

XSLT 技術を用いた教材自動作成システムと その仕様拡張に関する考察

白田 由香利

学習院大学 経済学部 〒171-8588 東京都豊島区目白 1-5-1

E-mail: yukari.shirota@gakushuin.ac.jp

要旨 近年の教育界における Web 教材利用の拡大は顕著であるが、他方、その教材作成の手間及び専門知識の習得に時間が掛かり、教育現場の問題となっている。我々は、XML、XSLT などのセマンティック Web の技術を用いて教材の自動生成をはかり、この問題を解決しようと考え、e-Math システム EBL バージョンを開発している。本 EBL システムの特長は、教師が最低限の、文章題に関するメタレベル記述を記載し、それをシステムに入力すると、自動的に XML ファイルが生成され、指定の XSLT を通して Web ブラウザ上に教材が表示される点である。従来から RDF や XLT のセマンティック Web の技術を用いて教材を自動生成する研究はあるが、本システムでは、仮想キャラクタによる会話機能も XSLT 上のプログラミング機能として予め定義してあること、及び、数学の公式や経済の概念・知識などを予め知識ベースに格納し、その公式を組み合わせ、ゴールである関係式を推論させること、及び、数式処理システムは、MathML やイメージファイルなどの Web 上の数式表現を生成する機能を実現したことが挙げられる。これらの機能により、教師は数学の細かい計算及び、その数式表現の Web 化に伴う煩雑な作業から解放され、さらに、コンピュータ知識がない教師でも仮想キャラクタを用いた学生との会話機能を自動生成可能となった。本論文では、学生が実際に使ってみての使用感に関するアンケートを元に、現在の XML タグスキーマ、メタレベル記述ファイルのスキーマ、及び知識ベースへの知識ルールの格納する際のデータスキーマに関する拡張について考察する。

キーワード セマンティック Web, XML, XSLT, Web 教材, 自動生成, 知識ベース.

A Study of Automatic Generation System for Learning Materials Using XSLT Technologies and Extension of its Specifications

Yukari SHIROTA

Faculty of Economics, Gakushuin University 1-5-1 Mejiro, Toshima-ku, Tokyo, 171-8588 Japan

E-mail: yukari.shirota@gakushuin.ac.jp

Abstract Today, an increasing number of universities use distance learning systems by using World Wide Web. However, there exists a cost problem for teachers to develop learning materials. It takes a lot of time, practice, and devotion for teachers. To solve the problem, we have developed an automatic generation system which is called e-Math EBL version for learning materials using the Semantic Web technologies such as XML and XSLT. The teacher has to only to write the minimum information of the target problem as a meta-level description file. The system then executes the remaining material generation transactions, which includes generation and displaying XML files through XSLT stylesheets. Compared with the existing learning material automation systems, the features are (1) the interactive dialogues with a virtual character are in advance programmed in the XSL stylesheets, (2) a solution plan and calculations are automated from a knowledge base of mathematical formulas and economical rules, and (3) a mathematical software generates the mathematical expressions as MathML format and image files. By using our system, teachers would be released from tedious XML programming work to devote their energies to more creative work. In this paper, based on questionnaires filled out by students, we will describe how we should extend the specifications for the current XML tag schema, meta-level description file format, and the data schema of the knowledge base.

Keyword Semantic Web, XML, XSLT, Web-based learning materials, automatic generation, knowledge base.

1. はじめに

近年の教育界における Web 教材利用の拡大は顕著であるが、他方、その教材作成の手間及び専門知識の習得に時間が掛かり、教育現場の問題となっている。我々は、XML^{1,2}、XSLT³などのセマンティック Web⁴の技術を用いて教材の自動生成をはかり、この問題を解決しようと考え、e-Math システム

EBL(Explanation-Based Learning)バージョンを開発している^{5,6,7}。本 EBL システムの特長は、教師が最低限の、文章題に関するメタレベルデータを記載し、それをシステムに入力すると、自動的に XML ファイルが生成され、指定の XSLT を通して Web ブラウザ上に教材が表示される点である。従来から RDF や XLT のセマンティック Web の技術を用いて教材を自動生成する研

究はあるが、本システムでは、仮想キャラクタによる会話機能も XSLT 上のプログラミング機能として予め定義してあること、及び、数学の公式や経済の概念・知識などを予め知識ベースに格納し、その公式を組み合わせて、ゴールである関係式を推論させること、及び、数式処理システムは、Web 上の数式表現 (MathML やイメージファイル) を生成する機能を実現したことが挙げられる。これらの機能により、教師は数学の細かい計算及び、その数式表現の Web 化に伴う煩雑な作業から解放され、さらに、コンピュータ知識がない教師でも仮想キャラクタを用いた学生との会話機能を自動生成可能となった。

本 EBL システムは 2003 年 10 月より、経営数学の受講者を主たる対象として学内で Web 公開している。本論文では、学生が実際に使ってみての使用感に関するアンケートを元に、現在の XML タグスキーマ、メタレベル記述ファイルのスキーマ、及び知識ベースへの知識ルールの格納する際のデータスキーマに関する拡張について考察する。

次節では、セマンティック Web の技術を用いた教材作成システムの関連研究について論じる。第 3 節では、e-Math システム EBL バージョンのシステム構成と利用方法を概説する。第 4 節では、利用者アンケートの結果について考察を行う。第 5 節は、まとめと今後の研究課題について述べる。

2. 関連研究

本節では、EBL システムに関係する以下の 2 つの研究分野の関連研究を順に説明する。それぞれの対象は e-Learning システムである。

- (1) セマンティック Web 及びメタデータ
- (2) 数学問題及び解法の自動生成

(1) セマンティック Web 及びメタデータ

まず教材に対するメタデータとしては、IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC) が Dublin Core⁸ の拡張として定義している "Learning Objects Metadata Standard" (LOM)⁹、SCORM (Sharable Content Object Reference Model)¹⁰、IMS (Instructional Management Systems)¹¹ などがある。教材を世界中で交換する場合こうしたメタデータ標準化は重要である。例えば LOM においては、教材作成者、言語、キーワードなど全部でおよそ 80 個の属性が定義されているが、その中で教材内容の類別を行う際に重要な LOM のタグは "dc:subject" であり、これにより上位及び下位テーマなどのテーマ階層を参照可能とする。タグ "dc:subject" の使い方については IEEE Learning Object RDF Binding Guide などの参考文献がある¹²。こうした教材用メタデータを用いた教材検索の研究として、Edutella^{13, 14}、ARIADNE¹⁵ などがある。メタデータを用いて利用者に適合したハイパーメディア (adaptive hypermedia) を作成する研究も多数ある^{16, 17, 18, 19, 20, 21, 22}。また、メタデータを用いた、複数の教師を作成及び編集者として想定した協調的な教材開発システムも盛んに研究され

ている^{23, 24, 25}。

我々の研究が上記の研究と異なる点は、EBL などの人工知能的なアプローチで学生と自然な対話を行うことを目指していることである。仮想キャラクタの教師は問題が解けずに行き詰った学生に対し、有効なガイダンスや教材提示を個人個人の反応に合わせて動的に行う。既存研究が関連教材の検索による教材の自動構成を目指すのに対し、我々は、問題解決のプランを学生に思いつかせ、正しい解法を学生に習得させるようなガイダンスの自動生成を目的とする点が異なる。

(2) 数学問題及び解法の自動生成

次に数学問題に特化した自動生成システムについて述べる。

高校教師である畑が開発した MathTeX は、高校数学レベルの微積分などの簡単な計算問題を、乱数を用いて自動的に作成するソフトウェアであり、同時にその答えも求めて TeX 形式のファイルとして出力する²⁶。また、WME という数学の Web 教材を自動生成するシステムがあるが²⁷、このシステムも与えられた問題を自動的に Web 化する際に XSLT 技術を用いて教師の手間を軽減するのみで、問題解決のプランを生成するなどの機能はない。同種の数学教材システムとして、WIMS²⁸がある。これらのシステムには、従来煩雑であった数式の Web 化作業を簡略化する各種の手法が提案されている、しかし、教師の指示通りの計算問題の Web 教材を作るだけであり、教師がどのように対話して支援するかなど、教師の台詞の自動生成を含む対話的教材の作成機能はない。



```
J4-11.txt - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
ID:RedBook4-11
title:Maximizing Profits with a Demand Function
keyword:derivative,optimization
data:profit,Pi
data:quantity,Q,Q>0
data:price,P,Q-90+2*P=0,P>0
data:averageCost,AC,AC=Q^2-8*Q+57+2/Q
data:revenue,R
data:cost,C
unknown:profit
given:price,averageCost
relationship:Pi=R-C; R=P*Q; AC=C/Q
find:max(profit,quantity)
```

Figure 1: A meta-level description file that a teacher writes and inputs to the Interaction Agent.

図 1: 教師が記載し Interaction Agent に入力するメタレベル記述ファイル

3. e-Math EBL バージョン概説

本節では、我々が開発した e-Math システム EBL バージョンのシステム構成について概説する。以下、EBL システムと略して呼

ぶこととする。EBL システムは、学生が問題を選択すると、教材が逐次動的に生成され、Web ブラウザ上に表示される。本 e-Math システムの最終ゴールは、学生に対する仮想教師の、きめ細やかな自然なガイダンスの実現である。そのため学生の反応に応じて教師側の対応を動的に変化させる必要がある。学生からの入力を受け取り、動的に教材を生成する EBL システムのメインプロセスを Interaction Agent と呼ぶ。

本システムの利用方法を、教材を作成しようとする教師の視点から説明する。現在のバージョンでは、解くべき問題を経済数学及び数学一般を対象とする最適化問題と設定している。教師が最適化問題の文章題に関する Web 教材を作成する際に、行うべき作業は、メタレベル記述ファイルを記載することだけである。図1にメタレベル記述ファイルの記述例を示す。このメタレベル記述ファイルをシステムに入力すると、Interaction Agent は図2に示すような XML ファイル群を生成する。そして予め用意された XSLT スタイルシートを用いてこれらの XML ファイルが Web ブラウザに表示される。その様子を図3、4に示す。

図1に示すメタレベル記述ファイルで定義した最適化問題は、経済数学における典型的な問題である利潤最大化問題である。以下ではこの文章題を用いて、システムのフローを説明する。この問題では、利潤(profit) Π を最大化する生産量(quantity) Q の値を求めようとしている*。そのため、 Π の関数式 $\Pi(Q)$ をまず求める。図1で定義したように、本問題では以下の2式が与えられている(図1の"data"の項参照)。

- (1) 1個当たりの平均費用関数 $AC=AC(Q)$
- (2) 価格 P と取引量 (生産量) Q の関係を表わす需要関数 $f(P,Q)=0$

また、一般的経済知識として以下の3つの関係式が指定してある(図1の"relationship"の項参照)。

- (3) 利潤=収入-費用, $\Pi=R-C$.
- (4) 収入=価格×取引量 $R=P\times Q$.
- (5) 平均費用=費用÷取引量 $AC=C\div Q$.

これらの関係式は知識ベースに蓄積されているものを利用する。EBL 現バージョンでは直接、教師が利用する関係式をメタレベル記述ファイルに記載するようになっている。しかし、EBL 次期バージョンでは、これらの関係式は知識ベースにルールとして格納し、Prolog を使って推論し求めたい式を導出する予定である。現在、関係式を一般的なルールとしてどのようなスキーマ

で格納すべきか、関係式に関連するデータの効率的検索実現のためのメタデータ付加の方式などを検討している。

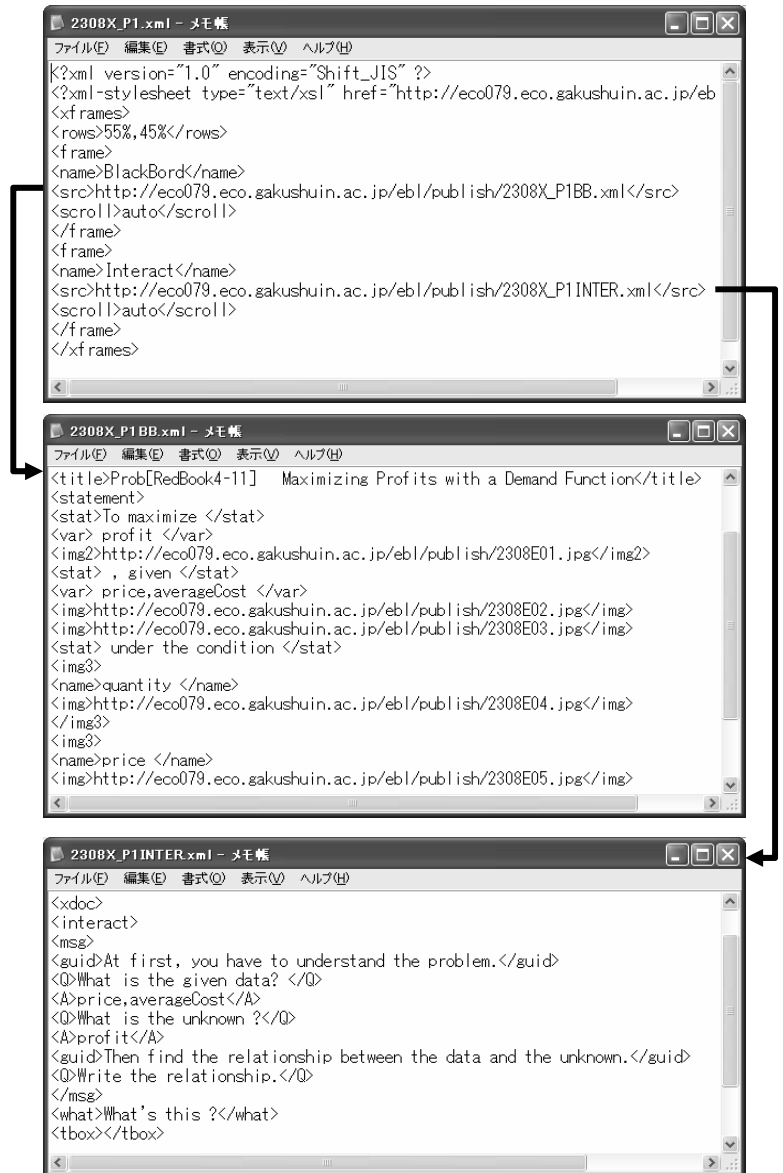


Figure 2: Generated XML Files

図2: 自動生成された XML ファイル

メタレベル記述ファイルに記載する内容は、以下の通りである。これらは数学の問題一般に適用可能であり、問題定義、及び、教師が正しい解法を作成するために必要とされる知識である。

- (1) 与えられたデータと条件は何か。
- (2) 求めたいデータは何か。
- (3) 与えられたデータと求めたいデータの間の関係は何か。
- (4) 解法プランはどのようなものか。

我々の開発した Interaction Agent は、入力されたメタレベル記述ファイルのみから、対応する XML ファイルを自動生成する。その際に、以下のサブモジュールを必要に応じて呼び出す。

* 本システムでは、メタレベル記述ファイルに Π と書くと、Web 表示ではギリシャ文字の Π に変換される。

- (1) 推論エンジン(Prolog インタプリタ)[†].
- (2) 数式処理システム(Maple²⁹).
- (3) 数式表現サーバ(Equation Server³⁰).
- (4) Web ページ生成器.

上記サブモジュールを説明する. まず数式処理システムは人間に代わって与えられた連立方程式や微積分などの数式を記号的に解くために用いている. また動的にグラフを描画表示するため, 数式処理システムのグラフ描画機能を用いている.

数式を Web ブラウザ上に表現することは従来, 容易ではなかった. しかし近年の MathML などの技術の発達により数式を Web 表示する技術が成熟してきた³¹. 我々の EBL システムでは, MathML を含む各種数式表現形式ファイルを生成するため, Equation Server と呼ばれる市販のツールを用いている. Equation Server が生成した数式イメージファイルは, XML に埋め込む形で Web 上に数式を表示している. 例えば, 図 2 の上から 2 番目の XML ファイルの中に“”という XML タグが在るが, このタグ値として, 生成されたイメージファイル名が埋め込まれている.

残る最後のサブモジュールが, Web ページ生成器である. この Web ページ生成器は Perl で開発した. Web ページ生成器プロセスが, 他の 3 つのサブモジュール, 推論エンジン, 数式処理システム, 数式表現サーバを起動する. ページ生成は解法プランに基づいて行われる. 解法プランは本来, 汎用知識としてルール化され知識ベースに蓄積されているものから検索して利用すべきであるが, 現在の EBL システムでは, 対象を最適化問題と限定しているため, 「最大値を求めるプラン」及び「最小値を求めるプラン」の 2 つの数学的手法を「解法プラン関数」として Perl で書いて登録している. 図 1 に示すメタレベル記述ファイル中の“find”属性の値として“max()”とあるが, これが解法プラン関数である. 解法プラン関数には, 解法のための(A)数学的手法アルゴリズム, 及び, (B)その解法過程に対応する XML タグの生成手法(具体的にはそれを print 文で書き表す)の 2 種類が記載されている. もし新たな文章題パターン, 例えば, ラグランジュの未定乗数法を新規登録する際には, それに対する解法プラン関数を作成し登録する. 将来的には解法プランも知識として知識ベースに登録したい. 現在は解法プラン関数の中に, 数学的手法アルゴリズムとその XML によるプレゼンテーション生成法, の 2 種類の異なる知識が混在しているが, これを分化して, 数学的手法アルゴリズムは知識ベースのルールとして登録, 他方, XML によるプレゼンテーション生成法は Perl ライブラリとして整備したいと考えている.

Web 上でのプレゼンテーション方式は XSLT スタイルシートを変更することで, 変更可能である. この XSLT スタイルシートは予め作成して, スタイルシート DB に格納してある. 本 EBL システムにおいては, Microsoft Agent³² による仮想キャラクタが画面に出現し喋るようにした(図 3, 4 参照)[‡]. Microsoft Agent の制御は VBScript プログラムによって行うが, この制御用プログラムを我々のシステムでは, XSLT スタイルシートに埋め込んでいる. そして仮想キャラクタの喋りに対応する XML のタグとして「質問」, 「回答」, の 2 種類のタグ“<Q>”, “<A>”が定義してあり, XML タグ値の台詞を喋るようになっている.

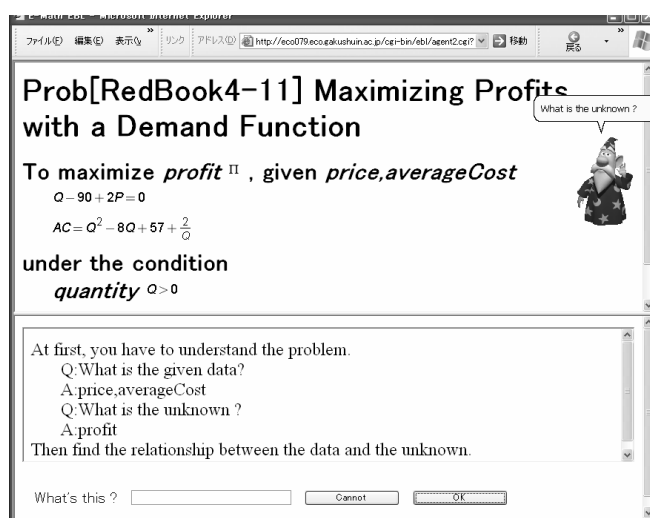


Figure 3: Sample screen of a generated XML file (the first page of the learning materials)

図 3: 生成された XML ファイルがブラウザ上に表示された様子(教材の 1 ページ目)

4. アンケート結果と考察

現在の EBL システムの仕様の評価のため, 学生に対してアンケートを行った. 本節ではその結果を元に, 仕様拡張のための考察を行う. また既存関連研究及び既存システムの仕様についても合わせて言及する.

アンケートの自由回答及び直接学生に対して行った詳細ヒアリングの結果を以下に示す.

- (1) 問題を提示した 1 枚目のページで, 難しいと予想される用語や概念に対しては, 説明ページへのリンクを付けてほしい. 例えば, profit, averageCost.
- (2) Relationship の部分(図 4 参照)に数式が書いてあるが, 数式の表わす概念や意味について説明が必要なものもある. 数式に対しても説明ページへのリンクを付けてほ

[†] 先に述べた理由から, 現バージョンではまだ, 推論エンジンを起動するようにはなっていない. しかし, システムとしては, 推論エンジンを前提として設計してある.

[‡] Microsoft Agent の日本語エンジンは利用ユーザがパソコンの administrator 権限を持たないと動作しない. 大学の e-Learning 環境としてこれは問題であり, 仕様変更が望まれるところである.

しい。

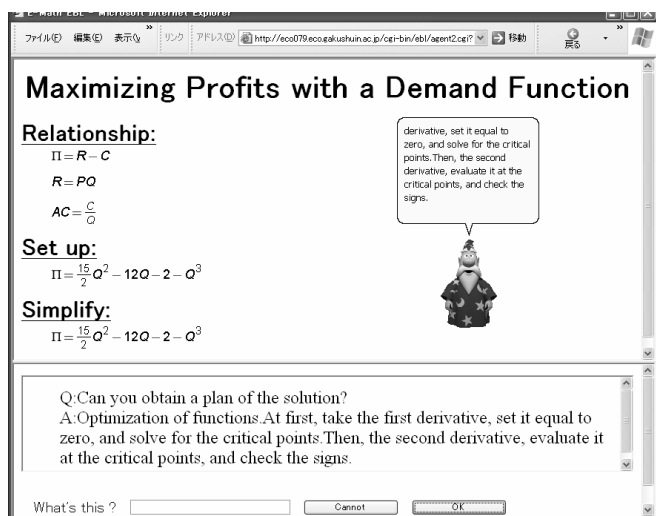


Figure 4: Sample screen of a generated XML file (the second page of the learning materials)

図4: 生成されたXMLファイルがブラウザ上に表示された様子(教材の2ページ目)

- (3) 微分の公式がいつでも参照できるようにしてほしい。微分公式を忘れてしまうため。
- (4) 数式のSet up部分(図4参照)で、数式変形後の結果だけが書いてあるが、途中の計算過程もステップ・バイ・ステップで示してほしい。また、それは人間の教師が行うような変形の仕方であってほしい。
- (5) 一階導関数式=0とおいた式を解くとき、途中の計算過程も参照できるようにしてほしい。式の係数の約分、係数の次数の高い順に左から並べる、などの通常の操作をきちんと表示してほしい。因数分解で解いた場合は、その因数分解意式を示してほしい。また2次方程式の解の公式を利用した場合は公式を参照できるようにしてほしい。
- (6) 現バージョンでは、真面目に計算をしない人が出ると思う。真面目に計算をしなくては先に進めないような仕組みがほしい。
- (7) 図形に関する問題には、図的關係を示した説明を付けてほしい。
- (8) 文章題として、もっと長くする説明してほしいものがある。
- (9) 全然解答が思いつかない場合、仮想キャラクタは、何か効果的なガイダンスを行ってほしい。
- (10) いつでも、どの式に対してもボタン一押しで、容易にそのグラフが見られるようにしてほしい。

これらの学生からの要望をもう少し詳細に説明する。また、その機能拡充に対する方針についての考察も記す。

<関連教材へのリンク>

上記(1)から(3)の要望は、関連教材へのリンクを張ってほしいという内容のものである。これに対応するためには、汎用的な概念や関係式、数学公式の教材を作成し知識ベースに予め格納して準備しておく必要がある。そして動的にWeb教材を生成する際に、Web中の用語や数式から、これらの一般的説明教材のうち関連するものを検索して発見し、それに対してリンクを自動的に生成する、というような機能が望まれる。数学のテキストに特化したキーワード検索の研究としては、中西らの研究がある³³。

<ステップ・バイ・ステップに行う式の変換>

次にステップ・バイ・ステップに行う計算過程の生成機能について論じる。これは上記(3)及び、(4)、(5)の式の変換過程に関係することである。現バージョンのEBLシステムにおいては、学生はMoreDetailボタンを押すことで、適応した微分公式を示す、詳細な微分過程を参照可能である。こうしたステップ・バイ・ステップに行う微分過程説明機能は数式処理システムMapleに備わっているものを利用している。こうしたステップ・バイ・ステップ説明機能は、既に微分、積分、行列操作の分野で実用化されており、Calc101.com社が数式処理システムwebMATHEMATICA³⁴を用いて開発したAutomatic Calculus and Algebraなどがある³⁵。こうした説明の中には、適応した公式の名称が含まれているので、その公式名から公式の説明を行う教材に対してリンクを張ると、学生に分かりやすいであろう。

数式の変換に関する(4)の要望であるが、これは連立方程式をどのように解くかという手法に関係する。図3及び4に示されるように、この最適化問題では、与えられた式が2式($f(P,Q)=0$ 及び $AC=AC(Q)$)であり、知識として用いられる関係式が3式あり、合計5式となる。他方、変数は、 Q, P, AC, Π, R, C の6個である。現在Interaction Agentは数式処理システムに、これらの連立方程式を1変数(この例では変数 Q)を媒介変数として一気に解かせている。そしてその返り値の中から目的変数(この例では $\Pi=\Pi(Q)$)を抽出して表示している。殆どの学生の要望は、このように機械的に一気に解く方式ではなく、逐次的に変換し表示するという仕様を望むものである。こうした機能実現のためには、Prologなどの言語により数式処理システムを開発することが必要となる。数式処理を行なうことで、既に与えられた式及び知識ベースに格納されている公式などを適応して、求めたい変数を図5に示すような最終的な式に逐次的に変形させる。そして、この決定木に基づき、次の微分計算を行う。要望(5)に関しても、数式処理システムを開発あるいは結合することで実現可能である。簡単な因数分解プログラムであればPrologのテキストに載っている³⁶。前述したように、数学的手法アルゴリズムは知識ベースのルールとして登録する

ことが望ましいと考える。

式の変換に関しては、上記のような変換過程の生成機能と同時に、それをどのように表示するかという変換過程表示の問題がある。そうした式の変換の過程を Web 上で実現したデモとして、Equation Server の対話型デモがある。これは利用者がボタンを押す度にステップ・バイ・ステップにその場で式の変形が行われる。これは Java applet を用いて実現してある³⁷。

<数式入力ツール>

要望(6)は、学生が自分で紙上で計算した結果をコンピュータにどのように入力可能かという、数式の入力ツールの問題と深く関係がある。畑が開発した Web 上で動く関数電卓 MathCalc の数式入力部は、変数の次数ごとの係数部が穴埋め可能となっている³⁸。例えば、“□x²”のような空欄があり、ここに係数を入力する。入力は限定されているが、学生によって入力容易であるという利点がある。また、前述した Desin Science 社の WebEQ には Input Control という数式入力 applet がある。これはフリーフォーマットで数式が入力可能である。両者の入力形式は必要に応じて使い分けていく必要があるであろう。

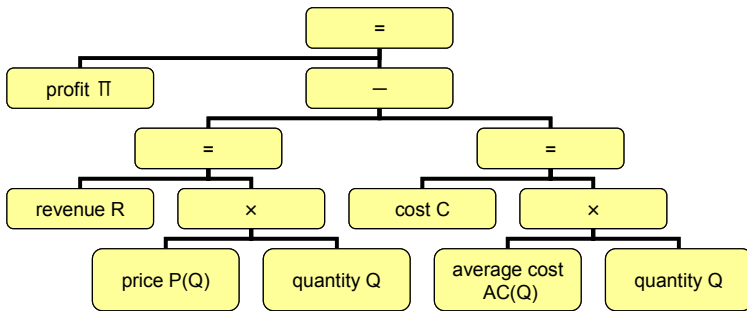


Figure 5: Resultant expression tree by symbolic transformations of an inference engine.

図 5: 推論エンジンによる数式変換処理結果得られる数式の木

<問題に特化した説明の付加>

要望(7)及び(8)は問題に特化した説明を必要に応じて提示する機能を望んでいるものである。まず(7)の要望を説明するために、以下に示すような図形に関する問題例を示す(文献³⁹に在った問題を変形した):

There is a right circular cone of base radius 2cm and height 6cm standing on a horizontal table. A cylinder of radius xcm stands inside the cone with its axis coincident with the axis of symmetry of the cone and such that the cylinder touches the curved surface of the cone. To maximize the volume of the cylinder, find the x value.

文章題では、その中で述べられている物と物の関係が複雑で

あることが多い。特に図形問題では、問題の意味を図的に描写する能力が問われる。上記の例の場合、文章だけから図的な関係図を自動生成することは、自然言語処理システムなどと結合しない限り、不可能である。

一般的にみて、学生が行き詰る理由として以下の2つの場合が多い。

行詰まりの理由

- (1)問題の意味が理解できない。
 - (1a)一般的な用語や概念の解説を必要とする。
 - (1b)問題に特化した解説を必要とする。
- (2)問題の解法が思いつかない。

ケース(1)の場合、必要とする知識の種類によって、一般的解説あるいは問題に特化した解説の2通りに類別できる。ケース(1a)の対処方式としては、前述した<関連教材へのリンク>で述べた手法がある。しかし、この際も同一の説明教材を提示するのではなく、現在学生が解こうとしている問題に特化した、説明教材に変形させることが望まれる。その方が学習効果が高いと考えられるからである。

上記した要望(7)及び(8)は上記ケース(1b)に該当する。

人間の教師であれば、文章を1文ずつ学生と一緒に理解していくという分割手法を採ると予想される。そしてステップごとに学生の理解の不正確さを指摘しながら、問題全体の関係式に導くであろう。しかし、学生が予想外の反応をすることもあり、予め用意しておいた雛形回答では対応しきれないことも予想される。ケース(1b)に対してどのような知識ベースの利用方法があるかは、今後の研究課題としたい。

<行詰まり学生に対するガイダンス>

上述した行詰まりケースの中で、学生との対話機能実現が最も困難なものが、(2)問題の解法が思いつかない、という行詰まりケースであろう。Pólya は学生が行き詰った場合、以下のような教師の問いかけが効果的であると述べている⁴⁰。

- 似た問題を知っているか?
- 前に部分的にでも、その問題を見たことがないか?
- この問題に関係した問題を解いたことがないか?

行き詰った学生はこのような問いかけに対して以前自分が解いたあるいは見た問題を思い出すかもしれない。もし忘れていた場合は、学生の学習履歴トランザクションから、該当する問題を検索し、提示することで学生を支援できる。そのような問いかけに対しても学生が全く答えられない場合は、システムは学生に合わせて問題を変形する必要がある。それは、汎化、特殊化、類推や、各種の分割と統合などにより達せられる。こうした問題変形には、人工知能的アプローチが有効と考える。

機械学習の手法として Explanation-Based Learning(EBL)及びそれに関する汎化手法として Explanation-Based Generalization(EBG)がある⁴¹。EBG を用いた教育手法に関する研究は多数行われている^{42, 43, 44, 45, 46}。これらの手法は問題変形及び教師の問いかけの生成に有効であると考えられるので、我々の e-Math システムは徐々に EBG アプローチを取り入れて機能を拡充していきたいと考える。

5. まとめ

本 EBL システムの特長は、教師が最低限の、文章題に関するメタデータを記載し、それをシステムに入力すると、自動的に XML ファイルが生成され、指定の XSLT を通して Web ブラウザ上に教材が表示される点である。従来から RDF や XLT のセマンティック Web の技術を用いて教材を自動生成する研究はあるが、本システムでは、仮想キャラクタによる会話機能も XSLT 上のプログラミング機能として予め定義してあること、及び、数学の公式や経済の概念・知識などを予め知識ベースに格納し、その公式を組み合わせて、ゴールである関係式を推論させること、及び、数式処理システムは、Web 上の数式表現(MathML やイメージファイル)を生成する機能を実現したことが挙げられる。これらの機能により、教師は数学の細かい計算、及び、その数式表現の Web 化に伴う煩雑な作業から解放され、さらに、コンピュータ知識がない教師でも仮想キャラクタを用いた学生との会話機能を自動生成可能となった。本論文では、学生が実際に使ってみての使用感に関するアンケートを元に、現在の XML タグスキーマ、メタレベル記述ファイルのスキーマ、及び知識ベースへの知識ルールの格納する際のデータスキーマをどのように拡張すべきか、その方針について考察した。その結果、比較的实现が容易な機能として、関連教材へのリンクの自動生成、ステップ・バイ・ステップに行う式の変換過程の生成、数式入力機能の付加などが挙げられた。また、実現が困難な課題としては、問題理解や問題解決方法が分からなくて行き詰った学生に対する、ヒントや問いかけの生成、というものがあった。学生が全く答えられない場合は、システムは学生に合わせて問題を変形する。それは、汎化、特殊化、類推や、各種の分割と統合などにより達せられる。こうした問題変形には、機械学習の手法である Explanation-Based Learning(EBL)及びそれに関する汎化手法としての Explanation-Based Generalization(EBG)が有効であると考えられる。我々の e-Math システム EBL バージョンはそのシステム名の通り、EBL/EBG アプローチの実現を目指すものであり、順次実現して学生支援機能を拡充していきたい。

最後に本システムの活用法について追記したい。最適化問題などの各種の文章題を多数生成することは、「問題提示型試験」への利用法にもつながる。この問題提示型試験とは、学生に試験勉強をさせる際、多数の(例えば 100 題)試験問題を予め Web 上で公開し、期末試験には、提示した問題中からランダムに選択し

出題する方式である⁴⁷。この方式を提案した竹内達によると、問題を事前に公表するので、複数の人々によるチェックが可能となり、試験問題の客観性の向上、品質向上、奇問・難問の排除を期待でき、また、問題漏洩の心配もなく、さらに通常の試験に比べて試験の成績が運に左右されることが少なくなるので真面目な努力が報われるため自習意欲の向上につながる、とその利点を述べている。我々の EBL システムは、このような試験問題を生成する際においても効果を発するものと期待できる。

文 献

- ¹ W3C: XML, <http://www.w3c.org/TR/xmlschema-2/>.
- ² Michael C. Daconta, Leo J. Obrst, Kevin T. Smith, and Leo Joseph Obrst: The Semantic Web: A Guide to the Future of Xml, Web Services, and Knowledge Management, John Wiley & Sons Inc, 2003.
- ³ W3C: XSL Transformations (XSLT) Version 1.0, W3C Recommendation 16 November 1999, <http://www.w3.org/TR/xslt>.
- ⁴ Thomas Passin: Semantic Web: A Field Guide, Independent Pub Group, 2003.
- ⁵ Yukari Shirota: "Applying XML and XSLT Techniques to Personalized Distance Learning System for Business Mathematical Education," Proc. of The International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2004), Fukuoka, Kyushu, Japan, March 29 - 31, 2004 (in printing).
- ⁶ Yukari Shirota: "Knowledge-Based Automation of Web-Based Learning Materials Using Semantic Web Technologies," Proc. of The Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing (C5), Kyoto, Japan, January 29-30, 2004, pp. 24-31.
- ⁷ Yukari Shirota: "A Metadata Framework for Generating Web-Based Learning Materials," Proc. of The 2004 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2004) Workshops, Tokyo, January 26 - 30, 2004, pp.249-254.
- ⁸ Dublin Core Metadata Initiative (DCMI), <http://dublincore.org/>
- ⁹ Learning Technology Standards Committee of the IEEE: Draft Standard for Learning Objects Metadata IEEE P1484.12.1/D6.4.12, June 2002.
- ¹⁰ Advanced Distributed Learning: SCORM, <http://www.adlnet.org>.
- ¹¹ IMS Global Learning Consortium, <http://www.imsglobal.org/>.
- ¹² Mikael Nilsson, IMS Metadata RDF binding guide, May 2001, <http://kmr.nada.kth.se/el/ims/metadata.html>.
- ¹³ Jan Brase and Wolfgang Nejdl: Ontologies in eLearning, Tech. rep., University of Hannover, Nov. 2002. to be published in "Handbook on Ontologies", Springer-Verlag 2003.
- ¹⁴ Edutella, <http://edutella.jxta.org/>.
- ¹⁵ Ariadne: Alliance of remote instructional authoring and distributions networks for Europe, <http://ariadne.unil.ch/>.
- ¹⁶ Nicola Henze and Wolfgang Nejdl: Knowledge Modeling for Open Adaptive Hypermedia, Proc. of the 2nd International Conf. on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based System (AH 2002), Malaga, Spain, May 2002.
- ¹⁷ Kenneth M. Anderson and Susanne A. Sherba: Using open hypermedia to support information integration, Proc. of OHS7 - the 7th International Workshop on Open Hypermedia Systems, held in conjunction with Hypertext 2001, Denmark, 2001.
- ¹⁸ Peter Brusilovsky: Methods and techniques of adaptive hypermedia, User Modeling and User Adapted Interaction, 6(2/3), pp.87-129, 1996.
- ¹⁹ Leslie Carr, Sean Bechhofer, Carole Goble and Wendy Hall:

-
- Conceptual linking: Ontology-based open hypermedia, Proc. of the 10th International World wide Web Conference, Hongkong, May 2001.
- ²⁰ Kaj Gronbaek and Randall H. Trigg: "From Web to Workplace: Designing Open Hypermedia System", MIT Press, 1999.
- ²¹ Nicola Henze and Wolfgang Nejdl: Extensible adaptive hypermedia courseware: Integrating different courses and web material, Proc. of the International Conf. on Adaptive Hypermedia and Intelligent Web-Based Systems(AH2000), Trento, Italy, 2000.
- ²² Nicola Henze and Wolfgang Nejdl: Adaptation in open corpus hypermedia, IJAIED Special Issue on Adaptive and Intelligent Web-Based Systems, 12, 2001.
- ²³ Tobias Kunze, Jan Brase and Wolfgang Nejdl: Editing Learning Object Metadata: Schema Driven Input of RDF Metadata with the OLR3-Editor, Semantic Authoring, Annotation & Knowledge Markup Workshop (SAAKM 2002) at 15th European Conf. on Artificial Intelligence, Lyon, France, July 2002.
- ²⁴ Changato Qu and Wolfgang Nejdl: Towards Open Standards: the Evolution of an XML/JSP/WebDAV Based Collaborative Courseware Generating System, Proc. of the 1st International Conference on Web-based Learning, Kowloon, Hongkong, China, Aug. 2002.
- ²⁵ Heidrun Allert, Hadhami Dhraief, Tobias Kunze, Wolfgang Nejdl and Christoph Richter: Instruction Models and Scenarios for an Open Learning Repository – Instructional Design and Metadata, E-Learn 2002: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education (formerly the WebNet Conference). Montreal, Canada, October 2002.
- ²⁶ 畑仁: 「MathCalc MathTeX を開発・活用してみた」, 第 84 回全国算数数学教育研究大会(兵庫大会) 高等学校部会第 11B 分科会コンピュータ・教育機器, 2002 年 8 月 1 日, http://www.nikonet.or.jp/spring/Math_T_C/Math_T_C.htm.
- ²⁷ Paul S. Wang, Norbert Kajler, Yi Zhou, Xiao Zou: "WME: towards a web for mathematics education," Proc. of ISSAC 2003, Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp. 258-265, August 3-6, 2003.
- ²⁸ Xiao Gang: WIMS A Server for Interactive Mathematics on the Internet, <http://wims.unice.fr/wims/>.
- ²⁹ Maplesoft: Maple, <http://www.maplesoft.com/>.
- ³⁰ Design Science: WebEQ, <http://www.dessci.com/en/products/webeq/>.
- ³¹ Pavi Sandhu: The MathML Handbook, Charles River Media, Inc., Hingham, Massachusetts, 2003.
- ³² Microsoft Corporation: Microsoft Agent, <http://www.microsoft.com/msagent/default.htm>.
- ³³ 中西崇文, 岸本貞弥, 櫻井鉄也, 北川高嗣: 「特定分野を対象とした連想検索のためのページベースのメタデータ空間生成方式」, Proc. of DBWeb 2003, pp. 45-52, 東京, 11 月 26 ~27 日, 2003 年.
- ³⁴ Wolfram Research, Inc.: webMATHEMATICA2, <http://www.wolfram.com/products/webmathematica/index.html>.
- ³⁵ Calc101.com: Automatic Calculus and Algebra, <http://www.calc101.com/>.
- ³⁶ 山田眞一: 「人工知能のための micro-PROLOG プログラムコレクション」, サイエンス社, 1986.
- ³⁷ Design Science: WebEQ interactive demos, <http://www.dessci.com/en/products/webeq/interactive/>.
- ³⁸ 畑仁: MathCalc のダウンロード・サイト, <http://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008927.html>.
- ³⁹ Robert Smedley, and Garry Wiseman: Introducing Pure Mathematics (2nd Edition), Chapter 6 Differentiation 1, Oxford University Press, 2001.
- ⁴⁰ G. Pólya: How to solve it (second edition), Penguin Books, 1957.
- ⁴¹ Steven Minton: "Learning Search Control Knowledge, An Explanation-Based Approach," Kluwer Academic Publisher, 1988.
- ⁴² Nicholas S. Flann and Thomas G. Dietterich: "A study of explanation-based learning", Machine learning, Vol.4, No.2, 187-226, 1989.
- ⁴³ Danilo Fum, Paolo Giangrandi, and Carlo Tasso: Backward Model Tracing: An Explanation-Based Approach for Reconstructing Student Reasoning, Proc. of the 8th National Conference on Artificial Intelligence, Boston, MA, pp.426-433, 1990.
- ⁴⁴ Smadar T. Kedar-Cabelli and L. T. McCarty: Explanation-based generalization as resolution theorem proving, Proc. of the 4th International Workshop on Machine Learning, Irvine, CA, Morgan Kaufmann, pp.383-389, 1987.
- ⁴⁵ Tom M. Mitchell, Richard M. Keller, and Smadar T. Kedar-Cabelli: Explanation-based generalization: A unifying view, Machine Learning, Vol.1, No.1, pp.47-80, 1986.
- ⁴⁶ Leon Sterling and L. U. Yalcinalp: Explaining Prolog-based Expert Systems Using a Layered Meta-Interpreter, Proc. of the 11th International Joint Congerence on Artificial Intelligence, Detroit, MI, pp.66-71, 1989.
- ⁴⁷ 竹内俊彦, 佐久間章行: 「問題提示型試験における試験問題抽出のための出題セクション分割法」, 教育システム情報学会誌, Vol.20, No. 1, pp.3-16, 2003.