

中学生の理科と数学の教科等横断的な学習の意義を 構成している諸要因の因果モデル

－初等教育教員養成課程学生との比較を通して－

河本 康 介*・山田 貴 之**

(令和5年12月14日受付；令和6年4月4日受理)

要 旨

本研究の第一の目的は、中学生の理科と数学の教科等横断的な学習の意義を構成している諸要因の因果モデルを質問紙調査によって明らかにすることであった。さらに、初等教育教員養成課程学生を対象とした因果モデル構造と比較検討し、共通点や相違点を明確にすることが第二の目的であった。質問紙調査を行った結果、第一の目的については、「問題解決への意識」、「関数的な見方・考え方」、「探究的な学習の有用性」、「理科における学習方略」、「数式化・数値化の意識」、「理科学習での数学の必要性」の6つの因子が抽出された。また、重回帰分析とパス解析を行った結果、「関数的な見方・考え方」が、4因子（「問題解決への意識」、「理科における学習方略」、「理科学習での数学の必要性」、「数式化・数値化の意識」）を経由しながら間接的に、そして、「関数的な見方・考え方」から直接的に「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼしていることが明らかになった。第二の目的については、「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼす各要因の直接効果、間接効果および総合効果を算出して比較した結果、中学生の方が「問題解決への意識」、「関数的な見方・考え方」、「理科における学習方略」において、「探究的な学習の有用性」に強く影響を及ぼしていることが示唆された。これらの結果を踏まえ、密度やフックの法則、オームの法則といった2変数を取り扱う理科学習で、「関数的な見方・考え方」を取り入れた指導方法が「探究的な学習の有用性」の意識を高めていく可能性について、それを裏付ける根拠と示唆を得ることができた。

KEY WORDS

cross-curriculum learning in subject of science and mathematics 理科と数学の教科等横断的な学習, lower secondary school students 中学生, usefulness of inquiry-based learning 探究的な学習の有用性, causal models 因果モデル

1 問題の所在

グローバル化の進展や先端技術の高度化に伴い、これからの時代に求められる21世紀型スキルやキー・コンピテンシーといった資質・能力を育成するために、各教科等の学習とともに、教科等横断的な視点に立った学習が重要であり、教科等間のつながりを捉えた学習を進める必要がある（中央教育審議会、2016）⁽¹⁾。中学校学習指導要領（平成29年告示）解説総則編（文部科学省、2018a）⁽²⁾においても、言語能力、情報活用能力、問題発見・解決能力等の学習の基盤となる資質・能力や、現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力の育成のために、教科等横断的な学習の充実が明記された。世界的な潮流においてもSTEM/STEAM教育が注目されており、特定の教科等の指導だけでなく、教科の枠を越えたつながりを見だし、汎用性のある学びの基盤となる能力の育成が求められている。我が国でも、新たな価値を生み出す人材輩出とそのため教育・人材育成システムの実現のために、初等中等教育段階からSociety5.0時代の学びを実現していく必要があり、好奇心に基づいた探究力の育成・強化に向けたSTEAM教育^(註1)による問題発見・課題解決的な学びの充実を挙げている（内閣府、2021）⁽³⁾。

中学校理科では、観察・実験の結果を分析し解釈する学習活動の充実を図ることは、思考力や表現力などの資質・能力を育成するうえでも重要であり、そのためには、数値を処理することや、データを図、表、グラフなどの多様な形式で表したり、分析・解釈し、結果について考察したりするなどの知識・技能が必要となる。中学校学習指導要領（平成29年告示）解説数学編（文部科学省、2018b）⁽⁴⁾では、主に関数は、自然現象や社会現象を能率的に記述し考察するために生まれてきたものであることを踏まえ、表、式、グラフを用いて説明することができるようにすることが求められている。また、「具体的な事象/場面」との表記が多数あり、理科学習に関連した具体的な事象として、斜

*三条市立一ノ木戸小学校 **自然・生活教育学系

面をころがるものの運動や車の制動距離等が例として挙げられ、身の回りの事物・現象との関わりの中で学習する大切さが述べられている。高阪・渡邊 (2020)⁽⁵⁾は、日本のPISA 2012の公開データから、生徒が持つ理科と数学の学力の関連性を分析し、数学的リテラシーが科学的リテラシーと正の関連性を持つことを明らかにしている。これらのことから、理科と数学を密接に関連付けた指導によって、教科等横断的な学習の充実が期待できるものとする。

これまでの理科と数学の関連付けの先行研究では、理科と関連付けた数学指導によって抽象的な数学概念を具体例として生徒に提供できることや、数学と関連付けた理科指導によって自然現象を定量化して表現・分析することができることが報告されている (Watanabe & Huntley, 1998; Bossé, Lee, Swinson & Faulconer, 2010)^(6,7)。また、出題の文脈の違いによって異なった解答を示すという両教科の文脈依存性に焦点を当てた研究 (西川, 1993; 石井・箕輪・橋本, 1996; 今井・石井, 2013)^(8,9,10)や、理科と数学を関連付けた授業実践 (山中・谷地元, 2020)⁽¹¹⁾、数学と理科に共通の見方・考え方として「関数的な見方・考え方」を設定した研究 (山田・稲田・岡崎・小林, 2020)⁽¹²⁾、中学生を対象とした数学と理科の教科関連の意識調査 (安藤・小原, 2010)⁽¹³⁾がある。中学生のSTEMのイメージに関する調査 (今村・佐藤, 2018)⁽¹⁴⁾では、中学生はSTEM教育で学習することが将来の生活や社会に役立ち、活かされると考えている一方で、学校外でのSTEM関連の講座や実験教室への参加の必要性が見られないことから、様々な機会を提供することも大切な要素だと述べている。

このように、理科と数学の関連性や授業実践について数多くの先行研究があり、いずれも理科と数学の連携の必要性が強く指摘されている。しかし、これまでの理科と数学を関連付ける枠組みが、様々な視点から議論されてきたために、理科と数学を関連付ける意義が不明瞭になっている (高阪, 2015)⁽¹⁵⁾との指摘があるように、学習者を対象とし、理科と数学の教科等横断的な学習の意義をどのように認識しているかを調査した例は、過去20年の国内の理科教育に関する学術論文を精査した限り見当たらなかった。

こうした背景を踏まえ、河本・山田・小林・山田 (2022)⁽¹⁶⁾は、まず、高等学校までの理科と数学の学習を終えている初等教育教員養成課程学生 (以下、大学生と表記) を対象に質問紙調査を行い、理科と数学の教科等横断的な学習の意義を構成している6因子 (「問題解決への意識」「関数的な見方・考え方」「理数学習の有用性」「理科における学習方略」「理科学習での数学の必要性」「数式化・数値化の意識」) を明らかにした。さらに、重回帰分析とパス解析により、「関数的な見方・考え方」が4因子 (「問題解決への意識」「理科における学習方略」「理科学習での数学の必要性」「数式化・数値化の意識」) を経由しながら「理数学習の有用性」に間接的に影響を及ぼしていることを明らかにした (図1)。しかし、河本ら (2022)⁽¹⁶⁾で得られた因果モデルは、大学生を対象としており、中学生よりも高い発達段階・学習段階にあることから、限定的な知見であると考えられる。そこで、河本ら (2022)⁽¹⁶⁾の知見を踏まえ、教科等横断的な学習の充実と重要性が強調され、理科と数学を関連させた先行研究や実践が複数見られる中学生を対象に、理科と数学の教科等横断的な学習の意義に対する認識を構成する諸要因の因果モデルを検討することが教科等横断的な学習を充実させる上で必要だと考えた。さらに、図1で示した大学生を対象とした因果モデル構造との比較検討を通じて共通点や相違点を明確にし、中学生の意識の構造に見られる特徴を探ることとした^(註2)。

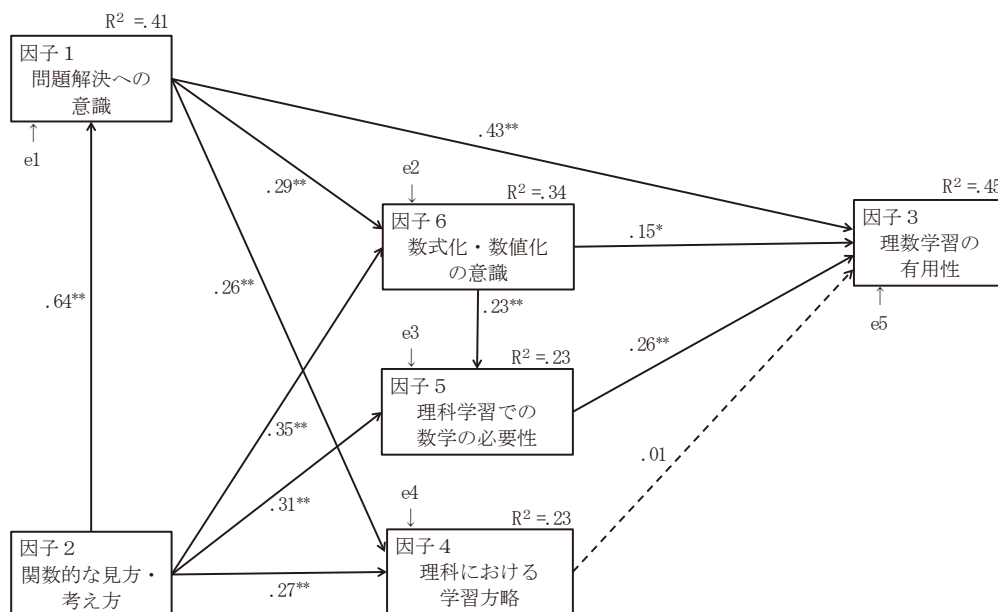


図1 大学生の「理数学習の有用性」に影響を及ぼす因果モデル (河本ら, 2022より転載)

2 本研究の目的

本研究では、中学生の理科と数学の教科等横断的な学習の意義を構成している諸要因の因果モデルを質問紙によって明らかにすることを目的とした。さらに、大学生を対象とした因果モデル構造（河本ら，2022）⁽¹⁶⁾との比較検討を通じて、共通点や相違点を明確にし、中学生の意識の構造に見られる特徴を探ることとした。

3 研究の方法

3.1 調査の対象と実施時期

新潟県内の義務教育学校後期課程に在籍する7～9年生の生徒230名を対象に質問紙調査を行った^(註3)。実施時期は2021年10月下旬であった。

3.2 質問紙の内容

河本ら（2022）⁽¹⁶⁾の質問紙に、理科と数学の好き嫌いに関する自由記述欄を加えた、計69項目から成る質問紙を準備した（表1）。

3.3 分析の方法

「SPSS 28 Statistics Base」を用いて、表1に示した各項目の平均値と標準偏差を算出し、天井効果と床効果を確認した。その後の分析は以下の手順で行った。

3.3.1 因子分析

固有値が1以上、因子負荷量が.40に満たない項目および複数の項目に.40以上を示す項目は除外し、主因子法・Promax回転による因子分析を行った^(註4)。

3.3.2 因子間の相関分析

得られた因子間の相関（Pearsonの積率相関係数）を求めた。

3.3.3 パス図の作成とパス解析

河本ら（2022）⁽¹⁶⁾の因果モデルや相関分析、重回帰分析の結果を踏まえ、分析には因子得点を、パラメータの推定には最尤法を用いてパス図の作成とパス解析を繰り返し行い、因果関係の構造の妥当性や相互に及ぼし合う影響の大きさを分析した。

3.3.4 河本ら（2022）との比較

河本ら（2022）⁽¹⁶⁾の大学生を対象とした因果モデルとを比較検討するために、各要因の直接効果、間接効果および総合効果を算出した^(註5)。

4 結果と考察

4.1 因子分析

各項目の平均値と標準偏差を基に、まず、天井効果が見られた7項目（問7，8，11，40，47，51，54）を除外し、残りの62項目に対して因子分析を行った。次に、固有値の変化や因子負荷量、因子の解釈可能性を考慮し、6因子構造が妥当と判断し、6因子解を仮定して因子分析を行った。分析においては、因子負荷量が.40を下回った項目を分析から除外しながら複数回行った。この過程で13項目（問1，2，3，4，22，46，48，55，56，58，59，64，69）が除外された。なお、回転後の6因子で最終的に残った49項目の全分散を説明する割合は65.59%であった。また、各因子について算出した α 係数も十分な内的整合性が得られ、質問項目の妥当性と信頼性が認められたので、その結果を最終的な因子パターンとした（表2）。

第1因子（ $\alpha = .94$ ）は13項目で構成されており、「35. 条件の異なる2つを比較することは、得意だ」、「37. 決められた条件の中で、最適な課題の解決方法を考えることに、興味がある」、「44. よりよい解決方法になるように、方法の改善、修正を行うことは、得意だ」など、問題解決に向けた探究の方法や見方・考え方の働き方に関する内容の項目が高い負荷量を示していた。そこで、この因子を「問題解決への意識」と命名した。

表1 理科と数学の教科等横断的な学習の意義に関する意識調査の内容

質問項目	平均値	SD	質問項目	平均値	SD
1. 理科の学習で、数学で学習したことを使って考えようとするところがある	3.64	1.07	36. 条件の異なる2つを比較することは、私の将来の役に立つ	3.17	1.13
2. 数学の学習で、理科で学習したことを使って考えようとするところがある	2.89	1.16	37. 決められた条件の中で、最適な課題の解決方法を考えることに、興味がある	3.41	1.18
3. 理科の学習で、関係性や規則性がどのような数学の式で表されるかを考えるようにしている	3.12	1.19	38. 決められた条件の中で、最適な課題の解決方法を考えることは、得意だ	2.94	1.04
4. 理科の学習で、数学の式を使って考えるところがある	3.77	1.15	39. 決められた条件の中で、最適な課題の解決方法を考えることは、私の将来の役に立つ	3.51	1.19
5. 理科の学習で、新しい内容を学ぶときは、今までに習った単元の内容と関連するか考えるようにしている	3.60	1.11	40. 実際に作ったり試したりすることに、興味がある	3.94	1.14
6. 理科の問題で、ある方法で解決できないときは、別の方法を試してみるようにしている	3.80	1.15	41. 実際に作ったり試したりすることは、得意だ	3.49	1.15
7. 数学の学習で、新しい内容を学ぶときは、今までに習った単元の内容と関連するか考えるようにしている	3.98	1.08	42. 実際に作ったり試したりすることは、私の将来の役に立つ	3.55	1.10
8. 数学の問題で、ある方法で解決できないときは、別の方法を試してみるようにしている	4.26	0.96	43. よりよい解決方法になるように、方法の改善、修正を行うことに、興味がある	3.55	1.18
9. 理科の学習で、どのような関係性や規則性が見いだせるかを考えるようにしている	3.47	1.10	44. よりよい解決方法になるように、方法の改善、修正を行うことは、得意だ	3.11	1.12
10. 理科の実験で、何が原因かを考えるようにしている	3.98	0.97	45. よりよい解決方法になるように、方法の改善、修正を行うことは、私の将来の役に立つ	3.70	1.19
11. 理科の実験で、結果がどのようになるかを考えるようにしている	4.25	0.90	46. 難しくても、興味がある分野の勉強は、粘り強く取り組める	3.83	1.14
12. ある数量Aが変化するとき、その原因が何であるのかを考えるようにしている	3.74	1.11	47. 難しくても、得意な分野の勉強は、粘り強く取り組める	3.94	1.12
13. 伴って変わる2つの数量AとBについて、AとBの間にはどんな関係がありそうか、考えるようにしている	3.77	1.05	48. 難しくても、自分の将来の役に立つと感じる勉強は、粘り強く取り組める	3.66	1.14
14. 伴って変わる2つの数量AとBについて、Aが変化すると、Bがどのように変化するか考えるようにしている	3.90	1.01	49. 理科の学習では、数学の知識が必要な場面が多くある	3.92	0.89
15. 伴って変わる2つの数量AとBの関係について、Aを決めるとBも決まるといふ規則性を使って考えるようにしている	3.82	1.05	50. 理科の学習には、数学の計算力が必要なものが多い	4.23	0.76
16. 伴って変わる2つの数量AとBについて、AとBの関係を調べるために、表やグラフを用いるようにしている	3.55	1.11	51. 数学や理科は、論理的な考えを重視する教科として共通点がある	4.13	0.92
17. 伴って変わる2つの数量AとBについて、AとBの関係を式で表すようにしている	3.56	1.15	52. 理科の成績を上げるためには、数学の学習が必要である	3.75	0.96
18. 伴って変わる2つの数量AとBについて、表やグラフから変化の特徴を読み取り、今後の変化を予測するようにしている	3.64	1.14	53. 数学と理科の学習は、関連性が強いと思う	3.97	0.89
19. ものごとを数値化して考えることに、興味がある	3.00	1.33	54. 理科の実験データは、表やグラフで表すと分かりやすい	4.53	0.74
20. ものごとを数値化して考えることは、得意だ	2.67	1.18	55. 理科の実験で得られたデータを客観的に示すためには、数学の知識が必要である	3.81	1.00
21. ものごとを数値化して考えることは、私の将来の役に立つ	3.18	1.20	56. 自然現象や社会現象などについて考えたり、予測したりするためには、関数的な見方が必要である	3.77	0.98
22. 関係性を数式で表すことに、興味がある	2.95	1.22	57. 関数を学ぶことで、未知の事柄を予測できると思う	3.60	1.02
23. 関係性を数式で表すことは、得意だ	2.69	1.15	58. 理科の勉強をするとき、私はその内容を頭の中に思い浮かべながら進めている	3.71	1.17
24. 関係性を数式で表すことは、私の将来の役に立つ	2.97	1.10	59. 私は前に習ったことを思い出ししながら、理科の勉強を進めている	3.92	1.00
25. 表やグラフを用いて情報を整理することに、興味がある	3.28	1.20	60. 私が理科の勉強をするとき、学習する内容を別の言葉におきかえて勉強しやすくしている	3.08	1.16
26. 表やグラフを用いて情報を整理することは、得意だ	3.04	1.15	61. 理科の勉強を進めるとき、私は何かにたとえてその内容を覚えるようにしている	3.17	1.19
27. 表やグラフを用いて情報を整理することは、私の将来の役に立つ	3.44	1.18	62. 理科の試験前には、私はノートを自分なりにまとめて勉強している	2.96	1.34
28. 問題の解決方法を予想し、実験して確かめることに、興味がある	3.68	1.18	63. 理科の勉強をするとき、私は教科書やワークの内容をノートにまとめている	3.07	1.35
29. 問題の解決方法を予想し、実験して確かめることは、得意だ	3.31	1.10	64. 私が理科の勉強をするときは、同じ内容をまとめて覚えるようにしている	3.58	1.19
30. 問題の解決方法を予想し、実験して確かめることは私の将来の役に立つ	3.28	1.19	65. 理科の勉強では、私は似たような内容をグループに分けて進めている	2.96	1.25
31. 共通点を探し、仲間分けすることに、興味がある	3.60	1.16	66. 理科の勉強をするとき、私は学習する内容の順序を決めてから進めている	3.29	1.32
32. 共通点を探し、仲間分けすることは、得意だ	3.38	1.15	67. 理科を勉強するとき、私は学習する内容を図や表に書き直して進めている	2.71	1.22
33. 共通点を探し、仲間分けすることは、私の将来の役に立つ	3.14	1.15	68. 私が理科の教科書やワークを読むときは、その内容の大きさをまとめるようにしている	3.32	1.25
34. 条件の異なる2つを比較することに、興味がある	3.50	1.16	69. 私が理科の勉強をするときは、今まで習ったことと頭の中であれこれ結びつけるようにしている	3.52	1.19
35. 条件の異なる2つを比較することは、得意だ	3.17	1.14			

第2因子 ($\alpha = .92$) は12項目で構成されており、「14. 伴って変わる2つの数量AとBについて、Aが変化すると、Bがどのように変化するか考えるようにしている」、「12. ある数量Aが変化するとき、その原因が何であるのかを考えるようにしている」など、理科と数学で共通する2数量の関係や関数関係の考え方についての内容の項目が高い負荷量を示していた。そこで、この因子を「関数的な見方・考え方」と命名した。

第3因子 ($\alpha = .94$) は9項目で構成されており、「30. 問題の解決方法を予想し、実験して確かめることは私の将来の役に立つ」、「27. 表やグラフを用いて情報を整理することは、私の将来の役に立つ」、「24. 関係性を数式で表す

ことは、私の将来の役に立つ」など、観察・実験等の理科学習の場面で必要とされる技能の有用性に関する内容の項目が高い負荷量を示していた。河本ら (2022)⁽¹⁶⁾は、この第3因子を「理数学習の有用性」と命名しているが、これらの項目に含まれる「表やグラフを用いて情報を整理する」、「数値化して考える」、「比較する」、「予想し、実験して確かめる」等を「理数学習」と捉えるのは解釈に飛躍があると考えた。そこで、著者ら^(注6)で慎重に議論した結果、これらの項目は、観察・実験等の各場面で必要とされる科学的に探究する学習活動・技能に対する有用性と解釈し、この因子を「探究的な学習の有用性」と命名した。

第4因子 ($\alpha = .86$) は8項目で構成されており、「62. 理科の試験前には、私はノートを自分なりにまとめ直して勉強している」、「63. 理科の勉強をするとき、私は教科書やワークの内容をノートにまとめている」など、理科の勉強方法や学習方略に関する内容の項目が高い負荷量を示していた。そこで、「理科における学習方略」と命名した。

第5因子 ($\alpha = .78$) は4項目で構成されており、「49. 理科の学習では、数学の知識が必要な場面が多くある」、「50. 理科の学習には、数学の計算力が必要なことが多い」など、理科学習における数学の知識・技能の必要性に関する内容の項目が高い負荷量を示していた。そこで、この因子を「理科学習での数学の必要性」と命名した。

第6因子 ($\alpha = .91$) は3項目で構成されており、「23. 関係性を数式で表すことは、得意だ」、「20. ものごとを数値化して考えることは、得意だ」といった、学習内容や事象を定量的に数式化・数値化する意識を示す内容の項目が高い負荷量を示していた。そこで、この因子を「数式化・数値化の意識」と命名した。

4. 2 相関分析

表3に示したように、15の因子間で有意な正の相関が認められた。その中で、因子1「問題解決への意識」と因子3「探究的な学習の有用性」($r = .71$)で最も強い正の相関が、因子1「問題解決への意識」と因子2「関数的な見方・考え方」($r = .69$)で強い正の相関が示された。以下、残りの因子間の相関について、因子1から順に見ていく。

因子1「問題解決への意識」については、因子4「理科における学習方略」($r = .66$)、因子5「理科学習での数学の必要性」($r = .42$)、因子6「数式化・数値化の意識」($r = .41$)との間にそれぞれ正の相関が示された。

因子2「関数的な見方・考え方」については、因子3「探究的な学習の有用性」($r = .60$)、因子4「理科における学習方略」($r = .56$)、因子5「理科学習での数学の必要性」($r = .42$)、因子6「数式化・数値化の意識」($r = .45$)との間にそれぞれ正の相関が示された。

因子3「探究的な学習の有用性」については、因子4「理科における学習方略」($r = .48$)、因子5「理科学習での数学の必要性」($r = .40$)、因子6「数式化・数値化の意識」($r = .44$)との間にそれぞれ正の相関が示された。

因子4「理科における学習方略」については、因子5「理科学習での数学の必要性」($r = .33$)、因子6「数式化・数値化の意識」($r = .27$)との間にそれぞれ正の相関が示された。

因子5「理科学習での数学の必要性」については、因子6「数式化・数値化の意識」($r = .17$)と正の相関が示された。

4. 3 重回帰分析

抽出された6因子が相互に及ぼす影響を検討するために、因子1「問題解決への意識」、因子2「関数的な見方・考え方」、因子3「探究的な学習の有用性」、因子4「理科における学習方略」、因子5「数式化・数値化の意識」、因子6「理科学習での数学の必要性」の各因子を従属変数とした重回帰分析を行った(表4)。

因子1「問題解決への意識」は、因子2「関数的な見方・考え方」($\beta = .26, p < .01$)、因子3「探究的な学習の有用性」($\beta = .36, p < .01$)、因子4「理科における学習方略」($\beta = .31, p < .01$)とそれぞれ正の関連が示された。

因子2「関数的な見方・考え方」は、因子1「問題解決への意識」($\beta = .36, p < .01$)、因子3「探究的な学習の有用性」($\beta = .14, p < .05$)、因子4「理科における学習方略」($\beta = .16, p < .01$)、因子5「理科学習での数学の必要性」($\beta = .13, p < .05$)、因子6「数式化・数値化の意識」($\beta = .18, p < .01$)とそれぞれ正の関連が示された。

因子3「探究的な学習の有用性」は、因子1「問題解決への意識」($\beta = .50, p < .01$)、因子2「関数的な見方・考え方」($\beta = .14, p < .05$)、因子5「理科学習での数学の必要性」($\beta = .11, p < .05$)、因子6「数式化・数値化の意識」($\beta = .16, p < .01$)とそれぞれ正の関連が示された。

因子4「理科における学習方略」は、因子1「問題解決への意識」($\beta = .53, p < .01$)および因子2「関数的な見方・考え方」($\beta = .20, p < .01$)とそれぞれ正の関連が示された。

因子5「理科学習での数学の必要性」は、因子2「関数的な見方・考え方」($\beta = .23, p < .05$)および因子3「探究的な学習の有用性」($\beta = .19, p < .05$)とそれぞれ正の関連が示された。

因子6「数式化・数値化の意識」は、因子2「関数的な見方・考え方」($\beta = .30, p < .01$)および因子3「探究的

な学習の有用性」($\beta = .26, p < .01$)とそれぞれ正の関連が示された。

分散拡大係数(VIF)を算出したところ、全ての数値において注意が必要とされている5を下回っていたことから(芝田, 2017)⁽¹⁷⁾, 許容範囲内であると判断した。

表2 因子分析の結果

項目	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
35	.77	-.08	.12	.02	-.03	.10
37	.76	.04	.07	-.15	.03	.09
44	.74	-.17	-.06	.09	.08	.23
43	.73	.02	.02	-.04	.10	-.02
38	.67	-.10	.03	.05	.03	.22
26	.67	.02	-.07	.00	-.05	.33
34	.66	.04	.09	.02	-.03	-.01
29	.61	.12	.05	.03	-.08	.03
28	.60	.30	-.10	-.01	-.04	-.08
25	.58	.09	.06	-.02	-.06	.12
31	.55	.24	.09	-.02	-.06	-.06
41	.55	-.14	.00	.28	-.02	.04
32	.43	.08	.16	.03	.06	.11
14	-.03	.79	-.04	-.09	.12	.08
12	.10	.78	.00	.02	-.06	-.16
10	.09	.74	-.07	.17	-.11	-.18
13	-.01	.74	.05	-.10	.04	.09
15	-.09	.72	.04	-.05	.15	.12
6	-.07	.70	.01	-.02	.03	.06
9	.05	.67	.04	.03	-.05	.04
18	.11	.67	-.14	-.11	.09	.24
17	-.12	.62	-.01	-.02	-.02	.36
5	.07	.56	-.01	.16	-.04	-.06
16	.04	.53	-.01	.08	.03	.11
57	.19	.40	.13	.06	.04	-.15
30	-.02	.11	.87	-.03	-.07	-.08
27	-.05	-.10	.82	.03	.03	.11
36	.09	-.13	.82	.00	.01	.02
21	-.19	-.01	.77	.08	.00	.30
42	.19	-.02	.74	-.03	-.02	-.16
39	.11	.03	.72	-.14	.12	.00
45	.24	-.09	.70	-.15	.10	-.04
33	.14	.10	.69	.06	-.19	-.08
24	-.21	.17	.59	.07	.00	.31
62	.06	.04	-.25	.83	-.04	.03
63	.02	-.16	-.09	.78	.10	-.05
67	.08	-.03	.00	.66	.00	.01
65	.01	-.01	.14	.61	.05	-.02
61	-.11	.11	.06	.60	-.11	.18
60	-.18	.20	.07	.53	-.02	.13
66	.11	.06	.08	.50	.06	.00
68	.19	-.04	.16	.47	.10	-.07
49	-.13	.02	.02	.00	.79	.00
50	.02	.07	-.07	-.04	.73	.05
53	.14	.09	.05	.12	.55	-.17
52	.07	.07	.04	.19	.45	-.09
23	.39	.09	-.11	.04	.00	.66
20	.28	.06	.10	.03	-.05	.65
19	.38	.13	.08	-.02	-.04	.49
因子2	.65	—				
因子3	.67	.57	—			
因子4	.61	.51	.45	—		
因子5	.37	.37	.36	.28	—	
因子6	.35	.40	.40	.23	.15	—

表3 相関分析の結果 (Pearsonの積率相関係数)

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
因子1	—					
因子2	.69 **	—				
因子3	.71 **	.60 **	—			
因子4	.66 **	.56 **	.48 **	—		
因子5	.42 **	.42 **	.40 **	.33 **	—	
因子6	.41 **	.45 **	.44 **	.27 **	.17 **	—

注) ** $p < .01$, * $p < .05$

表4 重回帰分析の結果 (強制投入法)

	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
因子1	—					
因子2	.26 **	—				
因子3	.36 **	.14 *	—			
因子4	.31 **	.16 **	-.01	—		
因子5	.05	.13 *	.11 *	.03	—	
因子6	.04	.18 **	.16 **	-.05	-.08	—
調整済R ²	.68 **	.56 **	.55 **	.46 **	.23 **	.26 **

注) ** $p < .01$, * $p < .05$

4. 4 パス図の作成とパス解析

上述した相関分析と重回帰分析の結果を踏まえ、6因子がどのように影響を及ぼし合っているのか因果モデルを検討した。その結果、図2に示す因果モデルが得られた。本因果モデルの適合度を検討したところ、 χ^2 値は.540(自由度2)、p値は.763、適合度指標(GFI)は.999、修正適合度指標(AGFI)は.992、比較適合度指数(CFI)は1.000、平均二乗誤差平方根(RMSEA)は.000であった。これらの各指標値は良好な適合度を示し、妥当性が高いと判断されるので、本因果モデルは支持されたといえる。さらに、本因果モデルから、以下に示す4つの示唆が得られた。()内の数値はパス係数を示し、影響の大きさをそれぞれ表す。

- ①因子4「理科における学習方略」は、因子2「関数的な見方・考え方」(.54)から影響を受け、因子1「問題解決への意識」(.41)に直接的な影響を及ぼしている。
- ②因子1「問題解決への意識」は、因子2「関数的な見方・考え方」(.47)および因子4「理科における学習方略」(.41)から影響を受け、因子5「理科学習での数学の必要性」(.20)、因子6「数式化・数値化の意識」(.22)および因子3「探究的な学習の有用性」(.50)に直接的な影響を及ぼしている。
- ③因子6「数式化・数値化の意識」は、因子1「問題解決への意識」(.22)および因子2「関数的な見方・考え方」(.33)から影響を受け、因子3「探究的な学習の有用性」(.16)に直接的な影響を及ぼしている。
- ④因子5「理科学習での数学の必要性」は、因子1「問題解決への意識」(.20)および因子2「関数的な見方・考え方」(.23)から影響を受け、因子3「探究的な学習の有用性」(.12)に直接的な影響を及ぼしている。

以上の示唆から、因子2「関数的な見方・考え方」が因果モデルの初発の段階に位置し、直接的・間接的に(因子1「問題解決への意識」、因子4「理科における学習方略」、因子5「理科学習での数学の必要性」、因子6「数式化・数値化の意識」をそれぞれ媒介して)因子3「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼしていると考えられる。

次に、大学生の因果モデル(図1)と比較したとき、中学生の因果モデルは「関数的な見方・考え方」からより多く各因子を媒介し「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼしている。そこで、どの間接効果に有意性があるのかを媒介分析によって検討した。媒介分析に際して、Sobelの方法による推定を行った。分析の結果、「理科における学習方略」が「探究的な学習の有用性」に対して「問題解決への意識」を媒介した間接効果($\beta = .21, p < .01$)、「関数的な見方・考え方」が「探究的な学習の有用性」に対して「理科における学習方略」、「問題解決への意識」を媒介した間接効果($\beta = .11, p < .01$)、「問題解決への意識」を媒介した間接効果($\beta = .24, p < .01$)および「数式化・数値化の意識」を媒介した間接効果($\beta = .05, p < .05$)に有意性が認められた。これらのことから、関数的な見方・考え方を働かせた授業方略によって、問題解決に向けた意識や数式化・数値化の意識が高まり、間接的に「探究的な学習の有用性」の意識が高まると解釈できる。

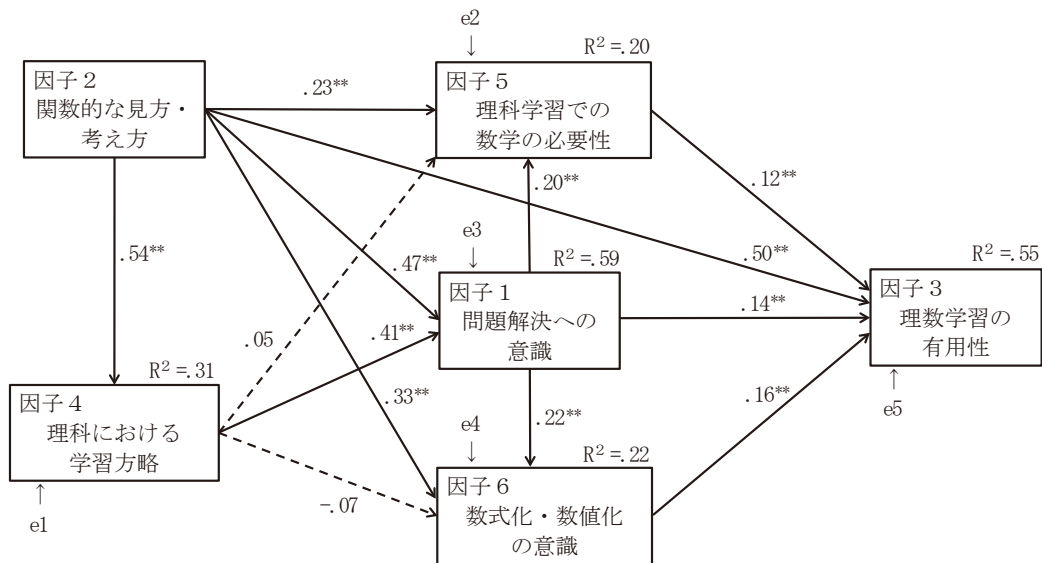


図2 因子3「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼす中学生の因果モデル

注) 実線は有意なパス、破線は有意でないパス、数値は標準化推定値、R²は重相関係数の平方、e1~5は誤差変数を示す。 **p<.01

4.5 大学生のパス図との比較

図1, 2に示した因果モデルから, 中学生「探究的な学習の有用性」および, 大学生「理数学習の有用性」に影響を及ぼす要因構造を検討した。このとき, 要因構造を詳細に検討するため, 「探究的な学習の有用性」, 「理数学習の有用性」に影響を及ぼす各要因の直接効果, 間接効果および総合効果をそれぞれ算出してまとめた(表5)。中学生および大学生の因果モデルと各効果の値から, 共通点として, 「問題解決への意識」では, 直接的に「探究的な学習の有用性」, 「理数学習の有用性」に影響を及ぼしやすいこと, 「関数的な見方・考え方」では, 間接的に影響を及ぼしやすいこと, 「理科学習での数学の必要性」と「数式化・数値化の意識」では, 値は小さいが直接的に影響を及ぼしやすいことが言える。一方で, 相違点に目を向け, 総合効果に着目すると, 中学生の「探究的な学習の有用性」に強く影響を及ぼしている要因は「関数的な見方・考え方」, 「問題解決への意識」, 「理科における学習方略」の順で高かったのに対し, 大学生の「理数学習の有用性」に強く影響を及ぼしている要因は「問題解決への意識」, 「関数的な見方・考え方」, 「理科学習での数学の必要性」の順で高かった。また, 大学生では低い「理科における学習方略」が中学生では高く, 大学生では高い「理科学習での数学の必要性」が中学生では最も低かった。以下, 詳細に考察する。

まず, 「理科における学習方略」の直接, 間接効果に着目すると, 中学生(間接.22)の方が大学生(直接.01)に比べ, 「探究的な学習の有用性」に強く影響を及ぼしている。中学生では, グループ分けや視覚化, 図式化するといった, 理科内容を分かりやすく整理させたりまとめたりする学習方法を示すことで, 「探究的な学習の有用性」につながると考えられる。これは, 中学校第3学年対象に行った質問紙調査(山田・大谷・小川, 2020)⁽¹⁸⁾によって, 「図や表で整理しながら実験している」といった項目を含む因子「実験結果の可視化」が「理科を学ぶ有用性の認識」に影響を及ぼすことを明らかにした研究と一致している。

次に, 「関数的な見方・考え方」については, 大学生(間接.47)も中学生(直接.50, 間接.46)も「理数学習の有用性」, 「探究的な学習の有用性」に強く影響を及ぼしている。中学生のみ「関数的な見方・考え方」が「探究的な学習の有用性」に直接的に影響を及ぼしている点が特徴的であり, 総合効果を比較すると中学生では, 「関数的な見方・考え方」が他の要因よりも強く「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼしている(総合.96)。このことから, 2変数を取り扱う理科学習の場面で, 「関数的な見方・考え方」を組み入れた指導方法が「探究的な学習の有用性」を高める可能性があることを示唆している。よって, 「関数的な見方・考え方」を働かせる指導法を取り入れた理科授業を, 理科と数学の教科等横断的な学習として位置付け, その学習効果について検証する必要がある。

一方で, 「理科学習での数学の必要性」(直接.12)は中学生の各要因の中で最も低かった。原(2010)⁽¹⁹⁾は, 小・中・高と学年が上がるにつれて理科の学習内容は定量的な表現が多くなると述べ, 中学校段階では「定性的で一部定量的」と位置付けている。このことから, 中学校理科授業では, 事物現象を数式化・数値化し定量的に理解する場面や経験が少なく, 数学の必要性を感じにくいと考える。そして, 定量的な理解が求められるにつれて数式化や数式の展開, 数値化に対応できない生徒が理科嫌いになることが報告されていることから, 「数式化・数値化の意識」(総合.16)が中学生では低い数値であることと関連していると考えられる。よって, 小学校・中学校の段階から意図的に定量的な表現や分析・解釈を増やし, 定性的の把握から定量的理解への準備をしていく必要がある。また, 石井・橋本(2013)⁽²⁰⁾は, 「学習者に『学習の転移』を起こさせるためには, 各教科担任が他教科の学習内容の共通性と共に, 解法の共通性に気付かせることが重要である」と述べている。以上のことから, 授業者が理科と数学の教材の共通点と相違点を認識し, 事物・現象を定量的に解釈・表現していく学習過程を重視することが必要であると考えられる。

表5 「理数学習の有用性」, 「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼす要因の各効果

要因	学習者	直接効果	間接効果	総合効果
問題解決への意識	中学生	.14	.06	.20
	大学生	.43	.06	.49
関数的な見方・考え方	中学生	.50	.46	.96
	大学生	—	.47	.47
理科における学習方略	中学生	—	.22	.22
	大学生	.01	—	.01
数式化・数値化の意識	中学生	.16	—	.16
	大学生	.15	.06	.21
理科学習での数学の必要性	中学生	.12	—	.12
	大学生	.26	—	.26

5 本研究のまとめと今後の課題

本研究の第一の目的は、中学生の理科と数学の教科等横断的な学習の意義を構成している諸要因の因果モデルを質問紙調査によって明らかにすることであった。また、第二の目的は、大学生を対象とした因果モデル構造と比較検討し、共通点や相違点を明確にし、中学生の意識の構造に見られる特徴を探ることであった。

まず、前者については、質問紙調査の結果、「問題解決への意識」、「関数的な見方・考え方」、「探究的な学習の有用性」、「理科における学習方略」、「理科学習での数学の必要性」、「数式化・数値化の意識」の6因子が抽出された。また、重回帰分析とパス解析を行ったところ、「関数的な見方・考え方」が、4因子を経由しながら間接的に、そして、「関数的な見方・考え方」から直接的に「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼしていることが明らかとなった。次に、後者については、中学生と大学生でそれぞれ得られた要因構造を詳細に検討するため、「探究的な学習の有用性」と「理科学習の有用性」に影響を及ぼす要因の直接効果、間接効果および総合効果を算出して比較した。その結果、中学生が「探究的な学習の有用性」に強く影響を及ぼしている要因は、「問題解決への意識」、「関数的な見方・考え方」、「理科における学習方略」であった。中学生のみ「関数的な見方・考え方」が「探究的な学習の有用性」に直接的に影響を及ぼしていることも特徴の一つであった。一方で、「数式化・数値化の意識」と「理科学習での数学の必要性」については、大学生とは異なり、低い数値が示された。中学生の質問紙調査で抽出された6因子および「関数的な見方・考え方」が因果モデルの初発の段階に位置し、他の因子を経由しながら「探究的な学習の有用性」に影響を及ぼす因果モデルは、大学生で行った調査結果とはほぼ一致するものであった。

以上の結果を踏まえ、密度やフックの法則、オームの法則といった2変数を取り扱う理科学習の場面で、「関数的な見方・考え方」を取り入れた指導方法が「探究的な学習の有用性」の意識を高めていく可能性について、それを裏付ける根拠と示唆を得ることができた。今後は、理科と数学の教科等横断的な学習において、本研究で得られた知見に基づく理科指導法を考案し、理科授業実践を行うことで、「探究的な学習の有用性」の意識が高まるのか否かを検討する必要がある。その際、本研究で得られた6因子の下位尺度(49項目)を中学校理科における「理科と数学の教科等横断的な学習」に対する情意的側面の評価指標として利用可能かについても検討する必要がある。

しかしながら、本研究で得られた知見は、中学生と初等教育教員養成課程の大学生を比較検討した限定的なものであることから、カリキュラム統合のためのモデルを断定するものではなく、あくまで理科と数学の指導内容や学習過程の統合を支持する根拠の示唆に過ぎない。したがって、より大規模な質問紙調査を実施し、発達段階による因果モデルの構造を比較し、本因果モデルの一般化可能性について検討する必要がある。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費21K13660の助成を受けて行われた。

注釈

- (1)STEAM教育とは、STEM教育に“A”の概念(ART:芸術, ARTS:教養)を追加したものであるが、その定義は未だ定まっていない(辻合・長谷川, 2020)⁽²¹⁾。STEM教育は、Science・Technology・Engineering・Mathematicsの教育の充実を国策として推進するために米国で用いられてきた概念であり、科学、技術、工学、数学を領域横断的に学習する教育方法(教育システム)である(奥村, 2021)⁽²²⁾。
- (2)「理科と数学」、「数学と理科」、「理数」といった類似表記が見られるが、いずれも先行研究で用いられている用語をそのまま記載している。また、「理数」に関しては高等学校に共通教科として設置されるものではなく、小中高における理科および算数・数学学習全般を示している。
- (3)義務教育学校とは、一つの教職員組織が9年間の学校教育目標を決め、一貫した教育を行う学校種であり、修業年限を9年間としている。そのため、小学校6年間を前期課程、中学校3年間を後期課程とし、中学1年生を7年生、中学2年生を8年生、中学3年生を9年生としている。調査の対象は、7年生が75名、8年生が81名、9年生が74名であった。
- (4)探索的因子分析を行った理由と経緯は、中学生で得られたデータについて、河本ら(2022)⁽¹⁶⁾の大学生での結果を基に、確認的因子分析を行い適合度の検討を行ったところ、各指標値が良好とは言えず、中学生という発達段階における特徴的な因果モデルが存在すると判断したからである。なお、確認的因子分析の結果は、適合度指標(GFI)は.709、修正適合度指標(AGFI)は.676、比較適合度指数(CFI)は.822、平均二乗誤差平方根(RMSEA)は.079であった。また、因子分析には最尤法等複数あり、本研究でも複数の分析方法を試みて検討を重ねた。その結果、因子として抽出される項目の解釈がより妥当で、かつ河本ら(2022)⁽¹⁶⁾の調査で用いていた主因子法を本研究で採用することと判断した。
- (5)中学生と大学生の因果モデルを比較することの意義について、本論文中で述べているところではあるが、例えば、中学生は、大学生と比べて科学的モデルに対するメタ的な認識が確立していないことを明らかにした研究(雲財・松浦, 2016)⁽²³⁾

や、中学生と大学生の科学的に探究可能な問いの判断や生成の特徴的な違いを明らかにした研究（廣・内ノ倉，2019）⁽²⁴⁾等，中学生と大学生を対象として比較検討する研究が見られ，理科指導法の開発や改善に向けたデータや示唆が得られている。

(6)理科教育学研究者2名，教職経験13年以上の経験豊富な現職派遣教員の大学院生3名，理科教育学を専門とする大学院生1名の計6名で議論・検討を行った。

引用文献

- (1)中央教育審議会：「幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）」，pp.19-24，2016.
- (2)文部科学省：「中学校学習指導要領（平成29年告示）解説総則編」，東山書房，2018a.
- (3)内閣府：「第6期科学・技術イノベーション基本計画（令和3年3月26日閣議決定）」，pp.67-70，2021.
<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf>【最終アクセス2022年7月30日】
- (4)文部科学省：「中学校学習指導要領（平成29年告示）解説数学編」，日本文芸出版，2018b.
- (5)高阪将人・渡邊耕二：「我が国の生徒が持つ理科と数学の学力の関連性について－PISA2012の二次分析による国際比較から－」，日本科学教育学会年会論文集，44，pp.95-98，2020.
- (6)Watanabe, T., Huntley, M. A.：「Connecting Mathematics and Science in Undergraduate Teacher Education Programs: Faculty Voices from the Maryland Collaborative for Teacher Preparation, School Science and Mathematics, 98(1), pp.19-25, 1998.
- (7)Bossé, M. J., Lee, T. D., Swinson, M., & Faulconer, J.：「The NCTM Process Standards and the Five Es of Science: Connecting Math and Science, School Science and Mathematics, 110(5), pp.262-276, 2010.
- (8)西川純：「理科における計算能力の文脈依存性に関する研究－オームの法則を事例として－」，日本理科教育学会 全国大会要項，43，p.63，1993.
- (9)石井俊行・箕輪明寛・橋本美彦：「数学と理科との関連を図った指導に関する研究－文脈依存性を克服した指導への提言－」，科学教育研究，20(4)，pp.213-220，1996.
- (10)今井俊彦・石井俊行：「理科と数学の教科間における問題解決に関する一考察－フックの法則－オームの法則の事例を通して－」，日本理科教育学会近畿支部大会（大阪大会）発表要旨集，p.19，2013.
- (11)山中謙司・谷地元直樹：「小学校理科と算数における教科横断的な指導の開発－『流れる水の働き』と『単位量当たりの大きさ』の関連に着目して－」，北海道教育大学紀要教育科学編，71(1)，pp.33-44，2020.
- (12)山田貴之・稲田佳彦・岡崎正和・小林辰至：「『関数的な見方・考え方』を働かせた理科授業の改善に関する一考察－数学と理科の教科等横断的な視点から－」，上越教育大学研究紀要，39(2)，pp.555-575，2020.
- (13)安藤秀俊・小原美枝：「数学と理科の関わりについての意識調査」，科学教育研究，34(2)，pp.207-219，2010.
- (14)今村哲史・佐藤晴那：「中学生のSTEMのイメージに関する調査研究」，日本科学教育学会研究会研究報告，33,1，pp.25-28，2018.
- (15)高阪将人：「理科と数学を関連付けるカリキュラム開発のための理論的枠組みの構築－関連付ける方法とその意義に焦点を当てて－」，全国数学教育学会誌数学教育学研究，21，2，pp.103-112，2015.
- (16)河本康介・山田健人・小林辰至・山田貴之：「理数学習の有用性に影響を及ぼす諸要因の因果モデル－初等教育教員養成課程学生を対象とした質問紙調査に基づいて－」，理科教育学研究，62(3)，pp.585-598，2022.
- (17)芝田征司：「数学が苦手でもわかる心理統計法入門－基礎から多変量解析まで－」，サイエンス社，pp.160-161，2017.
- (18)山田貴之・大谷昌弘・小川佳宏：「科学的知識の理解に対する自信に影響を及ぼす要因の探索－中学校第3学年を対象とした質問紙調査に基づいて－」，理科教育学研究，61(2)，pp.361-371，2020.
- (19)原俊雄：「生徒にとって小学校から高等学校へとつながる理科教育の提案」，物理教育，58(4)，pp.231-234，2010.
- (20)石井俊行・橋本美彦：「教科間における学習の転移を促す条件に関する考察とその提言－理科『光の反射』と数学『最短距離』の作図を通して－」，科学教育研究，37(4)，pp.283-294，2013.
- (21)辻合華子・長谷川春生：「STEAM教育における“A”の概念について」，科学教育研究，44(2)，pp.93-103，2020.
- (22)奥村仁一：「米国ノーザン・アリゾナ大学におけるSTEM教員養成プログラムの概要と評価」，STEM教育研究，3，pp.3-13，2021.
- (23)雲財寛・松浦拓也：「中学生の科学的モデルに対するメタ的な認識の実態」，理科教育学研究，57(1)，pp.1-10，2016.
- (24)廣直哉・内ノ倉真吾：「中学生による科学的に探究可能な問いの判断と生成の実際」，理科教育学研究，60(1)，pp.173-184，2019.

A Causal Model of Factors Constituting the Significance of Cross-Curriculum Learning in Subjects of Science and Mathematics for Lower Secondary School Students: Through Comparison with University Students in Elementary School Teacher Training Courses

Kosuke KAWAMOTO* · Takayuki YAMADA**

ABSTRACT

The first goal of this study was to establish a causal model for the factors that influence the importance of cross-curriculum learning in science and mathematics among lower secondary school students. The second objective was to explore the attitude structure of lower secondary school students to that of university students' causal characteristics. For the former, six factors were extracted from the questionnaire survey: "awareness of problem solving," "functional viewpoints / ways of thinking," "usefulness of inquiry-based learning," "learning strategies in science," "need for mathematics in science learning," and "awareness of formulation / quantification." Path analysis revealed that "functional viewpoints / ways of thinking" impacted the "usefulness of inquiry-based learning." In the latter, we compared the direct, indirect, and total effects of factors influencing the "usefulness of inquiry-based learning" and "usefulness of science and mathematics learning" among lower secondary school and university students. Lower secondary school students' "usefulness of inquiry-based learning" was significantly influenced by "awareness of problem solving," "functional viewpoints / ways of thinking," and "learning strategies for science."

* Sanjo Municipal Ichinokido Elementary School ** Natural and Living Science