

# ブルーベリーから抽出した pH 指示薬 —家庭でできる pH を調べる化学実験—

鈴木 祥子

## A pH Indicator Using the Pigment Extracted from Blueberries: pH Test at Home

Shoko SUZUKI

*Accepted June 21, 2021*

**抄録：**新型コロナウイルス感染拡大防止のため、実験室に集まらずに各家庭で行うことのできる化学実験として、pH 試験に関する実験の構築を検討した。家庭で扱うため食品由来の色素を用いた pH 指示薬の調製を検討し、比較的安価で、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどから容易に入手可能な冷凍ブルーベリーを用いて調製できることが分かった。また抽出溶媒として 30%エタノールを用いたところ、長期間冷蔵で保存可能な指示薬となることが分かった。

**索引語：**pH 指示薬, 食品由来の色素, ブルーベリー, アントシアニン色素, 家庭における化学実験

**Abstract:** In order to prevent the spread of the COVID-19 infection, I constructed a chemical experiment setup that allows pH testing to be performed at home. I investigated the development of pH indicators using food-derived pigments for home use and found that they can be prepared using frozen blueberries, which are inexpensive and available in supermarkets and convenience stores. I also found that when 30% ethanol was used as the extraction solvent, a stable and effective pH indicator could be stored for a long period of time at low temperatures.

**Key words:** pH indicator, pigment extraction, blueberries, anthocyanin, chemical experiment

### 1. はじめに

2020 年度は当初より、新型コロナウイルス感染拡大を防ぐため様々な対応に迫られた。講義室においては常時換気や、アクリル板の設置といった対策とともに、密集を避けるため例年より広い講義室を使用するなどの対策がとられた。一方で化学の実験科目で使用する実験室には、強力な排気設備が備わっており換気への対応は可能であるが、このような設備を整えた教室には限りがあるため受講者の人数によっては密集を避けることが難しい。また飛沫防止に用いら

れるアクリル板は可燃性の板であり、バーナーを使用する実験室には防火の観点から設置することも難しい。実験室での密集を回避するには、実験の様子を撮影した映像教材を活用するオンライン授業が一つの方策であるが、一般のカメラで捉えられない僅かな変化や、色の鮮やかさ、反応による発熱・吸熱、あるいは匂いなど、映像では伝えられない情報も多く、実物を扱う実験には映像に代え難い部分がある。そこで、密集を避けながら実験の機会を確保すべく、実験室でなくても実施可能な課題および方法を構築することができないかと考えた。実験室以外で実施するためには、以下のような点に配慮が必要である。1) 実験器具が入手しやすいこと。ビーカー等いくつかのガラス器具はホームセンターなどでも販売されているが、このようなものを入手しなくても身の回りのもので代用できることが望ましい。2) 実験スケールが用意できる器具に適していること。家庭にある一般的な容器のサイズは化学実験には大きいものが多い。試料の量を家庭内で用意できるものの中で、極力少量で実験ができることが望ましい。3) 安全かつ後処理も容易であること。加熱の必要がなく、また試料、試薬として用いるものが全てスーパーマーケットやドラッグストアで入手可能な食品および日用品であり、実験後に家庭で廃棄しても問題がないものであることが重要である。以上の点を満たす実験課題として、小学校教科内容論理科で扱う小学校6年生の単元の「水溶液の性質」の内容から実験を検討した<sup>1,2)</sup>。実際に、食品や食品の着色料を用いた指示薬について種々検討し、時期によらず安定的に且つ安価に入手可能な冷凍食品のブルーベリーから容易に調製でき、また抽出にエタノールを用いたところ長期保存可能な指示薬ができることが分かった。ここではその調製と、また種々の水溶液での色調などについて報告する。

酸・塩基（アルカリ）は、小学校6年生の理科をはじめとして、中学校、高等学校においても取り扱われる内容である。水に物質（溶質）が溶けているとき、溶質によって水溶液は異なる性質（酸性・中性・塩基性）を示す。この性質の違いを可視化するために用いられるものがpH指示薬である。小学校、中学校、高等学校の教科書で扱われているpH指示薬の変色域と酸性色・塩基性色について表1に示す<sup>3-5)</sup>。

表1 主なpH指示薬の変色域と色調<sup>6)</sup>

| 指示薬              | 変色域 pH   | 酸性色 | 塩基性色 |
|------------------|----------|-----|------|
| メチルオレンジ          | 3.1～4.4  | 赤   | 黄    |
| リトマス             | 4.5～8.3  | 赤   | 青    |
| ブロモチモールブルー (BTB) | 6.0～7.6  | 黄   | 青    |
| フェノールフタレイン       | 8.0～10.0 | 無色  | 赤    |

pH指示薬には色素が含まれているが、この色素がpHによって酸あるいは塩基として作用し、その構造が変化することで色が変わる。例えば、中学校の理科教科書や高等学校化学の教科書でも取り扱われているブロモチモールブルー (BTB) はpHが6.0よりも酸性の溶液では**1**の構造で黄色を呈し、7.6よりも塩基性の溶液中では**2**の構造となって青色に呈色する。この間の領域がBTBの変色域となり、中性水溶液では中間色である緑に呈色する。また強酸性溶液では赤色を呈し、水溶液のpHによって色が観察しやすい指示薬である<sup>7)</sup>。

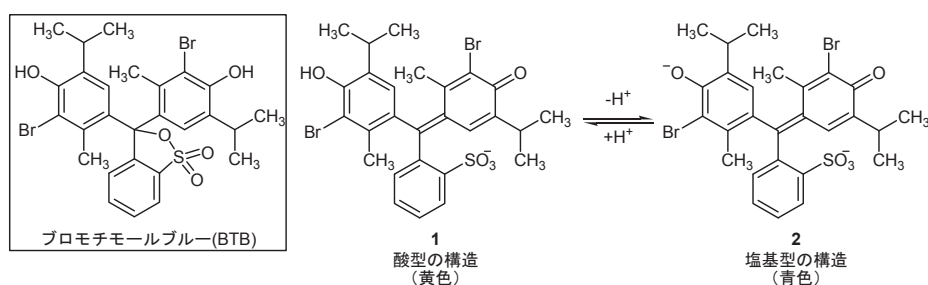


図1 プロモチモールブルーの構造式と、酸型、塩基型構造

一方、小学校や中学校の教科書には、ムラサキキャベツやブドウ、ナス、サツマイモなどの植物から調製した pH 指示薬を使う実験が紹介されている<sup>3,4)</sup>。指示薬となる色素は、これらの植物から抽出されるアントシアニン色素である<sup>8)</sup>。アントシアニンは発色団のアントシアニジンの配糖体で、アントシアニジンの基本的な構造と、水溶液の pH による構造変化を図 2 に示す。この色素は酸性溶液では赤色に呈色し、中性では紫色（もしくは赤紫）、弱アルカリ性では青や緑色、強アルカリ性では黄色に呈色し、幅広い pH で色の変化が観察できる<sup>3,7,9,10)</sup>。

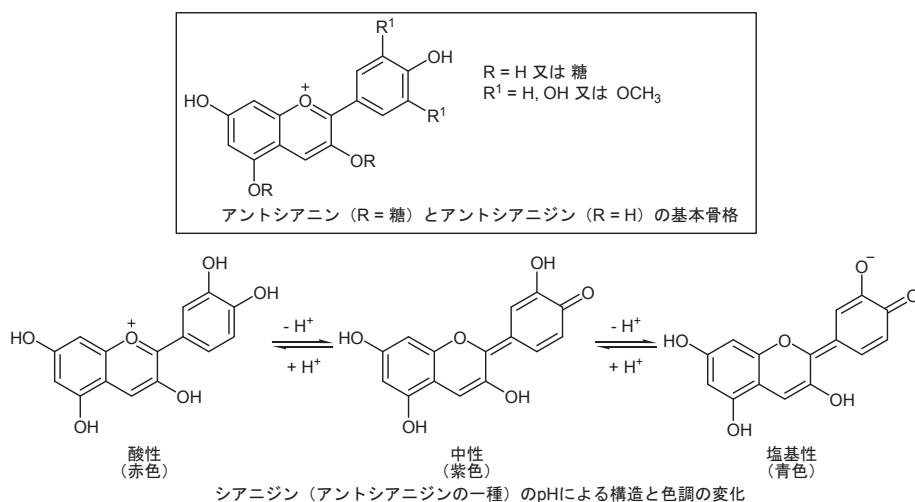


図2 アントシアニンおよびアントシアニジンの構造と色の変化

このアントシアニン色素は、ツユクサやバラなどの花のほか、上述のような野菜や果実が持つ色素であり家庭で行う実験の指示薬に適している。しかし、ブドウなどの果実や花などは入手容易な時期は限られており、また実験に十分な量入手するには高価である。ムラサキキャベツも、どこでも容易に入手できる野菜ではない。そこで、時期によらず入手容易なものが色素源とならないか検討した。そこで色素源として、ムラサキキャベツと同じくアントシアニン色素を有するもので、ハイビスカスが入ったローズヒップティーと冷凍ブルーベリー<sup>8)</sup>、他の色素として食用色素（食用赤色 102 号）、紅茶を検討した。なお食用赤色 102 号（ニューコクシン）、および紅茶の色素の一つであるテアフラビン<sup>11)</sup>の基本構造を図 3 に示した。

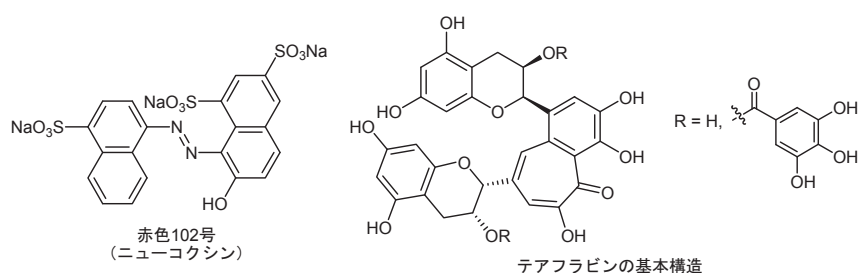


図3 赤色102号と紅茶の色素テアフラビンの構造

## 2. 指示薬の調製と pH 試験

### (1) 実験方法

エタノールを 25 ～ 30 v/v% 含有した、含水エタノールを溶媒として色素の抽出を行った。表 2 に調製条件を示す。抽出した色素溶液 3 ～ 5 滴を、1 mol/L 塩酸、1 mol/L 酢酸、2% 塩化ナトリウム水溶液、2% 炭酸水素ナトリウム水溶液、1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液に滴下して色の変化を観察した。

表2 色素溶液の調製

| Entry | 色素源                  | 色素                          | 色素源の量                    | 溶媒 (量/mL)         | 抽出時間  |
|-------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-------|
| 1     | 食用色素 赤               | 赤色 102 号                    | 付属さじ 1 杯<br>(1 杯約 60 mg) | 水<br>(20)         | —     |
| 2     | 紅茶                   | テアフラビン<br>など <sup>1)</sup>  | ティーバッグ<br>1 つ            | 25%エタノール<br>(20)  | 20 分  |
| 3     | ローズヒップ&<br>ハイビスカスティー | アントシアニン<br>色素 <sup>2)</sup> | ティーバッグ<br>1 つ            | 25%エタノール<br>(20)  | 20 分  |
| 4     | 冷凍ブルーベリー             | アントシアニン<br>色素 <sup>2)</sup> | 80 g                     | 30%エタノール<br>(220) | 36 時間 |
| 5     | ムラサキキャベツ             | アントシアニン<br>色素 <sup>2)</sup> | 外側の葉 1 枚                 | 30%エタノール<br>(36)  | 1 晩   |

色素源には食用色素、紅茶、ローズヒップ&ハイビスカスティー、冷凍ブルーベリーを用い、また比較としてムラサキキャベツでも調製した。

### (2) 結果と考察

まず、食品から色素を抽出することから、保存時にカビなどが発生しないようにするため、抽出する溶媒として含水エタノールを用いた。ただし、食用色素に関してはその必要がないので水に溶解させて用いた。それぞれの色素溶液の様子を写真 1 に示す。食用色素は水に溶け赤色の水溶液となった (写真 1, a)。紅茶およびローズヒップ&ハイビスカスティーについては 20 分の抽出でも十分着色し、それぞれ褐色および赤色の溶液が調製できた (写真 1, b および c)。

冷凍ブルーベリーおよびムラサキキャベツは、エタノールに浸すとすぐに色素が抽出されている様子が観察されたが、十分に抽出を行うため一晚以上浸漬し、その後デカンテーションまたはろ過によって果実あるいは葉を除去し、紫色の溶液のみとした（写真 1, d および e）。

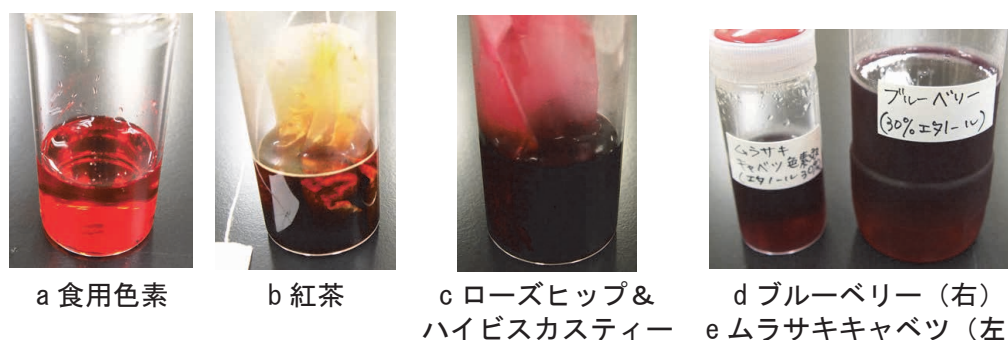
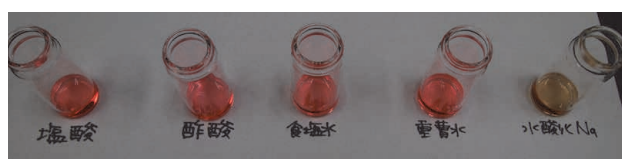


写真 1 調製した色素溶液

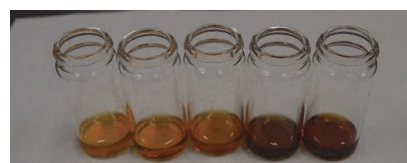
調製した色素溶液を、種々の水溶液に滴下し、色の変化を観察した（写真 2）。写真 2 では pH の試料溶液は左から塩酸（強酸性）、酢酸（弱酸性）、塩化ナトリウム水溶液（中性）、炭酸水素ナトリウム水溶液（弱塩基性）、水酸化ナトリウム水溶液（強塩基性）の順に並んでいる。

まず、食用色素では水酸化ナトリウム水溶液は変色したが、他の水溶液では赤色のままだった（写真 2, a）。水酸化ナトリウムによる変色は、ナフトールのヒドロキシ基の脱プロトン化しナフトキンドが生成したためであり、その他の溶液では構造の変化が起こらないと考えられる。このことから、食用色素では強塩基性か否かは検出可能であるが、その他の領域では指示薬として使用するの難しいことが分かった。次に紅茶では、塩酸で最も明るい黄褐色となり、pH が大きくなるにつれ褐色が濃くなった（写真 2, b）。紅茶の色がレモンで薄くなることはよく知られた現象であるが、色素のテアフラビンのトロポロン骨格にあるヒドロキシ基が、酸性の溶液では図 3 のような構造となり色がうすくなるといわれている<sup>12,13)</sup>。プロトンの脱離が起こると色が濃くなると考えられ、このためより塩基性の強い条件で濃い褐色となったと考えられる。pH によって明るい黄褐色から濃い褐色のグラデーションとなり、pH に大きな差がある場合には指示薬となるが、強酸性と弱酸性、あるいは強塩基性と弱塩基性のよう pH にそれほど差がない試料では指示薬とするのは難しいことが分かった。

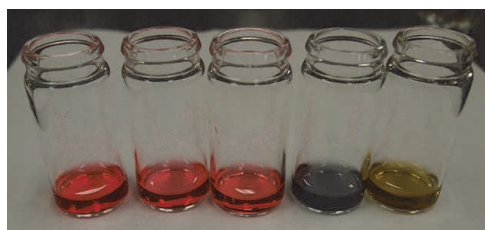
ローズヒップ & ハイビスカスティーでは炭酸水素ナトリウム、水酸化ナトリウムの水溶液でそれぞれ青紫、黄緑に変色したが、中性から酸性では色の変化がなかった。ローズヒップにはビタミン C（アスコルビン酸）が豊富に含まれており<sup>14)</sup>、ローズヒップ & ハイビスカスティーそのものが酸味の強いお茶である。したがって抽出した色素液自体が酸性であったために、中性から酸性域では色が変わらなかったと考えられる。同じくアントシアニン色素をもつブルーベリーとムラサキキャベツでは、5 種類の試料溶液で変色が見られた（写真 2, d および e）。この 2 つを比較するとムラサキキャベツの色調変化のほうによりはっきりとした差があったが、ブルーベリーにおいても中性がうすい赤紫色となり、酢酸、塩酸と赤みが増しているのが観察でき、また炭酸水素ナトリウム水溶液では緑色、水酸化ナトリウム水溶液では黄色となった（写真 2, d）。この色調の変化に加え、冷凍のブルーベリーは時期を選ばず、スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどでも入手することができるものであり、ムラサキキャベツに代わる



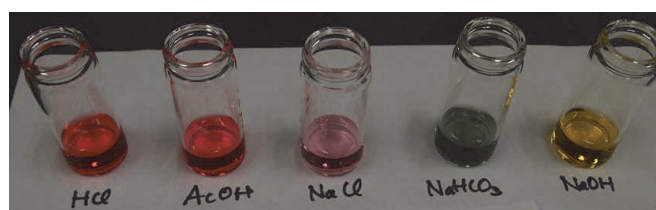
a 食用色素



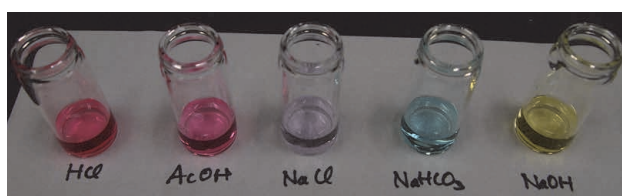
b 紅茶



c ローズヒップ&amp;ハイビスカスティー

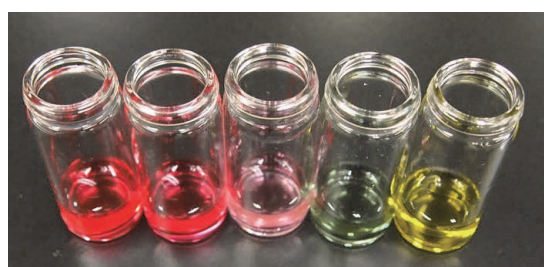


d ブルーベリー

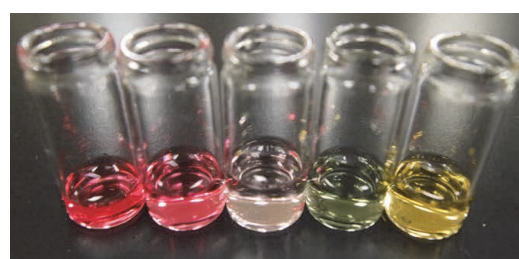


e ムラサキキャベツ

写真2 色素溶液の色の変化



調製直後



10 ヶ月冷蔵保存後

(両写真ともに左から、塩酸、酢酸、塩化ナトリウム水溶液、炭酸水素ナトリウム水溶液、水酸化ナトリウム水溶液)

写真3 調製直後と長期保存後のブルーベリー指示薬による pH 試験

食品由来の指示薬として使用可能であることが分かった。さらに、この色素溶液を冷蔵庫で保存しておいたところ、約 10 ヶ月おいても腐敗やカビの発生もなく同様に用いることが分かった。調製直後と、およそ 10 ヶ月後で pH 指示薬として用いた様子を写真 3 に示す。一方、ブルーベリーの抽出液を一部別にとって果実を漬け続けてみたところ、数か月後には上澄み液が少し茶色がかった紫色となり、pH を変えても写真 3 のような色調の変化が起こらず指示薬となくなってしまう。したがって、色素の抽出には数日程度の短時間で行い、抽出液を果実と分離することによって長期間使用可能な指示薬となることが分かった。

### 3. おわりに

今回、時期によらず容易に入手可能な食品を用いて pH 指示薬の調製を検討し、小中学校の教科書にも記載のあるムラサキキャベツの他に、冷凍ブルーベリーから抽出した色素が同様に使用できることが分かった。また、抽出溶媒に 30%エタノールを用いたものは、冷蔵でカビが発生することなく保存することができ、およそ 10 ヶ月後も調製時と同様に使用することができた。30%エタノールを用いたことは、腐敗を防ぐことが一つの目的であるが、他に食品として入手しやすいことを念頭にしている。スーパーマーケットなどで販売されている果実酒用のホワイトリカーはエタノールの濃度が 30%であり、これを用いれば食品と変わりなく安心して家庭でも保存ができる。また調製時、実験時、実験後の処理においても、日常家庭で扱っているものと変わりが無いので安心して食品や日用品の pH 試験の実験を行うことができる。ただし、実験に用いたものを安易に口に入れたりしないように注意が必要である。また、現在新型コロナウイルスへの対策のため、高濃度アルコールがドラッグストアで入手しやすくなっている。こちらを抽出溶媒に使うことも可能であるが、注意点としてはイソプロパノール以外の添加剤が入っていないものが望ましい。さらに、こちらは食品ではないので、調製時、使用時、および保存時において、誤って口に入れることなどないよう注意が必要である。

化学実験は内容によって実験室で専用の器具、設備を使う必要があるため、その全てを実験室の外でできるようにすることは難しいが、扱う試薬の性質、安全性などを考えて実験法を工夫することによって家庭での実験課題を構築できることが分かった。また、我々の生活には物質が密接にかかわっており、このような実験が普段目にしていないものを化学的な視点で捉えることへの一助になることを期待している。

### 参考文献

- 1) 文部科学省『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説 理科編』東洋館出版，2018
- 2) 京都教育大学『小学校教科内容論理科（化学領域）テキスト』，2019
- 3) 有馬朗人，ほか 42 名『新版 たのしい理科 6 年生』大日本図書，2014，pp.94-99
- 4) 有馬朗人，ほか 62 名『新版 理科の世界 3』大日本図書，2015，pp.172-181
- 5) 齋藤烈，藤嶋昭，他 20 名『化学基礎 改訂版』啓林館，2016，pp.142-145
- 6) 大木道則，大沢利昭，田中元治，千原秀昭編『化学辞典』東京化学同人，1994，pp.520-521
- 7) 平松茂樹「「化学」の授業で色の変化を見る一酸塩基指示薬を中心に」『化学と教育』日本化学会，65，2017，pp.396-399
- 8) 中川裕子，一柳孝志，小西徹也，松郷誠一「生理活性植物因子アントシアニンの色と構造」『色材協会誌』色材協会，79，2006，pp.113-119
- 9) K. C. A. Garber, A. Y. Odendaal, E. E. Carlson, “Plant Pigment Identification: A Classroom and Outreach Activity”, *J. Chem. Educ.*, 90, 2013, pp.755-759
- 10) 長澤寛道『生物有機化学—生物活性物質を中心に—』東京化学同人，2008，pp.64-65
- 11) 坂本彬，井上博之，中川致之「12 種類の紅茶の化学成分」『日本食品科学工学会誌』日本

食品科学工学会, 59, 2012, pp.326-330

- 12) キリヤ化学「色と化学についての Q&A Q-12 紅茶にレモンを入れると, どうして色が消えるのですか?」, <http://www.kiriya-chem.co.jp/q&a/q12.html>, 2021 年 4 月 26 日
- 13) 朝日新聞社「ののちゃんの DO 科学 レモンティーの色 なぜ薄い?」, <http://www.asahi.com/edu/nie/tamate/kiji/TKY200705290363.html>, 2007 年 5 月 29 日
- 14) FoodData Central, “Rose Hip, wild (Northern Plains Indians)”, U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168998/nutrients>, 2021 年 4 月 26 日