

高等学校理科課題研究における 実践的理科教育モデルに基づいた研究指導の在り方

—防除装置LEDライトトラップの開発を事例として—

Research Guidance Based on a Practical Science Education Model

— The Case of the "Development of LED Light Trap for Aphid Control" —

山岡武邦*, 山田哲也**

Takekuni YAMAOKA, Tetsuya YAMADA

キーワード：アブラムシ，LED ライトトラップ，実践的理科教育モデル，理科課題研究

Key Words : Aphid, LED light trap, Practical Science Education Model, Science Project Study

要約

本研究は、アブラムシを事例として実践的理科教育モデルに基づく高等学校理科課題研究を実践し、研究指導の在り方について検討した。その結果、(1) 生徒が研究テーマを決める際は、「生徒主体のテーマ同定」、「適宜の面接や助言」、「教師自身の勉強」、(2) 科学コンテストに向けては、「研究計画書の指導」、「ものづくりを実行」、「記録をとる習慣」、(3) 報告書作成の際は、「独自性の追究」、「実験の過程を重視」、「基礎的事項の徹底」、という要素を使い分けながら研究指導を行うことが重要であることが明らかとなった。

Abstract

In research guidance, to maintain motivation for students, it is considered meaningful to identify the research themes themselves and to present the results at academic societies and scientific contests. This study is a research on the subject of aphids. As a result, it was found that there are cases where attention is paid in the following three situations from the viewpoint of the instructor: (1) When deciding on a theme, "student-centered theme identification", "appropriate interviews and advice", "teachers study", (2) For science contests, "instruction of research plan", "Manufacturing", "Recording habits", (3) When creating a report just before the science contest, "Pursuit of originality", "Focus on the

process of experiment”, “review the fundamental point”. It is important to carefully check such factors.

I. はじめに

現行の高等学校学習指導要領（文部科学省，2009）において新設された科目「理科課題研究」の内容を踏まえ，平成30年告示の新しい高等学校学習指導要領（文部科学省，2019）では，共通教科「理数」が発展的に新設された。清原（2018）は，教科「理数」における科目の特徴は，生徒がより主体的，挑戦的に探究することを目指したものであると述べている。つまり，今まで以上に，生徒の高次思考を促す教授方略を含む実践的理科教育モデル（以下，「実践的理科教育モデル」）の開発が急務である。ただ，スーパーサイエンスハイスクール（以下，「SSH校」）のような優れた成果を多く挙げている高等学校における課題研究活動は，一教科や一教師による優れた学びに加え，教師間，複数教科間の連携がある程度スムーズに図られるため，各学校に応じた教授方略が存在する。具体的に，科学コンテスト等で顕著な実績をあげた生徒を指導した経験のある国内の高校理科教師30名によるインタビュー内容^{注1)}を基に，Yamaoka, et al (2015) らによって構築された理科教育モデルが挙げられる。

今後は，SSH校以外の学校における実践的理科教育モデルについて検討することは大変意義深い。本研究では，SSH校以外で，科目「理科課題研究」を開講している高等学校を対象に実践を行い，実践的理科教育モデルを構築し，指導法への示唆を導出することにした。

II. 研究目的

本研究における実践事例は，SSH校以外の学校における理科課題研究活動に焦点化したものであり，この実践結果を踏まえ，研究指導法への示唆を導出することを目的とした。具体的には，アブラムシ防除用LEDライトトラップの開発を題材にして，1年間を通じて実践してきた理科課題研究活動における実践事例に焦点化し，SSH校以外の学校における実践的理科教育モデルを提案することを目的とした。

III. 研究方法

以下(1)から(7)の手続きで，理科教育モデルに基づく課題研究指導を行うとともに，実践的な要素を抽出し，実践的理科教育モデルを構築することにした。

(1) 理科教育モデルについて

本研究の指導で参考にした理科教育モデルについて検討することにした。

(2) アブラムシを題材とした課題研究に関する調査対象及び調査期間

愛媛県内の国立高等学校総合学科2年生4名（進学希望者）が受講した課題研究の授業の中で，

著者らはアブラムシに関する課題研究を行った生徒1名の指導に年間を通じて関わることにした。なお、この授業は週1回の連続した2時間授業であり、2018年4月から2019年3月にわたり1年間実施されたものである。

(3) アブラムシの走光性に着目したLEDライトトラップの開発

アブラムシの走光性に着目し、白濱ら(2015)、山岡ら(2016)を参考にして、LEDライトトラップを製作することにした。さらに、LEDライトトラップと相性の良いトラップを開発することにした。また、実験で用いるアブラムシについては、高等学校内に生息する個体を採取するとともに、写真を撮影し、分類を行うことにした。

(4) T字型実験装置を活用したLEDライトに集まるアブラムシの調査

アブラムシは、どの光に集まるのかを検討した。そのために、T字型の実験装置を製作した。さらに、前項(2)で製作したRGBフルカラーLEDを用いて、LEDライトに集まるアブラムシの調査を行うことにした。

(5) 箱型実験装置を活用したLEDライトに集まるアブラムシの調査

LEDライトに集まるアブラムシの調査をより詳細に行う目的で、実験装置の改良を行い、調査を進めることにした。

(6) LEDライトに集まるアブラムシの野外調査

LEDライトトラップを野外に設置し、集まったアブラムシの調査を行うことにした。

(7) 実践的理科教育モデルについて

課題研究活動を通じて作成した科学作品は、科学コンテスト等に積極的に参加し、外部評価を得るようにした。年間を通じて実施された理科教育モデルに基づく課題研究を通し、SSH校以外での活用可能な実践的理科教育モデルについて検討することにした。

IV. 結果と考察

(1) 理科教育モデルについて

理科教育モデル(Yamaoka, et al, 2015)とは、科学コンテスト等で顕著な実績をあげた生徒を指導した経験のある国内の高校理科教師30名のインタビュー調査で語られた内容に共通してみられる特徴的な言葉の使用頻度に着目し、特徴的内容を「生徒主体のテーマ同定」、「適宜の面接や助言」、「教師自身の勉強」、「独自性の追究」、「実験の過程を重視」、「基本的事項の徹底」、「遊び的要素を重視」、「専門家の指導」、「教師自身の楽しみ」、「研究計画書の指導」、「ものづくりを実行」、「記録を取る習慣」という12項目にまとめたものである。特に、使用頻度が多かった項目は、「生徒主体のテーマの同定」であり、課題研究のテーマを生徒主体で同定することが最も特徴的な内容である。Yager(1991)は、「生徒の質問やアイデアを探し、利用する」、「生徒の考えを大切に、促進させる」などの構成主義的アプローチを推奨している。特に、テーマの同定に

関して、教師主体で同定するのは伝統的教授法、生徒主体で同定するのは真正の教授法であると述べている。ただ、現実問題として、学校現場では、テーマの同定に関する部分に難しさを感じている教師の声をしばしば耳にすることがあったのも事実である。一方で、SSH校の場合は、前年度以前からの継続研究で課題研究を実施する場合もあり、テーマの同定の部分に難しさを感じる教師の声は、それほど多くはない^{注2)}。例えば、愛媛県教育委員会及び愛媛大学主催の平成29年度中高生の科学研究実践活動推進プログラム「えひめサイエンスリーダースキルアッププログラム」という科学コンテストでは、各発表2ページにわたる論文集が作成されている^{注3)}。このプログラムは、プログラム参加部門と一般部門の2つの部門から構成されているが、一般部門は、SSH校のように、例年、複数の科学コンテストに参加している学校が参加しやすい内容になっている。そこで、一般部門における原稿に着目し、原稿の中の参考文献の欄に先輩の文献を記載しているものと、本文に「今年度は、昨年度の研究の発展として、」といったような記載があるものを、継続研究として計上することにした。ただ、ここでいう継続研究は、あくまでも先輩たちが積み上げてきた研究対象や研究方法を用いるということであり、安易な引継ぎを行ったという意味ではないことを前提として、調査した。その結果、一般部門27件(14校)の発表のうち、14件(約52%)が継続研究を実施しており、半数以上の課題研究が新規の研究ではなく継続研究であることが明らかとなった。

(2) アブラムシを題材とした課題研究に関する調査について

(2-1) 課題研究におけるテーマの同定(2018年4月)

2018年4月当初、対象生徒の研究テーマに関する面談を行った結果、フナ、コイ、カエル、バッタ、トンボ、セミ等、様々な生物に興味があることが分かった。SSH校のように、理科課題研究における継続研究ができる基盤はないため、参考にできる先輩の研究は存在していなかった。現実問題として、この段階で、指導者がテーマを与えるという選択肢も出てくることになる。ただ、教師がテーマを与えるならば、理科教育モデルに即した教授法ではないため、対象生徒の興味・関心を糸口として、テーマを見出すことにした。具体的方法は、面接を繰り返しながら、調べたことを「アイディアノート」に記録させるというものである。面接の中で、対象生徒は、四年制大学農学部に興味を持っていたことが明らかとなったため、農学部で実際にどのような研究を行っているか等、インターネットで調べさせるとともに、指導者自身も農学部での研究内容について調べることにした。

(2-2) アブラムシに焦点化した研究(2018年5月)

対象生徒が希望する大学農学部は、インターネットで調べた結果、魚類が多く研究されていた。ただ、実際に研究する場合、山や川等でしか再現できないことがあり、大学で本腰を入れ、継続的に研究することが必須であることが分かった。この段階で、興味・関心があるものの中で現実

の問題を考慮した内容をテーマにすることを検討し始めた。

インターネット以外にも、大学博物館で調べ学習も行った。そこでは、昆虫をテーマとした特別展示が開催されていた。専門分野のスタッフに、どんな課題研究が可能か、という質問をする機会を得ることができた。その結果、生物分野の中でも昆虫に焦点化させていくことができた。ただ、地球上には、多様な生物が存在し、浅島ら(2018)は、これまでに約190万種の生物が確認され、そのうち、昆虫は約100万種であると述べている。生物多様性という観点から、春にしか実験できないもの、いつでも実験できるもの等、その場に即したタイミングがあったり、生物固有の特徴があったりすることなどを考慮するようになってきた。そのような中で、校内で校務員がアブラムシ駆除をしている場面に遭遇した。その様子は、「身近にあり、季節的なタイミングも良く、繰り返し実験できそう。」ということ想像させるとともに、課題研究のテーマとして適しているように感じられるものであった。その後、文献を調査し、アブラムシに関する研究の方向性を決めていった。このようにして、対象生徒は、文献調査の結果を「アイディアノート」にまとめながら、研究テーマを同定するに至った。この「アイディアノート」は、結果的にキーワード集め(言葉集め)をすることを可能にしている。この「アイディアノート」に記述された内容については、若干長くなるが、以下のようにまとめることができた。

『カメムシ目アブラムシ上科に属する昆虫であるアブラムシは、植物に口先を突き刺し、師管液を吸うことで、窒素成分などを得ている。交尾しなくても体内で未受精卵を孵化させ、幼虫を生むことができるという驚異の繁殖力を持つ。水谷(2012)によれば、植物が虫こぶを形成する際、アブラムシは植物に対して治療行為を行うため、医療的にも注目されている。一方で、アブラムシは、吸汁加害による生育抑制などを起こすと同時に、様々なウィルスを媒介し、農業に被害を与えるため農業害虫に指定されている。アブラムシ対策としては、農薬を散布し、大量発生を抑止するという方法が一般的である。ただ、農薬散布で、アブラムシを完全に防除することは難しく、実際には、一時的な発生を止めることができるというのが現状である。本多(2011)によると、昼行性の昆虫は黄色の色彩に誘引されることが多いことが報告されている。この習性から、黄色水盤型トラップや黄色粘着型トラップを使用してアブラムシの発生を抑止している農家もある。しかし、アブラムシは羽をもつ個体が存在するため、移動範囲も広範囲にわたる。そのため、完全に抑止するのは非常に難しいのが現状である。こうした現状を知れば知るほど、農薬や黄色水盤型トラップや黄色粘着型トラップの効果を超越する高採集力トラップを製作してみたいと考えるようになった。』

(2-3) アブラムシの採取(2018年6月)

アブラムシは、植物体における新芽の葉がやわらかい部分を好み密集して発生する。また、アブラムシの種類はかなり多く、決まった野菜にしか寄生しないものや、様々な種類の野菜に寄生するタイプが存在する。ここでは、校内にある畑で育っている里芋の葉や、ツバキ、バラなどの

新芽に発生したアブラムシについて調査し、まとめることにした。なお、アブラムシを探すコツは、アリの注目することであることが分かった。アブラムシが分泌する甘い排泄物がアリを誘発するため、アリの発見が、アブラムシ採取を効率化させた。採取できたのは、ジャガイモヒゲナガアブラムシ、ワタアブラムシ、モモアカアブラムシ、ミカンクロアブラムシの4種類である。全て体長は2～4mmほどである。実験に用いるアブラムシの選別において、**図1**から**図3**に示す3種類の中で発生数が多く季節を通し安定して採集可能な点から、椿の新芽と里芋に発生したワタアブラムシを実験の対象とすることにした。



図1 ワタアブラムシ



図2 モモアカアブラムシ



図3 ミカンクロアブラムシ

なお、**図1**から**図3**の写真は、顕微鏡とスマートフォンで撮影したものである。具体的には、顕微鏡に観察するプレパラートをセットして、ピントを合わせ、**図4**に示すように、接眼レンズにスマートフォンのレンズを置き、ピントがあったところで撮影するというものである。スマートフォン自体のカメラ性能というよりも、スマートフォンのレンズ口径が小さいことで、顕微鏡写真の撮影を可能にしている^{注4)}。



図4 顕微鏡写真

(2-4) RGBフルカラーLEDを用いた光源装置の製作 (2018年6月)

様々な光の色は、赤色(R)、緑色(G)、青色(B)の3色からなり、これを光の3原色という。**図5**のようにアブラムシを集めるためのライトトラップとして、RGBフルカラーLEDを用いて光源を製作した^{注5)}。フルカラーLEDとは、1つのLEDで3原色を発光でき、これらの色を混ぜながらフルカラーを表現可能である。牛乳パックの上に、**図6**の回路図で示す回路を貼り付けた。LED



図5 装置製作の様子

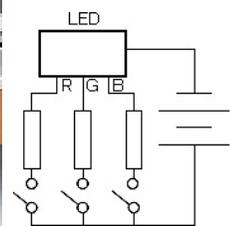


図6 回路図

にはLED光拡散キャップを被せることで、どの方向からも光が均一に発せられるようにした。

(2-5) LEDライトに集まるアブラムシの調査【T字型実験装置(予備実験)】(2018年6月)

アブラムシは、年中植物に寄生するが、現実問題として、真夏の暑さに弱く、4～6月、9～10月の気候が穏やかな時期は特に繁殖する。つまり、6月というのは、アブラムシを多く採取できると考えられる時期でもあったので、研究計画書の作成と実験を並行して行った。そこで、予備実

験として、「アブラムシはどの色のLEDライトの光を好むのか。」というテーマで実験を行い、その実験結果をもとに本格的な実験計画書を書く、という流れで課題研究を行うことにした。実験は、**図7**のように、T字型にし、垂直方向に延びるパイプから、アブラムシを投入することにした。なお、牛乳パックで、複数回アブラムシを飼育してみたところ、アブラムシは15cm以上の高さを登ってくることはなかった。そこで、プラスチックパイプの高さは15cmにした。そのため、垂直方向のパイプは、アブラムシを投入するため以外の意味はなく、事実上、2つの選択肢で実験を行うものであった。**図8**のようにT字型パイプの二本のプラスチック管にペットボトルを覆いかぶせ、ずれないようにビニールテープでしっかりと固定するものとした^{注6)}。ペットボトルの底部の



図7 T字型パイプ



図8 完成したT字型実験装置

中心部分に約1cmの穴をあけ、**図9**の装置を用いて、LED光源装置を設置した。実験は、接合したペットボトルの一方から光を照射することにした。照射する光は、赤色(R)、緑色(G)、青色(B)と黄色の四色とし、光の照射時間は12時間とした^{注7)}。また、**図10**のようにナズナに発生したワタアブラムシを、1回の実験で50匹ずつ、T字管の二本の分岐点になる箇所投入した。光照射側のペットボトルにアブラムシが移動していれば、光に向かって移動したとみなすことにし、集まったアブラムシの個体数を記録することにした。それぞれの色で、実験を5回ずつ行い、その平均値をまとめたものが**表1**である。なお、外からの

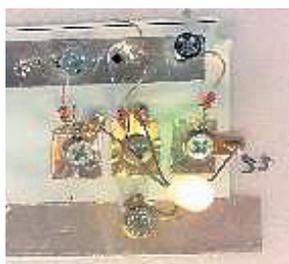


図9 LED光源装置



図10 ワタアブラムシ

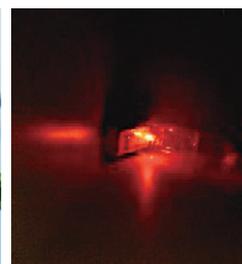


図11 暗闇下での照射

表1 光に集まったアブラムシの個体数(匹)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均	標準偏差
赤	18	20	12	16	21	17.4	3.2
緑	31	30	32	33	34	32.0	1.4
青	22	26	19	20	17	20.8	3.1
黄	36	33	31	29	33	32.4	2.3

光が実験に影響を及ぼさないようにするために、押し入れの中の暗闇下(図11)で実験を行った。表1において、分散分析を行ったところ、有意差が認められた($F(3,16) = 35.00, p < .01$)。多重比較を行ったところ、緑色と黄色は、他の色に比べて高い採集力を持っていることが分かった。

(2-6) RGBフルカラーLEDを用いた光源装置改良版の製作(2018年7月)

より鮮明な黄色を表現するためにLED装置の改良を行った。可変抵抗を新たに光源装置に取り付け、自在に色を表現できるようにするために、図12で示す回路図にしたがって作成した^{注8)}。図13は完成した装置を示している。

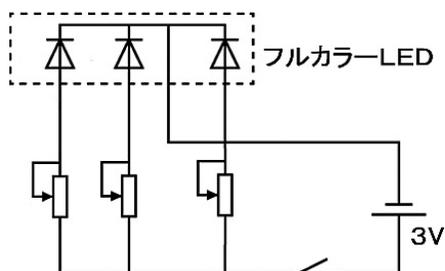


図12 光源装置改良版の回路図

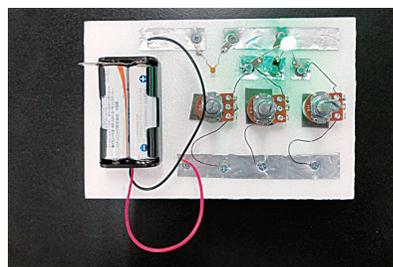


図13 RGBフルカラーLED光源装置

(2-7) LEDライトに集まるアブラムシの調査【箱型実験装置】(2018年7月)

予備実験では、アブラムシは、緑色や黄色によく集まる、という傾向があることが分かった。さらに詳細に研究するために、アブラムシが複数の光を見て、どの光を選ぶのかを検討することにした。その際に、本多(2011)が指摘しているように、夜行性の昆虫は紫外線を多く出す光源に良く誘引されると考えられている。実用例としても図14のように、コンビニなどに設置してある紫外線殺虫灯がある。例えば、小波本(1997)は、280~380nmの近紫外線は昆虫の視覚にとっては重要な意義を持っていると述べている。このように、昆虫にとって紫外光は可視光線であると考えられる。そのため、紫外線とLEDの光のどちらを好むかという観点を加えた実験計画を立てた。具体的には、黄色、緑色に紫外光を加えた3種類の光で実験を行った。実験装置の製作方法は、次の通りである。アブラムシは非常に小さいため、水槽の底に遮光段ボールを、小さな隙間ができないように丁寧に敷き詰めた。次に、アクリルカッター、アクリルヒーターを利用し、アクリル板を細工した。L字型に曲げたアクリル板の壁面の部分は、図15のように、水槽の光源を設置する位置から20cmになる位置に設置した。そして、図16のように、装置はアブラムシの投入地点から光源が直線的に見えるように設計し、水槽の壁面とアクリル板の壁面の間20cm区間に光源を3種類設置した^{注9)}。



図14 紫外線殺虫灯

実験中は、外から光が照射されないように装置全体を遮光段ボールで覆うようにした。また、3種類の光源を連続して横に並べるためお互いの光が干渉しないように光源と光源の間には遮光

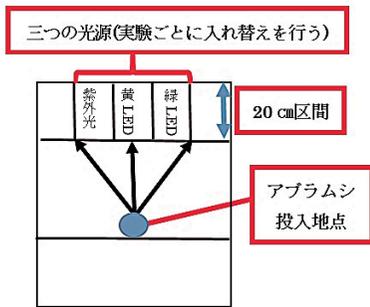


図 15 投入地点から見た光源の様子

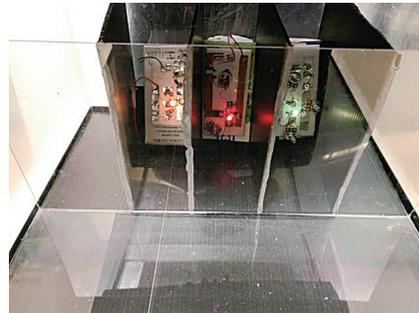


図 16 三つの光源

段ボールを設置した。予備実験と同様に、一回の実験において光は12時間照射し、ワタアブラムシを50匹入れて実験を行うものとした。光を照射した後、各光源から投入地点に向かって10cmの距離内にアブラムシが移動していればそれを各色に集まったアブラムシとして記録した。なお、設置する3種類の光源は、実験ごとに並べる順番を入れ替えた。使用する光源のLEDライトと紫外光（ブラックライト）は、表2のように、照度計でほぼ同じ値を示すことを確認してから実験することにした。

これらの装置を用いて実験を行い、光に集まったアブラムシの個体数をまとめたものが表3である。また、その結果を視覚的に検討するために、グラフ化したものが図17である。

表 2 照度計測器を用いて計測した照度

実験回数 色	1	2	3	4	5	平均
緑色	0.8 (3.2)	0.7 (2.8)	0.7 (2.8)	0.8 (3.2)	0.8 (3.2)	0.76 (3.04)
紫外線	0.9 (3.6)	0.8 (3.2)	0.8 (3.2)	0.9 (3.6)	0.7 (2.8)	0.82 (3.28)
黄色	0.8 (3.2)	0.8 (3.2)	0.9 (3.6)	0.8 (3.2)	0.8 (3.2)	0.82 (3.28)

※ 表中の値は lux で、括弧内の数字は SI 単位系である cd である。

表 3 光に集まったアブラムシの個体数 (匹)

実験回数 色	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均	標準偏差
光源なし(右)	4	0	3	4	3	0	1	2	5	3	1	3	17.4	3.2
黄色	8	10	9	10	10	12	11	12	10	12	9	13	32	1.4
緑色	8	8	7	9	13	7	6	8	7	8	6	10	20.8	3.1
紫外光	5	7	10	10	8	15	10	9	6	4	7	9	32.4	2.3
光源なし(左)	3	6	2	3	1	2	3	0	2	4	2	1	17.4	3.2

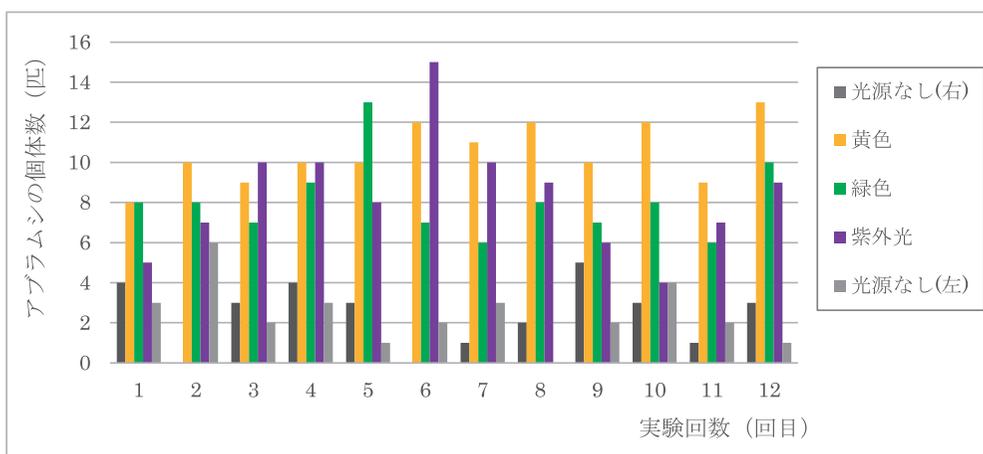


図 17 アブラムシはどの光が好きか (2018年7月)

表3において、分散分析を行ったところ、有意差が認められた ($F(4,55) = 42.40, p < .01$)。多重比較を行ったところ、光源がないより、光源がある方が、アブラムシが集まることが明らかとなった。特に、黄色が一番高い収集力を持つ傾向があると考えられた。そこで、黄色に近い波長の光、つまり、「橙色」、「黄色」、「黄色と緑色の中間色」の三色について、同じ手法で調査した。なお、LEDの光の色については、照度を統一しながら、可変抵抗で該当の色を作り出した。これまでと同様に、アブラムシは50匹、光源は実験ごとに入れ替えるようにした。表4は実験結果であり、視覚的に検討するために、図18のようにグラフ化した。

表4 光に集まったアブラムシの個体数 (匹)

実験回目 色	1	2	3	4	5	平均	標準 偏差
橙色	10	7	9	8	10	8.8	1.2
黄色	11	12	11	8	7	9.8	1.9
中間色	14	9	14	10	10	11.4	2.2

表4において、分散分析を行ったところ、有意差が認められなかった ($F(2,12) = 2.11, n.s.$)。多重比較を行ったところ、特に条件間で相違は認められなかったため、「橙色」、「黄色」、「黄色と緑色の中間色」の三色のどの色を用いても、アブラムシが良く集まることが分かった。ただ、図18から、グラフ化してみた限りにおいては、「黄色と緑色の中間色」が多くアブラムシを集めている傾向があると考えられる。少なくとも、5回の実験で4回（そのうち、1回は同率首位）は、一番多くのアブラムシを集めている。そのため、以下の実験では、「黄色と緑色の中間色」を用いて実験を行うことにした。

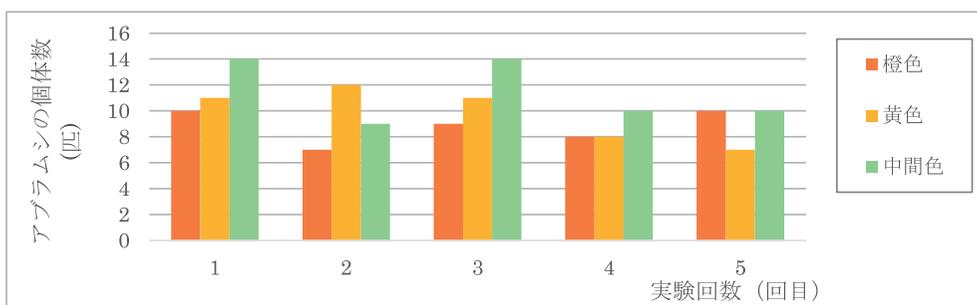


図 18 アブラムシはどの光が好きか (9月)

(2-8) LED ライトに集まるアブラムシの調査【最終型実験装置】(2018年9月)

アブラムシを多く集める「黄色と緑色の中間色」を用いて、ライトトラップを開発することにした。ここでは、水、ネット、粘着という一般的なトラップと相性の良いトラップを探ることにした。LED 光源装置は、野外での使用を考慮し、可能な限り小型化を図るようにした (図 19)。そして、「光+ネットトラップ」、「光+粘着シートトラップ」、「光+水トラップ」の3種類を製作し、調査を行うことにした。この3種類のトラップは遮光段ボールを使った横幅 30cm、縦幅 10cm、高さ 18cm の実験容器をベースとして製作した。なお、高さを 18cm に設定した理由は、これまでの研究成果の一つである「アブラムシは 15cm 以上の壁を登ってこない。」ということによる。実験自体は、これまで同様、12 時間の LED 照射で、投入するアブラムシは 50 匹である。開発した3種類のトラップをまとめたものが、表5である。

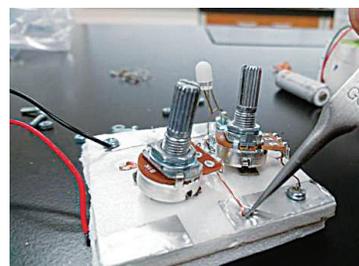
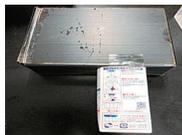


図 19 小型化した光源装置

表5 開発した3種類のトラップ

開発したトラップ	内容
【トラップⅠ】 光+ネット トラップ	ベースとなる容器の光源側から 5~10cm のところに縦、横幅 10cm、高さ 20cm のプラスチックを取り付け、ネットを仕掛けた。ネットはアブラムシが逃げないようにするため網目の細かい水切りネットを使用した。 
【トラップⅡ】 光+水 トラップ	ベースとなる容器の光源側から 5~10cm の領域を切り抜き、そこに容量が 1000ml の牛乳パックを取り付ける。牛乳パックの高さは 23cm (8cm 程度の水を入れたとしても、アブラムシが登ることができない高さ) とした。 
【トラップⅢ】 光+粘着シート トラップ	ベースとなる容器の光源側から、5~10cm のところに粘着シート (粘性の強い両面テープ) を貼る。 

実験結果は表6にまとめ、図20のようにグラフ化した。表6において、分散分析を行ったところ、有意差が認められた ($F(2,6) = 6.85, p < .01$)。多重比較を行ったところ、「トラップⅡ；光+水」と「トラップⅢ；光+粘着シート」で有意な差が認められた。「トラップⅡ；光+水」は「トラップⅠ；光+ネット」、「トラップⅢ；光+粘着シート」よりも平均点が高いため、「トラップⅡ；光+水」が最も有効であり、「トラップⅢ；光+粘着シート」が最も有効ではないと考えられる。以上より「トラップⅡ；光+水」を、本研究で開発した「LED ライトトラップ」と呼ぶことにする。

表6 各トラップに集まったアブラムシの数(匹)

トラップ \ 回目	1	2	3	平均	標準偏差
トラップⅠ；光+ネット	12	21	25	19.3	5.4
トラップⅡ；光+水	47	34	29	36.7	7.6
トラップⅢ；光+粘着シート	21	12	18	17.0	3.7

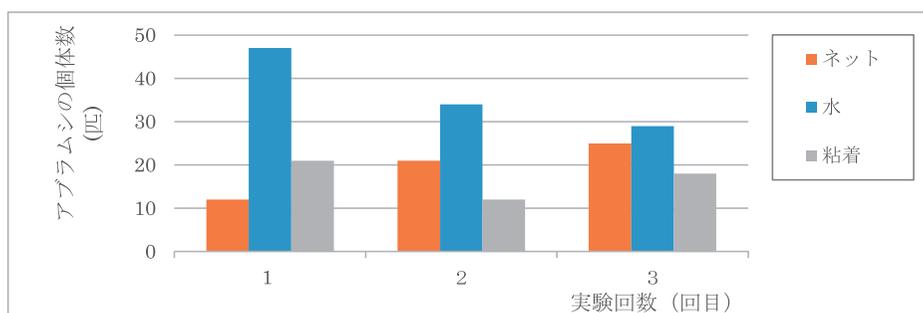


図20 各トラップのアブラムシ収集量

開発した「LED ライトトラップ」におけるアブラムシの採集力について検討するために、実際に野外で仕掛けてみることにした。このトラップは、「黄色と緑色の中間色のLEDライト」を用いて、「光と水を組み合わせたトラップ」であり、これまでの研究成果を踏まえて開発したものである。調査場所は、校内のドラゴンフルーツ畑である。図21のようにドラゴンフルーツの柔らかい新芽の部分や花にアブラムシが大量発生していた。対照実験として、「光+水」トラップ以外に、「水」のみのトラップを準備することにした。

縦、横10cm、高さ20cmのプラスチック容器に小型化した可変抵抗付きLEDライト（黄色と緑色の中間色）を容器に取り付けた。また、容器の周りは、遮光段ボールで囲った。水は容器の下から10cm入れた。アブラムシがいるドラゴンフルーツの下にトラップが設置できるように、図22、図23のように植物体に白ビニール紐でトラップを括り付けた。



図 21 ドラゴンフルーツ

図 22 製作したトラップ

図 23 設置したトラップ

実験結果は表7にまとめ、図24のようにグラフ化した。表7において、分散分析を行ったところ、有意差が認められた ($F(1,8) = 180.5, p < .01$)。以上より、水トラップにLED光源装置を設置した方が、多くのアブラムシを採取することができることが分かった。

表7 2種類のトラップで集められた昆虫のうちのアブラムシの数

実験回数 トラップ	1	2	3	4	5	平均	標準 偏差
光+水	20	22	25	22	21	22.0	1.5
水	3	3	0	7	2	3.0	2.1

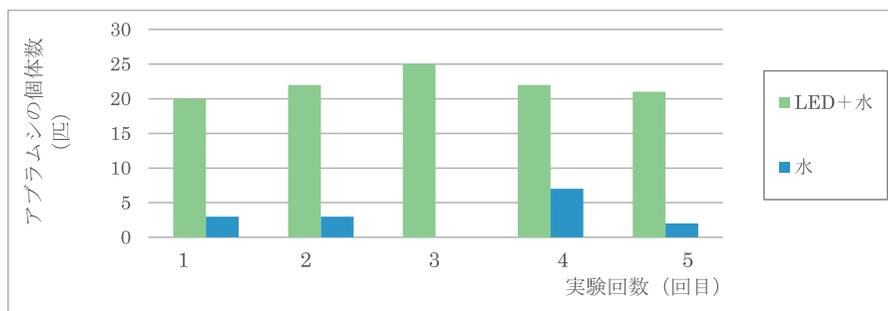


図 24 2種類のトラップで集められた昆虫のうちのアブラムシの数

この実験は野外で実施したため、アブラムシ以外にも多くの昆虫が採取された。具体例として、オンシツコナジラミや蛾類、アリ、ユスリカなどである。アブラムシが植物上を移動する際、アリの運んでもらうことがあるが、今回の実験でアリが採取できたことは、アブラムシ防除に間接的に関係するものであると考えられる。アリとアブラムシは、相利共生の例として、しばしば教科書に掲示されており、両者は密接に関わりあっている。今回製作したトラップは水を張ることができるものに光源となるLEDライトを組み合わせた簡易的かつ加工しやすいトラップであるため、多種多様なフィールドでも設置することができる。また農薬のような防虫効果に伴う副作用的影響も少ないためその点も利点であると考えている。

(2-9) 外部評価としての科学コンテスト等への参加 (2018年10月以降)

実験の成果は、報告書にまとめ、次の①、②に示す学会及び科学コンテストへ参加した。

①日本生物教育学会第103回全国大会中・高校生ポスター発表

②第62回日本学生科学賞愛媛県大会（優秀賞受賞）

こうしたコンテストへの参加を通じて、基礎的事項を整理しながら、これまでの学習を振り返ることができる。しかも、テーマ決定後、指導者は折に触れ、「次の科学コンテストに向けて…」といったような励ましをすることができるので、結果的に生徒のモチベーション維持につながったと考えられる。また、この段階で出てくる新たな疑問は、次年度の課題研究に向けてのテーマ決めに模索することもできる。

(3) 実践的理科教育モデルの考察

今回の実践を通じて、実践的理科教育モデルをまとめたところ、次の表8のようになった。関連すると考えられる項目には○、その中でも、極めて関連付けが強いと考えられる項目には◎をつけた。この作業は、理科教諭経験者2名で、1年間にわたる実際の指導の中で行われた指導回数などをチェックして総合的に判定したものである。

表8 実践的理科教育モデル

指導内容	実施月				科学コンテスト				12	学会発表		
	4	5	6	7	8	9	10	11		1	2	3
生徒主体のテーマ同定	○	◎	○								○	○
適宜の面接や助言	◎	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
教師自身の勉強	○	○	◎	○	○	○	○					
独自性の追究			○	○	◎	◎						
実験の過程を重視			○	○	○	◎						
基本的事項の徹底			○	○			◎	◎	○	○	○	○
遊び的要素を重視			○	○	○	◎						
専門家の指導		○										
教師自身の楽しみ					○	○	○	○				
研究計画書の指導				◎	○	○	○	○				
ものづくりを実行			◎	◎	◎	○						
記録を取る習慣			◎	◎	◎	○						

表8より、指導者の立場から、テーマを決める際には「生徒主体のテーマ同定」、「適宜の面接や助言」、「教師自身の勉強」、科学コンテストに向けては、「研究計画書の指導」、「ものづくりを実行」、「記録をとる習慣」、そして、科学コンテスト直前の報告書の作成の際には「独自性の追究」、「実験の過程を重視」、「基礎的事項の徹底」といったような要素を重点的にチェックすることが重

要であると考えられる。

実践的理科教育モデルは、先を見越した指導をしていく際に非常に有効な資料となる。例えば、4月から5月にかけてのテーマ決めの段階で、「アイディアノート」を書かせる指導をすれば、記録を残す大切さを指導することができる。それと同時に、6月から8月にかけて実際に実験をする際に、記録をとることを繰り返し行うので、そこにつながる指導にもなるのである。

V. まとめ

課題研究では、生徒のモチベーション維持のため、研究テーマは生徒自身に同定させ、学会や科学コンテストで成果発表させることは意義深いと考えられる。研究過程は、アイディアノートに思いついたことを記録させ、定期的なゼミナールを開催し、継続的取組を奨励する助言を行った。生徒はもちろん教師自身が楽しむ姿勢は重要である。今回の研究指導を通じて、より効果的な研究指導方法を検討した結果、次のような研究指導の在り方を確認できた。

〈ステップ1〉テーマの同定は、「アイディアノート」の作成から始める。

〈ステップ2〉テーマの決定は、「キーワード集め（言葉集め）」により模索する。

〈ステップ3〉テーマ決定後は、「科学コンテスト等」に参加することでモチベーションを維持させることができる。科学コンテスト以外にも、指導者が将来像や夢を語り、参考図書を紹介すること、思考時間を確保すること、等の様々な工夫が考えられる。

〈ステップ4〉指導者の影の努力は必要で、教師自身も勉強することは重要である。

〈ステップ5〉作品完成に向けての試行錯誤を生徒とともにすることと、成果発表をさせる中で、基礎的事項を整理しながら、これまでの学習を振り返ることは重要である。実際に、新たな疑問が生じて、次の学習につながる場合は、大きな成果があったと考えることができる。

付記

本論文は、下記の発表内容をもとに研究を深め、加筆・修正を加えたものである。

山岡武邦・山田哲也(2019), 課題研究「アブラムシ駆除用LEDライトトラップの開発」における研究指導, 日本産業技術教育学会第62回全国大会講演要旨集, p.164.

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 18K02602 の助成を受けたものである。

注

- 1) インタビュー内容の全文は、日本学術振興会による平成20年度科学研究費補助金(課題番号:20908031)及び、平成21年度科学研究費補助金(課題番号:21908034)の助成を受け、作成した下記の報告書に記載している。

山岡武邦(2009), 才能ある生徒の個性・能力を伸長する理科教材開発のための調査研究, 平成20年度科学研究費補助金 奨励研究 研究成果報告書(課題番号20908031), pp.1-33.

山岡武邦(2010), 才能ある生徒の個性・能力を伸長する原子力分野に焦点化した理科教材の開発とその実践, 平成21年度科学研究費補助金 奨励研究 研究成果報告書(課題番号21908034), pp.1-67.

- 2) 例えば, 2019年8月, 愛媛県内のSSH校に勤務する生物部顧問の理科教師に, 課題研究におけるテーマ同定の実際について尋ねたところ, 「今年度の生物部の研究は8件中7件が継続研究ですね。もちろん, 継続研究といっても新たな発見があって進めていくものなので, 別の研究になっていくわけです。そのため, 継続研究というよりも同じ題材で進めているというのが本音です。」という回答を得た。ちなみに, 回答者の勤務校は例年, 科学コンテスト等において優れた成果を多く挙げている学校である。こうした学校では, 先輩が学ぶ姿勢から刺激を受けることや, 実験に関するインフラの整備があること等, 継続研究から始めるようなケースが多いと考えられる。また, 研究の始まりは継続研究という位置づけでも, 仕上がりは別の作品になるということも見据えて, 課題研究に取り組んでいることが明らかとなった。

- 3) 生徒科学研究の充実を目的として開催された科学コンテストの一つに, 愛媛県教育委員会及び, 愛媛大学主催の平成29年度中高生の科学研究実践活動推進プログラム「えひめサイエンスリーダースキルアッププログラム」という科学コンテストがある。この科学コンテストでは, 論文集が作成されており, 各発表2ページにわたる原稿を作成している。このプログラムは, プログラム参加部門と一般部門の2つの部門に分かれており, プログラム参加部門17件(12校), 一般部門で27件(14校), 合計44件(19校)が参加している。全て愛媛県下の高等学校であった。プログラム参加部門は, 大学への訪問などを通じて, 生徒及び教師がそれぞれ参加し, 課題研究について学びながら, 課題研究作品を仕上げ, プログラムの最終回で科学コンテスト(ポスター発表)を行う, という内容である。一方, 一般部門は, 大学への訪問はせず, 独自で課題研究作品を仕上げ, プログラム最終回の科学コンテストのみ参加する, という内容になっている。つまり, 一般部門は, SSH校のように, 例年, 複数の科学コンテストに参加している学校が参加しやすい内容になっている。

- 4) デジタルカメラ付きの顕微鏡は市販されているが, 予算などの都合から, 全ての学校ですぐに購入できる状況があるとは限らない。今回も, そのような状況があったが, なんとかして観察結果の写真を撮影したい, という遊び的要素を含むような発想から顕微鏡とスマートフォンをつけ足してみるという意見が出てきた経緯がある。それ以降, 岩石などもこの手法で撮影することもできた。



例えば, 右の写真は, 「あかほや」という火山灰である。南九州の鬼界カルデラから約6300年前に噴出した降下軽石や降下火山灰であり, 東北地方南部までその分布が確認されている。なお, この写真は, 愛媛県松山市で採取したものである。

- 5) RGBフルカラーLEDを用いた光源装置の準備物は次のとおりである。RGBフルカラーLED(5mm4本足), LED光拡散キャップ(5mm), ビス, コード, アルミテープ, 抵抗, 単3電池, 電池ボックス, はさ

み、ニッパー、セロハンテープ、牛乳パック

- 6) T字型実験装置の準備物は次のとおりである。T字型塩ビパイプ、プラスチック製パイプ、2ℓペットボトル(2本)、牛乳パック、ビニールテープ、ラップ
- 7) 実験時間12時間というのは、放課後19:00に実験装置をセッティングし、翌朝、7:00にアブラムシの移動を観察し、記録していくということで、現実的な観点から決めたものである。高校生が普段の生活を行う中で、無理のない記録が継続的に取れるための工夫として提案した。
- 8) RGBフルカラーLEDを用いた光源装置改良版の準備物は次のとおりである。RGBフルカラーLEDカソードコモン(5mm)、LED光拡散キャップ(5mm)、ビス、コード、アルミテープ、可変抵抗(小型ボリューム)、発泡スチロールボード、単3電池、電池ボックス、はさみ、ニッパー
- 9) 箱型実験装置の準備物は次のとおりである。縦88cm・横44cmの水槽、縦44cm・横44cmの亚克力板、遮光段ボール、両面テープ、亚克力カッター、はさみ、亚克力ヒーター、カッター

引用文献

- 合田健二(1981). 黄色・銀色に対する有翅アブラムシの色彩反応, 関東東山病害虫研究会年報第28集, pp.106-107.
- 浅島誠, ほか27名(2018), 改訂新編生物基礎, 東京書籍株式会社, P.12.
- Yager, R. (1991). The Constructivist Learning Model: THE SCIENCE TEACHER, 52-57.
- 清原洋一(2018). 高等学校理科の改訂総論, 理科の教育, Vol.67, pp.4-12.
- 小波本直忠(1997). ウシおよびイナゴの眼の紫外線受容複合体に対する光化学的作用の相異, 日本農業学会誌2(4), pp.405-411.
- 白濱弘幸, 岳野公人, 福山隆雄, 山岡武邦(2015), 小学生を対象としたLED照明教材の開発的・実践的研究, 日本産業技術教育学会九州支部論文集, Vol.23, pp.27-35.
- 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター(2014), 光を利用した害虫防除のための手引き.
- 弘中満太郎, 針山孝彦(2014), 昆虫が光に集まる多様なメカニズム, 日本応用動物昆虫学会誌(応動昆) Vol.58(2), pp.93-109.
- 本多健一郎(2018), 光を用いた病害虫防除技術の確立, 独立行政法人農業. 食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所.
- 本多健一郎(2011), 光に対する昆虫の反応とその利用技術, バイオメカニズム学会誌, Vol.35(4), pp.223-226.
- 松本義明(1996), 光と昆虫の生活, 照明学会誌, Vol.80(1), pp.33-37.
- 水谷仁(2012), ニュートン別冊 生き物の超能力 おどろきの超機能 不可思議な生態, 株式会社ニュートンプレス, p.96.
- 森津孫四郎(1995), 日本原色アブラムシ図鑑 全国農村教育協会
- 文部科学省(2009), 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 実教出版, pp.1-232.
- 文部科学省(2018), 中学校学習指導要領解説 技術・家庭編, 開隆堂出版, pp.1-167.
- 文部科学省(2019), 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 東京書籍, pp.1-177.
- Yamaoka, T., Matsumoto, S., Sumida, M. (2015). Instructional Model of Japanese Science Teachers

for the Gifted. American Journal of Educational Research, Vol.3(7), pp.944 - 948.

山岡武邦, 白濱弘幸, 松本伸示(2016), 小学生のためのLEDを用いた教材「光の足し算器」の開発と評価-テキストマイニングによるアンケート分析を通じて-, 日本エネルギー環境教育研究, Vol.10(1), pp.3-9.