

## サイエンスネット



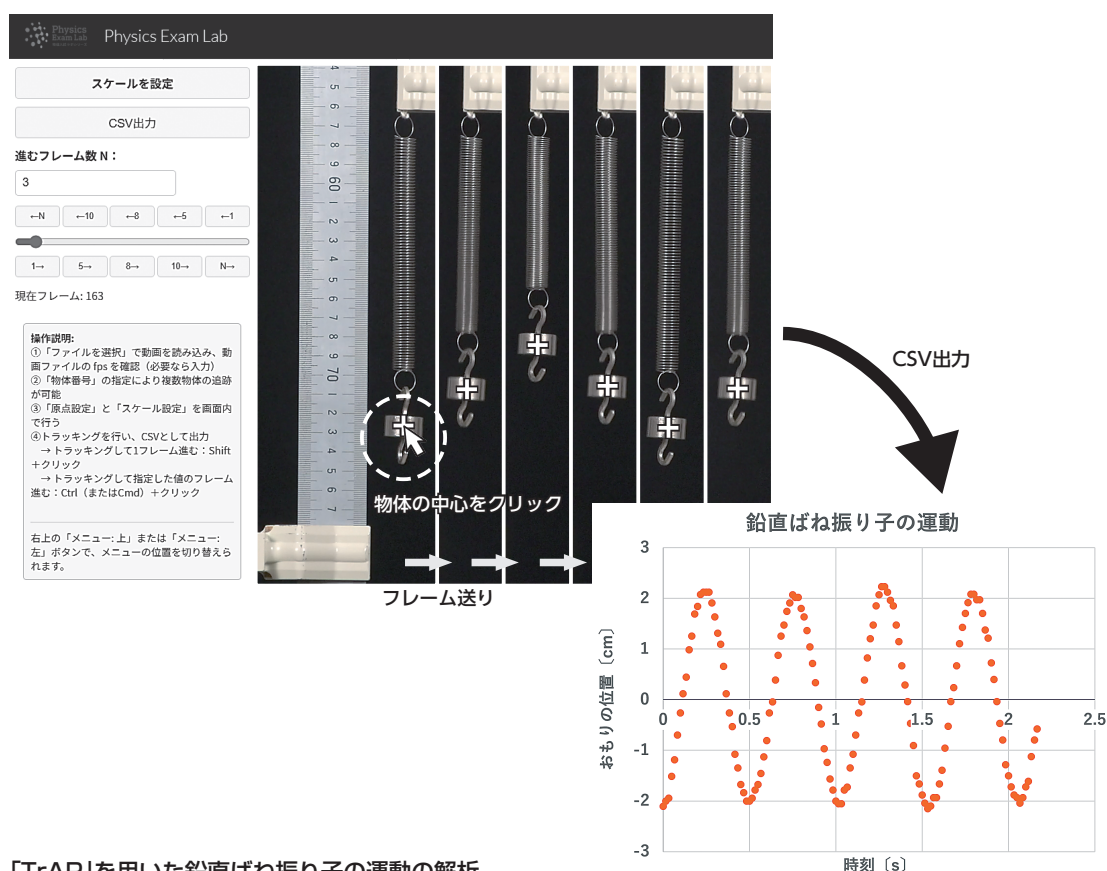
物(化)生(地)...

数研出版株式会社

SCIENCE NET

|          |        |           |    |        |           |     |
|----------|--------|-----------|----|--------|-----------|-----|
| Contents | ▶ 特集 1 | ／小田 朋宏    | …2 | ▶ 特集 3 | ／松本 崇     | …10 |
|          | ▶ 特集 2 | ／数研出版 開発部 | …6 | ▶ コラム  | ／数研出版 編集部 | …14 |

「Studyaid D.B.」は、今年で発行 30 周年を迎えました。それを記念して、特集 2 では Studyaid D.B. の問題検索に活用できる機能をご紹介します。ぜひご覧ください。



## 「TrAP」を用いた鉛直ばね振り子の運動の解析

大阪教育大学附属高等学校池田校舎・小田 朋宏

1 人 1 台端末環境が日常の風景となる中で、「ICT を授業でどう活かすか」は多くの教員が直面している現代的なテーマである。本稿では、筆者が日々の 50 分という授業時間の制約のなかで試行錯誤しながら、なんとか現場で使えるようにと開発した、ブラウザ型の動画解析ツール「TrAP」を用いた授業デザインについて報告する。既存のツールの仕様にとらわれず、あえてアナログな余白を残した「手動サンプリング」の楽しさや、高校 3 年間のカリキュラムに連動した指導のステップ、退屈な暗記になりがちな概念を「生徒同士の対話」に変えるちょっとした仕掛け。そして、プログラミング専門外の教員であっても、教材開発のパートナーとして生成 AI を賢く頼ることで、柔軟にツールをアップデートしていけるアプローチなどを提案する。

# ICT が加速させる理科の探究プロセス

## —「手動サンプリング」と「対話」で築く力学概念—

大阪教育大学附属高等学校池田校舎 小田 朋宏

### 1. はじめに: ICT 活用で見てきた課題

#### ■ 50 分という時間枠のなかでの試行錯誤

学習者が1人1台端末を操作する光景は、いまや学校現場において当たり前の風景となった。静止画や抽象的な数式だけでは捉えきれない、動的な自然現象を視覚化できる ICT ツールは、物理の楽しさを伝える上で本当に強力な味方になってくれる。

物体の位置や速度が時々刻々と変化していく「運動」を扱う単元において、現象を動画として捉え、それをデータ化する「動画解析」というアプローチは、生徒の知的好奇心を刺激する極めて有効な選択肢の一つである。一瞬で通り過ぎてしまうリアルな物理現象を動画として手元に「記録」し、いつでも再現・解析できる環境は、従来の黒板と教科書だけの授業スタイルを大きく変える可能性を秘めている。

しかし、いざ日々の通常授業の限られた 50 分という枠内で、この動画解析などを実践に取り入れようとすると、理想と現実のギャップに悩まされることも多いのが現場の本音である。

従来の動画解析で直面する課題の一つが、ツール導入に伴う「準備の手間」であった。一般的な高機能解析ソフトを使用する場合、OS の依存や操作の煩雑さの課題がある。さらに、生徒がスマートフォンで撮影した動画データを PC へと移行し、ファイル形式を変換するだけで、時間が経過してしまうことも珍しくない。

こうした事務的な操作に追われているうちに、生徒が実験の瞬間に抱いた「なぜだろう?」「どうしてこう動くのだろう?」という、せっかくの新鮮な驚きや熱量が、急激に冷めてしまうというこちら側の不満がそこにあった。ツールの動かし方を説明するだけで授業の大部分が終わってしまい、肝心の考察の時間が削られてしまう。これは、私自身も長年悩んできた大きな課題であった。

#### ■ 便利だからこそ生まれる悩み

一方で、近年のデジタル技術の進歩により上記の手間を省略してくれる自動計測センサや自動トラッキングソフトが教育現場にも普及しつつある。センサを設置したり、動画を読み込んでクリックするだけで、ノイズのないきれいなグラフを一瞬にして画面に出力してくれる。授業をスムーズに進めるという意味では、まさに完璧な解決策に思える。

ただ、その一方で、「あまりにも便利すぎて、かえって生徒の思考が止まってしまうことはないだろうか」という贅沢な懸念を持たざるをえない。測定の実験の仕組みがブラックボックス化しているため、生徒は提示された完成品のグラフを単なる事実として、どこか他人事のように受け取ってしまいがちになる。画面に表示された数値やグラフについて、どのようなプロセスを経てきたのかを、立ち止まって深く掘り下げて考える機会が、効率化と引き換えに少し減ってしまうのではないかと。そんな影の側面も、現場で少なからず感じていた。

#### ■ 授業のステップをより軽やかに

現場の「時間不足」という制約をクリアしながら、同時に「生徒自身がデータ解析の主体となる」にはどうすればよいか。この課題に対して、ブラウザベースの動画解析ツール「TrAP (Tracking Analysis for Physics)」を作成した。特別な機能は何ひとつない。目指したのは、撮影から解析、そして考察までを、シームレスに完結できる、とにかく「軽くてハードルの低い」探究環境である。

ここで私が意識したのは、「動画撮影」から「各自のグラフ作成・考察」への接続をどれだけ短縮し、生徒が頭を悩ませる時間に多くを割けるか、という時間配分のコントロールである。ここからは、このツールをフックに、生徒たちと一緒に歩んできた授業の様子を一部共有させていただきたい。

## 2. 「あえて手動」にこだわったツール開発と、高校物理における実践

### ■ 現場環境から逆算したミニマル設計

動画解析ツール「TrAP」は、機能を極限まで絞り込んでいる。最優先したのは、直感的に使える「シンプルさ」である。HTML5 と JavaScript のみで作られているため、生徒はブラウザを開いて URL にアクセスするだけで、手元の Chromebook など、どんな端末からでもすぐに動かすことができる。事前のインストール作業や登録は一切ない。

操作画面也非常にシンプルで、「動画を選んで、スケールを決めて、クリックするだけ」の設計である。操作説明にかかる時間はほんの数分で済むため、授業内で、実験から考察までをやり切る環境が整った。

### ■ 「手動プロット」が仕掛けるもの

TrAP の設計のなかで、私が少しこだわったのが「自動追跡をあえてつげず、手動で打点させる」というアナログな仕様である。

生徒は、動画をコマ送りしながら、画面上の物体の中心を自分の指先やマウスでクリックしていく。一見すると、最先端の ICT を活用しているとは思えない、どこか矛盾するような作業ではある。

しかし、この「自身で物体の軌跡を追いかける」というプロセスにより、生徒のなかに「位置の変化の割合」という感覚が、実感としてじんわりと育っていくように思われる。ツールからグラフを与えられるのではなく、当事者意識を持ってもらうための、ちょっとした工夫である。

例えば、高校1年の物理基礎における「運動の表し方」の最初の授業では、クラス全員に、まったく同じ動画を解析するワークを行う。全員が同じ動画をプロットするが、手動で行うため、指先のわずかなズレや感覚の違いによって、算出されるデータの軌跡や値には、必ず一人ひとりで微小な「ばらつき（誤差）」が生まれる。かつてのアナログ実験であれば、フォーカスできずに授業時間が終了することも度々あった。または、「実験の失敗」として認識されるだけの可能性もあった。しかし、解析の後に互いのデータについて議論できる（有効数字の話題にもつながり得る）ことは、ICT 利活用の副産物である。

### ■ 平面運動へのステップアップ

物理基礎の段階で、TrAP によるデータ生成のテンポ感に慣れた生徒たちは、「物理」の力学の難所でも、そのスキルを上手に発揮する。直線運動から平面運動へと対象が広がっても、ツールの使い方は同じであるため、より高度な物理概念の可視化へと進むことができる。

#### 【事例①：平面衝突と運動量保存則】

物体の衝突、特に平面内での斜め衝突における「運動量保存則」は、従来の高校の実験室において、定量的な検証がなかなか難しかったテーマの一つである。二次元平面上の動きを追いかけるのは大変なため、理論展開を受け入れ、計算問題を解く作業に従事するという展開例も少なくはないだろう。そこで授業では、微小時間でのコインの衝突やエアホッケーのパックが衝突する動画をスローモーションで撮影し解析を行った。TrAP は複数物体の同時追跡にも対応しているため、生徒は衝突する2つの物体を画面上でそれぞれ手動プロットしていく。

まず、コインの衝突実験を行った。TrAP から抽出されたデータをスプレッドシートなどの表計算ソフト

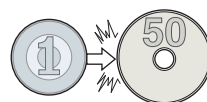


図1 コインの衝突

に流し込むと図2のような  $x-t$ 、 $y-t$  グラフが得られた。それぞれの方向の速度を読み取ると、運動量の保存を実感することができる（同時に質量中心速度が一定であることもわかる）。

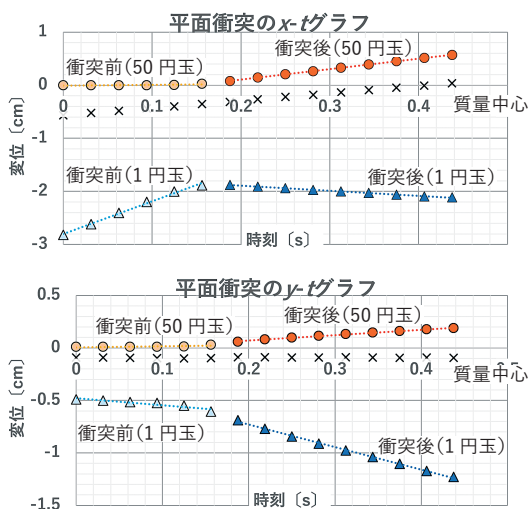
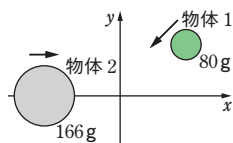


図2 2物体の衝突  $x-t$ 、 $y-t$  グラフ

次にエアホッケーの衝突実験を行い、運動量-時間のグラフを描写した。衝突のその瞬間、それぞれの物体の運動量は激しく変化しているにもかかわらず、それらを足し合わせた「運動量の総和」を示すラインが、衝突の前後を通して一定の値を保っている様子が、自分たちのサンプリングしたデータによって目の前に現れる。また、1物体に着目した運動量と力積の関係や2物体での運動量保存についてもグラフの作成により読み取ることができる(図4)。



平面衝突時の軌跡

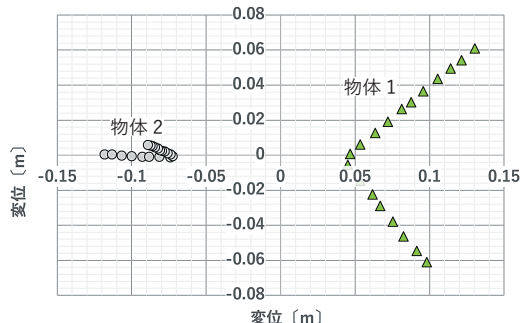
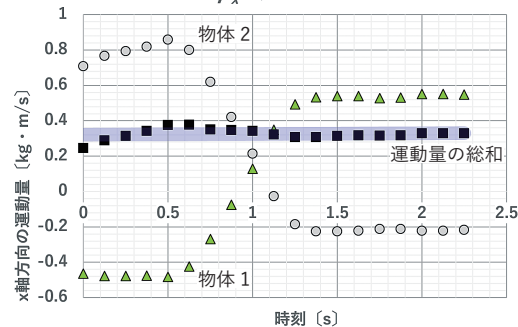
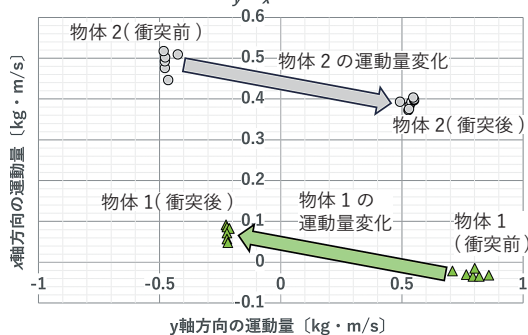
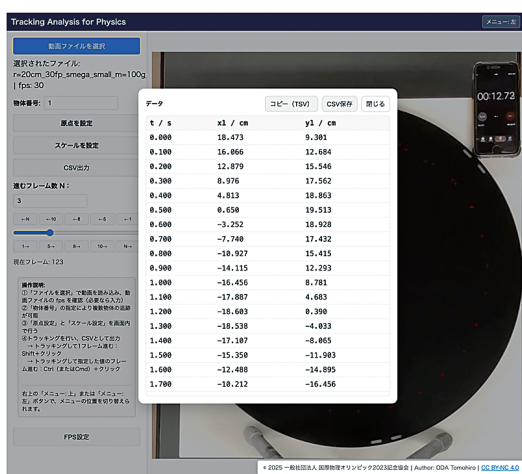
 $p_x-t$  グラフ $v_y-v_x$  グラフ

図4 平面上の2物体の衝突とその解析

## 【事例②：等速円運動の成分と単振動】

向きと大きさが時々刻々と変化する「等速円運動」「単振動」の単元も、生徒にとってのハードルが非常に高い難所である。「円運動の射影が単振動である」という説明も形式的な三角関数の数式操作として処理されてしまいがちである。

この障壁を乗り越えるため、授業では、身近な定速回転するタイトレイン(おもちゃの電車)などで回転動画を撮影し、その軌跡をプロットするワークを行った。生徒たちは、ぐるぐると円を描いて回る物体を追跡し、抽出された座標データのうち、横軸を時間、縦軸を $x$ 座標(あるいは $y$ 座標)のみに限定した時間変化グラフを作成させる。



等速円運動の分析

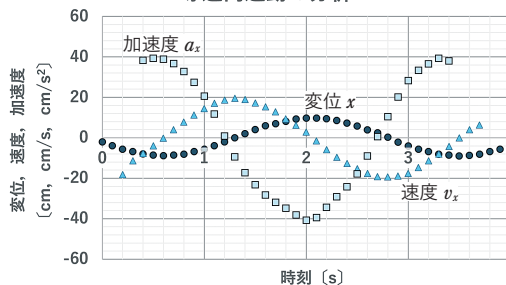


図5 円運動とその解析

「円運動を成分で見ると単振動になった」という数理的なつながりに対する新鮮な驚きが、生徒たちのなかに深い納得を生み出すようである。さらに、軌道上の各点において、速度や加速度の関係を重ねて見ることで、「変位が最大のときに速度が0になり、加速度が逆向きに最大になる」という単振動の関係を視覚的に理解してもらう工夫を凝らした。

### 3. 教材開発における生成 AI の活用と 複数メディアの使い分け

#### ■ アイデアを即座に形にする、心強い仲間

こうした現場のニーズや生徒のつまずきに合わせた ICT 実践をスピード感を持って展開する上で、近年、心強い味方となっているのが生成 AI の存在である。ただし、筆者の実践における生成 AI の役割は、生徒が直接的に利活用する「AI 先生」としてではなく、教員自身が「今すぐ授業で使いたいちょっとした教材を迅速に形にするための、強力な助手」としての位置づけである。

日々の授業デザインにおいて、「こんなことができたなら……」と思いつくことは多々ある。しかし、プログラミングの専門家ではない教員が、コードを一から書いたり複雑な仕様を調べたりするには、膨大な時間と心理的コストという壁が立ち塞がる。ここで、生成 AI を技術的なパートナーとして協働させるアプローチが極めて有効になる。自作ツールである TrAP のちょっとした UI (ボタン配置など) の改善や、複数物体の色分け追跡機能の調整、さらにはデータのノイズを滑らかにするためのデータ処理アルゴリズム (JavaScript) の記述などを、生成 AI と対話を重ねながら組み立てている。教員側が持つ「このような教育効果を狙いたい」「生徒のここに認知的葛藤を起こさせたい」という授業デザインの軸 (プロンプト) さえ明確であれば、生成 AI はその意図を正確に汲み取り、実用的なコードや関数を即座に出力してくれる。これにより、教材開発のフットワークは劇的に軽くなり、現場の課題に合わせたツールのアップデートが可能となった。

#### ■ 複数メディアの使い分けの姿勢

また、授業内においては、こうして開発した自作のツールだけに固執しないことも重要視している。既存の多様な ICT メディアを「使い分ける・組み合わせる」姿勢を教員側が提示することで、探究の質はさらに深まる。

例えば、高校 3 年の「物理」における万有引力の単元にて、人工衛星に関するパフォーマンス課題を提示する場面がこれにあたる。この実践では、生徒が自身の端末でヒントや確認を行うことができる補助教材を生成 AI を使って作成した。このように、単元の性質や課題の目的に応じて最適なメディアを柔

軟に配置することも重要である。時にはセンサなどの測定値をもとに即座に統計解析をかけたり、またある時には目の前の現象をサンプリングする自作ツールだけでなく、既存の多様なメディアや AI による補助教材を、教員側が目的や場面に応じて臨機応変に「使い分け、組み合わせる」。こうした教員側のスタンスこそが、1 人 1 台端末環境を活かしたこれからの科学的探究を、より効果的に支える土台になるのではないかと感じている。

### 4. おわりに：探究の伴走者として、 教材をクリエイトする楽しさを

1 人 1 台端末環境が標準化し、生成 AI という強力なテクノロジーが日常に溶け込んだ現代において、理科教員に求められる役割は確実に変化している。「知識の伝達者」から、生徒の知的探究に寄り添い、環境をデザインする「探究の伴走者」へのシフトである。デジタルツールを、単なる作業の効率化や教員の省力化のために消費するだけではなく、いかに「生徒の知的ざわつきを維持し、深い思考の往還へ繋げるか」が何より重要である。解かせたい問い、見せたい現象から逆算し、そのために必要なミニマルな教材環境を、最新のテクノロジーを賢く味方につけながら、教員自身が柔軟にクリエイトし、アップデートしていく姿勢がこれからの現場には求められているのではないだろうか。全国で同じように悩み、生徒のつまずきと向き合いながら奮闘されている先生方にとって、本稿における私の小さな試行錯誤の共有が、明日からの授業デザインを少しでも楽しくむきかけになれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 小田朋宏:「高校物理における動画解析教材の開発と実践的検証:Tracking Analysis for Physics の構築と活用事例」, 2025 年度 日本物理教育学会年會要旨集 P.122
- 2) 動画解析アプリ,  
<https://apps.ipho2023-commemorative-association.jp/%E5%8B%95%E7%94%BB%E8%A7%A3%E6%9E%90%E3%82%A2%E3%83%97%E3%83%AA> (2026/06/19)
- 3) 静止衛星打ち上げミッション,  
<https://odatomohiro.github.io/Satellite-mission> (2026/06/19)