



ナノブロック製簡易吸光光度計を用いた中等教育のための理科教材の開発と実践

片山, 耕太郎
竹村, 実成
二宮, 純子
堀田, 弘樹

(Citation)

研究紀要 : 神戸大学附属中等 論集, 10:13-20

(Issue Date)

2026-03-31

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/0100502608>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100502608>



ナノブロック製簡易吸光光度計を用いた中等教育のための理科教材の開発と実践
Development and Practice of Science Teaching Materials for Secondary Education
Using a Simple Nanoblock Spectrophotometer

片山耕太郎^{1,2}、竹村実成¹、二宮純子²、堀田弘樹³
Kotaro Katayama¹, Minaru Takemura¹, Junko Ninomiya², Hiroki Hotta³

¹ 神戸大学附属中等教育学校

¹Kobe University Secondary School

² 神戸大学教育推進機構みらい開拓人材育成センター

²Center for the Next Generation, Institute for Promotion of Higher Education, Kobe University

³ 神戸大学大学院海事科学研究科

³Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

Abstract

This study reports the development and classroom implementation of a low-cost colorimeter constructed using nanoblock components, a single color LED, and a phototransistor. The device was designed for secondary science education to introduce quantitative analysis of light absorption. The instrument was implemented in an integrated science course at the secondary level, where students measured transmittance, calculated absorbance, and constructed calibration curves to relate absorbance to concentration. The results showed significant improvements in students' understanding of light absorption and colorimetric quantification. The findings suggest that a structurally explicit, low-cost instrument can effectively support the transition from perceptual understanding of color to quantitative analytical reasoning in secondary science education.

1. はじめに

光は自然現象の理解と技術応用の双方において中核をなす概念であり、中学校および高等学校理科でも扱われている。しかし、高等学校学習指導要領（平成 30 年文部科学省 告示第 68 号）では、中等教育理科における「光」の学習は主として反射・屈折・レンズなどの幾何光学的性質に比重が置かれ、光と物質の相互作用を「吸収（吸光）を定量する」という枠組みで体系的に扱う機会は限定的である（文部科学省, 2018a）。

また、色は日常的に知覚されている極めて身近な現象であるにもかかわらず、「なぜその色に見えるのか」「色の濃さは何を意味するのか」を光吸収と関連付けて体系的に学習する機会は多くない。すなわち、日常経験としての色と、物質情報としての吸収との間に教育的空白が存在する。

一方、大学では、紫外可視吸光光度法が基礎的かつ汎用的な定量分析法として広く用いられている（中田 2022；釜谷 2008）。吸光度

は入射光と透過光の比の対数として定義され、Beer-Lambert 則に従って濃度と比例関係を示す。この概念は大学初年次以降の実験で頻繁に扱われる。高等学校段階で光の吸収について定量的に扱われる機会は限られてはいるものの、これまでに複数の実践の事例が報告されている(増井ら 2020; 南ら 2005)。しかし、吸光度法の導入について、村上(2022)は中学校・高等学校、大学においても装置台数や費用が障壁となることを指摘している。したがって、低コスト機器と探究型授業を組み合わせ「吸収(吸光)」を導入することは、高大接続のギャップを埋める実践例となりうる。

近年、LED やフォトセンサ、LEGO ブロックなどを用いた低コスト光度計の教育利用も報告されている(Bouza et al. 2019; Asheim et al. 2014; 宇佐美 1994)。本稿にて紹介するLED やフォトトランジスタ、ナノブロックを用いた“ナノブロック吸光度計”(図1)も大学の学生実験の授業で使用されているものの、中等教育への展開を扱った報告はまだない。

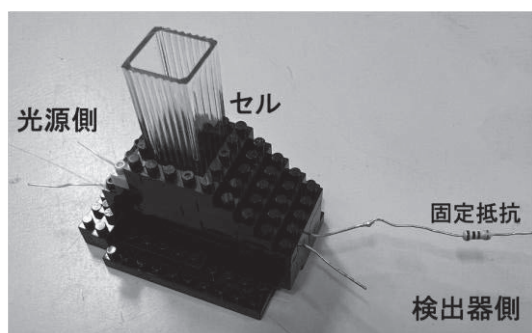


図1 ナノブロック吸光度計の外観

そこで本稿では、ナノブロック吸光度計の構成および性能を示すとともに、中等教育学校第3学年の学校設定科目「科学総合」において実施した「光の吸収の定量化」の授業実践を報告する。あわせて、色の濃淡を感覚的印象から数量的対応関係へと再構成する学習過程と、その教育的効果についても報告する。

2. 簡易吸光度計の開発と性能評価

2.1 装置の構成

ナノブロック吸光度計のセルホルダー部分は、株式会社カワダ製 nanoblock を使用した。内部には、光源として緑色 LED (中心波長 530 nm) を、検出器としてフォトトランジスタを、試料セルを挟んで対向する位置に配置した。試料セルには光路長 10 mm のポリスチレン製ディスポーザブルセルを使用し、セルホルダーの挿入部はセルが適切に固定される寸法(ナノブロックの 3×3 スタツズ)とした。電源電圧は、LED に 3 V、フォトトランジスタに 5 V を印加した。LED の光強度は可変抵抗によって調整した。透過光はフォトトランジスタで受光し、固定抵抗に生じる電圧変化として検出した。

本装置全体の回路図を下図2に示す。

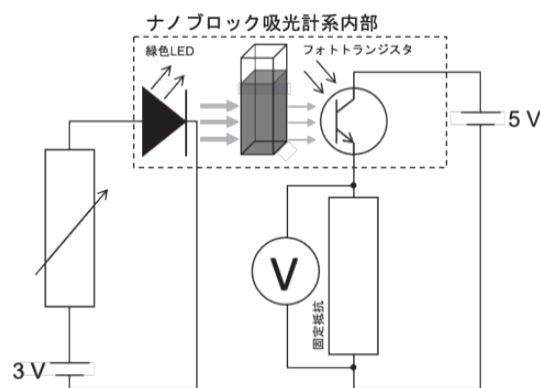


図2 装置全体の回路図

なお、本装置は回折格子や分光素子を備えた分光光度計とは異なり、単色の LED を光源とする測定装置である。したがって、吸収スペクトル全体を取得することはできないが、特定波長域における吸光度測定には十分である。LED は安価で多様な波長のものが市販されているため、測定対象物質の吸収極大波長に応じて光源を交換することも可能である。この点は教育用途において装置構造の理解と波長選択の意味を学習させる上で有用である。

2.2 測定原理

本装置は、試料を透過した光強度を電圧として検出し、その値から透過率および吸光度を算出する構成である。

透過率 T は、入射光強度 I_0 と透過光強度 I の比として以下の式で定義される。

$$T = \frac{I}{I_0}$$

本装置では光強度を直接測定するのではなく、フォトランジスタに接続している固定抵抗 R_1 の電圧として検出している。 R_1 の電圧 V は入射光強度に比例するとみなせるため、実際の透過率はブランク測定時の電圧 V_0 と試料測定時の電圧 V の比として求めた。

$$T = \frac{V}{V_0}$$

吸光度 A は透過率の常用対数を用いて以下の式で定義される。対数変換を行うことで濃度との関係を線形化できる。

$$A = -\log_{10} T$$

吸光度はランベルト・ベールの法則 (Beer-Lambert law) に従い、光路長 l および濃度 C に比例する。

$$A = \varepsilon C l$$

ここで ε はモル吸光係数 (mol L^{-1}) $^{-1}\text{cm}^{-1}$ で 1 mol L^{-1} の溶液を通過するときの吸光度である。

2.3 装置を用いた予備実験

授業実践に先立ち、本装置の測定精度および直線性を確認するため、予備実験を行った。既知濃度の過マンガン酸カリウム標準溶液を調製し、各濃度における吸光度を測定して検量線 (図3) を作成した。吸光度 A と濃度 C の関係は以下の回帰式で表された。

$$A = 1.72 C - 3.14 \times 10^{-3}$$

決定係数は $R^2 = 0.9995$ であり、極めて高い直線性が確認された。

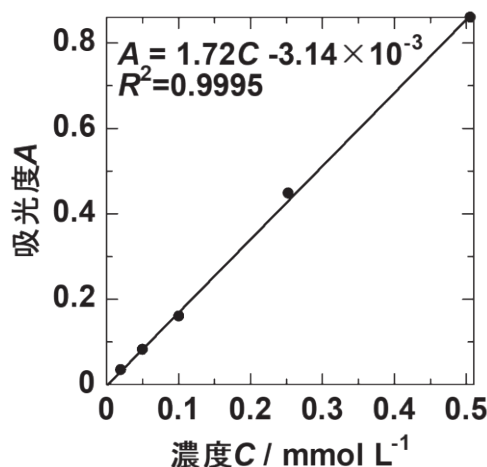


図3 過マンガン酸カリウム水溶液の検量線

本結果は、ランベルト・ベールの法則に従い、吸光度が濃度に比例する関係を本装置でも十分に再現できることを示している。特に教育用途においては、検量線が明確な直線として得られることが、学習者に比例関係を視覚的に理解させる上で重要である。

以上より、ナノブロック吸光度計は、中等教育段階における定量実験教材として十分な測定精度を有することが確認された。

3. 授業実践の設計

3.1 対象と単元構成

本実践は、本校第3学年3クラス (在籍118名) を対象に、学校設定科目「科学総合」において同一の内容で行った。本校は中等教育学校であり、文部科学省スーパーサイエンスハイスクール (SSH) 指定校として特例措置のもと独自カリキュラムを編成している。

本単元「化学と光のエネルギー」は、光と物質の相互作用を主題とした3時間構成の探究的単元である。第1・2時では光の吸収とエネルギー変換 (熱・蛍光・化学発光) を扱い、第3時ではそれらの学習を踏まえて「吸収されなかった光が色として見えている」という認

識へ再構成し、さらに吸収の程度を数値化する活動を行った。本稿ではこの第3時「光の吸収の定量化」に焦点を当てて報告する。

授業は4人1班の小集団による観察・実験・考察活動を基本とし、1クラスあたり10班を編成した。演示型ではなく各班が独立して測定およびデータ処理を行えるよう、実験装置を班数分(10セット)用意した。

3.2 本時の位置付けとねらい

本時の本質的な問いは、「なぜ物質には色があり、その濃さはどのようにして数値で表すことができるのだろうか。」である。

前半では、色のついた水溶液を通過させた光のスペクトルを観察し、見えている色が吸収されなかった光であることを確認することをねらいとした。これにより、色の見え方を吸収という観点から再構成することを目指した。

後半では、過マンガン酸カリウム水溶液を試料としてナノブロック製簡易吸光度計を用い、透過率を測定し、吸光度を算出して検量線を作成した。これにより、色の濃淡を感覚的印象としてだけではなく、測定可能な物理量として扱う経験を通して、色と物質量の数量的対応関係を理解することを意図した。学習指導計画の略案は付録に示す。

3.3 数学的配慮

対象生徒はモル濃度を既習であるが、対数(常用対数)の概念は未習であった。そのため、吸光度 $A = -\log_{10} T$ の算出はExcel関数を用いて行うこととし、事前に作成した計算シートを各班に配布した。生徒は透過率を入力することで吸光度が自動的に算出される仕組みとし、対数計算そのものではなく、吸光度と濃度の比例関係の理解に学習の焦点を置いた。

4. 授業実践の結果

4.1 調査方法

アンケートは全生徒に回答を依頼し、研究目的および研究データとしての使用について事前に説明を行った。そのうち同意が得られた69名の回答を分析対象とした。なお、本研究は神戸大学附属学校における人を直接対象とする研究倫理審査の承認を受けて実施した(受付番号:193)。

アンケートは5件法(1=そう思わない~5=非常に思う)で構成し、単元開始前および3時間の授業終了後に実施した。事前・事後で対応のあるデータを収集し、各項目について対応のあるt検定を行った。あわせて効果量(Cohen's d)を算出し、教育的影響の大きさを検討した。

4.2 概念理解の変容

本実践では、光の吸収に関する概念理解の変容を検討した。まず、「光の吸収の現象について、その仕組みを知っている」という自己認識項目において、事前平均2.26から事後平均3.56へと有意に上昇し($t(69)=10.42, p<.001, d=1.25$)、極めて大きな効果が確認された。また、「色の濃さから、その物質の量を正確に推定できると思う」という項目も、事前2.46から事後3.76へと有意に上昇し($t(69)=11.27, p<.001, d=1.35$)、非常に大きな効果量を示した。

これらの結果は、生徒が吸収現象および比色定量の原理について、分析的枠組みを形成し、理解したという自己認識を獲得したことを示唆する。

一方で、「赤い物体は赤い光を吸収して赤く見える」「青いフィルターは青い光を吸収する」などの誤概念命題に関しては、有意な変化は確認されなかった(いずれも $p>.05$)。すなわち本実践は誤概念の修正には限定的であった。

以上より、本実践は分析化学の基礎となる光の吸収に関する概念形成に強く作用したと位置づけられる。

4.3 色の濃さと物質量の関係理解の変化

定量的な見方の変化については、「色の濃さから、その物質の量を正確に推定できると思う」という項目において、事前平均 2.46 から事後平均 3.76 へと有意に上昇した ($p<.001$, $d=1.35$)。これは、生徒が色の濃淡を単なる見た目の違いとしてではなく、物質の量と対応づけて捉えようとする認識へと移行したことを示している。

本実践では、透過率の測定値をもとに吸光度を算出し、検量線を作成する活動を行った。生徒は、濃度を変化させた溶液の測定結果が直線関係を示すことを確認し、未知試料の濃度を推定する過程を経験した。この一連の活動により、色の濃さを「感覚的な印象」から「数値として扱える量」へと再構成する経験が促されたと考えられる。

探究的態度に関する項目では、一貫して有意な向上が確認された。特に、「問いを解き明かす行動ができています」($d=0.65$)、「実験装置を組み立て改善することに興味がある」($d=0.48$)、「観察や測定から結論を出すのは面白い」($d=0.35$) など、探究過程そのものへの関与が高まった。

一方で、「大学レベルの専門技術への関心」「社会貢献意識」「高校知識の大学での有用性」などの遠位的志向項目では有意な変化は見られなかった。ただし、これらの項目は事前段階から比較的高い傾向にあり、変化が顕在化しにくかった可能性がある。

5. 考察

5.1 装置性能と学習効果の関係

村上 (2022) は、吸光度法の原理と基本操

作の習得には実際に装置を用いた定量実験が不可欠である一方、クラス単位で実施するための装置台数確保が大きな障壁であると指摘している。それに対し、ナノブロック製簡易吸光光度計は、LED およびフォトトランジスタといった安価な部品を用いることで小型化・低コスト化を実現し、クラス規模での複数台運用を可能にした。このことにより、演示型ではなく、生徒が操作・測定・解釈を行う形式の授業が実現した。

結果として、比色定量理解において非常に大きな効果量が確認されたことは、装置台数確保の問題を解決することが、単なる実施可能性の向上にとどまらず、学習効果そのものを高める要因となる可能性を示している。

また、誤概念修正が限定的であった理由として、いくつかの要因が考えられる。第一に、本実践は分析概念の導入に主眼を置き、既有概念と科学概念を明示的に対立させる構成を十分に取らなかった点である。概念変容研究においては、既有概念に対する不満足や認知的葛藤を契機として新たな概念の受容が促進されるとされている (Posner et al. 1982 ; Limón 2001)。第二に、誤概念の修正には、誤った直観的理解を明示的に取り上げ、それを反駁する指導 (refutational instruction) が有効であることが指摘されているが (Limón 2001)、本実践ではそのような構造化された対立提示は限定的であった。第三に、本単元は 3 時間構成という短期的実践であり、概念変容に必要な時間的熟成が十分でなかった可能性も考えられる。

以上より、本研究の実験装置は比色定量に関する理解を深め学習効果が高い一方、生徒の誤概念を再編成する指導が必要であることが明らかとなった。

6. 結論

本研究では、ナノブロック簡易吸光度計の性能評価と授業実践の両面から教育的有効性を検討した。予備実験において、本装置は安価かつ簡便な構成でありながら、検量線において高い直線性を示し、教育用途として十分な測定精度を有することが確認された。

また、授業実践の結果、第一に、光の吸収概念および比色定量に関する理解において非常に大きな効果が認められた。第二に、問いの生成や測定結果の解釈といった探究過程への関与にも中程度以上の効果が確認された。第三に、誤概念修正は限定的であり、概念変容型というより、分析的枠組みの構築に強く作用する授業実践であると位置付けられる。

以上より、ナノブロック製簡易吸光度計は、低コストで再現可能な装置として中等教育段階に導入可能であり、吸収概念の導入、分析的思考の形成、探究活性化、さらには高大接続の橋渡しという観点から教育的可能性を有する教材であると結論づけられる。

今後は、誤概念修正をより効果的に促す指導方略の検討や、長期的な学習効果および進路意識への影響についての継続的な検証が課題である。

謝辞

本実践は、JSPS 科研費 24K06375 の助成を受けたものである。

参考文献

文部科学省(2018).『高等学校学習指導要領(平成30年文部科学省告示第68号)』.
中田宗隆(2022).「紫外可視分光光度計と赤外分光光度計—基礎編—」『化学と教育』**70**(2), 84–89.

釜谷美則(2008).「吸光光度法」『ぶんせき』**2008**(4), 158–162.

増井壮太・福本悠人・中村元彦(2020).「高校生に対する分光光度計を用いた授業の試み」『奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要』**6**, 223–226.

南伸昌・山田洋一・鈴木勲(2005).「光の吸収と色—スペクトルの教材化—」『宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要』**28**, 77–83.

村上雅彦(2022).「機器分析実験・入門編としての吸光光度法」『化学と教育』**70**(2), 90–95.

Bouza, M.-E., Nastou, A., Panigyraki, C., & Makedonas, C. (2019). Introducing spectrophotometry in the school lab employing LEGO bricks and LEDs. *Chemistry Teacher International*, **1**(1), 20180012.

Asheim, J., Kvittingen, E. V., Kvittingen, L., & Verley, R. (2014). A simple, small-scale LEGO colorimeter with a light-emitting diode (LED) used as detector. *Journal of Chemical Education*, **91**(7), 1037–1039.

宇佐美成美(1994).「簡易吸光光度計を用いた高校化学実験教材の開発と実践」東レ科学振興会(東レ理科教育賞受賞論文).

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, **66**(2), 211–227.

Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, **11**(4–5), 357–380.

第3学年3組 科学総合 学習指導計画
化学と光のエネルギー

授業者 二宮純子 片山耕太郎

日時 2025年10月31日（金）4校時（11：40～12：30）
場所 第1理科室

1 単元の設定にあたって

省略

2 単元の構成

第1次 化学と光のエネルギー…………… 3時間

- 1 光・熱とエネルギー（授業者：二宮）
- 2 蛍光・蓄光・光センサー（授業者：二宮）
- 3 色の見え方と光の吸収（本時）（授業者：片山）

3 本時の学習（第3時）

（1）本時の主題

色の見え方と光の吸収

（2）本時のねらい

- 本時の本質的な問い
なぜ物質には色があり、その濃さはどのようにして数値で表すことができるのだろうか。
- 物質による光の吸収と透過の関係を理解する。
 - 試薬を通したスペクトル観察から、物質の色と吸収波長の関係を説明できる。
 - 簡易吸光度計を用いて光の強さを数値化できる。
 - 濃度と吸光度の比例関係（ランベルト・ベールの法則）を読み取り、未知試料の濃度を求められる。

本時の展開

時	学習の流れ	生徒の活動	指導上の留意点・評価
0	本時の問いの提示と既習との接続	○以前行った、葉緑素の抽出とカラムクロマトグラフィーによる分離の実験を振り返り、物質によって色や溶出の速さに違いがあったことを確認する。	○以前の実験では、分離した成分を溶液の色から目視で推定していたことを振り返り、その判断が感覚的なものであり、数値による裏付けを伴っていなかったことを確認し、本時での光の吸収を数値化する意義へとつなげる。 ・本時は検出の原理に迫ることを明確に伝える。
5	試薬を通したスペクトルの観察	○簡易分光器で太陽光スペクトルを観察する。 ・過マンガン酸カリウム水溶液と硫酸銅水溶液を通したスペクトルを観察し、一部の色が弱くなっていることを確認する。	○見えている光は水溶液を透過した光のスペクトルであることを指摘する。 ・「どの色が弱くなったか」をワークシートに記録させる。
12	色の見え方と吸収の関係の理解	○色相環を用いて、試薬の色と吸収された色の関係（補色）を説明す	○色相環を提示し、試薬の色とスペクトルで見えなくなった色の関係につい

20	吸収とエネルギー変換の整理	る。 ・「私たちが見ている色は吸収されなかった光である」ことがわかる。 ○本単元の学習内容を振り返り、「吸収された光は他のエネルギーに変換され、色は吸収されなかった光の結果である」ということをまとめる。	て考えさせる。 評価：(プリント)(思考) ・観察の結果を整理し、色と吸収波長の関係について説明できている。
25	吸光度計の組み立て	○説明を聞きながら、吸光度計の電気回路の組み立てを行う。 ・ブランクのセルを吸光度計に挿し、LEDとフォトトランジスタが正常に動作し電圧値が表示されているか確認を行う。電圧値が頭打ちで表示されない場合、可変抵抗を調整しLEDの光を調整する。	○試料を透過した光の強さを、フォトトランジスタで電圧に変換し、テスターで電圧を数値化していることを確認する。
30	濃度既知試料の吸光度の測定	○5種類の濃度既知の過マンガン酸カリウム水溶液のセルを吸光度計に挿して、電圧値を読み取りExcelシートに入力する。 ・濃度が濃くなると電圧値が小さくなることに気づく。	○使い捨てポリスチレン製セルに濃度調製済みの水溶液を入れ、セル用キャップをつけて配布することで、手際よく5種類の濃度の水溶液の吸光度を求められるようにする。 ・本時は数式操作よりも概念理解を重視するが、数式操作に興味をもつ生徒のために、ランベルト・ベールの法則の説明を授業プリントに記載し、質問された際には説明を行う。
35	検量線の作成	○Excelで濃度-吸光度のグラフを作成し、水溶液の濃度と吸光度の間に比例の関係があることを見出す。 ・近似線の式を求めることで、濃度がわからない試料についても吸光度から濃度が求められることに気がつく。	
40	未知試料の濃度決定	○濃度未知の試料を吸光度計に挿し、吸光度をもとに未知試料の濃度を求める。 ・求めた濃度を教員に伝え、求めた濃度が正しかったか振り返る。	○濃度未知試料を渡す際に、まず、色の濃さを濃度既知の試料と比較させ、濃度を予想させる。 ・予想と結果を照らし合わせて、ヒトの目も色の濃さから濃度を予測できるセンサーだということに気づかせる。 評価：(プリント・Excelシート)(思考) ・簡易吸光度計を用いて濃度既知試料の吸光度を数値化できている。 ・検量線から未知試料の濃度を求められており、光を用いた検出についての有用性を説明できている。
45	光の吸収と定量の意義の整理	○光の吸収について整理をし、吸収する色によって物質の種類を、吸収の度合いを数値化することで、物質の濃度を調べることができることを整理する。	○実際に大学や企業における分析では、吸光度法による分析が行われており、今回の学習したことと原理は同じであることを伝える。
50			