

マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第2報）<sup>†</sup>  
—アクティブ・ラーニングにおける活用—

山田 洋一\*  
宇都宮大学教育学部\*

宇都宮大学教育学部教育実践紀要 第4号 別刷

2018年2月28日



# マルチメディア教材を用いた実験講座の実践（第2報）<sup>†</sup>

## —アクティブ・ラーニングにおける活用—

山田 洋一\*  
宇都宮大学教育学部\*

前報では、液体窒素をテーマにしたマルチメディア教材の作成、小学生を対象とした講座形式企画での活用事例、及び小学生の「水の状態変化」に対する意識について報告した。本報では、小学4年生から中学生対象の「とちぎ子どもの未来創造大学（栃木県教育委員会）」、及び栃木県立高等学校との協働による「高大連携科学実験講座（宇都宮大学）」におけるアクティブ・ラーニング活動の一部としての活用結果を報告する。

キーワード：液体窒素，沸騰，マルチメディア教材，アクティブ・ラーニング

### 1. はじめに

前報[1]では、液体窒素をテーマにしたマルチメディア教材の作成、小学生を対象とした講座形式企画での活用結果、及び小学生の「水の状態変化」に対する意識について調査・検討した結果を報告している。

平成29年度 宇都宮大学 地域連携・貢献活動支援事業として我々の企画した「栃木県総合教育センター及び真岡市科学教育センターとの理科実験協力及び研修事業」が採択された。これをきっかけとして、小学4年生から中学生対象の「とちぎ子どもの未来創造大学（栃木県教育委員会）」[2]の「科学・実験」講座として「マイナス200℃の世界」を、2017年8月7日（月）、8日（火）の二日間にわたり開講した。

また、平成29年度 宇都宮大学グローバル・サイエンス・キャンパス事業「iP-U」企画のプレ・イベントという位置づけで、栃木県立高等学校との協働による「高大連携科学実験講座（宇都宮大学）」を実施している。その一環として、2017年8月9日（水）栃木県立佐野東高等学校、24日（木）同宇都宮女

子高等学校、9月23日（土）及び10月14日（土）同栃木翔南高等学校の高校生を本学に招いて、高校生版にアレンジした企画「マイナス200℃の世界」を実施した。

これらの小学4年から中学生向けと、高校生向け企画「マイナス200℃の世界」では、いずれもアクティブ・ラーニング活動を中心とした。小・中・高等学校教育で検討されている、主体的・対話的で深い学び、すなわち「アクティブ・ラーニング」の視点からの授業改善を視野に入れて、である。

今回は、以上の実践を振り返り、検討した結果を報告する。

### 2. 企画の内容

企画の所要時間は、2時間である。観察や実験中心の参加型講座なので、小学4年生から中学生のグループでも、飽きることなく参加してもらえたようである。なお、一部のグループには、開始前の待ち時間に事前アンケートに協力してもらった。

まず、動画「水の沸騰と液体窒素の沸騰の対比」コンテンツによって、沸騰現象の多様性を観察してもらうことからスタートした。次いで、A4版用紙2ページ分のワークシートを用いて、(1) 調べたいことを決め、その内容として「活動したこと」を記録、(2) 観察・実験し、気づいたことやわかったこととして「観察したこと」を記録、(3) 得られた結果をもとに「考えたこと」を記録、という三段階の流れを提示した。はじめに、【練習】用ワークシ

<sup>†</sup> Yoichi YAMADA\*: A Practical Study of the Experimental Lecture to Learn about Boiling and Freezing Points of Liquids (Part 2)  
—The Application to Active Learning—  
Keywords : Liquid Nitrogen, Boiling, Multimedia Teaching Aids, Active Learning  
\* School of Education, Utsunomiya University  
(連絡先:yamadayo@cc.utsunomiya-u.ac.jp 山田洋一)

トを使ってこちらで用意した数種類のテーマを (1) 活動したこと、として実施し、受講生に (2) 観察したこと (気づいたこと・わかったこと) の記入の仕方を示し、さらに (3) 考えたこととして記入すると良い内容を例示した。

何回かのトレーニングで要領をつかんでもらった後、【活動】として【用意したもの】6種類の中から4テーマ以上を、自らが決め、実施してもらう。

最後にまとめの時間をとり、上記 (1) から (3) の記載事項を発表し合い、特に「(3) 考えたこと」の学びを全体で共有することを目指し、講座を閉じた。

#### (1) 制止画コンテンツ (事前テスト)

事前テストは、質問紙 (A4版1枚) で行った。質問1から6を、Table 1 に示す。

Table 1. 事前テストの質問事項

No.	質問
1	水は何℃で沸騰しますか。
2	水は何℃で蒸発しますか。
3	水以外も沸騰しますか。沸騰する物質を知っていたら書いて下さい。
4	矢印の物質は何ですか。
5	水が凍り始める温度は何度ですか。
6	家庭の冷凍庫内の氷の温度は何度ですか。



Figure 1. The kettle is steaming.

前回のUUサイエンスでの実施例[1]で用いた質問紙の内容を改良するとともに、質問4の「矢印の物質」の提示方法を、Figure 1のようにより見やすい電子黒板投影に改善した。

#### (2) 動画コンテンツ (沸騰の対比)

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」[1]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 (Figures 2-5)。HDMI端子を持たない (音声を再生できない) プロジェクターでは、別にオーディオ・システムなどのスピーカーを用意しなければならない。

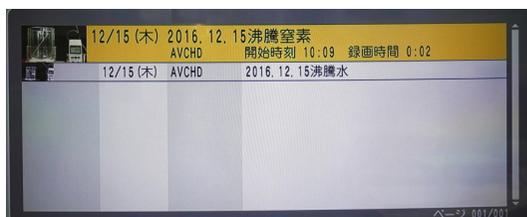


Figure 2. The menu of boiling contents on the HDD video recorder.

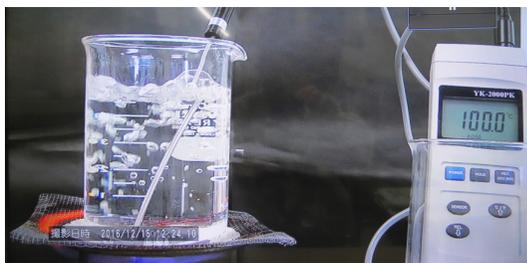


Figure 3. The boiling water.

特に液体窒素の沸騰シーンでは、前報[1]で初期の沸騰 (核沸騰) と最後の沸騰 (膜沸騰) と記した二種類の沸騰の様子を静止画で提示していたので、両者の動画表示への改良を行った。ここで、液体窒素から立ち上る白煙の除去と、沸騰の際の泡がはじける音の再現が重要になる。それを同時に実現するために、駆動音の小さく風の集団性の高い dyson AM09 (羽の無い送風機) を、適度な風量で使用 [1] し、良好な結果を得ている。



Figure 4. The initial vigorous boiling of liquid nitrogen at  $-195.4^{\circ}\text{C}$ .

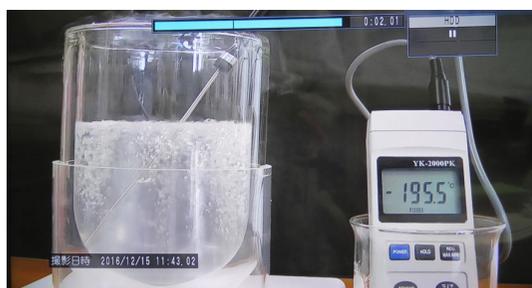


Figure 5. The last boiling of liquid nitrogen sounding higher than initial boiling.

たとえば説明するならば、Figure 4 は強熱したやかんの中でグラグラ煮え立つお湯、Figure 5 はちょうど Figure 3 のように適度に加熱されて穏やかに沸騰が継続している状態である。対応する音声もそれにふさわしく、Figure 4 ではグラグラと低い音、対称的に Figure 5 ではチリチリという感じのはじけるような高い音となる。前述のように、HDMI接続のプロジェクタであれば、違いを十分に聞き分けることができた。もちろん、オーディオ・システムがあれば普通の赤／白（R／L）音声ケーブルで接続するだけで十分に良い音で再生できる。

### (3) 【練習】用と【活動】用ワークシート

【練習】用ワークシートを77ページに、【活動】用ワークシートを78ページに、それぞれ示す。

【練習】用ワークシートでは、まず身のまわりの物質として空気の成分である「窒素、酸素、アルゴン、及び二酸化炭素」の沸点などの性質を一覧表にまとめて提示した。別に、中学生と高校生向けには、A4版の元素の周期表も配布した。

ここで、空気成分の話を中心に済ませてから、液体窒素取り扱い上の注意点を丁寧に説明した。先に沸騰の動画を見せてあるので、 $-200^{\circ}\text{C}$ 付近での「沸騰

という概念も受け入れられたようである。

さて、【練習】である。まず、気体の扱いに慣れるため、「ポリ袋に入ったアルゴンという気体を冷やしてみる」活動を行った。ボンベからポリ袋にアルゴンを入れ、口を輪ゴムで止めた。作業は、ティーチング・アシスタント（以下TA）による。それを液体窒素浴に静かに浸すと、無色透明の液化したアルゴンを見ることができると。その時点で、観察したこととしてワークシートに、「無色透明の液体が見られた」と記入するように促した。さらに、アルゴンのポリ袋を冷やし続けると、凝固点が $-189.2^{\circ}\text{C}$ であるため、固体になる。しかし、これは見にくいのでポリ袋を液体窒素浴から引き上げ、すぐに軽くつまむことでシャリシャリした感じをつかんでもらうのが良いようである。観察したことの二番目として、「さらに冷やし続けると固体になった」と記入してくれば、上出来である。ここで周期表に目を移し、アルゴン（18族）が一原子分子であることを確認する（高校生の場合）。考えたこととしては、アルゴンは球形分子だから積み重なりやすく、その結果として液体状態のアルゴンを少し冷やただけで結晶化したと考えられる、と記してもらおう。

次に、液体の例として、「試験管に入った水銀を冷やしてみる」活動を演示した。水銀の場合は表面張力が大きいので、試験管中ではガラス壁面に触る部分が下がり中央部が盛り上がる。まず始めに、この様子を見せ、観察したこととして記録してもらおう。その後、そのまま液体窒素浴に浸しても良いが、今回は $-50^{\circ}\text{C}$ から $+50^{\circ}\text{C}$ の赤液棒状温度計（300 mm）[4]を入れてから冷やした。理論的には、 $-38^{\circ}\text{C}$ から $-39^{\circ}\text{C}$ で凝固が始まり、凝固点が測定できるはずであるが、液体窒素との温度差が大きいため、試験管に数ミリリットル入った程度の水銀ですぐに固化して、 $-50^{\circ}\text{C}$ 以下（目盛が無い！）まで下がるので、すぐに液体窒素浴から引き上げる。凍結した水銀により温度計が固まり動かないことと、固体になる際の体積減少のため固体の水銀では試験管中央がへこむことを、観察したこととして記入してもらおう。中学校で「ろう」の液体から固体への状態変化を体験している生徒がいる場合には、そのときの変化を思い出し、対比してもらおうと良い。観察したことがまとまったところで、試験管内の水銀は出入りしていないので量（質量）は変わらないが、体積が固体では減少することから、密度の話題に展開する。中学・

高校生では、考えたこととして、水銀では液体よりも固体の方が密度が大きくなる(ろうの場合と同じ、水とは異なる)ことを記してもらおう。

さらに、固体の水銀を冷却し続けるとどうなるか、話題提供する。これは、水銀と試験管(ガラス)の収縮率の違いから試験管が割れてしまう話と、液体窒素よりも低温の液体ヘリウム温度(-269℃)において世界で始めて超電導現象が確認された物質が水銀である話である。

そして第三に、エネルギー問題に関わる話題提供という意味合いもあって「回路中の長い銅線を冷やしてみる」という活動に移る。コイル状に巻いた長いエナメル線と豆電球を直列に、乾電池につないだとき、長い銅線の電気抵抗のため電球が点灯するほどには電流が流れないようにエナメル線の巻数を調節して造った回路を用いる。我々の作例では、3Vの電池ボックス(単3乾電池2本)に対し、抵抗値が7Ω程度ある巻きエナメル線と豆電球(6.3V)を直列につなぐと良好であった。この回路の巻き線の部分を液体窒素浴に浸す。銅線が冷えるにつれ、巻き線部分の電気抵抗が減少するので、電球が点灯する様子を観察したこととして書き込んでもらう。その後、再び巻き線を液体窒素浴から引き上げると、暖まるにつれ徐々に電球が暗くなり、最後には消えてしまう様子も観察できる。考えたことのヒントとして、Figure 6のような金属結晶と自由電子のモデルを提示し、金属原子の熱振動現象と、その激しさが温度に依存し、絶対零度では理論的に停止することを紹介、超伝導現象の話との関連性を与える。さらに、電気エネルギーの効率的輸送のためには、送電線の電気抵抗の低減が重要であることへの気づきを誘導できれば良いが、なかなか難しい。

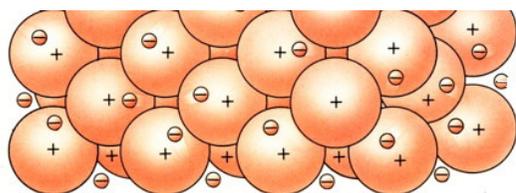


Figure 6. The free electrons of copper atoms.

ここまでで、開始から30分が経過している。

【練習】用ワークシートの最後は、あえて「\_\_\_\_\_を冷やしてみる」と、空白にしてある。ここまでの練習で十分にコツがつかめ

れば、この枠は使わなくても良いであろう。活動全体として時間が余れば、最後にここに「電源につないだシャープペンシルの芯を冷やし、電圧をかけてみる」などと任意で入れるのも、時間調整もできて良い。観察したこととしては、Figure 7に見るとおりである。不活性ガスを封入された電球のフィラメントとの対比を考えられれば、という内容である。



Figure 7. Carbon (graphite) turning on electricity (20V) in liquid nitrogen.

さて、この辺で【活動】用ワークシートに移る。ここでも、ワークシートには活動したこと、観察したこと、考えたこと、の3枠で1セットの構成は変わらない。それが4セットつくってある。しかし、活動したことがすべて空欄である。【用意したもの】空気、酸素、二酸化炭素、エタノール、水、輪ゴム、の6テーマの中から、希望により4テーマ(以上)を選んで、自らここに書き入れるシステムなのである。今回用意したテーマは、空気と酸素は気体の凝縮(液化)、二酸化炭素は気体の昇華(凝華)、エタノールは液体の凝固(及びその際の体積変化)、水とゴムは固体の冷却である。Table 1 事前テストのNo. 6「家庭の冷凍庫内の水の温度は何度ですか。」という質問は、ここでの、水の冷却につながっている。なお、4テーマ以上をこなした場合、枠外や裏面も使って良いことを指示してある。

【活動】用ワークシートに基づき、参加者の活動する時間を1時間取った。小学生の場合は、見学にいらした保護者といっしょに活動することも認めたので、多くは親子ペアで各ブースを回って思い思いに観察や実験をしていた。始めは遠慮がちであった児童・生徒も、1つ2つと活動を重ねるうちに積極

的になり、質問が出るようになってきた。ここでTAの活躍する番である。講師とTA1, 2名で6テーマを代わる代わる見ていたので、質問への応答や安全面での配慮は十分に行うことができた。

原則として受講者側の自由意志でテーマを選択してもらうのだが、標準的実験方法は、アドバイスすることにした。さらに、いくつかのオプションの操作も提示したので、順次、紹介する。

二酸化炭素などの気体は、あらかじめアルゴンの例を見せてあるので、実験者も液体窒素浴での冷やし方の要領はわかっており、問題無く状態変化させ、そのようすを観察できていた。

二酸化炭素のオプションとしては、フィルム・ケースに少量のドライアイスを入れ、ふたを閉め、昇華による内圧でふたが暴発する実験と、密閉された肉厚（内径10 mm, 外径12 mm）塩化ビニル管の中でドライアイスが昇華する際、内圧が大気圧の10倍くらいになり、融解が起こるようすの観察の2つである。ドライアイスの液化の方は、最後に大気圧に戻すと、瞬間的に固体（ドライアイス）に戻るところまで講師またはTAが演示して見せた。

酸素の凝縮もアルゴンと同様に、簡単に観察できる。しだいに液体酸素がたまってくると、液体窒素や液体アルゴンとは異なり、有色（水色）透明であることに気づくことになる。

酸素のオプションとしては、液体酸素の入った袋越しにネオジム磁石を近づけて、液体酸素が磁石に引き寄せられるようすの観察である。酸素分子の形( $O=O$ )を分子モデルでつくり、有色であること、磁石に引き寄せられることはいずれも常磁性によるものであり、 $O=O$ 型のモデルでは説明できないことを情報として与えたが、ラジカル構造の話は難しいと思われるので、ここでは省略した。

さて、ここまで体験したところで空気中の第二成分である酸素を液化できるか、というテーマにトライする参加者がでてきた。液体酸素（沸点  $-183^{\circ}\text{C}$ ）は液体窒素よりも沸点がおおよそ13度高いので、空気を冷やした場合、先に酸素が凝縮すると仮説を立てて実験する生徒も見られたのである。しかしながら、実際にやってみるとこれはうまくいかない。空気を満たしたポリ袋を液体窒素浴に浸すと、白濁した液体（これは液体空気）がたまるのである。さらに、高校生の一部から、この液体空気と思われる白く濁った液体の温度（沸点）を測ってみたいという

希望も出てきた。講師側としては共沸混合物の沸点測定になるので話が複雑になるという懸念もあったが、主体的な取り組みを後押しすることを優先して、 $-200^{\circ}\text{C}$ まで測れるデジタル温度計（Ptセンサー付）を貸与した。

一方、小学4年生から中学生のグループでは、バルーン・アート用の細長いゴム風船[6]の一端を液体窒素浴に浸し、しだいにしぼんでいくようすと、最後に風船を液体窒素浴から引き上げて振ると内部にたまった液体（液体空気）がチャポチャポとゆれることを観察してもらった。

前述のように、試験管に入った水銀を冷やす実験は、固体の水銀とガラスの収縮率の関係でガラスを破損するおそれがあり、児童・生徒向けの実験としては高度なものである。対して、試験管に入ったエタノールを液体窒素浴で冷やす実験は、安全性が高い。 $-114^{\circ}\text{C}$ から $-115^{\circ}\text{C}$ で凝固したエタノールも、固体の水銀と同様、液体窒素浴中ではさらに温度が下がり続ける。その際の体積変化（収縮率）は水銀はおろか、壁面のガラスよりも大きいので、いくら冷やし続けても試験管が破損する危険は無いのである。ちょっとした振動があると、それをきっかけとして固体のエタノールの方にピシッと音がして、多くのひびが入る。この、エタノールが割れたところを観察するのは、非日常的であり、良い経験になる。また、静置したエタノールは、無色透明の固体となっていくが、この場合は見かけ上、凍結したことがわかりにくい。ときどき試験管を液体窒素浴から引き上げ、傾けて、流動性の有無を確認すべきである。また、液体から固体への状態変化中の体積変化を観察するには、室温時にエタノールの液面の高さのところにサインペンで印を付けておき、冷却するという工夫が必要なことに気づかなければならない。

エタノールのオプションとしては、試験管のものとは別に、小ビーカーにエタノールを入れておき、試験管の下部に凍結したエタノールがある状態で液体窒素浴から引き上げた試験管を、小ビーカーの真上で下に口を向けて保持する。少しすると、試験管の外側から暖まり、固体エタノールがとろけた状態で融解しながら小ビーカー内の液体エタノール中に落下する。落ちた瞬間が見どころであり、氷のように液体中で浮くのか、あるいは固体エタノールは液体エタノール中に沈むのか、しっかりと観察するようにしたいところである。

水を液体窒素浴に浸す実験は、もともと固体の水が変化するには思われないが、その温度の低下を予想できるかどうかポイントである。実際には熱平衡状態になるまで温度が下がるから、 $-196^{\circ}\text{C}$ の水ができる。このときも、熱平衡状態の水の温度を測ってみたいという希望が一部の高校生から出されたが、固体の場合、表面温度を測るしか方法がないので、水の温度の正確な測定方法は見つからない。それでも、沸騰がほぼおさまり、熱平衡状態になった水を液体窒素浴から引き上げて皿などに出すと、しばらく融けない「ふしぎな水」を観察することができる。

水のオプションとしては、このしばらく融けない水に対して洗浄ビンなどから少量の水をかけるというものがある。水の固まりに比べ少量の水の熱容量は小さく、水の方が急激に温度低下を起こし、すぐに凍結するようすが観察される。そしてしばらく経ち、 $0^{\circ}\text{C}$ まで温度上昇してからようやく融解が始まるのである。

ゴムの弾性は、液体窒素温度ではまったく無くなり、プラスチック状になる。これを割り箸などで液体窒素浴から取り出して、強い力で引っ張ると破損し、弱い力で引っ張り続けると部分的に弾性が復活し徐々に伸びていくさまが観察される。

化学結合の知識を習得した高校生には、シス型の二重結合を中央部に持つイソプレン型構造を表す分子モデルをオプションとして提示し、弾性の原因を実感できるように配慮した。

### 3. 活動からわかったこと

前節までの活動で1時間30分が経過する。残り30分は結果・考察の発表と、他の人の気づきを参考にする振り返りの活動にあてた。

小学4年生から中学生のグループでは、観察したこと（結果）を正しく文章で記録するまでで精一杯であった。それでも、記述の細かさには個人差・年齢差があり、他の報告を受けて自らの記述を修正したり、追記する学びの活動はおおむねできていた。

一方、高校生グループの方は、前述の液体空気の温度測定、液体窒素と熱平衡状態になった水の温度に関する考察、二酸化炭素の状態変化における昇華の原因に関する考察（状態変化の要素として温度以外に圧力も関わっていること）など、より深い学びに到達したと思われるものが見受けられた。

以上、本研究では小学4年から中学生向けと、高校生向け企画「マイナス $200^{\circ}\text{C}$ の世界」のそれぞれで、アクティブ・ラーニングの考え方を取り入れた活動を行った結果を報告した。それにより、(1) 観察した結果にもとづいて考える力、(2) 筋道を立てて考える力、及び(3) コツコツと考えを進めていく力を育むアイテムとしての有効性が示された。

本研究は、平成26-29年度科学研究費補助金「基盤研究(C)」により経費支援を受けて実施した。

### 4. 参考文献及び注解

(URL最終アクセス2017年10月31日)

[1] 小沼卓人, 山田洋一, 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/10241/10733>

[2] とちぎ子どもの未来創造大学

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

[3] 主体的・対話的で深い学びの実現（「アクティブ・ラーニング」の視点からの授業改善）について

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/073/siryo/\\_/icsFiles/afieldfile/2016/05/31/1370946\\_12.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/073/siryo/_/icsFiles/afieldfile/2016/05/31/1370946_12.pdf)

[4]  $-50^{\circ}\text{C}$ から $+50^{\circ}\text{C}$ の赤液棒状温度計（300 mm）

<http://www.askul.co.jp/p/3682030/>

[5] H. Kamerlingh Onnes, Communications from the Physical Laboratory of the University of Leiden, No. 120b (Translated from Verslagen von de Afdeeling Natuurkunde der Kon. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, 28 April 1911, pp. 1479-1481) .

[6] 例えば、アートバルーン 40本入りとバルーン・ポンプ

<https://www.toysrus.co.jp/s/dsg-015714700>

<https://www.toysrus.co.jp/s/dsg-059261700>

[7] 本研究で用いたワークシートの例として、とちぎ子どもの未来創造大学版、高大連携版を次ページ以降に示した。

宇都宮大学教育学部／栃木県教育委員会連携  
とちぎ子どもの未来創造大学  
－マイナス 200℃の世界－

【資料】

- ・ 空気の成分「窒素，酸素，アルゴン，二酸化炭素」の性質 (1013 hPa)

	沸点 (融点) °C	沸点での密度 g/cm <sup>3</sup>
窒素 (N <sub>2</sub> )	-195.8 (-209.9)	0.808
酸素 (O <sub>2</sub> )	-183.0 (-218.4)	1.14
アルゴン (Ar)	-185.9 (-189.2)	1.39
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	昇華点 °C	昇華点での密度 g/cm <sup>3</sup>
	-78.5	1.56

【練習】

活動したこと	観察したこと	考えたこと
ポリ袋に入ったアルゴンと いう気体を冷やしてみる		

活動したこと	観察したこと	考えたこと
試験管に入った水銀を冷や してみる		

活動したこと	観察したこと	考えたこと
回路中の長い銅線を冷やし てみる		

活動したこと	観察したこと	考えたこと
_____を冷 やしてみる		

【用意したもの】 空気，酸素，二酸化炭素，エタノール，氷，輪ゴム

高校生グループの記入例

【活動】

活動したこと	観察したこと	考えたこと
二酸化炭素を冷やしてみる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 白い粉末ができた（昇華）</li> <li>・ ドライアイスを塩化ビニル管中で密封すると，無色透明の液体になった（融解した）</li> <li>・ そのとき管が硬くなった。</li> <li>・ 大気圧では固体に戻った</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドライアイスができたのだろう</li> <li>・ 大気圧の10倍くらいの圧力下では液体でも存在？</li> <li>・ 三重点って何？</li> </ul>

活動したこと	観察したこと	考えたこと
酸素を冷やしてみる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 袋がしぼむ</li> <li>・ 液体に変化し，青色になった（透明）</li> <li>・ ネオジム磁石を近づけると引きつけられた</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷えると体積が小さくなる</li> <li>・ 液体酸素になる温度<math>-183^{\circ}\text{C}</math>だから？</li> <li>・ 常磁性物質？</li> <li>・ 液体窒素は磁石につかない</li> </ul>

活動したこと	観察したこと	考えたこと
空気を冷やしてみる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ポリ袋では，白く濁った液体ができた（沸点<math>-191.2^{\circ}\text{C}</math>）</li> <li>・ 風船の中の空気がしぼみ，下の方に液体がたまった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液体酸素だけを作ることではできなかった（液体空気？）</li> <li>・ 窒素と酸素の分離には，蒸溜を使うの？</li> </ul>

活動したこと	観察したこと	考えたこと
エタノールを冷やしてみる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液面が下がった</li> <li>・ 固体のエタノールがピシッと音がしてヒビが入った</li> <li>・ 固体を，液体に入れたら，ドロッと落ち沈んだ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固体をさらに冷やすと，収縮する</li> <li>・ 固体の方が密度が大きい</li> </ul>

活動したこと	観察したこと	考えたこと
氷を冷やしてみる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ヒビが入った</li> <li>・ 取り出したら白くなった</li> <li>・ 水をかけたら固まった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 白くなったのは空気中の水蒸気が凝固した？</li> </ul>

活動したこと	観察したこと	考えたこと
輪ゴムを冷やしてみる	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 暖まるとだんだん伸びた</li> <li>・ 引っ張った状態で冷やしたら，伸びたまま固まった</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 二重結合があると弾力性？</li> </ul>

平成29年10月31日 受理



**A Practical Study of the Experimental Lecture to Learn  
about Boiling and Freezing Points of Liquids (Part 2)  
—The Application to Active Learning—**

**Yoichi YAMADA\***

\* School of Education, Utsunomiya University