

マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第4報）

–オンライン版「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における新たな試み–
A Practical Study of the Experimental Lecture Using Multimedia Contents (Part 4)
–The Application to Online “Future Creation University for children in Tochigi”–

佐々木健太[†], 山田洋一[‡]

Kenta SASAKI and Yoichi YAMADA

概要 国の新型コロナウイルスまん延防止等重点措置の適用を踏まえ、栃木県版緊急事態宣言が出されていた令和3年8月19日、「とちぎ子どもの未来創造大学：マイナス200°Cの世界」講座を昨年に引き続きオンラインで開講した。本研究室でこれまでに開発された液体窒素を安全に活用した小中高校生に魅力ある教材に加え、今回新たに開発した教材をZoom上にて展開した。初めてオンラインで開講した昨年度は、特に臨場感を意識して実施したが、二年目となる今年は、観察しやすさに重きを置き、画面を通じた観察主体でも学びを深められるような、いくつかの新しい実験を追加した。それらの新規コンテンツ群の開発と講座の効果について、詳細に述べる。

Summary On August 19, 2021, when Tochigi Prefecture declared a state of emergency in response to the application of the government's semi-emergency coronavirus measures, the "Future Creation University for children in Tochigi: The World of Minus 200°C" lecture was held online as in the previous year. In addition to the teaching materials developed in our laboratory, which are attractive to elementary, junior high, and high school students, the newly developed teaching materials were presented on Zoom. Last year, when the course was offered online for the first time, we were particularly conscious of the sense of presence. In this year's course, we have added several new experiments that allow students to deepen their learning by focusing on the ease of observation. The effects of the course, including these new contents, were discussed in some details.

キーワード: 液体窒素, 小中学生, とちぎ子どもの未来創造大学

Keywords: Liquid Nitrogen, Elementary and Junior High school Students, Future Creation University for children in Tochigi

[†]宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科 工農総合科学専攻 農芸化学プログラム

[‡]宇都宮大学 共同教育学部 (連絡先: e-mail yamadayo@cc.utsunomiya-u.ac.jp 著者2)

1. はじめに

これまでに本研究室では、極低温物質である液体窒素を安全に活用した教材をはじめ、小中高校生及び大学生に向けて、楽しみながら学びを深化できるような魅力ある科学実験教材開発に取り組んできた [1] - [7]。

その成果を活用して、平成 29 年度より栃木県教育委員会が主催している「とちぎ子どもの未来創造大学」 [8] 内で毎年「マイナス 200°Cの世界」という公開講座を開講し続けている。この企画では、小学校 4 年生から中学校 3 年生までと幅広い児童・生徒に向け、-196°Cという普段観察・体験できない極低温下での現象を、楽しみながら主体的に学んでもらってきた [9] - [12]。

5 年目となる令和 3 年度は、国の新型コロナウイルスまん延防止等重点措置の適用を踏まえ、栃木県版緊急事態宣言が出されていた令和 3 年 8 月 1 9 日、昨年度に引き続き Zoom を利用したオンラインでの開講となった。昨年度は、カメラ越しに観察することが難しかったものや演示実験で理解を十分に深められなかったものがあった [12]。そこで、今回は観察しにくい実験を削除し、新たに開発した観察しやすさやわかりやすさを重視した実験を加えた。以下に具体的に述べる。

2. 実験コンテンツ群の開発

初めてオンラインで開講した昨年度は、特に臨場感を意識して実施した。加えて二年目となる今年は、観察しやすさに重きを置き、画面を通じた観察主体でも学びを深められるような、いくつかの新しい実験を追加した。

(1) 花火を使い燃焼継続の条件を調べる実験

カメラを用いたオンラインでの講座では実際に触れ体感することが出来ない上に、水蒸気が邪魔して見えない実験は観察することが難しい。例年であれば液体窒素を床にこぼしたり、実際に触れたりすることで、温度差が大きい場合には液体が物体に触れないことを学ぶ実験は其中でも特に難しい。そこで身近でかつ、目を惹くもので代替するべく花火を教材化しようとした。

教材化に向け行った予備実験では、一般的に売られている花火セットを水中と液体窒素中で一通り燃焼させ、比較した。今回実験に使用した花火は、紙巻き花火 (図 1, 上)、スパークル花火と呼ばれる火花が飛び散るタイプの花火 (図 1, 中)、



図 1. 三系統の花火 (上から紙巻き花火, スパークル花火, 線香花火)

それに昔ながらの線香花火（図1，下）の3種類に分けられる。

まず、火の付いた花火を水中に入れた結果として、紙巻き花火（図2，右）は空气中ほどではないが水中でも燃焼が続いた。スパークル花火（図3，右），線香花火は水中では燃焼しなかった。

同様に、火の付いた花火を液体窒素中に入れた場合、紙巻き花火（図2，左），スパークル花火（図3，左）は液体窒素中でも燃焼した。激しく燃焼している花火の近傍では、熱のため液体窒素が瞬時に沸騰し、液体に濡れない空間がある。その部分は、気化した窒素に満たされて無酸素状態になっているが、花火に含まれる酸化剤からの酸素によって、燃焼が継続すると考えられる。それに対し、線香花火は液体窒素にひたすと、瞬時に消えた。また、液体窒素の液面に近づけるだけで暗くなり消えたように見えたが、この段階で空气中に戻すと燃焼が再開した。液体窒素の表面近くでも盛んに窒素が気化しており、酸素欠乏状態なので、線香花火はほとんど消えたようになったが、完全には消えておらず、新鮮な空气中では再び赤く燃焼するようすが観察できた。



図2. 紙巻き花火を液体につけた様子。左が液体窒素中，右が水中



図3. スパークル花火を液体につけた様子。左が液体窒素中，右が水中

燃焼が継続するための必要条件は、燃えるもの、熱、酸素（または新鮮な空気）が供給され続けることである。紙巻き花火（図2，左），スパークル花火（図3，左）では、どちらも燃焼部分が直接液体窒素に触れていないので、それほど熱が奪われないで済む。線香花火は、火力が弱いので液体窒素に入れるとすぐに濡れ、冷やされるので、瞬時に消火したのである。

これらより、花火の中に含まれている酸化剤は、線香花火 < スパークル花火 < 紙巻き花火の順で多くなっていると考えた。

これらの観察事実から、液体窒素中での燃焼物体のように温度差が大きい場合、低沸点の液体が瞬時に気化し、物体は触れないことを観察する実験ができると判断した。教材化にあたっては、室内での実験を考慮し、煙の量と実験の再現性を確認する為に、図1の示した三系統の花火ごとに、複数種

類にわたって試行錯誤を行った。その結果、紙巻き型、線香型は、種類による差はあまりなく、スパークル型は種類によって煙の量や光量の差が大きいことが分かった。すなわち、スパークル型として試した井上玩具煙火株式会社の「8スパーク」8種類のうち、黄色の「星火花」という種類の花火が、比較的煙が少なく、長時間反応した。そこで本実験では、「星火花」を用いることにした。

また、当日中継に用いる Web カメラで確認したところ、解像度の都合上、光と煙で視界が不明瞭な部分が多いことが判明したため、高画質で撮ることのできるスマートフォン (*iPhone 12*) を用いて撮影した動画を教材とした。

(2) 液体窒素のろ過

ろ過は、液体と不溶性固体を分ける、物質の分離精製の基本的な操作である。上述の(1)花火を使い燃焼継続の条件を調べる実験の過程で生まれた濁った液体窒素を用い、液体窒素のろ過実験(図4)を検討した。

これまで、液体窒素中で粉々になった花びらや食品など、目に見える大きさの固形物を、キッチンネットなどをフィルターに用いて分離し、簡易的な濾過とする方法があった。しかし、これはスケールが大きく、また、目の粗い編み目越しなので、ろ過のイメージと離れてしまう問題があった。

そこで、図4に示すように黄緑色の花火の燃焼残渣が懸濁した液体窒素を、白色のコーヒーフィルターを用いてろ過し、残渣を液体窒素から分離する実験を試行した。

図4のコップには、無色透明の液体窒素が溜まったことが確認できた。このようすも動画で撮影することにより、学校教育で学んだろ過のイメージに近づけ、液体窒素も、「液体」としてのイメージがわく教材とした。

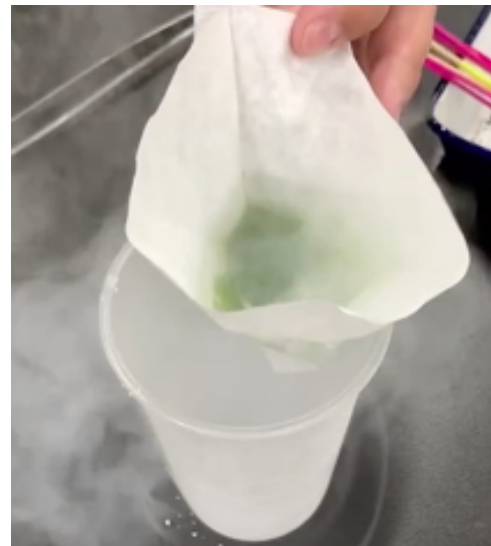


図4. 濁った液体窒素を濾過する様子

(3) 生卵とゆで卵

昨年度の講座 [12] の中で、「 -200°C の世界～みのまわりのもの～」では、水分を多く含むものとしてバナナ、花、豆腐などを用いてきた。この実験は叩いたり砕いたりする体験を主体とするものであった。今回、観察でもより理解しやすいよう、常温になれば液体状にもどる生卵を用いて、極低温下での凍結実験を検討した。予備実験として生卵とゆで卵の2つを冷却したところ、2つとも同様に

ひびが入った。そのままさらに冷却した後、中を確認したところ、どちらも卵白部分が白い不透明な固体、黄身の部分が黄色不透明な固体になっており、見た目では区別できない状態になっていた。

ところが、常温に戻すと、生卵は元どおり無色透明の白身に戻ることも確認されたので、状態変化と熱による変性の違いをみる実験として、有用であることがわかった。

3. 実験講座実施当日の展開

今年度も昨年度に引き続き Zoom を用いた中継であったため、機材や設定は去年のものを引き継ぎ、設定を行った。また、昨年はホワイトボードを用いて解説を行ったが今年度は事前に PowerPoint を用意し、具体的な図や写真を取り入れた解説を行った。また、今回新たに加えた動画教材は MP4 形式でサイズが大きく、オーディオのビットレートの減少が懸念されたが問題なく受信できたため、そのままの形で使用した。

(1) 空気の成分と説明

液体窒素を扱う前に、PowerPoint を用い空気の成分に関して説明をし、窒素、酸素とはどういう物質なのかを解説した。その後、液体窒素をデュワー瓶に注ぎ、説明と温度の確認、取り扱い上の注意点を説明した。その過程で、液体窒素が液体としての性質を持つことを前章(2)の実験で確認した。

(2) 液体窒素中での炭素棒への通電

昨年同様、前報[10]で、オプションの実験として紹介した「液体窒素中でシャープペンシルの芯(炭素棒)に電圧をかけ通電により発光させる」実験を行った。まず、空気中で炭素棒に電圧をかけ電流を流した場合、発熱しながら発光することを紹介する。液体窒素にいれ、強く発光することを確認する。観察しつつ温度と電気抵抗の説明をし、電圧を強めるとより光が強くなることを示した。

その後、空気中に取りだし、同様に行うと、一定時間が経過すると炭素が高温になり空気中の酸素と化合し焼き切れることを示した。これより、液体窒素中では、周辺に酸素が無いので炭素の燃焼、すなわち酸素との化合が起こらないことを確認しつつ、熱平衡により高温にならないことを説明した。無酸素状態で全く燃焼が起こらないことをしっかり押さえた。

(3) 液体窒素中での花火の燃焼

次に、液体窒素中での燃焼に着目し液体窒素中で花火が燃焼するかを確認した。最初に火の付いたマッチを液体窒素に近づけると火が消えることから、通常窒素しかない状態では燃焼は起こらないことを再確認する。

次に、線香花火を液体窒素に近づけても火が完全に消えないことから、花火に酸化剤が入っている

ことを確認する。これより、花火の中には酸化剤が含まれていて、酸素がなくても燃焼することができることを最初に確認しておく。

その次にスパークル花火が、水中では燃焼しないが、液体窒素中で燃焼することを確認する。PowerPoint で図を交えつつ、温度差が大きい場合に液体は物体に触れない（濡れない）ことを説明した。その後、紙巻き花火（手持ち花火）は、どちらでも燃えることを確認し、酸化剤が非常に多いと水中でも燃焼することがあることを示し、花火の取り扱いについて注意を与えた。

表 1. 花火の様子と酸化剤の関係

花火	水中での燃焼	液体窒素中での燃焼	酸化剤の量
手持ち花火	燃焼する	燃焼する	多い
スパークル花火	消える	燃焼する	中間
線香花火	消える	完全に消えない	少ない

(4) 液体酸素の様子

酸素に注目し、液体窒素で冷却するとどうなるかという実験を行った。酸素を満たしたポリ袋を輪ゴムで止めたものを準備する。気体が漏れないことを確認し、ポリ袋の下半分を液体窒素にひたす。液化した酸素がたまるので、液体の色を観察する。その際、酸素の沸点である -183°C を確認する。ある程度液体酸素がたまったら、ポリ袋を液体窒素浴から取り出し、側面からネオジム磁石を近づけると液体酸素が磁石の方へ引き寄せられることを観察する。同様に、液体窒素がネオジム磁石につくかどうかとも確認する。

ここまでを第一部とし一度質疑応答の時間を取った。

(5) 身の回りにあるものの変化

昨年同様、「 -200°C の世界～みのまわりにあるもの～」として、身の回りにあるいろいろな物が -200°C で固化したところに衝撃を与えることと、ゴムが -200°C の状態ではどう変化するかを確認した。豆腐、卵、生花などの水分が含まれているものは凍り、ゴムボールやプラスチック製の造花、輪ゴムなどの水分を含まないものは凍ることがないことを確認する。また、常温に戻すと元に戻る様子を生卵とゆで卵の比較を用いて確認した(図5)。



図 5. 冷却され固まった生卵。見た目ではゆで卵と区別が付かない

対して、ゴムバンド、ゴムボールはいずれも合成有機化合物であり、水分を含まないから凍ることはない。しかしながら、冷却するとゴムは、縮んだ状態でも、伸ばした状態でも固まる。ゴムにある弾性が失われてしまうことについて、最初にゴムの弾性が、cis-2-ブテン形骨格の平面角の変化に起因することと分子模型モデルを用いて説明する。(図6)その後、液体窒素温度下では、縮んだ状態、つまり正常な平面角のときであっても、伸ばされてC=C-C平面角がより大きくなった状態であっても、その結合角で固定されると説明する。

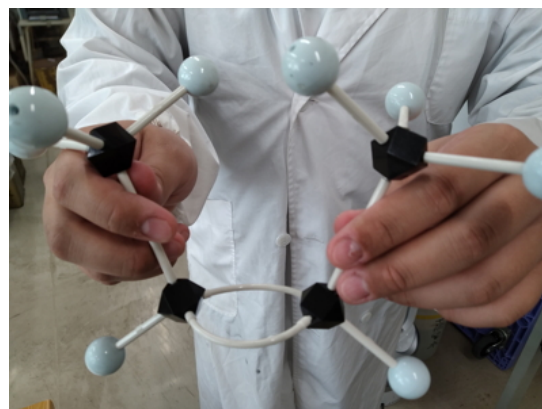


図6. 分子モデルを用いて説明している様子

結果として固定されるから弾性は失われ、伸ばされたゴムは伸びたまま、縮んだゴムは縮んだまま、硬いことを説明した。例年、質疑応答で詳しく聞かれることが多く前年度まではホワイトボードの図と口頭の説明を行っていたが、今年度は分子模型モデルを用いて詳しく説明した。

(6) ウィスキーの融点と凝固点

次に水分の含まれている混合物としてウィスキーを冷却し凝固点を測定した。また、完全に凍ってから常温に戻し、融点の測定を行った。それぞれ変化の始まった温度が一点で定まらなかったことから、混合物の状態変化の温度が混合物の成分に依存することを確認した。

(7) 超伝導

最後に超伝導実験セットを用意し、室温では超伝導物質（希土類元素等を成分とする焼物）に磁石を載せても相互作用が無いことを確認しておく。ゆっくりと容器に液体窒素をそそぎ、超伝導物質を液体窒素で冷却する。液体窒素は超伝導物質が完全につかるまでそそぐ。プラスチック製ピンセットで静かにネオジウム磁石を載せると、マイスナー効果により磁石が宙に浮く現象を観察する。

また、横や逆さにしても一定の距離を保つピン止め効果も観察した。

4. 受講者の反応

(1) 当日の質疑応答

受講者からの質問とそれへの応答として、ボイスとチャットで質疑応答の時間を設けた。「液体窒素は透明なのに液体酸素はなぜ青色になるのか?」、「液体酸素だけどうして磁石にくっつくのか?」、

「造花のような水分の含まれないものなら液体窒素に入れても凍らないのか？」など、積極的な質問が多く挙がった。液体酸素に関しては、特別な電子（正確には電子軌道）があることを大まかに説明し、それが関係しているとだけ説明した。

水分の含まれないものとして、ティッシュや布などは液体窒素に浸けても固まらないことから、水分がないと凍らないことを確認してもらった。また、実験で行ったゴムのように、「水分を含まなくても冷却することで固くなるもの」ならば有るということも伝えた。

(2) 受講者のアンケート結果

オンラインで実施の受講者アンケートを分析した。30 中 26 人が「実験が楽しかった」と答えていた。さらに、30 人中 12 人が花火の実験への肯定的な感想を回答してくれたため、今回の講座での新たな試みとしては、成功をおさめたと考えられる。

5. おわりに

今回の講座は、昨年に引き続きオンライン上で開講になった 2 回目の講座のため、昨年の検討課題を踏まえ、新たに実験を加え、また一部内容は更新して行った。来年以降どういった開催になるかはわからないが、今回新たに加えた実験も踏まえ、理科への興味関心を深めることができるよう、アンケート分析を基にさらなる改善を行う所存である。

(謝辞) 本研究を行うにあたり、宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科 櫻井智也氏と菅野雅貴氏、並びに宇都宮大学大学院 教育学研究科 寺山知宏氏には、実験や動画作成でご協力を頂きました。心から感謝します。

また、快くアンケート調査委に応じて頂いた「とちぎ子どもの未来創造大学」の受講生のみなさんと、関係諸先生方に深謝します。

動画画像を記録し、アンケート実施にご尽力して頂いた宇都宮大学地域連携室 荒井 隆 室長補佐に感謝します。

本研究は、令和 3 年度科学研究費助成事業 基盤研究 (C) (一般 21K02852)、及び宇都宮大学基金 (3 C 基金) からの経費支援を受けて実施しました。ここに記して謝意を表します。

6 参考文献

[1] 森川鐵朗, 山田洋一, 吉村忠与志, WWW 上の化学教育活動と「化学教育ジャーナル (CEJ)」のめざすもの, 化学とソフトウェア, Vol. 23, pp. 131-138 (2001) .

[2] 山田洋一, 松居誠一郎, 簡易比色計の環境教育への応用と問題点, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, Vol. 25, pp. 371-375 (2002) .

[3] 山田洋一, 亀山裕美, 井口桂一, 学校で使える大気汚染情報提示システムの試作, 宇都宮大学教

教育学部教育実践総合センター紀要, Vol. 26, pp. 135-144 (2003) .

<http://hdl.handle.net/10241/00005355>

[4] 山田洋一, 南 伸昌, 本澤秀二, 中学生に魅力ある理科授業展開 (第1報), 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, Vol. 27, pp. 111-118 (2004) .

<http://hdl.handle.net/10241/00005327>

[5] 鈴木 勲, 山田洋一, 黒鷲英輝, 高大連携のための化学実験教材 (第1報), 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, Vol. 28, pp.85-91 (2005) .

<http://hdl.handle.net/10241/00005298>

[6] 山田洋一, 南 伸昌, 村上 歩, 中学生に魅力ある理科授業展開 (第2報), 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, Vol. 28, pp. 93-101 (2005) .

<http://hdl.handle.net/10241/00005299>

[7] 山田洋一, 南 伸昌, 鈴木 勲, 高山芳樹, 松本良雄, 中学生に魅力ある理科授業展開 (第3報), 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, Vol. 29, pp. 145-151 (2006) .

<http://hdl.handle.net/10241/00005269>

[8] 栃木子どもものの未来創造大学ホームページ, 栃木県教育委員会事務局 生涯学習課

<https://www.tochigi-edu.ed.jp/rainbow-net/kodomo-daigaku>

[9] 小沼卓人, 山田洋一, マルチメディア教材を用いた実験講座の実践, 宇都宮大学教育学部教育実践紀要, Vol. 3, pp. 417-420 (2017) .

<http://hdl.handle.net/10241/00010557>

[10] 山田洋一, マルチメディア教材を用いた実験講座の実践 (第2報), 宇都宮大学教育学部教育実践紀要, Vol. 4, pp. 71-78 (2018) .

<http://hdl.handle.net/10241/00011132>

[11] 夏目ゆうの・瀧本 家康・井口 智文・伊東 明彦・山田 洋一, 令和2年度まで2年間の高大連携科学実験講座の成果分析について(2021), 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要 第8号, pp. 151-163 (2021).

[12] 佐々木健太・君島 大貴・山田 洋一, マルチメディア教材を用いた実験講座の実践 (第3報), 宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要 第8号, pp. 169-174 (2021).