

## ポップコーンができる仕組みを理解するために構成的に組み合わせた ホットプレート実験を通じた「水の状態変化」学習教材の提案

Proposal of Teaching Materials for “State Variation of Water Molecules”  
Through the Constitutive Experiments for Elucidation of Mechanism of Popcorn  
Making on Grill Pan

西野 秀昭  
Hideaki NISHINO

伊藤 都子  
Miyako ITO

福山 沙希  
Saki FUKUYAMA

武藤 さくら  
Sakura MUTO

時任 俊太郎  
Shuntaro TOKITOU

日高 奈津子  
Natsuko HIDAKA

檜垣 武志  
Takeshi HIGAKI

(福岡教育大学・理科教育講座 (生物教室))

(平成28年9月30日受理)

### 抄 録

「水の状態変化」は、学校教育においては小学校・中学校・高等学校から大学での生物学教育に至るまで、生き物の生存や生きる仕組みの分子化学的理解までの段階的学習に欠かせない重要な観察・実験であり、アクティブ・ラーニングの視点からの学習過程の改善が図られる次期学習指導要領改訂後も存続すると考えられる。一方で、学校での理科実験の予算は増やせない現実がある。そこで、普段の生活の中にある身近なものをも活用して、学校教育での費用負担を減らしつつ、学習者が実生活に関わらせながら興味を持って理解できるとともに、アクティブ・ラーニングにも適用できる観察・実験の提案を「水の状態変化」で行った。その観察・実験の進め方では、教師側が学習者側に思考を促すとともに、考えを導くことができるように構成的実験の結果が根拠となるよう心掛けた。検証は高校生に行い、その結果、短時間の授業であるにもかかわらず、ほぼ考え方を導き出すことができた。その結果を受けて小学校や中学校で実施する場合でも、学習効果を上げるための工夫を提案した。ここで提案した観察・実験の取扱いは、次期学習指導要領に組み入れられる予定の、「主体的・対話的で深い学び」、即ちアクティブ・ラーニングにも通り、学習者の主体的な学ぶ姿勢の構築へ貢献できるものと考えられた。

キーワード：水の状態変化, ホットプレート, ポップコーン, アクティブ・ラーニング

### 1. はじめに

現在施行されている学習指導要領解説理科編（文部科学省, 2008 & 2009）では、理科に関わる疑問に対して子どもたちが仮説を立て、授業での観察・実験を通じて仮説を検証しながら考えを導き、学習を進めていくよう構成されている。これは、これからの人間社会で子どもたちが生きていく力を身に付けるためには、いわゆる暗記を強いる教え込み・詰め込みでは対応できない事を踏まえての事である。

本研究では、そのような現行学習指導要領の考え方に基づき、児童・生徒という学びの主役が、主体的に考え方をまとめながら理解を確かなものにして

行くとともに、次期学習指導要領改訂での、学習内容の削減は行わないという案（文部科学省教育課程部会, 2016）をも踏まえて、構成的実験からなる新しい観察・実験の提案を行った。観察・実験は「水の状態変化」で、理科室の器具等も含め、できるだけ身近な器具などを利用するとともに、実生活との関わりをもたせるために「ポップコーンができる仕組み」を採り上げた。調べた限りは、ポップコーンができる仕組みの研究（例えば、五島他, 1988；柘植, 1991；大平, 2002）や「水の状態変化」の学習の研究（例えば、高垣&田原, 2006；藤井, 2011；山崎, 2016）はあるが、ポップコーンができる仕組みを理解するために

ホットプレート1台のみを使ってポップコーンが出来る現象の視認及び複数の構成的実験を組み合わせて、両者を融合させ、授業での効果を検証し考察を加えた研究論文は見い出せなかったため、その意味で本研究報告は最初のものになる。

水の状態変化は、現行の学習指導要領では、小学校では4年生理科での「水の三態変化」、中学校理科では1年生で「状態変化と熱」及び2年生で「消化と吸収」でのヒトの体の構成成分（質量比）で60%が水が占めること、高等学校化学基礎の「熱運動と物質の三態」や化学「生命の化学」などの単元に含まれる。次期学習指導要領の改訂が数年のうちに行われようとしているが、内容の削減はないとされている（文部科学省教育課程部会，2016）ので、水の状態変化についての観察・実験は今後も教科書で採りあげられるものと考えられる。ところが、次期学習指導要領改訂では「新しい時代に必要となる資質・能力の育成と学習評価の充実」の中で、「どのように学ぶか」では「主体的・対話的で深い学び（「アクティブ・ラーニング」）の視点からの学習過程の改善」が求められている。アクティブ・ラーニング（Active Learning から以降 AL と略す）（例えば、大須賀，2016）による「協働的な学び」を児童・生徒が行う上で、AL に応用できる新しい観察・実験の提案は今後の学校での理科教育において意義があるものになると考えられる。また、小学校・中学校理科での年間平均消耗品予算が児童・生徒一人あたりそれぞれ316円、341円で両者とも最少額0円（（独）科学技術振興機構理科教育支援センター，2009）という低額な実態にも合ったものである必要性も加味し、できるだけ低予算になるよう心掛けて提案した。

## 2. 研究方法

学習を行なってもらう対象者は、本学のオープンキャンパスに来学し、理科模擬授業へ参加した高校生にお願いした。高校生は理想気体の状態方程式を既習の場合もあり、適した調査対象と考えた。

授業では、理科を専門とする教師を目指す大学生6名が、二人一組で、一方が教師役を、もう一人が学習経過の記録（表1）係を担当した。授業前の事前指導は、表1の授業の流れに従って、期間を置いて2回、実施した。授業を行う上での大事な点として、学ぶ内容の説明（教え込み）をするのではなく、複数の構成的実験（根拠）から水の状態変化とポップコーンができる仕組みの、より適切な考えを持てるように導くことであることを繰り返し確認した。授業の最後での考えのまとめは、受講生の一人の生徒に行ってもらった。

実験に必要な教材・教具等を図1に示す。ポップコーンを作る際は、市販の乾燥トウモロコシ（250gで200～300円ほど）を耐熱ガラス計量カップ（IWAKI PYREX, 500 mL）の底に一層状態で入れ、少量のサラダオイル（200円ほど）を加えて乾燥トウモロコシの表面にサラダオイルが万遍なく取り巻くようにした。二重に折ったアルミホイルでフタをし、ホットプレート（YAMAZEN グリル鍋 GN-1200）へ置き、最大温度（230℃）に設定してしばらくすると跳ねるようにポップコーンが出来始める。

授業と観察・実験は、教師役大学生による高校生との対話による考えを引き出す方式を基本に、複数の構成的実験を、以下の2. 以外をホットプレート上で下記のように行った（表1も参照）。2, 4, 6, 8が本研究で提案している構成的実験である。



図1 実験器具や材料の説明 #の数字は表1の実験等#と同じ。

1. 乾燥トウモロコシにサラダオイルをまぶしてホットプレートで加熱すると弾けてポップコーンになる
2. 乾燥トウモロコシは指で潰せないほど堅い(実験)
3. 乾燥トウモロコシの中に水が入っていると思うか(問いかけ)? →中に水が入っているとは思えない(高校生による仮説)
4. 乾燥トウモロコシを半分に切って試験管に入れ、斜めにして試験管の底をホットプレートで温める → (ホットプレートの外に出ている) 試験管口(内側上部)に水滴がつく(観察・実験)
5. 乾燥トウモロコシ中に水があった(結果)
6. 液体の水2 mLを三角フラスコに入れ、(トウモロコシを模した)黄色い風船(サイズ約22 cmの一袋20個入りで、100円ショップなどで購入できる)を口に取り付けてホットプレートに置く →液体の水が消え、風船が大きくふくらんだ(観察・実験)
7. 水が液体から気体(水蒸気)に状態変化すると、体積が大きく増える(結果及び理論的には1,000倍ほど体積が増える事を気体の状態方程式からも確認)
8. 半分に切った乾燥トウモロコシは、(サラダオイルがあっても)切っていないトウモロコシのような大きなポップコーンにはならない(観察・実験)
9. 半分に切ると液体の水が気体(水蒸気)になっても空気中に逃げてしまうが、切らないと液体の水は気体になっても堅い殻に阻まれて体積を増やせない(考察)
10. 乾燥トウモロコシ内の圧力がどんどん増加する(根拠を総合した考え)
11. 堅い殻が内側の水蒸気の圧力に耐えられなくなると、一気に殻が破れ、中のデンプンが軽石のような、スポンジのような構造になる〔デンプンの中の液体

の水が気体(水蒸気)になって内側から押し広げた跡が空洞になっている〕(五島他,1988;柘植,1991)

### 3. 結果と考察

結果のまとめを表1に示した。7～10割の割合で高校生は構成的実験及び対話等から考えをもてるようになったことが分かる、または理解していると言える。ただし、10.の「トウモロコシ内の圧力がどんどん増加する(考え)」の項目で4割程度の理解に留まっている。10.の項目は6.～9.の項目から総合的に判断して導き出す必要があるが、20分ほどの模擬授業時間は通常の授業時間に比べて短く、そのような統合的な考え方に至る考察を全ての高校生が行えるようにするには時間不足と考えられる。従って本研究では20分ほどで実施したが、高校での実際の授業では生徒の考えを整理する時間(復習など)を設けることで、4割の生徒は直後でも考えが持っていることから、そのような生徒の考えの出来方をたどる時間を設けることになり、ほぼ全員が総合的な判断で10.の項目の考えを持てるよう導くことができると考える。また、学齢に応じて授業コマを増やすことで考えを導くことができるよう設定をすることもできると考える。例えば、ここで紹介した観察・実験は、仮にはあるが、高校生であれば授業1～2コマ、中学生であれば授業3～6コマ、小学生であれば授業6～8コマ、というように、仮説を立て、観察・実験を行い、結果を考察して考えをまとめる十分な時間を学齢に応じた目的とともに設定するのである(気体の状態方程式は高校生のみ利用)。そのために、本研究ではポップコーンが出来る仕組みを構成的な複数の実験、即ち、乾燥ポップコーンが指で潰せないほど堅いことを確認する実験、半分に

表1 学習進行過程の調査結果まとめ

実験等#	チェック項目 (考えはできるだけ、生徒から引き出すよう努めた)	考えを引き出した、又は理解している生徒数/全生徒数	
		19回	%
	有効授業回数	19回	%
1	乾燥トウモロコシにサラダオイルをまぶしてホットプレートで加熱すると弾けてポップコーンになる	71/71	100
2	乾燥トウモロコシは指で潰せないほど堅い	71/71	100
3	乾燥トウモロコシの中に水が入っていると思うか?(問いかける) → 中に水が入っているとは思えない	53/71	74.6
4	乾燥トウモロコシを半分に切って、試験管に入れ、斜めにして試験管の底をホットプレートで温める → 試験管口に水滴がつく	66/71	93.0
5	乾燥トウモロコシ中に水があった	71/71	100
6	液体の水2mlを三角フラスコに入れ、風船を口に取り付けてホットプレートに置く → 液体の水が消え、風船が大きくふくらんだ	68/71	95.8
7	水が液体から気体(水蒸気)に状態変化すると、体積が大きく増える(理論的には1000倍ほど体積が増える。気体の状態方程式から)	70/71	98.6
8	半分に切った乾燥トウモロコシは、切っていないトウモロコシのような大きなポップコーンにはならない	61/71	85.9
9	半分に切ると、液体の水が気体(水蒸気)になっても空気中に逃げてしまう 切らないと、液体の水は気体になるが、堅い殻に阻まれて体積を増やせない	51/71	71.8
10	トウモロコシ内の圧力がどんどん増加する	29/71	40.8
11	(生徒にまとめさせる) 堅い殻が内側の水蒸気の圧力に耐えられなくなると、一気に殻が破れ、中のデンプンが軽石のような、スポンジのような構造になる(デンプンの中の液体の水が気体(水蒸気)になって内側から押し広げた跡が空洞になっている)	17/71	23.9

切った乾燥ポップコーンではサラダオイルを使ってもポップコーンにならないことを観察する実験、乾燥トウモロコシ粒の中に水が入っていることを試験管と試験管ばさみを使って確認する実験、風船を使って液体の水が気体になると体積が大きく増えることを観察する実験、を組み入れているが、それぞれの実験を独立させ、授業で、めあて・仮説・実験計画・観察実験・結果・考察・まとめ、の流れでもできるように構成的に実験を提示している。

本研究で提案している観察・実験は、例えば高校での課題研究などで、実験方法を提示せずに、手許にある実験器具だけで必要な結果を導くことができる観察・実験を構成する能力を涵養する際の具体例として提示することで、応用も可能と考えられる。

サラダオイルの存在が、ポップコーンができる要因であると考えられる生徒もいると考えられる。そのような生徒へは、半分に切ったトウモロコシ粒がポップコーンのように弾けるかどうか検討する実験に注目させることが有効と考える。半分に切ったトウモロコシの粒はポップコーンの形状へは弾けないので、水の状態変化が、ポップコーンが弾ける要因である可能性の検討へ生徒の考えを向かわせることができる。

本研究報告で提示した実験の消耗品は、ポップコーン用の乾燥トウモロコシ粒、サラダオイル、黄色い風船である。乾燥トウモロコシ粒は200～300円ほど(例えば、ホクレンのポップコーン)、黄色い風船は100円ショップで、一袋20個入りを100円ほどで購入でき、しかもすべてを使い尽くす実験ではないので、実費はもっと安くなる。ホットプレートやサラダオイルは家庭科室にあるものを使わせてもらう、または家庭科とのコラボレーションとして連携することであらためて購入する必要はなくなる。

本研究で提案している構成的実験のうち、研究方法の4, 6, 8, は、1台のホットプレート上で連続して行うことでポップコーンができる現象を観ながら各構成的実験を行うことができる点や、ガスバーナー等と比べ安全性の上でも優れていると言える。

次期学習指導要領の下、ALによる「主体的・対話的で深い学び」がこれからの児童・生徒の教育へ導入されるのは確実である(文部科学省教育課程部会, 2016)。そのような教育改革の中で、本研究で提案した複数の構成的実験を児童・生徒が自ら考えだすことも可能とも考えられる。もっともそれには、まず課題解決の意欲をもてるように教師側が誘導し、観察・実験を考案する環境条件を整える必要がある。例えば、使える器具などは、実現的な思考を促すため、教師が意図的に置いたものを含めて理科室内に置いてあるものに限定する事がまず必要である。もちろん教師側で最低限必要なものは準備しておくが、使えるのは理科室内に置かれている教材・教具に限定しておく。そのような環境条件の中、様々な実験方法の可能性を検討させ、本研究で提案している構

成的実験も含めて、ALへつなげる観察・実験を考案するよう導くことも可能と考える。

#### 4. 本研究の成果と今後の課題

本研究では、身近な材料や器具で水の状態変化を観察・実験する方法を、構成的な複数の実験から提案した。これは、科学が実生活とどのように関わっているかをも包含しており、次期学習指導要領のねらいにも沿い、児童・生徒の学ぶ意欲を育む一助となるものと考えられた。ただし、水の状態変化の内、液体から気体への変化のみしか取り扱っていないことから、今後は固体・液体・気体の三態を身近なものから学べる教材の提案も必要であると考えられる。

#### 引用文献

- ・(独) 科学技術振興機構 理科教育支援センター：平成20年度小学校理科教育実態調査及び中学校理科教師実態調査に関する報告書(改訂版), 2009(平成21)年4月
- ・藤井祐矢：水の状態変化を実感する学習指導の工夫 小学校4年生「水のすがたとゆくえ」の実践より, 日本理科教育学会全国大会要項, 61, 225, 2011年
- ・五島義昭・青山英樹・西沢健治・柘植治人：ポップコーンの膨化機構, 日本食品工業学会誌, 35(3), 147-153, 1988年
- ・文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 2008年8月
- ・文部科学省：中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 2008年9月
- ・文部科学省：高等学校学習指導要領解説理科編理数編, 実教出版, 2009年12月
- ・文部科学省教育課程部会：次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて(報告)(pdf), [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm), 平成28(2016)年8月26日(平成28年10月21日アクセス)
- ・大須賀隆子：アクティブ・ラーニングを実践するための理論的背景：動機づけ理論・学習理論・認知心理学・学級集団理論・教育評価, 帝京科学大学教職指導研究 帝京科学大学教職センター紀要, 1(1), 83-92, 2016年
- ・大平健二：ポップコーンの観察, 化学と教育, 50(3), 190-191, 2002年
- ・高垣マユミ・田原裕登志：小学校4年理科「水の状態変化」の既存概念の変容過程における発話の解釈的分析, 理科教育研究, 46(2), 29-37, 2006年
- ・柘植治人：ポップコーンはなぜ膨化するのか, 醗酵工学会誌, 69(2), 119, 1991年3月
- ・山崎光洋：小学校理科における授業改善の試み - 観察・実験を支援する教材と活動の工夫 -, 岡山大学教師教育開発センター紀要, 6, 87-96, 2016年