

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：62615

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560134

研究課題名(和文) 学習ライフログを活用した学習診断の研究

研究課題名(英文) Study of learning diagnosis based on learning log data

研究代表者

孫 媛 (Sun, Yuan)

国立情報学研究所・情報社会相関研究系・准教授

研究者番号：00249939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、学習コンテンツと認知診断テストを備えたeラーニングシステムを構築し、種々の学習ログデータを収集した。学習パターンのクラスタリング手法や学習行動の予測手法を提案したほか、学習者のフィードバック情報の利用を眼球運動から検討した。

また、ネット教育、学習支援の観点から、学習者の項目への反応パターンからQ-matrixと学習者の知識状態を同時に推定する手法を検討し、データ駆動型Q-matrix自動学習の新しい理論的枠組みを提案した。さらにQ-matrixと学習者のattributeの習得状態を同時推定する有効なヒューリスティック近似アルゴリズムも合わせて提案した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed an e-learning system implemented with learning contents and cognitive diagnostic tests and gathered variety of learning log data. We proposed methods for clustering learning patterns and predicting learners' behaviors based on their learning log. To investigate how learners use feedback information, eye movements of the learners were analyzed to examine the effects of the type of feedback and learners' achievement goals on the manner in which feedback information was reviewed.

The key issue affecting cognitive diagnostic models is how to specify attributes and the Q-matrix. In this study we used the Boolean matrix factorization method to express conjunctive models and proposed a new theoretical framework for data-driven Q-matrix learning. We also proposed effective heuristic approximation algorithms for Q-matrix learning and learners' knowledge states estimation from their observable item response patterns.

研究分野：教育・心理統計学

キーワード：学習診断 学習ログ 認知診断テスト フィードバック

1. 研究開始当初の背景

今日の大学教育において、大学入試の多様化などにより、文系・理系を問わず基礎学力の不十分な学生が入学し、大学の授業を理解できない学生が増加していることが問題となっている。この問題の解決に向けて、個々の学生、とくに基礎学力が不足した学生の学力を向上させることが急務である。学力改善策を立案する上でまず必要なのは、学習の達成度や学習上の課題を明らかにする教育評価である。教育評価の手法として、教育現場で広く利用され、研究知見が多く蓄積されているのはテストである。近年になって注目されているテスト法として、認知診断テスト (cognitive diagnostic assessment) がある。認知診断テストとは、教科における学習内容の理解に必要な技能・知識 (attribute) を定義し、それぞれの技能・知識ごとに習得度を測定するテストである (Rupp et al., 2010)。認知診断テストを利用することで、技能・知識のどの部分に問題を抱えているのかについて、従来のテストよりも詳細な情報を得ることができる。

個々の学習者の弱点、向上させるべき技能・知識を特定することは、学力向上策の出発点として非常に重要である。しかし、さらに一歩進んで、学習者が実際に弱点を克服していくためには、学習の進捗を左右する要因を明らかにしておくことも大切である。本研究では、そのような要因として、学習者の興味や学習過程あるいは学習環境に着目し、学習・教育活動によって生成される学習ログから、これらの情報を獲得する。学習ログの収集・活用を目的とする新しい研究領域は、近年注目されはじめている (Duval & Verbert, 2012)。学習ログデータを分析することで、学習者の興味や学習環境のように、テストデータからは得られない情報を補完することができる。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、知識・技能の測定ツールであるテストから得られる結果と、学習・教育活動から生成される学習ログを連携させて、個々の学習者に最適化された学習診断を行う方法を研究することである。

3. 研究の方法

学習・教育活動によって生成された学習ログデータを活用して個々の学習者の特徴や学習状況を適切に診断し、個人に最適化した学習支援を行うという目標を踏まえ、本研究は、(1)学習者の知識構造やアトリビュートごとの習得状況を測定する認知診断モデル、(2)ラーニングによる学習ログデータに対するラーニング・アナリティクス、(3)診断情報を有効にフィードバックする方法を研究課題として、検討を行った。

4. 研究成果

4.1 認知診断モデルの研究

本研究では、学習者の躓きや学習状況を詳細に診断して、学習者一人ひとりに応じたオーダーメイド学習支援を行うことを目標として、認知診断モデル (cognitive diagnostic model) にもとづく知識・学習モデルの研究を行っている。認知診断モデルの核心は、Q-matrix である。Q-matrix とは、テスト項目×項目に正答するのに必要な attribute の有無を定義した 1 または 0 を要素とする Boolean 行列である。従来は、Q-matrix は学習領域の専門家が手作りしなければならなかったが、この作業は多大の時間と手間を要し、作成者の主観・技量にも左右される。さらに、現実の複雑なテストにおいては、主観的に Q-matrix を作成すること自体が非常に困難である。本研究は、今後のネット教育、学習ログデータの活用による学習支援の観点から、項目とその項目に正答するのに必要な Attribute との関係を表す Q-matrix の自動学習 (Q-matrix learning) に焦点を当て、データ駆動型の Q-matrix および学習者の知識状態 (knowledge state) の同時推定手法について検討を行っている。

従来の手法は、Q-matrix が所与であることを前提としており、学習データから Q-matrix learning を行うことができない。また、アルゴリズムの計算複雑度が高いため、項目数が多い場合や学習知識が複雑な場合には、推定が事実上できない。これに対して、我々は、理想反応パターンと知識状態間に Boolean Description Function (BDF) が存在すること、BDF が潜在的空間上で Boolean matrix product で解析的に表せることを理論的に導くことに成功した。提案した手法を用いれば、Q-matrix learning 問題を Boolean Matrix Factorization (BMF) 手法で解決できるようになり、Data-driven Q-matrix learning の理論的枠組みを与えるものとなる。BMF は NP hard 問題であるため、Q-matrix learning と学習者の attribute の習得状態を推定するためのヒューリスティック近似アルゴリズムも合わせて提案した。

さらに、Boolean 行列の partial order 関係に着目し、partial order 消去による新しい BMD 手法 (Pseudo-SVD) も提案した。これにより、知識構造の階層関係のモデル化が可能となる。研究成果は該当分野のトップカンファレンスやジャーナルペーパー等にて発表を行った。

また、学習者の解答データに基づく Q-matrix と個人の知識状態の自動学習については、学習者が項目を解くときに生じる guessing と slip パラメータを取り入れた認知診断モデル DINA を用いて、Q-matrix learning と項目パラメータ推定を同時に行う方法の提案や推定アルゴリズムの改善を行った。シミュレーションによって、提案手法の有効性、妥当性を示すことができた。

4.2 学習ログデータを用いた研究

4.2.1 学習ログの収集

まず、オープンソースのeラーニングプラットフォームである Moodle に、認知診断テストおよび学習コンテンツを実装するとともに、実験的に学習者に Moodle 上で学習を行ってもらいながら開発したシステムの調整、研究基盤の整備を行った。

日本語教育を学習ドメインとして作成した語彙・文法の認知診断テストやドリル形式の学習コンテンツを Moodle に実装して、東京学芸大学の日本語教育の教員の協力を得て実験を実施し、学生が Moodle 上で行う学習に付随する様々な行動を、Moodle 上にログとして記録した。これにより、学習に利用したコンテンツとその時間、回数、問題ごとの解答時間、さらに認知診断テストによって測定した技能・知識の習得度などの情報を得て、学習ログデータとして蓄積し、分析の対象とした。

また、学習動機や学習方略など学習者の特性を測定するために、教育心理学分野で確立されてきた調査法を利用した。自己評定式の質問紙によって学習動機や学習方略などに関するデータを収集することにより、学習者個人の特性について、より詳細な情報を収集し、学習診断を行う際に利用した。

一方、学習者の多様な学習環境を考慮したうえで、Web 空間上での学習者の学習活動を把握するために、Web 上の学習コンテンツを特定する仕組みについても検討した。具体的には、学習に関連すると思われるキーワードを Wikipedia から取得し、ターゲットとなる単語との関連度および学習上の重要度を考慮した重みづけを行った。これにより、学習者がどのような学習コンテンツを利用して学習しているのかを特定することが可能となった。

4.2.2 ログデータを用いた分析

日本語教育分野において、eラーニングシステムに蓄積された学習ログデータの分析を通して、学習者の学習パターンをいくつか把握することができた。留学生の日本語学習を対象にデータ収集を行い、分析を行った結果、日本語学習における留学生の学習パターンや解答パターンには母語の影響があり、漢字圏の留学生よりも非漢字圏の学生が解答に時間を要することや、共通の母語話者の解答パターンが類似していることが示された。

また、これまでに開発したeラーニングシステム上に蓄積された2013年度から2015年度に実施した日本語教育学習ログデータにもとづき、学習者の学習行動パターンや学習成績をサンプルサイズの小さなデータから予測する手法を提案した。少数のデータにもとづく予測困難な状況を解決する工夫として、各項目の解答結果だけでなく、解答に要した時間、回数などの学習ログを用いるこ

とで、予測精度の向上を図った。

4.2.3 ウェブテストの開発

学習者の知識状態を適切に診断する研究においては、日本語語彙と文法認知診断テストをシステムに実装し、事前に推定した項目パラメータ値を用いて学習者の attribute 習得状況をオンライン推定した上、習得状況に合わせて学習者個別にフィードバックするウェブテストの開発を行った。

4.3 フィードバック研究

学習ログと認知診断テストを統合することで、学習者の特性や学習過程について詳細な情報を得ることが可能になるが、学習者の診断情報を学習改善へと活用させるためには、診断情報のフィードバックが重要になる。フィードバックは、その重要性や効果を実証的に示されている一方で、学習者はフィードバック情報を効果的には活用していないことも示されている。そのため、学習診断を行った後には、学習者に対して診断結果をフィードバックし、学習改善への活用を促す必要がある。本研究では、学習者がフィードバック情報をどのように活用しているのかを、眼球運動などの行動指標を用いて検討した。またこの際に、相対評価情報の有無や、学習者の特性によって、フィードバック情報の活用方法が異なるかについても検討を加えた。その結果、学習者は自発的にはフィードバック情報をあまり活用しない傾向にあることが示された。また、相対評価情報の有無の影響は小さく、フィードバック情報をどう活用するかは、どのような達成目標やテスト観を学習者が有しているかの影響を受けることが示された。

4.4 まとめ

本研究では、まず学習ログデータを収集するためeラーニングシステムの整備、システムへの日本語学習コンテンツの実装等、実験・分析の基盤作りを行いながら、各種の学習ログデータの収集・分析方法を検討した。また学習者の知識状態を推定する認知診断モデルの研究、学習者の特性に応じたフィードバック情報の活用法の研究等も並行して行った。パーソナライズド学習を実現するには、認知診断と学習ログを融合した学習診断法が不可欠と考え、今後も継続して研究を重ねる予定である。

引用文献：

Duval, E., & Verbert, K. (2012). Learning Analytics. eled, 8.
Rupp, A. A., Templin, J. & Henson, R. A. (2010). Diagnostic measurement: Theory, methods, and application. New York: Guilford.

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13件)

Yuan Sun, Shiwei Ye, Yi Sun, Tsunehiko Kameda, “Improved Algorithms for Exact and Approximate Boolean Matrix Decomposition”, International Journal of Data Science and Analytics (JDASA), Vol.1, No.3, pp.199-214, November 2016 (査読有)

Yuan Sun, Shiwei Ye, Guiping Su and Yi Sun, “Q-matrix Learning and DINA Model Parameter Estimation”, Proceedings of the International Conference on Behavior, Economic and Social Computing (BESC'2016), pp.5-10, November 2016 (査読有)

Yuan Sun, Shiwei Ye, Yi Sun and Tsunehiko Kameda, “Improved Algorithms for Exact and Approximate Boolean Matrix Decomposition”, Proceeding of 2015 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA'2015), October 2015 (査読有)

Haobo Wang, Guiping Su, Yuan Sun, Shiwei Ye, Pan Liao and Yi Sun, “A Latent Space Perturbation Algorithm for Boolean Matrix Completion based on Weighted Frobenius Norm”, Proceeding of the International Conference on Behavior, Economic and Social Computing (BESC'2015), pp.1-6, October 2015 (査読有)

Masayuki Suzuki, Tetsuya Toyota and Yuan Sun. “How learners use feedback information: Effects of social comparative information and achievement goals”, In D. C. Noelle, R. Dale, A. S. Warlaumont, J. Yoshimi, T. Matlock, C. D. Jennings, & P. P. Maglio (Eds.), Proceedings of the 37th Annual Conference of the Cognitive Science Society (pp.2308-2313). Austin, TX: Cognitive Science Society, 2015(査読有)

Yuan Sun, Shiwei Ye, Huiyang Shi, Haobo Wang and Yi Sun, “Maximum Likelihood Estimation Based DINA Model and Q-matrix Learning”, Proceedings of the International Conference on Behavior, Economic and Social Computing (BESC'2014), pp.1-6, November 2014 (査読有)

Shiwei Ye, Yuan Sun, Yi Sun, “Matrix Completion Based on Feature Vector and Function Approximation”, Proceedings of the International

Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA'2014), pp.104-109, November 2014 (査読有)
Tetsuya Toyota and Yuan Sun, “Keyword Extraction for Mining Meaningful Learning-Contents on the Web Using Wikipedia”, Proceedings of the 44th IEEE Annual Frontiers in Education (FIE) Conference, pp.1-4, October 2014 (査読有)

Yuan Sun, Shiwei Ye, Shunya Inoue, Yi Sun, “Alternating Recursive Method for Q-matrix Learning”, Proceeding of the 7th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2014), pp.14-20, July 2014 (査読有)

豊田哲也, 孫媛, 谷部弘子「eラーニングのログデータを用いた日本語学習者の学習行動予測」, 東アジア日本語教育・日本文化研究, vol.20, pp.21-35, 2017年3月(査読有)

豊田哲也, 島田めぐみ, 孫媛, 谷部弘子「日本語学習eラーニング教材導入のための小テスト結果に基づく分析」, 東アジア日本語教育・日本文化研究, vol.19, pp.23-38, 2016年3月(査読有)

孫媛, 島田めぐみ, 谷部弘子「日本語学習支援のための認知診断テストの開発」, 第二言語としての日本語の習得研究, vol.18, pp.86-102, 2015年12月(依頼原稿)

豊田哲也, 孫媛, 島田めぐみ, 谷部弘子「eラーニングのログデータを用いた日本語学習についての分析」東アジア日本語教育・日本文化研究, vol.18, pp.1-15, 2015年3月(査読有)

[学会発表](計16件)

Shiwei Ye, Yuan Sun and Yi Sun “Minimum Information Entropy Based Q-matrix Learning in DINA Model”, Proceedings of the 5th International Conference on Learning Analytics and Knowledge (LAK2015), 404-405, Marist College, Poughkeepsie, New York, USA, March 16-20, 2015 (poster) (査読有)

Masayuki Suzuki and Yuan Sun, “Influence of perception of test value and motivation on learning strategies use in math”, ICAP2014, 28th International Congress of Applied Psychology, Paris, France, 8-13 July 2014 (poster) (査読有)

Yuan Sun, Megumi Shimada, Hiroko Yabe, “Formative Assessment in Language Education: the Development of a Diagnostic Japanese Grammar Test”, the 31st International

Congress of Psychology 2016 (ICP2016), PACIFICO Yokohama, Yokohama, Japan, July 24-29, 2016

Yuan Sun, Naoya Todo and Yi Sun "Derivation of logistic model from item response patterns", The 80th International Meeting of Psychometric Society (IMPS2015), Beijing, China, July 13-16, 2015

島田めぐみ, 孫媛, 登藤直弥 「日本語助詞認知診断テストからわかる学習者の習得状況」, BALI - ICJLE 2016, International Conference on Japanese Language Education, Bali, Indonesia, September 9-10, 2016

Megumi Shimada, Yuan Sun, Tetsuya Toyota, Hiroko Yabe, "Learners' Awareness and Learning Effect of Blended Learning", 6th International Conference on Computer Assisted Systems for Teaching & Learning Japanese (CASTEL/J), University of Hawaii, Kapiolani Community College, August 7-8, 2015

孫媛, 島田めぐみ, 谷部弘子 「外国語学習支援に向けた認知診断テストの開発」, 日本テスト学会第 14 回大会 「e テスティングが切り拓く新しい評価」, pp.146-149, 電気通信大学, 2016 年 9 月 8 日 - 9 日

豊田哲也, 島田めぐみ, 谷部弘子, 孫媛 「日本語語彙能力測定のための Web アドインの開発」, 日本教育工学会第 32 回全国大会, pp.587-588, 大阪大学, 2016 年 9 月 17 日 - 19 日

豊田哲也, 孫媛, 谷部弘子 「e ラーニングのログデータを用いた日本語学習者の学習行動予測」, 東アジア日本語教育・日本文化研究学会 2016 国際学術大会, ハワイ, 米国, 2016 年 8 月 5 日-7 日

登藤直弥, 孫媛, 島田めぐみ, Yi SUN 「個人正答確率関数と受験者の回答傾向との関係 - 日本語教育のデータを用いた検証 - 」, 日本計算機統計学会第 29 回シンポジウム, p.123-124, 北海道釧路, 2015 年 11 月 27 日 - 28 日

豊田哲也, 島田めぐみ, 谷部弘子, 孫媛 「日本語学習 e ラーニングシステムにおける学習者の小テストの学習活動分析」, 東アジア日本語教育・日本文化研究学会福岡国際学術大会, 福岡, 2015 年 10 月 8 日

豊田哲也, 孫媛 「学習関連キーワードに基づく学習コンテンツの特定」, 情報処理学会第 77 回全国大会, 京都大学, 2015 年 3 月 17 日 - 19 日

豊田哲也, 孫媛, 島田めぐみ, 谷部弘子 「e ラーニングのログデータを用いた日本語学習についての分析」東アジア日本

語教育・日本文化研究学会第 18 回台湾国際学術大会, 台湾, 2014 年 8 月 23 日
豊田哲也, 孫媛 「Moodle の複数モジュールを動的に組み合わせ可能なログデータ・クラスタリング手法」, 日本教育工学会第 30 回全国大会, 岐阜大学, 2014 年 9 月 19 日 - 21 日

鈴木雅之, 豊田哲也, 孫媛 「相対評価とテスト成績が達成感情に与える影響 完全主義傾向による調整効果に着目して」, 日本パーソナリティ心理学会第 23 回大会, 山梨大学, 2014 年 10 月 4 日 - 5 日

鈴木雅之, 豊田哲也, 孫媛 「学習者はテストのフィードバック情報をどのように活用しているか 解説確認と眼球運動に着目して」, 日本教育工学会第 30 回全国大会, 岐阜大学, 2014 年 9 月 19 日 - 21 日

(図書)(計 1 件)

孫媛, 島田めぐみ, 谷部弘子 「診断的日本語語彙テストの開発」『日本語教育のための言語テストガイドブック』, 編集: 李在鎬, 著者: 大隅敦子, 谷内美智子, 小野塚若菜, 今井新悟, 小林典子, 鎌田修, 村上京子, 孫媛, 島田めぐみ, 谷部弘子, 安高紀子, 野口裕之, くろしお, pp.175-194, 2015 年 3 月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

孫媛 (SUN, Yuan)

国立情報学研究所・情報社会相関研究系・准教授

研究者番号: 00249939

(2) 連携研究者

豊田哲也 (TOYOTA, Tetsuya)

青山学院大学・理工学部情報テクノロジー学科・助教

研究者番号: 30650618

鈴木雅之 (SUZUKI, Masayuki)

横浜国立大学・教育学部・講師

研究者番号: 00708703