

# 初等教育における理科教育 (第3報)

—物理・化学分野について—

藤川千枝・藤井富美子

## The Teaching of Science at Primary Schools ( III )

On the Fields of Physics and Chemistry

Chie FUJIKAWA and Fumiko FUJII

### はじめに

第1報<sup>1)</sup>、第2報<sup>2)</sup>では、アメリカ、イギリス、西ドイツ及び日本の第4学年までの理科の教科書を、教育内容の分野別あるいは実習材料の目的別に分類し、共通教材と特色ある教材を比較検討することにより、4か国の理科教育内容の全体的特色を明らかにすることを試みた。そして、日本の教科書は、生物分野では四季にわたる多種類の動植物の記載や長期にわたる栽培に特徴が見られ、物理・化学分野では実験方法が細かく説明されすぎているためか児童の工夫や思考活動の場を狭めている傾向が見られた。また、地学の分野ではモデル学習が少ないために教科書に記述された方法では学習の限界が感じられるなどの結論を得た。今回は、3つの分野の中から、物理・化学分野を対象を選び、更に細かく検討を進めた。

### 物理・化学分野を選定した理由

今回特に物理・化学分野を選んで検討した理由は、次の3点によるものである。

第1に、この分野の対象は、国による気候・風土によらない普遍的なものである。

第2には、昭和67年以後実施予定の新しい学習指導要領において、低学年の理科は「生活科(仮称)」となり、低学年理科における物理・化学分野の取り扱い方に関心が高まっている。現在、児童の学習は、易しいものから難しいものへと進んで行くように学習指導要領は編成されている。この「生活科」誕生に伴い、現在低学年の学習内容と、中・高学年での学習内容との接続の問題がある。また、幼稚園と小学校の関連を一層緊密なものにすることも今回の改訂のねらいのひとつとなっているが、現行の幼稚園教育要領<sup>3)</sup>における領域「自然」の4事項のねらい、

1. 身近な動植物を愛護し、自然に親しむ。
2. 身近な自然の現象などに興味や関心を持ち、自分で見たり考えたり扱ったりしようとする。
3. 日常生活に適応するために必要な簡単な技能を身につける。
4. 数量や図形などについて興味や関心をもつようになる。

から見れば、小学校と幼稚園の物理・化学分野に大きな隔りがあるのではないかと考えられる。

第3には、昨今、日本理科教育学会等での研究発表や教育現場で活躍する教師の意見によれば、日本だけでなく欧米諸国でも中等教育における理科の選択科目は、物理・化学離れが進み、生物に集中する傾向にあるといわれる。中等教育で物理・化学分野が魅力を失ってしまう理由を探るためにも、中等教育の下位学習段階である初等教育理科の中から、将来、物理・化学分野の内容に発展していく内容を取り上げ、上記4か国のものを、比較検討することは、有意義なものと考えられる。

#### 4か国の教科書の物理・化学分野の学習

##### 1. 調査方法

調査に用いた教科書は、日本のものを除いて、前報と同じものである。日本では、3年ごとに教科書の改訂が成されるが、学習指導要領は変わっておらず、同じ出版社の改訂版を用いた。

日本 新版たのしい理科, 大日本図書株式会社 (1986~)

アメリカ CONCEPT IN SCIENCE, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (1980~)

イギリス SCIENCEWISE, Thomas Nelson (1980~)

西ドイツ (第1~4学年) Sachunterricht auf der Grundschule, Hermann Schroedel-Verlag KG (1973~)

(第5~6学年) Walz physik·chemie Informationsband, Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover (1976~)

西ドイツの第5, 6学年は観察課程なので、どの中等学校でも似たような教育課程で学習指導が行われるため、ここでは、どの中等学校で使用されている教科書かは問題にならない。

日本の学習指導要領では、中・高学年の理科の内容は、「A 生物とその環境」、「B 物質とエネルギー」、「C 地球と宇宙」の3つの区分に分けられている。物理・化学分野はB区分にあたる。文部省の指導書<sup>4)</sup>では、「物質についての認識の過程とエネルギーについての認識の過程とは常に関連を持っている。こうした特徴をもっている対象を扱う内容を、『B物質とエネルギー』の区分」としている。この考えに沿って、日本と他の3か国の理科の教科書から、「B 物質とエネルギー」に該当する内容を取り出し分類した。そして更に、「力・エネルギー」、「物理的变化」、「化学的变化」、「光」、「音」、「電気」及び「磁気」の7つに分けて、それぞれの指導内容の流れを追った。

##### 2. 物理・化学分野の概観

###### 2-1 日本の教科書

日本の教科書は、実験器具が数多く使われており、また、数値にこだわり過ぎているきらいがある。これでは、理科の指導があまり得意でない教師にとっては大変であろう。また、実験の誤差が教材目的の成否を左右することもあると思われる。例えば、第5学年の「食塩が水に溶ける前と溶けた後では重さは変化しない」ことを学習するための実験では、教科書に書いてあるそのままの方法では、50gの水に1gの食塩を溶かした後上皿天秤で質量を測定すると、ごく僅かではあるが51gよりも少ないことが多い。児童は経験から学習するので、1度のミスが間違った知識となってしまふ恐れもある。数値そのものよりも、変化しないことにもっと着目させるためにも、他の国の教科書のようにコップ1杯、スプーン1杯、スポイト1滴のように量や体積などは大ざっぱに捉え、だいたい同じ、多い(大きい)、少ない(小さい)というように把握した方が児童にとっても良いと考える。第4学年に、上皿天秤の使い方を、天秤の原理と共に一つの単元として学習するが、この学年でしっかり学習しておかないと、次の学年

からの実験に支障をきたすことになる。しかし、反面このように数値にこだわることにより、酸素中での燃焼実験や酸やアルカリと金属を反応させる実験など、多少危険を伴うと考えられる実験も正しい濃度や量で行えば事故を起こすこともなく安全に行わせることができよう。また、日本の教科書のみ取り扱われている、第2, 4, 5学年での「物質の溶解」に関する学習も、天秤の正しい使い方を知らないと成立しない。但し、算数の苦手な児童にとっては、理科も嫌いになる可能性が大きいと思われる。

## 2-2 アメリカの教科書

アメリカの教科書はA～Fまでの6つの概念から構成されており、就学前から第6学年までの7年間を系統だてて指導できるようになっている。この教科書の教師用指導書<sup>5)</sup>によると、6つの概念とは、

- A：エネルギーが変換する時、エネルギーの総量は変化しない。
- B：物質が変化する時、物質の総量は変化しない。
- C：宇宙は絶えず変化している。
- D：生物は生物相互に、そして環境に依存している。
- E：生物は遺伝と環境の産物である。
- F：生物は絶えず変化している。

である。「物質とエネルギー」分野に該当するのは、A概念、いわゆるエネルギー保存の法則と、B概念、いわゆる質量保存の法則である。

A概念は主に「力・エネルギー」、「物理的变化」、「光」、「音」、「電気」及び「磁気」で、B概念は主に「物理的变化」と「化学的变化」で学習するようになっている。特徴ある内容としては、第2学年から発達させる粒子概念と、第3学年でのエネルギー変換である。粒子概念獲得の流れは、

- 第2学年 物質は分子からなる（●で分子を表し、●の間隔の違いで温度による体積変化を表現する）。
- 第3学年 物質は分子と原子からなる（分子模型）。
- 第4学年 化学的变化では違う物質が生成される。  
(言葉による化学式：鉄+酸素→酸化鉄)
- 第5学年 陽子と中性子で原子核を表現する。
- 第6学年 分子運動で温度による体積変化を説明する。電子も加えた原子モデル。核反応のモデル。

である。

## 2-3 イギリスの教科書

イギリスの教科書で測定手段として児童に使用させているものは、時計（時間の測定）、物差し（長さの測定）、方眼用紙（面積の測定）、ばねばかり（力の測定）、温度計（温度の測定）などである。この中でも、主に使われているものは、時計と物差しであり、ばねばかりと温度計は6年間に1度使うだけである。頻繁に表（Chart）に実験結果を記録させる点や、同じ実験を数回繰り返す点などが他の国の教科書と違う点である。「化学的变化」に関わる内容は少ないが、「力・エネルギー」に関わる内容が多い。この内容は、この教科書の全体的特徴である身体の一部もしくは全体を使った活動中心の学習が行い易いこと、また、身の回りのものを使った理科工作で簡単な実験ができるためと考えられる。

## 2-4 西ドイツの教科書

西ドイツの観察課程の教科書は、生物分野の教科書との2分冊になっており、物理・化学分野の教科書は「Die Lehre vom Magnetismus (磁気学)」、 「Optik (光学)」、 「Warmelehre (熱学)」、 「Elektrizitätslehre (電気学)」、 「Mechanik (力学)」、 「Chemie (化学)」の6つの単元に分かれている。力の単位として [N (ニュートン)]、仕事の単位として [N・m (ニュートンメートル)]、エネルギーの単位として [J (ジュール)]で統一されているのに対し、日本ではこれらの単位は高等学校で学習し、中学校ではkg重、kg重mの単位で学習していることを考えると難易度が高いと思われる。固体の熱膨張の学習では、橋桁、レール、バイメタル、サーモスタットなど、電気の学習ではヒューズ、アイロン、蛍光灯、アース、漏電など、生活に密着した物への学習の応用例が数多く示され、理科が身近に感じられるように工夫がみられる。また、電気の学習では、水流モデルで電気の流れを説明している。

### 物理・化学分野の学習の流れ

#### 1. 学習学年

表1は先に分けた7つの内容を各国が学習させている学年を示したものである。丸の中の数字は学年を表している。西ドイツの第5、6学年の教科書は2年間で学習するもので、どちらの学年で学習されるかが明記されていないので、表には第5、6学年の2年間で履修するものとして表してある。日本の教科書では7つの分類の内容を低学年のうちにひと通り学習するが、アメリカ、イギリス及び西ドイツの教科書には中学年にずれ込む内容のものもある。「力・エネルギー」や「物理的变化」に関する学習は、4か国ともに大体どの学年でも学習が成されている一方で、「光」、「音」に関する学習は、低学年での学習の後、それに関わる学習をしない期間があり、中・高学年で再び学習がなされる。後者の学習内容は、低学年において児童が楽しみながら活動していく中で学ぶものと、中・高学年において推論したり、計画したり、論理的に思考したりして学習していく内容に分離しているものと考えられる。この中からいくつか取り出し更に内容を詳しく比較する。

#### 2. 「力・エネルギー」に関する学習内容

表2は「力・エネルギー」に関する学習内容である。以下、表2～表4では、網かけしてあ

表1 物理・化学分野の学習学年

	力・エネルギー
日本	①—②—③—④—⑤—⑥
アメリカ	①—②—③—④—⑤—⑥
イギリス	①—②—③—④—⑤—⑥
西ドイツ	①—③—⑤—⑥
	物理的变化
日本	①—②—③—④—⑤—⑥
アメリカ	①—②—③—④—⑥
イギリス	③—④—⑤—⑥
西ドイツ	①—②—③—④—⑤—⑥
	化学的变化
日本	①—⑤—⑥
アメリカ	③—④—⑤—⑥
イギリス	④
西ドイツ	②—③—④—⑤—⑥
	光
日本	①—③—⑤
アメリカ	②—④—⑤
イギリス	①—②—④—⑤
西ドイツ	②—⑤—⑥
	音
日本	②—⑤
アメリカ	②—④
イギリス	②
西ドイツ	②
	電気
日本	②—④—⑥
アメリカ	②—③—⑥
イギリス	①—③—⑤
西ドイツ	④—⑤—⑥
	磁気
日本	①—③—⑥
アメリカ	①—③—⑥
イギリス	②—③—⑥
西ドイツ	①—②—③—⑤—⑥

表2 4か国の「力・エネルギー」に関する学習内容

学年 国名	第1学年	第2学年	第3学年	第4学年	第5学年	第6学年
日本	風やゴムで動くおもちゃ	おもりで動くおもちゃ	風車 空気てっぽう	天秤 ばねばかり		てこ、輪軸、滑車
アメリカ	力の向き 重力 摩擦	太陽や電気は熱や光を出す	エネルギーは転換できる		作用・反作用 慣性の法則 重力・引力	てこ、天秤、輪軸 滑車、摩擦力 核エネルギー
イギリス	ホバークラフト 天秤 振り子	おもりで動くおもちゃ 天秤	糸の搓りで動くおもちゃ 羽根 空気てっぽう		おもりで動くおもちゃ てこ 摩擦	ゴムで動くおもちゃ 輪軸、紙飛行機 圧力、表面張力 浮力、摩擦力、共振
西ドイツ	摩擦		天秤		物体の運動、作用・反作用 ばねばかり、上皿天秤 キログラム原器、滑車 仕事とエネルギー、真空・大気圧	

る内容は各国とも共通の内容であり、下線の引いてあるものは、その国だけで学習がなされているものである。低学年においては、日本、イギリスでは理科工作を通じての学習が盛んで、アメリカ、西ドイツでは、体を使った学習が盛んである。天秤教材は、てこ、輪軸、滑車の前学習段階であることがよく分かる。簡単な測定器としての天秤は、児童に取り扱い易いものである。宇宙開発の盛んな国であるアメリカでは、作用・反作用の学習で、「ドライアイス・ジェットエンジン」と称して、牛乳の紙パックに水とドライアスをいれてジェット機の発射の様子をモデル化している。また、西ドイツで、真空の学習にマグデブルクの半球の話が出てくる。これらは、物理・化学分野における国による特徴といえよう。日本の理科工作は身近なものをあまりにもいろいろ使い過ぎるので、児童が楽しく学習できる反面、動く原理に対する興味や、よりよく動かせるための工夫よりも、おもちゃの外観に力点がおかれてしまう可能性がある。

### 3. 「化学的变化」に関する学習内容

表3は「化学的变化」に関する学習内容である。その内容は、燃焼、酸素と二酸化炭素、液性に関するものがほとんどである。燃焼には空気（酸素）が必要とされること、気体が燃えて炎となること、燃焼後の空気は変化することなどが、各国共通の学習内容である。酸素の発生方法は、日本では二酸化マンガンによる過酸化水素水の分解、アメリカではイーストによる過酸化水素水の分解、西ドイツでは過マンガン酸カリウムの加熱分解である。日本が酸素の性質として、「助燃性」を一番に挙げているのに対して、アメリカや西ドイツでは、鉄が錆びること、つまり「酸化」の話が酸素の学習の導入となる。湿気が多い日本では、錆びることはあまりにも日常茶飯事で、児童の興味を引かないかもしれないが、突然酸素を発生させてその中で物質を燃焼させるのは、余りにも唐突過ぎる。また、日本の酸素の学習がその後あまり発展性がみられないのに対して、アメリカや西ドイツでは、金属の酸化、燃焼と酸化、酸化物の加熱分解と、発展していく。二酸化炭素を収集するのに、日本では石灰石と塩酸を反応させ、アメリカでは石灰石と食酢を反応させ、西ドイツではクエン酸と重曹を反応させるか炭酸水を振って泡を集める。二酸化炭素の性質は、アメリカの教科書では石灰水が濁ること、西ドイツの教

表3 4か国の「化学的变化」に関する学習内容

学年 国名	第1学年	第2学年	第3学年	第4学年	第5学年	第6学年
日本	花や実の汁と酸やアルカリ				酸素の発生と性質 二酸化炭素の発生と性質 燃焼と空気 燃焼後の空気	金属と酸やアルカリ リトマス紙 炎
アメリカ			砂糖の分解	鉄の錆 酸素の発生 石灰水の性質	水の電気分解と水素 リトマス紙 二酸化炭素の発生と性質	燃焼と空気 燃焼後の空気
イギリス				燃焼と空気		
西ドイツ		二酸化炭素の発生	二酸化炭素の性質	炎 燃焼と空気 錆と水や空気	燃焼と空気、酸素の発生と性質 発火点と燐、金属の燃焼 酸化物の加熱分解、混合物と化合物	

科書ではローソクの火が消えてしまうことのみ学習するが、日本の教科書では、空気より重たいこと、水に溶け易いことも学習する。日本の教科書には、酸素の発生の時二酸化マンガンの代わりにじゃが芋やレバーを、二酸化炭素の実験にレモンや酢、卵の殻や貝殻を使った方法が「やってみよう」という二次的な実験で紹介してある。量を加減すれば性質が分かるのに十分な量の気体が発生するので、このように身近なものを使った実験方法をできるだけ多く採用することが好ましいと思われる。日本の第1学年の花や実の汁を使った実験では、紫キャベツやアサガオなどのアントシアン系色素が酸やアルカリに出会うと色が変わるという楽しい活動であるが、その後、第6学年まで液性に関する学習をしないので、学習上相互の関連を考慮し、工夫が必要である。リトマス試験紙の使い方も、食品などでもっと盛んに使いたいものである。西ドイツの、混合物と化合物の違いの学習では、硫黄と鉄粉の混合物の反応前と反応後の違いで、日本では中学校の課程で取り扱われる。日本の教科書にはいわゆる化学薬品が多く登場する。ほう酸、塩酸、水酸化ナトリウムなど他の国にはでてこない。

#### 4. 「光」に関する学習内容

表4は、「光」に関する学習内容である。低学年で、影絵遊び、影踏み遊び、鏡を使った遊びなどで光に対する興味を抱かせる下位学習段階の後、中・高学年でレンズや水などを通る光の屈折や反射などの上位学習段階に発展していく。日本の教科書の、日光による物の温まり方の学習は、無理にレンズで温めて「光」の単元で学習しているような気がする。レンズで温める必要はなく、むしろ太陽エネルギーとした方が関連があるような気がする。空気中の光の通り道を見せ易くするために、線香の煙を使ってチンダル現象で見せるのは、日本らしい工夫であるが、虹のよちうにきれいなものが日本では扱われていないことは残念なことである。アメリカの教科書では、偏光、光の粒子性と波動性、分光器など日本の高等学校で学習するような高度な教材が多い。しかし、椅子の脊もたれを偏光板に見立てて、直交させて光が透過しない様子をモデル化しているところは、大変分かりやすい。また、炎色反応は星の色の学習に発展する。アメリカでは、「光」と「音」は、光も音も波の性格を持っているので大体平行させて学習させている。イギリスの教科書では鏡や凹面鏡、凸面鏡への物の映りに主眼が置いてあり、

表4 4か国の「光」に関する学習内容

国名	学年	第1学年	第2学年	第3学年	第4学年	第5学年	第6学年
日本	影絵 影踏み			鏡の反射 虫めがねで日光を集める		光の直進・屈折 レンズや水中での光の進み方 日光による物の温まり方	
アメリカ		影絵 プリズム 虹 鏡の反射		反射・乱反射 偏光、光の直進 虫めがねで日光を集める レンズや水中での光の進み方		プリズム 太陽スペクトル 光の粒子性と波動性 分光器 炎色反応	
イギリス	影絵	万華鏡			凹面鏡、凸面鏡 鏡への物の映り方	虫めがね 望遠鏡	
西ドイツ		影絵、鏡 影踏み 凹面鏡 凸面鏡				プリズムとスペクトル、反射、透過 凹面鏡、虫めがねで光を集める レンズや水中での光の進み方 ピンホールカメラ、写真機、近視と遠視	

他3か国の教科書とは異質である。西ドイツの教科書では、物が見えることは光が当たっていること、光により色の見え方が違うこと、自分で光を出すものと他の光を受けて光るものがあることも学び、それに関することとして、月の満ち欠け、日食に学習が展開される。ピンホールカメラ、写真機、近視と遠視についての学習もレンズが使われるので、同じ単元で学習される。

## む す び

日本、アメリカ、イギリス及び西ドイツの4か国の第1学年から第6学年までの理科教科書から、物理・化学分野に関する教育内容を抽出し、内容、取り扱い方及び実験方法などを比較検討した。物理・化学分野は気候や風土による違いがあまり見られない上に、「生活科」誕生に伴い物理・化学分野に関する教材の取り扱い方が現在問題になっており、いろいろな意見が出されている。4か国における教科書の物理・化学分野の教材を比較することにより、どこに改善の余地があるか、また、削除可能な内容は何かを考察し、より現代的な理科教科書のあり方を検討した。抽出した物理・化学分野に関する内容を、更に細かく「力・エネルギー」、「物理的变化」、「化学的变化」、「光」、「音」、「電気」及び「磁気」の7つの内容に分けた。教科書の中で重視している学習内容に国ごとの違いはあまり見られなかった。内容の程度に多少の差異が見られるものの、学習展開の順序や、学習する学年に大きな相違はなかった。これは4か国で児童の知的発達段階に共通した認識があることによる。また、7つの内容に細分化したことにより、毎学年で学習の積み重ねを要する内容と、児童の自主的な活動を重視する段階および児童が科学的物の見方・考え方を駆使して学習する段階の2段階に分かれている内容があることも分かった。

日本の教科書では、温度計、上皿天秤、メスシリンダーなど測定器を用いて定量的な実験が多いのが特色である。しかし、これは正しく操作されないと測定誤差によって誤った結果にな

ることが多く、このためしばしば児童が失敗感を味わう危険性がある。また、理科実験器具を使った実験が多く、応用力の発達していない児童にとっては、理科学的な理解の仕方を生活の中から感じるができず、単なる一科目となってしまう可能性がある。ゆとり教育のためか、日本の理科の教科書の中で生活に密着した理科の実験「やってみよう」は、単元末に記載されているものが多い。「ゆとりある教育」で余った授業時数に「自主的実験」をやればよいという姿勢がみられるのは残念なことである。他の3か国の教科書で学習しているのに日本の教科書では学習していないという内容は見あたらなかった。むしろ、一部の内容の中には、日本の教科書でかなり深く学習しているものもある。

小学校での理科の内容は、「深く」より「広く」が大切で生活体験の中から理解することが重要である。これが抽象化した概念を要求すると、理科は、「分からない」、「楽しくない」科目になりかねない。「わかる理科」、「たのしい理科」を目指すためには児童の活躍の場を生活に密着したものから、広く選択できるものにすべきであろう。低学年理科が「生活科」として再編成されるようになって、先述の7つの項目をひと通り学習するのは当を得ていると考える。つまり「深まり」より「広まり」を重視すべきであると考え。また、最先端科学技術に児童の関心を向かせるため、例えば超伝導や光ファイバーなどを話題として取り上げることも必要であろう。理科、特に物理・化学は日常生活の体験から普遍的な原理、原則を抽出する分野である。この自然科学的なものの見方・考え方を児童に修得させるには、性急な知識を押し売るだけではうまくいかず、あくまで自主的な実験、観察が不可欠であり、まず、これが楽しいものであるように教材の選択と工夫・指導がなされなければならない。これから実験の立案と結果を図表化することにより、定量的理解を自ら引き出すことが可能となろう。今回の調査では物理・化学分野に絞って内容を細かく検討したので、中等教育での生物分野への履修の偏りの原因がはっきりしなかった。しかし、物理・化学分野がもっと生活感のあるものになれば、児童にいつそう好まれるに違いないと考えている。

## 文 献

- 1) 藤川千枝, 藤井富美子: 名古屋女子大学紀要, **32**, 87~97 (1985).
- 2) 藤川千枝, 藤井富美子: 名古屋女子大学紀要, **33**, 65~73 (1986).
- 3) 文部省: 幼稚園教育指導書・領域編 自然, 1~3, フレーベル館 (1970).
- 4) 文部省: 小学校指導書理科編, 12, 大日本図書 (1978).
- 5) Brandwein P. F. & others: Concept in Science. Curie Edition. Teacher's Edition, 16~17, Harcourt Brace Jovanovich, Inc. (1980).