



## 授業中にチョウを羽化させる制御方法の可能性

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2022-04-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 安藤, 秀俊, 四位, 大志 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.32150/00007102">https://doi.org/10.32150/00007102</a>

## 授業中にチョウを羽化させる制御方法の可能性

安藤 秀俊・四位 大志\*

北海道教育大学旭川校理科教育教室

\*北海道教育大学（現：札幌市立緑丘小学校）

## The Control Technique for Eclosion in Butterflies (*Colias erate*) during School Classes

ANDOH Hidetoshi and SHII Taishi\*

Department of Science Education, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education

\*Hokkaido University of Education (Present Address: Sapporo Midorigaoka Lower Secondary School)

### 概 要

小学校第3学年の理科では、「チョウを育てよう」という単元で卵からのチョウの継続的な飼育が行われる。卵→幼虫→蛹→成虫という過程を観察する中で、昆虫の生育について学習する。この学習では、最後にチョウが蛹から変態して羽化する様子を観察させることが一つの狙いとなっているが、実際の羽化は早朝の数分間に行われることが普通で、羽化の現象を直接観察することは極めて少ない。そこで、児童がこの羽化を授業中に観察できるようなチョウの羽化制御の可能性について検討した。モンキチョウの母蝶から卵を強制採卵し幼虫を飼育、蛹を作出し、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、①蛹の色が緑から黄色になる、②蛹の第4腹節付近の空際化に伴う質量の減少が78～84%、の2条件を満たす場合、20蛹中15蛹が低温から加温後、25～45分以内に羽化することが確認できた。今後、これらの条件を更に詳細に検討することにより、実際の学校現場での実用が可能であることが示唆された。

### I. はじめに

小学校3年生の理科の授業では、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・観察する学習内容がある（文部科学省，2018）。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に

行われ、児童が観察することはほとんど不可能である。また、小学校教師のアンケート調査からは、小学校3学年における「チョウを育てよう」の内容の指導が一番困難であるとの報告がある。

生物の観察では、生命の尊さ、生命の不思議、神秘性、そして何よりも「感動を呼ぶ」直接体験が極めて重要であり、その感動は児童・生徒のそ

の後の人生に大きな影響を与える。特に実物の「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重要な題材であり、多大な教育的効果が期待される。

日本においてもノーベル賞を受賞した科学者の多くが、少年時代はいわゆる「昆虫少年」であり、自然の中の感動体験が後に科学の道を歩むきっかけになったと述懐している（読売新聞社，2001）。昆虫の中でもチョウは児童にとって大変身近な存在であり、教材としても活用すべき点は多い。こうしたことから、これまで小・中学校においてチョウを教材として利用した事例は散見される。しかしながら、チョウの羽化に焦点化した研究としては、監視カメラソフトを利用した蝶の羽化の観察・記録方法の開発があるが（金子，2014）、それ以外、管見の限り見当たらない。もっともチョウの羽化の観察は、正しい知識や方法を習得していれば決して難しいものではなく、生物の生態を知る上で避けて通れない学習活動であり、そして何よりも児童・生徒に大きな感動をもたらす。したがって、小学校の45分間の授業時間中に「チョウの羽化の瞬間」を観察させることができれば、自然科学への好奇心は絶大であると思われる。

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）ことによる。しかし、本研究の目的はこれら羽化の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」であり、実際の学校現場で「チョウの羽化の瞬間」を観察させる基礎的なデータを得ることにある。

## II. 調査方法

### 1. 研究の目的

本研究では、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）を目的とした。

## 2. 研究の方法

### (1) 材料

本研究ではモンキチョウ (*Calias erate*) を供試した。モンキチョウは鱗翅目シロチョウ科のチョウで、日本においては北海道から南西諸島にかけて生息している。北海道では、モンシロチョウと同様に道内全域で見られ、5月から10月にかけて成虫の姿を確認することができる身近なチョウである。モンキチョウの雌は黄色型と白色型がありメンデル遺伝する（図1）。食餌植物は、シロツメクサ、ムラサキウマゴヤシ、アカツメクサ等のマメ科植物であり、その中でも北海道に広く自生し、校庭などでも普通に見られるシロツメクサは、本実験に使用するモンキチョウと同様に入手しやすい。



図1 モンキチョウの雌 左：黄色型 右：白色

### (2) 研究の方向性

本研究の目指すところは、モンキチョウの生育ステージの確認と有効積算温度による羽化制御技術の確立である。まずモンキチョウの母蝶を採集し、リシャル法（近藤，1952）による強制産卵でシロツメクサに産卵を促す。産卵された食草を一定条件（23～25℃，明期12時間，暗期12時間）に設定した人工気象器（インキュベーター）に投入し、幼虫を飼育する。幼虫は1～5齢のステージを経て蛹になる。それぞれの生育ステージの期間を調査し、有効積算温度を算出し、卵期、幼虫期、蛹期におけるモンキチョウの発育零点を確認する。

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、それ以上の温度の日数が一定期間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、既に小林（2015）により明らかとなっているモンキチョウの有効積算温度と発育零点のデータも参考にし、保冷および加温する温度・時期・期間を検討する。

一方、モンシロチョウでは羽化直前に蛹の第4腹節の空隙化が観察されており、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から羽化の予想がある程度可能であることが報告されている（矢野，1977）。

こうしたことから、本研究では保冷および加温する温度・時期・期間とともに、空隙の見極めとして蛹の質量に着目し、蛹の質量変化を計測し数値化する。このように小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、理論的に蛹からチョウとして羽化するタイミングを予測できるのではないかと考えた。そして、この羽化制御方法が確立されれば、授業中に羽化の瞬間を体験でき、小学校における「チョウの観察」の教育的な効果が向上すると期待される。

### (3) 実験Ⅰ～Ⅲの方法

人工気象器（日本医化製LH-45RDS）を利用し、強制採卵により得た118卵を実験Ⅰ～Ⅲに供試した。実験Ⅰはモンキチョウの羽化に必要な有効積算温度の再確認、実験Ⅱはモンキチョウの蛹の空隙化に伴う色の変化の観察と蛹の質量の測定、実験Ⅲは低温処理を施す羽化制御方法により羽化までに要した時間の測定である。

実験Ⅰの温度設定は、昆虫の生育には20～27℃付近が最適であること、学校環境衛生基準で示された教室の温度範囲内であること、更に北海道の6月後半から7月前半の時期の三点を勘案し、23℃と25℃の2段階（設定1，2）を設定した（表

1）。また、日長については明期12時間、暗期12時間とした。実験Ⅰでは、蛹18個を用いて、羽化までの蛹の有効積算温度を測定した。

表1 実験Ⅰ～Ⅲにおける温度と日長条件

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

実験Ⅱは蛹78個を供試し、温度25℃、日長は明期12時間、暗期12時間（設定2）で、モンキチョウの蛹の空隙化に伴う蛹の色の変化を毎日観察した。また、蛹化した日の蛹の質量を基準として、色の変化が起きるまでの質量の減少率を測定した。ここで実験Ⅱの「蛹の色の変化」とは、蛹化後に時間の経過とともに蛹の表皮が透明化し、内部のチョウの翅の斑紋が透けて見えてくることを指す（図2）。蛹化初期（A）に緑色だった表皮が、蛹化中期（B）になると蛹の第4腹節付近の空隙化に並行して前後翅外縁部のピンク色が出現し、やがて蛹化後期（C）には黄色の翅と黒い斑紋が透けて見えるようになる。この色の変化と空隙化による蛹の質量の減少を記録し、実験Ⅲでの結果と対応させることで羽化制御法を検討した。

実験Ⅲは、実験Ⅱで蛹化中期とした蛹化5日目に、前後翅外縁部のピンク色が透けたタイミング

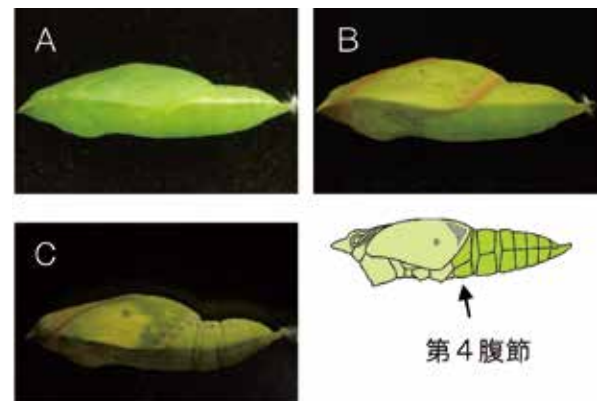


図2 モンキチョウの蛹の色の変化

A：蛹化1日目， B：蛹化5日目， C：蛹化7日目

で、蛹を25℃の人工気象器から取り出し、8℃に設定(設定3)した人工気象器へと移す。その後、継続して蛹の質量と羽化するまでの時間を調査し、授業中に羽化するタイミングを検討する(図3)。

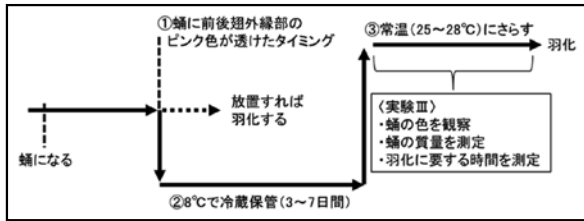


図3 実験Ⅲ(羽化制御法)の概要

矢野(1977)はモンシロチョウにおける羽化制御方法を提案したが、蛹の低温処理温度の範囲を6~12℃とし、実験は8℃で実施した。モンキチョウは同じシロチョウ科であり、生態も近いものと考えられ、小林(2015)の蛹の発育零点が3.4℃であることから、本実験でも冷蔵温度を8℃に設定した。本実験では、図3で低温にさらす指標として、蛹の色の変化(前後翅外縁部のピンク色が透ける)と第4腹節付近の空隙化による蛹の質量減少に着目し、これを数値化することでより客観的な羽化のタイミングを予測することを目指している。

### 3. 結果と考察

実験Ⅰにおいて設定1では、13蛹中9蛹が7日目に、4蛹は8日目に羽化した。設定2では2蛹は6日目に、5蛹中3蛹が7日目に羽化した。全18蛹の有効積算温度を算出し平均すると143.7であった。

実験Ⅱでは死亡した3蛹を除く75蛹が、平均して有効積算温度122.6に達した時(約5日:蛹化中期)、モンキチョウの成虫の特徴である前後翅外縁部のピンク色が透視で観察された。また、蛹の質量変化を測定した結果、蛹の質量変化の平均は、有効積算温度の増加に伴い減少した(表2)。

表2 蛹の有効積算温度と蛹の質量比

有効積算温度 (day degree)	蛹化1日目に対する質量比 (%)
0	100.00
25	96.52
50	94.44
75	92.06
100	89.63
125	85.64
(※) 149	83.35
150	82.95
157	81.83
165	81.52
173	79.62

(※) 149以降は8℃の低温で羽化を抑制した。

蛹の前後翅外縁部のピンク色が透けた際の質量を測定したところ、蛹化1日目の蛹の質量を100%とした時、平均で85.8%まで質量が減少したタイミングで蛹の変色が起こることが確認できた。

これらのことから、蛹の変色、第1段階(前後翅外縁部のピンク色が透ける変化)は、有効積算温度が122.57、質量が85.8%まで減少した際に起こることが確認された。空隙化が進むにつれて蛹の質量が減少した理由は、蛹の中で成虫の体が形成される代謝の過程でエネルギーを消費するためと考えられる。実験ⅠおよびⅡより、25℃の環境下では、第1段階の変色から20時間15分後に羽化することが予測できる。

次に、蛹の変色の第2段階(蛹全体の黄色への変色)についても第1段階と同様、有効積算温度と質量変化の観点から考察すると、25℃の環境下では羽化の20時間15分前に第1段階の変色が起きていたことから、蛹全体が黄色に変色するタイミングは羽化の直前になる。つまり、第2段階の色の変化(蛹全体の黄色への変色)は、羽化の20時間以内に起きる。今回は、蛹の色を1日に1度しか観察しなかった為、20時間以内のうち、どの時間かは不明であり、2段階の変色を正確に数値化することはできなかったが、おおよその有効積算温度と質量変化の範囲は表3のようになると考えられる。

表3 蛹全体が黄色になり翅が透ける条件

有効積算温度 (day degree)	質量比 (※)
122.57~143.67	85.8%以下

※ 蛹化1日目の質量を100%とした

実験Ⅲは、低温設定の人工気象器から蛹を取り出したときの色の変化である。本来であれば、前後翅外縁部のピンク色が透けるタイミングで冷蔵保管し、羽化が可能になる有効積算温度 (143.67) を越えるまで冷蔵保管している為、冷蔵保管後の蛹はすべて黄色のはずである。具体的に、蛹に前後翅外縁部のピンク色が透ける有効積算温度 (122.57) に、冷蔵保管の最低日数である3日間であれば24℃ (8℃×3日間) を加えると、146.57となる。この有効積算温度は、モンキチョウが羽化する際に要する有効積算温度 (143.67) を越えている為、モンキチョウの蛹の色は羽化可能な状態である空隙化が最も進んだ黄色ということになる。加えて、冷蔵保管後の蛹の質量は、85.8%以下になっているはずである。

以上のように、今回冷蔵した蛹の有効積算温度はすべて143.67を越えてはいるものの58個体中27個体 (46.6%) のみが黄色へと変色し、残りの31個体 (53.4%) が冷蔵開始時 (蛹に前後翅外縁部のピンク色が透けた状態) のままであった。どの冷蔵期間においても、冷蔵後の蛹の状態は羽化可能な状態である蛹全体が黄色の個体よりも、冷蔵時のまま (蛹に前後翅外縁部のピンク色が透けた状態) である蛹の個体の方が多かった。しかし、各冷蔵期間での蛹の空隙化が羽化可能な段階 (蛹の全体が黄色) になっている割合を見ると、冷蔵期間が3日間：30.7%、4日間：69.2%、5日間：38.5%、6日間：44.4%、7日間：50.0%であった。蛹の有効積算温度が高い6日間冷蔵と7日間冷蔵の蛹は、羽化可能な状態 (全体が黄色に変色している蛹) の割合が44.4%、50.0%と比較的高い。しかし、4日間冷蔵の蛹の黄色の割合が69.2%であることに鑑みると、羽化可能な状態の割合の高さは冷蔵期間とは無関係であると考えられる。蛹が冷蔵後に羽化に要した時間と蛹の色の状態を照

らし合わせると、2時間 (7200秒) 以内に羽化している個体は、すべて蛹が黄色に変色したものであった (表4)。

表4 羽化に要した時間と蛹の状態

蛹全体の個数	羽化に要した時間	蛹の状態	各蛹の個体数
58個体	2時間以内	ピンク色 (※1)	0
	(7200秒以内)	黄色 (※2)	20
	2時間以上	ピンク色	31
	(7200秒以上)	黄色	7

※1 蛹に前後翅外縁部のピンク色が透けた個体

※2 蛹全体の色が黄色に変色した個体

表4を見ると、2時間以内 (7200秒) に羽化した個体の中で、ピンク色の蛹 (前後翅外縁部のピンク色が透けた蛹) は0個体 (0.0%) であった。ただし、ピンク色の蛹の全ての個体は、2時間以内 (7200秒以内) には羽化しなかったものの、最終的に2時間以上の時間をかけて全ての個体が羽化した。また、2時間以内に羽化した蛹は、20個体すべて全体が黄色の状態である蛹であった。今回の実験において、冷蔵後に蛹全体が黄色の個体数は27個体であったので、黄色へ変色した蛹のうち74.1%が2時間以内 (7200秒以内) に羽化したことになる。しかし、残りの7個体 (25.9%) は、羽化に2時間以上の時間を要した。以上より、蛹全体が黄色の個体でも、常温にさらした際にすぐ羽化する蛹とそうでない蛹の2種類が存在した。そこで、2時間以内に羽化した黄色の蛹と、羽化に2時間以上の時間を要した蛹の違いについて検討した。黄色の蛹 (27個体) のうち、質量が測定できた24個体において、質量変化と羽化に要した時間を表5にまとめた。3個体は夏期休業で大学が閉鎖された為、質量を測定できなかった。

表5より、黄色に変色していても蛹の質量が蛹化1日目を100%とした時に58%以上74%未満まで質量が減少していると、2時間以内には羽化しない。また蛹の色が黄色であっても質量が86%以上100%未満では、2時間以内に羽化しなかった。今回の実験では、蛹の状態が黄色かつ蛹の質量が74%以上86%未満まで減少した場合にのみ、2時間以内に羽化し、特に質量が78%以上84%未満の場合は2時間以内に羽化する確率が100%であっ



表5 蛹の質量変化と羽化した割合

蛹の質量変化 (%)	蛹数	2時間以内に羽化した蛹 (%)	2時間後以降に羽化した蛹 (%)
58~60%	1	0 (0%)	1 (100%)
60~62%	0	0 (0%)	0 (0%)
62~64%	0	0 (0%)	0 (0%)
64~66%	0	0 (0%)	0 (0%)
66~68%	0	0 (0%)	0 (0%)
68~70%	0	0 (0%)	0 (0%)
70~72%	0	0 (0%)	0 (0%)
72~74%	1	0 (0%)	0 (0%)
74~76%	3	2 (66.7%)	1 (33.3%)
76~78%	2	1 (50%)	1 (50%)
78~80%	8	8 (100%)	0 (0%)
80~82%	4	4 (100%)	0 (0%)
82~84%	1	1 (100%)	0 (0%)
84~86%	3	1 (33.3%)	2 (66.7%)
86~88%	1	0 (0%)	1 (100%)

た。

以上より、モンキチョウの蛹が冷蔵後、常温（25～28℃）にさらした時、2時間以内に羽化する個体の条件は三つある。一点目は冷蔵後の有効積算温度が143.67を越えていること、二点目は冷蔵後の蛹全体の色が黄色であること。三点目は蛹の質量が蛹化1日目の質量を100%とした時、冷蔵後、78%以上84%未満まで減少していることである。

次に、2時間以内（7200秒以内）に羽化した58蛹について、羽化に要した時間を300秒ごと（5分ごと）に区切り、各時間での個体数を求めた。また、2時間以内（7200秒以内）に羽化した蛹を、羽化に要した時間数（300秒区切り）ごとに個体数の割合を示すと表6のようになる。

表6を見ると、2時間以内に生まれたモンキチョウの個体数は、1500～2700秒の区間（25～45分の区間）に集中していることが分かる。具体的に、2時間以内に羽化した20個体中、75.0%にあたる15個体が、冷蔵から常温にさらした1500～2700秒後（25～45分後）に羽化していた。

以上より実験Ⅰ～Ⅲの結果をまとめると、3つの条件を満たした蛹を選別し、8℃の環境下から常温（25～28℃）に出したとき、75%の個体が25～45分以内に羽化を開始することが確認できた。25～45分以内に羽化するということは、小学校での授業45分間で羽化の観察を行う際、授業開始15分前に蛹を冷蔵庫から常温下に出しておけば、授業開始後の10～25分目に羽化が開始されることを

表6 2時間以内に羽化した蛹の時間とその割合

羽化に要した時間 (秒)	個体数の割合
900～1200	0.0%
1200～1500	5.0%
1500～1800	45.0%
1800～2100	10.0%
2100～2400	10.0%
2400～2700	10.0%
2700～3000	5.0%
3000～3300	0.0%
3300～3600	0.0%
3600～3900	0.0%
3900～4200	0.0%
4200～4500	5.0%
4500～4800	0.0%
4800～5100	0.0%
5100～5400	0.0%
5400～5700	0.0%
5700～6000	0.0%
6000～6300	5.0%
6300～6600	0.0%
6600～6900	0.0%
6900～7200	5.0%

意味する。また、その達成率も75%であり、具体的に授業で蛹を8個体用意した場合、6個体は授業者が思い描く時間帯に羽化し、授業者は児童に羽化を観察させることができよう。こうしたことから今回提案するモンキチョウでの羽化制御方法は、小学校の理科で羽化観察授業を実践するにあたり、有効な一手段であると考えられる。ただし、モンキチョウの蛹の有効積算温度や発育零点については、更に実験を重ね、データ数を増やして正確な数値を算出、決定することが必要であり、羽化制御を数値に依ってより客観的に指標とするには、さらに検討することが重要である。

引用・参考文献

金子健治：監視カメラソフトを利用した蝶の羽化の観察・記録方法の開発、日本理科教育学会第64回全国大会論文集、331、2014  
 小林瑞樹：モンキチョウの教材化と越冬に関する基礎的研究、p.105、北海道教育大学卒業論文、2016  
 近藤茂樹：リシャル法による蝶類採卵実験、新昆虫、4(5)、p8-10、1952  
 文部科学省：「小学校学習指導要領（平成29年告示）解説

理科編」, p.167, 東洋館出版社, 2018

Truman, J.W.: Physiology of insect ecdysis. I. The eclosion behavior of saturniid moss and its hormonal release. *Journal of Experimental Biology*, 54, 805-814, 1971

矢野幸夫:「チョウの実験と観察—モンシロチョウ・アゲハチョウ—」, p.243, 東洋館出版社, 1977

読売新聞社編:「ノーベル賞10人の日本人」, p.300, 中央公論新社, 2001

Zitnan, D., T.G. Kingan, J.L. Hermesman and M.E. Adams: Identification of ecdysis-triggering hormone from an epitracheal endocrine system. *Science*, 271, 88-91, 1996

(安藤 秀俊 旭川校教授)

(四位 大志 札幌市立緑丘小学校教諭)



