

解 説

熱・エネルギーに関する高校教育の現状 － 熱力学に関する基礎教育の必要性 －

田中春彦, 古賀信吉, 古川義宏

(受取日: 2004年12月9日, 受理日: 2005年1月18日)

The Current Status of Heat and Energy Education at High School - Necessity of Basic Education on Thermodynamics -

Haruhiko Tanaka, Nobuyoshi Koga, and Yoshihiro Furukawa

(Received December 9, 2004; Accepted January 18, 2005)

By reviewing the current curriculum of high school science, the status of heat and energy education was analyzed. In spite of the importance of heat and energy education for fostering scientific literacy required in daily life, the comprehensive education on heat and energy is weakened by an optional system of science subjects at high schools. For promoting education on "Science and Technology for the Environment and Society (STES)", it is required to develop teaching materials and educational programs on energy-environment education in addition to the introduction of a compulsory science subject for the first year class at high school.

1. はじめに

最近, 生徒の「理科離れ」や「学力低下」の議論が多くみられるが, こうした問題に対処するためには生徒の基礎学力の向上を図るだけでなく, 多くの生徒が学習する意義を見出すことができ, 理科に興味をもち好きになるような教育課程を導入することが必要である。また, わが国の一般成人の科学技術に関する知識や理解度, 興味・関心度は, 先進国の中では最低レベルにあることが指摘されている。¹⁾ 一般成人の科学技術に対するこうした傾向が学校教育段階の理科教育の在り方と直接的に関係するとは即断できないが, 筆者の化学教育の経験から判断する限り, かなりの相関があるように思われる。例えば, 高等学校化学の基礎として化学反応の化学量論との関係で物質量が扱われるが, 理科(化学)に直接関連しない職業に就く生徒にとって将来モル概念を必要とすることは無く, これを基礎化学を選択している全生徒に指導することはほとんど意味をなさないように思われる。また, 実験や観察によって科学現象の理解を促す授業ではなく, 現状の知識注入型の授業による化学式や化学反応式等の暗記を

強いるような教育は, 非理科系の大部分の生徒にとって理科嫌いを増長させることにつながっていると考えられる。化学反応式やモル概念は将来発展的な化学を学ぶ生徒にとっては不可欠で極めて重要な内容であり, これらの基礎的な学習に基づいて現行の指導内容以上のレベルでの科学教育 (Science Education for Excellence) の推進も必要であろう。

一方, 安全で健康な日常生活を送り環境問題や社会における様々な問題を科学的に考えることができる素養を身に付けるための教育は, 理科系・非理科系を問わず全ての生徒にとって重要である。²⁾ 大学の教養教育においてもその必要性が指摘されて久しいが, その前段階の中等教育において国民的素養としての理科教育 (Science Education for All) を実践することが必要である。このような観点からも, 平成15年度から高等学校で実施されている現行の学習指導要領の改定(次期の学習指導要領の策定)にあたっては, 「科学の基礎」の教育のほか「環境と社会のための科学」についての教育が重視される必要がある。³⁾ 高等学校教育レベルで「科学の基礎」および「環境と社会のための科学」は, 熱・エネルギーの教育と密接な関連があり, 本稿では次期の高等学校学

習指導要領の改定を視野に入れて熱・エネルギーの教育内容に関して考察する。

2. 現行の教育課程（学習指導要領）における熱・エネルギーに関する内容

中学校理科第一分野（物理・化学分野）の、熱・エネルギーに関する内容は次のとおりである。

- ＊ 物体の運動エネルギー，位置エネルギー，電気・熱・光のエネルギー
- ＊ エネルギーの相互変換，エネルギーの保存，化学変化とエネルギー
- ＊ エネルギー資源の有効利用と環境保全

また，物質やエネルギーに関する事物・現象を調べる活動を通して，日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養うとともに，自然を総合的に見るができるようにすることが目標とされている。

現行の高等学校学習指導要領理科では，すべての生徒が履修すべき科目として「理科基礎」，「理科総合A」，「理科総合B」，「物理I」，「化学I」，「生物I」，「地学I」のうち2科目とし，その際「理科基礎」，「理科総合A」，「理科総合B」のうちから少なくとも1科目以上を含むことになっている。⁴⁾「理科基礎」では，科学と人間生活とのかかわりを学ぶとともに，科学を発展させてきた物質の成り立ちの探究，細胞の発見や進化論，エネルギー概念の確立の過程，種々の形態のエネルギーの利用，地動説やプレートテクトニクスなどを取り上げ，科学に対する興味・関心を高めるとともに，科学的な見方・考え方を養うことが狙いとなっている。これらの内容は，「環境と社会のための科学」と密接に関連した内容であるが，その履修の割合は生徒の教科書需要冊数（平成16年度文部科学省統計資料）から推定すると一割足らずであり，その教育効果は大きいとはいえない。

高等学校理科の物理・化学分野では，上記の中学校理科第一分野の内容と一部重複するものがあるが，その学習を発展させて以下のような内容が扱われている。

「理科総合A」：エネルギーの考え方と物質の成り立ちを中心とした視点で自然を総合的にとらえることのできる能力を養うことを狙いとしており，熱・エネルギーに関する内容として以下のような項目が扱われている。

- (1) 自然の探求：自然をエネルギー変換や物質の変化などでとらえ，自然に対する総合的な見方や考え方を養う。具体的には，電流と熱，力と仕事などが扱われる。
- (2) 資源・エネルギーと人間生活：人間生活と関連の深い化石燃料，原子力，水力，太陽光などの利用は，エネルギーという共通概念でとらえることが可能であることが扱われる。また，仕事と熱，仕事と力学的エネルギー，力学的エネルギーの保存，エネルギーの変換と

保存（熱とエネルギー，太陽エネルギーと生物エネルギー，電気エネルギー，化学エネルギー，水力発電，火力発電，原子力発電，太陽光発電など）が扱われている。

これらの内容は，「万人のための科学」や上述の「環境と社会のための科学」の視点から理科系・非理科系を問わず全ての生徒にとって重要な内容であるが，「理科総合A」をおよそ6割の生徒が選択している（上述の文部科学省統計による）にもかかわらず本来の趣旨に沿った指導が必ずしもなされていない実態があり，今後の課題として取り組むことが求められる。次期の学習指導要領改定では，上記の「理科基礎」，「理科総合A」および「理科総合B」のような内容を精選して新たな必修科目を設けることが必要である。

物理と化学では，それぞれI，IIを付した科目で以下のような熱・エネルギーに関する内容が扱われている。「物理I」では，中学校理科第一分野及び「理科総合A」などとの関連を考慮し，電気・波・運動とエネルギーが扱われる。「物理II」では，「物理I」との関連を図りながら，より発展的な内容が扱われている。

「物理I」：運動とエネルギーに関連して次の内容が扱われる。

エネルギーの測り方（仕事量，仕事率），運動エネルギーと位置エネルギー（力学的エネルギーの保存），熱と温度（熱量，比熱，内部エネルギー），電気とエネルギー（ジュール熱，電界中の電荷の移動とエネルギーの関係を含む），エネルギーの変換と保存（熱現象の不可逆変化，日常生活におけるエネルギーの利用を含む）。

「物理I」の教科書では，これらの項目についての説明とともに実験教材として，仕事の原理，力学的エネルギーの保存，液体の熱容量，力学台車の衝突と熱運動などが扱われている。⁵⁾ さらに，探究活動として，力学的エネルギー保存の法則，動摩擦係数がする仕事と動摩擦係数の測定，比熱の測定，ジュール熱の測定が扱われる。

「物理II」：熱力学やエネルギーに関連して次の内容が扱われる。

原子と分子（分子運動と圧力・温度，理想気体の状態方程式，物質の三態，熱膨張），原子と原子核（水素原子スペクトルと電子のエネルギー準位，恒星のエネルギー源，核エネルギー（核反応，核分裂，核融合））

「物理II」の教科書では，ボイル・シャルルの法則，気体の温度と分子運動，気体の内部エネルギー，熱力学の第一法則，等温変化，断熱変化，熱機関の熱効率，結晶内の電子のエネルギー，ダイオード，太陽電池，光電効果，光子と光電子の運動エネルギー，水素原子の電子軌道，電子のエネルギー準位とスペクトル，質量欠損と結合エネルギー，原子力とその安全性などが扱われる。⁶⁾ また，課題研究として生徒の

興味・関心に応じて生徒自身が課題を設定し既習事項に基づいて課題の解決に取り組むことにより、研究する方法を身につけ研究の楽しさを体験することが意図されている。以上のように高等学校物理においては、熱・エネルギーについてかなり詳しく学習することになっているが、高等学校における物理の履修者は必ずしも多くないため（平成15年度から17年度までの3年間で物理・化学・生物・地学の総履修者のうち、「物理I」を約14%、「物理II」を約7%の高校生が選択する見込み）、こうした教育は十分に浸透しているとは言えない状況である。特に、「物理II」の履修者は少なくその学習はかなり高度な内容を含んでいるが、履修者にとっては将来必要性の高い内容であり「Science Education for Excellence」への接続性の観点から意義があると思われる。

化学ではエネルギーに関する内容は多くないが、「化学I」と「化学II」で以下のような内容を学習する（平成15年度から17年度までの3年間で物理・化学・生物・地学の総履修者のうち、「化学I」を約27%、「化学II」を約10%の高校生が選択する見込み）。

「化学I」：化学反応（反応熱、熱化学方程式、ヘスの法則、電気エネルギー、電気分解と電池）

これらの項目を受けて、高等学校の「化学I」の教科書では次のような内容が扱われている。⁷⁾「物質の変化に伴う熱の出入り」において、発熱反応と吸熱反応、熱化学方程式、反応熱の種類、反応経路と反応熱、ヘスの法則の利用、状態変化と熱の出入りが扱われる。また、化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置として電池が、電解質溶液に電流を通じて酸化還元反応をおこさせる変化として電気分解が扱われる。また、実験教材として固体の溶解と熱の出入り、探求活動として反応熱とヘスの法則が扱われている。これらの内容は、日常生活との関連のある内容であり、基礎的なエネルギー概念の教育および一般教養としても有益である。

「化学II」：物質の構造（化学結合エネルギー、気体の法則）、化学平衡（反応速度、活性化エネルギー、平衡の移動、ルシャトリエの原理）、生命と物質（生命活動のエネルギー、生命を維持する反応）

「化学II」の教科書では、上記の熱・エネルギーについての内容の説明のほか、実験教材として化学反応の速さと温度、化学平衡の移動、酵素の働きなどが扱われている。また、「物理II」と同様に課題研究を通して、化学的に探究する方法を習得させ、問題解決の能力を育成することが図られている。⁸⁾「化学II」の履修についても履修割合は少ないが、「物理II」の場合と同様な意義があると考えられる。

熱・エネルギー教育においてエントロピーは、重要な基礎概念となるべきものである。現行の高等学校化学の教科書では平衡移動などエントロピーに関連する概念が取り扱われているが、エントロピーによる物理化学的現象の説明はほとん

どない。歴史的には、昭和45年の学習指導要領において「乱雑さ」としてエントロピー概念に関連した定性的な取り扱いが導入されたが、その後学習指導要領からは消滅した。状態変化、溶解現象、拡散過程、化学平衡などにおいて、エントロピーを定性的に取り扱う化学教材を導入すべきであることが提案されている。⁹⁾

3. 一般教養としてのエネルギー教育の必要性

21世紀の科学の在り方として、「知識のための科学」、「開発のための科学」、「平和のための科学」に加えて「人間と社会のための科学」という科学観が必要とされる。²⁾「人間と社会のための科学」の観点からの学校教育においては、社会との係わりを考慮しながら多くの人々が論理的な根拠に基づいて合理的な意思決定ができるような科学的素養の育成を目指すことが重要である。¹⁰⁻¹²⁾

最近、全国の中・高等学校の理科教員を対象として行った調査によると、多数の教員がエネルギー問題やリサイクルなどによる省資源についての教育を実践したいとの希望を持っており、こうした教育の実践化に向けた教員養成・研修の必要性が極めて高いことが明らかにされている。¹³⁾さらに、最近の高校生や大学生を対象とした調査によると、今世紀の深刻な問題として資源・エネルギー問題を含む地球環境問題を挙げた回答がもっとも多い。こうした観点からも、上記の「人間と社会のための科学」の教育において、エネルギー問題や地球環境問題の解決に向けたエネルギー・環境教育の推進が求められる。このような教育の推進のためには、① 理科基礎、理科総合AおよびBで扱われている内容を精選した必修科目の設定、② 熱・エネルギーの基礎教育に必要な教材・教具の開発や学習指導案の充実、③ 教員養成・研修におけるカリキュラムの改善が必要である。

また上述のような基礎的なエネルギー概念に関する学校教育のほかに、一般成人が日常生活を送る上でエネルギー利用について合理的な判断ができるようなエネルギー教育も必要とされる。このような観点から、当大学では「エネルギー・環境教育研究会」を組織し、カリキュラム開発や教員のための指導教材の改良に努めている。¹⁴⁾例えば化学分野では、銅やマンガンなどの重金属を含む廃液の処理と回収した重金属化合物の有効利用、¹⁵⁾ リサイクル教材として鉄やアルミニウムのリサイクルにおける省エネルギー効果の評価、¹⁶⁾ 化学カイトにおける鉄の酸化に伴う発熱、¹⁷⁾ 化学カイトの再利用に関する教材開発、^{18,19)} 触媒の有効利用による実験室における省資源・省エネルギーの実践などを進めている。また物理分野では、電波吸収帯を用いた身近な電波の吸収に関する教材開発、²⁰⁾ 風力発電、水力発電、揚水発電モデルとエネルギー変換に関する教材などの開発が行われている。¹⁴⁾

4. おわりに

わが国が「教育立国」を標榜して久しいが、教育に関する諸課題が山積しているのが現状である。¹²⁾ 今後わが国が「持続可能な発展」を可能にするためには、学校教育とりわけ理科教育が重要な役割を果たすことは明らかである。今後の理科教育においては、物質概念及びエネルギー概念などに関する基礎科学の教育のほかに、「環境と社会のための科学・技術 (Science and Technology for the Environment and Society: STES)」の教育の推進が必要である。また、生活におけるエネルギーの有効利用についての教育を含むエネルギーリテラシーの育成が求められる。こうした学習は、理科系・非理科系を問わずすべての高校生にとって必要な内容であり、高等学校初学年で必修化することが求められる。

他方、理科系志望で現行の「物理Ⅱ」や「化学Ⅱ」などの選択科目を履修する生徒に対しては、上述のような「環境と社会のための科学・技術」のような学習を課した上で、これまで以上に充実した内容の学習が可能となるようなカリキュラムを導入することが求められる。こうした「Science for All」の教育のほか、より発展的で高度な内容「Science for Excellence」の教育を推進するためには、カリキュラムの改善や教材教具の開発とともに有能な教員の確保が必要である。

文 献

- 1) 清水欽也, 科学教育研究 28[3], 166 (2004).
- 2) 田中春彦, 日本科学教育学会第26回年会論文集, 島根大学, 2002年9月13-15日, p.59.
- 3) 田中春彦, 古賀信吉, 古川義宏, 化学と教育 52[2], 116 (2004).
- 4) 文部省, 高等学校学習指導要領解説(理科編・理数編), 大日本図書, 平成11年12月.
- 5) 中村英二他, 高等学校物理Ⅰ, 第一学習社 (2004).
- 6) 中村英二他, 高等学校物理Ⅱ, 第一学習社 (2004).
- 7) 佐野博敏他, 高等学校化学Ⅰ, 第一学習社 (2004).
- 8) 佐野博敏他, 高等学校化学Ⅱ, 第一学習社 (2004).
- 9) 日本化学会編, 高校化学の教え方, 丸善 (1997).
- 10) 田中春彦, 日本理科教育学会第54回全国大会発表論文集 第2号, 筑波大学, 2004年8月4, 5日.
- 11) 田中春彦, 古賀信吉, 古川義宏, 平成16年度日本教育大学協会研究発表会発表要旨集, 北海道教育大学旭川校, 平成16年10月9日.
- 12) 滝沢俊治, 身近で生きた物理学, 新日本出版社 (2004).
- 13) H. Tanaka and Y. Eguchi, *Journal of Science Education in Japan* 28, 266 (2004).
- 14) URL <http://home.hiroshima-u.ac.jp/eeduc/hu3e/>
- 15) 古賀信吉, 川野正枝, 山根眞美子, 寺田 新, 竹本 浩, 田中春彦, 化学と教育 49, 726 (2001).

- 16) H. Tanaka, *Journal of Indian Chemical Society* 77, 531 (2000).
- 17) 田中春彦編, 化学の実験—化学を基礎から理解するために—, 培風館 (1995).
- 18) 古賀信吉, 鈴木康通, 中越裕三, 田中春彦, 化学と教育 51[9], 560 (2003).
- 19) 山田秀人, 綿貫真衣, 古賀信吉, 田中春彦, 化学と教育 52[3], 185 (2004).
- 20) 笠置映寛, 蔦岡孝則, 前原俊信, 畠山賢一, 応用物理教育 27[1], 105 (2003).

要 旨

現行の高等学校理科教育課程を概観し、「熱・エネルギー」教育の現状を分析した。「熱・エネルギー」に関する教育は日常生活における科学的素養を育成するうえで重視されるべきであるが、高等学校の理科教科が選択制であることが各教科に分散した熱・エネルギーに関する内容を関連付けながら学習させる上で支障となっていることを指摘した。「環境と社会のための科学・技術 (STES)」教育を推進するためには、高等学校初学年における理科必修科目の開設が必要であるとともに、エネルギー・環境教育のための教材開発や教育プログラムの充実が課題である。

田中春彦 Haruhiko Tanaka
広島大学大学院教育学研究科, Graduate School of Education, Hiroshima Univ.,
TEL.&FAX. 082-424-7092, e-mail: htnk@hiroshima-u.ac.jp
研究テーマ: 化学教育, エネルギー環境教育
趣味: テニス, 旅行

古賀信吉 Nobuyoshi Koga
広島大学大学院教育学研究科, Graduate School of Education, Hiroshima Univ.,
TEL.&FAX. 082-424-7091, e-mail: nkoga@hiroshima-u.ac.jp
研究テーマ: 固相反応論, 化学教育
趣味: 柔道, 写真

古川義宏 Yoshihiro Furukawa
広島大学大学院教育学研究科, Graduate School of Education, Hiroshima Univ.,
TEL.&FAX. 082-424-7090, e-mail: yfuruka@hiroshima-u.ac.jp
研究テーマ: 固体の動的構造, 化学教育
趣味: 読書