

理 科

粒子概念を育てる教材開発と授業実践

—「身の回りの物質」における粒子どうしの「引き合う力」の指導を通して—

風 呂 和 志

1. はじめに

身の回りの物質が肉眼でとらえられないほど小さな「粒子」からできているという見方や考え方は、物質の本質を理解するうえで欠かせない。今日では原子や分子、イオンなどの粒子はSTMやAFMを使えば、その姿をくつきりととらえることができるようになっている。しかも粒子に電氣的な力を加えて粒子の配列を自由に変えることさえもできるようになっている。つまり粒子は想像の産物ではなく、実在しているものであり、その存在を否定することはできないわけである。

ところが、「物質が粒子からできているという見方は直接には無関係な別の世界のものである。」¹⁾や「物質の粒子性、特に原子や分子の存在に関しては、本当のところは理解できない。」²⁾というとらえ方をしている人が多い。つまり、自分で観察できないことに関する知識として粒子をとらえているのであって、自分自身を認識の基準としてとらえて生活するうえで粒子という見方や考え方はとりわけ必要とされていないのである。

平成10年改訂の学習指導要領では、単元「身の回りの物質」の学習は物質の性質に関する知識を習得することに重点が置かれ、中学校2年生の単元「化学変化と原子・分子」で始めて物質は原子や分子などの粒子からできていることを学ぶようになっていた³⁾。物質に関する現象を粒子モデルと関連付けることで、物質の変化を定量的に理解することへの転換点がこの単元に置かれていたのである。物質を定量的に理解するためには、物質が原子から成り立っているという見方や考え方が不可欠であるがゆえに、子どもの学習の文脈を無視

して脈絡もなく学習内容に組み込まれていたと思われる。これでは、先に示したように粒子概念は単なる知識であり、自分とは無関係の別の世界のものであるというとらえ方になってしまう。

平成20年度改訂の学習指導要領では、小学校から高等学校までの化学領域の学習内容が粒子概念を柱に系統的に配置された。子どもたちに粒子概念を育成していくための条件が整備されたわけで、今後は実際に学習指導を行っていく教師の教材研究や指導のあり方が課題になってくる。

中学校1年生の単元「身の回りの物質」は粒子概念の本格的な導入として位置づけられている。「身の回りの物質」で扱う物質の現象は状態変化と溶解である。これらの現象を物質が小さな粒子からできているという見方や考え方をを用いて理解していくことを繰り返すことで、粒子概念の育成を図るようになっている。この単元で扱う現象のうち、状態変化は図1で示すように、粒子の離合集散で説明できる。

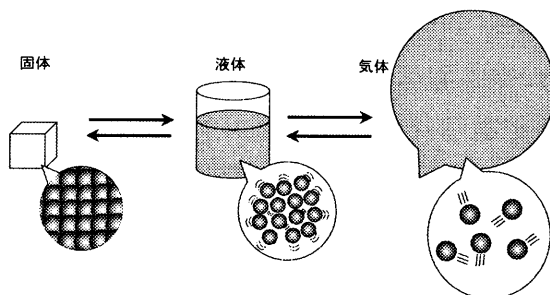


図1 状態変化を示す粒子モデルの例

図1は状態変化を説明する粒子モデルの例である。粒子の集まり方と物質の状態の関係を理解しやすいと思われる。しかし、実際は物質の粒子性について子どもが持っている特有の認識によって

図1に示すような粒子間の間隔の変化で状態変化を理解することを難しくしているのである⁴⁾。観察ができるようになったといっても多くの人々にとって粒子は観察不能である。したがって、粒子のイメージをより確かなものにするためには、粒子自体が持っている性質を理解させる必要がある。

粒子自体が持っている性質のうち、改訂された学習指導要領では温度と粒子の運動の関係には触れられているが、粒子どうしが引き合う力については全く触れられていない。粒子の離合集散は粒子の運動の激しさと粒子どうしが引き合う力のバランスで決まっている。粒子どうしが引き合っているというイメージを持たせなければ、状態変化の際にみられるさまざまな現象を本質的に理解させることはできない⁵⁾。

そこで、本研究では物質の結合状態をイメージすることや、固体から液体、気体へ変化させる条件や方法を概念化することが難しい⁶⁾という課題を解決するために、粒子どうしが引き合う力をイメージさせるための教材を開発するとともに、それを用いた授業実践を行い、それらの成果と課題を明らかにし報告することを目的とした。

2. 粒子どうしが引き合う力をイメージさせるための教材開発

(1) 教材開発の構想

物質の三態を粒子の集まり方でイメージさせるために、発泡スチロール球を使った粒子模型が用いられるのが一般的である。発泡スチロール球どうしを接着剤で固定し、結晶の形に組み上げれば、固体の状態を表現できる(図2左)。液体の状態は発泡スチロール球をそのまま容器に入れることで表現していることが多い(図2右)。気体の状態は透明なアクリル円筒に発泡スチロール球を数個入れ、円筒の下からサーキュレーターなどを使って空気を送り込み、球を自由に運動させることで表現することが可能である。

これらの模型は図1を立体化したものであり、粒子の離合集散の結果を表現したものに過ぎない。

特に液体模型では容器の形に応じて全体の形が変化するものの、発泡スチロール球どうしが引き合っていないため、1つずつの球がばらばらに運動してしまう。つまり、容器から別の容器に入れかえると発泡スチロール球の運動はまるで気体の粒子のようになるのである(図3)。

液体は粒子の熱運動と引き合う力がほぼつりあった状態である。したがって、粒子どうしが引き合う力をイメージさせるためには液体状態の模型を開発する必要があると考えた。

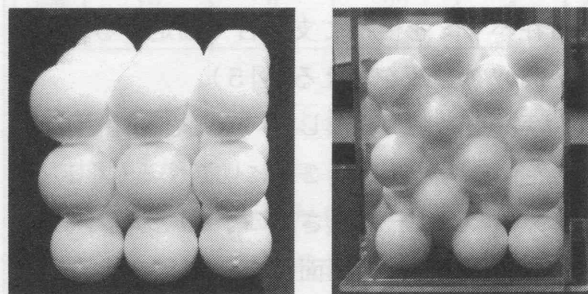


図2 発泡スチロール球を使った従来の粒子模型 (左：固体，右：液体)

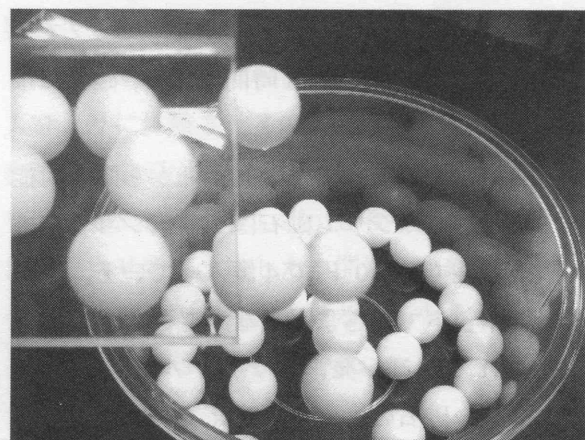


図3 粒子がバラバラになる従来の液体模型

(2) 教材の概要と作成手順

教材開発の構想に基づいて、引き合う力を持った発泡スチロール球を作成した。引き合う力を表現するために磁石を用いることにした。しかし、球の表面に磁石を貼り付けると引き合う力が局所的になるとともに、磁石の性質のため1対1の結びつきが強調されてしまう。そこで、磁石は発泡スチロール球の内部に埋め込むことにした。こうすることで、見かけは普通の発泡スチロール球で

あるにもかかわらず、お互いの球が引き合う様子を模型で示すことができるようになった。次にこの模型の作成手順を示す。

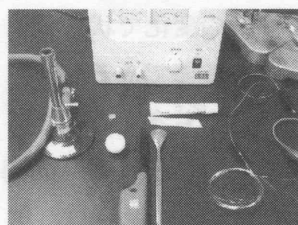


図4 準備物

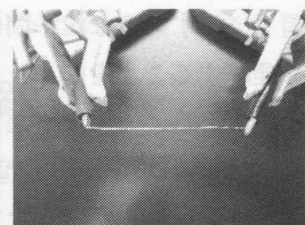


図5 ニクロム線の設置

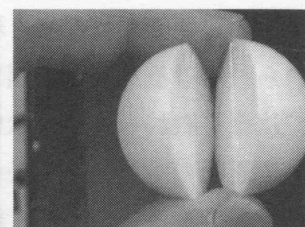
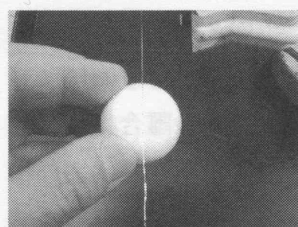


図6 切断のようす(左)と切断したもの(右)

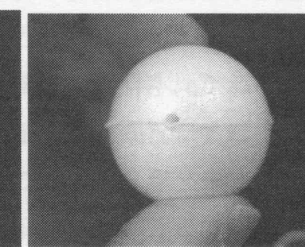
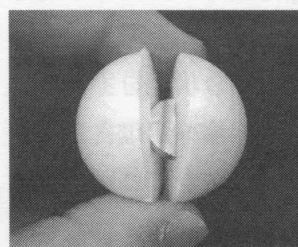


図7 磁石の埋め込み

図8 接着と固定

- i) 次の材料を用意する(図4)。(直径30mmの発泡スチロール球を20~30個、直径13mmの円盤状のネオジウム磁石を球と同数、ニクロム線20cm、電源装置、ガスバーナー、ステンレス製の葉さじ、支持台2台、リード線2本、プラスチック用接着剤、セロハンテープ)
- ii) リード線とニクロム線を電源装置につなぎ、自在バサミを使って支持台で固定する。1.5~3.0Vの電圧を加える(図5)。
- iii) ニクロム線が発熱していることを確認し、発泡スチロール球を2つに切断する(図6)。
- iv) ガスバーナーで葉さじの小さい方を十分に熱した後、球の切断面の中心付近に当てて、ネオジウム磁石が入るくぼみを作る。
- v) くぼみにネオジウム磁石を入れ、接着剤で2つの半球を張り合わせる(図7)。
- vi) 接着面がずれないように、セロテープで仮止めをしておく。約24時間放置し、確実に接着剤を硬化させる(図8)。

※ 発泡スチロール球は教材会社から購入可能である。ネオジウム磁石は100円ショップで購入可能で、100円で4個入っている。インターネットでもさまざまな大きさのものが販売されている。発泡スチロール球の直径によって、磁石の大きさも変える必要がある。

3. 開発した教材を用いた授業実践

(1) 授業実践の日時・対象生徒・学習指導計画

平成22年12月9日(木)に広島大学附属三原中学校第1学年1組41名を対象に行った。表1は対象学級の単元「身の回りの物質」の平成22年度の学習指導計画の一部を示している。開発した教材を用いた授業は小単元「物質の状態の変化」で行い、全体を通して第15時間目に行った。

(2) 生徒の実態

小単元「物質の状態の変化」の学習指導に先立ち、観察できない気体の粒子に対するイメージを調査した(図9)。表2に調査の結果を示す。

対象学級の過半数の生徒はウを選択していた。物質の粒子自体の体積で状態変化を説明しようとするメンタルモデルで、このモデルを選択した生徒は粒子の運動性は認識されていないといえる。次に多かったのがアのモデルであった。粒子が運動していることはイメージしているが、その方向は袋がふくらむという観察可能な現象がよりどころになっている。気体の状態を正しく表現しているエの図を選択している生徒は4人であった。

以上のことから、状態変化のしくみについてあらかじめ理解している生徒は少なく、大部分の生徒が状態変化について科学的な根拠ではなく、自分の感覚やイメージでとらえようとしていることがわかった。特に粒子を動的なものとしてとらえにくい状況があると考えられる。

表1 「身の回りの物質」学習指導計画(一部)

時	学習内容	主な目標
10	水とドライアイスの状態変化	状態変化を観察し、物質の状態は温度によって決まっていることや体積の変化を伴うことを理解する。
11	状態変化と物質の質量・体積	状態変化では物質の体積は変化するが、質量は変化しないことを見出す。
12	状態変化と粒子モデル	状態変化が物質をつくる小さな粒子の離合集散で説明できることを理解する。状態変化によるピストン運動を粒子モデルで説明する。
13	状態変化のしくみ	状態変化を説明した粒子モデルを相互評価する。液体状態の粒子の集まりにはすき間があることを理解する。
14	状態変化と熱	気体状態の粒子モデルを観察し、気体の圧力は粒子の衝突が原因であることを理解する。粒子の運動が温度に表れることを見出す。水温の違いによるインクの広がり方から粒子の運動の違いを見出す。ブラウン運動を観察し、液体の粒子が運動していることを理解する。
15	水の表面張力と粒子が引き合う力	水の表面張力が粒子が引き合う力に起因していることを理解するとともに、液体の状態を粒子モデルで表現できる。
16	状態変化と温度	融点の測定を行い、状態変化するときの温度は物質によって決まっていることを理解する。
17	状態変化と温度変化	状態変化しているときの温度が一定に保たれていることを見出すとともに、その理由を粒子の運動と引き合う力の関係で説明する。
18	蒸留	水とエタノールの蒸留を行い、温度によって得られる物質の量が異なることを見出す。
19	蒸留のしくみ	粒子モデルを使って蒸留のしくみを説明する。
20	状態変化のまとめ	状態変化に関するこれまでの学習を振り返る。

ことが難しい。固体の状態は、粒子の運動がイメージしにくい。そこで、粒子の運動と引き合う力のバランスが取れた状態である水の表面張力を教材に選択した。

表2 調査結果(回答者：40人)

選択肢	ア	イ	ウ	エ	合計
調査の視点	現象と見えない粒子の動きを単純に結び付けているか。	状態変化を粒子自体の性質の変化ととらえているか。	状態変化を粒子自体の体積の変化ととらえているか。	状態変化を粒子間の間隔の変化ととらえているか。	
回答者数(人)	12	2	22	4	40

授業の展開は、次のように構想した。はじめに水の表面張力によってコップの水がなかなかあふれないことに疑問を持たせる。そして、コップから水があふれ出さない理由を考えさせ、最後に開発した粒子模型を使って液体の性質や表面張力による現象を説明する。この展開によって、粒子のふるまいによって物質の現象が説明できることを実感させることもできると考えた。

水の表面張力の大きさを実感させるには生徒一人ひとりに体験させることが大切である。また、表面張力の原因を粒子の性質に求めるように発問を工夫し、粒子どうしが引き合う力の存在を生徒に発見させるようにした。開発した教材は、引き合う力や液体の状態における粒子どうしの関係をイメージさせるために用いた。

(4) 授業実践の詳細

はじめに小さなガラスコップと1円硬貨を使って班の中でゲームを行った。ゲームのルールは水を一杯に入れたコップの中に1円硬貨を順番に入れていき、水をあふれさせた人が負けるといものである。はじめ1円硬貨は1班に10枚ずつ渡したが、ゲームが進むにつれて1円硬貨を追加で受け取りに来る班が続出した。生徒たちは、コップに顔を近づけて盛り上がった水面のようすを観察していた。水があふれるまでに入れた1円硬貨の枚数を交流した後、コップに入った水がなぜあふ

ドライアイスは二酸化炭素が固まったものです。風船の中に小さなドライアイスを入れておくと、ドライアイスがなくなり、風船がふくらみました。もし、風船の中の二酸化炭素(○)のようすが見えるとしたら、どのように見えると思いますか。次に示す図の中から最も自分の考えに近いものを1つ選んで記号で答えてください。

図9 実態調査に用いた質問紙

(3) 授業の構想

(2)で示したとおり、対象学級の生徒は粒子を動的なものとしてとらえにくい状況がある。粒子概念を育てるためには、それを使う場の設定が重要である。気体の状態は粒子が最も活動的ではあるが、粒子の運動と引き合う力を同時に考えさせる

れ出さないのかと生徒たちに問うた。すると、多くの生徒が水面には表面張力がはたらいっているためだと答えた。表面張力という言葉は、国語の学習でアメンボに関する説明文を学習したときに学習していた。表面張力という言葉と目の前の現象が一致したところで、表面張力がはたらくためには水の粒子がどうなっていなければならないのかと生徒たちに問うた。現象を粒子モデルで考えさせるために、黒板に横から見た水面のようすと水の粒子を描き加えた(図10)。

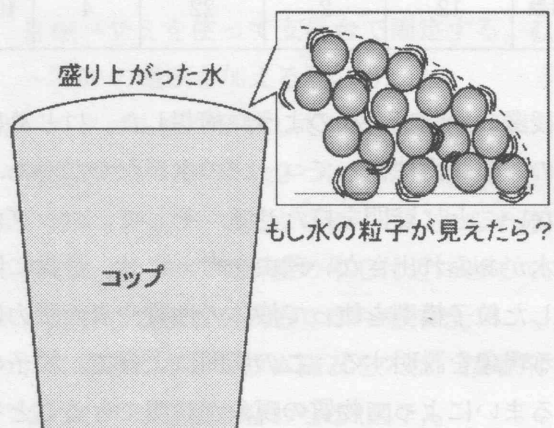


図10 黒板に描いた図

すると数人の生徒が水の粒子どうしがくっついていなければ、振動しているので粒子が転げ出すので水があふれるのではないかとつぶやき始めた。そこで、引き合う発泡スチロール球と普通のものを水のように容器から容器へ移し替えるようすを示し、どちらが水の様子に近いかを問うた。普通の発泡スチロール球は1つずつがばらばらになって落ちる(図3)のに対して開発した教材は液体のように不定形の塊となって落ちていく(図11)。そのため、全員が開発した教材の方が水の様子に近いと答えた。液体の粒子は引き合う力でくっつきながらも動き回っている様子がイメージできたようすであった。

次に、この教材を1つの班に4個用意し、水槽に浮かべさせた。するとお互いに引き合うため、すぐに4つが固まりになった。これをバラバラにする方法を自由に試みさせた。ほとんどの班がガ

ラス棒で球を運動させようとしていた。液体から気体に状態変化するためには粒子の引き合う力に勝るだけの粒子の運動が必要なことを確認し、授業を終えた。

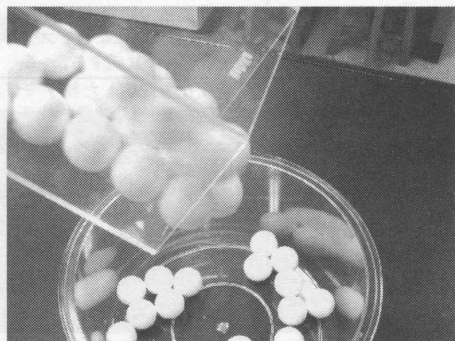


図11 開発した教材で液体を表現

4. 授業実践の成果と課題

(1) 事後調査の概要

開発した教材を用いた授業実践の効果を検証するために、質問紙を用いた事後調査を実施した。対象者は授業実践を行った中学校1年生41名である。質問の内容は図12のとおりで、6件法(よくわかった, わかった, どちらかというところ, どちらかというところ, わからなかった, 全くわからなかった)で、評価の高い順に6から1の値に変換した。中央値は3.5である。また、項目とは別に学習の感想を自由に記述させた。表3に問1と問2の集計結果を示す。

(2) 調査結果の分析

問1と問2の結果から、開発した教材を用いて説明すると、ほとんどの生徒に液体状態における粒子の結びつき方や運動のようすを理解させることができることが明らかになった。

(3) 成果と課題

従来の発泡スチロール球を用いた液体状態の説明では、表現に限界があることは先に論じた。教師の言葉がいくら巧みであっても、生徒の世界からかけ離れていけば、それによって生徒の認知構造を刺激し、納得させることはできない。粒子モ

デルや具体物である模型は教師の言葉と生徒の世界との架け橋であり、生徒の認知構造を刺激するための補助的役割を果たす。しかし、粒子モデルや模型が教師の伝えたいことからかけ離れているようなものであれば、生徒を納得させることができないばかりか、生徒に混乱を与えるだけの結果になる。今回開発した引き合う力を持った発泡スチロール球を使って液体状態を説明することで、物質の結合状態をイメージすることや、固体から液体、気体へ変化させる条件や方法を概念化することができたといえる。粒子どうしが引き合っていることを理解させておくことで、融点や沸点が一定になる理由を理解させることが容易であった。また、「粒子が運動していることについて、固体・液体・気体の動きがどんなものかよくわかったのでよかった。」や「今まで水は粒子からなんて考えなかったけど、この授業からそういう見方ができました。」などの生徒の感想からも引き合う力がある複数の粒子がまとまったときの運動と実際の液体の観察経験と結びついたと思われる。

きるという確信が生徒の中に生まれたのではないだろうか。調査結果は、粒子モデルが生徒にとって考えるための道具として受け入れられたことを示していると考えられる。粒子概念は物質の現象を理解するために活用されるべきものであり、生徒にその有用性を認識させることができたのは、教材の開発とそれを有効に活用できる授業を構想できたからであろう。

課題としては、開発した教材を活用できる場面が少ないことがあげられる。学習指導要領の中では粒子が引き合うということは身の回りの物質の現象の要因に入れられていない。粒子が引き合うことによって生じる現象は温度が下がっていくときの状態変化や再結晶である。温度が下がっていくときの状態変化については、外部からの振動によって発泡スチロール球を運動させることで、引き合う力と運動との関係を表現できると考えられる。再結晶のモデル化については最低2種類の粒子を考える必要がある。大きさの異なる2種類の発泡スチロール球を組み合わせたり、粘性の小さなスライムを溶媒に見立てたりするなどの案が考えられるが、これは今後の課題としていきたい。

問1. 引き合う球による液体のようすを表すモデル実験によって、物質が粒子でできていることがよくわかりましたか。当てはまる枠に○を1つ付けてください。

よくわかった。	わかった。	どちらかという とわかった。	どちらかという とわからなかった。	わからなかった。	全くわからなかった。

問2. 引き合う球による液体を表すモデル実験によって、物質の粒子が運動していることがよくわかりましたか。当てはまる枠に○を1つ付けてください。

よくわかった。	わかった。	どちらかという とわかった。	どちらかという とわからなかった。	わからなかった。	全くわからなかった。

問3. 物質が粒子からできていることやその粒子がくっついたり、運動したりしていることを学びました。どんな感想を持ちましたか。

図12 事後調査に用いた質問紙

授業実践では、はじめに現象を見せ、次にその現象の説明を生徒に行わせ、最後に開発した教材を用いて現象を説明した。この流れにより、粒子モデルによって観察した現象を説明することがで

表3 事後調査の問1, 問2の集計結果(単位:人)

回答	評価	問1	問2
よくわかった	6	28	31
わかった	5	10	7
どちらかという とわかった	4	1	2
どちらかという とわからなかった	3	1	0
わからなかった	2	0	0
まったくわからなかった	1	0	0
回答なし		1	1
合計		41	41
評価平均		5.6	5.7

〈引用・参考文献〉

- 1) 片平克弘:「物質概念形成に必要な粒子的な見方や考え方の育成—粒子理論の論争と子どもの粒子観から見えてくるもの—」, 理科の教育,

Vol. 57通巻675号, p. 11, 2008, 東洋館出版社.

- 2) 同上, p. 11
- 3) 文部省:「中学校学習指導要領(平成10年12月)解説—理科編—」, pp. 36 - 38, 2009, 大日本図書株式会社.
- 4) 前掲書1), p. 12
- 5) 渡辺正「粒子のイメージは化学の命」, 理科の教育, Vol. 57通巻675号, pp. 5 - 9, 2008, 東洋館出版社.
- 6) 前掲書1), p. 12
- 7) 小野瀬倫也, 藤枝央真, 森本信也「中学生の粒子概念構築支援のための教授方策に関する考察」, 理科教育学研究, Vol. 50, No. 2, pp. 21-22, 日本理科教育学会, 2009.