

粒子概念を用いた科学的思考に影響を及ぼす諸要因の検討 －中学校第3学年生徒を対象とした質問紙調査に基づいて－

赤松 将海*・山田 貴之**・小林 辰至***

(令和2年10月29日受付；令和3年4月8日受理)

要 旨

本研究の目的は、中学校第3学年生徒を対象に、「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を明らかにすることであった。この目的を達成するために、まず、荒井・永益・小林（2008）で抽出された尺度の構成要素を基に、本研究におけるカテゴリーと質問項目を作成した。次に、新潟県内の公立中学校3校の生徒205名を対象として質問紙調査を実施した。得られたデータについて因子分析を行ったところ、「粒子のモデルを用いた思考と理科の好感度」、「観察・実験に対する自信」、「身近な科学への興味・関心」、「数学への好感度」、「生活体験」の5因子が抽出された。「粒子概念を用いた科学的思考」と各因子との間に正の相関が認められたことから、「粒子概念を用いた科学的思考」は5因子すべての影響を受けていることが明らかとなった。

KEY WORDS

particle concept 粒子概念, scientific thinking 科学的思考, factors 諸要因, questionnaire survey 質問紙調査

1 問題の所在

平成20年の学習指導要領改訂により、理科では小中高等学校の一貫性を重視して、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」を柱とした内容で構成された。「粒子」を柱とする領域では、目に見える物質の性質や反応を目に見えない原子、分子、イオンの概念を用いて統一的に考察させ、科学的に探究する活動を通して、科学的な知識や基本的な概念を獲得することが求められている（文部科学省，2008a, b, 2009）⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。また、片平（2016）⁽⁴⁾は、すべてのものが原子レベルから構成されているとする粒子理論が、自然現象を統一的に理解するためには根本的に欠かせない理論であり、中学校段階では、物質の性質や反応に係わる多くの現象を説明する際に役立つと述べている。

しかしながら、村上（2010）⁽⁵⁾は、粒子のモデルを用いて質量保存を学習しても、その概念を活用して正答できた中学生は16%であったことから、多くの中学生に粒子概念が身に付いていないことを報告している。菊地・武井・三田・高橋・村上（2008）⁽⁶⁾は、空気と水の圧縮に関する現象の違いを科学的に説明する問いに対して、中学生と高校生の正答率が10%以下であったことから、粒子概念を基本的な現象の説明に使えるようになっていないこと、物質を構成する粒子に対する基本的な認識が不十分であるとしている。峯崎・久保田・小林（2011）⁽⁷⁾は、中学生を対象に、水溶液中の粒子の大きさや質量、性質、粒子のモデルの取扱いに関する学習を実施したところ、7割の生徒は正しい粒子のモデルを表現できたが、目に見えない物質を粒子のモデルに置き換えることに対しては、一貫して疑問視する生徒の存在を指摘している。これらの調査や研究から、粒子概念の形成や、不可視な物質を粒子のモデルを用いて可視化する抽象的思考に課題があることが示唆された。

こうした課題に対応するために、粒子概念形成の有効な方策を探り、その効果を実際の理科授業の中に導入した実践的な研究は多く行われてきた。例えば、菊地・高室・尾崎・黄川田・村上（2014）⁽⁸⁾は「①物質は全て目に見えない小さな粒でできている」、「②粒と粒の間は隙間である」などの7要素を粒子概念と規定し、粒子概念の導入から活用に至る一連の授業実践を異なる内容の単元を取り上げて行うことで、粒子概念を用いた系統的な物質学習の可能性を報告している。川崎・中山（2018）⁽⁹⁾は「a.物質は目に見えない小さな粒で構成されている」、「b.粒は消滅しない」などといった5つの粒子概念が、どのように獲得・変容されるのかを6単元に渡る長期的な継続調査によって明らかにしている。菊地ら（2014）⁽¹⁰⁾と川崎・中山（2018）⁽¹¹⁾に共通することは、粒子概念をいくつかの下位要素に分類し、各要素の導入と活用を授業実践で重視したことで、粒子概念を自然現象の説明に使えるようになったり、粒子概念を粒子のモデルに置換し不可視な物質を可視化して考察できるようになったりしたという点である。

以上概観したように、自然現象を説明する際に役立つ粒子概念を導入したり、粒子のモデルを用いたりする授業効

果についての研究は種々行われていることが分かる。その一方で、粒子概念を用いて自然事象を科学的に考察する能力（以下、「粒子概念を用いた科学的思考」と表記）に影響を及ぼす諸要因について調査・検討した研究は見当たらない。「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を明らかにすることができれば、粒子概念を導入・活用する指導法の考案に向けた基礎資料となることが期待される。

2 研究の目的

本研究では、「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を明らかにすることを目的とする。

3 研究の方法

3.1 本研究で用いる用語の定義

粒子理論については、片平（2016）⁽¹²⁾に基づき、「すべてのものが原子レベルから構成されているとする考え方」と規定した。粒子概念については、中学校学習指導要領解説理科編（文部科学省，2008b）⁽¹³⁾、菊地ら（2014）⁽¹⁴⁾及び川崎・中山（2018）⁽¹⁵⁾を参考に、「①物質は目に見えないほど小さな粒子からできている」（以下、粒子概念①と表記）、「②粒子と粒子の間は隙間がある」（粒子概念②）、「③粒子の大きさは変わらない」（粒子概念③）、「④粒子は熱運動している（動的視点）」（粒子概念④）といった4要素に整理し、いずれも化学変化を考える前段階での粒子の基本的な性質と捉えることとした。

なお、粒子概念には、「粒子は消滅しない」や「粒子の質量は変わらない」といった要素も考えられるが、後述する調査問題との対応を踏まえ、本研究では上記の4要素に限定することとした。粒子のモデルについては、岡村・藤嶋ら（2018）⁽¹⁶⁾に基づき、上記の粒子概念を、模型や図などを用いて、分かりやすく単純で、具体的な姿で表したものと規定した。

3.2 調査対象及び時期

新潟県内の公立中学校3校の第3学年生徒205名を対象として、2014年7月に質問紙調査を実施した。所要時間は40分間であった。分析は、質問紙調査に回答不備等が見られた11名を除く194名について行った。

3.3 調査内容

調査は、「粒子概念を用いた科学的思考」を評価する問題と、「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因に関する質問項目について、無記名の質問紙を実施した。

3.3.1 「粒子概念を用いた科学的思考」を評価するための調査問題

小中学校の理科教科書^(註1)や市販の問題集^(註2)を参考に、生徒の「粒子概念を用いた科学的思考」を評価するための調査問題を3つ作成し（資料1）、それぞれ回答を求めた。以下、作成した3つの調査問題の概要を示す。

問1：エタノールの状態変化（粒子概念②，③，④）に関する問題

(1)は、粒子概念②，③を評価するために、液体のエタノールを粒子のモデルで示し、エタノールが気体に状態変化すると粒子と粒子の間隔が広がることを図で表す問題を作成した。(2)は、粒子概念②，③，④を評価するために、液体のエタノールを入れた風船を湯につけると、エタノールが気体に状態変化し、粒子と粒子の間隔が広がったり、粒子の熱運動が激しくなったりを図と自由記述で考察する問題を作成した。

問2：空気の収縮（粒子概念①，②）に関する問題

(1)は、粒子概念②を評価するために、注射器に閉じ込められた空気を粒子のモデルで示し、注射器の内側（粒子と粒子の隙間）が何を表しているのかを選択する問題を作成した。(2)は、粒子概念①を評価するために、注射器の中の粒子のモデルが何を表しているのかを考察する問題を作成した。なお、問2については、いずれも後述する問3を回答するための足場づくりの問題として設定した。

問3：粒子の熱運動（粒子概念①，④）に関する問題

(1)は、粒子概念①を評価するために、粒子の熱運動を見立てた実験の図を示し、しぼんだ風船を風呂の湯につけると膨らむ現象について、銅球が何に対応しているのかを選択する問題を作成した。(2)～(4)については、(5)を回答するための足場づくりの問題であり、いずれも粒子概念④を評価するために作成した。(2)は、しぼんだ風船を風呂の湯につけると膨らむ現象において、モーターの回転数を上げる操作が、どのような条件を変えることと同一になるのかを選択する問題である。(3)は、実験の結果が示された図の変化から、モーターの回転数を推察し、銅球の動き方が、どのように変化するのかを考察する問題である。ここでは、モーターの回転数によって銅球の動き方が変化することを、原因と結果の対応関係（因果関係）の記述から評価することとした。(4)は、実験の結果が示された図の変化から、振動板に衝突する銅球の回数が、どのように変化するのかを選択する問題である。(5)は、粒子概念④を評価するために、しぼんだ風船を湯につけると膨らむ理由について、粒子の熱運動と関連付けて考察する問題を作成した。ここでは、しぼんだ風船が膨らむ理由について、原因と結果を対応させて記述できるかを評価することとした。

3. 3. 2 「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を同定するためのカテゴリーと質問項目

「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因に関する測定尺度は未だ開発されていない。そこで、荒井・永益・小林（2008）⁽¹⁷⁾で抽出された尺度の構成要素を基に、本研究におけるカテゴリーと質問項目を作成することとした。具体的には、著者らは「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因として、「豊かな自然体験や科学的な体験」、「科学への興味・関心」、「理科や数学への好感度」、「科学的に探究する能力や態度」などのカテゴリーが挙げられるのではないかと考えた。そこで、荒井ら（2008）⁽¹⁸⁾が「自然事象に関わる変数への気づき」に影響を与える諸要因として「身近な自然に関わる体験」、「自然・科学技術への知的好奇心」、「理科に対する自信」、「理科への好感度」、「数学への好感度」、「ものづくり体験」、「科学的探究の経験」を抽出していることに基づき、本研究への適用の可能性について検討した。その結果、両者には多少の表現の相違はあるものの、一致している構成要素が多く見られることから、荒井ら（2008）⁽¹⁹⁾を参考にすることにより、本研究におけるカテゴリーと質問項目の内容的妥当性、及び構成概念妥当性（原田・三浦・鈴木，2018）⁽²⁰⁾を保障できると判断した。

最終的に抽出したカテゴリーは、「理科・観察・実験への好感度」、「数学への好感度」、「観察・実験に対する自信」、「生活体験」、「状態変化に関する体験」、「探究的態度」、「有用感」、「科学への興味・関心・好奇心」、「粒子のモデルへの好感度」、「ものづくり」、「思考態度」の11個である。そして、抽出したカテゴリーを基に計48個の質問項目を作成した（資料2）。なお、荒井ら（2008）⁽²¹⁾は5件法で質問紙を実施しているが、本研究では被験者への負担を考慮し、4件法で回答を求めることとした。しかし、「1.理科・観察・実験への好感度」（4項目）、「2.数学への好感度」（3項目）、及び「9.粒子のモデルへの好感度」（番号44）といった好感度を問う計8項目については、肯定的または否定的のどちらの回答も選択できない生徒が存在する可能性があると考え、5件法による回答を求めることとした。

3. 4 分析方法

3. 4. 1 「粒子概念を用いた科学的思考」の得点化

問1：エタノールの状態変化（粒子概念②，③，④），問2：空気の収縮（粒子概念①，②），及び問3：粒子の熱運動（粒子概念①，④）の合計得点を、「粒子概念を用いた科学的思考」の総合得点（20点満点）として用いることとした。

問1：エタノールの状態変化（粒子概念②，③，④）に関する問題の得点化

(1)は、丸（以降、○と表記）の形と大きさが同一に描かれていれば1点を与え、○と○の間隔が広く描かれていれば、さらに1点を与えた。(2)は、○の形と大きさが湯につける前後で同一に描かれていれば1点を与えた。さらに、○と○の間隔が広く描かれていれば1点、膨らんだ状態の風船が描かれていれば1点をそれぞれ与えた。自由記述では、エタノールの粒子の熱運動について、「動く」、「動き回る」、「散らばる」等といった記述が見られれば1点を与えた。さらに、風船の内側に「ぶつかる」、「衝突する」等の記述が見られれば1点を与えた。また、「エタノールの状態が変わることに関する記述（例えば、蒸発、気体になる等）」が見られれば1点を与えた。以上、問1の最大得点を8点とした。

問2：空気の収縮（粒子概念①，②）に関する問題の得点化

(1)は、「注射器の内側の体積」と答えることができれば1点を与えた。(2)は、「空気」と答えることができれば1

点を与えた。以上、問2の最大得点を2点とした。

問3：粒子の熱運動（粒子概念①、④）に関する問題の得点化

(1)は、4つの選択肢の中から「空気」を選ぶことができれば1点を与えた。(2)は、4つの選択肢の中から「温度を変える」を選ぶことができれば1点を与えた。(3)は、表1に示したア～エの因果関係に関する記述一つにつき1点を与え、最大4点とした。(4)は、4つの選択肢の中から「衝突する銅球の回数は多くなる」を選ぶことができれば1点を与えた。(5)は、表2に示したア～ウの因果関係に関する記述一つにつき1点を与え、最大3点とした。以上、問3の最大得点を10点とした。

表1 問3(3)の正答例

<p>モーターの回転数が上がると、銅球は激しく動くようになり、円筒に衝突する回数は増える。モーターの回転数が下がると、銅球は緩やかに動くようになり、円筒に衝突する回数は減る。</p> <p>ア：モーターの回転数が上がる→銅球は激しく動く</p> <p>イ：銅球が激しく動く→円筒に衝突する回数は増える</p> <p>ウ：モーターの回転数が下がる→銅球は緩やかに動く</p> <p>エ：銅球が緩やかに動く→円筒に衝突する回数は減る</p>
--

表2 問3(5)の正答例

<p>風船の中の空気がお湯に温められると、空気中の粒子の動きは速くなり、風船の内側に衝突する粒子の回数は増えるので、風船の外側への圧力は大きくなり、風船は膨らむ。</p> <p>ア：空気がお湯に温められる→空気中の粒子の動きは速く</p> <p>イ：空気中の粒子の動きが速く→風船の内側に衝突する粒子の回数は増える</p> <p>ウ：風船の内側に衝突する粒子の回数が増える→風船の外側への圧力は大きく</p>
--

3. 4. 2 「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を同定するための質問項目の集計

48個の質問項目について、まず、5件法で回答を求めた8項目（番号1～7、44）を1～5点の範囲で、4件法で回答を求めた40項目を1～4点の範囲でそれぞれ点数化した。次に、質問項目ごとの得点の平均値と標準偏差を求めるとともに、各選択肢の人数と割合（％）を算出した。

3. 5 因子分析

「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を同定するために、統計分析ソフトSPSS Statistics (ver.25)を使用し、因子分析を行った。まず、質問項目ごとの得点の平均値と標準偏差を求め、天井効果が見られた11項目（番号4、18、20、21、22、23、24、25、30、35、47）と、床効果が見られた3項目（番号19、26、39）を削除した。次に、残された34項目について、主因子法による因子分析を行った。因子数は固有値が1以上であることを条件に、2～8因子までの分析を行い、最適解を5因子と判断した。そして、因子数を5因子とし、Promax回転を行った。各項目のうち、因子負荷が.35に満たない6項目（番号10、11、17、27、28、48）を削除し、再度、因子分析（Promax回転）を行った。因子負荷が.35に満たない1項目（番号29）と、2因子に渡って.35以上の負荷を示した2項目（番号1、43）を削除し、最終的に25項目を選出した。

3. 6 相関分析

因子分析によって抽出された5因子と「粒子概念を用いた科学的思考」との相関係数を求めた。

4 結果と考察

4. 1 「粒子概念を用いた科学的思考」の得点

4. 1. 1 問1：エタノールの状態変化（粒子概念②、③、④）に関する問題の得点

問1の各得点を表3に、合計得点の度数分布（最高値8、最低値0、最頻値3、中央値3、平均値3.6）を図1にそれぞれ示す。

(1)では、○の形と大きさを同一に描くとともに、○と○の間隔を広く描くことができた生徒は150人（77.3%）であった。(2)では、湯につける前後で○の形と大きさを同一に描くことができた生徒は128人（66.0%）であった。○と○の間隔を広く描くことができた生徒は8人（4.1%）、膨らんだ状態の風船を描くことができた生徒は32人

(16.5%)であった。○の形と大きさを同一に描くことができた生徒と、○と○の間隔を広く描くことができた生徒を合わせると136人(70.1%)となり、(1)と同等の正答者数であることが示された(正確確率検定, $p = .4421$)。

自由記述では、エタノールの粒子の熱運動について、「動く」、「動き回る」、「散らばる」等の記述が88人(45.4%)、風船の内側に「ぶつかる」、「衝突する」等の記述が14人(7.2%)、エタノールの状態が変わる「蒸発」、「気体になる」等が記述は2人(1.0%)であった。これらを合わせると104人(53.6%)となり、約半数の生徒しか粒子の熱運動に関する記述ができなかったことが示された。

4. 1. 2 問2：空気の収縮（粒子概念①、②）に関する問題の得点

問2の各得点を表4に、合計得点の度数分布（最高値2，最低値0，平均値1.0）を図2にそれぞれ示す。

(1)の正答者数は110人(56.7%)であり、注射器の内側が粒子と粒子の間隙を表していると認識できた生徒は60%程度であることが示された。(2)の正答者数は86人(44.3%)であり、注射器の中の粒子のモデルが空気を表していると認識できた生徒は半数に満たないことが分かった。

4. 1. 3 問3：粒子の熱運動（粒子概念①、④）に関する問題の得点

問3の各得点を表5に、合計得点の度数分布（最高値7，最低値0，最頻値1，中央値2，平均値2.2）を図3にそれぞれ示す。

(1)の正答者数は137人(70.6%)であり、粒子の熱運動を見立てた実験の図の中で、しぼんだ風船を風呂の湯につけると膨らむ現象について、銅球が「空気」に対応していることを多くの生徒が認識できたことが示された。(2)の正答者数は60人(31.0%)であり、モーターの回転数を上げる操作が、「温度」という条件を変えることと同一であることを認識できた生徒は30%程度であることが分かった。(3)では、表1に示したような因果関係の一つ以上記述できた生徒は64人(33.0%)であった。このことから、モーターの回転数によって銅球の動き方が変化することを、因果関係として捉えることができた生徒は30%程度であることが分かった。(4)の正答者数は83人(42.8%)であり、振動板に衝突する銅球の回転数が増えることを認識できた生徒は半数に満たないことが分かった。(5)では、表2に示したような因果関係の一つ以上記述できた生徒は40人(20.6%)であった。このことから、しぼんだ風船が膨らむ理由を粒子の熱運動と関連付けて考察するとともに、因果関係として捉えることができた生徒は大変少ないことが明らかとなった。

4. 1. 4 「粒子概念を用いた科学的思考」の総合得点

「粒子概念を用いた科学的思考」の度数分布（最高値17，最低値0，最頻値5，中央値7，平均値7.7）を図4に示す。

表3 問1の各得点の人数と割合 (N=194)

得点	(1)描画	(2)描画	(2)自由記述
0	17(8.8)	26(13.4)	90(46.4)
1	27(13.9)	128(66.0)	88(45.4)
2	150(77.3)	8(4.1)	14(7.2)
3		32(16.5)	2(1.0)

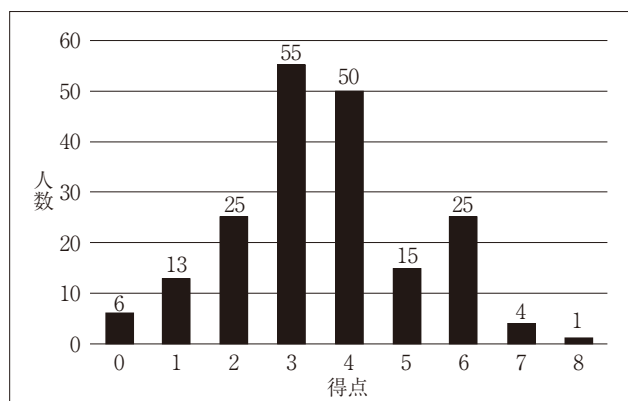


図1 問1の合計得点の度数分布 (N=194)

表 4 問 2 の各得点の人数と割合 (N=194)

得点	(1)	(2)
0	84(43.3)	108(55.7)
1	110(56.7)	86(44.3)

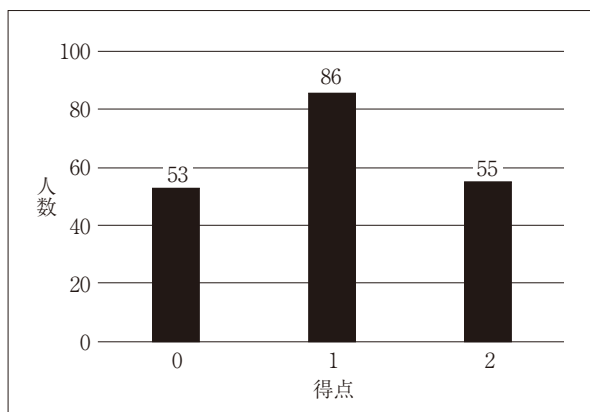


図 2 問 2 の合計得点の度数分布 (N=194)

表 5 問 3 の各得点の人数と割合 (N=194)

得点	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0	57 (29.4)	134 (69.0)	130 (67.0)	111 (57.2)	154 (79.4)
1	137 (70.6)	60 (31.0)	47 (24.2)	83 (42.8)	26 (13.4)
2			17 (8.8)		14 (7.2)
3			0 (0.0)		0 (0.0)
4			0 (0.0)		

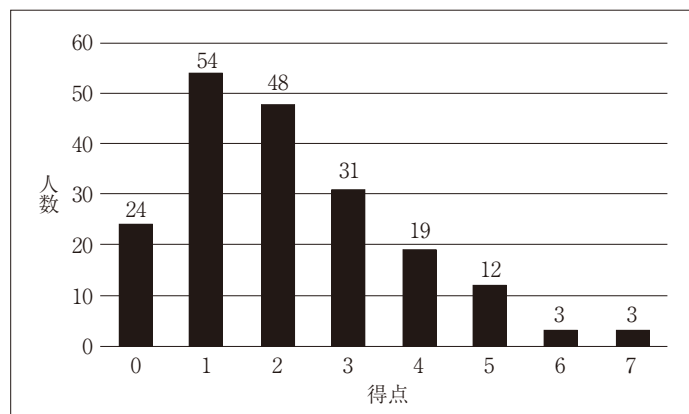


図 3 問 3 の合計得点の度数分布 (N=194)

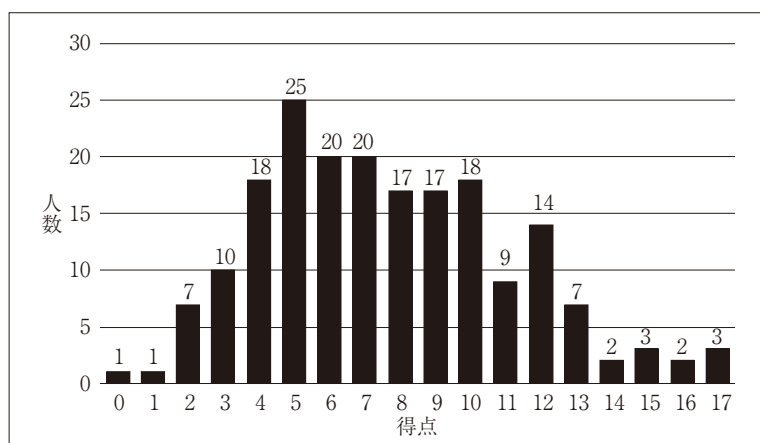


図4 「粒子概念を用いた科学的思考」の度数分布 (N=194)

4. 2 因子分析

因子分析によって抽出された5因子について、質問項目の内容から因子名を検討した(表6)。

因子1は、「34.理科の学習は面白い」、「2.今、理科は好きですか」、「32.理科で学ぶことは、役に立つことが多いと思う」、「33.自分で調べたり学習したいと思うような興味のある事柄がある」などの因子負荷量が高く、これらは理科への好感度に関する項目である。また、「46.粒子のモデルを扱う学習は面白い」、「44.粒子のモデルで表されている問題は好きですか」といった粒子のモデルへの好感度に関わる項目も高い因子負荷量を示していることから、内容を大きく取扱い、「粒子のモデルを用いた思考と理科への好感度」と命名した。

因子2は、「13.観察に自信はありますか」、「14.実験に自信はありますか」といった観察・実験に対する自信を示す項目に因子負荷量が高かった。また、他の項目についても、「9.ガスバーナーの操作に自信はありますか」、「12.薬品の取扱いに自信はありますか」等、理科の観察・実験に対する自信が基盤となる項目で構成されていることから、「観察・実験に対する自信」と命名した。

因子3は、「40.科学技術についてのニュースや話題に関心がある」、「41.機械のしくみを調べることに興味がある」、「38.テレビで、理科に関係する番組をよく見る方だ」、「42.身の回りの物質の性質を調べることに興味がある」の4項目で構成されている。これらは身の回りで起こっている科学への興味・関心に関する項目であることから、「身近な科学への興味・関心」と命名した。

因子4は、「7.割合の問題は好きですか」、「5.数学は好きですか」、「6.図形問題は好きですか」の3項目で構成されている。これらは因子分析前のカテゴリと同じであり、数学の割合や図形の問題への好感であることから、「数学への好感度」と命名した。

因子5は、「16.色水で遊んだことがありますか」、「15.家で料理をしたり、料理を手伝ったりしたことがありますか」の2項目で構成されている。これらは生徒が日常生活の中で体験したできごとに関する項目であることから、「生活体験」と命名した。

4. 3 相関分析

因子分析によって抽出された5因子と「粒子概念を用いた科学的思考」との相関係数を求めた。その結果、「粒子概念を用いた科学的思考」と5因子すべてとの間に正の相関が認められた(表7)。

5 研究のまとめ

本研究の目的は、中学校第3学年生徒を対象に、「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を明らかにすることであった。

「粒子概念を用いた科学的思考」の実態について、問1：エタノールの状態変化(粒子概念②、③、④)では、状態変化の前後でエタノールの粒子の形や大きさを同一に描いたり、粒子と粒子の間隔を広く描いたりするなど、粒子概念②(粒子と粒子の間は隙間がある)及び粒子概念③(粒子の大きさは変わらない)を用いて科学的に考察できる生徒が多く見られることが明らかとなった。また、エタノールの粒子の熱運動について、粒子概念④(粒子は熱運動

表 6 因子パターン行列

番号	質問項目	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
因子 1 「粒子のモデルを用いた思考と理科への好感度」(8 項目)						
34	理科の学習は面白い	1.014	.113	-.205	-.020	-.134
2	今, 理科は好きですか	.853	.155	-.121	.076	-.317
46	粒子のモデルを扱う学習は面白い	.759	-.051	.049	.055	.050
32	理科で学ぶことは, 役に立つことが多いと思う	.674	-.091	.155	-.056	.080
33	自分で調べたり学習したいと思うような興味のある事柄がある	.626	-.059	.154	-.079	.270
37	理科について興味があることを自分で調べたり学習したい	.605	-.025	.267	-.129	.186
44	粒子のモデルで表されている問題は好きですか	.561	-.019	.012	.431	-.103
36	高度な理科の実験や観察をしたい	.417	.079	.270	-.062	.029
因子 2 「観察・実験に対する自信」(8 項目)						
13	観察に自信はありますか	-.054	.911	.021	-.081	.033
14	実験に自信はありますか	.017	.849	.053	-.063	-.014
3	観察は好きですか	.319	.647	-.115	-.147	-.033
31	観察, 実験の結果に基づいて, 筋道をたてて考えたことがありますか	.037	.480	-.015	.174	.260
9	ガスバーナーの操作に自信がありますか	-.172	.413	.288	.131	-.129
12	薬品の取扱いに自信がありますか	.150	.398	.089	.135	.116
8	小学生の時, 理科に自信はありましたか	.041	.369	.150	.088	.050
45	観察, 実験の結果について, 粒子のモデルで考えたことがありますか	.159	.361	-.016	.144	.102
因子 3 「身近な科学への興味・関心」(4 項目)						
40	科学技術についてのニュースや話題に関心がある	-.034	-.028	.856	.049	-.101
41	機械のしくみを調べることに興味がある	-.021	.220	.731	-.055	-.272
38	テレビで, 理科に関係する番組をよく見る方だ	.070	-.042	.680	.029	.025
42	身の回りの物質の性質を調べることに興味がある	.242	.101	.489	-.039	.150
因子 4 「数学への好感度」(3 項目)						
7	割合の問題は好きですか	.068	-.129	.151	.774	-.029
5	数学は好きですか	-.049	-.001	-.179	.766	.119
6	図形問題は好きですか	-.087	.062	.147	.666	-.016
因子 5 「生活体験」(2 項目)						
16	色水で遊んだことがありますか	-.015	.072	-.164	.122	.622
15	家で料理をしたり, 料理を手伝ったりしたことがありますか	-.085	.008	-.102	-.024	.599
因子相関係数		因子 2	.687	—	—	—
		因子 3	.685	.628	—	—
		因子 4	.515	.484	.503	—
		因子 5	.528	.378	.452	.204
		α 係数	.910	.870	.830	.774
					.774	.549

表 7 「粒子概念を用いた科学的思考」と 5 因子との相関 (Pearson の積率相関係数)

因子名	相関
因子 1 「粒子のモデルを用いた思考と理科への好感度」	.300**
因子 2 「観察・実験に対する自信」	.236**
因子 3 「身近な科学への興味・関心」	.237**
因子 4 「数学への好感度」	.334**
因子 5 「生活体験」	.223**

注) ** $p < .01$, 有意確率は両側検定で行った結果である。

している(動的視点))を用いて科学的に考察できる生徒は約半数であることが示された。問2: 空気の収縮(粒子概念①, ②)では, 注射器の内側が粒子と粒子の隙間を, 注射器の中の粒子のモデルが空気を表していると認識できた生徒は, 40~60%であり, 約半数が粒子概念①(物質は目に見えないほど小さな粒子からできている)及び粒子概念②(粒子と粒子の間は隙間がある)を用いて科学的に考察できたと考えられる。問3: 粒子の熱運動(粒子概念①, ④)では, 粒子の熱運動を見立てた実験から, 銅球が「空気」に対応していることを認識できた生徒が70%以上であり, 粒子概念①(物質は目に見えないほど小さな粒子からできている)を用いて科学的に考察できる生徒が多く見られることが示された。その一方で, しぼんだ風船が膨らむ理由を粒子の熱運動と関連付けて考察するとともに, 因果関係として捉えることができた生徒は20%程度であったことから, 粒子概念④(粒子は熱運動している(動的視点))を用いて科学的に考察できる生徒は大変少ないことが明らかとなった。

そして, 「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を同定するために因子分析を行ったところ, 「粒子のモデルを用いた思考と理科の好感度」, 「観察・実験に対する自信」, 「身近な科学への興味・関心」, 「数学への好感度」, 「生活体験」の5因子が抽出された。「粒子概念を用いた科学的思考」と各因子との間に正の相関が認められたことから, 「粒子概念を用いた科学的思考」は5因子すべての影響を受けていることが明らかとなった。具体的には, 「粒子のモデルを用いた思考や理科への好感を持っている生徒」, 「観察・実験の操作技能に自信がある生徒」, 「身近な科学への興味・関心が高い生徒」, 「数学の抽象的な思考に好感を持っている生徒」, 「身近な自然事象と触れ合う生活体験が豊かな生徒」は, 粒子概念を用いて科学的に考察する能力を備えている傾向にあると考えられる。

6 今後の課題

今後, 以下の3点について検討を加える予定である。

第1に, 「粒子概念を用いた科学的思考」と5因子の間には, すべて正の相関が認められたことを踏まえ, 粒子概念を導入・活用する指導法を考案し, 実践的研究に発展させていく必要がある。

第2に, 「粒子概念を用いた科学的思考」と5因子との構造的関係についてパス解析を行い, 因果関係を明らかにする必要がある。

第3に, 抽出された5因子の1つに「生活体験」がある。これは, 「粒子概念は日常的な経験を豊かにすることによって身につく自然発生的な概念とは異なり, 学校で組織的に学習しなければ身につかない概念である」とする片平(2016)⁽²²⁾の知見と異なる。そこで, より大規模な追試を行い, 学年差や性差に着目して分析することで, 調査問題や質問項目の妥当性について検討する必要がある。

附記

本稿は, 第一著者の修士論文(上越教育大学大学院)に, 第二著者が新たな量的分析と考察を加え, 再構成したものである。第一著者と第二著者は同等に貢献した。第三著者は研究デザインを構築し, 論文全体を取りまとめた。また, 本研究の一部はJSPS科研費21K13660の助成を受けたものである。

註釈

- (1) 本研究で用いた小中学校の理科教科書は以下の4点である。
 - ・伊勢村寿三ら: 「理科1-A」, 啓林館, pp.175-180, 1971.
 - ・毛利衛・黒田玲子ら: 「新しい理科4」, 東京書籍, p.93, 2010.
 - ・岡村定矩・藤嶋昭ら: 「新しい科学1年」, 東京書籍, p.113, 2011.
 - ・吉川弘之ら: 「未来へひろがるサイエンス1」, 啓林館, p.143, 2011.
- (2) 本研究で用いた市販の問題集は以下の1点である。
 - ・「学研Perfect Course 中学理科」, 学習研究社, p.201, 2008.

引用文献

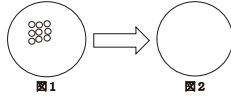
- (1) 文部科学省: 「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, 2008a.
- (2) 文部科学省: 「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, 2008b.
- (3) 文部科学省: 「高等学校学習指導要領解説理科編理数編」実教出版株式会社, 2009.
- (4) 片平克弘: 「粒子理論の教授学習過程の構造と展開に関する研究」風間書房, pp.3-5, 2016.

- (5) 村上祐：「小・中理科における望ましい粒子概念教育の提言－国の調査結果の背景および独自調査の分析から－」岩手大学教育学部研究年報，第69巻，pp.73-87，2010.
- (6) 菊地洋一・武井隆明・三田正巳・高橋治・村上祐：「粒子概念の位置づけと物質学習カリキュラム」，理科教育学研究，第49巻，第1号，pp.35-51，日本理科教育学会，2008.
- (7) 峯崎正樹・久保田善彦・小林秀夫：「中学生の粒子のモデルの理解に関する実践的研究」，理科教育学研究，第52巻第2号，pp.123-130，日本理科教育学会，2011.
- (8) 菊地洋一・高室敬・尾崎尚子・黄川田泰幸・村上祐：「小学校における系統的物質学習の実践的研究－粒子概念を『状態変化』で導入し『溶解』で活用する授業－」，理科教育学研究，第54巻，第3号，pp.335-346，日本理科教育学会，2014.
- (9) 川崎弘作・中山貴司：「『理論』の構築過程に基づく学習指導による粒子概念の変容に関する研究－小学3・4年生を対象とした6単元に渡る継続調査を通して－」，科学教育学研究，第42巻，第4号，pp.279-289，日本科学教育学会，2018.
- (10) 前掲(8)
- (11) 前掲(9)
- (12) 前掲(4)
- (13) 前掲(2)
- (14) 前掲(8)
- (15) 前掲(9)
- (16) 岡村定矩・藤嶋昭ら：「新しい科学1年」，東京書籍，p.105，2018.
- (17) 荒井妙子・永益泰彦・小林辰至：「自然事象から変数を抽出する能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル」，理科教育学研究，第49巻，第2号，日本理科教育学会，pp.11-18，2008.
- (18) 前掲(17)
- (19) 前掲(17)
- (20) 原田勇希・三浦雅美・鈴木誠：「高い制度的利用価値の認知は理科における『主体的・対話的で深い学び』に貢献しうるか」，科学教育研究，第42巻，第3号，pp.164-176，日本科学教育学会，2018.
- (21) 前掲(17)
- (22) 前掲(4)

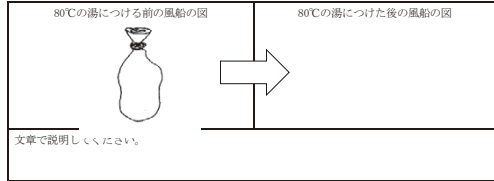
資料1 「粒子概念を用いた科学的思考」を評価するための調査問題

問1 エタノールは分子でできています。エタノールの分子を○で表すことにします。次の問いに答えてください。(※ただし、エタノールの分子の数は、液体から気体になっても変わりません。)

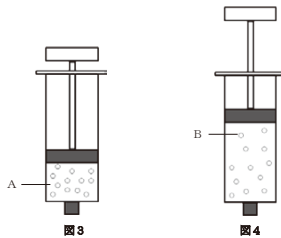
- (1) 下の**図1**の円は、液体のエタノールを表しています。**図2**の円の中に、気体になったエタノールの分子を○を使って描いてください。



- (2) 風船に液体のエタノールを少量入れた後、口を固く結んで80℃湯につけました。このとき、風船の中のエタノールの様子は、どのように変化していますか。図を描いて文章で説明してください。なお、エタノールの分子を○で表すことにします。



問2 下の図は、注射器に閉じ込めた空気を粒子で表したものです。**図3**はピストンを引く前、**図4**はピストンを引いた後の図です。次の問いに答えてください。



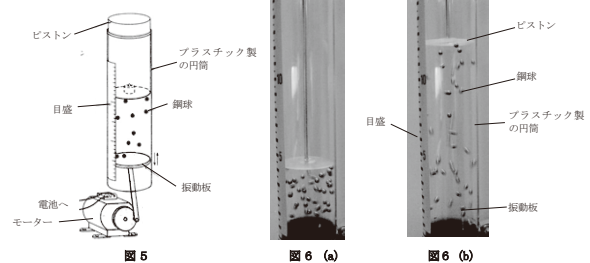
- (1) **図3**のAは、何を示していますか。下の①～④から一つ選んで番号で答えてください。
①注射器の底の断面積 ②注射器の横の断面積 ③注射器の内側の体積 ④注射器の表面積

問3 空気が抜けてしぼんだ風船を風呂の湯につけると膨らみました。このようなことが起こる理由を調べるために、風船やその中の空気を**図3**のような装置に見立てて、実験を行いました。この実験について下の問いに答えてください。

【実験方法と結果】

- (ア) まず、**図5**のようなプラスチック製の円筒の底の振動板が、モーターによって上下に振動する装置の中に、いくつかの小さな鋼球を入れた後、上からピストンを入れた。そして、振動板を振動させると**図6 (a)**のようになった。

- (イ) 次に、モーターの回転数を上げると、**図6 (a)** から**図6 (b)** のようになった。



- (1) **図5**と**図6**の鋼球は、しぼんだ風船が膨らむ現象が起きる時の何に見立てていると考えられますか。下の①～④から一つ選んで答えてください。
①水蒸気 ②水 ③空気 ④鋼
- (2) モーターの回転数を上げる操作は、しぼんだ風船が膨らむ現象が起きる時のどのような条件を変えることになりますか。下の①～④から一つ選んで答えてください。
①温度を変える ②圧力を変える ③空気の量を変える ④電流の強さを変える
- (3) **図6 (a)**と**図6 (b)**の実験の結果を比べると、モーターの回転数によって、鋼球の動き方は、どのようになると考えられますか。次に示した語句の中から必要なものを選んで文章で説明してください。
語句：鋼球、運動、速い、緩やか、数、回転数、振動板、速い、遅い
- (4) **図6 (a)**から**図6 (b)**へ変化するとき、振動板に衝突する鋼球の回数は、どのようになると考えられますか。下の①～④から一つ選んで答えてください。
①衝突する鋼球の回数は変わらない ②衝突する鋼球の回数は少なくなる
③衝突する鋼球の回数は多くなる ④この実験結果から衝突する鋼球の回数は判断できない
- (5) **図5**の装置を用いた実験から、空気が抜けてしぼんだ風船を湯につけると膨らんだ理由について、どのように説明できますか。次に示した語句の中から必要なものを選んで文章で説明してください。
語句：温度、湿度、凝縮、粒子の固さ、粒子の速さ、粒子の大きさ、圧力、衝突する粒子の数

資料2 「粒子概念を用いた科学的思考」に影響を及ぼす諸要因を同定するためのカテゴリーと質問項目

1 理科・観察・実験の好感度 (4項目)

- 1) 小学校の時、理科は好きでしたか
2) 今、理科は好きですか
3) 観察は好きですか
4) 実験は好きですか

2 数学の好感度 (3項目)

- 5) 数学は好きですか
6) 図形問題は好きですか
7) 割合の問題は好きですか

3 実験に対する自信 (7項目)

- 8) 小学生の時、理科に自信はありましたか
9) ガスバーナーの操作に自信がありますか
10) 濃度が10%の食塩水を作る自信はありますか
11) 薬品、物質の名前を聞いて、原子記号を答える自信はありますか
12) 薬品の取扱いに自信がありますか
13) 観察に自信はありますか
14) 実験に自信はありますか

4 生活体験 (9項目)

- 15) 家で料理をしたり、料理を手伝ったりしたことがありますか
16) 色水で遊んだことがありますか
17) 動くおもちゃを分解したことがありますか
18) カイロで暖まったことがありますか
19) ガラスをとかしたことがありますか
20) シャボン玉で遊んだことがありますか
21) 炭酸飲料の炭酸を抜いたことがありますか
22) 積み木、ブロックで遊んだことがありますか
23) 泥だんごを作ったことがありますか
24) 紙粘土や油粘土で遊んだことがありますか

5 状態変化に関する体験 (3項目)

- 25) 空気入れてでボールや自転車のタイヤを膨らましたことがありますか
26) へこんだピンポン球をもと湯につけてもとに戻したことがありますか
27) 空気のぬけたボールや風せんを風呂などの湯につけて遊んだことがありますか

6 探究的態度 (4項目)

- 28) 不思議に思ったことを自分で確かめてみたことがありますか
29) 身の回りのできごとで、不思議に思うことがよくありますか
30) 虫眼鏡を使って、観察したことがありますか
31) 観察、実験の結果に基づいて、筋道をたてて考えたことがありますか

7 有用感 (1項目)

- 32) 理科で学ぶことは、役に立つことが多いと思う

8 興味・関心・好奇心 (11項目)

- 33) 自分で調べたり学習したいと思うような興味のある事柄がある
34) 理科の学習は面白い
35) 理科の学習がもっと分かるようになりたい
36) 高度な理科の実験や観察をしたい
37) 理科について興味があることを自分で調べたり学習したい
38) テレビで、理科に関係する番組をよく見る方だ
39) 新聞や雑誌や本で、理科に関係する文章をよく読む方だ
40) 科学技術についてのニュースや話題に関心がある
41) 機械のしくみを調べることに興味がある
42) 身の回りの物質の性質を調べることに興味がある
43) 食べるものが安全かどうかを調べることに興味がある

9 粒子のモデルへの好感度 (3項目)

- 44) 粒子のモデルで表されている問題は好きですか
45) 観察、実験の結果について、粒子のモデルで考えたことがありますか
46) 粒子のモデルを扱う学習は面白い

10 ものづくり (1項目)

- 47) ものを組立てたり、作ったりするのが好きである

11 思考態度 (1項目)

- 48)じっくり考えることが好きである

Factors Affecting Scientific Thinking Featuring the Particle Concept:

Based on a Questionnaire Survey of Lower Secondary School Students

Masami AKAMATSU* · Takayuki YAMADA** · Tatsushi KOBAYASHI***

ABSTRACT

This study aimed to explain various factors that influence scientific thinking on the concept of particles among third-grade lower secondary school students. To achieve this purpose, we created categories and question items based on the components of a scale by Arai, Nagamasu, and Kobayashi (2008). We then conducted a questionnaire survey of 205 students from three public lower-secondary schools in Niigata prefecture. Results of factor analysis, “thinking and science favorability using a particle model,” “confidence in observation/experiment,” “interest in familiar science,” “favorability in mathematics,” and “life experience,” were extracted. A positive correlation confirmed that “scientific thinking on the particle concept” was influenced by these five factors.

* Yamato Municipal Tsukimino Lower Secondary School ** Natural and Living Science *** Former Natural and Living Science