

中高の材料科学分野における 教育の現状と課題

秋重幸邦*

1. はじめに

著者は、チタン酸バリウムに代表される強誘電体の結晶作製や物性研究を30年以上続けている。物理学会に所属し、科研費は、主に「物性Ⅰ」に出してきた。2003年にBaTi₂O₅の強誘電性を発見し⁽¹⁾、鉛フリーな圧電体として応用に繋げたいとの思いから、材料科学的な視点からの研究を進めるようになって10年である。教育面では、教員養成学部で小学校や中学校の理科の教師を目指す学生を対象に、力学、電磁気学、物理実験、理科内容構成研究⁽²⁾などの授業を担当している。今回、表題の原稿の依頼を受けたものの、テーマが特殊であり著者には荷が重いと躊躇したが、勉強し直す良い機会と思い、お引き受けすることとした。

材料とは物質の中で直接人間の役に立つものと言われている。石器時代、青銅器時代、鉄器時代など人間が使う材料と共に時代は変遷し、2014年にノーベル賞に輝いたGaN青色発光ダイオードにより、時代は環境配慮の省エネ時代へと変わろうとしている。物質科学も材料科学も英語ではMaterials Scienceと同じである。表題の「中高の材料科学分野」と言っても、該当するものはおそらく物理学や化学からなる理科第一分野の物質科学の部分であろう。

本稿では、学校教育におけるバイブルであり改訂されたばかりの学習指導要領⁽³⁾⁻⁽⁵⁾を紹介し、材料科学的な視点から理科の学習指導要領の現状を見直してみる。さらに、昨年の修士学生が中学生と大学生を対象に行った電熱線の発熱に関するアンケート調査結果を基に⁽⁶⁾、高校教育について言及する。少々私見を述べることで、「教育の現状と課題」の一端にでも触れることができればと思う。

2. 新学習指導要領に伴う変更

約10年ごとに改正される学習指導要領の最新版が小中は2008年3月に⁽³⁾⁽⁴⁾、高校は2009年3月に文科省より告示された⁽⁵⁾。小中はそれぞれ2011年および2012年4月から全面

実施され、高校は2013年から年次進行で実施されている。2015年からは新学習指導要領で学んだ学生が大学に入学してくる。

(1) 小中理科

理科の新学習指導要領では、科学的な概念の理解など基礎的・基本的な知識・技能を確実に定着させる観点から、物理領域は「エネルギー」、化学領域は「粒子」、生物領域は「生命」、地学領域は「地球」などの科学の基本的な見方や概念を柱として、小中を通じた内容の構造化が図られた。図1に、第1分野すなわち「エネルギー」と「粒子」領域で、学習する内容を学年ごとに図式化して示している。図中の下線で示した項目、小学校「物と重さ」「電気の利用」、中学校「イオン」「プラスチック」「放射線」などは国際的な通用性、系統性の確保等の観点から新たに導入された内容である。下点線で示した項目は、学習する学年が変更されたり、選択から必修に変わった内容である。図には表れていないが、科学的な思考力・表現力等を育成する観点から、観察・実験の結果を分析し解釈する学習活動や科学的な概念を使用して考え説明する学習活動の充実が求められている。また、科学を学ぶことの意義や有用性を実感させ科学への関心を高める観点から、日常生活や社会との関連を重視することが求められている。学習内容の増加に伴い、理科の授業時間は小学校で350時間から405時間へ中学校で290時間から385時間へと、それぞれ15.7%、32.8%増加した。

図1に示した単元を詳細に見て頂ければ分かるように、小中の理科第一分野(「エネルギー」と「粒子」)で学ぶ内容は、材料科学に必要な科学的な知識がほとんど盛り込まれている。高校で「物理学」や「化学」の別教科として学ぶ内容が、渾然一体とした形となって繰り返し出てくる。複合科学である材料科学にとっては、小中の理科の内容は理想的である。この時期に、多くの実験を行い、物質の諸性質を子供たちに体験として学ばせることが重要である。小中の先生方の腕の見せ所でもあるが、世界一多忙といわれている先生方であり、教える内容は日々高度になるため、理想と現実とは開

* 島根大学教授；教育学部自然環境教育講座(〒690-8504 松江市西川津町1060)

Current Status and Issue of Education in the Field of Materials Science in Junior High School and High School; Yukikuni Akishige (Department of Nature Science Education, Faculty of Education, Shimane University, Matsue)

Keywords: materials science education, science curriculum, government guideline for teaching, junior high school, high school

2014年11月6日受理[doi:10.2320/materia.54.138]

	エネルギー	粒子		エネルギー	粒子
小3年生	<ul style="list-style-type: none"> 風やゴムの働き <ul style="list-style-type: none"> 風の働き ゴムの働き 物の重さ <ul style="list-style-type: none"> 形と重さ 体積と重さ 光の性質 <ul style="list-style-type: none"> 光の反射・集光 光の当て方と明るさや暖かさ 磁石の性質 <ul style="list-style-type: none"> 磁石にひきつけられる物 異極と同極 電気の通り道 <ul style="list-style-type: none"> 電気を通すつなぎ方物 電気を通す物 		小5年生	<ul style="list-style-type: none"> 振り子の運動 (選択から必修) <ul style="list-style-type: none"> 振り子の速度 電流の働き (小6から移行) <ul style="list-style-type: none"> 鉄心の磁化、極の変化 電磁石の働き 	<ul style="list-style-type: none"> 物の溶け方 <ul style="list-style-type: none"> 物が水に溶ける量の限度 物が水に溶ける量の変化 重さの保存
	小4年生	<ul style="list-style-type: none"> 電気の働き <ul style="list-style-type: none"> 乾電池の数とつなぎ方 光電池の働き 		<ul style="list-style-type: none"> 空気と水の性質 <ul style="list-style-type: none"> 空気の圧縮 水の圧縮 金属、水、空気と温度 温度と体積の変化 温まり方の違い 水の三態変化 	小6年生
中1年生	<ul style="list-style-type: none"> 力と圧力 <ul style="list-style-type: none"> 力の働き(力とばねの伸び、重さと質量の遠いを含む) 圧力(水圧、浮力を含む) 光と音 <ul style="list-style-type: none"> 光の反射・屈折 凸レンズの働き 音 	<ul style="list-style-type: none"> 物質のすがた <ul style="list-style-type: none"> 身の回りの物質とその性質(プラスチックを含む) 氣體の発生と性質 水溶液 <ul style="list-style-type: none"> 物質の融解 溶解度と再結晶 状態変化 <ul style="list-style-type: none"> 状態変化と熱 物質の沸点と融点 	中3年生	<ul style="list-style-type: none"> 運動の規則性 <ul style="list-style-type: none"> 力のつり合い (中1から移行) 力の合成・分解 (力の向きを含む) 運動の速さと向き 力と運動 力学的エネルギー <ul style="list-style-type: none"> 仕事とエネルギー(衝突(小5から移行)、仕事率を含む) 力学的エネルギーの保存 	<ul style="list-style-type: none"> 水溶液とイオン <ul style="list-style-type: none"> 水溶液の伝電氣 伝導性導電 原子の成り立ちとイオン 化学変化と電池 酸・アルカリとイオン <ul style="list-style-type: none"> 酸・アルカリ (中1から移行) 中和と塩 (中1から移行)
	中2年生	<ul style="list-style-type: none"> 電流 <ul style="list-style-type: none"> 回路と電流・電圧 電流・電圧と抵抗 電氣とそのエネルギー(電力量、熱量を含む) 静電氣と電流(電子を含む) 電流と磁界 <ul style="list-style-type: none"> 電流がつくる磁場 磁界中の電流が受ける力 電磁誘導と発電(交流を含む) 		<ul style="list-style-type: none"> 物質の成り立ち <ul style="list-style-type: none"> 物質の分解 原子・分子 化学変化 <ul style="list-style-type: none"> 化合 酸化と還元(中3から移行) 化学変化と熱(中3から移行) 化学変化と物質の質量 <ul style="list-style-type: none"> 化学変化と質量の保存 質量変化の規則性 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー <ul style="list-style-type: none"> 様々なエネルギーとその変換(熱の伝わり方、エネルギー変換の効率を含む) エネルギー資源(放射線を含む) 科学技術と人間 <ul style="list-style-type: none"> 科学技術の発展(選択から必修へ) 自然環境の保全と科学技術の利用

下線:新規に追加された内容、下点線:学習する学年が変わるなどの変更がなされた内容

図1 小学校及び中学校理科第一分野(「エネルギー」・「粒子」領域)で学習する内容の流れ。

きがある。

(2) 高校理科

「理数教育」の充実が学習指導要領改訂の1つの柱となっており、図2に示すように、高校理科では「科学と人間生活」及び「理科課題研究」が教科として新設された⁽⁵⁾。前者は指導内容と日常生活や社会との関連を、後者は知識や技能を活用する学習や探究する学習を重視する教科である。なお、理科の必修は、「科学と人間生活」、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」及び「地学基礎」のうちから2科目(うち1科目は「科学と人間生活」とする。)又は「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」及び「地学基礎」のうちから3科目と

なっている。物理・化学・生物・地学の4領域それぞれの標準単位数の合計は、現行課程、新課程とも6単位と変更はない。しかし、現行課程の「物理I」は「物理基礎」となり、標準単位数が3単位から2単位へと1単位減少する。一方、現行課程の「物理II」は「物理」となり、標準単位数が3単位から4単位に1単位増加する。

大学入試におけるセンター試験利用については、国公立大文系では基礎4科目のうちから2科目を選択するパターンが、国公立大理系では「物理」など4科目のうちから2科目を選択するパターンが主流になると思われる。したがって、文系では、単位数は2科目4単位であり、旧課程時の理科1科目3単位と比べて1単位分負担は重く、科目数も増える。

旧		新	
理科基礎	2単位	科学と人間生活	2単位
理科総合A	2	物理基礎	2
理科総合B	2	物理	4
物理I	3	化学基礎	2
物理II	3	化学	4
化学I	3	生物基礎	2
化学II	3	生物	4
生物I	3	地学基礎	2
生物II	3	地学	4
地学I	3	理科課題研究	1
地学II	3		

必履修は「科学と人間生活」を含む2科目または基礎を付した科目3科目

図2 高校理科の新・旧教科の比較.

理系では、2科目8単位の出題であり、こちらも旧課程時の理科2科目6単位と比べて2単位分負担は重くなる。

3. 理科学習指導要領における材料科学

新学習指導要領に材料科学的視点がどれだけ入っているか調べるために、「材料」「物質」「粒子」「エネルギー」という単語がどの程度の頻度で、どの分野で使用されているか検索してみた。対象としたのは、小中学校学習指導要領の理科の第一分野(「エネルギー」と「粒子」)と高校学習指導要領の理科「科学と人間生活」「物理基礎」「物理」「化学基礎」「化学」「理科課題研究」についてである。表1に示すように、小中高全体で「物質」という単語が100件ヒットしたのに対し「材料」という単語は5件しかなかった。「材料」という単語は高校の「科学と人間生活」の中で使われているだけで、小中理科第一分野や高校「物理基礎」「物理」「化学基礎」「化学」では使用されていなかった。一方、「物質」という単語は、小中高で万遍なく使用され、化学分野で圧倒的に多く出現する。従って、小中高の理科第1分野「エネルギー」と「粒子」領域は、「材料」というより「物質」を取り扱う分野であることは間違いないだろう。今回の改訂で、日常生活や社会との関連を重視するとされた割には、「材料」という記述はまだまだ少ない。しかし、材料科学に関連する言葉は、金属(23)、プラスチック(7)、セラミックス(1)、半導体(2)、絶縁体(1)、磁石(20)、電気(47)、状態変化(11)と数多く使用されている(括弧内の数字は単語の出現数)。中1では、身近な物質として金属(鉄、銅、アルミ)、無機物(ガラス、塩)、有機物(砂糖、でんぷん)に加えて、新しくプラスチックを教えることになった(図1)、身近なペットボトル等の製品を利用して、比重や加熱実験でポリエチレン(PE)、ポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリ塩化ビニル(PVC)などを区別する実験を行う。これなどまさしくプラスチック材料に関する実験である。「材料」という言葉を意識して用い、「物質」ではなく「材料」としての用途や使用限界について考えさせることができる。しかし、物質の多様性として複数のプラスチックを識別させるよりは、プラス

表1 小中学校学習指導要領の理科第一分野(「エネルギー」と「粒子」領域)および高等学校学習指導要領の理科(「科学と人間生活」「物理基礎」「物理」「化学基礎」「化学」「理科課題研究」)に出てくる4つの単語(材料、物質、粒子、エネルギー)の出現件数.

	小	中	高	全体
材料	0	0	5	5
物質	6	37	57	100
粒子	0	3	8	11
エネルギー	6	28	48	82

チックの基本的な特徴を金属や他の物質と対比して調べ、その用途や使用限界などについて考えるだけでも十分ではないだろうか。

一方、今回の改訂で物理領域と化学領域の概念の柱とされた「エネルギー」と「粒子」という言葉について調べてみると、高度な概念である「粒子」は全体で11件と出現頻度は極めて少ない。しかも、「粒子性」、「素粒子」、「粒子の熱運動」などとして使用され、物理分野の言葉として主に高校で使われている。「エネルギー」の出現数は全体で82件であり、主に物理分野の言葉として数多く使用されている。「粒子」概念は今回の学習指導要領改訂の目玉的な内容であり、学校現場では小学校の早い時期から「粒子」概念を教える取り組みが始められ、そのことの是非について議論されているところでもある⁽⁷⁾。気体分子の運動、溶けた物質の行方など、目に見えないものを子供たちに学ばせる難しさがある。発達段階に応じた粒子概念の教授法など、大いに議論されるべき課題である。

4. アンケート調査結果から見てきた高校教育

新学習指導要領では、新しく導入された小学校6年の「電気の利用」の単元で、電気による電熱線の発熱実験を取り扱う。図3のような回路を用いて、長さが同じで太さの異なる細い電熱線と太い電熱線でどちらがより発熱するかを、⁽⁸⁾ 蝸や発泡スチロールの切断時間で調べる実験である。定電圧での実験であるので、より電流の流れる太い電熱線の方がより発熱し、蝸の切断時間は早くなる。乾電池の内部抵抗と電熱線の抵抗が同程度であると、電池が発熱し明確な実験結果が得られないため、教育現場では混乱が生じている⁽⁸⁾。定電圧電源を用いないと、満足のいく結果は出ない実験である。

アンケート調査は⁽⁶⁾、図3の回路を示して細い電熱線と太い電熱線でどちらの蝸が早く落ちるかを選択させ、その理由を文書で記述する内容である。中学2年生と現役大学生を対象にアンケートを実施し、結果を比較してみた。中学生に対しては、2012年7月4日、島根大学教育学部附属中学校第2学年130名を対象とし、大学生に対しては、2012年10月、島根大学松江キャンパス106名を対象として行った。106名中、高校で物理学履修者は35%、非履修者65%であった。結果を表2に示す。なお、中学生の半数程度は小学校の

