

運動の3法則に関する教材と実験

物理で学習する運動の3法則については、それぞれが独立した法則のように認識される傾向があるが、第二法則（運動方程式）、第三法則（作用・反作用）は、第一法則である「慣性の法則」が成立して初めて成り立つ法則である。したがって、第二法則、第三法則の学習においては、常に第一法則との関連付けが重要である。

また、それらの法則に基づく物理的な現象について、実感を伴った理解を得るために身近な事例を挙げて説明する場合、その事例が示したい現象以外の現象を含んでいる場合が多く、どの現象に着目すればよいか混乱する可能性がある。例えば、よく教科書に見かける「だるま落とし」では、本来、運動の3法則のうち、「慣性の法則」を説明するための事例であるが、これには、「衝突」「自由落下」等の複数の現象が絡んでおり、混乱する可能性が大きい。

さらに、導入時における演示実験や諸現象を調べる実験などにおいては、数値計算に頼った手法のみでは、実感を伴った理解を得ることは難しく、視覚や感覚など、より直感的に理解できるような工夫が必要である。

ここでは、これらの課題に対する試みをいくつか提示する。

1 慣性の法則に関する教材と実験

上記で述べたように、運動の3法則のうち、第一法則である「慣性の法則」は、最も重要な法則であり、「慣性の法則」が成り立つ系（慣性系）で初めて第二法則、第三法則が成立する。ところが、この「慣性の法則」については、授業で「物体に力が働かないか、あるいは働いていてもそれらの合力が0の場合、静止していた物体は静止を続け、等速で運動していた物体は同じ運動を続ける」という一見あたりまえと思われる表現で「言葉」として教えてしまいがちである。これでは、その法則が示す本質的な意味を理解または実感しにくく、後に続く第二、第三法則を本当に理解することを困難にする。

慣性とは、物体が今の運動状態を保とうとする「性質」であり、その物体の質量に依存する。この慣性を調べる最もシンプルな実験としては、無重力状態の空間に質量の異なる物体を置き、それぞれ同じ力を加えて物体の動きやすさ（加速度の大きさ）を調べる実験などが考えられるが、実際にはこのような環境を地上でつくるのは難しい。

そこで、疑似的に図1のような実験を行う。糸に質量の異なる物体（右：鉄球、左：ピンポン玉）を糸で吊るすだけであるが、鉛直方向の力はキャンセルされており、重力と張力の合力が0の状態が実現されている。

ここで、図2のように、水平方向に力を加え、物体を押し出す瞬間の物体の動きやすさ（または動きにくさ）を手で実感させる。この感覚は、まさに物体の慣性（この場合、静止状態を保とうとする性質）である。



図1

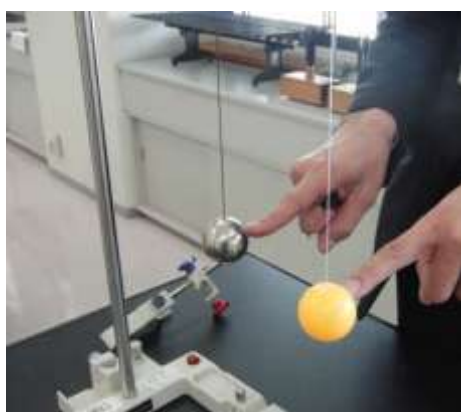


図2

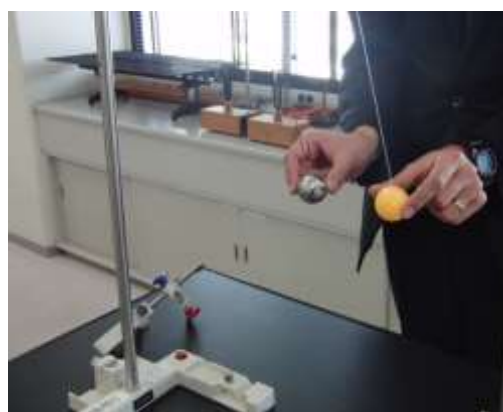


図3

次に図3のように物体を同じ高さまで、糸がたるまないように持ち上げ、同時に手を放す。これを手で受け止めることにより、今度は運動を続けようとする慣性の実感できる（持ち上げる高さを低めにすれば、ほぼ同じ速度で手に衝突するため、その違いが実感できる）。

この実験では、「振り子」の要素が入るが、周期的な運動までには至らないので、着眼点の混乱は避けられる。

2 運動方程式に関する教材と実験

運動の第二法則では、物体に加えた力と物体の加速度、質量の関係（運動方程式）を取り扱う。慣性に逆らって物体の運動状態を変化させるには、力が必要であり、加えた力や運動する物体の質量により、その状態の変化量が決まるというものである。

実際には、バネばかりや力学台車、記録タイマーなどを用いて、力学台車に加えた力の大きさと力学台車の速度の変化から物体の加速度を見積もり、それらの関係を調べていく手法が一般的である。

この実験のポイントは、物体に大きな力を加えると、加速度が大きくなる（すぐに速度が上がる）、つまり、力と加速度の比例関係を理解させることと、力を加えても質量が大きいと加速度が大きくなりにくい（速度が上がりにくい）、つまり、質量と加速度が反比例することを理解させることである。

この実験の場合、物体の動く速さは実感しやすいが、加えた力の大きさあるいは加速度の大きさは実感しにくく、今一つの工夫が必要である。そこで、図4のような教材を考えた。

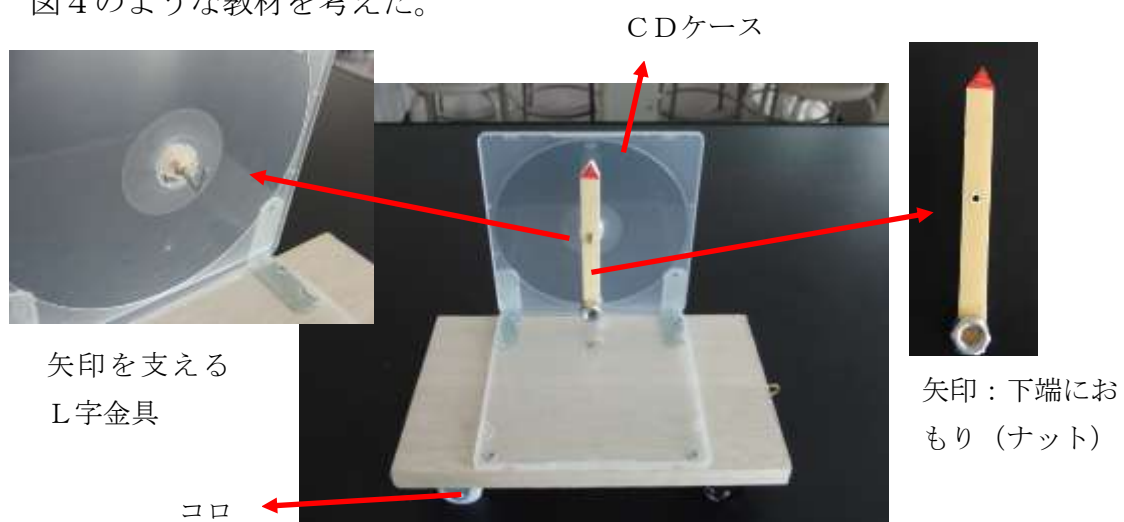


図4

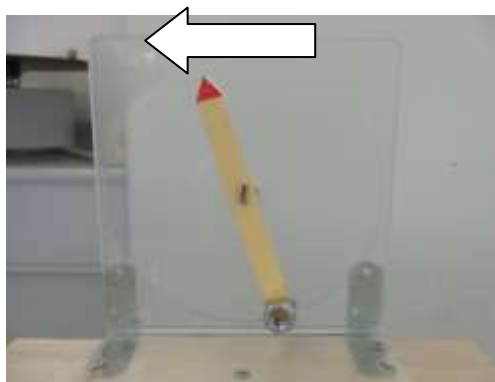


図5 力が小さい場合



図5 力が大きい場合

慣性の法則から、質量の大きいものは、動きにくく、図4の矢印の下端のおもり部分は、その位置に残ろうとする慣性が生じるため、矢印の先端部は進行方向に回転する（図5）。この矢印の先端部の回転角は、加えた力の大き

さあるいは加速度の大きさに依存するので、この回転角の大きさが、加えた力の大きさあるいは加速度の大きさを示すことになる。

3 作用・反作用の法則に関する教材と実験

物体に慣性がなければ、物体に力（作用）を加えても力（反作用）は戻ってこない。運動の第三法則である作用・反作用の法則は、慣性があるからこそ成立する法則である。

通常、演示実験などでは、実験者がコロ付の椅子にのって壁を押すなどの事例を示したりするが、実際に働いている作用・反作用の力は観察者には見えない。また、実験者自身は反作用を感じるのみで、作用は実感できない。より、実感を伴った理解を得るには、作用・反作用を両方、可視化することが有効である。そこで、図6のような教材を考えた。

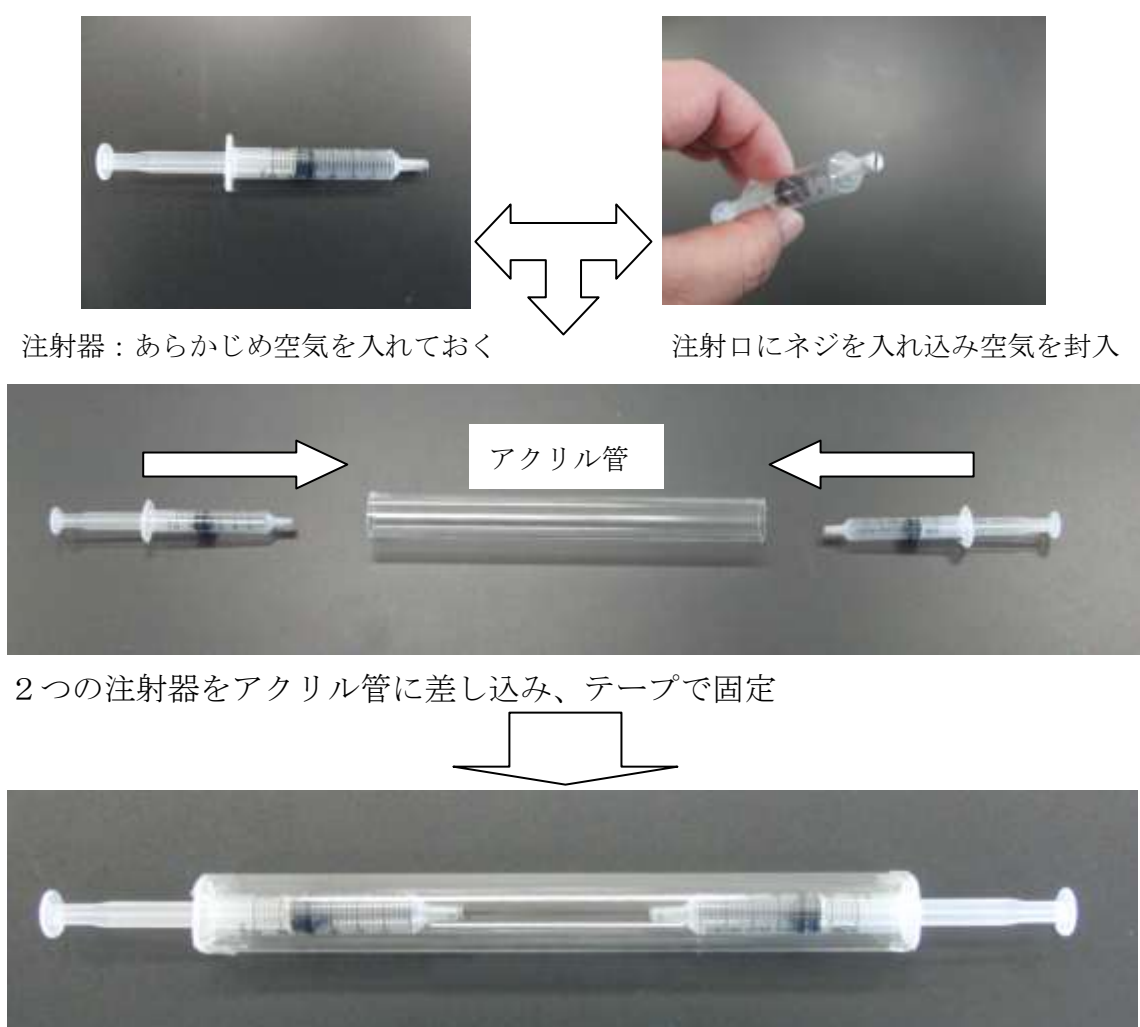
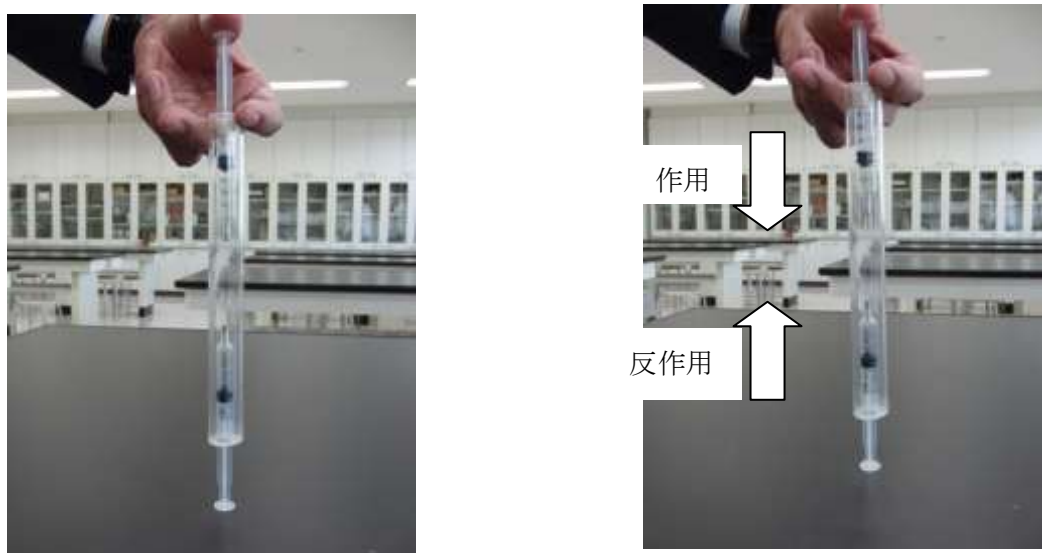


図6

図7は、物体を押す力（作用）と物体から押し返される力（反作用）を2つのピストンの動きから実験したものである。図8には、物体を引く場合を示している。



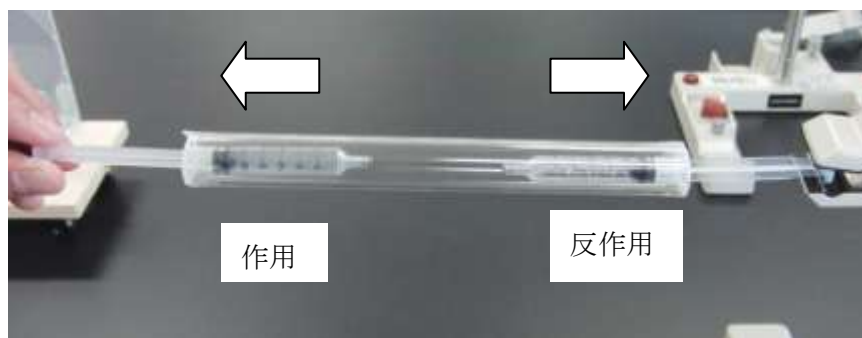
押す前

図7

押した時



引く前



引いた後

図8