

Design and evaluation of Inquiry Based Learning aimed at developing scientific thinking ability : A case study of "Chemical change and heat" in junior high school science

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-12-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 杉山, 尚也, 石上, 靖芳 メールアドレス: 所属: |
| URL | https://doi.org/10.14945/00029270 |

科学的な思考力の育成を目指した探究学習の設計と評価

－中学校理科の「化学変化と熱」を事例として－

Design and evaluation of Inquiry Based Learning aimed at developing scientific thinking ability
A case study of "Chemical change and heat" in junior high school science

杉山 尚也¹, 石上 靖芳²

Naoya SUGIYAMA, Yasuyoshi ISIGAMI

(令和 4 年 11 月 30 日受理)

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a unit that incorporates inquiry-based learning to cultivate "scientific thinking ability" in junior high school science and to verify its effects through its practice. In order to achieve this goal, we first defined the lower abilities of scientific thinking ability from the investigation and analysis of previous research. And developed, practiced, and evaluated inquiry-based learning to foster scientific thinking skills. As a result, it was revealed that the students acquired the sub-abilities of scientific thinking ability: the ability to plan, the ability to view critically, and the ability to explain.

キーワード：中学校理科，科学的な思考力，探究学習，化学変化と熱

1. 問題の所在と研究目的

中学校学習指導要領（平成 20 年）では、「科学的な思考力，表現力の育成を図ること」と記載され，その手段として「科学的に探究する学習活動をより一層重視する」ことが示された。以来，科学的な思考力の育成をめざして，探究的な学習活動を取り入れた多くの実践的研究が行われた。しかし，平成 24,30 年度全国学力・学習状況調査から科学的な思考力に課題があることが示された。

中学校学習指導要領（平成 29 年）では，「探究の過程全体を生徒が主体的に遂行できるようにすることを旨とするとともに・・・気づきから疑問を形成し，課題として設定することができるようになることを重視すべきである」と記載された。また，国立教育施策研究所(2018)では，「教師が課題を提示するだけでなく，自然事象から問題を見いだし，解決可能な課題を設定できるようにすることが，科学的に探究する能力の基礎と態度を育成する上で重要である」と指摘している。しかし，鈴木・藤本・益田(2019)は，「自然の事物・現象から問題を見いだし，適切に課題づくりができるようになる指

¹ 教育実践高度化専攻

² 学校教育系列

導について、指導が十分でない」「中学校理科の授業では、教員が課題を提示することがほとんどである」と述べている。また、村上(2010)では、探究学習が行われない理由として、「大学・高校入試には教え込む方が効率よく成果を上げることができるから」「探究学習・活動を実践すると、こういう点で、これぐらいの成果が認められるといった科学的なデータが示されていないから」等をあげている。

そこで、本研究の目的を、生徒自身の疑問から課題（オリジナル学習課題）を設定し、探究の過程全体を主体的に遂行する探究的な学習活動（以下、探究学習）を開発・実践・評価することとする。

2. 研究の内容と方法

2-1. 科学的な思考力の先行研究の整理

科学的な思考力の定義は様々であり、一つに定まっていない。そこで先行研究や全国学力・学習状況調査を分析・整理することで共通性を見だし、本研究における科学的な思考力の下位能力とした。科学的な思考力の定義については、杉山(2021)の「仮説を確かめるため実験・観察方法を計画する能力」、小林ら(2016)の「観察・実験における条件の制御の仕方や方法等が適切かどうかについて説明する」、藤田ら(2015)の「自然の事物・現象について、科学的な知識に基づいて疑問を認識し、科学的な証拠を用いて、事物・現象を説明することができる力」等がある。

また、平成30年度全国学力・学習状況調査の分析から「自然の事物・現象の要因を抽出して整理し、条件を制御して実験を計画すること」「実験や条件制御などにおいて、自分や他者の考えを検討して改善すること」「自然の事物・現象について、科学的な証拠を用いて、説明すること」の3つの課題を抽出した。

これらの課題は先に紹介した科学的な思考力の定義と共通性があった。そこで、本研究における「科学的な思考力」の下位能力を「計画する力」「批判的に見る力」「説明する力」と定義した。

2-2. 生徒の気付きから疑問を形成し、課題（問い）として設定する指導について

吉田ら(2019)は、科学的な探究における疑問から問いへ変化する際に「要因の検討」や「仮説の形成」などの思考が存在することを明らかにしている。また、仮説を設定させる指導の方略として、小林ら(2016)は、Cothronら(2000)が提唱するThe Four Question Strategy（以下、4QS）を基にワークシートを開発した。

本研究においても、4QSをもとに作成した仮説設定シートを援用することで、オリジナル学習課題を修正したり、探究の過程全体を生徒が主体的に遂行できたりする効果を狙った。

2-3. 科学的な思考力を育成するための探究学習の開発・実践

令和4年6月17日から令和4年7月8日まで、A市立B中学校第2学年の4学級（127名）を対象に、化学かいろについて探究する8時間の探究学習を行い評価した(図1)。

第1時では、簡易的な化学かいろを制作し、疑問をもつ活動を行った。第2時では、疑問をもとにオリジナル学習課題づくりを行った。第3時では、仮説設定シートを用いて仮説を設定する過程でオリジナル学習課題を修正した。完成したオリジナル学習課題の例として、「2:1の割合以外の粉の量の割合だと、温度の上がり具合は変わるのか」「気体の種類と量と温度の関係はなにか」「食塩水の濃度

を変えると温度も変わるのか」「振り方と熱の伝わり方（温度）は関係しているのか」「カイロを丁度いい温度で持続させるためにはどんな容器を使えばいいのだろうか？」等があった。

疑問からオリジナル学習課題を設定する過程において、要因の検討や仮説の形成のみならず、条件制御や実験計画まで広く見通し、課題の修正を繰り返すことで解決可能な課題を設定できることが示唆された。

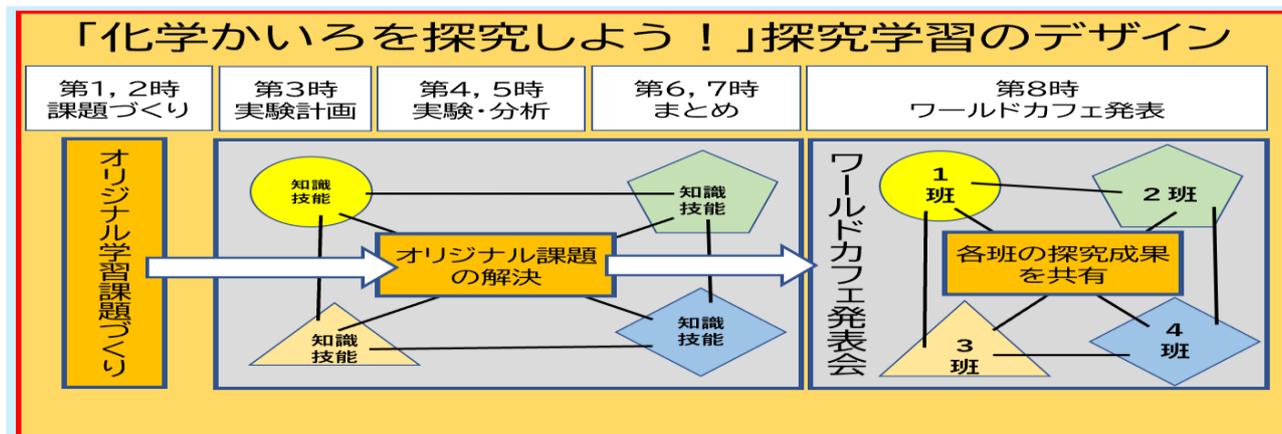


図1 開発した探究学習のデザイン

3. 研究結果

3-1. 質問紙調査による科学的な思考力に対する意識の検討

授業実践前と授業実践後に、15項目の質問で構成された質問紙調査を行い、本研究における科学的な思考力の下位能力である「計画する力」「批判的に見る力」「説明する力」に対する意識を検討した。

「計画する力」に対する意識に関する質問（「自分の仮説（予想）をもとに観察や実験の計画を立てている」「変える条件や変えない条件を明確に意識した計画を立てている」など）を5項目、「批判的に見る力」に対する意識に関する質問（「観察や実験の進め方が間違っていないかを振り返って考えている」「よい考えを思いついても、もっとよい考えはないかと考えている」など）を5項目、「説明する力」に対する意識に関する質問（「自分の意見には科学的な理由をつけるようにしている」「順序だてて説明するように意識している」など）を5項目設定した質問紙調査を5件法で実施した。単元実践前と実践後の得点の平均値を検討するために、t検定を用いて平均値の差を比較した（表2）。図2は、表2をもとに作成したグラフである。

表2 単元実践前と実践後に行った質問紙調査のまとめ

| カテゴリー | 実践前 | | 実践後 | | テスト間のt検定 |
|-----------------|------|------|------|------|-----------------|
| | 平均値 | SD | 平均値 | SD | |
| 「計画する力」に対する意識 | 3.96 | 0.36 | 4.42 | 0.29 | t(240)=6.292*** |
| 「批判的に見る力」に対する意識 | 3.82 | 0.33 | 4.17 | 0.34 | t(240)=4.650*** |
| 「説明する力」に対する意識 | 3.81 | 0.49 | 4.19 | 0.33 | t(240)=4.626*** |

***p<.001

質問紙調査の結果

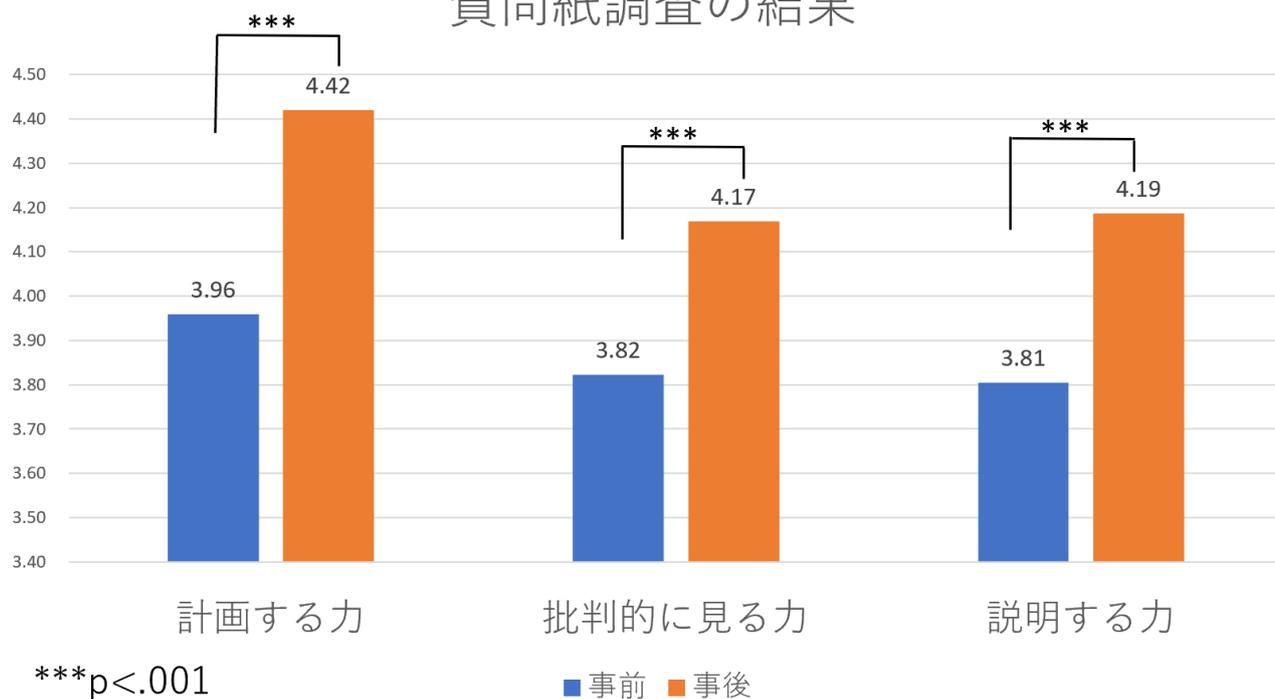


図2 科学的な思考力の下位能力に対する意識

その結果、「計画する力」に対する意識の項目においては、実践前より実践後の方が0.1%水準で有意に高くなった（「計画する力」に対する意識： $t(240)=6.292, p < .001$ ）。このことから、本単元の実践を通して、「自然事物・現象の要因を抽出して整理し、条件を制御して実験を計画する」という科学的な思考に対する意識が高まったと言える。

「批判的に見る」に対する意識の項目においても、実践前より実践後の方が0.1%水準で有意に高くなった（「批判的に見る力」に対する意識： $t(240)=4.650, p < .001$ ）このことから、本単元の実践を通して、「観察・実験方法が適切かどうかについて検討したり、自分や他者の考えを検討して改善したりする」という科学的な思考に対する意識が高まったと言える。

「説明する力」に対する意識の項目においても、実践前より実践後の方が0.1%水準で有意に高くなった（「説明する力」に対する意識： $t(240)=4.626, p < .001$ ）。このことから、本単元の実践を通して、「自然の事物・現象について、科学的な証拠を用いて、説明できる」という科学的な思考に対する意識が高まったと言える。

以上のことから、本単元の実践を通して、科学的な思考力に対する意識の向上が示された。

3-2. 事前・事後・遅延テストの平均値の推移の検討

開発した探究学習の実施によって科学的な思考力の下位能力である「計画する力」「批判的に見る力」「説明する力」が育成されたかを測定するため、事前・事後・遅延（約1ヵ月後）テストを行った。問題は平成30年度全国学力・学習状況調査（理科）から下位能力の測定に適する問題を、また、東京書籍「探究する新しい科学2」から化学かいろについて、計10問の問題を出題した。結果は表3の通りである。図3～5は、表3をもとにして作成したグラフである。

表3 事前・事後・遅延テストの結果

| 下位能力 | 事前テスト | | 事後テスト | | 遅延テスト | | F値 | 多重比較 0.1%水準 |
|---------|-------|------|-------|------|-------|------|--------|----------------------------|
| | 平均値 | SD | 平均値 | SD | 平均値 | SD | | |
| 計画する力 | 1.86 | 3.70 | 3.03 | 4.00 | 3.12 | 4.28 | 14.984 | 事後テスト>事前テスト 遅延テスト>事前テスト |
| 批判的に見る力 | 3.84 | 6.65 | 5.25 | 8.67 | 5.48 | 9.85 | 11.810 | 事後テスト>事前テスト 遅延テスト>事前テスト |
| 説明する力 | 2.64 | 2.54 | 4.40 | 4.88 | 4.25 | 5.27 | 28.289 | 事後テスト>事前テスト 遅延テスト>事前テスト |

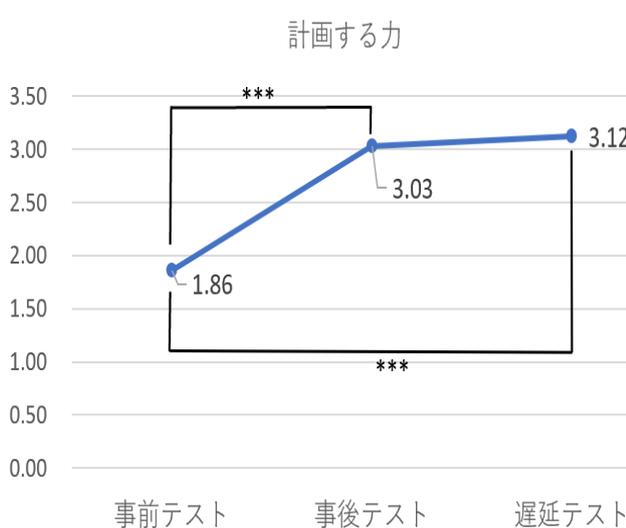


図3 「計画する力」の平均値の比較

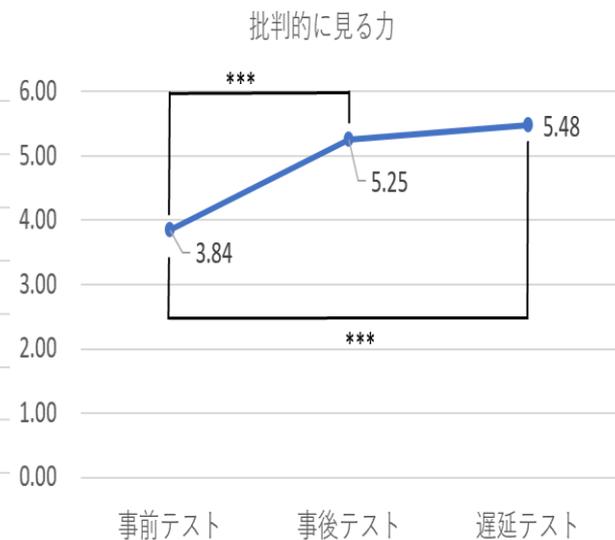


図4 「批判的に見る力」の平均値の比較

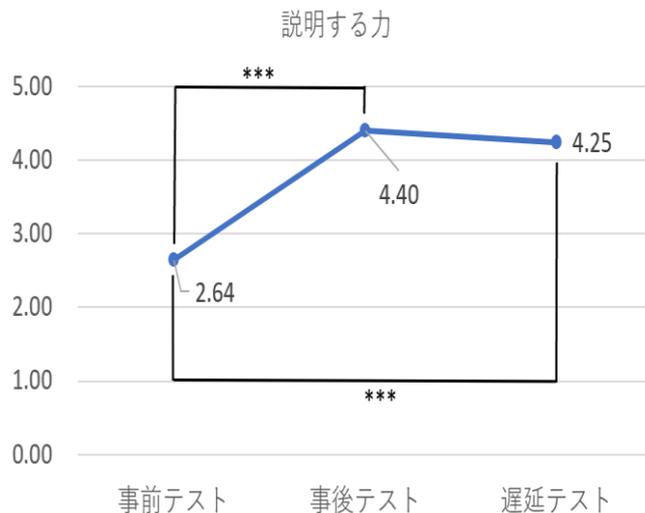


図5 「説明する力」の平均値の比較

「計画する力」の得点の平均値に関して、分散分析を行った結果、表3に示したように、条件の効果は有意であった。計画する力： $F(2, 362) = 14.984, p < .001$ であった。LSD法を用いた多重比較によれば、事前テストと事後テスト、事前テストと遅延テストとの間に有意差が見られた（事前テスト<事後テスト，事前テスト<遅延テスト）。このことから、事前テストに比べ事後テストにおいて「計画する力」は伸び、事後テストと遅延テストにおいては有意差がないことから「計画する力」は維持されているといえる。仮説設定シートを用いて、要因抽出や条件制御、仮説設定を行ったことで、実験結果を見通した上で実験計画を立案できたことが主要因として考えられる。

「批判的に見る力」の得点の平均値に関して、分散分析を行った結果、表3に示したように、条件の効果は有意であった。批判的に見る力： $F(2, 375) = 11.810, p < .001$ であった。LSD法を用いた多重比

較によれば、事前テストと事後テスト、事前テストと遅延テストとの間に有意差が見られた（事前テスト<事後テスト、事前テスト<遅延テスト）。このことから、事前テストに比べ事後テストにおいて「批判的に見る力」は伸び、事後テストと遅延テストにおいては有意差がないことから「批判的に見る力」は維持されているといえる。化学かいろの発熱に関わる多くの要因を生徒自身が試行錯誤しながら実験できるようにしたことで、自分や他者の考えを検討して改善する機会が多く与えられたことが主な要因として考えられる。

「説明する力」の得点の平均値に関して、分散分析を行った結果、表3に示したように、条件の効果は有意であった。説明する力： $F(2, 375) = 28.289, p < .001$ であった。LSD法を用いた多重比較によれば、事前テストと事後テスト、事前テストと遅延テストとの間に有意差が見られた（事前テスト<事後テスト、事前テスト<遅延テスト）。このことから、事前テストに比べ事後テストにおいて「説明する力」は伸び、事後テストと遅延テストにおいては有意差がないことから「説明する力」は維持されているといえる。班ごとに違うオリジナル学習課題を設定したことで、他班に説明することや他班の説明を聞くことに対する動機につながった。また、実験結果のグラフを載せたプレゼン資料を用いて一人で説明したことも主な要因として考えられる。

3-3. 実験計画作成場面における発話分析

事後テストの平均が高かった班（上位群）と低かった班（下位群）を抽出し、実験計画作成場面での発話を分析した。記録された発話に対して5つのカテゴリに分類した。5つのカテゴリとは、本研究における科学的な思考力の下位能力と定義した「計画する力」「批判的に見る力」「説明する力」と、簡単な受け答えを示す「応答」、課題解決には関係ないことを示す「無関係」の5つである。表4は、各カテゴリの定義や発話具体例、表5は、上記の方法で発話を分類した7班の発話記録の例である。表6は、上位群、下位群の発話における各カテゴリの割合の比較、図6は、上位群、下位群における各カテゴリの割合を示したものである。

表4 各カテゴリの定義や発話具体例

| カテゴリ | 定義 | 発話具体例 |
|---------|---|---|
| 計画する力 | 自然の事物・現象を抽出して整理し、条件を制御して実験を計画しようとしている発言 | じゃあさ食塩水入れた瞬間に真空にしてさ できるだけ密閉してやるよ |
| 批判的に見る力 | 実験方法が適切かどうか検討しようとしている発言、自分や他者の考えを検討して改善しようとしている発言 | でもカイロが温くなるのって食塩水が入ってるからじゃないの？ 空気と水が食塩水の変わり？ 気体に触れさせれば温くなるだろうでいいの？ |
| 説明する力 | 自然の事物・現象について科学的な証拠を用いて説明しようとしている発言 | 真空で温度が上がらなかつたら空気が必要ってことになる その場合には気体関係なくて他の何か関係あるってこと |
| 応答 | 他者の発言に応じて発した言葉のうち、繰り返した言葉や単純な反応。 | 予想だからいいよ 16？わかった。 |
| 無関係 | 課題解決のための話し合いの流れに関係ない発言 | だって宇宙って音伝わらないんだら |

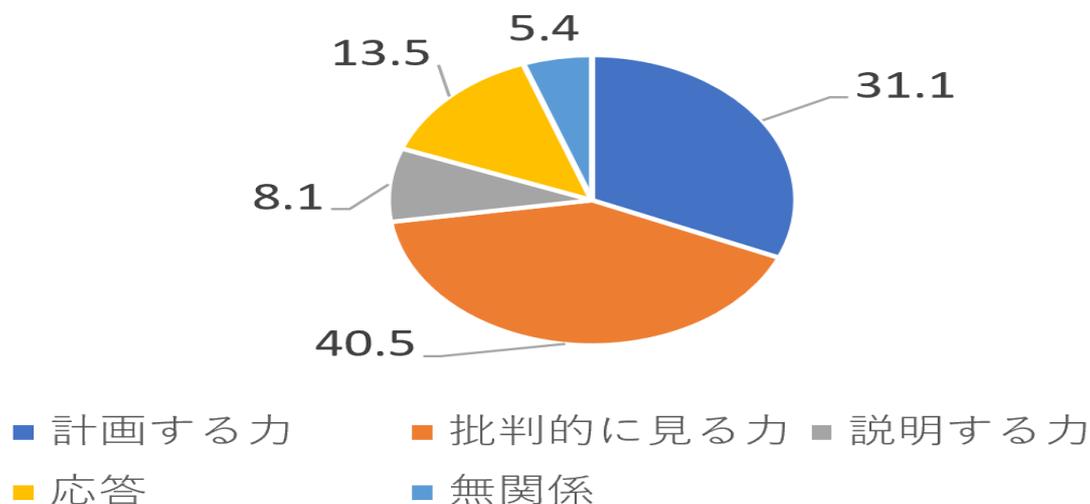
表5 7班の発話例(抜粋)

| 通し番号 | 発言者 | 発話 | カテゴリ |
|------|-----|--|---------|
| 61 | B | 次数学だから・・・ | 無関係 |
| 62 | A | 比率を変えずに量を多くする | 計画する力 |
| 63 | C | 実験1, 2, 3でどれかが1つだけ温度が高くなってたら, その材料が温度を高くする原因になる | 説明する力 |
| 64 | C | 実験4で比率を変えずにやったら比率が合ってて・・・頭回らんし | 批判的に見る力 |
| 65 | A | 比率を変えずにはむずいから却下 | 計画する力 |
| 66 | C | 却下? 普通にあれ。鉄の量8gで活性炭が4gだったじゃん。それを8だったら16, 4だったら8にするだけだよ | 批判的に見る力 |
| 67 | A | はい, むずいからいやだ。だってさ, 量が多いじゃん。1個でいいよだから。鉄粉の量を変えると温度が高くなるとか, 何を増やすと温度が高くなるかわかるだけでよくない? | 批判的に見る力 |
| 68 | B | 食塩水の量だけ変える | 計画する力 |
| 69 | B | 半紙の量は1/4とかそのくらい? | 批判的に見る力 |
| 70 | A | 活性炭は4? 鉄粉は8? | 批判的に見る力 |
| 71 | A | え? 10じゃない? | 批判的に見る力 |
| 72 | C | 4とか8のとき | 計画する力 |
| 73 | C | 鉄粉の量16にしない? やだ? 活性炭が4から8に, 食塩水が1/4から1/2になるから | 批判的に見る力 |
| 74 | A | 16? わかった。 | 応答 |

表6 上位群, 下位群の発話における各カテゴリの割合の比較

| カテゴリ | 上位群【%】 | 下位群【%】 |
|---------|--------|--------|
| 計画する力 | 31.1 | 73.0 |
| 批判的に見る力 | 40.5 | 13.5 |
| 説明する力 | 8.1 | 2.7 |
| 応答 | 13.5 | 2.4 |
| 無関係 | 5.4 | 12.2 |

【上位群】



【下位群】

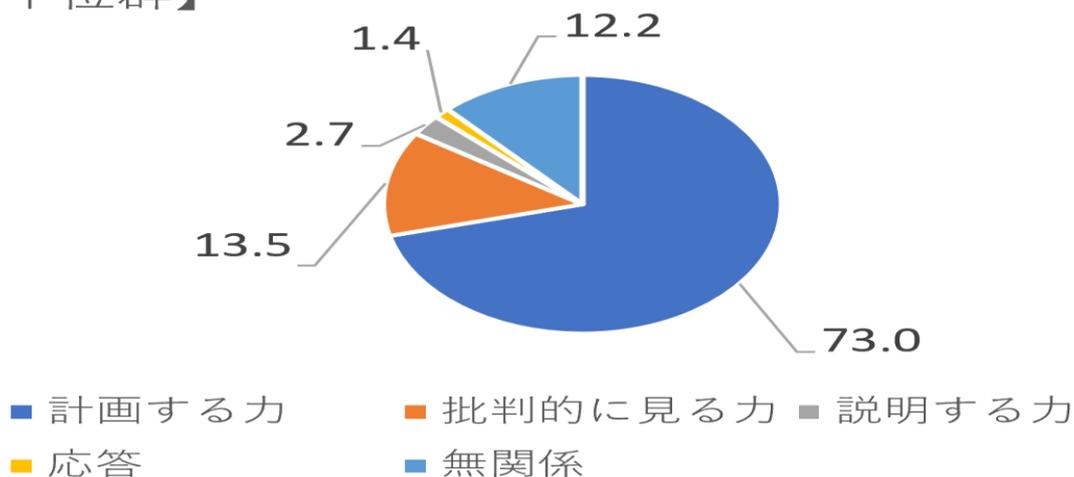


図6 発話数における各カテゴリの割合

上位群に見られる傾向として、「批判的に見る力」に関する発言が多いことが挙げられる。実験計画作成場面における発話記録なので、「計画する力」に関する発言が多いのは想像に難くない。しかし、それ以上に大事な能力として「批判的に見る力」の重要性が示唆された。上位群は、誰かが実験計画の提案を行うと、それを批判的に捉えて質問や問い直しを行う傾向がある。結果として上位群は、下位群に比べて計画は難航する。しかし、その分、練られた実験計画になっている。

例えば、表5、通し番号65、Aが「比率を変えずにはむずいから却下」と発言した。その後、通し番号66、Cが「却下？普通にあれ。鉄の量8gで活性炭が4gだったじゃん。それを8だったら16、4だったら8にするだけだよ。」と発言し、Aの発言を批判的に捉えて鉄粉と活性炭の比率を変えて実験する必要性を訴えている。その後もAは納得がいかないが、通し番号73、Cの「鉄粉の量16にしない？やだ？活性炭が4から8に、食塩水が1/4から1/2になるから」という発言を受けて通し番号74でAも「16？わかった。」と納得している。

下位群の特徴としては、誰かの提案をそのまま受け入れる傾向があるが、上位群はそうではない。自分が納得するまで議論を展開させている。

4. 総合考察

本研究の目的は、中学校理科において育成すべき科学的な思考力の定義とその下位能力を明確にし、生徒自身の疑問から課題（オリジナル学習課題）を設定し、探究の過程全体を主体的に遂行する探究的な学習活動を開発・実践・評価することであった。そのために、科学的な思考力の先行研究と全国学力・学習状況調査の分析から共通事項を見いだして、本研究における科学的な思考力を定義づけた。そして、生徒自身の疑問から科学的に解決可能な課題設定する探究学習を実施し、その効果を検証した。検証方法としては、事前・事後の質問紙調査、事前・事後・遅延テストの実施、実験計画作成場面における発話分析を行った。

その結果、科学的な思考力の下位能力に対する意識の向上が見られた。また、事前・事後・遅延テストの分析より、科学的な思考力の下位能力は本実践によって向上し、その後も維持されていることが明らかとなった。また、発話分析により「批判的に見る力」の有効性が示唆された。

村上(2010)では、探究学習が行われない理由として「探究学習・活動を実践すると、こういう点で、これぐらいの成果が認められるといった科学的なデータが示されていないから」と述べている。本研究は、探究学習の成果を実証的に検討し、その成果を確認できたと言える。

本研究のような実践を継続していくことが、より有効な授業改善につながると考えられる。生命・地球・粒子・エネルギーの各領域において、本研究のような探究学習を取り入れていくことが重要である。

本研究において、効果が見られた要因として、2つの要因が考えられる。

1つには、先行研究や全国学力・学習状況調査から中学校理科において育成すべき資質・能力である科学的な思考力の下位能力を明確にし、それが発揮される探究学習を設計、実践したことである。

2つには、生徒自身の疑問から課題（オリジナル学習課題）を設定するために、4QSをもとに作成した仮説設定シートを用いたことである。化学かいろの温度を上げる要因一つひとつに注目した仮説を設定できたり、オリジナル学習課題をより実験によって解決可能なものに修正できたりする効果があったと考えられる。

5. 今後の展望・課題

科学的な思考力を育成するための探究学習の開発・実践は、学習指導要領が目指している資質・能力の育成につながるはずである。特に、生徒の疑問から課題（オリジナル学習課題）を設定する活動を取り入れたり、それを支援する方略を研究したりすることは、予測不能な時代を切り拓くことのできる人間の育成に大きく貢献すると考える。理想的には、生命・地球・粒子・エネルギー領域、もしくは他教科においても本研究の単元デザインを応用し、学習指導要領で求められている資質・能力の育成につながる授業改善の提案をしていきたいと考える。

今後の課題として、以下の2つがあげられる。

1つには、本研究の単元デザインに基づいた複数の授業実践の継続である。今回は1つの単元の実施にとどまったが、科学的な思考力の育成を目指し開発した単元デザインに基づいた授業を継続的に実施することによって、科学的な思考力のさらなる獲得・向上につながることが期待される。

2つには、本研究の単元デザインに基づいた授業実践を行う時数の確保である。本研究では8時間の活動時間を捻出するために、所属校の理科教員に指導内容の精選を依頼した。そうしたことによって、授業で省略した部分の理解が進まなかったり、授業の進度が速くなり生徒の負担が増えてしまったりするなどの弊害も考えられる。限られた時間の中で探究学習をいかに充実させていくかを模索する必要がある。

【謝辞】

本研究を推進するにあたり、全面的な支援をいただいた H 市立 S 中学校の職員の皆様に、この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

【附記】

本研究は、令和元年～4年度科学研究補助金基盤研究(C)(課題番号 19K02728 研究代表者 石上靖芳)を受けての研究成果の一部です。

引用参考文献

中学校学習指導要領(平成20年)「中学校学習指導要領解説理科編」pp.4,10

中学校学習指導要領(平成29年)「中学校学習指導要領解説理科編」pp.7

国立教育政策研究所(2018)『平成30年度全国学力・学習状況調査書中学校理科』, pp.12

鈴木康浩・藤本義博・益田裕充(2019)「中学校理科教員の意識調査から明らかになった指導上の課題と善の方向性」理科教育学研究, 第59巻, 3号

村上忠幸(2010)「理科の探究学習の新展開—messing about とコミュニケーション—」京都教育大学教育実践紀要, 第10号.pp.91-100

杉山哲士(2021)「科学的な思考力を高める理科学習—見通しをもちながら、問題解決に取り組む活動を通して—」愛知教育大学教育実践研究科(教職大学院)修了報告論集, pp. 311-320

小林辰至, 後藤頭一(2016)「『理科』における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の捉え方」上越教育大学研究紀要, 第35巻, pp.230-238

藤田剛志, 高橋博代, 藤澤隆次, 鈴木啓督, 河守徹, 金坂卓哉(2015)「科学的思考力の育成に対するアーギュメントを取り入れた授業の効果」千葉大学教育学部研究紀要, 第63巻, pp.181-186

吉田美穂, 川崎弘作(2019)「科学的探究における疑問から問いへ変換する際の思考の順序性に関する研究」理科教育学研究, 第60巻1号, pp.185-194