

マイコンとセンサーを用いた力学のILDs教具開発と試行実践

南 伸昌・瀧本 家康・夏目ゆうの・渡邊 剛士

宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要 第11号 別刷

2024年8月31日

マイコンとセンサーを用いた力学のILDs教具開発と試行実践[†]

南 伸昌*・瀧本 家康*・夏目ゆうの*・渡邊 剛士**

宇都宮大学共同教育学部*

栃木県立宇都宮清陵高等学校**

高校物理基礎の「運動の表し方」単元における、相互作用型演示実験講義 (ILDs) 用の教具を、マイコンと超音波距離センサーとを組み合わせで開発し、高等学校において教諭が一人で授業実践できる形に整理した。本稿では、超音波距離センサーの特性を考慮した装置構成やプログラミング上の工夫、できること/できないことを踏まえた授業での活用案について報告する。

キーワード：相互作用型演示実験講義 (ILDs)、マイコン、距離センサー

1. はじめに

ILDs (Interactive Lecture Demonstrations : 相互作用型演示実験講義) は、ワークシートと演示実験を中心に据えたアクティブ・ラーニングの一形態で¹⁾、元々は大学の物理初級者コース向けに開発された教授法であるが、現在、高校や中学への展開が図られている²⁻⁴⁾。ILDsにおいては、視覚的に捉えることが難しい力や運動の様子などを、ICT 教具を用いて可視化することがポイントとなる。しかし、データを可視化するための市販の教具は比較的高価であり、中学、高校におけるILDs普及の一つのネックともなっている。

近年、小型で性能の高い各種センサーが容易に入手できるようになり、Arduino やラズベリーパイなどのマイコンと組み合わせでPCに接続することにより、距離や圧力、温度などを、それほどの費用をかけることなくリアルタイムで表示できるように

なってきた。しかし、既製品とは異なり、パーツを組んで使用に耐えうる教具を構成するには、各素子等の特性を踏まえての調整が必要となってくる。そのような教具を高校教員に活用してもらうためには、プログラムまで含めて最低限のシステム化は必要である。

本研究では、高校物理基礎の「運動の表し方」単元におけるILDs用の教具を、マイコンと超音波距離センサーとを組み合わせで開発し、高等学校において教諭が一人で授業実践できる形に整理した。本稿では、超音波距離センサーの特性を考慮した装置構成やプログラミング上の工夫、できること/できないことを踏まえた授業での活用案について報告する。

2. 教具の構成

2.1 全体の構成

本稿では、運動する物体の位置を計測し、そのデータにもとづき速度と加速度を出力できるよう、力学台車と滑走台、超音波距離センサーを組み合わせた実験装置を製作した。距離の計測には超音波距離センサーとしてUS-015 (秋月電子社) を使い、センサーからの信号を変換し、PCへ入出力するマイコンには汎用性が高いArduino Uno (スイッチサイエンス社) を使い、プログラムはArduino IDE⁵⁾ で作成した。

滑走台は、市販の汎用的なものは1.2 ~ 1.5 m程度で、演示実験に適した2 m/s²程度の加速度で運

[†] Nobumasa MINAMI*, Ieyasu TAKIMOTO*, Yuno NATSUME* and Tsuyoshi WATANABE**: Development and trial of ILDs teaching tools for mechanics using microcomputers and sensors

Keywords: Interactive Lecture Demonstrations, microcomputer, distance sensor

* Cooperative Faculty of Education, Utsunomiya University

** Utsunomiya Seiryō High School

(連絡先: minami@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

動を行う場合、1 s程度で運動が終了し、加速度運動を実感することがやや難しい。また、台車の走行を制御できるレール付のものになると価格が数万円になる。そこで、本研究では長さ1820 mm厚さ13 mmの軽量の木板に幅20 mmのアルミアングルを補強に入れ、幅9 mmのアルミアングルをレールとして固定し、滑走台とした(図1)。費用は一式で3千円程度と市販の滑走台よりも安価で、滑走時間も長く取ることができ、加速度運動をより実感しやすい構成とできた。



図1. 実験装置の全体の様子

力学台車を等速度運動させるためにはプラレールの気動車を活用し、等加速度運動させるための牽引装置として、錘の落下を糸と滑車で力学台車に伝達する装置を組んだ。また、滑走台を傾けることにより、斜面上の運動を計測できるようにした。

2.2 US-015の特徴と調整

超音波距離センサーの動作の安定化を図るために、超音波を照射する対象に20 cm四方程度の超音波反射板などを設ける実践例もある⁶⁾。しかし、広い面積の板を台車の運動方向に垂直に設けた場合、運動によっては空気抵抗が無視できなくなるなどの制約が生じてしまう。また、センサーを台車に取り付け、基準面に広い板を設置する方法もあるが、Bluetooth等を用いて信号のやり取りを遠隔にする必要がありArduinoには適さないこと、台車に衝撃が加わる運動には使えないなど制約が多い。そこで本教具では、センサーを滑走台に固定し、台車の背面(高さ30 mm, 幅60 mm)のみによる反射で、安定して位置を測定できる条件を探った。

図2に滑走台とUS-015の位置関係を横から見た図を示す。図の基準面(最下面)は補強のアルミアングル(幅20 mm)の上面で、そこに滑走台の板、US-015が固定されている。US-015は、厚さ2 mmの亚克力板に固定したブレッドボードに、端子の根元まで差し込んで固定しており、超音波発信口の中心部の高さが亚克力板底面から21.5 mmであった。超音波発信/受信部の外径が20 mmな

ので、滑走台の上面とUS-015の下面とがほぼ同じ高さとなる。この配置では力学台車の下部に超音波を発射する形となるが、滑走台の端から端まで、台車の位置に応じた信号を得ることができた。

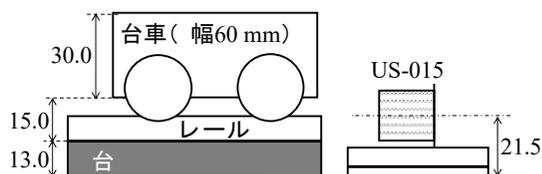


図2. US-015の配置(高さ)

2.3 位置、速度、加速度の表示

センサーから物体までの距離は、読み込んだ数値をそのままPCに取り込み、物体の速度はArduino IDE上の時間とその距離を用いて、プログラム上で算出し、出力した。時間、位置及び速度の出力は、エクセルのデータストリーマー⁷⁾を用いてリアルタイムでグラフに表示し、保存した。さらに、PCの画面録画機能を活用してリアルタイムで表示されるグラフを録画することで、実験後にも生徒が納得できるまで位置や速度の変化を動画で観察できるようにした。図3の上半分は時間と共に距離が変化する様子を、下半分にはそのデータから算出した、速さの時間変化のグラフを示す。

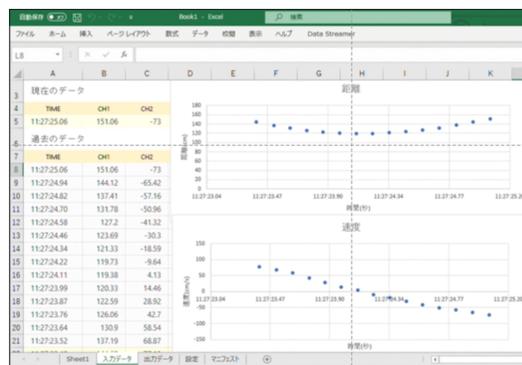


図3. グラフのリアルタイム表示の一例

速度と同様に、加速度をリアルタイムで表示するためArduino IDEでプログラムを組んだが、生データ(位置)の二階微分となることからSN比が著しく悪化する(図4上)。多点平均を取ったり、サンプリングレートを落としたりすることにより多少の改善はみられたが、表示できる点の数が減ってしまい、初学者に「等加速度」を実感させるに充分なも

のとすることはできなかった (図4下)。

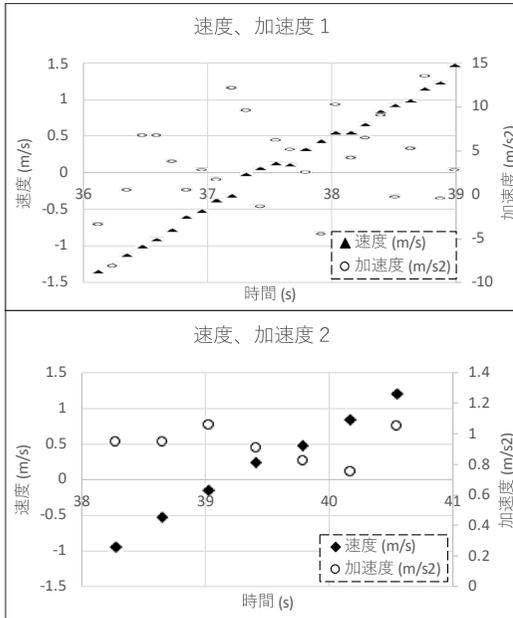


図4. 加速度のリアルタイム表示
(上: 0.12 s / 点, 下: 0.38 s / 点)

プログラムにおける処理の工夫ではこれ以上の改善は見込めないこと、高等学校理科の学習指導要領に「物体の運動に関する物理量を測定し、その運動を位置-時間のグラフや速度-時間のグラフで表す方法などを扱う」とあるように、グラフの活用が求められていることから、加速度についてはリアルタイムで示すのではなく、速度の時間変化のデータを各自でエクセルを用いてグラフ化し、傾きから求めさせた。

3. 高等学校での実践

3.1 授業の概要

本教具を用いたILDs授業を、令和3(2021)年12月に栃木県立A高等学校2年生1クラス(19名)に、力学分野全体の復習の一環として位置付け、1時限50分を2回、2日間で高等学校教諭が実施した。本来は大学教員も授業に立ち会い、支援や記録に携わる予定であったが、コロナ禍のため果たせず、教諭が一人で調査も含めて実施した。

ワークシートはILDsのkinematics2- motion of carts¹⁾から、内容や手順、時間を考え、下記の6問をdemo1-3とdemo6-8の2回に分けて実施した。

- 1回目(右端はグラフ化する物理量を示す)
- demo1. 等速度, 離れる... 位置&速度
 - demo2. 等速度, 近づく... 位置&速度
 - demo3. 等加速度, 離れる... 速度&加速度
- 2回目
- demo6. 等加速度, 近づき離れる... 速度&加速度
 - demo7. 斜面の上下... 速度&加速度
 - demo8. 鉛直投げ上げ... 速度&加速度

授業は課題ごとに「個人の予想→班で話し合っの予想の修正→演示実験の観察→班で結果の共有」というILDsの基本的な流れに沿って実施した。また、個人の予想については、その自信の程度を5段階で評価させた。鉛直投げ上げは本装置では対応できないので、ICTを用いた演示実験は行わず、実際に物体を放り上げ、口頭での説明で代替した。

生徒の理解度を測るため、授業の前後及び実施から1ヶ月程度後に、FMCE⁸⁾の該当する設問等による、事前、事後、定着度調査を行った。調査は、「速度」と「加速度」についてはFMCEの車の運動のグラフ選択問題を用い、「位置」については「速度」と同様の内容となるよう、新規にグラフ選択肢を作成した。設問において設定した運動の内容を下に記す。

加速度

1. 右向き, 等加速度, 加速
 2. 右向き, 等加速度, 減速
 3. 左向き, 等速度
 4. 左向き, 等加速度, 加速
 5. 右向き, 等速度
- 速度, 位置
1. 右向き, 等速度
 2. 途中で進行方向変更(向きの指定なし)
 3. 左向き, 等速度
 4. 等加速度, 加速(向きの指定なし)

ワークシートや調査問題は、対象の高校生が理解しやすいよう、教諭と相談して表現を工夫した。一例を下に示す。

demo6.

センサーから遠ざかる向きに、車が一定の力を常に受けています。車をセンサーに向かって少し押し、減速しながら進み、一旦静止し、遠ざかる方向に加速します。その場合の「時間と速度」及び「時間と加速度」の関係を予想し、グラフに記入しなさい。

3.2 調査結果と考察

全ての設問において、事前・事後・定着度で正答率に大きな違いは生じなかった。定着度調査での正答率は、位置が78.3%，速度が76.7%，加速度が33.3%であり、加速度の理解が不十分なままであった。授業を通じて改善が見られなかった理由としては、加速度をリアルタイムで表示できなかったため印象が弱く、既有概念を変容させるに至らなかった可能性や、対象となった生徒がILDsの手法にフィットしなかった可能性等が考えられる。動画等での授業記録もできなかったので検証することは難しいが、生徒の主體的な取り組みに委ねるだけでなく、生徒の習熟度に応じて事前・事後学習も含め、授業外でのアプローチを検討する必要がある⁹⁾。

そのような状況を踏まえた上で、誤答の傾向を見ていくと、まず、ワークシートでは、「位置」と「速度」、「速度」と「加速度」の混同が多く見られた。例えば、等加速度運動において、「加速度」が単調増加するグラフを描いたり、運動の向きと共に加速度の正負が変わるグラフを描いたりする例（何れも「速度」の変化に相当）が見られた。また、「近づいた後、遠ざかる」場合の「速度」変化のグラフとして、図5に示すように「位置」の変化に相当するものが散見された。

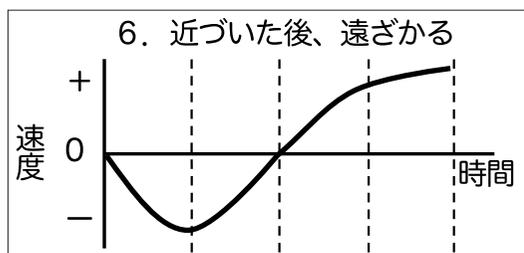


図5. 誤答例

ワークシートにおける、各設問の正答率と自信度の変遷を図6に示す。全体に共通する「速度」に着目すると、運動の向きが変わるdemo.6が、正答率・自信とも最低となっている。ただ、demo.6と運動としては同等である、斜面を上がって下りる運動(demo.7)においては、正答率・自信とも上昇していた。これは、北村ら²⁾が示唆しているように、授業実践を通じて、正しい概念獲得に向けての認知的葛藤が生じたことの傍証と解釈することができ、ILDs授業が、部分的にはあるが、有効に機能したと考えられる。

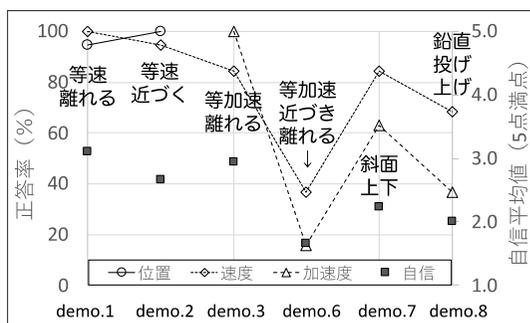


図6. ワークシートの正答率と自信度の変遷

4. まとめ

ILDsの運動学の教具を開発して、高等学校における授業実践を行った。コロナ禍の制約もあり、十分な成果を得ることはできなかったが、変化のグラフにおける「位置-速度」「速度-加速度」間の概念の未分化が根強いことが明らかとなった。また、理解度の向上は得られなかったが、認知的葛藤を呼び起こす授業とすることはできたようだ。今後は、授業中の対応だけでなく、授業前後の学習も含めた、学びのあり方の検討を進めていきたい。

引用文献

- 1) D. Sokoloff, et. al: Interactive Lecture Demonstrations, 2004, Wiley.
- 2) 北村貴文, 他: 物理教育68-3 (2020) 169-174.
- 3) 南伸昌, 他: 物理教育通信183 (2020) 76-81.
- 4) 南伸昌, 他: 第37回物理教育研究大会予稿集 (2021) 24-25.
- 5) <https://www.arduino.cc/en/software>
- 6) 安達照: 物理教育68-4 (2020) 234-237.
- 7) <https://lang-ship.com/blog/work/excel-data-streamer-arduino/>
- 8) R. K. Thornton, et. al : Am. J. Phys. 66 (1998) 338-352.
- 9) 谷口和成, 他: 第38回物理教育研究大会予稿集 (2022) 34-39.

謝辞

本研究の一部は、科学研究費（課題番号：22K02540）の助成を受けて行われた。

令和6年4月1日 受理

Development and trial of ILDs teaching tools for mechanics using microcomputers and sensors

Nobumasa MINAMI, Ieyasu TAKIMOTO,
Yuno NATSUME and Tsuyoshi WATANABE