

平成 13 年度

学士学位論文

学習履歴データマイニングによる 出題支援手法

A Supporting Method to Design Workbooks using
Learning History Data Mining

1020316 原田 香織

指導教員 岩田 誠 教授

2002 年 2 月 8 日

高知工科大学 情報システム工学科

要 旨

学習履歴データマイニングによる出題支援手法

原田 香織

従来の学校教育に代表されるような、集団での教育では全学習者に対して、個人の理解度に合わせることは大変困難である。また、教師数やその稼動能力には限界があるので、個人授業の実施も全学習者への実施は困難な状況にある。これらを踏まえて、近年、コンピュータを用いて学習者の個々の理解状況に合わせた学習システムの研究開発が活発になってきている。その代表的なものに CAI(Computer Assisted Instruction) がある。CAI システムでは、学習者の理解度に合わせて 1 人で学習を進行させることができ可能となっており、個人学習の場において有効なシステムといえる。しかしながら、学習者の理解度を的確に判断して適切な指導を行うという点では人間の教師ほど容易ではないのが現状である。

本論文では、学習者から得られる学習履歴データを蓄積しそれを重回帰分析を用いたデータマイニング処理によって、個人毎の有効な学習規則を発見し効果的な学習支援システムのアルゴリズムを提案した。さらにこのシステムが有効に活用できるよう、その並列処理性能について検討し、それに必要な計算処理時間を明らかにした。これにより、大量のデータを扱い全体のシステムとしてはボトルネックになると考えられるデータマイニング処理部において、並列にプロセッサを使用して処理を行うことで、計算時間の高速化が図れ、出題管理部等に見合った性能が実現できることが可能となることを明らかにした。これによって本システムは個人学習の場においても、効果的に学習を進められるようなシステムであると考えられる。

キーワード CAI システム, 重回帰分析, データマイニング, ボトルネック

Abstract

A Supporting Method to Design Workbooks using Learning History Data Mining

Kaori HARADA

It is very difficult to educate a number of students in accordance with individual degree of comprehension. Recently, research and development of computer supported learning system, such as CAI(Computer Assisted Instruction) are increasing the importance. CAI system is especially effective in individual study because a student can learn at his own pace. CAI, however, has a disadvantage from human beings to understand a student's degree to comprehension and to conduct him.

This paper proposed an algorithm of learning support systems to find learning rules for each student by multiple regression analysis from learning history data mining. Furthermore, the parallel processing performance and calculation time was estimated to examine the feasibility of the system. It was shown clearly that the bottleneck of the system in data mining process over massive data of other parts like problem setting manager.

It is considered this system enables effective learning in individual study without human teachers.

key words CAI, multiple regression analysis, data-mining, bottleneck

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	学習支援システムの概要・要件	4
2.1	緒言	4
2.2	CAI システム基本概要とその現状	4
2.3	従来の CAI システムの問題点	5
2.4	提案する学習システムの概要・要件	6
2.5	結言	7
第 3 章	学習履歴に基づく出題支援手法	9
3.1	緒言	9
3.2	学習手順	9
3.3	学習支援機能	10
3.4	提案するアルゴリズム	10
3.4.1	学習を効果的に進める要因	11
3.4.2	学習者に学習に対する動機付けを行う要因	11
3.4.3	重回帰分析の適用	13
3.5	結果と考察	16
3.6	結言	17
第 4 章	並列処理実現による高速処理能力の検証	19
4.1	緒言	19
4.2	並列処理可能部分	19
4.3	並列処理性能についての考察	21
4.4	結言	22

第 5 章 評価・考察	23
5.1 緒言	23
5.2 作成した学習システムプロトタイプの実装について	23
5.3 提案したアルゴリズムについて	25
5.4 結言	27
第 6 章 結論	28
謝辞	32
参考文献	33

図目次

3.1	データマイニング手法の適用	13
4.1	並列処理可能部分	19
4.2	並列処理の様子	20
5.1	学習システム GUI 部	24

表目次

3.1 回帰式の係数	10
3.2 回帰式の係数	14
3.3 回帰式の係数	16
4.1 計算時間と計算量の見積もり	20

第 1 章

序論

学力低下が深刻な社会問題となっている今日、質の高い学習内容と、それを多くの人にきめ細かく教授できる優秀な教師の育成が急がれている。しかし、どんなに優秀な教師であっても、従来の学校教育に代表されるような集団での教育では、全ての学習者に対し個人の理解度に合わせた教育を行うことは、大変困難である。逆に、教師が 1 対 1 で学習者を指導する個人授業では、個々の理解状態に合わせた教育を行うことが可能であるが、教師数の確保やその稼動能力には限界があるので、多数の学習者を教育するには効率が悪くなる。

また、今後の学校教育の場においても、「学習指導要領」の改訂による学習内容の削減、「ゆとり教育」の実施、「少子化」による大学入試の多様化等、これらの現状が生徒の学習の質と量に大きな影響を及ぼしていることが伺われ、教育の現場において、生徒の学力が著しく低下しているのではないかという議論が、折りに触れて目につくようになっており、この現状を受けて、学校教育以外での学力向上の場が注目され始めている。これを受け、大手予備校、学習塾等においても質の高い授業を提供しようと、遠隔地からの有名講師のライブ授業がリアルタイムで聴講できるようなサービスを提供するなど、近年の情報通信技術の発達に伴って、その学習形態は大きく変化してきた。それと同時に、塾でありながらも、家庭教師のように、個人の理解度に合わせた丁寧な指導を行う個人授業を取り入れる学習塾も年々、増加傾向にある。このように、質の高い教育を求める需要は年々増加しており、その必要性も高まっている。しかし、学習者がそれを受けるために、掛けるコストの面では、まだまだ利用し易いものであるとは言えない。

そこで、近年、計算機の容量の増大や、処理能力の向上、さらにはインターネットにおける WWW に代表される情報通信技術の発達に伴って、ネットワーク環境での学習支援シ

システムに大きな可能性が開け、この分野において有用なシステムの実現が期待されるようになり、学習者の理解状態に応じて学習が進行できるよう、コンピュータを用いて学習者個々のペースに合わせた教育システムの研究開発が行われている。その代表的なものに CAI (Computer Assisted Instruction) がある。CAI では、学習者がシステムによって提示される教材に従い、学習者の理解速度に合わせて 1 人で学習を進行させることができることが可能となっている。しかし、効果的な学習システム作成のために多大な労力を要し、そのため実用レベルでは、学習内容を順次提示し学習者だけで学習を進めるため、ユーザはそれを読んで学習するという教科書的な学習システムが多かった。これでは受身的な学習になり、理解の深化と学習に対する動機付けの促進を支援するという面では不十分であった。

そこで、本研究では、学習者に対し効率良く学習させたり、学習に対する動機付けの促進を支援するために、「問題出題の際には類似した分野の問題を繰り返す」・「反復学習をする」・「得意な分野は集中して詳しく学習する」等、教育の分野で広くその学習効果が認められている原理を、この学習システムに活用し、それと同時に、この学習システムを使用した際に抽出される成績や解答時間等の個人毎のデータを収集・蓄積し、その個人毎の学習過程や思考能力、思考過程、理解能力を評価・分析することで個人の解答能力の傾向を導き出すことができる。それによって、次回に出題すべき問題の表示内容や適正な難易度を予測し、次回の問題構成に反映させることができる。これにより、必要に応じて隨時、問題を再編成することができるので、その個人に合わせた最適な学習システムを構築することが可能となる。これによって、個人学習の場であっても、利用者の状態に応じて常に最適な問題構成が行われるので、より深く学ぶことができる教育支援システムの構成を実現することができる。

そこで、最近の計算機の容量の増大や、処理能力の向上に伴って、注目されてきたデータマイニングという分野に着目し、それを用いる事で個人個人に合わせた効果的な学習システムの構築を目指す。ここで言う効果的とは、その学習内容をきちんと理解し、ある程度時間が経っても、その内容を覚えているかという事を評価基準とする。また、データマイニングとは、巨大データベースからの知識獲得を高速に行う技術であり、具体的には莫大な履歴

データをデータベースに蓄積・保持して、その膨大なデータからその目的に役立つ属性やデータ間に成り立つ規則や法則を得るという事である。ここで用いるデータマイニングの手法はデータベース内に蓄積されたデータを元に、次回の評価したい値を予測する「記憶ベース推論」である。これによって蓄積されたデータを重回帰分析を用いて分析することで、データ間の法則を発見し、新たに入ってきたデータから求めたい値を予測し、それを学習システム構築に反映させる事で、効果的な学習システムの実現方式を提案する。

このように、本研究において実現しようとしている学習システムは、大量のデータを蓄積・分析することで、学習の場面において効果的なルールを導き出そうとすることだが、データ量が増える程、必然的に計算量も多くなってしまう。これでは、利用者が満足いく処理性能を保つことが困難となり、システム自体の有効性が損なわれてしまう恐れがある。

そこで、本研究の最終的に目指すところは、効果的な学習システムの構築と、その有効性を高めるために、実際に学習者に利用させた際の実用的な処理時間の程度を測定し、その結果、どの程度の並列処理性能を実現する必要があるかを検討することである。

第 2 章

学習支援システムの概要・要件

2.1 緒言

この章では、従来の CAI システム等の学習システムの基本概要とその問題点、それらを考慮して新たに提案する学習システムの要件について詳しく述べる。

2.2 CAI システム基本概要とその現状

近年の計算機技術の発達は著しく、その計算機の容量の増大や、処理能力の向上、さらにはインターネットにおける WWW に代表される情報通信技術の発達に伴って、ネットワーク環境での CAI に大きな可能性が開け、その研究開発が活発になってきている。しかし、この方法において、1人で学習を進める学習者が解答に行き詰った場合を解消するためには、学習者の理解状態の正確な把握とそれに基づく適切な支援が必要であるが、現在の CAI システムでは、これを人間の教師ほど適切に行うことは容易ではない。しかしながら、その中で、様々なコンテンツを統合し教材とするシステムや、言語教育を対象とした教育支援システムの開発など、様々な CAI システムの研究が行われている。しかし、一般的な高等教育を対象とした WWW ベース CAI システムでは、効果的な教育支援を行う CAI システム作成のために、多大な労力を要し、そのため実用レベルでは、学習内容を順次提示するだけで、ユーザはそれを読んで学習するという教科書的な教育支援システムが多かった。これでは、受身的な学習になり、演習問題以外には学習者が積極的に思考する機会が少なく、理解の定着を促進するという面では不十分であった。

しかしながら、ネットワーク型 CAI システムでは、CALAT[7] に代表されるように、すでにインターネット上で実サービスが始まっているものもある。近年、実用化されているネットワーク型 CAI システムでは、学習者は電子メールや掲示板などのコミュニケーション機能を用いて、教師や他の学習者に質問を伝えることができ、その質問に対する回答もオンラインで受け取ることが可能となっている。しかし、学習者の出す質問の中には自らの状況を常に適切に表現しているとは言い難い質問もあり、また理解状態が悪く質問を発することが出来ない学習者さえ多数いる。また、教師が各学習者の学習状況を常に把握できる仕組みになっていないので、適時に適切な支援が出来ないなどの問題がある。

一方で、インターネットによる遠隔教育の研究も行われてきている。この遠隔教育システムは、学習者が個別に学習を進めるネットワーク型 CAI システムと、教師が多数の学習者を同時に教育する講義支援型システムの 2 種類に大別できる。このように、ネットワークを用いた講義支援型教育システムには、普段の講義の映像をネットワークを用いて遠隔地に送り講義を行うものや、教師の質問に対する学習者の回答を実時間で処理して講義に役立てるレスポンスアナライザなどがある。特に、近年では、パーソナルコンピュータとインターネットの普及により、教師だけでなく学習者もネットワークに接続された教育環境が実現し、この環境を生かした教育システムの研究が盛んである。

2.3 従来の CAI システムの問題点

- CAI では、学習者がシステムによって提示される教材に従い、1 人で学習を進行させることが、可能となっているため、以下のような問題が挙げられる。
 1. 学習に取り組むまでの動機付けが困難である。
 2. 時には演習問題をいつまでも正解できないなど、学習の進行が困難となる場合に陥る可能性がある。
 3. 自らの学習内容の理解状態を判断し難い。
 4. 受身的な学習となり、理解の深化を促進させることが難しく、単なる知識の詰め込み教

育となる可能性がある。

- システム自体の有効性について

1. ある定められた規定に基づいて設計されたシステムを、ひたすら解答する問題集的な要素が強く継続が難しい。
2. ネットワーク経由による学習システムを構築した際に、そのデータ量によっては、処理性能が常に一定に保たれず、処理が集中した場合には、システム事態の有効性を欠いてしまう可能性がある。
3. 個人毎の理解状況を的確に判断し、迅速に対応することが困難である。

2.4 提案する学習システムの概要・要件

以上のような、既存の CAI システムの問題点を踏まえて、ここでは、個人学習の場においても、効果的に学習を進められるような理想的な CAI システムを構築することを目標に、今回提案する学習システムの概要・要件について述べる。

この学習システムは、個人学習の場においても、効率よく、的確な学習が進められるよう、学習者個々の学習状況に応じたきめの細かい教育を実現することを目的としている。しかしながら、現在のところ CAI などの自動化技術を用いて人間の教師なみの質の高い教育を行うことは難しい。そこで、今回提案する学習システムでは、学習者の理解状態を的確に判断しながら、その状態に応じて、時には学習者ごとに説明を変えたり、学習レベルを変化させながら教育を行う学習システムの提案をする。そのために、個人の理解状況を的確に判断し、適切な学習計画を立てるために、本システムでは、重回帰分析を用いたデータマイニング処理を行う。これによって、学習者個々の学習履歴データをデータベースに記憶・蓄積し、その情報を分析することによって、通常の個人学習では困難であった個人の理解状態の度合いによる適切な問題選択や、解答レベルの設定など、きめ細かな教育を行えるようにする。このようにして、学習者個々の理解状態を的確に把握することで、多数の学習者に対し的確な学習計画の提供を可能とする。

- (1) 受身的な学習を防ぎ、学習に対する動機付けの促進を図るために、出題順序を変化させたり、正答率等のレイアウトを工夫する。
- (2) 個人の理解状況を的確に判断し、適切な学習計画を立てるために、重回帰分析を用いたデータマイニング処理を行う。
- (3) 学習者が受ける時間待ち等の負担を軽減するために、膨大なデータを高速に並列処理をする。

ここで提案した3つの要件を実現するために、次のようなシステムを提案し、その検証方法と結果を3章以降で詳しく述べる。

1. 学習者の理解度を的確に判断するために \Rightarrow 学習者から送られてくる個人データを収集し、データベースに学習履歴として記憶・蓄積する。
2. そこから、適切な学習計画を構成するために \Rightarrow そのデータを分析し、有効な学習規則を発見する。
3. その結果、個人の適正に合わせた効果的な学習システムを構築 \Rightarrow 新たに問題を再編成し直して、学習計画の提案を行う。本システムでは、その部分で、「出題分野の入れ替え」・「出題問題の難易度の選択」・「制限時間」等を変化させながら、問題を再構成し直している。

以上のような一連の処理を的確に行うために、本研究では
「重回帰分析を用いたデータマイニング処理」を採用した。

2.5 結言

本章で述べたように、従来の学校教育に代表されるような集団での教育では、全学習者に対して、同じような学習効果を上げることは大変困難であり、また逆に、教師と生徒1対1の個人教育の場においても、その教師数と稼働能力には限界があるので、全ての学習者に対する個人授業の実現は困難な状態にある。このような状況を受けて、CAIシステムに代表

されるような、コンピュータを用いて学習者個々の理解度に合わせた学習システムの研究開発が活発になってきている。

しかしながら、個人学習の場において、学習者が解答に行き詰った場合など、その学習者の理解状況を把握し、適切な指導を行うという上で、CAI システムでは人間の教師のように適切に指導することは、容易ではない。しかし、近年の計算機技術の発達、情報通信技術の発達に伴い、様々なコンテンツを統合して教材とするシステムや、その計算処理能力の高速化に伴って、その学習効率や有効性も大きくなり、次世代の学習環境構築の主役を担うシステムであるといえる。これらを踏まえて、次章においては本論文の提案内容でもある効果的な学習支援システムの要件について詳しく述べる。

第3章

学習履歴に基づく出題支援手法

3.1 緒言

この章では、本研究で提案する学習システムの構成方法と、具体的にどのように、動作するかについて、そのアルゴリズムと、システムへの適用部分について詳しく述べる。

3.2 学習手順

学習システム全体の構成方法として、本システムでは学習教材をイメージして構成しており、具体的には「演習問題集」を想定している。この演習問題は分野別の章の集まりで構成されており、この章はそれぞれ、「分野の種類」・「問題レベル」・「制限時間」から成る。

この演習問題を実際に学習者に適用することで、そこから得られる学習履歴をもとに、学習効果の検証を行い、「問題レベル」、「制限時間」を変化させながら章を入れ替える。

これを順次繰り返すことで、その学習者個人に最適な章の並びを決定するシステムである。

本システムでは、この演習問題集を作成するにあたって、現在、就職試験等で広く用いられている「SPI」を例に上げて、問題の構成を行っている。

1. 学習者は順次表示される内容に従って解答を進める。この場合の操作は、画面上でマウスによる解答選択である。
2. 1章解答し終える毎に学習履歴がserverのデータベースに記憶される。

学習履歴は得点、解答時間、直前の章、制限時間、解答回数、レベルからなる。

3.3 学習支援機能

3. そのデータを元に各章について重回帰分析を行い、表 3.1 のように回帰式の係数 $(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$ を求める。

表 3.1 回帰式の係数

前の章	重回帰式
同義語	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x_1 + \cdots + a_4 x_4$
確率	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x'_1 + \cdots + a_4 x'_4$
:	:
方程式	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x''_1 + \cdots + a_4 x''_4$

$$y_i = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 \cdots \text{(回帰式)}$$

$$y_i \equiv \frac{\text{平均点 [点 / ページ]}}{\text{解答時間 [秒]}}, i: \text{章の番号}$$

x_1 : 直前の章, x_2 : 解答時間,

x_3 : 出題回数, x_4 : レベル (3 段階)

4. 求めた回帰式の係数を用いて、対象の章がどの章の次に行うと、習熟度 y_i が最大になるかを予測する。その結果を用いて、学習者個人に最適な章の並び順を決定する。
5. これを各章について繰り返し適用し、全ての章の並び順を決定する。

3.3 学習支援機能

前述したような学習システムを実現するために本システムでは、次の機能を提案している。

3.4 提案するアルゴリズム

本システムは、学習履歴を蓄積し、出題する問題を次のように決定する。

3.4.1 学習を効果的に進める要因

まず、実際にデータを収集する前に、使用する基本システムは、以下のように現在の教育の分野でも広く、その効果が認められている原理を活用して設計してある。また、同時にこの原理は重回帰分析を適用するにあたって、用いられる独立変数の値を決定する際にも、その決定要因として考慮している。

- 似たものを続けて学習しない

似たものを続けて学習すると混乱が起こり、記憶を妨げるため。

- 短時間で問題を解く練習

正しく正解できるようになったら、今までよりも短時間で正解できるように練習する。

- 意味や節を付けて覚える

自分の知っている言い回しや、持っている知識と結び付けて覚える。

- 意味や内容を理解する

学習の初期段階では、単なる暗記学習の方が、効率良く学習できる場合もあるが、ある一定のレベルに達すると、きちんと問題の意図や、思考手順を理解して解くことが重要であり、結果的に様々な問題への応用にも対応することが、出来るようになる。

- 反復学習をする

記憶の忘却は、学習直後に起こるので、学習間隔をあけ過ぎることなく、出来る限り毎日一定して学習を行うことで、知識の定着を図ることができる。

3.4.2 学習者に学習に対する動機付けを行う要因

1. 操作方法の単純化
2. レイアウトの工夫
3. 学習に対する上達度合いの正確な表示

3.4 提案するアルゴリズム

学習に対する動機付けを行う要因として、受身的な状況に陥りがちな、個人学習の場においても、学習者が積極的に学習を進められるように、「1」、「2」のような外発的な要因を取り入れると同時に、学習者に対して最も大切な興味を持って学習に取り組めるための内発的な要因として「3」を取り入れる。

外発的な要因とは、学習者に学習をさせようとする、教師等の第3者が学習者に対して何らかの報酬を与えたり、学習に取り組みやすい環境を提供することによって学習者の学習意欲を生まれさせようとする手段から発生する要因である。

また、内発的な要因とは、学習を何かの手段として用いるのではなく、学習そのものを楽しみ、それを必要であると感じる興味・知的好奇心に強く訴えるということである。つまり、学ぶことそれ自体が目的で、学ぶことが楽しくおもしろいから学ぶというのが理想の学習意欲だという原理から発生している要因である。このように、内発的な要因は効果的な学習を進める上でも、最も大切な要因の1つであるといえる。

3.4.3 重回帰分析の適用

重回帰分析の目的は、いくつかの変数（独立変数）に基づいて、別の変数を予測することである。本システムでは、学習システムを設計するにあたって、学習効果の要因を分析することを目的としており、この場合の重回帰分析において、求めようとする目的関数 y は、習熟度と定義する。また独立変数は、学習者から送られてくる学習履歴から成っている。

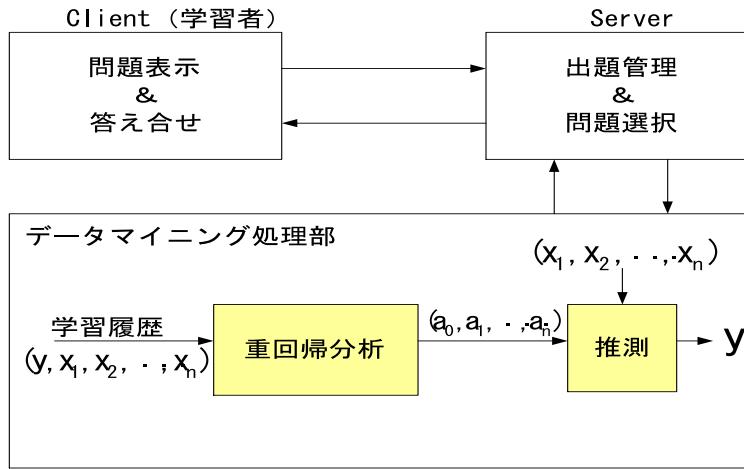


図 3.1 データマイニング手法の適用

- Server 側から、Client 側へ再編成前の問題が表示される。
- Client 側では、学習者の操作によって表示される問題に従って順次解答を進める。
- Client 側では、学習者が 1 章毎に解答し終えた情報（学習履歴：得点・解答時間・解答回数・レベル・直前の章）を Server 側へ送信する。
- Server 側では、Client 側から送られてきたデータを元に、データマイニング処理部において重回帰分析を行い、学習者の習熟度を予測し、次回に出題すべき最適な問題の並び順を決定する。

表 3.2 回帰式の係数

前の章	重回帰式
同義語	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x_1 + \cdots + a_4 x_4$
確率	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x'_1 + \cdots + a_4 x'_4$
:	:
方程式	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x''_1 + \cdots + a_4 x''_4$

上記の表は、「SPI」の問題において、基準となる章が「反対語」の場合について表記してある。

まず、章の数 : s 、それぞれの章の問題のレベルは 3 段階に分かれているので、

全部の章の並びの組み合わせ : $3 \times s!$ 通り

今回のシステムにおいて、実際には $s = 10$ なので、全部の組み合わせは 3628800 通りとなる。

まず、回帰式 : $y_{\text{反対語}} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$

$y_{\text{反対語}} \equiv \frac{\text{平均点 [点/ページ]}}{\text{解答時間 [秒]}}$ において、

y = 習熟度

それぞれの独立変数 x を

x_1 : 直前の章

x_2 : 解答時間

x_3 : 出題回数

x_4 : レベル (3 段階)

と定義する。

※次回の章の並びの優先度を決定する際の条件として、目的関数 y_i が最大となるものが、

より優先度が高いものと定義する。

1. 独立変数 x_i の重み付けについて

- 独立変数 : x_1 (直前の章) をそれぞれ、3桁の整数で表現することにより、階層別に定義し、階層的に評価する。

- まず、3桁の整数において、百の位の数を言語分野であるか、非言語分野であるかの識別値とする。

言語分野 : 「1」

非言語分野 : 「2」

- 次に、十の位の数では、同じような分野の章をグループ化して、その識別値とする。

反対語・同義語・語や語句の意味 \Rightarrow 「1」

順列と組み合わせ・確率 \Rightarrow 「2」

方程式1 (鶴亀算・年齢算・濃度算) \Rightarrow 「3」

方程式2 (仕事算・水槽算・植木算・損益算) \Rightarrow 「4」

方程式3 (速度算・通過算・流水算) \Rightarrow 「5」

不等式 \Rightarrow 「6」

文章題 \Rightarrow 「7」

- 次に一の位では、各章の章番号を表している。

「このことより、類似分野をグループ化することによって、同じ階層内での習熟度の予測精度を向上させることが可能となる。」

以上のことから、それぞれの独立変数 x の重みを変化させることが出来、その変動によって、求めようとする目的関数 y_i の優先度が順次決まるようになるので、次の章の並び順を決定することが出来るようになる。

2. 最小 2 乗法により重回帰分析の係数を求める

最小 2 乗法は、ある変量の組（独立変数）とその変量に対する望みの結果（目的変数）が学習データとして与えられた時、説明変数から目的変数を予測するモデルを構築するための統計的データ解析手法で、最も基本的で、最も広く用いられています。

表 3.3 回帰式の係数

前の章	重回帰式
同義語	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x_1 + \cdots + a_4 x_4$
確率	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x'_1 + \cdots + a_4 x'_4$
:	:
方程式	$y_{\text{反}} = a_0 + a_1 x''_1 + \cdots + a_4 x''_4$

- 上記の表のように、順次蓄積されたデータから、それぞれの 1 回目の独立変数 (x_1, x_2, x_3, x_4) 、2 回目の独立変数 (x'_1, x'_2, x'_3, x'_4) から、それぞれの独立変数同士の距離（差）の 2 乗の和を以下の計算式のように計算する。

$$y_{\text{1回目の誤差}} = a_1(x_{11} - x_1)^2 + a_2(x_{12} - x_2)^2 + a_3(x_{13} - x_3)^2 + a_4(x_{14} - x_4)^2$$

この操作を 2 回目、3 回目、4 回目、……、n 回目というように、データが入ってくる毎に隨時行う。

- 次に、その誤差の和が最小になるような、 $y_i = a_1(x_{11} - x_1)^2 + a_2(x_{12} - x_2)^2 + a_3(x_{13} - x_3)^2 + a_4(x_{14} - x_4)^2$ の回帰式においての係数 (a_1, a_2, a_3, a_4) を求めるために、それぞれの係数毎について微分し、その傾き = 0（最小値）を求めます。この操作も、データが入ってくる度に行うことで、より最適な係数を求める。

この独立変数の誤差が最小となる係数が学習者個人の学習傾向を示す値であり、これによって、この係数を使用すれば、最適な直前の章を予測すること可能となる。これを繰り返すことによって全体の章の並びが決定する。

3.5 結果と考察

これまで述べてきたように、今回提案する学習支援システムを構築し、ネットワーク上で多数の学習者に高度な支援が出来るよう、Server-Client 間でのデータのやり取りを目的に、

Java applet による問題集の作成を行った。また、実際に Client 側から送られてくるデータを元に、そのデータを解析することで、その学習者にとって最適な値を導き出し、それを学習計画に組み込むことで、有用なシステムを設計することを目的に重回帰分析を用いたデータマイニング処理を行うプログラムを現在作成中である。

また、今回提案したアルゴリズムは実際に多数の被験者を用いて運用することは出来なかつたため、実際の学習者からのデータにより、最適な値を予測することは出来なかつた。これにより、最小 2 乗法を用いた重回帰分析でどの程度、最適な章の選択が可能であるかという結果は出でていない。そのため今後の課題としては、実際に多数の学習者に適用して個人データの収集を行い、このアルゴリズムにより分析した結果を利用して問題を再構成し直し、再び学習者に提示することで、どのような学習効果が得られたのかまた、どのような結果の違いが見られるのかを詳細に検討する必要がある。

3.6 結言

本章において詳しく述べたように、ここで提案したアルゴリズムでは、個人学習の場において、障害となる学習に対する継続性の問題や、その学習効果を短時間で効率的に上げることが困難であるという根本的な問題を解決し得るシステムであると考える。しかし、このシステムは多くの学習者からのデータをもとに、その平均を取った誰にでも何らかの形で適用できるシステムを目的に設計したアルゴリズムから成っているわけではなく、あくまでも、その個人一人の状態に合わせ、個々の理解状況の違いを考慮して最適なシステムを構築することを目的に設計されている。このため、ある程度、その事項について知識のある学習者、また逆に全く予備知識等がなくその勉強を初めて始めるという学習者に対しても、どちらが不利になるという学習システムではない。しかしながら、そのために、その個人にとって、最適な学習規則を導き出し、それを提供できるようになるまでには大量のデータを必要とするので、その学習者 1 人が膨大な回数を繰り返す必要性があり、学習者にとって負担なく有効な規則を迅速に導き出すという要件から離れるということで現実的ではない。

しかし、同じ大学の同じ学部内の学生同士、また同じような学習レベルの学生同士のデータであれば、それらは同じような傾向を示すと考えられるので、これらの学習者に対し、一斉にこのシステムを適用しデータを収集することで、1人の学習者が受ける負担、即ち、ある学習効果規則を導き出すまでに提供する学習履歴データを最小限に抑えることが可能となる。そこからその値を基にすることができるので、改めてその中の、ある個人により適応した学習規則を導き出す処理は、明らかに、何もない状態から始めるよりも高速に結果を導き出すことができるといえる。

第 4 章

並列処理実現による高速処理能力の検証

4.1 緒言

本章では、これまで述べてきたように、効果的な学習システムにおいて、各学習者個人の理解状況を的確かつ高速に判断することが重要であるということに基づき、それを実現するために、並列して処理の出来る部分の検討と、その処理時間についての検証を行う。

4.2 並列処理可能部分

以下の重回帰式において、それぞれの乗算、加算は独立して計算が出来る。

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots + a_n x_n$$

$\sum_1^n a_i x_i$: n 個の乗算・n 個の加算はそれぞれ、並列に処理が可能。

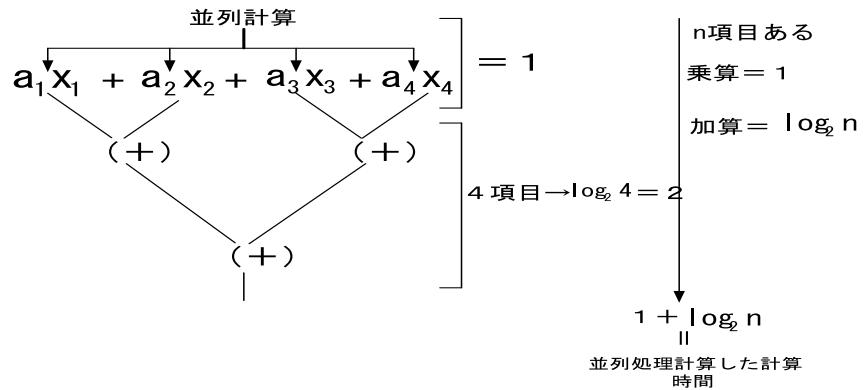


図 4.1 並列処理可能部分

- Client (学習者側)
- Server (問題出題管理部)
- データマイニング処理部

上記の3つはそれぞれ並列して処理が可能である。

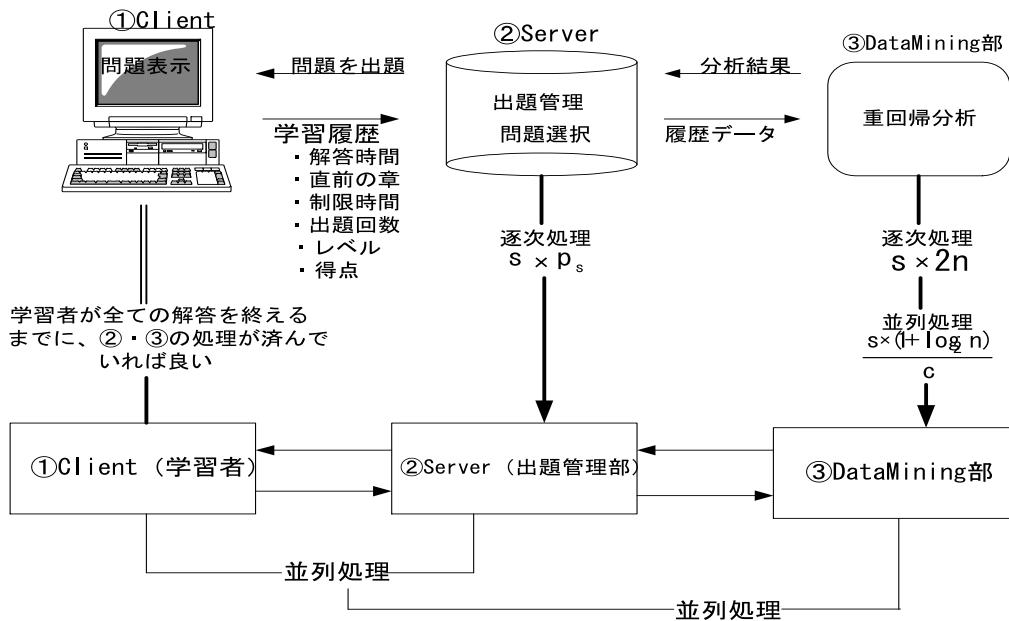


図 4.2 並列処理の様子

表 4.1 計算時間と計算量の見積もり

	計算量	計算時間
DM 処理	$s \times (n + (n - 1))$	$\frac{s \times (1 + \log_2 n)}{c}$
出題管理	$s \times p_s$	$s \times p_s$

※ c:プロセッサ数 s:章の数 p_s :章当たりの問題数 n:項目数 とする。

以上のことから分かるように

$$\frac{n}{2} < c < n \text{ の場合は } \frac{n}{c} + \log_2 n$$

$$n < c \text{ の場合は } 1 + \log_2 n$$

$$1 < c < \frac{n}{2} \text{ の場合は } \frac{s \times (1 + \log_2 n)}{c}$$

であるといえる。

また、以上のような結果から、並列処理を行わなかった場合、乗算部の計算量は項目数分だけ必要となり、また加算部においても（項目数－1）の計算量が必要となる。このように、項目が増えるほど、その処理量は膨大なものとなり、このデータマイニング処理部が全体のシステムの中でボトルネックとなってしまう。これを改善するために、並列にプロセッサを使用して処理を行うことで、重回帰式において、それぞれ独立している乗算部と加算部は並列に処理することが可能であるので、乗算部は1回で処理することができる。また、加算部については、1回ごとに処理を2分の1ずつ減らすことができる所以 $\log_2 n$ の計算時間で処理ができる。これによって、計算時間の高速化が図れ、出題管理部（Server 部）等に見合った性能が実現できる。

4.3 並列処理性能についての考察

図 4.2 が示すように、Client 部・Server 部・データマイニング処理部はそれぞれ独立しているので、並列処理が可能な部分である。このことから、Client 側で学習者が規定の解答を終えるまでに、Server 部とデータマイニング処理部での処理が終了していれば、より高速に問題を出題することが出来、学習者にも時間待ち等の負担が軽減され、効率良く学習を進めることが出来ると考えられる。このことは、言い換えると、Server 部とデータマイニング処理部では、Client 側よりも高速に処理を行う必要性が求められるということである。

また、一方でデータマイニング処理部での処理時間が、Client 側の処理時間よりもはるかに高速ならば、その間に、何項目分、また何人分かのデータの分析処理が行えるという処理

性能を実現することができるといえる。

4.4 結言

本章では、このシステムが、学習者が受ける「次の問題が表示されるのを待たされる」などといった外発的なストレスを軽減し、学習のみに集中できる状態を提供すること、また並列に処理が可能な部分についての処理時間の考察をするなど、効率良く何人分ものデータを分析する処理性能を実現するための並列処理性能についての検討を行った。

その結果、Client 部・Serve 部・データマイニング処理部はそれぞれ独立してあるので、並列に処理することが可能であり、また Server 部のデータマイニング処理部について検討すると、Server 側の出題管理部は並列に処理して計算時間を削減することは出来ないが、データマイニング部では並列にプロセッサを使用して処理を行うことで、計算時間を短縮することができるようになるので、データマイニング処理部がボトルネックとなることなく、全体としての処理時間は短縮されるということが分かる。これにより、このシステムを実際に運用させた際に、どの程度の処理性能が実現できれば、有効に学習システムとして活用できるかという計算時間を導出することができた。

第 5 章

評価・考察

5.1 緒言

本章では、この研究で提案してきた、個人学習の場において有効に動作する CAI システムアルゴリズムについての評価結果とその考察、また作成した学習システムプロトタイプの実装について述べる。

5.2 作成した学習システムプロトタイプの実装について

本システムは、ネットワーク上で多数の学習者に高度な支援が出来るよう、Server-Client 間でのデータのやり取りを目的に、Java applet による問題集の作成を行った。

1. 外部仕様

- 動作環境 : jdk1.3.1
- 操作方法 : 学習者は、順次表示される画面に従い、マウスによるテキストフィールド選択による解答と、ボタン選択による解答画面の移動を行う。

この操作方法をマウスのみの操作に限定することにより、操作を単純化して学習者が学習に集中できる環境を提供すること、またキーボード入力によるタイプミスによる誤答を防ぐことができると考える。

- 出力 : 問題出力において、ランダムに問題を選択・表示
- ランダムに問題を選択することによって、同じ問題表示画面が出力される確率が低くなっている。これにより、学習者が様々な問題の組み合わせを体験するようにな

5.2 作成した学習システムプロトタイプの実装について

なる。

- 正答率の表示

1章解答し終えるごとに、その章の正答率を表示することによって、学習者に成績を明示する。ここでは、1ページ毎の採点結果と、章毎の採点結果の両方について表示している。

2. 仕様の考察

ここでは、学習者の内発的な学習に対する動機付けを図るために、解答し終えるごとに正答率を表示して学習者に対して、解答結果の明示をしている。これにより、学習者は現在の自分の理解状況を明確に確認することができる。

また表示画面のレイアウトに関しては、フォントの大きさ等、見易さの点で改良点が多い部分であるといえる。

以下に実際に Java によって実現した演習問題の GUI 部を提示する。



図 5.1 学習システム GUI 部

5.3 提案したアルゴリズムについて

本学習支援システムの概要・要件についての評価・考察を以下に述べる

1. 受身的な学習を防ぎ、学習に対する動機付けを図るために、出題順序を変化させたり、表示レイアウト等の工夫の提案について。

- この学習支援システムでは、学習者の現在の学習に対する理解状況を的確に判断し、適切な問題レベルを出題することや、問題構成を学習者の状態に合わせて変化させることができるように、学習者の学習履歴から得られたデータを分析するデータマイニング処理部に重回帰分析を用いることによって、データの解析を行っている。これにより、学習者が問題を解答するにあたって発生する様々な学習履歴データ（得点・章毎の正答率・解答時間・出題回数・問題レベル等）の情報から、それらの相関を調べることで、学習者の側に教師がいるのとほぼ同じように学習者に適切な学習出題支援の提案ができると考えられる。これにより、個人学習の場であってもそれぞれの理解度に応じたきめの細かい学習支援が出来るといえる。
- このシステムでは、学習者に実際に問題を表示する機能を Java を使って作成している。ここでは、学習者が学習に対して集中して取り組めるように学習を進めいく上で必要となる画面操作をマウスのみの操作によって行えるようになっている。これは、操作の簡易さによる学習効率を上げることにつながるだけではなく、キーボードからの入力によるタイピングミス等による問題解答の誤りを少なくし、正答率が下がるという事態を防ぐためにも有効であると考える。
また、問題画面の表示レイアウトについては、より学習者が学習し易い環境を提供するという上でも大切な機能の1つであると考える。ここでは、問題画面の色の配色や、文字の大きさ、フォント等が、学習を進めるにあたって最適なレイアウトになるように、工夫してあるが、実際に多くの学習者に問題を表示して解答を進める作業をしてもらうという実験を行うことによって、利用者からの感想や意見を取り

5.3 提案したアルゴリズムについて

入れることで、何らかの改良が望まれ、それによってより良いレイアウトが完成する部分であると考える。

2. 個人の理解状況を的確に判断し、適切な学習計画を立てるために、重回帰分析を用いたデータマイニング処理の採用について。

- 本研究において最も重要な部分である重回帰分析を用いて行うデータマイニング処理部については、ここまで、詳しく述べてきたように、学習者から得られる学習履歴をデータベースに記憶・蓄積し、そのデータを独立変数として重回帰分析を行い、学習者にとって最適な値を導き出すことにあった。のために、本システムでは、最小2乗法を用いることによって回帰式の係数 (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4) を求めた。この最小2乗法では、学習者から送られてくるそれぞれの学習履歴のデータ（独立変数）の誤差を2乗し、（誤差は言い換えると、この場合「距離」を表すことにもなるので、その距離を求めるためという上で2乗する）その和が最小となる回帰式の係数 (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4) を求めることが出来る手法なので、本システムにとっては、学習者一人一人の学習傾向を判断する際に、有効に活用できるデータ解析手法であるといえる。

また今回は、この重回帰分析によるデータマイニング処理を「学習者にとっての最適な問題出題順序」のみに用いて検証を行ったが、その他にも反復学習をするにあたっての、「最適な学習間隔」を求める、また得意な分野と不得意な分野の抽出から「それぞれの章についての最適な問題出題割合」を検証することに使用した場合にも、有効な学習規則が導き出されると思われる。このように、あらゆる個人学習の場面において、その学習者を的確に支援するシステムであると考える。

その他にも、今回提案したこの重回帰分析によるデータマイニング手法は効果的な学習支援を目的としてのシステムであったが、この一連の処理によって導き出されることは学習の分野に限らず、入力するパラメータを換えることで、他の分野にも十分に応用可能であり、何らかの有効な予測結果を導き出すことが出来ると考える。

3. このデータマイニング処理を行うことによって扱われる膨大なデータを高速に処理するための並列処理性能の検証について。
 - 本システムにおいて、個人の学習状況を的確に判断し、適切な学習計画を立てることが出来るように、重回帰分析を用いたデータマイニング処理を用いている。そこで、このデータマイニング処理を行うことによって扱われる膨大なデータを有効に活用するためには、その処理能力に高速性が求められる。これを受け、本研究では、その並列処理性能を検証するために、並列して処理が可能な部分の検討と、その計算時間についての見積もりを出している。その結果、本研究で提案した重回帰分析を用いたアルゴリズムでは、それぞれの回帰式の係数 (a_1, a_2, a_3, a_4) と学習者の学習履歴から得られるデータ（独立変数） (x_1, x_2, x_3, x_4) との乗算、加算はそれぞれ独立しており、並列して処理が行える計算部分であると言えるので、プロセッサを並列に使用し処理を行うことで計算時間の短縮が図れる部分である。また、Client 部（学習者側）、Server 部、データマイニング処理部もそれぞれが独立しており、並列して処理を行うことが可能であるので、並列に処理を実行することで、この学習システムをより有効に動作させることが出来、学習者のストレスを軽減し、学習効果を保証することが出来るといえる。

5.4 結言

本章では、今回提案した3つの学習支援システムについての評価とその考察を加えた。この事から、この学習システムを有効に活用するためには、まず学習者が学習に対する興味・好奇心を持てるよう外発的・内発的な動機付けを図る要件と、実際にこのシステムを運用させた際に、効率良く処理が行えることを目的に、並列処理性能の検証を行った。その結果、レイアウト、成績の上達度合いを表示する等、外発的・内発的な動機付けを行いうことと、並列処理可能な部分の処理計算時間の見積もりを出すことで、有効に動作するシステムであるといえることが明らかとなった。

第6章

結論

計算機の容量の増大や、処理能力の向上、さらにはインターネットにおける WWW に代表される情報通信技術の発達に伴って、ネットワーク環境での CAI に大きな可能性が開け、CAI 分野において有用なシステムの実現が期待されるようになり、これによって、個人学習の場においても効率良く学習が進めらることが可能となっている。

これにより、従来の学校のような集団教育の場、また個人授業においても教師数やその稼動能力の限界から、全ての学習者に対して個人の理解度に合わせる授業を行うことが困難であるという状況を補えるシステムであると考えられる。

しかし、このシステムを用いた個人学習の場において、1人で学習を進める学習者が解答に行き詰った場合を解消するためには、学習者の理解状態の正確な把握とそれに基づく適切な支援が必要であるが、現在の CAI システムでは、これを人間の教師ほど適切に行うこととは容易ではない、またこれらの問題を考慮して現在の CAI システムでは様々なコンテンツを統合し、教材とするシステムや、WWW ベースによる CAI システムによって学習者の理解状況の的確な把握をするシステムの研究開発が活発になってきているという本研究の背景を 2 章で述べた。

そこで、3 章以降では、この CAI システムの現状を受けて本研究で提案した、より良い CAI システムの構築を目指して以下の 3 つの項目を提案し評価・考察を行った。

1. 受身的な学習を防ぎ、学習に対する動機付けの促進を図ることで、学習者が学習に集中できるシステムの構築を行う

2. 個人の理解状況を的確に判断し、適切な学習計画を立てるために、重回帰分析を用いたデータマイニング処理の採用をし、個々の学習傾向の分析から学習効果の要因を導出する
3. 学習者が受ける時間待ち等の負担を軽減するために、膨大なデータを高速に並列処理することを検討し、その計算量を明らかにすることで、このシステムの有効性を図る

その結果、学習者に対して、学習に対する動機付けを行うという点では、解答し終えるごとに、正答率を表示して前回の結果からの上達度合いが明確に分かるようになりますことで、学習者の意識を高めることができると考えられる。しかし、レイアウト等の画面表示は、実際に被験者を用いて意見を得ることで、視覚的な改善を行うという課題が残されている部分であるといえる。

次にシステム全体の構成に関しては、学習者ごとに、学習履歴データをデータベースに蓄積し、重回帰分析を用いてデータマイニング処理を行った。ここでは、最小2乗法を用いることにより、それぞれの重回帰式から、その独立変数を最小とする回帰式の係数を求めることで、その値を学習者個人の学習傾向を示す値として、この係数から最適な直前の章を決定し、これを繰り返すことで、全体の章の並びを決定している。また、直前の章を表す独立変数においては、3桁の整数表現することにより、類似分野のグループ化を図り、同じ階層内での習熟度の予測精度向上が可能となっている。これにより、その個人ごとの問題出題順序を決定し学習計画を再構築するというアルゴリズムを提案した。しかし、このシステムが各個人にとって最適な値を出力するまでには、膨大なデータ量が必要とされ、また実際に有効な規則をデータマイニングで予測するには、多大な時間と労力がかかる事になる。これを解決するために、本研究では、重回帰分析において、それぞれ重回帰式において独立してある乗算部と加算部を並列に処理することで、データマイニング処理部においては、計算量を削減することができ、これによって計算時間の高速化が図れ、出題管理部に見合った性能が実現できるということを示した。また、このような的確で高速な処理を行う並列処理性能の必須と、学習者個人の負担を軽減するために、学習傾向の似た学習者同士のデータを同時に採

取するか、あらかじめ蓄積しておいて、それを分析しておくことで、改めて個人に適用した際には、より速くその個人に最適な値を出力することができると言える。

さらに、将来的な研究テーマ・今後の課題としては次のようなものがあると考えられる。

1. 実際に多数の被験者を用いて実験を行うことで、このシステムの有効性を確認する必要がある。

- 本研究で提案したことは、効果的な学習支援をするために、重回帰分析を用いたデータマイニング手法アルゴリズムである。しかし、実際に被験者を用いての検証実験を実施するという作業を行っていないので、本学習システムに採用したこのアルゴリズムを適用することで、どの程度最適な章の並びが可能であるのか。またランダムに選んだ際の章の並びとはどのように違う結果を導くのか等、その学習効果に対する有効性を証明することはできていない。そのため、なるべく多数の様々な学習傾向を有する被験者を用いて実験を行うことで、このシステムの有効性を確認する重要性がある。これにより、今回提案したアルゴリズムの利点を確認し、それと同時に改良点を検討することが必要である。

2. 的確に学習者の理解状況を把握するための並列処理性能をより検証する必要があると考える。

- 本研究で提案したことは、データマイニング技術を用いて、その目的である巨大データベースからの知識獲得であり、それによって、データ間での規則や属性を発見することを目的としている。本研究では、この技術を教育の分野、特に個人学習の分野に適用し、学習者から送られてくる学習履歴をもとに、学習効果規則を発見することを目標としている。そのため、実際に学習履歴データを提供すること、またそのデータ分析の結果から改めて送られてくる学習計画のサービスを受けるのも、その学習者である。よって、学習者にとって負担なく的確な学習計画であり、また、学習を効果的に進めるという上でも、その再構成された学習問題を提供することは、迅速に行わなければならないという必然を持ち合わせており、その並列処

理性能を向上させることが必須となる。

3. 評価項目とパラメータの入れ替えによる新たな学習効果要因の導出

- 本システムでは、学習者に問題提示をする際の効果的な問題構成について、その評価項目を「最適な章の並び」として、それのみを評価するアルゴリズムの提案を行った。しかし、学習効果は様々な角度から検証することができ、その個人に最適な学習計画構成は多様にあると考えられる。このことは、今回提案した個人に合わせた学習支援手法という理念からも、このシステムが、その多様性に対応できるシステムでなくてはならないと考える。そこで、これらを踏まえて今後の課題としては、学習効果をもたらす上で重要であると思われる要因から、様々な評価項目を取り上げると同時に、その項目に適当であると思われるパラメータから、それによつて効率的に学習効果を導き出せるアルゴリズムの提案を行い、そのアルゴリズムを用いた学習システムの有効性を実現する必要があると考える。

謝辞

本研究に於いて懇切なる御指導、御鞭撻を賜った岩田 誠 教授に心より感謝の意を表します。

本研究室の基礎としているデータ駆動型アーキテクチャを提唱され、様々な御示唆を賜った、寺田 浩詔 教授に心より感謝の意を表します。

本研究に於いて、副査をお受け頂きました、清水 明宏 教授、Ruck Thawonmas 助教授に心より感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり、様々な御助言、御指導を賜った高知工科大学 情報システム工学科の坂本 明雄 教授、島村 和典 教授、岡田 守 教授、門田 幹夫 教授、David Greene 教授、Lawrence Hunter 教授、竹田 史章 教授、菊池 豊 助教授、篠森 敬三 助教授、明神 千代 助教授、福本 昌弘 助教授、浜村 昌則 講師、任 向実 講師、妻鳥 貴彦 助手、近藤 剛 実験講師に、心より感謝の意を表します。

本研究を進めるにあたり、適切なる御助言、御指導を賜った大森 洋一助手に深く感謝の意を表します。

日頃から温かい御支援、並びに御助言を頂いた大学院生の細美 俊彦 氏、別役 宣奉 氏、森川 大智 氏、橋本 正和 氏に心より感謝の意を表します。

日頃から、多くの御意見、御支援を頂いた岩田研究室の方々、小倉 通寛 氏、三宮 秀次 氏、志摩 浩 氏、中村 獢二 氏、長野 光 氏に、感謝の意を表します。

日頃から御意見、御支援を頂いた岩田研究室の後輩の方々、荒木 俊介 氏、岩井 秀樹 氏、大石 祐子 氏、西山 直人 氏、宮崎 康徳 氏、山岡 正明 氏に心より感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 江原 淳 訳, “データマイニング手法”, 海文堂出版, 2001.
- [2] 玉城 幹介, 桑原 恒夫, 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”, 情報処理学会論文誌, 2000.
- [3] 大林 史明, 下田 宏, 吉川 榮和, “仮想生徒へ「教えることで学習する」CAI システムの構築と評価”, 情報処理学会論文誌, 2000.
- [4] 松澤 裕史, 福田 剛志, “複数の集約演算のための並列アルゴリズム”, 電子情報通信学会論文誌, 1999.
- [5] 福田 剛志, 森本 康彦, 森下 真一, 徳山 豪, “データマイニングの最新動向-巨大データから知識発見技術-”, 情報処理学会論文誌, 1996.
- [6] 先進学習基盤協議会/TBT コンソシアム, “CMI/SCORM ガイドライン 1.0 版”, 2001.
- [7] Farkas,K. and Jouppi,N.:Complexity/Performance Tradeoffs with Non-Blocking Loads, Proc. 21st Annual International Symposium on Computer Architecture, pp.211-222(1994).
- [8] <http://www.alic.gr.jp/activity/2001/iop/wg2.htm>
- [9] “SPI 実践問題集”, 高橋書店, 2002.
- [10] 伊藤 誠彦, “SPI 無敵の解法パターン”, 高橋書店, 2002.
- [11] 白石 弘幸, “業界別対策 一般常識 SPI 情報・通信”, 早稲田教育出版, 2002.