

小・中・高校生のための
生物実験



竹内邦輔

小・中・高校生のための

生 物 実 験

竹 内 邦 輔

まえがき

ここでとりあげた実験は、一つ山自然教室で行っているものの一部です。小学校5年生以上ならできます。教室では、小学校3年生でもやっています。

今の小・中・高校の理科教育は、受験勉強のための教育で、生物学では暗記が中心と聞きます。あまり実験をやっていないようです。これでは生物学は好きになれませんし、十分に理解できないと思います。今、教育改革が叫ばれていますが、特に、理科教育は大改革すべきだと思います。ある有名なベンチャー企業の社長の話を聞きました。“子供の時母親がよく言いました。「2階へ上がる」と10回口で言っても2階へは上がれない。実際に2階へ上がって2階にあるポタモチを食べたとき、2階へ上がったことがわかる”と。これは素晴らしい教えです。実験も同じでいくら教科書を覚えてもそれはすぐに忘れてしまいます。

この本での実験では、私が考えたオリジナルな実験が、かなり含まれています。実験してみてもうまいか、わからない点がありましたら、著書へ電話していただくか、手紙を下さるか、或いは来ていただくと良いと思います。

私は、まず先生が勉強し実験をすることが大切だと考えています。できれば、地域の人たちも教育に参加し、子供の能力を伸ばしてや

ることが大切と考えています。

実験というのは、自分で工夫してやるのが大切です。基本的なことだけは、しっかりと理解して、あとは失敗しながら自分で考え、実験したほうが良いのです。従って、この本は、読めばすぐできるように、全てお膳立てするのではなく、要点のみを書いてあります。あとは自分で工夫してください。実験の手段は、いくらでもあるかと思えます。要は、自然の仕組みを理解することです。大切なのは実験の手段ではなく目的です。日本人には、目的よりも手段のほうが好きの人が多すぎます。もう少し、具体的に言いますと、顕微鏡の使い方は手段であって目的ではありません。それを使って何をやるかが大切なのです。

他の分野でも同じだと思います。英語を勉強するのは、手段であって目的ではありません。大切なのは、英語を使って何をするかです。外国旅行は手段であって目的ではありません。外国を知ることが大切なのです。それには、まず日本を良く知ることが大切です。最近の日本は、あまりにも手段と目的をはき違えていると思います。大学に合格することは、手段であって目的ではないはずですが、大学で何を学ぶかが大切なのです。これをはき違えているため、無駄な受験勉強をして、合格して入った大学はレジャーランド化しているのが現実の姿です。

よく、理科の好きな子だといって、子供を連れてこられるお母さんがみえます。そのなかには、単に虫や魚を集めるのが好きなだけの子供がいます。そうではなく、虫や魚の不思議さを知りたいという子が本当に理科の好きな子供で、伸びる子だと思います。虫集め

や魚集めは手段であって目的ではありません。子供の中には、実験はしても実験結果にはあまり興味を示さない子もいます。これは、やはり手段にだまされて目的を失った子供だと思います。こういう子供は、少し実験を失敗すると、すぐあきらめて他のことへ関心が移ってしまう、移り気の子で伸びません。いまわれわれは真剣に教育改革を考えねばならないと思います。

先に、出版した拙著、“誰にでもできるメダカの実験”でとりあげたものは、この本ではできるだけ省いてあります。

2002年3月1日

竹内邦輔

目 次

まえがき	3	16. ハエ (感覚器)	63
1. メダカ (神経伝達物質)	11	17. ホタテガイ (眼)	65
2. メダカ (呼吸)	15	18. ゾウリムシ (繊毛運動)	69
3. メダカ (循環系)	21	19. 有孔虫 (石灰岩)	73
4. メダカ (鉄)	25	20. ジャガイモ (酵素)	75
5. ザリガニ (神経・筋・運動)	27	21. ツユクサ (光合成)	79
6. サメ (三半規管)	31	22. アジサイ (青い花)	85
7. イカナゴ (感覚器・脳)	35	23. ホテイアオイ (花柱)	87
8. イカ (巨大神経)	39	24. ダイズ (乾湿運動)	91
9. ヒヨコ (免疫)	43	25. スイバ (草木染)	95
10. サケ (色素)	47	26. ヒマワリ (フィボナッチ数列)	97
11. ヘビ (移動)	49	27. パピルス (紙)	99
12. カイコ (変態)	51	28. ソバ (タンパク質)	103
13. セミ (発音)	55	29. オナモミ (マジックテープ)	105
14. イラガ (天敵)	59	30. ポンポン船 (熱機関)	107
15. カミキリムシ (害虫)	61	あとがき	109

1. メダカ (神経伝達物質)

予備知識：1921年、オーストリアのO.レーウィが、2匹のカエルの心臓間に血液を灌流させ、一方のカエルの迷走神経を電気刺激すると、そのカエルの心臓拍動が次第に止まるが、やがて他方のカエルの心臓拍動も止まることを発見しました。この実験は有名な実験で高校で教えられると思いますが、神経の作用が電気的なものだけでなく、化学物質（神経伝達物質）も関与していることを最初に示した実験です。後に、この化学物質がアセチルコリンであることを証明したのがイギリスのH.デールで、この2人は1936年、ノーベル医学生理学賞を受けました。そこで、この実験をメダカを使って簡単にやってみようというのが、この項の目的です。

実験A アセチルコリン

メダカをフェニールウレタン溶液（フェニールウレタンをメダカリングル液に飽和させ、それをメダカリングル液で5倍に薄めてつくります。飽和させるには、温めて溶かし、あと、冷やせばよい。メダカリングル液は1/7.5モルで、作り方は、食塩58グラム、塩化カリウム2グラム、塩化カルシウム4グラムを純水に溶かし1リットル[1モルリングル]にする。これを純水で7.5倍に薄めれば簡単にできます。）で麻酔します。（1～2分で麻酔されます。）こ

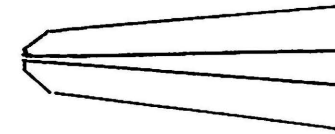
うしたメダカを手にとって、眼科用の小さなハサミで肛門から腹部の皮膚を腹部真ん中辺りまで切ります。シャーレに厚めのゴム板を敷き、その上にこのメダカを腹側を上にしてのせます。虫ピン2本を両手にもって、このピンで腹部の、今切ったところを開き、ゴム板にピンをさして止めます。

次に、両手にピンセットをもって、先に切った腹部の皮膚をさらに胸部まで切ります。そして、同様に開いて虫ピンで止めます。そうすると、心臓が拍動しているのが見えます。10倍の虫メガネで正常な心臓拍動を観察しましょう。ここで、50ミリモルのアセチルコリン溶液（塩酸アセチルコリンの場合、それを300ミリグラムとり、40ミリリットルのメダカリンゲル液に溶かします。このままでは酸性ですので、0.1規定苛性ソーダを、スポイトで8滴ほど入れますと中性になります。）を先細のスポイトで一滴拍動中の心臓の上から垂らします。心臓は、次第に拍動を止めて行きます。止まったことを確かめたら、今度は、先太のスポイトで、リンゲル溶液を止まった心臓の上からかけて心臓を洗い、アセチルコリンを流し去ってやります。しばらくすると、また心臓が正常に拍動してきます。この実験は、心臓が正常な限り、一つの心臓で何度でも繰り返し、可逆的に実験できますのでやってみましょう。

実験B 迷走神経

次に、迷走神経の観察をしましょう。実験Aで使ったメダカをそのまま利用します。腹側の皮膚をさらに咽頭部を通して、下あごのところまでハサミで切ります。そして、鰓ぶたを開いて、両側と

も虫ピンで止めます。そして、シャーレの中にメダカが浸るまで、十分にリンゲル液を入れます。このとき、ピンは外側よりななめにさした方が、観察の邪魔になりません。次に、両手にAAピンセット（尖端の鋭くとがったピンセットで、その尖端を紙ヤスリで良く研ぎます。第1・1図）を持って、鰓を全て取り去ります。すると、



第1・1図 AAピンセットの尖端

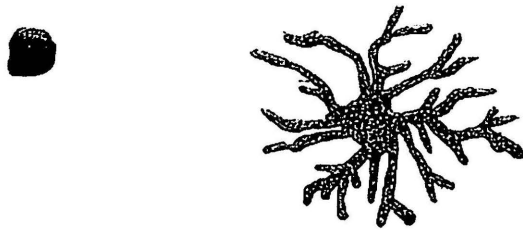
目から出ている太い視神経が交差しているのが見えます（視神経交差）。そして、その前後に白い脳が、薄い、透明な骨の下に見えてきます。この薄い骨を両手にもったAAピンセットではがします。そうすると、美しい脳と脳神経が見えてきます（拙著、「誰にでもできるメダカの実験」参照）。

20倍の虫メガネでみると、視神経交差のすぐ後ろに脳下垂体が見えます。脳から出ている神経は10対あります（イカナゴの予備知識の項参照）。脳神経の順番は、メダカでも、カエルでも、人間でも同じです。このさいご（10番目）の太い神経が迷走神経という副交感神経で、末梢は分かれて各内臓へ入っていきます。迷走神経と心臓の連絡は、小さいので観察できません。第5番目の太い神経が三叉神経で、歯痛など身近なことに関係しています。

実験C アドレナリン

副交感神経末端からアセチルコリンが出るのに対して、交感神経末端からはアドレナリンが出ます。アドレナリンもまた生体内で働く重要な神経伝達物質です。前世紀のはじめ高峰譲吉先生によって副腎髄質より発見されました(拙著“生物のお話”カビの項参照)。

ここでは、メダカを用いてアドレナリンの作用を実験しましょう。ピンセットで黒メダカの背側のうろこを1枚はがし、時計皿にいれたリンゲル液の中に入れます。そして顕微鏡を100倍にして観察しましょう。第1・2図右側のような黒色素胞がたくさん見つかるで



第1・2図

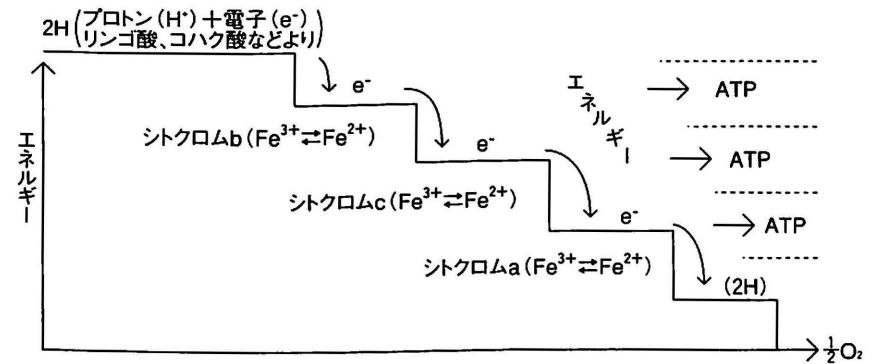
しょう。ここで顕微鏡をそのまま、電源を切って暗視野で見ますと、白く光る白色素胞をいくつかみることが出来ます。

そこで、この時計皿の中へスポイトでアドレナリンの溶液を1滴入れて先程と同じように観察しましょう。黒色素胞は第1・2図左側のようにになりましたか。これは黒色素胞内のメラニン顆粒が中央に集まったのです。では白色素胞はどうになりましたか。黒色素胞とは逆の反応をしていませんか。何度も実験して確かめてください。

アドレナリンの一つの作用として、毛細血管を収縮させる作用があります。恐怖を感じた時一瞬顔が青ざめるのもそのためです。

2. メダカ (呼吸)

予備知識：化学で学んだことです。ある物質が酸素と結びつくことが酸化、その反対に酸素を失うことが還元、またある物質が水素を失うことが酸化、水素とくっつくことが還元です。またある物質のプラス電荷が増加することが酸化、減少することが還元です。このことが、生物の世界でも非常に重要なのです。たとえば、呼吸においてもそうです。呼吸の目的はATP(エネルギーの供給源、自動車におけるガソリンみたいなもの)をつくることです。そのATPは、連続した酸化・還元の結果としてできてきます。その過程で、重要な役割を果たしているものの一つが鉄です。(シトクロムの構造



第2・1図 電子伝達系

の一部分として、酸化型 Fe^{3+} と還元型 Fe^{2+} の変化が順次くりかえされます。(第2・1図))

実験 A シジミの鰓の呼吸

シジミの鰓の繊毛運動は、沢山のエネルギー (ATP) を必要とします。鰓は、呼吸によって、この ATP を作っています。上述のように、この過程では水素が出てきます。この水素を受け取る適当な物質があれば、その物質が水素を受け取って還元されます。その適当な物質として、メチレンブルーを選ぶことにします。酸化型メチレンブルーは青色ですが、還元型メチレンブルーは無色です。

シジミの外套膜の内側で、内臓部の外側に2重の膜状のものとして鰓があります。その一部を眼科用の小さなハサミで切り取って、スライドガラスの上のせ、カバーガラスをして顕微鏡 (400倍) でみて下さい。繊毛運動によって、水流が生じていることがわかります。そこで、この鰓の一部を濃い青色のメチレンブルー (酸化型) の溶液にしばらく入れておきますと、鰓は青く染まります。これをスライドガラスの上のせ、カバーガラスをかけて、そのまわりをワセリンで封じます。つまり、酸素の出入りを遮断するのです。鰓は、まもなく酸素を使い果たし、その後、メチレンブルーを還元して、青かった鰓が無色に変わっていくのが観察できます。

(山本時男著“動物生理の実験”河出書房 1949 参照)

実験 B 鉄の酸化還元

ビタミン C は、強力な還元剤です。ビタミン C 10 錠を乳鉢です

りつぶして、水を加え、濾過します。うすい塩化第2鉄水溶液 (Fe^{3+} を含む) に 0.1% のチオシアン酸カリウムの水溶液を少し加えますと、血赤色になります。これにビタミン C 溶液を少しずつ加えていきますと、血赤色が消えて無色になります。3 価の鉄 (Fe^{3+}) が還元されて 2 価の鉄 (Fe^{2+}) になったのです。チオシアン酸カリウムの血赤色は、3 価の鉄に対して発色して、2 価の鉄では発色しないからです。そこでこの無色になった液に、3% の過酸化水素を加えていきますと、再び血赤色が出てきます。過酸化水素は、強力な酸化剤です。この過程は、可逆的で、何回でも実験できます。

実験 C 水中酸素量の測定 (ウィンクラー法)

20 ミリリットル入りスクリュウ型クダビンを 2 本用意し、その中へ汲みおき水道水をいっぱい入れます。2 本のうち、一方はメダカを 1 匹入れ、しっかりと 2 本とも栓をします。温度によって違いますが、20 分から 1 時間もしますと、メダカは死んでしまいます。死にそうになったらその少し前にメダカを出してクダビンに栓をしておきます。そして、この 2 本の水中酸素量を測定してみましょう。この実験過程では、できるだけ実験しているクダビン中の水が外の空気にふれないように注意しましょう。

両方のスクリュウ型クダビンの中へ、塩化マンガン溶液 ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 100 グラムを 250 ミリリットルの純水に溶かし、 HCl 1 ミリリットルを加えたもの) と苛性ソーダ・ヨードカリ溶液 (NaOH 90 グラムを 250 ミリリットルの純水に溶かし、さらに KI を 25 グラム加えて、褐色ビンに貯える) を、それぞれ 0.5 ミリリットルずつ

底のほうへ静かに入れます。この時ビンから液が少しあふれますが、誤差の範囲と考えます。1ミリリットルの駒込めピペットを使うとよいでしょう。できるだけ気泡の入らないように気をつけます。栓をして、よく振って混合します。そして、沈殿が静まるまで20分間くらい放置します。栓をとって、各クダビンに20%塩酸を3ミリリットルずつ駒込めピペットで底のほうに静かに注入し、栓をして振って、沈殿を完全に溶かします。このあとは、空気にふれてもかまいません。クダビンの中の液を、別々に三角コルベンに移し、デンプン溶液を少し加えます。これを1/100モルチオ硫酸ソーダ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)で滴定します。デンプンによる青色がなくなるまで、チオ硫酸ソーダを入れていきます。そして、注入したチオ硫酸ソーダ溶液の量を記録します。絶対的な酸素量を計算してもよいですが、ここでは、相対的な比較でよいでしょう。この実験は、精密な実験ではありません。

ウインクラー法の原理は、 MnCl_2 が NaOH と反応して水酸化マンガンの $\text{Mn}(\text{OH})_2$ の沈殿を生じさせ、これが水中の酸素をとって $\text{Mn}(\text{OH})_3$ となります。これに HCl を加えると、 $\text{Mn}(\text{OH})_3$ は、 MnCl_3 になり、これがさらに MnCl_2 を経て、 Cl_2 を遊離させます。この Cl_2 は KI があると、 I_2 を遊離しますので、この I_2 がデンプンとくっついて青色になります。ヨードは、チオ硫酸ソーダとくっついて NaI となり青色が消えます。使用したチオ硫酸ソーダの量から水中酸素量がわかるのです。メダカが入っていたクダビン中の水中酸素量はそうでないもう片方のクダビン中の水中酸素量の何分の一くらいになりましたか。それだけの水中酸素をメダカが使ってしまったので

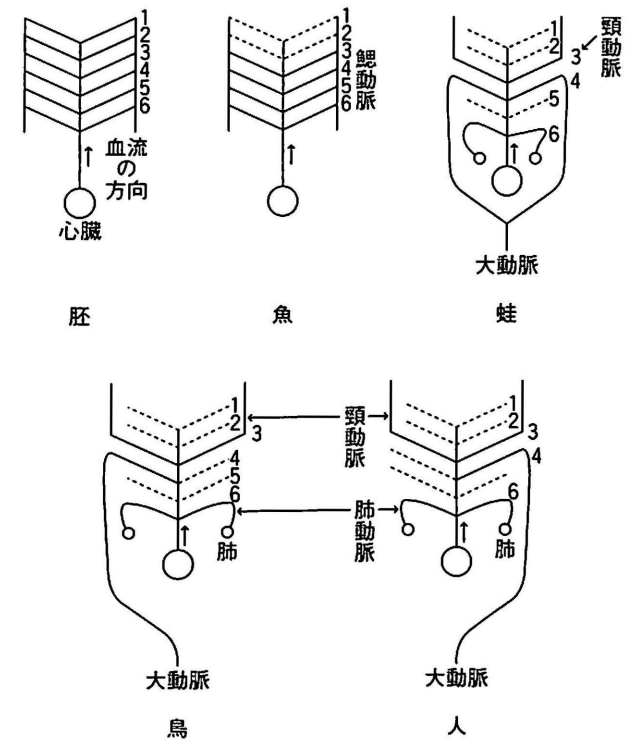
す。

実験D トリ卵殻

鳥の卵も呼吸をしているのですが、あの固い殻を通して、どうして呼吸をするのでしょうか。卵は古くなると、比重が小さくなって10%の食塩水に浮くようになります。この方法で、卵が新しいか古いかを知ることができます。比重が小さくなるのは、中の水分が蒸発するからです。卵には、小さな穴が沢山あいているのです。これを調べてみましょう。卵を割って、その卵殻片の内側にある卵殻膜を除きます。その凹側に、赤い色素であるエオシンをアルコールに溶かして(赤インキでもよい)少し入れてしばらく放置します。色素液を捨てて凸側の表面を虫メガネでみてみましょう。赤い点々が無数にあるでしょう。これが呼吸のための穴です。

3. メダカ (循環系)

予備知識：脊椎動物の血管系の基本構造は、魚にありますが、両生類、鳥、哺乳類の胚期の血管系にも魚に似た基本的なものが見られ

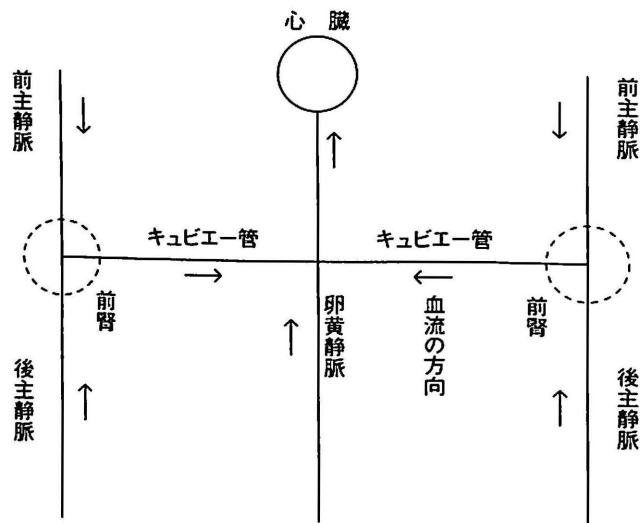


第3・1図 動脈弓 (腹側から見た図・点線は退化したもの)

ます。心臓から出たところの動脈弓 (第3・1図) をみましょう。

魚では、1、2番が退化しています。3、4、5、6番目の動脈弓が鰓に入ってゆきます。蛙では両側の3番が頸動脈、両側の4番が大動脈となり、鳥では4番の腹側からみて左側のみが大動脈となって右側が退化します。5番目は退化して、6番目が肺動脈となります。人では鳥とは逆に4番の腹側からみて、左側が退化して、右側が大動脈となります。

つぎに脊椎動物の胚における静脈について考えます (第3・2図)。両側の主静脈から帰ってきた血液は前腎 (胚期のみの腎臓で、その後はこの前腎の後ろに中腎ができます。) で、老廃物を取り去って、きれいになってキュービエー管を通して両側より心臓へ戻ります。も



第3・2図 胚における静脈

う一本、栄養分をもって心臓へ入る卵黄静脈があります。

実験A ヒヨコ

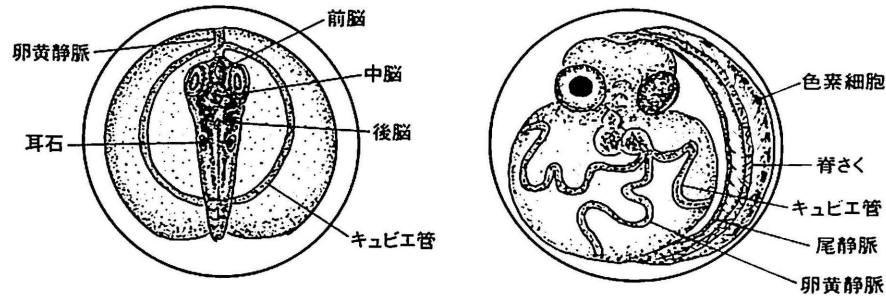
免疫の実験 (第9節) で用いたヒヨコを利用すればよいでしょう。胸部を開いて、虫ピンでとめます。心臓から上方へ白い動脈が、片側2本、合計4本見えます。このうち腹側からみて、右側の下側の動脈が少しうっすらと弱々しくみえます。これは退化しつつある状態です。左側は2本ともしっかりしています。上側は頸動脈、下側が大動脈となっていきます。(第3・1図参照)

実験B 肺

実験Aを終わったヒヨコの内臓を取り除きますと、胸部奥の両側にピンク色のかたまりが見えます。これが肺です。鳥の運動は、はげしく、沢山の酸素が必要です。両生類や哺乳類の肺は袋状で、呼気と吸気が混ざって効率が悪いですが、鳥の肺は空気が一方通行になっていて効率よくできています。(拙著“生物のお話”キリンの項参照)

実験C メダカ胚

メダカの卵 (眼が黒く色づきはじめて頃のがよい。拙著“誰にでもできるメダカの実験”参照) を20倍の虫メガネで観察しましょう。キュービエー管、卵黄静脈を確かめ、血液の流れの方向をみましょう。(第3・3図)



血液が流れはじめる時期

尾が頭に達する時期

第3・3図

4. メダカ (鉄)

予備知識：メダカを鉄製の水槽で飼育すると死にます。鉄・水銀・銀・銅など、一般に、重金属は生物には毒です。重金属はタンパク質にくっついて、タンパク質を変性させます。微量の鉄や銅は生物にとって必要なのですが、多すぎると毒になります。

実験 A 鉄

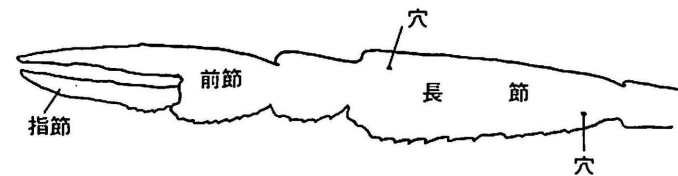
メダカを2%の塩化第二鉄の溶液に入れますと、まもなく死にます。しかし、土壤によっては、多量の鉄を含んでいます。川底の土が茶色をしているところがあります。この土をとってきて、薄い塩酸に入れ、上澄みに鉄の検出剤であるチオシアン酸カリウム溶液(0.1%)を入れますと赤くなり鉄であることがわかります。しかし、その川に魚が生息しています。川の水をとってきて、チオシアン酸カリウムを入れますとほとんど赤くなりません。鉄があまり溶けていないのです。水道水と同じくらいです。これはどうしてでしょうか。川底の茶色は、たぶん酸化鉄や水酸化鉄です。これらは水に溶けません。つまり、重金属もその存在様式によって生物と同居できるのです。

実験 B 植物中の鉄

動物にとって微量の鉄は必須のものですが、植物もかなり鉄を含んでいます。ここでは浅草ノリの中の鉄を検出しましょう。浅草ノリ1枚を4等分してその1枚をアルミホイルの上で焼いて灰にします(本当は蒸発皿を使用すべきです)。この灰を試験管に入れて、濃硝酸0.2ミリリットルを加え、さらに水を5ミリリットル加えます。そしてこれを熱して沸騰するくらいまで温度を上げてしばらくおきます。後これを濾過します。この濾液にチオシアン酸カリウム溶液(0.1%)を少し加えますと、淡赤色になります。同様の過程を灰なしでも行って両者を比較して鉄の存在を確かめましょう。濃硝酸は危険ですので、この実験は必ず先生と一緒にやりましょう。

5. ザリガニ (神経・筋・運動)

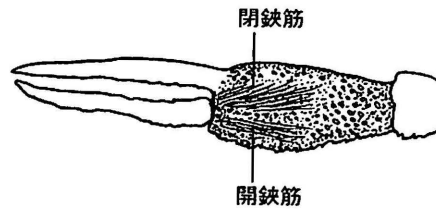
予備知識：動物の運動は、一般には筋肉の収縮によります。この筋肉を収縮させるきっかけは、普通は神経の刺激によります。ただノミの跳躍のように、筋肉の収縮により、一種のゴムを圧縮して、そこにエネルギーをためておき、次の瞬間に、このエネルギーを放出して、瞬間的に大きな加速度を得るような特殊なこともあります(拙著“生物のお話”ノミの項参照)。また、この本の第1項のように迷走神経の刺激により心筋の活動が止まるような事もあります。しかし、普通は運動神経末端より、アセチルコリンが出て、それが骨格筋を刺激収縮させ、運動できることになります。南米インディオの矢毒の中にあるクラレは、運動神経と筋肉の接合部を麻痺させるため、動物は動けなくなってしまうのです。



第5・1図

実験 A ザリガニのハサミ

ザリガニの第1歩脚を、植木用の剪定バサミで根元から切り取ります。そして、第5・1図を参考にして動くのは指節であることを確かめましょう。第5・1図をみて、長節の両端部に一か所ずつ、針で穴をあけます。1.5ボルトの単一の乾電池を直列につないで、1.5、3.0、4.5、6.0、7.5ボルトを作ります。電線を末端で裸にし、電極として使えるようにしておきます。指節を中開きにしておき、長節の穴に、上記各電圧について、電極を瞬間的にさし入れて、指節がどのように動くか注意深く観察しましょう。この実験は、2人で組をつくって実験した方がよいでしょう。低電圧と高電圧で、指節の動き方が反対になることを確かめましょう。どうして、このようになるのか考えてみましょう。これは神経による感度の違いによるのですが、その前に次の実験をしてみます。



第5・2図

(三輪知雄・久米又三編“生物実験法”共立出版1942より改変)

実験 B 閉鉗筋、開鉗筋

ザリガニの第1歩脚の前節の殻を割って、中の筋肉がみえるよう

にします。(第5・2図)非常にみにくいですが、筋肉の走っている方向とその束に注意して、20倍の虫メガネで、指節についている筋肉を調べましょう。指節を開く筋肉と、閉じる筋肉がわかりますか。一方が収縮すると他方の収縮が抑制されます。この両筋肉にそれぞれ、長節を通して、神経が来て、調節しています。ここで電極が刺激しているのはこれらの神経です。神経によって、興奮するのに必要な刺激の大きさが違います。(山本時男著“動物生理の実験”河出書房1949参照)

実験 C カエルの神経筋標品

カエルの腓腸筋（フクラハギの筋肉）に神経がついたものを、生きた状態で取り出し、神経を刺激して、筋肉を収縮させる実験です。カエルをまず、エーテルで麻酔します。腹部の皮膚、腹筋を切って、内臓を取り除きます。背骨の下方の左右に太い神経が何本か出ていますが、これが座骨神経で、この1本が腓腸筋に入っていますので、これを傷つけないようにして、下半身の皮膚を全部、取り除きます。

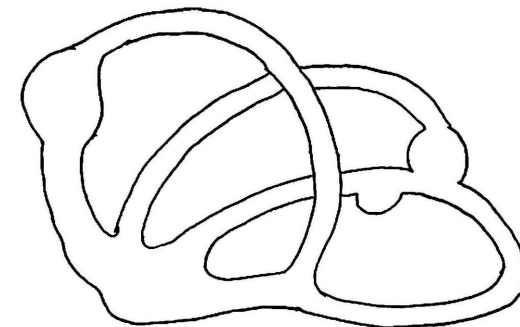
大腿部が、幾つかの筋肉の束でできていることを見て、その背側より筋肉と筋肉の界を両手で割ってみましょう。奥の方に、薄黄色の太い神経が見つかります。(正確には、三頭股筋と半膜筋の間を押し広げると、その奥には二頭股筋と座骨神経が見つかります。これが、腓腸筋へゆく神経です。)それを傷つけないように、大腿部筋肉をすべて取り除きます。アキレス腱を切って、腓腸筋を分離し、座骨神経を背骨のところで切って、神経のついた腓腸筋を取り出すのですが、膝のところ少し難しいので、これはそのままにして、

骨を切り取って、膝つきの神経筋標品にしてもかまいません。取り出した標品は、リンゲル液（メダカのを代用してもよい。正確には1/8.5モルで、メダカリンゲル液より少しうすい。）を滲ませた濾紙の上のせておきます。そして、神経をいろいろの方法で刺激してみましょう。電氣的（いろいろの電圧で）、機械的（ピンセットで、神経の端をつまんでみるなど）刺激で試してみましょう。

（山本時男著“動物生理の実験”河出書房 1949 参照）

6. サメ（三半規管）

予備知識：三半規管は、脊椎動物で運動感覚を受け持っている器官で内耳にあります。ヤツメウナギでは2つの半円でできていますが、高等な脊椎動物は、みんな互いに直角な3つの半円型の管でできています。（第6・1図）中にリンパ液が入っていて、動物が動くと中の液が、ふくらみの中にある感覚毛を動かして、そこから信号が脳に伝えられ、動いたことがわかるようになっています。この三半規管は、すべての脊椎動物がもっているのですが、みんな固い骨の中に埋まっています。しかし、サメのような軟骨魚では骨が軟らかいので、割合、楽に取り出すことができます。



第6・1図 サメの三半規管

実験 A サメの三半規管

小型のサメ (たとえばホシザメがよい。数十 cm 以下のものがよい。それ以上、大きくなると骨も固い。大型のサメの仔魚でもよい。) の頭部を用意します。各地の漁業協同組合に頼んで、頭部のみ冷凍保存しておいてもらって、ある程度の数になったとき、クール宅急便で送ってもらえばよい。サメの肉は、浸透圧を保つため、尿素をたくさん含んでいます。古いのはとても臭いですから、水でよく洗って用いるようにします。器具としては園芸用の剪定バサミとカッターナイフが便利です。これで大きく内耳をつつむ骨を全体として取り出します。あとはメスで少しずつ削ってゆきます。内耳は、眼のすぐ後ろで頭蓋骨のふくらんだ部分の中にあります。それにはまず、サメの頭部を解凍して、皮膚、下顎、鰓部を取り去り、筋肉もとって頭蓋骨を取り出します。その際、脳神経をよく観察しましょう。特に、嗅神経、視神経、三叉神経、迷走神経は観察し易いです。次に、頭蓋骨の頭頂部を切って脳を観察します。大脳・中脳・小脳・延髄・脳下垂体などです。その後、正中線に沿って切り、脳も取り去り、内耳の部分を骨つきのまま左右、別々に取り出せばよろしい。時々、水で洗いましょう。三半規管を完全に取り出すことは少し難しいですが、少しずつ、気長にやればできます。美しい三半規管が取り出せたら、管ビンの中へ入れ、5%のホルマリンを加えて永久保存しましょう。

実験 B メダカの三半規管

三半規管が本当に運動感覚に関係しているかどうかしらべたいの

ですが、サメで実験するのは普通の実験室では無理ですので、おおまかにメダカで実験し推定しましょう。三半規管の位置は、サメもメダカも大体同じようなところにあります。そこで、メダカをフェニールウレタンでかるく麻酔して、メダカの三半規管 (内耳) を片側のみ針で破壊してみましょう。麻酔がさめたとき泳ぎ方がどのように変わりましたか。回転しながら泳ぐようになりましたか。

7. イカナゴ (感覚器・脳)

予備知識：一般に発達している感覚器では、そこへきている脳神経も太いし、それに対応している脳の部分も大きい。脊椎動物の脳神経は前から番号をつけて、第1番は嗅神経、第2番は視神経、第3番は動眼神経、第4番は滑車神経、第5番は三叉神経、第6番は外旋神経、第7番は顔面神経、第8番は聴神経、第9番は舌咽神経、第10番は迷走神経です。

サメのように嗅覚の発達している動物では嗅神経は太く、それが入っている嗅葉（大脳の前部）は非常に大きいです。しかし、サメの眼は比較的小さく、視神経が入っている中脳も小さくなっています。また、運動に関する小脳は大きい。それに対してイカナゴやメダカのように眼が良く発達している魚では、大脳や小脳より中脳が1番大きくなっています。

また、電気を感じる魚では、電気感覚器からの側線神経（顔面神経、舌咽神経、迷走神経の一部として脳に入ります。）が太く、それが入っている脳の部分は非常に大きく、電気魚モルミルスでは、その部分が脳全体を覆っているほどです。電気魚の嗅神経や視神経は細く鼻や眼はあまり活用されていないと考えられます。このような魚は鼻や眼でなく電気ですべてを探しています。（H.W.リスマン著‘電気で環境を知る魚’“別冊サイエンス 超能力の秘密”日本経済新

聞社 1975 参照)

実験 A イカナゴ

イカナゴはコウナゴとも言います。夏の頃たくさんとれて魚屋さんに出ています。メダカの迷走神経を観察したときと同じ手順で脳の下面を観察しましょう。10 倍の虫メガネで視神経を見ますと、他の脳神経にくらべて太いことが分かります。この視神経が入っていくのは大脳でも小脳でもなく中脳です。中脳を観察するには脳を背側より観察することが必要です。(拙著“誰にでもできるメダカの実験”参照)メダカのとくと同様にシャーレに厚めのゴム板を敷き、その上にイカナゴを背側を上にして乗せます。虫ピン 2 本で腹部を押さえ、頭部は虫ピン 2 本を下唇へさして止めます。シャーレの中へメダカのリンゲル液を代用して充分量入れてリンゲル中で解剖します。AA ピンセット 2 本を両手にもって両眼の間の頭蓋骨を少しずつとり除いてゆきますと脳の上面が出てきます。メダカと似ています。中脳が一番大きいことが分かります。

実験 B ネズッコ

ネズッコも魚さんに大量にでまわります。別名ヌメリゴチとも言いますがコチとは関係ない魚です。煮て食べるとおいしい魚です。小魚ですが、このくらいになると頭蓋骨は固くて AA ピンセットでは破れません。イカナゴと同様にして頭蓋骨が見えるようにしたら、そのまわりをハサミで矩形に切り取ります。こうして切り取った矩形の板のようなものは頭蓋骨の上板と下板が合わさったような

ものと考えて、ピンセットでこの両方をはがすように開きますと中からきれいに脳が出てきます。大脳、中脳、小脳、延髄、下面の脳下垂体(視神経交差のすぐ後ろにあります)を観察しましょう。

実験 C サメ

小型のサメ(体長 50 cm 以下くらいの方がよい)の頭部をいいます。三半規管の項でのべたように、漁協で頭のみ冷凍保存しておいてもらって、まとまったら宅急便で送ってもらえばよい。頭蓋骨を取り出すには、植木用の剪定バサミで、下顎・鰓部を除き、皮膚を除いて頭蓋骨を取り出します。途中何度も水洗しますので流して処理したほうがよいでしょう。途中嗅神経・視神経・三叉神経はすぐにわかりますので解剖図(広島大学生物学会編の“日本動物解剖図説”参照、初版は 1941 年ですが新しく再版されています)などと同く観察しましょう。

頭蓋骨がきれいになりましたら、カッターナイフで少しずつ上面から削って脳の上面全体を見えるようにしましょう。嗅神経が入っていく大脳前部は大変大きいのにその後ろの中脳が小さいでしょう。運動に関係する小脳は大きいです。

8. イカ (巨大神経)

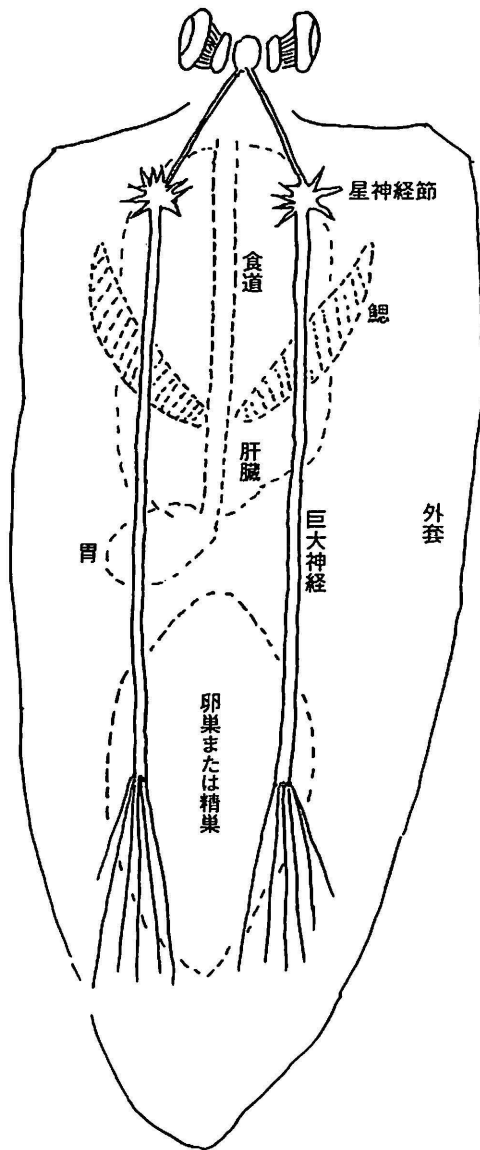
予備知識：脊椎動物の神経は太いようにみえますが、これは細い神経が沢山、集まって太いようにみえるだけです。1本1本は、とても細くて、実験が難しいです。

しかし、イカは巨大神経をもっていて、1本の太さが直径1mmもあります。これに注目し、この巨大神経を用いて、神経の興奮伝導の機構を明らかにし、1963年度のノーベル医学生理学賞を受けたのが、イギリスのA.F.ハックスレーとA.L.ホジキンです。

イカは、どうして巨大神経が必要なのか考えてみましょう。これは、イカの遊泳方式と深い関係があります。イカは、強いジェット噴射で泳ぎます。このためにはイカの外套（筋肉でできています）の各部を調節して、ほとんど同時に収縮させねばなりません。各部分が、かってに収縮したのでは、強い噴射は得られません。この外套筋肉の同時収縮をさせるのは神経です。

脳から外套へ行く神経は、まず左右の星神経節に入ります。（第8・1図）そこから外套へも入りますが、同時に巨大神経によって、外套の先端部へ向かい、そこから先端部外套の各筋肉へ入ります。

脳からの命令（信号・興奮）を外套の各部へ、できるだけ同時刻に伝えたいのです。一般に、神経を信号が伝わる速度は、神経繊維が太い程、速いのです。これは、理論的に証明されていることです。



第8・1図

従って、星神経節から外套の先端部へ行く神経は、脳に近い外套へ行く神経より、充分、太いことが必要なのです。(拙著“生物のお話”イカの項、参照)

実験 A 巨大神経

新しいスルメイカかヤリイカを、魚屋さんで買ってきます。これを、腹側（ロートのある方）を上にして解剖皿（何でもよい。浅いプラスチックの皿でよろしい）に入れた板かゴム板の上に置きます。ハサミで外套を先端部まで切り、開いて虫ピンで止めます。卵巣か精巣、肝臓、胃などを観察した後、これら内臓を取り除きます。解剖皿に水を十分入れた方が、観察しやすいかも知れません。外套にくっついて、1対の星神経節が内臓の下にみえます。そして、そこから外套先端へ向かう平行な2本の太い神経をみることができます。図は、模型的に描いてありますが、2本の巨大神経は、互いに近接して存在し、その上を薄い透明な細長いプラスチックのような薄片がおおっていますので、これを引き抜けばよく見えます。

次に、脳と星神経節を結ぶ神経を出してみましょう。これは、細くて切れ易く、少し難しいですが、やってみましょう。大切なことは、焦らないで少しずつ他の組織を取り除くことです。両手にAAピンセットをもち、必要ならば、眼科用のハサミを用いてゆっくりとやればできます。

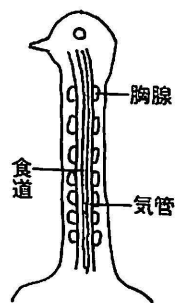
9. ヒヨコ (免疫)

予備知識：ハシカなどは、子供のとき一度かかって治れば、ほとんど一生の間、再び同じ病気になることはまれです。風邪も一度かかって治れば、その年のうちは、たいていもうかかりません。理由は、免疫ができるからです。予防注射は、同じ原理を応用したものです。毒ヘビにかまれたときの血清治療、スズメバチにさされたときは、2度目が危ないとか、移植をしたときの拒絶反応など、みんな免疫と深い関係にあります。免疫について、少し勉強してみましょう。

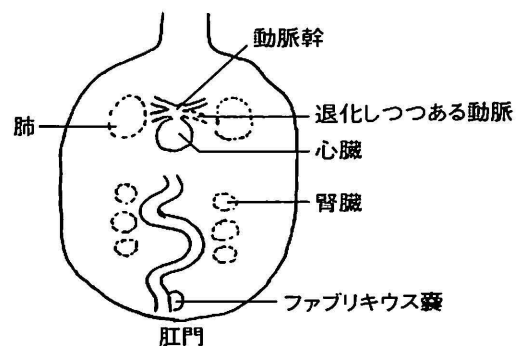
(拙著“生物のお話”ネズミの項参照) ごく簡単に述べますと、免疫に関係するのはリンパ球です。B細胞とT細胞の2種類あります。B細胞は、細菌やヘビ毒に対抗する抗体をつくる細胞、T細胞はウィルスや移植組織に対する拒絶反応などに関係します。T細胞は、ウィルスの断片を表面にもっている自分の細胞や異常な自己の細胞、また外から入って来た非自己の細胞などを攻撃します。しかし、普通は正常な自己の細胞を攻撃しません。このようにT細胞の自己、非自己を見分ける能力はどのようにして成立するのか。その教育を受け持っているのが胸腺です。またB細胞は、骨髄の幹細胞が、鳥では、ファブリキウス嚢へ移住してB細胞に分化するのに対し、鳥以外の脊椎動物では骨髄中で幹細胞からB細胞が分化してきます。

実験 A 胸 腺

胸腺を一番、簡単に観察できるのはヒヨコです。ヒヨコの雄は、鶏卵孵化場に行きますと安く買うことができます。麻酔して、冷凍にしておけばいつでも使えます。解凍したヒヨコを水で濡らします。これは、羽毛が飛び散らないようにするためです。ヒヨコを腹側を上にして手に持ち、肛門からハサミを入れて腹側の皮膚と筋肉を切り上げ、胸のところの骨も切って咽頭部まで切ります。両手で頸部を開きます。



第9・1図 胸腺



第9・2図 ファブリキウス嚢

第9・1図のように、気管と食道をみつけたら、その両側に赤い(血液)頸静脈をみつけましょう。その頸静脈の下側に白またはクリーム色をした直径5mmほどの少し固い塊が左右7対並んでいます。これが胸腺です。

実験 B ファブリキウス嚢

腸の末端、肛門の少し上の背側に、直径数ミリメートルの袋状のものがくっついています。これがファブリキウス嚢です。(第9・2図)

10. サケ（色素）

予備知識：花の色をつくる色素は、三種——アントシアン、フラボノイド、カロチノイドです。アントシアンとフラボノイドは水溶性ですが、カロチノイドは脂溶性です。水には溶けません。色は黄～赤です。これらの色素は、動物は自分では合成できませんので、植物より入ってくるのです。（拙著“生物のお話”トウガラシの項参照）

実験 A メダカの卵

普通、メダカの卵は無色または黄色です。これはニワトリの卵黄の色と同じくカロチノイドです。餌の緑藻より入ってきたものです。そこで、メダカの水槽を毎日、洗って、一切、藻のない状態で飼育し、餌としてサナギ粉、コウセン、イトミミズなどを用いますと、無色の卵が産まれてきます。このメダカに、専らトウガラシを食べさせます。メダカは、よくトウガラシを食べます。トウガラシを辛いと感ずるのは、哺乳類のみのようです。こうして3日か4日すぎますと、赤い卵を産むようになります。つまり、トウガラシのカロチノイド（カプサンチン）が卵に移ったのです。

実験B サケとマグロ

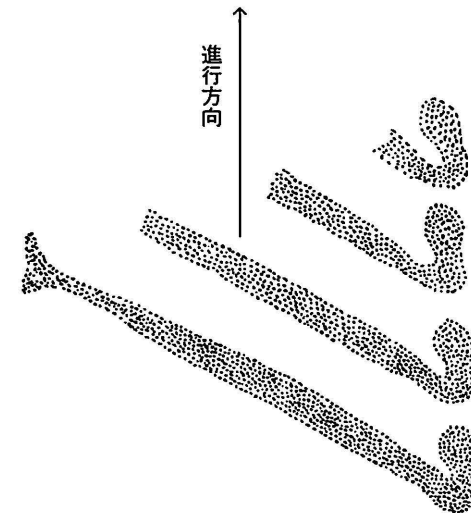
サケの肉もマグロの肉も赤い色をしています。しかし、この両者の色素は違います。サケの肉とマグロの肉を別々の乳鉢に入れ、水を加えてすりつぶします。両者、別々に濾紙で濾過しましょう。マグロの水抽出液は赤いのに、サケの方は赤くなりません。これはマグロの赤い色は、血液のヘモグロビンやそれによく似たミオグロビンだからです。サケも、ヘモグロビンやミオグロビンはあるのですが量的に少ないのです。つぎに、サケの肉とマグロの肉を、別々の乳鉢に入れ、これにそれぞれエチルアルコールを加えてすりつぶしましょう。そして、また濾紙で濾過します。今度は前回と違って、マグロの抽出液は赤くなりませんが、サケの抽出液は赤くなります。つまり、サケの場合は脂溶性の色素だということがわかります。これはカロチノイドの一種のアスタキサンチンです。産卵前のサケの肉は、赤い色をしています。産卵後は白っぽくなります。これは、親のカロチノイドが卵に移ったことを意味します。サケの卵は、こうして赤っぽい色をしているのです。

11. ヘビ (移動)

予備知識：動物の移動は、アメーバー運動から足や羽を用いる移動まで様々です。でも ATP の化学エネルギーを運動のエネルギーに転換することは共通です。

実験A サイドワインダー

第11・1図は、北米西南部の砂漠に生息するガラガラヘビの一種、サイドワインダーが砂漠を移動したとき、砂に残した跡です。進行



第11・1図

方向は、矢印の方向です。どうしてこのような跡が残るのか、図の中にサイドワインダーがどのように存在しているか描き入れてみましょう。図はサイドワインダーが移動している先頭部を示しています。一つ考えるべきことは、砂漠の砂は、日中は焼け付くような温度になっていること、従って、日本のヘビのように移動すれば、やけどの危険があることです。

実験B ナメクジ

シャーレにナメクジを入れ、移動するナメクジについて10倍の虫メガネで、ガラス面にくっついている足の裏側をガラス越しに観察しましょう。縞模様が後ろから前方へ移動しているはずですが、これを足波といいます。足波が、後ろから前へ移動するとき順行型、反対に前から後ろへ移動するのを逆行型といいます。アメフラシは、逆行型です。この足波で、どうして前へ進むのか考えてみましょう。

実験C ウニ

水族館で、ウニの移動を観察しましょう。ウニは、管足で移動します。管足は先端が吸盤になっていて、管は伸縮できます。

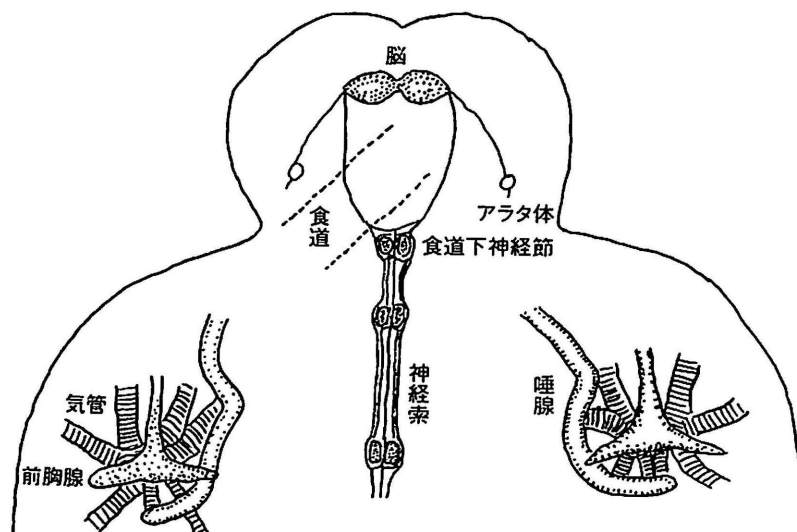
12. カイコ (変態)

予備知識：昆虫の幼虫は、何回か脱皮して蛹になりますが、この変態がホルモンによって、調節されていることをカイコで発見されたのは、元名古屋大学教授の故福田宗一先生です。戦争中のことです。カイコを横からみると、各体節の下部に1つずつ黒い点が見えます。これは、呼吸のための空気が入り出すところで、気門といいます。この1番前の第1気門の内側に前胸腺という変態ホルモンを出す器官があるのです。

さらに、脳から両側へ神経が出て、その先に小さな玉のようなものがありますがこれがアラタ体で、ここからはアラタ体ホルモンが出ていて、前胸腺ホルモンとアラタ体ホルモンが互いにうまく働くと、正常な脱皮をして、変態ができることとなります。(第12・1図)

実験A 脳・前胸腺・アラタ体

最近、カイコはなかなか手に入りません。しかし、まだ、山間部では養蚕をやっているところがあります。そこで、いくつかの学校が協同で、何百匹という単位で購入し、冷凍しておけばいつでも使えます。購入するカイコは、マユをつくる直前の最も大きなカイコでないと使いにくいのです。ですから、それを冷凍で購入するのが



第12・1図

よいと思います。このような大きいカイコは1年に3回得られますが、その時期は決まっています。

冷凍カイコを外側から観察しているうちに解凍されます。特に、第1気門はよく観察しましょう。頭は、先端のごく小さな褐色の部分です。解凍したカイコを、シャーレの中に厚めのゴム板をしいた上に背を上にしてのせ、頭のすぐ後ろと尾脚の2カ所を虫ピンで止めましょう。ピンセットで背側の皮膚をつまみ、ハサミで尾部から頭のところまで切ります。虫ピンで皮膚を両側へ開いて、片側を2カ所ずつ止めます。内臓は、ほとんど胃です。その中に、桑の葉がいっぱい詰まっています。気管(黒い)と排泄器のマルピギー管(黄色く、細い)が胃から入っていますね。両側には、絹糸腺(固い)が入っています。胃の先端の食道の所と後端直腸の所で切って内臓を

除きます。そしてシャーレの中へ水を充分入れて下さい。水が汚れたら、洗ってまた、新しい水を入れます。そして10倍の虫メガネで腹側正中線に沿ってよく観察しましょう。ゴマ粒のようなもの(神経節)が、正中線に沿って、点々と分布し、それを2本の神経が結んでいます。いわゆるはしご型の神経索です。

次に、頭の後ろにさした虫ピンを取り除き、頭の真ん中を眼科用のハサミで切ります。少し固いですが切りましょう。2本の虫ピンを両手にもって、今切った部分を左右に開き止めます。20倍の虫メガネで、丁寧に観察しましょう。先程、見た神経索を上にとどります。ゴマ粒の間隔が狭くなった先端のものが、食道下神経節です。その背側を食道が通っていて、食道の上側で少し前方に脳があります。アズキ粒の小さいのを2つくっつけたようにみえます。(第12・1図)

そこで、第1気門の内側をみましょう。ちょうど、その上に痩せた三角のように見える前胸腺をみることができます。すりガラスのような半透明の白い色をしています。多くの場合、その側に淡黄緑色をした唾腺があります。

アラタ体は、20倍の虫メガネで見つけるのは難しいと思います。しかし、努力すればみえるでしょう。

実験B オビカレハ

春、サクラ、モモ、リンゴなどの木の幹から枝が分かれるところに、絹糸の網を張って、沢山の毛虫がいるところをよくみかけます。多くは、オビカレハの幼虫です。この毛虫を何匹かとってきて虫カ

ゴの中に入れ、サクラの葉を餌として飼育しましょう。脱皮してだんだん大きくなり、黄色のマユをつくって蛹となります。マユの作り方をよく観察しましょう。ヨーロッパからアメリカまで、世界中に分布して、果物や街路樹に大きな被害を与える大害虫です。朝になると、幼虫は絹糸を出しながら巣網から葉を食べにでかけます。この絹糸は道しるべで、帰りはそれをたどって巣網へ戻ってきます。この絹糸を途中で切ってしまうとどうなるか、面白い実験材料ですね。

13. セミ (発音)

予備知識：音は空気の振動です。人の耳に聞こえるのは、毎秒100～10000回の振動で、その中でも一番よく聞こえるのは数千回の振動です。セミの声は毎秒3000～5000回の振動です。セミは膜の振動で、キリギリスは弦の振動で音をだしていると考えられます。

コオロギでもキリギリスでもセミでも鳴くのは、雄のみです。

実験A キリギリス

キリギリスの雄と雌を野原でとってきます。7月から8月がよいでしょう。エーテルで麻酔して、冷凍しておけば冬でも使えます。採集は手袋をはめてする方がよろしい。でないと、かみつかります。雌は産卵管があるので、すぐわかります。ハサミで雄と雌の前翅を切り取って調べましょう。特に翅脈に注意して調べます。雄には横に走る翅脈があります。この翅脈の裏側を20倍の虫メガネでよく調べてみましょう。沢山の横縞がみつかります。丁度ヤスリのような感じです。

実験B セミ

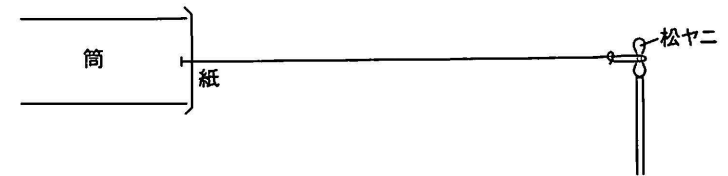
夏になると道路にセミの死骸がよく落ちています。これを集めましょう。そしてこのセミを頭から腹端まで、正中線を安全カミソリ

の刃で切って開きます。この断面を雄と雌について調べます。10倍の虫メガネでよいと思います。特に腹部についてよく観察しましょう。全く構造が違うことがわかるでしょう。雌は内臓(特に卵巣)が詰まっています。産卵前のものであれば、ほとんど卵巣です。しかし雄では大部分空洞で、前腹部の両側につりがねを逆さにしたようなものがみえます。アブラゼミでもクマゼミでも同様です。アブラゼミでは褐色をしています。これは雌にはありませんので、鳴器だろうということがわかります。10倍の虫メガネで、これをよく観察しましょう。縦に沢山の繊維がみえますので、筋肉だろうということがわかります。さらに、この上端部をピンセットで探しますと、少し固い円盤のようなものがあって、その上面は凹になっています。そしてその中心から薄片が伸びてその先が膜にくっついていて、先に似た筋肉の振動がこの膜を振動させ、腹腔に共鳴してあの騒がしいセミの鳴声が出るということです。

実験C タケゼミ

セミと同じような音の出るオモチャ(これは、日本で昔からタケゼミとして市販されています)を作ってみましょう。まず、直径3~4cm、長さ5~7cmの筒(竹、プラスチックのフィルムケースの底を取り除いたもの、トイレトーパーの芯など何でもよろしい)を用意します。この筒の一端に丈夫な紙を貼ります。(第13・1図)この紙の真ん中に小さな穴をあけ、ここから糸を通して、糸の他端をループにします。割り箸か何か、棒の先端から少し後をヤスリで削って少し細くし、そこへ熱して溶かした松ヤニをひょうた

ん型に塗りつけます。松ヤニが固まったら、そこへこのループをひっかけます。これででき上がりです。棒をもって振りまわせば、クマゼミに似た音が出るでしょう。この発音の原理はセミと同じで、松ヤニと糸が擦れてその振動が紙に伝わり、紙の振動が筒に共鳴して、大きな音が出るのです。



第13・1図

14. イラガ (天敵)

予備知識：1887年、アメリカ、カリフォルニア州のオレンジ農園が、イセリアカイガラムシによって壊滅状態に追い込まれました。カリフォルニア州は、このカイガラムシの原産地のオーストラリアへ天敵の発見のため、A.ケーベレを派遣しました。こうして発見されたのが、ベダリアテントウムシです。幼虫も、成虫も、もりもりこのカイガラムシを食べます。カリフォルニア州はこのベダリアテントウムシを養殖して農園へ放しました。オレンジ農園のイセリアカイガラムシは、たちまちのうちに食べ尽くされ、1年でオレンジ園は回復しました。わずか1500ドルの費用で、ロサンゼルスからのオレンジ出荷量は、前年の3倍に伸びたのです。

実験 A イラガとイラガイッツバセイボウ

柿や桜の木には、黄緑色をしたイラガの幼虫がよくついています。刺されると、ひどく痛みます。このイラガは、冬には白くて固い、小さな卵型のマユをつくって木の幹にしっかりくっついています。まだ穴のあいていないこのマユを、できるだけ沢山集めましょう。イラガの天敵は、イラガイッツバセイボウという小さな蜂です。この蜂の幼虫は、イラガのマユの中でイラガの幼虫を食べて大きくなります。集めたイラガのマユを割ってみましょう。もし幼虫にトゲ

があれば、イラガの幼虫です。蜂の幼虫にはトゲがありません。トゲは、特に頭と尾に、褐色の鋭いものが何本も生えていますのですぐにわかります。割ったマユの何%くらいがイラガイッツバセイボウに寄生されたか、地域別に調べましょう。イラガの天敵は、中国に5種類いて、そのうちの1つであるイラガイッツバセイボウという蜂は、明治時代に、日本に入ってきて、戦後、急に広がったようです。(盛口 満著 “里山の博物誌” 木魂社 1993 参照)

15. カミキリムシ (害虫)

予備知識：手入れをしていないイチジクの木や木の幹や枝の、所々に穴があいていて、そこから木屑が沢山、外へほりだされているのをよくみかけます。これは、カミキリムシの幼虫が出した糞で、多くはクワカミキリです。ひどい場合、イチジクの木は枯れます。夏に卵から孵化した幼虫は、枝や幹に入り込みます。幼虫は、そこから根の方へ向かって、幹の内部を食べながら進んでいきます。

実験 A カミキリムシの幼虫

冬には、幼虫は相当大きくなっていますので、この実験は冬の方がよいでしょう。被害にあっているイチジク、クワ、または野生のヤマグワなどの幹や枝で、糞を出す穴をみつけたらそれをたどって一番根元に近い方の穴の少し下をノコギリで切ります。もし、そこも中心部が空洞なら、さらに下の方を切ります。空洞のまわりは茶色になっています。上端に空洞のある幹や枝で、下端が空洞になっていない長さ 20 cm くらいのを沢山切って、実験室に持ち帰りましょう。実験室では、この枝や幹を空洞端から、順次 3 cm くらいずつ切っていきます。そのうちに幼虫の後端がみえてきます。幼虫は進んだり後退したりしますから、幹を立ててトントンたたいてやりますと、幼虫が出てきます。シャーレに入れて、10 倍の

虫メガネでよく観察しましょう。

実験 B

もう長い間全国的に松が枯れています。原因はマツノザイセンチュウとされています。このセンチュウの運び屋はマツノマダラカミキリと言うカミキリムシです。この幼虫も姿はクワカミキリの幼虫と似ています。枯れた松をみつけたらその樹皮をはがしてみましょう。素手では無理なので何か金物を用いたほうがよいでしょう。樹皮の内側にカミキリムシの幼虫が見つかります。

16. ハエ (感覚器)

予備知識：無脊椎動物の感覚器は脊椎動物とはかなり違ったところにあります。コオロギやキリギリスの聴覚器は前脚に、バッタやセミでは前腹部にあります。ザリガニの平衡感覚器は第2触角の根元にあります。ハエの味覚器も前脚の先についています。

これらの感覚器の感覚細胞から神経が伸びて脳に達しているのです。

実験 A ハエの味覚器

ハエを用意します。自分で採集しても良いが、釣りの餌屋へ行きますと、サシ虫というのを売っています。これはハエの幼虫ですからこれを1袋買ってきて虫かごに入れておきますと、蛹になりハエが出てきます。このハエを1日か2日間餌をやらずに置いて飢餓の状態にします。そのハエの背に接着剤を少しつけて割箸の先端にくっつけます。この時ハエの前脚が自由に動くようにしておきます。水、4%・1%・0.2%の砂糖水、10%食塩水、2%酢酸をそれぞれ時計皿に入れておきます。そして割箸を持ってそっとハエの第1歩脚の先端を時計皿の液に触れさしてみましよう。もしハエが自分の好きな味と感ずれば吻が伸びてきてその液をなめます。横から見ると良く分かります。どの液でハエが一番反応するか調べましよう。

(三輪知雄・久米又三編“生物の実験法”共立出版 1942 参照。)

実験 B コオロギの聴覚器

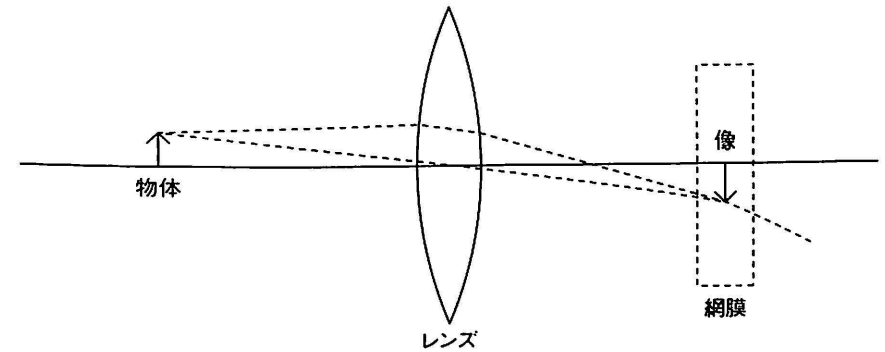
コオロギの前脚を虫メガネで観察をします。鼓膜（振動板）が見つかります。これがコオロギの聴覚器です。振動板が音波によって振動し、聴覚細胞が刺激され、それが聴神経によって脳に伝えられます。聴神経は途中、前胸神経節と食道下神経節を通過します。

実験 C ザリガニの平衡器

ザリガニの背中を良く拭いて乾燥させ、そこに接着剤をつけて割箸にくっつけます。まず水平位置にした時のハサミの位置をたしかめましょう。つぎにザリガニを左か右に傾けたとき、左右のハサミはどのようになりましたか。つぎに第2触角の片方を根元から切ります。ザリガニを水平にしたとき、ハサミの位置を観察しましょう。平衡感覚器は第2触角の根元にあります。

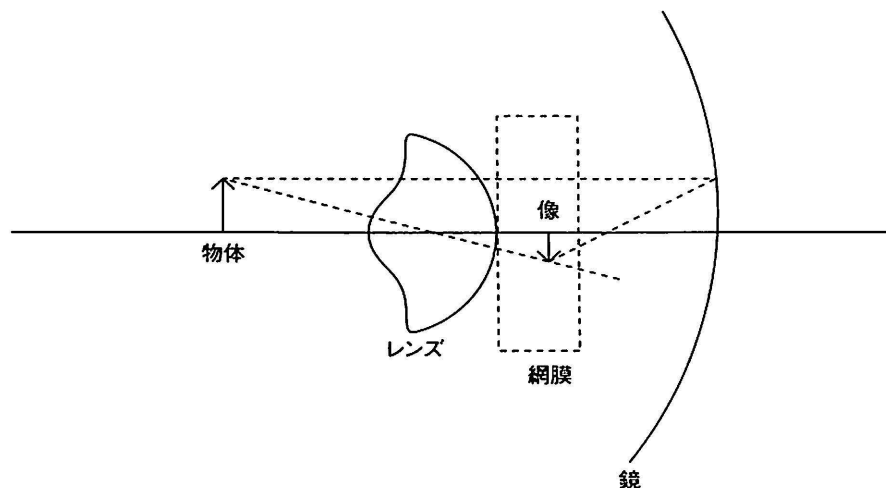
17. ホタテガイ(眼)

予備知識：われわれの眼は、第17・1図のように一つの凸レンズで、光が屈折され、物体の倒立像が網膜の位置につくられ、その信号を視神経が脳へ送って、脳が判断するように作られています。



第17・1図

しかし、動物の中には、別の原理で像をつくり物体を知覚するものもあります。そのひとつがホタテガイの凹面反射鏡を利用した眼です。(M.F.ランド著、'反射鏡をもったホタテ貝の眼'、“サイエンス”第9巻 第2号、日本経済新聞社 1979 参照) 最近の良い鏡は、光の波長の1/4の厚みをもった、屈折率の違う2種類の薄膜が交互に、何層にも重なったものが利用されています。たとえば、フッ化



第17・2図

マグネシウム (MgF_2 屈折率 1.36) と硫化亜鉛 (ZnS 屈折率 2.40) の薄膜を利用したりします。生物の場合は、このような物質ではなく、例えば細胞質 (屈折率 1.34) とグアニン結晶 (屈折率 1.83) です。その凹面鏡での原理は第17・2図に示します。

ホタテガイは敵が近づくと、水を噴射して逃げます。明らかに敵が見えているのです。ホタテガイの眼にもレンズがありますが、これは像を得るためのレンズではありません。このレンズにくっついて、中側に網膜があります。これは切片にして、染色して顕微鏡の倍率を上げてみると分かります。レンズが像を作っても、この網膜上には結びません。網膜とは、離れてその奥に凹面鏡があります。これが多重薄膜層凹面鏡であることは、切片にして調べるのですが、普通の顕微鏡ではわかりません。光の波長の $1/4$ の厚みは、普通顕微鏡ではみえないからです。しかし電子顕微鏡で見ると分かります。

実験 A ホタテガイの眼の観察

魚屋さんで生きた殻付きホタテガイを買ってきます。ナイフで貝柱を切って殻を開きます。殻にくっついた外套膜の外縁上に直径 1 mm くらいの黒い玉が点々とみえます。これが眼です。この眼を眼科用ハサミで切り出します。時計皿にのせて、反射光線で 20 倍の虫メガネで観察しましょう。レンズがみえるでしょう。この眼が反射鏡によることをみるために眼に当てる光を青、赤など違った色の電球を用いて、どんな色が反射されてくるか観察しましょう。

18. ゾウリムシ（繊毛運動）

予備知識：繊毛運動は広く動物界で見られます。たとえば、我々の気管が痰を口腔まで運び出すのは繊毛運動によります。沢山の繊毛が秩序正しく波うって、全体として一つの運動を作り出します。たとえば、水流（鰓）、ゴミ運び（気管）、ゾウリムシの運動などです。ゾウリムシは、単細胞生物です。でも運動、消化、排泄もやっています。（山本時男 著“動物生理の実験”河出書房 1949、三輪茂雄：久米又三 編“生物の実験法”共立出版 1942 参照）

実験 A ゾウリムシの培養

1リットルくらい水が入るガラスバットに汲み置きの水を入れ、そのなかに草を適當の大きさに切って、入れます。さらに、その中へ下水溝などの水底の泥（あるいは教育関係機関でゾウリムシを市販もしているようです）を入れます。30℃くらいで3～4日、放置しますと、沢山のゾウリムシが増殖してきます。

培養液の上層（ゾウリムシは、表面近くに集まっています）を少しスポイトで吸いとりスライドガラスの上にのせます。その中へ極少量の綿を入れ、カバーガラスをして観察します。20倍の虫メガネでみます。運がよいと綿の繊維で動けなくなったゾウリムシを観察できます。繊毛運動そのものは、生物顕微鏡で400倍まであげな

いとみえません。20 倍の虫メガネで正常運動、障害物にぶつかったときの運動などを観察しましょう。

実験 B 塩化カリウム

ゾウリムシの培養液を 1 滴、スライドガラスの上にとり、その中へ 1/5 モルくらいの塩化カリウムの溶液をスポイトで 1 滴加えて、実験 A と同様にして、観察しましょう。運動はどのように変化しましたか。塩化カリウムによって、繊毛の運動様式が変化したのです。

実験 C 電圧

ゾウリムシの培養液をスポイトで、少し多めにスライドガラスの上へのせ、それを少しのぼします。一人が 20 倍の虫メガネで観察しながら、もう一人がそのスライドガラスの上の培養液の両端に、電池（6 ボルトくらい）から引いた電極を短時間入れてみましょう。そして運動の変化を観察します。

実験 D 走化性

スライドガラスの上に、ゾウリムシの培養液を 2 滴ほど取り、その両端にカバーガラスを割った割片を置き、その上にカバーガラスをのせます。そしてゾウリムシの培養液の片隅へ酢酸溶液（0.2 %、0.02 %）を入れて、少し待ち、20 倍の虫メガネで観察しましょう。もしゾウリムシが酢酸の方へ集まれば、走化性は+（プラス）、反対のほうに集まれば-（マイナス）と判断します。いろいろの薬品につ

いて調べましょう。

19. 有孔虫（石灰岩）

予備知識：今から数億年前の海には、たくさんの有孔虫が生息していました。その殻が、海底に蓄積されてできたのが石灰岩です。有孔虫は、単細胞の原生動物ですが、殻をもっています。

中部地方では、岐阜県の赤坂の石灰岩採石場へ行きますと、石のかけらを探しますと、フズリナなどの有孔虫が表面に見える石が、昔はたくさん落ちていました。この有孔虫は、現在でも海に生息してしまして、その殻が波によって海岸にうちあげられ、砂の中に混じっています。

実験 A 有孔虫の殻

（岩波洋造・森脇美武・渡辺克巳著“生物の実験（Part II）”講談社 1999 参照）

海岸の砂（たとえば、名古屋の近くなら知多半島先端の内海海水浴場の砂、貝殻がたくさん集積している所の砂がよい）を採集してきます。これを新聞紙の上で乾燥させます。これを 300 ml くらいのビーカーに半分くらい入れ、そのなかへ四塩化炭素の原液を流し込み、ガラス棒でかきまぜます。この液は臭いし、少し毒なので室外で実験しましょう。次にこの上澄み液を取り、それを濾紙で濾過します。使った四塩化炭素は捨てずに、別のビンに保存しておきま

しょう。濾紙を乾燥させ、その中心部を 20 倍の虫メガネで探します。直径 0.5 mm くらいの、小さな巻き貝状のものを見つけたら 100 倍の顕微鏡で調べましょう。巻貝のようにきれいに巻いていません。有孔虫はいろいろの種類があります。上述の本の図などと較べて確かめましょう。

20. ジャガイモ (酵素)

予備知識：生物体内の多くの化学反応は、酵素の触媒作用のもとで進行しています。酵素自身はタンパク質で反応によって変化しません。酵素を用いると、都合のよい点は、低温でも反応が起こること、また反応の制御がし易い点でしょう。酵素反応も化学反応ですから、温度の影響を大きく受けます。化学反応は常温付近では、温度が 10℃ 上昇しますと、反応速度は、約 2 倍 ($Q_{10}=2$) になります。しかし、酵素反応では温度が上がりすぎますと反応速度はかえって下がります。それは、高温によって酵素タンパクが変性するからです。生物反応(例えば、心臓拍動)は、連続した酵素反応の結果としておこります。

実験 A カタラーゼ

10 ミリリットルガラス製クダビン (押し込み式栓のもの、スクリュウ栓ピンは危険) に 3% 過酸化水素を入れます。これにジャガイモをおろし器ですって一つまみ入れ、すぐに栓をしかりします。しばらく待っていると栓がポンという音とともに高くとびあがります。ピンは、できるだけ体から離すようにします。歪みや傷があったりして破裂する危険のあるピンは使わないように。手袋をしてピンを持つのもよいでしょう。この実験は、 $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ の化

学反応が常温ではゆっくりおこるものを、カタラーゼという酵素が触媒することによって、急速に進行し、出てきた酸素の圧力で栓を飛ばすのです。カタラーゼは、生物の細胞に普通にある酵素です。

実験 B 酸化酵素

カテコールやピロガロール (第 20・1 図) は、普通に木の皮などに含まれています。これらのうすい溶液を作り放置しておきますと自然に色づいてきますが、ジャガイモをおろし器ですって、そのしほり汁を加えておきますと、ずっと早く褐色から黒くなってきます。酸化酵素の働きによります。しほり汁を煮沸して酵素を変性させると、しほり汁効果はなくなります。また、酢酸などで酸性にしても効果は下がります。さらにフェニールチオユレアのような銅とくっつく物質を加えても、この効果は下がることを確かめましょう。



第 20・1 図

我々の髪の毛の黒い色は、メラニンという物質によりますが、これはチロシン (第 20・1 図) というアミノ酸がチロシナーゼという酵素の触媒によって酸化されたものです。

実験 C Q₁₀

メダカの胚の心臓拍動の Q₁₀ を測定してみましょう (拙著 “誰にでもできるメダカの実験” 参照)。心臓が拍動しているメダカ卵をリンゲル液とともにシャーレに入れます。20 倍の虫メガネで観察すると、心臓が拍動しているのがわかります。2 人 1 組になって 1 人は時計を見て合図し、もう 1 人が心臓を見て、1 分間に何回拍動するか数えるのです。10℃ (氷を加えて作ります)、20℃、30℃ (お湯を加えて作ります) の中で測定してみましょう。20℃ での拍動数が 10℃ での拍動数の約 2 倍になっていますか。

21. ツユクサ (光合成)

予備知識：植物は葉で太陽のエネルギーを用いて水を分解し、空気中の二酸化炭素を吸収してブドウ糖を合成します。このとき葉から酸素を出します。さらにブドウ糖を沢山つないで、デンプンとセルロースをつくります。デンプンは、茎や根に蓄え、セルロースで新しい細胞壁をつくります。

実験 A 酸素の発生

(D.R.ハーシー著、辻・吉田訳“家庭のできる植物実験”丸善 1999 参照)

ツユクサの葉から、直径 3～5 mm の円盤を 5 枚程切り取り、5 ミリリットル透明ガラス製注射器 (針なし) の中に入れておきます。この注射器で 3% くらいの重曹 (いわゆるタンサン、ベーキングソーダ) 水を吸い上げてから、注射器の先を上に向け、中の空気を追い出します。次に注射器の口を指で抑え、押し棒を少し引いて器内を減圧して、注射器を指でトントンとたたきますと、中の円盤は沈んでゆきます。(植物の種類によって切り取った円盤が沈みにくいので、沈む葉で実験します。) このまま、注射器を蛍光灯に近づけて十分、光をあてます。しばらくすると円盤が浮いてきます。これは光合成によって酸素が発生し、泡として円盤の外側にくっつき、

浮力が生ずるからです。いろいろの葉について試してみましょう。
植物によって光合成の速度も違います。

実験B デンプン

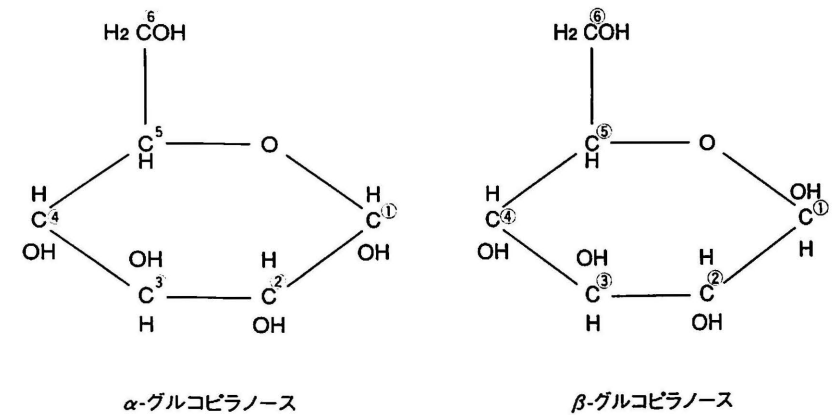
昔は、ワラビの地下茎からデンプンをとって、ワラビモチを作りました。ワラビの地下茎を掘り出してみましょう。直径5mmから1cmくらいの黒い茎が沢山地下を走っています。これを洗って、片刃安全カミソリの刃で横断し、薄い円盤をつくりスライドガラスの上にのせます。中は白くなっています。この円盤の上に、市販のヨードチンキを10倍に薄めた液をスポイドで1滴、垂らしてしばらく置き、カバーガラスをして20倍の虫メガネで観察します。もしデンプンがあれば、青くなります。この青い部分の分布も調べましょう。デンプンは表皮下に多いでしょう。また、ほとんど青くならない、つまりデンプンのない部分もあるでしょう。このデンプンは、夏から秋には沢山見られますが、冬から春にはどうでしょう。季節による違いを調べましょう。また採集してきた地下茎を、冷蔵庫に保存しておいた場合、そのデンプン量はどのように変化していくか調べましょう。

実験C デンプンとセルロース

動物は、デンプンは消化できるのに、セルロースは消化できません。消化酵素がないのです。牛や馬がセルロースを主食にしているのに消化できるのは、バクテリアの助けを借りているからです。デンプンとセルロースは、どちらもブドウ糖でできているのに何が違

うのでしょうか。それは、デンプンは α -グルコピラノースが、セルロースは β -グルコピラノースが連なったものだからです。グルコピラノースはブドウ糖のことです。

α -グルコピラノースと β -グルコピラノースはどちらも $C_6H_{12}O_6$ の分子式ですがその立体構造が違います。(第21・1図)



第21・1図

この両方の模型を竹串と粘土で作ってみましょう。第21・1図のHとOHは、6角形面に対して垂直に、上下に出ているものとして作りましょう。普通、ブドウ糖の水溶液では、25℃で38%が α -ピラノース型、62%が β -ピラノース型とされています。問題は、1番目の炭素のまわりのO、C、OH、Hの立体配置にあります。この1番目の炭素のような不斉炭素があると、偏光面を曲げる性質がありますのでこれを実験してみましょう。偏光板（1枚150円くらいの安いものでよしい。東急ハンズなどで売っています）を2枚

用意します。2枚の偏光板を両手にもって、光の方に向かって2枚を少し離して見ます。一方を回転させますと、明るくなったり暗くなったりします。これは、両者の偏光面が違っていると暗くなるからです。次に、この2枚の偏光板の間にハチミツ（この中に沢山のブドウ糖が入っている）の水溶液を置いてみましょう（実際には、メスシリンダーにハチミツ水を入れ、その上と下に偏光板を置いて下から光をあて、偏光板の一方を回転させればよい）。間に純水を置いた場合とハチミツ水を置いた場合、暗くなり方が違いましたか。ブドウ糖水は、偏光面を回転させます。

さらにここで興味深いのは糖尿病との関係です。糖尿病は最近大変多い病気です。ご飯やパンなどデンプンを食べ、消化吸収すると、血液中のブドウ糖の濃度が上がります。このブドウ糖は、膵臓で作られるインシュリンというホルモンの分泌を刺激します。この分泌刺激作用は、 α -グルコピラノース型の方が、 β 型より強いことが知られています（仁木厚著『研究とその背景を語る』“Diabetes Frontier”第10巻 第6号、1999参照）。分泌されたインシュリンは、細胞が血液中のブドウ糖を取り込み、利用するのを助けます。ですからインシュリンが不足すると、ブドウ糖は利用されず、いつまでも血液中に高い濃度でとどまり（高血糖）、尿中に洩れて出ます（糖尿）。これが糖尿病です。

実験D セルローズ

セルローズが実際にブドウ糖からできていることを証明しましょう。綿はセルローズです。これを酸で加水分解します。

綿1グラムを300ミリリットルの三角コルベンに入れ、これに濃塩酸5ミリリットルと水1ミリリットルを加えて10分間熱します。ただし、塩酸が蒸発して危険ですので、第21・2図のように1mくらいのガラス管をコルク栓を通して三角コルベンに取り付け、ガラス管を何かでしっかり固定しましょう。熱し終わったら無水炭酸ソーダで三角コルベン内を中性にし、フェーリング反応を利用してブドウ糖ができているかを検査します。（武田一美著“おもしろい化学の実験”東洋館出版社1992参照）



第21・2図

フェーリング反応

試験管に検査する液を1ミリリットルとりフェーリング試薬8ミリリットルを加えて沸騰水中で10分間熱します。酸化第一銅の赤色沈殿が生ずれば還元糖（ここではブドウ糖）があることを示します。

フェーリング試薬

A液： $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 31グラムを500ミリリットルの水に溶かしたもの

B液：ロッシェル塩173グラムと苛性ソーダ50グラムを500ミリリットルの水に溶かしたもの。

使用前にA液にB液を等量混合します。逆にしないこと。

（満田久輝著“要説実験栄養化学”いずみ書房1966などの化学実験書を参照）

22. アジサイ（青い花）

予備知識：青い花の色は、アントシアンという水溶性の色素によります。酸性で赤、アルカリ性で青となります。紫シソの色は、アントシアンによるもので、梅干が赤いのはアントシアンが酸性で赤くなっているのです。これに基づいてドイツのヴィルステッター（1915年、クロロフィルの研究でノーベル賞を受賞しています。）は、青い花は花びらがアルカリ性だからとpH説を発表しました。当時、ヴィルステッターはあまりにも偉い人だったので長い間、この説が一般に信じられてきました。しかし、1916年、これに反対したのが、東京大学教授の柴田桂太先生でした。理由は、生物細胞は弱酸性であって、病気以外ではアルカリ性にならないこと、さらにアントシアンのアルカリ性での青は不安定であって、色もよくないということです。柴田桂太先生はpH説を否定して、そのかわりに金属錯体説を発表しました。これはアントシアンが、金属と錯体をつくることによって青くなるという説です。pH説は長い間世界の主流でしたが、今はほとんど信用されていません。（安田 齋著“花の色の謎”東海大学出版会1976参照）

実験A アジサイの青

青いアジサイの花を乳鉢に入れて、これに0.1N塩酸を加えてよ

くすります。塩酸は赤くなります。アジサイのアントシアンが溶け出して、酸性のため赤くなったのです。これを濾紙で濾過しますと、美しい赤い水溶液が得られます。これを2つに分けて、その一方には、0.1 N の苛性ソーダを加えていき、アルカリ性にしますと、青緑色になります。アジサイのアントシアンのアルカリ性での色です。もう一方の赤い液には、0.1 N の苛性ソーダを少しずつ、注意して入れてゆき、中性近くにもっていきます。液は、まだ赤いままで。試験紙で、pH 6～pH 7 になっていることを確かめます。そして、この赤い液に、アンモニアミョウバン(アルミニウムが入っている)を薬サジで一杯いれて、よく振ってみます。青くなってきたでしょう。後者の pH を念のためしらべてみましょう。2 本の試験管の青色もくらべてみましょう。実際のところはよくわかりませんが、柴田桂太先生の説の方が正しそうですね。アルカリ性で青にしたほうは、だんだん色が変わってきていませんか。アンモニアミョウバンのかわりにアルミニウムや鉄の他の化合物を加えたときはどうなるかしらべてみましょう。

23. ホテイアオイ (花柱)

予備知識：メシベの先端の柱頭から卵子の入っている子房までの間を花柱といいます。同じ種類の植物の花でも、この花柱の長いもの(長花柱花)と短いもの(短花柱花)が混じっています。これを最初に研究したのは、進化論で有名な C.ダーウィンです。(拙著“生物のお話”ホテイアオイの項参照)これがどうして重要かといいますと、たとえばソバでは、長花柱花は、短花柱花の花粉でないと受精せず、また短花柱花は長花柱花の花粉でないと受精できないからです。(長友 大著“ソバの科学”新潮社 1984 参照)

実験 A ホテイアオイ

池や川、またはメダカや金魚の水槽で、よくみかけるホテイアオイは夏から秋にかけて、美しい淡紫色の花を咲かせます。ダーウィンが研究したのも、この花です。この花には3通りの花があります。(バレット著‘猛威をふるうホテイアオイ’“サイエンス”第19巻第12号、日本経済新聞社 1989 参照)

日本では、大部分が中花柱花で、長花柱花も少しまじっています(オシベの柄の長さと比較しましょう)。違った場所から採集したホテイアオイの花柱を虫メガネで調べてみましょう。花柱の長さは、遺伝的に決まっていて、短花柱花はアマゾン川流域でしかみられま

せん。

実験 B カタバミ

植物が種子をつくる場合、多くは花粉がメシベの柱頭についてそこで花粉から花粉管が伸びて、子房の卵子と受精をします。この花粉から花粉管が伸びることを花粉の発芽と呼ぶことにします。多くの花の園芸品種では花粉が発芽しません。球根で増殖する植物の花の花粉も発芽しないものが多いです。

まず花粉発芽用培地をつくります。8%の砂糖水を熱してその中へ1%の割で寒天を入れ完全に溶かします。これをシャーレの底に厚さ1~2mmくらい注入します。そのようなシャーレをいくつか作ってふたをして、冷蔵庫に保存しておきます。

先が平らなサジを用いて寒天を1辺が1cmくらいの四角形に切ってスライドガラスの上にのせます。この寒天上にカタバミの花粉をつけてカバーガラスをしておいておきます。10分~30分もすると発芽してきます。

利用可能な花は今まで調べたところではサルスベリ、カタバミ(在来種)、ルピナス、茶、ツバキ、カリフォルニアポピーなどです。皆さんも色々な花を調べましょう。市販のアサガオの種子から咲いたアサガオの花粉はほとんど発芽しません。昔からよく使われるのはハウセンカですが、最近市販のハウセンカはほとんど八重ハウセンカで、これは花粉がうまく取れません。ハウセンカは発芽が早いです。

カタバミについて、実験 A と同様のことを調べましょう。

実験 C ソバ

ソバの花について、実験 A と同様のことを調べましょう。

24. ダイズ (乾湿運動)

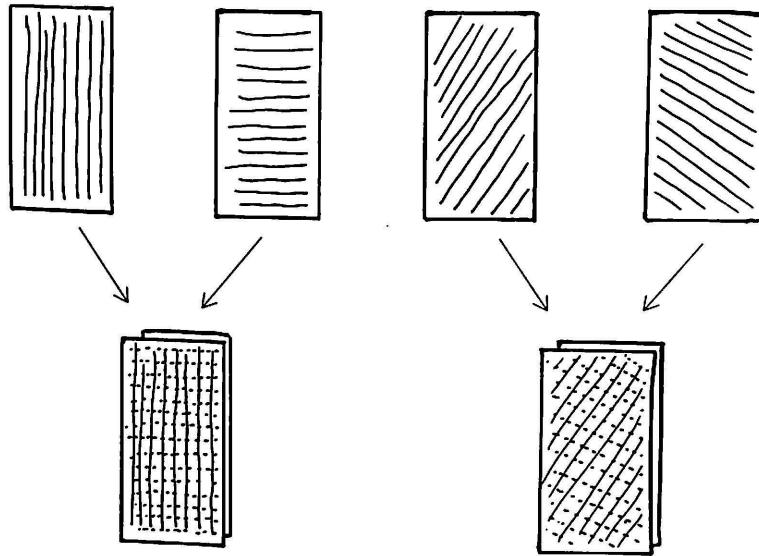
予備知識：多くのマメ科の植物の実は、乾燥するとその莢がねじれて中の種子をはじきとばします。フジマメなどを部屋においておくと、はじかれた種子が窓ガラスにあたって、びっくりすることもあります。この莢がねじれる機構をしらべるのがこの実験の目的であります。

実験 A ダイズの実の莢

生のダイズの実の莢を乾燥させましょう。乾燥器は手作りでもできます。板で 20～30 cm 立方の箱をつくり、上面のみガラス板をのせます。中に、60 ワットくらいの電球を入れてできあがりです。100 ワットは強すぎるのでやめましょう。このガラスの上に、ダイズの莢をおいて、乾燥させればよいのです。次第にねじれてきます。次に、どうしてねじれるのかしらべます。生の莢を 20 倍の虫メガネでみましょう。幾つかの層に分かれていますので、AA ピンセットでこの層を一枚ずつはがします。このとき各層は、沢山の繊維できていること、またこの繊維が方向性をもっていることを確かめましょう。またこの繊維の方向が、層によって違うことも確かめましょう。

実験 B 莢のモデル

繊維の方向の違う 2 枚の紙を貼りあわせます。第 24・1 図のような、繊維が異なる方向の短冊をいろいろ作ります。紙の繊維の方向は、破ってみるとわかります。破れ易い方向と、破れ難い方向があります。その破れ易い方向が繊維の方向ですから、鉛筆でその方向を紙の上を書いておきます。紙の中には、方向性のないものもありますから、方向性のある紙を選びましょう。



第 24・1 図

つぎに、この短冊から任意に 2 枚選んで、ノリで貼りあわせます。そして乾燥させます。どれが一番よくねじれましたか。また、その場合の繊維の方向は、実際の大豆の莢の繊維の方向と一致しましたか。（この実験は名古屋大学名誉教授高木典雄先生から教えていた

だきました。）

実験 C スギナ

トクサ類は古生代や中世代（今から 1 億年以上前）に栄え、現在のものはその生き残りです。当時は、高さが 30 m のものもありました。スギナは、北半球に広く分布しています。ツクシは 3 月頃出てきて、無数の灰緑色の胞子を散らせます。この胞子を時計皿にとって、10 倍の虫メガネで観察しましょう。そのとき、静かに息をふきかけると胞子は踊ります。その理由を考えてみましょう。セロファン紙を細く切って、息をふきかけると同様に動きます。また熱いうどんにふりかけた削りカツオの運動も参考にして、ツクシの胞子の踊りの理由を考えましょう。

実験 D ツクシ

秋の終わりころ、スギナの沢山あった場所を掘りますと、縦横に走っている黒い地下茎が見つかります。そして、そのところどころに小さなツクシがついています。これを地下茎とともに切り出して、土を入れた植木鉢に埋めておきます。暖かい所においておきますと、お正月ころにツクシが出てきます。一度ためてみましょう。

25. スイバ (草木染)

予備知識：スイバはソバと同じくタデ科の多年草で、道端に普通にある草です。その若芽がスカンポです。アジアからヨーロッパにかけて分布しています。長い葉ですからすぐわかります。(第25・1図) 根の基部が黄色く太くなっています。冬でも根生葉がありますのでどこにあるかすぐわかります。雄株と雌株があります。5～6月頃茎が伸びて穂状に花が咲きますが雄株をたたくと花粉が沢山飛びますのでわかります。スイバの性決定様式は小野知夫先生(スカンポの先生)の研究によって動物と似ていて面白く有名な植物です。



第25・1図

実験 A カリミヨウバン

媒染剤として染色に用いるカリミヨウバンを自分で作りましょう。アルミ箔を1グラムとり300ミリリットルのビーカーに入れます。そこへ4モルの苛性カリ (KOH) を50ミリリットル入れますと盛んに泡が発生します。これは屋外へ出しておきましょう。10分もすると完全に溶けます。そこへ9モルの硫酸30ミリリットル入れますが、濃硫酸は大変危険ですので特別に注意して大人と一緒に実験しましょう。少しでも手についたらすぐに水道水で洗いましょう。衣服につくと穴があいてしまいます。硫酸を入れたらビーカーのまま氷で冷やします。ミヨウバンが出来ているでしょう。

実験 B 染色

500ミリリットルのビーカーにスイバの黄色い根を切りきざんで入れ、そこへ200ミリリットル程水を入れ煮沸します。液が黄色くなってきました。そこへ白い布を入れ染色します。染まりましたらそこへ実験Aでつくったミヨウバンを入れます。黄色によく染まったら水染して乾燥します。ミヨウバンの代わりに硫酸第一鉄を加えた場合どうなりますか。緑色がかってくるでしょう。

また、スイバの根の代わりにクロマメを水で柔らかくしその皮を用いたらどうなりますか。紫色に染色されるはずですが。(井上友治・渡辺義一・後藤章共著“原色化学実験プロセス図説”黎明書房1988参照)

26. ヒマワリ (フィボナッチ数列)

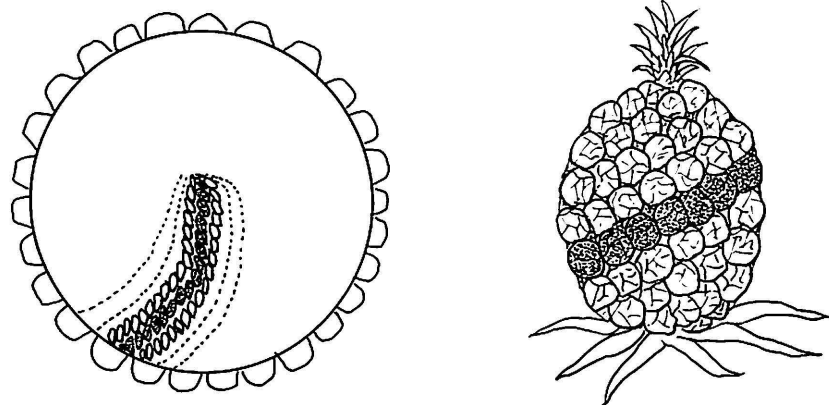
予備知識：1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ……という数列をフィボナッチ数列と呼びます。(拙著“生物のお話”ヒマワリの項参照) イタリアのL.フィボナッチが発見した数列です。特徴は前2項を加えると次の項になっていることです。生物の世界ではこの数列がよく出てきます。たとえばヒマワリの種子やパイナップルの果実の模様の列の数がそうです。その他、ある蜜蜂の親の数、親の親の数、親の親の親の数、……とか、イチゴの種子の配列とか、芋を一回りする間のジャガイモの芽の数などです。

実験 A 種子の配列

マツボックリ、パイナップル、ヒマワリについて第26・1図のようならせんの列の数を右まわり、左まわりについて数えましょう。フィボナッチ数列のメンバーになりましたか。標品によって多少違うこともあります。

実験 B 算数

次の問題を解いて下さい。今ある農家にウサギが1つがい(雄と雌1匹ずつ)いました。このウサギは毎月1つがいずつの仔を産みます。生まれた仔は2ヶ月後から毎月1つがいずつの仔を産みます。



第26・1図

半年後、1年後にはこの農家に何つがいのウサギがいることになり
ますか。ただし、ウサギは死なないとします。

27. パピルス（紙）

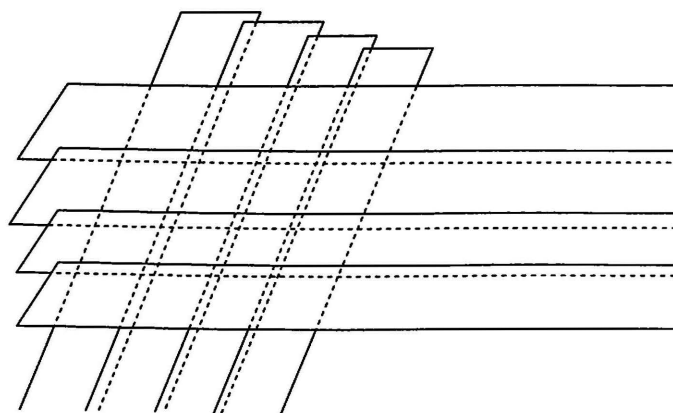
予備知識：パピルス（カミガヤツリ）はナイル河の水辺に大群落を
つくっていたカヤツリグサ科の多年生植物です。現在はもうエジプ
トのデルタ地帯にはなく、ナイル河上流の湖や河畔に生えています。
中国人が発明した近代的な紙がヨーロッパに入る8世紀頃まで、エ
ジプトを中心にこのパピルスを利用して紙が作られ利用されてい
ました。最近の木材を原料につくる紙づくりはスズメバチの巣がヒ
ントになって、ヨーロッパで開発されたそうです。

実験A パピルス紙

パピルスは大きな園芸店に頼めば苗を手に入れてくれます。熱帯
の植物ですから日本では冬は野外におきますと枯れてしまいます。
春から秋まで野外でどんどん伸びますから、夏から秋まで実験でき
ます。直径80cmから1mくらいの常滑焼きの水がめの底に土を
入れて肥料を入れパピルスの根を植えますと、容易に育てられます。
秋の終り頃、根を掘り出してビニール袋に入れて、屋内に入れてお
けば冬を越しますから、春になってまた外に植えればよいのです。
秋には大きな根になりますから、ノコギリで適当な大きさに切って
幾つかに分け、冬中屋内に入れておきます。

このパピルスの地上の茎を切り取ってきて、緑色の皮をはぎます。

安全かみそりの刃で皮をとった茎を厚さ 2~3 mm くらいの短冊に切ります。この短冊を沢山作ります。大きい板か、ストーンテーブルの上に白い木綿の布を敷き、その上に先に作った短冊を第 27・1 図のように縦横に少し重ねて並べます。その上から木綿布をかぶせて、木槌で弱くたたきます。水がしみ出してきてそれを布が吸い取ります。布をていねいにはずして、この湿ったパピルス紙をフェルト紙か電話帳の間にはさんで上から重しをして乾燥させれば出来上がりです。でき上がったら好きな絵を描きましょう。



第 27・1 図

実験 B 和紙

ミツマタやコウゾがよいですが、手に入らないときはクワやヤマグワなど身近なところにある木や草を使って試してみましよう。木なら 2~3 年目の枝の表皮を除きその下の白皮を取り出します。こ

れを 1~2% 苛性ソーダで 10~20 分煮ましよう。その後水洗いしてアルカリを除き、板の上で木槌でたたいて白皮をほぐします。この白皮からとった繊維にノリウツギかトロアオイからとったノリあるいは洗濯ノリをまぜて、それを布または網戸の網をはった木枠(すのこ)に流し込んでシート状のものを作ります。あとは乾燥するだけです。(井上友治・渡辺義一・後藤章共著“原色化学実験プロセス図説”黎明書房 1988 参照)

28. ソバ (タンパク質)

予備知識：ソバ屋でザルソバかモリソバを注文しますとあとでソバ湯が出てきます。しかし、うどん屋でザルうどんを注文してもうどん湯は出てきません。なぜでしょう。これはソバの茹で汁とうどんの茹で汁では成分が違うのです。ソバ粉の中のタンパク質は容易に溶け出しますが、うどん粉の中のタンパク質はソバ粉より溶け出しにくいのです。

実験 A タンパク質

ソバ粉、小麦粉、上新粉、コーンスターチ、クズ粉を等量ずつ別々にビーカーに取りそれぞれ一定量の水を加えてかくはんし濾過します。この濾液について、ビュレット反応でタンパク質量を測定しましょう。

測定方法：被検液 1 ミリリットルを試験管に取りビュレット試薬 4 ミリリットルを加えて 20～25℃ で 30 分放置します。赤紫～青紫色が濃く出る程多くのタンパク質を含んでいるのです。

ビュレット試薬： $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1.5 グラムとロッシェル塩 6 グラムを 500 ミリリットルの水に溶かします。かき混ぜながら 10 % 苛性ソーダを 300 ミリリットル加えます。これに水を加えて 1 リットルとし保存します。0.1 % ヨウ素カリウムを加えておくと還元

を防止することが出来ます。(満田久輝著“要説実験栄養化学”い
ずみ書房 1974 などの化学書参照)

29. オナモミ (マジックテープ)

予備知識：オナモミはキク科の1年草で、いたるところの道端に
あります。ユーラシア大陸から北アメリカにも分布しています。ヌス
ビトハギはマメ科の多年草で、どこの道端にもあります。北インド・
中国・日本に分布しています。キンミズヒキはバラ科の多年草で漢
方薬に使われます。田舎の道端に多いです。アメリカセンダングサ
もいたるところの道端にあります。(第29・1図) (これは、名古屋
大学名誉教授高木典雄先生に教えていただいた実験です)



第29・1図

実験 A 実の観察

オナモミ、ヌスビトハギ・キンミズヒキ・アメリカセンダングサ
の実を10倍の虫メガネで観察しましょう。いずれも秋に実ができ

ますのでこの実験は秋にするのがよいですが、実を集めて保存しておけばいつでも出来ます。これらの実は衣服にくっついて困ります。どうしてくっつくか調べましょう。

実験 B マジックテープ

市販のマジックテープを買ってきて虫メガネで観察しましょう。実験 A の実と似た構造であることがわかります。マジックテープはスイスで発明されたようですが、草の実がヒントだったのかも知れません。

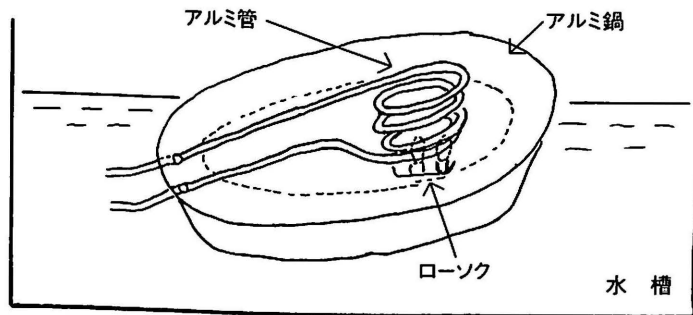
30. ポンポン船 (熱機関)

予備知識：船は生物とは関係ないように見えますが、実は船も動物も共に熱機関なのです。エネルギー転換系としては同じなのです。熱力学の法則ではエネルギーと言うものは急になくなったり、何もないところから急に湧いて来るようなことはないのです。いつでもエネルギーはいろいろの形に転換してゆくだけなのです。動物や船が動くときは運動のエネルギーが生じます。その運動のエネルギーは何か外のエネルギーから転換してこなければならぬのです。それは何か。それは熱や化学エネルギーなのです。船は石炭や石油を燃やして熱エネルギーを取り出し、気体を利用してピストンを動かして運動のエネルギーを発生させます。動物も同じく食べたデンプンなどを酸化して出てくるエネルギーを ATP の中に化学エネルギーとして蓄え、それを筋肉を利用して運動のエネルギーに換えます。生物も物理学の法則に反するようなことはできません。熱エネルギーの何%が運動エネルギーに変わるかを効率と言いますが、熱力学の法則では高熱源と低熱源の温度のみによって、その最高効率が決まってしまう。生物もその法則に従わなければなりません。食べた食物の持っているカロリー（熱エネルギー）のうち最高何%が運動のエネルギーに転換できるかは計算できるのです。このようなことを理解するために熱機関の簡単なモデルとしてポンポン船を作

って動かしてみましょう。

実験 A ポンポン船

100円ショップで直径15cm くらいの目玉焼用アルミ鍋を買って来ます。この柄を金ノコギリで切って除きます。そして柄のついていた付近にドリルで直径5mm くらいの穴を3~4cm の間隔で2つあけます。つぎにホームセンターか金物店で長さ1m、直径5mm くらいの肉薄のアルミ管を買って来ます。このアルミ管を第30・1図のようにらせんに巻いてアルミ鍋に取り付けます。水槽に入れる前にアルミ管の中に水を入れておきましょう。図のようにローソク2本くらいで熱しますと船は走り出します。



第30・1図

あとがき

数学の勉強に行きづまって、数学科から生物学科に転向、故山本時男博士の弟子となり、メダカの研究に入ってもう50年になります。今更ながら恩師山本時男先生の偉さに驚いている毎日です。

73歳の今、現在の生物学教育、特に小・中・高等学校の生物学教育に疑問をもち、実験を中心にした新しい生物学教育のために老体にむち打って努力しようと決心し、そのための教育書としてこの本を書くことにしました。2時間くらいでできる実験、小・中学生でも拒否反応のおこらないような実験、できるだけ他の本に書いてないオリジナルな実験をとりあげようとつとめました。もっと適当な実験を御存知の方は教えていただきたいと思っています。

ここ1年半、一つ山自然教室で子供達と接してきましたが、子供の感性のすばらしさに感動しながら、生物の機能を体験していく子供達の姿をみて、日本の将来への私の夢を子供達に託している今日この頃です。

全国の小・中・高等学校で受験教育でない新しい生物学教育がはじまり、人真似や丸暗記ではなく自分で見、自分で実験し感動し、自分で考える若者が沢山生まれてほしいと私は考えています。そして将来あらゆる分野で、オリジナルな研究をする国際的な研究者が沢山生まれることを私は夢見ています。青色発光ダイオードの発明

者の中村修二さんが受験教育の弊害を強く述べておられました。私も全く同感です。

学歴や肩書きよりも直接自然に学ぶことの大切さについて国際的な糖尿病の研究者である仁木厚博士（愛知学院大学教授：内科学）は“患者に学ぶ生命”と題した公開講座で、インシュリンの発見の歴史をふりかえって説明されておられます。新しい発見や発明は大学とは限らず、思いもよらぬところからもたらされることが多いと私も考えています。

私が尊敬する親友である仁木厚博士から私は多くのことを学びました。特に感動とアイデアと独創性の大切さについては私も全く同感しています。私は一つ山自然教室で子供達と接するとき一番豊富にこれをもっているのは小学生だということを知りました。現在の日本の教育の多くがこれをつぶしてしまっていると思います。新しい自然科学教育でこの点を充分伸ばしてやりたいと私は考えています。

アメリカ G.E.社を今日のようにした J.ウェルチ会長は“企業は人なり”と書いておられますが“教育も人、国家も人”だと思います。19世紀中頃、ドイツとの戦争に負けて荒れ果てた不毛の地ばかり残ったデンマークを今日のような肥沃な農業国にしたのは、ダルガスのように親子2代にわたって財産を投げ出し国土の肥沃化に献身した人と共にそれまでのラテン語の暗記ばかりの教育を改めてグルントイやコルに始まる自然科学や数学を取入れた教育改革が大きな力となったことを考えねばならないと思います。

原稿の間違いを直したり、校正をお願いした滋賀医科大学名誉教

授の土井田幸郎博士には特に感謝しています。また表紙や裏表紙の絵を描いていただいた犬飼英子さんには私の意を良く汲んでいただき有難く感謝しています。前著“生物のお話”以来いろいろお世話になっている丸善出版サービスセンターと今回お世話になった伊藤章さんに深く感謝いたします。

2002年3月吉日

竹内邦輔

ISBN4-89597-248-8

C7045 ¥1000E



9784895972482

定価(本体1,000円+税)



1927045010001



制作・名古屋 **M丸善** 出版サービスセンター