

液体窒素を用いた子供向け実験教室

遠藤龍介 山形大学 (非常勤講師)

山形大学在職中に理学部の同僚とともに小中学生向けの液体窒素を用いた実験教室を開催してきた。その内容を紹介する。実験テーマとしてはバラやバナナを冷却させるなど、定番のありふれたものが主であるが、見せ方等を独自に工夫したものもある。本稿では、液体窒素を用いた種々の実験でわれわれが開発・会得したネタやノウハウを紹介する。

キーワード 地域貢献, 体験型学習会, 液体窒素, 気体の膨張収縮, 酸素の液化, 電気抵抗の変化

1 はじめに

筆者は山形大学在職中に理学部の地域貢献事業の一環として「小さな科学者・体験学習会『マイナス 200 度の世界』」と題した子供向け実験教室を同僚達とともに開催してきた。その内容を紹介したい。なお、この「小さな科学者・体験学習会」の活動は、2008年に実施した山形大学理学部の地域貢献活動に対する外部評価でも好意的な評価を受けている¹⁾。

この液体窒素を用いた実験教室は、出前授業等を含めると、1999年から始めて2018年3月までの間に30回ほど開催してきた。その間、延参加人数は小学生744名、中学生32名であり、保護者他を入れると合計1249名である。小学生に比べて中学生の参加が少ないのが心残りである。

学内で開催するときの会場としては、当初は学生実験室などで行ってきたが、2008年に「山形大学 SCITA (さいた) センター」が理学部内にできてからは主にここで開催している。この施設では、理科学習の普及を目指し、様々な実験教室・教員研修・サイエンスカフェ等を開催している²⁾。

この実験教室のねらいは、体験型の実験を通して、科学の面白さ・楽しさ・不思議さにふれてもらうことが主である。小学生も高学年になると、理科の授業に理論的な内容が入ってくるせいか、理科好きの児童が減ってくるという声を聞く。そのような児童に対しても、体験型の実験を通してますます理科好きになってもらい、科学への興味を持ち続けて欲しいと願っている。そんな目論見もあり、対象学年を小学4年生～中学生3年生としてきた。

保護者参加型の体験教室でもある。保護者にも

実験に参加してもらい、子供と一緒に実験を楽しんでもらうことで(理科に苦手意識のある)保護者にも科学に対して親しみを感じてもらうことを狙っている。そうすれば、家に帰ってから親子で実験のことを話したりすることで、子供の理科への興味を保護者も理解し、後押ししてくれるだろうと期待している。

「マイナス 200 度の世界」で行っている実験テーマを下に挙げる。もちろん定番の実験がほとんどである。

1. 変身する絵
2. フィルムケース・傘袋の爆発
3. 何でも冷やしてみよう
 - ・ テニスボールはパリーン
 - ・ そんなバナナ, 釘が打てるなんて
 - ・ バラもバラバラ
 - ・ 犬の風船
4. 息も凍るほどの冷たさ
5. アルミ缶につく滴の正体は何; 線香の火を近づけると...
6. アルミパイプと強力磁石
7. 豆電球の光の変化: 銅線を冷やすと...
8. 強力磁石の競争: アルミパイプを冷やすと...
9. 磁石が浮き上がる超伝導
10. 凍るしゃぼん玉

テーマ名で内容が予想できると思うが、例えば、4は息の中の二酸化炭素が凍ってドライアイスができる実験、5は酸素の液化、... 等である。以下では上のテーマの中から、われわれが独自に工夫・開発した実験やノウハウを紹介する。

2 定番の実験

2.1 フィルムケースの爆発

液体窒素が気化することで体積が数百倍になることを示す実験として、フィルムケースを用いた実験がよく行われる。コツを一つ紹介しよう。フィルムケースに液体窒素を入れた直後は窒素が激しく沸騰しているので、そのときに蓋をするとほぼ瞬時に爆発してしまつて危険である。しばらく待てば容器が冷えて沸騰が落ち着くので、それから蓋をすれば爆発までの時間が長くなり、安全に実験ができる。

われわれは安全装置として底部をカットしたペットボトルを利用している。これをフィルムケースの上にかぶせることで、爆発してもフィルムケースがあらゆる方向に飛んで行くことが防げる。児童にも安心して実験をみてもらえる。



定番のフィルムケースであるが、年々入手困難となつてきている。そこで、最近では、代替品として傘袋を使うことを試みている。透明な傘袋の中に液体窒素を入れ、口をねじって持つと、傘袋が膨らんできて最後は破裂する。破裂音はフィルムケースほどで大きくはなく、それだけ児童に与える恐怖感も少ない。また、傘袋の膨らみ方も面白い形をするので楽しい。



2.2 縮む風船

風船を液体窒素に浸けて風船を縮める実験も定番であろう。しかし丸い風船を使うと、風船表面の一部しか液体窒素に浸けられず、縮むまで時間がかかる。

われわれは、ペンシルバルーン（細長い風船）を使った犬を使っている。これだと液体窒素に浸しやすいため、丸い風船より表面積の割合が大きいため、見た目の縮み方が激しく、



みるみると縮んでいく。また、犬の風船は小さな部屋に分割されているため、各部屋が一様に縮むので見応えもよい；長いままの風船を冷やした場合では、一部分が縮んで細くなり、その細くなった部分が広がっていく（それはそれで面白いのだが）。縮んだ犬の風船を液体窒素から引き上げると、みるみると膨らんで、元の犬の姿に戻る様子も子供達に好評である。

2.3 凍るしゃぼん玉

二酸化炭素の入った容器にしゃぼん玉を吹き入れて浮かべるのは定番であろう。空気より重い二酸化炭素にしゃぼん玉が浮かべる実験である。これをドライアイスの入った容器で行うと二酸化炭素ガスの温度はマイナス70度近いので、浮いているしゃぼん玉がだんだんと凍ってくる。凍ったまま浮かんでいるしゃぼん玉は魅力的である。子供達はいつまでもやろうとする。アンケート結果でも一番の人気である。予備実験ではアシスタントの学生もはまるくらいである。

当初は、毎回ドライアイスを用意していたが、だんだんと予算が減らされてきた。そこで、ドライアイスは諦めて液体窒素をいれた容器でやることにした。容器内の気体窒素の温度は十分に低く、密度も空気より大きく、しゃぼん玉を浮かせることができる。浮いたまま凍っていくところも観察できる。ただし、しゃぼん玉内の空気が縮むため、しゃぼん玉が凍るときに一部がへこんでしまう；ドライアイスでは、しゃぼん膜を通して二酸化炭素が中に入るため、凍るときにもしゃぼん玉はへこまずにすむ。



なお、この実験ではしゃぼん玉がすぐに割れてしまわないよう、砂糖を多めにいれた石けん液を使っている（例えば、水3に対してガムシロップ1の割合、これに液体洗剤適量）。

3 電気抵抗の変化

導体の電気抵抗は、温度を下げることによって小さくなる。超伝導への導入として、電気抵抗が関係するいくつかの実験を行っている。

3.1 アルミパイプとネオジウム磁石

これは室温では定番の実験である。垂直に持ったアルミパイプの中にネオジウム磁石を入れるとゆっくりと落ちていく。これを一人一人に見てもらおう。児童だけではなく、保護者の多くからも「おー」という感嘆の声が漏れる。

好奇心旺盛な児童からの質問に答える形で、パイプの中に電気が流れていることを説明する。さらには、より電気抵抗の小さい銅パイプでも同じ実験をしてもらい、よりゆっくりと落ちるのを見てもらう場合もある。

3.2 豆電球の光の変化

直径0.1~0.2mmのエナメル線10数mをペットボトル等に巻き付け、この銅線を経由して乾電池と豆電球をつなぐ。銅線の電気抵抗のため、豆電球はかすかにしか点灯しない。次に、銅線を巻き付けた部分を液体窒素に浸ける。すると銅線が冷えるにつれて豆電球は明るく輝き出す。部屋を暗くして実験をすると効果的である。



3.3 磁石の競争：室温パイプ vs 冷却パイプ

これは実験 3.1 のアルミパイプを 2 本使う演示実験である。1 本は室温のものを、もう 1 本は液体窒素に浸けておいたマイナス 200 度近くのものを使う。

この 2 本のパイプの中に同時にネオジウム磁石を落とし、どちらの磁石が速く(遅く)落ちるかを競争させる。児童には「いち、に、さん、…」と数えてもらう。室温パイプの方の磁石は「よん、ごー」くらいで落ちてくる。しかし、冷却パイプの方の磁石は「にじゅう」まで数えても落ちてこず、何かおかしいかなと思った頃によくポトリと落

ちる。

どうして冷やした方が遅いのかに興味を持つ児童に対しては、電気抵抗が小さくなったことが関係していることを説明する。先ほどのエナメル線のとくと同じように、アルミも温度が低くなると電気を流しやすくなる。磁石がゆっくり落ちるのはアルミパイプの中を電気が流れるせいであった。冷やしたことで電気がさらに流れやすくなり、磁石の落下速度もますます遅くなったのだと。

このあと、超伝導という究極的に電気を流しやすいものと磁石を使えば、もっと面白い現象を見られるよとあって、超伝導体の実験¹につなぐ。

4 その他の実験

4.1 酸素の液化

アルミ缶²に液体窒素を入れると、空気中の酸素が液化して缶の表面が濡れ、やがて滴が落ちてくる³⁾⁻⁵⁾。これは、窒素の沸点 -196°C に対して酸素の沸点が -183°C と 13 度ほど高いためである。

缶表面にできた滴が酸素であることを確認するため、われわれはつぎのような実験を子供達にやってもらっている。火のついた線香の先を缶表面にできた滴にふれるとどうなるか予想させてから、実際にふれさせてもらう。すると線香の火が一瞬激しく燃え上がるのを見ることがができる。火が消えると予想していた多くの児童はここで驚きの声をあげる。



缶の表面が液体酸素で濡れるのは液体窒素が入っている高さまでである。それより上部は水蒸気が凍った白い霜がついている。ここに線香をあてたら火はもちろん消える。蒸発して液体窒素が少なくなると霜の部分が下がってくる。ここで液体窒素を注ぎ足してもすでに霜ができてい

¹ 高温超伝導体を用いた超定番の磁気浮上実験である。次の様にすると、理屈を補うことで大学生向けの実験にもなる。まず室温で高温超伝導体の上にネオジウム磁石をのせる。それから液体窒素で超伝導体を冷やす。冷えてきて超伝導状態になると表面に接触していた磁石が浮き

上がる。これは、超伝導状態が単に電気抵抗がゼロというよりは、磁束を通さない性質(マイスナー効果)を持つ状態であることを示している。

² 表面が滑らかなら市販の飲料用アルミ缶でよい。個人的には「 -196°C 」と書いてある缶が気に入っている。

まくいかない。はじめから液体窒素を多めに（缶の2/3程度）入れておくとよい。

4.2 変身する絵

パイロットのフリクションペンを使うと「変身する絵」を作ることができる。このペンのインクは60℃以上で無色になるが、無色になったあとでもマイナス10℃以下くらいにするとインクの色が復活する。通常インクのペンで絵を描き、その上にフリクションペンで絵を描き足す。ドライヤーやアイロンなどでフリクションペンのインクを無色にすると、通常インクで描いた絵だけが残る。これで「変身する絵」の完成である。この絵を冷やせばフリクションペンで描いた絵が復活するので「変身」させることができる。

絵を「変身」させる方法はいくつかある。たとえば冷蔵庫の冷凍室にしばらく入れて置けばよい。あるいは冷却スプレーをかけるのでもよい³。われわれの実験では液体窒素を用いる。温度が低過ぎるせいか、液体窒素に浸してもインクの色はすぐには復活しない。液体窒素から引きあげてしばらくして温度が上がると、ようやくインクの色が復活する。このように、液体窒素を用いることで、変身する様子をゆっくりと鑑賞できて楽しい。

この「変身する絵」は導入部のつかみとして使っている。出前授業で小学校を訪れたときなどは、「そこで拾ったテストの答案です」といいながら用意した0点の答案を見せる。これを液体窒素に浸けて引き上げ、だんだんと100点の答案に変身するのを見せると生徒達は喜んでくれる。

5 おわりに

この実験教室には延800人近くの生徒に参加してもらった。この中から山形大学理学部の物理コ

ースに来てくれる人が出てくるのではないかと期待してしまう（もちろん、自然科学に興味・関心を持ち続けてもらっていただければそれで十分なのだが）。すべてを把握している訳ではないが、そのような学生に出会ったことはない。それでもうれしいことが一つあった。隣の研究室で雇われた新任の秘書が初期の「マイナス200度の世界」の受講者だったのだ。早速その方には経験者として「マイナス200度の世界」のアシスタントとしても活躍していただいた。

この実験教室は山形大学理学部の同僚達と開発・運営してきたものである。中でも長坂慎一郎先生と高橋良雄先生とは立ち上げ時から一緒にしている。両先生、および、ともに運営してきた大西彰正先生、北浦守先生に感謝する。また、故井町昌弘先生にはいつも温かく応援していただいた。井町先生のご冥福を祈るとともに、改めて感謝を捧げたい。

参考文献

- 1) 山形大学理学部地域貢献活動評価委員会：「山形大学理学部地域貢献活動に関する評価報告書」2008年
- 2) 山形大学 SCITA センター
<http://www.yamagata-u.ac.jp/scita/>（2020年2月27日閲覧）
- 3) 後藤道夫，盛口襄，米村傳治郎：「おもしろ理科実験集」シーエムシー，1996年
- 4) 後藤道夫，盛口襄，米村傳治郎：「おもしろ理科実験集2」シーエムシー，1999年
- 5) 五十嵐靖則，後藤道夫，古屋東一郎，片桐泉：「中・高校生の教師のための 実験で学ぶ楽しい物理上」丸善，1999年

³ 熱を効率的に奪うためにはスプレーするときに紙を宙に浮かせてやるとよい。スポーツ用の冷却スプレーでも

何とか可能だが、マイナス80℃のゴキブリ退治用冷却スプレーが効果的である。これだと瞬時に変身する。