

摩擦のない平面上をゆっくり進む波

香川 喜一郎 (理数教育講座)

Ali Khumaeni

田中 覚、小林 あかね

尾山 和久、古田 哲也

1. はじめに

物理学は、自然法則を数学的な関係式として表す学問であり、具体的事象と数式の間には密接な関係がある。しかし高校の物理の現状は、実験がほとんど行われておらず、重要公式を暗記し、計算問題を解く練習ばかりを行っている。現状の授業スタイルでは数式が一人歩きしており、具体的事象との結びつきが薄いという問題がある。昨年報告したように、我々は微小ビーズ球を用いる摩擦のない力学演示実験装置を用いることで、これまで演示が困難であった運動の第一、第二、第三法則等、殆どの力学法則の演示が可能となり、力学が非常に学びやすくなることを示した。今回、微小ビーズ球を用いる方法をさらに広げ、波動実験への応用を試みた。

水面波や地震波、音波、光波、電波など自然界は波で満ちており、波の性質の理解は非常に重要である。しかし、通常の波は非常に速く伝播し、観察することは難しい。そのため、学生にとって波動は物理学の中でも難解な分野である。そこで我々は、摩擦のない平面を用いることで、ゆっくり進む波を作ることを考案した。これによって生徒は楽しみながら、目で見て確実に納得しながら学習することができる。

2. 実験方法

微小プラスチック製ビーズ (直径約 0.3mm の球) をホワイトボード (900mm×3000mm) 上に適量な密度で散布し、摩擦のない平面を作る。(図 1)

プラスチック製の薄いフタ (直径約 50mm) の側面に穴を開け、細いゴムヒモで長く繋ぎ合せて“波伝播ヒモ”とし、摩擦のない平面上に置く(図 2)。このプラスチックのフタは軽く、摩擦はほとんどないので、波はエネルギーを失うことなく長い距離伝播できる。波の位相の違いや速度の違いを比較する際には、2 本の色の異なる波伝播ヒモを置く。

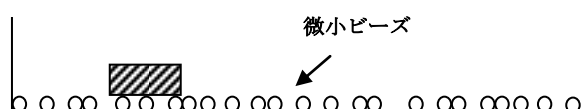


図 1 摩擦のない平面



図2 波伝播ヒモを用いる波動実験装置

3. 実験結果

3.1 波の速度

式(1)が示すように、波の速度は張力と密度に関係している。

$$v = \sqrt{S/\rho} \quad \dots (1)$$

ここで、 v は波の速度、 S は張力、 ρ は媒質の密度である。波伝播ヒモを強く引くと張力は大きくなり、波の速度は大きくなる。波伝播ヒモを構成するプラスチックのフタの上にゴム粘土等を乗せ、質量を大きくすると、波伝播ヒモの密度が大きくなり、波の速度は小さくなる。図3は速度の違う2つの波伝播の様子をカメラで連続撮影した写真である。赤い波伝播ヒモの伝播速度は青に対して小さくなるようにしてある。右図は左図に対して1秒後の写真であり、赤の波が到着した時点で、青の波はすでに反射してホワイトボードの中央部に達している。

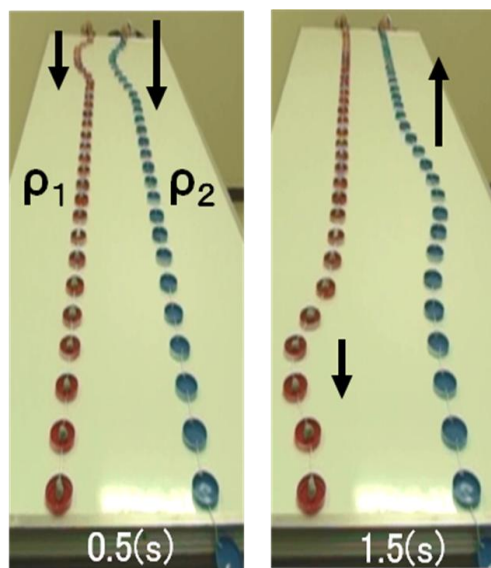


図3 速度の異なる波の伝播

3.2 波の固定端及び自由端での反射

波伝播ヒモの一端を固定し、もう一端からパルス状の波を送り出すと、波はゆっくり進んで、固定端に到着したのち、図4に示すようにパルスの方向を逆転して戻ってくる。

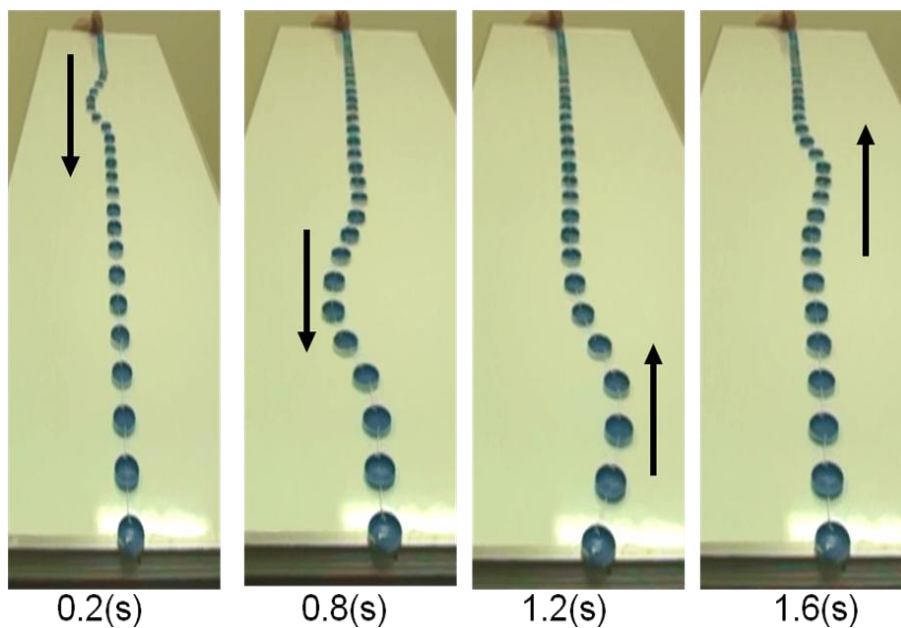


図4 固定端での反射

波伝播ヒモの一端を自由端として、もう一端からパルス状に波を送り出すと、波は自由端に到着した後、図5に示すようにパルスの方向を変えずに戻ってくる事が分かる。

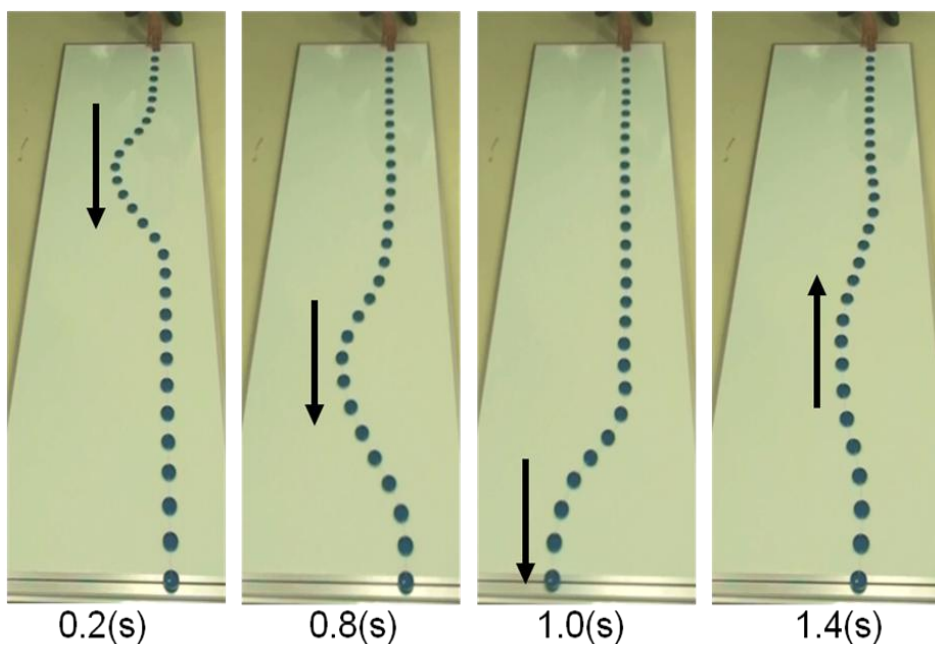


図5 自由端での反射

3.3 波の重ね合わせ

媒質の1点に二つの波が到達したとき、振動するその点の各瞬間の変位 y は、それぞれの波が単独で到達したときの変位 y_1 、 y_2 の和になる。

$$y = y_1 + y_2 \dots (2)$$

即ち、二つの波が重なり合う現象は、二つの物体が衝突する現象とは異なり、媒質の各点に二つの波の振動状態が同時に伝わるだけであって、たがいに他の波の進行を妨げたり、他の波に影響を与えたりするようなことはない。これを波の独立性という。これによって式(2)の波の重ね合わせが起こる。

ホワイトボード上に波伝播ヒモを置き、二人の人が波伝播ヒモの端を持ち、同時に同方向のパルスを送る。図6に示すように、二つのパルスは近づき、ホワイトボードの中心付近で重なり、波の振幅が大きくなり、再び分かれて進んでいく様子が明瞭に観察できる。

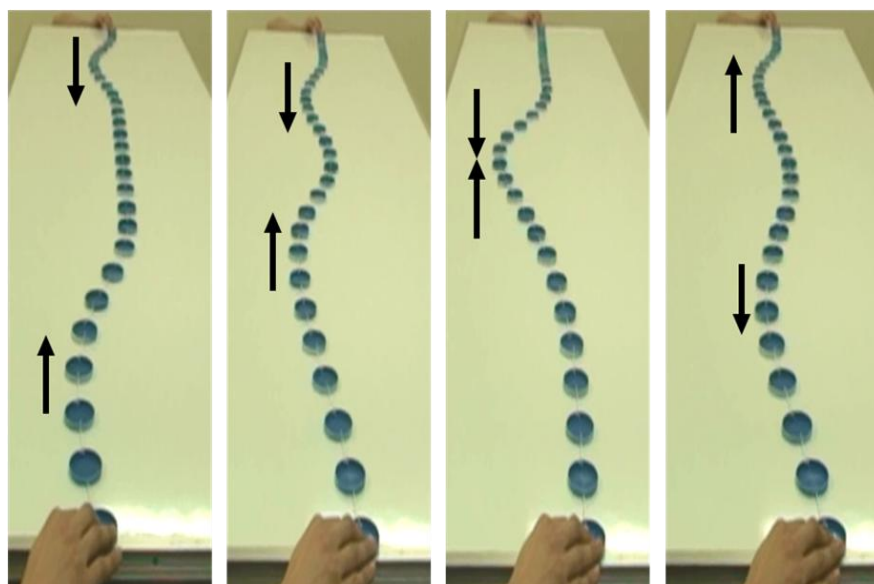


図6 二つのプラスパルスの重ね合わせ

一方、図7に示すように、波伝播ヒモの端から互いに逆方向に振れるパルスを送りだすと、二つの逆方向のパルスは近づき重なり、中央付近で振幅が小さくなり、その後再び二つの波は分かれて進む。

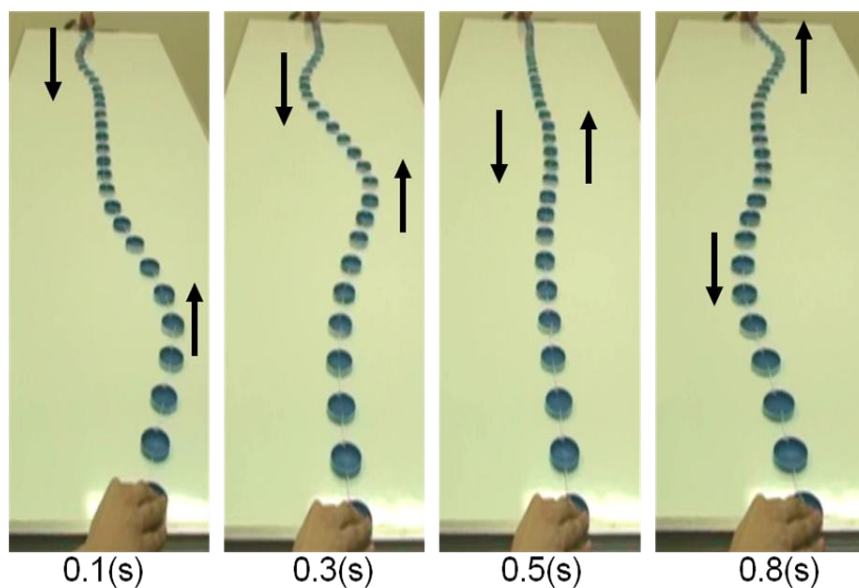


図7 プラスパルスとマイナスパルスの重ね合わせ

3.4 定常波

波伝播ヒモの一方を固定し、もう一方の端を適当な周期で振動させると定常波ができる。図で示す節の部分には動かないが、その中間の腹にあたる部分は振動を左右に大きく繰り返す。このとき、端を振動させる振動数を2倍にすると波長は半分になる。すなわち、波の一般的な関係式

$$V = \lambda \nu \quad \dots (3)$$

を容易に演示することができる。

ここでVは波の速度、 λ は波の波長、 ν は波の振動数を表す。このとき、音楽で用いるメトロノームを用いると振動を簡単に調整できる。

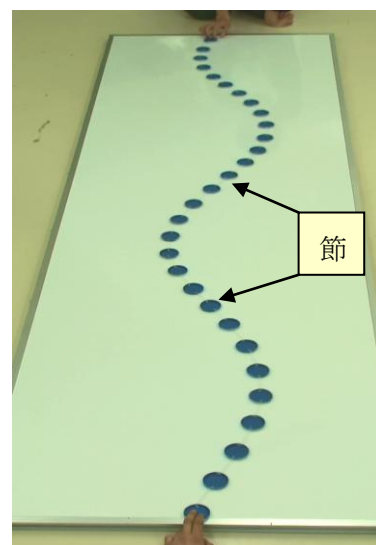


図8

3.5 媒質が異なる境界での波の反射と透過

光が空気中から水面やガラスに入る際には、光の大部分は透過するが、一部は反射するということはよく知られている。媒質が異なる境界で、透過と反射が起こるのは、波の一般的な性質である。この現象も我々の波伝播ヒモとビーズ板を用いて容易に演示することができる。すなわち図9に示すように、波伝播ヒモの中央部分から右側のプラスチック製の薄いフタは、粘土を置き質量を大きくする。波伝播ヒモの左の一端からパルス波を送ると、その波は境界に達した後、大部分は透過するが一部分は反射して返ってくる。透過して同じ方向に進む波は速度が小さい。なぜなら左側に比べ、中央部分から右側のプラスチック製のフタの

質量が大きくなっているからである。ここで、透過する波の波長が小さくなっていることも容易に観察できる。これは上式(3)からすぐに理解できる。すなわち、透過する波の振動数は左側からやってきた波の振動数 ν と変わらないが、波の速度 V が小さくなるので波長 λ が短くなる。このような実験は、従来のウェーブマシン装置を使って行うことは困難である。

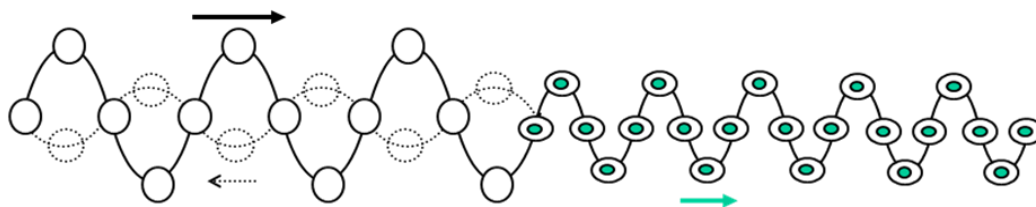


図9 媒質が異なる境界での波の反射と透過

4. おわりに

今回提案した装置は簡単な装置であるが、波の基本的な性質を殆ど演示できる。この新しい波発生装置を用いれば、学生は楽しみながら波動の性質を直感的に理解できるので、高校、また大学の基礎教育で活用できると考えられる。現在、波の観察実験には、つるまきばね等が用いられている。しかし波が伝わるのが非常に速く、生徒は波の様子を十分に観察することができない。またウェーブマシンのような実験装置もあるが、非常に高価である上に、波の一般的な演示として学生に受け入れにくい。我々が開発した方法は安価であり、かつ、ゆっくり波の進む様子が演示できるため教育効果は非常に大きい。今後、教育現場への普及が期待される。

参考文献

- [1] 香川喜一郎, 石井恭子, Ali Khumaeni, 大川高史, 田中覚, 小林あかね “微小ビーズ球を用いる摩擦のない力学演示実験” : 子どもの思考力を伸ばす, 福井大学教育学研究科教材開発研究会 19 年度報告書, pp. 39-44 (2008).
- [2] S. Sawamoto, K. Hosotani, N. Idris, K. H. Kurniawan, Y. I. Lee, B. J. Ahn, K. Ishii and K. Kagawa “Frictionless Demonstration Using Fine Plastic Beads for Teaching Mechanics” : 科学教育研究, Vol. 32, No. 2, pp. 98-102 (2008).
- [3] A. Khumaeni, S. Tanaka, A. Kobayashi, Y. I. Lee, K. H. Kurniawan, K. Ishii and K. Kagawa “Demonstration of the Action and Reaction Law Using Fine Spherical Plastic Beads” : Physics Education, Vol. 43, No. 6, pp. 637-643 (2008).
- [4] 小林あかね, 田中覚, Ali Khumaeni, 石井恭子, 香川喜一郎 “微小ビーズ球を用いる摩擦のない力学演示実験 I” : 日本理科教育学会発表論文集, Vol. 6 pp. 253 (2008).
- [5] 田中覚, 小林あかね, Ali Khumaeni, 石井恭子, 香川喜一郎 “微小ビーズ球を用いる摩擦のない力学演示実験 II” : 日本理科教育学会発表論文集, Vol. 6 pp. 428 (2008).