

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540165

研究課題名(和文) アンビエント学習支援システム構築を指向した基盤要素抽出のための多元的基礎研究

研究課題名(英文) A Comprehensive Fundamental Study of Basic Factor Extraction for the Construction of an Ambient Learning-Assisting System

研究代表者

松居 辰則 (Matsui, Tatsunori)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：20247232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「知識獲得による学習成果と学習に対する満足度」を統合的に捉える枠組みを Amenity of Learning (AOL) と定義し、学習者に AOL を与え得る(アンビエント)学習支援システムを構築するための基盤研究を行った。主たる成果は以下の通りである。(1) 生体情報を用いてコンピュータに学習者の心的状態を認識させる手法の開発。(2) 教師と学習者のインタラクション・トリガを抽出し AOL を与えるための時間構造の整理。(3) 成果の一部の「学習時の生体情報と心的状態の関係オントロジー」として体系化・一般化・システム化に向けては更なる研究の継続が必要であるが、本研究の目的は概ね実現することができた。

研究成果の概要(英文)：This study is a fundamental study which aims to construct a (ambient) learning-assisting system that can provide learners with Amenity of Learning (AOL). We define AOL as a framework for the comprehensive understanding of "learners' learning outcomes derived from knowledge acquisition and learners' satisfaction of learning". Our main achievements are the following: 1) Development a computer system which can recognize learners' mental states using learners' physiological information; 2) Organization into a unified temporal structure the procedures of extracting teachers' and learners' interaction triggers and the procedures of providing AOL; 3) Systemization part of our study results into an ontology which depicts the relationships between learners' physiological information and mental states in learning. Although more explorations are needed for further systemizing and generalizing the study results introduced above, we think that we have generally achieved the objective of our study.

研究分野：知能情報学，感性情報学，特に人間の深い知識（暗黙知，感性）への情報学的アプローチ，学習・教育への応用

キーワード：学習に対する満足度 知識獲得 Amenity of Learning 教師と学習者のインタラクション 教授戦略
オントロジー 学習者の心的状態の推定 生体情報

1. 研究開始当初の背景

ICTを用いた学習支援システム、特に、知的学習支援システム（ITS：Intelligent Tutoring System）の分野では、学習者の知識構造の状態や変化を推定し、積極的な学習支援を行うことを目指して様々な研究開発が行われてきている[1]。さらに、学習者の心的状態をコンピュータに推定させ（Affective Computing）、知識獲得支援のみならず学習者の心理的側面の支援（モチベーションの維持や困惑状態からの解消のためのメッセージの自動生成など）を学習支援システムに実現するための研究開発も行われている[2,3]。申請者もIMS（Intelligent Mentoring System）を学習支援システム、特にITSの新しい枠組みとして提案し、具体的な学習支援システムを構築するための研究開発を行っている[4]。その成果として、視線計測装置、NIRS脳計測装置等の非侵襲的な計測装置のみならず、マウスやキーボード、Webカメラ等のコンピュータに標準装備されている装置で取得可能な情報からでも学習者の心的状態が推定可能であるとの知見を得ている[5,6]。しかしながら、IMSも含め従来の学習支援システムの最終的な支援目標は「知識獲得」に集約されているのが現状である。一方、教育的な観点からは、学習に対する満足度の向上が自律的な学習の維持にとって重要であり、ひいては真の学習成果につながるということも広く共有されているところである。つまり、学習支援システムにおいても、真に自律的な学習を支援するためには、知識獲得支援と満足度（を感じることの）支援の双方が調和的に提供されることが必要である。そこで、本研究では、知識獲得による学習成果と学習に対する満足度を統合的に捉える枠組みをAmenity of Learning（AOL）と定義し、学習支援システムのIntelligent化の新しい枠組みを提案する。そのために、「AOLを与え得る学習支援システム」（アンビエント学習支援システム）を中心課題とし、この実現のために必要な基礎研究を多元的に行う。

2. 研究の目的

本研究の目的はアンビエント学習支援システムを構築するためのコンピュータと人間のインタラクションに関する基盤要素を抽出し、それらの計量手法との関係を体系化することにある。すなわち、本研究では「知識獲得による学習成果と学習に対する満足度」を統合的に捉える枠組みをAmenity of Learning（AOL）と定義し、学習者にAOLを与え得る学習支援システム（アンビエント学習支援システム）を構築するための基盤要素とその計量手法との関係構造をオントロジーによって体系化を行う。具体的には、教師と学習者の実環境におけるインタラクションから「学習者にAOLを与え得る情報」を抽出し、「教師の振る舞いや発話、学習者

の心的状態、心的状態推定のための計測情報、インタラクションの内容、インタラクション・トリガの時間構造」の関係構造をオントロジーによって記述し、その妥当性の評価を実験的に行う。

3. 研究の方法

本研究では研究期間全体を「実験フェーズ」（25年度）、「モデル化フェーズ」（26年度）、「体系化フェーズ」（27年度）に分けて段階的に推進する。「実験フェーズ」では実学習環境の記録から、質的アプローチによる手法でAOLのための教師と学習者のインタラクション・パターンの抽出・整理を行う。「モデル化フェーズ」では実験フェーズで得られた情報から、教師の振る舞いをコンピュータで疑似的に実現する手法、およびコンピュータで学習者の心的状態を推定するための手法を開発する。「体系化フェーズ」ではAOLを実現するための基盤要素（教師の振る舞いや発話、学習者の心的状態、心的状態推定のための計測情報、インタラクションの内容、インタラクション・トリガの時間構造）の関係構造をオントロジーによって体系化を行う。最終ゴールとしてオントロジーの妥当性評価を実施し「アンビエント学習支援システム」の設計基盤として提供する。

4. 研究成果

（1）各年度の研究成果の概要

【平成25年度の研究成果】平成25年度は「実験フェーズ」として位置づけ、実学習環境の記録から、質的アプローチによる手法でAOLのための教師と学習者のインタラクション・パターンの抽出・整理を行った。具体的には以下の通りである。（熟達した）教師による授業（学習者1名、60分）を2回実施し、教師と学習者の教授学習に関するインタラクションの記録（映像、音声）を記録した。学習者には、生体情報（脳血流、脳波、心拍、発汗）の計測機器を装着し、学習時の生体情報を取得した。（熟達した）教師に「学習者の満足度を向上させる」ための教授戦術（発話や振る舞い）、および、教授戦略（発話や振る舞いを行うための根拠（学習者の状態や発話など）とタイミング）をインタビュー調査によって収集した。併せて、学習者から「教師のどのような発話や振る舞いから満足感を感じたか、あるいは満足度が向上したか」、また「その時の心的状態について」の情報をインタビュー調査、質問紙調査によって収集した。内省報告支援のためのアプリケーションの開発を行った。

【平成26年度の研究成果】平成26年度は、平成25年度に実施した実験に結果に基づき、教師の振る舞いをコンピュータで疑似的に実現する手法、およびコンピュータで学習者の心的状態を推定するための手法の開発を行った。具体的には主に以下の2点において成果を得た。コンピュータに学習者の心的

状態を認識させる手法の開発を行った。視線計測装置、NIRS 脳計測装置、発汗測定装置、座圧測定装置から得られる情報と、学習者による満足度等の心的状態に関する内省・内観報告とのマッチングによって心的状態の検出パターンを抽出した。教師と学習者のインタラクション・トリガを抽出し、AOL を与えるための時間構造の整理を試みた。具体的には、上記の学習に関する多面的なデータをカテゴリカルデータとして統合し、相関ルール抽出の手法を用いて、学習者の心的状態と教師の発話行為（行動と内容）との関係を導いた。特に、学習時の満足度が高まっている状態と、逆に不安感（shame）を抱いているよう状態に関しては不偏性の高い関係を導くことができた。

【平成 27 年度の研究成果】平成 27 年度は、平成 25 年度、平成 26 年度の研究成果の一部を「学習時の生体情報と心的状態の関係オントロジー」として体系化を試みた。一般化・システム化に向けてはさらなる研究の継続が必要であるが、本研究の目的は概ね実現することができた。

（2）具体的な研究成果 1【学習時の多様な情報の統合分析による関連性抽出に関する実験的検討】

本研究では、データマイニングの手法であるアソシエーション分析によって教師の発話および学習者の生体情報と学習者の心的状態に関する情報から相関ルールの抽出を行っている。分析に用いられたデータは、教師の発話、学習者の生理情報（脳血流、脳波、呼吸、発汗、脈波）、学習者の心的状態に関するものである。これらのデータは教師 1 名と学習者 1 名の個別学習中に取得され、学習者としての実験参加者は中学生 2 名であった。ただし、脳血流計測のための多チャンネル NIRS（近赤外線分光法）装置と脳波計測装置は同時に装着できないため、それぞれ 1 名ずつについて計測された。計測実験においては、学習者には通常通りの授業を受けてもらうように教示し、授業の様子は 3 か所から 3 台のビデオカメラで撮影された。教師の発話に関しては、撮影されたビデオ映像を基に実験者が 9 つのカテゴリ（D1：説明，D2：発問，D3：指示確認，D4：復唱，D5：感情受容，D6：応答，D7：注意，D8：雑談，9：その他）に分類した。また、学習者の心的状態については、後日に学習者が授業のビデオ映像を見ながら学習時の感情を 9 つのカテゴリ（E1:Enjoy，E2:Hope，E3:Pride，E4:Anger，E5:Anxiety，E6:Shame，E7:Hopelessness，E8:Boredom，E9:Other）から当てはまるもの回答した。ビデオ映像の再生と同時にボタンを押すことで回答が行われたため、授業を通して時系列のデータが取得されている。

分析の対象は、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一部であった。実験で得られたデー

タは形式や粒度が異なるため、あらかじめ定性的なカテゴリカルデータに変換された。脳血流は 5 つのカテゴリ（A1：高い，A2：やや高い，A3：中，A4：やや低い，A5：低い）、発汗および呼吸も同様の 5 つのカテゴリ（それぞれ B1～B5，C1～C5）である。また、それぞれの生体情報はサンプリングレートの違いによってデータ総数が異なるため、低いサンプリングレートについては次の計測点までを同値とすることで補完を行った上でカテゴリカルデータに変換された。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、12 個のルールが抽出された（表 1）。ルール 1 は右辺部に「心的状態 = E1（Enjoy）」を含む相関ルールを抽出した結果である。同様に、ルール 2 から 4 は右辺部に「心的状態 = E3（Pride）」、ルール 5 は右辺部に「心的状態 = E5（Anxiety）」、ルール 6 から 12 は右辺部に「心的状態 = E6（Shame）」を含む相関ルールを抽出した結果である。ルール 1 については、教師の発話は「注意」に分類されるものの冗談を交えたものであり生徒の笑いを誘発させたために結果として、脳血流および呼吸が上昇し「Enjoy」という感情が喚起されたと考えられる。ルール 2 から 4 については、教師の「指示確認」によって学習者が課された課題を達成した状態を認識した結果として「Pride」という感情が喚起されたものと考えられる。ルール 5 については、脳血流が下降することと「Anxiety」の感情の直接的な関係が示唆されるが、測定部位が限定されているため追加の検証が必要である。ルール 6 から 12 については、教師が発言した内容が生徒の応答を要するものであり、それに対して学習者が満足な応答ができなかったために「Shame」の感情が喚起されたものと考えられる。

今回の実験から、NIRS や呼吸数など 1 種類のデータからでは困難な学習者の心理状態の推測も、複数のデータを統合的に観測することによって共通した傾向の導出の可能性が示唆された。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相関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、本研究の成果（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）の一般化に向けては、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。さらに、脳機能計測の観点からは、刺激に対する脳の関連部位の賦活と計測機器の測定のタイミング(誤差)に関する時間的補正も検討する必要がある。

表1 抽出された相関ルール (一部のシーン)

	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

(3) 具体的な研究成果 2【学習者の心的状態と生体情報に関する概念記述の試み】

本研究では、(2) 具体的な研究成果 1【学習時の多様な情報の統合分析による関連性抽出に関する実験的検討】での相関ルールの抽出によって得られた知見について、学習者の心的状態と生体情報の関係を記述するためのオントロジー記述を試みた(図1)。構築に際しては、オントロジー構築環境の一つである法造(<http://www.hozo.jp/>)を用い、統計モデルなどの数理的な表現についての概念[9]を参照した。数式を用いたデータと関係に関する表現は「mathematical model」(数理モデル)として定義され、「mathematical expression (数式表現)」と「quality data representation (性質データ表現)」から構成される。これらはすべて YAMATO における複合表現の下位階層に位置付けられる。YAMATO の複合表現では component ロールが定義されており、このスロットによって複数の表現を部分とした複合(composite)の表現が定義されている。「数理モデル」は component スロットを継承した「model formula」スロットと「quality data」スロットによって定義され、それぞれのスロットのクラス制約は「数式表現」と「性質データ表現」である。数理モデルのコンテキストにおいて、性質データ表現の内容を担うデータが「モデル化された属性値」として扱われることが明示されている。次に、数式表現は component スロットを継承した複数の「変数」スロットと「定数」スロットによって定義され、それぞれのクラス制約は「表現」と「数」である。また、変数スロットのサブスロットには「数」をクラス制約とする「係数」サブスロットが定義されている。データマイニングの手法によって得られた知見はある種のモデルに基づいて表現されていると考えることができるため、「mathematical expression」の下位概念として「data mining model」が定義され、さらにその下位に相関ルール抽出を行う「association analysis」が定義される。「association analysis」を構成する「model formula」スロットのサブスロットとして前件部と後件部を示す「antecedent/left-hand-side (LHS)」と「consequent right-hand-side (RHS)」がロールホルダーとして定義されている。さらに、それらは「quality data」を構成する「transaction set X」と「transaction set Y」というロールホルダーを参照している。このような概念化を行った場合には、「quality data」は「transaction set X」と「transaction set Y」というアイテムを含むトランザクションに相当するデータ表現を部分としてもつことになるため、前件部のトランザクションが後件部と重複して「quality data」に存在することになる。相関ルールの前件部および後件部がそれぞれ何を示すかということを示すことが目的であれば、このような概念化で問題ない。しかし、実際にデータベースに存在するトランザクションを正しく表現することができないため今後の検討が必要である。

タ表現)」から構成される。これらはすべて YAMATO における複合表現の下位階層に位置付けられる。YAMATO の複合表現では component ロールが定義されており、このスロットによって複数の表現を部分とした複合(composite)の表現が定義されている。「数理モデル」は component スロットを継承した「model formula」スロットと「quality data」スロットによって定義され、それぞれのスロットのクラス制約は「数式表現」と「性質データ表現」である。数理モデルのコンテキストにおいて、性質データ表現の内容を担うデータが「モデル化された属性値」として扱われることが明示されている。次に、数式表現は component スロットを継承した複数の「変数」スロットと「定数」スロットによって定義され、それぞれのクラス制約は「表現」と「数」である。また、変数スロットのサブスロットには「数」をクラス制約とする「係数」サブスロットが定義されている。データマイニングの手法によって得られた知見はある種のモデルに基づいて表現されていると考えることができるため、「mathematical expression」の下位概念として「data mining model」が定義され、さらにその下位に相関ルール抽出を行う「association analysis」が定義される。「association analysis」を構成する「model formula」スロットのサブスロットとして前件部と後件部を示す「antecedent/left-hand-side (LHS)」と「consequent right-hand-side (RHS)」がロールホルダーとして定義されている。さらに、それらは「quality data」を構成する「transaction set X」と「transaction set Y」というロールホルダーを参照している。このような概念化を行った場合には、「quality data」は「transaction set X」と「transaction set Y」というアイテムを含むトランザクションに相当するデータ表現を部分としてもつことになるため、前件部のトランザクションが後件部と重複して「quality data」に存在することになる。相関ルールの前件部および後件部がそれぞれ何を示すかということを示すことが目的であれば、このような概念化で問題ない。しかし、実際にデータベースに存在するトランザクションを正しく表現することができないため今後の検討が必要である。

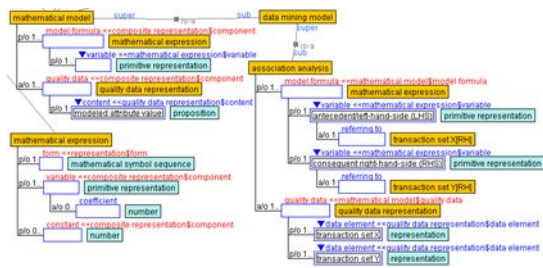


図1 相関ルールによるデータの表現に関するオントロジー記述

<引用文献>

- [1] 人工知能と教育工学 知識創産指向の新しい教育システム(岡本敏雄, 香山瑞恵編), オーム社(2008)
- [2] 中村和晃他; e-learning 環境における学習者の観測に基づく主観的難易度の推定, 画像の認識・理解シンポジウム 2007 (2007)
- [3] Ivon Arroyo, et al.; Emotion Sensors Go To School., AIED, Vol.20010S Press2009, pp.17-24 (2009)
- [4] Yuki HORIGUCHI, Kazuaki KOJIMA, Tatsunori MATSUI: A Study for Exploration of Relationships between Behaviors and Mental States of Learners for an Automatic Estimation System, In Proceedings of 17th International Conference on Computers in Education, pp.173-176 (2009)
- [5] 松居辰則, 小島一晃, 村松慶一: 知的メンタリングシステム構築に向けた学習者の行動情報と心的状態の関係に関する実験的検討, 第 64 回先進的学習科学と工学研究会, pp.1-6 (2012)
- [6] 小島一晃, 村松慶一, 松居辰則: 視線を用いた多肢選択問題の回答プロセスと確信度の分析手法の実験的考察, 第 26 回人工知能学会, 1F2-0S-11-4 (2012)
- [7] 小島一晃, 村松慶一, 松居辰則: 多肢選択問題の回答における視線の選択肢走査の実験的記述, 教育システム情報学会誌, 32(2), pp.197-202 (2014)
- [8] 竹花和真, 田和辻可昌, 村松慶一, 松居辰則: 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, 第 74 回 先進的学習科学と工学研究会, B501-7, pp.34-39 (2015)
- [9] Keiichi Muramatsu, Eiichirou Tanaka, Keiichi Watanuki, Tatsunori Matsui: Framework to describe constructs of academic emotions using ontological descriptions of statistical models, Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 11(5), pp.1-18 (2016)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

村松慶一, 田原紫, 松居辰則: 通様相性に基づいた五感の心理的属性に関するオントロジー記述, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol.14, No.1, pp.163-172 (2015)

村松慶一, 戸川達男, 小島一晃, 松居辰則: 色彩感情に係る心理的属性のオントロジー, 人工知能学会論文誌, 査読有, Vol.30, No.1, pp.47-60 (2015)

小島一晃, 村松慶一, 松居辰則: 多肢選択問題の回答における視線の選択肢走査の実験的検討, 教育システム情報学会誌, 査読有, Vol.31, No.2, pp.197-202 (2014)

Keiichi MURAMATSU, Tatsuo TOGAWA, Kazuaki KOJIMA, Tatsunori MATSUI: Structural Equation Modeling for

Relationships between Color Attributes and Dimensions of Emotional State, International Journal of Affective Engineering, 査読有, Vol.12, No.2, pp.251-257 (2013)

[学会発表](計45件)

竹花和真, 田和辻可昌, 村松慶一, 松居辰則: 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, 第 74 回先進的学習科学と工学研究会, B501-7, pp.34-39, 2015.7.18, 信州大学工学部(長野県・長野市).

松居辰則, 竹花和真: 学習時の多様な情報の統合分析による関連性抽出に関する実験的検討, 第 29 回人工知能学会全国大会 2015 年 5 月 30 日, 1E5-0S-11b-2, 2015.5.30, 公立はこだて未来大学(北海道・函館市).

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, 第 73 回先進的学習科学と工学研究会, B403-13, pp.67-70, 2015.3.5, 湯の風 HAZU (愛知県・新城市).

Keiichi MURAMATSU, Tatsunori MATSUI: Ontological Descriptions of Statistical Models for Sharing Knowledge of Academic Emotions, In Proceedings of the 22th International Conference on Computers in Education (ICCE2014), pp. 42-49, 3 Dec. 2014, Nara(Japan).

Tatsunori MATSUI, Yuki HORIGUCHI, Kazuaki KOJIMA, Takako AKAKURA: A Study on Exploration of Relationships between Behaviors and Mental States of Learners for Value Co-creative Education and Learning Environment, In Proceedings of HCI International (HCII2014), LNCS Vol. 8522, pp.69-79, 27 June 2014, Crete(Greece).

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

早稲田大学人間科学学術院松居辰則研究室
<http://www-mtlab.human.waseda.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

松居 辰則 (MATSUI, Tatsunori)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号: 20247232