

# ミリ分解能 ICT 基盤に新展開する能動型概念形成授業の 吹き矢パイプ系による具体化

小林昭三\*1・興治文子\*1・畠山森魚\*1

Email: kobayasi@ed.niigata-u.ac.jp

\*1: 新潟大学教育学部

◎Key Words 吹き矢の力学, ミリ分解能 ICT 活用, アクティブ・ラーニング, 概念形成授業

## 1. はじめに

科学の基礎的で基本的な概念をより効果的にアクティブ・ラーニング（以下ALと略記）できるようにすることを旨とした科学教育の研究開発を推進してきた。科学の基礎・基本となる概念を形成するための鍵となる実験・現象を工夫する必要があるが、身近なところで手軽に入手できるような（例えば、100円ショップで）単純な素材を工夫して、それらを効果的に実施できるような教材資源を豊富に蓄積することが望まれる。

その際、鍵となる実験や現象の詳細を最新のICT活用によって詳細に分析・解析することで、得られた決定的な結果を視覚的なデジタル画像として解り易く表示して、それらに対する事前の予想が正しいか否かを明快に検証できることが肝要となる。そうしたICT活用による効果的なアクティブ・ラーニング（AL）型理科授業が実現できるような「授業用の実験教材モジュール」資源の豊富な蓄積が望まれている。多種・多様な分野における効果的な科学概念形成に不可欠な、ICT活用AL授業モジュールを研究開発してきた<sup>(1-3)</sup>。

その際、ICTを効果的に活用した理科授業を、教育現場で日常的に実施できるようにするために、近年、その有用性が高まってきた「最新のミリ秒の分解能を持つITセンサーや運動分析ソフトなどをどのように用いればより魅力的で効果的なAL型理科授業が可能になるか」に焦点を当てた研究を推進してきた<sup>(1-3)</sup>。何故なら、最新のミリ秒の分解能を持つICT活用によれば、「摩擦が無視できる世界における美しい法則性」や「電気の世界における美しい法則性」などでの、ICT活用をベースにした詳細な可視化が可能になり、「驚異に満ちた魅力的なミリ秒の世界」を楽しくアクティブ・サイエンスできるからである。本報告は、吹き矢パイプ系システムによって「吹き矢の世界におけるAL型力学授業の具体化」を目指したものである。ミリ秒の分解能を持つ超高速カメラや各種センサーを活用することで、このような新たな可能性を切り開くものである。「最新のICT活用法によるミリ秒の世界におけるAL型の理科授業研究開発プロジェクト」の一環として取り組んだ成果でもある。さらに、こうした取り組みは小・中・高・大の理科教育全体を一貫した視点から統一的に見通す視点を与えるものなので、特に、小・中・高・大への一貫した流れを生むものとして期待できよう。

## 2. アクティブ・ラーニング型理科授業の意義

「理科や算数、国語の授業中のコンピュータ使用状況調査」が「PISA 2009年デジタル読解力調査」に際して行われた<sup>(4)</sup>。理科、算数、国語の授業でコンピュータを全く使っていないが、理科で98.4%、算数で98.7%、国語で99.0%である。OECDの調査参加29カ国の平均は、理科で75.4%、算数で84.2%、国語で74.0%、とこれらよりはるかに低い。コンピュータを少しでも使っているは、（それぞれの週に30分以下、31分以上60分、60分以上）の順で、その%値の次のカッコ内に、該当する割合を示す。理科では、1.6%（0.8%、0.6%、0.2%）、算数では、1.3%（0.7%、0.4%、0.2%）、国語で1.0%（0.6%、0.2%、0.2%）。OECDの平均値（コンピュータを少しでも使っている）は、理科で24.6%、算数で25.8%、国語で26.0%と日本に比較して高い<sup>(4)</sup>。

実は、近年、情報コミュニケーション技術（ICT）が目覚ましい発展を遂げ、従来とは比べものにならないほどに「理科教育におけるコンピュータを活用するメリット」は大きい。何故なら、ICTをうまく活用すれば鍵となる実験・現象に対する「予測の正否を決定づける証拠が得られる（白黒がつけられる）」からである。

それ故、私たちはICT活用基盤上に「根強い素朴概念の克服・転換できて・科学の基礎的で基本的概念の効果的形成ができる」ような、自然界の謎を解くICT活用アクティブ・ラーニング型科学授業法の研究開発と、授業実践に基づく充実・普及・発展に取り組んできた。様々なアクティブ・ラーニング（AL）型理科授業の工夫・改善によって、低い達成度しか得られなかったような従来からの問題点や課題を克服して、基礎・基本となる多様な分野において、多様な学習者に能動的な学習意欲と深い興味・関心を自然に引き出し得る科学教育の本流を構築する事が出来る。

以下が、そのような「ミリ分解能ICT基盤に新展開する能動型概念形成授業の吹き矢<sup>®</sup>パイプ系による具体化」である（(5)は水平だが我々は垂直吹き矢を使う）。

### 3. 吹き矢・タピオカストローによる具体化

ミリ秒ICT活用によるActive-Learning (AL) 型力学授業の吹き矢パイプ系システムによる具体化を以下に示す。

用いる素材としては2つのケースを準備して報告する。

(1) 授業・講義で演示するケース：アクリルパイプにブロウにより空気を吹き込むシステムを用いるもの。アクリルパイプの長さ10cm~20cm前後を、1倍、2倍、3倍の長さの筒で吹き矢をブロウで垂直にとばす実験をする。

ブロウの風力によって吹き矢物体が筒内で等加速運動をする「適当な質量の吹き矢物体」を選択する。パイプの太さを数種類について、丸鉛筆、バルサ材の円筒、等60cm程度までに於いて、等加速運動を確認できる。

(2) 児童・生徒自身がそれぞれ吹き矢実験をしてアクティブ・ラーニングするケース：タピオカストローによる吹き矢系システムを用いる。吹く専門の6mmのストローをくわえて、12mm、又は15mmのタピオカストローに一定の風力で息を吹き込むという手軽な実験である。

但し、「人間の吐く息が暖かいので冷えて露が生ずる」ためストローと吹き矢物体が濡れる・濡れる事による摩擦が生じる。1-2回吹くだけでタピオカストローを交換すれば、濡れは無視できる程度になる。何度も息を吹き込むような場合には、大容量のペットボトルに溜まっている空気を上手く先に吹き込む工夫で濡れを抑制できる。

(1) (2)のいずれの場合も、吹き矢物体の「吹き筒内での等加速度運動」、「筒外での空中における自由落下運動」、等を、超光速カメラにより撮影して、それを運動分析ソフト (LoggerPro) <sup>6)</sup> で分析する。位置や速度や加速度の時間的な変化を動画と同期させて「視覚化・グラフ化」して示す (グラフ上の各点を動画のスローモーションと同期させて提示する)。このような「ミリ秒ICT活用法」によって、次に示すように実験の結果を予測させ、その理由を討論し、その予測をわくわくしながら明快に検証できる。驚くべき検証結果になる現実をリアルに体験することによって、従来までの誤概念を自ら修正する必要に迫られることによって、正しい科学的な概念を体得・形成できる「AL型の吹き矢の力学授業」が実現できる。

その際「ミリ秒分解能の重要な役割」に注意されたい。従来までは、吹き矢のような超高速な運動は肉眼では捕え難い対象だった<sup>6)</sup>。その速度や加速度を視覚化して具体的に認識する事は困難だった<sup>6)</sup>。しかし、超高速カメラやミリ秒分解能があるITセンサーを活用して、それらを手軽に視覚化して、実験に対する予測を明快に検証することができる。それによって、解かりやすい「アクティブ・ラーニング型理科授業の新展開」が可能になったのである。こうして、手軽な吹き矢の力学の本格的な具体化への道が大きく開かれた。明治初・中期に目指した「高いレベルの教育目標・力学のコア概念 (質量・運動量・エネルギー等) の形成」等が、最新のICTを活用することで新展開できた。即ち、今日的達成度が効果的に得られるAL型概念形成授業に相応しい「鍵実験を明快に予測し検証する新段階の授業モジュール」の現代的再構成である。

### 4. 重力を意識させる垂直方向の力のつり合い

重力は身近な遠隔力であるのに、児童・生徒にとって地球の引力・重力の確かな意識化は困難だった。重力を

どのように導入し「その垂直 (鉛直) 方向でのつり合い」をどう教材化するかは今も重要な課題である。

例えば、高橋金三郎は「糸で下に引かれたクリップ (鉄) を磁力で宙づりにして、重力を意識化する垂直方向のつり合い (1959年)」の教材化を試みた。板倉は仮説実験授業にこれを取り入れ、「力つり合いの原理」の導入部に用いた。最近、机にセロテープで留めた糸の他端に付けられたクリップを強力磁石で、丁度宙づりにする (糸を弛ませる) ような、垂直方向での磁力と重力と糸の張力 (ゼロ) とのつり合いによる「重力の導入」の試みもある。

これ等は垂直方向のつり合いに糸の張力が入る「3力のつり合い」なのが難点である。張力無の「2力のつり合い」を単純に実現出来る工夫が望まれる。水平方向なら「水に浮かせた発泡材上の鉄に両側の2磁力のつり合い」、[台車に互いに逆向きの扇風車を載せて2つの風力による[水平方向のつり合い]等がある。「垂直方向の重力と?とのつり合い」のような意外性の体験ができ難い。

#### 4.1 吹き矢に働く垂直方向の2力のつり合い

吹き矢パイプ系は吹き矢に働く重力と風力のつり合いが容易に実現でき「効果的重力の意識化」に寄与できる。

しかも、「鉛直方向で実験する理由」として「垂直な筒と矢との摩擦を最小限にして、運動法則を調べる際には“ほぼ摩擦が無視できる理想的な世界が実現できる”という優れた特性を重視する考え方」は特に重要なものと思われる。

「AL型吹き矢系の力学樹授業モジュール」の具体化例:

問題1 垂直パイプ内の吹き矢型物体は宙吊りになるか?

①宙吊りになる。②宙吊りにならない。③上下運動する。④その他。

問題2 「吹き矢型物体」はどのような力を受けているか?

①重力だけにより下向きに引かれている。②風力だけにより上向きに力を受けている。③同じ大きさの下向きの重力と上向きの風力を受けてつりあっている。④その他

#### 4.2 垂直方向の運動：「パイプ長と風力のする仕事・到達高度・位置エネルギーの関係」の教材化

パイプ長と到達できる高さのAL授業の展開 (以下略)。

#### 参考文献

- (1) 小林昭三、興治文子、畠山森魚:「衝突現象の効果的概念形成と ICT-Based Active Learning —ミリ秒分解能で分子運動・波動・衝突の世界をスッキリと解明—」、CIEC 研究会論文誌 (CIEC 学会)、Vol.1, pp. 41-48 (2010 年 3 月)。
- (2) 興治文子、小林昭三、畠山森魚:「ICT を基盤とした物理教材の開発と活用の推進 —新潟大学でのとりくみ—」、CIEC 研究会論文誌 (CIEC 学会)、Vol.1, pp. 49-54 (2010 年 3 月)。
- (3) Akizo Kobayashi and Fumiko Okiharu, Active Learning Approaches by Visualizing ICT Devices with Milliseconds Resolution for Deeper Understanding in Physics, Proc. of ICPE2009, AIP Vol.1263, pp.134-138 (2010)
- (4) H20年度中学校理科教師実態調査、PISA2009 デジタル読解力調査: <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20080912/besshi.html>, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/23/06/1307642.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/06/1307642.htm)。
- (5) 板倉聖宜・塩野広次:「吹き矢の力学」、仮説社、33頁~90 頁、2005 年 1 月。数ミリストローを水平に使う力積概念追求教材。
- (6) LoggerPro version 3.6; Vernier 社製の各種センサー: <http://www.vernier.com/soft/lp.html>