

中等教育研究開発室年報 第33号 (2020年3月31日発行) 別冊電子版
2019年度 授業実践事例

理科 高等学校第Ⅱ学年

ボイルの法則

授業者 内海 良一

(教育研究大会 公開授業)

広島大学附属中・高等学校

高等学校 理科 学習指導案

指導者 内海 良一

日時 2019年11月29日(金) 第3限(11:40~12:30)
場所 第1化学教室
学年・組 高等学校Ⅱ年 化学選択ア組39名(男子25人 女子14人)
単元 状態変化・気体の性質

目標

1. 状態変化と気体の性質に関する基本的な概念を理解するとともに、科学的に探究するために必要な基本的な技能を身に付けている。(知識・技能)
2. 状態変化と気体の性質に関する事象・現象から、問題を見だし、科学的に探究することができる。(思考・判断・表現)
3. 状態変化と気体の性質に関する事象・現象に主体的に関わり、課題を解決しようとする。(主体的に学習に取り組む態度)

指導計画(全11時間)

第一次	気体の圧力、飽和蒸気圧、状態図	2時間
第二次	ボイルの法則、シャルルの法則、気体の状態方程式	6時間(本時は2/6)
第三次	混合気体と分圧の法則	2時間
第四次	理想気体と実在気体	1時間

授業について

気体の性質について、「化学基礎」では「熱運動と物質の三態」で気体の温度と粒子の熱運動について、また、「物質」で物質と気体の体積について学んでいる。「化学」の「状態変化と気体」で取り扱う内容は、①大気圧、②状態変化、③ボイル・シャルルの法則と理想気体の状態方程式、④状態方程式と気体の分子量、⑤混合気体と分圧の法則、および⑥実在気体の性質である。実在気体に関しては既に「状態変化」に関連させて液体窒素や液体酸素の観察およびドライアイスの液化の観察を行っている。

「気体」を貫くのは「粒子概念」である。「粒子概念」は今後、分子運動論へと拡張され分子運動を物理学的に説明するための基礎となる概念である。できるだけ多くの探究活動を取り入れて、「粒子概念」を定着させることを目標として単元を構成した。パフォーマンス課題「ボイルの法則」は、来年度の第2学年の生徒が同じ内容を学ぶときに、気体の圧力と体積の関係をわかりやすく伝えるためのリーフレットを作成することを目標として設定した。パフォーマンス課題に取り組んで、気体の大気と圧力の関係を「探す」ためには、①力や圧力の定義、②力のつり合い、③大気圧等に関して「学ぶ」必要がある。これらの基礎的な概念を基に実験結果を評価することができれば、大気圧と実験結果との関係を求めることができる。大気圧が再認識できれば、「探す」ことを通して「学ぶ」ことへフィードバックできたことになる。パフォーマンス課題に取り組む活動を通してメタ認知的活動を体感させたい。

パフォーマンス評価は、ルーブリックに基づき、自己評価、生徒同士の評価、授業者の評価を行い三者を比較検討する。

題目 パフォーマンス課題「ボイルの法則」

本時の目標

1. 班ごとの計画に基づいて実験を行い、気体の圧力と体積の関係を求めることができる。
2. 実験結果から大気圧の影響(大きさ)について考察し、考察した内容を表現することができる。

本時の評価規準（観点／方法）

1. 実験計画に基づいて測定を行うことができる。（観察・実験の技能／ワークシートの記述）
2. 実験結果を適切に処理し、大気圧の影響（大きさ）を求めることができる。（思考・判断・表現／ワークシートの記述）

本時の学習指導過程

学習内容	学習活動	指導上の留意点
課題の確認	パフォーマンス課題「ボイルの法則」の確認 ○本とピストンにかかる重力 F と、シリンダー内の気体の体積 V との関係を求めてみよう。	前時で本とピストンにかかる重力 F と、シリンダー内の気体の体積 V との関係を予想させ、実験計画を立案させる。
予想・実験計画の共有	○期待される予想 1. F と V は反比例の関係になる。 2. $F + F_a$ と V は反比例の関係になる（大気圧による力を F_a とする）。	ホワイトボードの利用 全体で各班の予想の共有 役割分担の確認
実験	○期待される結果・工夫 1. 装置の固定方法 2. 本の載せ方 3. ピストンの滑り具合	安全めがねの装着指示 実験計画に基づいて測定を行うことができる。【観察・実験の技能】
結果 結果の共有	○結果の例 1. F と V は反比例の関係にない。さらに、どのような関係なのかわからない。 2. $F + F_a$ と V は反比例の関係にある。	ピストン底面の面積から 1cm^2 にかかる力を求めることができる。 【思考・判断・表現】
問題提起	「どのようにしたら、大気圧の影響（大きさ）を見積もることができるか。」	大気圧によりピストン 1cm^2 にはどれくらいの力がかかっているのか判断できる。【思考・判断・表現】
考察	実験結果から大気圧の影響（大きさ）を評価してみよう。	班ごとに行う。
期待される評価 ボイルの法則より $(P + P_a)V = k \quad P + P_a = \frac{k}{V} \quad \frac{1}{V} = \frac{1}{k}P + \frac{P_a}{k}$ $\frac{1}{k} = k' \quad \text{とすれば} \quad \frac{1}{V} = k'P + k'P_a$ よって、直線の傾きは k' を示し、 y 切片は $k'P_a$ を表す。		
評価結果の共有	各班で行った再評価の結果を発表	ホワイトボードの利用
終結	実験の概要をリーフレットにまとめる活動を行うことを予告	ループリックの確認
備考	教科書：高等学校化学（第一学習社），協調学習テキスト「7 状態変化・気体」 準備物：大型注射筒，スタンド，アーム，ゴム栓，本	

【実験1】ボイルの法則

目的 ピストンと本により生じる圧力 (P) と注射筒内の空気の体積 (V) の関係を調べる。

準備 器具：大型注射筒，ゴム栓，本4冊，スタンド，アーム，ノギス

原理 圧力は単位面積当たりにかかる力であるから，注射筒のピストンと本にかかる重力をピストンの底面積で割った値は，ピストンと本により生じる圧力 P [N/cm^2] を示している。測定値を適切に処理すれば， P [N/cm^2] と V [cm^3] との関係を示す方程式を導くことができる。

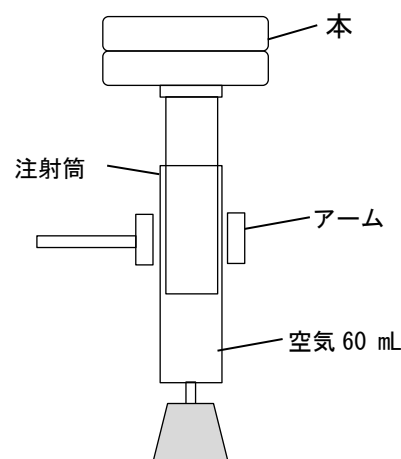
注意事項

- 1 大型注射筒はピストンに力を加えすぎると破損するため注意して扱うこと。
- 2 安全めがねを着用すること。

方法

- 1 あらかじめ4冊の本の質量をはかる。
- 2 注射筒の内側に，流動パラフィンを少量塗る。
- 3 ピストンの質量と直径を測定する。ピストンの直径はノギスで計測する（3回計測して平均値を求める）。測定した直径を基に，ピストンの底面積を求める。
- 4 注射筒に約60 mLの空気を入れ，注射筒の先にゴム栓を取り付け，空気が漏れないことを確かめる。
- 5 スタンドに注射筒を固定する。固定の方法は各班で工夫すること。
- 6 本を載せる前の注射筒内の空気の体積を測定する。このとき，空気にはピストンにより生じる圧力が加わっている。体積は最小目盛の1/10まで読むこと。本の載せ方は各班で工夫すること。
- 7 注射筒のピストンの上に本を1冊ずつ載せていき，ピストンと本にかかる重力と注射筒内の空気の体積の関係を記録する。
- 8 ピストンと本の質量の累計から，ピストンと本にかかる重力，さらに，ピストンと本により生じる圧力を求める。例えば，ピストンの質量が130 gで，本の質量が800 gであるとき，ピストンにかかる重力は $0.130 \text{ kg} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} = 1.27 \text{ N}$ である。本にかかる重力は $0.800 \text{ kg} \times 9.81 \text{ ms}^{-2} = 7.85 \text{ N}$ である。ピストンの底面積が 9.30 cm^2 のとき，ピストンと本により生じる圧力は，
$$P = (1.27 \text{ N} + 7.85 \text{ N}) / 9.30 \text{ cm}^2 = 0.981 \text{ N}/\text{cm}^2$$
 である。

予想 ピストンと本により生じる圧力 (P [N/cm^2]) と注射筒内の体積 (V [cm^3]) との関係はどのようになるか。



工夫 方法5と6に関して各班で工夫した点は何か。また，そのほかにも工夫した点があれば書きなさい。

結果 ピストンの直径

1 cm	2 cm	3 cm	平均値 cm
---------	---------	---------	-----------

ピストンの質量 g	ピストンの底面積 cm ²
--------------	-----------------------------

冊数	ピストンと本の質量(1冊毎) [kg]	ピストンと本の質量の累計 [kg]	ピストンと本にかかる重力 [N]	ピストンと本により生じる圧力 P [N/cm ²]	注射筒内の空気の体積 V [cm ³]
0	※				
1					
2					
3					
4					
5					

※ 冊数 0 のときは、ピストンの質量を記入する。

結論 注射筒のピストンと本により生じる圧力 P [N/cm²] と注射筒内の空気の体積 V [cm³] との関係はどのような方程式で表すことができるか。

ピストンと本による圧力を P 大気圧による力を P_a とすると、ボイルの法則より

$$(P + P_a)V = k \quad P + P_a = \frac{k}{V} \quad \frac{1}{V} = \frac{1}{k}P + \frac{P_a}{k} \quad \text{ここで, } \frac{1}{k} = k' \quad \text{とすれば } \frac{1}{V} = k'P + k'P_a$$

よって、 x 軸を P 、 y 軸を $\frac{1}{V}$ とした直線の傾きは k' を示し、 y 切片は $k'P_a$ を表す。

これらのことから、 P [N/cm²] と V [cm³] との関係を示す方程式を導け。

考察 実験で求められた大気圧と実際の大気圧との大小関係を説明せよ。

年 組 番 名前	班番号
実験日時 年 月 日 曜日 限	気温 °C 気圧 hPa
共同研究者	

パフォーマンス課題について

1 パフォーマンス課題とは

知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるような課題のことをパフォーマンス課題といいます。生徒の皆さんの作品をもとに、思考力・判断力・表現力を評価することが目的です。

2 今回のパフォーマンス課題

今回のパフォーマンス課題は「ピストンと本により生じる圧力と注射筒内の空気の体積の関係を調べよう」です。協調学習テキスト「7 状態変化・気体」の pp.10～11 に沿って関係を調べてください。方法の5と6に、各班で工夫するところがありますから、予備実験を行ってみて、各班で工夫した点を記録してください。そのほかにも工夫した点や気づきがあれば記録してください。

実験結果を基に、注射筒のピストンと本により生じる圧力 P [N/cm²]と注射筒内の空気の体積 V [cm³]との関係を求めます。反比例の関係にある？ 数値同士の関係を求めるためにはどのような工夫が必要でしょうか。

その後、今回行った実験について、実験の原理や内容、実験のコツ、工夫すべき内容等をまとめたリーフレット（A4 サイズ）を作成してください。そのリーフレットを評価の対象とします。以下にルーブリック（評価基準）を示します。

ルーブリック

評価	評価の観点
5 すばらしい	独創性がある作品である。（何を独創的だと評価したのか具体的に書いてください。）
4 良い	①実験方法に班で工夫した点や、実際に実験をしてみて分かった情報が書き加えられている。 ②原理の説明や、結論を導く際に、a～c の知識や方法のすべてが適切に用いられている。
3 普通	①実験方法が図を用いて示されている。 ②原理の説明や、結論を導く際に、次の知識や方法のうち、2つ以上が適切に用いられている。 a ボイルの法則, b 大気圧, c 数値の処理の方法
2 あと一歩	実験方法に班での工夫が記されていない。 a～c の知識や考え方が適切に用いられていない。
1 努力が必要	2に達しない。

パフォーマンス評価

自己評価を行った後、グループでお互いの作品を相互に評価します。評価は新しいルーブリックに基づいて5点満点で行ってください。5点の作品には、独創的だと判断した理由を書いてください。

- 1 まず自分の作品をルーブリックにしたがって5点満点で評価してください。自分自身の作品に対するコメントも書いてください。
- 2 グループで、ほかのメンバーの作品を同様に評価してください。

評価する作品の制作者	評価（5段階）	5点の理由，元気の出るコメント等
自分の名前		

実践上の留意点

1 パフォーマンス課題について

パフォーマンス課題とは、リアルな文脈において、知識や技能を総合して使いこなすことを求めるような課題である¹⁾。パフォーマンス課題は単元で学ばせるべき中核部分を「本質的な問い」（単元の中核を成す問い）に転換し、「本質的な問い」に対する「永続的な理解」（個々の知識や技能が関連付けられ総合された理解）を基にして作成される。

単元「状態変化・気体の性質」の内容構成を表1に示した。今年度はパフォーマンス課題として「ピストンと本による生じる圧力と注射筒内の空気の体積の関係」を設定し、生徒には実験の原理や内容、実験で工夫すべきことなどをまとめたリーフレットの作成を求めた。実験方法を示したワークシート等は資料を参照されたい。

パフォーマンス課題に込めた本質的な問いは、「空気の体積と圧力の間関係を調べるためには、どのような実験を行い、得られたデータをどのように処理すればよいか。」である。また、永続的な理解は「気体の体積は圧力に反比例するため、体積の逆数と圧力は比例の関係にある。私たちには常に1cm²あたり10Nの大気圧がかかっている。」である。

表1 単元構成

時間	内 容	探究活動
1	気体の圧力	
2	状態図	二酸化炭素の液化を観察しよう
3	ボイルの法則 (1)	気体の圧力と体積の間関係を調べよう (パフォーマンス課題)
4	ボイルの法則 (2)	データ処理, リーフレットの作成
5	ボイルの法則 (3)	リーフレットの作成, 自己評価, グループでの評価
6	シャルルの法則	絶対零度を測定しよう
7	気体の状態方程式と分子量	揮発性物質の分子量を求めよう
8	混合気体 (1)	
9	混合気体 (2)	ペンタンの蒸気圧を測定しよう
10	理想気体と実在気体	

2. リーフレットについて

リーフレットは学習者の自己評価の後に、授業者の評価を行った。評価に用いたルーブリックを表2に示した。「知識・理解」はボイルの法則に関する記述内容から判断できる。「思考・判断・表現」は大気圧に関する記述内容から判断できる。さらに「観察・実験の技能」は各グループで工夫した点に関する記述内容から判断することができる。学習者の自己評価の後、評価3と評価4のアンカー作品（各評価の基準となる典型的な作品）を選び、授業者による評価を行った。評価と作品数を表3に示した。

92%の作品が授業者の評価3以上であり、自己評価と授業者による評価の差が2点以上の作品は2作品であることから、各作品は概ね標準以上のレベルであり、自己評価と授業者の評価には、大きな開きはない。自己評価と授業者の評価の開きなが2（自己評価5、授業者の評価3）の作品については、学習者の実験内容に対する大きな事実の誤認があり、事後指導が必要であった。

表2 ルーブリック

評価	評価の観点
5 すばらしい	独創性がある作品である。(何を独創的だと評価したのか具体的に書いてください。)
4 良い	①実験方法にグループで工夫した点や、実際に実験をしてみ分かった情報が書き加えられている。 ②原理の説明や、結論を導く際に、a～cの知識や方法のすべてが適切に用いられている。
3 普通	①実験方法が図を用いて示されている。 ②原理の説明や、結論を導く際に、次の知識や方法のうち、2つ以上が適切に用いられている。 a ボイルの法則, b 大気圧, c 数値の処理の方法

2 あと一歩	実験方法にグループで工夫した点が記されていない。 a～cの知識や考え方が適切に用いられていない。
1 努力が必要	2に達しない。

表3 学習者の自己評価と授業者の評価と人数

評価		授業者の評価				
		5	4	3	2	1
自己評価	5	8	6	2	0	0
	4	1	8	2	0	0
	3	0	1	7	1	0
	2	0	0	0	2	0
	1	0	0	0	0	0

3. 今後の課題

学習者が同じグループの学習者を評価する際のコメント欄では「記号を適切に用いて表現している」、「説明の図の吹き出しの使い方が適切である」、「実験誤差について考察されている」等の具体的な記述もあったが、「図がすばらしい」、「簡潔でわかりやすい」などの抽象的な表現も見られた。ルーブリックを改良して、例えば「数値処理の方法」が適切に用いられているとはどういうことなのかを、具体的に示す必要があると思われる。また、現在パフォーマンス課題に取り組ませる機会は年に1度程度である。単元内容を見直し、学期に1回程度パフォーマンス課題に取り組む機会を設けて、科学的に探究しようとする態度を養う機会を増やすことを計画している。

4. アンカー作品

○評価5

ピストンと本により生じる圧力と注射筒内の空気の体積の関係を調べよう

実験方法

- ① あらかじめ4冊の本の質量を測る。
- ② 注射筒の内側に流動ピストンと少量の水を注入し、注射筒を安定させる。
- ③ ピストンの質量と直径を測定する。ピストンの直径は1/3で計測する。(3回計測し平均値を求める) 測定した直径を基にピストンの底面積を求める。
- ④ 注射筒に約60mlの空気を入れ、注射筒の先にピストンを押し付け、空気が漏れないように確認する。
- ⑤ スタッドに注射筒の上部Pを本と垂直に固定する。本を動かしてピストンの真上に静かにのせる。(写真参照)
- ⑥ 本を載せる前に注射筒内の空気の体積を測定する。このとき空気にはピストンにより生じる圧力が加わっている。体積は最小目盛りの%まで読み取る。
- ⑦ 注射筒のピストンの上に本を1冊ずつのせて、ピストン本にかかる重力と注射筒内の空気の体積の関係を記録する。
- ⑧ ピストンと本の質量の算出から、ピストン本にかかる重力、さらにピストン本により生じる圧力を求める。

原理 ボイルの法則 (1661年) 理想気体は $P \propto \frac{1}{V}$ (定数) T 一定ならば $P \propto \frac{1}{V}$ (定数) T 一定ならば $P \propto \frac{1}{V}$ (定数) T 一定ならば $P \propto \frac{1}{V}$ (定数)

体積と圧力は反比例する。
⇒ 今回の実験条件についてピストンと本による圧力を P_1 、大気圧による圧力を P_a とする。 P (絶対圧)
 $(P + P_a)V = k$ $P + P_a = \frac{k}{V}$ $\frac{1}{V} = \frac{1}{P} + \frac{P_a}{k}$
 $\frac{1}{V}$ と $\frac{1}{P}$ との関係は $\frac{1}{V} = \frac{1}{P} + \frac{P_a}{k}$ となる。
Y軸とPの直線関係は $\frac{1}{V}$ と $\frac{1}{P}$ との関係は $\frac{1}{V} = \frac{1}{P} + \frac{P_a}{k}$ となる。

今回の実験の結果

冊数	ピストン本にかかる重力[N]	注射筒内の空気の体積 V [cm ³]	$\frac{1}{V}$ [1/cm ³]
0	0.114063	60.0	0.0166665
1	0.92992	56.8	0.0176055
2	1.82837	53.0	0.0188697
3	2.60290	50.0	0.02
4	3.44626	46.0	0.021739

ピストンの直径の平均値 3.457cm, ピストンの質量 134.5g, ピストンの底面積 9.3814cm²
 (ピストンにかかる重力) = (ピストンの質量) × 9.81ms⁻² = 1.3194(N)
 (本にかかる重力) = (本の質量) × 9.81ms⁻² = P (N) (ピストン本による圧力Pは、
 $P = (1.319407 + P_{本}) / 9.38141$ (cm²) (定数) は求める(教科書の処理方法)
 結論 P と $\frac{1}{V}$ は一次関数の直線になる。 $Y = 0.00151384x + 0.01626656$ (定数) $(R^2 = 0.9899003)$
 $Y = 0.00151384x + 0.01626656$ (定数) $(R^2 = 0.9899003)$
 考察 実験条件が理想気体と仮定した。誤差の原因は空気がピストンから逃げ体積が小さくなる。また、本を載せたときの体積は最小目盛りの%まで読み取る。無視しているため、実際に現実の気体で使うと応用できる部ではない。実験回数が増えれば、精密な実験を通じ実際に即した式に $P = \frac{k}{V} + P_a$ と整理することができる。

「評価4」の基準を満たしている。結論に対し、具体的に考察している。また、レイアウトも工夫している。この2点を独自のと評価し「評価5」とした。

○評価4

ピストンと本に押しこむ圧力と、注射筒内の空気の体積の関係を調べる

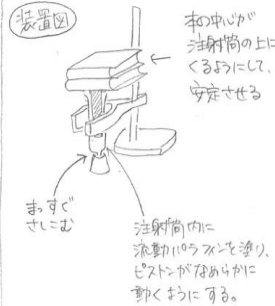
原理

ピストンと本に押しこむ圧力 P [N/cm²] を変化させ、注射筒内の空気の体積 V [cm³] を測定し、測定値を適切に処理すれば P [N/cm²] と V [cm³] との関係式を示す方程式を導ける

手順

1. 注射筒のピストンの質量、本4冊のそれぞれ別の質量をはかる。
* ガスを閉じてピストンの直径を測る
2. 注射筒内に流動パラフィンを少量を塗る
3. 注射筒に約60mLの空気を注入し、注射筒の先にゴム柱をとりつける
* ゴム柱の穴に対して注射筒の先をおさぐさ差す
* 空気もれがないか確認する
4. スタンドに、注射筒がずれないように固定する。
5. 本を載せる前の注射筒内の空気を測定する。
* 体積は最小目盛りの1/10まで読む

6. 注射筒のピストンの上に本を一冊ずつ載せていき、ピストンと本にかかる重さと注射筒内の空気の体積 V の関係を記録する
7. 計測値からピストンと本に押しこむ圧力 P を求める



結果 ピストンの直径 = 34.47 mm ピストンの断面積 9.33 cm²
ピストンの質量 = 0.1331 kg

考案

ピストンと本に押しこむ圧力 P 、大気圧を P_a とすると、ボイルの法則より
 $(P+P_a)V = k$ $P+P_a = \frac{k}{V}$ $\frac{1}{V} = \frac{1}{k}P + \frac{1}{k}P_a$
 $\therefore \frac{1}{V}$ と P とすると $\frac{1}{V} = \frac{1}{k}P + \frac{1}{k}P_a$
 $\therefore P$ を x 軸、測定した V の逆数 $\frac{1}{V}$ を y 軸にとると
 求まる直線の傾きは k' 、 y 切片は $\frac{1}{k}P_a$
 ↓
 これらから、 P [N/cm²] と V [cm³] との関係及び大気圧 P_a を求めることができる

結論

考案及び測定した P, V の値を用いると、
 $\frac{1}{V} = 0.00181P + 0.0167$ が導かれた。
 また、このことから大気圧 P_a は
 $P_a = \frac{0.01665}{0.001812} = 9.1887 \dots$
 $P_a \approx 9.19$ [N/cm²]
 $P_a = 91.9$ [hPa]

考察

実験した時の大気圧は 1027 [hPa] であり、結論で求めた値とは大きく異なる。これは注射筒とピストンの間の隙隙が原因であると考えられる。

「評価4」の基準を満たしている。結論に対し、具体的に考察している。しかし、実際の測定値が示されていない。これはルーブリックの評価の観点の問題であるとも考えられるが、「評価4」とした。

圧力と体積の関係を調べよう!

手順

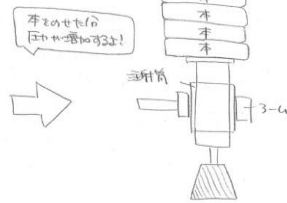
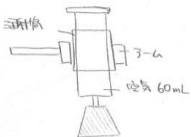
1. あらかじめ4冊の本の質量をはかる。
2. 注射筒の内側に流動パラフィンを塗る。
3. ピストンの質量を直接測る。
* 直径はノギスで3回測り、平均値を求める
4. 注射筒に約60mLの空気を注入し、注射筒の先にゴム柱を取り付け、空気もれがないことを確認する
5. スタンドに注射筒を固定する
* 針先が針筒から外れないように固定する
6. 本を載せる前の注射筒内の空気の体積を測る
7. 注射筒のピストンの上に本1冊ずつ載せていき、ピストンと本にかかる重さと注射筒内の空気の体積の関係を記録する
* 本の重心のピストンと本に押しこむ圧力と一致するように載せる
8. ピストンと本に押しこむ圧力を求める。

原理

ボイルの法則
 「温度一定のとき、一定量の気体の体積は圧力と反比例する」
 ピストンと本に押しこむ圧力 P 、大気圧 P_a とすると
 $(P+P_a)V = k$

結果

冊数	$P+P_a$ [hPa]	V [cm ³]	$1/V$
0	10.33	60.0	1.67×10^{-2}
1	11.14	54.0	1.85×10^{-2}
2	11.88	50.0	2.00×10^{-2}
3	12.59	46.0	2.17×10^{-2}
4	13.31	43.4	2.30×10^{-2}



$P+P_a$ と $1/V$ の関係
 Excel で計算した結果
 $x = P+P_a$, $y = 1/V$ とすると
 $y = 0.00217184x + 0.01632856$
 $R^2 = 0.99715067$
 $\therefore P+P_a$ と $1/V$ は比例関係。
 $P+P_a$ と V は反比例の関係。
 $\therefore P$ と V は圧力と体積は反比例の関係にある。
 また、この式から大気圧 P_a を求めると
 $P_a = 76.1$ と計算された。

「評価4」の観点をすべて満たしている。このグループでは本による圧力と実験時の大気圧の和と

