

IT-based 力学実験授業と教材資源開発の新展開

新潟大学教育人間科学部理科教育教室 小林 昭三

kobayasi@ed.niigata-u.ac.jp

要旨: IT センサーや運動分析ソフトなどを本格的に活用して、IT-based 力学実験授業と教材資源開発を進めてきた。これによって、抵抗が無視できる理想化された世界と抵抗が支配的な日常的な世界のいずれにおいても、著しい教育効果が期待できる IT-based 力学実験授業と教材資源の開発が新展開できた。例えば、「空中や水中」において、力と運動の基本的な概念の形成を可能にする際の「かぎ」となる典型的な運動現象を提示して、その予測を IT 活用実験によりすぐに結果を可視化して検証することができる（視覚化して何度でも繰り返し観察・検証できる）。このようにして、力と運動などに関する学習者の誤概念を転換して、基本的な科学的概念を形成する効果的な授業が実現できた。そうした力学授業の新しい展開をもたらす授業モジュールの具体例について報告する。さらに、こうした最新の IT 技術を使った IT-based メディア教材資源を開発するいくつかの試みと、どのように有効に活用するかに関する新たな実践的研究の成果についても言及される。

1. はじめに

IT センサー（力センサーや距離センサー）や運動分析ソフトなどにより、典型的な運動現象をリアルタイム（又は準リアルタイム）で感動的に体験・検証するような IT 活用による効果的な授業法や教材資源の開発研究に取り組んできた。こうした成果を動画分析ソフトや IT センサーを活用した「新しい力学授業法」をふんだんに盛り込んだ「リメディアル☆フィジックス・力と運動」（DVD 版）[1]を完成した。

力と運動に関する法則を詳しく分析する際には、力センサーや距離センサーのデータやデジタルカメラの動画を運動分析ソフトで即座に分析し、繰り返して観察しながら分析・検証することが欠かせない。つまり、力と運動の本質を捉えるまで実験を詳細に分析・観察するためには IT 活用が威力的である。例えば、目にもとまらぬ高速な水ロケットのような運動でも、デジカメで手軽に撮影して、運動分析ソフトで、その $x-t$ グラフと $v-t$ グラフを表示すれば、一定の推進力による「等加速度運動」であることを即座に検証できる。

力学台車が受ける運動摩擦抵抗を小さくするには質量が小さいほど有利である。そこで、軽い素材を使って「超軽量力学台車」を作れば「抵抗が無視できるより理想的な世界」での力学実験を実現できるのではないかと考えた。その結果として、軽量プラスチック板や超軽量発砲スチロール板などに「摩擦が最小なベアリング付き車」をつけ、百円ショップでも見かける携帯用ミニ扇風機を載せることで、「摩擦が無視できる理想的な超軽量力学台車」を作ることになった。

実は、従来型の「頑丈な 1 キログラムの重い力学台車」に、安価な携帯扇風機を載せたのでは、扇風機による推進力の逆方向に押し出し U ターンして戻ってくる運動が通常は実現できない。抵抗が大きいため、U ターンする際の速度 0 に近い状態で止まってしまうか

らある。そのため、ボールの投げ上げに相当する運動が実現できない。従来型の「頑丈で重い力学台車」という常識を打ち破ったことでそれが実現できた[2]。

さらに、プラスチック板の面積を大きくした軽量力学台車に、安価な携帯（ミニ）扇風機を何台も載せて、推進力を大幅に変化させた多様な運動が実現できる。

さらに、最新のドライブレコーダーという装置を、普通自動車に搭載して、車の日常的な運動を刻々と記録できる。その速度や加速度の変化と自動車から見える次のような風景動画を同期させて提示して分析・検証する、授業モジュールの研究開発結果を報告する。



(1) 運動の法則をめぐる授業モジュール

授業モジュールでは、目に見えない重力の代わりに、目に見えるミニ扇風機の推進力を進行方向と逆向きに働かす実験を行う。「ボール投げ上げ運動」に対比できる「速度・加速度・力の予測」を検証する授業が「ミニ携帯扇風機を載せた超軽量ベアリング車付き力学台車」で実現できる。その結果、「運動する方向に力を受けている」という「力と運動の素朴（誤）概念」を根

底から転換できる授業が実現できる。

さらに、幅の広い手作り超軽量力学台車に携帯扇風機を必要な数だけ乗せて、台車の質量を一定に保ったまま、推進力を1から数倍に変化（数台のミニ扇風機を載せたまま、扇風機のスイッチを次々と入れる）させ、その加速度を運動分析ソフトやITセンサーで測定する[2]。次に、台車を何台も重ねてその質量を2倍、3倍に変化させたとき、推進力が同じならば加速度はどうなるだろうかを予測・検証をする実験を行う。

こうした「授業モジュール」をもとに、超軽量力学台車を作り運動法則を探求する授業や研修会やワークショップを教員、大学生や高校生に対して実施した。

高校1年生に「私もニュートン」という題で実施した授業に対する感想は次のようだった。「自分の予想とは違う実験結果が出たり、分からないところも知れてとてもよかったです。物理は奥が深いと思いました。最初に予想をたてましたが、実験の結果は予想と違ったものがあり、講義を受けてわかりよかったです。これまでの自分が思っていた先入観が違っていたので驚いた。実際に実験してみて、ちゃんとした根拠があることを教えてもらって、分かりやすかった。」

その授業では、次のような3つのコースを転がる金属球において、「どのコースの金属球が先に先端にたどり着くか?」という問題を予想して検証する授業を行った。「スペースワープ」を変形して作った、上図



のような実験装置を工夫することで、感動的な実演を提示することができた。高校1年の回答者24人中、23人が「同時につく」と回答したが、大方の予想に反して一番下のコースの球がはるかに早く先端に達した。これをビデオポイントで効果的に可視化して、分かり易く検証した。この感動的な予想・検証実験を経て、「位置エネルギーが運動エネルギーに転化」するエネルギー概念の理解を飛躍的に深めることができた。

現職教員の研修会でも同じような授業モジュールを紹介したが、次のような肯定的な評価を得る感想が多かった。「教員研修参加者へのアンケート結果：中学校理科の『運動の規則性』の単元で『運動解析ソフト』を活用してとても有効でした。運動分析ソフトである、運動くん、MOA-2Dは、表をグラフ化して運動の様子がよく理解できる。記録タイマーの実験よりも深く理解できる。運動とエネルギーの発展学習、または選択理科で十分に行えるすばらしいものだと思います」。ここで、「運動くん、MOA-2D」とは、当研究室で修士課程の院生が開発した運動分析ソフトである。

(2) 抵抗が支配的な「日常的世界」の落下運動

従来は、抵抗のない理想的な世界の教材が理科教育の主要部分であったが、抵抗が支配的な日常世界における終端速度の法則性も、運動分析ソフトや距離センサーなどで実体験することができる。実は、軽い紙のような素材ほど「空気抵抗が支配的な世界」をうまく実現する。弁当箱用アルミ片の間に挟んである紙カップは軽いので10枚前後重ねて落下させても、すぐに終速度に達する。この軽量紙片カップは、重ねる紙片の枚数を変えて重力を変化させ終端速度の変化を観測するのに、きわめて都合がよい。

空中の運動と水中の運動

相似形の紙カップが同一の落下運動をすることの意外性に満ちた実験をより感動的に示すには、大小が極端にかけ離れたアルミカップを手作りすることが有効となる。スチール製のパンケーキ用鋳型を2枚を重ね合わせて、アルミホイルをその間に挟んでアルミカップ（ふちを適当な高さの円形の）型にカットして、かなり大きなアルミカップが容易に手作りできる。

空中では、アリストテレスの説のように、（終端）速度は質量（重ねた枚数）に比例するのではなく、質量の平方根に比例する。その終端速度の2乗は、重ねたカップ枚数に比例する。同一材質で同一枚数なら、相似なコップは大きさによらずに同一の落下運動をする。

水中の場合は、アリストテレスの説のように（終端）

速度が質量に比例する。球形のプラスチックシェル球に1円玉を何個か入れて、下向きの力が2倍、3倍と変化するように調整して、粘性抵抗が支配的になる水中を落下させる運動を運動分析ソフトで分析した

このような「速度に比例する粘性抵抗に起因する終端速度の法則」を検証する多様な教材開発を行った。

参考文献

- [1]メディア教育開発センターの著作物、小林・田中制作、大学物理教育協議会：江尻・並木監修(2004年6月)、放送大学教育振興会発行、丸善で販売。
- [2]「力と運動の素朴概念を転換するIT活用法の有効性」、『教育実践総合研究』新潟大学教育人間学部附属教育実践総合センター研究紀要、No.2(2003), pp.39-62. <http://yuyu.ed.niigata-u.ac.jp/report03>。「ITを活用した力学教授法は誤概念を克服するのにどれほど有効か」『理科教室』(星の輪会刊)2004年3月 pp.54-59. <http://rika.ed.niigata-u.ac.jp>参照