

初等教員養成課程学生に対する, 「粒子」のイメージ化を容易にする教育プログラムの開発

Development of the Educational Program Making It Easy to Image
“a Particle”, for Primary Teacher Training Courses.

長 澤 五十六

Isoroku NAGASAWA

(福岡教育大学教育学部・理科教育講座)

(平成25年9月30日受理)

要 約

福岡教育大学初等教員養成課程学生用授業である小専理科において、新学習指導要領で理科教育の大きな柱と示されている「粒子」の概念に関する理解を深めるための教育プログラムを開発し、実施した。学生に対し、本教育プログラム受講前と受講後で、「粒子」の具体的イメージ化がどれだけ容易になったかを確認するアンケートを実施し、アンケート結果の分析から教育プログラムの効果の検証を試みた。

1. はじめに

2008年3月に小・中学校の、そして2009年3月には高等学校の学習指導要領が大幅に改訂された。指導要領の改訂にあたり、主要目標のひとつに「小・中学校における理数系教育の充実」が謳われたのは、「理科離れ」などの問題に対して危機感を感じていることに他ならない。

しかしながら、問題となっている「理科離れ」とは、児童・生徒の問題だけではなく、教える側の「教員の理科離れ」がより重要な問題だと指摘がある^[1]。

平成20年度に行われた、「小学校理科教育実態調査」において、理科を専門としない教員では、理科の内容を好きであると肯定的に回答している割合は8~9割と高い数値を示したが、理科の指導に関しては「苦手」意識を有する教員の割合が5割以上であった^[2]。理科の教科別でみると、「粒子」概念との結びつきが強い教科である、化学を苦手と感じている教員の割合は6割に近い数値を示し、理科4教科の中では物理に次ぐ苦手意識が高い教科であった。

また調査では、理科の指導法に関する知識・技能に対して、「低い」と否定的に回答した割合が7割に近い値を示し、実験・観察に関する知識・技能に対しても、6割以上の教員が、「低い」と否定的に回答した。これらの「苦手意識」は特に教員経験年数の浅い若年層に顕著にみられる。教員経験年数の大きい教員は、日々の授業実施経験から学び、また実績を積むことにより、自信を身に付けていく。このことから考えれば、ベテラン教員に比べて、若年層教員に否定的な回答が多くみられることは仕方が無いことではある。しかしながら、教員になる前に、大学における授業にて理科

に対する苦手意識を取り除き、ある程度の自信を付けさせる教育プログラムを実施することができれば、この問題は緩和される。特に、理科を専門とする以外の初等教員を志望する大学生に対してこそ、このような教育プログラムが重要となるであろう。

今回、本学の「小専理科」における化学分野の授業にて、理科の指導力を向上させる教育プログラムを実施した。これまでの教育プログラムは、化学に関する基礎的知識を講義により取り扱うことが主であったが、本教育プログラムは内容を再編し、小学校理科の単元にて実際に行う実験に関して、細やかな注意事項を確認しながら実験内容を体験することで、「理科」に対する「苦手意識」を払拭することができるように計画した。さらに、本教育プログラムは、それら単元における実験結果から導かれる考察に、どのように「粒子モデル」を導入していくかについての提案も扱うものである。

2. 教育プログラムの開発

【プログラム開発のねらい】

新学習指導要領では、初等教育から中等教育にかけて、理科は4つの大きな柱とする概念を導入し、初等教育から中等教育まで一貫した指導を行うように明記された^[3]。4つの柱となる概念のうちのひとつである「粒子」の概念は、「化学」の内容と強く関係するものであり、その内容とは「原子」「分子」「イオン」に他ならない。これら「原子」「分子」「イオン」の内容は、中学校での学習単元にて初めてあらわれるものであり、小学校において、児童に対して「粒子」の概念をどこまで定着させるのかは難しい問題である。

文部科学省教科調査官の発言では、小学校では「粒子のメタファー体験や粒子への気づき」を学ぶことを重要視すると説明している¹⁴⁾。すなわち、小学校段階で「粒子モデル」による説明を与えることは考えていないことを示唆しているが、学習指導要領に記載されているように、小学校段階でも、児童自身が学習内容を「図や絵を用いて表現するなどして考察し、適切に説明できる」力を身に付けることが求められている。

このことは、小学生を指導する教師は、児童に『「粒子モデル」で考えることに「気付かせる』』ことができるように、理科の授業を指導する能力が必要であることを示している。開発すべき大学での授業プログラムはこのような能力を有する教員の育成に役立つべきものでなければならない。

【実施計画】

初等教員養成課程の学生は、その多くが小学校教員になることを目指している。従って、本教育プログラムを教育現場での指導に効果的なものとするためには、小学校における理科の単元を題材とした教育プログラムの構築が有効となる。

小学校理科の単元で、「粒子」概念を柱とするものは、小学校3年生で行う学習単元、「物と重さ」から始まり、小学校4年生での学習単元「空気と水の性質」「金属、水、空気と温度」、小学校5年生での学習単元「ものの溶け方」、小学校6年生での学習単元、「燃焼の仕組み」「水溶液の性質」へと続く。

本教育プログラムは、これら単元の中で行われる代表的な実験授業を題材とし、①学生自身の手で実験装置を組み上げ、実験を行うことにより、予備実験の重要性と適切な実験器具を選択するためにはどのような知識が必要かを理解すること、②学生が実験結果を考察する上で、「粒子概念」による解釈がどのように行われるかを理解すること、③これら「粒子概念」による理解を、どのように児童に定着させるべきかの指針を学生が獲得すること、を目的として、4回の授業内容を設定した。

今回、本論文では、「粒子」概念を扱う上での良いモデルを提示しやすい単元と考えられる、「金属、水、空気と温度」、「ものの溶け方」を題材とする授業プログラムの成果を報告する。

3. 教育プログラムの実践

【実施内容と実施結果】

金属、水、空気と温度：本単元の大きなテーマの一つとして、金属、水、空気を加熱、または冷却することで、それぞれ体積の膨張、及び収縮がみられることを実験を通して学習することがあげられる。すなわち、このことは「粒子の運動」の理解が主要テーマであることを意味する。その中で、水を温める、もしくは冷やすことで、水の体積がどのように変化するかを観察する実験は、水の温度と体積の関係を学習する上で必

ず行う実験である。この実験は非常に単純な実験操作で行われる実験であるが、その実験装置を組み立てるうえで、ある程度のガラス器具などに関する科学的知識が必要である。

教科書等で示されている実験装置を図1に示す。実験装置は、丸底フラスコに水を満たし、細いガラス管を通したシリコン栓でふたをすることで、水面がガラス管内にくるように調整したものである。このフラスコ部分を湯に浸けるか、氷水に浸けるかすることで、水面の上昇、及び下降が観察できる。このような単純な実験装置であるが、使用するガラス器具の選定には当然科学的意味がある。このことを学生に問いながら授業を進めていくことは有効である。

まずは、丸底フラスコを選択する意味である。丸底フラスコと平底フラスコの2つを用意し、学生に対し、実験装置を組み立てる上で、「丸底フラスコを選択する意味は何か?」「平底フラスコを選択しても問題はないのか?」と問う(図2)。この問いに対して、理科専攻の学生は「熱・圧力に対する特性」を理由に挙げて「丸底フラスコを選択すべき」と回答するものがほとんどであったが、理科専攻以外の学生では、回答に詰まるものがほとんどであった。このことは、実験装置の組み立ては、器具の特性と科学的意味を理解した上での、器具の選定が重要であることを意識させるものである。

次に学生に身につけさせるべき重要な能力は、正しく組み上げた実験装置を、児童に正しく操作させることができるように導くことができる能力である。

この実験装置を用い、丸底フラスコ部分を温水もしくは冷水に浸ける実験操作を、小学校4年生の児童に行わせるとき、正しい結果を導き出すために注意しなければならない点は何かを、学生自身が予備実験をしながら考えていくように誘導する。丸底フラスコの弱点としては、底面が球形のため、机などに静置させておくことができない点にある。では、どのように実験操作を行うのであろうか?

まず何も考えなければ、手に持ったまま操作することになる。このことは本授業において、何も注意を与えずに学生に実験操作をさせるとどの学生も必ずこのように操作したことからも明らかである。では、この操作方法で問題はないのだろうか?

実際に小学校4年生にこの単元の実験授業を行ったとき、次のような事例が観察された。児童に丸底フラスコを手で持たせて実験を行わせると、何人かの児童がシリコン栓部分を手で持っていた。この持ち方をすると、持つ手の力の入れ方が変わることにより、水面の位置が変化することになる(図3)。これらの児童は実験のまとめを発表する時に、「お湯に浸けた瞬間は一旦水面が下がったが、時間とともに水面は上昇した」との観察結果を発表していた。

小学校で実験授業を行うときには、児童の予期しな



図1



図2



図3



図4

い実験操作に基づく混乱要因をできるだけ取り除くように注意しておかなければならない。上述の観察結果は、フラスコを直接手で持って操作することに起因するものである。そのようなことが起きる可能性を排除するためには、フラスコはクランプ等で固定して実験操作を行うなどの工夫をしておかなければならない(図4)。

本授業において、学生には予備実験を行いながら常に児童の行動を予測させ、より有効な実験操作を考えさせるように指導した。このことにより、第2回目以降の授業に関しても、上述の課題を持ち実験に向き合うよう意識付けを行うことができた。そして本実験を粒子モデルで解釈した場合、学生自身が正しいモデルのイメージ図を描けるかについて検証したが、その詳細は次の項目である、「4. 教育的効果の検証」に詳細に扱うこととする。

ものの溶け方:本単元で、指導上重要な要点は、「溶ける」ということは、物質の形が見えなくなるが、決して「消えて無くなる」わけではないことを児童に理解させることである。すなわち、このことは「粒子の保存性」の理解が主要テーマであることを意味する。「水に溶ける」という現象は、物質の「構成粒子」である、分子やイオンなどが水和することによって、肉眼で見える「粒」の大きさに集合していた状態から、肉眼では見えない、ナノスケールサイズの「構成粒子」の状態に分離していく現象である。従って、この現象は「粒子の保存性」だけでなく、「粒子サイズの変化」を本質とするものでもある。これらのことから考えて、本単元は「粒子」のイメージ化を行うために有効な単元であると考えられる。

本単元で必ず行う実験として、固体を水に溶かし、溶かした溶液を蒸発皿に移して、アルコールランプなどにより加熱することで溶かす前の固体を取り出すというものがある。本授業では、学生にこの実験を体験させ、実験操作上注意すべき点や、実験の意味、そして粒子モデルによる解釈を扱った。

小学校でこの実験を扱うとき、溶質として選択するのは、食塩やホウ酸などが多い。本授業ではまず食塩を溶質として選択し、試験管内で食塩を溶かし観察



図5 授業の様子

するという実験を行った。小学校でこの実験を行ったときに、児童は無色の食塩が水に溶けていく様子を、シュリーレン現象を確認することで実感することが多い。本学学生もシュリーレン現象を確認することで、食塩が水に溶けていくことを実感していた。しかしながら、学生に対して、視覚的に「溶ける」という現象を十分に実感できたかと聞くと、一様にシュリーレン現象では「実感として物足りない」という感想を答えた。

「溶ける」という現象を視覚的に捉えるためには、有色の溶質が水に溶けていく様子を観察する方が有利である。教科書等では、溶質として三温糖やコーヒースーガーなどの有色固体を選択した実験を紹介している⁶⁾。これらの物質は小学生にとっても生活体験と関わる身近なものであり、教材として有効なものであると考えられる。しかしながら、砂糖を本教材に用いることは、後の「蒸発皿を使った実験」のことを考えると、適切な教材であるとは言えない。つまり「焦げる」のである。このような事項は、授業前の予備実験を行うことで気づくことができるものであるが、教師としては、なぜそのようなになるかの解釈、あるいは事前に論理的に予測できる能力を身につけることが望ましい。それは、砂糖の分子構造の理解があって成り立つものである。

では、一連の実験に適応できる教材として適当な有色の固体はどのようなものがあるだろうか？

筆者は小学校5年生に向けて、硫酸銅(II)五水和物、

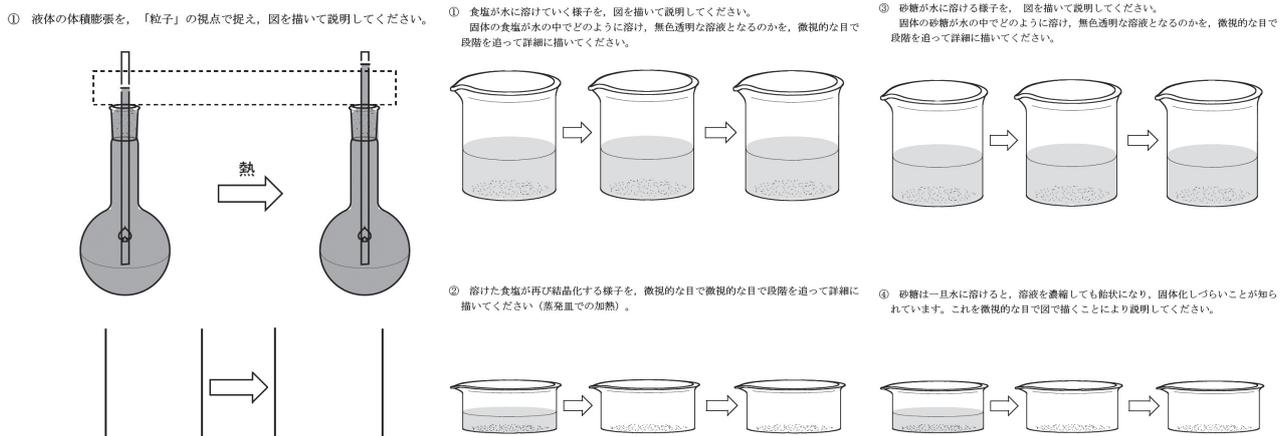


図6 アンケートの内容

無水塩化銅(II)を溶質に用いた、「ものの溶け方」の発展的教育プログラムを数多くの小学校で実施し、これらの有色化合物が教材として有効であることを確かめてきた。本授業「小専理科」においても、この化合物を教材に用いた授業例を、実験を通して学習した。

最初に、比較的粒径の大きな硫酸銅(II)五水和物の結晶を用い、水を加えて溶けていく様子を観察させた。硫酸銅(II)五水和物を水に溶かすと、銅(II)イオンは水溶液中でアコ錯体を形成し、青色を与える。学生の意見として、「水が青色に着色することで溶けるという現象がわかりやすい」「溶けた溶質が水溶液中に存在することを、児童に強く意識させることができると思う」との肯定的なものが得られた。ただし、比較的粒径の大きな硫酸銅(II)五水和物の結晶を用いたことで、「溶かし切るには極めて時間がかかった」という感想が得られ、このことは、小学校での授業実験を行う上での注意点であることを認識していた。

「では、もっと手早く溶かすことができる方法はあるものがあるか?」と学生に問うと、「加熱する」「水の量を増やす」等の回答が得られた。しかしながら、「すり潰して粉末状にする」という回答を示した学生は、いなかった。

粒径を小さくするだけで、水に溶ける時間が短縮されることは、小学生であっても十分に実生活で体験しているものである。そして実際に、小学校でこの実験を行ったときに、硫酸銅(II)五水和物をすり潰し、粉状にしたものが素早く溶ける様子を観察した小学4年生の児童から、「溶けるということは、粒がどんどん小さくなっていくことではないか」という意見が出された。このことは、本実験が児童自らに粒子モデルによる考え方を気付かせるうえで、非常に有用なものであることを示唆している。学生にはこの事実を伝えるとともに、実際に粉状にすり潰した硫酸銅(II)五水和物を水に溶かす実験を行わせ、溶ける時間に重大な差異があることを実感させた。

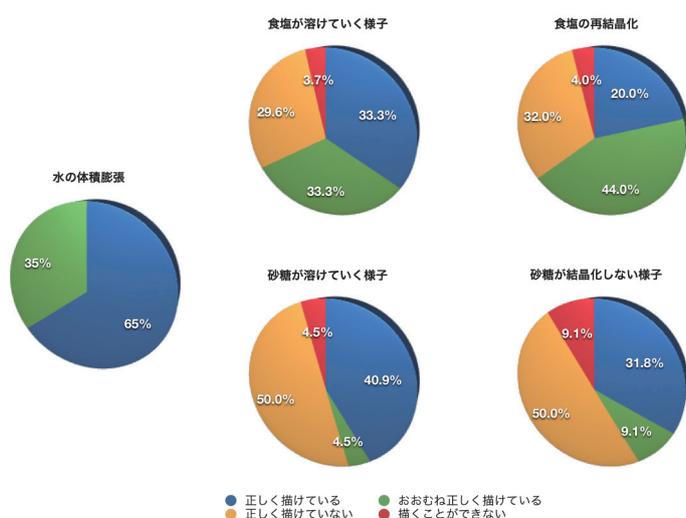
4. 教育的効果の検証

粒子概念の理解：一連の実験授業を実施した後に、受講学生に対して、実験により観察した現象の「粒子モデル」による解釈を描画させ、「粒子」に対するイメージ化がどこまで正確に行われているのかを確認した。

実施した描画アンケートの内容を図6に示す。このアンケート内容は、小学校4年生の学習単元、「金属、水、空気と温度」の学習で行った、「水の体積膨張の実験」に関する質問と、小学校5年生で学習する単元である、「ものの溶け方」の「食塩を水に溶かす実験」「食塩を溶かした水溶液を蒸発皿で加熱する実験」「砂糖を溶かす実験」「砂糖を溶かした水溶液を蒸発皿で加熱する実験」に関する質問を設定した。どの設問も、実験内容を「粒子モデル」で表せ、という内容である。この回答により、学生自身が実験内容の解釈を「粒子モデル」で適切にイメージ化できているのかを確認した。

グラフ1にアンケートの集計結果を示す。回答の内容を、A正しく描けている、Bおおむね正しく描けている、C正しく描けていない、D描くことができない、の4種類に分類し、それぞれの割合を確認した。

まず最初の設問である、「水の体積膨張の実験」に関する描画である。この設問に対しては、温度上昇とともに、水分子の運動エネルギーが上昇し、粒子間距離が大きくなることを描けるかどうかの評価点となる。従って、図7に示したように、分子運動の増加を想起させる図が描けている場合は評価Aを、ただ単純に分子間の距離が増大する図を描いた場合は評価Bを与えた。この設問に関しては、全員が「粒子モデル」でAもしくはBの、おおむね正しいイメージ図を描けていた(有効回答数20)。これは、大学生が有する化学の基礎知識の範囲内であることを示している。教える側の教員が、「粒子」に関する正しいイメージを持っておくことは、無論重要である。しかしながら、それだけではなく、小学校の授業で、児童が自由に思



グラフ1 アンケートの集計結果

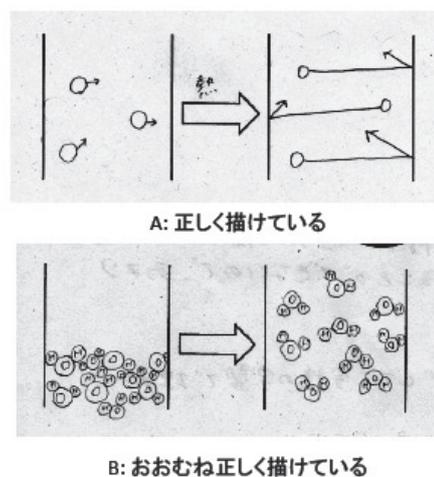


図7 回答に対する評価

い描く「粒子モデル」を正確に評価し、否定すべき「粒子モデル」が得られたときには、どのような対応をするのか、その能力を身に付けておかなければならない。

本時には、学生に対し、「もしこの時に、児童が粒子自体が大きくなっているようなモデル図を示したら、貴方はどう対応しますか」といった質問を繰り返すことにより、様々な状況に対応するシミュレーションを行う習慣を付けさせることを試みた。このようなシミュレーションを繰り返すことで、より教育現場での適応力を養えると考えた。

次に、食塩が水に溶けるときの様子に関して、A, Bの評価を得た、正しいイメージを認識していると判断できたものは、約66.6%であった。一方、同じ内容の質問でも、砂糖が水に溶けるときの様子を描画させると、正しいイメージを描けたのはほぼ45.5%であった。この差異は、食塩が水に溶けるときの様子を正しく描くためには、食塩の正体がイオン性化合物のNaClであると理解していること、並びに、NaClが水とナトリウムイオン、水と塩化物イオンの相互作用の末に、水和して溶けていく様子を描くことが必要である。このことは十分な知識が必要ではあるが、イオン結合性結晶の水への溶解は、モデルとしては考えやすいものである。一方、砂糖を溶かすときの様子は、ショ糖分子間の相互作用を打ち破り、分子性化合物であるショ糖が水和する様子を描画する必要がある。これはショ糖分子の分子構造的特徴の知識が必要であり、その方がより高度で理解しにくいモデルと考えられるであろう。

一方、一旦溶かした水溶液から、溶かす前の溶質を取り出す実験に関して、同様に「粒子モデル」での描画を要求したところ、食塩の場合、A, B合わせて正しいイメージを認識していると判断できたものは、約64%であり、砂糖の場合は、正しいイメージを描けた

のはほぼ41%であった。これは、砂糖の場合はその構造的な特徴から、水分子との相互作用が極めて強い特性を有するため、蒸発皿を用いた加熱実験では熱エネルギーにより炭化してしまう。このプロセスを説明できるだけの化学的知識は身につけていない学生が多いということである。

このような弱点を克服するためには、分子構造の3次元モデルを使った、イメージ化が有効となる。4回目の授業では、NaClの面心立方構造、ショ糖の分子構造、さらには、硫酸銅(II)5水和物や塩化銅(II)2水和物の単結晶X線構造解析結果を示し、立体構造を確認しながら、「溶ける」という現象に関する講義を行った。学生からは、「コンピュータグラフィクスを使用した3次元の立体構造を確認することで、実際の「粒子モデル」が頭の中にはっきりと入ってきた」との評価を得た。

このように化学種の立体構造を重要視した講義を行うことは、「粒子」の正体である、原子・分子・イオンの実際をイメージ化しやすくする手段であり、このような授業手法は、本教育プログラムの目的に対し、非常に有効な手段であると判断できる。

5. まとめ

小学校理科の単元で行われる実験を題材に選択し、受講学生に実験を体験させることで、特に理科専攻生以外の学生にとっては、小学校での授業に対する不安感や抵抗感を和らげる試みを行った。実験プログラムとともに、実際に小学校で行った実践授業を題材に、児童の反応などを細かく紹介することで、学生は実際に教壇に立ったときの、児童の反応をシミュレートできた様子であった。

本授業を行った平成24年度までは、初等教育教員養成課程学生向けの選択授業であったが、平成25年

度入学生からは、初等教育教員養成課程学生の必修授業となる。本授業が福岡教育大学卒業小学校教員の、理科に対する指導力向上に大きな役割を果たすことを期待する。

6. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24650532（平成 24 年度～26 年度）、文部科学省特別経費（プロジェクト分）「「粒子」の視点で観る物質観の育成を目的とした理科教育推進」（平成 22 年度～24 年度）の助成を受け、実施したものである。ここに感謝の意を表す。

7. 参考・引用文献

- [1] 「小学校新規採用教員の理科指導に関する 実態」入江薫, 理科教育学研究, 2008, 48(3), 13-21.
- [2] 「平成 20 年度 小学校理科教育実態調査及び中学校理科教師実態調査に関する報告書（改訂版）」（独）科学技術振興機構 理科教育支援センター, 2009 年 4 月.
- [3] 「小学校学習指導要領解説 理科編」文部科学省, 大日本図書, 2008 年.
- [4] 「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 -」村上祐, 岩手大学教育学部研究年報, 2010, 69, 73-87.
- [5] 例えば「たのしい理科 5 年 - 2」大日本図書, 2011 年.