

女子部中等科3年 物理

「ジェットコースターの物理」

神沢 弘明

中等科3年の物理では、物体の運動について学ぶ。その勉強の発展として、ジェットコースターを取り上げ、その運動や安全装置の仕組み、歴史などについて発表を行った。

夏休みにはレポート課題を課し、2学期には家族ごとに、模型を用いてジェットコースターの運動や構造の理解、実際に遊園地に行つてのデータ採集、実験、見学などを通して学びを深めた。発表当日は各家族から選抜されたグループによる口頭発表に加えて、ポスター発表を行った。

I. はじめに

中等科3年の物理の授業では、例年半期の授業で力学を学んでいる。力においては、力のつりあいや力のモーメントなどの静力学を中心に勉強し、物体の運動においては、速度が一定の場合や一直線上を加速しながら動く場合を中心に学ぶ。今回はこれらの学びの発展として、ジェットコースターを取り上げ、その運動を中心に学ぶことを試みた。11月の発表に合わせて、授業を後期から前期に移して、1学期に例年通りの学習を行ない、夏休みにはジェットコースターについてのレポート課題を課した。それらをもとに、2学期に内容をさらに深めて発表までの準備を行った。

II. 報告会までの学習・準備

1学期は力と運動についての基本的な授業を行った。

- ・力について:力の種類、力の見つけ方・描き方、力のつりあい、力のモーメント
- ・物体の運動:速さの定義・測り方、速さの変化する運動、速さのグラフ・加速度

夏休みにはジェットコースター（遊園地の他のアトラクションも可）についてのレポート課題（【レポート①】）を課した。10月には、レポートを用いて前期家族ごとに「プレゼンテーション」を行った。各自が調べた内容を共有すること、プレゼンテーション技術の向上、パワーポイントを用いたスライドの作成が主な目的。プレゼンテーションの内容や技術について、互いに評価を行な

い、学業報告会へつなげた。また、PCを用いた授業は、例年家庭科で3学期から始まるため、PCの使用規則の確認やログインなどから指導を行った。

後期から報告会にむけて本格的な準備を開始（【写真①】）した。クラスリーダーをはじめとする係を決め、家族ごとに1テーマ（テーマについては、Ⅲ章を参照のこと）を設定した。

家族ごとに、決まったテーマについて、書籍やインターネットを用いて調べ学習を行った。また、実験や見学、模型作りなどを通して、内容についてできるだけ深く学べるように努めた。なお、ジェットコースターについての資料は書籍・インターネットともに少なく、生徒が洋書や英語のサイトを日本語に翻訳する必要もあった。また、数学と生物のグループはそれぞれ数学と生物の先生にもサポートに入っていた。

調べた内容は「中間発表」（報告会から約10日前に設定：【写真②】）で発表しあい共有した。発表方法は「プレゼンテーション」と同様。

中間発表後には、発表グループを選抜した。発表グループは報告会のステージ発表（【写真③・④】）とスライド（【スライド①】）の準備、それ以外の人は家族ごとに、調べたテーマについてポスター（【写真⑤】）の作成を行った。

III. 報告の内容

各家族が調べた内容については以下の通り。

- (1) 歴史:ジェットコースターの起源はロシアの氷滑りやアメリカのトロッコ列車にあり、L.A.トンプソンによって、コニーアイランド

に作られたものが最初のジェットコースターとされる。その後、宙返りコースターが登場したり、一般的な椅子に座る他に、吊り下げ型、立ち乗り型などが登場したり、また、安全性を高めるために逆走防止装置や車輪などに工夫や改良が加えられてきたが、車体が走る仕組みは現在と初期であり差がない。

(2) エネルギー：ジェットコースターの運動に関係する主なエネルギーは、位置エネルギーと運動エネルギーの2つ。その和は力学的エネルギーと呼ばれ、摩擦や空気抵抗が無視できる時には一定に保たれる。ジェットコースターは、チェーンリフトによって最初に位置エネルギーを付加され、コースを上下しながら、その一部を運動エネルギーに変え、再び位置エネルギーに戻すことを繰り返しながら運動する。また、近年は圧縮空気などにより、スタート時に運動エネルギーを付加するものもある。摩擦などが無視できないと、力学的エネルギーは時間とともに減少し、コース後半にスピードが落ちることになる。それをなるべく防ぐために、ベアリングなどで摩擦が小さくする工夫がされている。摩擦について深く知るために、摩擦が大きい靴下(adidas 360°グリップソックス)を購入して、普通の靴下の場合との比較実験を行った。

(3) 加速度：一直線上を運動する物体の速さが変わるとき、速さが一定でも物体が曲線を動くときには、加速度が生じる。ジェットコースターにおいても、斜面やループなどを走行する時には加速度を生じ、慣性力や遠心力が発生する。円錐振り子とWiiリモコン(加速度センサを内蔵)を用いた2つの実験から、等速円運動の場合の加速度と遠心力が $a=v^2/r$, $F=mv^2/r$ で与えられることを確かめ、加速度についての理解を深めた。また、カーブでの傾斜(カント)と力のつりあいについても調べた。

(4) 乗り方の違い：車両の一番前と一番後に乗

った時や満員とガラガラで乗ったときなど、条件の違いによって乗り心地やスリルがどう変わるかについて調べた。また、通常座って乗るジェットコースターと立ち乗り型、吊り下げ型での違いについても調べた。

(5) 実験：ジェットコースターの模型(K'nex Screamin Serpent Roller Coaster)を購入し組み立てることで、車体の仕組みやチェーンの巻き上げ装置の仕組み、コース設計などについて学んだ。さらに、車輪の構造について詳しく調べるために、DIY ショップにて材料を購入して、模型を作成した。

(6) 安全装置とコース設計：安全装置は、逆走防止装置やハーネスのラチェットロック、ブレーキ、車輪の仕組みについて調べた。力学的や電磁気的な構造を用いて一定方向にしか動かない仕組みを作るなどして、安全性を高めている。コース設計は、主に木製と鉄製の違いについて調べた。初期は木製のコースターばかりだったが、複雑なコースが作れることもあって現在は9割以上を鉄製が占める。木製は独特のきしみや揺れが特徴で、それらがスリルを生む。安全装置についての見学も行った。

(7) 数学(曲線と運動)：放物線やサイクロイド曲線、クロソイド曲線などの曲線について、作図方法や図形的性質を調べた。決まった2地点を結ぶ3コース(直線、放物線、サイクロイド曲線)をダンボールと配線モールを用いて作成し、上から同時に鉄球を転がして、下の地点を通過するまでの時間が、サイクロイド曲線で最短になることを確かめた。

(8) 生物(心拍数)：ジェットコースターに乗った時の、恐怖に伴う神経の興奮に由来した心拍数の上昇メカニズムを中心に学んだ。GPS機能付き時計(Polar RC3 GPS: 速度・高度計測可能)を購入し、それを身につけて実際にジ

ジェットコースターに乗り、心拍数を計測した。そのデータを走った場合や突然驚かした場合などと比較して考察を行った。

IV. ステージ発表の内容

中間発表後、ステージ発表とその準備を行う発表グループを組織した。メンバーはクラスリーダー・副リーダーと各家族から1名ずつを選抜。Ⅲの(1)～(8)をどの順番で発表するか考え、それに合わせたスライドと報告文の作成を行った。

最終的に決定した、発表の順番は以下の通り。はじめに→実験→エネルギー→歴史→数学→コース設計→生物→加速度→乗り方→終わりにスライドは、中間発表で使ったファイルも利用して、デザインを統一した。それに合わせて、報告文を作成した。なお、上記の順番に決まったのは報告会当日3日前であり、それまではステージ練習の時間も使って、発表の仕方や順番を考えることになった。最終的な形での発表練習の回数は予定よりも少なくなったが、本番ではそれぞれが自分の役割や全体の流れを押さえた発表をすることができた。

V. 報告会を終えて

1学期の授業では、一直線上を速度変化なく、もしくは加速しながら運動し、かつ、物体の大きさは無視できるという条件のもとでの運動を扱った。しかし、ジェットコースターは3次元空間内を、重力下で速度を刻々と変化させながら運動する。また、車体の大きさは無視できず、最前列と最後尾に乗るときなどでは乗り心地が大きく異なる。また、先行研究や日本語の関連する書籍が少ないなど、報告会当日まで大きな問題が山積していた。

それに対して、生徒一人ひとりが主体的に学べるような環境作り、雰囲気作りに努めた。その際、家族ごとでの作業や発表グループの選抜など組織を整えること、プレゼンテーションや中間発表で発表のスキルアップの機会を設けること、全員が力を出せる場所を設けることなどを強く意識した。主体的な学びという点では、多くの生徒が興味を

もつジェットコースターをテーマとできたこと、楽しみながらパワーポイントの使い方を学べたことも大きかった。

その一方で、生徒に任せることが大きかったために、ステージ発表の完成が報告会ギリギリになってしまうなどの反省も残ったが、準備期間と報告会当日ともに、予想していたレベル以上の学びや発表を達成できたように感じた。

報告会後には、教廊にステージ発表のスライドとポスターを掲示し、期末試験にその内容を出題した。落ち着いたところで、報告の内容全体にもう一度目を通すことによって、他グループの発表についてももしっかり理解することを目指した。

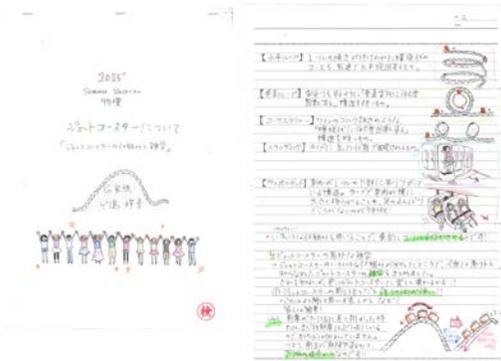
VI. 終わりに

中間発表の準備から、梶野先生と養老先生には生物グループの指導で、鈴木雄紀先生には数学グループの指導でそれぞれお世話になった。鈴木先生には、竹上先生とともに中等科3年のクラス担任としても、いろいろ力添えをいただいた。

安全装置グループの勉強として、足立区のジオスポーツ(株)へ見学に行かせていただき、高等科1年父母である中臺さんには興味深く有益なお話とアドバイスをたくさんいただいた。深く感謝を申し上げたい。

VII. 参考文献

1. 遊園地のメカニズム図鑑—ジェットコースターが落ちない理由 八木 一正
2. 遊園地を科学しよう! 八木 一正
3. Coasters 101: An Engineer's Guide to Roller Coaster Design, Nick Weisenberger
4. Roller Coaster: Wooden and Steel Coasters, Twisters and Corkscrews, David Bennett
5. Roller Coasters (Calling All Innovators: A Career for You?), Kevin Cunningham
6. American Coasters: A Thrilling Photographic Ride, Thomas Crymes
7. Theme Park Design: Behind The Scenes With An Engineer, Steve Alcorn
8. Roller Coaster Science: 50 Wet, Wacky, Wild, Dizzy Experiments about Things Kids Like Best, Jim Wiese



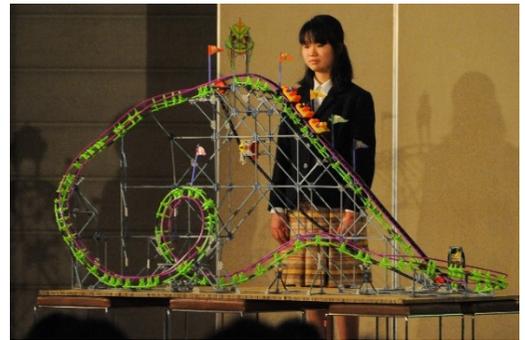
【レポート①】夏休みレポート課題



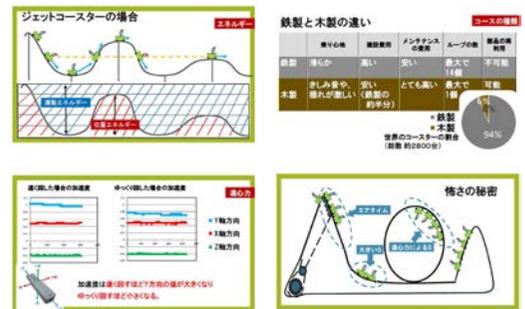
【写真③】ステージ発表の様子1



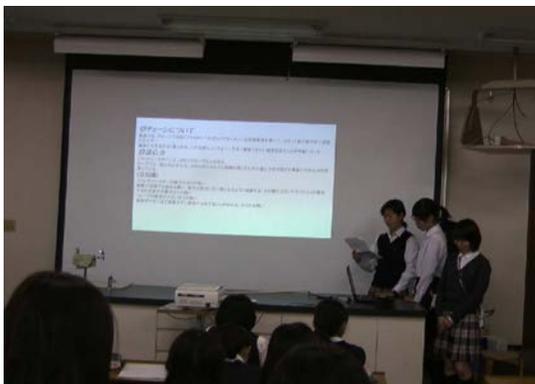
【写真①】発表の準備の様子



【写真④】ステージ発表の様子2



【スライド①】ステージ発表用



【写真②】中間発表の様子



【写真⑤】ポスター発表