

## 事例ベース推論を用いた個人学習支援システム

甘泉 瑞応 孫 勝国  
Aiguo He 程 子学

会津大学大学院 コンピュータ理工学研究科

ネットワーク社会の急速な発展に伴い、様々な社会活動がインターネット上で行われるようになってきた。教育においても、インターネット上における遠隔教育が盛んに行われるようになり、優秀な教師不足などの社会的問題の解消にも効果を発している。しかしながら、対面教育との比較において、その効果はまだまだ疑問視されている。また、近年、CAIの研究も数多く行われており、学習者個々の学習進度などに応じた支援やアドバイスが提供できるようになってきたが、個々の個性や能力、心理状態などを総合的に考慮した支援はまだ十分とはいえない。「個に応じた教育」は、最近の教育界においても大きなテーマであり、教師は学習者一人一人の状況や内面を捉え、きめの細かな指導をすることが期待されている。我々は、学習者の心理状態を考慮したネットワークエージェント技術を開発し、対面教育との格差を解消すべく研究を重ねてきた。本論文では、事例ベース推論を用いた教育支援システムを提案する。試行錯誤を繰り返しながら問題を解いていくといった学習者の様々な学習プロセスをパターン化し、それに基づいて個々の学習者の心理状態を把握し、過去の事例における支援策を再利用することによって、個々の学習者の学習状況に応じた適切なアドバイスを行う。

## A Distance Education Support System based on Learning Patterns Using Case-Based Reasoning

Mizuo Kansen Shengguo Sun Aiguo He Zixue Cheng

The University of Aizu Graduate School Department of Computer Science and Engineering

With rapid development of networked society, various social activities have been performed on Internet. In education field, distance education is used actively on the Internet and it is effective in reducing social problems such as a lack of excellent teachers. However, in comparison with face-to-face education, there are still some problems with respect to its effect. Since 1960's, a lot of researches on CAI have been done. But almost of CAI were one-way systems. There are researches of recent intellectual CAI, estimating degree of achievement of learning from the correct answer rate of a confirmation test, or showing courseware from distribution of learning time, and so on. But it is still difficult for them to give appropriate support and advice because they have not considered the personality and psychological state of an individual learner well. On the other hand, "the personalized education" is one of important topics of educational world recently. There is an expectation that teachers can give delicate lessons concerning each student's conditions and internal situations. We developed a network agent technology considering learner's psychological condition instead of a teacher. In this paper, we propose an education support system using Case-Based Reasoning. The system patternizes the various learning process in which the learner solves a problem while repeating trial and error. And it grasps a psychology condition of an individual learner and does an appropriate advice.

### 1. はじめに

ネットワーク社会の急速な発展に伴い、様々な社会活動がインターネット上で行われるようになってきた。教育においても、インターネット上における遠隔教育が盛んに行われるようになり、優秀な教師不足、地域格差等の社会的問

題の解消にも効果を発している。しかしながら、対面教育との比較において、その効果はまだまだ疑問視されている。近年、CAIの研究も数多く行われており、学習者個々の学習進度などに応じた支援やアドバイスが提供できるようになった。最近の知的 CIA の研究の例としては、確認テストの正解率から学習の習熟度を推定するもの、学習時間

の分布からコースウェアを提示するものなどがある[1][2]。しかし乍、個々の個性や能力、心理状態などを総合的に考慮した支援はまだ十分とはいえない。「個に応じた教育」は、最近の教育界においても大きなテーマであり、教師は学習者一人一人の状況や内面を捉え、きめの細かな指導をすることが期待されている。我々は、対面教育との格差を解消すべく、学習者の心理状態を考慮したエージェント技術の研究を重ねてきた。本論文では、試行錯誤を繰り返しながら問題を解いていく学習者の様々な学習プロセスをパターン化し、それに基づいて個々の学習者の心理状態を把握し、適切なアドバイスを行う事例ベース推論を用いた教育支援システムの開発を目的とする。

我々は以前、遠隔教育支援システムの研究の一環として、中学生やプログラミング初心者を対象に、VB言語のWeb教材を、延べ1万時間(72 learners×51 times×3 hours = 11,016 hours / total, Jun~Nov.2001)に亘り学習してもらい、その学習過程を詳細に記録するといった実験を行った。そして、その実験を通して次のような経験則を得ることができた。

- 1) 学習課題への取り組み方は、人それぞれ自分にあったやり方があり、一様ではない。また、取り組む問題の程度などによっても異なるプロセスを踏む。
- 2) 学習においても、人はそれぞれ同じ心理状況に陥った時には、同じような行動パターンをとる。(裏を返せば、同じような行動パターンをとるときは、同じ心理状況に陥っている、といえる。)

たとえば、学習者が問題を解いていく時、すんなり解いた場合、試行錯誤を繰り返しやっとなら解いた場合、人によって様々なプロセスを踏むが、その後のモチベーションのあり方は学習者によって違いがあることがはっきりしてきた。そして、個人を観測していくうちに、その学習パターンから次の動作や行き着く結末や助言やヒントを必要とするタイミングなどが大体推測できることにも気がついた。

過去の様々な事例をもとに現在起こりつつある事例の結果を推論していく手法としては、事例ベース推論(Case-Based Reasoning: CBR)がある。現在、解決しようとしている問題があるとき、それと類似した過去の解

決事例を参照し、その解決方法を利用して現在の問題を解こうとする推論方法である。これは、普段の生活での問題解決の場面において、われわれは自然に過去の経験での同様の場面を思い浮かべてそのときとった最善の意思決定(解決策、または失敗からの教訓)を活かして(再利用して)次の行動の指針にするものである。

教育の場においても、ベテランの教師は過去の豊富な経験の中から最適な方法を選んで指導をする。また、生徒一人一人に対しては、その生徒と触れ合う中でその生徒の個性に応じた方法で教え方を変えてみるといったことをする。これはまさに、ケーススペースの根本にある考え方であり、この考え方を教育支援システムに活かしていくことがこの研究の趣旨である。

本提案は、プログラミングの学習や詰め将棋のゲームなどのように試行錯誤を繰り返しながらステップを踏んで回答にたどり着くコンテンツを想定し(ここでは、「詰め将棋」を学習の題材として実装)、エラーの累積回数や学習進度の時間的な推移などを測定し、最終的に制限時間内に正解にたどり着くことができたか、また、どのタイミングで助言(ヒント、アドバイス)を求めたかに着目し、それらをモデル化する。そして、過去の事例を基に、CBRにより学習者個々に応じた適切なアドバイスや次の問題(学習シナリオ)を提案する推論システムを構築した。

## 2. CBRを用いた個人教育支援システム

本節では、本システムを構築するための設計方針、システムの構成、支援アルゴリズムについて説明をする。

### 2.1. システムの設計方針

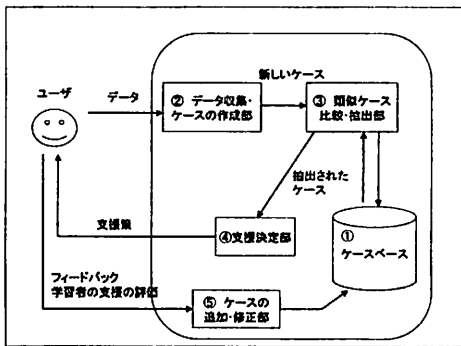
本システムは、次の方針に従って構築する。

- 1) プログラミング学習、詰め将棋などのゲーム、TOEFLなどの正誤問題、SPIなどのように試行錯誤を繰り返しながら回答していく学習コンテンツを想定する。
- 2) 時間軸をもとに学習プロセスにおける様々な学習情報を収集してケースを作成する。
- 3) 過去に有効であった学習支援を再利用する。
- 4) 学習者からのフィードバックを取り入れることにより、ケーススペースを更新させ、信頼性を高めていく。

## 2.2. システムの構成

本システムは以下の構成部分からなる。

- ① ケースベース … 過去のケースを蓄積する。
- ② 新たなケースの作成部 … 学習者の学習プロセスにおける情報を収集し、学習パターンをケース化する。
- ③ 比較・抽出部 … 過去のケースと現在のケースを比較し、最も類似度の高い事例を抽出する。
- ④ 支援決定部 … 抽出した過去のケースを使って支援を決定する。
- ⑤ ケースの追加・修正部 … 学習者の支援に対する評価を受けケースを追加もしくは一部を修正して学習者個人にカスタマイズする。



▲ 図1 システムの構成図

実際に事例ベース推論システムを構築する場合には、次の3つの点を考慮する必要がある。本システムにおいてこの3つをどのように構成するかについて以下で説明する。

- ・ ケースベースの構成
- ・ 事例の類似性の判断
- ・ Output(支援)の提示・事例の追加・変更の仕組み (学習支援アルゴリズム)

## 2.3. ケースベースの構成

ケースベースはケースの集合である。各ケースは時間軸を基に、 $n$ 次元のパラメータ収集する。各々のケースには支援部分がセットされており、過去の支援例を再利用する。図2に示すようにケースは次の3つから構成される。

- ① ケースID…ケースベースにおいてユニークなケースを識別できる番号(整数)である。
- ② 学習動作パーツ… $m$ 個の時間軸に従って動的に変化する学習指標のパラメータである。ただし、時間軸は  $t_1 \sim t_n$  までの等間隔の離散的な時刻の集合を指す。
- ③ 支援パーツ…ケースの行動部分に応じた支援のヒント、タイミング、フォーマット、出し方、ナビゲーションなどからなる。

ID	part1	part2										part3		
	num	The behavior part										The support part		
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	...	...	...	...	$t_n$	p	q	...		
$n_1$														
$n_2$														
...														

▲ 図2 ケースフォーマットの定義

## 2.4. 事例の類似性の判定

現在学習者が行っている学習行動のケースと過去のケースの類似性の判定は次のように決定される。

まず、2つのケースにおける学習動作部分の $m$ 個の各アイテム間の距離を考慮する。アイテムとは、ある学習者のある時間における学習状況を表したものである。もしその距離が事前に設定される許容範囲内であれば、そのアイテムに関しては類似するアイテムであるとする。すべてのアイテムにおける類似するアイテムの割合を2つのケースの類似度とみなす。

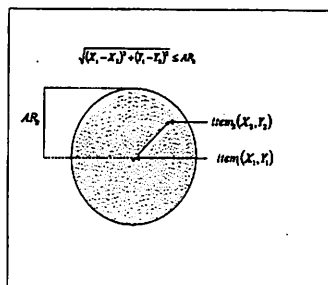
つまり、 $item_k$  の許容範囲を  $AR_k$  とすると、2つのケース  $C_i, C_j$  間の類似度  $SM(C_i, C_j)$  は、以下のように定義することが出来る。

$$SM(C_i, C_j) = \left\{ \frac{\sum_{k=1}^m f_k}{n} \right\} \times 100\%$$

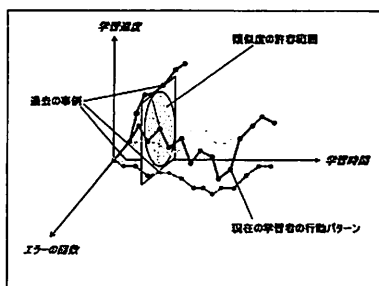
ここで、

$$\sqrt{(item1_i - item1_j)^2 + (item2_i - item2_j)^2 + \dots + (itemm_i - itemm_j)^2} \leq AR_k$$

ならば  $f_i = 1$ 、それ以外であれば  $f_i = 0$  である。

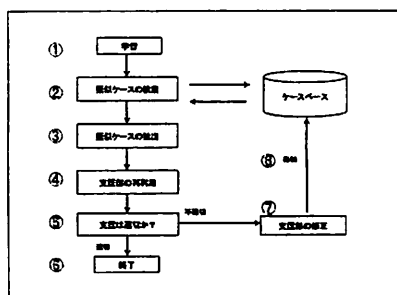


▲ 図3 2ケース間の類似度判定の概念図



▲ 図4 過去の事例との比較の概念図

## 2.5. 学習支援アルゴリズム



▲ 図5 学習支援アルゴリズム

学習の過程からデータを収集し、行動パターンをケース化する。このケースを既存のケースと比較することにより、類似度の最も高いケースをケースベースから抽出する。そして、抽出したケースの支援部からアドバイスや学習方法などを再利用することにより、現在の学習者に適切な支援を提供する。さらに、学習者の支援の評価をフィードバックすることにより、ケースを新たに追加したり、支援部の

修正を行うことにより、個々の学習者に向けた変更を施す。フローチャートを図5に示す。

- |           |              |
|-----------|--------------|
| ①学習       | ⑤支援の評価       |
| ②類似ケースの検索 | ⑥(適切)終了      |
| ③類似ケースの抽出 | ⑦(不適切)支援部の修正 |
| ④支援部の再利用  | ⑧格納 → 終了     |

## 3. システムの実装例と実験

本節では、2節で示したCBRを用いたシステムを実際に構築し、学習に対して実験を行う。そして、実験結果を踏まえシステムの有効性を検討する。

### 3.1. システムの実装例

ここでは、CBRを用いたシステムの具体例として「詰め将棋」の例題を学習内容とした学習支援システムを実装する。

「詰め将棋」を実装例として選んだ理由は次の通りである。

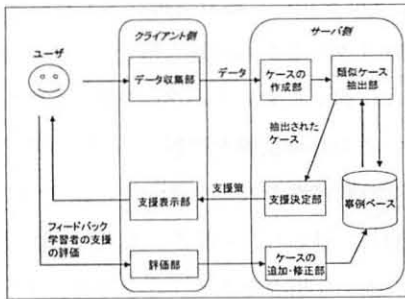
- ①時間的観念がある、(各単元が比較的短い時間で完結する。)
- ②ルール(定石)が定まっている、
- ③正解がひとつである、
- ④目標の設定(級・段)が明確である、
- ⑤思考の様子が手として表現できる
- ⑥システムに載せやすい。

また、本研究では実験用に行動パターンを便宜上単純にするため、誤った手を打った場合はその場でエラー表示をし、正解のルートしかいけなくないように設定した。つまり、正解が出るまで先には進めず、逆戻りも出来ない。また、学習者からのフィードバックとしては、提案した支援が心境を反映したものであるかどうかを学習者に評価させ、心境にそぐわないものであれば、別の支援アドバイスを受け、それをもとにケースの更新を行う。

### 3.2. 実装システム

本システムはクライアントサーバシステムで構成した。学習者の直接的な操作はブラウザ上での入力により、クライアント側でデータを収集する。収集したデータはサーバ側に送られサーバ側でケース化される。新しく生成したケースは、ケースベースに格納された過去のケースと類似度を比較し、その結果、最も類似度の高いケースを抽出して、そのケースの支援部にあるアドバイスをクライアント側

に送り表示する。



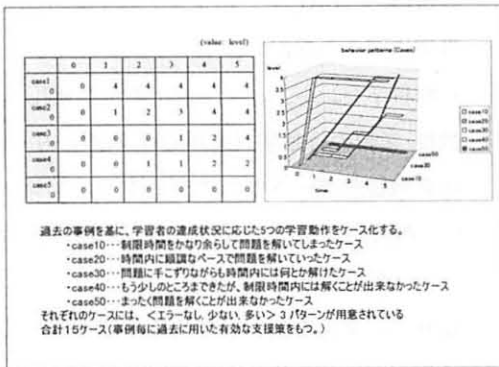
▲ 図6 実装システム

### 3.3. ケースベースの構成

1) トータルで15ケース用意する。

ケースを生成するパラメータは次のように選択した。

- ・ 時間軸
- ・ X軸…level (学習者の手詰めの進捗・正解へのステップ)
- ・ Y軸…errorの累積数 (誤った手を打った回数)



▲ 図7 ケースの構成

2) ケースの支援部

ADVICE		A	R	C	S
10	You did well. Try harder problem.	+1	-1	+1	+1
11	Good job. If you are confident, try a bit harder problem.	0	+1	0	+1
12	Take your time. Try a different problem on the same level and be confident!	-1	+1	0	+1
20	You did well. Want to try harder problem?	0	0	+1	+1
21	Good job. Try a different problem on the same level and be confident!	0	+1	0	+1
22	Take your time. Please try again!	-1	+1	0	+1
30	Good job. Try a different problem on the same level and be confident!	+1	-1	+1	+1
31	You read very hard. Please try again!	0	+1	0	+1
32	Take your time and think again. Try easier problem and be confident!	-1	+1	0	+1
40	You are almost there. Please try again!	+1	-1	0	-1
41	You are almost there. Try easier problem and be confident!	0	0	-1	-1
42	You read very hard. Try easier problem and be confident!	0	0	-1	-1
50	Be aggressive. Work to take a break!	+1	-1	-1	-1
51	You read very hard. Try easier problem and be confident!	0	0	-1	-1
52	See your time and think again. Let's start with easy problem!	-1	0	-1	-1

※国の教育心理学者 J.M. Keller が提唱する学習モチベーション理論 (ARCS理論) の4つの要素のレベル、注意 (Attention)、関連性 (Relevance)、自信 (Confidence)、満足 (Satisfaction) に基づき、学習者のモチベーションを考慮してアドバイスを作成。

▲ 図8 ケースの支援部

各ケースには学習者のモチベーションを考慮した簡潔なアドバイスを其々用意した。このアドバイスは、予め行った試行実験における、ある学習者とその指導者の意見を反映させて一般的な学習者のケースを想定して作成した。

### 3.4. 類似度の計算

「詰め将棋」という問題の都合上、許容範囲  $AR_k$  を1とする。即ち、ある測定時間 (t) におけるエラー、もしくは学習レベルが1の範囲内で類似すると判断することとする。

### 3.5. 実験

「詰め将棋」の例題を用意し、学習者に対し実証実験を行う。ここでは、その実験方法を示し結果をもとに考察する。

#### 3.5.1. 実験の方法

<準備>

- ① 被験者の数…5名 (初級者～中級者)
- ② 詰め将棋の問題数 (4段階の難易度で各4問ずつ)  
3・5・6・7級レベルの問題、7手詰、計16問
- ③ 事前のケースの数 (15ケース)
- ④ 時間 (t) …制限時間 (10分) を2分間隔で5等分する (n=5)

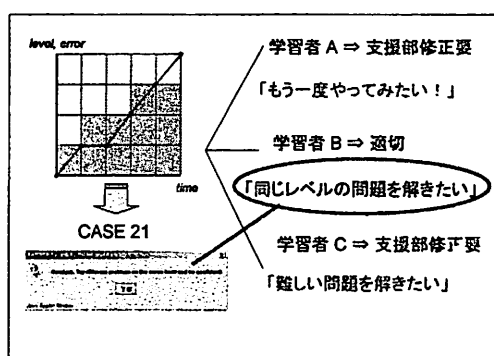
<実験の手順>

- ① 学習者に自由に問題を選択させ、解かせる。
- ② 問題終了 (もしくは制限時間経過) 後に提示された支援アドバイスを学習者に評価させる。
- ③ 支援アドバイスが適切であれば、それを参考にして次の問題に進ませる。
- ④ 支援が適切でない場合は、用意されたアドバイス群の中から最も自分の心境に則したアドバイスを選択させるか、もしくは専門のアドバイザーの新たな助言をもとに、抽出されたケースの支援部を変更しケースベースに格納し、次の問題に進ませる。
- ⑤ ①から④の繰り返しを視察し、記録する。特に、同じケースが2回以上抽出されたときのその支援に対する学習者の評価にその都度変化があるか留意して視察する。  
(システムでは、学習者の正解の手詰毎に1つずつアップするlevel数 (正解の手) とerror (間違った手) の累

計を時間毎に記録した。)

### 3.5.2. 考察

一般的な学習者を想定した当初のケースの支援策については、約60%の確率で学習者の心理状態に適切に当てはまった。しかし残り約40%のケースでは学習者によって異なる反応を示し、修正を必要とした。たとえば、図8に示すように、同じ行動パターンを辿った何人かの学習者でも、事前に用意した「同様のレベルの問題を解いてください」というアドバイスが適切であった学習者もいれば、「もう一度同じ問題を解きたい」と思った学習者もいた。またある学習者は、自分の実力が十分だと思い、難しい問題にチャレンジしたい、と思う場合があった。このようなケースでは、個々の学習者に応じて支援部を変更した。その結果、その学習者が次に同じ行動パターンを辿った時、更新した支援をすんなりと受け入れる場合が約80%であった。



▲図9 学習者の心境の違いにより支援部の変更を必要とする場合の例

回数を重ねるに従い変更を求める回数も減少し、最終的には事前に用意したケーススペースの支援部がそれぞれの学習者にカスタマイズされ、個性を反映した学習者独自のものに更新された。これより、システムに対する信頼性や満足度を、ある程度まで高めることが出来た。以前観察を通して得た経験則の考えを一部システムに取り入れることができたが、2つのパラメータでは学習者の心境を十分に反映できたとはいえず、今後さらに有効なパラメータを採用していくことが必要である。またより複雑な問題を解かせ、そのプロセスを細かく分析することによって、学習者の詳細な心境の変化を把握していくことも必要である。

### 4. 終わりに

本論文では、CBRを用いた教育支援システムを提案した。試行錯誤を繰り返しながら問題を解いていくといった学習者の様々な学習プロセスをパターン化し、それに基づいて個々の学習者の心理状態を把握し、適切なアドバイスを行った。最近の教育界の大きなテーマのひとつである「個に応じた教育」に対応し、学習者一人一人の状況や内面を捉え、きめの細かな指導をすることを可能にする。個々の個性や能力、心理状態なども総合的に考慮した支援はまだ十分ではない現状のCIAを一步進めた研究であるといえる。

謝辞 論文に御協力いただいた会津大学コンピュータネットワーク講座の張国珍氏、舟山健氏、江川正孝氏に、謹んで感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] 渡邊博之 WWWを用いた知的CAIシステムの開発
- [2] 渡邊博之 CAI コースウェアの学習時間分布とその推定に関する検討
- [3] 行動科学ハンドブック：吉田敦也，蓮花一巳他
- [4] 教授・学習の行動学（応用心理学講座9）：滝沢武久
- [5] 時系列履歴データからのデータマイニング：筒井宏昭，西村順二（計測と制御第41巻第5号2002年5月号：計測自動制御学会）
- [6] 履歴データを事例として使用する非線形モデリング技術 TCBM：筒井ら（計測自動制御学会論文集、33-9, 947-954, 1997）
- [7] Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise Systems : Ian Watson (AI-CRB, University of Salford, UK) (Morgan Kaufmann Publishers, Inc)
- [8] 知識と推論（新田克己著：サイエンス社、2002）
- [9] 教育心理学 I～発達と学習指導の心理学（大村道明：東京大学出版、1996）
- [10] 教育心理学新講（滝沢武久・富田達彦：学文社、1986）