

アクセルリングによる加速度の測定

- 体験的物理教材の開発 -

永田敏夫 日比生究 境智洋 萩野美奈 村上俊一 大久保政俊

円形透明ビニルチューブに色水を入れて直視型の簡易加速度計を開発した。この加速度計は、乗り物に乗って体験的に運動の学習を進める際、安全にどこにでも持ち込むことができ有効である。今回、実際に列車やバスに乗って速さと加速度の測定実験を行ったが、この加速度計は、進行方向の慣性力の学習素材として活用できることも分かった。また、科学館でのバーチャルライダーのような遊戯施設に乗せて加速度を調べたが、体験的物理教材として有効に活用できることが分かったので報告する。

〔キーワード〕体験的物理教材 加速度計 アクセルリング 乗り物

はじめに

物理領域の学習は、日常生活とも関わりが深い。これを切り口としていくことで児童生徒の学習意欲の高まりが期待できるばかりでなく、学習活動の教室外への発展や教科の広がり、総合性を高めていくことも可能である。

今回取り上げた加速度は、力学的な学習活動としては、速度の時間変化として学習するために、学習内容が高度になるが、直接測定が可能になれば、速度よりも感覚的には直接的な物理量である。乗り物に乗った場合速度は視覚的に捉えるものであるが、加速度は皮膚感覚に訴えるもので目をつぶっていてもわかる感覚である。

したがって、加速度が速度から算出するのではなく、直接測定する物理量として位置づけることができれば新たな物理学習の素材ともなる。乗り物や遊戯施設を利用する野外での体験的な学習活動を一層充実したものとすることもできると考える。

ここでは、新加速度計アクセルリングの開発経過とその原理、実際の測定について紹介する。

1 開発までの経過

乗り物の中での慣性力をどのようにして調べることが出来るか、JRや地下鉄、バスなどの交通機関に実験器具と記録・観察用のビデオカメラを持ち込み、実験学習素材としての適否の評

価を行いながら開発を進めた。

1.1 水平にしたつる巻きバネ

水平方向の加速度運動を調べるために、アクリル円筒内におもりを付けたつる巻きバネを入れて調べた。3 g/cmのバネとプラスチック製のバネを利用したが、列車の発車や停止のときの動きもごくわずかで、応答が悪く、観察・実験には適さないことが分かった。



図1 プラスチックバネ

1.2 系につけたおもり

風系におもりを付け、乗り物の運動とともにその動きを観察した。これは、応答もよく分かりやすい。確かに乗り物の中で物体が受ける慣性力を調べることが十分できる。しかし、ごくわずかな揺れにも応答するため、かえって振動して、変位を読み取りにくく、慣性力の大きさがとらえにくく、支点や目盛りの設定については課題を残した。

1.3 砂時計の砂の落下

加速度運動をしているときの、砂時計の様子を観察した。この場合、積もった砂の様子から、加速度の向きや大きさがとらえられることがわ

かった。しかし、落下中の砂の様子は殆ど変化をとらえられず、経過を観察し、記録するのは難しいことがわかった。



図2 おもりと砂時計とチューブ

1.4 透明チューブに入れた水の動き

そこで、透明ビニルホースに色水を入れて液面の変化を観察した。応答はするが、ホースが水準器のように水平に近い場合、分かりにくい。ホースを曲げて、U字型にすると良く応答し分かりやすいことが確かめられた。しかし、液面の差を慣性力とどのように関連づけるかの解釈が必要である。そこで、このU字管の先を閉じて円形にしたところ、応答の良さは変わらず、加速度がとらえやすいことが分かった。しかも水とホースとの摩擦により液面の振動が早く減衰して釣り合いの状態が見やすい。加速度計としても、原理がわかりやすく乗り物などに持ち込みやすいことが分かった（簡易加速度計：アクセルリング¹⁾）。



図3 地下鉄につけたU字管



図4 円形にしたところ

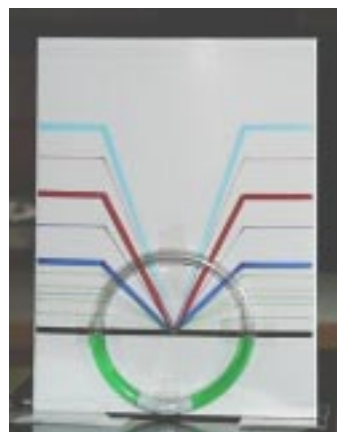


図5 アクセルリング

2 アクセルリングの原理と検証

乗り物の水平方向の加速によく応答しているこのアクセルリングの水面の動きを考えることにした。

2.1 振り子モデル

アクセルリングに入れた水が慣性力を受けた場合にどのようなになるか、その原理を次のように考えた。

半径 r の円形のリングに入った質量 m の水はその重心の動きに着目すると、丁度長さ r の糸に質量 m のおもりをつけた振り子の動きと一致する。

糸に付けたおもりのモデルを水に適用して、水面の傾きと慣性力の関係を考える。おもりの場合は重力と慣性力と糸の張力が釣り合ったところで、おもりは止まる。同様にアクセルリングの場合、液体に働く重力と慣性力、液体がホースから受ける抗力が釣り合ったところで、液

面は安定することになる。

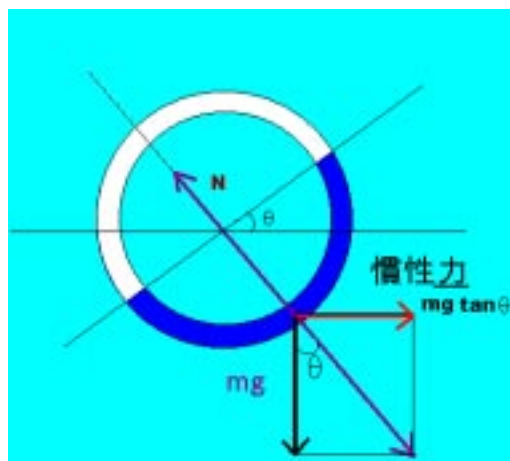


図6 アクセルリングの原理

糸と振り子の支点との摩擦やホースと液体との摩擦が無視できたとすると、重力と慣性力と抗力（張力）だけの釣り合いを考えればよく、水平方向の慣性力は図から $mg \tan \theta$ となる。従って、もし乗り物が水平面上を運動したとすると水平方向の加速度は $g \tan \theta$ となる。アクセルリングに図5のように目盛りを打っておくと、液面の位置から、水平方向の慣性力による加速度が直視できることになる。

2.2 振り子モデルの検証

この考え方が適切かどうかは、実験によって、チェックする必要がある。実際に水平方向に加速度運動をする乗り物で、振り子とアクセルリングの動きを観察することが必要だが、その前



図7 回転台上の振り子とアクセルリング

にまず、回転台の遠心力を利用してチェックした。回転台上に、フレームを載せてアクセルリングを取り付け、リングの中心に振り子を下げる。振り子の長さが、リングの半径に等しくないと、リング内の水の重心とおもりの重心の回転台の中心からの距離が変わってしまい、水面と振り子の糸は直交しない。しかし、振り子の長さが、リングの半径と等しければ、水面の傾きと振り子の糸は直交することから、振り子のモデルが適切であることが確かめられた。

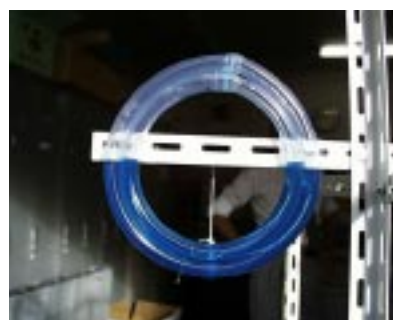


図8 静止中のアクセルリング



図9 回転中のアクセルリング

3 アクセルリングの改良と測定

このアクセルリングは、軽量で柔らかいため、乗り物に乗って体験的に運動の学習を進める際に、安全にどこへでも簡単に持ち込め、手軽に利用できる。そこで、教材化していくためにどのようにすればよいか検討しながら、改良を試みた。実際に、乗り物中で観察するためには、水面が見やすくなくてはならない。中に入れる水の応答と、水面の読み取りやすさから、外径10mm、肉厚1mmのビニルチューブを、直径10cmのリングにして一回り小さい径のチューブを短く切って、これにかぶせる形でつないだ。水量は、中の容積の半分になるように、体積を測っ

て中に入れ、後から注射器で水を出し入れしながら調節した。はじめに試作したものは、つなぎ手が下にあったため、時間がたつと水が漏れてくるので、つなぎ手を上にして、目盛りを下の半円についてつけることにした。また、振り子もリングの中心から同時につるしておき、測定するときに液面の様子をチェックできるようにした。加速度の大きさについては、値を直視できるようにG単位の見盛りをつけた。この振り子は、応答がよいので液面の傾きのチェックだけでなく、その状態が液面が振動しているだけなのか、傾いているのかを判断するのにも利用できた。

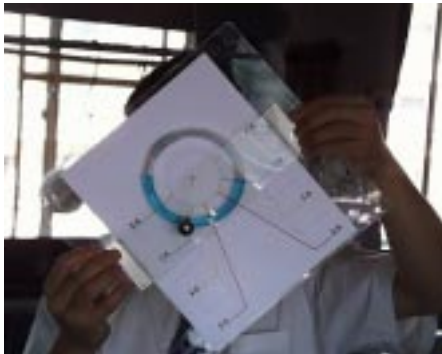


図10 改良したアクセルリング

4 アクセルリングを利用した慣性力による加速度の測定

4.1 地下鉄の加速度



図11 札幌市営地下鉄東西線

ビデオカメラとアクセルリングを付けたフレームを地下鉄に乗せ、アクセルリングによる測定を記録した。その際同時に、地下鉄車両の最後尾にある車掌室の窓から、スピードメータの様子をビデオ撮影した。



図12 車掌室のスピードメータを記録

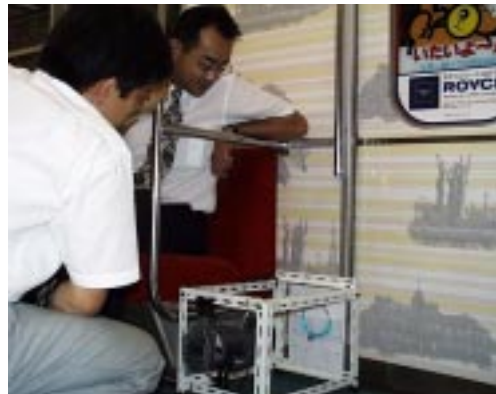


図13 アクセルリングによる測定

車掌室の中にあるスピードメーターを窓越しに撮影するのは、列車が振動しているのと窓ガラスによる光の反射や車掌の動きがあるために意外と難しかったが、車掌の好意的な対応で何とか記録ができた。アクセルリングの方は、ビデオカメラもリングもフレームに付けてあるため床に置くだけでよく、スムーズに撮影ができた。

ビデオを再生して、スピードメータを2駅間（札幌市営地下鉄東西線円山公園 - 西18丁目間）について1秒ごとに読み取り表計算処理をしたのが図14で、同じ区間について、アクセルリングの液面の変化から進行方向の加速度を読み取り表計算処理してグラフ化したのが図15である。