

Rule Space Method とその適用例

○ 林 篤裕 (大学入試センター 研究開発部)

1. はじめに

試験を行なうことによって、その時点での受験者の学力特性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を添付することによってかなり改善される事が予想される。このようなスコアリング・レポートや学習診断(Diagnosis)が近年注目され始めており、大規模な集団に対してこのようなきめ細かい指導を実施する方法が模索されている。

一方、試験結果から受験者を学習進度に基づいてクラスタリングする手法として、Rule Space Method が開発された。この手法は、教育評価の領域から提案されてきた手法で、試験内の個々の問題とそれらを構成する最小の単元セットの関係をを用いて、問題の解答パターンから学習進度の似ている受験者を一つのクラスターに分類することを可能にする。

本報告ではこの手法について、その構成方法と特徴を紹介する。また、論理思考を測定することに重点を置かれた試験「科学的推論能力テスト」に対してこの手法を適用し、この解析結果から推論能力テストにおける学習過程を明らかにすることによって、本手法の有効性を検証すると共に問題点を検討する。

2. Rule Space Method

試験内の個々の問題(項目, Item)の解答思考過程をつぶさに吟味する「問題分析(Task Analysis)」を通して、解答に必要な最小の単元セット(Attribute)を解明することができる。また、難易度の高い Item になると Attribute が複雑に絡み合い、加えて「別解」に代表されるように、受験者の思考方法や習得技量によって解答パターンが何通りか存在するのが一般的である。科目の担当教員(Domain Expert)による「問題分析」を通して得られるこれら Attribute を整理することによって試験問題の構造や個々の難易度を詳細に明らかにすることが可能となり、加えて、Attribute の組合せパターンによって当該科目における学習達成の度合いを知ることができる。

Tatsuoka らは、この Item と Attribute の関係(Incidence Matrix) に注目し、Item の解答パターンから学習達成度ごとのクラスター(Knowledge State)を二次元空間に付置(マッピング)する手法として Rule Space Method (RSM) を提案した。Attribute の数を k 個とすると、Attribute のパターン数は 2^k 個となり、 k が大きくなるに従ってパターン数が膨大になる。しかし、Incidence Matrix から Attribute 間の主従関係が判ることを利用して、全ての Attribute パターンの中から意味のある組み合わせだけを取り出す仕組

みを導入し、計算時間やメモリースペースの縮約を実現した。

現在本手法は、アメリカのいくつかのテスト実施機関等で研究が進められており、実用化に向けた試行的な利用も開始されている。

3. 科学的推論能力テスト

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。今回取り上げる科学的推論能力テスト (Science Reasoning Test, SR-Test) はこの試験の一部であり、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。個々の Passage (大問) は、科学的な情報を提示する資料部分と、それに続く幾つかの多肢選択式の設問群とから構成されている。

このテストにおける科学的な情報を提示する部分 (リード文) は、以下の 3 種類のいずれかの形式が用いられている。第 1 の形式『データによる表示 (Data Representation)』は、科学雑誌や本に掲載されているようなグラフや表の形で資料が与えられる。この形式と関連して与えられる設問は、グラフの読み取り、散布図の点の解釈、表に表わされている情報の解釈といった能力を測るものである。第 2 の形式『研究の要約 (Research Summaries)』では、受験者に 1 つまたはそれ以上の関連した実験が示され、実験デザインや実験結果の解釈に重点を置いた設問が出題される。第 3 の形式『相反する観点 (Conflicting Viewpoints)』では、受験者にいくつかの仮説や視点が示されるが、それらは異なる情報や不完全なデータによって述べられており、互いに矛盾する。この場合の設問は、ある視点や仮説を理解、分析し、比較することに焦点が置かれている。

SR-Test の Item は、受験者が科学的思考を用いて答えに辿り着くことを求めている。受験者は提供された情報を基に、関連する概念を発見・把握し、理解しなければならない。また、場合によっては、そこにある情報と各自で引き出した結論や明らかになった現象との関係を、批判的に吟味しなければならないこともある。そして、与えられた情報を一般化し、新たな情報を獲得し、結論を引き出したり予測を立てたりしなければならない。

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と言える。

4. 実験方法と解析結果

今回、我々は ACT Inc. の承諾の下、科学的推論能力テスト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」、「演繹推論を行なう」等の推論能力に関係したものが含まれていた。

まずは手始めに、得られた Incidence Matrix から最初の 3 つの Passage に関する部分を用いて RSM に適用し、Knowledge State を構成した(Figure 1)。この図から、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る。その他の詳細については当日報告する。

5. 今後の課題

RSM は、教育評価の領域から提案されてきた手法であるが、統計学的には Incidence Matrix を用いて受験者を Knowledge State に分類する手法とも言える。この分類法は、Incidence Matrix の構成、つまり具体的には Attribute の抽出が、導出される Knowledge State の特性に強く影響することが知られている。一方、この抽出の作業である問題分析は、複数存在する項目の解答思考パターンをも含めて丹念に洗い出す必要があり、当該科目に精通した教員が中心となって行う大掛かりな作業となる。

今後、学習診断やスコアリング・レポートのニーズが高まってくると、RSM の利用局面も相当に増えてくると思われるが、そのためには、この問題分析の作業の軽減に関する方策が是非とも必要とされる。その手段の開発や支援方法の検討が必要であり、筆者らはニューラルネットワークの利用可能性を探る予定である。

また、次の適用場面としては、所属機関で調査・実験が計画されている基礎的な学力の把握を目的とした試験を考えている。この試験では基本的な問題が多数用いられており、問題分析の観点からも適応が比較的容易な試験ではないかと予想され、これを題材に一連の手法の有用性を検証する予定である。

加えて、RSM によって得られる Knowledge State の関係木(グラフ)は、多次元尺度解析法の一つである POSA(Partial Order Scalogram Analysis)のそれと類似している。他にも、項目の包含関係を利用した解析手法であるファセット・セオリーも Incidence Matrix の構造を展開するのに有効な手段と考えられる。そこで今後は、これらの関係を整理・検討すると共に、効率的な計算アルゴリズムを確立していくことを計画している。

謝辞

本研究で利用した Science Reasoning Test は ACT Inc. の著作物である。今回我々は ACT Inc. の使用許諾を得て、その公開されているフォーム(冊子)の一つを実験に利用した。これらの交渉の際には副所長である James Maxey 氏に仲介の労を取っていただいた。本研究の遂行にご協力いただいた ACT Inc. と James Maxey 氏に感謝します。

参考文献

- 1) Atsuhiko Hayashi and Kikumi K. Tatsuoka(2000), A Comparison of Rule-space Method and Neural Network Model for Classifying Individuals, International Conference on Measurement and Multivariate Analysis and Dual Scaling Workshop(ICMMA), Volume two, PP 226-228.
- 2) 林 篤裕(2000)、「Rule Space Method を用いた教育支援システムに関する研究開発動向について」、大学入試フォーラム、No.23、PP77-78。
- 3) 龍岡 菊美、林 篤裕(2001)、「個人の潜在的知識ステートを診断する統計的方法論」、計

測自動制御学会誌「計測と制御」、第 40 巻第 8 号、PP561-567。

4) 林 篤裕, 内田照久, 石塚智一、前川眞一(2002)、「科学的推論能力テストと大学入試センター試験の比較分析」、大学入試研究ジャーナル、第 12 号、PP1-5。

5) Hayashi Atsuhiko(2002), A Comparison Study of Rule-space Method and Neural Network Model for Classifying Individuals and An Application, the 4th Conference of the Asian Regional Section (ARS) of the International Association for Statistical Computing (IASC), Proceedings of the 4th ARS Conference of the IASC, PP 100-103.

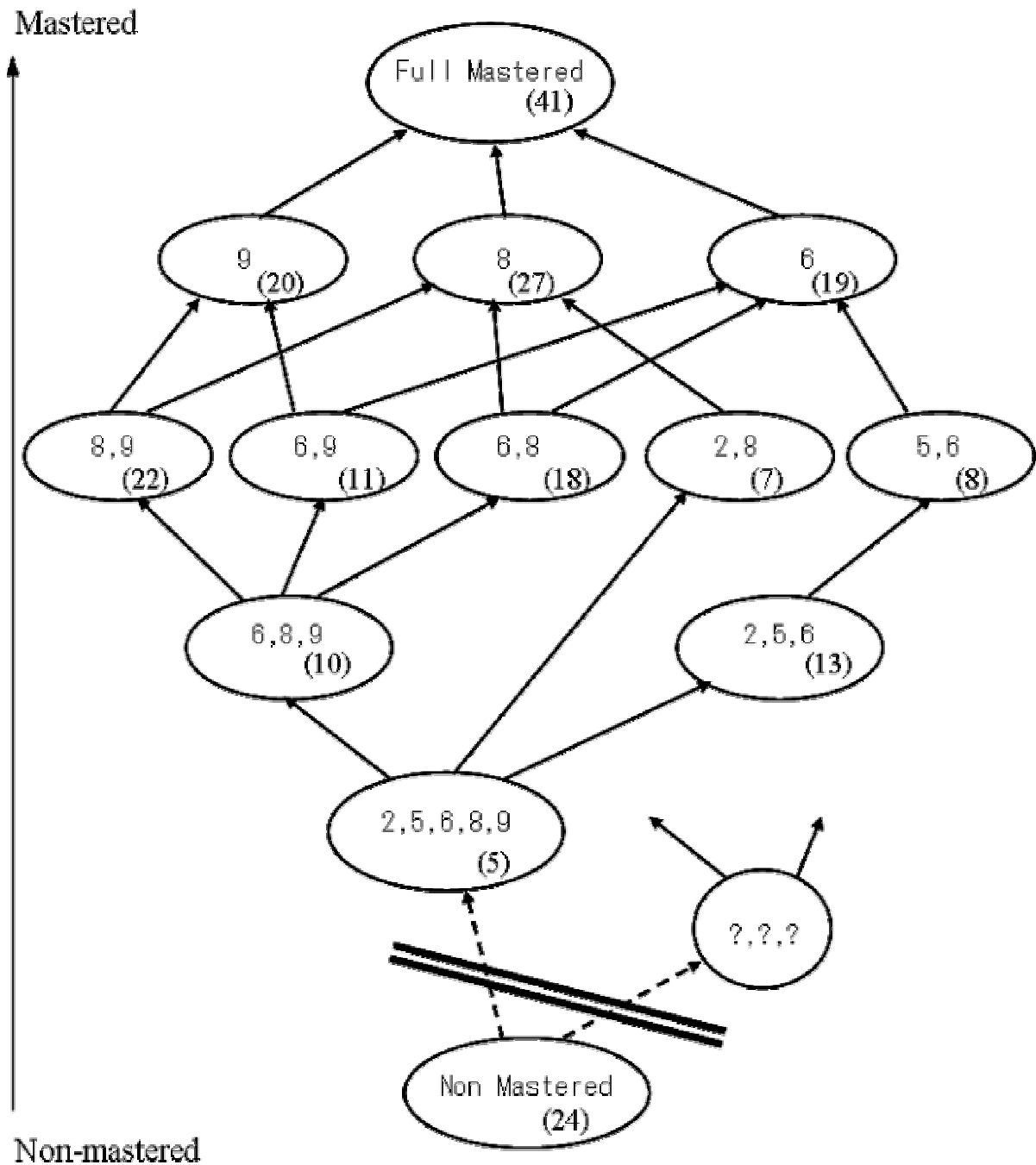


Figure 1 : A tree representation of Knowledge States for the SR-Test data