

物理チャレンジ 2011 第1チャレンジ実験課題レポート講評

2011/06/26 第1チャレンジ部会

1. 出題の狙い

今年の実験課題は「大気圧を測ってみよう」でした。日頃、その存在を感じさせない大気圧を、定性的な実験ではなく定量的に測定することを課題としました。そのためにはいろいろと実験上での工夫が必要です。問題文には2つのヒントをあげました。吸盤とボイルの法則です。そのため、レポートの大半は、①吸盤が引きはがされる力を測定して大気圧を求める方法、②注射器のなかに閉じ込めた空気の体積とピストンに加えた力との関係から大気圧を求める方法でした。それに加え、③水銀の代わりに水を使ったトリチェリの真空の実験から大気圧を求める方法も多数ありました。これ以外の方法も少数ながら散見されました。このような定量的な物理実験を通して、大気圧を一段深く実感してもらうことを狙いとして出題しました。

2. 総評

多くのレポートでは、上記3つのうち2つ以上の実験法を試みて、それぞれの方法で得られた結果を比較しており、その違いの原因も考察していました。下記に記す実験優秀賞として選ばれたレポートなど、採点者をうならせる研究論文のようなすばらしいレポートから、レポートの体裁をなしていないものまで、さまざまなレベルのレポートが集まりました。とくに、水を使ったトリチェリの真空の実験では、長さ10 m近いホースに水を入れ、それを校舎の3階まで引き上げて実験している写真などが多数あり、仲間と実験を楽しんでいる様子がうかがえました。また、学校の授業で時間制限の厳しいなかで行う実験とは違い、試行錯誤や追加実験、あるいはコンピュータによるデータ解析などを丹念に行った力作も多数ありました。

しかし、ある一定のレベルまでの実験および解析を多くの生徒が行っていましたが、さらに一步踏み込んだものは多くなかったのも事実でした。得られた大気圧の値が1013 hPaから大きくずれている場合に、単純に空気が漏れてしまったからとか、注射器のピストンの摩擦のため、吸盤が「理科実験用」のものでなかったため、などと安易な考察や「言い訳」で終わっているレポートも多数あったのは残念でした。考えられる原因を確かめるために、条件を変えて実験するなどの努力が欲しいものです。実験条件をさまざまに変えて測定し、そこから定量的に何が言えるのか、自分の仮説や理論と比較し、踏み込んだ解析と、必要なら追加実験などが欲しいと感じるレポートが多数ありました。

グループ実験でもレポートは各自がそれぞれ独自にまとめなければなりません。必ずしもそれが実行されていないグループがあったのは残念でした。ワープロで作成した一字一句同じレポートも少ないながらあったのは極めて残念でした。実験装置の写真やその説

明が同じであっても、データ解析や考察は自分の言葉で書かないと意味がありません。

優れたレポートやユニークな観点からのレポートの例を方法別に具体的に列挙します。

ボイルの法則を利用した方法

- 多くのレポートで、注射器や浣腸器を用いて実験するなかでピストンの摩擦の影響に気づいて考察していました。気密性を保つとともに摩擦を低減させるためにピストンにグリースを塗るなどの工夫をしたものもありました。また、ピストンを押し込むときと引っ張るときとの両方向で測定を行い、その平均値を利用して摩擦補正を行ったり、摩擦力を直接測定して補正しているレポートもありました。
- 圧縮による温度上昇に気づき、その効果を理論的に補正したり、逆になるべく等温になるように注射器を水で冷却したり、あるいは、非常にゆっくり体積変化させて測定したりして工夫していたレポートもありました。実験中での注意深い観察が重要です。
- 注射器内に残留していた空気の影響を補正する理論を作り、それにもとづく補正を行っているものもありました。
- 注射器とおもりの装置を持ち運び、高いビルに登って測定して、高度によって大気圧が異なることを示したレポートもありました。

吸盤を使った方法

- 平板に張り付けた吸盤がはがれる力を測定することによって大気圧を測定できますが、そのとき、吸盤の面積で力を割り算しなければなりません。その面積をどう測定するかが問題です。実験中に注意深く観察すると、大きな力を加えるにしたがって吸盤は変形し、耐えられなくなっていくにははがれる直前では接触面積が変わるはずですが、そのことに気付いているレポートも少なからずありましたが、単純に力がかかる前の吸盤の接触面積を使って計算しているレポートも多数ありました。
- 吸盤内に残留した空気が結果を大きく左右するはずで、そのことに気付いて、水中や油中で吸盤を平板に吸い付けるといった操作をした者もいました。その結果、油（真空油）の方が正しい大気圧の値になり、その原因として、吸盤内に入っていた油や水の蒸気圧に関する考察を行っている者もいました。大変優れた考察といえます。

トリチェリの実験による方法

- 長さ 10 m 程度のホースを水で満たし、それを校舎や自宅マンションの 3,4 階まで持ち上げてトリチェリの真空実験を行ったレポートが多数ありました。その際、水から気泡が出ていることに気付いたものは半分程度で、その現象自体に感激している者もいました。水中から出る空気だけでなく、蒸発する水の蒸気圧の影響の補正を考察しているレポートもありました。水中に溶け込んでいる空気を「脱気」するた

めに、沸騰させたお湯を冷まして使っているレポートもありました。また、密度を重くするために食塩水を使ったトリチェリの実験レポートもありました。現象をよく観察すると思わぬ発見があり、それから実験の工夫がでできます。

その他の方法

- ・注射器を用いて、ピストンを少し引いた時に生じるピストンの微小な単振動の周期を位置センサーで検出し、その周期が閉じ込められた気柱の長さで変わるので、その理論にフィッティングすることによって大気圧を求めたという興味深いアイデア型実験レポート。
- ・水の沸点が気圧によって変わることを利用し、その関係式から、沸点を正確に測定して大気圧を求めたレポート。
- ・音速が気圧によって変わることを利用し、その関係式から、音速を決める空気密度を正確に測定して気圧を求めたレポート。

いずれも（圧）力を直接測定せず、他の物理量と気圧との関係を利用して、他の物理量を測定することによって気圧を求めています。それによる測定誤差の伝搬も解析しているレポートもありました。

残念な点

- ・グラフはグラフ用紙を使って描くべきですが、レポート用紙に直接、しかもフリーハンドで描いているレポートが少なからずありました。また、グラフの横軸・縦軸に単位を明記すべきです。エクセルのグラフには要注意。コンピュータ出力そのままのグラフが散見されました。物理量の名称や単位を忘れずに書くこと。
- ・レポートは7つのセクションに分けて書くよう指示しているにもかかわらず、そのセクション分けがなされていないレポートも少数ながらありました。
- ・計算の結果から求められた数値を7桁も8桁も書いているものがありましたが、意味ある桁数にとどめて表記すべきです（有効数字を考慮して）。
- ・理科年表や気象庁発表の気圧データなどと比較し、自分の得た値との差を「誤差」と言っているレポートが少なからずありましたが、それは間違いです。測定誤差とは、メモリの読み取り誤差や複数回測定したときの値のばらつき、装置のゆがみや不完全性などから発生するもので、実験装置やそれぞれの測定の手順などに立ち返って「積み上げて」いくものです。誤差をきちんと評価しているレポートは極めて少ないのが残念でした。
- ・結論や考察に感想を書いた例が多かったが、感想は書くとしても、結論や考察と区別するのが望ましいでしょう（実験レポートとしては感想は不要）。
- ・グループ実験で、考察・まとめが全員同じになっていたグループがあったのは残念。
- ・全く同じレポートのコピーは論外。

- ・測定精度を高める工夫、精度を落とす原因の考察が安易なものがありました（安易に摩擦や空気の漏れ、自分の測定技術の未熟さのせいにするレポートが多かった。）
- ・実験結果による考察，さらにその考察を確かめる実験（実証実験）を行うというフィードバックの過程が見られるレポートは少なかったようです。実験を1日で終わらせるのではなく、データ解析と改良再実験を繰り返す努力が必要でしょう。

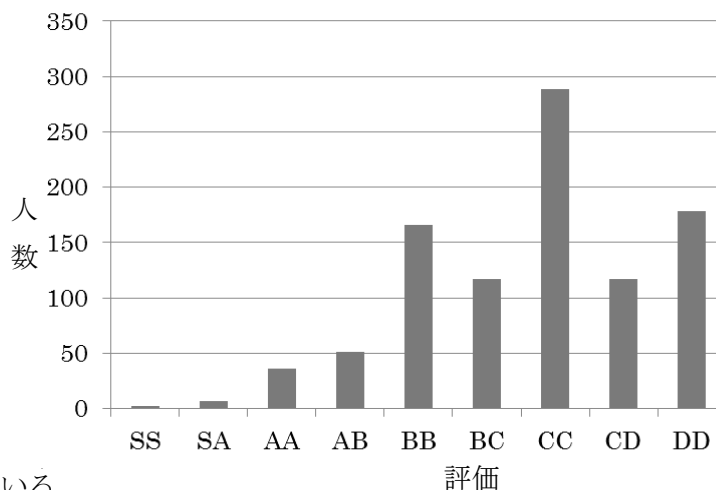
3. 採点

SS から DD までの 9 段階評価を行った。

レポート総数 971 通

成績分布

評価	SS	SA	AA	AB	BB	BC	CC	CD	DD	合計
	2	7	37	52	165	122	290	118	178	971



【評価基準】

SS, SA : 特に優れている

- ・何かオリジナルなこと，飛びぬけたことが入っている。

AA, AB : 優れている

- ・実験条件を適切に制御して系統的に測定を行っている。
- ・焦点の絞られた実験と考察を行っている。

BB, BC : 標準的

- ・定量的な測定がある。・解析に有効な意味のあるグラフがある。

CC, CD : やや努力を要する

- ・実験、解析、考察が系統的でない、または焦点が絞られていない。
- ・実験方法やデータの記述があるが要領が悪い。

DD : たいへん努力を要する

- ・実験方法やデータの記述が不十分。

物理チャレンジ 2011 第1チャレンジ実験優秀賞

実験や解析に工夫が見られた特に優れたレポート提出者6名を実験優秀賞として決定した。

・ **1115012 工藤 耕司** (明法高等学校 3年生)

水を使ったトリチェリの実験や注射器を使ったボイルの法則の実験など4種類の実験を行って大気圧を測定した。特に水トリチェリの実験では、蒸発する水蒸気の飽和蒸気圧の補正を行ったり、注射器の実験ではピストンの摩擦の補正を行っている。また、データ処理において、グラフ上で直線フィッティングを行うなど、随所に工夫がみられる。

・ **1117006 伊知地 直樹** (東京都立小石川中等教育学校 4年生)

注射器を利用したボイルの法則によって大気圧を測定した。その際、①注射器の空気漏れの検討、②ピストンの巻き上げ装置の自作、③注射器の断面積測定法の工夫、④ピストンの摩擦力の直接測定、⑤注射器内の残留空気の影響の検討、などを行い、高精度の測定を行った。とくに、⑤では、残留空気の量を仮定して理論曲線を描いて実験データと比較している。これはすでに実験研究のスタイルと言える。

・ **1117089 森 泉** (東京都立小石川中等教育学校 4年生)

注射器を利用したボイルの法則によって大気圧を測定した。そのための装置を自作し、ピストンの摩擦を相殺する方法を考案して注意深い測定を行った。また、注射器の中の残留空気の効果を考慮して独自の補正法を考案し、それによって測定精度を上げ、気象庁発表の気圧の日変化を再現することに成功した。

・ **1125002 奥野 将人** (石川県立小松高等学校 3年生)

1125008 宮浦 浩美 (石川県立小松高等学校 3年生)

水を使ったトリチェリの実験とシリンダ内でのピストンの微小振動の2種類の実験を行って大気圧を求めている。特に、後者の実験では、シリンダ内に閉じ込められた空気と外側の大気との間の不均衡によって生じるピストンの単振動を観測し、その周期と閉じ込めた気柱の長さの関係から大気圧を求めている。非常にユニークな手法であり、思考の柔軟さと深さを感じさせた。なお、奥野君と宮浦さんは他の生徒と共同で実験を行ったが、この2人のレポートが特に整理されていてわかりやすく書かれていた。

・ **1140005 川畑 幸平** (灘高等学校 2年生)

注射器を利用したボイルの法則の実験など4種類の実験を行い、それぞれのデータを、読み取り誤差や誤差の伝搬まで考慮した緻密な処理をして定量的な結果を出している。特に、高いビル(御影タワーレジデンス)に登って、高度による大気圧の変化を正確に測定していることは見事である。1m高度が上昇するごとに大気圧が約13 Pa減少することを発見した。