科学的探究能力を培う環境教育教材の開発と実践に関する研究

土佐清水市立下川口中学校　　教諭　　堅田勇人

1　はじめに

今日、地球温暖化、オゾン層破壊、酸性雨、熱帯林の減少などの地球規模の環境問題や大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、ごみ問題などの都市化や生活様式の変化に伴う環境問題は、世界共通の課題となっており、その解決に当たっては、法的規制の強化や科学技術の力による方法も重要であるが、教育による環境に対して豊かな感受性や見識を持つ人づくりこそが大切であるという事が、共通の認識である。

我が国の学校教育においても、文部科学省は「環境教育指導資料」（中学校・高等学校編）（大蔵省印刷局，1991 年）などで以前から環境教育の重要性を強調し、新学習指導要領においては「総合的な学習の時間」の新設にあたって、環境教育の実施を奨励している。環境教育は、よりよい環境の創造のために行動できる能力や態度を育成する教育活動であり、また現在の学習指導要領の柱でもある、自ら学ぶ意欲と社会の変化に主体的に対応できる、「生きる力」の育成につながるものであって、各教科、道徳、特別活動などの連携・協力、総合的な学習の時間の活用など、学校全体の教育活動を通して取り組むべきものであるといえる。また、効果的な環境教育の実施の為には、体験的な学習の重視、学習者の発達段階に応じた学習プロセスの重視などが挙げられている。

環境教育の内容は多岐に及び、広範に展開しているため、さまざまな場面での教材化が可能であるが、逆に全体を見通すことが難しいという局面もある。また、同一のテーマであっても、児童生徒の発達段階や地域素材の導入等により、その展開は無数にあるといってよい。

したがって、我々教師は学習のテーマ、教材、指導方法、評価の方法などについて十分に検討し、教科の特性を生かし、また教科横断的・総合的に、目の前の児童・生徒にとって最も効果的である環境教育を展開していく必要があるといえる。

2　研究の目的

(1)　幅広く対応できる科学的探究能力を培う環境教育教材の開発

(2)　開発した教材を用いた実践プログラムの研究・実施

3　研究内容

(1)　環境教育教材「自作簡易比色計」の開発

①　比色計について

比色計は吸光光度分析の原理を利用し、溶液濃度を定量的に求める事ができる装置である。試料物質の基底状態から励起状態への電子遷移に基づく、光（可視光・紫外光）を吸収する現象を利用する定性定量分析が吸光光度分析である。

濃度 C（mol/l），厚さ d（cm）の均一な吸収層を単色光が通過するとき、入射光の強度 I_0 と透過光の強度 I との間には

$$A = -\log(I/I_0) = \varepsilon Cd \qquad (1)式$$

の関係がある（Lambert-Beer の法則)。I/I_0 を透過率，A を吸光度という。ε (mol^{-1}/lcm^{-1}) は物質に固有な定数でモル吸収係数とよばれる。

(1)式は会合や解離がなく、また分子と溶媒との相互作用などが無視できるときや、測定装置の直線性の保たれる範囲内では成立し、吸光度は吸収層の厚さ、試料の濃度やモル吸収係数に比例し、

定量的議論の基礎となる。

装置のしくみは、吸光光度分析に広く一般的に用いられる分光光度計と基本的には同様のしくみであり、試料溶液をセットする部位を挟んで光源と検出器が直線上に位置する構造である。

比色計では光源として種々の発光ダイオードを、検出には各種光センサ(太陽電池、CdS セル、フォトダイオード)を用いる形が一般的である。

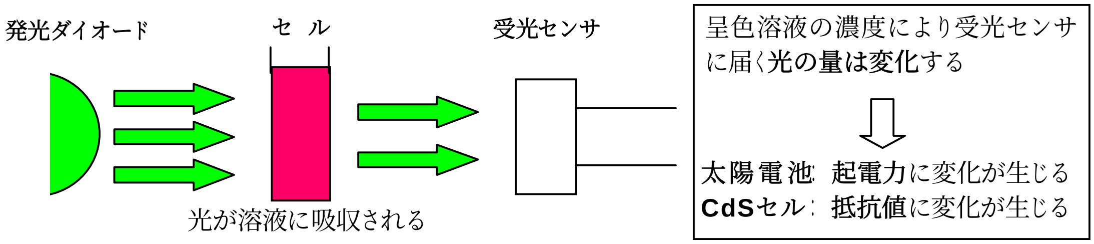


図１　比色計モデル図

②　開発のポイント

環境分析機器として普及している比色計は、呈色溶液の濃度を数値化したデータとして扱うことができ、周辺の大気や水質調査を行う場合など、パックテスト等に比べ、より精密な測定が可能であり、測定者間でのデータのやりとりや共有、発信など長期的な環境調査や測定マップづくりなどで役立つ教材である。現在市販されているものにはいくつかタイプがあるが、予算面を考慮すると、例えグループで 1 台を利用するとしても、とても生徒数に見合った数を導入することは困難である。

写真１　市販されている比色計

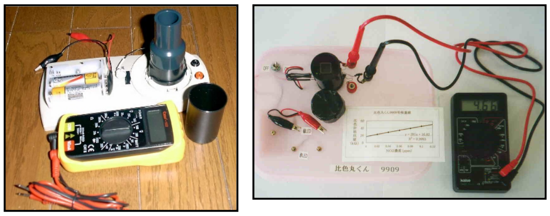


写真２　報告されている自作簡易比色計

最近では様々な自作簡易比色計が開発され、その作成・使用方法も含めて論文やインターネットなどで報告されている。複数個の LED をスイッチで切り替え、光源の色（波長）を変えることができるものやコンピュータと接続する事により自動計測を可能としたものなど、開発者の意向により、それぞれの比色計に個性と優れた特色がある。

報告されている比色計の本体は、プラスチックや塩化ビニルなど、比較的加工しやすい材料ではあるものの、ドリルなどの工具を使用する必要があるものや、切断にかなりの力を必要とする材料を使うものなど、容易に短時間で完成させるには難しい部分がある。また、各部品を本体に設置する場合、パテや接着剤、あるいはコルク材をくり抜いたものを利用するものが多いが、実際に作業をしてみると正確にそれらを設置するのにはテクニックを必要とし、容易ではない。

こうした自作簡易比色計を実際に授業教材として導入する際、教師が自作し、完成したものを授業で利用するという形も考えられるが、ここでは「ものづくり」による学習効果も期待した、生徒による自作という形での導入を考えてみた。その場合以下に挙げたように、「製作工程の難しさ」「部品購入にかかる予算」「製作にかかる時間」などの課題が生じる。そこで、

①作成が容易であり、短時間で完成できること
②安価で入手しやすい材料を用いること
③測定に必要十分な精度を有すること

を開発のポイントとして、工作紙をベースとしたより容易に教育現場での実践に活かせる簡易比

色計の作成方法を開発した。

③　本比色計の特色

ア　紙製であること

本体に工作用紙を用いることで、特殊な材料・工具を必要とせず、短時間で容易に作成が可能となった。また、安価で入手しやすいという点でも工作用紙は最適であり、授業の中で生徒が１人１台自作することも現実的に十分可能である。また、作り直しが容易であることも紙製のメリットである。

イ　タイプの選択が可能であること

実際に教材として自作比色計を用いる場合、学習の目的、測定する物質や用いる学年、また授業時数や予算など、実践を行う現場ごとに条件は異なってくる。こうした状況に対応できるよう、授業者がいくつかのタイプの中から最適なものを選択できるようにした。作成にあたり、用途に合わせ発光部、電源部（光源側の回路のうち、発光ダイオードを「発光部」、それ以外の部分を「電源部」と定義する）に用いる部品の組み合わせを決定する。まず発光部は光源を単色にするか、または色の切り替えができる多色にするかを選択できる。電源部の選択は、電源から LED にダイレクトに接続する「簡易タイプ」、定電流ダイオードを加えた「CRD タイプ」、可変抵抗器を用いた「可変抵抗タイプ」の３種類から選択する。

表１　各タイプ別仕様と製作時間、費用

タイプ		発光部	電源部（電池その他）	製作時間(分)	費用(¥)
単色	簡　易	単色 LED	単三×2	20〜30	600
	CRD	単色 LED	9V 角型×1＋CRD	30〜40	700
	可変抵抗	単色 LED	9V 角型×1＋可変抵抗器	30〜40	1300
多色	簡　易	白色 LED	単三×2	30〜40	1000
	CRD	白色 LED	9V 角型×1＋CRD	40〜50	1100
	可変抵抗	白色 LED	9V 角型×1＋可変抵抗器	40〜50	1500

ウ　白色 LED を用いた多色タイプの作成

今回多色タイプでは、白色 LED 光をカラーセロハンを用いて作成した色フィルタで透過させる方法を用いた。

多色タイプの利点は、１台で多色の光源を使い分けられる点であるが、LED を複数個用いる場合、あるいは多色 LED を用いる場合でも、作成手順が複雑になり、また１台あたりのコストも増える。更に、点灯させる LED の色によって加電圧値を調整する必要も生じる。今回用いた方法によって、フィルタの差し替えだけで、１台で多色の光源を得られるだけでなく、作成や操作を容易にすることが可能となった。(図 2,写真 3)

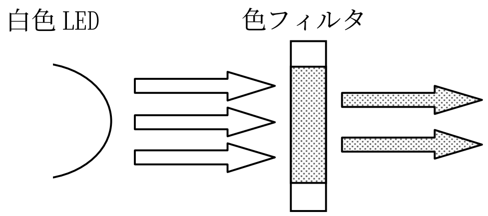


図２　多色タイプのモデル図

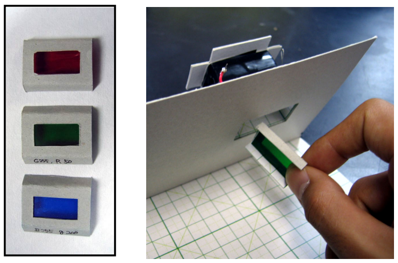


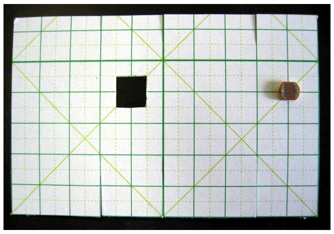
写真３　セロハン製色フィルタと差し替えのようす

④　作成と測定方法

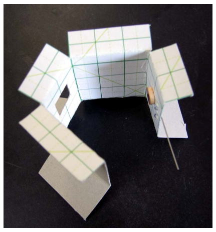
基本的な部分は共通で発光部には LED、受光部には CdS セル等の光センサ、電源には乾電池、そ

して本体は学習用工作用紙を用いて作成する。

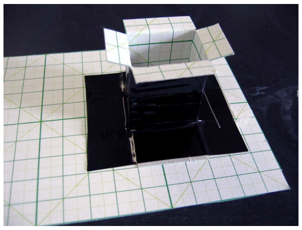
測定方法は、試料用セルをセットし、テスタを接続して表示される数値を読み取る。（個別に検量線を作成する必要がある。）



本体用紙にLED窓とCdSセルを配置する

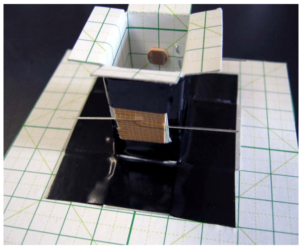


折り曲げて形をつくる

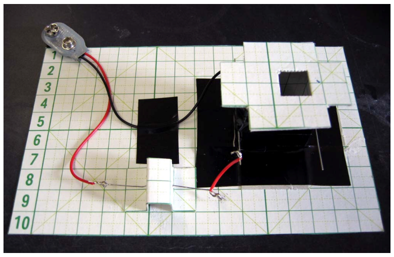


台紙に接着し、黒ビニルテープで周囲を巻く

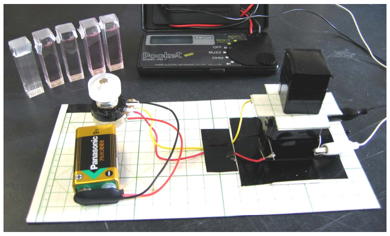
ふたも紙で作成



LEDを固定する



電源部を接続して完成（CRDタイプ）



測定のようす（可変抵抗タイプ）

写真４　比色計の作成手順と測定のようす

⑤　開発した比色計の精度

定電流ダイオードや可変抵抗器等の導入により測定精度を向上させた。以下は開発した比色計を用いて作成した NOx 検量線である。

また、多色タイプにおいてカラーセロハンを透過した白色 LED が測定に十分な光源であるかどうかを分光光度計により検証し、LED の単色光と比較しその有効性を確認した。

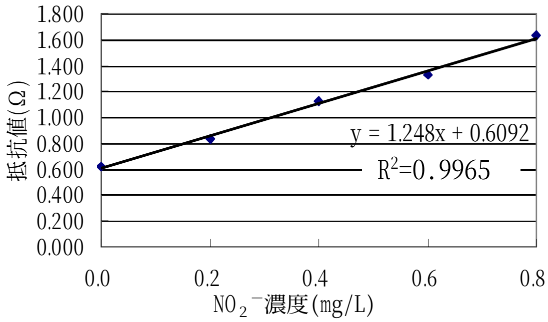
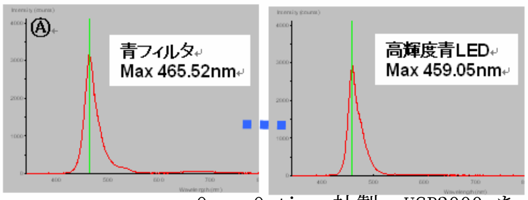


図３ 比色計(CRD タイプ)による NOx 検量線



OceanOptics 社製　USB2000 を

図４ 分光光度計による光源の測定

(2)　自作簡易比色計を用いた授業実践に関する研究

①　自作簡易比色計の導入による学習効果

ア　科学的に探究する技能・能力の習得

探究の能力・技能の中でも特に基本となる、事象を数量的・定量的にとらえる測定の能力、定量的なデータを処理したり整理する能力・技能を身につける上で、比色計の導入は有効であると考える。

環境学習のねらいの１つである、身の回りの環境問題を自分のこととして捉え、考える態度を養うためには、自分を取り巻く生活の中に学習素材を見出すとともに、多くの資料を活用し、野外観察や調査、各種の実験、特別活動などを取り入れた体験的な学習方法を各所に取り入れた具体的な学習でなくてはならない。

理科の学習においては科学的なアプローチに重点を置いた学習の展開が大切であり、科学的な探究の過程を重視した環境調査、実験活動を中心にした授業づくりが特に重要であると思われる。

実際、単元「自然と人間」の学習においても、「パックテスト」等を利用して行う身の回りの大気・水質調査を中心に授業を展開してきた。確かに「パックテスト」は簡便な手法であり、短時間で生徒一人一人が測定を行う事ができるというメリットもあるが、肉眼による測定はどちらかといえば「半定量的」な測定であり、また測定に個人差や誤差が生じやすく、科学的探究の技能・能力の育成という点、データの共有や活用という点で少々不満の残るものであった。

比色計を使うことにより、必然的に測定結果をまとめ、グラフ化し、グラフを活用して考察するといった、これまでの学習で培った探究の技能を駆使することとなる。身の回りの環境という日常生活と密接な関係がある事象を調査する事と結びつき、生きた技能・能力としてより確かな科学的探究の力を育むことができると考える。また、グループによる学習のまとめや意見交流でやりとりされるデータとして、数値化された測定データはより実証的・客観的な共有データとなり、多面的・科学的なものの見方・考え方を育てる面でも有効であると思われる。

イ　ものづくりによる学習効果

ものづくりの体験は、作る喜びや完成の達成感を味わうことができ、日常の教育・学習では得にくい驚きや感動を得ることができる。また、知識や理論を実感を伴って理解できる。

観察や測定をする場合、いろいろな道具を使うが、それらの構造や原理を知らなくても、使用法さえ知っていれば使えるものである。しかし、構造や原理の理解は、実験操作の目的を把握することだけでなく、応用・発展にもつながり、科学的な思考をより深めることができると考える。比色計の原理を学ぶことは「吸光光度分析の基本原理」や、「物質の構造と色の関係」の理解にもつながり、今後の学習、特に物理・化学領域における学習において有用であると思われる。

また、比色計を用いて行う測定の操作は、どちらかといえば地道な作業であり、特にグラフの作成などは苦手意識をもつ生徒も多く、学習意欲を導き出すことが困難である作業でもある。しかし、「自分で作成した装置を使う」ことが、そうした作業に対しても積極的に取り組む姿勢を促していると思われる。

作成したものを実際に測定に使用するためには、自作した比色計それぞれに検量線の作成が必要となる。また完成した装置の測定精度に対しての関心は必然的に高まり、結果、測定誤差などに対する注意や疑問も生じてくる。こうした要因によって「積極的な取り組みの姿勢」が生まれてくるのであろう。これまで、小・中・高等学校において自作簡易比色計を用いた実践を行ってきたが、いずれの場合も生徒は「比色計の自作」やそれを用いた実験活動に大きな興味・関心を示している。

こうした点から考えて、比色計を「自作」することによる学習の効果は非常に大きく、またその効果をより大きなものにするためには「一人一台の自作」という点が重要であると思われる。

②　中学校における自作簡易比色計を用いた授業実践

本研究で開発した比色計を用いて、図 5 に示す、環境をテーマにした総合科学実験プログラムを開発し、高知県土佐清水市立下川口中学校にて、土佐清水市教育委員会、下川口中学校・貝ノ川中学校、鳴門教育大学の連携によって実践を行い、その有効性を検討した。2005 年度当初より、本実践の概要、対象学年、必要な授業時数等について打ち合わせを開始し、以後 10 月まで、大学と中学校でその都度連絡を取り合いながら準備・計画を進めていった。授業計画については、生徒の興味・関心、および学習の到達段階を把握することを目的に、9 月当初に実施した「事前アンケート・レディネステスト」を参考に、その詳細を検討した。また、指導者の数が多いため、指導の方向性にぶれが生じないよう、「サイエンスアドベンチャー授業計画書」を作成し、指導者間の連携・意思統一を図りながら計画を進めた。生徒は全校生徒を縦割りで 6 班に編制し、理科教員 3 名（下川

口中学校・貝ノ川中学校の理科担当および筆者)、本研究室大学院生 3 名の合計 6 名が各班の指導を担当する形をとることとした。

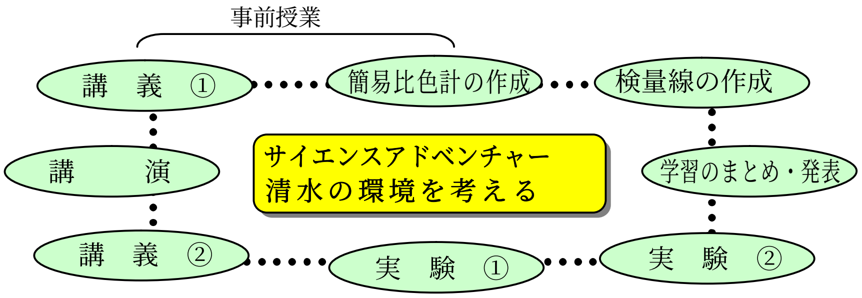


図 5 本実践プログラムの体系

表 2 本実践の概要

場　　所	土佐清水市立下川口中学校　（理科室）
対象学年	土佐清水市立下川口中学校・貝ノ川中学校　全校生徒 30 名 (1 年：8 名，2 年：11 名，3 年：11 名)
ね　ら　い	○身近な環境の調査を通じて、環境に対する興味・関心を抱く ○科学的探究の過程を体験する

日　時	授　業　題　目		内　　容
9/30 (金) 5・6 限	事前授業	講義①:簡易比色計について	・もの・色の見え方について ・光の三原色（観察） ・比色計について
	事前授業	簡易比色計の作成	・簡易比色計の自作
10/5 (水) 5 限	事前授業	簡易比色計の作成 使用方法の確認	・簡易比色計の自作 ・使用方法（測定の手順）について
10/27 (木) 5・6 限	講義②：ノックスについて		・酸性雨について ・窒素酸化物（ノックス）について ・比色計を用いた調査方法について
	検量線の作成		・比色標準溶液を用いた NOx 検量線の作成
10/28 (金) 1~6 限	講演「環境とサイエンス」		鳴門教育大学理科教育講座 今倉康宏教授による講演
	実験①：身の回りの大気調査 ～二酸化窒素の測定		・各自が設置・回収したサンプルの二酸化窒素量を比色計にて測定 ・測定マップの作成
	実験②:身の回りのものが発生する二酸化窒素の測定		ガスコンロ、自動車の排気ガス等、班毎にテーマを決め、サンプリング・測定・評価を行う
	学習のまとめ・発表準備		2 つのグループに分かれ、学習のまとめと発表の準備を行う
	発表会　質疑応答		グループ毎に発表を行い、疑問点などについて質問し合う

本実践の概要は表 2 の通りである。授業時数は、各学年の理科の授業時間、学校裁量の時間を充てていただき、12 時間(そのうち 1 時間はアンケート・レディネステストの実施)が確保された。活動のメインとなる 28 日（金）は終日公開授業とし、地域保護者や近隣の学校の先生方にも参観してもらう形をとった。またこの日の午前中には下川口・宗呂小学校から、17 名の児童（第 3～6 学年）が参加し、中学生の活動を見学したり、実験活動を行いながら、「環境」について学ぶ機会を設けた。

4　まとめ（研究の成果と課題）

（1）　成果

〇作成方法、作成時間、予算などの面で、より容易に教育現場での実践に活かせる工作用紙をベースとした簡易比色計を開発した。また学習の目的に応じ選択できるように数種類の比色計のタイプを開発した。

〇開発した環境教育教材を用いた総合科学実験プログラムを開発し、中・大連携により充実した実践を行うことができた。

〇事前アンケート・レディネステスト等の事前調査により、生徒の学習段階に、より適応した授業計画を作成し実施することができた。

〇簡易比色計の作成により、学習内容に対する興味関心を高め、装置の原理やしくみの理解を促すことができた。

〇比色計と関連させた「光と色」の授業において、小・中・高の学習内容の系統性を踏まえた授業づくりを検討し、実施することができた。

〇科学的探究の過程を、その基礎となるデータの収集・処理・分析・評価といった方法の習得に重点を置きながら体験させることができた。

〇グラフの作成や処理・活用の面で、数学担当の先生と連携しながら教科横断的な取組を実践した。

〇体験活動を重視した形で身の回りの環境を調査し、生徒の環境に対する興味関心を喚起することができた。

（2）　課題

〇比色計に用いる部品として、CdS セル代替用フォトダイオードなど、新しい電子部品も徐々に普及し、入手し易くなってきている。積極的に改良を重ね、自作簡易比色計を、より教育現場で活用できるものにしていきたい。

〇生徒の学習到達度を詳細に知るには、事後確認テスト等による調査も加えることが望ましい。本実践では自己評価カードによる評価を中心に据えたが、今後同様のプログラムを通常の授業で応用する場合、明確な評価規準と合わせ、評価の方法について詳細に検討を行う必要がある。

〇本実践と関連深い学習単元は、第 3 学年後期に学習する「自然と人間」である。仮にこの単元で比色計を導入する場合、装置の作成や検量線の作成に必要な時数（最低 3 時間）を考慮し、全体の授業計画を作成する必要がある。

　また、環境調査は、複数の物質や事象について調べたり、長期的に継続して調べることにより因果関係、相互関係の把握ができるものであり、どの学年で比色計を導入し、その後どのように活用していくのかという､3 年間を通じた環境教育教材としての導入も､今後検討していきたい。

〇本実践のテーマは環境に対する興味関心や探究の過程の体験を重視したものである。時を経て、本実践の体験により生徒がどのように変容し、ステップアップしたのか、技能や知識の定着度とともに今後調査できる方法についても検討していきたい。

5　参考文献・ホームページ

・文部省，環境教育指導資料（中学校・高等学校編)，大蔵省印刷局（1991）

・筑波総合科学研究所，ユニメーター　　エコアナライザーNOx
http://www.tsukubasoken.co.jp/index.html

・環境分析研究室，簡易吸光光度計(光電光度計)の制作と測定
http://www.shse.u-hyogo.ac.jp/kumagai/eac/led_photometry.htm

・伏島　均，（業績分担者）大谷　龍二，LED を利用した簡易比色計の製作と利用
http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik_a113.pdf