

小学校理科における学び文化の創造 (7)

—物質理解のために周期表を如何に導入するか—

柴 一実 山崎 敬人 岸 俊之 秋山 哲
西井 章司 土井 徹

はじめに

筆者らは数年来、小学校理科授業において、「もの」や「ひと」との関わりを通して、子どもがいかに自然科学に関する学び文化を創造するのか、というテーマを掲げて、研究を行って来ている。昨年度は学力向上を目指した理科カリキュラムを構築するための基礎的研究として、小学校第5学年の児童を対象に、子どもの物質理解の実態とそれを促すための手立てについて研究を行った。昨年度、物質理解を促進するために用いた手立ては、教材としての周期表の導入であった。ここで周期表を導入した理由は、次の通りであった。アメリカ・カリフォルニア州では、児童生徒の学力向上を目指して、科学カリキュラムの改訂が行われ、最新版である2003年版科学カリキュラムにおいて、第3学年で原子及び元素の周期表、第5学年で原子、分子及び周期表が学習されることになっている。しかし、果たして子どもはこれらの内容を理解することが可能なのか。そこで、昨年度は教材としての周期表の適否を検証するために、広島大学附属東雲小学校の第5学年児童38名を対象として、研究授業を実施したのである。その結果は、次の通りであった。

- (1) 第5学年の児童は、教科書に取り上げられている以上に、多くの元素に関する知識を持っている。特に、水素(H)、炭素(C)、窒素(N)、酸素(O)、鉄(Fe)、銅(Cu)、銀(Ag)、金(Au)、水銀(Hg)の9種類の元素については、38名の児童全員が聞いたことがあると答えていた。
- (2) 児童はギリシャ神話の神の名前や地名、科学者の名前などと関連させて、日常生活では聞き慣れない元素、例えばベリリウム(Be)、ガリウム(Ga)、ロジウム(Rh)、セシウム(Cs)、バリウム(Ba)、セリウム(Ce)、ガドリニウム(Gd)、トリウム(Th)、プルトニウム(Pu)、アメリシウム(Am)、

- キュリウム(Cm)、ノーベリウム(No)、レントゲニウム(Rg)などを知っていると答えていた。
- (3) 児童は教師から提示された周期表を見て、次のようなことに気づいていた。
 - ①～ウム(という名称の元素)が多いこと。
 - ②名前と元素記号のローマ字が一致していること。
 - ③スズ(Sn)と鉛(すず)が同じ名前であること。
 - ④半減期の長い元素と短い元素があること。
 - ⑤カドミウム(Cd)のように、人間の害になる元素があること。
 - ⑥周期表の元素の下に元素の番号があり、番号順に並んでいること。
 - ⑦原子量を書いているが、コバルト(Co)とニッケル(Ni)の所では原子量が逆になっていること。
 - (4) 学習活動として、周期表を用いたゲームを導入したところ、学習前後で子どもの元素名の種類や数が増加することが判明し、周期表を通して物質理解が深まったことが分かった。

しかし昨年度の研究を通して、周期表を用いた学習の隘路も明らかになった。そこで、本研究は昨年度に引き続き、日本の第5学年の児童を対象として、原子及び分子の概念や周期表を導入した物質に関する理科授業を実施し、子どもの物質に関する理解度を調査し、物質理解における原子及び分子概念導入の可能性、物質学習における教材としての周期表の適否について検討することを目的とした。

なお、本研究の実践を行った授業者は、広島大学附属小学校の岸俊之教諭であった。実施日は2006(平成18)年12月8日であり、実施学年は2部5年(男子18名、女子18名)であった。

2 授業の実際

(1)授業の構想

本校理科部では、2003年度から「科学的思考力を育成する理科の授業づくり」という研究主題を掲げ、科学的思考力を育成することでこの「学力」を向上させることを目指して研究を進めてきた。これからの学力は、この科学的思考力を柱とした質の高い力であると考えている。科学的思考とは、問題を解決する思考とその行動を両者合わせたものである。思考したとしても行動に移さなければ科学的思考力をつけたことにはならない。科学的思考力を問題解決という言葉で言い換えると、問題解決的思考は反省であり理論であり客観的に判断すること、問題解決の行動とは実践であり情熱を持って行動することである。理科の知識があったとしてもその知識を有効に使えない、あるいは思考したとしても行動に移せないというのは、まさしく現代の子どもたちが抱えている課題である。その点で、理科学習における責任は重い。理科で取り扱う問題は比較的容易にかつ客観的に解決することができるため、この科学的思考力を育成することは理科の責任であり、理科でしか育成できない理科固有の学力と考える。

本校ではこれまでに、科学的思考力と科学的な概念の関係について、授業レベルで学力を調べてきた。その結果、知識があっても科学的思考力が育っていないと科学的な概念の獲得は難しいこと、そして知識が曖昧なまま思考したとしても科学的な概念は獲得されないということが明らかになった。知識と思考を融合させることで科学的思考というプロセスが生じ、即ちそこに科学的思考力が育成されるチャンスが生まれる。現在子どもたちの周りには情報があふれており、理科の知識が豊富な子どもも多い。しかし、科学的思考のプロセスを踏んでいない知識はすぐに剥落するだけでなく、まちがった概念（誤概念）を生み出す可能性も高い。

例えば、「水蒸気が水の気体である」という知識をもっている児童でも、湯気を見るとそれを水蒸気であると主張すること、あるいは逆に、「水蒸気は見えないから水ではなくなった」という概念を持っている子どもがいることがそれにあたる。水蒸気が水であることを実験や観察によって確かめ、思考をくり返すことで、正しい概念は形成されるのである。

知識を確かなものとするためにも、この科学的思考力の育成は重要である。また、意図的に思考する機会を作り出すこと以外に、この「思考する能力」を育てることはできないため、日々の授業における科学的思考力を育成する手だてが必要となってくる。

科学的思考力を育成する手だてとしては、次の3つについて実践してきている。

- ① 既習の学習から予想したり議論したりすることができる問題解決の場を多く設定する。
- ② 経験やこれまでに学習したことを用い、実験から得られた事実を自分の言葉で説明したりイメージ化したりすることで振り返らせる。
- ③ 既習の学習や実験から得られた知識による思考を評価する。

まず、①については意図的に既習の学習から話し合い活動を行うことのできる課題設定が必要であることを表している。直感的な予想で議論し、思いこみによる実験が多く見られる実験では、議論が活発であっても実験が意図的であっても結局は知識の剥落が生じることが多い。理科は単元学習であるが、系統性を意識した課題づくりが重要となる。次に③についてであるが、既習の学習から得られた思考を評価することで、子どもがある一面だけから現象を見るだけでなく、多様な見方や考え方をすることができるようになる。最後に②について。実験から得られた事実を説明することができる子どもは、明らかに課題を念頭に置きながら思考することができる。2003年実施のPISA調査の科学的リテラシー分野において、理由を問われたり現象の背景にある原理を説明したりする課題で無回答が多いのは、単に「読解力」不足とは言いきれず、理科においても科学的な考察を加えながら、他人に説得力ある説明ができるようにすることが求められていると言える。その点でイメージ化は、科学的思考力を育成することに大きく貢献できると考えた。

ある自然現象をイメージ化するにあたり、小学生の子どもが直面するのが「目に見えないもの」をいかに表現するかである。粒子という考え方は様々な単元に導入しているものの、それらは子どもにとって確かめようのない不確定なものである。逆に言えば、粒子として考えなくてもよいという自由発想の余地も残されている。原子や分子の考え方が小学生に難しいとする声もあるが、むしろ、科学的な現象を、統一した見方で思考し、議論する方が、より具体的、かつ科学的に自然現象を理解することができるのではないかと考えた。以上のことから、第5学年の「ものの溶け方」で、溶けたものがどのような状態になっているのかを考えさせることを出発点とした原子・分子、そして周期表の授業を試みることにした。

(2)授業の実際

①単元について

本単元はまず、身近な物質が小さな粒でできていることを予想させ、目に見えない粒子の考え方をより具体的なものとして捉えることができるようにすることを目標としている。第5学年の児童がこれまでに学習した物質の状態や変化を扱った単元としては、「空気と水」、「水のすがたとゆくえ」、「もののあたたまり方」、「ものの溶け方」がある。また、磁石や電流を扱った単元では、金属の特性や鉄の磁化についても学習している。このような学習において共通しているのが、状態や物質が目に見えにくいことである。中学年では、物質の三態、とりわけ水の気体である水蒸気について児童の理解度が低い。このような実態を見ると、目に見えない物質をイメージ化したり、原子・分子のような目に見える形で理解させようとしたりすることは意義があると考えられる。特に、今後の学習内容には燃焼や水溶液、光合成や動物の呼吸といった、物質や状態の変化を扱う単元が多く、物質を「粒子」として捉えることは重要である。また、物質を仲間分けすることは物質の特徴や性質を知る上で有効であるため、周期表も取り入れた。そこでまず、身の回りのものは何でできているか、小さくしていくと何になるかを考えさせ、原子や分子という物質のもとになるものが存在することを知る活動を取り入れた。「ものの溶け方」の学習では、食塩が水に溶けたときに見えなくなるのは、粒子がとても小さいからだという結論に達しており、ほとんどの子どもは粒子の存在を意識している。とこ

ろが、まだ、その粒子は顕微鏡で見えるかもしれないと考える児童がいたり、溶媒である水は、粒子であるという考え方をしていない児童がいたりする場合も多い。そこで、食塩が水に溶けたときの様子をイメージ図に描かせることにより、児童がどのような粒子概念を持っているかを把握すると同時に、意見交換をしながら、強化・修正することで考えを深めたい。実際には、食塩水の中で食塩はイオンという形で存在すると考えられているが、現段階ではイオンの考え方は扱わないこととする。

後半は、身の回りの物質を原子や分子に当てはめて考える活動を取り入れた。ここで問題となるのは、単体であるか化合物かである。周期表にある金属や酸素、炭素などは周期表にもあるが、空気や二酸化炭素、食塩や砂糖は周期表にないことから、化合物はまだ小さくすることができることに気づかせたい。また、単体と化合物を区別することで、あらゆる物質が、みな同じようにそれ以上小さくできないものから構成されていることを意識させ、今後の理科の学習につなげたい。

②指導目標

- 物質はすべて小さな物質、原子からできていることがわかる。
- 身の回りにある物質を、一定の決まりによって分類することができる。
- 周期表の見方を知り、身の回りの物質を周期表の元素で考えることができる。

③学習過程

学 習 活 動	指 導 の 意 図 と 手 だ て	評 価 の 観 点
1 食塩が水に溶けたとき、どのようになっているかを予想し、イメージ図を描く。	○ 食塩が水に溶ける様子を想起させ、見えなくなった状態の食塩のイメージ図を描くことで子どもの物質に対する概念を引き出す。	○ 食塩のイメージを持つことができたか。
2 イメージ図を互いに発表し、意見交換する。	○ 粒子として捉えることで物質の状態変化などこれまでの現象が説明できることを伝える。	○ 互いの意見を聞き、自分の意見を強化・修正できたか。
3 物質が元素からできていること、及び元素の構造を知る。	○ 食塩の化学名から、元素に興味を持たせ、元素を身近なものとして捉えさせる。	○ 元素の構造について理解できたか。
4 身の回りにある物質がどのような元素からできているのかを考える。	○ 身の回りにある物質を子どもたちに見せ、いろいろな分類方法を考えさせた後、それが化合物なのか単体なのかで分類させる。	○ 進んで身の回りにあるものものと元素を考えることができたか。
5 周期表を見て、知っている物質を発表する。	○ 周期表の中に空気や二酸化炭素、砂糖等、化合物の名前がないことに気づかせ、身の回りの物質は化合物が多いことに気づくようにする。	○ 周期表にある物質と、知っている物質との関連性がわかったか。
6 周期表の規則性を発見する。	○ 元素番号や質量、並び方などに注目させ、元素について詳しく知ろうとする意欲を持たせる。	○ 周期表の規則性について進んで発見しようとしていたか。

④授業記録（第1時）

まず、水と氷を見せ、既習の学習である物質の三態を想起させた。そして、水の固体、液体、気体はどのようなになっているのかをイメージ図に描かせ、子どもの実態を把握した。下は自分が描いたイメージを説明する場面である。

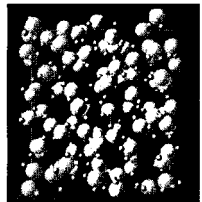
- T : 先生が映すので、説明をしてもらえますか。
C : 氷は、分子と分子で、こうやってくっついてもう、絶対に離れないって感じてくっついている。
T : じゃ、水は？
C : 水は、手をつないだ感じで、まだ完全にはくっついてないけど、完全にも離れていない中間地点で、つながってはいるけど離れもしなくて、完璧につながらないという感じ。
T : あの、なんかさっき、慣れない言葉で言ったけど、一人一人は何て言ったけ。
C : 一人ひとり、分子。
T : 水蒸気はどうか。
C : 水蒸気は、完全に好き勝手に飛び回っている。
T : 自分自分でかってに行動しているんだね。
T : 氷はどう？
C : まず、原子からできているんだけど、最初氷は固体の中に酸素が入っている。
T : 酸素が入っているの。
C : 水も同じような感じ。水蒸気は逆で色んなところに散らばって、その中に・・・。
T : あつ、なるほどね。水の中に酸素が入っているものとは逆で、空気の中に水が混じっているのかな、ということですね。おもしろいですね。
C : 氷はその中に酸素分子と二酸化炭素分子があつて、水は、離れていて・・・。
T : 原って書いてるのは何ですか。
C : げん
T : あつ、げん。原子のげんですか。
C : 水は、粒がコップみたいなのの中に丸がいっぱい入ってて、氷は一個ずつも収縮というか、冷やされて小さくなって、全体も固められて・・・。
T : なるほど・・・
C : 水蒸気は、いっぱいビーカーに入った丸は熱せられてどンドン一粒ずつ上に行ったもの。
T : この水素って書いてるのは？これが水の元になってる？
C : はい。
T : なるほどね。水の素と書くからね。水素かもしれない。
C : これは、分子が全部つながれていて、力をいれ

ないと割れない。だから、分かれずにつながっているんだけど、水は少ししかつながっていないから普通に分かれる。力をいれなくても分かれる。そして、水蒸気は完全に切れているから、最初から空気にある。

- T : なるほど。おもしろいですね。
C : 空気がちょうどいい風船と考えて、氷は引き離し役の熱がなくなって、水が互いに引っ付こうとする空気の抜けた風船。水蒸気は、今度は熱がありすぎて、引き離されて、イメージ図のところは、空気を入れすぎて破裂した風船。
T : わかりやすい。
C : 氷は引っ付いてて、すごいくっついてて、水は普通の感じ。
T : でもくっついてるのは、くっついてるんだ。
C : 水蒸気は離れている。
T : ああ、泣いてるね。これは、おもしろいですね。この氷と水の違いはわかりますか。くっつき方がずいぶん違うね。この共通している点をみんなに考えて欲しいんですが。今、出してくれて人の中で共通点は何ですか？
C : 氷は固まっていて、水は普通で、水蒸気はばらばら。
T : なるほどね。氷、水、水蒸気。どうも、固まっているというイメージを持つてる人がたくさんいました。他に。こんな共通点あったよというの、ありませんか。
C : 氷が水蒸気になるにつれて、何か不純物が入っている。
T : 不純物が入ってきとったね。違うものが入っているイメージがありましたね、確かに。
C : みんな、小さな粒で表していた。
T : 人によって違ってましたが、混ざっている。こういうふうなイメージをみんな持っているときよくわかったんですが、実はですね、ある科学者が、イメージ図をつくりました。しかも動いています。

子どもたちがイメージ図を発表して議論した後、水分子のモデルを動画で表した映像を見せた。この動画は高知大学の赤松研究室が作成したものである。

(<http://www.hatena.ne.jp/comp-any/>) 氷と水は似たような動きをするが、水は自由に動き、氷は振動程度である。また、水蒸気は分子が広がっていく様子がよくわかる。この動画を見せることで、物質の三態の様子を具体的にイメージすることが



できるようになったと思われる。

水の三態を学習した後で、食塩にも三態があるかという課題を出した。

- T : 食塩も水と同じように液体がありますか。
C : それは食塩だけですか。
T : はい、そうです。自分の考えを書いてください。もちろん、水なんかにはいれません。水に溶かすことを考えるのではありません。
C : 気体のほうは予想なんですけど、液体は友達が言ってたんですけど、温度をすごく超高熱で熱すると液体になる。
T : 超高熱ね。液体になるかもしれない。なるほど。
C : 気体のほうは、ちょっとよくわからない。
C : こうやって擦って見たんだけど、そしたら最初の時と感じる触感が違うから、ちょっとだけ水になって、じゅりじゅりしてきたから。
T : 液体になったかもしれないと考えたね。
C : 食塩水から食塩だけを出す方法を授業で習ったんですけど、そのときに食塩水を熱して、蒸発させてから食塩だけを出すように習ったから、食塩を熱しても水や水蒸気にはならない。
T : なるほどね。
C : 食塩を水に溶かして、水を蒸発させても食塩は残るから、食塩は水にならない。溶かしたら液体になるけど、蒸発させたらまた元に戻る。
C : 少量の水を加えたら、塩だつて水溶液のように溶けるけど、加えない状態だったら、溶けないと思います。
C : これは予想なんですけど、固体の塩が水に溶けるときは、さっきのウヨウヨが塩の結晶にぶつかって、塩の結晶が崩れて液体になるわけで、塩自体が液体になるわけではないから、それは違うと思う。
T : なるほどね。やってみました。
C : えっ。
T : 今からそのビデオを見せます。昨日やりました。
T : 液体にしようと思ったらどうしたらいいの？
C : 熱する。
T : 氷も熱したら水になるんだから、液体にしようということで先生も熱しました。

ここで、前もって食塩を熱した様子をビデオで見た。食塩が液体になると考えていた子どもが少なかったためか、驚いた様子であった。水の三態は理解できていても、他の物質については、水と同じように三態がないと考えている子どもが多いということがわかった。

⑤授業記録（第2時）

次の時間では、食塩の液体があるということを学習した後、食塩はどのような分子構造をしているかを考えさせた。

- T : 食塩の正式名称知っている人いますか？
C : 炭酸カルシウム。
C : 塩化ナトリウム
T : そう。みんなのおうちにある食塩の袋に書いてあります。これと同じように分子で考えると、実はこんな形をしています。
C : わあ、似とる。
T : これには名前がついているんです。まず、水の真ん中にあるものは。
C : 水素！酸素！
T : みんな、よう知つとるね。これを酸素といいますが、そして、同じ2つついているものを水の分子だからね、水の素があるはずなので、水素といいますが、じゃあ、食塩。さっき本名がでました。1つが？
C : ナトリウム
C : 塩素？塩化？
T : はい。塩素とナトリウムでできている。ここで1つ1つのかたまりは分子なんですけど、この1つ1つを原子といいます。1つ1つは原子なんですけど、全部をまとめると。
C : 元素
T : はい。原子の種類のことを元素という言い方をするときがあります。昔の人は元はすべて、水や空気や火や土、この4つから成っているんじゃないかと考えたそうです。それから、小さくしていくとどうも粒みたいなものがあるんじゃないかな。それから、原子というものがあるんじゃないかというのもわかってきたんですが、この大きさ、とっても小さくて絶対見えません。

原子はどのような構造をしているかという話の中で、原子の重さ、原子核と原子の大きさの関係について触れた。原子核がビー玉とすると原子全体は広島市市民球場ぐらいであることを伝えると、子どもたちは一様に驚きの声を上げた。次に、知っている元素を書くワークシートで、子どもたちがどの程度の元素を知っているかを調べた。ここでは、単体と化合物を混同している点にも気づかせたいという目的があった。

- T : みんながどれくらい知っているのか発表してもらいましょう。

C : 金, 銀, 銅, マンガン, 窒素。
 T : なんか, メダルみたいやね。
 C : アルゴンとか, 窒素とか。
 C : 亜鉛, 酸素, ポロニウム, プルトニウム, ウラン, ヘリウム, カリウム, リン。
 C : 酵素, プルトニウム。
 C : 炭素, 二酸化炭素, 一酸化炭素, でもう一個あるか分からないけど, 三酸化炭素。
 C : 鉄, 二酸化炭素, 酸素, アルミニウム, 炭素
 C : 一酸化水素, 二酸化水素
 T : 分子と原子がぐちゃぐちゃになっている人がいたので, ちょっとおさらい。前を見てください。水の原子はありますか。
 C : ない
 T : ないよね。水は小さな粒の塊だけでも, これは分子だから, これをバラバラにしたときにこういうものが出てきてこれを原子というんだっただね。じゃあ, 今身の回りにあるもの, みんなが言ったものはこっちなんでしょうか。それともこの1粒1粒をみんなは例に挙げたのだろうか。

子どもたちが知っている物質には単体と化合物があることがわかる。そこで, 各班の机にいくつかの物質を置き, 単体と化合物に分類する活動を行った。また, 単体と化合物を理解させるために, 雑誌の写真を拡大鏡でテレビに映し, 赤く見えていてもインクの色(ドット)が何色も集まっていた赤い色を作っていることを示した。赤い色が物質であるとする, 単色のドットが原子, 重なって作られたひとかたまりの色が分子ということになる。そして, 途中で周期表を各班に配り, 単体の原子からできているものがどれなのかを確認させ, 実際に物質を周期表の元素の場所に置かせた。

T : 赤に見えていても, 1つじゃないよというのは, これと似ているよね。つまり, みんなの目の前にあるのは, 1つだけでできているのか, いやそうじゃないね。やっぱり小さく見てみたときに, いろんなものが混ざっているんじゃないか, というふうに考えていきます。実際にこの1つ1つの元素を調べて表にした人がいます。そこで今から本物の元素を表にしたものを見てもらおう。アルコールっていう粒があったら, あっ! アルコールなんだって分かります。その答えがここに載っているはずですから, 広げてみてください。

T : くぎは何でできているの?

C : 鉄
 T : 鉄はどこかな?
 C : 8族
 C : Fe
 T : ということは, これは1つの元素でできているんだね。
 C : 亜鉛
 T : 亜鉛はどこにありますか。
 C : 12族4周期。
 C : アルミ
 T : アルミニウムは。
 C : 13族
 T : 10円玉は何でできている?
 C : 12族4周期
 C : 銅
 T : じゃあ他。木がある。木を英語で言うの?
 C : ウッド, ツリー。
 T : ウッドあるかもしれん。ツリーあるかもしれん。はい。砂糖は? シュガーないですか?
 C : ない
 T : 発泡スチレンは? スチレンでなんかありそうだね。
 C : ない。
 T : アルコールは?
 C : ない
 T : プラスチック
 C : ない
 T : ということで, これで分かることが分かったね。つまり, 身の回りのもの, 2つに分かれます。たった1つのものでできているので単体。これらのものにはいろんなものが混じりあっているのが化合物と呼びます。単体の特徴ってなんだろう。どんなものが多い?
 C : えーと, 何か, 電気が通る。
 T : 電気が通るものって何だった?
 C : 鉄とか, 金属。
 T : 金属多いよね。金, 銀, 銅ありますか? 他にみんな知っている金属は?

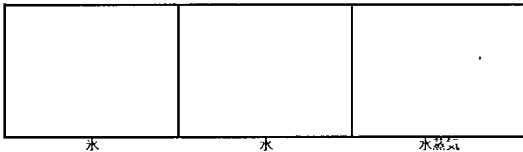
このように, 子どもたちは金属には単体が多いこと, そして, 身の回りの物質には, 化合物が多いことを知った。また, いろいろな気付きをい発表させる中で, アインシュタインウム等のように, 人物の名前に由来している元素を見ついたり, 気体は集まっていることや下の方には名前がついていない物質もあることに興味を持った子どももいた。

⑥授業を終えて

今回の授業で使用したワークシートでは、①水の三態のイメージ図、②食塩にも液体の状態があるかという課題についての自分の考え、③知っている元素名、④配られた物質の中で単体はどれか、⑤周期表を見て気づいたこと、⑥周期表を見て驚いたこと、疑問に思ったこと、もっと知りたいこと、について児童に記述を求めた。

理科プリント1 名前()

1. 水、水、水蒸気のイメージ図をかきましょう。



2. 課題・・・

3. 知っている()

理科プリント2 名前()

1. 1つ目の元素からできているものはどれですか。

Blank box for answer.

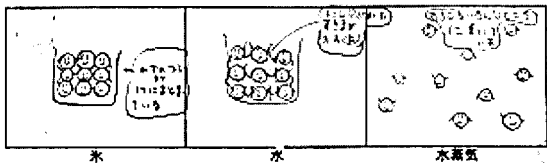
2. 表を見て気づいたことを書きましょう。

Blank box for answer.

3. 表を見て、疑問に思ったこと、おどろいたこと、まだ知りたいことを書きましょう。

疑問に思ったこと	おどろいたこと	まだ知りたいこと

①のイメージ図でもっとも多かったのが、下ののように、ほとんどの子どもはこのように粒子として水を捉えていた。4年生の「空気や水のかさと温度」で粒子として物質を見ることを学習しているためであろう。



②の課題については35名中、「ない」と答えた子どもは24名で、その理由としては、「水を蒸発させても食塩が残るから」と答えている。子どもは数百度という温度を想定していないということもあるが、固体が液体になる経験をあまりしていないことも考えられる。また、「ある」と答えた子ども11名の中には、「食塩は水

に溶けると液体になるから」と、物質状態変化ではなく、溶解として捉えている子どもも2名いた。

③については、窒素(23名)炭素(19名)金(16名)銅(15名)銀(14名)アルゴン(9名)アルミニウム(6名)、ヨウ素、ウラン、リチウム、水素、酸素、フッ素(3名)と、比較的物質名を知っている子どももあり、最も多く書いた児童は、19個書いていた。一方、誤答として多かったのが、二酸化炭素(19名)、一酸化炭素(12名)であり、無回答も4名いた。

④については、アルコールやガラス、木を単体とするグループもあったが、二酸化炭素については、炭素と酸素からできていることが漢字で分かったため、単体とするグループはいなかった。話しあう過程で、金属が単体であることに気づいたグループも多かった。

今回授業をするにあたり、周期表を子どもたちどのように提示するかについて検討を要した。5年生がどの程度物質を知っているか、また、化合物と単体を理解することができるかについて、全く予想できなかったからである。授業をする中で感じたことは、物質名の知識は、普段の理科の授業でも発言の多い子ども、つまり、理科に興味を持っている子どもが多いということである。やはり理科に興味を持っている子どもは図鑑や科学雑誌を目にする機会が多く、身の回りの物質についても自然と知識が増えてくるのである。また、単体と化合物については、どのように分けて考えていいのかが分からないという子どもが多かった。これは、元素という概念が子どもの中にほとんどないということを表している。塩化ナトリウムを食塩と呼んでいる物質は化合物とわかりにくい、「二酸化炭素」のように、「酸素」や「炭素」と、元素そのものの名称がついているものであっても「単体」として捉える子どもが多いのである。このことは、「もの」を物質として見る力が、子どもたちについていないということを表しているとも思われる。

授業後の感想では、「難しくよく分らなかった」という子どもも数名いたが、「こんなにたくさん物質があることを初めて知った」「族や数字の意味をもっと知りたい」「どうやって名前がついたのかを知りたい」等、関心を示す記述が多く見られた。元素や周期表の導入は、物質の捉え方に大きくプラスにはたらくと思われる。今後はさらに、周期表の学習をするまでの学習過程について、さらに検討していきたいと考えている。

3. 考察

(1) 子どもは水の三態をどのような水粒子のイメージで捉えているか

岸先生は「授業の実際」において、授業過程での児童の考えを簡単に紹介しているが、ここではもう少し詳しく見て行きたい。

第1時の授業の冒頭、岸先生は物質の三態について、水を例に取り上げ、イメージ図を描かせることによって、子どもの考えを探っている。それによると、子どもの考えは次の二つに、大きく分類された。

- (1) 水の三態において、水粒子の大きさ及び形が変化しないイメージ図を描いている子どもは、28名であり、全体の約78%である。
- (2) 水の三態において、水粒子の大きさ及び形が変化するイメージ図を描いている子どもは、8名であり、全体の約22%である。

ところで、(1)のイメージ図を描いた子どもには、次のようなタイプの児童が存在する。

- ① 固体の水を「丸い水粒子がぎゅう詰めの状態」、液体を「丸い水粒子が離れている状態」、気体を「丸い水粒子が離れてバラバラの状態」として描いている子どもは13名であり、(1)を選択した児童の約46%を占めている。
- ② 固体の水を「水粒子がぎゅう詰めの状態」、液体を「水粒子が手を結んでいる状態」、気体を「水粒子が手を離してバラバラの状態」として描いているように、「擬人化メタファ」を用いて表現している子どもは10名であり、(1)を選択した児童の約36%を占めている。
- ③ 水を酸素と水素から構成される分子として表現している子どもは3名であり、(1)を選択した児童の約11%を占めている。
- ④ 水を分子としてではなく、水素と酸素をバラバラに表現したり、水を原子として表現している子どもはそれぞれ1名存在する。

次に、(2)のイメージ図を描いた子どもには、次の三タイプを示す児童が存在する。

- ① 水の状態により、水粒子の大きさが変化するイメージ図を描いている子どもは5名である。
- ② 水の状態により、水粒子の形が変化するイメージ図を描いている子どもは1名である。
- ③ 水の状態により、水粒子の大きさも形も変化するイメージ図を描いている子どもは2名である。

このように、クラスの約78%の子どもが丸い粒の「粒子メタファ」や手のついた粒子の「擬人化メタファ」、分子概念などを用いて、水の三態をイメージしていた。このことは、第5学年の物質学習において、原子や分

子を導入することによって、物質の状態を理解させる可能性を示しているのではなかろうか。

(2) 子どもは水の三態から演繹的に、常温で固体である食塩の三態変化を類推することが可能か

食塩の融点は800.4℃、沸点は1413℃である。常温で固体、液体、気体であっても、温度を上げたり、下げたりすることによって、状態変化を起こさせることは可能である。岸先生は水の三態について、水分子モデルを動画で提示した後、食塩にも三態があるかどうかを問うた。子どもの考えは次の通りであった。

- (1) 食塩が液体や気体になることはない予想している子どもは26名であり、全体の約72%であった。
- (2) 食塩が液体や気体になると予想した子どもは8名であり、全体の約22%であった。8名のうち、1名の児童は液体にはなるが、気体にはならないと予想していた。
- (3) 分からないと回答している子どもは2名であり、全体の約6%であった。

物質の三態変化において、小学校で取り扱われる素材は水である。中学校の教科書には、「すべての物質は熱せられたり冷やされたりすると、それにもなつて、固体⇄液体⇄気体と、そのすがた（状態）を変える」と記述されており、素材としてエタノールや食塩、窒素、酸素、鉄、ロウ（パラフィン）などが取り扱われている。(2)で食塩にも三態があると予想した子どものうち、6名はその根拠を示していない。残り2名のうち、1名は友人がそう言っていたから、と述べているに過ぎない。もう1名は食塩が水に溶けることと食塩の融解を混同して説明している。(1)と予想した子どものうち、根拠を示していない児童は14名である。(1)の場合も、(2)の場合と同様に、食塩の溶解と融解を混同して説明している児童が9名いる。食塩は常温で固体であり、熱に左右されないと回答していた子どもが3名いた。(1)を予想した子どもは全体の約7割であり、予想の根拠を示せない子どもが約6割弱存在していた。この事実が示すように、第5学年の児童にとって、常温で液体であり、分子性物質である水から、常温で固体であり、イオン性物質である食塩の温度による状態変化を演繹的に類推することは困難であることが分かる。

(3) 子どもはどのような元素を知っているのか

岸先生は第1時の授業終了前に、食塩の融解実験をモニターテレビで提示した。第2時の授業の冒頭に岸先生は、「分子」と「原子」ということばを用いて、食

塩について説明を行い、原子の大きさについて解説した。その後、岸先生は児童が知っている元素名を書くよう指示した。子どもが知っている元素名は表1の通りである。

表1. 児童が知っている元素名

元素名	回答数	元素名	回答数
窒素	25	水素	3
炭素	20	ヨウ素	3
金	17	亜鉛	2
銀	16	ヒ素	2
銅	16	リン	2
マンガン	13	ナトリウム	2
アルゴン	9	マグネシウム	2
カリウム	8	リチウム	2
アルミニウム	6	塩素	1
カルシウム	5	イオウ	1
ヘリウム	5	ポロニウム	1
鉄	4	プルトニウム	1
ウラン	4	ニッケル	1
フッ素	4	カドミウム	1
酸素	3	水銀	1

児童は窒素から水銀までの30種類の元素を知っていると回答していた。平均すると、児童一人当たりで5種類の元素名を挙げていた。その一方で、①元素(単体)と化合物の区別が分からなかったり、②間違った元素名を覚えている子どもも存在した。①については、二酸化炭素(21名)や一酸化炭素(11名)二酸化マンガン(1名)、リン酸(1名)、色素(1名)などが挙げられていた。特に二酸化炭素を、全体の約58%の子どもが挙げていた。②については、プルトニウム(2名)やコウ素(2名)などが挙げられていた。中には、一酸化水素(4名)、二酸化水素(4名)と回答している児童もいた。

(4) 9種類の物質を子どもは単体と化合物に区別することは可能か

その後、岸先生は9種類の物質(木片、アルミホイール、10円玉、紙、鉄釘、アルコール、発泡スチロール玉、ガラス板、亜鉛粒)を子どもに提示し、1種類の元素からできているものと複数の元素からできているものを分類するよう指示した。明確に分類することができた子どもはわずか5名であり、残りの31名、約86%の子どもは分けることができなかった。特にガラスを単体と見なす子どもが21名、約58%もいた。その後の

学習展開で、岸先生が周期表の上に、それぞれの物を置き、周期表に対応する元素名がない物は、複数の元素から成る化合物であると説明を行った。この過程において、子どもはガラスが化合物であることに気づいた。

(5) 日常生活で見かける物質を周期表の元素と対応させる活動を通して、子どもは何を学び、何に疑問を持ったのか

先に述べたように、岸先生は第2時において、日常生活で見慣れたものと周期表の元素を対比させるといふ授業を展開したが、子どもはこの活動を通して、周期表について何を学び、どのような疑問点を抱いたのか。以下、これらの点について論究したい。

1) 子どもは周期表の何を学んでいるのか

子どもは周期表を見て、次のようなことに気づいていた。

- ① 多種類の元素が存在する。(15名)
- ② 元素にはカタカナ等の名称があり、記号が付されている。元素の名称と元素記号のローマ字が一致している。(6名)
- ③ 周期表には、「族」や「周期」がある。(4名)
- ④ 未だ命名されていない「ウンウン～(Uu～)」という元素がある。(4名)
- ⑤ 人や国の名前がついた元素がある。(4名)
- ⑥ 人工的に作られた元素がある。(3名)
- ⑦ カドミウムのように、人の害になる元素がある。(2名)

中には、「周期表の1～3周期に属する元素の数は少ない」(1名)、「同じ種類の元素が近くに固まっている」(1名)、「11族の元素は上から銅、銀、金の順に並んでいる」(1名)、「電気を通す元素が多い」(1名)と回答している児童もいた。少数の児童は、周期表の縦の系列には似たような性質の元素が並んでいることや、電気を通す元素が多く存在することから、元素の多くが金属であることなどに気づき始めている。

2) 子どもは周期表の何を疑問に思っているのか

子どもは周期表を見て、次のようなことに疑問を抱いていた。

- ① 元素の名前は、何に由来するのか。(21名)
- ② 周期表の「族」や「周期」は、何を示しているのか。(14名)
- ③ 人工的な元素は、どのようにして作られるのか。(6名)
- ④ 未発見の元素は、存在するのか。(5名)

⑤ 日常生活では、どのような元素が用いられているのか。(2名)

このように、約58%の児童が元素の名称の由来に疑問を持っており、約4割の児童が周期表の「族」や「周期」に関心を向けていることが分かる。中には、「なぜ元素には金属が多いのか」(1名)、「元素はどのような順序で並べられ、記号の隣の数字は何を示しているのか」(1名)、「なぜ金銀銅は連続して並んでいないのか」(1名)と回答している児童もあり、周期表の見方に強く、興味関心を示す子どももいる。

おわりに

以上のように、広島大学附属小学校2部5年の児童の実験記録をもとに、子どもの物質理解の実態について分析・検討を加えたところ、次の諸点が明確になった。

第一に、水の三態について、約8割の子どもが状態変化が起こっても、水粒子の大きさ・形が変わらないモデルを用いて説明している。従って、粒子メタファを用いた水の三態に関する説明は、子どもにとって理解しやすいと思われる。

第二に、約7割の子どもが学習前、食塩は液体や気体にならないと予想していた。このことは、日常生活での水に関する個別の体験から演繹的に類推して、水以外の物質、例えば食塩の三態変化を理解することの困難さを示している。この傾向は、中学生においても見られる。

第三に、昨年度の元素に関する実態調査では、元素名を一覧表で提示し、知っているものをチェックさせるという方法を用いたが、今回の調査では元素名を直接、記述させるという方法を採用した。そのために、子どもが知っている元素名の数が減少したが、昨年度の調査結果と同様に、子どもは教科書に記載されている以上の元素名を知っていた。

第四に、今回は9種類の異なる物質から成る日用品を用意し、元素(単体)と化合物を区別することができかどうかを調査したが、約9割の子どもが分類することができないことが判明した。昨年調査結果と同様に、子どもにとって、元素と化合物を見分けることは困難であることが分かる。この問題を解決する方法として、岸先生は実物を周期表の上に直接、並べ

せ、両者を対比させて、元素(単体)と化合物を区別させるという指導を試みていた。

第五に、今回の調査から周期表について、子どもは「族」や「周期」の存在を意識しており、これらが何を意味するのかを知りたがっていることが分かった。この子どもの意識を、周期表の規則性に関する学習に繋げたい。子どもの興味関心や疑問に応じる形で、元素の名称の由来やそれらを発見した科学者の逸話、日常生活で用いられている機械や道具の素材としてのそれらの用途などを導入することによって、元素や周期表に関する子どもの理解を深めたい。

子どもの物質理解にとって、原子、分子、元素及びそれらを分類した周期表は必要不可欠である。それでは、これらの粒子概念や教材は何時から導入されるべきなのか。2003年版アメリカ・カリフォルニア州科学カリキュラムの提案は、日本の小学校教育段階での導入の可能性を示唆しているように思われる。

今後も引き続き、小・中・高等学校の理科カリキュラム全体を視野に入れて、子どもの物質理解を促進する理科カリキュラムのあり方について探って行きたい。

引用・参考文献

- 1) 板倉聖宣『科学の学び方・教え方』東京：太郎次郎社、1975、p. 82.
- 2) 刈谷剛彦『教育改革の幻想』東京：筑摩書房、2002.
- 3) 文部科学省『元素周期表』東京：化学同人、2005.
- 4) 「111元素の周期表」『Newton ニュートン』第26巻第10号、2006.
- 5) 三浦登他『新しい科学1分野上』東京：東京書籍、2005、p. 72.
- 6) California Department of Education (以下、CDEと略す)、“Science Framework for California Public Schools, Kindergarten Through Grade Twelve”, CDE Press, 2003.
- 7) Marjorie Slavick Frank et al., “Harcourt Science”, Orlando: Harcourt School Publishers, 2005.
- 8) “Harcourt Science Workbook”, Orlando: Harcourt School Publishers, 2005.