

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月10日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300294

研究課題名（和文） Low Level Interactionによる知的メンタリング機能の基盤開発

研究課題名（英文） Fundamental Research of Intelligent Mentoring Function for Intelligent Tutoring System based on Low Level Interaction

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

研究成果の概要（和文）：本研究では知的教育システムに学習者の Low Level Interaction に基づくメンタリング機能を付加するための基盤研究を行った。その結果、学習課題遂行時における学習者の行動情報（マウス操作履歴、Web カメラから得られる学習者の姿勢）から心的状態を推定する手法、および学習者の視線の動きから学習者の心的状態を推定する方法も開発した。さらに、学習者の行動情報と心的状態の一般的な関係をオントロジーで記述した。

研究成果の概要（英文）：In this study we carried out fundamental research for development the intelligent mentoring function for intelligent tutoring systems as additional function based on Low Level Interaction between learners and systems. As a result, some inference methods of learners' mental states from information on learners' behavior i. e., log data of mouse operations, postures investigated via Web camera and eye tracking tracing data. Additionally, ontological description on general relationship between some log data on learners' behavior and their mental states are proposed as a knowledge model for the intelligent mentoring system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2011年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2012年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：（分科）科学教育・教育学，（細目）教育学

キーワード：教授学習支援システム，知的メンタリングシステム，データマイニング

1. 研究開始当初の背景

CAI (Computer Assisted Instruction), ITS (Intelligent Tutoring System), e-learning など広義の学習支援システムにおいては、学習者が効率的に知識獲得することを目的として、学習者の理解状態の推定、適応化実現のための研究・開発・実践が国内外においても多くなされてきている。また、

学習者の知識獲得という観点からはより深い理解を促すことを目的として、誤りの可視化等、メタレベルでの学習支援を目的とした研究・開発も多くなされてきている。一方、学習者の心理的状态を推定する試みとしては、学習時における発汗状態や瞳孔面積の変化などの生理指標を用いて実験的には行われているものの、その結果を積極的に学習支

援に利用する試みは極めて少ない。これは、生理指標の利用は心理状態の推定には有効であるものの、学習者は特別な器具の装着が必要であるなど実学習環境という観点からは不適切であること、かつ従来の学習支援システムにおいてモデル推定に利用してきた情報（知識表現や正誤情報、回答時間などの履歴情報）（本研究では High-Level Interaction (HLI) リソースと呼ぶ）の粒度が粗く、学習者の心理状態を推定するには不十分であったことが原因であると考えられる。したがって、学習者が「自然な状態」で、つまり「特別な器具を装着しない」環境下で、心理状態を十分に推定し、従来の ITS 研究の成果（理解状態の推定）ともあわせて、高度な知的学習支援システムを実現することは極めて重要である。

そこで、本研究では、学習時のマウスの動き、顔や姿勢の動き、キーボード使用時の圧力など、より粒度の細かい情報（本研究では Low-Level Interaction (LLI) リソースと呼ぶ）を用いた知的メンタリングシステム（Intelligent Mentoring System, 以下 IMS と書く）実現のための技術的基盤を構築することを目的とする。具体的には広義の学習支援システム（e-learning を含む）において学習者の理解状態、心理状態の両側面を推定する機能を実装し、学習内容の理解や知識獲得の支援のみならず、学習を継続・促進するための励ましや注意喚起など（メンタリング）を実現するために必要なモデルと技術基盤を開発する（図 1）。



図 1. IMS の概念図

2. 研究の目的

本研究の目的は、Low-Level Interaction (LLI) を用いた知的メンタリングシステム（Intelligent Mentoring System）実現のための技術的基盤を構築することにある。具体的には広義の学習支援システム（e-learning を含む）において学習者の理解状態、心理状態の両側面を推定する機能を実装し、適切な自動メンタリングを実現するために必要なモデルと技術基盤を開発する。本研究の中心的課題は、(1) LLI からの心理状態を推定するためのモデルの構築、(2) 学習履歴と LLI との融合方式の開発、そして、(3) 適切かつ適応的なメンタリング情報の生成手法の

確立、の 3 点にある。また、本研究で開発するシステムにおいては「学習者は特別な器具を装着しない」ことを重要なコンセプトとしており、本研究の成果は「いつでも、どこでも、どのような環境でも実現可能」な高度な学習支援機能を具備した e-learning システムの研究開発に大きく寄与するものと考えられる。

3. 研究の方法

本研究の中心的課題は、(1) LLI からの心理状態を推定するためのモデルの構築、(2) 学習履歴と LLI との融合方式の開発、そして、(3) 適切かつ適応的なメンタリング情報の生成手法の確立、の 3 点にある。また、本研究で開発するシステムにおいては「学習者は特別な器具を装着しない」ことも重要なコンセプトである。これらを実現するために、(1) に関する研究を重点的に行う。具体的には、各種センサーを用いた実験により取得可能な LLI リソースの検討と心理状態の評価結果との比較・分析によりモデルの構築を行う。特に、「学習者は特別な器具を装着しない」という開発コンセプトを実現するための技術開発も行う。続いて、(2) (3) に関しては、教師、専門家（メンター）への調査、および ITS 研究、Educational Data Mining 研究（代表者の専門分野）の理論的、技術的成果を生かして実現する。

4. 研究成果

「2. 研究の目的」に記した (1) (2) についての成果について述べる。(3) については今後も継続して研究を行う予定である。

【学習者の行動情報（マウス操作、学習姿勢）からの心的状態の推定モデルの構築】 （指定モデル構築のための実験）

LLI リソースに基づく心理状態の推定モデルを構築するためには、特定の心理状態における学習者の LLI リソースの特徴を探る必要がある。そこで学習者の LLI リソースと心理状態を取得し、両者の間の関連性を抽出するための予備実験を実施した。

予備実験では、学習者に与える学習課題として、多肢選択式の英文読解問題への解答を設定した。この課題は本研究において開発した実験ツールにより提示され、後述する LLI リソースを取得した。さらに学習者には、問題解答の間と後に心理状態の報告を求めた。

LLI リソースは、マウスと顔の動きの信号をそれぞれサンプリングレート 30Hz と 5-7Hz

で取得した。マウスの LLI リソースとしては、カーソル座標とクリックの状態を、顔の LLI リソースはコンピュータに内蔵された web カメラから画像解析により顔の位置と傾きを取得した。画像解析にはオープンソースのコンピュータビジョンライブラリである OpenCV を用いた。ステレオカメラを用いていないため、奥行き成分の取得には、左右の目の間の距離を利用した。そして、学習者の心理状態の情報は、解答中の発話プロトコルと事後のヒアリングを組み合わせて取得した。

この実験は大きく 3 つのステップで構成された。まず学習者は実験ツールを用いて提示される問題に解答した (Step1)。このとき学習者は、考えた事を可能な限り声に出すように教示された。Step1 での学習者の行動は、Web カメラとは別のカメラによって記録された。解答終了後、Step1 の映像を学習者に提示し、その時に考えていたことの報告を求めた (Step2)。問題解答中に考えていたことを忘れてしまわないように、このヒアリングは各問題の解答の終了直後に行った。Step2 でヒアリングした内容を基に、解答時の心理状態の遷移をまとめたシートを、学習者の監修のもと、実験者が作成した (Step3)。以上の 3 つのステップを合わせて 1 試行と呼ぶ。学習者は一連の手続きを繰り返し練習し、十分に慣れた上で本課題に取り組んだ。学習者の時系列の心理状態情報は、Step3 で作成したシートから抽出した。

予備実験では 1 名の学習者を対象に、4 回の練習試行の後に 3 回の本試行を実施し、データを獲得した。学習者から報告された心理状態の情報からは「スラスラわかる」「答えの見当がたった」「単語の意味は分からないけど想像がつく」など、解答行動が順調に進展していると考えられる心理状態や、「単語がわからない」「答えがどっちか迷う」などの、解答行動に何らかの問題が発生していると考えられる心理状態が確認された。後者の心理状態にあると考えられる箇所のうち「何らかのヒントが欲しい」といった助言を求める旨の報告を含むものが、3 回の本試行から 14 箇所抽出された。これらの箇所では”行き詰まり”の状態に陥っていると捉えられる。これに基づいて、本研究では行き詰まりを”自力での問題解決が困難であると感じており、何らかの助言を求めている状態”と定義し、後述するモデルの推定対象とした。

以上の手続きによって得られたデータから、マウスの移動速度・顔の移動速度を算出し、各位置情報の情報などと併せてそれぞれの挙動の特徴を探る分析を行った。その結果、

マウスの軌跡や顔の動かし方に関するいくつかの特徴的なパターンが抽出された。

(推定モデルの構築)

予備実験の知見に基づき、各 LLI リソースの特徴的な変化から学習者の行き詰まりを推定するモデルを構築する。このモデルでは、LLI リソースから得られた信号を入力し、行き詰まりの有無を出力する。LLI リソースの取得から推定結果の出力のプロセスは全て独立してバックグラウンドで動作させることで、リアルタイムな推定を実現する。

予備実験に従い、1)マウスの移動速度、2)顔の前後移動、3)顔の傾きの特徴的な動きを検出するモデルを構築する。推定モデルにはこれらの 3 つの LLI リソース信号を入力するものとし、それぞれの信号は時間-周波数解析によって LLI リソースの特徴量を抽出する。時間-周波数解析には離散ウェーブレット変換による多重解像度解析 (MRA: Multi Resolution Analyze) を採用した。これらの特徴量から推定結果 (行き詰まりの有無) を出力する識別器には 3 階層フィードフォワード型のニューラルネットワーク (NN) を採用した。その概念図を図 1 に示す。推定モデルは、3 つの MRA ユニットと 4 つの NN により構成される。3 つの LLI 信号はそれぞれ MRA によって特徴量を抽出し、得られた特徴量から、それぞれ推定結果を NN によって出力する。この 3 つの NN の推定結果をさらにもうひとつの NN によって評価を行う構造とした。このように複数の LLI リソースの推定結果を総合的に評価することで、推定精度の安定性の向上が期待される。これらの推定は全て逐次的なバックグラウンド処理が可能である。MRA の為の信号のバッファリングによる遅延は発生するものの、リアルタイムな推定を実現している。

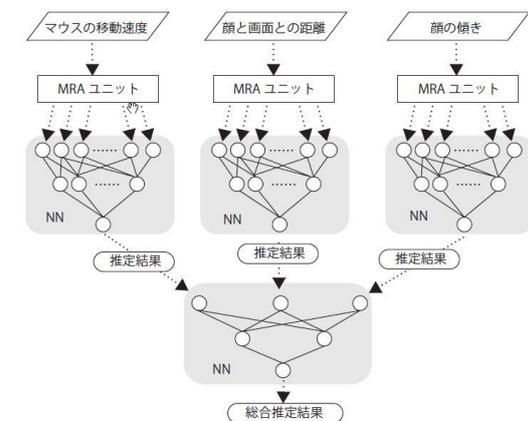


図 2. 行き詰まりの推定モデルの概念図

【学習者の生体情報 (視線情報) からの心的

状態の推定方法の開発】

人の心的状態を知る上で有効と考えられているデータのひとつに、視線がある。視線は、ある問題を解くといったような短時間の活動中に起こる心の変化を知る上で有望である一方、安定したデータの採集が困難であり、汎用性の高いデータの分析手法が確立していないという問題点がある。本研究では、視線データからの学習者の心的状態の自動分析を実現するために、より汎用性の高い基盤的理解を提供することを目的として、学習者の視線データの実験的記述を行った。実験で用いる課題には、汎用的なフォーマットであって特殊な構造を持たない多肢選択問題を採用した。また、心的状態は正答することに対する確信を対象とし、確信の高さによって回答時の視線に何らかの違いが現れるかを検討した。

本実験では、一般常識や雑学に関する四択問題 30 題を作成して使用した。各問題は図 3 に示すように、PC モニタの全画面に提示された。被験者は PC モニタの前に座り、答えであると思う選択肢をマウスでクリックすることで、各問題に回答した。各問題の回答の直後には、1) 問題の答えをどの程度知っていたか、2) 各選択肢がどの程度答えである、または答えでないかと思っていったかを評定するアンケートに回答した。このアンケート回答に基づき、被験者の問題回答に対する確信の高さを推定した。また、各問題に回答する間の被験者の視線は、視線計測装置を用いて PC モニタ上の座標値として取得された。この座標値に基づいて被験者が見ていた対象の推移を記述し、その特徴に確信が高い時と低い時とでどのような違いが現れるかを分析した。図 4 に、確信が高い時と低い時の視線推移データの例を示す。

本実験の分析の結果、確信による視線の特徴の違いは、問題文と全ての選択肢を初めて読み取るまでの「初期走査」のプロセスにおいて出現することが明らかになった。被験者の視線が停留した時間からは、確信の高さに関わらず答えとして選んだ選択肢を最も長く注視していたことが示されたが、これを初期走査期間に限ると、確信が高い時は答えの選択肢を注視していたものの、確信が低い時は特定の選択肢を注視する傾向にないことが判明した。また、図 4 に示すように、確信が高い時の初期走査の視線は選択肢 1 から 4 へと順に推移するが、確信が低い時は必ずしもこのような推移にならず、選択肢間を複雑に推移する傾向にあることが示された。つまり、確信が高い時は問題読解の初期プロセス

が規範的になり、確信が低い時は乱れるということである。この知見は、視線が示す読解プロセスが規範的であるか否かを弁別することで、問題に対する確信を推定できる可能性を示唆するものであり、視線による心的状態の自動分析を実現する上で有用であると考えられる。

次のうち、早稲田大学にある施設は？

1. 大隈講堂
2. 豊田講堂
3. 安田講堂
4. 兼松講堂

図 3. 問題提示の画面の例

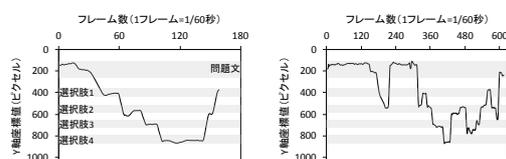


図 4. 視線推移データの例 (左: 高確信, 右: 低確信)

【学習科学におけるオントロジーの構築と利用】

学習科学の分野について、多肢選択問題を回答する学習者の視線と心的状態に関するオントロジー記述を試みた。多肢選択回答イベントの部分プロセスを構成する動作の概念を用いて視線を記述すると共に、行為者の意識している状態においてテスト教材に対する確信と迷いを位置付けることができた。さらに意識上の属性・属性値についてオントロジーの拡充を行う必要があると考えられ、それによって学習者モデルに関する知識を管理するための記述フレームワークとして、実際にオントロジーをIMSの実装に利用できると考えられる。学習者の知識・理解状態および心的状態の両面から統括的な支援を行う知的システムを、知的メンタリングシステム

(Intelligent Mentoring System; 以下IMS)と呼んでいる。我々が提唱するIMSの特徴のひとつは、学習者モデルの診断機能において学習者の心的状態を考慮する点である。ここではIMSの学習者モデルにおいて心的状態に関する知識表現および知識管理のために必要な概念的基盤を提供するオントロジー構築について説明する。具体的には、学習者の視線と心的状態に関する知見を例にとり、それらの関係を明示するオントロジー記述の例を紹介する。

IMSが対象の心理状態は刻々と変化するものであるため、常にモニタリングし即時的に診断とフィードバックができるようにする必要があります。IMSでは既存のITS研究での知識・理解状態の診断および教授戦略の決定に加え、心的状態のリアルタイムな推定結果やそれに基づく支援方法の決定モデルとあわせて統括的な学習者支援を行う。心的状態を推定する際に、学習者が高次認知活動を介して意図的に行う反応から得られる情報（高次インタラクションリソース；HLI）でなく、必ずしも意識的に行われたい行動データ（低次インタラクションリソース；LLI）を利用することができる。学習者の視線と心的状態に関する実験を行った結果、問題文と四択の選択肢からなる問題に回答する学習者の注視行動に関して、問題文と選択肢を先読みおよび返り読みする行動が見出された。さらに、問題回答後のアンケートから(1)回答の確信と(2)選択肢の迷いという二つの心理状態が解釈され、視線の特徴との関係性が示唆された(表1)。

表1. 視線と心的状態の傾向

視線の特徴	回答の確信	選択肢の迷い
選択肢の先読み	低	多
問題文の返読み	中	少
選択肢の返読み	中	中

視線の特徴を学習者の行為・動作、心的状態の傾向を学習者の意識内容として記述するために、学習者が学習を行うことを一つのイベントとして捉え「多肢選択回答イベント」定義した。その際に、オントロジー構築環境として法造を用い、上位オントロジーとして、YAMATO (Yet Another More Advanced Top-level Ontology) を参照した。また、学習者の心理状態の定義についてはYAMATOを拡張する形で我々が構築してきたオントロジーから、行為者の「意識している」状態と「意識上の属性」および「意識上の属性値」の概念を用いた。先に述べた三つの視線特徴が観察されることは、解く行為が担う部分プロセスのサブロットのカーディナリティが「1」となることで表現される。また、その際の学習者の心的状態の傾向はテストの内容に対して、「確信」や「迷い」といった意識上の属性がクラス制約となるスロットによって表現される(図5)。

IMSの学習者モデルで用いられる行動データと心的状態の関係を表す知識を管理するために、学習者の行為・動作とそれに対応する「意識している」という状態によって、低次インタラクションリソースと学習者の心的状態を位置付けた。構築されたオントロジーは、IMSでの学習者モデルで扱う概念を統一的に管理する記述フレームワークとして利用する

ことが出来ると考えられる(図6)。学習者の行動と心理状態に関する知識を学習イベント、学習者の主観評価、LLI測定値の概念に基づいて記述すると共に、領域知識や理解状態に関する知識を別のドメインオントロジーを用いて管理することによって、IMSの学習者モデルを適切に管理することが出来ると考えられる。

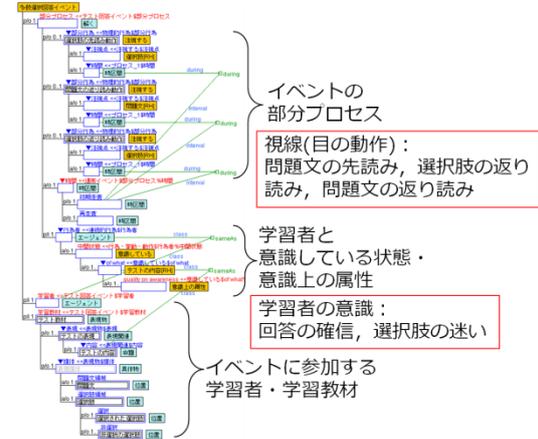


図5. 多肢選択回答イベント

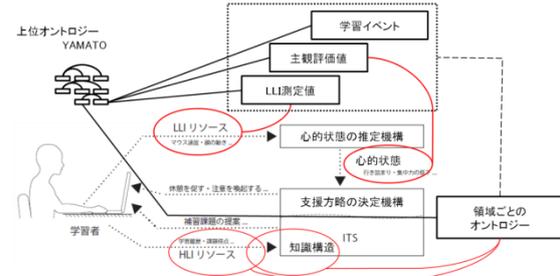


図6. 記述フレームワーク

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計35件)

- ① 篠原智哉, 山元翔, 平嶋宗: 力学を対象とした問題理解過程の外化環境の設計・開発, 教育システム情報学会論文誌, Vol. 30, No. 1, pp. 20-31, 2013, 査読有.
- ② 山内千尋, 黒川裕加里, 村松慶一, 堀口祐樹, 小島一晃, 松居辰則: 書道の運筆に着目した感情表出手法の検討, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 11, No. 3, pp. 491-494, 2012, 査読有.
- ③ 大川内祐介, 上野拓也, 平嶋宗: 派生問題の自動生成機能の開発とその実験的評価, 人工知能学会論文誌, Vol. 27, No. 6-A, pp. 391-400, 2012, 査読有.
- ④ 高田和豊, 森川幸治, 平嶋宗: 機能発見のための探索的インタラクションにおける状態遷移と状態理解に関する教示の影響, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J95-A, No. 1, pp. 97-106, 2012, 査読有.
- ⑤ 村松慶一, 戸川達男, 小島一晃, 松居

辰則：印象に関する知識記述のための感情誤帰属手続きを用いた特性の抽出，日本感性工学会論文誌，Vol.10，No.2，pp.231-238，2011，査読有．

- ⑥ Baowei Lin, Tsukasa Hirashima, Hidenobu, Kunichika: Interactive Environment for Learning by Question-Posing for Beginner's English Learning, The Journal of Information and Systems in Education, Vol.9, No.1, pp.15-24, 2011, 査読有.
- ⑦ 小島一晃，三輪和久，松居辰則：産出課題としての作問学習支援のための実験的検討，教育システム情報学会論文誌，Vol.27，No.4，pp.302-315，2010，査読有.
- ⑧ 舟生日出男，穂山雅史，平嶋宗：問題解決プロセスを利用した選択問題の誤選択肢および解説の自動生成，電子情報通信学会 D，Vol.93-D，No.3，pp.292-302，2010，査読有.

〔学会発表〕（計76件）

- ① Keiichi Muramatsu, Tatsuo Togawa, Kazuaki Kojima, and Tatsunori Matsui: Structural Equation Modeling for Relationships between Color Attributes and Dimensions of Emotional State, In Proc. of KEER2012, pp.291-296, 2012.
- ② Kazuaki Kojima, Keiichi Muramatsu, and Tatsunori Matsui: Experimental Study toward Estimation of a Learner Mental State from Processes of Solving Multiple Choice Problems Based on Eye Movements, In Proc. of ICCE2012, pp.33-40, 2012.
- ③ Keiichi Muramatsu, Kazuaki Kojima, and Tatsunori Matsui: Ontological Descriptions for Eye Movement Data and Mental States in Taking Computer-based Multiple-Choice Tests, In Proc. of ICCE2012, pp.81-85, 2012.
- ④ Sho YAMAMOTO, Takehiro KANBE, Yuta YOSHIDA, Kazushige MAEDA and Tsukasa HIRASHIMA: A Case Study of Learning by Problem-Posing in Introductory Phase of Arithmetic Word Problems, In Proc. of ICCE2012, Main Conference E-Book, pp.25-32, 2012.
- ⑤ Makoto KONDO, Ryo SANNO, Asanori TASHIRO, Yasuhiro NOGUCHI, Satoru KOGURE, Tatsuhiko KONISHI and

Yukihiro ITOH,: Development of a Dictogloss System Oriented for Focus on Form, In Proc. of ICCE2012, pp.1-8, 2012.

- ⑥ Keiichi Muramatsu, Tatsuo Togawa, Kazuaki Kojima, and Tatsunori Matsui: Proposal of a Framework to Share Knowledge about Consumer's Impressions, In Proceedings of 3rd International Conference on Agents and Artificial Intelligence, pp.388-393, 2011.

〔図書〕（計3件）

- ① 矢野米雄，平嶋宗：教育工学選書（第4巻），教育工学とシステム開発，ミネルヴァ書房，2012.
- ② 松居辰則：学習課題系列モデルに基づくシステム開発，教育工学選書（第4巻），教育工学とシステム開発（矢野米雄・平嶋宗編著），ミネルヴァ書房，pp.108-119（総ページ数220），2012.
- ③ 小西達裕：マイクロワールドに基づくシステム開発，教育工学選書（第4巻），教育工学とシステム開発（矢野米雄・平嶋宗編著），ミネルヴァ書房，pp.98-107（総ページ数220），2012.

〔産業財産権〕

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕なし

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

(2) 研究分担者

平嶋 宗 (HIRASHIMA TSUKASA)
広島大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：10238355

小西 達裕 (KONISHI TATSUHIRO)
静岡大学・大学院情報学研究科・教授
研究者番号：30234800

小島 一晃 (KOJIMA KAZUAKI)
早稲田大学・人間科学学術院・助教
研究者番号：30437082

(3) 連携研究者

なし

以上