

液体窒素を使った楽しい実験と実験技術

県立那覇高等学校教諭 古波蔵 崇

1. はじめに

人類がこれまでにつくり出した温度は、高温では水素の核融合の約1億 から、低温では断熱核消磁で到達した銀の原子核の約1億分の1K (絶対温度) まで17桁以上の温度範囲である。これに比べれば、日常生活は常温 (15) を中心とした数十 の範囲で、ひじょうに狭い範囲に限られている。温度を変えたとき、物質の性質が大きく変化するのはよく目にする。このことは、基礎科学だけでなく、実用的な応用にとっても重要な意味をもつ。例えば、天然ガスは - 162 以下で凝縮されて日本に運ばれている。凝縮することにより、体積が数百から数千分の一になるので輸送には便利である

今回、物理 B「熱とエネルギー」の単元で、液体窒素を使った生徒実験を考えた。液体窒素の温度は - 196 で、この温度では超伝導現象など興味深い現象を観察することができるからである。液体窒素の蒸発を利用した「フィルムケースロケット」の実験、酸素の沸点 (- 183) が窒素よりも少し高いことを利用した「酸素の凝縮」の実験、導体の電気抵抗が温度依存する実験などを行う。実験で「 - 196 の世界」という日常とはまったく異なった世界で起こる興味深い現象を生徒自ら観察することにより、科学への興味・関心をもたせ、物質の三態やシャルルの法則などを理解させることが大きなネライである。

2. 研究概要

(1) 研究計画

5月...課題研究テーマを決定する。

6月～7月...実験書やインターネットを使って実験内容を検討する。

8月～10月...琉球大学極低温センターで予備実験を行う。

11月上旬...事前学習を行う。 再度、予備実験を行う。

11月下旬...研究授業で液体窒素を使った実験を行う。 実験後にアンケート調査を行う。

12月～1月...課題研究のまとめを行う。

(2) 事前学習

冷蔵庫や冷凍庫の温度について実験の前にアンケート調査を行った。その結果、温度を正しく答えられた生徒は全体の15%であった。生徒の温度に関する概念は、高温領域では「暑い」といった人間の感覚から始まり、マグマ (約1000)、金属の融解、太陽の表面温度 (数千) 程度までである。しかし、低温領域は氷 (0) やドライアイス (- 79) のように高温領域に比べて狭い温度領域である。また、液体窒素のイメージについては、「バナナで釘を打つ」、「バラが粉々になる」、「ターミネーター」など、液体窒素に関する知識がテレビコマーシャルや映画の影響によるところが大きいことがわかった。ほとんどの生徒が液体窒素を実際に見たことがない。以上の結果を踏まえて、次の内容を事前学習した。

- 温度が物理変数として客観的に扱えるように数量化 絶対温度の導入
- 液体窒素の予備知識 安全性

(3) 液体窒素

空気の約8割を占める窒素は、常温では気体であるが、 - 196 (絶対温度77K 1気圧での沸点) まで温度を下げると液体になる。液体窒素は実験の寒剤、工業プラント、受精卵の保存、爆発物処理、超伝導を利用したリニアモーターカーの開発などに利用されている。また、沸点と凝固点が近いために、減圧するとすぐに白色の固体になる。

(4) 液体窒素の購入方法

県内では株式会社オカノが液体窒素を販売しており、256円/リットル（平成12年10月現在）で購入できる。また1991年、琉球大学に極低温センターが設立され、教育研究用に液体窒素と液体ヘリウムを製造、供給するようになった。これにより、大学での低温分野の研究や、学校の授業、科学教室で液体窒素を使った実験が数多く行われている。液体窒素の購入に当たっては、小口の液体窒素貯蔵容器（以下デュワーと略す）をあらかじめ準備しなければならない。

県内の入手先

株式会社オカノ	Tel 098-356-2040	営業時間8:00～17:00	デュワー貸出なし
極低温センター	Tel 098-895-8954	事前に電話連絡が必要	デュワーは応談

(5) 液体窒素の運搬方法

液体窒素を運搬したり、実験を行ったりするときには液体窒素を入れるデュワーが必要である。デュワーは、いわゆる魔法瓶で、間を真空にした二重の壁をもつ液体容器であり、その名は考案者である低温実験家に由来する。デュワーの材質はいくつかあり、運搬にはステンレス製のデュワーがよい。演示実験をするときは、液体窒素の様子が見える透明なガラス製のデュワーがよい。しかし、銀メッキされていないガラスデュワーは周囲の輻射熱を通すので、長時間保存することはできない。

(6) 実験の内容

液体窒素を使った実験は実験書や、インターネット上で公開されている実験方法などを参考にした。予備実験で行った手軽で安全にできる液体窒素実験を次に挙げる。

表1 液体窒素を使った実験例

	実験方法	結果	どうして？	備考
1	液体窒素を生徒の目の前で机の上にこぼす。机の上をすべる。		液体窒素が机によって温められ蒸発する。すると、液体窒素はホバークラフトのように机上をすべる。	液体窒素が皮膚に触れることがあるが、少量なのですぐに蒸発する。
2	液体窒素に一瞬だけ手を入れる。さらさらした感触がする。熱を感じない。		手の温度によって液体窒素が温められ蒸発する。その気体が手を覆い断熱する。	濡れた手を入れると、水分が凍るので危険である。
3	液体窒素をビニール袋に入れて生徒に回す。勢いよく爆発する。		袋に閉じこめられた液体窒素は蒸発して体積が膨張し、内部の圧力が増す。時間が経つと風船が爆発する。	ビニール袋の口を下にして持つと、液体が下にたまるので、凍傷に注意する。
4	液体窒素をお茶などのペットボトルに入れ、洗濯ネットの中に入れる。さらに透明のゴミ袋の中に入れる。爆発音とともに勢いよく爆発する。		実験3と同じ	炭酸飲料のペットボトルは強い圧力に耐えられるので使用しないこと。
5	ティッシュペーパーを液体窒素で濡らしフィルムケースの中に入れる。爆発音とともに蓋が飛び出す。		実験3と同じ	人、窓ガラス、電灯などに向けないこと。

6	液体窒素に野菜・花・果物を入れる。もろくなり壊れる。	植物の細胞の組成は約90%が水である。液体窒素により細胞内の水が凍るため、硬くてもろくなる。	バナナには手袋を使用する。
7	ゴムボールを液体窒素に十分入れてから落とす。ガラスのように音を立てて割れる。	温度が低くなると、ゴムの弾性がなくなり分子の結合が簡単に切れる。	沸騰が落ち着くまで冷却すること。
8	空き缶（コーヒーのショート缶）を斜めに傾けて固定し、液体窒素を入れる。空き缶の表面に液体ができ、流れ落ちる。火がついた紙の上に落とすと炎が大きくなる。	酸素の沸点は窒素よりわずかに高いので、空気中に含まれる酸素ガスだけが凝縮して空き缶の表面に付着する。酸素の助燃性により炎が大きくなる。	酸素は常磁性なので、強磁石に引き寄せられる。
9	豆電球と乾電池を直列につなぎ、乾電池を液体窒素に入れる。1、2分で点灯していた豆電球の明かりが消える。	低温では乾電池の中の化学反応（電極反応）が起これにくくなり、電流が流れなくなる。	液体窒素は化学反応を止めるために、爆発処理にも使われている。
10	豆電球と乾電池を直列につなぎ、回路の一部をコイル状にして抵抗を大きくして豆電球の明かりがつかないようにする。そのコイルを液体窒素に入れる。豆電球が点灯する。	エナメル線（銅線）のコイルを冷却すると、エナメル線中の銅イオンの熱振動が小さくなり、コイルの電気抵抗が低くなる。	エナメル線のコイルの長さは50～70m、直径1mm程度のものがよい。
11	超伝導体 ⁱ にネオジム磁石 ⁱⁱ を近づけ、液体窒素で冷却する。磁石が宙に浮く(図1)。磁石を持ち上げると、超伝導体も持ち上がる。	斥力だけでなく引力も働くことは、マイスナー効果 ⁱⁱⁱ だけでは説明できない。これは超伝導体による磁束のピン止め効果 ^{iv} である。	超伝導体は液体窒素の蒸気で予冷しておく。

(7) 液体窒素を使った実験を行うときの注意

- 液体窒素の保存には真空断熱された専用の容器（デュワー）が必要である。
- 閉めきった部屋で実験を行うと、蒸発した窒素ガスが充満して酸素欠乏になることがある。必ず換気した部屋で保管・実験を行うこと。
- 液体窒素を入れた容器を密封すると、内圧が上昇して破裂するので危険である。デュワーを使用するときは、絶対に密栓してはいけない。
- 冷えた金属などは絶対に素手で触ってはいけない。凍傷を避けるには専用の手袋や革手袋を着用すること。軍手は低温ガスや液体が網目を通ったり、繊維にしみこんだりして凍傷になる危険性があるので使用しないこと。

3. まとめと今後の課題

実験終了後にアンケート調査を行った。回答を見ると、すべての生徒が実験を楽しむことができ好評であった。低温の世界に興味・関心を持つことができた。液体窒素は低温または温度変化による物質の状態の変化（物質の三態、シャルルの法則、導体の電気抵抗の減少など）を観察するのによい教材である。また、50分の授業の中で予備実験の内容をすべて行うことはできないので、実

験内容を精選して、演示実験にかける時間を長くとり、生徒実験を15分にした。生徒実験の時間を長くすると、生徒の動きを把握できなくなる。液体窒素は一日以上保存できないので、実験の続きを翌日に行うこともできない。したがって、「もっと実験をやりたい」という余韻を残して実験を終えるぐらいの時間配分が適当だろう。

今後の課題として、液体窒素実験の前に日常にある氷やドライアイス（二酸化炭素の固体）を用いた実験を行い、氷　ドライアイス　液体窒素の順に低温実験を系統立て、低温物性の学習を深化させたい。また、常磁性や淡い青色を示す液体酸素を使った実験も興味深い。

4. おわりに

この課題研究を通して、教材研究の大切さを身に染みて感じた。私は教材研究をするときにいつも思い出す言葉がある。「真理は常に具体的である」これは、大学の指導教官であった矢ヶ崎克馬先生の言葉である。具体性こそがあらゆる変革を生み出すてこである。今後もこの言葉をモットーにして自己研鑽に励む気概を持ちたい。

最後に、課題研究をまとめるにあたり、私を支えてくださった多くの方々に感謝します。忙しい身を顧みず、授業実践に必要な知識を丁寧に御指導、御助言をしていただいた指導教諭の赤嶺正信先生、県立教育センター理科研修課主任研究主事の新城功先生、本校校長の金城永真先生に心より感謝を申し上げます。また実験を行うにあたり、液体窒素を提供してくださった琉球大学極低温センター、実験装置の作製や取扱い方、実験手順について多くの御指導、御助言をいただいた極低温センター技官の宗本久弥さん、ならびに恩師である理学部教授の矢ヶ崎克馬先生に深く感謝します。

5. 参考文献

宗本久弥 2000年4月 琉球大学極低温センターだより第3・4合併号

小林俊一・大塚洋一 1995年2月20日 低温技術 [第2版] 東京大学出版会 P.75～76

国立天文台編 2000年11月30日 理科年表2001 丸善 P.469

数研出版編集部 1999年4月1日 視覚でとらえる化学図録 数研出版株式会社 P.42～45

国立科学博物館 <http://www.kahaku.go.jp/scicom/bank/008/index.html>

三重県総合教育センター <http://www.mpec.tsu.mie.jp/kyoiku/kyouzai/kagaku/body025.html>

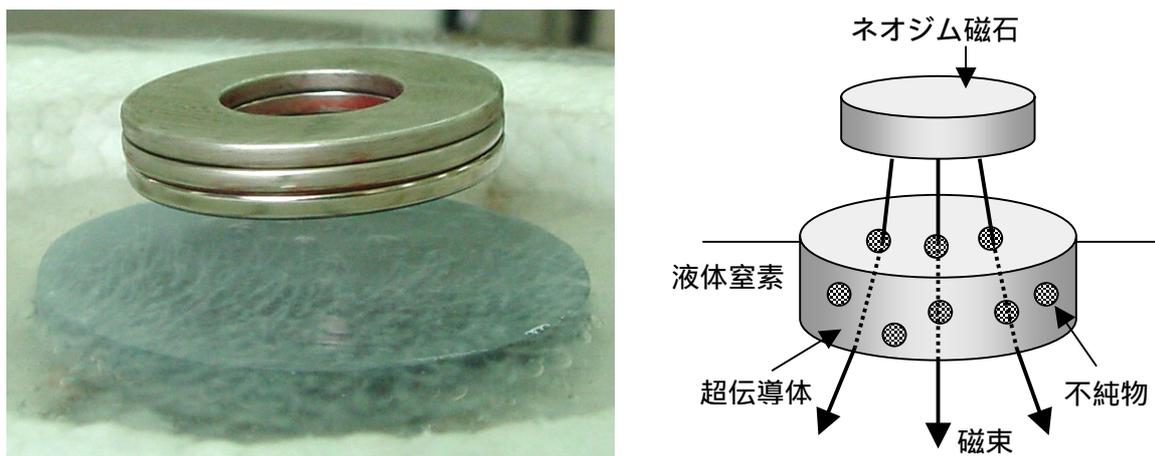


図1 ピン止め効果で宙に浮く磁石

- i YBCO系酸化物高温超伝導体。臨界温度は90K。液体窒素（77K）で超伝導状態にできる。
- ii 希土類磁石 元素記号Nd フェライト系磁石の10倍以上の磁力を持つ。
- iii 超伝導状態で磁束を排除すること。
- iv ある種の超伝導体では、臨界温度以下でも不純物が超伝導状態にならず、そこに磁束が捉えられること。磁束の変化はピン止め効果により妨げられる。