

02	一 宮	大和南中学校	ハカマタ ユキヒコ
			氏 名 袴 田 幸 彦
分科会番号	5	分科会名	理科教育（中学校）

理科の見方・考え方を働かせ、自然を追究する理科学習
～粒子概念を活用し表現できる生徒の育成を目指して～

1 主題設定の理由

中学校学習指導要領における理科の目標は、見方・考え方を働かせ、自然の事物・現象を科学的に探究する資質・能力の育成である。予測困難な現代社会において、これらは科学的根拠に基づき判断するための極めて重要な基盤となる。

そのため、単なる知識の暗記に留まらず、観察・実験を通して「なぜそうなるのか」という問いを自ら見だし、粘り強く追究させることで、主体的に正解のない問いに向き合える科学的な思考力や判断力を育てることが求められる。また、それらを自らの言葉や図で表出していく表現力も必要である。

2 生徒の実態とめざす生徒像

（1）生徒の実態

本校2年生の生徒（47名）に理科に対する意識調査を行ったところ、自然現象の仕組みや原因について「自分の言葉で予想できる、すこしできる」と答えた生徒は44.2%（図1）、「実験・観察の結果をもとに考えることができる、すこしできる」と答えた生徒は60.5%（図2）、「学習した内容をもとに考えることができる、すこしできる」と答えた生徒は55.9%（図3）であった。このことから、半数程度の生徒が、未知の事象に対しても自分なりに理由を推測しようとする、前向きな学びの姿勢を有していることが分かる。

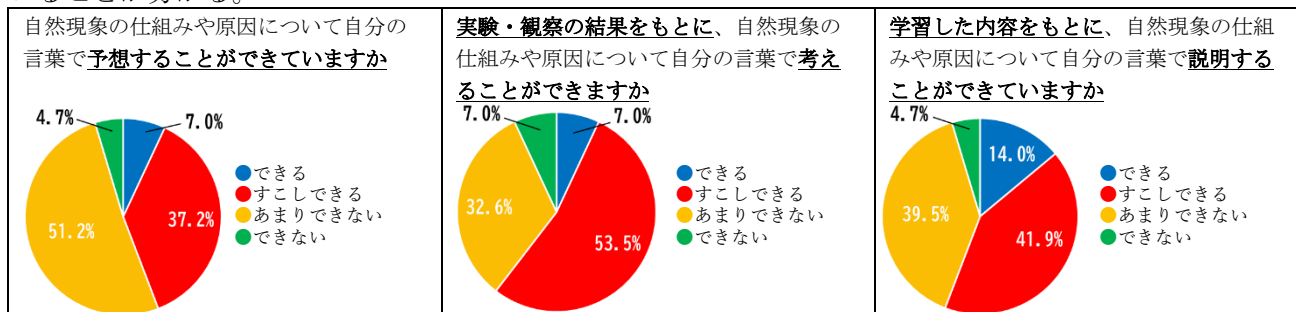


図1 事前アンケート結果1

図2 事前アンケート結果2

図3 事前アンケート結果3

しかし、第1学年の粒子分野に関する記述式問題（質問1、質問2）を課したところ、こうした積極的な姿勢が、必ずしも科学的な根拠に基づいた深い理解には結びついていないという課題が浮き彫りとなった。

質問1： 物質は粒子で構成されている。固体・液体・気体の3つの状態について粒子はどのように運動しているか文章やイラストを用いて答えなさい。ただし、粒子は○で表現するものとする

質問2： 図4のように、エタノールの入ったビニール袋にお湯をかけると、エタノールが液体から気体にすべて状態変化して、図6のように袋が膨らんだ。この現象について、エタノールの粒子を○で表現し、図と言葉で説明しなさい。ただし、図4の状態のときのエタノールの粒子は図5のように表すものとする。

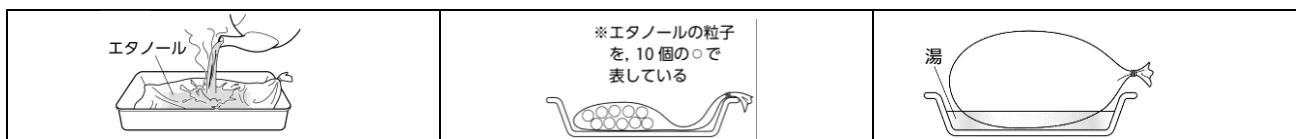


図4 エタノールの入ったビニール袋にお湯をかけたときの様子

図5 エタノールの粒子のようす

図6 膨らんだ袋のようす

資料1 粒子分野に関する記述式問題

質問1では、84%の生徒が粒子の動きによって、状態変化が起きていることを自分の言葉で図を用いて説明することができた。質問2でも、粒子の動きによって袋がふくらむことを自分の言葉で図を用いて説明することができている生徒は67%であった。しかし、生徒A、生徒Bのように記述していた生徒が多く、エタノールの粒子の個数が変化しないことまで、きちんと表現できている生徒は生徒全体の30%にとどまった。(図7、図8)

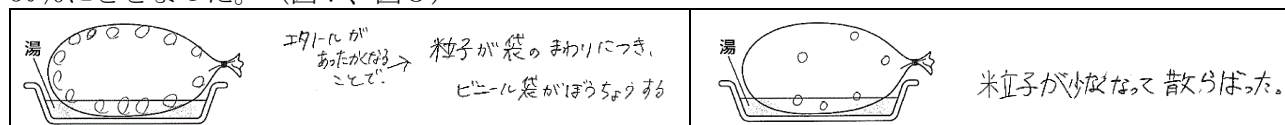


図7 生徒Aの記述

図8 生徒Bの記述

このことから、粒子を知識として知っていても、粒子概念と関連付けて考察することが十分にできていないことが分かる。また、考察した内容を表現することが難しいといえる。そこで、本研究では、粒子概念を扱う中学校2年生の単元「化学変化と原子・分子」を対象とし、化学変化における反応前後の物質を粒子モデルと関連付けて予想・考察させることを基盤とした授業を実践することで、自然の事象を質的・実体的に捉える「理科の見方」を形成・定着することできると考えた。また、単なる知識の習得を超えて、「理科の見方・考え方」を働かせ、生徒が科学的な根拠を持って身の回りの事物・現象を科学的に説明できるようになり、それが未知の課題に直面した際に自ら解決策を見出す力を育むことにつながると考えた。

(2) 目指す生徒像

生徒の実態をふまえ、次のように目指す生徒像を設定した。

自然の事物・現象について、「理科」の見方・考え方を働かせながら、モデル図や言葉を用いて科学的に仕組みを説明することができる生徒

3 研究の仮説

目指す生徒像の実現に向けて、次のように仮説を立てた。

【仮説1】

単元構成を工夫し、化学変化を科学的に説明するために必要な基礎知識を定着させるとともに、ICTや教具を用いて粒子を可視化する場を設定すれば、生徒は粒子概念を形成することができ、モデル図や言葉を用いて科学的な事象を説明できるようになるだろう。

【仮説2】

粒子モデルを「思考ツール」として活用し、実験の予想や考察において個人および集団で検討し合う場を設定すれば、生徒は目に見えない現象を可視化して捉えられるようになり、科学的な根拠に基づきながら主体的に課題を追究するだろう。

4 研究の方法

(1) 仮説に対する手だて

仮説1、2に対して以下のような手だてを設定した。

①【仮説1】に対する手だて(手だて①)

単元構成やICTや教具を工夫し、粒子概念を定着させる工夫

②【仮説2】に対する手だて(手だて②)

(ア) ワークシートやデザイン作成ツールを活用し、粒子モデルを用いて「予想・立案」を行う。

(イ) ワークシートやデザイン作成ツールを活用し、粒子モデルを用いて「分析・解釈」を行う。

(2) 仮説の検証方法

【仮説1、2】について

(ア) アンケートによる実態調査

実践の前後で、生徒の意識の変化を確認する。

(イ) ワークシートへの記述の変容

生徒が考えたモデル図が、どのように変容したのかを追う。

(ウ) デザイン作成ツール上のモデル図の変容

単元の序盤と終盤で、生徒が作成した粒子モデルや、添えられた説明文を比較する。

5 研究の計画

単元「化学変化と原子・分子」の大単元「化学変化と物質の成り立ち」では、通常、中単元「化学変化とは何か」等の順に学習が展開される。本研究では、早期の粒子学習が確実な理解につながると考え、指導順序を大胆に入れ替えた 25 時間の単元計画を構想した。

単元内では、生徒が自然現象について自らの言葉やモデル図を用いて「科学的に説明する」機会を大幅に増やすよう配慮した。その際、表現活動の具体的な場面として「グルコースの燃焼」や「テルミット反応」など、目に見える変化が激しく、かつ比較的身近に関連づけられる事象を意図的に選定した。これにより、生徒が現象に対して強い興味・関心を抱き、主体的に追究していけると考えた。

時	大単元	中単元	学習活動	手立て
1	化学変化と物質の成り立ち	物質をつくる小さな粒子	原子・分子について知り、カードゲームで定着させる。	手立て①
2			単体と化合物について知り、カードゲームで定着させる。	手立て①
3			カードゲームで化学式を定着させる。	手立て①
4		化学変化とは何か	酸化銀の熱分解のようすを観察し、どのような物質が生成したか考える。	
5			実験結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
6			水の電気分解を行い、どのような物質が生成したか考える。	
7			実験結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
8		化学変化を表す方法	化学反応式の表し方を学び、オンラインシミュレーションで数合わせの練習をする。	手立て①
9	いろいろな化学変化	カルメ焼きが膨らむわけ	炭酸水素ナトリウムの熱分解によって何が生成するか予想し、それを検証するために実験を立案する。	手立て②（ア）
10			炭酸水素ナトリウムの加熱実験を行い、どんな物質が生成したか考える。	
11			実験結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
12			カルメ焼きがつくられるようすを分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
13		物質が結びつく化学変化	鉄と硫黄の結びつくようすを実験により確認する。	
14			実験結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	
15		酸素と結びつく化学変化	銅と鉄、マグネシウムの酸化を実験により確認する。	
16			実験結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	
17			炭素・水素・メタンの燃焼のようすを分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	
18			グルコースの燃焼によって何が生成するか予想し、それを検証するために実験を立案する。	手立て②（ア）
19			グルコースの燃焼実験を行い、どんな物質が生成したか考える。	
20			実験結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
21		酸素を取り除く化学変化	銅の水素還元のようすを分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
22			銅の炭素還元の実験を行い、その結果を分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
23			マグネシウムの二酸化炭素中での燃焼によって何が生成するか予想する。	手立て②（ア）
24			マグネシウムと二酸化炭素の燃焼のようすを分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）
25			テルミット反応のようすを分析・解釈し、どのような化学変化が起きたか考える。	手立て②（イ）

6 研究の実践

(1) 単元構成やICTや教具を工夫し、粒子概念を定着させる工夫（手立て①）

まず、本来中盤で扱う「原子・分子・化学式」を導入直後の第1～3時に配置した。早期に抽象的な事象を粒子表現と結びつけたことで、実験のたびに「目に見える変化」を「粒子の動き」と関連付けて考える習慣が少しずつ生徒の中に根付き始めた。次に、教具として「原子モデルカード」を導入した。ルールを既習事項に合わせて工夫し、パズル感覚で物質の構成を習得させることで着実な定着を図った。また、原子や分子という語句を正しく使い分けられるよう、机間指導を通して「原子の結合」により物質が成り立っていることを強く意識させた（図9、10）。さらにPhETを活用し、反応前後で原子の種類や数は不変であるというルールを視覚的に繰り返して学習をした（図11）。これにより、粒子概念が単なる暗記対象ではなく、化学変化の仕組みを解き明かすための確かな理論として、生徒の中に実体的に理解されていった。



図9 カードゲームのルールの変遷

図10 カードゲームのようす

図11 PhETに取り組むようす

(2) ワークシートやデザイン作成ツールを活用し、粒子モデルを用いて「予想・立案」を行う。（手立て②ア）

実験前、デザイン作成ツールを用いて個別に粒子モデルを操作し、化学変化によって「どんな物質が生成するか」を予想する場面を設定した（図12）。生徒が手元でモデルを動かし、試行錯誤しながら納得のいくまで「数合わせ」を行う姿が見られ、粒子概念が具体的な思考ツールとして機能した。その後、個別案をもとに小グループで議論を行い、原子の組み換えの妥当性を検討して班ごとの合意形成を図った（図13）。この際、ワークシートにも自分の考えを記述させることで、思考の整理を促していた。この過程を経て「自分たちの予想した物質を確かめるには何を確認すべきか」という問いが生まれ、必要な薬品や手順を自分たちで選定する「実験計画の立案」へと繋げることができた（図14）。自ら立てた計画により、単なる確認作業ではない、目的意識を持った主体的な探究活動が実現した。



図12 粒子モデルによる予想の例

図13 合意形成のようす

図14 生徒Aの書いた計画書の一例

(3) ワークシートやデザイン作成ツールを活用し、粒子モデルを用いて「分析・解釈」を行う。（手立て②イ）

実験後、得られた結果を粒子概念で説明するため、まず実験事実を整理し、ワークシートに個人の考察を記述した（図15）。次に小グループでの対話を通し、目に見える変化から「化学変化に伴う粒子の組み替えの様子」を、粒子の結合や動きに着目して分析・解釈していた。その際、デザイン作成ツール上で班の考えを粒子モデルにまとめ、全体で発表・共有する場面を設けた（図16、17）。他者のモデルと比較し合うことで、「どのように原子がつながり直したのか」という過程を想像し、より妥当な言葉や図で説明し合う姿が見られた。また、授業の最後には、議論を踏まえて再び個人のワークシートにまとめを記述した。「個人→集団→個人」というプロセスを経ることで、単なる結果の記録に留まらず、科学的な根拠に基づいた「分析・解釈」へと深化させることができた。これにより、事象を粒子に関連付けて表現する確かな力の育成に繋がった。

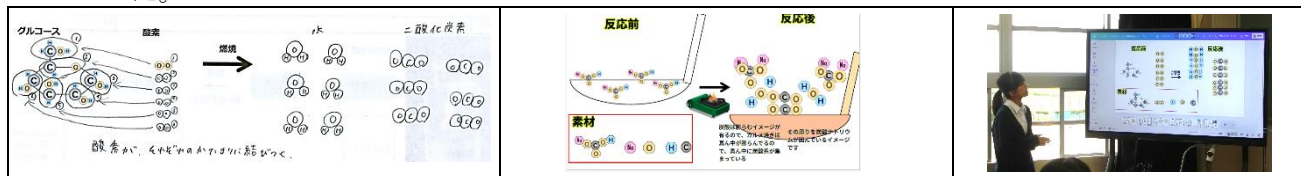


図15 生徒の作成したワークシートの例

図16 生徒がデザイン作成ツールで作成したモデル例

図17 全体発表のようす

7 研究の結果と考察

(1) 【仮説1】について

(ア) アンケートによる実態調査

単元終了後、生徒の意識調査を行った(図18)。その結果、「物質が原子や分子などの粒子でできていることを理解した(「すこし」を含む)」と回答した生徒は95.6%、「原子や分子のモデル図を活用し、自分の言葉で説明することができるようになった(「すこし」を含む)」と回答した生徒も89.1%であった(図19)この結果は、早期に粒子概念を導入し、実験のたびに粒子概念と結びつけたこと、さらにはデザイン作成ツールやPhETといったICTを繰り返し活用したことで、粒子概念が単なる知識ではなく、事象を説明するための「有用な思考ツール」として定着した結果であると考えられる。

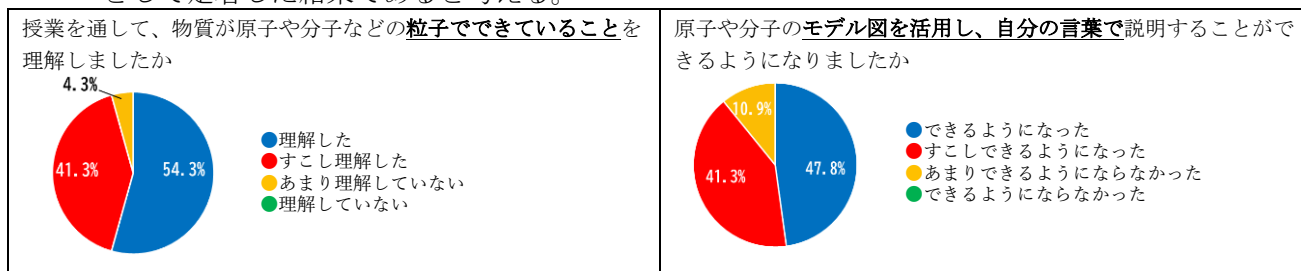


図18 事後アンケート結果1

図19 事後アンケート結果2

(イ) ワークシートや記述テストへの記述の変容

本実践における抽出生徒Aは、理科の単元学習において、自分の意見を表現することはできるが、獲得した知識を根拠として説明することが苦手な生徒である。抽出生徒Aの記述を振り返ると、単元序盤の「水の電気分解」の分析では、粒子モデルを活用してはいるものの、まだ「反応前後の粒子の数を合わせる」といったルールに沿った形式的な説明が中心であった。しかし、単元終盤の「テルミット反応」の分析では、酸化・還元といった用語を使いこなすだけでなく、「アルミニウムは鉄よりも酸素と結びつきやすい」といった物質の性質の違いにまで考えを広げて記述できるようになった。これは、目に見えない粒子の世界を想像する力が豊かになり、初めて扱う物質に対しても、モデルを通して自分なりに推論しようとする姿勢が育った証といえる。

単元の序盤 (水の電気分解) 自分の意見
単元の終盤 (テルミット反応) 自分の意見

図20 生徒Aのワークシートへの記述の変容

(2) 【仮説2】について

(イ) ワークシートへの記述の変容

本実践における抽出生徒Bは、理科の単元学習において、知識の習得は比較的順調であるものの、獲得した知識を根拠として実験結果を考察したり、自分の考えを言語化したりすることが苦手な生徒である。抽出生徒Bの記述を振り返ると、単元中盤の「炭酸水素ナトリウムの熱分解」の段階では、生成する物質の予想は立てられるものの、その根拠を粒子レベルで説明することに難しさを感じ、思考が止まってしまう様子が見られた。分析においても、目に見える物質のモデルを描くことにとどまり、反応前後で粒子の個数が変わらないという視点にまで意識を向けることは、この時点ではまだ容易ではなかったようである。しかし、単元終盤の「マグネシウムの燃焼」においては、生成する物質について粒子モデルを活用し、自分の予想をスムーズに書き進める姿が見られるようになった。分析においても、単にモデルを描くだけでなく、原子同士の結びつきやすさや酸化・還元といった概念を意識して使い分けながら、自分の言葉で論じている。特に、反応前後の原子・分子の個数を丁寧に数え、目に見える変化と目に見えない粒子の動きを自分の中で結びつけて解釈しようとする力の高まりが感じられた。

単元の中盤（炭酸水素ナトリウムの熱分解）

予想

① 二酸化炭素 CO_2	② 水 H_2	③ ナトリウム Na
--------------------------	---------------------	------------------------

分析

単元の終盤（マグネシウムの二酸化炭素中での燃焼）

予想

分析

図 21 生徒Bのワークシートへの記述の変容

(ウ) デザイン作成ツール上のモデル図の変容

単元序盤の「酸化銀の熱分解」では、モデルを操作すること自体はできているものの、原子が結合して物質を構成しているという実体的な理解が乏しく、「反応前後の粒子の数を合わせる」も不十分であった。これに対し、単元終盤の「グルコースの燃焼」では、デザイン作成ツール上の粒子モデルを自在に操作し、複雑な原子の組み合わせの変化を的確に表現できるようになった。グルコースの複雑な分子構造を捉え、どの部分から二酸化炭素や水が生成するのかを粒子レベルでイメージし、モデル上での正確な数合わせが可能となった。また、モデル図に添える説明文においても、「燃焼」という既習の科学用語を適切に使用しており、デジタル上の操作が思考を深めるための強力なツールとして機能したことが伺える。

単元の序盤（酸化銀の熱分解）

反応前

反応後

単元の終盤（グルコースの燃焼）

反応前

反応後

図 22 デザイン作成ツール上のモデル図の変容

8 研究の成果と今後の課題

(1) 研究の成果

本実践において、デザイン作成ツール等で試行錯誤を繰り返しながら自分の考えを可視化したことにより、表現することへの確かな自信が生まれ、粒子モデルを「思考のツール」として活用できるようになっていった。これにより、粒子概念が単なる知識に留まらず、未知の現象に対しても目に見えないミクロの視点から根拠を持って推論しようとする姿勢が自然と育まれた。事後アンケート（図 23）でも、84.8%の生徒が「モデルを使って説明できるようになった」と実感している。こうしたアンケート結果からも、本単元を通して生徒たちが目指す生徒像に近づいたことが伺え、本研究の仮説は有効であったと言える。

(2) 今後の課題

本実践の中で特に、実験計画を自力で立てるための支援の工夫が必要であると感じた。既習事項を根拠に粘り強く考える力を育むため、他単元とのつながりを意識した指導の工夫が求められる。また、生徒の推論が多岐にわたる際、それが正しいかを確認できる実験の準備や、情報の提示方法についても検討を深めていきたい。また、デジタルとアナログの最適な使い分けである。学習の習熟に伴い、手書きの方が思考を広げやすい場面（図 24）も見られた。今後は、デザイン作成ツール等の利便性と手書きの良さを柔軟に組み合わせ、生徒が自分に合った表現方法を主体的に選択できる環境づくりを目指したい。

学習した内容をもとに、自然現象の仕組みや原因について自分の言葉で説明することができるようになった。

15.2%

23.9%

60.9%

● できるようになった

● すこしできるようになった

● あまりできるようにならなかった

● できるようにならなかった

図 23 事後アンケート結果 3

23.9%

15.2%

60.9%

● できるようになった

● すこしできるようになった

● あまりできるようにならなかった

● できるようにならなかった

図 24 単元最終盤の手書きのモデル図