

大気圧学習の教材研究

木村 功

はじめに

現在の大学4年生は、順当に進級・進学してきたならば、2003年度中学入学、2008年度高校卒業に当たる学生である。これは旧指導要領の中学での実施開始年度が2002年、高校が2003年であるから、中学・高校の理科を旧指導要領（教科書）で学んできた学生である。大気圧を中学生にどう教えるか、どんな実験を計画したらよいかと言う問題と同時に理科教育法の受講生自身の大気圧の学習をかねた実験をおこなうことになる。

大気圧学習の課題を以下のように押さえた。

- ① 大気圧の性質、大きさについて理解すること。
 - a 大気圧はあらゆる方向からはたらくこと
 - b 大気圧の大きさを知り、数量化する。
- ② 大気圧は大気の重さによって起こること。
- ③ 大気圧に関わる具体的な現象を取り上げ、科学的に説明できるようにする。
大気圧と人間生活との関係を理解する。

実験教材は見えないものを見えるようにすることであると考えている。その対象は気体のように視覚・聴覚・味覚で捕えにくい物質であったり、性質・法則・概念のように、具体物として存在しているわけではない事柄、それらを目に見えるような形にすることであるし、そのような実験・観察を作り出すことが、目標設定と

ならぶ教材研究の重要な側面であると考えられる。

(1) 実践した実験と生徒・学生の理解上の問題点

- a 吸盤：自作吸盤：ゴム版（150 x 150 x 3 mm）の中央に取っ手を付けたもの。生徒用の机を吸盤で持ち上げることができる。
- b 新聞紙と割り箸：机の端に箸を1/3程机からはみ出して置き、新聞紙をぴったりのせ、箸のはみ出した部分を強くたたくと折れる。
- c 逆さコップ：コップに水を入れ丈夫な紙で蓋をしてひっくり返しても水は落ちない。
- d 水柱実験：大気圧は何mの水の柱を支えられるか（後述）
- e 空き缶つぶし（後述）
- f マグデブルグ半球：自作
- g 減圧容器内の風船の体積の変化、沸点の降下
- h 太目の試験管に水を1/2程度入れ、その中にわずか細めの試験管を入れ逆さにすると中の試験管はゆっくりと上がっていく。
実験についての学生の相互説明のなかで理解不十分な点がいくつか明らかになった。水を入れたコップに固めの紙で蓋をして逆さにしても水が落ちないのは大気圧が下からもはたらいているためであるということは理解できるが、吸盤が落ちないのは、ストローの水が上がるのはなぜかの問いに迷う。大気の圧力による言わず、吸う力、吸いつく力と表現する生徒は少なくな

い。

「物体と物体が接して及ぼしあう力は押し力しかない」ということが理解されていないか、知っていても知識を使えないのではないかと思われる。

空き缶つぶしは缶が音をたててつぶれ強い力が働いていることが分かり、それが大気圧によるものであることは理解しやすい。

しかし、缶の中がどうして真空(減圧)になるか分かっていないか、分かっていても説明できないことが多い。

上に述べたc.の実験の後、水の柱は何cmまで支えられるかの問いに1~2mとかせいぜい5mが精一杯であった。大気圧の大きさについて、水銀柱で76cmは知っているが水の柱を何mぐらい支えられるかは分からない。そこでやってみようということでd.の実験をすることになる。

また、トリチェリーの実験・真空について知らない。パスカルの原理、アルキメデスの原理とともに学んでいないことが多い。

そこで教育課程を簡単に振り返ってみた。

(2) 中学校理科指導要領での大気圧の扱い

① S33(1958)年告示の学習指導要領(理科)

1 学年第一分野

ア 水の重さと圧力

(ア) 重さと力

(イ) 圧力 単位面積あたりの力

(ウ) 水の圧力 深さと圧力の強さ、
パスカルの原理と水圧機

(エ) 水による浮力

イ 水の表面 水平面 表面張力 毛細管現象

ウ 空気の重さと圧力

(ア) 空気の重さ

(イ) 大気の圧力 トリチェリーの実験
大気圧と真空

(エ) 真空の圧力と体積 ボイルの法則

(オ) 空気による浮力

エ 水の三態

② S44(1969)年告示以降では大気圧は第二分野の気象で扱うようになる。

3. 力とエネルギー

ウ 圧力の項で圧力は単位面積当たりの力であること。体積と温度に関係があること。で終わり第二分野の気象学習(6)一エ 大気の動きと気圧の(ア)大気には圧力があり、その強さは時と所によって変化する。となっている。

③ 前要領 H14(2002)年度実施

「圧力について実験を行い、圧力は大きさと面積に関係があること、空気の重さがあることを調べる実験を行い、大気圧と関連付けてとらえること。」とあるが教科書での実験の扱いは2ページ分弱相当と少なくなる。

④ 現行要領 H24(2012)年実施

第一分野(1)身近な物理現象 イ、力と圧力の(イ)に圧力がでてくる。「圧力についての実験を行い、圧力は力の大きさと面積に関係があることを見出すこと。また、水圧や大気圧の実験を行い、その結果を水や空気の重さと関連付けてとらえること。」とあり、後は第二分野の扱いとなる。しかし、「水圧や大気圧の実験」が加わり教科書での圧力に関する実験は復活し6ページ分相当とずっと増える。

(大日本図書中学校理科による)

(3) 大気圧についての学習の歴史

参考に下記の文献を取り上げてみた。当時の先駆的な理科教育の書では大気圧の存在についてどう理解させようとしていたかがうかがえる。

『気海観瀾(きかいかんらん)』青地盈林宗述 文政8(1825)年。體性、引力、氣孔、温質、雰圍、氣性、氣重、排氣・・・とある中の氣

重の項には以下の記載がある。

氣の重を有す、以て地を圧す。銓氣管^{せんき}以てこれを験す可し。第三図のごとし^{はり}玻黎の細管の長さ三尺を可とす。上[甲]を口と為す。この内氣を去りて、充たすに水銀を以てす。別に小盂^う（はち）[丙]も水銀を盛る。指にて管口を塞ぎ、これを倒して水銀の盂中に押放せば、乃ち管中の水銀降りて下口に出づ。然れどもその過半は止まりて管中にあること、[丁]の如し。この管中の水銀は外氣の壓に準じて自ら昇降し、氣重の幾何を表す。夫れ水銀の重、口を倒して出でざる、外氣之を遮るに因る。是れ雰圍の上際より下がりて水銀盂に至の氣重の壓する所なり。今管の水銀と外氣と正に其の重の均うすること、猶衡^{なほ}の平のごとし。故に名づけて銓氣管と為す時氣の重さに逢えば則ち高升し、時氣の輕に逢えば則ち低降す。亦以て氣の陰晴を験す可し。今銓氣管の候、高さ二尺六寸（78cm）水銀と水との重を比す。十四倍と為す。是を以て氣の水を壓する、當に高三十尺（10.5m）に至るべし。水の方尺は重き六貫一百錢と為す。三十五方尺の重きは二百十五貫と為す。乃ち氣の地を壓す。方尺に二百十五貫の重あり（ $806.25\text{kg} / 900\text{cm}^2 = 0.9\text{kg} / \text{cm}^2$ ）ここに人あり。この體は十四方尺面を為す。その氣の壓を概算せば、三千貫の重を為す。氣の體を壓する、斯の如く強大なり。然れども人當て之を覺えざるは何ぞ。是れ基の體中脈管血液の内、氣^{これ}是に充ざる所なきに由る。内氣の外氣と相抗して平均して偏勝無し、以て覺えざる所なり。凡そ自然の作用は基の平均に於いては、以て覺ゆることなし。その平均を失うに至れば、則ち基の作用を見はず。譬へば口内氣を虚せば則ち吸の用を為すが如きの類なり。凡そ人身は、基の氣に壓に因って血液健運し、傍ら過度の蒸發氣を制し、以て疲弱を防ぐ。もし大氣甚だ輕疎なれば、反つて肢體の弛緩を覺ゆ。凡そ物も亦雰圍氣の壓

に因り、以て温質の鑽透分碎の力を制する。以て、その水液をして蒸散飛騰し盡さずして諸を各自の體中に保たしむ。

*（ルビ）（算用数字）は筆者による。

1尺：30cm，1貫：3.75kgで換算

2尺6寸：78cm

35尺：1,050cm

1方尺：900cm²

215貫：806.25kg

14方尺：1.26m²

3千管貫：11,250kg

玻黎（ハリ）：ガラス，原文の黎には王偏がつく。

盂（ウ）：中央が窪んだ器・皿。

雰圍：地表を取り巻く大氣をさす。

候（コウ）：そうろう，（中を）うかがう

猶（ユウ）：なお，（まるで）・・・のようだ

乃：すなわち，そこで，やっど，やむなくの意味の接続詞

鑽：鑽（サン）異体字，うがつ，きる

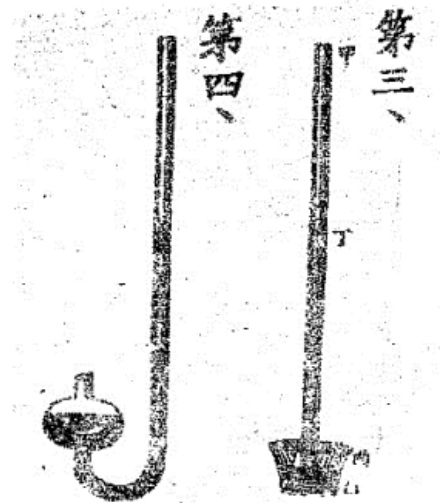


図1 氣海観瀾 より

* 福沢諭吉著 『訓蒙 窮理図解』1868（慶應四年）の「空氣の事」では水銀柱の高さは二尺三寸となっている。

江戸時代の医者が自ら翻訳したものをもとに

気海観瀾としてまとめ同好の士や洋学を学ぶ人たちの間で読まれたものであろう。したがって現在の皆教育制度の下の教育と同一レベルで論ずることは無理なことであるが、内容的に大きな差はないと思える。

文中、教材化の上で示唆の富むのはこれほど大きな大気の圧力の中にあってもそれを感じさせないのは・・・「内気と外気が拮抗しているからで、自然の作用は、平均な状態では自覚できないもので、一方を虚しくし平均を破ればその作用が見えてくる」ということを述べている。

この考えに依れば大気圧の学習教材で最も典型的なのは、さしずめ空き缶つぶしといえよう。真空（減圧）の空間をつくり外気の押す力を実感させることであろう。一方を真空にすることの意味を考えれば、トリチェリー実験ではガラス管上部の空間が真空（大気圧ゼロ）であることを確認することが重要で「トリチェリーの真空」といわれる所以がここにあると思う。そしてこの実験の最も大きな意味は大気圧の大きさとその変化を測定できることであろう。

(4) 大気圧の大きさを実感する2つの実験

① 空き缶つぶしについて

この実験には今まで次の3つの実験が行われてきた。真空ポンプに接続する方法と、水を少し入れ加熱し缶内を水蒸気で充満させ加熱を止め、蓋をして冷却する方法がある。cは蓋がないので逆さにして水に漬ける。固い缶だとつぶれる前に水が入り込みうまくいかない。

a ドラム缶

b 石油缶

c 缶ジュース（ビール）

それぞれの特徴を生かし授業に使うのだが、意外性やスケールの大きさ、印象の強さからいえばa-b-cの順になり、入手、費用、生徒の参加からいえば逆にc-b-aの順になる。c、は多くの生徒が自分でやれるのが良い。生徒は実験

の傍観者でなく実施者にすることが必要である。ものを直接扱ったことが多いほど物の声を聞く力がつくと思うからである。

② 水柱の実験

実験

ビニール管を使用し10m余りの水柱をつくり、大気圧で支える。

用具

耐圧ホース：11 m、内径9mm、外径15 mm 中部ビニール工業製 370円 / m

ゴム栓：上部と下部の口径の差の大きいものが使いやすい。

メジャー：12 m以上

ポリバケツ、ホース固定用のヒモなど。

方法

校舎脇の外の水道にホースを繋ぎ3階ベランダまで伸ばし固定する。水道を利用して水を上端迄入れゴム栓で閉める。ホースの下端をポリバケツの水の中で蛇口から放す。図1の左のようにホースの下端を上に向けておけば、水はもれ出ないが、この状態にする前に、前述の状況を作っておいた方が理解しやすい。

結果

水柱の高さ約980cm近傍で停止。しかしホースの中のどの部分からも長い間（30分程度）、気体の発生が見られ徐々に水位の下降が見られた。

水銀柱76cmからの換算値では水柱は1,033.6cmになるので実測値とかなりの差がある。

気体が発生するのでホースの上端の空間は真空ではないこと。耐圧でないホースを使い水位がずっと下がったことがあった。側面からの圧力のためである。耐圧ホースと言えどもガラス管とは異なり側面からの圧力の影響があると考えられる。

この実験で大気圧の大きさが実感できるが、正確な気圧の測定には、水は適さないことが分かる。

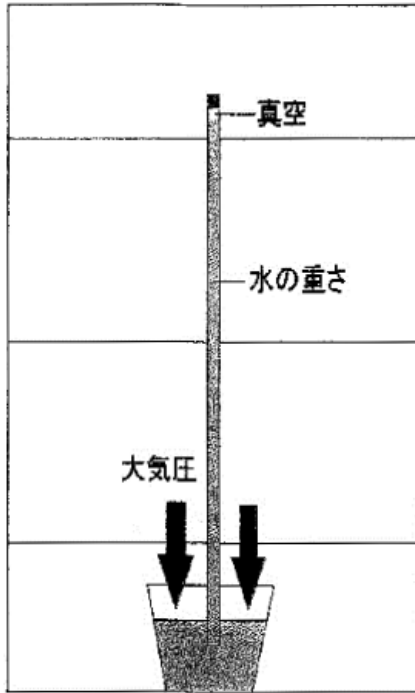
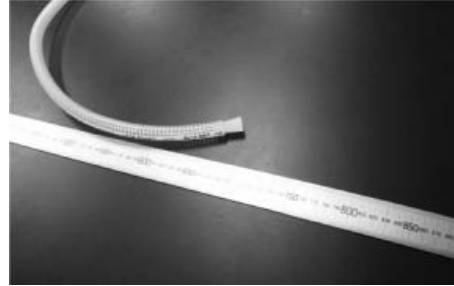


図2 左 実験の模式図



右上 上端部 右下 下端部

水銀柱の高さ = 76cm, 断面積 = 1cm^2 とすると
 水銀柱の重さ = $76\text{cm}^3 \times 13.6\text{cm}^3/\text{g} = 1,033.6\text{g}$
 水銀柱の圧力 = 大気圧であるから
 大気圧 (g/cm^2) = $1,033.6\text{g}/\text{cm}^2$
 $1,033.6\text{g}/\text{cm}^3 \times 0.98\text{N}/\text{g} = 1013\text{N}/\text{m}^2$
 大気圧 ($h p$) = $1013\text{hp} = 1$ 気圧
 1 気圧 $\approx 1\text{kg}/\text{cm}^2$ として概算すると

空き缶の表面, マグデブルグ半球の表面, 人体の表面にかかる圧力はおよる幾らかを計算させることができる。

(5) まとめ

大気圧の学習に先立ち次のことを学習しておきたい。

- ・物体には重さと体積があること
- ・気体の重さを測る実験
- ・三態変化と体積変化

水の圧力：水の方が大気より可視化しやすく

体感があるので、圧力の向き、深さと強さ等学習をしておくで大気圧を類推、思考しやすい。

逆さコップ～水柱支え, 空き缶つぶし, マグデブルグなどでその大きさを印象づけたい。

今後最も大きな課題は「水圧や大気圧とそれらの重さと関連づけて考えさせる。」ということである。

重力は常に下向きにはたらくが、水や大気の圧力はどの方向からも面に垂直にはたらく、この矛盾を解決するには、粒子概念の形成が一定程度進んでいないと不可能である。粒子の集まりと粒子の運動をもってしないと理解できないことであるが指導要領では、溶液や三態変化はこの後に位置付けられているのでイメージできるであろうか。

流体の圧力が粒子の運動によるものであることを示すモデル実験が開発されているが、この点が今後の課題である。

【参考文献】

理科教育史試料第一巻(教育課程)。同五巻(教育史) 板倉聖宣, 永田英治著 とうほう

日本科学古典全書 第六巻 三枝博音編纂,
朝日新聞社

理科の授業実践講座18 気象・気候 新生
出版

中学校学習指導要領理科編 平成20年告示
文部科学省

中学校理科教科書(平成4年・14年・平成
24年版) 大日本図書

謝辞

ここに記した内容を確認するために, 実際
に実験をおこなった井関 進君, 小椋光さん, 気
賀澤 幸香さんに感謝します。