

令和元年6月24日現在

機関番号：52501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01095

研究課題名(和文) 教育データマイニングによる潜在的スキル構造の可視化とスキル推定

研究課題名(英文) Estimation of Latent Skill and Visualization of Skill Structure by Educational Data Mining

研究代表者

大枝 真一 (Oeda, Shinichi)

木更津工業高等専門学校・情報工学科・准教授

研究者番号：80390417

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ITS(Intelligent Tutoring Systems)や、LMS(Learning Management Systems)の普及によって、教育現場で自動的に大量のデータを取得できるようになった。本研究では、学生の試験結果や学習過程のログデータから、知識を修得するために必要な潜在的スキル構造を自動抽出するデータマイニング技術を開発することである。

本研究によって、試験結果から設問とスキルの関係を抽出するSkill Modelingと呼ばれる研究を行った。また、学習中のログデータからスキルに関連する規則性を発見するために機械学習を用いた新しい教育データマイニング手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内ではIT技術者の不足が深刻になっている。さらにスマートフォンの普及やSNS利用者の増加、IoT分野の成長、新たなビッグデータ解析手法の開発、人工知能(AI)の利活用に向けて、これからさらに多くのIT技術者が必要とされることは想像に難くない。

そこで本研究の目的は、調査対象をプログラミング教育とし、教育データからスキル修得過程を解明することとした。特に、本研究の学術的独自性は、特殊な装置や教育方法の変更を必要とせず、教育現場から得られるありのままのデータに対し、数理に基づいたデータサイエンス技術を適用して潜在的スキルの形成過程を解明する点である。

研究成果の概要(英文)：Intelligent tutoring systems (ITSs) and learning management systems (LMSs) have been widely used in the field of education. They allow the collection of log-data from learners, and especially, students. In this research, we developed the method of educational data mining that extracts latent skill to acquire knowledge from data, such as ITSs and LMSs.

We have developed the skill modeling which extracts the relationship questions and skills from examination results. we also have developed the novel educational data mining method using machine learning that discovers the rule and knowledge from log-data during class.

研究分野：知能情報学，数理情報学，教育工学

キーワード：教育データマイニング 潜在的スキル構造 Q-matrix プログラミング教育 NMF Skill Modeling Student Modeling

1. 研究開始当初の背景

近年、実用的な ITS(Intelligent Tutoring Systems)や、LMS(Learning Management Systems)が普及し、教育現場で e ラーニングが活用されている。ITS や LMS によって、学生の試験結果や学習過程のログデータを保存することが容易になった。EDM (Educational Data Mining) では、これら膨大な教育関連のデータから、いかにして意味のある情報を抜き出すかが焦点となる研究分野であり、BigData 研究の発展に伴って近年急速に注目されている。教育機関では、講義後に学生がスキルを修得したことを確認するために試験を行う。スキルが適切に含まれた試験問題が作成されたならば、スキルの修得状況が学生の得点として反映される。そこで本研究では、ITS や LMS のデータベースに蓄積された膨大な試験結果データから潜在的スキル構造を抽出することを目的とする。

2. 研究の目的

この課題は EDM の分野では Skill Modeling とよばれ、先行研究がいくつか存在する。Desmarais は NMF(Non-negative Matrix Factorization)を用いて試験結果行列  $R$  を 2 つの行列  $Q$  と  $S$  に分解している(図 1)[Desmarais, 2011]。行列  $Q$  は Q-matrix とよばれ、どの設問を解くには、どのスキルが必要かを表した関係行列となっている。また行列  $S$  はスキル修得行列とよばれ、どの学生が、どのスキルをマスターしているかを表した関係行列となっている。Q-matrix は 1980 年代初頭から Tatsuoka らによって提案された RSM(Rule Space Methodology)と呼ばれる手法に関する概念である。RSM では学習者の認知的過誤を診断して、試験結果の背後にある学習過程を調べる手法である。Q-matrix は複数の教員や研究者によって試行錯誤を繰り返しながら作成されるため、非常に時間と費用のかかるタスクであった。さらに作成された Q-matrix が正しいとは限らなかった。しかし、実際の試験結果の行列  $R$  から自動的に Q-matrix とスキル修得行列  $S$  を同時に抽出できれば、真の潜在的スキル構造を解明することが可能となる。これにより、カリキュラムの最適化や学生個々がどのスキルを修得しているかを知ることができるようになる。

本研究は、調査対象をプログラミング教育とし、ITS、LMS サーバに蓄積された膨大な試験結果と学習過程のログデータおよびソースコードから、時間変化するスキルの形成過程を可視化し、潜在的スキルダイナミクスを同定することが目的である。

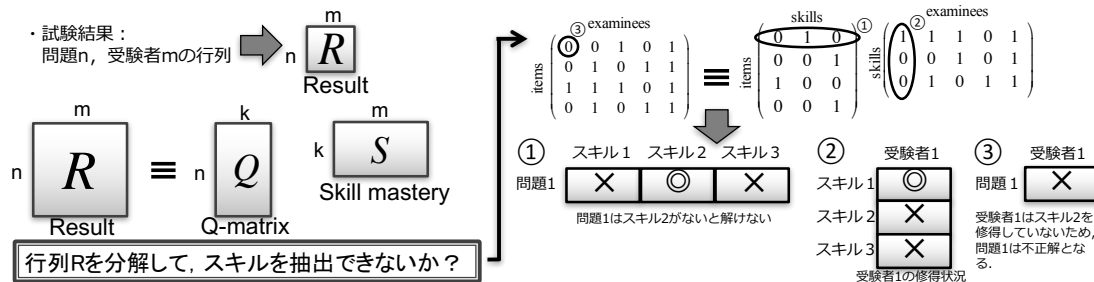


図 1. 試験結果を行列と考え、NMF で行列因子分解

【参考文献】 Desmarais, M.C., “Conditions for effectively deriving a Q-Matrix from data with Non-negative Matrix Factorization”, 4th International Conference on Educational Data Mining(EDM 2011), pp. 41-50, 2011.

3. 研究の方法

先行研究[Desmarais, 2011]は、試験結果データから NMF を用いて Q-matrix の抽出を行う研究であった。しかし我々が詳細に追試を行った結果、先行研究では試験結果の時系列性が考慮されておらず、ある単一時刻のみの試験結果データから Q-matrix を抽出しただけであることを確認した。そこで我々は 2013 年度から 2015 年度に取得した科研費 25750095 において、時系列試験結果行列  $R$  から Q-matrix のみならず、スキル修得行列  $S$  までも同時に、かつ自動的に抽出する Online WNMF を提案し、潜在的スキル構造を抽出することに成功している。一方、新たな課題として以下の 3 点に直面している。これらを本研究によって解決する。

課題(1) 試験結果以外の学習中のログデータから潜在的スキル構造の抽出

我々は時系列試験結果データから Q-matrix を抽出した。しかし、我々を含め従来の研究では、学習中のログデータを使用していない。そこで学習過程も考慮することで、より精度の高い潜在的スキル構造の抽出を試みる。学習中に記録されるログデータには、スキルが反映されているものや、そうでないものもあるため、ログデータからスキルに関連する規則性を発見するためには機械学習を用いた新しい教育データマイニング手法を開発する必要がある。

課題(2) 潜在的スキル数の決定方法

NMF を用いるには、行列因子分解を行うためのパラメータ  $k$  を事前決定しなければならない。図 1 の行列  $Q$  の列数と行列  $S$  の行数の  $k$  のことである。このパラメータ  $k$  は、この研究の文脈

ではスキル数に該当する。Desmarais や我々は、これまであらかじめスキル数を与えて解析を行っていたが、試験結果データのみからスキル数を決定する手法の開発が課題として挙げられる。

### 課題(3) 潜在的スキル構造の可視化およびスキル推定

従来から広く用いられている筆記試験では表層的な得点のみでしか評価していないともいえる。そこで本研究では潜在的スキル構造を可視化し、さらにスキル量を推定することを試みる。また、スキル修得状況からまだ解いていない問題に対する正答確率を算出する手法を考案する。これによりスキル修得までの時間を予測することも可能になると期待できる。

## 4. 研究成果

我々は2013年度以降、NMFを用いて試験結果行列  $R$  から  $Q$ -matrix を抽出する手法の開発を行ってきた。特に従来手法では考慮されていなかった試験結果の時系列性に着目した。つまり、学生のスキルは学習によって成長するためスキル修得行列  $S$  は変化するが、設問は時間の影響を受けないため、設問とスキルの関係行列である  $Q$ -matrix は変化しないという点である。時間軸の概念を導入してNMFのオンライン化を図ることにより、従来手法と比較して誤差の小さい  $Q$ -matrix が抽出可能となった。さらに、実用的なITSに適用させるため、非同期かつ欠損値がある試験結果データにも対応する Online WNMF を提案した。

本研究では新たに試験結果データのみならず学習中のログデータからも潜在的スキル構造を抽出することを試みた。特に定量情報の取得が可能という観点からプログラミング教育での学習中のログデータを対象とし、プログラミングのスキル構造の抽出を試みた。プログラミング技能は主にソースコードを人が読んで評価している。一方、プログラムが完成するまでのコーディング方法やツールの使い方などはエキスパートとビギナープログラマーでは差異があるだろう。しかし、これまでプログラム作成の過程をスキル評価に用いることは行われていなかった。

課題(1)として、プログラミング学習中のログデータ(コマンド、キー入力)からスキル評価する手法の開発を行った[7, 19, 22, 23, 25, 29]。これらの研究では、授業中および試験中に取得されるログデータ (UNIX コマンド履歴、キーログ、課題の提出時間、ソースコードの編集履歴) を対象にした。特に、研究成果[22, 23, 25, 29]では、各ユーザが与えられた設問に対するプログラムを作成中に、コンパイルするときのソースコードの記録し、コンパイル毎にどれほどのバイト数で編集が行われているか調査した。また、調査した時系列データに対し、DTW法(Dynamic Time Warping)を用いて時系列クラスタリングを行い、成績優秀者とそうでない学生の違いを調査した。図1, 2は横軸が時間、縦軸がソースコードの編集量を表している。図1, 2に示すように、クラスタリングの結果から極端にプログラミングができる学生と、授業の内容に追いつくことが困難な学生には、編集履歴に顕著な差が生じることがわかった。また、DTWクラスタリングによって、早期に授業についてこれない学生を発見できるため、これまでよりも、きめ細やかな授業計画を立てることができる。

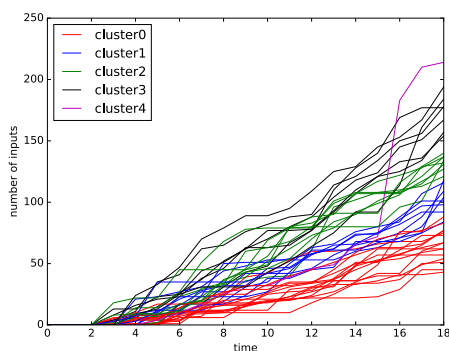


図1 DTWによるクラスタリング結果(1)

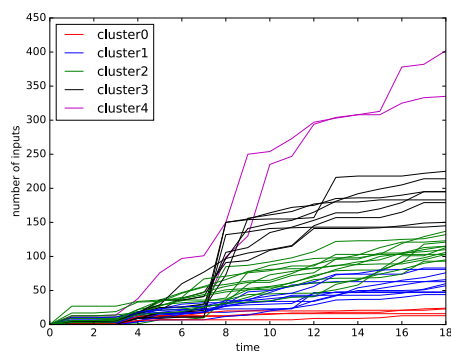


図2 DTWによるクラスタリング結果(2)

課題(2)として、2015年までに行ってきた  $Q$ -matrix 抽出研究の発展として、潜在的スキル数の自動決定の研究を行った[2, 5, 9, 13, 17, 20, 28]。また、これらの研究業績では、 $Q$ -matrix 抽出研究も継続的に行っている。とくに、研究成果[2]では、試験結果行列に偏りがある場合でも機能するように手法の拡張を行った。一般的な e-Learning システムを利用する解答結果には、熱心に取り組むユーザとそうでないユーザの間に偏りが生じる (図3, 図4)。したがって従来の NMF では、行列因子分解の性能に影響を与えることがわかった。そこで、取得された試験結果行列を解答の頻度に応じてソートを行い、小行列を作成する。その小行列の因子分解結果を、他の部分へ適用することで、従来よりも精度良く  $Q$ -matrix の抽出を行えることがわかった。本研究成果は国際会議 ICAPM2019 で発表を行い、Excellent oral presentation award を獲得した。

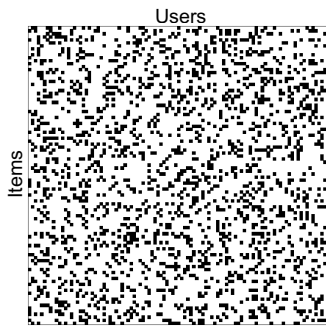


図3 試験結果行列 (偏りが無い)

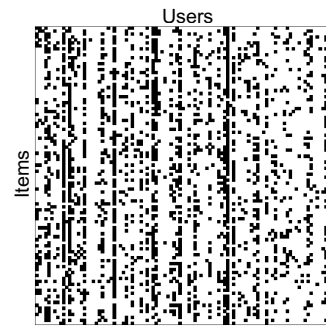


図4 試験結果行列 (偏りがある)

課題(3)として、潜在的スキル構造の推定を行った。従来のテストでは解答できたかどうかだけで理解度のチェックを行っていたが、潜在的に理解しているかどうかの確認は困難であった。研究成果[26]では、ある学生の潜在的なスキル状態を仮定し、未解答問題に正答するか誤答するか予測を行う手法の構築を行った。先行研究では、隠れマルコフモデルを適用した Knowledge Tracing と呼ばれる手法が提案されていた。この手法に、IRT(Item response theory)と忘却効果を追加した数理モデルを提案した。これにより、AUC(Area under the Curve)および RMSE(Root mean squared error)の両方において、精度向上を図ることができた。図5, 6に結果を示す。

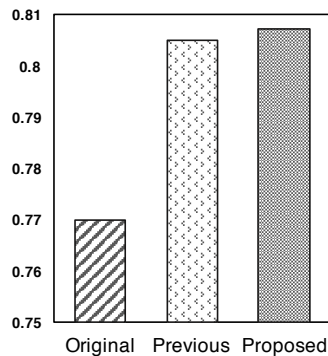


図5 AUC

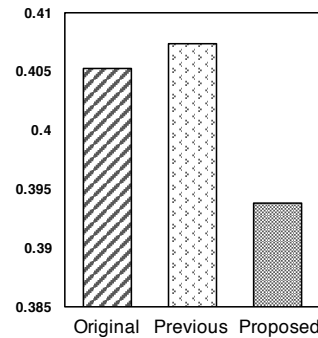


図6 RMSE

また、応募時に提案した上記の課題1から3以外に、潜在的スキル構造の可視化とスキル推定の研究成果を多く得ることができた。

それらの中でも、チェックシートの最適化では顕著な研究成果を残すことができた。プログラミング教育における学生のスキルアップには、他人のソースコードを読むことも必要である。他人のソースコードを評価することは、自身のスキルアップに繋がることも示されている。そこで、コードレビューを学習教材として取り入れる。コードレビューの際には教師により作成されたチェックシートを用いる。チェックシートを用いることで、十分なスキルがない学生でも教師と同等の基準でコードレビューを行うことができる。チェックシートの項目の中には、項目として有用な項目とそうでない項目が存在する。そこで、IRT(Item Response Theory)と項目情報関数を用いてチェックシートの項目を評価し、学習教材として用いる項目を選定する手法の開発を行った[2, 3, 12, 16, 24]。これにより、チェックシートの最適化を図ることが可能となった。研究成果[12]では、共同研究を行った指導学生が学会発表を行い、学生奨励賞を受賞している。

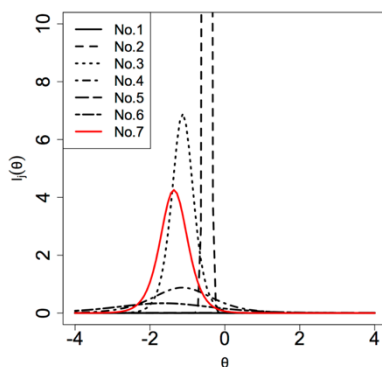


図7 第3学年のIIC

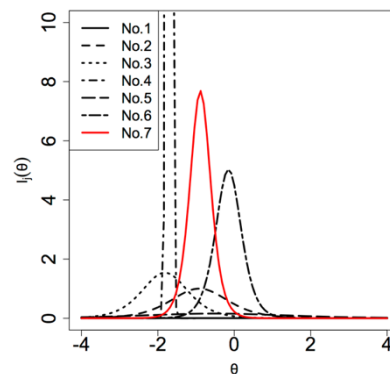


図8 第4学年のIIC

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) 大枝真一, 情報技術を用いた教育の現状と未来, 日本高専学会誌, 査読なし, 24 巻, pp. 15-20, 2019.
- (2) Shinichi Oeda, Hajime Kosaku, Development of a Check Sheet for Code-review towards Improvement of Skill Level of Novice Programmers, Procedia Computer Science, 査読あり, Volume 126, pp. 841-849, 2018.

[学会発表] (計 29 件)

- (1) 富田直輝, 大枝真一, Benjamin Maynard, 次元削減を用いた小中学校英語学習者間の動機付けの比較, 査読なし, 2019 年電子情報通信学会総合大会, 2019.
- (2) 清水大幹, 大野泰己, 大枝真一, 観測に偏りのある非同期時系列データに対応した NMF の提案, 査読なし, 2019 年電子情報通信学会総合大会, 2019.
- (3) 須藤敬仁, 大枝真一, 項目反応理論によるプログラミング学習を目的としたチェックシートの評価と選定, 査読なし, 2019 年電子情報通信学会総合大会, 2019.
- (4) 千枝睦実, 大枝真一, 決定木を用いたコマンドログやソースコードからのプログラミングスキル構造の可視化, 査読なし, 2019 年電子情報通信学会総合大会, 2019.
- (5) Shinichi Oeda, Taiki Ono and Daiki Shimizu, Skill Modeling using Online WNMf for Time Series Examinations, 9th International Conference on Applied Physics and Mathematics (ICAPM 2019), 査読あり, M0081, 2019. **Excellent oral presentation award**
- (6) Shinichi Oeda, Optimization and Evaluation of Check Sheet for Programming Class by Educational Data Mining, 査読あり, The 4th International Conference on Fuzzy Systems and Data Mining (FSDM 2018), 2856, 2018.
- (7) Mutsumi Chieda, Shinichi Oeda, Dropout Prediction from Source Codes in Programming Class with Decision Tree Classification, International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE2018), 査読なし, 2018.
- (8) Naoki Tomita, Benjamin Maynard, Shinichi Oeda, Comparison between PCA and t-SNE for Intrinsic and Extrinsic Motivation of English Learners in Elementary and Junior High School, International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE2018), 査読なし, 2018.
- (9) Taiki Ono, Shinichi Oeda, Skill Extraction from Time Series Data with Missing Values by NMF, International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE2018), 査読なし, 2018.
- (10) Hikaru Yamashita, Shinichi Oeda, Student Performance Estimation using Convex Factorization Machines, International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE2018), 査読なし, 2018.
- (11) 富田直輝, 大枝真一, Benjamin Maynar, 次元圧縮を用いた小中学校英語学習の内発的・外発的動機の評価, 第 17 回情報科学フォーラム(FIT2018), 査読なし, CK-002, 2018 年.
- (12) 古作創, 大枝真一, スキル向上を目的としたコードレビューのためのチェックシートの作成, 情報処理学会 第 80 回全国大会, 査読なし, 2ZF-07, 2018. **学生奨励賞受賞**
- (13) 大野泰己, 大枝真一, 問題推薦のための行列因子分解を用いた階層構造の可視化, 情報処理学会 第 80 回全国大会, 査読なし, 2ZF-02, 2018.
- (14) 山下滉, 大枝真一, Factorization Machines を用いた教育データの解析, 情報処理学会 第 80 回全国大会, 査読なし, 2ZC-03, 2018.
- (15) 山下滉, 大枝真一, Factorial Hidden Markov Models を用いた Knowledge Tracing の複数スキルへの拡張, 査読なし, 2017 年電子情報通信学会総合大会, 2017.
- (16) 古作創, 大枝真一, 査読なし, 学習教材開発に向けた IRT によるチェックシート項目の評価, 2017 年電子情報通信学会総合大会, 2017.
- (17) 大野泰己, 大枝真一, 欠損値補間が可能な行列因子分解による問題推薦, 査読なし, 2017 年電子情報通信学会総合大会, 2017.
- (18) 藤田拓也, 大枝真一, LDA を用いたプログラミング授業課題のソースコード解析, 査読なし, 2017 年電子情報通信学会総合大会, 2017.
- (19) 橋本玄基, 大枝真一, プログラミング初学者教育における要支援者予測のためのログデータクラスタリング解析, 査読なし, 情報処理学会 第 79 回全国大会, 2017.
- (20) Taiki Ono, Shinichi Oeda, Hierarchization of skill for Recommendation of question items using NMF, International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE2017), 査読なし, 2017.
- (21) Hikaru Yamashita, Shinichi Oeda, Student skill modeling using Factorization Machines, International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE2017), 査読なし, 2017.
- (22) Shinichi OEDA, Extracting Latent Skills from Examinations Results and Log-Data

- in Programming Classes, The 3rd International Conference on Fuzzy Systems and Data Mining (FSDM2017), 査読あり, FSDM2335, 2017.
- (23) Shinichi Oeda, Log-Data Clustering Analysis for Dropout Prediction in Beginner Programming Classes, The 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2017), 査読あり, vol.112, pp. 614-621, 2017.
- (24) 古作創, 大枝真一, プログラミング教育における IRT を用いたチェックシートの最適化と評価, FIT2017(第 16 回情報科学技術フォーラム), 査読なし, N-008, 2017.
- (25) 橋本玄基, 大枝真一, プログラミング初学者教育における教員補助を目的としたログデータの解析および可視化方法の提案, FIT2017(第 16 回情報科学技術フォーラム), 査読なし, N-007, 2017.
- (26) Shinichi Oeda, Kouta Asai, Student Modeling Method Integrating Knowledge Tracing and IRT with Decay Effect, Second International Workshop on Educational Knowledge Management (EKM 2016), 査読あり, 2016.
- (27) Hajime Kosaku, Shinichi Oeda, Evaluation of question difficulty in check sheet for peer review, Second International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE), 査読なし, 2016.
- (28) Mariko Seino, Shinichi Oeda, Estimation of programming skill from command history using Random Forest, Second International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE), 査読なし, 2016.
- (29) Genki Hashimoto, Shinichi Oeda, Proposal of educational support system for checking state of students, Second International Workshop on Effective Engineering Education (IWEEE), 査読なし, 2016.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名 :

ローマ字氏名 :

所属研究機関名 :

部局名 :

職名 :

研究者番号 (8 桁) :

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名 :

ローマ字氏名 :

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。