

生物教育における細胞分裂教材に関する研究

—— 特に鱗翅目チョウ類を中心にして ——

A Study on the Teaching Materials about Cell Division of Biological Education,
with special regard to Lepidopteran Insects.

和 泉 浩 行

Hiroyuki Izumi

I. はじめに

中等教育理科における細胞分裂の指導の重要性については、生命現象の基礎を扱うことからこれまでも観察を伴う指導の必要性が指摘されている（文部省，1989a, 1989b）。しかし、ここで扱われる教材の多くはタマネギの根端細胞における体細胞分裂やムラサキツユクサの花粉母細胞における減数分裂などの植物細胞がほとんどであり、動物細胞が扱われることは極めて稀である。それは、確実に分裂細胞を得ることができる適当な材料が身近になかったり、その入手に季節的な制約を受けたりするからであろう。

これに対して、近年、フタホシコオロギやバッタなどの昆虫、あるいはクモを材料とした動物の細胞分裂教材の開発もわずかながら試みられてきている（鈴木ら，1978. 景山，1981, など）。しかし、これまでに比較的身近であるチョウを用いた報告はない。

筆者は、地域を問わず比較的容易に得ることが可能なアゲハチョウ科（Papilionidae）、タテハチョウ科（Nymphalidae）、ジャノメチョウ科（Satryidae）に属する数種のチョウの精巣及び発生初期胚を用い、細胞分裂教材としての至適性を検討した。

本稿では、中等教育における細胞分裂教材の問題点と改善の方向を示すとともに、チョウの細胞分裂教材としての至適性を、材料の入手及び観察の技法から検討した結果を報告する。

II. 中等教育における細胞分裂教材と問題点

1. 中等教育で扱われる細胞分裂教材

中学校及び高等学校の学習指導要領の内容と、それを基に文部省で作成された指導書あるいは学習指導要領解説に示された目標や具体的な内容、あるいはその取り扱いについては周知の通りである。ここでは、それらを基にしながら、実際に教育現場で使用されている教科書や資料等で扱われている生物種についてまとめることとする。

(1) 中学校で扱われる生物

中学校学習指導要領に準拠して作成された教科書において、具体的な細胞分裂教材として扱われる生物種をまとめた（表-1）。この表からもわかるように、実験・観察の材料として扱われているのはタマネギとソラマメの根端細胞だけであり、動物細胞については

表－1 中学校教科書で扱われる細胞分裂教材

教科書会社	観察材料としての生物（扱い方）	資料として扱われる生物（扱い方）
東京書籍	タマネギ（体細胞分裂）	ソラマメ（体細胞分裂） タマネギ（体細胞分裂） チャイニーズハムスター（体細胞分裂）
啓林館	タマネギ（体細胞分裂）	タマネギ（体細胞分裂）
大日本図書	タマネギ（体細胞分裂）	タマネギ（体細胞分裂）
教育出版	ソラマメ（体細胞分裂）	ソラマメ（体細胞分裂） ヌママラサキツユクサ（体細胞分裂） タマネギ（体細胞分裂）
学校図書	ソラマメ（体細胞分裂） タマネギ（体細胞分裂）	ソラマメ（体細胞分裂）

のみである。また改訂中学校学習指導要領の展開理科編（小暮ら，1989）においても、ここで示されている体細胞分裂の観察に適する生物は、タマネギやニンニクのりん茎から生じた根端、ソラマメを発芽させた根端、ムラサキツユクサのさし木によって生じた根端などの植物細胞が全てであり、動物細胞については全くふれられていないのが現状である。

(2) 高等学校で扱われる生物

高等学校学習指導要領に準拠して作成された教科書において、具体的な細胞分裂教材として扱われる生物種とその扱い方を別にまとめた（表－2）。体細胞分裂については、この表に示す通り実験・観察の

表－2 高等学校教科書で扱われる細胞分裂教材

教科書会社	観察材料としての生物（扱い方）	資料として扱われる生物（扱い方）
東京書籍	コタマネギ（体細胞分裂） ヌママラサキツユクサ（減数分裂）	ヌママラサキツユクサ（体細胞分裂） ヒト（体細胞染色体） ヌママラサキツユクサ（減数分裂） ハツカネズミ（減数分裂） キイロシヨウジョウバエ（性染色体）
啓林館	タマネギ（体細胞分裂） ムラサキツユクサ（減数分裂） オンブバッタ（減数分裂）	ヌママラサキツユクサ（体細胞分裂） ヒト（体細胞染色体） テッポウユリ（減数分裂） ムラサキツユクサ（減数分裂）
数研出版	タマネギ（体細胞分裂） ネギ（減数分裂）	タマネギ（体細胞分裂） カノコユリ（体細胞分裂） ヒト（体細胞染色体） ムラサキツユクサ（減数分裂） キイロシヨウジョウバエ（性染色体）
実教出版	タマネギ（体細胞分裂） テッポウユリ（体細胞分裂） ムラサキツユクサ（減数分裂）	タマネギ（体細胞分裂） テッポウユリ（減数分裂） ショウリョウバッタ（減数分裂） ヒト（性染色体）

全く取り上げられていない。補助資料として掲載されている生物についても前2種がほとんどであり、植物細胞では他に教育出版1社がヌママラサキツユクサを扱い、動物細胞の分裂を扱っているのは、チャイニーズハムスターの受精卵から得られた分裂期ごとの写真を示した東京書籍1社

の表に示す通り実験・観察の材料として扱われているのはタマネギ（コタマネギ）とテッポウユリの根端細胞だけである。補助資料として掲載されている生物についても、植物細胞のヌママラサキツユクサとカノコユリの2種であり、動物細胞については相同染色体対の認識のための資料としてヒトの核型が示してあるに過ぎない。

減数分裂についてもこの傾向は変わらず、実験・観察例として主に扱われているのはムラサキツユクサ（ヌママラサキツユクサ）とテッポウユリの2種がほとんどであり、動物細胞についてはわずかに啓林館1社がオンブバッタの精巢を用いた観察例を示しているだけである。補助資料についても同様であり、前2種の植物細胞の減数分裂の過程を掲載している会社が多く、動物細胞を扱っているのはハツカネズミの卵母細胞と第一極体を図示している東京書籍とショウリョウバッタの減数分裂の過程を写真で示している実教出版の2社だけである。

いずれにしても改訂された教科書において体細胞分裂及び減数分裂教材として扱われる

生物は植物が中心であり、動物が扱われることは極めて稀であるといえる。しかし、改訂高等学校学習指導要領の展開理科編（高橋ら，1990）では、生命の連続性に関する探究活動の例として昆虫の精巣を用いた減数分裂の観察を掲げ、フタホシコオロギあるいはエンマコオロギを取り上げていることは、植物細胞偏重の傾向において特筆すべき点といえるであろう。

2. 細胞分裂教材の問題点の所在

ここでは、細胞分裂教材の内容と取り扱い及びそこで扱われる細胞分裂教材の問題点を指摘するとともに、改善の方向を示していく。

(1) 中学校における細胞分裂教材の内容及び扱われる生物の問題点

中学校指導書理科編（文部省，1989a）の内容及び具体的な取り扱いについて細胞分裂に関わる記述を思考したとき、「体細胞分裂の過程を知り、それが植物細胞、動物細胞に共通であることについても理解させる」ことがねらいとして掲げられている。また、それを前提とした上で「成長については、植物の根端などの観察に行い」あるいは「観察が難しい動物細胞の分裂の様子（中略）とらえさせるためには、視聴覚教材の活用が有効であろう」と示されている。

加えて、改訂中学校学習指導要領の展開理科編（高橋ら，1989）にも、具体的に示されている生物種はタマネギ、ニンニク、ソラマメ、ムラサキツユクサの4種の植物であり、そこには動物細胞が完全に欠落しているといえる。また、先に示した通り教科書に関しても、5社の教科書の中で動物を扱っているのは1社だけであり、その扱い方も資料として掲載しているに過ぎないのである。

確かに、体細胞分裂の観察のためは、植物細胞の方が動物細胞よりも材料の入手に季節的な制約を受けにくい。また、栽培が容易であることから多数の材料を確実に入手でき、分裂像の観察も容易である。さらに、そこで得られる染色体像も明瞭であり、細胞分裂教材として好適であることは事実である。しかし、実際の細胞分裂の仕方をみたとき、はたして植物細胞の分裂と動物細胞のそれを同じであると考えてよいのであろうか。

高等植物の細胞は細胞膜の外側に細胞壁があり、細胞分裂においてその形を変えることなく中央部に細胞板が形成されることによって分裂が完了する。これに対して、動物細胞の場合には植物細胞に見られる細胞壁はなく、球状の細胞が中央からくびれ込み、ヒョウタン状の形をしながらくびれが次第に大きくなることによって分裂が完了するのである。このように分裂の仕方は大きく異なっており、それを同一と考えることはできない。従って、さらに動物細胞を積極的に扱うとともに、体細胞分裂の観察に好適な材料としての生物種を模索・検討していく必要があるであろう。

(2) 高等学校における細胞分裂教材の内容及び扱われる生物の問題点

高等学校の生物ⅠBにおける細胞分裂に関わる内容、及びその取り扱いについて思考したとき、生物の生殖や発生・成長を支える基本的現象としての細胞分裂に関わる内容は全てそこに盛り込んであるとあってよいであろう。また、その具体的な取り扱い方についても、指導書では「単に顕微鏡をのぞくというのではなく、探究的な学習発展をさせること

が大切である」あるいは「問題意識をもたせて探究的、定量的に扱うような工夫が望まれる」(文部省, 1989b) とあるように、実験や観察などの直接経験を重視するだけでなくそれをいかにして生徒の主体的な探究的問題解決活動にしていくかという積極的な姿勢が伺える記述となっている点で、こうした学習が具体化されることが期待されよう。

しかし、前節でも示し、かつ中学校の細胞分裂教材の問題点でも指摘した通り、扱われる学習素材としての生物は植物に偏っていることは否めない事実である。教科書会社の扱いを見てもこの傾向は顕著であり、観察を伴う材料として動物を掲載しているのは啓林館の1社だけである。

植物細胞と動物細胞の体細胞分裂の様式の違いについては記述の通りであるが、減数分裂についても植物と動物では異なっている。減数第1分裂と第2分裂の間期では、植物の場合には2娘細胞間に細胞壁をつくるものが多いが、動物では2娘細胞は全く分離する。また、動物の場合には減数分裂の2回の分裂によって4個の精子細胞になり、それが変態して精子が形成される。高等植物の場合には花粉母細胞は減数分裂により4個の花粉になり、花粉内の精核や栄養核は体細胞分裂によって生じ、減数分裂によって直ちに精核ができるわけではないのである。

従って、さらに動物細胞を積極的に取り扱うとともに、中学校で扱われる生物の改善点として指摘した通り、高等学校においても体細胞分裂及び減数分裂の観察に好適な材料としての生物種を模索していく必要があるであろう。

Ⅲ、中等教育における細胞分裂教材としてのチョウ

ここでは、これまでに指摘してきた中等教育で扱われる細胞分裂教材の問題点を基盤にしながら、これまで同教材として用いられたことのないチョウに視点をあて、中学校、高等学校の理科授業で扱うために必要な材料を入手するための時期と方法を解説する。

加えて、雄の幼虫あるいは前蛹(蛹)の精巣から減数分裂像を、また、雌の成虫を用いて採卵して得られた発生初期胚から体細胞分裂像を獲得するための技法について得られた知見を詳述する。

1. 材料としてのチョウ

本研究では、その材料として地域を問わず比較的容易に採集ができ、人工的な採卵が可能であるとともに、卵や精巣が比較的大きくて扱いやすいアゲハチョウ科、タテハチョウ科、ジャノメチョウ科に属する7種のチョウを選んだ。アゲハチョウ科では、ウスバシロチョウ(*Parnassius glacialis*)、ナミアゲハ(*Papilio xuthus*)、ナガサキアゲハ(*P. memnon*)の3種を、タテハチョウ科ではツマグロヒョウモン(*Argyreus hyperbius*)、ウラギンヒョウモン(*Fabriciana adippe*)の2種を、ジャノメチョウ科ではジャノメチョウ(*Minois dryas*)、ヒメヒカゲ(*Coenonympha oedippus*)の2種を用いた。また、減数分裂の観察には終齢幼虫及び前蛹(蛹)の精巣を用い、体細胞分裂の観察には受精卵を用いた。

(1), 観察可能な時期

表-3 7種のチョウの観察可能な時期～山陰地方を中心に～

科名	種名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
アゲハチョウ科	ウスバシロチョウ <i>Parnassius glacialis</i>	●●	●●	●●	◆◆	◆◆	◆◆	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	ナミアゲハ <i>Papilio xuthus</i>				◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆
	ナガサキアゲハ <i>Papilio memnon</i>				◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆
タテハチョウ科	ツマグロヒョウモン <i>Argyreus hyperbius</i>	●●	●●	●●	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆
	ウラギンヒョウモン <i>Fabriciana adippe</i>	●●	●●	●●	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆
ジャノメチョウ科	ジャノメチョウ <i>Minois dryas</i>	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆
	ヒメヒカゲ <i>Coenonympha oedippus</i>	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆

●-卵 ◆-幼虫 ■-蛹 △-成虫 ▲-産卵期

材料として用いた3科7種のチョウの卵、幼虫、蛹（前蛹）、成虫（産卵行動）が山陰地方において観察できる時期を筆者の観察調査を中心にまとめ、表-3に示した。

この表からもわかるように、ナミアゲハは年4～5回世代を繰り返すため、4月中旬から10月下旬まではほぼ連続的に産卵が行われるので、精巣及び発生初期胚の獲得に季節的な制約を受けにくい。また、ナガサキアゲハに代表される黒色系アゲハ類、あるいはツマグロヒョウモンも同様に年多化性であるので、5月上旬から10月上旬まで継続的に材料の入手が可能である。

これに対してウスバシロチョウ、ウラギンヒョウモン、ジャノメチョウ、ヒメヒカゲは年1化性であるが、同一地域に発生する個体数がきわめて多く、幼虫や成虫の採集が容易であり、確実に精巣あるいは発生初期胚を確保することができるという点、及び広域分布する点から考えて、教材としての至適性を見出すことができる（和泉ら, 1993）。

(2), チョウの飼育法

野外で採集した幼虫や成虫から精巣や受精卵を得るためには、当然のことながら飼育を行わなければならない。本研究で用いたチョウの中には野外で幼虫を採集することが難しい種があり、たとえ採集できたとしても必ずしも精巣を得るに好適な終齢幼虫とは限らないからである。また、多くの受精卵を得るためにも、雌の成虫をできるだけ長く生かしておくようにすることが肝要である。ここでは、幼虫及び成虫の飼育法と注意すべき点につ

いて解説する。

①、幼虫の飼育法と注意点

チョウの幼虫の飼育はそれほど難しくなく、それぞれの種が好む食草や食樹の新鮮な葉を準備し、幼虫が逃げ出せないような通気性のよいケースがあればほとんどの種を室内で飼育することが可能である。しかし、いくつか失敗しないために注意すべき点があるので、ここではケースを使った場合の注意点を中心に述べておく。

幼虫期に最も注意しなければならないことは、若齢期（1～2 齢）には直接手でさわらないことである。これはつぶしてしまうという物理的な問題に加えて、細菌などの感染を防ぐ意味もある。幼虫を移動させる際には、筆を濡らしてその先につけるようにするとよい。また、こまめに食べ残した食草や糞の掃除をしないとカビが繁殖しやすいので、必要以上の水分を取り除く意味も含めて、ケースの下のティッシュペーパーなどの吸水性のいい紙を敷いておくと、糞の掃除もしやすくなる。

終齢幼虫になると摂食量が激増し、同じケース内に多数の個体を飼育するとすぐに食草が食べつくされてしまうので、毎日食草の補給を行わなければならない。これを怠ると、共食いをする場合もあるので、一時に多数の幼虫を飼育することは、餌の補給の面で避けたほうがよいであろう（和泉，1989）。

②、成虫の飼育法と注意点

野外で採集した成虫は、特に前脚が取れないように注意し、三角紙などに包んで持ち帰る。これは、産卵をする際に食草を識別する器官が前脚にあることに加え、産卵行動のために腹端を屈曲させる際に体を中心的に保持しているのも前脚だからである。アゲハ属のチョウは前脚で食草にふれると同時に体を保持して葉裏に産卵を行う。また、ツマグロヒョウモンは食草付近にある枯れ枝などに卵を産みつけるが、産卵行動を起こしている際には絶えず食草であるスミレ科の植物を前脚でふれているのである。

給餌については、花の蜜に依存している種については砂糖水を、樹液などに依存している種については薄めた乳酸飲料を与える。どちらの場合も薄い方がよく、砂糖水の場合は3%程度、乳酸飲料の場合は市販されている原液を5～6倍程度に薄めたものを用いる。これは、餌が濃過ぎると産卵をしなくなったり、口吻がつまったりするからである。給餌方法については、小型のシャーレに脱脂綿やティッシュペーパーなどの吸水性のよいものを敷き、それに餌を十分にしみ込ませて吸蜜させる。前脚をふれさせると口吻を伸ばして吸蜜する場合もあるが、そうした行動が見られない場合には柄つき針などで口吻を伸ばしてやり、餌にふれさせるようにするとよい。

成虫を保管する際には、5～10℃の低温恒温槽あるいは冷蔵庫にケースごとに入れておく。室内に置いておくと、チョウがケース内ではばたいて翅を傷めたり、すぐに弱ったりするからである。また、低温で保管することによって代謝が抑えられ、野外で飼育するよりもかなり長期にわたって飼育することが可能となる。

(3)、精巢の確保

前記の通り、本研究では減数分裂の観察の材料として、終齢幼虫あるいは前蛹（蛹）を用いた。これは、成虫期には既に減数分裂が終了している種が多いこと、若齢幼虫期の幼

虫は非常に小さく扱いにくいこと、終齢幼虫期及び前蛹期（蛹期）には減数分裂がさかんに行われており、精巢の判別と摘出に十分な大きさに成長していることなどの理由からである。前記の3科7種のチョウの中で、アゲハ属に分類される2種のチョウは特に大型であり、夏型の終齢幼虫は最大60mmに達する。また、ウスバシロチョウ、大型ヒョウモンチョウ類に属する2種、ジャノメチョウも比較的大型であり、従ってその精巢も大きく、摘出したり観察のために前処理をしたりすることが容易にできるのである。しかし、ヒメヒカゲについては他のチョウの幼虫より小型になるので、精巢の摘出という点から減数分裂の観察には不向きであると考えられる。

①、幼虫及び蛹の雌雄の判別法

精巢を確保するためには、言うまでもなく雄を用いなければならない。従って、まずそれらの雌雄による形態の違いを知る必要がある。本研究で用いた幼虫の外部形態の違いによる雌雄の判別法については、牧林（1980）に従った。

幼虫期には第10腹節腹面の相異によって雌雄を判別することができる。雄には第10腹節の中央部よりやや第9腹節より比較的明瞭なヘロルド器官が点刻状に存在するが、雌にはこれがみられない。しかし、雌には第10腹節前縁上に1対の生殖前盤の点刻があり、同じく第10腹節の中央部の腹節の付け根に1対の生殖後盤が存在することで、判別することができるのである。

また、蛹の外部形態の違いによる雌雄の判別法については、アゲハチョウ科の蛹を基準にして行い、GOODDEN（1971）によった。

アゲハチョウ科の蛹の雌雄による外部形態の違いについては、雌には腹節の腹面にみられる翅の先端から4番目の第8腹節に長いすじが存在するが雄にはこれがみられず、腹端に近い部分に非常に短いすじだけがわずかに存在することが特徴的である。その他雄は口吻が長く翅の先端に達するが、雌はこれと比べて短いことで判別が可能である。ここでは代表的なアゲハチョウ科の蛹の雌雄差を示したが、基本的には他の多くの種類にこの標徴を適用できるものと考えられる。

②、精巢の摘出法

精巢の摘出については、前述の方法で判別した雄を用い、以下示す手順で行う。

- ① 解剖皿に幼虫を置き、後頭部と腹端部を針で固定する。
- ② 背面の頭部から腹端部に向けて、カミソリなどの鋭利な刃物で表皮を切り開く。
- ③ 表皮を左右に開き、針で固定する。中央には消化管があり、その両端には脂肪体が存在するが、その脂肪体とは明瞭に区別できる1対の精巢が観察できる（図-1）。
- ④ ピンセットで精巢を摘出し、生理食塩水で周囲に付着している脂肪を取り除く。

幼虫の背面を切開する際には、可能な限り内部の消化管を傷つけないようにする。消化管には消化途中の内容物が多く詰まっており、それが外部に流れ出すと精巢の判別が難しくなり、摘出しにくくなるからである。観察される精巢については、アゲハ属の2種のそれは比較的硬く扱いやすいが、ウスバシロチョウの精巢は外皮がやわらかくてつ

ぶれやすいので、その取り扱いには注意を要する。

なお、脂肪を取り除いた精巢は、後述する低張液処理を行った後に、カルノア液（1：3酢酸アルコール液）で固定後、 -20°C で長期保存が可能である。

(4) 発生初期胚の確保

従来の体細胞分裂の研究では、雄の精原細胞を材料としたパラフィンセクション法あるいは押しつぶ

し法が用いられてきた。しかし、技法的に困難さを伴うだけでなく、見い出せる分裂像が少ないことから、体細胞分裂時の染色体を観察することは難しかった。

そこで、本研究ではその材料として、発生初期胚を用いることにした。これは、卵割が進行している初期胚には同調的に多数の分裂細胞が存在していること、また、昆虫の卵は他の動物のそれと比べて小さいことから、観察に支障をきたす卵黄も少ないであろうと考えたことなどの理由からである。

前記の3科7種のチョウの中で、アゲハチョウ科の3種の卵はいずれも球径が1mm以上あり、ジャノメチョウ科の2種の卵も球径が1mm近くあるので処理が容易である。これに対して大型ヒョウモンチョウ類の2種の卵は小型であるが、産卵数が1個体あたり約1000卵と非常に多い。ここで挙げた7種のチョウはいずれも人工的な採卵が容易であり、確実に発生初期胚を確保できる点に教材としての至適性を見い出すことができる。

① 成虫の雌雄の判別法

発生初期胚を確保するためには、交尾を終えた雌の成虫を用いる。チョウの成虫の中には翅の形態、模様、色などで雌雄を判別することができる種も多いが、シジミチョウ科のチョウを除いて腹端の外部形態を確認することが最もわかりやすい。

雄の腹端にはバルバ (valva) と呼ばれる把握器があり、左右に大きく開く構造になっている。バルバを開くと、中にはウルクス (uncus—雌の腹端を固定する器官) と陰茎がみられるが、雌の腹端は先がとがっており、雄のような構造がみられないこと、あるいは腹部全体がふくらんでいることなどから容易に判別することができる。

② 交尾済の雌の判別法

チョウの雌は羽化とほぼ同時に交尾を行うので、野外で採集した雌は既に交尾を行っていると考えてよいが、外部形態及び行動でそれを判別することも可能である。

多くの種の雄は、雌が再度交尾を行えないようにするために交尾終了後に腹部にある微毛と腹端から出される粘液を使って交尾嚢 (交尾付属物) を雌の腹部に付着させる。この交尾嚢はウスバシロチョウに顕著に見られ、腹部とほぼ同じ大きさの付属物が腹部の腹面を大きく覆っている。アゲハ属の場合は、雌の腹端部の腹面を観察すると、付属物こそ見られないが粘液で覆われていることで判別が可能となる。

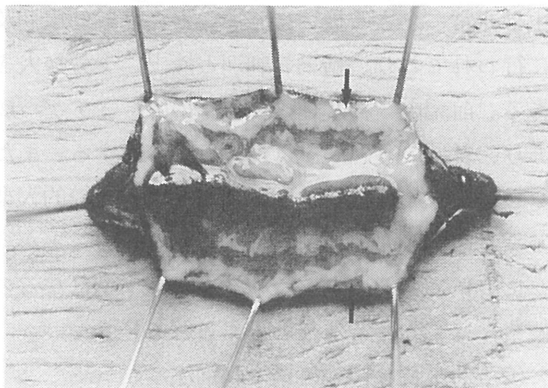


図-1 ウスバシロチョウ終齢幼虫の内部形態
(消化管の両側に見えるのが精巢—矢印)

既に交尾を終えている雌は、雄が近づくと何らかのかたちで交尾拒否行動をとる。シロチョウ科 (Pieridae) のチョウの多くは、雄が接近すると飛翔をやめて地表や葉上に止まり、腹端を上に向けて小刻みのはばたきを繰り返す。また、ナガサキアゲハの場合には、雄に追われた雌が葉上に翅を開いて止まった後に、肢を立てながら腹端を小刻みに震わせることによって雄の接近を防げた例が知られている (福田ら, 1988)。

③, 人工採卵の方法

チョウの場合、交尾した雌は雄によって送り込まれた精球 (精子の塊) を交尾嚢に入れ、受精管を経て貯精嚢にためておく。卵巢で成熟した卵は輸卵管を通り、産卵直前に受精するので、たとえ既に交尾を終えた雌を使って腹部を開いて卵を取り出しても、それは全て未受精卵である。従って、受精卵を得るためには、どうしても人工的な採卵が必要となるのである。

一般的な人工採卵の方法としては、リシャル式採卵法あるいはガラス円筒法が著名である。両手法とも、白熱電球で照射・加温することが重要であり、前者は電球を点滅させることによってチョウを刺激して産卵を促すが、後者はそれをせずに加温による刺激のみで産卵を促す方法である。いずれの方法にしても比較的容易に産卵をさせることが可能であるが、このような方法をとらなくても採卵をするチョウも多い。

本研究で用いたアゲハ属の2種のチョウは、食草 (ミカン科の小枝) とともにビニール袋に入れ、ビニール袋をふくらませた上で60W程度の発熱電球を用いて照射・加温すると比較的簡単に卵を産む。また、ジャノメチョウ科の多くの種、あるいはツマグロヒョウモンを除く大型ヒョウモンチョウ類に属する種は、プラスチックケースで飼育し、10°Cで保管した後に室温に戻してやると、特に食草を入れなくても容易に産卵を行う。ウスバシロチョウの場合も同様の方法で産卵を行うが、白熱電球で照射・加温した後にプラスチックケースを薄暗い状態に保ってやるとさらに効果的である。これは本種が野外で自然に産卵を行う際に、ある程度日光浴を行って体温を上昇させた後に草むらの下部に潜り込んで枯れ枝や石に産卵する行動の観察によって明らかにした方法である。なお、ツマグロヒョウモンについては、鉢植えのパンジーを用いたリシャル式採卵法が最も効果的である。

2. 染色体観察の技法

日本におけるチョウの染色体研究は1940年代後半から行われ、牧野、前木、斎藤らの努力により、これまでに日本産のチョウのほぼ半数にあたる約120種のチョウの染色体数が明らかにされている。しかし、これらの研究の大部分は古典的なパラフィン切片法により、精巢を用いた半染色体 (haploid) の数の特定にとどまっている。

本研究では、減数分裂時の染色体観察には、終齢幼虫及び前蛹 (蛹) の精巢を材料にした押しつぶし法を用い、体細胞分裂時の染色体観察のためには、発生初期胚を材料にした空気乾燥法を用いた。

発生初期胚を用いた空気乾燥法による体細胞染色体観察法の研究は、アゲハチョウ科に属するアオスジアゲハ (*Graphium sarpedon*) を材料にして、MAEKI (1982) によってな

された。後に示す方法も基本的にはそれに従ったが、今回一部改良を加えてより多くの分裂像を確保することが可能となった。

以下、前記の方法について、手順と染色体標本作製時に留意すべき点を示すこととする。

(1) 精巢を用いた押しつぶし法

減数分裂の観察は幼虫及び前蛹（蛹）の精巢を用いるが、より多くの減数分裂中期の細胞を得るためには、前処理としてコルヒチン（コルセミド）を体内に注入する。方法は、0.5%濃度のコルヒチンを幼虫の体重の10%（最終濃度 0.5mcg/g B.W.）注射し、1～4時間後に幼虫を解剖し、精巢を摘出する。しかし、分裂の過程を観察する際には、この処理をする必要はない。

なお、以下示す押しつぶし法の手順は、前処理の有無にかかわらず同様である。

- ① 雄の終齢幼虫や前蛹（蛹）から精巢を取り出し、昆虫用の生理食塩水中で付着している脂肪を取り除く。
- ② 精巢を低張液（0.067M-KCl液、pH-7.0）に入れ、15～20分間低張処理を行う。
- ③ 固定は、材料を長期にわたって保存する場合にはカルノア液（1：3酢酸アルコール液）に移して-20℃で保存するか、2%の酢酸オルセイン液に移して常温で保存する。
- ④ 直ちに染色体標本作製する場合には、精巢をスライドグラス上に置き、カミソリで切りきざむ。
- ⑤ 染色液（酢酸オルセイン液）を数滴加え、固定と染色を同時に行う。
- ⑥ 気泡が入らないようにカバーグラスをかけ、その上からろ紙をのせて余分な染色液を吸い、材料が内側に入るようにカバーグラスの縁を押しした後、中心に親指の腹で強く押す。
- ⑦ カバーグラスの縁をエナメルなどで封じた後、検鏡する。

押しつぶしを行う際には、カバーグラスがずれないようにすることが大切であり、親指の腹で強く押すときには鉛直方向に力を入れるようにする。また、押すときの強さは、材料の鮮度、固定後の日数などによって異なるので、材料にあった押し方を経験的に知る必要がある。

なお、昆虫用の生理食塩水及び低張液については、作製後にpHを7.0に調整したものをを用いるが、いずれも1か月以上経過したものは使用に適さない。また、カルノア液については、使用直前に調整したものをを用いる。

(2) 固定・保存の精巢を用いた永久標本の作製法

材料が多数確保できたり、授業の時期と材料入手の季節が異なったりしたときには、精巢を固定・保存しておくか永久標本作製しておく。精巢の固定・保存の方法については前記の通りであり、ここでは永久標本作製のための手順を示すこととする。

- Ⓐ -20°C で保存した精巣をカルノア液から取り出し、45%酢酸に10~20分間浸して柔化させる。
- Ⓑ 少量の45%酢酸とともに精巣をスライドグラス上に置き、カミソリで十分に切りきざむ。
- Ⓒ あらかじめシリコン処理を行ったカバーグラスをかけ、その上からろ紙をのせて余分な45%酢酸を吸い、材料が内側に入るようにカバーグラスの縁を押しした後、中心を親指の腹で強く押す。
- Ⓓ スライドグラスをドライアイス上に5~10分間程度置き、細胞を十分に凍結させる。
- Ⓔ カバーグラスとスライドグラスの間にカミソリを入れ、カバーグラスを剥離する。
- Ⓕ 直ちにスライドグラスを95%アルコールに5~10分間つけ、脱水・乾燥させる。
- Ⓖ 4~6%程度のギムザ染色液で15~20分間染色を行い、流水で軽く洗浄した後、純水で再度洗浄し乾燥させる。
- Ⓗ 封入後、検鏡する。

カルノア液に浸透させ、 -20°C で長期間保存した材料は脱水硬化しているので、45%酢酸を用いて柔化させる必要がある。この時間は材料によって異なるが、精巣の場合には透明感が出るのが一つの目安となる。本研究では、この時間を15分間取った。

永久標本を作製する際には、カバーグラスを剥離する関係上、染色体がカバーグラスに付着しないようにすることが肝要である。スライドグラスについては汚れや油分が残らないように、あらかじめよく拭いたものを用い、カバーグラスについてはシリコン処理を施したものをを用いる。

ギムザ染色後には流水で染色液を洗い流すが、スライドグラスに乾燥痕が残らないように純水で再度洗浄するかブローアなどでスライドグラスについている水滴を吹き飛ばすようにする。

(3) 発生初期胚を用いた空気乾燥法

前述の通り、チョウは産卵直前に受精が行われ、同時に発生が進行する。従って、産卵後の時間の経過によって得られる分裂細胞の数が左右されるのである。しかし、発生が進行し過ぎると観察できる分裂像は多くなるが、染色体が収縮する傾向があるので観察に適さなくなる。どの組織を形成するかは十分にわかっていないが、受精後1~2日までの初期胚には、通常体細胞染色体に比べて大きい染色体が観察できる。しかし、観察に好適な時間は種や受精卵を保管する際の温度などの条件によって異なるので、経験的にその時間を知る必要がある。おおよその目安としては、アゲハチョウ科あるいはジャノメチョウ科のチョウの場合は産卵後17時間前後の受精卵を用い、タテハチョウ科のチョウの場合はそれよりも早く、産卵後10時間前後の受精卵を用いる。

具体的な手順は、以下示す通りである。

- ① 雌の成虫を用い、人工採卵を行う。
- ② 数個の受精卵を時計皿などに取り、昆虫用の生理食塩水を加えてガラス棒でつぶし、細胞浮遊液を作る。
- ③ 卵殻を取り除いた細胞浮遊液を小型の遠沈管に移し、コルセミド処理 (1.0mcg/ml) を1~2時間行う。
- ④ 800rpmで10分間遠沈し、小型のピペットを用いて上澄み液を捨てる。
- ⑤ 15分間低張液処理を行う。
- ⑥ カルノア液を数滴加え軽く固定した後、1000rpmで5分間遠沈する。
- ⑦ 上澄み液を捨て、カルノア液を加えて固定する。
- ⑧' カルノア液で固定した後は、-20℃で長期保存できる。
- ⑨ 1000-1200rpmで5分間遠沈する。
- ⑩ ⑧'⑨の処理を2~3回繰り返した後、上澄み液を捨て、濃縮した細胞浮遊液を作る。
- ⑪ スライドガラス上の濃縮した細胞浮遊液を滴下し、空気乾燥する。
- ⑫ 4~6%程度のギムザ染色液で15~20分間染色を行い、流水で軽く洗浄した後、純水で再度洗浄し乾燥させる。
- ⑬ 封入後、検鏡する。

受精卵をつぶすと卵殻が割れて卵黄と共に初期胚が出てくるが、遠沈の際に細胞を巻き込んでしまう恐れがあるので、この操作の過程で卵殻を取り除いておく。また、遠沈を行い上澄み液を捨てた後、低張液あるいはカルノア液を加える際には、ピペッティングを繰り返して細胞を遊離させるとよい。最終的に得られた濃縮した細胞浮遊液は、カルノア液を数滴加えた後に3枚程度のスライドガラス上に滴下する。その際には、約30cmの高さから滴下すると、染色体の広がりがよい。

なお、実験に用いるガラス器具は、内壁面への染色体の付着によるロスを防ぐために、あらかじめシリコン処理を行っておくことが望ましい。

IV, チョウの細胞分裂教材としての至適性

ここでは、チョウの細胞分裂教材としての至適性について検討した結果を、材料の入手と観察のための技法の2点から考察し、得られる分裂像について解説を行う。

1, 材料の入手と観察の技法に見られる至適性

生物教材として用いられる生物が備えるべき主たる条件として挙げられるのは、その入手が容易であることに加え、観察のための処理や技法に困難さを伴わないことである。

これまでに細胞分裂教材として植物が中心に扱われ、動物が扱われることが稀であったのは、そこで扱いたい動物の入手に季節的な制約を受けたり、個体数そのものが少なかったりすること、あるいは観察のための技法的に難しさがあることに起因していると考えられる。

ここでは、そうした問題点に対応しながら、減数分裂の観察及び体細胞分裂の観察のための教材としてチョウを用いることの有効性を考察していく。

(1)、材料の入手

これまで、動物の細胞分裂教材としてバッタやコオロギなどの直翅目に属する昆虫が扱われてきた。そこでは減数分裂の観察のためにそれらの幼虫の精巣が用いられてきたが、年1世代であるために材料を入手できる季節が限られていた。しかし、一般的によく知られているチョウには年多化性の種が多いことから、冬期を除けば全てのステージ（卵・幼虫・蛹・成虫）の個体を連続的に観察・採集することが可能であり、昆虫を含めた他の動物に比べて材料の入手に季節的な制約を受けにくい。

また、チョウは他の昆虫に比べて飛翔力に優れており、雌の産卵行動をみても、同じ葉に数卵～数10卵をまとめて産み付けて卵塊を作る種もいくつかは知られているが、非常に多くの種が飛翔と産卵を繰り返しながら広域に卵を産み付ける。従って、越冬形態とその地域の気候が適合し、食餌植物と吸蜜が可能な植物が生育していれば生息が可能となり、それぞれの種が重なりをもちながら広域に分布するだけでなく、自然環境と種特有の生態が適合すれば、同一地域内での個体数も多い。以上の理由から幼虫や成虫の採集が容易であり、材料の入手に困難さを伴わないのである。

加えて、飼育をするための方法に特殊な技術や器具を要せず、既に述べた通り、食草や食樹が比較的身近な植物であることから、容易に幼虫や成虫を飼育することができる。また、終齢幼虫も扱うに十分な大きさをしており、精巣の摘出も難しくない。人工的な採卵についても特殊な器具を要せず、いずれの種も比較的容易に産卵を行う。従って、細胞分裂の観察に必要な精巣や発生初期胚を確実に多数確保することができるのである。

(2)、観察のための技法

本研究で用いた染色体観察のための技法は、基本的には押しつぶし法と空気乾燥法の2つである。この方法に必要な機器は遠心分離器だけであり、その他スライドグラス、カバーグラス、遠沈管、ピペットなど一般的な器具があれば十分である。また、必要な試薬についても、酢酸、アルコール、ギムザ染色液など普通に扱えるものだけであり、特殊な機器や試薬を用いることなく、顕微鏡標本作製することが可能なのである。

材料についてもカルノア液で固定した後に、密閉できる容器に移して-20℃に置けば、時々カルノア液を交換をするだけで長期間保存が可能である。前記の方法で固定・保存した材料を用いて顕微鏡標本作製する場合も、材料入手と同時に作製する場合とほぼ同様に扱うことができ、そこで観察できる染色体像に全く違いは見られない。また、作製した顕微鏡標本（スライド）は、プレパラートボックスなどの紫外線を遮断できる入れ物で保管しておけば、半永久的に観察が可能である。

中学校あるいは高等学校の理科授業で扱う際にも、その授業時間数に応じた作業が可能である。比較的長い時間が必要な発生初期胚を用いた空気乾燥法を行う場合にも、授業時間に応じて固定液交換の回数を減らしたり、予め細胞浮遊液を作って固定・保存しておいたりすれば、顕微鏡標本作製に必要な時間の調節を行うことが可能となるのである。

2 観察されるチョウの染色体

前節では、チョウの染色体観察のための技法を中心に述べてきたが、ここではそれらの方法によって得られた核板について解説を行うとともに、それを基にして、チョウの細胞分裂教材としての至適性を検討する。

(1)、精巢を用いた押しつぶし法による減数分裂の観察

本研究では、減数分裂の観察には終齢幼虫あるいは前蛹を用いた。チョウの終齢幼虫期あるいは前蛹期の精巢では盛んに精子形成が行われており、減数分裂頻度も高いと考えたからである。しかし、チョウの成長過程でどの段階の精巢を使うかによって、観察される分裂像の種類や数は異なってくる。早い段階では後述する精原細胞分裂像や減数第1分裂像が得やすく、遅くなればそれらは少なくなり、減数第2分裂像が多くなる傾向がみられた。しかし、精巢では部分的に分裂期がずれており、完全に精子が形成されるまでは、分裂頻度に違いはみられるものの、それぞれの分裂像を観察することは可能である。

これまでの研究では、鱗翅目の場合には成虫になっても減数分裂が観察できる種があることが報告されている (MAEKI, 1953a, 1953b)。しかし、この傾向はガ類により顕著であり、チョウ類では既に減数分裂が終了している種が多い。従って、蛹期あるいは前蛹期には分裂頻度が低くなるので、材料として用いるためには終齢幼虫期に精巢を摘出することが好ましい。

減数分裂の観察には、主にウスバシロチョウとアゲハ属のナミアゲハ、ナガサキアゲハを用いたが、減数分裂が起きる段階は種によっても異なっている。ウスバシロチョウの場合は前蛹期にも分裂像を得ることが可能であるが、アゲハ属3種の前蛹期の分裂頻度は極めて低い。従って、アゲハ属の場合には、老熟した終齢幼虫よりもむしろ若い終齢幼虫を用いることが好ましいと思われる。

本研究では、1対の精巢を2枚のスライドガラスを使って処理し、2つの顕微鏡標本を作成したが、ウスバシロチョウの例に見られるように、1対の精巢は同調的に精子形成がなされているのではなく、その時期がずれていることが明らかになった。また、分裂頻度の高い精巢では、1枚の顕微鏡標本上に、数百の核板を観察することができる。

観察できる染色体の大きさも種によって異なっており、比較的染色体の大きいウスバシロチョウでは最大の染色体長が約1 μm であり、アゲハ属2種ではそれより小さく約0.8 μm であった。従って、使用する顕微鏡も解像度がよいものが必要となり、対物レンズも40倍以上が必要となる。

チョウの減数分裂は前還元型であり、減数第1分裂中期では、2価染色体で4つの染色分体がテトラッドの状態で存在している。分裂後期には2つの染色分体に分かれ、V型の染色体が極に引かれる様子を観察することができる (図-2)。また、減数第2分裂中期にはドット状の



図-2 ウスバシロチョウ (減数第1分裂後期)
n=29 (精巢を用いた押しつぶし法)

染色体が見られ、分裂後期にはドット状のまま極に引かれて行く。

観察の技法については、前処理として行うコルヒチン（コルセミド）処理の有無によって、観察できる核板の状態や染色体の行動が異なってくる。コルヒチン処理を行うと紡垂糸が切断されるので、染色体が極に引かれずにそのまま存在するために、極面観の分裂中期像が多数得られるが、当然のことながら分裂後期の像は得られない。同処理を行わないと分裂後期の像も得られるが、側面観の像も見られるようになり、得られる分裂像も処理を行った標本に比べて少なくなる。従って、半数染色体数を調べるためには前処理としてコルヒチン処理を行うことが好ましく、分裂過程や染色体の行動を調べるためには後期の側面観の像を観察することが必要となるので、同処理を行わない方が好ましい。

また、低張処理の時間が長いと、特に減数第1分裂における半数染色体が膨潤するために、明瞭な形状をした像が得られにくく、その時間が短いと染色体の広がりが悪いので、至適な時間を経験的に知る必要があるであろう。

(2)、精巢を用いた押しつぶし法による精原細胞分裂の観察

精原細胞は原生殖細胞由来であり、精巢内で数度分裂を繰り返した後、成長期を経て第一精母細胞となる。次に減数分裂に入り、1回目の分裂で染色体が減数して第二精母細胞となり、2回目の分裂で4個の精子細胞となる。この精子細胞は分裂することなく、形態的に変化して精子となり、一連の精子形成が完了するのである。従って、精子形成の初期には精原細胞分裂の観察が可能となるが、精子形成が進行すると観察できにくいので、材料として用いる精巢も比較的若い幼虫から摘出することが必要である。

精原細胞分裂は体細胞分裂であるので、そこで観察できる染色体は当然、倍数体 (depoloid) であり (図-3)、種固有の数の相同染色体対で構成されているのど核型の分析も可能である。

しかし、チョウの性染色体構成は雌ヘテロ (雌ZW or ZO) であるので、精原細胞を用いた核型の分析だけでは、それを特定することはできない。

分裂後期には核型を構成するそれぞれの染色体が2本の染色体に分かれ、極軸に並んだ後に極に引かれて行く。しかし、観察できる核板は減数分裂のそれと比べてはるかに少なくなるので、コルヒチン (コルセミド) 処理を行わない標本を作成しても、分裂の過程を観察することは難しい。なお、観察の技法についての細部は、前述の減数分裂の観察のそれと同様であるので、ここでは割愛する。

(3)、発生初期胚を用いた空気乾燥法による体細胞分裂の観察

本研究では、体細胞分裂の観察のために発生初期胚を用いた。その理由については前述の通りであるが、発生のどの段階の胚を用いるかによって、観察できる核板の数あるいは染色体の大きさや形態が異なる。また、産卵後の時間と観察できる染色体の大きさや核板



図-3 ウスバシロチョウ (精原細胞分裂中期)
2n=58 (精巢を用いた押しつぶし法)

の数との関係は、種によっても異なっていることが明らかになった。

ウスバシロチョウの場合には受精卵を20℃前後で保管したが、産卵後13～24時間までは大型の染色体の観察が可能であった。その後は観察できる染色体が次第に小型化するが、前記の通り本種の染色体は他種のそれに比べて大きいので、小型化しても核型の分析は十分可能である。アゲハ属のナガサキアゲハについては、産卵後17～22時間の初期胚を用いると大型の染色体を観察することができた。

大型ヒョウモン類の胚発生は他種のそれと比べて早く進行し、室温で保管した場合には産卵後13時間を経過すると大型染色体は観察しにくくなり、小型化したドット状の染色体が多くなる。ジャノメチョウについては産卵後17～20時間の受精卵を用い、ヒメヒカゲはそれよりもやや早く14～16時間の受精卵を用いると大型染色体の観察が可能であることが明らかになった。いずれの種ともに、好適な時間に処理して得られる染色体は大型であるだけでなく、よく伸展した形状のよい、核型分析が可能な染色体が観察できる。

以上の結果から、発生初期胚を用いて体細胞分裂の観察を行う場合には、その目的に応じて産卵後の時間を決定する必要がある。核型分析を行う目的で顕微鏡標本を作製する場合には、前記の種によって好適な時間に処理を行い、分裂像を確実に多数得ることを目的に標本を作製する場合には、さらに発生が進行した胚を用いるとよい。

本研究では、より多くの分裂像を得るために、標本を作製する際には数卵～10数卵を同時に用いて細胞浮遊液を作製した。胚の段階では雌雄を識別することはできないので、細胞浮遊液には雌雄両方の細胞が混在している可能性が高い。従って、最終的に得られる核板も雌雄のそれが混在しているのである。核型から雌雄を識別するためには性染色体を明らかにし、その構成が異型性を示すのかまたは相同性を示すのかによって判断しなければならない。しかし、観察されるチョウの体細胞染色体の形態は、これまでに報告されたそれも含めて多くの場合棒状であり、染色分体に分かれにくいので核型分析を行いにくく、従って性染色体を特定することは難しい。本研究においても、7種の中でそれを指摘できたのはウスバシロチョウだけであった (IZUMI & SETO, 1995)。

体細胞染色体数については種や属によっても異なっており、ウスバシロチョウは $2n=58$ (図-4)、アゲハ属の2種は $2n=60$ 、ウラギンヒョウモンは $2n=58$ 、ツマグロヒョウ

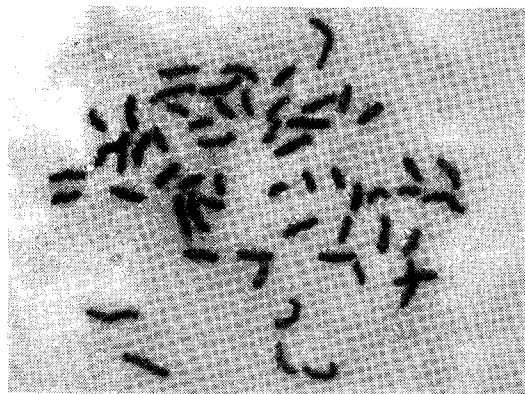


図-4 ウスバシロチョウ (体細胞分裂中期)
 $2n=58$ (初期胚を用いた空気乾燥法)



図-5 ジャノメチョウ (体細胞分裂中期)
 $2n=56$ (初期胚を用いた空気乾燥法)

モンは $2n=62$ 、ジャノメチョウは $2n=56$ (図-5)、ヒメヒカゲは $2n=58$ であることが明らかになった。

通常、空気乾燥法を行う場合には培養した細胞を用いる。これは、低張処理や数度の固定液交換のために遠沈と上澄み液を捨てる操作を繰り返す過程で、ガラス内壁面に付着したり上澄み液とともに捨てられる細胞が相当量あり、最終的に得られる濃縮した細胞浮遊液内にできるだけ多くの細胞を確保するためである。しかし、チョウの場合には方法が難しいだけでなく、分裂が進むと染色体が小型化してしまうので今までに培養細胞によって標本作製がなされた報告はない。そこで、どうしても前処理としてコルヒチン(コルセミド)処理を行うことが必要であり、本研究では体細胞分裂後期の像を得ることはできず、染色体の行動を観察することはできなかった。

V. おわりに

以上、中等教育において扱われる細胞分裂教材とその問題点を基盤としながら、同教材として鱗翅目チョウ類に視点をあて、材料の入手可能な時期とその方法及び染色体観察のための技法についてを中心に述べてきた。

チョウは広域に分布し、採集が容易であるだけでなく、年多化性の種が多いことから観察可能な時期が長く、材料の入手に季節的な制約を受けにくい。加えて、幼虫及び成虫ともに飼育が容易であり、精巢の摘出あるいは人工的な採卵も容易であるので、精巢や発生初期胚を確実に確保することができることが明らかとなった。

チョウの終齢幼虫期あるいは前蛹期の精巢では盛んに精子形成が行われており、減数分裂頻度も極めて高い。また、発生初期胚でも同調的、連続的に体細胞分裂が進行しているので、分裂像を確実に多数得ることも明らかとなった。

加えて、観察のための技法についても、特殊な器具や薬品が不要であること、固定・保存材料を用いることができることなど、随時細胞学的な観察が可能である点から、チョウは細胞分裂教材としての至適性を有するものと考えられる。

今後はさらに実践を通じた検証に加え、他の学習素材となる生物種に視点をあて、同教材としての至適性を検討していきたいと考える。

謝 辞

本研究を始めるにあたり、島根大学教育学部生物学研究室の瀬戸武司先生には染色体観察のための技法を中心にして、研究の計画からまとめに至るまで多大なる指導を賜った。また、関西学院大学理学部生物学教室の前木孝道先生、元弘前大学理学部生物学教室の斎藤和夫先生には多くの文献を送付いただくとともに、研究の方法も含めて貴重な指導を賜った。ここに記して、感謝申し上げる次第である。

(島根大学教育学部附属小学校)

参考文献

- 阿江茂 (1971) 蝶の交配と飼育. ニュー・サイエンス社
- 阿江茂 (1981) チョウの幼虫の見分け方. ニュー・サイエンス社
- 福田晴夫, 高橋真弓 (1988) チョウの生態と観察. 築地書館
- GOODDEBN, R.(1971) Butterflies.(London)
- 石原勝敏他 (1993) 生物 I B. 実数出版
- 和泉浩行 (1988) 赤来町の蝶類—赤名・谷地区を中心にして—. 山陰むしの会機関誌すかしば, 29 : 1-6.
- 和泉浩行 (1989) 小学校理科の生物教材における学習展開例と素材の研究—特に中学年の「昆虫の育ち方」の学習について—. 島根大学教育学部附属複式教育研究センター教育研究紀要, 4 : 71-86.
- 和泉浩行 (1991) 素材研究例—アゲハ—. 理科の教育, 40 (6) : 26-27.
- 和泉浩行, 瀬戸武司 (1993) 発生初期胚を用いたチョウの染色体観察法. 生物教育, 33 (1) : 110-111.
- IZUMI, H. and SETO, T. (1995) Comparative Karyology of two species of *Parnassius* : *P. glacialis* from Honshu and *P. stubbendorffii hoenei* endemic to Hokkaido, Japan (Lepidoptera, Papilionidae)., La Kromosomo II-78 : 2683-2688.
- 景山純孝 (1981) 細胞分裂教材としてのクモ. 教材生物ニュース, 75 : 218-220
- 川島誠一郎他 (1993) 高等学校生物 I B. 数研出版
- 小暮陽三, 山際隆, 江田稔 (1989) 改訂中学校学習指導要領の展開 理科編. 明治図書
- 栗田一良他 (1992) 新版中学理科 2 分野上. 下. 教育出版
- MAEKI, K.(1953a) Chromosome numbers of some butterflies (Lepidoptera, Rhopalocera)., Jpn.J. Genet. 28 : 6-7.
- MAEKI, K.(1953b) Cytological studies of some Japanese butterflies (Lepidoptera-Rhopalocera)., Kwansai Gakuin Univ. Ann. Studies. 1 : 67-70.
- MAEKI, K.(1957) A cytological study in 16 species of the Japanese Papilionidae (Lepidoptera-Rhopalocera)., La Kromosomo. 32 : 1115-1122.
- MAEKI, K.(1961) A study of chromosomes in Thirty-five species of Nymphalidae (Lepidoptera-Rhopalocera)., Jpn. J. Genet. 36 : 137-146.
- MAEKI, K.(1981) The chromosome of the Lepidoptera., Tyô to Ga. 32. 1 & 2 : 13-28.
- MAEKI, K.(1982) Maturation, fertilization, and the chromosomes of early developmental stages in butterfly eggs., La Kromosomo II-27-28 : 839-848.
- 牧林功 (1980) チョウの幼虫の形態. ニュー・サイエンス社
- MAKINO, S.(1956) A REVIEW OF THE CHROMOSOME NUMBERS IN ANIMALS. (Rev. ed.) 北隆館
- 水野丈夫他 (1993) 生物 I B. 東京書籍
- 文部省 (1989a) 中学校指導書 理科編. 学校図書
- 文部省 (1989b) 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編. 実教出版
- 大木道則他 (1992) 理科 2 分野上. 下. 啓林館
- 太田次郎他 (1993) 生物 I B. 啓林館
- SAITOH, K., ABE, A. and KUDOH, K. (1969) Chromosome cytology of *Parnassius everesmanni*

- daisetsuzana* Mats. and *Parnassius glaciales* Butler (Lepidoptera : Papilionidae)., Sci. Rep. Hirosaki Univ. 16 : 37-43.
- SAITOH, K., KUDOH, K., ONO, H. and TSUMAGARI, T.(1970) A chromosome study of *Parnassius stubbendorffii hoenei* Schweitzer (Lepidoptera : Papilionidae), with supplemental counts for *Parnassius glaciales* Butler., Sci. Rep. Hirosaki Univ. 17 : 27-30.
- SAITOH, K., ABE, A. and KUMAGAI, Y.(1991) A study of male germ-line chromosomes in five species of the Satyridae (Lepidoptera) of Japan., Sci. Rep. Hirosaki Univ. 38 : 31-37.
- 霜田光一他 (1992) 中学校理科 2 分野上. 下. 学校図書
- 鈴木正将, 国本洗紀 (1978) クモの染色体簡易永久プレパラート作成法. 採集と飼育. 40, No.4,224-227.
- 高橋景一, 山際隆, 江田稔 (1990) 改訂高等学校学習指導要領の展開理科編. 明治図書
- 戸田盛和他 (1992) 中学校理科 2 分野上. 下. 大日本図書
- 上田誠也 (1992) 新しい科学 2 分野上. 下. 東京書籍
- 宇野正紘 (1984) 蝶の飼育法. ニュー・サイエンス社
- 山田卓三, 山際隆 (1980) 新しい教材生物の研究. 講談社