

教科書の内容を補完する教材・教具開発についての研究

— 認知心理学を基にした開発の視点 —

鎌田 潤一^{*1}・和泉 研二・河村 美成^{*2}

A Study on Educational Materials to Supplement the Contents of Textbooks
-A viewpoint of development based on cognitive psychology-

KAMADA Junichi^{*1}, WAIZUMI Kenji, KAWAMURA Yoshinari^{*2}

(Received January 6, 2016)

キーワード：認知心理学、科学的概念の形成、開発の視点

はじめに

本論文は、本「研究紀要（第37号，39号）」に投稿した「教科書の内容を補完する教材・教具開発についての研究」の続編である。これらは、中・高学年別に理科の教科書の不十分な部分を洗い出し、子どもの科学的概念を形成するために、どのような教材・教具を補完すれば効果的であるかについてまとめたものである。

子どもが授業にもち込む既存の経験や知識は学年ごとに異なり、それに応じて補完する内容を仕組んできたのだが、必ずしも教師の思いどおりの効果が現れたわけではない。そこで、今回は認知心理学の諸研究を参考に今までの実践を考察し、教材・教具を開発するための視点を見出すことができればと思っている。

1. 教科書の内容を補完することの必要性

1-1 理科教育の現状

理科離れが叫ばれて久しいが、筆者がかかわってきた子どもたちの授業に取り組む様子を見てみると、本当にそうだろうかと疑問を感じている。その答えが、TIMSS（表1）や全国学力・学習状況調査（表2）の結果に示されている。これらからも分かるように、小学校の子どもは、理科から離れてはいない。

表1 国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）の質問紙における肯定的回答 [%]

	実施年	小5	中2
理科の勉強は楽しい	2003年	81	59
	2007年	87	59
	2011年	90	63
	国際平均 (2011年)	88	80
理科が好きだ	2003年	81	62
	2007年	82	52
	2011年	83	53
	国際平均 (2011年)	86	76
将来、自分が望む仕事に就くために、数学、理科でよい成績をとる必要がある	2003年		39
	2007年		45
	2011年		47
	国際平均 (2011年)		70
理科を使うことが含まれる職業に就きたい (新規項目)	2011年		20
	国際平均 (2011年)		56

表2 全国学力・学習状況調査の質問紙における心・意欲・態度に関する項目の小6→中3 (同一世代) の肯定的回答の変化 [%]

	小6 H24	中3 H27	差
勉強が好き	理科：81.5	理科：61.9	理科：-19.6
	国語：63.3	国語：60.4	国語：-2.9
	算数：65.1	数学：56.2	算数：-8.9
勉強が分かる	理科：86.0	理科：66.9	理科：-19.1
	国語：83.3	国語：74.5	国語：-8.8
	算数：79.1	数学：71.7	算数：-7.4
勉強は大切	理科：86.4	理科：69.7	理科：-16.7
	国語：92.7	国語：89.8	国語：-2.9
	算数：93.0	数学：82.7	算数：-10.3
将来役に立つ	理科：73.4	理科：54.6	理科：-18.8
	国語：88.9	国語：84.1	国語：-4.8
	算数：90.4	数学：72.3	算数：-18.1

* 1 山口大学教育学部附属光小学校 * 2 周南市立勝間小学校 (元山口大学教育学部附属光小学校)

しかし、理科離れの原因を中学校だけに押し付けてよいものだろうか。小学校にも、その原因がありはしないだろうか。この疑問に答えるため、小学校理科の目標にある「実感を伴った理解」に焦点を当ててみる。

1-2 「実感を伴った理解」を図ることの意義

小学校学習指導要領解説理科編には、「実感を伴った理解」の三つの側面とその解説が以下のように示されている。

- ・具体的な体験を通して形づくられる理解：自然に対する興味・関心を高めたり、適切な考察を行ったりする基盤となるものである
- ・主体的な問題解決を通して得られる理解：理解がより確かなものになり、知識や技術の確実な習得に資するものである
- ・実際の自然や生活との関係への認識を含む理解：理科を学ぶことの有用性を実感し、理科を学ぶ意欲や科学への関心を高めることにつながるものと考えられる

「実感を伴った理解」を図ることの意義は、上記のものと言ってよいだろう。では、「実感を伴った理解」が図られない授業が続くと、どのような事態が起こるのだろうか。筆者の考えは以下の3点である。

- ・教科書にある内容の丸覚えでテストに対応 ←子どもにもよるが、小学校では通用する
- ・観察、実験が成立しない ←目的意識をもつことができないため、活動を通して学ぶことができない
- ・科学的な見方や考え方が育たない ←「ああすれば、こうなるはずだ」、「このことから、こういうことが言える」、「誰もが納得するだろう」等の見方や考え方が身に付かない

「実感を伴った理解」が図られない授業が続いても、テストには対応できるかもしれない。しかし、子どもの思考を働かせる活動につながりがなく、獲得した知識も断片的なもので終わってしまう。そのため、小学校の時期に科学的概念を形成するための見方や考え方が身に付いていないので、学習内容がより抽象的になる中学校では、今までの学習の仕方では通用せず、その結果、理科離れという事態が起きてしまうというのが筆者の主張である。

1-3 教科書の不十分さの一例

「実感を伴った理解」は、観察、実験の経験や、教科書、メディアから得た知識、他者の見方や考え方等が関連付けられ、「構造化された概念」の形成につながるものと考えられる。この前提に立って、第4学年「物の温まり方」の内容を見てみる。小学校学習指導要領解説理科編には以下のように示されている。

金属、水及び空気を温めたり冷やしたりして、それらの変化の様子を調べ、金属、水及び空気の性質についての考えをもつことができるようにする。

イ 金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること。

教科書もこれに準じ、実験方法こそ違いがあるものの、金属、水及び空気の温まり方を調べ、それぞれの温まり方をとらえさせる流れである。ただ、筆者は、「なぜ、温まり方に違いがあるのか」という原理にまで踏み込んでいないところに不十分さを感じている。そうしないと、実験したとはいえ、それぞれの温まり方についての知識を「経験の丸暗記」に頼るしか手段がなく、「構造化された概念」にまで至らないからである。

1-4 研究の目的

小学校においても、自然の事物・現象のとらえで終わらせず、その原理を追究していくことが、中学校における理科離れを防ぐことにつながると考える。そこで、今までの研究の成果と課題を精査し、それらが現れる原因を突き止めることで、より精度の高い教材・教具を開発するための視点を探る。

2. これまでの授業実践を通して

2-1 各学年における子どもの実態

教科書にどのような教材・教具を補完すると、子どもの科学的概念が形成されるのだろうか。それを解明するためには、まず、子どもの実態を把握しておかなければならない。ここでは、筆者の今までの実践を振り返り、子どもが授業にもち込むと考えられる既有的経験や知識、授業で見られる態度等をまとめる。

○第3学年の実態

子どもの予想は、生活経験を主な根拠としている。重さ、風やゴムの力、光の学習は、身近な内容を扱っているため、予想の理由が明確で、予想どおりの実験結果を得ることが多い。磁石や電気の学習も身近な内容を扱っているが、極や磁化、回路等は日頃意識していないため教師の手立てを必要とする。

また、思い込みが強いこともこの学年の特徴である。身近な内容であるだけに、すでに誤概念を含む場合もある。「力が加わると重くなる」、「太陽が現れる時間が長いほど影が長くなる」等がその例である。その他、類推して考えることが難しいことも感じる。粘土の重さについて調べたことがアルミホイルの重さに適用されないことや、磁石の極をとらえた後も強い棒磁石は中央にもクリップが付くと考えること等がその例である。これらは、観察や実験を通して修正できるので、早めに手を打つことが必要である。

○第4学年の実態

子どもの予想は、生活経験の他、本やテレビ等で得た知識を根拠としている。内容も力や熱、空気等、実体をとらえにくいものを扱うため、「圧力」、「対流」、「水蒸気」等、習っていない用語を使って説明する姿に「よく知っているな」と感心させられることもしばしばある。

しかし、独自に得た知識が増えることにより、誤概念を含む説明が多くなるのもこの学年の特徴である。「空気と熱が混ざって体積が増える」、「空気が水蒸気になる」等がその例である。教師は、子どもの何とか説明しようとする姿勢を尊重しながらも、「分かったつもり」で済まさないよう、観察、実験を通して誤概念の修正に努めなければならない。

○第5学年の実態

この学年になると、生活経験よりも、図書やテレビ、通信教材等から得た知識を頼りに予想や仮説を立てるようになる。様々なことに興味が広がり、それだけ知識が増えていくが、内容が流水の働きや電磁石の仕組み等、自己の生活経験だけでは説明しきれないことが多くなるため、もっている知識を類推しながら説明する姿が見られるようになる。協同性や客観性も身に付いてきて、他者と共に活動を進めることで、自己の見方や考え方を広げることができるようになるのもこの時期の特徴である。

また、学年が上がることで、見方や考え方が発生的に変わるのはないかと感じることもある。例えば、水に食塩を溶かしたとき、第3学年の子どもの多くは、「食塩の重さが無くなった」と考えるが、第5学年になると、「食塩は、見えなくても水の中にあるので、重さは変わらない」と考えるようになるのである。

○第6学年の実態

子どもの実態は、第5学年と同様で、授業外で得た知識を問題解決に生かそうとする。ただ、化学反応や体内のつくりと働き、土地の成り立ち等、目で確かめることが難しい、或いは日頃意識していない内容を扱うため、既存の経験や知識を基に類推したり、知識相互を関連付けたりする力が必要となる。前述の食塩水の重さの例は、この力が働いたものと考えられる。ただ、子どもにとって、この類推や関連付けの力を働かせるのは難関であり、ここに理科離れに向かうか否かの原因が潜んでいるのではないかと考えている。

2-2 教材・教具を補完した授業実践例

実践事例1 第5学年「電流と磁力の関係を探る ～電流の働き～」

○授業者の意図

小学校学習指導要領解説理科編には、「電流が流れているコイルは、鉄心を磁化する働きがあり、…」とあり、教科書にも同様のことが書かれているが、コイルの巻き数を増やすと電磁石が強くなる原理についてふれていない。子どもの中には、巻き数を増やすと電流が大きくなるという間違った考えをもつ者もいる。

そこで、鉄には分子磁石が含まれていて、その向きが揃うと磁力が発生するという考え方(図1)や、電流が流れると導線に磁力が発生する現象(図2)を単元に補完することで、コイルの巻き数を増やすことで電磁石が強くなる原理を子どもがどこまで探ることができるか試みた。

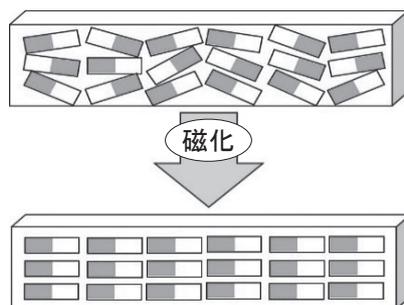


図1 分子磁石の考え方

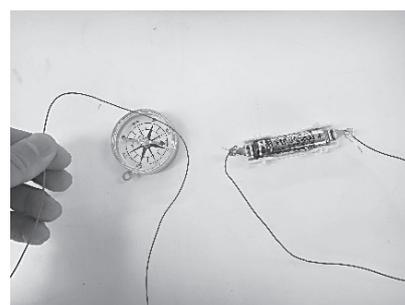


図2 導線に生じる磁力

○単元構成

教科書の単元構成に、新たな教材・教具を補完したものを図3に示す。

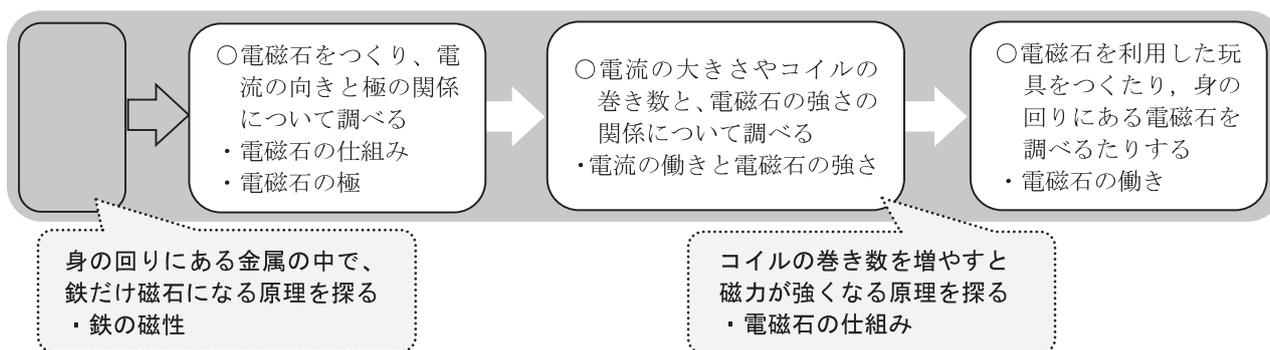


図3 第5学年「電流と磁力の関係を探る ～電流の働き～」の指導計画

○子どもの反応

鉄釘を着磁、消磁させる実験と、分子磁石の並び方を示したモデルの関連を見出すことで、鉄が磁石から磁力を受けて磁化される原理はとらえることができた。

しかし、コイルの巻き数と電磁石の強さの関係をとらえることは難しかった。コイルに電流を流すと磁力が発生することはとらえたが、その磁力が鉄心を磁化させ電磁石になることを見出したのは、45分間の授業の中で数名しかいなかった。

実践事例2 第3学年「重さはかわるか!? ～物と重さ～」

○授業者の意図

この学年の子どもは、物に力や熱を加えると重さが増えると考えることが多い。そこで、力と熱がかかわる刀鍛冶(図4、図5、図6)を取り上げることで動機付けを図り、力や熱によって重さが変わるかどうかを探らせることを試みた。



図4 炭火の熱さを加える



図5 水の冷たさを加える



図6 金槌で力を加える

○単元構成

教科書の単元構成に、新たな教材・教具を補完したものを図7に示す。

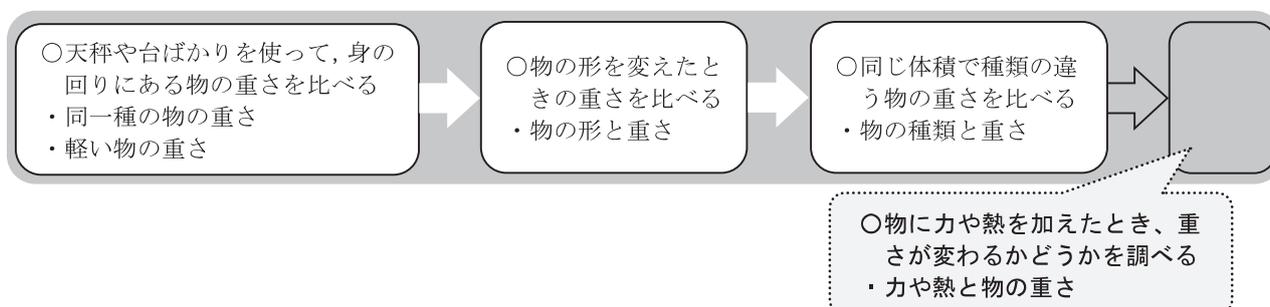


図7 第3学年「重さはかわるか!? ～物と重さ～」の指導計画

○子どもの反応

前時に粘土の重さ比べをしていたことで、力により重さが変わると考えたのは少数であったが、熱さ、冷たさにより重さが変わると考えたのは大半であった。

教師は、刀に見立てた鉄釘に力や熱さ、冷たさを加えても重さが変わらないことを演示し、子どもは、折りたたんだアルミ箔や和紙に力や熱さを加えても重さが変わらないことを確かめた。また、両者を水で冷や

したとき、冷たさではなく、含んだ水によって重くなったこともとらえることができた。このように、力や熱には重さがないという見方をもつことができ、「風呂に入ると体重は変わるか」の問いに、「体が温まるだけでは体重は変わらない」、「髪に水を含むと重くなる」等のように答えることができた。

実践事例3 第6学年「見える変化と見えない変化 ～燃焼の仕組み～」

○授業者の意図

本来、化学変化を扱う単元であるが、「水溶液の性質」における「アルミニウムと塩酸が結びついて、白い物になった」のように、何かと何か結びついて別の物に変化したという見方や考え方をさせるのは難しい。「酸素が使われて二酸化炭素ができた」で終わってしまい、「何かと酸素が結びついて、二酸化炭素に変化した」とはならないのである。そこで、周期表(図8)を参考に原子記号と化学式を用い、炭素と酸素が結びついて二酸化炭素が生成される(図9、図10)という見方や考え方ができるか試みた。



図8 周期表の活用



図9 酸素中での炭素の発火



図10 酸素中での鉄の発火

○単元構成

教科書の単元構成に、新たな教材・教具を補完したものを図11に示す。

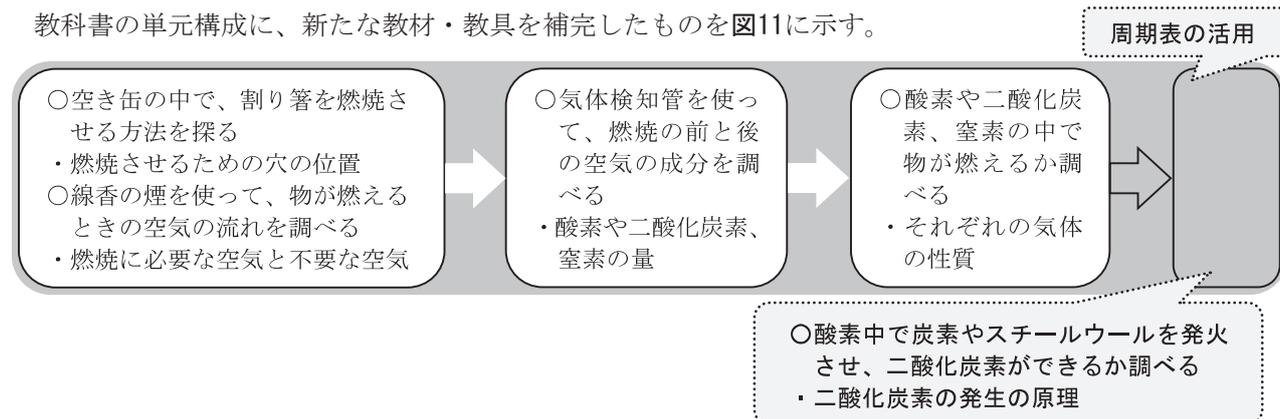


図11 第6学年「見える変化と見えない変化 ～燃焼の仕組み～」の指導計画

○子どもの反応

子どもは、原子、分子の用語や、 H_2O 、 O_2 、 CO_2 等の化学式を見聞きしているので、周期表を使って「水は水素と酸素が、二酸化炭素は炭素と酸素が結びついたもの」等のようにとらえは容易にできた。

物を燃やすと二酸化炭素ができる仕組みを確かめるために、炭素(活性炭)と鉄(スチールウール)を酸素中で発火させる実験を行った(図9、図10)。炭素では二酸化炭素ができ、鉄ではできないことを確かめた結果、燃焼のとき、物に含まれる炭素と空気中の酸素が結びついて二酸化炭素ができると結論付けた。

授業では理解が図られたように思えたが、子どもは本当に中学校レベルの内容を理解できたのだろうか。そのことを確かめるために、4か月後、次のような調査を行った。

設問 割り箸を燃やすと二酸化炭素を発生するのはなぜですか。『酸素』という言葉を使って説明しましょう。(平成25年度6年1組30名に実施)

①空気中の酸素が、割り箸に含まれる炭素と結びついて二酸化炭素に変化する(中学校レベル)

…………… 6.7%

②空気中の酸素が、割り箸を燃やすことによって二酸化炭素に変化する(小学校レベル)……………93.3%

学習前、子どもの考え方に「炎が酸素を取り入れて二酸化炭素を出す」というものが多かったが、調査結果が示すとおり、今回の授業を仕組んでも、子どもの見方や考え方は、更新されたとはいえない。原子、分子という用語や、化学式が使えているように見えても、燃焼についての概念はできていないのである。

実践事例4 第6学年「化学変化の仕組みを探る ～水溶液の性質～」

○授業者の意図

鉄やアルミニウムが塩酸に溶けると、別の物（塩化鉄、塩化アルミニウム）に変えられる。それで終わってしまえば、塩酸に溶けた物は必ず化学変化が起きているという見方や考え方もたなくなってしまう。そこで、モデル（図12）を使って化学変化と溶解の違いを説明し、食塩が塩酸に溶けても化学変化を起こさない（図13、図14）ことをモデルによってとらえることができるか試みた。

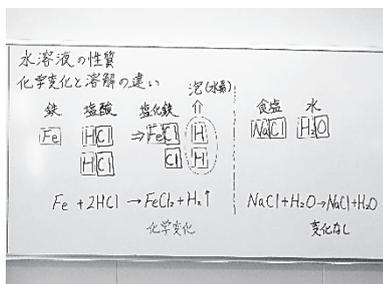


図12 モデルを使った事前の説明

図13 結晶の取り出し

図14 食塩であることを確認

○単元構成

教科書の単元構成に、新たな教材・教具を補完したものを図15に示す。

周期表の活用

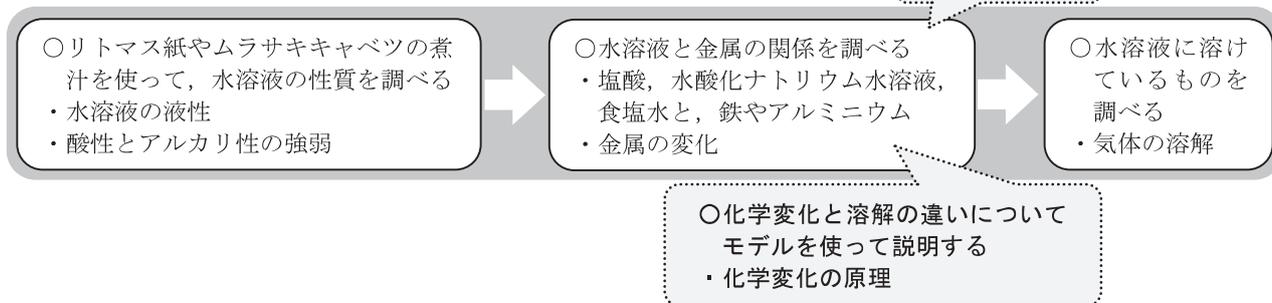


図15 第6学年「見える変化と見えない変化 ～燃焼の仕組み～」の指導計画

○子どもの反応

図12の説明後、予想の段階で化学変化を起こさないことをモデルで説明（図16）する子どもがクラスの1/4程度いた。これらの子どもは、化学変化が起こらないことを確かめようと思通しをもって実験に向かっている。それ以外の子どもも多くも、食塩を溶かした塩酸から食塩が取り出せることを実際に確認した後は、

予想の理由を示した板書を見て納得していた。このようにして、塩酸に溶かしても化学変化が起こらない場合もあることを現象とモデルを関連付けてとらえたのである。次の問い「塩化鉄が塩酸に溶けても化学変化を起こすか」については、半分以上がモデルで考えることができた。

ただ、モデルで考えることができない子どもは、予想を立てるとき、前時に行った実験やイメージに頼るしかない。「鉄やアルミニウムを変化させたから」、「薬品だから」と理由付ける、または分からないとなるのである。このような子どもは、1時間の実験だけでなく、単元における問題解決相互にもつながりをもたせられないのである。

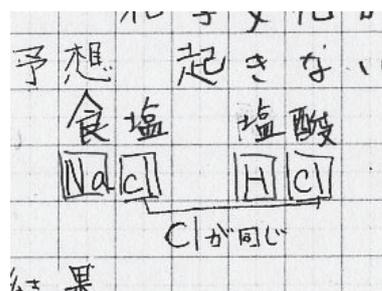


図16 モデルを使った説明の例

2-3 新たに浮かび上がった課題

前項の四つの実践事例は、力、熱、磁力、原子や分子のように実体をとらえられないものを扱っている。そのような学習内容であっても、教材・教具を補完することで子どもの「実感を伴った理解」を図り、科学的概念の形成を目指したのだが、必ずしも教師の意図どおりになったわけではない。手立てが足りないだけでは片付けることのできない、子どもにとっての「壁」を感じるのである。

その「壁」ができる原因が発達段階にあると考える。どの学年で、どこまでできて、どこからができないのか、その解明を目指して研究を継続することとした。

3. 認知心理学についての諸研究に照らした考察

子どもにとっての「壁」ができる原因を解明するために、認知心理学に関する文献から参考になるものを抜き出し、それを基に筆者の授業実践を考察する。

3-1 J.ピアジェの発達段階の概要

J.ピアジェの発達段階の内、小学校に関係する具体的操作と、形式的操作の概要を以下に示す。

具体的操作期（主に低・中学年）

知覚可能で手で操作できるような具体的な対象、あるいは直接イメージできるものについては思考における操作が可能になる。複数の視点から物事を考えられるようになり、数、量、重さについての保存概念や、時間、空間に関する概念、操作したものを基に戻すといった可逆的な思考ができるようになる。概念も階層化されてきて、論理的に思考を行う基礎が整えられてくる。

しかし、構造的には同じ操作を必要とする課題であっても、その内容によって操作が容易であったり、困難であったりする。また、具体的なものから切り離された抽象的な対象に関する論理的思考は十分行えず、仮説も仮定であるため、この時期の子どもには難しい。

形式的操作期（主に高学年から）

具体物がなくても、言語や記号等を用いた抽象的な操作が可能になる。この時期に入ると、現実を可能性のひとつとらえたうえで、潜在的な可能性を考慮し、仮説に基づいた論理的思考を行えるようになる。仮説は対象ではなく、命題なのであって、その仮説の内容は類や関係などについての命題内操作からなる。

○発達段階を基にした考察

2-1で示した各学年における子どもの実態については、概ねJ.ピアジェの発達段階に沿っていることがうかがえる。複数の視点から物事を考えることができるようになると概念の階層化が図られ、客観的に観察、実験の結果を見つめたり、他者と活動することに有用性を見出したり、類推や関連付け等によって未知のことについても論理的に思考を働かせたりするようになるのである。

実践事例2は、発達段階から見ても3年生の子どもに適していたと言える。物の重さは日常感じていることであり、物に力や熱を加えることについても実際に試しているからである。授業の終末で扱った「バットで打った後のボールの重さ」や、「風呂上がりの体重」についても、具体的な場面を頭の中で操作できたことから、科学的に理由付けることができた。

実践事例4は、化学変化をモデルでとらえさせるという試みであるが、小学校でも扱えるのではないかという手応えを感じている。原子や分子に関心を持ち始めるという時期であることも、モデルを受け入れる要因であろう。1時間の授業であるが、モデルで考える方法を知ったことで、化学変化と溶解の違いを、現象でとらえるだけでなく、その原理にまで追究することができるのではないかと考える。

逆に、**実践事例1**は、モデルでとらえさせることの限界を感じた。磁石による鉄釘の磁化は、実験の様子と分子磁石のモデルを関連付けてとらえることはできたが、電流が流れるコイルによる鉄釘の磁化は、同じようにはとらえることはできなかった。コイルの磁力がクリップを引き付ける程ではないことから、現象とモデルの関連付けが難しかったと考えられる。**実践事例3**も、現象とモデル（元素記号、化学式）の関連付けが難しいと言える。酸素や二酸化炭素、物に含まれる炭素は視覚的にとらえられないものであり、二酸化炭素が発生したことを石灰水で間接的にとらえなければならないところに、その難しさがあると考えられる。

3-2 J.S.ブルーナーの思考様式

附属光小学校理科部が、以前研究で取り組んでいたのが「物語（Narrative）」である。その参考としていたのが、J.Sブルーナーの著書であり、彼の提唱する思考様式を要約すると以下ようになる。

人間には、「論理—科学的様式（Paradigmatic Mode）」と、「物語様式（Narrative Mode）」二つの思考様式が存在する。「論理—科学様式」は、記述や説明に関する形式的な数学的体系の理念を実現しようとする。「物語様式」の特徴は、見事なストーリー、人の心をひきつけるドラマ、信じるにたる（かならずしも「真実」ではないにしても）歴史的説明などをもたらす。

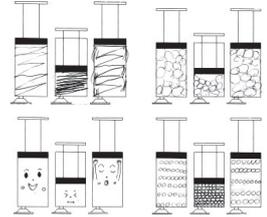
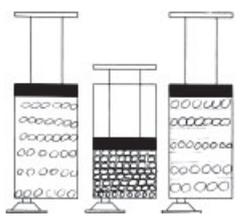
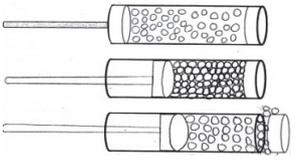
この二つの思考様式は、相補的であり、お互いに還元され得ない。

ここで、筆者なりの解釈を加える。

「論理－科学的様式」に当たるのが、形式的操作と言えらる。そのため、この思考様式が顕著に行われるのは、高学年からであると考えられる。

第4学年「空気と水の性質」では、空気の伸縮する様子を粒子モデルで考えさせる風潮があるように感じている。しかし、筆者の経験から言うと、この発達段階の子どもに、いきなり粒子モデルで考えさせるのは難しく、表3のようなステップを踏む必要がある。空気を押し縮める現象を確かめるステップから、粒子モデルで考えるステップの間に、空気をばねや泡等に例えたり、擬人化したりして考えるステップが要るのである。このステップでの考え方が「物語様式」であり、この考え方をした経験が、粒子モデルで考えるという「論理－科学的様式」を支えている。これが、J. S. ブルーナーの言う「この二つの思考様式は、相補的であり、お互いに還元され得ない。」を示している。

表3 空気の粒子モデルの指導の例

<p>①注射器に閉じ込めた空気の手応えを感じさせる</p> 	<p>②空気の様子を自由に表現させる</p> 	<p>③粒子モデルの表現方法について検討させる</p> 	<p>④空気鉄砲の玉が飛ぶ様子を説明させる</p> 
<p>注射器の筒の中を隠し、手応えから様々なイメージをもたせるようにする</p>	<p>始めは、空気を物に例えたり、擬人化したりする表現が多い</p>	<p>活動②を経ているので、伸縮の様子を表していることととらえやすい</p>	<p>粒子モデルが共通のツールとして、説明活動で使われるようになる</p>

○思考様式を基にした考察

実践事例4 では、化学変化と溶解の違いをモデルで説明する際、筆者は、子どもの「物語様式」を意識した。それぞれの原子を擬人化し、化学変化を起こすか否かを人間関係に例えたのである。

鉄を塩酸に溶かして化学変化が起こる説明は以下のとおりである（ここでは塩化鉄Ⅱを扱う）。

（図17を提示して）FeとHは赤グループで、Clは青グループ。赤グループと青グループは一緒になりたがる。Clは、普段Hと一緒にいるが、Feに出会うとその方と一緒にになりたがり移動してしまう。取り残されたHはかわいそうに思えるが、もう一つのHと一緒にになって気体となり、自由の身になって空気中へ逃げていく。

食塩を水に溶かす現象が溶解であることの説明は以下のとおりである。

（図18を提示して）NaとHは赤グループで、ClとOは青グループ。NaとCl、HとOは普段から一緒にいて、とても相性がよいので、混ぜ合わせても離れ離れになることはない。

遠回しに言ったつもりでも、子どもは自分に置き換えたり、中には男女関係に置き換えたりして自分なりの解釈していた。「論理－科学的様式」（或いは形式的操作）に「物語様式」が生かされた場面である。

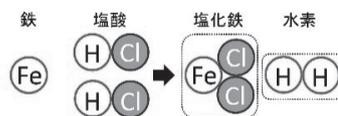


図17 化学変化の説明

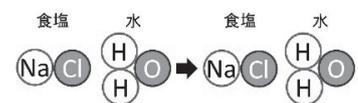


図18 溶解の説明

中学校の先生から批判を受けそうな、また、時として誤概念を植え付けてしまうような実践であるが、佐伯胖氏は、著書の中でこう述べている。

思考は、「具体から抽象へ」と発達するというが、人は本当に「抽象的に」思考できるのか、本当に「形式」に従って思考しているのか。（中略）もしかすると、人が「形式」を操作できるのは、その「形式」の意味づけや意義づけが感じられて、多少なりとも、現実の場面でのきわめて具体的な状況を「思い起こさせる」はたらきを失っていないからではないのか。

「物語様式」は、本来自分自身が働かせるものかもしれない。しかし、子どもが初めてモデルを見たとき、この思考を働かせる術がない。この実践のように、教師側からの提示も一つの手として考えられる。

3-3 枠組みに関する研究

スキーマ、シエマ、テンプレート等、対象を認知するための頭の中にある枠組みの総称は様々あるが、おおむね同じものとする。筆者が参考としている畑村洋太郎氏の著書から、枠組み（テンプレート）の概略を以下に示す。

世の中の全ての事物・現象は、いくつかの「要素」が絡み合う形で、ある「構造」をつくり出している。多くの場合は、異なる「構造」がいくつかまとまる形で成り立っていて、複数の「構造」が集まって出来上がったものを「全体構造」と呼ぶ。

「わかる」という感情は、目にした事物・現象が、頭の中のテンプレートと一致したときに起こる。理解の度合いには、「要素の一致」、「構造の一致」、「新たなテンプレートの構築」がある。

目にした事物・現象が「わかる」とき、それを認識するためのテンプレートがすでにあるということである。しかし、一見「わからない」という事物・現象についても、自分も持っているテンプレートを加工したり、新たなものをテンプレートに取り入れたりして「わかろう」とするのが「新たなテンプレートの構築」である。J.ピアジェの同化（もっている枠組みに対象を当てはめること）と調節（対象に合わせて、もっている枠組みを加工すること）に通じている。このことについて、彼は以下のように述べている。

同化が調節を上回るとき、思考は自己中心的な方向に、或いは自閉的ですからある方向に展開していく。調節が同化を上回るとき、表象及び感覚運動的行為は模倣の方向へと向かう。

○枠組みに関する研究を基にした考察

モデルでとらえさせることが難しい実践については、もっている枠組みでは対応できなかったことが分かる。モデルを扱った実践でも、**実践事例3**と**実践事例4**において、子どもの概念形成に大きな差が生まれたのは、モデルという新しい考え方が、受け入れられる場合とそうではない場合があることを示している。

枠組みについては、次のような実践もある。

実践事例4は、【モデルを使った化学変化と溶解の説明】→【問題】→【予想】→…の順で行ったが、隣のクラスでは、【問題】→【モデルを使った化学変化と溶解の説明】→【予想】→…で行った。問題意識をもたせた方が、モデルの説明が受け入れやすいと考えたからである。しかし、その効果は全くの逆で、予想でモデルを使って考えたのは当然皆無、次の塩化鉄を塩酸に溶かす問題でモデルを使ったのが1/4程度であった。調節が同化を上回ってしまい、分からない苦しさから逃れるために、近くの友達のノートを写してしまうのである。

4. 教材・教具を開発する視点

以上を踏まえ、子どもの科学的概念を形成するために、教科書の内容にどのような教材・教具を補完すればよいか、その開発の視点を教材研究の手順に沿ってまとめる。

4-1 視点1：問題解決につながりがあるか

教科書に提示されている問題解決を分析する際に、一つの問題解決だけでなく、単元に仕込まれている複数の問題解決相互につながりがあるかどうかを調べる必要がある。特に、予想や仮説を立てる場面で、その根拠に子どもの既習の経験や知識が生かしくないと感じたら、そこに教科書の不十分さがあると考えてよい。子どもの実態は学校によって違うので、生活環境や現在もっている興味・関心のある出来事等を生かして教材・教具を補完する必要がある。

また、教科書にある観察、実験が事物・現象をとらえるところで留まっているのか、その原理まで追究しているのかを確認する。第4学年「空気や水の性質」では、空気や水が押し縮められるかどうかの原理まで踏み込んでいるが、同じく第4学年「電流の働き」の直列回路、並列回路では、現象のとらえで終始している。だからと言って、この内容に教材・教具を補完すべきかと問われれば、筆者の経験に照らしても、そうとは言いきれない。このような、現象のとらえに終始するしかない内容は他にもある。

4-2 視点2：子どもの発達段階に適しているか

補完する教材・教具が、具体的なものか、抽象的なものか、或いは具体的なイメージをもたせるものか、抽象的なイメージをもたせるのかに留意しなければならない。これは、中学年、高学年で区切って考えるの

が適当であろう。

中学年では、実際に扱える教材・教具がよいが、電流や水蒸気等、抽象的な内容もある。モデルを活用することも一つの手であるが、できるだけ事物・現象とかがわからせることで、モデルとの関連付けを図らせることに努める必要がある。

高学年においても、抽象的な考え方が身に付いているわけではない。子どもは分かってくれるものと考えていても、思わぬ結果を招いてしまう要因はここにもある。中学年と同じく、抽象的な内容を扱う際も、実際の事物・現象のイメージが引き出せるように留意する必要がある。

4-3 視点3：単元や授業の構成は適切か

同じ教材・教具でも、単元や授業のどの場面で扱うかによって効果の現れ方が違うのは、3-3（化学変化と溶解をモデルで説明した例）で示したとおりである。このように、子どもが初めて扱うもの、継続して扱うものについては、早めに扱わせるのがよいと思われる。

どの場面で扱うかについて、子どもの興味・関心がかえって妨げになることも考えられる。中学年では、観察、実験を行うこと自体が新鮮であり、高学年についても、科学に対するあこがれをもっている。魅力のある教材・教具であっても、単元の中でどのような扱い方を考える必要がある。

おわりに

本論文を作成するにあたって、多くの認知心理学の文献を参考にすることができたのは、筆者にとって大きな財産となった。普段は、授業を行うことだけに終始しているが、開発してきた教材・教具の効果を信頼のおける先行研究によって裏付け、改善の視点を見出すことができたからである。

最後の項において、教材・教具を開発する上での視点を三つ述べた。発達段階や思考様式、枠組みについての研究を基にしているが、まだまだ曖昧な部分が残っている。今後は、この視点の下で実践を積み重ね、公立小学校の教員にも広く紹介できるように改善を図っていきたい。

引用・参考文献

文部科学省ホームページ：国際数学・理科教育動向調査（TIMSS2011）のポイント

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/detail/1344312.htm

国立教育政策研究所ホームページ：平成27年度 全国学力・学習状況調査の結果について（概要）

<http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/index.html>

文部科学省：「小学校学習指導要領解説理科編」，大日本図書株式会社2008.

鎌田潤一：「教科書の内容を補完する教材・教具開発についての研究 ー第3学年、第4学年の実践を通してー」，山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第37号，2014.

鎌田潤一：「教科書の内容を補完する教材・教具開発についての研究 ー第5学年、第6学年の実践を通してー」，山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要第39号，2015.

科学技術週間：「一家に1枚元素周期表」，ホームページ<http://stw.mext.go.jp/series.html>

無藤隆・森敏昭（監修）青木多寿子、戸田まり（編著）：「児童心理学」，学分社，2009.

J.ピアジェ（著）、中垣啓（訳）：「ピアジェに学ぶ認知発達科学」，北大路書房，2007.

藤村宜之（編著）：「発達心理学」，ミネルヴァ書房，2009.

若き認知心理学の会：「認知心理学者教育を語る」，北大路書房，1993.

新しい教育心理学者の会：「心理学者教科教育を語る」，北大路書房，1995.

J.S.ブルーナー（著）田中一彦（訳）：「可能世界の心理」，みすず書房，1998

鎌田潤一：「実感を伴った理解を図る理科の指導に関する研究 ー問題解決を確かなものにするモデル図の活用を通してー」，平成21年度長期研修教員研究報告書、やまぐち総合教育支援センター，3-4，2009.

佐伯胖：「『わかり方』の探究」，小学館，2004.

佐伯胖：「『学び』を問いつづけて」，小学館，2003.

畑村洋太郎：「畑村式『わかる』技術」，講談社現代新書，2005.