

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：14601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K02681

研究課題名（和文）中学校理科における小・中学校間の円滑な接続のための学習支援システムの構築

研究課題名（英文）Development of a Learning Support System for Smooth Connection between Elementary and Secondary Schools in Junior High School Science

研究代表者

石井 俊行 (ISHII, Toshiyuki)

奈良教育大学・理科教育講座・教授

研究者番号：50636446

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）： 「月の満ち欠け」は「太陽・月・地球の位置関係」、「地層」は「火山灰層（鍵層）の利用方法」、「柱状図と標高の関係」、「水溶液中の溶質の析出量」は「溶解できる最大の質量は溶媒の質量に比例する」、の知識・技能の欠如でつまずきが起こる。「単位量当たりの大きさ」は、「物質の密度」にも直結している。小学4年でも、「発泡スチロール球による指導」と「電子レンジの仕組みに関する指導」によって熱膨張を粒の熱運動で捉えることができる。電気学習を進める水流モデルは「循環型水流モデル」にすべきである。類推問題を事前に解かせることで理科学習の転移が生じやすい。浮力は水に浮く物体も定量的に扱うことで理解が深まる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

せっかくの楽しい授業が知識・技能を習得していないために、分からない、つまらない授業になる可能性がある。児童・生徒は、内容を理解できないことに対して、興味・関心を持つはずがない。そのためにも「押さえておくべき知識・技能（つまずきの克服）」と「理科学習の新たな指導法」を報告することで、教育関係者の共通理解が図られ、その部分を意識して重点的に指導に当たることできる。そのことで、児童・生徒は理科に対して興味・関心を持ち続けられ、科学的見方・考え方ができるようになり、結果的に「学業不振の児童・生徒」や「理科嫌いの児童・生徒」が減少していくことが期待できる。

研究成果の概要（英文）： In "phases of the moon," there is a stumbling block in "positional relationship between the sun, the moon, and the earth. In "geologic strata," there are difficulties in "how to use volcanic ash layers (key layers)" and "the relationship between columnar maps and elevation. In "Deposition of solute in aqueous solution," there is a stumbling block in "The maximum mass that can be dissolved is proportional to the mass of the solvent. The "size per unit amount" is directly related to the "density of a substance. Even fourth-grade students are able to grasp thermal expansion in terms of the thermal motion of grains by teaching about the mechanism of a Styrofoam sphere and a microwave oven. The water flow model that promotes the study of electricity should be a "circulating water flow model. By having students solve analogous problems in advance, it is easy to create a transition in science learning. Buoyancy force can be better understood by treating objects floating in water quantitatively.

研究分野：理科教育学

キーワード：つまずき 知識・技能 押さえておくべき 理解が深まる

1 研究開始当初の背景

小学校を卒業し中学校へ進学する際、学習内容の難しさや進度に対し不安を抱く児童は多い(中1ギャップ)。理科ではその傾向が顕著で、中学生になった途端に内容を難しいと感じる生徒が多い。特に、目に見えない現象、イメージし難い内容や数学的計算を必要とする内容を難しいと感じることが報告されている。具体的には、力、圧力、浮力、密度、電気、磁石、原子・分子、イオン、仕事、天体、飽和水蒸気量といった、主に第1分野の内容である。一方、新学習指導要領の中で、理科と数学の教科横断型の「カリキュラム・マネジメント」の実施の必要性が謳われた。3年前の申請では、中1ギャップをなくす取組として、理科での小・中学校間の接続が円滑にできるよう、(1)特に関連の深い小学校での理科と算数の知識・技能は何なのか、(2)なぜその単元を生徒は難しいと感じるのかを実験データをもとに分析し、小学生が「押さえておくべき知識・技能(つまずき)」を特定して報告してきた。「カリキュラム・マネジメント」が学習指導要領に明記され、これを実施していくには、小学校・中学校間の円滑な接続だけでなく、中学校・高等学校間の接続も加味した取組にしていく必要がある。しかしながら、小学校・中学校間や中学校・高等学校間を視野に入れた児童・生徒達が系統的に理科を学ぶことのできる学習システムの構築はほとんどされておらず、その中核となる中学生の時期に「押さえておくべき基礎技能」を特定した報告は見られない。

そこで、児童・生徒が小・中学校で敬遠する単元で、かつ高等学校まで系統的な学習が行える、中学生の時期に「押さえておくべき知識・技能(つまずき)」の特定や学習内容を理解させる上で必要となる指導法について、「月の満ち欠け」「地層」「水溶液中の溶質の析出」「物質の密度」「熱運動論」「電気学習での水流モデル」「化学反応」「浮力」を中心に検討したいと考えた。

2 研究の目的

本研究では、以下の2つに大きく分けて特定していく。

- (1) 児童・生徒が小・中学校で敬遠する単元で、かつ高等学校まで系統的な学習が行える、中学生の時期に「押さえておくべき知識・技能」を特定する。
- (2) 理科の学習内容を理解させる上で必要となる新たな指導法について検討する。

3 研究の方法

(1) 「月の満ち欠け」で押さえておくべき知識・技能

調査対象は、公立中学校第3学年の5クラスである。石井・寺窪(2018)の手法を参考に「上位問題」「中位問題」「下位問題」「知識・技能問題」を作成して実施した。その後、月の満ち欠けに関する習熟度の違いにより生徒をグループ分けし、それぞれのグループ間において何の知識・技能が習得できずにつまずいているのかをFisherの直接確率検定を行ってつまずきの要因を特定する。

(2) 「地層の重なり」で押さえておくべき知識・技能

調査対象は、公立中学校第3学年の6クラスである。石井・寺窪(2018)の手法を参考に「上位問題」「中位問題」「下位問題」「知識・技能問題」「意識調査」を作成して実施した。その後、「地層に傾きが無い問題」「地層に傾きがある問題」に関する習熟度の違いにより生徒をグループ分けし、それぞれのグループ間において何の知識・技能の習得ができていないためにつまずいているのかをFisherの直接確率検定を行ってつまずきの要因を特定する。

(3) 「水溶液中の溶質の析出量の算出」で押さえておくべき知識・技能

調査対象は、公立中学校第3学年の5クラスである。石井・寺窪(2018)の手法を参考に「上位問題」「中位問題」「下位問題」「知識・技能問題」を作成して実施した。その後、「水溶液中の溶質の析出量の算出」に関する習熟度の違いにより生徒をグループ分けし、それぞれのグループ間において何の知識・技能の習得ができていないためにつまずいているのかをFisherの直接確率検定を行ってつまずきの要因を特定する。

(4) 「物質の密度」を理解させるための「単位量当たりの大きさ」の検討

調査対象は、公立小学校第5学年の4クラスである。算数テストは、全国学力・学習状況調査「小学校第6学年算数A」の問題と同一のものを使用し、理科テストは、算数テストと同じ形式で中学1年に履修する「物質の密度」の問題を作成し、算数テストと理科テスト、意識調査を同一児童に行った。算数テストで正答できた児童は「物質の密度」の理科テストに正答できるのかを検討する。

(5) 「ものの温度と体積」を理解させるための熱運動の導入の検討

調査対象は、公立小学校第4学年の3クラスのうち、1クラスを統制群、2クラスを実験群に当てた。統制群の学習内容に、実験群には熱膨張で「水」「空気」「金属」のそれぞれの体積が増える事実を知った後に、スターラーの回転子の回転数を高めると、発泡スチロール球の動きが激しくなる「発泡スチロール球による指導」と電子レンジの仕組みについて学習させる「電子レンジの仕組みに関する指導」の2つの指導を行う。当該指導を行ったクラスと行わなかったクラス間で、「ものはなぜ温めると体積が大きくなるのか」の理解に差が生じるのかを検討する。

(6) 中学生が電気学習を進める上での水流モデルの検討

調査は、公立中学校第2学年の2クラスを対象に行った。「循環型水流モデル」と「非循環型水流モデル」の生徒に与える効果を調べるため、1クラスに「非循環型水流モデル」を先に提示し、その後「循環型水流モデル」を示した授業を行うクラスと、もう1クラスにその順序を逆に指導を行うクラスとで「回路図対応テスト」と「意識調査」を行う。そして、それらの結果から「どちらの水流モデルが生徒にとって理解しやすいのか」を検討する。

(7) 化学反応を理解させるための類推を用いた学習指導法の検討

調査は、公立中学校第2学年の4クラスを対象に、理科テストと類推テストを行った。理科テストは、「 CaCO_3 とHClで CO_2 を発生させる実験に関する内容」で、それに対応させた類推テストでは「ココアの粉と牛乳でココアミルクを作成する」内容でテストを作成して実施する。なお、4クラス中2クラスは理科テスト 類推テスト 意識調査の順で解かせ、残りの2クラスは類推テスト 理科テスト 意識調査の順で解かせ、「理科テスト」の正答の違いが生じるのかを検討する。

(8) 浮力を中学生に理解させるために最適な授業内容の検討

調査は、公立中学校第1学年の3クラスを対象にA~Cの3群に分けた。A群には、教科書に基づいた水に沈む物体に働く浮力の定性的な内容の実験(実験)、B群には、水に沈む物体に働く浮力のアルキメデスの原理を含む定量的な内容の実験(実験)を、C群には実験に加えて、さらに水に浮く物体に働く浮力の演示実験(実験)を行った。A~Cの3群の生徒の「浮力の理解を見取るテスト」と「意識調査」を行い、それらを分析して中学生に最適な浮力の授業はどうあるべきなのかを検討する。

4 研究成果

(1) 月の満ち欠けで押さえておくべき知識・技能。

「月の満ち欠け」に関しては、つまりきの大きな要因としては、「方角を理解し、模式図に当てはめて考えること」、「太陽・月・地球の位置関係の違いにより月の形や月の見える時間が変わること」、「月の公転周期を模式図に当てはめて考えること」の知識・技能の欠如にあることが明らかになった。これらを考慮すると、「月の公転周期とその公転方向を指摘できる能力」、「太陽の位置から観察者の時刻を推定できる能力」、「地球の自転に合わせて観察者を含む地平線(左手が東、中央が南、右手が西)を回転させられる能力」が重要であり、地球の北極の上空から太陽、地球、月を俯瞰した視点で「月の満ち欠け」の現象を捉えられるようにしていく必要がある。

(2) 地層の重なりで押さえておくべき知識・技能

「地層の重なり」に関しては、つまりきの大きな要因としては、「地層累重の法則」「地形図の読図法」「総合柱状図の作成」「火山灰層(鍵層)の利用方法」「柱状図と標高との関係」の知識・技能の欠如にあることが明らかになった。また、「地層に傾きが無い問題」は「地層に傾きが有る問題」に比べて取り組み易いため、まずは「地層に傾きが無い問題」から取り組ませて、知識・技能を習熟させていくことが重要である。

(3) 水溶液の析出量で押さえておくべき知識・技能

水溶液における「物質の析出量の算出」の問題を解く際に、生徒が直面しているつまりきは、「溶解度曲線のグラフから数値を読み取る数学的技能」「溶解できる最大の質量は、溶媒の質量に比例すること」の知識・技能の欠如にあることが明らかになった。

(4) 物質の密度を理解させるための「単位量当たりの大きさ」の検討

小学5年算数「単位量当たりの大きさ」における知識・技能を習得している概ねの児童は、中学理科の物質の密度を学習するための前提となる知識・技能をレディネスとして習得している。しかし、5割程度の児童が「単位量当たりの大きさ」を求める式やその式の商の意味について理解できていない状況を鑑み、中学理科における物質の密度の導入では、小学算数での「単位量当たりの大きさ」での学びを積極的に取り入れていくべきである。このことから小学算数での「単位量当たりの大きさ」における知識・技能が中学理科の物質の密度の学習に十分に活かされるので、「単位量当たりの大きさ」における知識・技能を十分に身につけさせる必要がある。

(5) 「ものの温度と体積」を理解させるための熱運動論の導入の検討

通常の授業を受けた児童(統制群)は、「水」「空気」「金属」の学習を終えても誤概念から脱却できず、依然として誤概念を持ち続けたままであった。一方、「発泡スチロール球による指導」と「電子レンジによる指導」を導入した実験群の児童は、「水」の実験後には8割以上が「水」の熱膨張を粒の熱運動で捉えることができた。また、この捉え方は「空気」「金属」の予想の段階でも転移し、実験後やテストでも8割以上の児童が「空気」「金属」の熱膨張を粒の熱運動で捉え、「水」「空気」「金属」の問いのすべてで有意な差があることが認められた。したがって、小学4年でも「物の温度が上昇すると、体積が大きくなるのはなぜなのか」を粒の熱運動で捉えさせられる。

(6) 中学生が電気学習を進める上での水流モデルの検討

「非循環型水流モデル」と「循環型水流モデル」では、中学生は「循環型水流モデル」を支持する生徒が「非循環

型水流モデル」に比べ有意に多いことが明らかになった。また、中学生の理解や意識を考慮すると、高等学校における水流モデルの取り扱いが主に「循環型水流モデル」であることから、中学校理科教科書に掲載すべき水流モデルは、ポンプ部分がある「循環型水流モデル」である。

(7) 化学反応を理解させるための類推を用いた学習指導法の検討

「 CaCO_3 と HCl で CO_2 を発生させる」反応の理科テストを解かせる前に、類似した類推テスト「ココアの粉と牛乳でココアを作成する」をあらかじめ先行して解かせた生徒は、その逆の順序で両テストを解かせた生徒に比べ、有意に理科テストの平均値が高いことが判明した。したがって、やみくもに「 CaCO_3 と HCl で CO_2 を発生させる」反応での「比例し途中 から一定になるグラフ」の説明を生徒に行っても、生徒は「 CaCO_3 の量、 HCl の量、及び CO_2 の発生」に関する適切な場面の認識ができるわけではなく、教師は理科問題を解決させるための多くの類似した身近な事例を持ち合わせておくことが重要である。

(8) 浮力を中学生に理解させるために最適な授業内容の検討

中学校の浮力の授業は、定性的な内容に留めたり、学習指導要領の範囲外の「アルキメデスの原理」を導入して水に沈む物体に働く浮力や水に浮く物体に働く浮力の定量的な内容まで扱ったりと教師により様々である。3クラスで指導内容の異なる授業を実施し、学習効果と意識の違いを比較した結果、「アルキメデスの原理」は中学生に理解できる内容で、この原理を学習した生徒よりも学習しない生徒の方が浮力の学習を難しく捉える傾向にあることが明らかになった。また、中学生は、浮力は水に沈む物体よりも水に浮く物体にはたらく力というイメージをもつ傾向にあることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 石井 俊行、柴田 真弓、高松 千恵実、荒川 友希、田中 智貴、石井 佑典	4. 巻 37(6)
2. 論文標題 中学理科「地層の重なり」におけるつまずきの要因分析と指導法の検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 101 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jsser.37.6_101	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 高橋 純平、佐藤 雄紀、石井 俊行	4. 巻 38(4)
2. 論文標題 水溶液での「物質の析出量の算出」におけるつまずきの要因分析	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本科学教育学会研究会研究報告	6. 最初と最後の頁 13-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jsser.38.4_13	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 石井俊行、坂本 春貴、荒川 友希	4. 巻 46
2. 論文標題 「月の満ち欠け」におけるつまずきの要因分析と指導法の検討～中学生の理解を促進させるために～	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 438-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssej.46.438	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 石井 俊行、鶴見 行雄	4. 巻 45
2. 論文標題 小学算数「単位量当たりの大きさ」が中学理科「密度」に及ぼす効果～全国学力・学習状況調査問題「算数A」と比較して～	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 280 ~ 291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssej.45.280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石井俊行・岡本智子・柿沼宏充	4. 巻 44(3)
2. 論文標題 小学4年「ものの温度と体積」に粒子モデルを導入することの効果～電子レンジで粒の動きと温度の関係に着目させて～	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 168-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssej.44.168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石井俊行・田中智貴・吉岡照子	4. 巻 6
2. 論文標題 浮力の指導内容の違いが中学生の理解や意識に及ぼす影響～アルキメデスの原理の学習の効果～	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 次世代教員養成センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 181-186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20636/00013339	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石井俊行・榎本有真・南口有砂	4. 巻 69(1)
2. 論文標題 理科学習の意義や有用性を実感させるための指導法の検討～小学6年「てこの利用」に爪切りを導入することの効果～	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 奈良教育大学紀要	6. 最初と最後の頁 125-131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20636/00013383	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石井俊行・荒川友希・伊東明彦	4. 巻 3
2. 論文標題 中学生の意識や理解を考慮した電気学習における水流モデルの検討:非循環型と循環型を比較して	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 学校教育実践ジャーナル	6. 最初と最後の頁 3-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石井俊行・大歳愛海	4. 巻 43(3)
2. 論文標題 類推による問題解決能力を活かした 理科学習指導法の検討: グラフ・データ解釈を向上させるために	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 科学教育研究	6. 最初と最後の頁 244-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14935/jssej.43.244	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石井俊行・内藤拓・伊東明彦	4. 巻 6
2. 論文標題 中学理科における電圧の理解を促進させるための水流モデルの検討: モデルにおける水の循環の有無に着目して	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要	6. 最初と最後の頁 205-210.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20636/00013343	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石井 俊行, 柴田 真弓, 高松 千恵実, 荒川 友希, 田中 智貴, 石井 佑典
2. 発表標題 中学理科「地層の重なり」におけるつまずきの要因分析と指導法の検討
3. 学会等名 日本科学教育学会東海大会(三重大会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋 純平, 佐藤 雄紀, 石井 俊行
2. 発表標題 水溶液での「物質の析出量の算出」におけるつまずきの要因分析
3. 学会等名 日本科学教育学会北関東大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋 純平, 佐藤 雄紀, 堀本宗弘, 板橋保之, 石井 俊行
2. 発表標題 水溶液における「析出量の算出」には, どのようなつまずきがあるのか?
3. 学会等名 日本理科教育学会近畿支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石井俊行、岡本智子、柿沼宏充
2. 発表標題 小学4年「ものの温度と体積」に熱運動の導入は効果的か? ~ 電子レンジのしくみの説明を通して ~
3. 学会等名 日本理科教育学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井俊行、鶴見行雄
2. 発表標題 小学算数「単位量当たりの大きさ」が中学理科「密度」に与える影響は? ~ 全国学力・学習状況調査問題「算数A」を用いて ~
3. 学会等名 日本科学教育学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井俊行・荒川友希・田中智貴・岡本真弓・石井佑典
2. 発表標題 小・中学校理科地層分野の学習に必要な知識・技能とは?
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会(静岡大会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------