

学習構造に関する研究活動

東京大学大学院教育学研究科助教授 石 井 秀 宗

平成16年7月30日～平成17年3月23日まで、文部科学省在外研究員（教育内容改善等に関する若手教員等の海外派遣）として米国ミネソタ大学教育心理学科に研究留学した。本稿は、この期間中に行った研究活動の要約である。

まず、ミネソタ州について簡単に述べる。ミネソタ州はアメリカ中西部、5大湖の一つスベリオル湖の西、カナダとの国境沿いに位置し、アメリカ人をして「アメリカの冷蔵庫」と言わしめるほどに寒冷の地にある。夏の最高気温は摂氏30度を超えるが、冬の最高気温は零下5度にもなれば暖かいほうで、零下10度くらいが普通である。最低気温が零下30度ほどになることもある。10月後半から4月上旬までは積雪が絶えず、一晩に1メートル以上積めることもある。地形は平地が多く、また湖が大変多い。主な産業は農業であり、とくにリンゴの生産が多いことで知られている。

留学先のミネソタ大学は、ミネソタ州の州立大学であり、筆者が留学した

教育心理学科はミネアポリス校内にある。ミネアポリスはセントポールと並ぶミネソタ州の2大都市で、行政の中心がセントポール、商業の中心がミネアポリスである。二つの都市をあわせてツインシティと呼ぶことも多い。

ミネソタ大学のミネアポリス校には、経済学部、工学部など複数の学部・学科があるが、とくに医学部は有名で、アメリカ国内でも最先端の研究と医療を行っていることで知られている。心理学科は、世界的に有名な性格検査であるMMPI (Minnesota Multiphasic Personality Inventory) を開発した実績がある。また、発達心理学科は、児童虐待に対するカウンセリングのセンターを設け、国内外から訪れるカウンセラーの研修を行っている。

筆者の指導教官のDr. William M. Bart 教授は、学習者の学習構造を多次元的に捉える手法の一つであるOdering Theory の提唱者であり (Bart & Krus, 1973 ; Bart, 1976), 現在もそれに関連する研究を続けてい

る。専門は認知心理学である。筆者の留学中、Bart教授のもとには、日本からの大学院留学生1名（加藤氏）、台湾からの研究留学生1名（Dr. Lin氏）がおり、留学期間中、筆者も含めた4名で共同研究を行うこととなった。

Lin氏は、台湾において小学4, 5, 6年生に対して実施した濃度問題のデータを所持していた。濃度問題とは図1に示したような問題である。濃度問題を解くルールとしてNoelting（1980）は、表1に挙げるルールを実験研究から導出した。Bart教授はこれらの素材をもとに、次に挙げるような幾つかの研究課題を考えた。

- (1) 正答率の属性別比較（学年別、性別）
- (2) 各学年におけるルールの獲得状況の比較検討
- (3) 問題を解く過程におけるルール獲得の可能性の検討
- (4) 他のルールの存在可能性の検討

- (5) 各被験者のルール獲得状況の記述
- (6) 各被験者のルール変更状況の記述
- (7) ルール適用の一貫性の評価の検討
- (8) ルール間の関係（順序、構造、相関など）の記述
- (9) 学習構造の比較
- (10) etc.

研究課題(1), (2)は分散分析などの統計手法を用いて行い得るものであり、Lin氏が分析を行って論文を作成し、数学教育関係の学術誌に投稿しているところである。

研究課題(3)については、新たに実験を行うこととなった。ただし、実験課題は、Bart教授が研究素材としている「バランス問題」を用いることとした。「バランス問題」とは、小学校の理科の実験で行う、両天秤の支点からの長さとおもりを下げたおもりの重さをいろいろに変え、左右どちらに振れるか（またはつり合うか）を回答するものである。コンピュータ画面上で問題を編集

それぞれの項目には、A, B 2つの条件がある。A, Bそれぞれにおいて、黒いコップは100%オレンジジュースが入っており、白いコップには純水が入っている。コップの大きさおよび各コップに入っている液体の量は一定である。各条件下においてジュースと水を混ぜたとき、A, Bいずれの方がジュースの濃度が濃いか、A, B等しいのいずれかで答えよ。

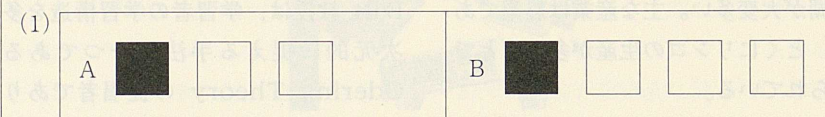


図1 濃度問題の例

表1 Noelting (1980)にある濃度問題を解くルール

条件Aにおいてジュースの入っているコップの数をa, 水の入っているコップの数をb, 条件Bにおいてジュースの入っているコップの数をc, 水の入っているコップの数をdとする。	
ルール1	ジュースの入っているコップがあるかないか (1) $a \neq 0, c = 0$ ならA, (2) $a = 0, c \neq 0$ ならB (3) $a \neq 0, c \neq 0$ ならAまたはBのいずれか (4) $a = 0, c = 0$ なら等しい
ルール2	ジュースの入っているコップの数の多い方 (1) $a > c$ ならA (2) $a < c$ ならB (3) $a = c$ なら等しい
ルール3	ジュースの入っているコップの数が水の入っているコップの数より多い方 (1) $a \geq b, c < d$ ならA (2) $a < b, c \geq d$ ならB (3) $a \geq b, c \geq d$ なら等しい (4) $a < b, c < d$ なら等しい
ルール4	ジュースの入っているコップと水の入っているコップの数の差が大きい方 (1) $(a - b) > (c - d)$ ならA (2) $(a - b) < (c - d)$ ならB (3) $(a - b) = (c - d)$ なら等しい
ルール5	水の入っているコップに対するジュースの入っているコップの数の割合の大きい方（正解） (1) $a/b > c/d$ ならA (2) $a/b < c/d$ ならB (3) $a/b = c/d$ または $b = d = 0$ なら等しい (4) $b = 0, d \neq 0$ ならA (5) $b \neq 0, d = 0$ ならB

して問題を提示し、回答履歴データを収集できるソフト「Balance Beam」(Bart教授らが開発)を用いて、バランス問題におけるルール獲得の可能性について、データを収集する予定である。

研究課題(4), (5)については、加藤氏が潜在クラスモデルを用いた分析を試みている。しかし、統計的には潜在クラスの数4が最適であり、表1におけるルールの数5とは対応しなかった。統計的に構成されるクラスが、適

用されているルールを反映するものなのか、それとも、ルール以外の何か別のものを反映するものなのか、そもそも表1のルールの分類は妥当なものかなど、いくつか検討すべき事柄が発生してきている。

研究課題(6)については、学習曲線を書くというアプローチが考えられた。各ルールを用いた場合の正答をAnswer Keyとして、各被験者において、Answer Keyごとに正答/誤答のパターンを項目順に見ていくのである。あるルール下で正答が続く、途中から別のルール下で正答が続くようになったとすれば、そこでルールの変更があったことが分かる。このような学習曲線をこまめに分析することにより、各被験者のルールの変更状況を捉えることができる。

課題(7)、(8)については、共同研究者4名でいろいろ議論したが、新しい手法を提案するには至っていない。特に課題(8)のルール間の関係(順序、構造、相関など)の記述については、Multi Answer Key データを分析することが要求されており、既存のOdering Theory, Item Relation Structure Analysis, Rule Space Model, Bayesian Network, Structure Equation Modelなどの手法とは別の(または拡張した)分析モデルを考案する必要があると考えられる。

研究課題(9)については、筆者と加藤氏で、学習構造を表現する行列の類似性を評価する研究を行った。ここで扱った行列は、ある要素(項目など)に正答するためには別の要素に正答できることが必要というprerequisite関係を表現するものであるとともに、要素 j が要素 k に先行し、さらに要素 i が要素 j に先行するのであれば、要素 i は要素 k に先行するというtransitivityという性質を満たすものである(この他にもいくつか満たすべき性質があるが省略)。筆者と加藤氏は、学習構造を表現するこのような二つの行列間の類似性を評価する指標を提案し、既存の指標(Takeya, 1999など)や行列間相関の指標(Ramsay et al., 1984など)と比較して、筆者らが提案した指標のほうが行列要素の類似性を評価するという点では優れていることをシミュレーション研究により明らかにした。この結果は論文にまとめられ、学術誌に投稿中である。

以上述べたように、Bart教授が考えた研究課題のうち、成果が得られたものもあるが、積み残した課題も多い。しかし、それらについても電子メールで連絡を取るなどして、現在でも研究を進行させている。認知心理学研究者と共同研究を行うことは、教育測定の研究者にとっては必要不可欠なことで

あると筆者は考えている。その意味においても、今回の研究留学は非常に有意義なものであった。

【文献】

- Bart, W. M. & Krus, D. J. (1973) An ordering-theoretic method to determine hierarchies among items. Educational and Psychological Measurement, 33, 291-300.
- Bart, W.M. (1976) Some results of ordering theory for Guttman scaling. Educational and Psychological Measurement, 36, 141-148.

Noelting, G. (1980) The development of proportional reasoning and the ration concept. Part I Differentiation of stages. Educational Studies in Mathematics, 11, 217-253.

Ramsay, J.O., Jos Ten Berge, & Stylian, G. P. H. (1984) Matrix correlation. Psychometrika, 49, 403-423.

Takeya, M. (1999) Structure analysis methods for instruction: Theory and practice of instructional architecture, design and evaluation. Tokyo: Takushoku University Press.

