

インタラクションに関する多面的データと 学習者の心的状態の関係の分析

竹花和真^{*1}, 松居辰則^{*2}

^{*1} 早稲田大学大学院人間科学研究科

^{*2} 早稲田大学人間科学学術院

Experimental Study on the Relationships Between Diversified Data of Teacher-Learner Interaction and Learner's Mental States

Kazuma TAKEHANA^{*1}, Tatsunori MATSUI^{*2}

^{*1} Graduate School of Human Sciences, Waseda University

^{*2} Faculty of Human Sciences, Waseda University

To improve the efficiency of teaching and learning, it is very important to grasp learners' mental states during their learning processes. We aim to detect the relationships between learners' mental states and learners' physiological information complemented with teachers' speech acts using the association rule mining technique. Four rules concerning the mental states "Enjoy", "Pride", "Shame" and "Anxiety", were detected in our previous study. However, we later noticed that the biometric equipment operated with an inherent delay of a few seconds when measuring the NIRS signals. In this study, thus, we try to fix this time delay and to detect association rules with higher accuracy. By analyzing the data on the teachers' speech acts, the learners' mental states and the NIRS signals, we found that the time delay in the NIRS measurement was about seven seconds in this study. As a result, new association rules were detected from the fixed data.

キーワード: 学習者の心的状態の推定, 生体情報, 行動情報, インタラクション, 相関ルール抽出, NIRS

1. はじめに

学習者の学習意欲を向上させるには学習者の心的状態を把握することは極めて重要なことである。しかし、学習者の心的状態を第三者が推定することは非常に困難である。対面授業における人間教師であれば、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、近年広まってきたeラーニングなどの形態の授業では教師が生徒の心的状態を把握することは非常に困難である。そこで、生徒の心的状態の推定をコンピュータに行わせることが今後の教育システム研究にとって非常に重要なことだと言える。昨今のコンピュータの高機能化と低廉化によって、生体計測機器から送られる大量のデータを比較的高速に処理することが可能となり、生体情報や行動情報を用いた学習者の心的状態のコンピュータによる自動推定と教育支援への試みが盛んに行われるようになってきた[1]。

また、教育実践研究においては、授業中の教師と学習者のインタラクションは互いの心的状態に大きな影響を及ぼし、学習効果の決定要因として重要であるということは広く共有されている。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に大きな影響を与える要因になり、昨今の教師にはその質の向上が求められてきている。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、これらの知見を用いて学習者の授業に対する快楽や満足度といった感情を推定し、教師に提供することによってより質の高い授業を提供することができるようになると期待される。

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、また後述する生理データに関する時間遅れに対する考察と再分析を行った。その結果、先行研究[9]で得られた結果とは異なる結果が得られ、この分析による意義と有効性が示唆された。

2. データ取得のための実験

本研究では、教師と学習者のインタラクションにおける教師の発話や学習者の生理データを扱うため、生体計測機器を用いたデータ取得のための実験を行った。

大人数などの授業でのノイズを回避するために今回は教師1名と生徒1名の個別指導塾での実験環境で計測実験を行った。

2.1 実験の方法

実験では個別指導塾に通う中学生 2 名(以下被験者

A, B とする)に協力してもらい、複数の生体計測機器を装着したうえで普段通りの授業を受けてもらった。使用した機材は脳波計(Emotiv EPOC), 脳血流計(日立 WOT-100), 呼吸計(NeXus), 発汗計(NeXus), 容積脈波計(NeXus)であった。しかし、脳波計と脳血流計はどちらか一方しか装着する事ができないため被験者 A には脳波計、被験者 B には脳血流計を装着してもらった。また、生徒や教師の行動データを取得するために、実験中の様子を 3 方向からビデオカメラで撮影した。被験者には後日実験で得られた映像をもとに学習時の心的状態の内省報告を求めた。その様子を図 1 に示す。



図 1 実験中の様子

2.2 学習者の内省報告データの取得方法

本実験では複数のデータを同時に取得するため、時間的に同期が可能である内省報告データを取得するのが望ましい。そこで、PC 上で動画を再生しながらキーボードの数字を押下することでその再生時間に感情カテゴリを付与してデータとして出力する事が出来るアプリケーションを開発した(図 2)。被験者には、後日実験で得られた映像をもとに当時の心的状態と最も近い感情を 1 から 9 までの 9 種類の感情から選んでキーボードを押下してもらった。その際、被験者には押下する感情を間違わないよう十分な教示をした後に実験を行った。アプリケーション内の感情カテゴリは、Achievement Emotions Questionnaire(AEQ)[2]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。



図 2 内省報告データ取得ソフトウェアの画面

3. 得られたデータの分析

取得したデータは種類が多く、60 分間の全てのデータを対象とすると膨大な量のデータになってしまうため、分析手法に何らかの工夫を施さなくてはならない。

本分析ではデータを分析者の観点から比較的インタラクションが豊富なシーンを選出し、カテゴリを施すといった手法を採用し分析を行った。

3.1 分析の対象とした範囲

今回の実験では 60 分間の授業のデータを取得したが、その授業時間の中で教師と生徒とのインタラクションが比較的多く確認できた 6 か所の区間(シーン)を分析の対象とした。選定した各区間と、そこに含まれてい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」、「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。
- 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回答する」、「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少数な回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ふ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。

3.2 取得したデータの加工

取得したデータは生理データ、行動データ、心理データと形式や粒度が異なるためそのまま同時に分析することが困難である。従来の分析方法では、得られたデータに対して数学的な処理を施し分析を行うものが多いが、これらの場合は実現象との対応付け等の解釈が困難であるという問題点があった。そこで、本分析では全てのデータを分析の前処理として分析者の観点からカテゴリカルデータへの変換を行うという手順を踏んだ。これを行うことによって、得られた分析結

果を實現象と対応付けすることが比較的容易になる。

3.2.1 生理データのカテゴリ化

生理データ(呼吸, 発汗, 容積脈波)は連続データであるため, 時系列的上1つ前のデータからの変化量に応じて1から5の5段階で分類を行った. NIRS(脳血流)データは大域平均基準化[3]を行い標準化を施した後にカテゴリ化を試みたが, 機材の性質上秒間データ取得数が5Hzと他のデータに比べて少ないため, 変化量でカテゴリ化を行うと他のデータと大きく性質の異なったカテゴリに分類されるという問題が生じる. そこで, NIRS データのみ数値の大きさによって5段階に分類した(図3).

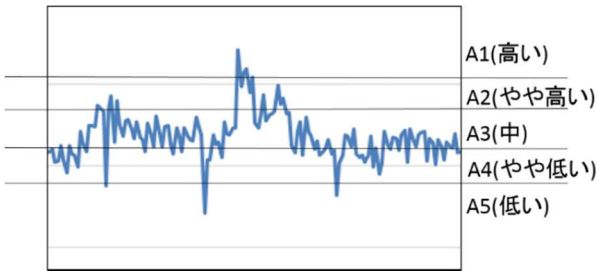


図3 NIRS のカテゴリ化イメージ図

3.2.2 教師の発話データのカテゴリ化

教師の発話データは, 学校における対話分析等の研究[4][5][6]で使用され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)を用いてカテゴリを付与した. カテゴリを付与する際に生理データおよび内省報告データと同様に時間的に同期が可能なものであることが好ましい. そこで, 内省報告で使用したアプリケーションを応用し, キーボードを押下することによって時間的な変化を同時に記録できる形式でカテゴリを付与した. なお, 本研究の現段階では, カテゴリ付与にあたって教師の発話の意図や文脈などのものは考慮せず, 発話した内容のみに対してカテゴリを付与することとした(教師の発話の意図や文脈の扱いは今後の課題としている). したがって, 教師本人ではなく第三者である分析者が発話のカテゴリを付与した.

3.2.3 カテゴリカルデータセットの作成

カテゴリを付与した結果, 各データとのカテゴリとの対応は図4のようになった.

カテゴリを付与した全てのデータはデータごとに記録された時間によって図5のように時系列に整序した. その結果, シーン1の全てのデータを統合したデータセットは2267レコードのデータとなった.

しかし, 異なる生理データ間では取得データ数(Hz)の違いによって計測データが存在しないレコードが存在する. 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り, その時間内で大きな変化があるとは考えにくいため, そのレコードには連続データとして1つ前のデータを補完する形にした.

また, 脳波と容積脈波のデータについては欠損データが多かったこと, また取得データ数が他のデータと

著しく異なることから他のデータと統合的な分析を行うことは難しいと判断したため, 本分析より除外した.

脳波データが使用できない都合上, 今回の分析では脳血流計を装着してもらった被験者Bのみのデータを扱うこととなった.

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

図4 データのカテゴリ化対応表

	A	B	C	D	E	F
1	標準時	NIRS	内省報告	発話(教師)	呼吸	皮膚コンダ
2	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
3	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
4	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
5	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
6	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
7	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
8	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
9	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
10	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
11	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
12	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
13	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
14	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
15	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
16	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
17	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
18	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
19	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4
20	19:37.0	A4	B5	C3	D4	E4

図5 カテゴリカルデータセットの一部

3.3 データの分析方法

カテゴリ化したデータは相関ルール抽出アルゴリズムを用いて分析を行った. 相関ルール抽出はアイテム群の中から同時に出現する頻度が高いアイテムの組み合わせを抽出することが可能である[7]. 一般的にSupport(支持度), Confident(確信度), Lift(リフト)の3つの指標(定義は下記の通り)で表されることが多い.

- Support…ルール $X \Rightarrow Y$ の支持度は, アイテム集合 X と Y を含むトランザクションが全体 (M) の中に占める比率で定義されている.
- Confident…確信度とは, アイテム集合 X と Y を含むトランザクションの数 $\sigma(X \cup Y)$ を, 条件 X を含むトランザクションの数 $\sigma(X)$ で割った値である.
- Lift…リフトは, 確信度を $\text{supp}(Y)$ で割った値で定義されている.

分析では「R」を用いて幅優先探索の apriori アルゴリズムを適用し, 相関ルール抽出を行った.

3.4 分析の結果

シーン 1 のカテゴリカルデータセット(2267 レコード)に対して相関ルール抽出を行った. 支持度 0.02, 確信度 0.89, リフト 2.2 以上で相関ルールを抽出した結果, 以下の 12 個のルールが抽出された(図 6).

- ルール 1…右辺部に「内省報告=E1(Enjoy)」を含む相関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)をしていて呼吸が 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…右辺部に「内省報告=E3(Pride)」を含む相関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…右辺部に「内省報告=E5(Anxiety)」を含む相関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…右辺部に「内省報告=E6(Shame)」を含む相関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.

3.5 実現象との対応付け

- ルール 1 では, 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複数回確認された.
- ルール 2~4 では, 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考えられる.
- ルール 5 では, 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)」が含まれているルールはルール 5 だけであるということ, 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 で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考えられる. また, 教師が D1(説明)を行っていると時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考えられる. 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.

	左辺部	右辺部	supp	conf	lift
1	NIRS=A2, 教師の発語=D7, 呼吸=C1	⇒ 内省報告=E1	0.027	0.943	6.039
2	NIRS=A2, 教師の発語=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	教師の発語=D9	⇒ 内省報告=E3	0.030	1.000	3.730
4	NIRS=A2, 教師の発語=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, 教師の発語=D1	⇒ 内省報告=E6	0.043	1.000	2.289
8	NIRS=A4, 教師の発語=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, 教師の発語=D1, 呼吸=C4	⇒ 内省報告=E6	0.037	1.000	2.289
11	NIRS=A4, 教師の発語=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, 教師の発語=D1, 皮膚コンダクタンス=B4	⇒ 内省報告=E6	0.024	1.000	2.289

図 6 シーン 1 における相関ルールの一部

3.6 関係の形式化

シーン 1 からは 12 個の相関ルールが抽出されたが, より一般的なルールを調べるためにシーン 2~6 に対しても同様の分析を行った.

分析の結果、シーン 1~6 までの相関ルールで共通して出現する頻度が多かったルールは内省報告 E1(Enjoy), E3(Pride), E5(Anxiety), E6(Shame)の 4 感情であった。それぞれの詳しいアイテム群は図 7 に示した通りである。

内省報告：E1 (Enjoy) に関する相関ルール	
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(Prize)に関する相関ルール	
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) に関する相関ルール	
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 (大きく上昇)・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) に関する相関ルール	
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 7 一般性の高いルール群

次に、得られたデータと実際の授業での出来事を分析者の観点より関連付けを行った。結果、学習者の心的状態と計測可能な生体情報及び教師の行動の関係性は以下のようなことが考察される。

- 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確認された。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。本分析の結果も、この教師が生徒を「冗談交じりに注意する」といった現象を抽出したものではないかと考えられる。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。したがって、NIRS の値と生徒の E1(Enjoy)の感情には大きな関係があるのではないかと考えられる。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確認されなかった。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感情について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。また、この感情は生徒にとって自覚して内省報告することが難しい感情の一つだと思われるので、より多くのサンプルを収集してデータ数を増やしていくことが重要だと考えられる。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現時点では困難であると考えられるが、今後データ数を増やしていくことによって推測可能な範囲にまでルールが増える可能性がある。

- 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。しかし、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。これは、E5(Anxiety)の感情が NIRS の値の低下と関連があり、また呼吸と皮膚コンダクタンスの値上昇しているときとも関連があると考えられる。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、全シーンにおいて値が様々であった。しかし、教師の発話 D3(指示・確認)のみ共通性が抽出された。これは教師の指示確認動作が生徒にとって恥ずかしさを導出させるものであったとも考えられる。Pride と同様に個別性の高いルールと考えられるため、この感情を推測することは現時点では困難であると考えられるが、同様に今後データ数を増やすことによって推測可能になる可能性があるということが考えられる。

4. 生理データの時間遅れに関する考察

分析の結果、E1(Enjoy), E3(Pride), E5(Anxiety), E6(Shame)の 4 感情についてのルールが抽出された。しかし、本分析には生理データの時間遅れに関する問題点が指摘された。そこで、生理データの時間遅れを検討したカテゴリカルデータセットを構築し再分析を行った。

4.1 現状の分析方法の問題点

今回行った分析では教師と学習者のインタラクションの”一瞬”に着目して分析を行った。つまり、教師と学習者間とのインタラクションにおいて時間的な変化を一切考慮していないで分析を行った。しかし、生理データは感情と同一時刻に変化するわけではなく、刺激を受けた後に数秒の時間のずれが発生するとされている。したがって、より精度の高い分析を行うために生理データの時間遅れに関する知見を考慮したデータによる分析を再度行う必要がある。

4.2 NIRS データの時間遅れの修正

本研究では、特に NIRS データの時間遅れを修正したデータを作成し、それに対する再分析を行うことにした。脳血流の数値は刺激が与えられた後極大値を取るまでに 5~8 秒の時間的な遅延があるということが

知られている[8]。そこで、本研究における NIRS の波形データをもとに、どの程度の遅れが生じているのかの調査を行った。

方法としては、今回分析に使用したシーンのうち、まず教師の行動(刺激)と学習者の内省報告との時間的な差異を調査したのちに(図 8)、波形と内省報告を時系列で整序してどの程度遅れているのかを内省報告の変化したタイミングと波形の上昇・下降の時間的な差を調べることで確認した。教師のインタラクションは一連の授業の流れの中で断続的に行われているものであり、どの行為が直接影響を与えているのかを断定することは困難である。そこで、今回の分析では生徒に影響を与えていると思われる行動を分析者の観点で抽出し、本分析内における「刺激」とした。波形データを分析した結果、波形が明確に変動したと判断できるシーンはシーン 2, 3, 6 であった。

A	B	C	D	E	F				
25	E	5	Anxiety	58:17.1598999999999	14	A	1	説明	58:12.0
26	E	5	Anxiety	58:18.1603900000001	15	C	3	指示・確認	58:13.0
27	E	5	Anxiety	58:19.160453	16	C	3	指示・確認	58:14.9
28	E	5	Anxiety	58:20.1998999999999	17	C	3	指示・確認	58:15.9
29	F	6	Shame	58:20.8008750000001	18	D	4	復唱	58:21.5
30	E	5	Anxiety	58:21.6398999999999	19	G	7	注意	58:27.0
31	E	5	Anxiety	58:22.6798999999999	20	G	7	注意	58:28.0
32	E	5	Anxiety	58:23.6800450000001	21	G	7	注意	58:29.5
33	E	5	Anxiety	58:24.7202259999999	22	G	7	注意	58:33.0
34	E	5	Anxiety	58:25.7200899999999	23	G	7	注意	58:34.1
35	E	5	Anxiety	58:26.7600000000002	24	H	8	雑談	58:37.7
36	E	5	Anxiety	58:27.7617230000001	25	H	8	雑談	58:38.7
37	E	5	Anxiety	58:28.7600000000002	26	H	8	雑談	58:40.4
38	E	5	Anxiety	58:29.800829	27	H	8	雑談	58:41.4
39	E	5	Anxiety	58:30.8000000000002	28	H	8	雑談	58:42.4

図 8 内省報告と発話データの時間的一致例

シーン 2 では Enjoy の感情に関して明確に NIRS が上昇している箇所を確認することができた。被験者が Enjoy を報告している約 7 秒後に NIRS が極大値を取っていることが確認できた。図 9 の赤線(上)が内省報告の変化したタイミングで、赤線(下)が波形の極大値を取っていたタイミングである。このタイミングでの映像中の教師の教授行為を参照してみると、学習者が問題を解き終わった後に説明・解説をするという行為を行っており、学習者の内省報告の変化のタイミングとほぼ一致していた。そのため、刺激(教師の説明・確認行為)と生徒の内省報告の変化は同時刻であると考えられ、刺激から約 7 秒後に NIRS が極大値を取っているという解釈をする事が出来る。

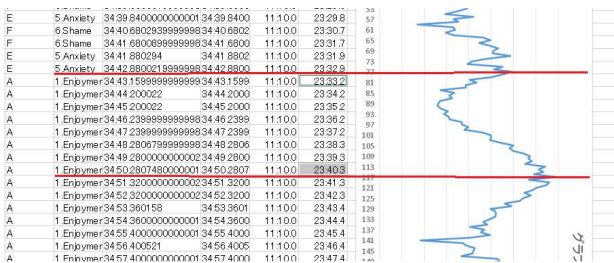


図 9 シーン 2 における波形および内省報告データ

シーン 3 ではシーン 2 と同様に Enjoy についての NIRS の変化を確認することができた。このシーンでは被験者が Pride だった内省報告を Enjoy に変化させた後約 6 秒後に NIRS の数値が極大値を取っていることが確認できた。図 10 の赤線(上)が内省報告の変化し

たタイミングで、赤線(下)が波形の極大値を取っていたタイミングである。このタイミングでの映像中の教師の教授行為を参照してみると、生徒が問題を解き終えたときに教師が褒めて、その後内容の確認を行うといった行為が確認できた。特に、「確認」動作のタイミングが生徒の心的状態の変化と対応しており、生徒が問題を自信をもって解けており、それが教師の確認と合っていたため Enjoy という感情につながったと思われる。そこで、刺激(教師の確認)が生徒の心的状態の変化と同時刻であると考えられ、刺激から約 6 秒後に NIRS が極大値を取っていると解釈することが可能である。

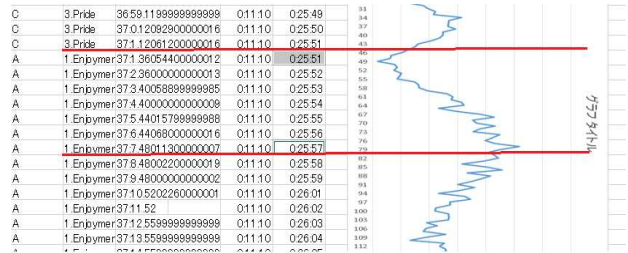


図 10 シーン 3 における波形および内省報告データ

シーン 6 では Shame の感情に関する NIRS の変化を確認することができた。今回得られたデータでは Shame が報告された約 7 秒後に NIRS の数値が極小値を取っていることが確認できた。図 11 の赤線(上)が内省報告の変化したタイミングで、赤線(下)が波形の極小値を取っていたタイミングである。このタイミングでの映像中の教師の教授行為を参照してみると、教師が生徒の答えを聞き返しているといった行為を行っており、学習者の内省報告の変化のタイミングとほぼ一致していた。そのため、刺激(教師聞き返すという行為)と生徒の内省報告の変化は同時刻であると考えられ、刺激から約 7 秒後に NIRS が極小値を取っているという解釈をすることが可能である。

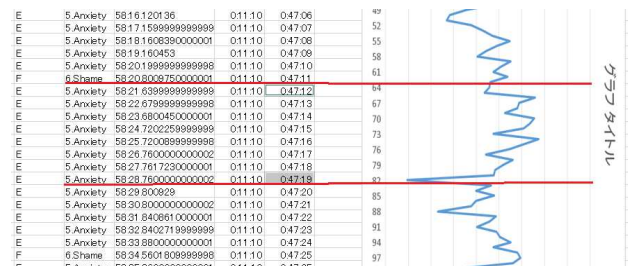


図 11 シーン 6 における波形および内省報告データ

この 3 シーン以外のデータでは内省報告がめまぐるしく変動している場合や、NIRS の波形の変化がとらえにくい取った点から時間遅れについての情報を得る事が出来なかった。以上の 3 シーンから、今回の実験で得られたデータにおける NIRS の時間遅れは約 7 秒であると仮定してデータの調整を施して再分析を行った。

4.3 修正したデータの再分析

NIRS データを修正したカテゴリカルデータセットを再度同様の相関ルール抽出により分析を行った。

シーン1のNIRSを7秒ずらして再度カテゴリカルデータセットを作り直した。NIRSの時間を7秒早めるが、その空白のデータはあまりに大きく補完することができないためその空白になった7秒のレコードは破棄した。他の種類のデータも同様にNIRSの空白になった部分のデータは統合的な分析が行えないため一部削除した。結果、2267レコードであったのが2164レコードとなった。NIRSの時間補正を施したデータセットに対して相関ルール抽出を行った結果、各内省報告に対して以下のような結果が得られた。

- 内省報告 E3(Pride) … 修正前のデータと比較してNIRSの値がA1~A2と上昇したが、皮膚コンダクタンスや発汗に関しては大きな変化は確認されなかった。
- 内省報告 E5(Anxiety) … NIRSデータを修正したことにより相関ルールによって抽出されるルール数が増加した。また、NIRSには変化がないものの呼吸においてC1(大きく上昇)からC4(下降)といった変化が確認された。
- 内省報告 E6(Shame) … 修正後のルール内でのNIRSの値はA4(やや低い)に加えてA2(やや高い)が出現していた。また、皮膚コンダクタンスはB4(下降)からB1(大きく上昇)へと変化しており、呼吸はC1(大きく上昇)からC4(下降)へ変化していた。

分析の結果、修正前と違い内省報告 E1(Enjoy) についての相関ルールが抽出されなかった。また、全体を通して、NIRSの時間遅れを修正してしまったことによって、抽出されるアイテムの組み合わせの変動が大きくなってしまった。

シーン2~6も同様にNIRSデータの修正を行った後に相関ルール分析を行った。結果の細部は省略するが、どのシーンにおいても共通して得られた相関ルールのアイテムの組み合わせやサポート値等に何らかの変化が確認された。今回の分析についての相関ルールに対する考察を次節で述べる。

5. 考察

NIRSデータの時間遅れを考慮し、再分析を行った結果、内省報告 E1(Enjoy)、内省報告 E2(Hope)、内省報告 E3(Pride)、内省報告 E5(Anxiety)、内省報告 E6(Shame)の4つの感情に関する分析結果が得られた。

- 内省報告 E1(Enjoy) … この感情は6シーン中4シーンと高頻度で出現しているルールである。NIRSの値は修正前であればA2~A3など比較的高い値であったが、修正後はA1、A2、A4、A5とばらつきが大きい。これは同じE1(Enjoy)でも複数の種類の感情があったため極端に高い方と低い方に二極化したものと考えられる。教師の発話に関しては多くがD1(説明)をしていることから、様々な行動のうち「説明」という行動はこの感情に非常に関係が深いと考えられる。生徒は教師の説明を受け様々な情報を取得している過程でNIRSの値が上下し、それがEnjoyという感情につながったものと考えられる。皮膚コンダクタンス(発汗)に関しては3つのシーンで

B2(やや高い)以上、1つのシーンでB5(低い)という結果が出ている。修正前の結果では表れなかったB5(低い)が抽出されており、また呼吸はC2、C3、C5と変動があった。これは他の生理データの時間遅れはまだ修正されていないため、その影響で現れたものではないかと推測される。

- 内省報告 E2(Hope) … この感情は6シーン中1シーンでのみ確認することができた。NIRSはA3(中)であり、皮膚コンダクタンス(発汗)はB5(大きく下降)、呼吸はC3(変化なし)で教師の発話はD3(指示・確認)であった。しかし、得られたルールのサポート値は非常に低く、また全体的に出現頻度が低いルールであった為この感情を推定することは現状では困難であると考えられる。
- 内省報告 E3(Pride) … この感情は6シーン中2シーンで確認された。NIRSの値はA1~A5と幅広く変動しており、皮膚コンダクタンスと呼吸に関しても同様の差があった。よって、生体データからこの感情を推測することは現時点では困難であると考えられる。
- 内省報告 E5(Anxiety) … この感情は6シーン中5シーンと非常に高い確率で出現している感情である。NIRSの値は3シーンでA4~A5(低い)、2シーンでA1~A2(高い)と二極化した。皮膚コンダクタンスと呼吸に関しては両方とも共通してB1~B2(高い)、C3~C4(やや低い)が抽出された。教師の発話に関してはどちらとも共通してD3(指示確認)が抽出され、1つのシーンのみD5(感情受容)が抽出されている。この感情においてもNIRSの値が二極化していることから、複数の種類の感情に分ける事が出来るものと考えられる。
- 内省報告 E6(Shame) … この感情も6シーン中5シーンで確認されている。NIRSの値は全体的にA1~A2が多いが、皮膚コンダクタンスと呼吸に関してはばらつきが多かった。教師の発話に関してはD2(発問)、D3(指示確認)、D7(注意)が抽出された。NIRS以外のデータにばらつきが多く、このままこの感情を推定することは難しいが、今後他の種類のデータの修正を行い、より精緻な相関ルールが導き出せればこの感情の推定は大いに期待できるものと考えられる。

今回NIRSデータの時間遅れを考慮して分析を行った結果、非常に高い頻度で抽出された感情はE1(Enjoy)、E5(Anxiety)、E6(Shame)であった。分析結果からは時間遅れを考慮したことに関する優位性に関する一般性の高い考察は困難であるが、時間遅れを考慮する前の結果としてより実現に近いルールを抽出しているものと期待される。E1(Enjoy)とE5(Anxiety)に関しては分析結果の値が二極化したため、この現象が生じた原因に関しては検討を行う必要がある。また、今回は対象としなかった皮膚コンダクタンスと呼吸に関する時間遅れの修正を入れることによって、今回不鮮明であった学習者の心的状態と生理データとの関係性など、より詳細な相関ルールが抽出されることが期待される。E6(Shame)に関しては共

通して得られた相関ルールの数が多いため、皮膚コンダクタンスと呼吸の時間遅れを考慮して、より多くの共通した傾向を抽出することができれば心的状態の推定の可能性が向上することが期待される。

6. まとめ

著者の先行研究[9]では時間的な遅れを考慮しないままの分析を行い、いくつかの実現象との関連したルールを抽出することができた。しかし、同時に生理データ計算における「時間遅れ」を考慮する必要があった。そこで、今回は NIRS のデータについての時間遅れに関する修正を行い、再分析を行った。生理データには何らかの時間遅れは存在していることはわかっており、今回の分析の結果、時間遅れを考慮する前の結果とは異なる結果が得られた。したがって、生理データの時間遅れが結果に対して何らかの影響を与えているということは明確であり、この時間遅れを調査するということに対する意義と有効性が示唆された。今回取り扱わなかったが、同様に皮膚コンダクタンスや呼吸データに関してもなにかしらの時間差が存在していると考えられる。修正後の相関ルールのアイテム群にばらつきがあったのはこれらの生理データの修正が行われなかった影響であると考えられる。もし、皮膚コンダクタンスや呼吸データの「時間遅れ」を修正し分析することが出来れば、より正確なカテゴリカルデータセットを構築することができる。そこで、今後相関ルールのさらなる精度の向上のためには、今回取り扱った NIRS 以外の生理データの時間のずれを調査し、修正する必要があると考えられる。

7. 今後の課題と展望

今後の課題として、上節の生理データの時間遅れについて調査、検討していくことが重要であるが、被験者数を増やすことや、複数人数などの別の学習環境での実験を行うなどの課題も残っている。

今回行った実験では個別指導塾という環境下で学習者と教師が 1 対 1 で授業を取り組んでいた。被験者も 2 名で、分析に使用できたデータは 1 名のデータのみである。相関ルールの一般化に向けて、今後被験者を増やし、それらの共通したルールを見つけることが非常に重要だと考えられる。

また、一般的な学習環境はこのような教師と学習者の 1 対 1 という環境ではないことが多い。そこで、より広い空間や、多人数の教室といった環境下での実験を行い、その結果が本実験の結果とどれほどの差があるのか調査するという事も求められる。

なお、今回の分析では教師側の教授行動の意図や感情などの情報を扱っていなかった。教師の教授戦略や意図等の情報や、教師の心的状態などの情報を取得・整理し、カテゴリカルデータセットの行に加える事が出来れば、より多くのアイテムの組み合わせから有意な相関ルールを導き出せることが期待できる。後日、教師から話を伺ったところ、短い授業時間の中でも様々な教授方略を用いており、その中で教師の感情の

変化や教授行動の変容などが確認された。今後、このような「教師の視点からのデータ」についてもより深く分析をし、学習者の心的状態との関係性の形式化を行う予定である。

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) 中山実, 清水康敬: “生体情報による学習活動の評価”, 日本教育工学会論文誌, Vol. 24, No.1, (2000)
- (2) Pekrun, R., Goetz, Frenzel, A. C., Barchfeld, P. et al. : “Measuring Emotions in Students’ Learning and Performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ)”, Contemporary Educational Psychology, Vol. 36, No. 1, pp. 36–48 (2011)
- (3) 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)
- (4) 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)
- (5) 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)
- (6) 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)
- (7) Michael, H., Bettina, G., Kurt, H., et al.: “Introduction to arules - A computational environment for mining association rules and frequent item sets”, Journal of Statistical Software, Vol. 14, Issue. 15, (2010)
- (8) David A Benaron: “Noninvasive Functional Imaging of Human Brain Using Light”, Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism, Vol. 20, No. 3, (2000)
- (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)