

平成 30 年 9 月 10 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12169

研究課題名(和文) 解答過程解析を教師データに用いた学習助言システムの開発に関する研究

研究課題名(英文) Research on development of learning advice system using answer process analysis as teacher data

研究代表者

林 篤裕 (Hayashi, Atsuhiko)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70189637

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)：Rule Space Method(RSM)は、習得単元に基づいた学習到達度を把握することを目的として教育評価の領域から提案された手法であり、学習支援・診断を実現する際の応用が期待されている。しかし、これを具体化させるための作業の一つである解答過程解析(Task Analysis)は、当該教科の専門家の知識や経験に依存する部分が多くRSMの運用上の大きな障害となっている。

そこで、本研究ではニューラルネットワークモデル(NNM)の探索機能を援用して、RSMの解答過程解析作業に活用しRSMの適用範囲を広げ、学習支援の方策を探ることを検討した。また、実験データを用いてその実現可能性も評価した。

研究成果の概要(英文)：Rule Space Method (RSM) is a technique developed in the domain of the cognitive science. It starts from the use of an incidence matrix Q that characterizes the underlying cognitive processes and knowledge (Attribute) involved in each item. It is a grasping method of each examinee's mastered/non-mastered learning level (Knowledge State, KS) from item response patterns, and a list of all the possible KSs can be generated algorithmically by applying Boolean Algebra to the incidence matrix Q . But the task analysis that is the work to find some suitable attributes for each item is quite hard.

We have found that RSM and NNM are similarities between the results from the two approaches, and moreover they have complementary characteristics when applied in practice. So, in this research, we discuss the comparisons of both approaches by focusing on the structure of the NNM and of KSs in the RSM. And we show an application result for a reasoning test.

研究分野：教育工学

キーワード：学習診断 問題分析 解答過程解析 Task Analysis 学習達成度 教育評価 機械学習

1. 研究開始当初の背景

授業や講義の後に、試験を実施することによって、その時点での受験者の学習到達度を把握することができる。しかし、受験者の行動としては、ややもすると得点と言う「数値の大小」に関心が集中してしまい、次の学習ステップとして、どの単元を習得するのが「より効果的なのか」と言ったところに興味を持たれない場合が多い。これは、採点結果が数値でしか受験者にフィードバックされないことも一因であり、「得点」に加えて的確な「助言(アドバイス)」を付与することによって飛躍的に改善される。技量を有した教員が受け持っているひとクラス程度の小さな集団であればこうした指導も実現可能であろうが、大規模な集団に対してこのような指導を実施することは現状では不可能であり、システムティックに機能する方策を模索する必要がある。

Rule Space Method(以下 RSM と略、Kikumi K. Tatsuoka(2009))は、習得単元に基づいた学習到達度を把握することを目的として教育評価の領域から提案された手法であり、学習支援・診断を実現する際の応用が期待されている。しかし、これを実現させるための作業の一つである解答過程解析(Task Analysis)は、当該教科の専門家の知識や経験に依存する部分が多く、RSM の運用上の大きな障害となっている。

一方、ニューラルネットワークモデル(Neural Network Model、以下 NNM と略)は、目的関数に合致する変数パラメータを探索的に求めることができるという意味で、一種の非線型回帰分析と言え、機械学習の有力な手法である。

そこで、NNM の探索機能を援用して、RSM の解答過程解析作業に活用し RSM の適用範囲を広げ、学習支援の方策を検討することを目標に本研究課題を申請した。

2. 研究の目的

教育評価領域から提案された RSM と統計科学領域の手法である NNM を比較・融合するという研究は、それぞれの領域と、そこで培われている手法に精通している必要がある、これまで試みられてこなかった。教育評価の領域に、NNM という統計的な視点からの技術を導入することによって、従来、個々の教員の技量に強く依存していた学習到達度の把握技術や助言方策を理論的に解明することができ、また、学力測定技術の向上に貢献することができると考えた。加えて、今までは不可能であった大規模集団に対する助言も適用可能となり、これら現実社会への適用方策の基礎研究と位置付けることができる。少子化時代を迎えるにあたって、よりきめ細かい教育が求められ、また可能になってきている現在、このような技術の探求と開発は是非とも必要であり、今後これに沿ったニーズが増大してくることも容易に

想像できる。

本研究は、RSM の解答過程解析をより効果率的に行うことによって、学習者を支援する学習システムを実現するための、理論的のみならず技術的な研究と開発を行うことを目的とした。この研究を推進することにより、試験を受験者の到達度評価のみならず、学習支援にも用いることが出来るようになり、生徒一人ひとりに対応した学習の助言と教員の負担軽減につながる。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、3年の研究期間に以下の手順で研究を進行した。なお、この間、RSM の開発グループの Dr. Kikumi K. Tatsuoka (元 Columbia University, NY, USA)や Dr. Curtis Tatsuoka (Case Western Reserve University, OH, USA)と密に連絡を取り、研究打ち合わせも行った。

(1) RSM に関する理論の整理と検討

RSM に関する過去の研究を洗い出してサーベイを行い、理論面の検証を行った。加えて、それらの特性を把握し、本研究の基礎技術を修得した。

(2) RSM と NNM の協調範囲を明確化する

従来から本研究申請者が研究テーマとしてきた階層型 NNM と比較検討を行い、NNM の適用範囲を明確にすると共に「解答過程解析」への探索に援用する方策を検討した。

(3) 支援システムの計算機上での実現方法の検討

NNM を取り扱うことを目的とした計算機ソフトウェアがいくつか販売されており、それらを吟味・検討して、その中から適当なシステムを導入し利用環境を整備した。

(4) RSM を利用した支援システムの設計・製作

準備した NNM の計算機環境を用いてプログラミングを行い、RSM の技術を実装した助言システムを計算機上に実現することを試みた。その際には、収束性能等を吟味し、大量データにも適用可能なように工夫を凝らして設計した。

(5) 支援システムの評価及び解析結果の妥当性の検討

構築した探索システムに対して、既に特性の判明しているデータを適用し動作を確認した。また、システムが導き出した支援内容と実社会とを対比させて矛盾がないか妥当性を検討した。この際、今までに知られていない知見が含まれている可能性もあったので、一見無意味と思われる結果についても慎重に吟味した。

(6) 実践的な利用の試み

実験データを使ってシステムの運用可能性や頑健性を検証した。不整合は判明するたびに改良を加えた。

(7) 本研究の取りまとめと今後への課題の明確化

一連の段階を経て得られた研究結果を詳細にまとめ、国内外の学会で発表した。また、未解明の事項をまとめ今後の課題とした。

4. 研究成果

研究当初は RSM の仕組みを詳細に調べることに主眼を置いた。RSM の構築基盤となっている技術は、数学や認知心理学の領域を応用したものとなっているため、それらの理解を含めて研究を進行する必要があり理解に時間を要した。具体的には、RSM の基幹となっている技術を習得すると共に RSM の提案・開発者である Kikumi K. Tatsuoka らのグループを訪問し、助言システムを実現する際に考慮すべき点等の調査を行った。また、平行して問題分析を行うに当たっての問題点の洗い出しを行った。

これを実装するためのプログラムについても、近年注目されている AI や機械学習の技術が応用できるのではないかと気付き調査を行った。その後、このアルゴリズムを実現すべく計算機への実装を試みた。また、助言システムを実現する際に考慮すべき点等の調査を行い、その後、構築したプログラムを用いて RSM と NNM の比較を行った。

アメリカの非営利法人 ACT, Inc. (American College Testing, Inc.) が提供し、合衆国内で広く使用されている大学入学試験の 1 つに ACT アセスメント・プログラム (ACT Assessment Program, AAP) がある。この試験は 4 つの部分から成っており、今回比較対象としたのはこの中の 1 つである科学的推論能力テスト (Science Reasoning Test, 以下 SR-Test と略) であり、自然科学に必要な判断能力、分析能力、評価能力、論理性を測るものである。特定の科学領域についての事実を知っているかどうかということよりも、提示された情報を用いて科学的論理思考を行う能力を有しているかどうかを測定する方に重点が置かれているという点で、従来の学科試験とは異なる試験である。

今回、我々は ACT Inc. の承諾の下、SR-Test の公開されている一つの版を利用する機会を得た。テストは全部で 7 つの Passage (総 Item 数 40 個) から構成されており、オリジナルは当然ながら英語で記述されている。そこで、この版を和訳したものを用意し、それを 286 名の大学 1 年生に 45 分間で解答させた。

一方、解答実験とは独立に各 Passage の解答思考過程を吟味し、思考過程が他と異質であった一つを除く 6 つの Passage から約

80 個の Attribute を抽出し、Incidence Matrix を構成した。抽出された Attribute には類似のものが含まれていたため、最終的には 39 個まで縮約した。これらの Attribute には、「図表を読み取る」、「文章の論理的な関係を理解する」、「演繹推論を行う」等の推論能力に関係したものが含まれていた。

そこで、得られた Incidence Matrix から最初の 3 つの Passage に関する部分 (Figure 1) を用いて RSM に適用し、Knowledge State を構成した (Figure 2)。この図から、今回の SR-Test の問題を解くためのポイントとして、Attribute 6, 8, 9 が挙げられ、また、副次的なものとしては Attribute 2 と 5 が関係している事が解った。

Passage	Attribute	精度	原子					光合成					重I				
			A1	A2	A3	A4	A5	B1x	B2	B3	B4	B5		B6			
原子	X02 原子の質量、陽子数と中性子数の和	3	1	1	1												
原子	X03 同位体の性質、質量が異なる	2	1	1													
原子	X04 原子番号の知識、knowledge	1	1	1													
原子、光合成	X05 ●変を捉え、NE18,19, A12	12	1	1	1	1	1					1	1	1	1		
原子	X07 (Assumption)の構成比率の推察	1	1	1													
原子	X08 比較comparison	3	1	1													
原子	X09 ●前提の成立を推察する、Case Reasoning	1	1														
原子、半減期	X10 ●文章の論理的な関係を理解する	2	1	1													
原子	X11 矛盾否定、negationを理解する	1	1														
原子	X12 中性子の性質を理解	1	1														
原子	X13 2回の演繹推論deductive thinkingを行う	1	1														
原子	X14 明示されない(implicit)情報を解釈する	1	1														
原子	X15 もし原子番号がならば、陽子が1つ	1	1														
原子	X17 もし表になければ不安定な物質(放射性同位体)	1	1														
原子	X18 演繹推論deductive thinking	1	1														
原子	X19 CO2Oを成理由、光合成	1	1														
光合成	X21 核の直径	1	1														
光合成	X24 Background Knowledge(光合成、重力、半減期)	3	1	1	1												
光合成、原子	X25 ●Trans Reasoning	2	1	1													
重力	X26 重力の意味	1	1														
重力	X27 重力放射の原因、性質、歪みの原因	5	1	1	1	1	1										
重力	X28 アンテナの構造、性質を理解する	5	1	1	1	1	1										
重力	X31 ●演繹推論deductive thinking	1	1														
半減期	X38 Sequential Reasoning	1	1														
半減期	X39 水に対する年代測定	5	1	1	1	1	1										
半減期	X40 岩に對する年代測定	1	1														
半減期、原子	X41 Model を apply できる	2	1	1													
半減期とダウ	X42 数、量、分岐の大小が判る	6	1	1	1	1	1										
半減期	X44 Estimation, Approximation	1	1														
ビタミン	X47 ビタミンCがほうろ煮と反応する(黄色)	2	1	1													

Figure 1 : An Incidence Matrix for the SR-Test data (部分)

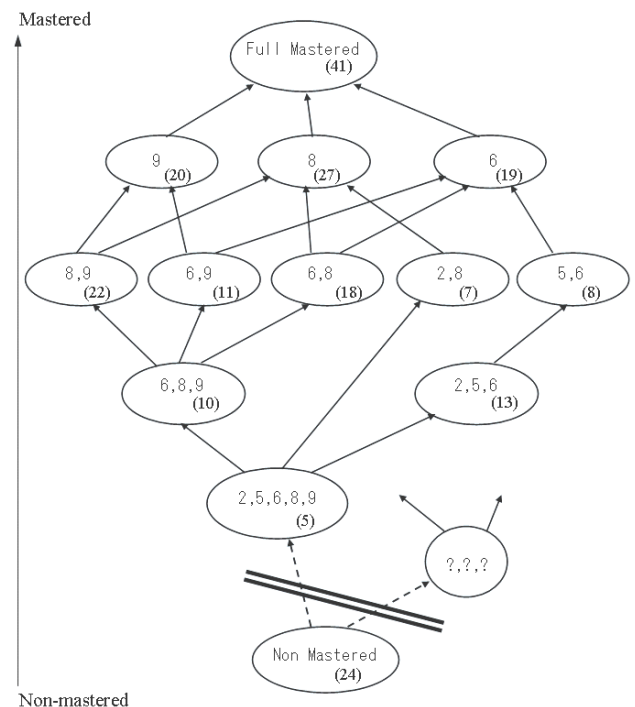


Figure 2 : A tree representation of

一方、被験者の Response Pattern を教師データとして Item と Attribute の関係から NNM を用いて Incidence Matrix を構成させたところ、上述の RSM の作業で同定した

Incidence Matrix と同質の部分もあったものの、異なっている部分も多く、完全に再構成されたとは言えなかった。

最終年度はこれまでの成果を踏まえて、受験者の回答パターンから各受験者の学習達成度を把握する方策に対して、最近注目されている機械学習の技術を導入すること模索し、その技術習得を目指した。しかし、これを実装するための処理系を準備することに時間を要し、正答・誤答に応じた解答パターンから未習得の単元を特定する実験を行うことができなかった。

なお、研究成果については、2017年8月に開催された行動計量学会や11月に杭州で開催された Hangzhou International Statistical Symposium において研究発表を行い、同じテーマを持った研究者と意見交換を行った。

これら一連の研究を通して、解決すべき課題としては、RSMの結果と同様の Incidence Matrix が得られる NNM の構築方法の吟味や、計算速度の向上が挙げられる。また、この過程で抽出された Attribute は、将来的に取り扱う試験問題を解析する際にも多いに参考になるので、Attribute だけでなく、その抽出元となった試験問題や抽出過程での思考方法を相互に参照・検索可能とするデータベースを整備することが有効なことも判ってきた。他にも近年の AI ブームを背景に計算機処理系がいくつか提案されているのでそれを用いて支援システムを構築することも検討に値すると思われる。今後はこれらの課題に取り組むべく準備を進めているところである。

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0件)

〔学会発表〕(計2件)

林 篤裕(2017), 「龍岡菊美先生と学習診断」, 日本テスト学会 第15回大会, 発表論文抄録集, PP78-79, 東北大学(仙台市), 2017年08月20日。

Atsuhiko Hayashi(2017), A comparison study of rule space method and neural network model for learning diagnosis and it's an application, 2017 Hangzhou International Statistical Symposium, PP50-53, Hangzhou Huagang HNA Resort, Hangzhou city, Zhejiang province, China, November 2, 2017.

〔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

<http://stat.web.nitech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

林 篤裕 (HAYASHI Atsuhiko)

九州大学・基幹教育院・教授(H28年8月まで)

名古屋工業大学・大学院社会工学専攻・教授(H28年9月以降)

研究者番号: 70189637

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

Kikumi K. Tatsuoka

元 Columbia University, NY, USA

Curtis Tatsuoka

Case Western Reserve University, OH, USA