

リアルタイム IT 活用教材とウェブ・メディア教材資源の開発

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: リアルタイムで情報技術(例えば、力センサー、距離センサー、運動分析ソフト)を活用したいいくつかの新しい物理教育教材を開発したので、その特徴的な内容とそれを用いて感動的に物理分野を教授・学習する授業実践例や、ウェブ・メディア教材資源の編集例と活用例、等について報告する。

科学教育では、科学的な概念形成の鍵となるような典型的な実験を提示し、それに対する予想を実験や観察で検証・分析することが重要となる。その際、実験の結果を予想し検証する過程においては、情報技術をリアルタイムで活用することが特に重要で効果的な役割を果たすことが注目されよう。生徒が根強くいっている素朴概念を克服して科学的概念に転換するような感動的な実体験をもたらすには、力学授業におけるリアルタイム又は準リアルタイムで IT を活用することが非常に効果的である実例をいくつか紹介する。そのような運動分析ソフトによる動画教材の分析例を実演し、希望者には実体験してもらおう。さらに、こうした教材をふんだんに盛り込んだウェブ・メディア教材資源の開発とその活用例についても報告する。特に、「リメディアル フィジックス・力と運動」(DVD 版)を発行したので、授業や研修会、講習会などにおける活用例を演示し、希望者にはこのような新しいメディア教材資源を試用してもらおう。

1. はじめに

とかくバーチャル世界のみ偏重しがちな IT 活用の現状を改善し、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で現実世界をリアルタイム(又は準リアルタイム)で、感動的に体験・検証するような、IT の効果的な活用法の開発に取り組んできた。その結果、従来まではとかく困難視されてきた多くの物理分野を、感動的に教授・学習できる新しい効果的な教材を開発し、その有効性を検証してきた。

さらに、動画分析ソフトや IT センサーをふんだんに活用した「新しい力学授業法」を集大成した「リメディアル フィジックス・力と運動」(DVD 版) [1]を発行するに至った。この DVD 教材やメディア教材資源と実験や実演を相補的に用いる授業改善を試行してきた。

2004年12月末に、2つの国際的な教育到達度調査の結果が相次いで発表になったが、実は、日本の理数教育は国際的比較においても、きわめて厳しい状況にある。それは、経済協力開発機構(OECD)の「国際的な学習到達度調査(The Programme for International Student Assessment; 略称PISA) [2,3]」と、国際教育到達度評価学会(IEA)による「国際数学・理科教育動向2003年調査[2] (Trends in International Mathematics and Science Study 2003; TIMSS2003)」とである。

OECDが2003年に実施したPISAの結果(2004年12月7日に発表)では、日本の読解力は前回(2000年)の8位から14位へ、数学的リテラシーは1位から6位へ低下した。IEAによる2003年実施の学力調査(TIMSS2003)では、中学校2年数学は579点(5位)から570点(同)にまで低下した。小学校4年の理科は、2位から3位に

なり、中学校2年の理科は4位から6位になって、小・中学校のいずれにおいても、理科の学力低下傾向が表れた。特に「理科の勉強が楽しいか」は「強くそう思う」「そう思う」と答えた小学生の割合が前回の88%から81%に低下し、中学校も調査国ワースト2,3位である。(PISAでは中学2年の理科好きは53%から50%に低下)、理科への積極性や自信も、小・中とも世界最低水準だ。

これらに加えて、OECDのPISA[3]では、日本の生徒はICTの使用に関する全質問項目で、OECD平均より使用頻度がかかなり低いという衝撃的な結果が提示された。

ICTの使用の程度を示す指標値(OECD平均値は0.00)の平均値では、「インターネット/エンターテインメントの使用」は、米国「0.46」、英国「0.30」で、日本は「-0.91」と最低だった。「プログラム/ソフトウェアの使用」でも、日本が「-1.03」と最低で、米国「0.33」、英国「0.32」だ。つまり、日本はIT先進国から脱落の危機にある。

例えば、「インターネットで情報を調べる」は;「ほとんど毎日と週に2~3回を合わせた」生徒の割合が日本22%にたいしOECD平均は52%と半数以上と倍以上。「ワープロソフトを使う」は;「ほとんど毎日と週に2~3回を合わせた」生徒の割合が日本15%、OECD平均45%である。表計算ソフトでは、「ほとんど毎日と週に2~3回を合わせた」生徒の割合が日本は7%、OECD平均20%。グラフソフトは、日本8%、OECD平均28%。「学習の参考にコンピューターを使う」は、日本4%、OECD平均28%と、日本は際立って低水準だ[3]。

こうした現状を打開しうる理科教育改善の基本的方向を明らかにし、現状を転換することが焦眉の課題となっている。そのような方向としてリアルタイムIT活用による理科教育の革新を位置づけ、推進してきた。

2 理数力低下を克服する理科カリキュラム

これまで、運動の法則を学習する際には、米国の PSSC 物理等の理科教育の現代化時代以来（30年以上の長きにわたり）力学台車と記録タイマーがよく用いられてきた。その力学台車は、重くて頑丈な1キログラム（又は500グラム）の金属製のもの、ということがいつしか常識となっていた（記録タイマーを安定して引くために、重く頑丈な重量感のある金属で作られた）。

しかし、力学台車が受ける運動摩擦抵抗をより小さくする観点から考えると（それは垂直効力＝力学台車の質量に比例するので）、質量が小さいほど力学台車のころがり摩擦抵抗は小さくなる。そこで、出来るだけ軽い素材を使って「超軽量力学台車」を作ることによって「抵抗が無視できる理想的な世界の力学実験を実現できるはずである」と私たちは考えた。

具体的には、様々の超軽量の素材の板に、東急ハンズなどで手に入る「あらゆる種類のベアリング車」をつけた超軽量台車を試作し、その上に携帯扇風機を載せて「次の条件」を満たすようにすることに挑戦した。

その条件とは「ミニ扇風機の推進力の方向と逆向き（逆噴射状態）に押し出してUターンして戻ってくる（ボールの投げ上げに相当）運動をスムーズに再現する運動が可能となることである。これは「ボールの投げ上げ＝運動方向とは逆向きに力が働く」に相当した実験だからである。これによって、「動く方向に力はいつでも働いている」という生徒がだれも持っている素朴概念を覆したいからである。

そのような条件を満たす素材を探求した結果、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のである。さらに、これにより新たな有力な条件が生まれた。例えば、軽量プラスチック板の面積を大きくすれば、多数プラスチックを載せることができ、それを次々と働かせて「運動法則を自由に探求できる」条件が拡大する。従来までは「一定の力を受け続ける物体の運動を思いのままに（その力の大きさを何倍にも変化させて）実現すること」は、容易ではなかったが、この超軽量力学台車に、安価な携帯（ミニ）扇風機を何台も載せることで、小さい推進力からかなりの大きさの推進力にまで、広い範囲で力を変化させて、「一定の強さに推進力を保ちながら加え続ける」多様な運動が実現できるようになった。

実は、従来の「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、抵抗が大きいためになかなかUターンして戻ってこない。そのため、ボールの投げ上げに相当する運動は実現しにくいのである。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、抵抗が無視できる理想的な世界を探求できる道が開かれたのである。

さらに、力や運動を詳しく分析する為には、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、繰り返して観察することが必要となる。つまり、力と運動の本質を捉える感動的な体験を生むには、実験を詳細に分析・観察するためにITの威力を十分に発揮することが肝要だ。

そのような新しい授業展開が不可欠となってきており、今日では、PSSC 物理時代の「力学台車と記録タイマー」などの教材・教具に代わり、ITをリアルタイムに活用する新しい科学教育への飛躍（break-through）の時代が広範な分野で開始しているのである。

次に、こうした実践例のいくつかを列挙しよう。

(1) 運動の法則をめぐるカリキュラム開発

これまでに「運動する方向に力を受けている」という「力と運動の素朴な見方」をくつがえすような、運動の法則をめぐる授業の改善を蓄積してきた。その際、「ミニ扇風機の推進方向と逆向きに押し出しても、Uターンして出発点方向に戻ってくる」運動を、「運動分析ソフトや距離センサー」で明快に分析し、スローモーションで繰り返し提示することが欠かせない。

そして、運動の時間的な変化（ $v-t$ グラフ）と台車が受けている力を予想させ、ITを活用することで、予想を即座に検証する感動的な授業が可能になる[4]。

即ち、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のである。ボールの落下運動の予測を感動的に検証する」授業に相当する内容の授業が、抵抗が極小な超軽量ベアリング車付き力学台車に携帯ミニ扇風機を載せることで実現できた[4]。

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[4]。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、推進力同じならば加速度はどうなるだろうか。そのような予測・検証をする実験を行う。このようにして運動法則を感動的に探求できる。

さらに、何時でも推進力を取り去り（力をゼロに変え）その瞬間からの速度の不変性を検証する実験。等々、中学生や高校生の素朴概念を転換する「未来の力学カリキュラム」が展望できる。

(2) 動画DVD「リメディアル フィジックス」[1]

上記のような成果を含んだ力学教材の集大成として、実験動画DVD「リメディアル フィジックス・力と運動」[1]を制作し昨年の9月に発売するに至った。現場の教師がこのDVDなどを活用して、ITセンサーや運動分析ソフトを思いのままに自由に駆使した新しい科学教育の

展開ができるようするために、講習会やワークショップなどを各地で試みてきている。リメディアルフィジックスの活用の際にはこれを単に見せるだけでは不十分である。その中で、特に重要な概念形成部分については、指導者が学習者に予想を立てさせそれを検証する実験を演示することが必要となる。そのようにすれば、より効果的な学習にすることができる。

日本では、こうした各種センサーや運動分析ソフトの普及が遅れており、小・中・高校・大学の授業で広く活用・普及されることが今後の急務と思われる。

(3) 作ってみよう超軽量台車走らせよう携帯扇風車

上記の「超軽量力学台車」のセット（ベアリング車3個、プラスチック板、バルザ材の軸受け、携帯ミニ扇風機）を、和澄氏の協力によって、広範に普及することを開始してきている。こうした「超軽量力学台車」セットをもとに、超軽量力学台車を手作りして運動法則を探求する大学生や高校生に対する授業、様々な機会での研修会、ワークショップなどを行ってきた。

(4) '慣性の法則' や '運動量保存' の授業プログラム例

静止した2台の力学台車が磁力で2つに分裂する運動における、運動量保存の法則についての授業。

- 2台の力学台車の完全非弾性衝突における、運動量保存の法則
- 2台の力学台車が完全弾性衝突における、運動量保存の法則
- 自動車とトラックの正面衝突における、運動量保存の法則

などを予想して検証する、授業プログラムの実践例。

(5) エネルギー概念を形成する授業プログラム例

運動エネルギーと位置エネルギーの概念を、定性的（大小関係）に、そして、定量的（厳密に保存すること）に理解する；

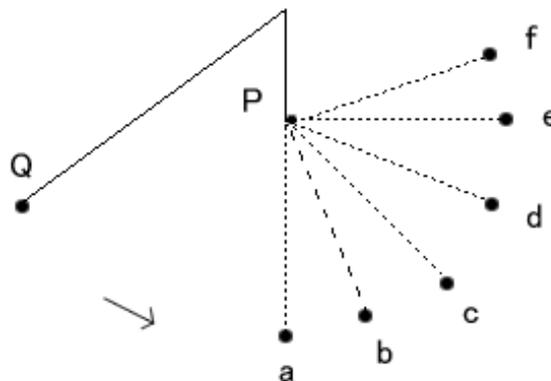
- 物体が高い位置からより低い位置に移る際に高度差に相当するエネルギーが運動エネルギーに転換することを理解する。
- その運動エネルギーによって、厳密に元と同じ高さまで、物体を上らせることができることを理解する。
- 仕事と運動エネルギーについて理解する。
- 仕事と位置エネルギーについて理解する。
- 力学的エネルギーの保存則を理解する。

実験を行って、エネルギー概念を定量的に体得し、運動エネルギーと速度の関係、位置エネルギーと高さの関係を実験や理論に基づき理解するという授業例。

(6) ガリレイの振り子によるエネルギー概念の形成

次の図のように、鉛直線上の点Pの釘でひもの動きを遮った振り子がある。点Qから振り子を離したとき、ひもの動きが遮られた振り子は、その後、どの高さまで上がるか。また、点Pの高さを変えるとどうなるだろうか（振り子への摩擦や空気抵抗は無視できる）。

適切なものを次の図から1つ選び、その記号をつけよ。また、その理由を簡潔に述べよ。という実践例。

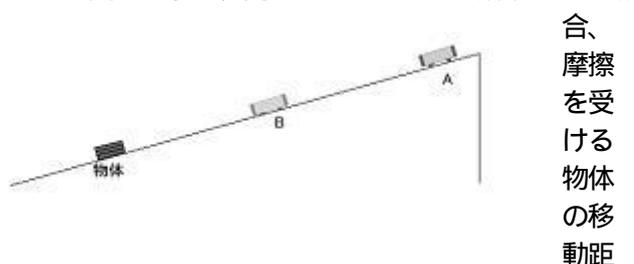


(7) 様々なタイプのジェットコースターにおけるエネルギー保存則を、運動分析ソフトで定量的に示す実践例。

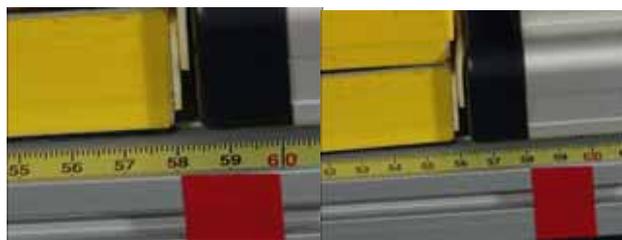
(8) 斜面の摩擦に抗する仕事を検証する実験

力学台車を落下させ、斜面上に置いた摩擦のある物体を押し動かす仕事についての実験を行う。Bから落下させたとき、2倍の高さのAから落下させたときでは、どちらが物体を大きく動かす（仕事）をするか。

次の図のように、高さがhのB点から落下させた場合、



摩擦を受ける物体の移動距離は2.1cm、高さが2hのA点の場合は移動距離4.2cmとなった。これにより、摩擦に抗して重力がする仕事 = 位置エネルギーを失う分、の定量的な検証ができる。



3 抵抗が支配的な「日常的世界」の落下運動

IT活用した科学教育の飛躍の時代には、抵抗が支配的（前節のゼロと正反対）な日常世界における、美しい物理法則を教材化する可能性も大きく開かれている。

実は、「紙・アルミ製超軽量容器の空中での落下運動」などを、ITを活用して分析・検証することにより、それは可能となる。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。このような日常世界の素材による授業法を開発した。

それは、「弁当箱に入れるアルミカップの間に挟む超軽量紙片(10枚前後重ねても軽いので終速度に達する)」を空中で落下させる実験である。



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、それによる終端速度の変化を観測するのに都合がよい。

落下物を軽量化するほど「空気抵抗が支配的な世界」を実現できるのである。この教材は、高校生のみならず、理系の大学生にも好評な教材だった。さらに、水中での落下についても、新しい効果的な授業法を示すことができる。このような抵抗は、空中では速度の2乗に比例し、水中では速度の1乗に比例する。

非常に軽い「紙やアルミのカップ型容器」を空中で落下させる実験をする。紙カップを重ねる枚数を変化させることで下向きの重力を自由に換えられる。

この落下実験では、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。弁当のおかず入れに使うアルミ片の間に挟んである紙カップは、特に軽いので10枚前後重ねて落下させても、すぐに終速度に達する。力学台車の場合は「軽いほど抵抗が無視できる世界を実現できた」のとは対照的である。

抵抗が支配的な世界では、1秒間に、紙カップの上面積 S の面積が長さ V (落下速度)だけ動いた時の円筒の体積(=SV)の空気分子が紙カップに衝突する。それぞれの空気分子は平均して V の速度を受け取るので、そのときの運動量の変化は SV^2 に比例する。この運動量の変化は、空気分子がカップに及ぼした抵抗にあたる。従って、速さの2乗の空気抵抗を受ける。そのため、速度と共に抵抗は急速に増加し、すぐに紙カップの下向きの重力を打ち消す大きさに達する(終端速度になる)。特に、相似形な(S/m が等しい)全ての紙カップ(又はアルミカップ)は、空中を落下する時、大きさの如何にかかわらず同一の落下運動をする。

(1) 極大・極小なアルミホイールカップの作成

このような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。これは、スチール製のケーキ用鋳型である。アルミホイールをその間



に挟んで2枚を重ね合わせ、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、図の



ように、かなり大きなアルミカップや、かなり小さなアルミカップを、容易に手作りできる。

これにより空気抵抗が支配的な世界(アリストテレス的世界)で特徴的な、「終端速度に関する美しい法則」を調べることができる。空中では、アリストテレスの説のように、(終端)速度は重さ(重ねた枚数)に比例するのではなく、重さの平方根に比例する。その終速度の2乗は、枚数に比例するのである。同じ枚数なら大きさの如何にかかわらず同一の落下運動をする。こうして、「終速度の2乗は枚数に比例する」ことが見事に確認できる。

(2) 水中の運動

実は、(終端)速度が重さに比例するのは、水中の場合である。球形のプラスチックシェルに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。

このようにして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教材開発を行った。つまり、水が入ったプラスチック球に注射器で少し空気を入れて、その浮力が丁度重力に等しくなるように微調整する。その球の中に、1円玉を1個、2個・・・といれて、水中を落下させる。物体は速度に比例する粘性抵抗を水中では受けるので、終端速度は下向きに働く力(浮力を重力から相殺した合力)に比例するのである。

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]http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/main_b8.htm, 文科省各種統計情報(TIMSS2003, PISA2003調査)。
- [3]生きるための知識と技能(OECD-PISA) 国立教育政策研究所編(2004/12) ぎょうせい。
- [4]「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