

ICT 教材で理解が深まる運動の第二法則

株式会社島津理化 理化教育事業部 松本 崇

1. はじめに

運動の第二法則は、ニュートンの運動法則の一つであり、物体の加速度はその物体に加えられた力に比例し、質量に反比例することを示しています。式で表すと、 $F=ma$ (力 = 質量×加速度)となり、力と運動の関係を定量的に理解するうえで極めて重要な法則です。この法則を理科の授業で理解させるためには、実験を通じて、力、質量、加速度の関係を体感させることが効果的です。しかし、従来の教材や実験器具では、以下のような課題がありました。

- 1) 準備に時間がかかる: 滑車やおもり、タイマー、距離測定器など複数の器具を用意する必要があり、授業時間内に収めるのが困難。
- 2) 測定精度が低い: 手動での距離や時間の測定では誤差が大きく、加速度の計算に信頼性が欠ける。
- 3) 解析が煩雑: 得られたデータを手計算で整理する必要があり、生徒の理解よりも作業に時間を取られがち。
- 4) 再現性が低い: 同じ条件で実験を繰り返すことが難しく、手作業による実験結果のばらつきが生じやすい。

これらの理由から、運動の第二法則の本質を生徒に深く理解させるには、より効率的で精度の高い実験手段や教材が求められます。

このような課題を解決するのに有効な教材が、前号(第 82 号)でご紹介しましたような ICT を活用した教材です。例えば、従来の力学台車に代わる ICT 教材の「スマートカート」は、加速度センサーや距離センサーを内蔵した小型の実験用カートで、以下のような利点があります。

- 1) 高精度なデータ取得: カートに内蔵されたセンサーがリアルタイムで力や加速度を測定し、誤差の少ないデータを取得できます。
- 2) 即時のデータ解析: PC やタブレットと接続することで、実験結果をグラフ化し、力と加速度の関

係を視覚的に理解できます。

- 3) 再現性の高い実験: 同じ条件で何度も実験を行えるため、実験結果のばらつきが少なく、信頼性の高い学習が可能です。
- 4) アクティブラーニングの促進: 生徒自身が実験を設計し、データを解析することで、主体的な学びが促されます。

例えば、専用のおもりを用いて異なる質量のカートに一定の力を加えた場合、加速度がどのように変化するかをスマートカートで測定することで、 $F=ma$ の関係を実感を伴って理解することができます。従来の教材では困難だった「力と加速度の比例関係」や「加速度と質量の反比例関係」を、視覚的かつ定量的に示すことができます。

運動の第二法則は、物理学の基礎でありながら、従来の教材ではその実験による実証に多くの障壁がありました。スマートカートのような ICT 教材を活用することで、実験の準備や解析の負担を軽減し、より正確で再現性の高い学習が可能になります。これにより、生徒は理論だけでなく実体験を通じて法則の本質を理解し、科学的思考力を育むことができます(図 1)。



図 1 加重おもり(1個 250g)を2個搭載したスマートカートの運動 *スマートカート本体は約 250g

2. 定力実験 従来の方法

運動の第二法則を実験で実証する方法として、既知質量のカートに一定の力で引いた場合の加速度を求める方法があります。力が既知であれば加速度の理論値が出せるため、実際の実験で加速度を求め、

理論値通りになっているか確認することができます。以前の実験方法(ICT教材を使用しない場合)は、力学台車、ガイドトラック、滑車(低摩擦)、糸、おもり、ストップウォッチ、メジャー、記録用紙が必要でした。

糸に結んだおもりを滑車を介して落とすことで、反対側につないだカートがおもりにかかる重力によって一定の力で引っ張られることで実験していました。このときの加速度は、台車が動き始めてから一定の距離を移動するまでにかかった時間をストップウォッチで計測して計算します。

この実験の課題は

- 1) 摩擦の影響:滑車の摩擦が加速度に影響し、理論値とずれる。
- 2) 測定誤差:手動のストップウォッチや距離測定では誤差が大きく、精度が低い。
- 3) 準備と調整が煩雑:器具の設置や調整に時間がかかる。
- 4) データ解析が手作業:加速度の計算やグラフ作成に時間がかかり、生徒の理解より作業にかたよる。

このような従来の方法でも「 $F=ma$ 」の関係を示すことは可能ですが、精度や効率の面で限界がありました。しかしながら、ICT教材の導入によってこれらの課題を大きく改善できるのです。

3. 定力実験 ICT教材の活用¹⁾

①実験の目的

物体に一定の力を加えたとき、質量と加速度の関係を調べることで、運動の第二法則「 $F=ma$ 」を実証する。

②使用する器具(図2)

- ・スマートカート ・スマートファン
- ・ガイドトラック ・糸
- ・PCまたはタブレット
- ・専用ソフトウェア(無料アプリ)

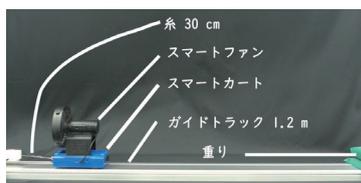


図2 定力実験で使用するおもな器具

③実験手順

- (1) スマートカートにスマートファンを取りつけ、ガイドトラック上に設置します。スマートカートの力センサの部分に糸を結び、糸の反対側を固定します(図3)。

* スマートファンは一定の推力を発生させるため、カートに加わる力を一定に保つことができます。力(推力)の設定は、スマートファンの推力をソフトウェアで制御し、一定の力をカートに加えます。



図3 スマートカートの力センサ

- (2) スマートカートを糸で固定したままスマートファンを動かします(図4)。ファンは一定の推力でカートに力を加え続けますので、そのときの力 F は力センサで計測された値になります。



図4 糸で固定されたままスマートファンを動かす

- (3) スマートファンを動かしたままカートを固定していた糸を切ると、ファンの推力によってカートが一定の力で走り出します(図5, 6)。



図5 固定した糸をハサミで切る



図6 カートがファンの推力で走り出す

④実験結果と考察

$F = ma$ において、

F は既知:糸を固定した状態でファンを運転したときのスマートカートの力センサで計測した値

m は既知:スマートファンを搭載した状態でのカートの質量

これにより a の理論値を計算することができます。

当社で行った実験では、

$$F=0.115 \text{ N}$$

$$m=0.537 \text{ kg}$$

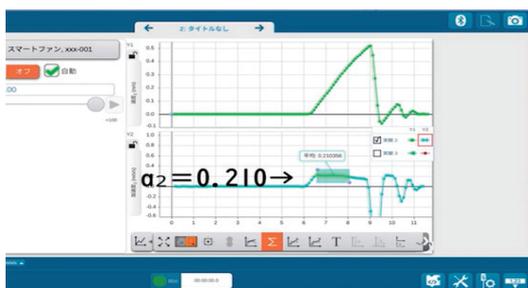
ゆえに理論値は、

$$a = \frac{F}{m} = \frac{0.115}{0.537} = 0.214 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

実験による実測値は、スマートカートの加速度センサにより、

$$a=0.210 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

これは理論値とほぼ一致しました(図7)。

図7 専用ソフトウェアの画面
Sparkvue(スパークビュー:無料アプリ)

⑤ ICT 教材活用の利点

1) 高精度なデータ取得:スマートカートに内蔵されたセンサがリアルタイムで力や加速度を測定し、誤差の少ないデータを取得できます。

2) 簡単な準備と操作:ガイドレール上でカートを走らせるだけで実験が可能で、複雑な器具のセッティングが不要です。

3) 即時のデータ解析:PC やタブレットと接続することで、実験結果をリアルタイムでグラフ化し、力と加速度の関係を視覚的に理解できます。

4) 高い再現性:同じ条件で何度も繰り返し実験を行うことができ、手作業による結果のばらつきが少なく、信頼性の高い実験結果が得られます。

4. その他の実験

スマートカートを使った等速直線運動

①実験の目的

等速直線運動の基本概念を生徒に体感させることで、理論と実践の結びつきの理解を強化する。

②使用する器具

- ・スマートカート
- ・ガイドトラック
- ・PC または タブレット
- ・専用ソフトウェア(無料アプリ)
- ・加重おもり・おもり取りつけ板

③実験の手順

- (1) スマートカートに荷重おもりを搭載し、レール上に設置します。
- (2) スマートカートの発進ばねを使って、カートに瞬間的に力を加えて走らせます。
発進ばねを使って、強い力を加えたときと、弱い力を加えたときのカートの動きを比較します(図8)。



図8 スマートカートを3段階の力で発進させるばね

(3) カートの速度や位置のデータを PC やタブレットでリアルタイムに記録します。

(4) 取得したデータを解析し、等速直線運動の特性

を確認します。

④実験結果と考察

初速度が違う2つの実験を比較してみると、初速度の大きいほうは小さいほうと比べて $x-t$ グラフの傾きが急になり、 $v-t$ グラフからは等速運動の速度が大きいことがわかります(図9, 10)。

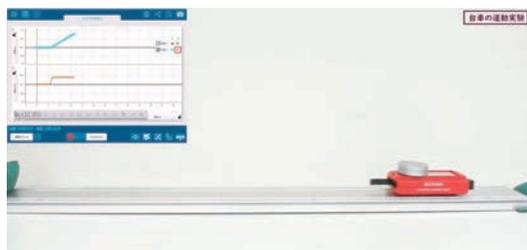


図9 強い力で発進させたときのカートの運動



図10 上段は $x-t$ グラフ 下段は $v-t$ グラフ

5. まとめ

ICT教材を利用した実験は、準備や操作が簡便で、再現性も高いため、限られた授業時間内でも効率的に実験を行えます。さらに、専用ソフトウェアを用いてデータを即時にグラフ化することで、 $x-t$ グラフや $v-t$ グラフを通じて運動の特徴を視覚的に分析でき、生徒の科学的思考力を育むことにもつながります。実際の実験では、スマートファンによって一定の推力を加えたスマートカートの加速度を測定し、理論値と実測値がほぼ一致する結果が得られました。これは、ICT教材が高い精度と信頼性をもつことを示しており、従来の手法では難しかった「理論と実験の一致」を生徒に体験させることができます。このように、ICT教材の活用は、運動の第二法則の理解を深めるだけでなく、生徒の主体的な学びや探究心を促進する点でも大きな意義があります。今後の理科教育において、ICT教材を積極的に取り

入れることは、より深い理解と応用力の育成に寄与する重要なアプローチとなるはずですが。



図11 理科教員のための実験共創コミュニティ “しまづりか実験広場”稼働中²⁾

引用元

- 1) 島津理化 YouTube



- 2) しまづりか実験広場

参加登録はこちら→

