

## 仕事・熱・エネルギーをどう指導するか

北里大学 教職課程センター 山本明利

**【概要】** 小中学校からの流れを受けて、高等学校の物理で一応の完結をみるエネルギー概念の教程を整理し、熱力学第一法則までを一貫したストーリーとして学べるよう、教科書の記述を改善しようという提案。

### エネルギーを仕事より先に位置づけよう

この提案は西尾<sup>1</sup>によってなされている。エネルギーを一般的に定義することは容易ではないが、最も中心になる主役の概念だから、まず「エネルギーとは何か」を概略説明しておき、その移動量である「仕事」によってエネルギーを見積もることになるのでこれを定義する、という流れが自然であり、学習者にも受け入れられやすいはずだ。必要性不明のまま仕事が登場することで違和感を生じている。高等学校の教科書でも配列にひと工夫欲しい。

### 「系」の概念を早めに導入しよう

エネルギーの保存や出入りを論ずるには「系」の確定が必須であることは右近<sup>2,3</sup>らによって主張されている。現行の中学校、高等学校のすべての教科書にわたって「系」についての明確な記述はない。できれば中学校のうちから話題にして系と環境を明確に区別する考え方の下地を作っておきたい。遅くとも物理基礎の力の合成の単元で導入しておく。展開の例を文献4に示した。

### 仕事と熱は移動量であることを強調しよう

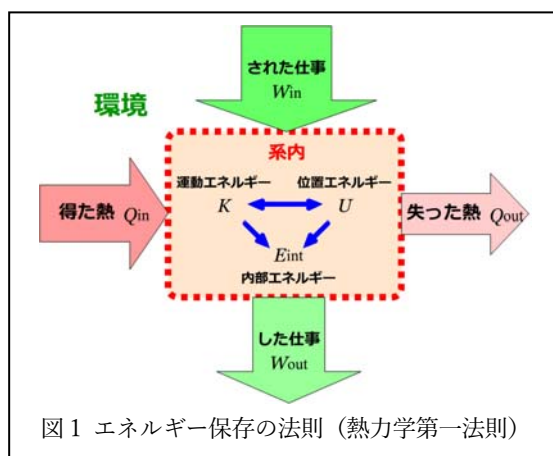
「仕事」は「熱」と共にエネルギーの流れ(flow)の一形態で、仕事や熱が系に加えられると、その分だけ系のエネルギーは増加する。これがエネルギー保存則の一般的表現であり、文献2,3,4の「右近ダイアグラム」に象徴的に示されている。これをもとに山本<sup>5</sup>は図1を提案している。仕事と熱の流れを分離し、流入の矢印と流出の矢印を分けて描いた。物理現象がエネルギーの流れの中で起こっていることを表現している。式で表せば

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q$$

となる。左辺は系内のエネルギーの変化、右辺は環境との間でやりとりされたエネルギーの移動量としての仕事と熱である。物理現象はエネルギーの流れの中で起こる。物理現象によってエネルギーの変換や移流が行われるといってもよい。

### 総量から移動量への視点の転換を丁寧に扱おう

力学的エネルギー保存の法則は、「 $K + U = \text{一定}$ 」と総量一定の形で定式化される。しかし、



エネルギーの総量を求めることは現実的ではなく、一般的なエネルギー保存の法則はやがて、 $\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q$  という差分の関係で書かれることになる。初学者にとって両者の間には認知のギャップがあるので、丁寧な橋渡しが必要である。「お金保存の法則というものがあるとして、財産総額を求めるのは大変だから、お小遣い帳は月々のお金の出入りだけで赤字・黒字を判断するよね。」といったたとえ話でもよい。熱力学第一法則につなぐ過程でこのことを意識したい。

### 「熱エネルギー」と呼ぶのはやめよう

これまでもたびたび指摘されてきたことだが、日常語として定着し、教科書にも用いられている「熱エネルギー」という表現は好ましくない。熱は flow であって stock ではないからである。物体の構成粒子の乱雑な運動に由来する系内のエネルギーは正しくは「内部エネルギー」というべきである。中学校および高等学校の学習指導要領、ならびに理科の学習指導要領解説は「熱エネルギー」という用語を極力避けている。この違いを意識しているものと思われる。

関連して「熱量保存の法則」は「熱量」が stock であるような誤概念を初学者に植えつけかねない。高等学校学習指導要領解説にもいまだに「熱量の保存」を扱うと明記されているのですべての教科書にこの記述は残っているが、熱量保存の法則は、熱素説のはたした歴史上の役割と共に、側注やコラムに出して軽い扱いでよい。cal から J へと単位の統一はなされたものの、質量の単位にはまだ g が用いられており、物理基礎に根強く残るこの教材は弊害が大きいのではないか。むしろ熱量が保存しないケースを丁寧に扱うべきだろう。仕事と熱が系を通じて相互に変換しうることを、摩擦や熱機関（エンジン）、ヒートポンプなどの例をあげて、日常生活と関連づけながら理解させたい。もちろんその過程でも全体としてエネルギーが保存することを強調する。

### 内部エネルギーを $U$ で表すのをやめよう

現行の物理基礎 5 社 10 種の教科書すべてで、熱力学第一法則の記述にあたり、内部エネルギーの記号には  $U$  が使われている。 $\Delta U = W + Q$  の形で用いられるにせよ、位置エネルギーを表すのに使ったのと同じ記号  $U$  が何の断りもなく用いられているのである。これは以前とは関係ない話だと言わんばかりである。高校生は違和感を感じ戸惑うに違いない。力学とのつながりを大切に、一連のストーリーとするなら、少なくとも記号は区別した方がよい。このことにも象徴されるように、現行教科書でも力学と熱力学の断絶は解消していない。

### 参考文献

- 1 西尾信一(2020)「仕事とエネルギーの指導についての提案」『物理教育通信』No. 179
- 2 右近修治(2020)「「仕事とエネルギー」概念の検討 - 「系」選択の重要性 -」『物理教育通信』No. 179
- 3 右近修治(2021)「「エネルギー保存則」どう教えるか」『物理教育通信』No. 186
- 4 右近修治、岸澤眞一、中村正人、新田英雄、長谷川大和、宮崎幸一、山本明利(2021)『SUPER 入門力学』β1版、SUPER 物理研究会
- 5 山本明利(2022)「仕事・熱・エネルギーをどう指導するか」『北里大学教職課程センター教育研究』第8号