

日本の小学校理科カリキュラムのISM法による分析

1968年と1989年告示の物理領域のカリキュラム比較

前田健悟, 三島嶽志

Analysis of the Elementary School Science Curricula in Japan Using the ISM Method

Comparison between the 1970s and 1990s Official Physics Curricula

Kengo MAEDA and Takeyuki MISHIMA

(Received September 1, 1999)

The instructional materials in physics used in the course of study for elementary school in Japan which was revised in 1968 and 1989 were analyzed using the ISM (Interpretive Structural Modeling) method. The hierarchical networks of instructional units obtained show the following features:

- 1) The curriculum revised in 1968 emphasized direct observation and experiment with natural phenomena in daily life and were planned to enable children to carry out intensive and systematic studies.
- 2) The teaching contents in the curriculum revised in 1989 were reduced compared with that in 1968 and refined to enable children to understand the basic scientific items.
- 3) The difference between the two curricula is clearly seen in the learning of dynamics.

Discussion of the instructional materials described in this paper is based on available reports.

Key words : elementary school, physics, instructional materials, ISM method

1. はじめに

日本の小学校理科カリキュラムの学習内容は、昭和33年以来、学習指導要領の改訂の度に精選・集約されてきた^{1,2)}。特に、平成元年告示の学習指導要領³⁾での理科と社会を統合した生活科の新設や、平成10年度告示の学習指導要領⁴⁾での総合的な学習の時間の導入により、理科の学習内容はかなり削減されている。このような状況において、これまで数回にわたり改訂されてきた理科カリキュラムを階層構造化し、学習内容のスコープやシーケンスを比較・検討することは、今後の理科教育を展望する上で極めて意義のあることと考える。

本研究では、昭和43年(1968)告示と平成元年(1989)告示の現行の小学校学習指導要領に見られる物理領域の理科カリキュラムを、ISM教材構造化法を用いて階層構造化し、両者間の学習内容についての相違を明らかにすることを試みている。昭和43年のカリキュラムを最初に取り上げた理由としては、それが学問中心カリキュラムまたは探究カリキュラムと呼ばれるように、自然科学の構造に重点を置き、自然現象の直接観察や実験が強調されて作られたカリキュラムであることによる^{1,5)}。

2. 分析方法

佐藤隆博は、学習目標やカリキュラムを分析し、構造化するための方法として ISM 教材構造化法を提唱し、その有効性を示している⁶⁾。ここで、ISM 教材構造化法について簡単に述べると、それは社会システム構造モデリング法の一つである ISM 法を基盤として⁷⁾、千村・佐藤によるグラフ理論、即ち C-S 配置により⁸⁾、教授ユニットの階層構造図を得るものである。これらのことから、ISM 教材構造化法は、筆者らが今回分析しようとする目的に最も適合した方法であると考えた。

分析に当っては、まず昭和 43 年告示と平成元年告示の学習指導要領に関する「小学校指導書・理科編」^{5,3)} 及び小学校の教科書を用い^{9,10)}、物理領域の学習内容をキー概念化し、要素として抽出した。次に、各要素を、佐藤が示した「前提、前後、相互」という 3 つの関係を用いて、関係付けた。この過程において、学習内容を、力・運動、弾性体・音、光、熱、電気、磁気の 6 つに区分して構造化することにした。このため、各学習の最上位のキー概念(基本概念)として、「物質」と「エネルギー」を用いて、全学習を統合できるように配慮した。

要素の関係付けができたところで、ISM 教材構造化法のために作成したソフトウェア¹¹⁾を用いて解析し、同時に要素の階層構造図を得た。C-S 配置で得られるパソコン上の階層構造図は、必ずしも要素の配置が見やすいものでないため、パソコン上で手動で修正された。なお、最良の階層構造図を得るためには幾度となく、最初のキー概念の抽出や次の要素間の関係付けの段階へ戻ることになる。

3. 結果と考察

3-1) 力と運動

図 1 に、力と運動に関する学習内容の構造図を示してある。図中、左側の図は昭和 43 年告示のカリキュラムであり、右側の図は平成元年告示のカリキュラムを示している。まず、構造図の見方について述べると、ISM 教材構造化法では、学習階層はレベルで示され、最も上位の学習要素

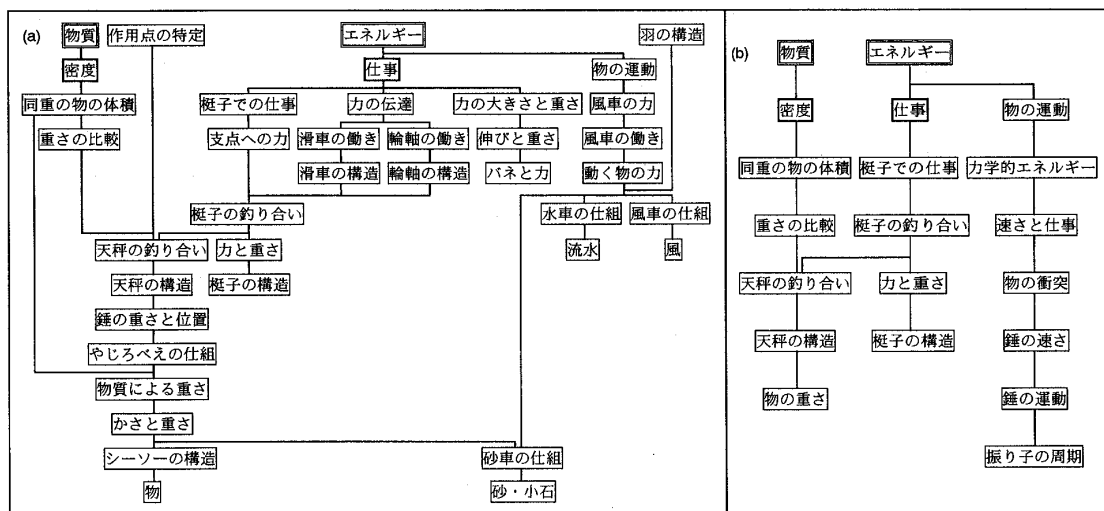


図 1 力と物の運動の学習階層構造。(a) 昭和 43 年告示, (b) 平成元年告示

はレベル0であり、下方に行くにつれてレベル数が増す。学習は下位レベルから上位レベルへ向かって進むことになる。例えば、図1(a)の左の系列に見られる学習では、レベル13の「物」から始まり、レベル12の「シーソーの構造」へと進み、最終的にはレベル0の二重枠線で囲われた基本概念の「物質」や「エネルギー」に達する。図中に太線の枠で示した要素は、小学校の学習の発展としてのキー概念を表している。

図1の(a)と(b)の左側に示してある力や重さの学習においては、その学習内容に大きな差異が認められ、現行のカリキュラムで残っている内容は天秤と槌子のみである。しかしながら、昭和43年のカリキュラムにあった「滑車」、「輪軸」及び「ばね」の学習が、理科教育にとって不要というわけではなく、それらは中学校のカリキュラムで集約されているに過ぎない¹²⁾。

また、「天秤の釣り合い」に至るまでの学習過程に相違が認められる。現行では、昭和43年で見られる「シーソーの構造」から「やじろべえの仕組」までの学習内容が行われなくなっており、単刀直入に、「天秤の構造」の学習から始まっている。昭和43年の構造化された学習系列からは、昭和43年では、物の重さを通じた物の種類やかさの認識をもう一つの別の基軸として、力の学習の展開を図ろうとしていることが読み取れる。従って、シーソーの遊具による学習は、単に物の釣り合いを学習するためのものではなかった。現行のカリキュラムでは、上皿天秤を使った「重さの比較」の学習に進んで、初めて物の種類やかさが認識され、それまでは物の重さは力の代用として取り扱われているに過ぎない。「重さの比較」では、質の異なる固体を同じ重さだけ測り取り、同一形状にして比べるという操作を行う。この操作に関しては、ピアジェの研究によると、物を変形させた場合の重さの保存は8~12歳、体積の保存に至っては12歳以上でようやく確立するといわれている¹³⁾。このことを考慮してか、次の新しい指導要領⁴⁾においては、現行のB区分(2)ーイの「重さは同じでも体積の違うものがあること」は削除されており、現行のカリキュラムの図で示した「物質」に至る学習は明確にはなされないことになる。

天秤や槌子の釣り合いの学習そのものにも、相違が見られ、昭和43年のカリキュラムでは、「作用点の特定」や「支点への力」の学習からも推察できるように、非対称な天秤棒まで含めた詳細な学習をするようになってきている。これらの中で「作用点の特定」の学習は、皿などを使ってある天秤の釣り合いを正確に理解させるためには必要であるが、非対称な天秤棒の学習については、重心によるモーメントまで関係しており、児童にとって釣り合い操作が困難な学習である¹⁴⁾。また、天秤や槌子の釣り合いを経験則として学習するのであれば、現行のカリキュラムでも十分と考えられる。徳永は、槌子の規則を経験則としてだけでなく、図1(a)、(b)に示してあるように、仕事の概念に結びつける学習過程について、一つの提案を示している¹⁵⁾。

物の運動の学習に関しては、図1の(a)と(b)の右側にある系列の比較からわかるように、全く異なった手法で学習カリキュラムが構成されている。昭和43年のカリキュラムでは、日常経験している自然現象の観察という観点から、物を動かす力を、風、流水及び落下する砂や小石に求めており、風車、水車、及び砂車の運動の学習へと進めている。物の運動の本質という点では、風車などの羽の形の学習内容が盛り込まれ、その学習は多岐にわたりすぎており、さらに、それらの教材の運動現象は多様な要因を持ち、単純化された科学的概念を認識させようとするにはかなり困難さを伴っている¹⁶⁾。

一方、現行のカリキュラムでは、物を動かす力を単純化した振り子の運動に求め、かなりすっきりとした形で物の運動の本質に迫った学習展開がなされていると考える。ただ、図1(b)に見られるように、振り子の周期(等時性)から学習が始まっているが、この学習に関しては、森が指摘した物の自由落下現象での学習¹⁷⁾と同じ問題を含んでいる。即ち、重い物は早く(速いスピード

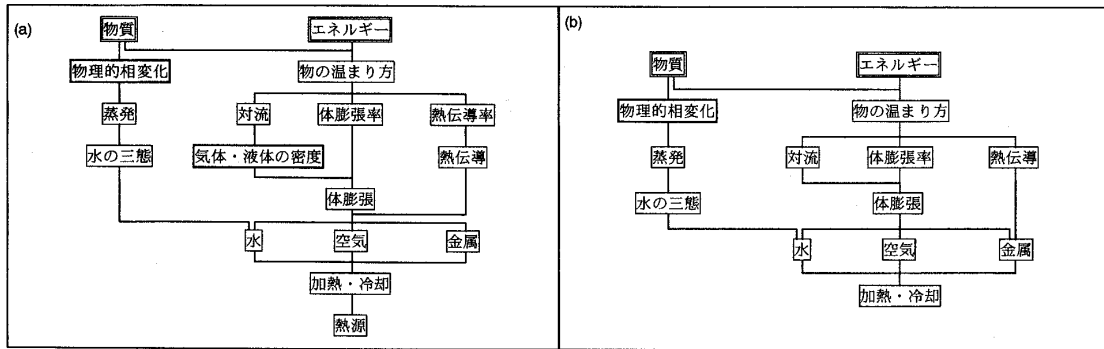


図2 熱の学習階層構造。(a) 昭和43年告示, (b) 平成元年告示

で) 落ちるといふ日常知¹⁸⁾を適用するならば, 実験だけからの結論では真の理解は得られないと考えられる。また, 振り子の等時性を利用した器具は, 最近の日常生活ではほとんど見られず¹⁹⁾, 単に学習したというだけに終わるのではないかと危惧される。

3-2) 熱

熱の学習は, 昭和43年と平成元年の両カリキュラムとも図2からわかるように, 気体, 液体, 固体の3つの相での体膨張と熱の伝わり方, 及び水の3態による相変化の学習から構成されている。それらの学習の中で, 熱の伝わり方としては対流と熱伝導を学習する。

対流現象は, 気体や液体の熱の伝わり方として学習するが, その現象を真に理解するためには, 物の密度に関連した概念の習得は避けて通れない問題であるが²⁰⁾, 平成元年のカリキュラムでは全く取り扱っていない。昭和43年のカリキュラムでは, 図中「気体・液体の密度」として示している学習において定性的にはあるが, 取り扱われている。ここでは, 密度という用語を用いて, 発展的な内容として示している。

熱伝導の学習に関しては, 現行のカリキュラムでは金属に限定して学習するのに対し, 昭和43年では水や空気についても言及している。このため, 現行では水・空気・金属の熱の伝え易さ(熱伝導率)を比較できず, 図2(b)において, 「熱伝導率」の学習が欠けている。対流現象が観測できる理由の一つとして, 空気や水は熱が伝わり難いという学習は必要であると考え。児童は熱を物と同一視することによって理解し始めるが²¹⁾, 熱伝導の学習は, 児童が熱概念を形成する過程で大きな影響を持っており²²⁾, 実験方法を工夫し, 緻密に指導されるべきである。

水の三態の学習は, 図では「水の三態」として一つにまとめて示しているが, 両カリキュラムともほぼ同じプロセスを辿っている。ただ, この学習を通して, 湯気や水蒸気が液体や気体であるという認識が, 児童に必ずしも定着するとは言えず^{23,24)}, 工夫の余地があると考え。また, 気体, 液体, 固体の分類も児童にとって困難な課題であり^{24,25)}, それらの概念の取り扱いを小学校でどの程度にするかを検討する必要もある。

3-3) 弾性体・音

音は, 音源の振動や音を伝える物の振動を考慮すれば, 弾性体と密接に関連している。このため, 図3に示すように, 弾性体と音の学習を一緒にして構造化を図った。

図3(a)と(b)の左側に示されている空気と水の圧縮の学習系列を比較すると, 昭和43年のカリキュラムで第2学年で取り扱われるレベル7の「水中の泡」の学習のみが異なっていることがわかる。しかしながら, 現行のカリキュラムでは学習指導要領に明記されていないが, 教科書で

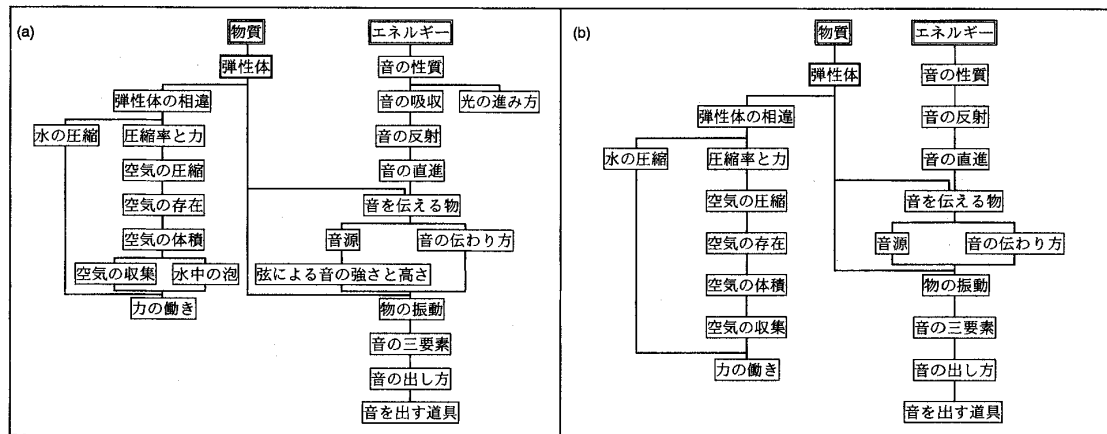


図3 弾性体と音の学習階層構造。(a)昭和43年告示,(b)平成元年告示

は水中での泡も学習するようになっており、実践レベルでは、全く2つのカリキュラムには変更がない。また、空気の弾性を認識させるための具体的な学習過程については、栗栖らが詳細な研究結果を報告しており²⁶⁾、筆者らも実践的な学習プロセスを示している²⁷⁾。レベル8の「力の働き」の学習は、日常の体験学習により、感覚的に事前に理解しておくべき内容として設けた。

次に、図3の右側に示されている学習系列、音の性質の学習階層構造を見ると、特徴的な相違の一つとして、昭和43年のカリキュラムに見られる「弦による音の強さと高さ」の学習が、現行のカリキュラムでは欠けており、中学校段階で取り扱うようになっていくことが上げられる¹²⁾。この理由としては、弦の振動数と音の高低の定量的な観察が、小学校で使用する観察器具の範囲内では困難であること、及び第3学年での学習ということが上げられ、現行のカリキュラムでは「音の三要素」の学習を感覚的な学習に留めてあると考える²⁸⁾。しかしながら、音の三要素の要因を認識することは基本的には必要であるので、もし学習に適切な実験器具があれば²⁹⁾、小学校の段階で学習すべきであると考えられる。また、昭和43年のカリキュラムでは、「音の吸収」の学習も行い、「光の進み方」の学習と関連付けて、音と光の類似性（波としての性質）を認識できるように構成されており、昭和43年のカリキュラムは、かなり高度な学問的レベルからのアプローチが試みられている。

3-4) 光

図4には、光の学習階層構造を示してあるが、図4(b)を見ると、平成元年告示の光の学習カリキュラムが、光による物の温まり方を学習するために、さらに言えば、光をエネルギーの一種と捉えさせようとする意図のもとに構成されていることがわかる³⁰⁾。従って、光の直進や反射の性質も、強い光を得るための学習として位置付けられていると考えることができる。同様の学習プロセスは、昭和43年のカリキュラムでも見ることができ、上位レベルでは熱伝導や対流と関連付けて「太陽の働き」も学習するように配慮されている。

また、昭和43年での光の学習には、レンズや凹面鏡、及び光の分散を学習するための学習系列を見ることができ、この系列では、光の直進や反射、さらには屈折の性質が、幾何光学の基礎として学習されることになる。しかしながら、この学習に対しては、光学機器を光の観察手段として使用する、即ちブラックボックスとして使用するという立場に立てば、必ずしも必要でないという考えもできる³⁰⁾。この考え及び光の本質という観点に立って、現行のカリキュラムは構成されていると考える。

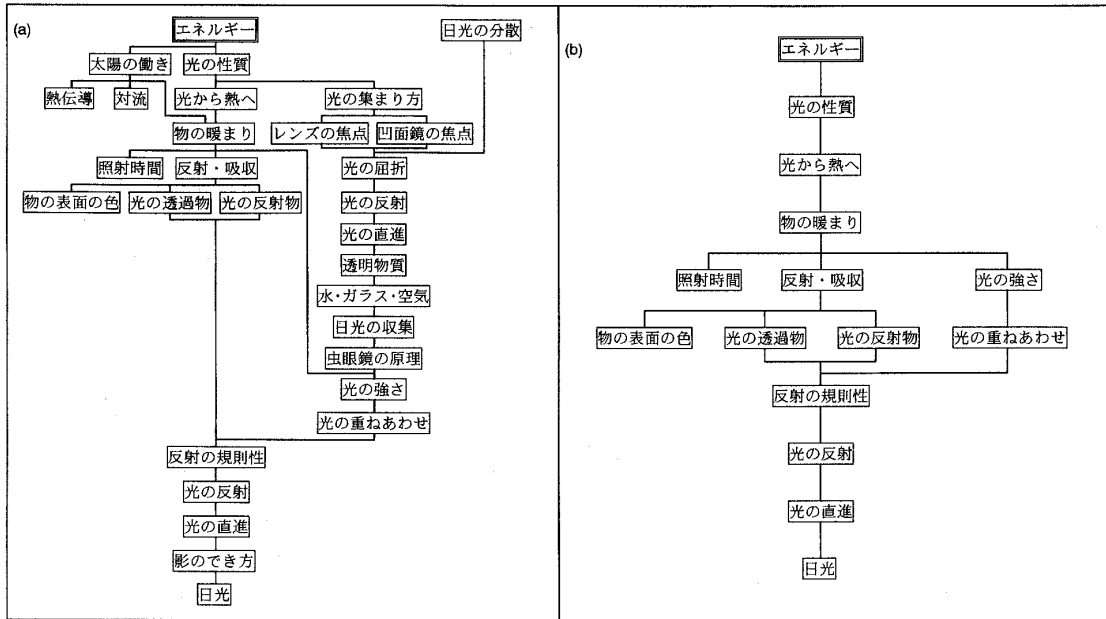


図4 光の学習階層構造。(a) 昭和43年告示, (b) 平成元年告示

ところで、児童の光の認識は多様であることが報告されている^{31,32,33}。このことから、図4で示された光の学習の開始前に、光に対し共通の認識を育む、何らかの指導過程が必要であると考えられる。なお、図中の「日光」の学習は、日光を光として利用できることに気付くという程度の意味である。

3-5) 電気

図5には、電気の学習階層構造を示してある。図5(a)と(b)における学習内容の主系列を比較すると、相違点として、昭和43年のカリキュラムに負荷の直・並列回路と電熱線の形状の学習が見られ、現行のカリキュラムにモーターの学習が見られる。

負荷の直・並列回路と電熱線の形状という2つの学習内容は、負荷の大小の学習という点で連動していると考えられる。現行では、負荷の大小の学習は完全に抹消されており、中学校の段階で直・並列抵抗を学習するようになってきている¹²⁾。このことは、単一閉回路の理解が必ずし

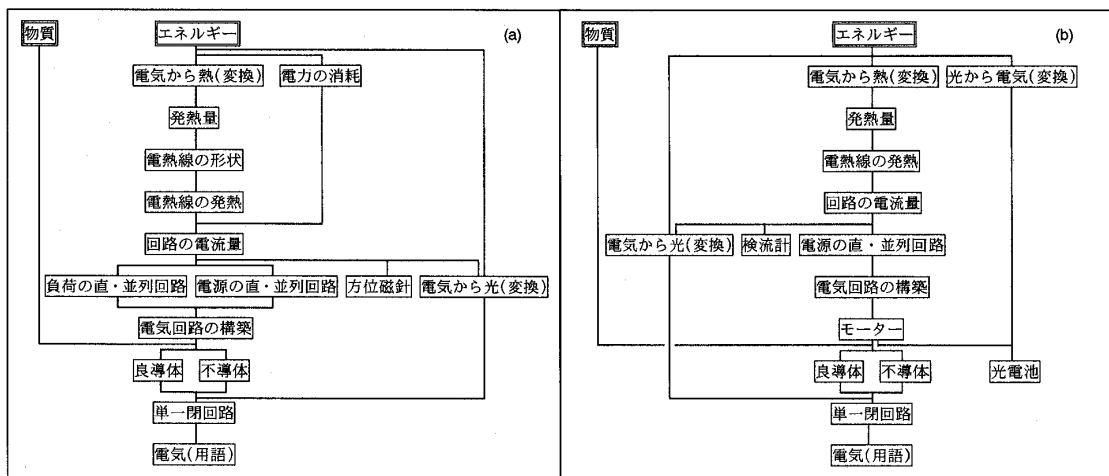


図5 電気の学習階層構造。(a) 昭和43年告示, (b) 平成元年告示

も高いと言えず^{34,35)}、さらにはその理解を土台として、抵抗の直・並列回路を定性的に理解することは困難である³⁴⁾ことに由来しているのではないかと考える。ただ、日常生活の中では、負荷の直列や並列による回路が多く使用されており、生活に役立つ学習という観点からは、負荷の直・並列回路の内容を残した方が良いと考えられる。同様の観点から、電源の直・並列回路について言及するならば、電源の並列回路の学習は、理想的電源の場合、電源の並列回路は全く意味を持たないので、乾電池（単一や単三乾電池など）の用途に応じた使い分けの学習などをしない限り、余り意味を持たないと言える。

現行カリキュラムでは、先に述べたように、豆電球の外に、負荷としてモーターが用いられるようになってきている。これについては、電流の量や向きを理解にモーターを使用すると効果があることが報告されてきたことによると考える^{34,36)}。また、電流の量や向きを理解には、電流（検流）計の必要性を指摘した報告もあり^{34,37)}、このことを反映して、電流の測定に、昭和 43 年では方位磁針が用いられていたのが、現行では検流計を用いるように変更されたと推測される。確かに、検流計をブラックボックスとして用いるならば、方位磁針に比べて、定量的な測定が可能となる。なお、方位磁針による電流測定が行われなくなったことによる問題については、次の磁気のところで述べる。

電源としては、STS 教育やエネルギー変換の観点からか、現行のカリキュラムでは、光電池が新たに取り入れられている。光電池は光と関連付けて学習されるが、図 5(b)では光との関係の学習が一見なされていないように見える。しかしながら、図 5(b)中に示した「光電池」の学習は、光電池を電源として学習することを示している。従って、電源としての光電池の働きは常に光との関係で捉えられる。光電池による学習の特徴としては、光電池の電気的特性が非常に複雑であり³⁸⁾、天候（日光量）にも左右されることである。

3-6) 磁気

磁気の学習階層構造を図 6 に示してある。電磁石に関する学習は、電気の働きという観点からは前述した電気の構造図に記入しても良いと考えられるが、今回は磁気の性質に着目して、こちらの構造図に入れた。電気と磁気の全体の階層構造図は、図 5 と図 6 にある学習要素「回路の電流量」をオーバーラップさせることにより、得ることが可能である。

図 6 の (a) と (b) を比較すると、磁石を使った学習内容のシーケンスは、昭和 43 年と平成元年

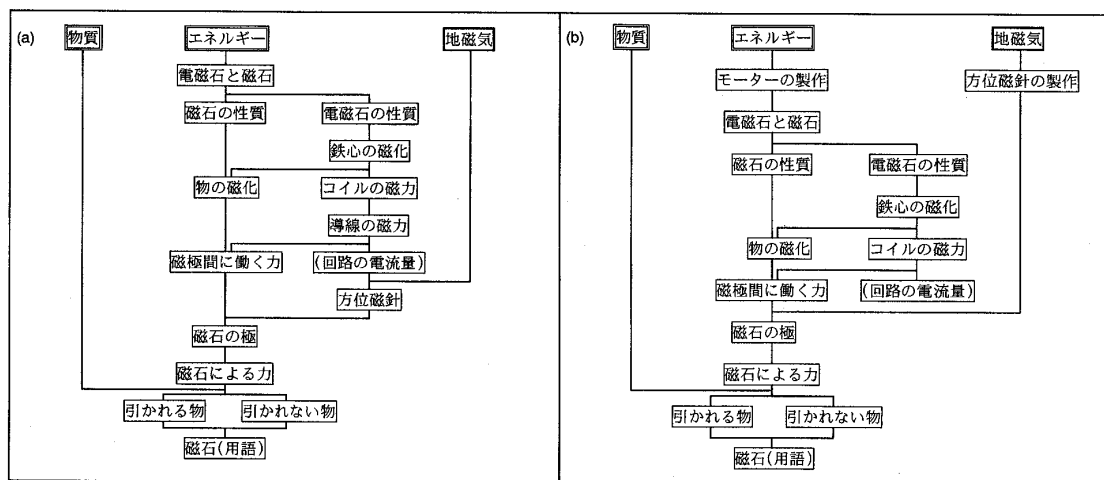


図 6 磁気の学習階層構造。(a) 昭和 43 年告示、(b) 平成元年告示

の両カリキュラムで全く変わっていないことがわかる。異なる所は、電磁石の学習における「コイルの磁力」の前段階の学習内容である。

昭和43年のカリキュラムの場合、図6(a)に示してあるように、方位磁針を使って電流の強さを調べる学習を行い、それを基に導線に電流が流れると導線の回りに磁力が生じることを理解する学習からの出発が図られている。この学習内容の順序は、コイルの磁力を学習する探究過程として学問的に妥当であると言える。一方、平成元年のカリキュラムでは、電気の学習で述べたように、電流の測定に検流計が使用されるため、導線の回りの磁力を、児童は認識しないことになる。このため、モーターを使った回路学習(図5参照)を行い、身の回りにコイルの磁力を利用した物があるという前提から学習が構成されていると考える。このように、現行の場合、児童の実体験を前提として理解を図ろうとする姿勢が見られる。昭和43年の場合は、学問的学習の階層性という観点から構成されていると考える。

また、磁石に引かれる物と引かれぬ物の学習の上に、単に上位レベルとして「物質」と書いてあるが、これは今回科学概念に焦点を当て、構造化を図っているためである。探究技能まで加味するならば、「物の性質による分類」という内容が上位レベルに記入されるべきものである。従って、電気と磁石の全体の構造図では、「物の性質による分類」という学習要素を入れるならば、磁石に引きつけられる物と電気を通す物の学習がその下位レベルに位置することになる。

4. おわりに

以上述べてきたように、昭和43年告示と平成元年告示の物理領域のカリキュラムには、各カリキュラム改訂時の狙いがよく現れていることがわかった。特に、力と運動の領域では顕著で、前者では日常見られる自然事象を学習素材として用いることから学習を始めるのに対し、後者では集約・精選により、人為的に工夫された学習素材が用いられている。これらのことからわかるように、学習内容の範囲や順序は、教育目標や教育観念の相違により、異なった様相を呈してくる。しかしながら、本文で議論してきたように、各々の学習内容についての階層構造やそれが抱えている課題は明確にされるべきであり、このような検討がなされた学習内容が、今後の学習カリキュラムの創造において、有益な資料となると考える。また、今回はキー概念のみによる階層構造図しか報告しなかったが、授業実践のための階層構造図も必要であり、現行のカリキュラムの一部分については作成してきている²⁷⁾。

参考文献

- 1) K. Taira: History of Science Education in Japan Since 1945, *Sci. Educ.*, **62**, 585(1978).
- 2) 東洋, 大橋秀雄, 戸田盛和 編: 理科教育辞典(教育理論編), 大日本図書, 38-50(1991).
- 3) 文部省: 小学校指導書理科編, 教育出版, 1995.
- 4) 文部省: 小学校指導要領解説理科編, 東洋館, 1999.
- 5) 文部省: 小学校指導書理科編, 東京書籍, 1972.
- 6) 佐藤隆博: ISM 構造学習法, 明治図書, 1995.
- 7) J. N. Warfield: *Societal System*, John Wiley & Sons, New York, 204-284(1976).
- 8) 千村浩靖, 佐藤隆博: 電子通信学会教育技術研究会資料, **ET80**, 9(1980).

- 9) 例えば, 戸田盛和 外 42 名:平成 8 年度用「新版 たのしい理科」, 大日本図書, 1995.
- 10) 例えば, 坪井忠二 外 36 名:小学校「新理科」, 大日本図書, 1972.
- 11) 前田健悟, 城祐治, 三島嶽志:ISM法を用いた教材構造化のソフトウェア作成, 村井護晏研究代表者『コンピュータ通信を利用した理科教育学生訓練法の開発』平成 7-9 年度科学研究費補助金(基盤研究 B(1)) 研究成果報告書, 99 (1998).
- 12) 文部省:中学校指導書理科編, 学校図書, 1992.
- 13) 波多野完治:ピアジェの発達心理学, 国土社, 1965.
- 14) 尾科 実:小学校力学教材における児童の認識の実態と指導上の問題点, 理科の教育, **31**(2), 18 (1982).
- 15) 徳永好治:エネルギー概念の歴史的形成過程と理科教育—てこの規則及び仕事の原理—, 日本理科教育学会紀要, **28**(3), 19 (1988).
- 16) 久 實, 東野勝治:子どものわかりにくい力学教材の問題点と改善, 理科の教育, **24**(2), 14 (1975).
- 17) 森 一夫:子どもの科学概念の形成と観察・実験の働き, 理科の教育, **39**(4), 8 (1990).
- 18) 隅田 学:「振り子の運動」に関する学習者の認知の発達の変容と学校理科学習の効果, 日本理科教育学会研究紀要, **36**(1), 17 (1995).
- 19) 福岡敏行, 岩井徳二:振り子・衝突(小5) その1, 理科の教育, **39**(4), 38 (1990).
- 20) 勝俣 仁:小学校6年「物の温まり方」の指導—対流を中心として—, 理科の教育, **31**(12), 30 (1982).
- 21) G. L. Erickson: Children's Conceptions of Heat and Temperature, *Sci. Educ.*, **63**, 221(1979).
- 22) 前田健悟:熱概念に関して, 日本教科教育学会誌, **13**, 87 (1989).
- 23) 松浦典文, 遠西昭寿:水の沸騰・蒸発・結露に関する子どもの認知, 日本理科教育学会研究紀要, **28**(3), 1 (1989).
- 24) 森本信也:児童・生徒の分類能力に関する考察(II)—特に物質の三態について—, 日本理科教育学会研究紀要, **21**(1), (1980).
- 25) B. L. Jones and P. P. Lynch: Children's understanding of the notions of solid and liquid in relation to some common substances, *Int. J. Sci. Educ.*, **11**, 417(1989).
- 26) 来栖公明, 高瀬一男:児童の理解を深める教材と指導過程の研究—小学校第3学年「空気と水」の学習を通して—, 日本理科教育学会研究紀要, **30**(2), 45 (1989).
- 27) 前田健悟 外 5 名:理科カリキュラムの構造化に基づいた生活科の学習課題, 宮本光雄研究代表者『生活科と理科・社会科との接続・発展理論の構築と学習プログラムの開発』平成 9 年度科学研究費補助金(基盤研究 C) 研究成果報告書, 29 (1998).
- 28) 大竹三郎:「音」教材への提案, 理科の教育, **35**(2), 19 (1986).
- 29) 内川英雄:「音」教材をめぐる諸問題, 理科の教育, **35**(2), 9 (1986).
- 30) 栗田一良:「光」教材を見なおす, 理科の教育, **33**(1), 9 (1984).
- 31) N. J. Selly: Children's idea on light and vision, *Int. J. Sci. Educ.*, **18**, 713(1996).
- 32) 森本信也:理科における学習の遅滞の実態とそれらの原因—小学校—, 理科の教育, **38**(3), 9 (1989).
- 33) 岡 勝典, 高瀬一男:児童・生徒の持つ光認識について, 日本理科教育学会研究紀要, **35**(1), 11 (1994).
- 34) 佐伯敬一 外 5 名:電気学習初歩における問題点—電流の理解について—, 日本理科教育学会研究紀要, **24**(1), 41 (1983).
- 35) 三島嶽志, 前田健悟:電流概念の形成に関する研究—単一閉回路の電流の強さ—, 日本理科教育学会研究紀要, **25**(1), 65 (1984).
- 36) 脇元宏治:単純な電気回路に適用される小学校児童の電流モデルの状況依存性, 日本理科教育学会研究紀要, **32**(3), 49 (1992).
- 37) 永田俊史:電気教材指導の改善をめざした実践—小学校「電磁石」の指導—, 理科の教育, **29**(2), 34 (1980).
- 38) 前田健悟, 三島嶽志:光電池・モータの教材化, 熊本大学教育学部紀要 自然科学, **41**, 61 (1992).