

蒸気圧を実感する実験群の開発と普及

立命館慶祥高等学校
杉山 剛英

1 はじめに

気体の法則に関わる分野は、多くの生徒が苦手とするところである。その例として、蒸気圧曲線が右肩上がりなのに、シャルルの法則では傾きが一定であったり、液体が共存する場合の気体圧力と、気体だけの場合の圧力の考え方の違いがつかめないことがあげられる。本実験は、蒸気圧の存在や大気圧との関係をはっきり見て解るものとして生徒に体験させられる実験であり、模試や入試問題でも得点率の向上が期待できるものである。

2. 実験内容

(1) 見て解る水蒸気存在

実験器具 ガラス瓶、シリカゲル、ラップ
(写真1)

水の蒸発は最も身近な蒸気圧の教材である。25℃の大気には、最大で32hPaの水蒸気が存在できる。生徒に、1気圧の元で体積としては何%に相当するかと質問し（大抵すぐには答えが出てこない）、アボガドロの法則、分圧の法則から気体の分子数と圧力、体積は比例することを再誘導し、約3%という答えを引き出す。実験としては、ガラス瓶にシリカゲルを50mL程入れ、サランラップでしっかり封をし（両手で押さえ続ける）、3回振るとラップが凹んでいるのが観察される。生徒のレベルに応じて、道具だけ渡して実験方法を考えさせるのも効果的である。

ラップの凹みは少ないが、斜めから見ると解る（写真2）。



写真1 シリカゲルを入れたガラス瓶

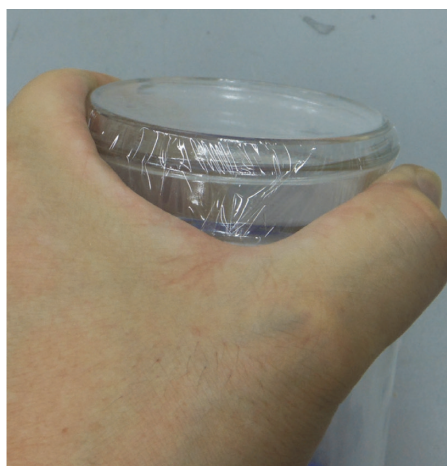


写真2 わずかに凹んだラップ

(2) 圧力と体積変化でブタンを凝縮・蒸発

実験器具 50mL ディスポーサブル注射器
ゴム栓

ブタンガスを50mL ディスポーサブル

注射器にいれ、5気圧以上の力を加えると液化する（写真3）。液体化できたところで、ゆっくりピストンを戻すようにすると液体が減っていく。よくある演習問題を再現でき、液体共存時は蒸気圧一定ということもある程度体感できる。

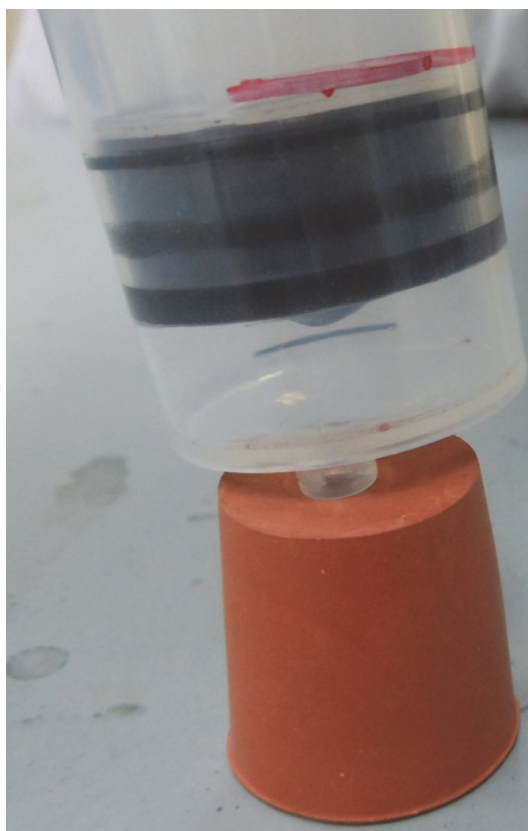


写真3 壁面に液化したブタン

(3) 外気圧を変化させて蒸気の発生を見る

実験器具 大気圧実験器（ケニス）

5 mL ガラス注射器

ケニスの大気圧実験器に、付属のシリコンゴム栓をして1mL 程のジエチルエーテルを入れた注射器を置く。ジエチルエーテルは、25℃で700hPa の蒸気圧があるが、大気圧に負けているため注射器のピストン

には変化は見られない。

実験器に気圧計（写真4）を入れ、減圧していく。700hPa 程で突然気体が発生し、ピストンが伸びるのがわかる。教科書にあるグラフの意味がしっかりつかめる。予め、予想させるのも効果的である（写真5～9）。



写真4 付属の600hPaまで計れる気圧計

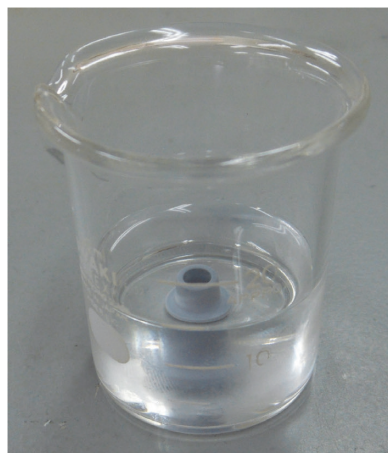


写真5 エーテルにシリコンゴム栓を沈める

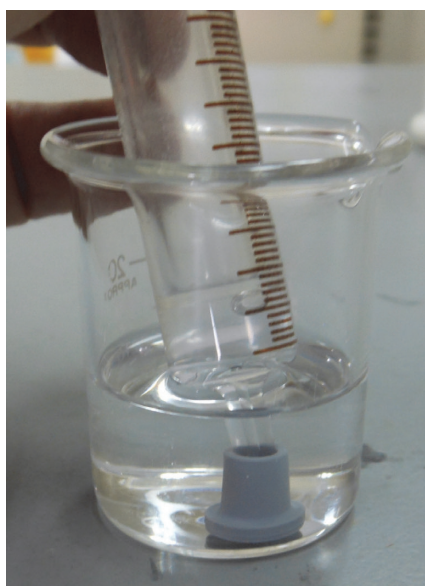


写真6 注射器内の空気を出来るだけ追い出して1mL程のエーテルを吸い込む



写真7 エーテルを入れた注射器

ピストンが飛び出した後、容器に空気を入れるとピストンはすぐに戻る。再び、減圧すれば同様の変化が繰り返し見られ、より深い理解が得られる。

(4) ジエチルエーテルの沸騰と大気圧の関係

実験器具 40cm試験管（直径18mm，800円）
水槽、スタンド、ビーカー、駒込ピペット



写真8 注射器、気圧計を入れ減圧する

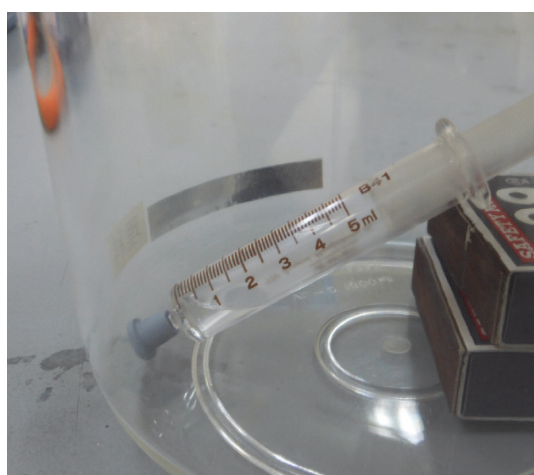


写真9 700hPaになると突然沸騰し、射器のピストンが飛び出す

(3)の実験は外圧を変化させて、蒸気圧を観察したが、ここでは温度を変化させて蒸気圧が大気圧と同じになった瞬間の変化を観察する。

対角が45cm程の角型水槽に水を入れ、40cm試験管に水を満たして倒立固定する。駒込ピペットで2mL程のジエチルエーテルを試験管の口からゆっくり入れる。水にあ

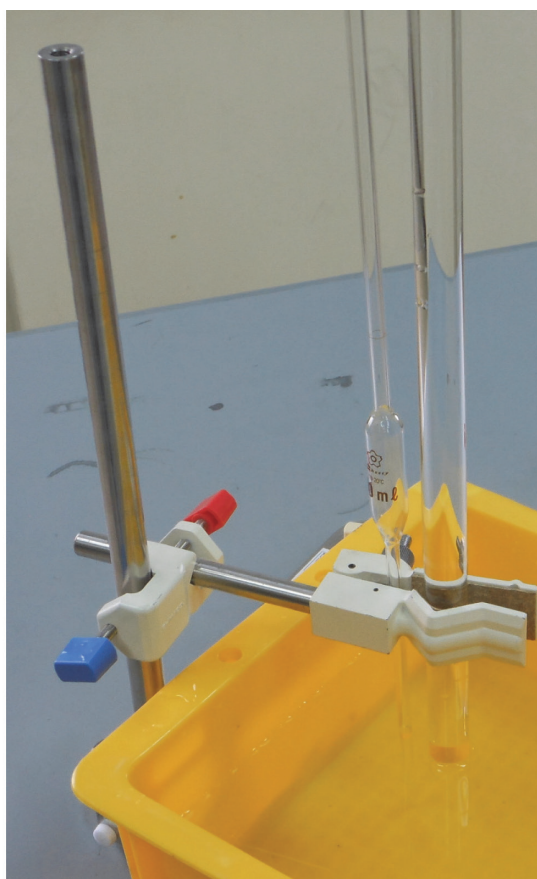


写真10 40cm試験管と水槽

まり溶けず、軽いため試験管上部にたまる。
(教員が用意しておいても良い)

そこに、水道水、30℃、40℃の水を順に
かける。生徒にはあらかじめどうなるか予
想させる。

沸点が34℃なので、それ以上の温度にし
ないと大気圧には勝てない。水道水、30℃
水では変化はないが、40℃水をかけると一
気に気体が発生し、試験管内の水面が急激
に下がる。また、水かけると蒸気圧は大気
圧を下回るため、水面は一気に上昇する。
この変化は劇的で生徒は大いに感動する。
40cm 試験管を使うと変動が大きく観察で
きる所以で感動が増す。通常の試験管でも
できるが、すぐに試験管の下端に到達する
ため、初見の生徒は水をかけるタイミン
グを逸してしまうことが多い。ただし、水
槽の水で冷却されるため、エーテルが漏
れ出すことはない。何度も繰り返せるの
で、沸騰のしくみを大気圧と連動して会
得することが出来る。また、よく観察す
ると、冷却して水面が上がるときに凝縮
熱が発生し、エーテル層が沸騰している
様子も観察できる (写真10～13)。

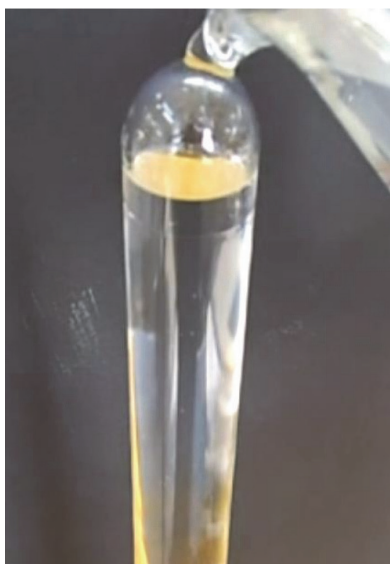


写真11 40℃の湯をかけると液面がぐ
んぐん下がる



写真12 沸騰が観察できる



写真13 水をかけると一気に液面上昇

(5) ジエチルエーテルの蒸気圧と大気の方圧の関係

実験器具 100mL メスシリンダー 2本
スタンド、ホース付き注射器
水槽、駒込ピペット

100mL メスシリンダーを水で満たし、倒立固定する。2本用意し、左をA、右をBとする。

メスシリンダーAにホース付き注射器から空気を20mL 入れる。当然、20mL の空気が入ったままになる。メスシリンダーBに3 mL 程のジエチルエーテルを駒込ピペットで注入する。(教員がやっていても良い)

Bにホース付き注射器で20mL の空気を入れるとどうなるかを生徒に予想させる。しかし、この時点で正解に達する生徒はほとんどいない。空気を入れると、25℃の場合、ジエチルエーテルの蒸気圧が0.70atm なので、空気は0.30atm の分圧であればよい。つまり体積は $20 \times 3.33 = 66.6 \div 67\text{mL}$

となる。実際は気温のわずかな差でも蒸気圧の変動が大きいため、ぴったり計算通りとはならないが、概ね良い値を示す。

実際に行うと、注射器から空気を5 mL しか入れていない段階でメスシリンダー内の気体は17mL 程になり、生徒は大変驚く。こうなる理由を尋ねても、なかなか正解は得られないが、シリンダー内のエーテルの方圧と空気の方圧を考えさせると正解に達する生徒が出始める。さらに質問として、空気とジエチルエーテルの体積は何 mL かと聞くと良い。47mL と67mL という答えがよくあるが、ここで混合気体の体積と圧力を考えさせると良い。空気は0.30atm で67mL, エーテルは0.70atm で67mL である。

また、Aのメスシリンダーに2滴ほどのエーテルを入れたらどうなるか。また、3 mL 程入れたらどうなるかを考えさせ、実際にやってみるとよい。2滴ほどでは気液平衡とならず、すべて蒸発しわずかな増加しか観察できない。3 mL 程入れると気液平衡になるので、時間はかかるが、Bのメスシリンダーと同様に67mL まで水面は下がっていく。

ここで、Bのメスシリンダーは一気に気体体積が67mL になっていくが、Aは30分ほどかかる。この理由は、Aは空気が連続して注入されエーテル蒸気と混ざり合いながらシリンダー内にただちに拡散されるが、Aは界面でゆっくり蒸発し、拡散してシリンダー内に行き渡る時間が必要なためと考えられる(写真14～16)。

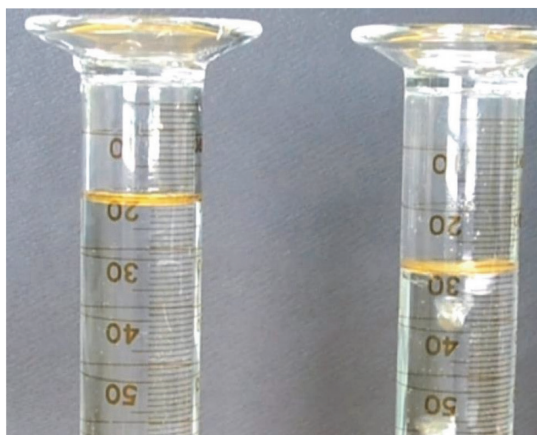


写真14 Bに空気を9mL入れたところ



写真15 Bに空気を20mL入れたところ

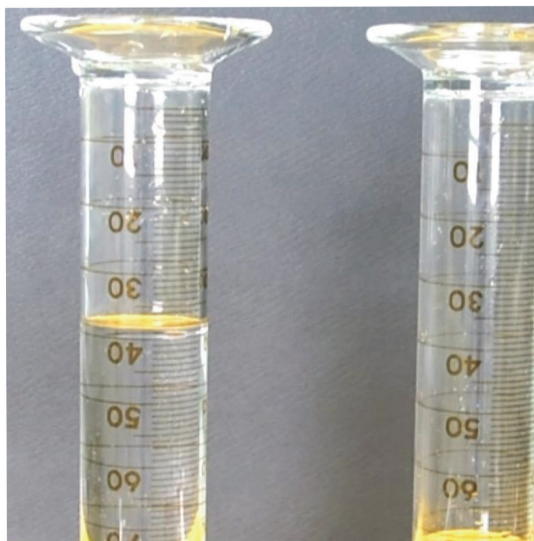


写真16 Aに3mLのエーテルを入れて10分たったところ

7月記述模試では、平均偏差値70を取っており、実験による実物学習が受験学力も伸ばしていると考えている。本物の力は、本物によってしか育まれないことを銘記して日々の授業に当たっている。

3. まとめ

平衡、気体の分野はイメージがつかみ難く、グラフ問題は特に生徒が苦手としている分野である。しかし、逆に言えばここを制覇すれば、差をつける得点源となる領域である。苦手こそ、避けずに克服する姿勢が合格を呼び込む。手軽な器具を使った実験で、生徒の思考を助けることができる教材である。

本校特進クラスでの理系化学は、3年間で30回の実験を行っている。高校3年生の

【参考文献】

1. 後飯塚由香里「蒸気圧を見せる」(平成24年度全国理科教育大会<北海道>研究発布翁論文集) p 150
2. 沖杉誠一「断熱圧縮」(左巻建男・滝川洋二編著「たのしくわかる物理実験事典」・東京書籍) 1998 p 256



杉山 剛英先生
(すぎやま よしひで)

<略歴>

1959年 北海道生まれ
 1982年 静岡大学理学部化学科無機分析専攻卒業
 同 北海道鵲川高等学校 教諭
 1988年 札幌篠路高等学校 教諭
 1996年 札幌星園高等学校 教諭
 2000～2002年 北海道教育大学札幌校非常勤講師 兼務
 2001年 札幌旭丘高等学校 教諭
 2012年 立命館慶祥高等学校 マイスター教諭 現在に至る

<受賞歴>

1984年 パソコンソフトコンテスト特別賞 (内田洋行)
 1997年 全国教職員発明考案入選 (内田洋行)
 2000年 「HB 彗星軌道図作成実習」で東レ理科教育賞 本賞
 同 「音源定位実験」で東レ理科教育賞 本賞
 2006年 化学教育有功賞 (日本化学会)
 2013年 科学教育貢献表彰 (北海道科学文化協会)

<著書>

2000年 「どきどき化学なるほど実験」 (単著・裳華房)
 2002年 「おもしろ実験・ものづくり辞典」 (共著・東京書籍)
 2003年 「ニューサポート新編化学Ⅰ」 (共著・東京書籍)
 2006年 「わかる!なるほど理科実験」 (編著・裳華房)
 2010年 「化学反応式・スーパー暗記法」 (共著、受験研究社)
 2011年 「高校入試五科の総まとめ」 (共著、受験研究社)
 同 「トレーニングノート化学Ⅰ」 (共著、受験研究社)

<研究歴> (抜粋)

1984年 パソコンによる火星の逆行順行 (日本理化学協会全国大会)
 1988年 ファンタビジョンを用いた酵素・触媒反応の視覚化 (北理研全道大会)
 1994年 修学旅行で慣性力実習 (日本理化学協会全国大会)
 1996年 過冷却食塩水の結晶化 (北理研全道大会)
 2000年 注射器で気体の性質を知る (北理研全道大会)
 2003年 衛星の運動の教材化 (日本理化学協会全国大会)
 2007年 ミジンコ抽出液でヒドラの捕食行動を観察する (北理研全道大会)
 2008年 中和で作る瞬間セッケン (北理研全道大会)
 2010年 サハラ砂漠の砂の鉄分 (北理研全道大会)

2015年 実験力で得点力を養う授業
(高教研全道大会)

2017年 見て解る蒸気圧実験
(北理研全道大会)

2003年～2006年

教育情報共有化促進モデル事業
(文部科学省委託事業) 北海道地
区実行委員会代表
研究主題：実験ダイジェストビデ
オの普及

H P 「杉山剛英の科学実践」開設
<http://barkhorn.web.fc2.com/>

<勤務校>

立命館慶祥高等学校

〒069-0832 北海道江別市西野幌640-1

電話 011-381-8888