

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 6 月 10 日現在

機関番号：32606

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500231

研究課題名（和文） 推論エンジン法による知識ベースの構築

研究課題名（英文） Knowledge base construction by using an inference engine methodology

研究代表者

白田由香利（SHIROTA YUKARI）

学習院大学・経済学部・教授

研究者番号：30337901

研究成果の概要（和文）：

推論エンジン法に基づく経済数学のための知識ベースを構築し、それを用いてe-Learningシステム“web:VisualEconoMath”を構築し、学部生への講義等で活用した。

本システム構築では、本研究の成果である(1)解法プランXMLパーサー、(2)解法プラングラフ描画ツール、(3) TeXソースの画像化ツールを技術要素として利用した。システム構築のアドバイザーとして、オックスフォード大学Learning Technology GroupのMs Stanworthを学習院大に招聘し、ディスカッションを行い、その結果をシステム改善に役立てた。白田の著書「悩める学生のための経済・経営数学入門」（共立出版）にある文章題すべてを、本システムに入力し、学生が本システムによってこれらの問題の解説を見ることを可能とした。評価として、「経営数学1」履修学生に、アンケートを行い、それにより経済数学の学習における解法プラングラフ、及び推論エンジン法の有効性を示すことができた。本システムが提供する「解法プラングラフ」は、世界に類をみない、演繹推論過程の視覚化教材と我々は考えるので、世界に推論エンジン法を普及させるため、普及活動を行った。第一歩として、2013年2月、インドネシア国立大学電子工学部の学部2年生を対象に、経済数学の講義を行った。理解しやすいとの感想を得た。推論の重要さは理解してもらえたと、考える。ルール(公式、セオリー)の表示における視覚化の分野では、動くグラフィックスの電子書籍を出版した。内容は、債券数学であり、金融数学をグラフィックスにより分かるように教えるという目的は達成した。普及活動としては、国際会議 DNIS2013(会津大)、URKE2012(インドネシア、ジャカルタ)の他、数学教育実践研究会、日本経済研究センターの若手研究者むけレクチャ等、実績を重ねた。

研究成果の概要（英文）：

We have constructed the knowledge base for economical mathematics using the inference engine methods. Using the knowledge base, we have developed the e-Learning system titled “web:VisualEconoMath” with which we taught economics mathematics in our lectures. The technical elements that we have developed in the research are (1) Solution plan XML parser, (2) Solution plan graph generator, and (3) TeX image generator. For the construction of “web:VisualEconoMath”, we invited Ms Stanworth, a member of Learning Technology Group of Oxford University Computing Services as the adviser. Through discussions with her, we have improved the system requirements. After the construction, we had input all word math problems appeared in the textbook titled “Business Mathematics” written by Shirota in “web:VisualEconoMath” so students can see and study the solution plan graphs on the web. We conducted a questionnaire in a class of business mathematics. The resultant data of the questionnaire showed effectiveness of the solution plan graph as teaching materials and the inference engine method as heuristics.

We think that the solution plan graphs are so impressive teaching materials and that we should familiarize this in the world. As the first step, Shirota had a lecture about economical math in University of Indonesia. The students were the second-year students

in department of electrical engineering. They said that the teaching materials were easy to understand. We thought that they understood the importance of the deductive reasoning.

Concerning visualization of the math processes, we have developed many graphical materials and published on our web sites. We also published an e-book which offered manipulative graphical materials. The book contents are financial math, especially bond mathematics. The objective of teaching financial mathematics by graphics was accomplished. To diffuse these visualization methods, we had presentations or lectures in DNIS 2013 (Aizu in Japan), URKE 2012 (Jakarta, Indonesia), and other lectures.

交付決定. 額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：経済数学

科研費の分科・細目：社会科学，経済学，金融・ファイナンス 3806

キーワード：(1) 推論エンジン法，(2) 解法プラン，(3) 演繹推論，(4) 債券数学
(5) 金融数学，(6) 意味モデル，(7) 公式データベース，(8) web:VisualEconoMath

1. 研究開始当初の背景

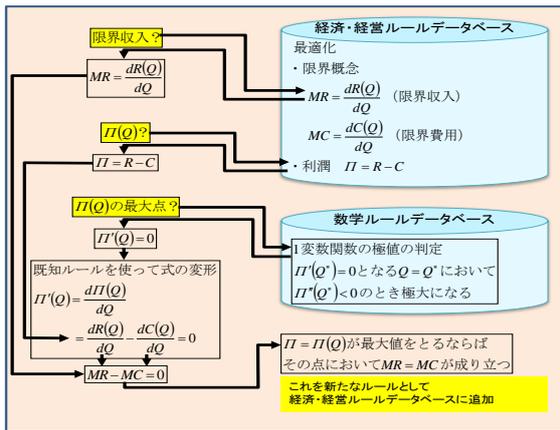
本研究では、推論エンジンシミュレーション法による、経済数学のための知識ベースを構築する。具体的な対象分野は、金融工学におけるデリバティブとする。研究代表者は、知識ベースに基づく推論能力を高める経済数学の教授法を 10 年来研究してきた。この間経済・経営用 e-Learning システムも各種開発しており、2007 年 6 月には、経営数学教育用 Web 教材の開発に関して「平成 19 年度日本経営数学会 奨励賞」も受賞した。一般的にみて、多くの学生が経済数学を難しいと考えているが、その最大の理由として、経済に関する知識と、数学に関する知識の両方がその解法プロセスにおいて複雑に入り混じっていることがあげられる。そこで、研究代表者は、知識ベースに基づく推論エンジンシ

ミュレーション法という教授法を創案し、実際の講義においてこの教授法を実践してきた。推論エンジンシミュレーション法（以下、推論エンジン法と略す）の特長は、2 種類の知識ベースを構築する点である。経済の知識ベースには、経済のセオリーを、数学の知識ベースには数学公式を蓄積する（図参照）。数学の知識ベースに数学公式を格納することには変わりはないが、応用分野によって、もう片方の知識ベースの内容は、経済、物理、というように変わっていく。本申請では、経済・経営の知識ベースである。

図では、以下のような経済問題の最適化問題を推論エンジン法で解くプロセスを示した。

「ある企業の財に対して、利潤の最大値が存在するとしたら、最大点において限界収入と限界費用が等しくなることを示せ」。

推論エンジン法では、初めに、文章題の問



題文から重要なキーワードを見つけ出す。この問題では、「限界収入」「利潤の最大点」がキーワードである。次に、このキーワードを検索キーワードにして、2種類のルールベースを検索し、必要なルールを得る。それらのルールを組み合わせ、式を変形していくプロセスが、演繹推論プロセスであり、これにより、解くべき方程式を求めることができる。

授業アンケートを2009年度前期の最後に行った結果、90%の学生が推論エンジン法の実践による学習効果を認めている、という本教授法の有効性を示す結果を得た。推論エンジン法の最大の特長は、ルールを検索することで、自分がどのルールを知っていて、どのルールはまだ知らないのかが明確になる点であろう。研究代表者は、2009年7月に推論エンジン法による経済・経営数学の本も出版し、現在、この教授法を広めようとしている段階である。

2. 研究の目的

本提案では、対象分野を経済数学の中の金融工学におけるデリバティブ取引に関する問題とする。具体的には、(1)将来のキャッシュフローを交換するスワップ取引、(2)原資産を購入あるいは売却する権利を売買するオプション取引を扱う。本申請の研究では、デリバティブ取引に関する経済数学を講義

するための知識ベースを構築する。

これらのデリバティブ取引は、現代の金融機関の預金商品、ローン商品に組み込まれその取引高も年々増えている。しかしながら、そのプロセスを理解するためには、数学と金融に関する2種類の知識を必要とするため、理解する人の数は限られていると言えよう。数学のルール(公式)としては、確率統計モデルに関するルールが重要であり、経済金融のルール(セオリー)としては、金利やディスカウントファクターの計算法に関するルールが重要となる。これらの知識が複雑にからみあうデリバティブ取引の文章題を解くことは、一般的に言って、非常に難しい。我々は、デリバティブ取引の問題を対象とする、2種類の知識ベースを構築する。そしてその知識ベースに基づき、教案、教材を作成することにより、推論エンジン法の有効性を検証する。そのためには、実際に講義を行い、学生に対してアンケートを行う。

本研究で構築しようとする知識ベース構築の新規性は以下のようにまとめられる。

- (1) 研究代表者の提唱する推論エンジン法に基づき、必要な知識を2種類の知識ベースに分割することで、デリバティブ取引という難しい分野を分かりやすく教授することが可能となる。
- (2) 検索結果であるルール(公式、セオリー)の教示においては、可能な限りICTツール(Mathematica)を用いてグラフィクスによる視覚化を行う。

上記2点は、従来の経済数学の分野で実践されてこなかった、あるいは、不十分であった点であり、こうしたアプローチで教えることは独創的と言える。これらの独創的なアプローチにより、今までのデリバティブ取引の本を読んでも理解できなかった学生でも、デリバティブ取引のプロセスが理解できるよう

になることを我々は示したい。対象分野をデリバティブ取引としたことの本研究の意義は以下のようにまとめられる。

- (1) デリバティブの問題は、経済セオリーと数学の公式が深く組み合わさっているため、一般に難しい。それゆえに、推論エンジン法によるアプローチの有効性が検証できる分野と言える。
- (2) 学生だけでなく、デリバティブを学びたい一般人は多いので、教授法を確立することの意義は大きい。

確率統計は重要である。デリバティブを対象とすることで、現在、確率統計の勉強を回避している多くの学生が、金融工学を通して必要性を感じ、確率統計を学んでくれれば、それは意義がある。

3. 研究の方法

知識ベースのモデル化を選定し、データ定義を行い、データ入力することで、知識ベースを構築する。知識の関連のようすを表示するための表示ソフトウェアを開発し、表示ソフトウェアによって格納したデータを表示する。構築した知識ベースにより金融工学の講義を行い、アンケート評価を行う。

4. 研究成果

初年度は、技術要素を研究し、開発した。債券数学の「債券ポートフォリオの管理」のための、コーパスの第1版をXMLにより作成。約40個のユニークなセマンティクスのラベルを選択した。また、債券数学のための数学公式データベースを構築した。その記述能力を検証するため、広く使われている債券数学のテキストに載っている文章題をこのラベル及び公式を使って解いてみた。これにより、これらの公式は19と数を絞り込んであるが、通常の問題を解くのに十分な記述能力をも

つことを検証した。

解法プラン(演繹推論プロセス)を求めるためのメソッドとして、債券数学用意味モデルを作成。これは、債券数学に係る公式をエンティティとした、Entity-Relationship ダイアグラムである。この意味モデルは、推論エンジン法により問題を解こうとする学生の、解法プランの発見を支援する。これは、文章題の解き方を考えている学習者に、公式間の関係を与えるもので、非常に有効なツールとなる。

各種の債券数学文章題に対して、解法プランをXMLで記述した。解法プランは、先に述べたラベルや公式を参照する。これらの知識ベースを用いた学習支援システムの構築を行なうため、初年度に技術要素として、以下を開発した：(1)解法プランXMLパーサー、(2)解法プラングラフ描画ツール、(3)TeXソースの画像化ツール。

推論エンジン部内には、実際の数式処理計算を行う機能と、解法プラン実行過程のビジュアルライゼーションのための数式描画機能が必要である。当初はMapleを使う計画であったが、将来は成果物の無料配布を行いたいため、フリーソフトウェアのMAXIMAに変更した。今まで書いたMapleプログラムを、MAXIMAへ翻訳し、機能的に代返可能であることも検証した。そして、2010年11月、全国の高校教師他を対象として、フリーの経済数学グラフィクス教材webサイトgraphics10を公開した。

2年度は、初年度に開発した技術要素を統合して、解法プラングラフ(問題解法の演繹推論過程を表す有向グラフ、ノードは公式)のジェネレータを開発した。入力はXMLスク립トで、出力は解法プラングラフのイメージである。グラフのレイアウト機能は、フリーソフトのgraphvizを用いて実装した。こ

れを用いて、債券数学の文章題の解法プラン グラフを作成し、それを実際の学習院大の以下の講義「マルチメディアと数学 1」、「経営数学 1・2」などで利用した。債券数学の分野の公式の E-R ダイアグラム、意味モデルを、H24 年度は、それを大判のポスターサイズに印刷して教室で用いながら講義を行った。インドネシアでも、この意味モデルを用いて債券数学について講義(KCIC2012 招待講演)を行った。H23 年 11 月、全国の高校教師他を対象として、フリーの経済数学グラフィクス教材 web サイト graphics10 を公開したが、H24 年度は Part2 の web も公開した。内容は、国民所得決定問題、マーシャルの需要関数(制約付き最適化問題)などを 3 次元アニメーションなどにより分かりやすく解説する web 教材ページである。夏には、これを用いて高校数学教員を対象に学習院大学オープン・キャンパスおよび数学教育実践研究会全国大会において、金融数学の講義を行った。また、震災後のボランティア活動として、岩手の中学生を対象に金融数学の講演も 3 月に行った。最終年度は、推論エンジン法に基づく経済数学のための e-Learning システム” web:VisualEconoMath” を構築し、学部生の講義等で活用した。本システム構築では、昨年度の研究成果である(1)解法プラン XML パーサー、(2)解法プラングラフ描画ツール、(3) TeX ソースの画像化ツールを技術要素として利用している。システム構築のアドバイザーとして、オックスフォード大学 Learning Technology Group の Ms Stanworth を学習院大に招聘し、ディスカッションを行い、その結果をシステム改善に役立てた。白田の著書「悩める学生のための経済・経営数学入門」(共立出版)にある文章題すべてを、本システムに入力し、学生が本システムによってこれらの問題の解説を見ることを可能とした。評

価として、「経営数学 1」履修学生に、アンケートを行い、それにより経済数学の学習における解法プラングラフ、及び推論エンジン法の有効性を示すことができた。本システムが提供する「解法プラングラフ」は、世界に類をみない、演繹推論過程の視覚化教材と我々は考えるので、世界に推論エンジン法を普及させるため、普及活動を行った。第一歩として、2013 年 2 月、インドネシア国立大学電子工学部の学部 2 年生を対象に、経済数学の講義を行った。理解しやすいとの感想を得た。推論の重要さは理解してもらえたと、考える。

ルール(公式、セオリー)の表示における視覚化の分野では、動くグラフィクスの電子書籍を出版した。内容は、債券数学であり、本研究の成果のひとつと言える。ブラックショールズ方程式のグラフィクス教材も作成し、大学院の講義で活用した。金融分野の第一線で活躍する社会から、理解しやすいと好評を得た。本研究テーマの金融数学をグラフィクスにより分かるように教えるという目標は果たした。その普及活動としては、国際会議 DNIS2013(会津大)、URKE2012(インドネシア、ジャカルタ)の他、数学教育実践研究会、日本経済研究センターの若手研究者むけレクチャ等、実績を重ねた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 橋本隆子, 白田由香利、債券数学における解法プラン導出のための支援システムの提案、日本経営数学会誌、査読有、Vol. 33, No. 1/2, 2012, pp. 43-56.
- ② Yukari Shirota, Takako Hashimoto、Animation Teaching Materials for

Explaining a Recurrence Formula to Find the Bond Price with the Spot Rate, Journal of Japan Society of Business Mathematics, 査読有, Vol. 33, No. 1/2, 2012, pp. 57-69

- ③ 白田由香利, Maple によるポートフォリオのグラフィクス作成, 日本経営数学会誌, 査読有, Vol. 32, No. 1/2, 2011年, pp. 61-70

[学会発表] (計 15 件)

- ① Yukari Shirota, Takako Hashimoto, and Pamela Stanworth, Knowledge Visualization of the Deductive Reasoning for Word Problems in Mathematical Economics, Proc. of the DNIS (Databases in Networked Information Systems) 2013, 査読有, LNCS 7813, Springer, Heidelberg, pp. 117-131, 2013
- ② Yukari Shirota and Pamela Stanworth, Review of the “Web:How2SolveIt” Website, 学習院大学経済論集, 査読無, Vol. 50, No. 1, 2013, pp. 1-18
- ③ 白田由香利, 固有値の概念の教授法—経営学科に適した線型代数の教授法—, 学習院大学経済論集, 査読無, Vol. 50, No. 1, 2013, pp. 31-42
- ④ 白田由香利, ブラック=ショールズ方程式に関するシミュレーションとグラフィクスによる考察, 学習院大学経済論集, 査読無, Vol. 49, No. 4, 2013, pp. 251-260
- ⑤ Yukari Shirota and Takako Hashimoto, Web Publication of Three-Dimensional Animation Materials for Business Mathematics - 10 Graphics for Economics Mathematics Part 2 -, 査

読無, GEM Bulletin, No. 26, Gakushuin Univ. Research Institute for Economics and Management, pp. 13-22, 2012.

- ⑥ Takako Hashimoto, and Yukari Shirota, Web Publication of Visual Teaching Materials for Business Mathematics, Proc. of 2nd Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering (URKE2012), 査読有, IEEE, Jakarta, August 14-15, 2012, pp. 1-4.
- ⑦ Yukari Shirota, and Takako Hashimoto, Plausible Deductive Reasoning Plan for Business Mathematics Learners - Solution Plan Graph Generator -, Proc. of 2nd Uncertainty Reasoning and Knowledge Engineering (URKE2012), 査読有, IEEE, Jakarta, August 14-15, 2012, pp. 5-8.
- ⑧ Yukari Shirota, Takako Hashimoto, and Tetsuji Kuboyama, A Deductive Reasoning Method for Solving Bond Mathematics Problems, Keynote talk of KCIC 2012 (The First Indonesian-Japanese Conf. on Knowledge Creation & Intelligent Computing), March 13-14, 2012, 査読有, EEPIS Press, 2012, Surabaya, Indonesia.
- ⑨ Yukari Shirota, Takako Hashimoto, and Tetsuji Kuboyama, A Concept Model for Solving Bond Mathematics Problems, Proc. of 21st European Japanese Conference on Information Modelling and Knowledge Bases, 査読有, Estonia, June 6-10, 2011.
- ⑩ 白田由香利, 経営数学問題解法における演繹推論に関する考察, 学習院大学経済論集, 査読無, Vol. 49, No. 2, 2012年7月, pp. 85-98

- ⑪ 白田由香利, 橋本隆子, 経営数学問題解法のための演繹推論支援教材作成ツール、学習院大学経済論集、査読無、Vol. 47、No. 4、2012年1月、pp. 303-311.
- ⑫ Paul Trafford and Yukari Shiorta, An Introduction to Virtual Learning Environments、Gakushuin Economics Papers、査読無、Vol. 48、No. 3、October 2011、pp. 1-8.
- ⑬ Paul Trafford and Yukari Shiorta、Ubiquitous e-Learning: Designing Web Systems for Economics and Business Mathematics、査読無、Gakushuin Economics Papers、Vol. 48、No. 2、July 2011、pp. 111-128.
- ⑭ 白田由香利、4時間で分かる金融数学のつぼー高校数学も含めた可視化教材ー」、雑誌「算数・数学の授業」、No. 143(大会報告号)、数学教育実践研究会、査読無、2011年10月、pp. 82-87
- ⑮ Paul Trafford and Yukari Shiorta、Requirements for Business Mathematics e-Learning System Web:How2SolveIt、Proc. of an annual meeting of Japan Society of Business Mathematics、査読無、Tokyo、11-12 June、2011

[図書] (計 3件)

- ① 白田由香利, 橋本隆子, 飯高茂、e-Book「感じて理解する数学入門ー身近な事例を動かして学ぶー」、オライリージャパン、2012
- ② Yukari Shiota, Takako Hashimoto, Tetsuji Kuboyama, “A Concept Model for Solving Bond Mathematics Problems,” Edited by Jaak Henno, Yasushi Kiyoki, Takehiro Tokuda, Hannu Jaakkola, Naofumi Yoshida、

Frontiers in Artificial Intelligence and Applications、Volume 237、2012、Information Modelling and Knowledge Bases XXIII、pp. 271-286

- ③ 白田由香利、ビジネスインテリジェンスを育む教育、第5章「社会科学系の数学教育における知識ベースの利用」、白桃書房、2010

[その他]

□学習院大学経済学部が作成した白田HP
「見て分かる数学」

<http://www.gakushuin.ac.jp/univ/eco/professor/shiorta.html>

白田由香利が作成した自分のHP

<http://www-cc.gakushuin.ac.jp/~20010570/2013/>

□学習院大学経済学部e-Learningシステム
web:VisualEconoMath

<http://elearn.nantoka.com/HowToSolveIt/>

□Bond Mathematics by Graphics MAXIMAによる 経済数学グラフィクス10個:

<http://www-cc.gakushuin.ac.jp/~20010570/private/MAXIMA/>

□Part2 -10 Graphics for Economics Mathematics -

<http://www-cc.gakushuin.ac.jp/~20010570/private/MAXIMA/part2/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

白田由香利 (SHIROTA YUKARI)

学習院大学 経済学部 教授

研究者番号: 30337901

(2) 研究分担者

橋本隆子 (HASHIMOTO TAKAKO)

千葉商科大学 商経学部 准教授

研究者番号: 80551697