら分析者の視点で行った。

データ	カテゴリ	意味	データ	カテゴリ	意味
NIRS	A1 A2 A3 A4 A5	高い やや高い 中 やや低い 低い	教師発話	D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8 D9	説明 発問 指示・確認 復唱 感情受容 応答 注意 雑談 その他
皮膚コンダクタンス	B1 B2 B3 B4 B5	大きく上昇 上昇 変わらず 下降 大きく下降	内省報告	E1 E2 E3 E4 E5 E6 E7 E8 E9	Enjoy Hope Pride Anger Anxiety Shame Hopelessness Boredom Other
呼吸	C1 C2 C3 C4 C5	大きく上昇 上昇 変わらず 下降 大きく下降			

図 2: カテゴリカルデータへの変換対応表

カテゴリを付与した全データは、データごとに記録された時間によって時系列に整序した。その結果、2267レコードのデータとなった。その際、異なる生理指標のデータ間では、計測粒度 (計測される時間間隔) の相違から計測データが存在しないレコードが含まれることになる。この点に関しては、計測データが存在しない時間は極めて短い時間であるため、その時間内で大きな変化が起こるとは考えにくいいため、そこには連続データとして1つ前のデータを補完した。なお、脳波および容積脈波のデータに関しては欠損データが多かったこと、計測粒度が他のデータかと著しく異なることから他のデータと統合的に扱うことは困難であり、今回の分析の対象としないこととした。

3.2 関連ルール抽出の結果

統合化されたカテゴリカルデータセット (2267レコード) に対して関連ルール抽出を行った。支持度 0.02, 確信度 0.89, リフト 2.2 以上で関連ルールを抽出した結果、表 3 に示すよう 12 個のルールが抽出された。

ルール 1 は右辺部に「内省報告 = E1 (Enjoy)」を含む関連ルールを抽出した結果である。脳血流が A2 (やや高い), 教師が D7 (注意) をして呼吸が C1 (大きく上昇した) とき、学習者は心的状態として E1 (Enjoy) を報告している。

ルール 2~4 は右辺部に「内省報告 = E3 (Pride)」を含む関連ルールを抽出した結果である。脳血流が A2 (やや上昇) であり、教師が D3 (指示確認) を行っており、呼吸は C4 (低い), 皮膚コンダクタンスは B3 (変化なし) であるとき、学習者は心的状態として E3 (Pride) を報告している。

ルール 5 は右辺部に「内省報告 = E5 (Anxiety)」を含む関連ルールを抽出した結果である。脳血流が A5 (非常に低い) であり、呼吸が C1 (非常に高い) とき、生徒は心的状態として E5 (Anxiety) を報告している。

ルール 6~12 は右辺部に「内省報告 = E6 (Shame)」を含む関連ルールを抽出した結果である。教師が D3 (指示確認) または D1 (説明) を行っており、脳血流が A4 (やや低い) とき、学習者は心的状態として E6 (Shame) を報告している。また、教師が D3 (説明) を行っているとき、学習者の呼吸が C1 (高い) 状態になっていることが多い。

3.3 関連ルールの実現象との対応付け

ルール 1 からは、教師の注意行動がそれほど厳しいものではなかった (半分冗談を含めたもの等) ため、生徒の笑いを誘発させて、その結果脳血流および呼吸が上昇し Enjoy という感情が喚起されたものと推測される。実際、授業記録映像からも、教師が冗談を交えて雑談や注意などを行っている様子が確認された。

ルール 2~4 からは、教師の指示確認が生徒の脳血流の上昇を誘発させた、つまり生徒の脳活動に負荷を与える内容であったということが推測される。しかし、呼吸や皮膚コンダクタンスからは生徒が「慌てる・焦る」といった状態は確認されなかったため、教師が課したタスクを生徒がクリアすることができた状態であり、その結果 Pride という感情が喚起されたものと推測される。

ルール 5 からは、内省報告 B5 (Anxiety) では NIRS の数値が下降していることを読み取ることができる。これは、Anxiety の感情が喚起される際に賦活する脳部位が本実験で使用した NIRS で測定される脳部位とは異なるため、前者における血流量が増加し後者における血流量が減少したものと推測される。今回の実験で得られたルールの中で「NIRS が A5 (低い)」が含ま

No.	左辺部	右辺部	Sup.	Conf.	Lift
1	NIRS=A2, 教師の発話=D7, 呼吸=C1	⇒内省報告=E1	0.027	0.943	6.039
2	NIRS=A2, 教師の発話=D3, 呼吸=C4, 皮膚コンダクタンス=B3	⇒内省報告=E3	0.047	0.906	3.380
3	教師の発話=D9	⇒内省報告=E3	0.030	1.000	3.730
4	NIRS=A2, 教師の発話=D9	⇒内省報告=E3	0.029	1.000	3.730
5	NIRS=A5, 呼吸=C1	⇒内省報告=E5	0.026	0.891	7.164
6	NIRS=A4, 呼吸=C1	⇒内省報告=E6	0.047	1.000	2.289
7	NIRS=A4, 教師の発話=D1	⇒内省報告=E6	0.043	1.000	2.289
8	NIRS=A4, 教師の発話=D3, 呼吸=C1	⇒内省報告=E6	0.041	1.000	2.289
9	NIRS=A4, 呼吸=C1 皮膚コンダクタンス=B4	⇒内省報告=E6	0.041	1.000	2.289
10	NIRS=A4, 教師の発話=D1, 呼吸=C4	⇒内省報告=E6	0.037	1.000	2.289
11	NIRS=A4, 教師の発話=D3, 呼吸=C1, 皮膚コンダクタンス=B4	⇒内省報告=E6	0.036	1.000	2.289
12	NIRS=A4, 教師の発話=D1, 皮膚コンダクタンス=B4	⇒内省報告=E6	0.024	1.000	2.289

図 3: 抽出された相関ルール (シーン 1)

れているルールはルール 5 だけであるということと、呼吸数に大きな変化が伴っているということから、E5 (Anxiety) の感情に関しては生理データからある程度推測可能なものであると期待される。

ルール 6~12 からは、教師が発言した内容が生徒の応答を要するものであり、それに対して生徒は満足に応答することが出来なかったため、呼吸数の乱れ (C1 (高い)) が表れ、その結果、内省報告が E6 (shame) という感情が喚起されたものと推測される。また、教師が D1 (説明) を行っているときの相関ルールでは呼吸数は逆に C4 (やや低い) 状態であった。これは教師が生徒に応答を要さない発言を行っていたため、生徒は呼吸数を乱すことなく聞くことができたものと推測される。NIRS に関しては全体的に低い値をとっていたが、これは内省報告 E5 (Anxiety) と同様に、別の脳部位で脳が賦活していたため、本実験における NIRS での測定部位の血流量が減少したものと考えられる。

4 関係性の形式化の試み

シーン 1 からは 12 個のルールが抽出された。そこで、より一般的なルールの存在を確認するために、シーン

2~シーン 6 についても同様の手続きで相関ルール抽出を試みた。

4.1 各シーンにおいて抽出された相関ルールとその解釈

各シーンにおいて抽出された相関ルールとその解釈は以下の通りである。

シーン 2 において統合化されたカテゴリカルデータセット (2375 レコード) に対して、支持度 0.02, 確信度 0.89, リフト 1.3 以上で相関ルールを抽出した結果、内省報告 E1 (Enjoy) に関するルールが 6 個, 内省報告 E5 (Anxiety) に関するルールが 2 個の合計 8 個のルールが抽出された。E1 (Enjoy) に関するルールでは NIRS が A2 (やや高い), 皮膚コンダクタンスが B2 (上昇), 呼吸が C2~C3 (上昇~不変), 発話が D1 (説明) で抽出された。このシーンでは説明が多く占めていたため D1 (説明) を含むルールが多く出てきたが、脳血流や発汗, 呼吸がやや高いことから、教師の行っていた説明は生徒にとって若干難しめであり、負荷を与えるものであったと予測される。しかし、その学習活動が生徒にとって楽しいものであったことから、教師の課した課題が生徒にとって適切な難易度であったものと考えられる。E5 (Anxiety) に関するルールでは、NIRS が A4 (やや低い), 皮膚コンダクタンスが B1 (大きく上昇), 発話が D5 (感情受容) で抽出された。感情受容のカテゴリでは生徒を教師がほめるというニュアンスの言葉に対してカテゴリを付与したため、ここでは教師がほめていた時は生徒が不安に思っていたことになる。皮膚コンダクタンスも高い数値を出していたことから、生徒は高いストレス状態にあったものと推測される。このシーンでは教師は長い説明の後に感情受容 (褒めるに近い) の発言を行ったが、生徒にとってはその発言がプレッシャーのようなものに感じられたものと推測できる。

シーン 3 において統合化されたカテゴリカルデータセット (1086 レコード) に対して、支持度 0.02, 確信度 0.89, リフト 1.4 以上で相関ルールを抽出した結果、内省報告 E1 (Enjoy) に関するルールが 8 個, 内省報告 E3 (Pride) に関するルールが 3 個, 内省報告 E5 (Anxiety) に関するルールが 2 個の合計 13 個のルールが抽出された。E1 (Enjoy) に関するルールでは NIRS が A2 (やや高い), 皮膚コンダクタンスが B1~B2 (大きく上昇~上昇), 発話が D1 (説明) と D2 (発問) であった。このシーンでは、説明と発問が多めに使用されていたので D1 (説明), D2 (発問) が頻出していたが、脳血流や発汗データにおいて若干の上昇が認められたため、リラックス状態よりも負荷がかかっていた状態であったと考えられる。しかし、内省報告は E1 (Enjoy) を報告していたため、生徒の心理面において好ましい学習行動であったと考えられる。E3 (Pride) に関するルールでは、発話が D6 (応答) の場合に内省報告 E3 (Pride) が多く抽出されている。これは、教師の応答行為が生徒を認める意味合いを含んでいた

め、その結果生徒のプライドを向上させたものと考えられる。しかし、皮膚コンダクタンスやNIRSなどのデータが伴っていないため、推測させるためのデータとしては不十分であると考えられる。E5 (Anxiety) に関するルールは支持度が他のシーンより低かったため閾値を低くして2個のルールを抽出して検討を行った。このルールから、教師がD3 (指示確認) をしている場合、NIRSが減少し、発汗が上昇していることが分かる、これは教師の発言が生徒の心理状態に負荷をかけているからであると考えられる。NIRSが減少しているのはAnxietyの心理状態が表出する際に賦活する脳部位が別のところであるためと考えられる。

シーン4において統合化されたカテゴリカルデータセット (3278レコード) に対して、支持度0.02、確信度0.89、リフト1.3上で相関ルールを抽出した結果、内省報告E1 (Enjoy) に関するルールが4個抽出された。E1 (Enjoy) に関するルールでは教師がD1 (説明) を行っている場合、NIRSがA5 (低い)、呼吸がC3 (不変)、皮膚コンダクタンスがB2 (上昇) であった。このシーンでは他のシーンとは異なってNIRSがA5 (低い) を示している。これは、同じEnjoyの感情でも環境や条件が違えば脳の賦活状態が変化することを意味している。

シーン5において統合化されたカテゴリカルデータセット (1249レコード) に対して、支持度0.02、確信度0.89、リフト2.1以上で相関ルールを抽出した結果、内省報告E1 (Enjoy) に関するルールが2個、内省報告E5 (Anxiety) にルールが13個、内省報告E6 (Shame) に関するルールが2個の合計17個のルールが抽出された。このシーンではE1 (Enjoy) に関するルールは確信度が低いため閾値を低くして2個のルールを抽出して検討を行った。これらのルールではNIRSがA1 (高い) を示している。皮膚コンダクタンスはB3 (不変)、呼吸はC1 (大きく上昇)、発話はD7 (注意) であった。発汗がそれほど高くなく、呼吸が上昇していることから、このシーンでの教師の注意は冗談が多く含まれていたものと推測される。そのことが生徒の笑いを誘発させて脳血流が上昇したものと推測される。E5 (Anxiety) に関するルールでは、NIRSがA3~A4 (中~やや高い)、呼吸がC1, C5 (大きく上昇, 大きく下降)、皮膚コンダクタンスがB1 (大きく上昇)、発話がD4 (復唱) とD7 (注意) であった。E6 (Shame) に関しては他のデータと比較すると呼吸が高かったり低かったりするため、呼吸データがこの感情の規定要因とは考えにくい。脳血流に関してはA2 (やや高い) の値が出ているが、これは教師の指示確認によって脳に負荷が与えられたことによって起こったことと推測される。

シーン6において統合化されたカテゴリカルデータセット (1085レコード) に対して、支持度0.02、確信度0.89、リフト1.28以上で相関ルールを抽出した結果、内省報告E5 (Anxiety) に関するルールが12個、内省報告E6 (Shame) に関するルールが9個の合計21個のルールが抽出された。E5 (Anxiety) に関するルールでは、皮膚コンダクタンスがB1 (大きく上昇)、呼吸

がC3 (不変)、発話がD1 (説明) で多く抽出されている。NIRSデータはややばらつきがあるがA2 (やや高い) 状態になっている。このルールから、教師が説明を行っているときに生徒は発汗が多く、脳血流がやや高く、不安な心理状態になっていることが分かる。これは、教師の説明が難しく生徒の理解が追いついていないことから発汗が多くなり、脳の活動が活発になり不安な心理状態になったものと考えられる。E6 (Shame) に関するルールでは、NIRSがA3 (中)、皮膚コンダクタンスがB2 (上昇)、呼吸がC2 (上昇)、発話がD7 (注意) で多く抽出されている。教師が注意をしているとき生徒は発汗と呼吸がやや高い状態で、恥ずかしいという心理状態が報告されていることが分かる。これは、教師の注意が生徒にとって恥ずかしいと思う内容であったため呼吸や発汗が上昇したものと考えられる。このシーンからは、教師が生徒の間違いを指摘している発話内容が多く含まれており、その内容は生徒にとって間違いがすぐ理解できる程度のものであったため、脳の負荷はそれほどかからずNIRSの数値は上がらなかったものと考えられる。

4.2 一般性の高い相関ルール

以上の結果から複数のシーンにおいて抽出された比較的一般性の高い相関ルールは図4の通りである。すなわち、学習者の心的状態と計測可能な生体情報との関係に関しては以下のようなことが示唆される。

- 内省報告E1 (Enjoy) に関するルールでは教師が説明、または注意動作を行っていることが多い。該当するシーンからはこの教師は生徒がミスをしたときに頭ごなしに叱らずに、少し冗談交じりに注意するような行動がたびたび見られた。そのような態度に対して生徒は楽しいと感じたものと考えられる。脳血流は、全体的に高い数値を出しており、Enjoyの感情が表れているときはA2 (高い) 以上である可能性が高いものと考えられる。また、発汗や呼吸に関してもB3 (不変)、C3 (不変) 以上の変化を示していることが多い。以上のことから、脳血流がA2 (高い) 以上であり、呼吸、発汗ともにB3 (不変)、C3 (不変) 以上で教師がD1 (説明) またはD7 (注意 (ただし冗談交じりの軽い注意の時に限る)) を行っている場合、高い確率で内省報告E1 (Enjoy) になっているものと考えられる。
- 内省報告E3 (Pride) に関するルールに関しては抽出された相関ルールが少なく、他のシーンとの共通性が見られなかった。しかし、教師のD6 (応答) 行為が見られたのは全ルールの中でこのルールだけであり、限定された条件で感情が誘発するものと考えられる。以上のように、非常に個別性の高い特徴が抽出されたが、他のシーンとの共通性が無いためこの感情を推測することは困難であると考えられる。

- 内省報告 E5 (Anxiety) に関するルールに関しては、教師の発話では共通性が抽出されなかった、脳血流と発汗に関しては共通する傾向が抽出された。このルールでは、脳血流が A4 (やや低い) 以下であり発汗が B1 (大きく上昇) の場合が多く、呼吸に関しては C1 (大きく上昇) にやや共通性が抽出された。以上のことから、このルールでは E1 (enjoy) のように発汗と呼吸が非常に高く (B1 (大きく上昇), C1 (大きく上昇)), しかし、脳血流は A4 (下降) 以下の場合にこの感情が誘発する可能性が高いものと考えられる。
- 内省報告 E6 (Shame) のルールに関しては、脳血流、発汗、呼吸共に共通性が抽出されず、全シーンにおいて様々であった。しかし、教師の発話 D3 (指示・確認) のみ共通性が抽出された、Pride と同様に個別性の高いルールと考えられる、この感情を推測することは困難であると考えられる。

以上の 4 つのルール群より、生体情報及び教師の発話情報から学習者の心的状態について E1(enjoy) と E5(Anxiety) が推定可能であると考えられる。

内省報告: E1 (Enjoy) に関する関連ルール	
NIRS: A2 (やや高い) &呼吸: C1 (大きく上昇) &教師発話: D7 (注意)	
NIRS: A2 (やや高い) &皮膚コン: B2 (上昇) &呼吸: C2 (上昇) &教師発話: D1 (説明)	
NIRS: A2 (やや高い) &皮膚コン: B1 (大きく上昇) &教師発話: D1 (説明)・D2 (発問)	
NIRS: A5 (低い) &皮膚コン: B2 (上昇) &呼吸: C3 (変わらず) &教師発話: D1 (説明)	
NIRS: A1 (高い) &皮膚コン: B3 (変わらず) &呼吸: C1 (大きく上昇) &教師発話: D7 (注意)	
内省報告: E3 (pride) に関する関連ルール	
NIRS: A2 (やや高い) &皮膚コン: B3 (変わらず) &呼吸: C4 (下降) &教師発話: D3 (指示・確認)	
皮膚コン: B2 (上昇)・B5 (大きく下降) &教師発話: D6 (応答)	
内省報告: E5 (Anxiety) に関する関連ルール	
NIRS: A5 (低い) &呼吸: C1 (大きく上昇)	
NIRS: A4 (やや低い) &皮膚コン: B1 (大きく上昇) &教師発話: D5 (感情受容)	
NIRS: A4 (やや低い) &皮膚コン: B1 (大きく上昇) &呼吸: C5 (大きく下降) &教師発話: D4 (復唱)・D7 (注意)	
NIRS: A2 (やや高い) &皮膚コン: B1 (大きく上昇) &呼吸: C3 (変わらず) &教師発話: D1 (説明)	
内省報告: E6 (Shame) に関する関連ルール	
NIRS: A4 (やや低い) &皮膚コン: B4 (下降) &呼吸: C1 (大きく上昇) &教師発話: D1 (説明)・D3 (指示・確認)	

図 4: 比較的一般性の高い関連ルール

5 まとめと今後の課題

今回の実験から、学習者の心的状態と観測可能な生体情報、および教師の発話行為との間に比較的一般性の高い関係性を導くことができた、特に、Enjoy, Anxiety といった心的状態は高い確率で推定可能であることが示唆された。今後は、教師の行動に関するカテゴリデータなどデータの種類をさらに増やし関連ルールの精度を向上させ、学習者の心的状態の推定の精度をより向上させることが今後の課題である。また、今回は教師と学習者のインタラクションの”一瞬”(時間的な変化を考慮していない)に着目して分析を行った。しかし、学習者の心的状態は教師とのインタラクションにおいて時系列的に変化するものであるため、この点も考慮

した分析を行う予定である。さらに、分析結果の一般化に向けては、今回は教師 1 名、学習者 1 名の個別学習環境でのデータを分析対象としたが、複数名の教師や学習者で構成される学習環境等、異なる学習環境での分析も必要である。この場合は、例えば、脳波計測機器の高機能化と低廉化が進んでいるため、十分に実施可能であると考えている。この点も今後の課題としたい。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構・社会技術研究開発センター (JST/RISTEX) 「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」の研究開発プロジェクト「高等教育を対象とした提供者のコンピテンシーと受給者のリテラシーの向上による共創的価値の実現方法の開発」、および日本学術振興会・科学研究費補助金「挑戦的萌芽研究 (課題番号 25540165)」の成果によるものである。

参考文献

- [1] 平山健太, 綿貫 啓一, 楓和憲: NIRS を用いた随意運動および他動運動の脳賦活分析, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 78, No. 795, pp. 3803–3811 (2012)
- [2] 藤江康彦: 一斉授業における教師の「復唱」の機能: 小学 5 年の社会科授業における教室談話の分析, 日本教育工学雑誌, Vol. 23, No. 4, pp. 201–212 (2000)
- [3] 岸俊行, 野嶋栄一郎: 小学校国語科授業における教師発話・児童発話に基づく授業実践の構造分析, 教育心理学研究, Vol. 54, No. 3, pp. 322–333 (2006)
- [4] Michael, H., Bettina, G., Kurt, H., Christian, B.: Introduction to arules - A computational environment for mining association rules and frequent item sets, *Journal of Statistical Software*, Vol. 14, Issue. 15, (2010)
- [5] 中山実, 清水康敬: 生体情報による学習活動の評価, 日本教育工学雑誌, Vol. 24, No. 1, pp. 15–23 (2000)
- [6] 野澤孝之, 近藤敏之: NIRS 脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較, 計測自動制御学会 生体・生理工学シンポジウム論文集, Vol. 24, pp. 381–384 (2009)
- [7] Pekrun, R., Goetz, Frenzel, A. C., Barchfeld, P. and Perry, R. P.: Measuring Emotions in Students' Learning and Performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ) *Contemporary Educational Psychology*, Vol. 36, No. 1, pp. 36–48 (2011)
- [8] 清水由紀, 内田伸子: 子どもは教育のディスコースにどのように適応するか-小学 1 年生の朝の会における教師と児童の発話の量的・質的分析より-, 教育心理学研究, Vol. 49, No. 3, pp. 314–325 (2001)
- [9] 竹花和真, 田和辻可昌, 松居辰則: 学習に関わる多面的情報の統合的分析手法の検討, 人工知能学会第 73 回先進的学習科学と工学研究会資料, B403-13, pp. 67–70 (2015)