

## 学習者の学習順序や反応パターンに基づいた学習状態推論法を用いる Web-based 教育支援システム

孫 勝国<sup>†</sup> 甘泉 瑞 応<sup>†</sup> Tongjun Huang<sup>††</sup>  
Aiguo He<sup>†††</sup> 程 子 学<sup>†††</sup>

近年, Web 環境における教材や学習支援システムに関する研究がさかんに行われている. 学習者のレベルに従って学習内容を提供するだけでなく, 学習者の性格や心理を考慮して支援するシステムも多く研究されている. しかし, 学習者の心理活動はとて複雑であり, より正確に学習者の心理状態を把握することはこの分野の研究において大きな課題となっている. 本研究では学習者の学習順序パターンと学習プロセス中に起こった状況に対する反応パターンの 2 つの視点から学習者の心理状況と心理の変化を把握する手法を提案する. 学習順序パターンと学習反応パターンの 2 つの視点を統合することにより, 学習者の学習習慣が判断できる. そして学習習慣に隠されている心理状況が把握できる. また, 学習者が普段と違う行動をとる場合においても, その原因を推測し, 学習者の心理的な変化を把握することができる. この手法に基づいて, 学習者の状況をより正確に把握し, 学習者の状況を反映する支援システムを開発する.

### A Web-based Educational Support System by Analyzing Learning Order and Reaction Patterns

SHENGGUO SUN,<sup>†</sup> MIZUO KANSEN,<sup>†</sup> TONGJUN HUANG,<sup>††</sup> AIGUO HE<sup>†††</sup>  
and ZIXUE CHENG<sup>†††</sup>

In recent years, rapid development on Web-based contents and learning support systems has been made. More and more support methods not only based on the level and ability of learners, but also considering learners' psychological states, have been proposed. But since the psychological states are very complicated, how to understand learners' psychological states becomes an important problem to be solved. In this research, we provide a method to grasp learners' psychological states and the change of the psychological states by using two viewpoints of learning order patterns and the reaction patterns in learning process. We analyze the learner's learning habits by combining the two viewpoints. When a learner takes actions that are different from his/her learning habits, the system infers the reason to understand the change of learner's psychological states. Based on the proposed method, a Web-based support system is developed.

#### 1. はじめに

コンピュータの普及とインターネット技術の発展にともない, 音声と動画を含めたマルチメディアによって効果的な学習支援が可能となった. また, Web を

利用することで遠隔学習支援が可能になり, 地域や時間の制限が解消されたため, 学習支援システムの主流はスタンドアロンから Web ベースへと変遷してきた.

従来の Web-Based 学習支援システムでは, 学習者が効果的に学習するために, 教材を CAI (Computer Assisted Instruction) システムに作成する研究が多く行われている<sup>1),2)</sup>. また, 大学通信教育分野においてもオンライン教育システムが開発されてきた<sup>3)</sup>. これらの研究は, 教育における教員不足や時間と場所による制限を解消することができるが, すべての学習者に同様の教材や支援を提供するために, 学習者個人のレベルや特徴に応じた教育が提供できない. 「個に応じた教育」を実現するために, 近年, 個人の学習状況

<sup>†</sup> 会津大学コンピュータ理工学研究科  
Graduate School of Computer Science and Engineering,  
The University of Aizu

<sup>††</sup> 会津大学情報処理センター  
Information Systems and Technology Center, The University of Aizu

<sup>†††</sup> 会津大学コンピュータ理工学部  
School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu

を考慮した研究が多く行われるようになってきた。これらの研究の例としては、学習者の苦手分野を推論し、苦手分野を優先的に学習させる学習支援システムの研究、学習者のレベルによって学習ルートを変えさせるシステムの研究<sup>6)</sup>、および状況論を導入した計算機基本動作教育システムの研究<sup>7)</sup>、などがあげられる。これらの方法によって、学習者個人の理解レベル・学習状況に応じて支援が提供できるようになった。しかし、学習者の性格や学習時の心理状態など学習結果に影響する要素が多いため、教材を学習するときの成績だけでは学習者の状況を正確に判断して学習者に適切な支援が提供できるのかは大きな問題となっている。

そこで本研究では、学習者の成績だけでなく、心理状況および心理の変化の傾向をも考慮し、学習者1人1人の個人差に柔軟に対応できるシステムを開発することを目的とする。本学習システムに、どのように学習者の履歴を利用するかは、本研究の重要な課題の1つである。

近年、学習者の履歴から学習者個人個人の学習状況をより正確に把握することを目的とした研究はますます重要視されてきた。その中で、学習者が自由に教材を選択し、その閲覧履歴を取得・管理することによって、学生や教師の双方を支援するシステムに関する研究<sup>5)</sup>は、学習者に高度な自由度を与え、かつ学習者の状況を把握して、それに対応した支援を提供することを可能にする。また、学習履歴を充分利用し、学習者への適応機能を備えたLMSをベースとしたシステムの研究には、理解度推論と教材シナリオの実行により弱点補強学習を可能にする研究がある<sup>8)</sup>。しかし、学習者は教材の選択やページの変更以外にも多数の学習動作を行うことが考えられる、学習者の学習結果に影響する細かい操作履歴をまだ十分に考慮していないため、学習者の状況が正確に推定できないときもある。そこで、学習者の操作履歴を分析し、パターン化して、学習者の学習状況を判断し支援する手法が用いられる。操作時間間隔の変動に着目した行き詰まり検知法および支援の研究は操作時間間隔の移動分散を用いて行き詰まりを検知し、学習者の誤答にヒントの提示などの支援が提供できる<sup>10),11)</sup>。操作履歴と学習者モデルに基づいて学習者の状態を診断する研究は学習者個人の理解状況や学習状態などを学習者モデルで表現し、学習支援システムの重要な構成要素に用いることを特徴としている<sup>12)</sup>。これらの研究では、学習者の操作履歴やモデル化などの手段により学習者の状況をより正確に判断・表現することができるが、学習者の状況を全面的に把握し、学習意欲を引き出すには、学習者の心

理状況を十分に考慮していない。そこで、学習者の履歴あるいは行動パターンを利用し、学習者の理解状況だけでなく、心理状況をも考慮した研究もされている。研究<sup>14)</sup>では、学習者に直接質問を行い、学習者の内的状態ややる気などを把握するが、学習者は自分の心理状況を正確に認識できない場合もあって、学習者に違和感を与える可能性もある。また学習開始前と終了後しか収集しないため、学習途中に学習者の心理状況の変化を把握し支援することはできない。研究<sup>13),15)</sup>では学習者の操作履歴を記録し、クラスタ分析やモデル化などの手法により学習者の動作パターンや思考パターン・集中度を推定して支援の参考にすることができる。しかし、考慮した心理要素と直接対応する支援を重要視していないため、迅速かつ有効な心理的な支援は少ない。これらの研究<sup>13)~15)</sup>では、考慮した心理要素はやる気・集中度・思考パターンに限られ、自信度や満足度など重要な心理要素は考慮されていない。また、学習者が習慣的にとる行動パターンに隠されている心理状況や、学習者の普段と違う行動によって表現される学習者の心理状況の変化も考えていない。学習習慣は学習者の個性を反映しているため、学習者の心理状況を把握するための重要な要素といえる。そして、学習者は心理的な変化などの原因で学習習慣と違う行動をとる場合もあるため、その違いを把握し、心理的な変化などの原因を推測することによって学習者に有効な支援を提供することができる。

本研究では、まず、集中度・思考パターン・やる気だけでなく、自信度・満足度などの要素も考慮する。そして、学習者の動作履歴をルールベースに照合することによって学習者の学習習慣を推測する。学習者の心理状況の変化も支援への重要な要素として考慮している。そのために、本研究では学習者が教材の各部分を学習する順番と学習反応パターンを主な視点として、学習者の学習習慣およびその背後に隠している心理状況を推定する。学習者がコンテンツを学習する順番をメインの視点として、学習者の習慣となったパターンを把握することによって学習者の学習習慣や心理状況の大きな流れを把握する。学習者の学習過程にであった状況に対する反応パターンから学習者の学習習慣や心理状況の細かい部分を把握する。これら2つの視点を有効に統合して学習者の学習状況や学習習慣を正確に把握し適切な支援を提供する。さらに、学習者が普段と違う学習パターンをとったと判断した場合、学習者の心理的な変化を把握し適切な支援を提供することを目的とする。もう1つの目的として、システムの支援によって学習者の学習効果に影響する悪い学習習慣

を修正し、より良い学習法を身に付けさせることに取り組んでいる。

以下、2章では本研究に関する諸定義を与え、3章では本研究のアイデアを詳細的に述べる。4章ではシステムの構成を述べ、5章は実験と評価を述べる。

## 2. 本システムにおける諸定義

本研究では、クライアント上のブラウザを用いてインターネットを通じてサーバにアクセスする方法でコンテンツを学習する学習者を主な支援対象と想定している。学習者の学習におけるコンピュータ上での学習動作を収集して、サーバ上でこれらの動作履歴を分析することにより学習者の学習状況や心理状況を推測し、その状況に応じた支援を提供するシステムを設計している。以下で本研究における諸定義を行う。

コンテンツ：本論文における「コンテンツ」とは、数学や物理などのテキストと練習問題を用いて学習できる理数科科目の教材内容に基づいて、Web用で作成した学習教材と定義する。ただし、本論文に使用された実験システムでは、中学数学教材の方程式の分野と大学における情報技術の基礎である基数変換の分野をベースに、Web教材として作成されたものである。

学習者：本論文における「学習者」は本システムを用いて理数科に関する知識を自習する学生と想定している。ただし、本実験システムを用いて学習する学習者は方程式に関する知識を自習する中学1、2年生に相当する生徒と基数変換に関する知識を自習する大学生に相当する学生を指している。

パターン：本論文における「パターン」とは、学習者がコンテンツを学習するプロセスを分析、解釈するために、あらかじめ定義された一連の動作の行動様式のことである。

学習順序パターン：学習者がコンテンツの各部分をものような順番で学習するかについてのパターンを「学習順序パターン」と定義している。たとえば、「テキスト 例題 練習問題 テスト」という学習順番は学習順序パターンの1つである。そして、学習者の判明した学習順序パターンは学習習慣の一部分として学習者の心理状態や心理の変化の推測に用いられる。

学習反応パターン：学習者がある状況に応じて、どのような反応（選択）をするのかについてのパターンを「学習反応パターン」と定義する。たとえば、解答が間違ったときにもう1回挑戦するのは学習反応パターンの1つである。人間の反応パターンは心理状態に影響され、同じ状況でも心理状態によって違う反応パターンをとることが考えられる。そのため、我々は学習者

の反応パターンを学習習慣の一部分として用い、学習者の細かい心理状態や心理の変化を推測する。

学習習慣：本研究では、学習習慣は学習パターンと学習反応パターンから構成されて、統合的に学習者の特徴を把握するために定義されている。

RBRによる学習状態推論法：RBRはRule-Based Reasoning（ルールベース推論）の略語である。効率的に学習者の学習状況や心理状況を推測し支援を提供するために、本研究ではルールベース推論を用いて、学習者の心理状態の推測や支援決定を行う。我々は学習者の行動や心理状況をパターン化して、ルールの形としてルールベースに蓄積する。学習する過程において、照合-実行というサイクルによって、学習者の状況を即時に推測でき、それに応じた支援が決定できる。また、新たに学習パターンを発見する場合も、ルールベースファイルを自動的あるいは手動で修正する方法でシステム全体が新しい学習パターンに対応できるようにする。

## 3. 学習順序や反応パターンに基づいた支援システム

学習するプロセスの中で、学習者の心理状況は学習する流れに影響を与える。そして、学習中の細かい心理活動の変化も学習者の動作に影響する。本研究では、学習者の心理状況と心理の変化の両方を把握するために、学習者の普段の学習習慣やその習慣と違った行動を把握する方法を用いる。直接に他者の心の仕組みを理解する内省法や認知心理学などと違い、行動主義心理学は、他者の行動上の法則を調べることによって、他者の心の仕組みではなく心の動きを理解しようとする。行動主義心理学の理論や方法はすでに医療や教育などに利用されている。Web上でもマウスとキーボードを利用してページ間の移動、問題解決のようなさまざまな動作から習慣と反応を分析することが可能であり、また、学習者の反応と習慣から心理状況を推測することが可能と考えられている。

本論文では、行動主義心理学のアプローチをとり、Web-based教育支援に活用する方法を考える。具体的には、まず、Webを利用して、コンテンツを学習する学習者の学習動作（例：コンテンツ間の移動、テストの答えの提出など）を観測し、専門家の意見を参考にして、観察された各種の典型的な動作がどのような心理状態を反映しているかを解釈し、動作の観測の結果とその解釈、およびその心理状態に応じる支援策をベースにルールとして準備する。次に、学習者の学習時の動作を観察し、準備したルールを適用することに

より、その学習者の心理状態を推定する。そして、その推定の結果に応じて、適切な支援を行う方法を開発した。より効率的に学習者の学習習慣と心理状況を判断するために、本研究では、主に以下の2つの視点をを用いる。

### 3.1 学習順番

一般的な教材やコンテンツは、テキスト、例題、練習問題、テストの4つの部分から構成されることが多い。異なる学習者は性格や学習習慣の違いによって4つの部分の学習する順番が違うことが考えられる。学習者はそれぞれ自分に慣れた学習法によってコンテンツを学習する順番を決めることが多い。そして、同じ学習者でも、その日の学習意欲などの心理状況によって学習順番は異なってくる。まじめに知識を完全に把握したい学習者はテキストからテストまで順番どりに学習する場合が多い。少し自信が欠けている学習者もこの順番をとる可能性が大きい。学習速度を求める学習者は先に例題を学習し、テストを行って、分からなければテキストを参照する方法をとることがあるが、知識の把握に漏れがある可能性もある。このように本システムは、学習者がコンテンツを学習する順番を把握して、学習者の学習順序パターンや性格を推測することができる。また、同じ学習者でも、状況によって違う学習順序パターンをとることもある。ゆっくりできるときと急いでいるとき、また緊張しているときには違うパターンで学習することが考えられる。

### 3.2 学習者の学習中の各状況に対する反応

学習者が学習するプロセスの中に、さまざまな状況にあることが考えられる。たとえば、例題が分からない、あるいはテストで答えが間違ったなどである。このような状況に対してどういう行動で対応するのかが学習者の心理を反映している。同じような状況にあっても、学習者によって反応動作は異なる。従来の結果を重視する方法より、反応パターンから、学習者の細かい心理活動や心理的な変化の傾向の把握する方法がより正確である。たとえば、5つの問題で2人の学習者AとBをテストする場合、両者とも5問中の2問正解だとすると、正答数をテストの得点にする伝統的な方法では、両者は同等の能力として評価されることになる。しかし、学習者Aは簡単な問題でも難しい問題でもしっかり例題を参照し、解答後も答えをチェックとする。学習者Bは飽きているため、一目できそうと判断する問題だけ解答し、チェックもせず、難しい問題にも挑戦しないとすると、2人の学習者は成績上では同じ結果を得たとしても、学習能力と支援すべきところが同じであるとはいえない。上述した例

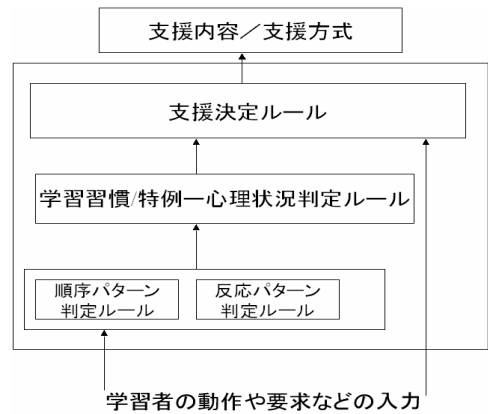


図1 ルールベースの構成

Fig.1 The architecture of the Rule-base.

に限らず、実際の状況や能力によって各状況に対する反応パターンは異なることが考えられる。

### 3.3 統合的な推測

以上2つの視点を統合して学習者への支援を決定するために、まず、学習者の1つ1つの動作を収集する。また、学習者の一連の動作を記録することによって、学習者の学習習慣を判断する。ここで学習する順番を主要な判断要素として、学習者がコンテンツの各部分間に移動する動作から学習者の学習順序パターンを推測し、学習者が1つ1つの状況での動作から学習者の反応パターンを推測する方法により、以上述べた2つの視点を統合して推論することによって、学習者の学習習慣を判断し、学習中の心理状況を推測する。さらに、学習者の動作を随時に学習習慣と照合することによって学習者が普段と違う特別な行動をとった場合、すぐそれを判断し、原因を推測する。このように、学習者の変化した心理状況も把握し、適切な支援を提供する。

### 3.4 ルールベースの構成

本システムが用いるルールベースは図1のように構成されている。

図1に示しているルールベースは入力から大きく3つの段階の推論によって支援法を結果として出力する。入力は学習者の動作や要求による条件である。これらの条件を用いてルールベースの基本となるパターン判定部に学習順序パターンや反応パターンを判定する。そして、判定した学習順序パターンと反応パターンを入力とし、学習者の学習習慣/特例およびそれに対応する心理状況を判定する。さらに、支援決定部に学習者の学習習慣や心理状況を用いて支援法を決定する。以下は典型的な例を用いて説明する。実際のシステムのルールベースにはもっと多い条件を考慮し、コ

ンピュータ的な表現を用いている。

以下では、記号“,”はANDを意味する、記号“;”はORを意味する、記号“ ”は順序のあるANDを意味する。

学習順序に関するルール A

(1) 前から後ろまで通常の順番

① if (テキストの学習  
例題の学習  
練習問題の学習  
テストの実行)

then 学習順序パターン 1

(可能な推測: まじめに学習する; 順序にこだわる)

(2) 例題抜きの順番

② if (テキストの学習  
練習問題の学習  
テストの実行)

then 学習順序パターン 2

(可能な推測: テキストで理解できると考える; スピードを求めるタイプ; 学習時間が少なく、急いでいる; やる気がない)

(3) 例題重視の順番

③ if (例題の学習  
テキストの学習  
練習問題の学習  
テストの実行)

then 学習順序パターン 3

(可能な推測: 自信がある; 例題で理解できると考える; スピードを求めるタイプ; 学習時間が少ない, 急いでいる; 自分の学習法で学習するタイプ)

(4) 問題から始まる順番

④ if (練習問題の学習  
例題の学習  
テキストの学習  
テストの実行)

then 学習順序パターン 4

(可能な推測: まず問題を理解するタイプ; 自分の学習法で学習するタイプ)

以上に示したルール例において、記号“ ”が示すように、条件の間は順序関係なので、順序に従って条件を満たさないとルールは発火しない。また、それぞれの条件はルールベースに入力する前に学習者の操作や操作間の時間間隔を用いて判断されたものである。ルールが発火すると、ルールによる可能な推測もワーキングメモリに入力、総合判定ルールで管理する。学習者は心理状況や学習法によって各自の学習順序パターンがある。以上のようなルールを用いて学習者の

学習順番が判断できる。そして、連続的に学習を支援することによって学習者の学習順序パターンを推測することができる。

学習反応に関するルール B

(1) 文書を読んでいる状況

⑤ if (文書が表示した,  
ゆっくりスクロール,  
文書の最後までスクロール)

then 反応パターン 1

(可能な推測: 集中度が高い; まじめに学習している)

⑥ if (文書が表示した,  
スクロール間隔が短い)

then 反応パターン 2

(可能な推測: まじめに学習していない; ルール③のパターンに所属; やる気はない)

⑦ if (文書が表示した,  
重点の部分にスクロールが止まる,  
文書の最後までスクロールの間隔が短い)

then 反応パターン 3

(可能な推測: 学習時間が少ない; 自分の学習法で学習するタイプ; 集中度が高い)

(2) 問題の解答が誤った状況

⑧ if (解答が誤った,  
問題を解答,  
答えを提出)

then 反応パターン 4 (可能な推測: 集中度が高い;

良い学習法を身に付けていない; 自分で考える意欲がある; 分かる問題を誤答した)

⑨ if (解答が誤った,  
ほかの部分へ移動)

then 反応パターン 5

(可能な推測: やる気はない; 分からない部分を諦めやすい; 問題が正答できると考える)

⑩ if (解答が誤った,  
誤った履歴がある,  
ほかの部分へ移動)

then 反応パターン 6

(可能な推測: 分からない部分を諦めやすい)

⑪ if (解答が誤った,  
システムの正解を見る)

then 反応パターン 7

(可能な推測: 分からない部分を諦めやすい; 自分の学習法で学習する; やる気がない; ヒントを求める)

(3) 分からない部分がある状況

⑫ if (詰まったと判断,  
対応する例題・テキストへ移動,

もとの部分へ移動)

then 反応パターン 8

(可能な推測: 自分の学習法で学習する; 自分で考える意欲がない; 参照する部分にヒントがあると覚える; 自信がある)

⑬ if (詰まったと判断,  
次の部分へ移動)

then 反応パターン 9

(可能な推測: 分からない部分を諦めやすい; やる気がない; 自信がない)

⑭ if (詰まったと判断,  
前後少しスクロール)

then 反応パターン 10

(可能な推測: 自分で考える意欲がある; 集中度が高い; 自信がある)

総合的に判定するルール C

(1) 学習習慣例 1

⑮ if (学習順序パターン 1,  
反応パターン 1,  
反応パターン 4,  
反応パターン 10

then まじめに学習

(推測: 集中度が高い; まじめに学習する; 順序にこだわる; 良い学習法を身に付けていない; 自分で考える意欲がある; )

(2) 学習習慣例 2

⑯ if (学習順序パターン 2,  
反応パターン 2,  
反応パターン 5,  
反応パターン 9)

then 落ち着かない

(推測: 急いでいる; やる気はない; まじめに学習していない; 諦めやすい)

(3) 学習習慣例 3

⑰ if (学習順序パターン 3,  
反応パターン 3,  
反応パターン 4,  
反応パターン 8)

then スピード型

(推測: スピードを求めるタイプ; 例題で理解できると考える; テキストを十分に読んでいない; 自信がある)

### 3.5 ルールの利用法

3.4 節の例から分かるように, 1 つのルールが成り立つと, システムは 1 つ以上の可能な推測をする. 学習者の行動は, さまざまな心理要素から影響を受け, 違う心理状況が同じ動作に反映される可能性があるた

め, ルールの可能な推測の中に, 違う側面あるいは矛盾する部分がある. 1 つの状況での 1 つの反応から学習者の状況をただちに推測するのは難しい. 我々は学習者の動作によって成り立つ一連のルールを用いて, それぞれの可能な推測を統合的に分析し, 学習者に最も可能性が大きい心理状況を推測する. 以下は具体的な推論方法を説明する.

学習順序に関するルールと学習反応に関するルールが発火されると, 結果は条件として総合判定ルールへ入力される. そして, 総合判定ルールの条件を満たし, 発火されると, 学習者の学習習慣が判定でき, 結果を支援へ結ぶ.

### 3.6 支援法

本研究では, 解析や推測した学習者の情報を利用し, 学習者の行動や心理状況に応じて学習者の特徴などの要素を考慮して学習者に対してより効果的な方法で支援を与えることを目的としている.

本教育支援システムでは, 各学習者の状況に応じて支援内容や支援方法をルールベースを用いて決定する(図 1 を参照). また, 学習者の学習習慣や学習成績などに基づいて支援内容と支援方を決定する. そして学習者の心理状況に応じて, 支援方を決定する. 学習者の心理状況と心理の変化による学習効果に対する影響に応じて, 口調, 音声, 文字, ウィンドウに表示する位置などを変化させ, 支援を提供する. たとえば, 「集中していない」あるいは「自信過剰」などの心理状況の場合と「やる気がある」あるいは「集中している」などの異なる心理状況の場合に対しては違う支援方式を用いてより大きな効果が期待できる. 具体例として, 学習者がやる気がなく, 集中していない状況に対しては, 厳しい口調での支援メッセージを用い, ウィンドウの真中に赤字で提示する. 学習者は学習意欲が高く, 順調に進んでいる場合に対して, 支援メッセージをやさしい口調を用いて, ウィンドウの下に青文字で提示する.

### 3.7 自信度と満足度

自信度と満足度は学習者の心理の一側面であり, 学習者の行動に直接影響を与える. 一定の自信を保つことと満足度を上げることにより, 学習者の学習効率と意欲を向上させることができる. 本研究では, 自信度は学習者の学習履歴を収集し, ルールベースを用いて推測する. Analyzing モジュール(図 2 を参照)では, 学習者の操作を“コンテンツを学習する”, “テスト問題に解答する”のような学習動作に解析し, ルールベースに前件として入力する. そして, ルールベースの中に, 自信度と関連するルールが発火する場合,

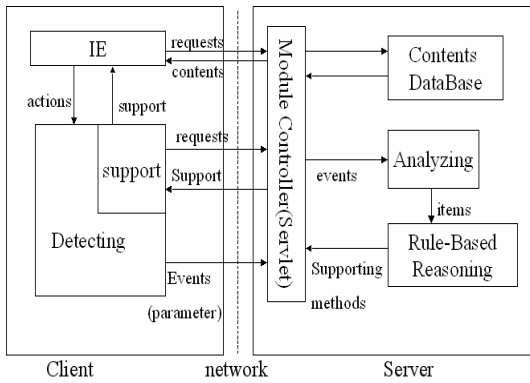


図 2 システムの構成

Fig. 2 The architecture of the system.

ほかの発火したルールと連携して学習者の自信度を判断する。たとえば、学習者がテストをやらない習慣を持っている場合、学習者はほかの部分をよく学習し、全体的に良い成績を得たと確認できたら、この学習者は自信度が高く、効率を求めると推測する。テストもほかの部分も真剣に学習しなくて学習効果も低い場合には、学習者が自信過剰で飽きやすいと推測する。そして学習者の自信度に応じて、支援の内容と支援方式を調整し、学習者に適切な支援を提供するようにしている。本システムでは、すべての学習習慣と心理状況はルールベース推論法を用いて取得する（3.4 節にはルールの例を記述している）。満足度は自信度と同様に取得、利用されている。さらに、満足度は学習意欲や集中度などと関連し、支援に結び付けることができる。

#### 4. 実装・実験

本章では、2 章と 3 章で示した学習支援手法に基づいて、中学数学の教材をコンテンツ例として方程式学習支援システムを開発し、実験を行った。

##### 4.1 実装

システムの構成は図 2 に示すように、クライアントサーバ形式で開発した。クライアント側は Web ブラウザをインタフェースとし、学習者はブラウザを用いて学習する。学習者の動作はコンテンツを埋めている JavaScript プログラムによってデータとして収集され、サーバ側に送られる。サーバ側では、ルールの前件として入れられる前に、コントロールモジュールで学習者の動作に必要な分析と処理を行い、画面デザインなど要素の変更にもなう誤差を解消することが可能である。文書の長さや画面のデザインによって、学習コンテンツの Web ページごとに学習基準時間とスクロールの間隔や位置などの設定を行う。たとえば、

文書の長いページには、学習基準時間を長くし、スクロールしなくてもすべての文書が表示できる場合は、スクロールに関する設定を NULL にする。このような誤差からルールの正当性に与える影響を最小にしてから、ルールベース推論モジュールに事実として入力する。そしてルールベース推論モジュールでは、入力した事実を各ルールの条件部と照合し、成り立ったルールを実行し、結果を新たな事実として推論を行う。このような照合・実行のサイクルによって、学習者の単純な学習動作から心理状態や心理の変化傾向を推測し、それに応じた支援を決定する。もちろん学習内容に対する支援も学習者の状況に応じて決定する。支援モジュールには、学習者の要求に対してコンテンツを提供する機能、ルールベース推論モジュールで決定した支援内容と支援方式を用いて実際の支援を実行し、学習者に提供する機能もある。また、新しい状況に対応するルールをルールベースに追加することも可能である。

現れる可能性の大きい順番関係と反応パターンに対する可能な解釈をルールとして作成しルールベースに格納した。順番関係と反応パターンに対応できる 30 個以上のルールを作成することにより、ある程度実用に耐えることが可能である。さらに、実際にシステムを運用しながら、学習者の動作を収集し、新しいルールを追加する方針をとっている。つまり、ルールベースに記述されていない順番関係あるいは反応パターンが実際に発生し、ルールによって解釈できない場合に対して、観察された順番関係あるいは反応パターンを教師に提示し、教師によって解釈し、その解釈と対応する支援方法と一緒にルールとして追加することが可能である。

このように、我々はシステムの各機能をモジュール化し、各モジュールの協調によって学習者の状況を推測し、支援を提供する。現状では、学習者の学習習慣を完全に把握し、支援することまでは完成していないが、学習者の心理状態モデルや理解能力を推測する部分を実装した。

##### 4.2 実験と評価

今回、コンテンツを作成し、学習者の心理状態モデルや理解能力を推測することによって支援する部分を実装し、実験を行った（図 3 を参照）。実験では中学生 13 名に本システムを用いてそれぞれ 1 時間の学習を行ってもらった。中学数学の方程式に関する教材に基づいてテキスト、例題、練習問題とテストの 4 つの部分を含んでいるコンテンツを開発して用いた。そして、アンケートに解答する形でシステムの利便性、支援の

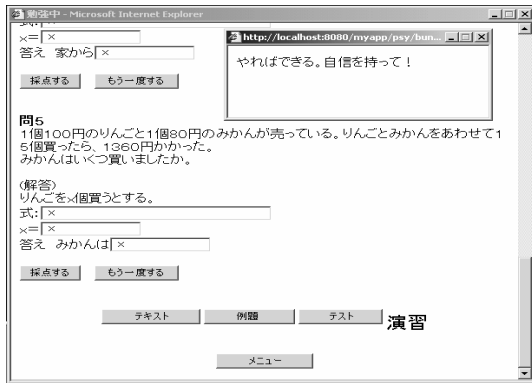


図3 実験中の画像例

Fig. 3 The example of experiment.

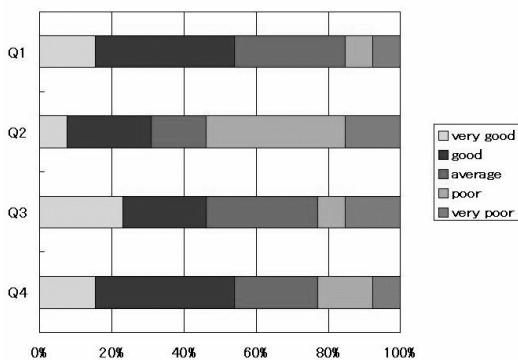


図4 アンケートの結果 1

Fig. 4 The result of questionnaire 1.

タイミング、支援の内容に対する評価をしてもらった。図4に示したように、50%を超える被験者が良好だと解答していた。システムが有効ではないと解答した被験者は20%未満であるが、どちらでもいえないと解答した被験者を含むと50%に近くなる。これは、実験に用いたシステムはまだ完成度が低く、実装された機能やルールも少なかったため、より広い範囲の学習者の学習効果を高めるには十分ではなかったことが原因だと考える。

学習効果をさらに高めるために、以上述べた実験に加えて、大学における情報技術の基礎である基数変換に関するコンテンツを用いて、次のように追加実験を行った。この実験は、システムの安定性をチェックするために3台のPCを同時にシステムに接続し数時間連続して動かせる実験と、設計されたすべての機能をテストする実験の2つの部分に分けて行った。そして20名の学習者に本システムを用いて学習してもらった。主要な評価の対象とした提案手法の有効性に関するデータを取得するために、学習中にシステムが

推測した学習者の学習習慣と心理状況を即学習者に提示し、対応する支援を与えた。学習者のその提示と支援に対する評価も収集した。そして実験後、各学習者に対して提示された推測の内容や支援に対する評価を総括してアンケートを行った。アンケートの結果とシステムの収集した実験結果に基づいて評価を行った。アンケートは以下の問題から構成される。

システムの評価に関する設問

- 1 システムを問題なく操作できましたか？
  - 2 システムのコンテンツ内容を理解できましたか？
- 2.1 “いいえ”と答えた方へ：理解できない原因は次のうちどれですか？

- A 文書が難しい B システムが使いにくい  
C 教材内容が不十分 D その他 ( )

- 3 システムの動きはスムーズでしたか？

提案手法の評価に関する設問

- 1 学習中にシステムが提示した学習習慣の推測は自分の学習習慣にあっていましたか？

- A あっていた B 大体あっていた C 半分ぐらいあっていた D あっていなかった E 全然あっていなかった

- 2 学習中にシステムが提示した心理状況の推測は自分の心理状況にあっていましたか？

- A あっていた B 大体あっていた C 半分ぐらいあっていた D あっていなかった E 全然あっていなかった

- 3 支援メッセージの提示するタイミングは適切でしたか？

適切 5 4 3 2 1 不適切

- 4 支援メッセージの内容は適切でしたか？

適切 5 4 3 2 1 不適切

- 5 支援メッセージの方式（文字色、位置など）は適切でしたか？

適切 5 4 3 2 1 不適切

その他

- 1 そのほかに、どんな機能や支援があればよいと思いますか？

今回の追加実験においては、より多くの機能やルールを実装したため、3番目の項目を除いても60%以上の被験者から良い評価が得られた（図5を参照）。また、本研究手法は、システムを利用する時間が長いほど、より多くの学習者のデータが蓄積でき、より多くのルールが追加され、システムの有効性が向上する特徴を持っている。実際に運用することによって、より高い効果が期待できる。



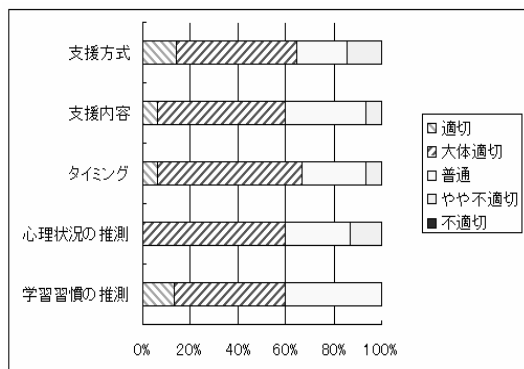


図 5 アンケートの結果 2  
Fig. 5 The result of questionnaire 2.

## 5. おわりに

本論文では、学習者の心理状況や心理の変化を推測することに基づいて学習支援を提供するシステムを構築した。本システムでは、学習者の学習順序パターンと反応パターンを主な視点とし、ルールベース推論手法を用いて学習者の学習習慣を推測し、自信度・集中度・やる気・思考パターン・満足度などの要素を考慮しながら学習者の心理状況を推測する。普段と違う行動から学習者の心理的な変化を推測する手法も取り入れた。それにより、学習者 1 人 1 人に応じた支援が可能となった。特に、学習者の心理の変化の傾向を推測することによって、従来の発生してから支援する方法に対し、発生する前に予想し、余裕を持って支援する方法を提案した。学習支援システムの研究を一步進めたとはいえる。

将来の課題として、もっと豊富な心理要素を考慮し、ルールベース推論法やインタフェースを改良することによって、より広い範囲で学習者を支援し、さらに大きな学習効果を与えることを研究していく。

謝辞 システムの作成や実験に協力していただいた鮫島貴寛君をはじめとする会津大学コンピュータネットワーク講座の皆様、および貴重なコメントをくださった査読者につつしんで感謝の意を表する。本研究の一部は NEDO の即効型地域新生コンソーシアム研究開発事業（番号：12HT2003）による。

## 参 考 文 献

- 1) 谷口るり子：初級 Visual Basic プログラミング教育における Web 教材の開発，教育システム情報学会誌，Vol.19, No.2, pp.106-111 (2002).
- 2) 不破 泰，中村八束，山崎 浩，大下真二郎：

Web を用いた CAI システムによる大学講義の高度化とその評価，教育システム情報学会誌，Vol.20, No.1, pp.27-38 (2003).

- 3) 中込 隆，宮寺庸造，横山節雄：大学通信教育におけるオンライン教育システムの開発，電子情報通信学会信学技報，ET 2000-119 (2001-3).
- 4) 伊藤清美，柳沢昌義，赤堀侃司：Web 教材への書き込みを共有する学習環境 WebMemo システム，電子情報通信学会信学技報，ET 2003-57 (2003-11).
- 5) 中村勝一，佐藤和彦，藤森 操，小山明夫，程子学：教材選択の自由度の高い学習における教員・学習者間のインタラクション支援環境，情報処理学会論文誌，Vol.43, No.2, pp.671-682 (2002).
- 6) Hg, V., Chiu, K. and Chan, S.: SOILS: A Web-based Dynamic Learning System, *Advanced Research in Computers and Communications in Education*, Cumming, G., et al. (Eds.) pp.712-719, IOS Press (1999).
- 7) 大塚 智，金子正人，武内 惇，藤本 洋，大関隆一，園田孝造：状況論的学習法に基づく計算機基本動作教育システムに関する一考察，電子情報通信学会信学技報，ET 2003-93 (2004-1).
- 8) 鈴木智樹，藤原祥隆，岡田信一郎，吉田秀樹：ユーザ適応型 e-Learning システム KUSEL の設計，情報処理学会研究報告，2004-ICS-135(30), pp.169-174 (2004/3/17).
- 9) 大西佳亮，藤原祥隆，岡田信一郎，倉内 誠，吉田秀樹：学習履歴データベースを用いた学習支援システム用 Causal Network の自動構築法，情報処理学会研究報告，2004-CE-73(30), pp.89-95 (2004/2/6).
- 10) 中村喜宏，赤松則男，桑原恒夫，玉城幹介：操作時間間隔の変動に着目した CAI 学習の行き詰まり検知方法，電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.1, pp.79-90 (2002).
- 11) 桑原恒夫，玉城幹介，山田光一，中村喜宏，満永豊，小西納子，天野和哉：個人進度別教育支援システム (MESIA) における行き詰まり生徒の支援機能とその効果，電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J83-D-I, No.9, pp.1013-1024 (2000).
- 12) 菅谷克行，原沢幹宏，大須賀節雄：操作履歴とモデルに基づく学習者の診断，電子情報通信学会信学技報，ET 2000-89, pp.95-102 (2000-12).
- 13) 松本寿一，中易秀敏，森田英嗣，亀島鉦二：教育支援のための教材学習履歴分析システム，情報処理学会論文誌，Vol.40, No.9, pp.3596-3607 (1999).
- 14) 西野和典，横山 宏，石桁正士：授業における学習者の内的状態を把握するためのシステムの開発と活用，情報処理学会論文誌，Vol.15, No.4 (特集号)，pp.238-243 (1999).
- 15) 若原俊彦：学習者の理解度と行動パターンを考慮した学習支援手法の一検討，信学技報，ET 2003-

56 pp.29-34, 電子情報通信学会 (2003-11).

(平成 16 年 5 月 19 日受付)

(平成 16 年 11 月 1 日採録)



孫 勝国 (学生会員)

1978 年生。2001 年千葉工業大学情報ネットワーク学科卒業。2003 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科修士課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。遠隔教育、ユビキタスラーニング、ルールベース推論システム等の研究開発に従事。



甘泉 瑞応 (学生会員)

1963 年生。1987 年上智大学法学部卒業。2003 年会津大学大学院コンピュータ理工学研究科修士課程修了。現在、同大学院博士後期課程在学中。知的 CAI、事例ベース推論システムの研究開発に従事。人工知能学会、電子情報通信学会各会員。



Tongjun Huang (正会員)

1988 年中国燕山大学大学院自動制御工学科修士課程修了。工学修士。株式会社エーシーエス、システムエンジニアを経て、1993 年より会津大学情報センター助手。分散アルゴリズム、遠隔教育、会議日程調整、ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。



Aiguo He (正会員)

1988 年名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。株式会社アイヴィス等を経て 2001 年より会津大学先端技術研究センター講師。2003 年より同コンピュータ理工学部講師。工学博士。遠隔教育、分散協調制御システム、ネットワーク、ソフトウェア工学の研究に従事。組合せ最適化問題の並列計算法に興味を持つ。IEEE Computer Society, IEICE, IEE 各会員。



程 子学 (正会員)

1957 年生。1993 年東北大学大学院工学研究科博士課程修了。同年会津大学講師、1999 年同大学助教授、2002 年同大学教授。分散アルゴリズム、遠隔教育、ユビキタスラーニング、心理エージェント研究開発に従事。IEEE, ACM, IEICE 各会員。