

数学教育の内容・活動に固有な非認知的スキルに対する教師による評価： 中学校数学における「探究的証明」に関する調査結果の考察

Teachers' Assessment of Non-Cognitive Skills Specific to Contents and Activities in Mathematics Education: An analysis of the Survey Results on "Explorative Proving" in Junior High School Mathematics

宮崎樹夫 茅野公穂 中川裕之 吉川厚 清水静海 岩永恭雄
信州大学 信州大学 大分大学 東京工業大学 帝京大学 信州大学

要 約

非認知的スキルの評価に国際的な関心が集まっている。証明の学習・指導についてもこの評価への着目により種々の困難性が低減され得る。そこで、本研究の課題を、「探究的証明に固有な非認知的スキルを教師はどのように評価しているか」と定め、次の結論を得た。「探究的証明」に固有な非認知的スキルを調査対象の教師は次の視点で評価している；1:証明生成における実直さと落ち着き,2:証明の評価・改善・発展に対する恒常的な意欲,3:証明生成における協働性,4:証明生成における誠実な社会的相互作用。また、調査対象の教師による評価には次の軽重がある；視点 1:視点 2:視点 3:視点 4≒3:2:1:1,証明生成が評価・改善・発展より重視されている,勤勉性と情緒安定性が重視されている。

キーワード：非認知的スキル,教師による評価,探究的証明,因子分析

1. 「探究的証明」に固有な非認知的スキルの評価の重要性

学力は認知的スキルと非認知的スキルに大別される。特に、非認知的スキルは、「IQテストや到達度テストで測定が想定されていない個人の諸属性 attributes を記述する」(Kautz, Heckman, Diris, Ter Weel, & Borghans, 2014, p. 13)を意味し、態度と信念,社会的・情意的な質,習慣と過程,性格を包括する(Lipnevich, MacCann & Roberts, 2013)。

両スキルは互恵的な伸長には、各々の適切な育成と評価が必要である。特に、経済学で非認知的スキルと社会的幸福度との高い関係が明らかにされて以来(Heckman & Rubinstein, 2001, p. 147),非認知的スキルの育成と評価に国際的な関心が集まっている。

数学教育では従来から両スキルの育成が重視されている。しかし、評価については、認知的スキルに比べ非認知的スキルには多くの課題がある。特に、非認知的スキルの評価は、数

学教育の内容・活動に即したものとなっているとは言い難い。もし内容・活動の固有性が十分に反映され、認知的スキルとの互恵的な関係が明らかできれば、内容・活動に伴う種々の困難性が低減・解消される可能性が高まる。

特に、証明の学習・指導では、数学における証明の探究的特性が取り入れられるようになり、こうした探究的証明の学習や指導に伴う困難性が複雑化している。この困難性を低減・解消するために、探究的証明に固有な非認知的スキルの評価に着目し、認知的スキルの評価との互恵性を明らかにすることが必要である。

そこで、本研究では、非認知的スキルの教師による評価に関して、「探究的証明」に焦点をあて次の研究課題に取り組む。

探究的証明に固有な非認知的スキルを、教師はどのように評価しているか。

2. 探究的証明

数学において証明する活動は、相対的な真理観、発見学、可謬主義に基づく側面を有し、それらがダイナミックに共鳴し合い、知的な“息吹”を形づくっている。実際、事柄や証明の正誤は疑いを発生させ、証明の生成と評価・改善・発展は共同体の長期的な議論の収束を通じて疑いの解消させ、真理へと漸進する。そこで、本研究では、証明生成と、その評価・改善・発展の相互作用による営みに着目し、「探究的証明」(Explorative Proving) (Miyazaki & Fujita, 2015)と呼ぶ。

3. 方法

(1) 質問項目の作成

質問項目は、次の3つの観点とその諸側面に基づいて作成した。

- 探究的証明
 - 証明生成、評価・改善・発展
- 非認知的スキルの特性因子
 - 開放性、勤勉性、外向性、協調性、情緒安

定性

探究的証明の2側面と特性因子の5側面から10個の組合せができる。そこで、特性5因子による性格検査の60項目(村上・村上, 1997)を参照し、各組合せに6つ(3種類×正・反2項目)の質問項目を、証明の授業や学習でみとれる生徒の具体的な姿として書き出した。

(2) 協力者である教師の特徴

質問紙調査への協力者は、中学校数学科の教師53名(男性43名、女性10名)、教員経験年数は6~34年である。教師の選考にあたって、数学教育を専門とする大学教員と連携・協力関係にあることを規準とした。大学の附属中学校の教員は含まれていない。教師が回答した生徒の総数は580名である。

(3) データ収集の方法

データの収集にはインターネット調査を用いた。一つの画面には質問項目が10ずつ表示され、すべての質問項目に回答すると次のページに進むことができ、前のページに戻ることにはできない設定であった。また、質問項目の並び順は生徒ごとにランダムに変更された。

収集の時期については、協力者の教師が各学校で中学2/3年の証明指導における生徒の様子に基づいて調査に回答できるよう、データの収集時期を2019年1月~2月とした。

収集の手続きは以下の通りである。

- 回答に先立ち、教師は自らが指導する中学2年生あるいは3年生の生徒10~12人を抽出した。その際、「関心・意欲・態度」の評価がAの生徒が3名、Bの生徒が4~6名、Cの生徒が3名になり、可能な限り男女同数となるようにした。
- 教師は、60個の質問項目について、抽出した各生徒の学習状況を想起し、5件法(「そう思う」、「ややそう思う」、「どちらでもない」、「あまりそう思わない」、「そう思わない」)で回答した。

(4) 倫理審査

本調査は、信州大学教育学部研究委員会に

における倫理審査の承認(管理番号 H30-3, 6/25/2018),東京工業大学人を対象とする研究
臨死審査委員会における倫理審査の承認(第
2018114号、ならびに第2019154号)に基づ
いて実施した。

(5) データの分析

収集したデータに対して探究的な因子分析
を行った。SPSS version 25 を用い、因子抽出法
は最尤法、因子軸回転は Kaiser の正規化を伴
うプロマックス回転による分析である。

本研究では、因子分析により、探究的証明に
固有な非認知的スキルの教師による評価に関
する質問項目に影響する潜在的な因子を捉え、
「教師による評価の視点」とする。

4. 結果

探究的因子分析により、4つの因子が特定さ
れた。抽出後の負荷量平方和(累積)は59.7%
であることから、この4因子で、全質問項目(60
項目)の全分散のおよそ6割を説明している
ことになる。また、各因子の Cronbach の α 係
数(信頼性係数)については、第1因子が0.958
(項目数10)、第2因子が0.946(項目数7)、
第3因子が0.937(項目数4)、第4因子が0.883
(項目数4)である。因子の信頼性に関して、 α
係数の値が1に近づくほど一貫性が高く、一
般的な目安が0.7~0.8であることから、各因
子の信頼性は高いといえる。

5. 考察

(1) 各因子の特徴

① 因子1の特徴に基づく教師の視点の特定

因子1の質問項目10個と、各因子負荷量は
次の通りである(表1)。なお、因子負荷量は、
因子が質問項目(観測変数)に与える影響の
強さを現す値である。

表1 因子1の質問項目と因子負荷量

質問項目	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
C33_証明の間違いを指 摘されたときに、イライ	0.91	0.16	-0.17	0.15

ラしたりやる気をなく したりしがちである				
C09_証明が間違ってい ても、直すことを面倒く さがる	0.85	0.11	-0.04	-0.02
C27_証明問題に取り組 んでもすぐ飽きてしま いがちである	0.78	-0.09	0.09	-0.16
C59_自分の証明が友達 に伝わらないとイライ ラしてあきらめがちで ある	0.78	0.13	-0.17	0.04
C21_証明をするときに 使いやすいように、既習 事項を整理することを 面倒くさがる	0.78	-0.08	-0.08	0.09
C45_難しい証明問題に 冷静に取り組むことが できない	0.73	-0.13	0.03	-0.02
C22_証明の仕方がわか らないときに、すぐにあ きらめがちである	0.66	-0.23	0.14	-0.17
C11_証明をもとに新し い問題をつくろうとす ると、あきらめたりやる 気をなくしたりしがち である	0.62	-0.26	0.03	-0.02
C43_証明問題が解けな いと、途中で解答をやめ てしまいがちである	0.61	-0.25	0.18	-0.22
C50_よい証明をかくこ とにはあまり積極的で はない	0.57	-0.24	-0.01	-0.10

また、因子1の質問項目の因子負荷量につ
いて、探究的証明(証明生成、評価・改善・発展)
と特性5因子でクロス集計した結果は次の通
りである(表2)。

表2 クロス集計(因子1)

因子1	証明 生成	評価・改 善・発展	計
開放性	16.9%	0.0%	16.9%
勤勉性	29.7%	11.7%	41.4%
外向性	0.0%	0.0%	0.0%
協調性	0.0%	0.0%	0.0%
情緒安定性	20.6%	21.0%	41.7%
計	67.3%	32.7%	

クロス集計の結果から、因子1では、探究的
証明として「証明生成」が主に影響し、特性5
因子のうち、「勤勉性」と「情緒安定性」が強
く影響している。また、「証明生成」に該当す

る因子1の質問項目には、「勤勉性」として、実直さと（C27, C21, C43）、「情緒安定性」として、落ち着き（C59, C45）が現れている。このことから、因子1を「証明生成における実直さと落ち着き」と命名し、教師による評価の視点とする。

②因子2の特徴に基づく教師の視点の特定

因子2の質問項目7個と、各因子負荷量は次の通りである(表3)。

表3 因子2の質問項目と因子負荷量

質問項目	因子1	因子2	因子3	因子4
C08_証明した後でも、さらに自分で新しく問題を見いだそうとしている	0.10	1.00	0.01	-0.05
C12_証明し終わっても、別の証明がないか考えようとする	0.11	0.95	0.02	0.03
C20_証明をもとに新しい問題をつくらうと、じっくり考えている	-0.10	0.84	0.05	-0.13
C24_証明し終わったら、証明をよりよいものにできないか徹底的にチェックする	-0.13	0.66	-0.02	0.11
C34_証明した定理がどのような場面で使えるかを根気よく考えようとしている	-0.38	0.49	0.03	0.03
C02_問題を解くときに、証明で学習したときのように見通しを立てようとしている	-0.36	0.41	0.12	0.02
C04_友達がわかりやすくなるように、証明をよりよくしようとする	-0.25	0.34	0.19	0.17

また、因子2の質問項目の因子負荷量について、探究的証明と特性5因子でクロス集計した結果は次の通りである(表4)。

表4 クロス集計（因子2）

因子2	証明生成	評価・改善・発展	計
開放性	20.2%	29.9%	50.1%
勤勉性	0.0%	24.3%	24.3%
外向性	0.0%	0.0%	0.0%
協調性	0.0%	7.8%	7.8%

情緒安定性	0.0%	17.8%	17.8%
計	20.2%	79.8%	

クロス集計の結果から、因子2では、探究的証明として「評価・改善・発展」が主に影響し、特性5因子のうち、「開放性」が強く影響している。また、「評価・改善・発展」に該当する因子2の質問項目には、「開放性」として、恒常的な意欲（C08, C02）が現れている。このことから、因子2を「証明の評価・改善・発展に対する恒常的な意欲」と命名し、教師による評価の視点とする。

③因子3の特徴に基づく教師の視点の特定

因子3の質問項目4個と、各因子負荷量は次の通りである(表5)。

表5 因子3の質問項目と因子負荷量

質問項目	因子1	因子2	因子3	因子4
C44_証明から性質を見つけるときに、友達と協力しようとする	0.07	0.03	0.81	0.10
C28_証明をするために学習したことのうちどれが使えるか友達と話し合うときに、友達と一緒に考えようとしている	-0.07	-0.08	0.79	0.09
C01_同じように証明できる問題がないかを友達と一緒に考えようとしている	0.01	0.27	0.65	-0.04
C40_証明の見通しを立てるときに、友達の考えを積極的に活かそうとしている	-0.30	-0.04	0.59	-0.01
C44_証明から性質を見つけるときに、友達と協力しようとする	0.07	0.03	0.81	0.10

また、因子3の質問項目の因子負荷量について、探究的証明と特性5因子でクロス集計した結果は次の通りである(表6)。

クロス集計の結果から、因子3では、探究的証明として「証明生成」が主に影響し、特性5因子のうち、「協調性」が強く影響している。また、「証明生成」に該当する因子3の質問項目には、「協調性」として、協働性（C28, C01）が現れている。このことから、因子3を「証明

生成における協働性」と命名し,教師による評価の視点とする.

表 6 クロス集計 (因子 3)

因子 3	証明生成	評価・改善・発展	計
開放性	0.0%	0.0%	0.0%
勤勉性	0.0%	0.0%	0.0%
外向性	20.8%	0.0%	20.8%
協調性	50.9%	28.3%	79.2%
情緒安定性	0.0%	0.0%	0.0%
計	71.7%	28.3%	

④因子 4 の特徴に基づく教師の視点の特定

因子 4 の質問項目 4 個と,各因子負荷量は次の通りである(表 7).

表 7 因子 4 の質問項目と因子負荷量

質問項目	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
C25_どのように証明したのかをわかってもらえるまで話そうとする	0.05	0.01	0.05	0.90
C42_自分の証明が友達に伝わらなくても繰り返し丁寧に伝えようとする	-0.08	-0.06	0.06	0.85
C35_どのように証明するのかを友達に根気よく教えてあげる	-0.04	0.00	0.10	0.82
C51_自分が証明で工夫したところを伝えようとする	-0.01	0.16	0.19	0.57

また,因子 4 の質問項目の因子負荷量について,探究的証明と特性 5 因子でクロス集計した結果は次の通りである(表 8).

表 8 クロス集計 (因子 4)

因子 4	証明生成	評価・改善・発展	計
開放性	0.0%	0.0%	0.0%
勤勉性	0.0%	0.0%	0.0%
外向性	28.6%	18.1%	46.7%
協調性	26.1%	0.0%	26.1%
情緒安定性	27.2%	0.0%	27.2%
計	81.9%	18.1%	

クロス集計の結果から,因子 4 では,探究的

証明として「証明生成」が主に影響し,特性 5 因子のうち,「外向性」が強く影響している. また,「証明生成」に該当する因子 1 の質問項目には,社会的相互作用での誠実さが現れている. このことから,因子 4 を「証明生成における誠実な社会的相互作用」と命名し,教師による評価の視点とする.

(2) 全因子の特徴に基づく教師による評価の軽重

各因子の寄与率 (各因子負荷量の平方和/全因子に寄与する質問項目数) は,各因子の相対的な強度を示している. そのため,この指標に基づくことによって,教師による評価の視点の軽重を捉えることができる.

各因子の寄与率は次の通りである(表 9).

表 9 各因子の寄与率

因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
0.23564	0.16006	0.09156	0.10959

寄与率の整数比が 3:2:1:1 であることから,調査対象となった教師は,この比に応じ 4 つの視点に軽重をつけて,「探究的証明」に関する非認知的スキルを評価していることになる.

また,4 つの因子に寄与する質問項目全てについて,因子負荷量の絶対値の総和を特性 5 因子と探究的証明別に集計すると,教師による評価における,特性 5 因子と探究的証明に関する軽重を捉えることができる.

因子負荷量の絶対値の総和を特性 5 因子と探究的証明別に整理すると次の通りである(表 10).

この表において,探究的証明については,証明生成が 56.5%,評価・改善・発展が 43.5%であることから,教師による評価では,証明生成が評価・改善・発展より重視されている. また,特性 5 因子について,因子負荷量の絶対値の総和の比率が平均 20%であるのに対し,勤勉性 24.1%,情緒安定性 25.2%であることから,教師による評価では,勤勉性と情緒安定性が重視されている.

表 10 因子負荷量の絶対値の総和（比率）

	証明生成	評価・改善・発展	計
開放性	12.5%	8.0%	20.5%
勤勉性	13.1%	11.0%	24.1%
外向性	7.5%	3.6%	11.1%
協調性	11.5%	7.6%	19.0%
情緒安定性	11.9%	13.3%	25.2%
計	56.5%	43.5%	100.0%

6. 結論・意義・今後の課題

本研究の結論は次の通りである。

探究的証明に固有な非認知的スキルを、調査対象の教師は次の4つの視点で評価している。

視点1:証明生成における実直さと落ち着き

視点2:証明の評価・改善・発展に対する恒常的な意欲

視点3:証明生成における協働性

視点4:証明生成における誠実な社会的相互作用

また、評価に次の軽重をつけている。

- 視点1:視点2:視点3:視点4=3:2:1:1
- 探究的証明について、証明生成が評価・改善・発展より重視されている。
- 特性5因子について、勤勉性と情緒安定性が重視されている。

本結論により、「探究的証明」に固有な非認知的スキルに関する教師による評価について特徴とともに課題が明らかにされ、その改善に向けた取組が促進される。

今後の課題は次の通りである：教師は、「探究的証明」に固有な非認知的スキルを、

- 教師は、「探究的証明」に固有な非認知的スキルを、経験年数、ジェンダーに応じて、どのように評価しているか。
- 「探究的証明」に固有な非認知的スキルの評価と認知的スキルの評価は、長期/短期的

にどのように作用し合っているか。

- 教育の体制や文化は、非認知的スキルの評価にどのような差異をもたらすのか。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (No. 16H02068, 16H03057, 18H01021, 20H00098, 20H01675) の助成を受けている。

引用・参考文献

Heckman, J. J., & Rubinstein, Y. (2001). The Importance of Noncognitive Skills: Lessons from the GED Testing Program. *American Economic Review*, 91(2), 145 - 149.

Kautz, T., Heckman, J. J., Diris, R., Ter Weel, B., and Borghans, L. (2014). *Fostering and measuring skills: Improving cognitive and non-cognitive skills to promote lifetime success* (No. w20749). Bonn, Germany: National Bureau of Economic Research

Lipnevich A.A., Gjicali K., Krumm S. (2016) Understanding Attitudes in Education. In: Khine M.S., Areepattamannil S. (eds) *Non-cognitive Skills and Factors in Educational Attainment. Contemporary Approaches to Research in learning Innovations*. SensePublishers, Rotterdam

Miyazaki, M. & Fujita, T. (2015). Proving as an explorative activity in mathematics education: new trends in Japanese research into proof. In B. Sriraman. (Ed.), *First Sourcebook on Asian Research in Mathematics Education: China, Korea, Singapore, Japan, Malaysia and India (International Sourcebooks in Mathematics and Science Education)* (pp. 1375-1407), Charlotte, NC: Information Age Publishing.

村上宣寛, 村上千恵子 (1997). 主要5因子性格検査の尺度構成. *性格心理学研究*, 6(1), 29 - 39.