

マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第3報） —オンライン「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における活用—

佐々木健太・君島 大貴・山田 洋一

宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要 第8号 別刷

2021年8月31日

マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第3報）[†] —オンライン「とちぎ子どもの未来創造大学」企画における活用—

佐々木健太*・君島 大貴**・山田 洋一**
宇都宮大学大学院地域創生科学研究科*
宇都宮大学共同教育学部**

新型コロナ禍への対応として、我々が開発し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を、オンライン版「とちぎ子どもの未来創造大学」という企画上に展開した。これまでの対面式の企画と比較して、リアルタイムでの動画中継によってどのように臨場感を出すかということについて、十分な検討と準備を要した。本報では、具体例を紹介しつつ、いくつかの留意点や改良点について論じた。合わせて、新たに追加した学びを深めるためのコンテンツ群を提供した。

キーワード：マルチメディア，教材，実験講座，とちぎ子どもの未来創造大学

1. はじめに

我々は、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、小中高校生に魅力ある教材開発に取り組んできた [1]-[7]。平成29年度より、それらの蓄積を栃木県が主催する「とちぎ子どもの未来創造大学」という企画 [8] の実験テーマとして展開し、小4から中3までの児童・生徒に、楽しみながら主体的に学んでもらっている [9]-[10]。

四年目となる令和2年度は、新型コロナ禍への対応として、とちぎ子どもの未来創造大学の企画もオンラインで実施されることとなった。背景には、家庭への高速インターネット環境の普及促進がある。我が国における世帯（家庭）の情報通信機器保有状況を機器別に見ると、スマートフォンが⁸83.4%、パ

ソコンが69.1%、タブレット型端末が37.4%である。さらに、自宅のパソコンやタブレット型端末等からインターネットに接続している世帯のうち、高速で大容量の光回線など「ブロードバンド」を利用している世帯の割合は、89.0%となっている [11]。そのような環境の中で、セミナー開催のオンライン化は、テレワーク導入などと並び、感染症対策として重要かつ有効であろう。

2. これまでに開発した教材群

これまでの企画 [10] では、水の沸騰と、液体窒素の沸騰の様子をビデオで比較した後、講師の演示実験を見て、ワークシート（観察したこと・考えたこと）の記入練習を行っている。次いで、希望するテーマ（酸素を冷やす、二酸化炭素を冷やす、空気を冷やす、エタノールを冷やす、氷を冷やす、輪ゴムを冷やす）毎に分かれて実験し、ワークシートに観察したことなどを記録する活動を行う。最後に全体で気づきを共有するため、討論の時間を設けた。

(1) 中継の準備

液体窒素を使った実際の実験では、器具や道具を操作しているところを、フルハイビジョン画質のWebカメラ（図1. 解像度1920×1080、マイク付き、USB接続）でリアルタイム中継することを考えた。

[†] Kenta SASAKI*, Hiroki KIMIYAMA** and Yoichi YAMADA**: A Practical Study of the Experimental Lecture to Learn about Boiling and Freezing Points of Liquids (Part 3) -The Application to Online "Future Creation University for Children in Tochigi"-

Keywords: multimedia, teaching materials, experimental lecture

* Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University

** Cooperative Faculty of Education, Utsunomiya University

(連絡先:yamadayo@cc.utsunomiya-u.ac.jp 著者3)

Webカメラを内蔵しているノートパソコン（以下、PC）であれば、それを使った中継も可能であるが、ノートPCではカメラはスクリーン上部にマウントされているので、撮影時の取り回しは良くない。



図1. 中継に用いた機材

まず、Zoomの〔設定〕>〔ビデオ〕では、〔カメラ〕として〔USB 2.0 HD1080P PC Camera〕として認識されたので、接続は問題無い。なお、サイズ（解像度）選択オプションがあり、デフォルトの設定（横／縦比2:1）・オリジナルサイズ（7:5）・HD（16:9）の3種類から択一で選択できる。今回の中継では、PCでの視聴が主であると想定し、オリジナルサイズを選択した。ただし、Zoomの〔設定〕>〔画面の共有〕>〔画面を共有している場合のウィンドウサイズ〕は、◎全画面モードとした。

次に、Zoomの〔設定〕>〔オーディオ〕では、Microphoneとして〔システムと同じ〕>〔USB 2.0 HD1080P PC Camera Audio〕と切り替えれば、接続は問題無い。なお、Speakerは〔内蔵出力（内蔵スピーカー）〕で支障ないが、実際にはPCのスピーカーから音を出さないように、ヘッドホンまたはイヤフォンを接続しておかなければならない。

ここまで準備が整った段階で、スタッフは、実験者、実験補助者、及び動画・音声収録兼同時モニター担当に役割分担した。

(2) 動画コンテンツ（沸騰の対比）

前報〔10〕では、デジタルビデオカメラで撮影した動画「水の沸騰」と「液体窒素の沸騰」〔9〕を編集して、「水の沸騰と液体窒素の沸騰の対比」コンテンツとしてまとめたものを、ハードディスク・レコーダーからHDMI接続された電子黒板、またはプロジェクター経由で連続再生して、音声付き動画

として提示した。いわゆるビデオ教材である。今回オンライン講座として開講するにあたり、このコンテンツを、よく使われるMP4形式に変換することを検討した。

高解像度（HD）デジタルビデオカメラの規格であるAVCHDで記録されたハイビジョン動画のファイルは、mtsという拡張子のついたもの（以下、MTSファイルという）である。フルハイビジョン画質の場合、解像度は1920×1080であり、このくらいの解像度であれば、動画であっても画面のきめ細かさが感じられる。

このMTSファイルは特に加工しなくても、現在のPC上ではVLCメディアプレーヤー（Windows及びMac）、Windows10メディアプレーヤー、QuickTimeプレーヤー（Mac）などで再生可能となっている。試しにWindows 10標準の「フォト」によって、よく使われるMP4形式のファイルに変換したところ、同じ解像度1920×1080で、サイズが1.5倍に増加してしまった。そのうえ、オーディオのビットレートも384から128（3分の1）に低下した。

オンライン発信はZoomで実行するので、必要な箇所でZoomの画面共有機能によりPC上のメディアプレーヤーの画面を共有して見てもらう方法による。PCで再生できるものであれば、ファイル形式には依存しないので、MTSファイルを無加工で使用するのが最も良いと結論づけた。

なお、パナソニック社の高解像度（HD）デジタルビデオカメラでSDカードに動画を記録した場合、MTSファイルの格納場所は、SDカード内のフォルダを、PRIVATE>AVCHD>BDMV>STREAMの順にたどり、最後のSTREAMがそれである。もっとも簡便な移行方法は、デジタルビデオカメラでSDカードに記録したMTS形式の動画データを、SDカードを媒介した移動によりPCに読み込ませておくことである。上述のようにメディアプレーヤーで再生の用意までを行っておけば、必要なタイミングで映像を提供できる。

次に受講者側（受信側）の環境である。受講者側もPCであれば問題無く再生動画を視聴できたようである。一例を図2に示す。スマートフォンであると画面が小さいから、当然ながら細かい沸騰の違いや、音の変化が感じられたかどうか疑問が残った。そこで、リアルタイム中継時に、まずマイクからの音声で見どころ・聞きどころを説明した後、メデ

アプレヤーを再生して、視聴してもらった。

図2では、ビーカーに入れた水をガスバーナーで加熱し、沸騰の様子と沸点が100℃であることを確認する。



図2. 配信されたコンテンツの例（水の沸騰）

次のコンテンツとして、透明デュワー瓶に液体窒素をいれ、窒素の沸騰の様子と沸点が-196℃と極低温であることを確認する。また2つの動画から、沸騰の様子は、物質や温度が違っていても同じであることを確認する。

(3) 実験風景の中継

後で検証したところによると、受講者側では、動画であるためブレが生じて、静止画より多少見にくくなる。配信された動画から切り取った画面の例を図3～8に示す。

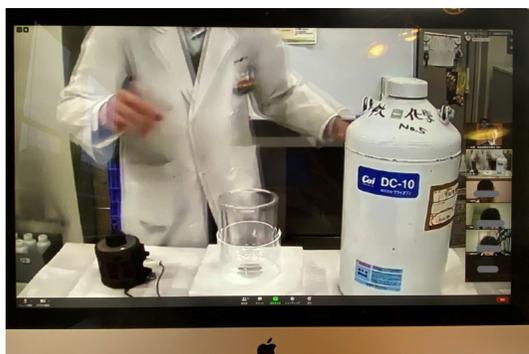


図3. 液体窒素の準備。中央が液体窒素を入れる1Lの透明ジュワー瓶

①液体窒素の準備

図3は、中央に置かれた1Lの透明ジュワー瓶に液体窒素を注ごうとしているところである。液体窒

素がどういうものか、取り扱い上の注意点などを説明した後、透明デュワー瓶に液体窒素を入れ、周囲にできる白い煙は水蒸気が凍結したものであることを説明する。リアルに動き、音も聞こえる実験映像は、対面での実験の雰囲気はかなり良く伝えられたように思われる。

②液体窒素中での炭素棒への通電

さらに、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」実験を行っているのが図4である。

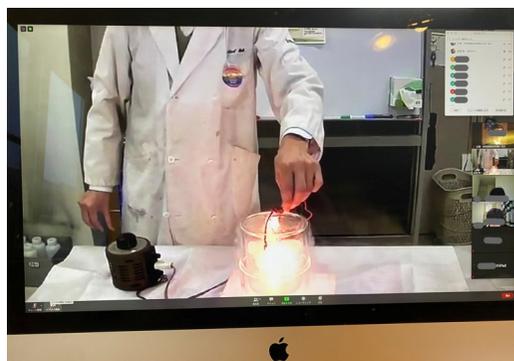


図4. 液体窒素中でのシャープペンシル芯（炭素棒）への通電場面

今回はまず、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が、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。

次いで、同様の実験を液体窒素中で行うと、より強く光ることを観察する。また、長時間電気を流しても発光が続くことをから、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する。なお、液体窒素中での熱平衡により炭素棒は高温にならないので、空気中では10 V程度までしか電圧をかけられないところ、液体窒素中では20 Vくらいまで電圧を上げることができる。

見たところは、前報 [10] の図7に示した発光とはまったく異なる。これは、前報では消灯の下、発光体を浮かび上がらせて撮影したものであるが、今回はリアルタイム中継のため、室内灯を点灯し、明るい環境で撮影していることと、見やすさを考え広口のジュワー瓶を用いていることによる違いである。

ここまでの実験を、講座全体のオープニングとして、はじめに中継した。

③身の回りにあるものの変化

次に、「-200℃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℃で固化したところに衝撃を与えることと、ゴムが-200℃の状態はどう変化するかを確認した。



図5. 液体窒素を入れた発泡スチロール製容器の提示。穏やかに沸騰している

以降の実験では、ジュワー瓶ではなく発泡スチロール製の安価な容器(図5)中で行うこととした。より口が広く、深さが浅い方が、大きなものも入れやすく、取り出しやすいからである。

図5の容器に入れ冷却した様々な物質と、それらの観察のポイントは表1のとおりである。

図5の容器内の液体窒素は、穏やかに沸騰しており、熱平衡状態にあるから、常圧では-196℃である。ここでは、わかりやすくするため、「-200℃の世界～みのまわりにあるもの～」としている。多くの物質は、液体窒素温度では固体となり、硬化している。

表1に示した物質は、バナナ、花(秋に入手が容易なムクゲを使用)、豆腐、ゴム製品であり、いずれも柔らかな物質であることが共通している。

表1. -200℃の世界～みのまわりにあるもの～
-200℃の世界にある様々な物質観察のポイント

物質	観察のポイント
バナナ	釘が打てるくらいに硬くなる
花(ムクゲ)	手で握ることで、わずかな力で碎け散る
造花 (プラスチック製)	手で握っても全く変わらない
豆腐	完全に固体化して、ハンマーで叩くと割れる
ゴムバンド (事務用)	伸ばした状態で輪ゴムを冷却すると固まって縮まず、元に戻らない。常温に戻ると元の形に戻る
ゴムボール	冷却し固まったゴムボールを床に落としたり、ハンマーで叩いたりするとガラスのように割れる

バナナと花は植物体、豆腐は水分の多い食物であ

るから、いずれも多くの水を含んでいる。その主成分である水が凍結し固まる(図6)が、見落としがちなのは、固まった後、さらに液体窒素により冷やされ続けることである。前報[10]では、純粋な氷を冷却してつくった、しばらく放置しても、洗びんから水をかけても融けない「ふしぎな氷」を観察することを紹介したが、植物体や食品中の水が固まったものも原理は同じである。バナナや豆腐は、しばらくカチカチのまま、変化しない。なお、花びらはバナナや豆腐に比べて質量が小さいので、熱容量も格段に小さくなり、短時間で常温に戻ってしまう。



図6. 液体窒素中で固まったバナナ。この後、バナナを取り出して金槌代わりに用いる

一連の講座で必ず加える注意事項は、液体窒素温度のバナナは決して口に入れてはいけないということである。なぜならば、-200℃のバナナは、0℃になってはじめて融解するからである。それまでは融解することなく口内、特に舌に張り付き傷害を与えるのできわめて危険なのである。

表1中の造花(図7、プラスチック製)、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、



図7. 液体窒素中でも固まらないバラの造花。液体窒素浴から取り出した直後の様子

水分を含まないから凍ることはない。

元々造花は、生花との対比のため使われることが多く、生花はその水分が凍結するから固まり、造花には水分がないから凍結しない。それに対してゴムは、縮んだ状態でも、伸ばした状態でも固まる。

プラスチックの元々の意味は、「塑性がある」ということで、大きい力を受けて変形するとき、力を除いてもその変形がもとに戻らないで残ってしまう性質があるということである。対してゴムは、「弾性がある」物質であり、物体に力を加えているときに生じた変形が、力を除くともとに戻る性質をもつ。ゴムのこの性質は、エラスチックといわれる。ゴムの弾性は、*cis*-2-ブテン形骨格の平面角の変化に起因するので、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-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ことができる。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、硬いのである。

ゴムボールでも同じ理由でボールの形のまま硬くなり、弾性が失われる。その状態で床に落としたり、ハンマーでたたいたりすれば、パリンと音を立てて割れることがわかる。

④気体の変化（状態変化）

次に、「-200℃の世界～気体～」として、身の回りにある空気や、その成分気体である酸素と二酸化炭素が、ゴム風船、ペットボトル、ポリ袋中で-200℃の状態はどう変化するかを確認することを行った。この観察にも、上述のように図5の発泡スチロール製容器を用いた。図5の冷媒容器に入れ冷却した様々な気体とその風袋、及びそれらの観察のポイントを表2にまとめた。

表2に示した気体とその風袋としては、まず身の回りの気体ということで「空気」を取り上げ、図8のように膨らませたゴム風船（バルーンアート用として市販のもの）の一端を液体窒素浴に浸してみせた。この風船は長さ2mにもなるので、全体を冷却することは叶わないが、端を数センチメートルほど液体窒素で冷やせれば、しだいに全体がしばみ、最後には下部に液体が凝縮してたまる様子を観察できる。図8ではやや薄い赤色のゴム風船なので、内部にたまる液体の液面を直接確認することもできる。見にくい場合には、液体のたまった風船を振ってみ

ても良い。

表2. -200℃の世界～気体～

-200℃の世界にある様々な気体観察のポイント

物質／風袋	観察のポイント
空気／ゴム風船	膨らませた風船を液体窒素につけると萎み、内部に液体が凝縮する
空気／蓋を開けたペットボトル	透明なペットボトルの蓋を開けたまま冷却して凝縮した液体は、ほぼ無色である
酸素／ポリ袋	酸素は青色透明な液体として凝縮する
二酸化炭素／ポリ袋	固体（ドライアイス）として出てくる
二酸化炭素／密閉高圧下	融解して無色透明な液体になる



図8. バルーンアート用ゴム風船を液体窒素につけると萎み、さらに内部に液体が凝縮

このようにゴム風船を使うと、見た目の体積変化や風船の弾力低下による圧力変化がわかりやすい。その反面、不透明であるため内部の様子を観察するには適さない。そこで今回は、透明なペットボトルを用意し、蓋を開けた状態で底部を同様に液体窒素浴に浸す実験を加えた。ボトルの口は解放なので圧力低下は起こらず、空気の凝縮による液化のみ観察される。たまった液体空気はほぼ無色であった。

表2のポリ袋中の酸素と二酸化炭素をそれぞれ冷却する際の変化の観察、及びドライアイスとなった二酸化炭素を肉厚（内径10 mm, 外径12 mm）塩化ビニル管の中で密閉してドライアイスの昇華により内圧が大気圧の10倍くらいになり、融解が起こる様子の観察については、前報 [10] と同様の実験を行い、リアルタイムで中継した。

⑤現象編（電気抵抗低下、LEDの色、超伝導）

次に、「-200℃の世界～現象編～」として、銅線を用いた金属の電気抵抗の温度依存性、すなわち金属は温度が下がるほど電気抵抗が低下する現象、緑色や赤色の発光ダイオード（以下LED）の発光色の

温度依存性、すなわちLEDは温度が下がるにつれて発光の色と強度が変化する現象、及びアモルファスではなく単結晶の超伝導物質を用いたマイスナー効果といわゆるピン止め効果現象を確認した。この観察にも、図5の発泡スチロール製容器を用いた。

ただし、超伝導現象を発現させる際にはすのこ状の台の上に超伝導物質を据え、全体にまんべんなく液体窒素に浸して温度勾配が生じないように均一に熱平衡状態にもっていく必要があるため、12 cm × 12 cm × 3 cm程度の発泡スチロール製トレイと、割り箸を加工して組んだ台を組み合わせて使用した。それらの観察のポイントは表3のとおりである。これらについて詳細は、次の機会に述べたい。

表3. -200℃の世界～現象編～
-200℃の世界で起こる現象観察のポイント

現象	観察のポイント
金属の電気抵抗低下	コイル状の長い銅線と豆電球を用いた直列回路で、常温時に消えていた豆電球が銅線の冷却時は点灯する
LED発光の色と強度変化	緑色や赤色のLEDは、温度が下がるにつれて発光の色と強度が変化する
超伝導/マイスナー効果	超伝導物質は、磁力線が透過せず、はじかれる
超伝導/ピン止め効果	超伝導物質の磁束ピン止め現象が観察される

(謝辞) 本研究を行うにあたり、快くアンケート調査委にに応じて頂いた「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。

また、動画画像を記録し、提供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2年度宇都宮大学基金(3C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, Voi. 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] 総務省, 令和元年通信利用動向調査の結果(令和2年5月29日付, 報道資料)

https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/200529_1.pdf

令和3年4月1日 受理

**A Practical Study of the Experimental Lecture to Learn
about Boiling and Freezing Points of Liquids (Part 3)
—The Application to Online “Future Creation University
for Children in Tochigi”—**

Kenta SASAKI, Hiroki KIMIJIMA and Yoichi YAMADA