



筑紫女学園大学リポジット

論理的思考を養う題材 (1) シャボン玉の大きさとその圧力

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2015-05-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 速水, 良晃, HAYAMI, Yoshiteru メールアドレス: 所属:
URL	https://chikushi-u.repo.nii.ac.jp/records/403

論理的思考を養う題材 (1) シャボン玉の大きさとその圧力

速水良晃

A Topic for Teaching and Learning that Leads to Logical Thinking (1) Size and Internal Pressure of Soap Bubbles

Yoshiteru HAYAMI

抄録

強力な科学技術が生活の中で使われている現代社会では、自分自身が安全に便利に生活していくためだけでなく、構成員として現代社会に過剰な負担を掛けないような生き方をするためにも、いわゆる科学リテラシーの習得が必要であり、文科系大学におけるリベラル・アーツとして設置されている理科系科目も当然そのような意味を持つ。ここでは講義の中で科学に興味を持たせるための導入例として、「シャボン玉の大きさとその圧力」という題材を採り上げる。この題材は意外な結論と中学生レベルの理科の知識を基にした説明で論理性を理解出来るので、理科系科目の導入として最適な物の1つであると思われる。

はじめに

文科系大学における理科系科目担当教員として、学生に興味を持たせるための題材を探るといのが、本論のテーマである。いわゆる文科系大学における理科系科目設置の意義は、リベラル・アーツそのものであり、専門職としての理科系の研究者・技術者に必要とされるような科学の詳細な知識習得ではなく、すべての人が現代社会で安全で便利に生活していくために必要な科学知識や科学の本質である論理的思考の習得である。現代社会の関わる重要な理科的題材としては、例えば「科学技術がどのように社会で使われているか?」、「現代社会は地球環境にどのような影響を与えているか?」など、夫々に幅広い関連性があり枚挙にいとまが無いのであるが、本学の多くの学生にとっては卒業後の就職に直結していないので、履修の必要性をあまり感じていないようである。

ここで、現在の教育界で問題となっている「理科離れ」という現象に関するいろいろな意見の中から、合理的だと思われる3つの意見を探り上げておく。鹿俣浩は、理科系科目の特殊性を次のように述べている^[1]。「理科離れ」という意味が理科系科目を好きでない生徒や学生が増えていくという意味なら、それは今に始まったことではない。以前から学年が上がるにつれて理科系科目が嫌いになる生徒や学生は多かった。その理由は、理科という教科の構成自体にある。指導要領では理科系科目について技能教科（音楽・図工・家庭・体育）と同じく体験や実験を重視しているが、実際の科目の成績評価としては知識の習得が重視されるので、学年が上がって内容が高度になり抽象的概念を含むようになるに従い知識の習得に困難を来たす生徒や学生が増えてくる。

竹本信雄は、「理科離れ」ではなく、「理科系科目の履修離れ」が起こっていると考えたほうがよいとして、次のように述べている^[2]。受験競争緩和のためにとられた指導要領の改訂（必修科目の削減・選択科目の拡大）と大学入試の改革（受験教科・科目の削減など）により、理科系科目の重要性が薄れたので、潜在的にいた理科系科目の苦手な生徒の履修離れが顕在化したと考えられる。たとえば、物理の履修率の減少については高等学校理科教科書の需要数の変遷から1994年の指導要領改訂の際に特に大きな減少を来たしていることが分かる。

さらに、東レ経営研究所産業経済調査部の報告では、「理科離れ」でも「理科系科目の履修離れ」でもない状況も進行しているとして、次のように述べている^[3]。つまり、「理科離れ」現象の裏で「文系志向」が強まっているのではない。進学率の多少の増加は有っても少子化のために受験生が減少し、学力による選別が充分に出来ないまま入学者の確保に追われる大学が全国的に増えている。国公立や有名私大の受験生を除けば、以前の「受験戦争」と呼ばれた頃の競争意識は無くなっている。そのことも、「理科系科目の履修」に限らず体系的な知識習得意欲が低下し、「学習離れ」が進行していることの大きな要因と考えられる。つまり「理科系」科目にも「文科系」科目にも関心が無い学生の多くが文科系大学へ進学するので、表面上「理科離れ」が進行しているように見えるが、その本質は学習意欲の低下であると考えられる。

このように採り上げた、(1)理科系科目に付随する抽象的概念が学習を困難にしているということ、(2)指導要領の改訂と入試科目の削減の影響、(3)少子化に伴う競争軽減による学習意欲の低下という個別の解析を組み合わせると、現在に至る経緯を非常によく説明できる。本学にも、(3)で説明されたような学生が数多く入学しているように見受けられる。そのような学生に対しても、社会生活に必要な科学的教養を習得させることが必要である。強力な科学技術が生活の中で使われている現代社会では、個人レベルでの生活機器使用の間違いでさえも隣人を危険に陥れる可能性があり、自分自身が現代社会を安全に便利に生活していくためだけではなく、現代社会の構成員として現代社会に過剰な負担を掛けないような生き方をするために、いわゆる科学リテラシーの習得が必要である。

そのような目標への到達方法はいろいろあると思われるが、文科系学部の学生に対しては先ず理科系科目の講義に引き付けることが必要である。そのような科学的な好奇心をそそりそうなトピック

クの例を次に紹介する。

I . ボイズのクリスマス講演

誰でも幼時に楽しくシャボン玉遊びをした経験を持っているので、シャボン玉は小学校低学年の教材としてだけでなく、テレビや読み物の題材としても、これまでたくさん採り上げられてきており、全ての世代にとって共通の興味深い理科学的題材に成り得る。

科学の専門分野においても、たくさんの科学者がシャボン玉を題材にして研究してきている。1991年にノーベル物理学賞を受賞したピエール=ジル・ド・ジェンヌは2003年の著書「表面張力の物理学 ― しずく、あわ、みずたま、さざなみの世界」の中で専門的な内容ではあるが、シャボン玉の科学に取り組んでいる^[4]。古くは、アイザック・ニュートンが「光学」の中でシャボン玉が薄くなる時の色の变化を非常に正確に記載している^[5]。その他にも、ボイル（気体の法則）、フック（弾性の法則）、プラトー（毛細管現象）、レイリー（光散乱）、デュワー（気体の液化、魔法瓶の発明）など、歴代のそうそうたる科学者がシャボン玉の研究を楽しんでいる^[6]。

彼等の中でも特にいろいろな実験を行なって科学の啓蒙をしたのは、イギリスのC. . Boysである。彼が1889年34歳の時にイギリス王立研究所のクリスマス講演として行なった、シャボン玉を用いた様々な実験は、一般の人にも読みやすい本となって、世界中で翻訳されている^[7]。

II . 大きさの違う2つのシャボン玉

彼の演示実験の中の一つに、大きなシャボン玉と小さなシャボン玉を管でつないだらどうなるだろうかという図1のような装置を用いた実験がある。この実験は簡単な装置で演示することが出来るし、その実験結果も科学的に非常に重要な意味を持っているにもかかわらず、不思議なことに日本化学会の化学展で私が九大グループと一緒に当時の岩田屋デパート会場で演示した以外では、25年位前に1度だけ科学雑誌に採り上げられたくらいで、それ以外にはテレビや読み物でも見たことがない^[8, 9]。他のところで採り上げられない理由は分からないが、私は以前から、この実験をゼミナール科目などで演示し、その後の科学的な解説を通して論理的に考えるということの重要性を学生に実感してもらおう試みを行なっているので、今回のテーマである論理的思考を養う題材としてどのように採り上げているかを含めて紹介することにする。

黒板にシャボン玉を含めた装置の大きな図を描き、その横に次のような想定されるシャボン玉の大きさの変化のパターンを書く。

- (1) 大きいのが小さくなり、小さいのが大きくな

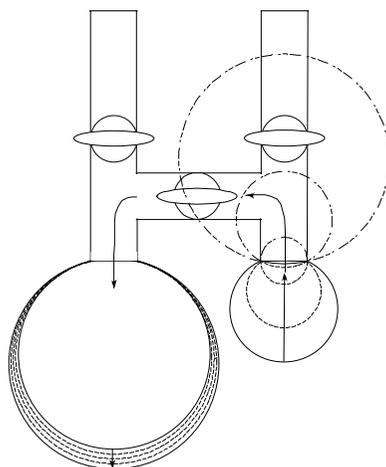


図1 大きさの違う2つのシャボン玉

り、同じ大きさになる。

- (2) 1と同じ変化が起こるが、同じ大きさで止まらずに、そのまま変化し、逆転した所で止まる。
- (3) 大きいのがもっと大きくなり、小さいのがもっと小さくなる。
- (4) 大きさは変化しない。

3つの栓が管と直角の時には閉まっていて、平行にした時に開いていると説明した後、想定される大きさの変化のパターンを指差しながら、「真ん中の栓を開けたら空気が自由に移動するが、シャボン玉の大きさはどう変化するだろうか？」と学生に問いかけ、手を挙げさせて選ばせる。次に2つの管の下部にシャボン玉の液を塗りつけ、上部の2つの栓を開け、管につないだゴム管を通して大小2つのシャボン玉をふくらませ、栓を閉める。

シャボン玉はふくらませる時に空気を吹き込むので、中の圧力は外の圧力よりも高くなっている。シャボン玉の大きさによって、中の圧力が変わるとすれば、たくさん空気を吹き込んだ大きなシャボン玉の方が、中の圧力は高いように思える。もしこの考えが正しいなら、大きさの違うシャボン玉を管でつないだ時、大きなシャボン玉から小さなシャボン玉へ空気が流れて、同じ大きさになるはずである。「それでは、シャボン玉をつないでいる管の栓を開いてみましょう。」ということで真ん中の栓を開け、シャボン玉が割れないように息を潜めながら、シャボン玉の非常にゆっくりとした大きさの変化を楽しむ。

学生は初めての体験なので、何が起こるのだろうという面持ちで見つめている。「どうですか？反対のことが起こりましたね。小さなシャボン玉がもっと小さくなっていき、大きなシャボン玉はその分だけ大きくなっていき、ついには小さなシャボン玉は無くなってしまいましたね。不思議でしょう？」学生たちが、本当に不思議そうな顔で考えている。

Ⅲ. ラプラスの式

シャボン玉も含めて、このような液面の形とその圧力に関する現象は、19世紀はじめのラプラスの研究によって、「曲面の内外の圧力差は、曲率（曲面の曲がりぐあい）に比例する。」という内容のラプラスの式としてまとめられている。しかし、この文章のまま内容を理解するのは難しいので、もっと具体的に分かりやすい説明が必要である。

そこで、図2のような実験を行なう。針金で作った輪にシャボン膜を張り、息を吹きかける。シャボン膜は吹かれた方向へ曲がる。強く吹けば吹くほど、余計に曲がるが、吹くのを止めると元のように真っ直ぐになる。息を吹きかけない時は、膜の両側の圧力が等しいので、膜は平らである。息を吹きかけると、吹いている側の圧力が大きくなり、膜は曲がる。強く吹けば、圧力がもっと大きくなり、もっと余計に曲がる。圧力が大きいほど、余計に曲がる。実に、これは全く当たり



図2 強く吹いたら余計に曲がる

前のことである。学生も当たり前だというような顔をして聞いている。

次に、学生に問いかける。「さて、それでは大きなシャボン玉と小さなシャボン玉とは、どちらが余計に曲がっていますか？ もちろん、大きなシャボン玉ですよ。ホントウデスカ？」
「皆さん、自転車に乗る時を考えてください。真っ直ぐ進む時はハンドルを真っ直ぐ持っています。左へ曲がる時はハンドルを左へ曲げますよね。そうすると、曲げ始めた所から左へ曲がり始めますね。ハンドルの曲げ方が小さければ、大きな円を描いて曲がりますが、ハンドルを大きく曲げれば、逆に小さな円を描いて曲がります。曲がる割合（曲率）を、ハンドルの曲げ方で調節するという事は、いろいろな乗り物の基本的な運転技術の1つですね。」

ここまで話を進めると、曲がりの大きさという言葉の意味が、自分がそれまで考えていた意味と違うということに気付く学生が出てくる。曲がり方（曲率）が大きいのということは、小さな円を描くということである。しかしながら、日常生活では、大きな曲率で曲がることを「小回り」と言ったり、小さな曲率の道路の曲がり方を「大きなカーブ」と形容したり、「曲がり方」の意味が混同して使われている。したがって、殆どの学生が大きなシャボン玉の方が小さなシャボン玉よりも、余計に曲がっていると勘違いしてしまうのである。しかし、そうではなく小さなシャボン玉の方が余計に曲がっているのである。このことは、地球のことを考えれば、もっと簡単に分かる。地球のように大きな球では、水平線や地平線がほぼ真っ直ぐなように、その表面を実際上平面と見なすことも出来る。つまり、大きなシャボン玉は、あまり曲がっていないということである。

さて、平らなシャボン膜に息を吹きかけた実験で分かったように、シャボン膜が曲がっているほど、圧力は余計に掛かっている。大きなシャボン玉はあまり曲がっていないくて、小さなシャボン玉ほど余計に曲がっているということは、小さなシャボン玉ほどその中の圧力が高いということになる。したがって、小さなシャボン玉と大きなシャボン玉をつないでいる真ん中の管の栓を開くと、小さなシャボン玉の中の空気が大きなシャボン玉の方へ移動し、小さなシャボン玉はより小さくなり、大きなシャボン玉はその分大きくなるというわけである。

IV. 空気のつまり具合

ここまで説明しても、何となく分かるが、何かスッキリしないという学生が多い。それは、「たくさん空気を吹き込んだ大きなシャボン玉の方が、中の圧力は高いはずだ！」と考えているからである。そこで、次のように説明して納得してもらおう。「空気は目に見えませんが、天気予報で高気圧や低気圧と言うように、空気のつまり具合はいろいろです。大きなシャボン玉の中の空気の状態は、定員500人の船に600人乗っている状態、小さなシャボン玉は定員50人のバスに100人乗っている状態と考えてみましょう。乗っている人数は船の方が多のですが、混み具合はバスの方がずっと混んでいるので、バスの乗客は少しでもゆっくりしようとして、船の方へ移動していくのです。」

ところで、このシャボン玉の実験では、小さなシャボン玉は最後に無くなってしまったように

見える。もう少し、その変化を詳しく考えてみる。まず小さなシャボン玉から大きなシャボン玉へ空気が流れていく。小さなシャボン玉がより小さくなると、中の圧力はより大きくなる。大きなシャボン玉はより大きくなるので、中の圧力はより小さくなる。真ん中の栓を開いて大きさが変化し始めると、このように2つのシャボン玉の圧力の差はより大きくなり、より速いスピードで空気が移動していく。この状況は、図1の小さなシャボン玉の半径が、吹き出し口の管の半径に等しくなるまで続く。

その後も連続的にシャボン玉は小さくなっていくように見えるが、曲率的には逆のことが起こっている。吹き出し口の管の半径は一定であるから、それ以上シャボン玉が小さくなると、一点鎖線で描かれているように今度はより大きなシャボン玉の一部として現れてくる。そうすると、これまで増加していたシャボン玉の圧力が、今度はだんだん小さくなっていくということになる。シャボン玉の圧力に関係があるのは、その球面の曲がり具合であり、シャボン玉の全部が現れようと一部が現れようと、結果は同じである。したがって、小さなシャボン玉は消えて無くなったように見えるが、そうではなくて、大きなシャボン玉と同じ大きさの仮想的なシャボン玉の1部として曲がり具合が等しくなったところでつりあっているのである。そこでは、小さなシャボン玉と大きなシャボン玉の圧力がちょうど等しくなっている。しかも、その圧力は元々の大きさの違う2つのシャボン玉の圧力の小さかった方(元の大きいシャボン玉)よりも、さらに小さくなっているのである。

原理的には、シャボン玉を全く同じ大きさにした場合にも、つりあいはとれるが、周りの環境のちょっとした変化によって、僅かでもシャボン玉の形に変化が生じると、より安定な大小2つのシャボン玉へと変化していく。最終的に、つりあい状態に到達した、曲率が等しい大・小2つのシャボン玉の場合は、大きさの変化がどちらのシャボン玉に生じても、それを打ち消す変化が、もう1つのシャボン玉に生じるので、非常に安定な状態になっている。このように、全く同じ大きさの対立したもの同士で不安定なバランスを取るよりも、見掛けの大きさは違っていても、より安定したバランスの取り方が出来るということは、自然界の様々な局面で存在している。たとえばビールの泡などのように、たくさんの泡が出来ている時に次第に泡の数が減っていくのは、単に割れているだけではなく、泡同士の接触面を通して空気が小さい泡から大きい泡へ移動するという事も起こっている。或いは、均質化(ホモジナイズ)処理をしていない牛乳では、大きさの違う乳脂肪球同士が接触して脂肪球が大きくなり、浮いてきて生クリーム層を形成する。このように、いわゆるエマルションの安定性の問題として、食品に限らず、各種工業製品、生体内など、曲面が介在するありとあらゆる場合に、その実例を見ることが出来る。

おわりに

ここで採り上げた「シャボン玉の大きさとその圧力」という題材は、意外な結論と中学生レベルの理科の知識を基にした説明で論理性を理解出来るので、理科系科目の導入として最適な物の1つだと考える。科学技術の進歩とともに、学ぶべき理科の事項は減っていないはずなのに、

1970年代に1,048時間あった義務教育の理科の時間が、今では640時間しかない。そのような理科教育の減少のせいなのか、日本が豊かになり過ぎて生活の中で科学的に思考する必要が無くなって来たためなのかは分からないが、効果が科学的に証明されていない栄養補助食品やダイエット食品、或いは家電品等の過大広告、およびグルメやブランドや高価な品物を紹介する、画一的なテレビ番組が氾濫している。現代の便利な化学製品を説明するような場合は、どうしても化学記号を使わないと説明出来ないことが多いが、科学の基本的考え方や新しい技術の仕組みを正しく理解しておけば、現代社会に氾濫しているウソの情報を見破り、生活を豊かにそして安全に過ごすことが出来るので、出来るだけ具体的な題材を利用して学生の科学的教養を高めていきたい。

参考文献

1. ～「理科離れ」について・自分の経験を踏まえて～、鹿俣浩、
<http://www.omn.ne.jp/~hyou-tan/rikagirai/rikagirai.html>
2. 「理科離れと理科教育」——理科離れをどうとらえ、どう対処するか——、竹本信雄、
http://www008.upp.so-net.ne.jp/takemoto/rika_banare.htm
3. 「理科離れ」解消のために何が必要か ～「世界一受けたい授業」だけでは、ものづくりの危機は救えない～、東レ経営研究所産業経済調査部、
http://www.tbr.co.jp/pdf/report/mon_d002.pdf
4. 表面張力の物理学——しずく、あわ、みずたま、さざなみの世界、ドウジェンヌ 著、奥村剛 訳、吉岡書店、2003年
5. 光学、アイザック・ニュートン 著、島尾永康 訳、岩波文庫、1983年
6. シャボン玉——その黒い膜の秘密、立花太郎 著、中央公論社、1975年
7. シャボン玉の科学、チャールス・バーノン・ポイズ 著、野口広 訳、東京図書、1987年
8. 化学展 '86 “たのしくふしぎな化学の世界”——くらしの化学から最先端技術まで、1986年8月、福岡
9. セッケン膜の強さを調べる、佐々木恒孝 著、現代化学1984年2月号 pp51-53、東京化学同人

(はやみ よしてる：現代教養学科 教授)