

スマートフォンを活用した、
くすり実験教室用教材の開発

就実大学 薬学部 社会薬学研究室 講師

かわの すすむ
河野 奨

スマートフォンを活用した、くすり実験教室教材の開発

就実大学薬学部 調査・研究 実施者氏名 河野 奨

【要旨】

本研究は、中高等学校の「薬の学習」における理化学機器の不足や指導上の不安を解消するため、スマートフォンを活用した化学実験教材を開発し、その教育効果を検討した。教材は、バタフライピーの呈色変化を用いた「用法・用量の遵守」と、同一ブランドで効能が異なる胃薬を用いた「適正な薬の選択」の可視化を目的とした。バタフライピーの実験では、画像解析により色調変化をRGB値で定量化し、客観的な評価を可能にした。胃薬の実験では、中和反応により成分の違いを可視化した。中学生34名を対象とした実験教室の結果、クイズの正答率が有意に上昇し、特に実験内容に関連する知識の定着が確認された。一方、中高等学校の授業枠内での実装には、スマホ解析の工程の所要時間が課題となった。今後は、反応条件の最適化や器具の簡便化を図り、場所を選ばず実施可能な「くすり教育」の汎用的なパッケージ化を目指す。

1、調査・研究目的

2012年の学習指導要領改訂により、中学校での「薬の学習」が明記されてから10年以上が経過した。しかし、中等教育現場で十分なくすり教育が実践されているとの報告は少なく¹⁾、報告があったとしても2010年代の報告が多いのが現状であり²⁾、効果的な学習方略が進展していない。

その要因として、「薬の学習」が学習指導要領の保健体育に記載されており³⁾、理科のような化学実験をともなうアプローチではなく、保健体育の中で扱われている点が挙げられる。また、薬の専門職である学校薬剤師と学校教育との接点が養護教諭であるように人材のミスマッチがあること、学校教育の現場に理系大学のような高価な理化学機器がないことなど、さまざま要因が考えられる。

そこで本研究では、「薬の学習」の障壁と考えられる、活用できる理化学機器が少ないことの解消と中高等学校教諭の「薬の学習」の漠然とした不安感の解消を目的に、測定機器としてスマートフォンを活用できる化学実験教材を開発し、その教材の教育効果を検討した。

2、調査・研究方法

2-1 医薬品の効果を模倣した化学実験の構築

2-1-1 バタフライピーを用いた医薬品の血中濃度と効果の関連性を模倣した実験教材開発

16、8、4 mg/mL バタフライピーと 1 M クエン酸溶液を用い、溶液の色調が青色から赤色へ変化するまでのクエン酸の量と色調変化の関係性を pH メーターおよび吸光度スペクトルを測定した。さらにクエン酸を添加するごとにスマートフォンで撮影し、画像解析アプリ(「いろ調べ」など)を用いて RGB 値を算出することで、色調変化を定量化し、吸光度スペクトルと比較した。

医薬品を模倣するためにバタフライピーエキスパウダーを 5 号カプセルにすり切り充填した(約 45mg)。このカプセルを試験管に入れ、約 60°C の温水を 6 mL 加えた。内容物が溶出するまで穏やかに試験を振り混ぜた。溶解を確認後、1M クエン酸溶液またはレモン果汁(ポッカレモン[®])を 1 滴ずつ加え、変化を観察した。

2-1-2 胃薬の効果を可視化する化学実験の構築

同一ブランドで効能効果の異なる一般用医薬品(パンシロンキュア[®]、パンシロンアクティブ 55[®])を比較対象とし、制酸効果に着目した実験教材を開発した。

0.1 mol/L HCl mL に BTB 溶液を加え、対照群として蒸留水(陰性対照)および NaHCO₃(陽性対照)を用いた。試験群には制酸効果を標榜する「パンシロンキュア[®]」と、標榜していない「パンシロンアクティブ 55[®]」を用いた。なおパンシロンアクティブ 55 には各種消化酵素を含んでいるため、比較としてプロテアーゼも対照群に加えた。pH の変化は BTB 溶液の色調変化(酸性：黄、中性：緑、塩基性：青)で判定した。

2-2 化学実験の教育効果

地域の薬局薬剤師および当該中学校の養護教諭の協力を得て、岡山県内の A 中学校の生徒を対象に、制酸効果を標榜している胃薬の効果を可視化した化学実験教室を行い、その教育効果を検討した。実験教室は放課後の時間を使い、自由意志で参加した生徒を対象とした。

表 1 のようなスケジュールで、薬に関するプレクイズの後、実験の目的、操作方法、および安全上の注意事項を説明した。実験は作成したワークシート(図 1B)に沿って行い、最後に実験操作や内容の難易度に関するアンケートおよびポストクイズを実施した。プレクイズとポストクイズは同一の問題を用いた。実験操作の補助として薬学生および地域の薬剤師が 1 名につき 2 グループを担当した。

2-3 統計解析

教育効果の量的な解析は R をもちいて実施、プレ、ポストクイズは正答率など集計後、McNemar 検定および効果量 ϕ を求めた、有意水準を 0.05 未満とし、効果量は小:0.1、中:0.3、大:0.5 とした⁴⁾。

実験操作や内容の難易度は1:簡単～5:難しいの5段階で尋ねた。考察および感想は、HK-coder3を用いて頻出語や共起ネットワーク図を作成し、1、2年生と3年生の層別解析を行った。

2-4 倫理的配慮

くすり化学実験教室は教育効果を測定するためだが、未成年を対象とした教育研究のため、就実大学・就実短期大学教育・研究倫理安全委員会の承認を得て行なった(承認番号 359)。

3、調査・研究成果

3-1 化学実験教材の開発

3-1-1

バタフライピーの濃度とクエン酸添加量による色調とRGB値の変化を表1に示す。中性付近のバタフライピー溶液は青色を呈し、いずれの濃度でもRGB値はBの値が最大であった。溶液の濃度が増加するにつれ、RGBの総和が減少したことから、色が濃くなり黒色へ近づく傾向が確認された(表2)。1Mクエン酸を1滴ずつ加えたところ、色調が青色から赤色に変化しR値も増加した。R値の変化を追跡した結果、4 mg/mL、8 mg/mLでは2滴目、16 mg/mLでは5滴目でR値の上昇が止まり頭打ちとなった(図2)。

以上の結果より、従来、観察者の主観に頼っていた色調変化を、分光光度計やプレートリーダーなどの高価な専門機器を用いることなく、スマートフォンによる撮影、画像解析で客観的に数値化できる可能性が示された。しかし、撮影、画像解析は中学校や高等学校の50分の授業時間内に収めるには時間的な制約が大きい。そこで、教育現場での実装に向け、実験操作および解析方法の簡便化を検討した。

そこで、溶液調整の簡便化に加え、実験教材から医薬品が想起されることを目的として、バタフライピーパウダーをカプセルに充填し、実験に用いるカプセルの数によって濃度変化を調整することとした。8 mg/mL相当の濃度を再現するため、1カプセル(1C)あたり6mLの温水を加える条件に設定した。

次に、撮影、解析の簡便化として、画像解析の代わりに背景の視認性を用いた。試験管の背景に、赤色と補色関係にある青色または緑色の印を付け、その透過度を1:見えないから5:見えるの5段階で評価した。

1カプセルの場合(1C)は青色からやや紺色、2カプセルの場合(2C)は紺色～黒色を呈した。この溶液にレモン果汁または1Mクエン酸を点眼容器を用いて1滴加えたところ、1Cは青紫～紫色を呈し、加える酸の量を増加させると次第に赤紫色に変化した。2Cも1Cと比較すると色調変化のスピードは遅いが最終的には赤紫色になった。赤紫色

になった時点のクエン酸量は 1C 6 滴、2C 8 滴であった。印の視認性もクエン酸を加えることで上昇した(表 3)。

3-1-2 胃薬の効果を可視化する実験教材の構築

胃薬の効果を可視化するため、制酸効果の可視化を目指した実験教材構築を行なった。

0.1 mol/L HCl に BTB 溶液を加えたところ黄(酸性)を呈した。ここに、制酸成分の本体である NaHCO₃、または制酸作用を標榜しているパンシロンキュア[®]を加えたところ、溶液は青(塩基性)へと変化した。一方、パンシロンアクティブ 55[®]を加えた場合は緑～青を呈し、プロテアーゼは黄色のままであった(図 3)。これにより、製品による制酸能力の差異を色調変化で示すことが可能となった。

以上の結果に基づき、中高生向けのワークシート 2 種類(図 1) と薬の適正使用に関するクイズ 10 問(表 4)を作成した。なお制酸効果を可視化した実験が、報告書作成時点で 50 分以内に終了できる実験内容だったため、化学実験の教育効果は制酸作用の可視化実験を行った。

3-2 中学生を対象とした教育効果(写真 1)

くすり科学実験教室には A 中学校の生徒 34 名(1 年生 14 名、2 年生 10 名、3 年生 10 名)の参加があった。クイズの正答率およびクイズの各設問の正答率の変化と効果量を表 4 に示す。プレクイズの平均正答数は 8.24 でポストクイズの平均正答数は 8.83 であり、中程度の効果量で有意に上昇していた。各設問の実験教室前後の比較では問 5 で中程度の効果量で有意な上昇しており、問 9 は有意な上昇は認められないが小さな効果量であった。

この実験教室の実験操作および内容の難易度について調査した結果を図 4 に示す。実験操作については中央値で 2 と比較的易しい操作であった。内容は中央値で 3 とちょうど良い難易度設定であった。しかし、操作が難しいと回答した生徒が 1 名、内容が難しいと感じた生徒が 4 名いた。学年で層別化した場合、1、2 年生で難しいと感じる生徒がいることが示された。

4、考察

本研究では、医薬品の用法・用量の遵守および適正使用を推進するため、目に見えない医薬品の作用を中和反応や酵素反応を通じて可視化する教材を構築した。

医薬品の用法用量の遵守の重要性を伝える実験教材として、バタフライピーとクエン酸を用いた教材を開発した。pH 変化に伴う色調変化をスマートフォンで撮影、解析する方法は、実験者の主観的な情報を RGB 値という客観的な数値に変化し、結果をグラフ化して変化を可視化する

ことを可能にした。このことは、分光光度計など高価で高度な理化学機器を備えていない教育現場においても、精度の高い定量的な実験が可能であることを示唆している。また、色の変化を数値で共有できることは、色覚特性を持つ参加者への配慮にもつながり⁵⁾、科学教育のユニバーサル化に貢献できる可能性が高い。

一方で、スマートフォンによる解析工程は、目視による観察と記録に比べて時間を要し、中高等学校の50分という授業枠内での実施には課題が残った。

同一ブランドの胃薬でも成分・作用が異なることを伝える実験教材として、制酸効果と消化補助効果を比較するためにパンシロンキユア[®]、パンシロンアクティブ55[®]を用いた教材を開発した。

制酸効果を可視化するために、BTB 試薬を用いた胃酸の中和実験は、試薬の混合と同時に色調が変化するため、5種類の検体の実験を30分程度で実施できる。同一ブランドの胃薬でも制酸成分の含有量によってBTB 試薬の色調が分かれた(パンシロンキユア[®]:青色、パンシロンアクティブ55[®]:緑～青色、プロテアーゼ:黄色)。この結果は成分の違いを視覚的な「色の差」として示すことができるため、特別な分析機器を持たない環境でも、参加者が直感的に実験結果を解釈できる有効な実験である。

このような理由から、中学生を対象とした実験教室では制酸効果の可視化を目的とした中和実験を行なった。

中学生を対象として、今回構築した同一ブランド胃薬でも成分・作用が異なることを伝える実験教材のうちBTB 試薬を用いた中和実験の教育効果を検討した。

胃酸の中和実験に名称が類似しているが標榜している効果のことなる医薬品を用いることで、同じ系統の胃薬でもパッケージに記載されている効果が異なれば、作用も異なることを可視化でき、高い教育効果を得られることが示された。

実験の難易度については、それぞれ中央値で操作:2、内容:3であり適切な内容であると考えられる。しかし、1、2年生の一部に「難しい」と感じた生徒がいた。

今回、スマートフォンを活用した実験教室の実験方略は構築できた。しかし、中高等学校での実装には50分の授業時間の制約が最大の障壁となった。スマートフォンを画像解析装置として利用することは、実験者の主観的な情報を客観的な数値(RGB値)に変換できる点では極めて有用である。一方で、撮影、解析、グラフによるデータの可視化に至る行程は、目視によるアナログな記録より時間を要することが示された。この解析プロセスに伴う時間的負荷が、学校現場への実装を妨げる要因となっていた。したがって、医薬品の用法・用量の遵守に関する実験教材を普及させるためには、この時間的な制約を克服する手法の検討が不可欠であることが示された。

一方で、医薬品の適正な選択に関する実験教材のうち、中和反応の実験は反応も速く、指示薬を用いることで簡便に反応を追跡できる。このため時間が限られている場合でも実施が可能で、適切な医薬品を選定し実験に用いることで高い教育効果が得られることが示された。これに対し、酵素反応を伴う実験は反応時間の確保が必要なため中高等学校で実施するためにはさらなる、反応の条件の検討が必要である。

今後は、試験管などの理化学機器を用いることなく、今回構築した2種類の実験をより簡便に

実施できる手法の確立を目指ことで、このようなくすり化学実験教室の汎用化を検討していきたい。

5、まとめ

医薬品の適正使用を目指した、くすり化学実験のうち用法用量の遵守を目指したバタフライピーの実験、胃薬の効果のうち制酸作用を可視化する学習方略を構築することができた。このうち、胃酸の中和作用を可視化する実験は実際に中学生を対象にした教室を実施することができ、実験操作は難しくないが、実験結果を考察するにはやや難しいことが明らかになった。また、教育効果を測定したところ有意な差はなかったが、実験教室の影響を受けて正答率が変化する可能性が高いことが示された。スマートフォンを用いてデータ収集、解析を行うことは、器具や場所の制約を取り払うことができる可能性が示された。一方で、時間的な制約を解決できれば実験教室のユニバーサル化に貢献できることが示唆された。

6、調査・研究発表(口頭又は誌上発表)

6-1 岡本真依¹、市村彩佳¹、林瑠太郎¹、難波安紀美²、沼本いぶき²、岩野寛樹²、河野奨¹、加地弘明¹(1 就実大学薬学部、2 あかり薬局) 市販胃腸薬を用いた中和反応を題材とした中学生対象の薬学実験教室における学習効果の検討、第11回日本薬学教育学会、大阪

6-2 市村彩佳、岡本真依、河野奨、加地弘明、バタフライピーの色調変化を活用した薬の体内変化の可視化—中学生を対象とした薬の過量投与に関する教育効果の検討—、第11回日本薬学教育学会、大阪での発表を予定しています。

7、引用文献 図(表)及び写真

1. 寺町ひとみ, 齊藤康介, 江崎宏樹, 加藤未紗, 臼井一将, 野口義紘, 舘知也, 勝野眞吾, 全国の中学校における「医薬品に関する教育」の指導実態調査、医療薬学、41(12)、870-879、2015
2. 北垣邦彦、わが国の学校教育における医薬品教育、薬学雑誌、133(12)、1309-1314、2013
3. 文部科学省、中学校学習指導要領(平成29年度告示) 解説—保健体育編—令和6年12月一部改訂
4. 水本篤、竹内理、研究論文による効果量報告のために—基礎的概念と注意点—、英語教育研究、31、57-66、2008

5. Li J., O'Neill ML, Pattison C, Zhou J. H-W, Ito J., Wong C, Yu H-Z, Merbouh N., Mobile App to Quantify pH Strips and Monitor Titrations: Smartphone-Aided Chemical Education and Classroom Demonstrations, J. Chem. Educ., 100, 3634-3640, 2023

表1 中学校でのくすり化学実験教室のタイムスケジュール

時間	内容
5min	プレクイズ
5min	実験の目的、操作の説明
15min	BTB 溶液を用いた中和実験
5min	結果、考察の記載
5min	ポストクイズ
10min	まとめ

表2 各濃度のバタフライピーにクエン酸を加えた際の色調変化と RGB の変化

	RGB(平均)	レモン汁滴下数										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16mg/mL	R	13	47.8	58.6	61.4	73.2	74.8	85.2	78.8	84	99.6	87.2
	G	18	12	13	13.8	23.6	26	31.8	28.6	30.8	49.4	38
	B	57	47.4	44.6	42.6	45	45.8	50.2	49.4	51.2	65.4	52.2
8mg/mL	R	34.2	84.8	89.2	81.2	97.8	85.6	91.6	103.6	91.6	94.8	100
	G	58	47.4	44.8	43.4	56.2	47	50.4	65.8	51.6	53.6	59.6
	B	88	77.8	70	56.6	69.8	61	63	77	61.8	64.4	66.8
4mg/mL	R	61.4	96.4	100	105.6	97	99.2	103.6	104.2	99.6	110.4	138
	G	90.2	72	70.6	73.8	70.8	68.2	74.4	73.4	72	77.6	103.2
	B	107.2	89.8	83	84.6	72.4	78.8	77	81	71.6	81.2	105

表3 カプセル数とクエン酸の変化

	クエン酸滴数	0	1	2	4	6	8	10
1C	色	青	紫	紫	紫	赤紫	赤紫	赤紫
	視認性	2.75	3.75	4	4	4	4	4.75
2C	色	紺	濃い紫	濃い紫	濃い紫	紫	赤紫	赤紫
	視認性	1	1	1	1	2	2	2

表4 クイズの正答率および統計量

		プレクイズ	ポストクイズ	χ^2	P-value	効果量 (η^2)
問1	かぜ薬を飲むと眠たくなってしまうことがある。	24	25	0.00	1.00	0.00
問2	薬はお茶やジュースで飲んではいけない。	23	26	0.57	0.45	0.13
問3	かぜを完全に治すためには、かぜ薬を飲むのに加えて、しっかり休むことも必要だ。	32	33	0.00	1.00	0.00
問4	薬局で購入した薬を家族や友達にあげてはいけない。	27	29	0.10	0.75	0.05
問5	病院でもらった薬は症状が良くなったら、自分の判断で飲むのをやめてもよい。	24	30	3.13	0.08	0.30
問6	ドラッグストアで売ってる薬を何日間か使用しても症状がよくならない場合は、飲むのをやめて病院にかかった方がよい。	32	32	0.00	1.00	0.00
問7	早く治したい症状があるときは、決められた量や間隔を守らずに薬を飲んでよい。	30	34	N.D.	N.D.	N.D.
問8	薬を飲み忘れたときは、次の時間に2回分まとめて飲むとよい。	30	30	0.00	1.00	0.00
問9	食べ過ぎでお腹が重いときは、消化を助ける成分が入った胃薬を飲んだ方がよい。	25	30	1.78	0.18	0.23
問10	自分の症状に合った胃薬を選ばないと効果に差が出る。	33	31	0.25	0.61	0.09
平均正答数		8.24	8.83		0.05	0.34 [※]

※ 平均正答数の効果量は $\eta^2 = \frac{t^2}{t^2 + df}$ にて求めた。

A

決められた量を守らないとどうなる？

～パタフライビーとレモン汁を使った色の実験～

パタフライビーにレモン汁を加えると色が変化するよ
なぜ薬を1回に2錠飲んではいけないのかを実験で確かめてみよう！

<机の上にあるもの>

- ・パタフライビーパウダーが入ったカプセル(3カプセル)
- ・お湯(50mL)
- ・試験管(3本)
- ・紙コップ
- ・印の入った用紙
- ・レモン汁
- ・2mLピペット
- ・試験管立て
- ・かさ受け槽

<実験手順>

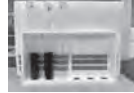
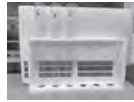
①印の入った用紙を試験管立ての間に挟み、試験管を3本立てる。

②試験管 A に1カプセル、試験管 B に2カプセルを入れ、試験管 ABC にピペットでお湯を線が隠れるくらいまで(試験管 1/3 程度)まで、カプセルを溶かし、正面から見た透け具合を観察する。

③レモン汁を加え、色の変化と透け具合を観察して、<観察結果>の表に記入する。

<発展>

レモン汁を加える前と1滴ずつ加えるごとにスマホで写真を撮り、RGBの値を出すアプリケーション(色しらべなど)を用いて、RGBの値の変化を見てみよう！
グラフ(縦軸：RGB値、横軸：レモン汁滴下数)で表すと変化が見やすくなるよ



<観察結果> 下の表に色の変化を記録しましょう。

色は下の中から最も近いものを1つ選んで記入しましょう。※同じ色が書いてもOKです
黒・紺・濃い青・青・青紫・赤紫・紫・赤・その他
透け具合：全く見えない→1
はっきり見える→6

試験管 A

レモン汁滴下数	0	1	2	4	6	8	10
色							
サインペンの透け具合							

試験管 B

レモン汁滴下数	0	1	2	4	6	8	10
色							
サインペンの透け具合							

<考察・感想>

○青色から何色に変化しましたか？

○色が濃かったのはどちらですか？濃かった方に○をつけてください。

・1カプセル ・2カプセル

○実験の内容は難しかったですか (数字に○をつけてください) 難 5 4 3 2 1 簡単

○実験の操作は難しかったですか (数字に○をつけてください) 難 5 4 3 2 1 簡単

○実験を通して感じたことや気づいたことを自由に書いてください。

B

胃薬は何をしているの？

～酸を中和する働きを確かめよう～

胃薬の代わりに塩酸を使って、胃薬を加えることで、酸の強さがどのように変わるのかを色の変化から調べてみよう！

<準備するもの> 1グループあたり

- ・0.1mol/L 塩酸
- ・1%タンパク分解酵素溶液
- ・パロシロンアクティブ S 5
- ・試験管(6本)
- ・BTB 溶液
- ・パロシロンキュア半包
- ・重曹(炭酸水素ナトリウム)半包
- ・試験管立て(1台)

<実験手順>

①塩酸が入ったそれぞれの試験管に、BTB 溶液を5滴ずつ加える。

②試験管に記載されている通りに、水(5滴)、重曹(炭酸水素ナトリウム)、1%タンパク分解酵素溶液(5滴)、パロシロンキュア半包)、パロシロンアクティブ S 5 を加える。(重曹、パロシロンキュア・アクティブ S 5 は一気に入れず少しずつ加えよう)

→加えてすぐに見た目に変化が起きるものがあるのでよく観察しよう

(薬を加えるごとに試験管をゆすり混ぜよう)

→塩酸の色と比較して、酸性・中性・アルカリ性を判断しよう

①BTB 溶液を入れる

(5滴)

②くすりを入れる



参考文献：未来へひろがるサイエンス3 啓林館 令和7年2月10日発行 p144

BTB 溶液：水溶液の性質を調べる指示薬

酸性に近づくと黄色に、アルカリ性に近づくと青色になる

<観察結果>

①塩酸に試薬を加えるときどのような外観の変化がありましたか。

試薬名	予想	結果
水		
重曹		
タンパク分解酵素		
パロシロンキュア		
パロシロンアクティブ S5		

② それぞれの試験管に試薬を加えると、どのような色の変化がありましたか。(色を違ってみよう。色が変わらないう場合は真横を下に書いてみよう。)



<考察・感想>

・試験を加えると、試験管ごとに溶液の色の変化が見られましたが、これによってどんなことがわかりますか。

・実験の内容は難しかったですか (数字に○をつけてください) 難 5 4 3 2 1 簡単

・実験の操作は難しかったですか (数字に○をつけてください) 難 5 4 3 2 1 簡単

・実験を通して感じたことや気づいたことを自由に書いてください。

図1 中学生を対象とした薬化学実験教室で用いたワークシート
A：用法用量の遵守実験シート、 B：中和実験シート

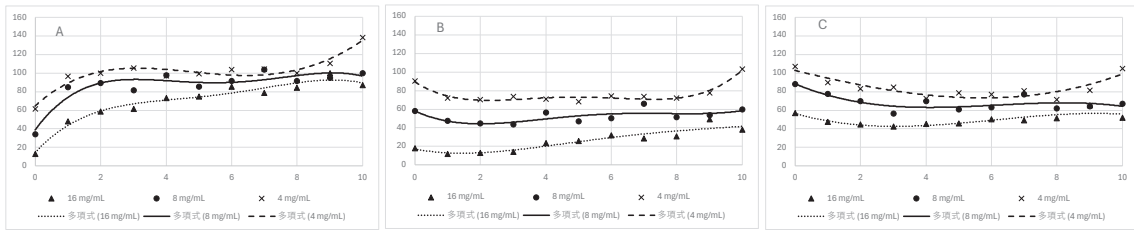


図2 バタフライピーの濃度とクエン酸を加えた際のRGB各成分の変化
A：R成分、B：G成分、C：B成分

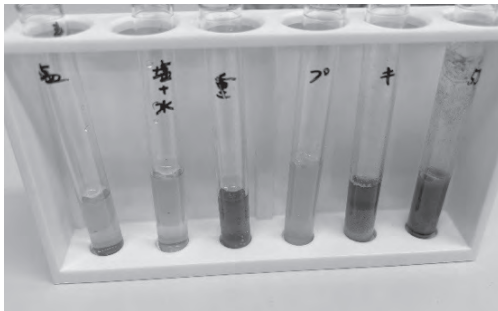


図3 各医薬品添加後のBTB溶液の色調変化

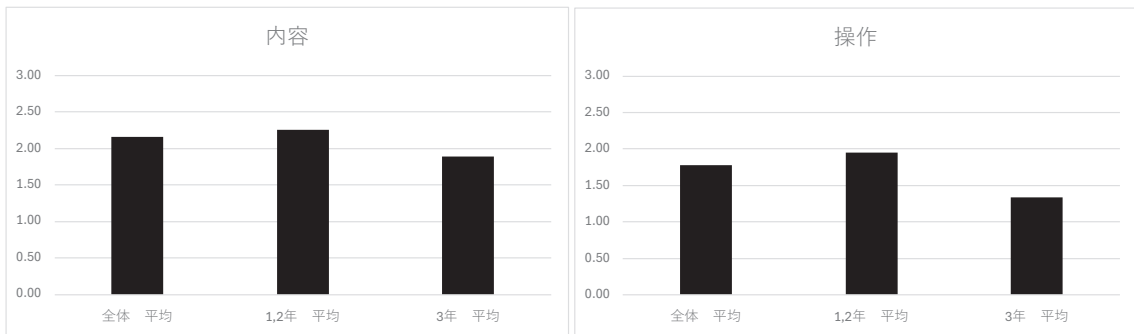


図6 実験教室の難易度



写真1 実験教室の様子