

フランスの義務教育段階における物質観の育成に関する考察

Une étude sur la formation de la notion de la matière
dans l'éducation obligatoire en France

三好美織

Miori MIYOSHI

理科教育講座

(平成21年9月30日受理)

フランスの義務教育段階で物質観がどのように育成されているかについて、学習指導要領と教科書、教師向けの授業書を中心に分析した。その結果、物質に関する現象を観察や実験を通して正確にとらえた上で、現象を解釈するために粒子の考え方が取り入れられていること、さまざまな文脈における物質のふるまいを粒子の考え方をを用いて解釈することで、物質に対する微視的な見方が深められていることが明らかになった。

キーワード：フランス、科学教育、義務教育、物質観

1. はじめに

平成20年1月のわが国の中等教育審議会答申では、理科の改善の基本方針として、基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、「エネルギー」、「粒子」、「生命」、「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として、理科の内容の構造化を図ることが示された。この答申を受けて改訂された新しい学習指導要領では、上述の4つの柱のもとに、小学校から高等学校までを見通して学習内容が構成されている。特に、物質に関する事物・現象の学習では、「粒子」をキーワードとして、「粒子の存在」、「粒子の結合」、「粒子の保存性」、「粒子のもつエネルギー」の視点にわけて、学習内容の系統化が図られている¹⁾。

このように、物質に関する学習において、科学の基本的な見方や概念として「粒子」が取り上げられたことにより、例えば、小学校で「粒子」をどのように取り扱うのか、「粒子」を柱とした内容の構造化とはどのようなものか、物質概念を形成するための「粒子」とはどのようなものなのかといった疑問が呈されている²⁾。

そこで本研究では、義務教育段階においてどの

ような物質観を育成する必要があるのか、物質に対する理解をどのように図っていけばよいのか、さらに物質を構成する「粒子」をどのように取り扱えばよいのかについて検討するため、フランスの義務教育段階における物質に関する学習に焦点をあて、学習指導要領や教科書などを参考にしながら、物質に対する見方がどのように育成されようとしているのかを明らかにすることとした。

2. 小学校における物質に関する学習

2.1 学習指導要領における取扱い

2008年度より適用されている学習指導要領³⁾によると、小学校では、科学に関わる教科として、第1・2学年で「世界の発見」、第3～5学年で「実験科学とテクノロジー」が実施されている。年間授業時間数は、それぞれ81時間と78時間となっており、これを週時間数に換算すると、どちらも週2時間程度実施されているものと考えられる。

第1・2学年で実施される「世界の発見」では、身のまわりの世界に関する知識を獲得し、それらに関わる言葉を習得することが目指されている。

そのなかで、物質について、固体と液体を区別すること、物質の状態変化を感じ取ることが学習内容として取り上げられている。

第3～5学年の「実験科学とテクノロジー」では、自然や人間により作られた現実世界を理解すること、その特徴を述べること、現実世界に働きかけること、人間活動により生じた変化を制御することが学習の目的とされている。これらの目的のもと、物質に関する学習について、次の内容が取り上げられている。

- 水：ひとつの資源－状態と状態変化／自然界における水の移動 (trajet)／水を利用するための水質の維持
- 空気と空気の汚染
- 混合物と溶液
- ゴミ：削減，再使用，リサイクル

これらの学習を通して、児童は、自然への感覚によるアプローチに慣れるとともに、環境に対して責任があることや、持続可能な開発が現在の世代や将来の世代のニーズに対応していることを理解することも求められている。

「世界の発見」と「実験科学とテクノロジー」の学習指導要領の記述から、小学校における物質に関する学習内容をまとめると、①水の状態変化や空気の状態、液体の混合など、日常生活のなかで見られる現象から物質をとらえること、②自然界における水の循環、空気の汚染など、自然環境のなかでの物質のふるまいを理解すること、③水を利用するための水質維持、ゴミの取扱いなど、人が生活のなかで物質をどのように利用しているかを知ることの3つに焦点が当てられているといえる。

2. 2 教科書における取扱い

上述の学習指導要領に示された学習内容が、教科書でどのように取り扱われているのかについて、水に関する学習を取り上げ分析する。例えば、Hachette社の教科書⁴⁾では、学習内容と目標が次のように示されている。

「世界の発見」

- 水はいつでも液体か？…水の状態の違いがわかり、どのようにしたらその状態が得られるかを理解する
- きれいな水か汚い水か？…汚染の概念を学ぶ
- 資料：水の循環を理解する

「実験科学とテクノロジー」

<第3学年>

- 水はいつでも液体か？…水の三態がわかる

- 水滴はどうなるの？…水の状態変化を理解する：蒸発と凝縮
 - 水はどうやってできるの？…水の状態変化を理解する：融解と凝固
 - なんでも水と混ざるかな？…溶けるものと溶けないものを区別する
 - 液体はみんな混ざるかな？…混ざり合う液体と混ざり合わない液体を識別する
 - 資料：何でも混ぜ合わせてはいけません
- <第4・5学年>
- 雨水はどこへいく？…雨水がどのように地中に浸透するか理解する
 - 資料：水の自然循環
 - どの水が飲めるか？…「飲料水」とは何かを定義する
 - 何が水を汚染するか？…水の汚染と環境への影響を理解する
 - どのように水をきれいにする？…污水处理場のしくみを理解する
 - 資料：水の循環に対する人間の行動

(1) 水の三態と状態変化

「世界の発見」では、川の水、海に浮かぶ氷山、火山地帯の水蒸気の様子など、さまざまな自然現象の観察から、水の3つの状態である固体、液体、気体が導入されている。次に、蛇口からでる水、冷凍庫の中の氷や、鍋に入れた水の沸騰の様子から、水は0℃以下では固体、100℃以上では気体であり、その間は液体であるように、温度の変化によって水の状態が変わることが示されている。

一方、「実験科学とテクノロジー」では、まず、呼気に含まれる水蒸気を用いた実験や、水を冷凍庫に入れて冷やす実験から、水は温度により液体、固体、気体の3つの状態をとり、いつも水が液体ではないことが説明されている。次に、水滴のついたガラスの時間経過による変化を観察することにより、水は蒸発により液体から気体になること、凝縮により気体から液体になることが示されている。このときさらに、蒸発がはやく進む条件について、温度や空気との接触面積との関係が取り上げられている。そして、水で満たした製氷皿を冷蔵庫と冷凍庫に入れて冷やした後の様子を観察したり、雪をとかしたり凍らせたりする実験から、水が液体から固体になることを凝固、固体から液体になることを融解といい、そのときの温度はどちらも0℃であることが示されている。

このように、水の三態と状態変化の学習では、身のまわりに存在している様々な状態の水に着目し、水や水滴は液体、氷や霜は固体、水蒸気は気

体のように、対応関係を明らかにしたうえで、固体と液体、液体と気体の相互の状態変化を観察し、状態変化に関わる科学用語が導入されている。また、教科書の記述から、水の状態変化に関わる現象を、言葉を用いて正しく表現できるようにすることに重点が置かれていることが窺える。

(2)自然界における水の循環

「世界の発見」の教科書では、自然界における水の循環について、資料として取り上げられており、自然の中で水が途切れることなく巡っていることが、図と文章を用いて説明されている。

また、「実験科学とテクノロジー」では、まず、雨水が水たまりになっている様子、地表を下っていくようす、地下で川となっている様子の写真から、降ってきた雨水がその後どうなるかを考えさせている。また、砂利や砂、土、粘土で水をろ過する実験を通して、雨水が土地に浸透するとき起こる現象について理解させている。そして、自然界における水の循環について、水の状態変化の学習などをもとにして、図を用いながら説明することが求められている。

(3)人間生活における水の利用

「世界の発見」における「きれいな水か汚い水か」の学習項目では、水道水、ペットボトルの水、汚染された川や海岸などの写真を示しながら、きれいな水とはどのようなものか、汚れた水とはどのようなものかを考えさせている。そして、私たちが健康に生活するには、きれいな水が必要であることが述べられている。

「実験科学とテクノロジー」では、まず、健康に問題なく飲むことができる水がどのようなものか考えるとともに、私たちの利用している水道水をつくる浄水場のしくみが提示されている。次に、汚れた水が環境にどのような影響を及ぼすかを理解するため、写真や実験が示されている。そして、使い終わった水をどのように回収しきれいにするのか、汚水処理場のしくみが説明されている。さらに、これらの人間による水の利用が、自然界における水の循環のどの部分に位置しているのかを、図示して確認させている。

このように、私たちが生活のなかで利用している水についての理解を深め、人間の水の利用行為が自然環境とどのような関わりにあるのかに言及している点は、注目に値する。

2. 3 学習活動の展開例

「実験科学とテクノロジー」の学習指導要領によると、学習活動を展開するにあたり、観察、問

題提起 (questionnement)、実験、論証といった活動を重視し、児童が探究の過程 (démarche d'investigation) のなかで知識やコンピテンスを獲得していくことが期待されている。そこで、教師向けに作成された授業書⁵⁾ をもとに、第3学年の水の状態変化を取り上げ、探究の過程を重視した学習活動の具体的な事例を示す。

小学校第3学年 水の状態変化

(1)水の液体－固体の状態変化はどのように特徴づけられるか

- 科学に関わるコンピテンス：
 - ・水の状態変化で物質が保存されることを理解し記憶している
 - ・温度計を正しく使う
 - ・水の固体や液体の状態と、状態変化の起こる温度がわかる
- 方法に関わるコンピテンス：
 - ・探究の過程の実践：観察する、問題提起する、簡単なモデルを用いて、可能な説明をする (仮説)、仮説を検証するために調べる
 - ・操作、実験：実験方法の構想に参加する、適切な道具を用いて実験方法を実施する
 - ・測定や調べた結果の表現、処理；文語や口語で科学的な言葉を用いる、単位を使いこなす
- 科学用語：凝固、融解、液体、固体
- 配当時間：1.5時間
- 準備物：ガラス容器、食塩、ビニール袋、温度計、ボトル入りの水、ボトル入りの氷、冷凍庫、はかり、児童用実験ノート

第1段階：主題の提示

現象：冬、庭にあった氷が見えなくなり、そのあとに水たまりができています。

活動：示された現象で何が起こったかをプリントに記述する。

主題：「氷はどのように水になるか？その反対はどうか？」

第2段階：状態の変化の確認

課題：「氷で満たされた容器がある。容器から出さずに氷をよりはやく水に変えなさい。」

活動：氷を温める方法を考えて実行する。プリントに結果を記入する。

まとめ：氷をとかすには、氷を温めなければならない。

発問：「水は、再び氷になることができるか？どのような条件にすればよいか？」

話し合い：冷凍庫や寒い戸外で、 0°C より低い温度に水を冷やす必要がある。

言葉の導入と定義：融解，凝固

第3段階：水のおおる温度の予想

目的：状態変化での温度に着目させる。

説明：温度の正しい使い方。

課題：「できるかぎり冷たい水をつくりなさい。」

活動：実験方法を書きとめ、結果を予想する。水と氷を混ぜて温度を測定する。結果を記録する。
まとめ：水と氷の混合物の温度は、 0°C より低くない。

発問：「なぜ水はもっと冷たくならなかったのか？もし温度を低くし続けると、水はどうなるだろうか？」

第4段階：水のおおる温度の測定，状態変化の可逆性

目的：水のおおる温度を測定する。

活動：砕いた氷と塩を混ぜた寒剤で水を冷やす。

一定時間ごとに、水の状態と温度を記録する。

まとめ： 0°C 以下で水はおおる。つまり水は固体になる。

説明：固体の水(氷)はかたちが決まっており、液体の水は入っている容器の形をとる。

第5段階：状態変化を特徴づける

発問：ほぼ同じ水位の、水で満たされたボトルと、水で満たされたボトルを提示して、「2つのボトルでより重いのはどちらか？」

話し合い：それぞれの可能性を論証する。

演示：ボトルの質量を測定する。水で満たされたボトルのほうが軽い。

活動：演示で観察したことについて仮説を立てる。

発問：「水がおおるとき、質量は増えるだろうか、減るだろうか？」「もし、質量が変わらないうると、変わったのは容器の中の水が占めている場所である体積だろうか？」

活動：仮説を検証するための実験を計画する。実験方法を記述し、必要な道具のリストを作る。

実験例 i … ボトルに水を入れる / 水面の位置に線をかく / 重さを測定する / 冷凍庫で凍らせる / 重さを測定する

実験例 ii … 氷を容器に入れる / 重さを測定する / 氷が水になるまで待つ / 重さを測定する

まとめ：状態が変化するとき、質量は保存される。体積は保存されない。

発展：初歩的な密度の概念にアプローチする。氷は水に浮く。なぜならば、同じ体積で氷は水より軽いからである。

(2)水蒸気，沸騰するとき，水は消滅するのか？

○科学に関わるコンピテンス：

- 水の状態変化で物質が保存されることを理解し記憶している
- 水の三態と、状態変化の起こる温度がわかる
- 水蒸気は目に見えないことを知っている

○方法に関わるコンピテンス：

- 探究の過程の実践：観察する，問題提起する，簡単なモデルを用いて，可能な説明をする（仮説），仮説を検証するために調べる
- 操作，実験：実験方法の構想に参加する，適切な道具を用いて実験方法を実施する
- 測定や調べた結果の表現，処理；文語や口語で科学的な言葉を用いる，単位を使いこなす

○科学用語：蒸気，気体

○配当時間：1.5時間

○準備物：加熱器具，温度計，鍋もしくは透明な皿（パイレックス製），水，料理用皿（金属製やプラスチック製），直径や深さの異なる容器，扇風機，児童用実験ノート，プリント

第1段階：主題の提示

説明：今度は、水の温度を上げるために、鍋や皿で水を加熱する。

発問：「何が起こるか？」

活動：仮説を実験ノートに書きとめる。

話し合い：観察する視点；時間ごとの水の状態と温度を決める。

活動：水を加熱する。時間ごとに水の状態と温度を記録する。

まとめ：加熱している間、水の温度は上昇する。温度は 100°C まで上昇し、それ以上にならない。

発問：「液体の水は消滅したのだろうか？」

第2段階：水蒸気を水に変える，水蒸気の描写

説明：冷たい料理用の皿を、水が沸騰している鍋の上にかざす。

発問：「何が起きるか？」「この実験でどんな仮説を確かめるか？」

活動：実験ノートに記述する。

演示：鍋の上に皿をかざす。

活動：観察したことを記述する：液体の水が皿の上に見える。

話し合い：皿の上の水はどこからきたのか。

まとめ：水は鍋から生じている。水は、水蒸気（目に見えない）に変わり、空気中に立ちのぼる。

第3段階：言葉の定義と構造化

目的：水の状態変化に関する知識を確認する。

確認する言葉：融解，凝固，凝縮，蒸発，沸騰，水蒸気。固体と液体，液体と気体のそれぞれの間の状態変化に対応する言葉を記述する。

第4段階：蒸発現象についての発見

発問：「水が蒸発するために、必ず水を沸騰させる必要があるだろうか？」

話し合い：身のまわりで観察される水と水蒸気の間の状態変化の現象を想起する。

ゲーム：水をはやく蒸発させよう；水を最もはやく蒸発させる方法を見つける

活動：方法と使用する器具を決め、実施する。

まとめ：換気したときとき(風が吹く)、水の表面積が大きいとき、水をあたためたとき(太陽光や暖房器)、よりはやく蒸発する。

言葉の導入と定義：蒸発

(3)評価

○評価されるコンピテンス：

- ・水の状態変化に関する定義と状態変化がおこるときの特徴的な温度についての知識
- ・状態変化で水の質量は変化しないことを知っている

問題1：(海に浮かぶ氷山の写真，氷山と海水を指して)写真に見られる水の状態を書きなさい。

また、水蒸気のある場所を矢印で示しなさい。

問題2：水の入ったボトルを冷凍庫に入れて凍らせたあと、それを取り出した。水の入った2つのボトル(a：水面の位置が氷の時より少し下がっている図，b：水面の位置が氷の時よりかなり上昇している図)のうちどちらに相当するか？なぜか説明しなさい。

問題3：1つめのボトルには水で満たされており、2つめのボトルは水で満たされている。どちらがより重いか？答えを説明しなさい。

この事例から、学習活動の特色として、①実際に観察した現象を言葉で表現したり、仮説や予想、理由を記述したりする活動が重視されていること、②子どもの思考に沿って、スモールステップで学習内容が展開されていること、③単元の終わりで、疑問を解決するために、学習で得たことを活かし、子ども自身が方法を考えて実験する機会が設定されていること、④身近な現象や道具を用いることで、日常生活と関連付けて物質について理解を図ることができることを指摘することができる。

3. コレージュにおける物質に関する学習

3.1 学習指導要領における取扱い

コレージュでは、科学に関わる教科として、第1学年から「生命・地球科学」が、第2学年から「物理・化学」が、それぞれ週1.5~2時間程度実施されている。このうち物質に関する学習は、主として「物理・化学」において取り扱われており、学習指導要領⁶⁾には以下の内容が示されている。

<第2学年> 環境における水-混合物と純物質

・私たちの環境における水
：私たちの環境や私たちの食物において水はどのような役割を果たしているのか？

・水の混合物
：どのようにして澄んだ水を獲得するか？

・均質混合物と純物質
：均質に見える液体は純粋なのか？澄んだ水は純水なのか？

・水の状態変化-水の三態，状態の変化，単位
：常圧下で水を温めたり冷やしたりするとどうなるか？

・溶媒としての水
：どの固体(砂糖，塩，砂…)も水に溶かすことができるか？どの液体(アルコール，油，灯油…)も水に均質にとかすことができるか？

<第3学年> 私たちを取り巻く空気から分子へ

・空気の組成
：私たちが呼吸する空気は何で出来ているか？それは純物質か？

・空気の体積と質量
：空気に固有の体積があるか？質量はあるか？

・理解するための分子の表現

・燃焼
：燃えるとは何か

・化学変化を理解するための原子

<第4学年> 化学，物質の変化の科学

◎電気伝導性

○物質の構造と電気伝導性

・日常生活における金属の利用
：日常よく使われている金属は何か？

・固体のなかの電子と電気伝導性
：すべての固体は電流を通すか？

・水溶液のなかのイオンと電気伝導性
：すべての水溶液は電流を通すか？

○イオンの存在を識別する方法

・いくつかのイオンを識別する方法
：水溶液中のイオンの存在をどのように認識するか？

○鉄と塩酸の反応；解釈

・塩酸と鉄の反応

：どのような生成物ができるか？

○化学電池と化学エネルギー

・化学エネルギーのアプローチ

：化学電池はどのようにエネルギー源となりうるか？

◎化学種の合成

・自然界に存在する化学種の合成

：どのようにバナナの香りを合成するか？

・自然界に存在しない化学種の創造

：どのように新しい化学種をつくりだすか？

コレッジでは、小学校における学習の延長上に、水や空気といった身近な物質の現象について理解を深め、それらの現象を分子を導入して解釈している。さらに、物質の燃焼を取り上げ、化学変化を原子を用いて解釈している。また、物質の電気伝導性を理解するために原子の構造とイオンを学ぶとともに、化学変化の利用について取り上げられている。

このように、コレッジにおける物質の学習は、身のまわりの物質に関わる現象の理解から始まり、それらを解釈するために原子や分子、イオンを導入し、物質に対する微視的な見方を育成した上で、物質の合成などの化学の利用に至っている。

3. 2 教科書における取扱い

物質に関する学習の取扱いとして、例えばHachette社の「物理・化学」の教科書⁷⁾では、次のような学習内容が展開されている。

<第2学年> 物質

- ・私たちの環境における水…私たちの環境における水／水の識別テスト／様々な環境における水
- ・水溶液…澄んだ水を得る／飲み物中の気体を集める／溶解している気体を識別する
- ・均質混合物の成分の分離…水に溶解した固体／純水を得る／クロマトグラフィーによる均質混合物の分析
- ・物質の状態…水の三態／状態変化／状態変化における質量と体積
- ・状態変化の研究…融解／凝固／沸騰
- ・溶媒としての水…水への固体の溶解／混ざりあう液体と混ざりあわない液体／質量の保存

<第3学年> 私たちを取り巻く空気から分子へ

- ・環境と持続可能な開発：大気をまもる
- ・空気の性質…空気の体積／空気の圧力／空気の質量
- ・分子による描写…気体の表現／液体と固体の状

態の表現／質量保存の解釈

- ・燃焼…炭素の燃焼／ブタンの燃焼／不完全燃焼
- ・化学変化…分子を構成する原子／化学変化のモデル化／質量の保存

<第4学年> 化学，物質の変化の科学

- ・日常生活のなかの金属
- ・金属の電気伝導性…金属中の電流／原子の構造／時代の流れと原子の認識
- ・水溶液の電気伝導性…溶液の電気伝導性／溶液中の電流の姿／イオン結合性物質と電気伝導性
- ・イオンとpH…いくつかのイオンの識別テスト／溶液のpH測定／溶液のpHへの希釈の影響
- ・塩酸と鉄の反応…塩酸の成分／鉄と塩酸の反応／化学変化後の溶液の分析
- ・電池とエネルギー…熱エネルギーを放出する化学反応／電気エネルギーを放出する化学反応
- ・化学種の合成…天然物の合成／自然界に存在しない化学種の合成：ナイロン

このうち、粒子モデルによる物質の解釈は、第3学年から行われており、分子、原子、イオンはそれぞれ次のように導入されている。

分子の導入では、気体が圧縮される事実から、提示された粒子が詰まったモデルと粒子間にすきまのあるモデルのうち、どちらが気体のモデルとして適当であるかを考えさせている。次に、水や氷を圧縮できるかどうか、つかむことができるかどうかの実験や、水へのインクの拡散の様子の観察から、液体と固体の粒子を用いたモデルを導いている。このとき使われているモデルは、例えば原子を用いた三原子分子の水のモデルを示すのではなく、“水の粒”として表現がなされている。

原子の導入では、先に導入した分子モデルが状態変化や溶液の混合における質量保存を解釈するには十分であるが、新しい分子が生成する化学反応には用いることができないことから、分子が原子でできていることを導いている。そして、燃焼の現象を、原子を用いたモデルにより解釈している。また、第4学年で、金属の電気伝導性を調べる実験を行い、金属の中の電流の正体が自由電子であり、その電子は原子に由来していることを提示した上で、原子の構造の学習に導いている。

イオンについては、水溶液の電気伝導性を調べる実験を行い、水溶液が電気を通すのは、金属の電気伝導のように電子の移動ではなく、電気を帯びた粒子、つまりイオンが存在し、それが移動していることが示されている。そして、いくつかの金属イオンの性質を調べる実験、pHの数値による水溶液の特徴付けが行われている。

このように、観察や実験を通して物質に関する現象を確認した上で、原子や分子、イオンの考え方を導入し、現象を解釈していることがわかる。

3. 3 学習活動の展開例

実際の授業において、粒子のモデルがどのように取り入れられるのかを明らかにするため、教師向けに作成された授業書⁸⁾をもとに、第3学年「理解するための分子の表現」の事例を示す。

コレージュ第3学年 理解するための分子の表現

(1)物質の三態を分子モデルで示す

- ・純物質の固体、液体、固体における、分子の配列とその特徴の説明、モデルの図示
- ・混合物の固体、液体、固体における、分子の配列とその特徴の説明、モデルの図示

(2)空気は圧縮できる、水は圧縮できない、なぜ？

目的：水の非圧縮性の提示とその説明

空気の圧縮性の提示とその説明

実験：水の場合

注射器に水を入れ、栓をしてシリンジをおす

結果と考察：

水は圧縮することができたか？／液体で分子はどのようにならんでいるか？／なぜ水を圧縮できないのか説明せよ

実験：空気の場合

注射器に空気を入れ、栓をしてシリンジをおす

結果と考察

空気は圧縮することができたか？／気体で分子はどのようにならんでいるか？／なぜ気体を圧縮できるのか説明せよ／空気を圧縮したときの様子を図示せよ（分子の数と大きさに注意）

(3)質量の測定

目的：氷の融解における質量の保存とその説明

溶質の分子の溶媒への拡散の説明

染料が水に溶解するときの質量の保存とその説明

実験：氷の融解

氷が融解する前と後の質量をはかる

結果と考察：

氷が融解するとき、分子はなくなったか？／氷が融解するとき、新しい分子が生じたか？／氷と水の中の分子の様子をかきなさい(分子の数に注意すること)／なぜ融解するとき質量は保存されるのか？

実験：色水を作る

水と染料を混合する前と後の質量をはかる

結果と考察：

混合—実験の終わりに、染料は水の中に見えるか？／染料の分子は固まりになっているか？／次の文章を埋めなさい；染料の()は水の中に拡散した

質量の保存—混合したとき、分子はなくなったか？／混合したとき、新しい分子が生じたか？／分子を用いて水の様子とできた色水の様子をかきなさい(分子の数に注意すること)／なぜ染料を水に混合するとき質量は保存されるのか？

(4)分子モデルの変遷から実在の分子へ

デモクリトスの仮説から今日の技術の発展による分子の存在の確認まで、関連する資料の提示
問題：資料やインターネットの情報を用いて、次の問いに答えなさい。

- ・「原子」の語源は何か
- ・ドルトンの著書名をフランス語訳せよ
- ・フランクリンの実験では、 2 cm^3 の油が 2000 m^2 に広がったことが分かっている。油の層が 10^{-9} m となることを示しなさい ($1\text{ m} = 100\text{ cm}$; $1\text{ m}^2 = 10000\text{ cm}^2$; $10^{-9} = 1/10^9$)
- ・水や水における分子の配列を想起しなさい
- ・フランクリンは雷に興味を持ち、雷から身をまもるために有益なものを作った：それは何か
- ・ドルトンは視覚上の問題を抱えており、それは彼の名前をとって「daltonisme」と呼ばれる。これはどのような問題か
- ・今日の電子顕微鏡の倍率を調べなさい

(5)実験に関わる評価

目的：溶解における質量の変化を調べる

実験：水に砂糖を溶かす前と後の質量をはかる

結果と考察：

砂糖の質量と水の質量をたしなさい／砂糖水の質量と先ほどの結果を比べなさい／言葉をうめなさい；溶解において質量は()。なぜなら分子の数は()。

評価の観点：

実験技能—測定した数値の取扱い、電子天秤の使い方、溶解の操作、片づけ、白衣の着用、実験態度

理論—砂糖の質量と水の質量の合計、質量の比較、結論の記述

(6)全体に関わる評価

<分子の配列>

①それぞれの分子の配列を、関係する物質の状態と結びなさい。

分子が散らばっており、激しく動く・ ・固体
分子の間隔がせまく、ほぼ動かない・ ・液体

分子の間隔がせまく、動く ・ ・ ・ 気体
②次に示す言葉を用いて、物質の状態と分子の配列を説明する文章を完成させなさい。(文省略)

<気体の圧縮性>

①気体は圧縮できる。これはどのようなことか説明しなさい。

②なぜ気体は圧縮できるのか？気体の分子のふるまいをふまえて記述しなさい。

<物質のいろいろな状態における分子>

ピエールは、純物質の液体、純物質の固体、純物質の気体、混合気体、液体に溶解した固体のモデルをかいた。次に示す図から、対応する表現を選びなさい。(図省略)

<香水の拡散>

アナイスは、皿に少量の香水を注いだ。彼女から数メートル離れた所にいたマキシムは、香水の香りにすぐに気づいた。

①全部の香水が液体の状態に残っていますか？

②分子のふるまいに関する知識を用いてマキシムが香水の香りに気づいた理由を説明しなさい。

<固体と液体>

固体は決まった形を持っている。液体は入っている容器の形に従う。この違いを、固体状態と液体状態の分子のふるまいから説明しなさい。

<圧縮された空気>

マリンは自転車のタイヤが少ししぼんでいるのに気づいた。それを直すために、ポンプを使ってタイヤのチューブに空気を送り込んだ。次の文章のうち、あてはまる言葉を○で囲みなさい。

タイヤがふくらんだとき：

－タイヤの中の空気に含まれる分子の数は

増えた； 変わらない； 減った

－タイヤの中の空気の質量は

増えた； 変わらない； 減った

－空気の分子は

さらに拡散； あまり拡散していない；

同じくらいの散らばり

学習活動の展開の特色として、次の点を指摘することができる。①単元の最初に分子モデルを提示し、それを用いてさまざまな現象を解釈している。分子モデルの提示では、純物質から混合物へとモデルが拡張されている。また、実験で現象を明らかにした上で、分子モデルを用いてその現象が起こる理由を説明させている。このように、現象を解釈するために分子モデルを用いる機会を設定することで、その有効性を実感させることができると考えられる。②科学史が取り入れられてお

り、人間の営みとしての科学に対する興味・関心を喚起している。資料に関する問いからは、分子について多面的に理解を深めるだけでなく、情報を読み取る能力の育成や、必要とする情報を取得する方法の習得が図られていることがわかる。③評価において、分子モデルを日常生活にみられる現象の解釈に応用する場面を設定している。答えを導くために必要な情報を与え、新たな現象について説明させることで、学習内容の理解の度合を知ることができると考えられる。

4. 学習内容の評価規準

これまでに示したフランスの小学校およびコレージュの学習指導要領は、2006年に制定された政令「共通基礎知識技能」を基盤として作成されたものである。「共通基礎知識技能」では、義務教育段階の終わりにすべての生徒が習得していなければならないコンピテンスが具体化されている。このうち、科学に関わる教科で主として育成することが求められる「科学的技術的教養」のなかで、物質に関する知識について、次のような記述がみられる⁹⁾。

○物質がさまざまな形態をとることを知ること

- ・この形態は、変化と反応を被りやすい
- ・この形態は、簡単なものからより複雑なものへ、無生物から生物へと組織される

また、児童・生徒の「共通基礎知識技能」の獲得状況を評価するため教師に具体的な指針を示すものとして、2007-2008年度に「規準一覧 (Grille de référence)」が試行的に作成された。「科学的技術的教養」の評価項目は、5項目からなる知識・能力と、4項目からなる科学的手続きと問題解決の実施で構成されており、それぞれ各学習期の終わりまでに身につけるべき内容が記述されている¹⁰⁾。知識・能力の評価項目に示された物質の学習にかかわる関わる規準のうち、上述した小学校とコレージュの学習指導要領の学習内容に対応するものは、次の通りである。

<第2学習期 (小学校第2学年) の終わり>

- ・設定なし

<第3学習期 (小学校第5学年) の終わり>

- ・水の物理的な3つの状態 (=三態) がわかる
- ・水蒸気は目に見えないことを知っている
- ・空気は物質であること、空気が存在していることを知っている

<中間期 (コレージュ第3学年) の終わり>

- ・物質の状態の特性がわかる

- 混合物と純物質を区別することができる
 - 物質の変化と反応(化学的, 物理学的)を描写し説明する
混合物と純物質の概念, 物質の物理的状態の特性では, 水と空気を取り扱う
 - 状態変化の主たる特性がわかる
状態変化について, 水の現象学的アプローチをもとに取り組む
 - 化学変化の主たる特性がわかる
化学変化と原子による解釈は, 燃焼反応にとどめる
- <進路指導期(コレッジ第4学年)の終わり>
- 電気伝導性について簡単な説明ができる
金属や水溶液の電気伝導性は, 電子とイオンの概念を用いて簡単なレベルで取り扱う
 - 化学変化の主たる特性がわかる
取り扱う化学変化は, 鉄と塩酸の反応にとどめる

評価規準から, 小学校では, 水の三態の理解と, 水蒸気や空気のような目に見えない物質の存在がわかることが求められている。また, コレッジでは, 物質の状態と状態変化, 純物質と混合物, 燃焼および金属と酸による化学変化, 電気伝導性について, 分子や原子, 電子やイオンといった微視的な視点から理解することが求められている。

5. まとめ

フランスの義務教育段階における科学教育では, 学習者を中心に据え, 自分と自分を取り巻く世界について理解するために学習が展開されている。そのなかで, 物質観の育成にむけて, 義務教育段階の終わりまでに, 物質に関する現象を粒子モデルによって解釈できるようにすることが目指されている。

そのためにまず, 小学校およびコレッジ第2学年では, 水や空気を中心として, 観察や実験を通して物質に対する現象学的なアプローチが行われている。ここでは, 基本的な科学用語を導入して現象と言葉をつなぎ, 言葉を正しく用いて現象を表現することに重点が置かれている。徹底した観察をもとに学習が展開されてきたフランス科学教育の伝統をふまえると, なによりもまず, 目に見える範囲で物質がどのような振る舞いをしているのかを正しく認識させるための学習活動が行われている点は, 当然の帰結であるといえる。

物質に関わる現象を正確にとらえた上で, コレッジの第3学年では分子と原子を, 第4学年では

イオンを導入し, 空気や水の性質, 燃焼や電気伝導性といった現象を粒子を用いて解釈させている。物質に関わる現象を解釈するために粒子を導入することで, その有用性を感得させている。さらに, 様々な文脈における物質に関わる現象について, 粒子を用いて解釈し説明することにより, 物質に対する微視的な見方がより一層深められているものと考えられる。

引用・参考文献

- 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, 2008., 文部科学省, 『中学校学習指導要領解説理科編』, 大日本図書, 2008.
- 2) 例えば, 日本理科教育学会, 『理科の教育』, No.675, 東洋館出版社, 2008.
- 3) MEN, “Programmes d’enseignement de l’école primaire”, *B.O. hors-série* n°3 du 19 juin 2008.
- 4) G. Blandino et al, *Découverte du Monde CP-CE 1*, Hachette Éducation, 2008, J. Guichard et al, *Sciences expérimentales et Technologie CE 2*, Hachette Éducation, 2004, J. Guichard et al, *Sciences expérimentales et Technologie CM*, Hachette Éducation, 2005.
- 5) B. Subry et al, *15 séquences de sciences au CE 2*, Retz, 2008, pp.191-203.
- 6) MEN, “Programmes de l’enseignement de physique-chimie”, *B.O. spécial* n°6 du 28 août 2008.
- 7) J. -P. Durandeu dir., *Physique Chimie 5e*, Hachette Éducation, 2006, J. -P. Durandeu dir., *Physique Chimie 4e*, Hachette Éducation, 2007, J. -P. Durandeu dir., *Physique Chimie 3e*, Hachette Éducation, 2008.
- 8) M. Lecoecueche dir., *Chimie au cycle central*, CRDP Nord - Pas de Calais, 2007, pp.163-178.
- 9) “Socle commun de connaissances et de compétences”, *B.O.* n° 29 du 20-07-2006., 山根徹夫代表, 『諸外国における学校教育と児童生徒の資質・能力』, 平成18年度調査研究等特別推進経費調査研究報告書「これからの学校教育に求められる児童生徒の資質・能力に関する研究」研究資料, 2007, pp.30-60.
- 10) MEN, “Livret de connaissances et de compétences, Grille de référence –Les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technologique–”, http://eduscol.education.fr/D0231/Grille_pilier3.pdf, 2009.3. 31 取得.