斜面を転がるボールー慣性モーメントを考慮した落下運動の考察の要約

研究の動機･目的

Galileo が行なった Pisa の斜塔でのボールを落下実験はよく知られている。しかし、落下途中の過程は、斜塔の屋上から落下させても 1 秒もかからない高速現象であるため、難しい課題であった。そこで、Galileo は自由落下をスローモーションで観測することを思いつき、斜面での落下運動を導入した。私たちには落下運動は熟知されていると思われたが、大学の授業での剛体の運動を勉強したことを思い出すと、ボールの転がり運動による慣性モーメントは考えなくて良いのだろうか、という疑問が生まれた。ボールは斜面を滑るように落下する(a falling ball) のではなく、転がりながら落下(a rolling ball) している。慣性モーメントをきちんと考えて、取り扱ったら斜面の運動はどうのようになるのだろうか。このような疑問に対しては、まず、実験してみれば分かると思い、実験プロジェクトを組織し、測定を行なった。題材として選んだのはアメリカ・ウイスコンシン大学の Lattery 教授による論文 ”A simple and Surprising Experiment is Performed by Physical Science Students”で、この論文では解析ボールの回転を考えない質点の運動として行なっている。この実験をベースに測定をスタートした。

研究の方法

実験は幅 15ｃｍ、長さ 2m程のアクリル板を床に水平に置き、合板で斜面を作り、蝶番で角度を変えられるようにしたものを用いた。斜面は、平面が鋭角的に机上のアクリル板に連結した。ボールは斜面、アクリル水平板上で自由に転がり、終端に到達できるようにした。連結点から距離 60 cm の円周上の合板位置でボールを静かに落下させ、水平面 2 m を通過する時間をストップウオッチを用いて測定した。計測は、角度毎に 10 回の計測を行った。

本研究で得られた成果と結果

今回使用した簡単な実験装置でも、丁寧に繰り返し測定すれば、精密な解析に耐えるデータが測定できることが分かったのはおどろきであった。明らかになった点を箇条書きにすると以下のようになる。

①実験結果の概略は、先行して行われた Lattery 教授や佐藤らの実験結果をよく再現する。基本的な考え方は慣性モーメントを考慮しない質点モデルで説明できる。

②ボールの種類を拡張してスーパーボール、マウスボール、ステンレス大球で実験を行い、互いに良く一致するデータが得られたが、低角度領域ではゴルフボール、マウスボールの場合に大きなばらつきがある。

③質点と考えた解析でも、実験データの本質的なメカニズムは十分説明できるが、ボールの慣性モーメントを考えた場合の方が高角度側のデータの一致度が良い。

④低角度$\theta=5$～10 度での計測時間 T の一致度はあまりよくない。先行する Lattery 教授ら実験では、$\theta=5$ 度の低角度では測定を行なっていない。これは、この低角度領域では、速度が余りにもゆっくりとした運動になり、摩擦抵抗などの影響が出ているのではないかと考えられる。

今後の発展と展開

①今回に解析では、摩擦抵抗は考慮しなかった。ボールと斜面の摩擦を考慮した、より精密な解析を試みることと、②ボール一個でなく、多数のボールが集団で斜面を落下した実験を行ないたい。北海道大学低温科学研究所が札幌大倉山ジャンプ台の斜面を利用した 5 万個のピンポン玉の落下運動は雪崩のメカニズムを探る実験であったが、集団運動としてどのような事が起こっているのか、今回の結果を発展させて物理的な観点から考えてみたい。