

「水」を素材とした理科の学習文脈（物理領域） — デモンストレーションを用いたアプローチ —

梅 田 貴 士*
(2015年12月7日受理)

Learning context in physics education using “water” as a material: An approach based on demonstrations

Takashi UMEDA

Abstract. The contextual learning is expected to enhance the learner’s interest and motivation in Science education. We briefly review the several contextual learning in physics education, and consider their merits and demerits. We also propose an approach based on demonstrations as the contextual learning in the unit on “water”.

1. はじめに

近年、科学技術の進歩により身の回りの機械や道具が高度に電子化・集積化されており、それらの機能は分かるものの、仕組みや内部構造が分かりにくいというブラックボックス化しているものが増えてきている。さらに現代ではそれらの機能自体が複雑化してきており、ますます機械や道具の原理を考える機会は減ってきている。

このような機械や道具の原理には本来様々な物理法則が使われており、それらの物理法則に触れる機会や、物理法則の日常生活に対する有用性を感じる機会にもなっていたはずであるが、そういう機会がどんどん減少してきていることになる。物理の概念や法則が身近なところで役に立っているという認識は物理の学習に対する動機付け（モチベーション）に少なからず影響を与える事が考えられる。その他の様々な要因と合わせて、近年ではますます物理を学習する時の動機付けを考える重要性が高まってきている。

このような状況で日常生活における物理の有用性の観点から物理を学習するモチベーションを引き出す有効な方法の1つとして知られているのが

文脈学習である。

従来の系統学習では系統立てて配置された学習内容を、順番に学習していくために、学習内容の全体像を把握しやすく、効率よく学習できるというメリットがある。一方で、それらを学習するためのモチベーションを引き起こす力は弱いという側面がある。

それに対して文脈学習では、（基本的には問題解決学習よりも系統学習に近い概念だと思われるが）学習内容の提示（する順番）を、様々な「文脈」に即して配置する方法である。ここで用いられる文脈には学習者にとって身近な題材が取り扱われ、それらを学習するモチベーションを高める役割を果たす事が期待できる。

この論文では文脈に基づいた学習について、これまでに物理教育で行われた取り組みやそれらのメリット・デメリットについて考察する、さらに新しい文脈に基づく学習の例として、水に関連するデモンストレーション（物理演示実験）を文脈とした学習について検討する。

*自然システム教育学講座

2. 文脈を利用した物理学学習

既にこれまでに様々な文脈に基づく物理学学習が行われてきているが、ここではそのうち代表的な例を2つごく簡単に紹介する。

2-1：サルターズ物理

文脈（コンテキスト）に基づく物理の学習の例として知られているものに「サルターズ物理（Salters Horners Advanced Physics）」がある^[1]。英国の高校物理コース（A レベルコース）のカリキュラムとしてヨーク大学で開発され、初めての文脈を主軸にした物理カリキュラムであるとも言われている。ここで、文脈（コンテキスト）とは「現在学んでいる物理の内容に何らかの形で関連する事柄やその応用」という意味で用いられている。特に、日常的、社会的文脈に基づいて「物理の概念と法則」を教えるという手法を重視している。スウィンバンクの論文^[2]によれば、サルターズ物理では11の文脈を中心に作られており、それらは潜在的な能力のある学生に興味を持たせ、将来の仕事について説明し、物理をさらに勉強して、ある程度のレベルまでに達するための手段を（最小限以上に）提供するように作られている。文脈には、スポーツ、宇宙技術、音楽、考古学、食品工業、鉄道輸送、遠距離通信、外科医学、素粒子物理、建築デザイン、天文学などからなっている、とある。

さらに、このカリキュラムで文脈を用いる理由として

- ・学生や生徒の興味をもたせ、勉学の動機を高めること
- ・将来の仕事の可能性を示すこと
- ・考え、学ぶことについての構造をつくること
- ・実用的な活動を発展させること
- ・らせん的な構造のカリキュラムを作り上げることなどが上げられている^[2]。

2-2：アドバンスング物理

さらに文脈に基づくアプローチをカリキュラムの中に取り入れている例として知られているものに「アドバンスング物理（Advancing Physics）」がある。このカリキュラムも英国物理学会（IoP）が作成したA レベルコース物理の1つでありオグホーンらによって開発された^[3]。英国で物理離れが進む中での大改革として行われたプロジェク

トとして注目された。その開発思想は以下の様に説明される^[4]。

- ・最新の発展をとりいれる
- ・歴史的、社会的な文脈（コンテキスト）の中で示す
- ・多様な内容、女子生徒の関心も考慮
- ・工学的な応用に敬意を払う
- ・数学を用いる楽しさ
- ・科学に対する多様な能力を育てる
- ・適切な試験制度の設置

このカリキュラムでは物理の重要概念が多様かつ興味深い状況設定の下で紹介されている。例えばASコースの前半部分、現場の物理（Physics in action）の最初のユニットは「コミュニケーション」として「画像を作る」「感知・計測する」「信号を送る」というテーマで現代では多分野で重要になっているセンサを用いた画像処理や、電気回路の計測、デジタル信号の送信などを取り扱いながら、物理における様々な学習が展開されている。アドバンスング物理は、これまでのカリキュラムとは大幅に異なる革新的なカリキュラムとなっているが、その中でも文脈の中で学習内容を展開するという開発思想が重要な役割を果たしている。

2-3：文脈に基づいた物理学学習のメリット・デメリット

文脈に基づいた物理学学習のメリットとして、先に述べたように、学習者の興味とモチベーションを高めるためというのが第一にあげられる。日常的、社会的、歴史的な文脈、つまり十分興味が持てるようなテーマが与えられ、それらを理解する為に必要な学習内容が提示されることになる。それぞれの内容を学習する為の理由が明確になることで学習者は興味とモチベーションを維持することができる。

また、提示される文脈によっては、同じ内容が異なる文脈で現れることになる。このような「らせん構造」の学習によって、同じ内容を異なる視点から学習することが可能になる。そしてこのような多角的な学習と理解によって、様々な物理の知識が有機的な繋がりをもち、より応用力のある理解へと繋がると考えられる。

一方で文脈学習のデメリットとしては学習する内容の順番が文脈に制限されてしまう点が考えられる。物理は積み重ねの学問であるので、様々な

既習内容をベースとして新しい概念や法則を学習していく事が多い。そのため、文脈に基づく学習方法は、系統学習に比べて効率が悪くなってしまふ。また、提示する文脈を上手く選択しなければ、全ての内容を網羅することが難しいことや、同じ内容が重複して現れることになる。重複する部分はらせん構造の学習と結びついていて、良い面もあるものの、学習者の興味やモチベーションを引き出しつつ、全体のバランスを取るような文脈の選択と配置は簡単ではない。

3. デモンストレーションを文脈とした物理の学習

より興味とモチベーションを高めるような文脈を提示しつつ、できるだけ系統的なカリキュラムを作るためには、より沢山の、良い文脈が必要になる。そのため、これまでも日常的、社会的、歴史的な様々な文脈が用いられてきた。

この論文ではさらに候補となる文脈として、デモンストレーション（物理実験）を用いた例を提案する。物理分野には様々な実験があり、通常のカリキュラムにおいても生徒（学生）実験や演示実験などが取り入れられている。通常は、（系統学習の）カリキュラムで取り扱う物理概念や法則を理解させるためや、授業の最初に学習者の興味関心を引きつけるためなどの目的で行われることが多い。基本的に授業には理解させたい物理概念や法則が目的にあって、その目的を達成するために各種実験が行われる。

ここでは逆に、学習の文脈としてデモンストレーションを扱い、それに関連する物理概念や法則を学習していくというアプローチを考えてみる。

デモンストレーションの中には結果が派手で、意外性があるなど興味を引きやすいが、特定の単元の内容を理解させるためには適さないような場合が多くある。例えば、それらのデモンストレーションには教えた単元の内容だけでなく他の様々な要因が絡んでいて、それらが逆に生徒（学生）を混乱させる場合などである。一般的に、系統学習における良い実験は単一の内容だけが関連している実験で、そのような実験は、その有用性から、既に教科書などに採用されている。一方で、これらの意味での「良い実験」と興味関心を引きつけるデモンストレーションは必ずしも同一であ

るわけではない。

ここでは結果が派手で、意外性があるなど興味を引きやすいが、様々な要因が絡んでいるようなデモンストレーションを利用した学習を検討してみることとする。その中でも、今回の論文では、水を素材とした3つのデモンストレーションに焦点を絞って考えてみる。

3-1：ペットボトル中の水に浮いたスポンジ片

水が入ったペットボトルの中に、スポンジ片などをひもで繋いで浮かせた状態にする（図1）。この状態でペットボトルを水平方向に急加速、もしくは急減速すると中に浮いているスポンジ片はどうか？という実験がある。



図1：ペットボトル中の水に浮いたスポンジ片

急加速した場合、一見すると、慣性の法則からスポンジ片はその場所に静止し続けようとするので、置いて行かれる、つまりペットボトルの中で進行方向と反対側に動くと考えそうになる。しかし実際に実験してみると予想とは反対に進行方向へと移動する。この実験は一見した予想とは反する意外な実験結果となる為に良く用いられるデモンストレーションではあるが、様々な要因が絡んだ現象であるために、なかなか授業でも使いにくい性格がある。慣性力の単元において、加減速する電車の中のつり革の動きが例としてあげられることが多いが、それとは反する例になっている。このような意外性のある対比は面白いが、原理を理解するには、慣性力の知識だけでは不十分である。

加速度運動をしているペットボトルの中の座標系で運動を考える場合、進行方向と逆向きの慣性力が働く。しかし、この慣性力は水とスポンジ片の両方に働くので、より質量（密度）の大きな水の方が慣性力の方向に動き、その結果スポンジ片

は水においやられて進行方向へと動くことになる。実際、水の入っていないペットボトルにスポンジ片をひもでつるした状態で同様の実験を行うと、電車の中のつり革と同じように進行方向と逆向きの、慣性力が働く方向に動く。この場合、スポンジ片より密度の小さなまわりの空気はスポンジ片においやられて進行方向に動くこととなる。

この実験は浮力の概念を用いても理解することができる。浮力とは、重力が働いている時に、液体中にある物体が液体から受ける鉛直上向き（重力と反対方向の）力であり、アルキメデスの原理として知られている。

水の入ったペットボトルの例では、加速している座標系で考えた場合、慣性力が働き、みかけの重力はもともとの重力と慣性力の合力となり、みかけの重力の方向は（進行方向と逆向きへの）斜め下となる。このみかけの重力のもとでの浮力によってスポンジ片は（進行方向への）斜め上に「浮く」ことになる。

この実験を理解するには、慣性力と浮力（アルキメデスの原理）という通常のカリキュラムでは別の単元の理解が必要となる。このような複数の単元の内容が関係した実験は、通常のカリキュラムの授業では取り扱いにくい。

逆にこのような実験（デモンストレーション）を文脈とした学習を行う場合は、この実験で慣性力や浮力を学ぶことになる。または一度別の授業で慣性力を学んだ後に、改めてこの実験から慣性力や浮力の関係を学習する事によって、慣性力、浮力に関するより深い理解が可能になるかもしれない。

3-2：ヘロンの噴水

水を用いた有名な実験にヘロンの噴水がある。図2のように3つの容器からなっていて、一番上の容器はフタが無く、下の2つはパイプ部分を除いて密封されている。この状態で、動力を使わずに水が噴水のように吹き上がる様子から、一見してエネルギーの保存則を破っているようにも感じられる不思議な実験である。

この実験には水圧、大気圧、（重力に関する水の）位置エネルギーが関係している。水圧が水面からの深さによって決まることを思い出すと、容器Aと容器Bの水面はそれぞれの高さの分だけ圧力差が生じている。それだけ大気圧より高

圧になった空気が容器Bと容器Cの密閉された空間にある為に、容器Bの水が押し出されて噴水のように吹き上がる仕組みになっている。原理的に容器Aと容器Cの水面差と容器Bの水面と噴水の最高点の差が等しくなる。そして噴水のように吹き上がる水に必要なエネルギーは容器Aから容器Cに落ちていく水の位置エネルギーから供給されており、水が容器Cに落ちきったところでこの噴水は止まってしまう。また容器Bから容器Aに移った水も最終的には容器Cへ落ちていくために位置エネルギーは減っていくことになる。

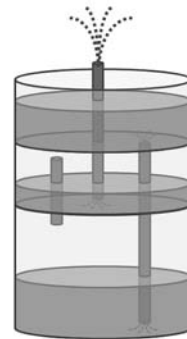


図2：ヘロンの噴水。3つの容器からなっていて（上から容器A, B, Cとする）、一番上の容器はフタが無く、下の2つはパイプ部分を除いて密封されている。

これらの機構を理解するには水圧が、大気圧と水面からの深さだけに依存するという基本的な法則で十分ではあるものの、エネルギーの保存が保たれている事を理解するには重力による位置エネルギーの変化と、噴水のように吹き上がる水が持つ力学的エネルギーの関係を理解する必要がある。

このデモンストレーションは生徒の興味関心を引きやすいものである一方、大気圧、水圧、位置エネルギーの深い理解が必要であるために、一人で考えさせるよりもグループによるディスカッションを行った方が理解しやすいかもしれない。またサイフォンの原理のようなもっと簡単な実験から始めて、ステップバイステップで理解を誘導するような授業計画を用いる必要があるかもしれない。

3-3：胸腔ドレーンバック

最後に実際に利用されている医療器具を用いたデモンストレーションの例を紹介する。胸腔ドレーンバックという胸腔内に溜まった体液を外部に排出す

るための医療器具である。図3のように3つのボトルからできている。（実際に使われている器具は3つの容器が一体になっているものが多い。）

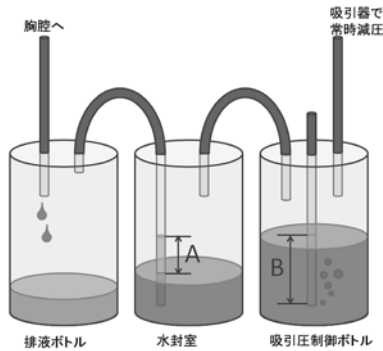


図3：胸腔ドレーンバックモード図

図3の右側のチューブが吸引器に繋がれて右ボトル（吸引圧制御ボトル）内と、さらにチューブで接続された中ボトル（水封室）内が減圧される。この減圧分と中ボトル内の水面とチューブ内の水面の差だけ左ボトル（排液ボトル）内の空気がさらに減圧されて、胸腔からの体液を吸い出す仕組みになっている。

さらに右ボトルの真ん中のチューブから空気が入ってきている（空気泡が出ている）場合には中ボトルと右ボトル内は大気圧から水面差Bの分だけ減圧していることが分かる。装置による圧力測定を行わなくても水面差AとBの長さのみから左ボトルの圧力、つまり胸腔内につなげるチューブの大気圧からの減圧分が分かる仕組みになっている。物理の基本法則と比較的シンプルな器具のみで圧力を制御できるしくみから現在でも医療の現場で使用されている。

用いられている原理は大気圧、水圧などで、ヘロンの噴水と似たような機構であるが、一方で、胸腔ドレーンバックは医療用の器具であるので、様々な安全対策の為の仕組みに物理の原理が応用されている。

例えば、中、右ボトル内の大気圧からの減圧分は吸引器に依らずBの深さで決まるようになっており、さらに胸腔内圧がAとBの合計だけで決まる点などは機械の故障などによる誤作動のリスクを最小限にしてくれる。また胸腔内と繋がった空間は中ボトル内の水によって外部と隔離されて

おり、外気の侵入による感染症のリスクを最小限にしてくれる。

この例では物理の法則が一見物理とは関係のなさそうな所で役に立っている例であり、学習者に対して物理の有用性について考える機会にもなると考えられる。また医療系への進学を希望する高校生などは特に高いモチベーションをもたらすことが期待できる。

4. まとめ

この論文では、学習者の興味やモチベーションを高めてくれることが期待できる文脈学習の提案としてデモンストレーションを用いた例を紹介した。物理に関するデモンストレーションは物理学習に対するモチベーションが低いような学習者に対しても興味を引くようなものが数多くある。それらの幾つかは系統学習においては不向きな、様々な要素が絡み合ったものもあるが、ここではそれを逆手に取った学習を提案した。

もちろん、ここで提案した学習が有効であったとしても、これらの文脈だけで系統的な学習を構成するカリキュラムを作ることは簡単ではないが、従来の文脈学習の取り組みに加えて、今回のようなデモンストレーションについての文脈を考えることによって、より系統的な文脈学習のカリキュラムを構築できる可能性がある。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金、基盤研究(A)(25242015)の援助を受けて行われたものである。

参考文献

- [1] The University of York, Department of Education, Salters Horners Advanced Physics (SHAP), <http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/physics/>
- [2] エリザベス・スウィンバンク, (村田隆紀 訳), 英国における物理カリキュラムの開発, 物理教育 第56巻, 第1号, 2008年, p.42-46
- [3] Institute of Physics (IOP), Advancing Physics, <http://fdslive.oup.com/www.oup.com/oxed/secondary/science/advancingphysics/index.html>
- [4] 笠潤平, 「アドバンス物理」の紹介, 物理教育 第50巻, 第1号, 2002年, p.32-41