

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：10102

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20798

研究課題名(和文) 小学校の理科授業中45分間にチョウを羽化させる制御方法の検討

研究課題名(英文) The control technique for eclosion in butterflies during school classes

研究代表者

安藤 秀俊 (Andoh, Hidetoshi)

北海道教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70432820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：小学校理科ではチョウが蛹から変態して羽化する様子を観察させるが、羽化は早朝に行われることが普通で、羽化を観察することは極めて難しい。そこで、授業中に羽化を観察する制御法を検討した。モンキチョウの母蝶から卵を強制採卵し幼虫を飼育し、蛹の有効積算温度と発育零点から羽化時期を予想し、蛹を低温処理後再び加温することで、意図する時期に羽化させる客観的な指標として、蛹色の変化と質量の減少率を測定することを試みた。その結果、蛹の色の変化と蛹の第4腹節付近の空隙化に伴う質量の減少から、25～45分以内に羽化することが確認できた。また絶滅危惧種のチョウの調査を行い、環境教育と保全生態学の観点から教材を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小学校の理科では、チョウの羽化を観察させる学習がある。しかし、授業中に観察することはほぼ不可能に近い。本研究の目的は羽化メカニズムの解明ではなく、羽化のタイミングを検討することで、「予定した時間に羽化させる方法」と、実際の学校現場での「実践授業を行うことによる教育的効果の検証」であり、昆虫生理学の先進的な専門知識を初等教育の理科の授業に導入しようとするものであり、理科の教材としての意義は極めて高い。また、本研究のもう一つの目的は、環境教育および生態保全学の観点から、我が国において絶滅危機に瀕しているチョウの現状をフィールド調査することであり、その結果を教材化することにも大きな意義がある。

研究成果の概要(英文)：In elementary school science classes, children are asked to observe the emergence of butterflies. Therefore, we investigated a control method for observing emergence during class. By having the mother butterfly(Colias erate) lay eggs, predicting the timing of emergence from the effective cumulative temperature and the developmental zero point, and reheating the pupae after low-temperature treatment, the objective indicators for eclosion during class are changes in pupa color and mass reduction. We tried to measure the rate. As a result, it was confirmed that the pupa emerges within 25-45 minutes, based on the change in color of the pupa and the decrease in mass due to the cavitation around the 4th abdomen of the pupa. In addition, we conducted a survey of endangered butterflies and examined teaching materials from the perspective of environmental education and conservation ecology.

研究分野：科学教育

キーワード：チョウ 理科 羽化制御 フィールド調査 環境教育 絶滅危惧種

1. 研究開始当初の背景

小学校の理科の学習では、昆虫が「卵→幼虫→蛹→成虫」と変化する様子を、モンシロチョウを例として実際に児童が飼育・観察する内容がある。しかし、蛹から成虫に変態する「羽化」の現象の大半は明け方の数分間に行われ、児童が観察することはほとんど不可能である。生物の観察では、生命の神秘性や尊さをじかに学ぶことに意義があるが、実物の「チョウの羽化の瞬間」に立ち会う経験は、理科の学習でも極めて大きな「感動」が得られる。この「感動を呼ぶ」直接体験は、児童・生徒のその後の人生に大きな影響を与えるほどの多大な教育的効果が期待される。本研究は小学校の45分間の授業時間中にチョウの羽化の現象を観察させ、感動のある生物観察を実現させる教材の開発（羽化制御法）を検討することが研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

研究開始当初の背景に述べたように、小学校の理科の学習において、昆虫、特にチョウ類が「卵→幼虫→蛹→成虫」と変化する様子を、身近なチョウ類を例として実際に児童が飼育・観察する教材を検討することが本研究のねらいである。しかし、昆虫の変態の中でも、蛹から成虫に変態する「羽化」の現象を、児童が観察することはほとんど不可能であるが、生命の神秘性や尊さ、そして何よりも「感動を呼ぶ」直接体験を経験させることが生物の観察にとって極めて重要であり、その感動が児童・生徒のその後の人生に大きな影響を与えると考えられる。特に写真や動画ではなく、実物の「チョウの羽化の瞬間」に立ち会う感動は、その後の自然への興味や関心を一変させるほど大きなインパクトとなり得るもので、理科の学習において、チョウの羽化の観察は極めて大きな意味を持ち、多大な教育的効果が期待される。そこで、本研究では、昆虫学の先端の知見を基に、小学校の45分間の授業時間中にチョウの羽化の現象を観察させ、感動のある生物観察を実現させる教材の開発（羽化制御法）とその教育的な効果の検証を目的としている。また、これに関連して、教育に利用可能なチョウ類の探索及びフィールド調査、特に環境教育と絡めた保全生態学の観点からチョウの教育活用のあり方を検討する。そのため、日本各地で絶滅の危機に瀕しているチョウ類の現状についても現地調査を行い、チョウ類の教材化に寄与する多角的な調査を行うことも目的とする。

3. 研究の方法

チョウの羽化は、直接的には羽化ホルモンが関与し (Truman, 1971)、気管周腺のインカ細胞から体の筋肉の周期的な蠕動運動を誘発する脱皮刺激ホルモンが分泌され、チョウが蛹の殻から抜け出す (Zitnan et al., 1996)。しかし、本研究の目的はこれらメカニズムの解明ではなく、羽化のタイミングを検討することで、「予定した時間に羽化させる方法の確立」と、実際の学校現場での「実践授業を行うことによる教育的効果の検証」である。

具体的な研究方法として、まず身近なチョウ類としてモンキチョウ (*Colias erate*) の母蝶を採集し、強制産卵法でシロツメクサに産卵を促す。食草を一定条件 (23~25℃, 明期 12 時間, 暗期 12 時間) に設定したインキュベータで栽培し、幼虫を飼育する。モンキチョウのそれぞれの生育ステージの期間を調査し、卵期、幼虫期、蛹期における発育零点を確認する。モンシロチョウでは羽化直前に蛹の第4腹節の空隙化が指摘されており (矢野, 1969)、蛹から羽化するまでの期間で蛹の第4腹節付近の空隙化の様子、および蛹の質量変化を計測し数値化する。また一般にチョウの発育は、温度と日長に左右され、越冬を開始する秋季の日長条件 (臨界日長) を除けば基本的に温度に依存し、発育零点がわかればどのくらいの期間で発育を完了するかを推定できる。つまり発育零点以上の温度で発育が進むので、それ以上の温度がある日数が続くと発育

が完了し、毎日の平均気温から発育零点を引いた値を積算したものが有効積算温度になる。本研究では、保冷および加温する温度・時期・期間を検討し、モンキチョウの有効積算温度を明らかにするとともに、空隙の見極めとして蛹の質量に着目し、小・中学校の現場の教師が見きわめられるような客観的な基準を見いだすことで、論理的に蛹からチョウとして羽化するタイミングを予見する。そして、この羽化制御方法を基に、学校現場で実践可能な技術を検討した。

モンキチョウでの羽化制御方法を考案するに当たり、実験Ⅰと実験Ⅱでモンキチョウの羽化に関するデータを集め、羽化制御方法を立案し、実験Ⅲでその方法が実用可能か検証した。また、今回、実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを行うに当たり、必要となるモンキチョウの蛹は、北海道教育大学旭川校構内で採取したモンキチョウの成虫をリシャル法（近藤，1952）でシロツメクサに強制的に産卵させた後、得られた卵を蛹になるまで飼育し、1個体ごと識別した上で各実験に供試した。

（実験Ⅰ）モンキチョウが羽化に要する積算温度の算定

（実験Ⅱ）空隙化に伴う色の変化、および、第1変色における積算温度と質量の測定

※色の変化：前後翅外縁部のピンク色が透ける（第1変色）、全身が黄色となる（第2変色）

（実験Ⅲ）考案したモンキチョウの羽化制御方法が実用可能かの検討

実験	設定	温度(°C)	日長(h)
実験Ⅰ	設定1	23	
	設定2	25	12 (7:00~19:00)
実験Ⅲ	設定3	8	

こうした羽化制御実験の一方で、環境教育と保全生態学の観点から、日本各地で絶滅の危機に瀕しているチョウ類の現状についても現地調査を行い、チョウ類の教材化に寄与することとした。具体的には、北海道アポイ岳のみに生息する絶滅危惧ⅠA類で「種の保存法」指定のヒメチャマダラセセリ (*Pyrgus malvae*)、日本で近年最も減少したチョウの一種で絶滅危惧ⅠA類オオウラギンヒョウモン (*Fabriciana nerippe*)、熊本県しか生息しない絶滅危惧ⅠA類で「種の保存法」指定のゴイシツバメシジミ (*Shijimia moorei*)、南西諸島のみに生息する絶滅危惧Ⅱ類のアサヒナキマダラセセリ (*Ochlodes subhyalinus*)、絶滅危惧ⅠB類のチャマダラセセリ (*Pyrgus maculatus*) などの生育調査を実施した。

4. 研究成果

実験Ⅰにおいて、モンキチョウの蛹（18個体）を23°C、25°Cの環境下で飼育した際、平均して積算温度が143.67°Cに達したとき、モンキチョウは羽化した。次に、実験Ⅱでは、モンキチョウの蛹は、空隙化が進むにつれ、蛹化初期（全身が緑色）の状態から一部分がピンク色に変色した（第1変色）。これは、モンキチョウ（成虫）の特徴である前後翅外縁部のピンク色が透けた状態である。さらに空隙化が進むと、羽化直前、蛹全体が黄色に変色する（第2変色）。このように、モンキチョウの蛹は3段階で色が変わる（図1）。第1変色時の積算温度と質量を測定した結果、モンキチョウは、平均して積算温度122.57°Cで蛹に前後翅外縁部のピンク色が透けた。羽化に要する積算温度が143.67°Cであることから、25°Cの温度環境下では、羽化の20時間前にピンク色が透ける。また、蛹の質量は、蛹中で成虫に変態するための代謝エネルギーとして消費され、減少していくが、蛹化初日の質量を100%とした場合、平均して85.8%まで質量が減少した時、ピンク色が透ける。

以上、実験Ⅰおよび実験Ⅱの結果を受けて、次のような羽化制御方法を立案した（図2）。



図1 空際化に伴う蛹の変色

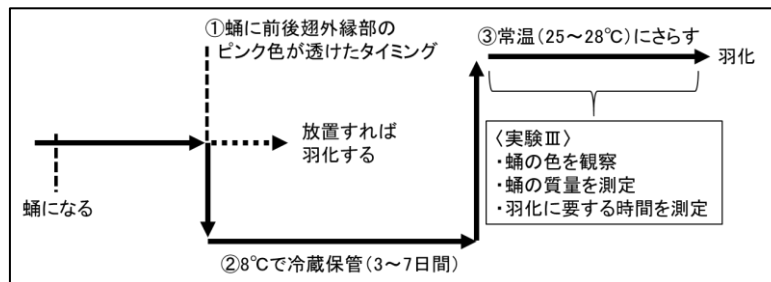


図2 モンキチョウの羽化制御方法

まず、幼虫を蛹まで飼育し、蛹にピンク色が透けるまで空際化を進行させ(図1-左)、第1の変化(前後翅外縁部のピンク色が透ける変化)を確認次第、8.0°Cで3~7日間冷蔵する(図1-中央)。次に、羽化を誘発させたいタイミングで、常温(25.0~28.0°C)に曝露し羽化させる(図1-右)。実験Ⅲでは、この方法が実用可能か検討する為に、冷蔵後の蛹の色の観察、冷蔵後の質量の測定、羽化に要した時間の測定を行った。その結果、冷蔵後、①蛹が黄色まで変色している、②質量が78%以上84%未満、この2つの条件を満たす時、蛹は2時間以内に羽化し、加えて、羽化に要した時間を細かく調査したところ、2時間以内に羽化した蛹20個体中、15個体(75%)が25~45分後に羽化していた。以上より、以下に示す条件を満たしたモンキチョウの蛹は、冷蔵後、25~45分後に75%の確率で羽化を開始することが明らかとなった。

(条件1) 冷蔵後、蛹全体が黄色に変色している(第2変色)

(条件2) 冷蔵後、蛹の質量が蛹化初日の質量を100%とした時、78%以上84%未満である

今回、モンキチョウでの羽化制御方法を検討した結果、選別した蛹が75%の確率で25~45分後に羽化したことから、小学校での実用化(羽化の観察授業の実施)は十分可能である。また、小学校教師が羽化の観察授業をスムーズに実践できるよう、羽化制御シートを作成した(図3)。この羽化制御シートを用いた場合、今までモンシロチョウで行っていた授業準備に、①蛹化初日の質量を測定する、②蛹に前後翅外縁部のピンク色が透けたのを確認次第冷蔵保存する、③授業日に蛹に質量を測定する、以上3つの作業を加えるだけで、授業時間内での「羽化の観察」が可能になる。以上より、「チョウを育てよう」の分野において、授業時間中(45分間)にモンキチョウでの「羽化の観察」は実施可能であり、また、羽化制御シートを用いることで、どの小学校教師であっても「継続的な観察」の活動として「羽化の観察」を行うことができると推察される。

羽化制御シート	
個体名: <input type="text"/>	$(A) \div (D) \times 100 = \text{ } \dots (E)$
蛹化日: <input type="text"/> 月 <input type="text"/> 日	$(C) - (B) = \text{ } \text{日間} \dots (F)$
質量: <input type="text"/> g $\dots (A)$ <small>(蛹化初日)</small>	チェックリスト <input type="checkbox"/> 蛹の色が黄色 <input type="checkbox"/> 冷蔵期間【 $3 \leq (F) \leq 7$ 】 <input type="checkbox"/> 質量変化【 $78 \leq (E) \leq 84$ 】
冷蔵日: <input type="text"/> 月 <input type="text"/> 日 $\dots (B)$	
授業日: <input type="text"/> 月 <input type="text"/> 日 $\dots (C)$	
質量: <input type="text"/> g $\dots (D)$ <small>(授業日)</small>	

図3 羽化制御シート

一方、環境教育と保全生態学の観点から、日本各地で絶滅の危機に瀕しているチョウ類の現状について現地調査を行った。その結果、現在日本で一番絶滅の危機的な状況にあるヒメチャマダラセセリについては、日本チョウ類保全協会やアポイ岳ファンクラブなどの団体によるハイマツの除去作業などの保全活動によって、一時は 100 頭以下に減少した生息数がやや増加傾向にあることが確認できた (図 4)。ゴイシツバメシジミについては、熊本県水上村の教育委員会の保全活動により、辛うじて生育が維持されているようであった (図 5)。オオウラギンヒョウモンは草原性のチョウの代表種で、1980 年代には北海道を除く日本全国で見られたが、現在では九州の一部と山口県にしか生息していない日本で最も減少したチョウとされ、牧畜の減少に伴う草原の消失と都市化による環境の変化が著しいことが確認できた (図 6)。特に現在の生息地の大部分は自衛隊の演習地となっており、このことにより辛うじて生息している現状が確認できた。このようにチョウ類は環境の指標としても重要な生物とされており、環境教育や保全生態学の観点からも教材としての価値は大変大きいものと考えられた。

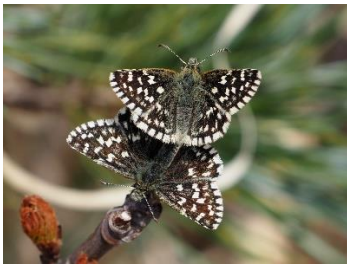


図 4 ヒメチャマダラセセリ
(北海道アポイ岳)



図 5 ゴイシツバメシジミ
(熊本県市房山)



図 6 オオウラギンヒョウモン
(熊本県西原村)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 安藤秀俊・四位大志	4. 巻 72(2)
2. 論文標題 授業中にチョウを羽化させる制御方法の可能性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 北海道教育大学紀要（教育科学編）	6. 最初と最後の頁 231 - 237
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安藤秀俊・四位大志
2. 発表標題 チョウを授業中に羽化させる制御の試み - モンキチョウによる試行 -
3. 学会等名 日本理科教育学会北海道支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安藤秀俊
2. 発表標題 理科と数学の関連教材としてのチョウの季節的表現多型 - 高等学校の新科目「理数探究」に向けて -
3. 学会等名 日本理科教育学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤秀俊
2. 発表標題 「理数探究」の教材としてのチョウの季節型 アカマダラの生育調査
3. 学会等名 日本理科教育学会北海道支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川 今天, 安藤 秀俊
2. 発表標題 チャマダラセセリの羽化に関する基礎的調査 日長と温度の変化による季節型表現多型の現出
3. 学会等名 日本学校教育実践学会研究発表大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	奥寺 繁 (Okudera Shigeru) (20625941)	北海道教育大学・教育学部・准教授 (10102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------