

動物学入門

「動物学」とは生物学の一分野で、動物を対象としてその生命現象を研究する学問です。対象とする現象により、発生学、形態学、生理学、分類学、生態学、遺伝学、進化学、動物行動学、動物地理学、応用動物学などに分けられます。また、対象とする種類の動物によって、哺乳類学、鳥学、は虫類学、両生類学、魚類学、貝類学、昆虫学などに分けることもできます。さあ、まずは身の回りの動物たちを観察してみましょう。普段気がつかない動物たちの動きやその様子から疑問が湧いてくるはずですよ。すべての研究はそこから始まります。その一例としてカエルの行動について見ていきましょう。

ステップ1～動物の行動から学ぶ～

カエルの採餌行動



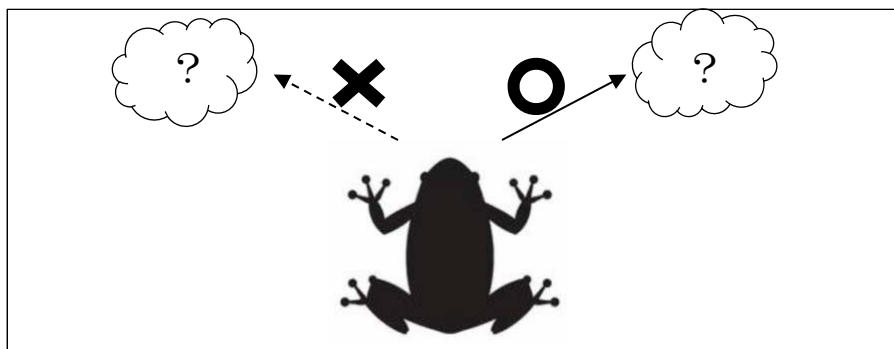
6月のある夜、部屋の窓の外側に、ニホンアマガエルが張り付いていた。カーテンを開けっ放しにしていたため、部屋の明かりに集まった昆虫を食べにやってきたようです。

その様子を観察していると、ニホンアマガエルが食べようと反応を示す昆虫と反応を示さない昆虫がいることに気がつきました。

勉強している生徒
イラスト

和名：ニホンアマガエル（日本雨蛙）
学名：*Hyla japonica*
分類：無尾目アマガエル科アマガエル属
分布：北海道、本州、四国、九州
大きさ：体長22～45mm

考えてみましょう ニホンアマガエルが採餌行動を引き起こすために必要な最も重要な要因は何だと思いますか？→例えば、餌の形・大きさ・動き（方向、速さ）・色？それとも匂い・音？ あくまで予備知識をあまり持たない現在の段階で、仮説を立てて、それを検証するための実験方法を考えるとしたら、どのような計画を立てますか？



ワークシート①

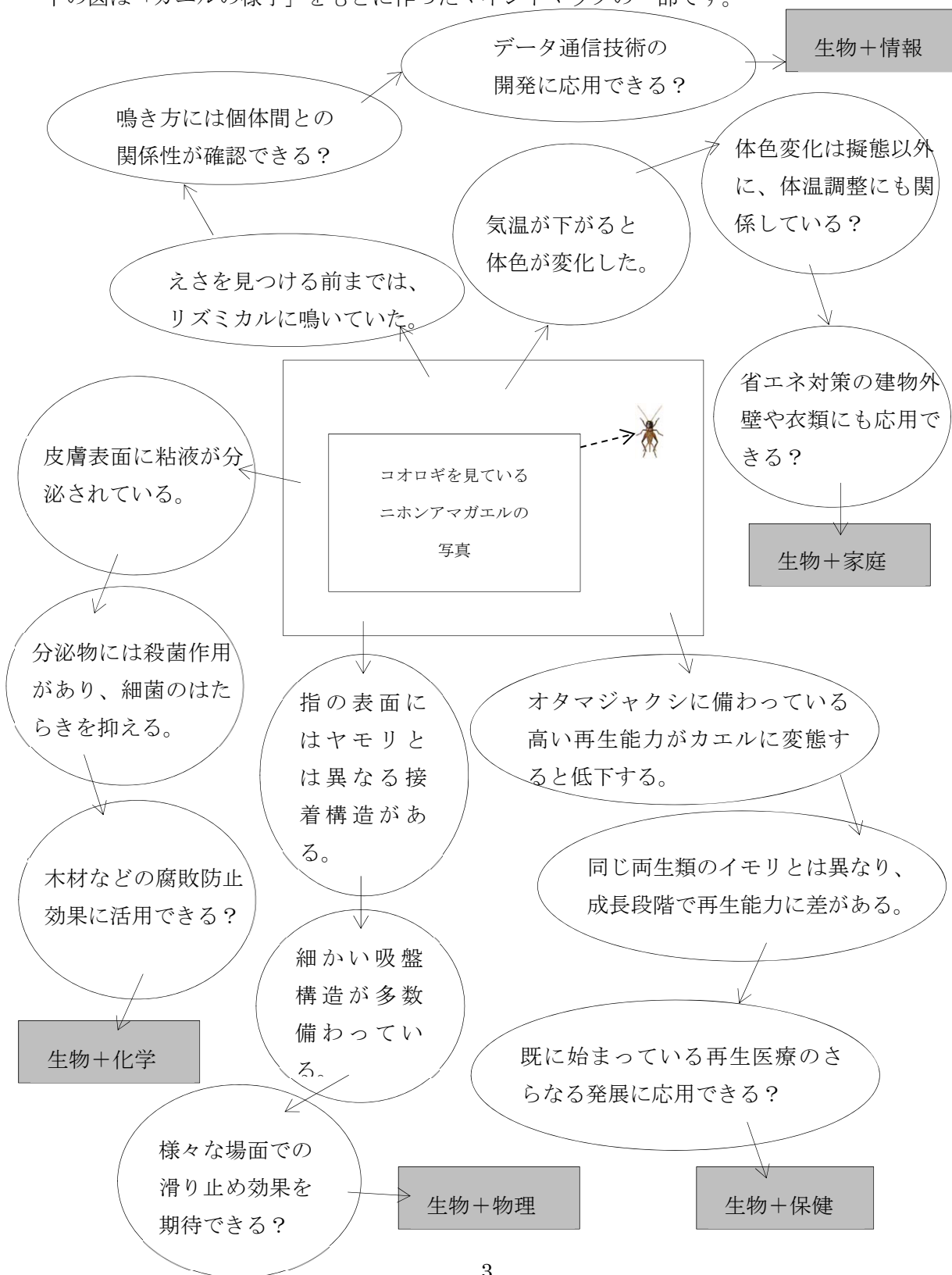
仮説「 _____

_____」

(ある要因を〇〇に変えれば、カエルは餌を食べようとする)

検証実験方法

「カエルの様子」のような、たった1つの目の前で起こった出来事からでも、様々な疑問や調べてみたいテーマが湧いてくると思います。そのためにも、その動物をしっかりと観察し、ふと思いついたきづきから連想して、新たな疑問や発想を引き出してみよう。下の図は「カエルの様子」をもとにしたマインドマップの一部です。



ワークシート②

バイオミメティクス（生物模倣技術）

…生物の体型、色、機能、行動などを模倣し、人々の生活に活用しようとする科学技術

その例を挙げてみよう。

マジックテープ…オナモミ

ヤモリテープ…ヤモリのあし

痛くない注射針…蚊の口

風力発電のタービン…ザトウクジラの尻尾

競技用の水着…サメのうろこ

パンタグラフ…フクロウの翼

人口血管…カイコの繭

新幹線の先端…カワセミのくちばし

ドローン…ハチドリの羽

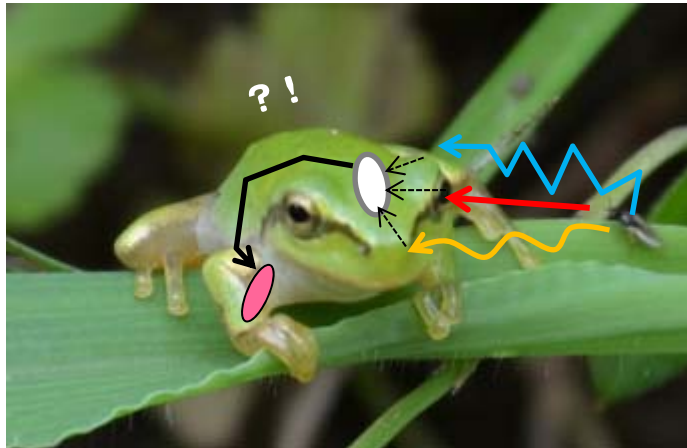
自然換気できる建築技術…アリ塚

1年 組 番 氏名

ステップ2～動物の行動のしくみを思い出そう～

中学校理科の「動物の生活としくみ」で学んだ受容器、神経系、骨格と筋肉などのはたらきを結びつけて、動物の行動がどのようなメカニズムで引き起こされるのかを考えてみよう。

例) エサを認知し、採餌行動を起こすしくみ (受容器→神経系→効果器)



刺激の受容と反応 ～体内における情報の伝達が行われる～

肉食動物が獲物の動物を追いかけている。

●この行動が視覚刺激によって引き起こされていると考えた場合、どのようなしくみで四肢を動かすことができているかを考えてみよう。

刺激の受容から反応まで

模式図

1年 組 番 氏名

ワークシート③

外部環境からの物理的、または化学的なそれぞれの刺激を敏感に感知する器官を受容器（感覚器）というが、ヒトやその他の動物の受容器にはどんなものがあるか。考えてみよう。

受容器によって受容された外界や体内の情報は、末しょう神経系のはたらきによって中枢神経系へ伝えられる。複数の情報は、そこで統合処理されて、初めて動物の反応が決まる。そして、再び末しょう神経系によって情報が伝えられ、効果器を使って反応する神経系の種類について、まとめてみよう。

効果器、特に筋肉の種類とはたらきについて、まとめてみよう。

受容器とは光、音、においなど、外部環境からの物理的、または化学的なそれぞれの刺激を敏感に感知する器官やそれに含まれる組織である。受容器は刺激の種類ごとに決まった感覚細胞をもち、特定の刺激（適刺激）だけに反応する。

表 ヒトの主な受容器と適刺激

適刺激	受容器		感覚
光（可視光）	眼	網膜	視覚
音（可聴音）	耳	コルチ器	聴覚
体の傾き		前庭	平衡
体の回転		半規管	感覚
空気中の化学物質	鼻	嗅上皮	嗅覚
液体中の化学物質	舌	味蕾	味覚
接触による圧力	皮膚	接点（圧点）	皮膚 感覚
強い圧力・極端な熱・化学物質など		痛点	
皮膚の温度上昇		温点	
皮膚の温度低下		冷点	



ヒトの神経系

模式図

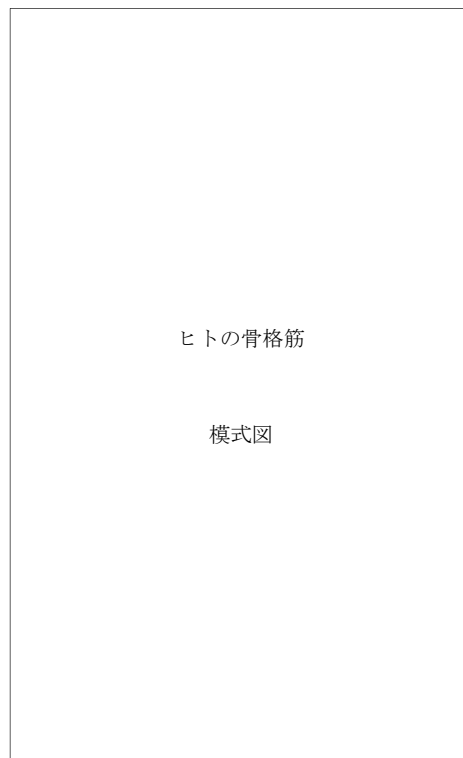
ヒトの神経系には、脳と脊髄からなる中枢神経系と、中枢神経系と体の各部との間をつないでいる末梢神経系がある。さらに、末梢神経系は感覚・運動神経からなる体性神経系と交感・副交感神経からなる自律神経系に分類される。

効果器とは、受容器によって受容した刺激に対し、反応を示す構造や装置である。効果器には骨格筋やべん毛・繊毛以外に、発電器（シビレエイなど）、発光器（ホタル）、色素胞（魚類など）や腺などがある。



メダカの色素胞

模式図



ヒトの骨格筋

模式図

メダカの色素胞

ステップ3～動物の器官について理解を深めよう～

【参考①】両生類の眼の形成 ～脳の一部から眼は形成される～

両生類の発生において、神経胚から尾芽胚になるころ、脊索は、外胚葉にはたらきかけて神経板を誘導する。脊索の前方の細胞は、神経板の前方を脳に誘導する。やがて脳の一部は眼胞となり、表皮と接するようになる。眼胞は表皮にはたらきかけ、この表皮細胞は、眼胞とともに内側にくぼんで、表皮からくびれ切れて水晶体（レンズ）となる。くぼんだ脳の部分（眼杯）は、網膜となる。さらに、水晶体は、その上の表皮を角膜に誘導する。

両生類の眼の形成

模式図

【参考②】ヒトの眼の構造 ～受容器と神経系によって情報が伝わっていく～

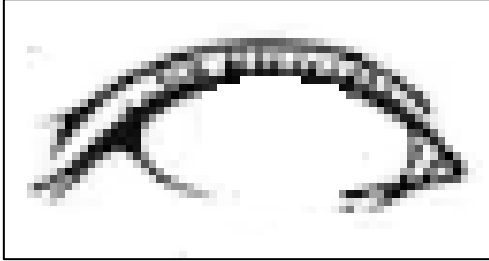
ヒトの眼の構造と視覚の伝導・伝達経路

模式図

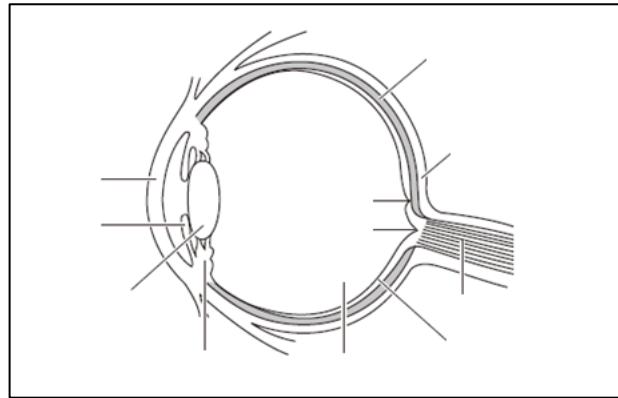
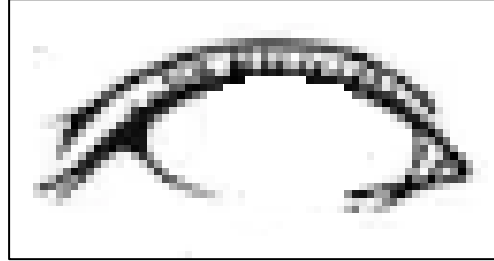
ワークシート③

明暗調節

明所

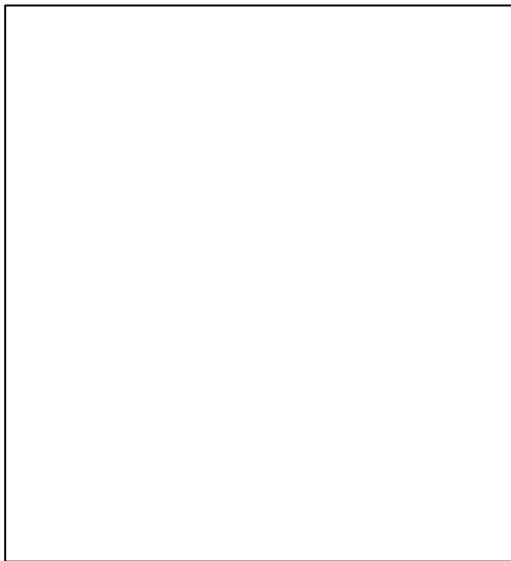


暗所

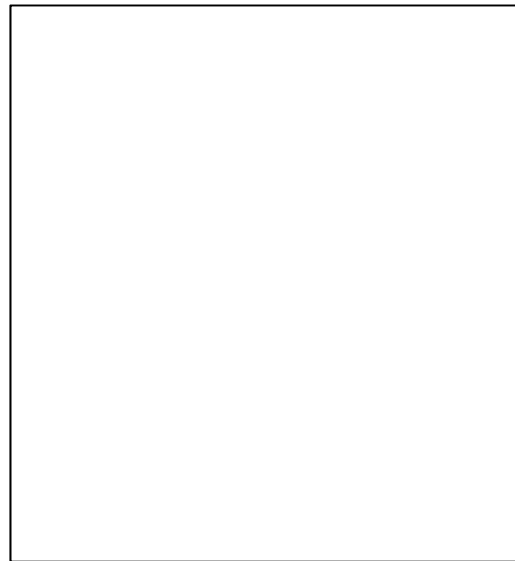


遠近調節

近調節



遠調節



参考：光の性質とレンズ ④

1 光の性質

- ① 光の速さ 光は電磁波とよばれる波の一種で、物質のない真空中でも伝わる。真空中の光速 c は、 $c=3.0\times 10^8\text{m/s}$

そもそも「光」とは・・・

ガンマ線から、X線、紫外線、可視光、赤外線、電波までの模式図

具体例

ところで、私たちの身の回りの自然現象の中で、「光」の存在やその色を直感できるものとして「虹」があります。

虹の配色について、考えてみましょう。



よく、小学校の自由研究の題材となる「虹を作ってみましょう」

どのような方法で、虹を人工的に作ることができるか。詳しく述べてください。

②光の反射・屈折 光は、異なる媒質の境界面に達すると、一部が反射し、残りは屈折する。

(a) 反射 反射の法則が成り立つ。 $\theta_1 = \theta_1'$ …①

(b) 屈折 屈折の法則が成り立つ。

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12} \quad \dots ②$$

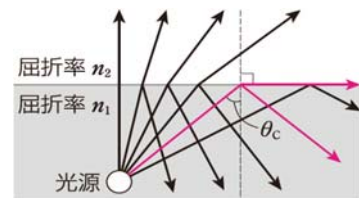
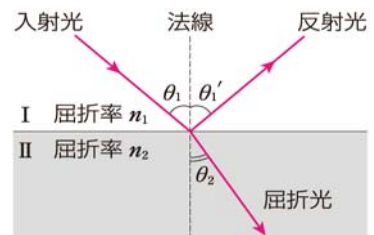
n_{12} を媒質 I に対する媒質 II の相対屈折率といい、媒質 I が真空の場合は絶対屈折率(屈折率)という。気体の屈折率は、その種類によらず、ほぼ 1 とみなせる。なお、式②は次のようにも表される。

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \dots ③$$

(c) 全反射 屈折率の大きい媒質から小さい媒質に光が入射するとき、入射角が臨界角 θ_c 以上になると、全反射がおこる。

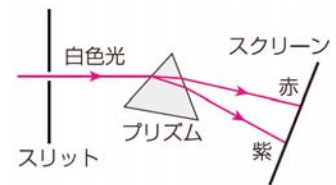
$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad \dots ④ (n_1 > n_2)$$

空気中に入射する場合は $n_2=1$ となる。



③光の分散 光をプリズムに通したとき、波長による屈折率の

違いによって光が分かれる現象。このとき見られる色の帯をスペクトルという。白熱電球などから出る白色光は、さまざまな波長をもつ光であり、連続スペクトルが得られる。一方、単色光は単一の波長をもつ光である。気体から出る光のスペクトルは線スペクトルとなり、ナトリウム灯や水銀灯で観察される。



プリズムによる可視光の屈折 スペクトルの様子

模式図

発展

右の図を参考に、虹のできるしくみについて、自分の考えを書いてみよう

→「虹」は太陽の光が空気中の水滴に屈折して入り、水滴の中で一回反射して、さらに屈折して水滴から出ていった時に現れる。

この時、光は波長によって屈折率が異なるので、「赤、橙（だいだい）、黄、緑、青、藍（あい）、紫」の7色に分かれて見える。

虹のできるしくみ

模式図

④光の散乱 光が、波長と同程度かそれよりも小さな粒子にあたると、その粒子を中心としてあらゆる方向に進む現象。

青空と夕焼けの違い

模式図

青空と夕焼け

上の図を参考に、晴れた昼の空は青く、夕焼けが赤いのはなぜだと考えられるか。自分の考えを書いてみよう。

→太陽からの光は、波長の短い青い光のほうが、空気中の気体のつぶやチリ、小さなほこりにぶつかって四方八方に飛び散る現象である散乱が起こる。

この青い光が目に入り、晴れた日、空が青く見える。

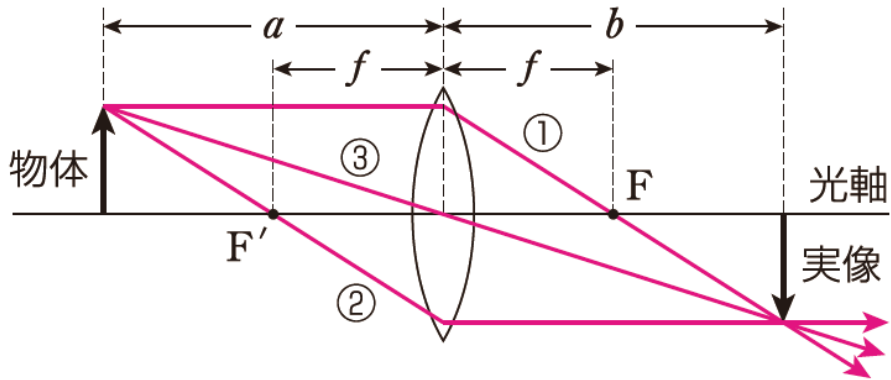
一方、夕日が赤いのは光が届く経路の長さにより、昼間の光に比べ夕日は斜めに大気の中を通過して届くため、長い経路の中で波長の短い青い光は散乱し、私たちの目に入る頃にはほとんど失われてしまい、残った波長の長い赤い光が届くため、夕日は赤く見える。

2 レンズ

レンズの多くは2つの球面にはさまれたガラスなどでできており、中心部が周辺部よりも厚いレンズを凸レンズ、薄いレンズを凹レンズという。また、レンズの2つの球面の中心を結ぶ直線を光軸という。凸レンズは光を集めようとするはたらき、凹レンズは光を広げようとするはたらきをもつ。

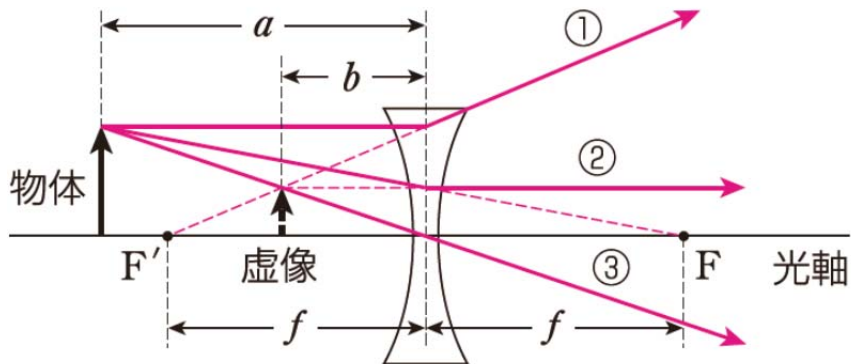
①凸レンズと光線の進路

- ①光軸に平行な光線は焦点 F を通る。
- ②焦点 F を通る光線は光軸に平行に進む。
- ③レンズの中心を通る光線は直進する。



②凹レンズと光線の進路

- ①光軸に平行な光線は焦点 F から出たように進む。
- ②焦点 F に向かう光線は光軸に平行に進む。
- ③レンズの中心を通る光線は直進する。



a	レンズの前方(実物体)…正	レンズの後方(虚物体)…負
b	レンズの後方(実像)……正	レンズの前方(虚像)……負
f	凸レンズ…正	凹レンズ…負
b/a	倒立像……正	正立像……負

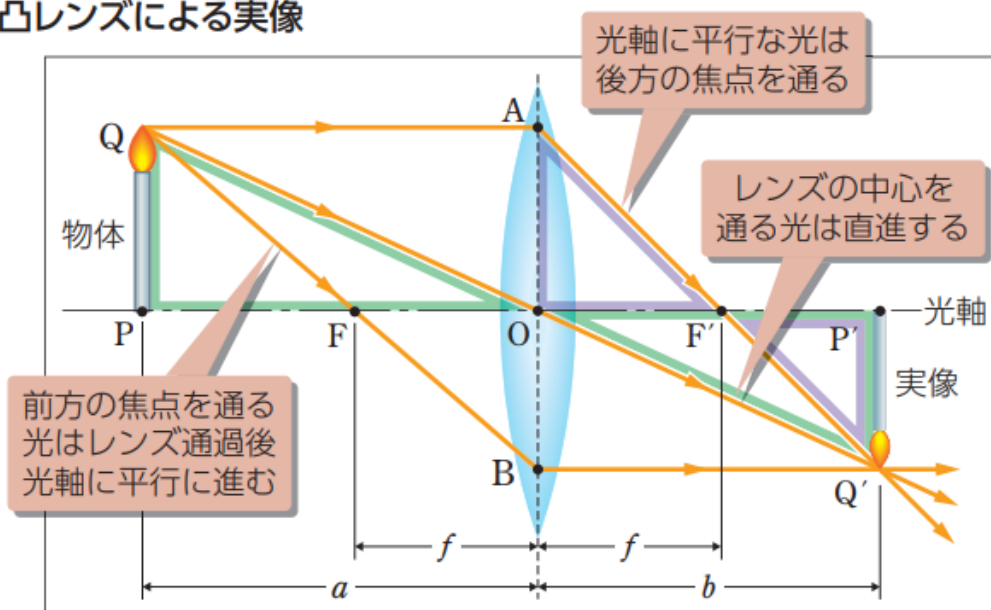
③レンズの式

凸レンズと物体との距離を a 、凸レンズと像との距離を b 、レンズの焦点距離を f とすると、次の関係式（レンズの公式）が得られる。

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

このレンズの公式を下の図を参考に、証明してみよう。

凸レンズによる実像



$\triangle OPQ \sim \triangle OP'Q'$ より

$$P'Q'/PQ = OP'/OP = b/a \quad \dots \quad ①$$

$\triangle F'OA \sim \triangle F'P'Q'$ より

$$P'Q'/PQ = P'Q'/OA = P'F'/OF' = b-f/f \quad \dots \quad ②$$

$$b/a = b-f/f$$

$$bf = ab - af$$

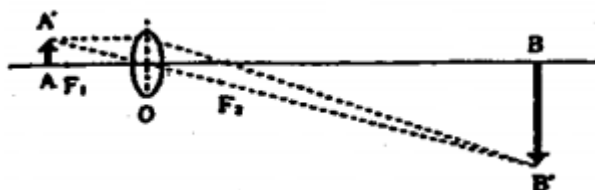
$bf + af = ab$ 両辺を abf で割ると

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

発展

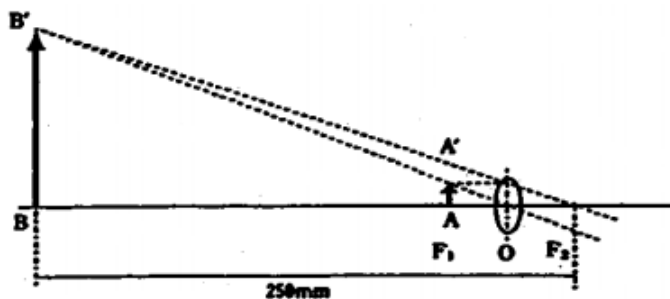
凸レンズを使って、虫メガネから顕微鏡の原理を考えてみよう。なお、以下の設問において、レンズの厚みは無視できるものとする。

(1) 焦点距離 $OF_1 = OF_2 = 20\text{mm}$ の凸レンズがある。物体 AA' をレンズの中心 O より 24mm 左側の位置においてみると、レンズの右側に拡大された倒立像ができる。倒立像 BB' と凸レンズとの距離 OB 、および拡大率を求めてみようよ。



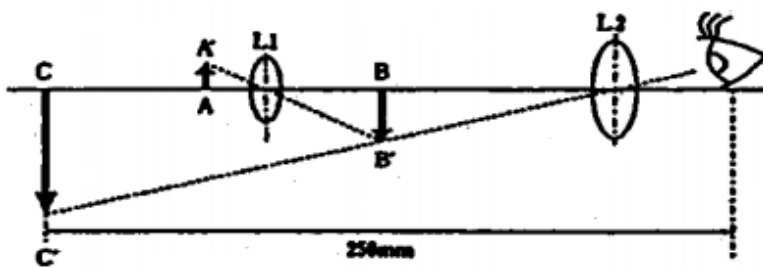
虫メガネで物体を拡大して観察する場合を考えてみよう。物体 AA' を凸レンズの焦点よりわずかにレンズに近い位置においてみる。すると、レンズの右側に像はつくられないが、右側の焦点の付近からレンズをのぞくと、拡大された正立虚像 BB' が見えることになる。

(2) 明視の距離（虚像と目との距離）を 250mm とした場合について、レンズと物体 AA' との距離 OA を求めてみよう。さらにそのときの拡大率を求めてみよう。なお、目の位置はレンズの焦点 F_2 とする。



2枚の凸レンズを組み合わせて顕微鏡を作成する。レンズ L_1 の焦点距離は 20mm 、レンズ L_2 の焦点距離は 50mm である。物体 AA' とレンズ L_1 の距離を 24mm とする。

(3) 図のように、レンズ L_2 の右側の焦点の位置からのぞき、明視の距離（虚像 CC' と目との距離）が 250mm であった場合、 L_1 と L_2 の間隔を求めてみよう。



(1) レンズの式より

$$1/24 + 1/OB = 1/20 \quad \therefore OB = 120 \text{ [mm]}$$

$$\text{倍率} = OB/OA = 120/24 = \underline{5\text{倍}}$$

(2) レンズの式より

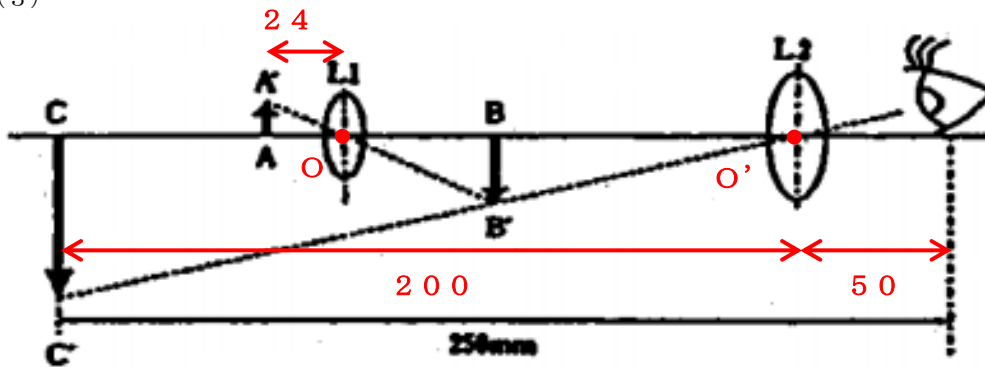
$$1/OA - 1/(250-20) = 1/20$$

$$1/OA = 1/20 + 1/230 = 230/4600 + 20/4600 = 250/4600$$

$$= 1/18.4 \quad \therefore OA = 18.4 \text{ [mm]}$$

$$\text{倍率} = 230/18.4 = \underline{12.5\text{倍}}$$

(3)



AのOによる像がBで、BのO'による像がCである。

レンズOにおけるレンズの式は

$$1/24 + 1/OB = 1/20$$

$$1/OB = 6/120 - 5/120 = 1/120 \quad \therefore OB = 120$$

レンズO'におけるレンズの式は

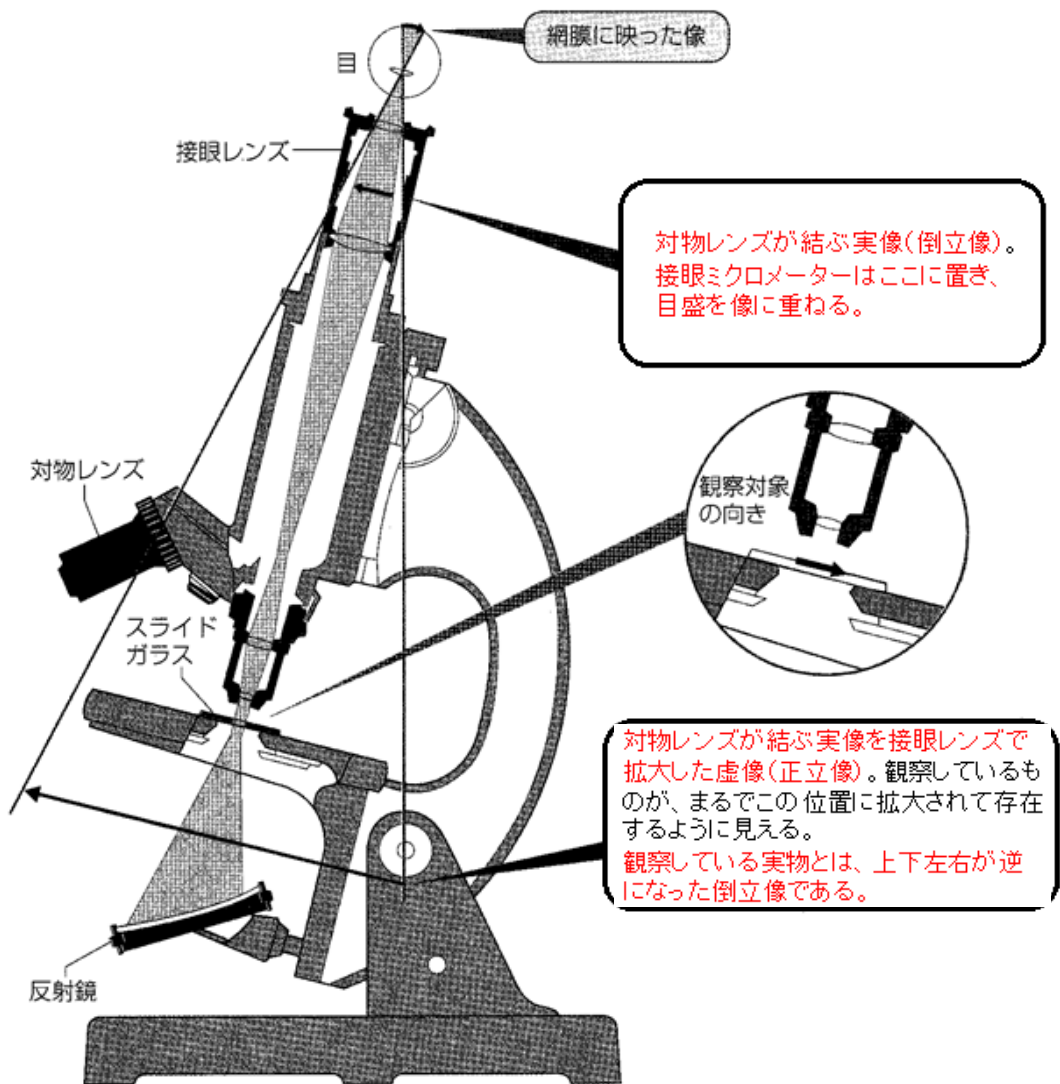
$$1/O'B - 1/200 = 1/50$$

$$1/O'B = 1/200 + 1/50 = 5/200 = 1/40$$

$$\therefore O'B = 40$$

$$\text{よって、} L_1L_2 = OB + O'B = 120 + 40 = \underline{160 \text{ [mm]}}$$

さきほどの問いをもとに、**光学顕微鏡** どのようなしくみで観察物を拡大できるのか考えてみよう。



光学顕微鏡の2種類のレンズを通る光の通り方をまとめてみよう

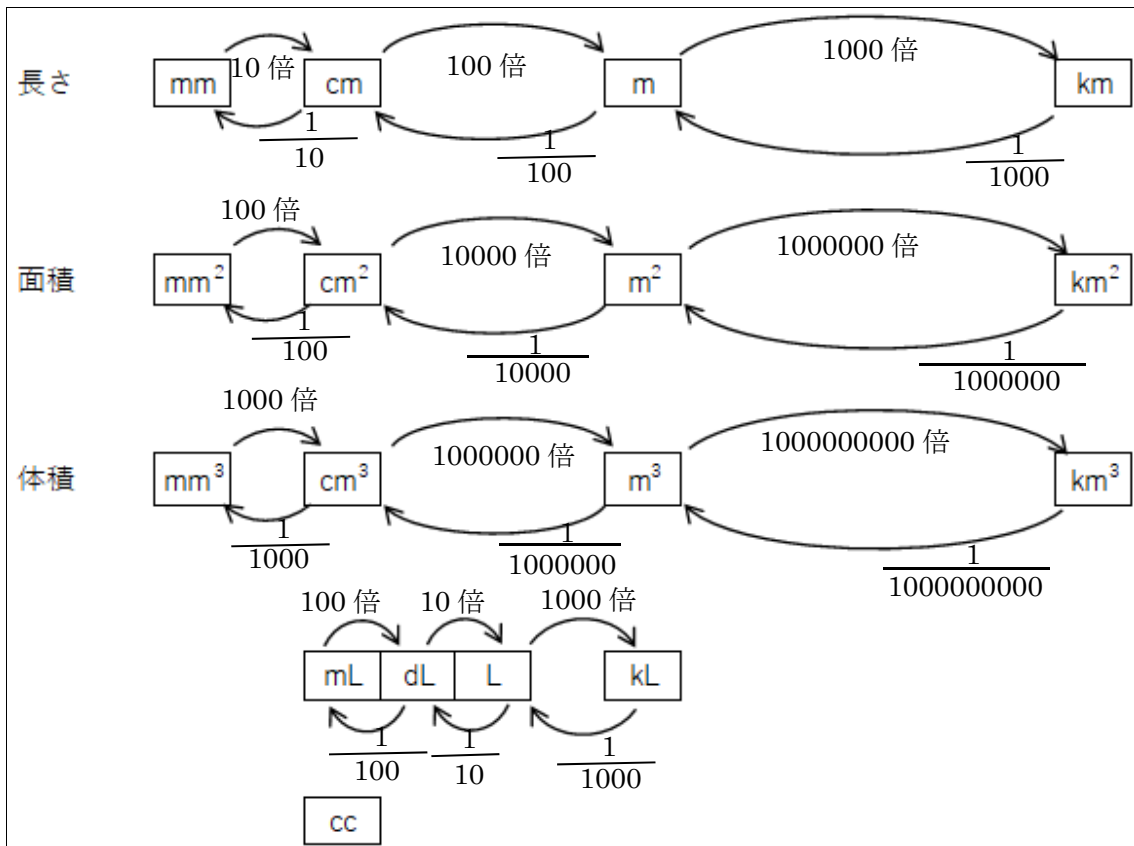
なぜ、倍率が高いほど対物レンズは長く、接眼レンズは短いのだろう？

考えを書いてみよう

長さの単位の換算

1 メートル を換算

単位名	値	単位	
フェムトメートル	1.00E+15	fm	1×10^{-15} m
ピコメートル	1E+12	pm	1×10^{-12} m
オングストローム	10000000000	Å	1×10^{-10} m
ナノメートル	1000000000	nm	1×10^{-9} m
マイクロメートル	1000000	μ m	1×10^{-6} m
ミリメートル	1000	mm	1×10^{-3} m
センチメートル	100	cm	1×10^{-2} m
メートル	1	m	
キロメートル	0.001	km	1×10^3 m
ヤード	1.093613298	yd	3 ft = 36 in
フィート	3.280839895	ft	12 in = 1/3 yd
インチ	39.37007874	in	1/36 yd = 1/12 ft
マイル	0.000621371	mi	1,760 yd = 5,280 ft
尺(シャク)	3.3	尺	10/33 m
鯨尺(クジラジャク)	2.64	鯨尺	25/66 m
寸(スン)	33	寸	1/10 尺
間(ケン)	0.55	間	6 尺
尋(ヒロ)	0.55	尋	6 尺
丈(ジョウ)	0.33	丈	10 尺
町(チョウ)	0.009166667	町	60 間
里(リ)	0.00025463	里	36 町
天文単位	6.68E-12	AU	149,597,870,700 m
光年	1.06E-16	光年	$9.4607304725808 \times 10^{15}$ m
パーセク	3.24E-17	pc	3.08568×10^{16} m
海里	0.000539957	海里	6,080 ft
ファゾム	0.546806649	fath	6 ft
ポイント	2834.645669	pt	1/72 in
ユカワ	1.00E+15	y	1×10^{-15} m



<p>考えてみよう</p> <p>1nm = 10^{-3} μm = 10^{-6} mm = 10^{-9} m</p> <p>1m = 10^3 mm</p> <p>1m = 10^6 μm</p> <p>1 μm = 10^{-6} m</p>	<p>1m/s = <u>3.6</u> km/h</p> <p>36km/h = <u>10</u> m/s</p> <p>18km/h = <u>5</u> m/s</p> <p>72km/h = <u>20</u> m/s</p> <p>15m/s = <u>54</u> km/h</p>
---	--

問 細胞は様々な大きさをしている。大きいものではヒトの座骨神経細胞の軸索は1mにも達することがあるし、小さいものでは大腸菌は直径が1 μ mしかない。我々の体を構成する細胞のほとんどは10 μ m程度の大きさで、肉眼では見えない。標準的な人の体重を

60kg、細胞を一辺が10 μ mの立方体と仮定する。人の体が細胞のみからできており、細胞の比重を1と仮定すると、人の体中の細胞数は〔 6 × 10¹⁵ 〕個にもなる。

大腸菌は我々の体の細胞よりも小さく、一辺が1 μ mの立方体と仮定できる。大腸菌は我々の腸の中に2kg存在するとして、腸内の大腸菌の総数はいくつになるか、答えよ。

ただし、大腸菌の比重を1とする。(1cm=10mm=10×10³ μ m=10⁴ μ m)

$$60\text{kg} = 6 \times 10^4 \text{g} = 6 \times 10^4 \text{cm}^3 = 6 \times 10^4 \times 10^4 \times 10^4 \times 10^4 \mu\text{m}^3 = 6 \times 10^{16} \mu\text{m}^3$$

$$\text{細胞 1 個} = 10^3 \mu\text{m}^3 \quad \therefore 6 \times 10^{16} \mu\text{m}^3 / 10^3 \mu\text{m}^3 = \underline{6 \times 10^{13} \text{ 個}}$$

$$1 \mu\text{m}^3 = 10^{-12} \text{cm}^3 = 10^{-12} \text{g} \quad 2000\text{g} / 10^{-12} \text{g} = 2000 \times 10^{12} = \underline{2 \times 10^{15} \text{ 個}}$$

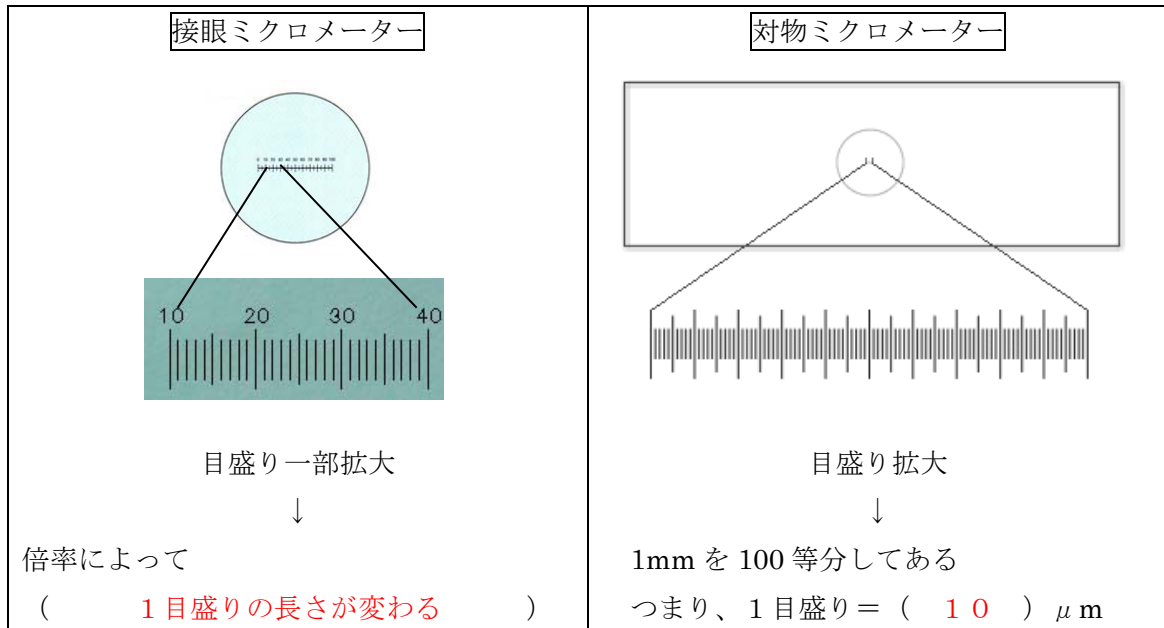
$$2\text{kg} = 2 \times 10^3 \text{g} = 6 \times 10^3 \text{cm}^3 = 2 \times 10^3 \times 10^{12} \mu\text{m}^3 = 2 \times 10^{15} \mu\text{m}^3$$

$$2 \times 10^{15} \mu\text{m}^3 / 1 \mu\text{m}^3 = \underline{2 \times 10^{15} \text{ 個}}$$

マイクロメーター 顕微鏡下でマイクロレベルの試料の大きさを測定しよう

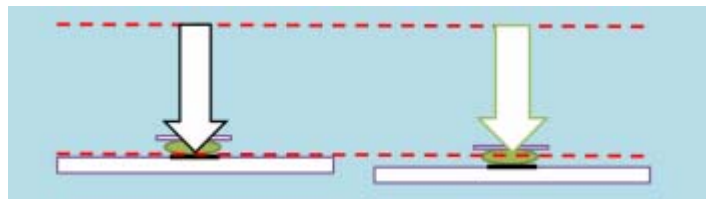
1. マイクロメーターには2種類ある
(接眼マイクロメーター) と (対物マイクロメーター)

2. それぞれのマイクロメーターの1目盛りの意味



なぜ、対物マイクロメーターに直接試料をのせてはいけないのか？

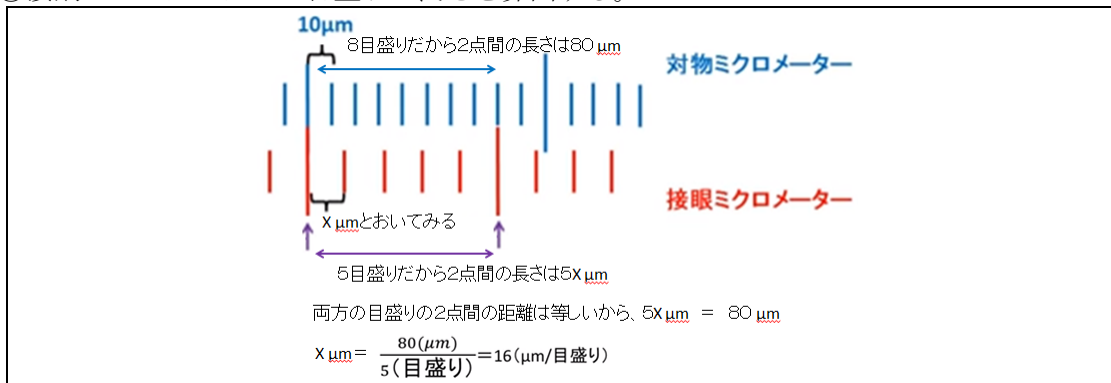
⇒ 「試料か目盛りかのどちらかにしかピントが合わないから。」



3. それぞれのマイクロメーターを顕微鏡にセットする。
 - ①接眼マイクロメーターは (接眼レンズの中) にセットする。
 - ②対物マイクロメーターは (ステージの上) にセットする。

4. 接眼マイクロメーター1目盛りの長さを測定する。

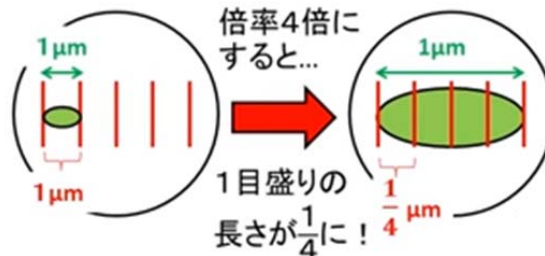
- ① 目的の倍率に合わせ、2種類のマイクロメーターの目盛りが見えるようにピントを合わせる。
- ② 両方のマイクロメーターの目盛りが平行に重なるように調節し、目盛りが一致する2点を探す。
- ③ 両目盛りが一致した2点間のそれぞれの目盛り数を読みとる。
- ④ 接眼マイクロメーター1目盛りの長さを算出する。



接眼マイクロメーター1目盛りの長さ (µm) =

$$\frac{\text{対物マイクロメーターの目盛り数} \times 10}{\text{接眼マイクロメーターの目盛り数}}$$

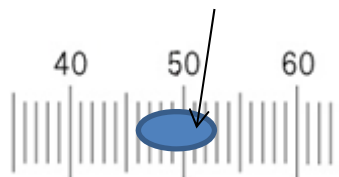
注意！！倍率を変えると、接眼マイクロメーター1目盛りの長さを測りなおす必要がある！
なぜだろう？



5. 最後に試料の大きさを測定する。

- ① 対物マイクロメーターをステージから取り除き、測定したい細胞などのプレパラートをステージにセットしてピントを合わせる。
- ② 測定したい部分に接眼マイクロメーターの目盛りを移動し、目盛りの数を読み取る。
- ③ 試料の大きさを計算で求める。

例えば、接眼マイクロメーター1目盛りの長さを調べた倍率で、ある試料の大きさを測定したとき、次の図のように見えた。試料の長さはいくらか。



接眼マイクロメーター7目盛り分なので、7目盛り × 16µm = 112µm

実験 生物 顕微鏡操作とマイクロメーター

【目的】顕微鏡の正しい操作方法を習得し、マイクロメーターを用いた測定方法について理解を深める。

【準備】

器具：光学顕微鏡、接眼マイクロメーター、対物マイクロメーター

【方法】

A. 顕微鏡操作（顕微鏡各部の名称に関しては図1参照）

- (1) 直射日光の当たらない台の上に顕微鏡をのせ、接眼レンズ内に接眼マイクロメーターをセットする。接眼レンズを先に、対物レンズを後に取り付ける。
- (2) 反射鏡を調節し、正しく光線をレンズに導く。
- (3) 対物マイクロメーターをステージの上ののせ、目盛り部分が穴の中央になるようクリップで止める。
- (4) 最初はず、低倍率になるようにレンズを選択する。
- (5) 横から見ながら、ステージと対物レンズを調節ネジを回して接近させる。
- (6) ピントを合わせるときは、顕微鏡をのぞきながら徐々にステージと対物レンズを遠ざけるように調節ネジを回す。
- (7) しぼりを使い、光量の調節をする。

B. マイクロメーターによる長さの計測

光学顕微鏡を用いて微小構造の長さを計測する際、接眼マイクロメーターと対物マイクロメーターを使用するが、倍率を変えることにより接眼マイクロメーターの1目盛りの長さも変化するので各倍率における接眼マイクロメーターの1目盛りの長さをあらかじめ計測しておく必要がある。

- (1) 上述の顕微鏡操作手順に従い、先ず低倍率で対物マイクロメーターの目盛りが見えるようピントを合わせる。
- (2) 接眼マイクロメーターと対物マイクロメーターの目盛りが重なるように、対物マイクロメーターを動かす（図2参照）
- (3) 目盛りの一致した間に、接眼マイクロメーターと対物マイクロメーターの目盛りがそれぞれ何目盛り分あるか数える。
- (4) 次の計算式に基づいて、接眼マイクロメーターの1目盛りの長さを計算する。

$$\text{接眼マイクロメーター1目盛りの長さ (x)} = \frac{\text{対物マイクロメーターの目盛り数 (b)} \times 10}{\text{接眼マイクロメーターの目盛り数 (a)} } (\mu\text{m})$$

※対物マイクロメーターの1目盛りの長さは10 μm である。

- (5) 倍率を変えて同じ操作を繰り返す。

※図2の場合、接眼マイクロメーターの1目盛りの長さは、 $\frac{5 \times 10}{10} = 5.0 \mu\text{m}$

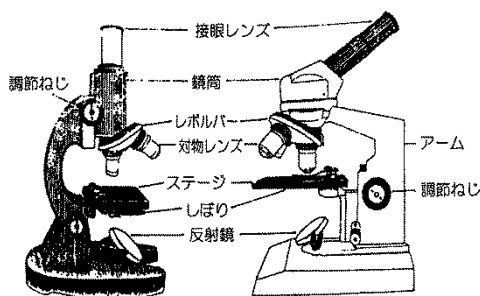


図1

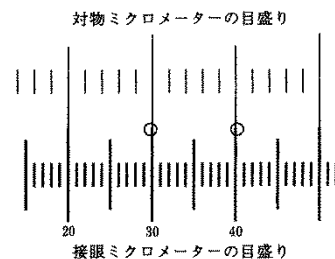


図2

生物研究ノートから

【結果・観察】

(1) 接眼レンズと対物レンズの組み合わせをかえて、接眼マイクロメーター1目盛りの長さをそれぞれ求め、下表のような表にまとめておく。

倍率 (接眼レンズの倍率×対物レンズの倍率)	倍 (×)	倍 (×)	倍 (×)	倍 (×)
接眼マイクロメーターの目盛り数 (a目盛り)				
対物マイクロメーターの目盛り数 (b目盛り)				
接眼マイクロメーターの1目盛りの長さ (x μm)				

(2) 接眼レンズはそのままで対物レンズの倍率を4倍にすると、接眼マイクロメーターの1目盛りの長さが何倍になるか。 (倍)

(演習)

ある細胞の大きさを光学顕微鏡を用いて測定しようと思い、接眼レンズ(×10)、対物レンズ(×40)を用いて対物マイクロメーターと接眼マイクロメーターの重なりぐあいを見たのが図3である。図4は接眼レンズ(×10)、対物レンズ(×10)で細胞を観察したときの図である。図をもとにしてこの細胞の長さを求めよ。

図3

接眼マイクロメーター
対物マイクロメーター

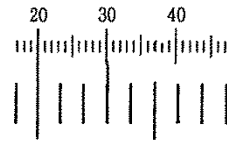
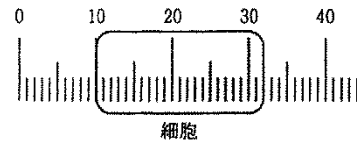


図4

接眼マイクロメーター



[式]

[答] _____ μm

【考察】

年	月	日	曜	校時	天候	気温	℃	評価
年	組	番	班	氏名				
【感想】								

発展

問 以下のように、光学顕微鏡とマイクロメーターを用いる実験を行った。次の問いについて考えてみよう。

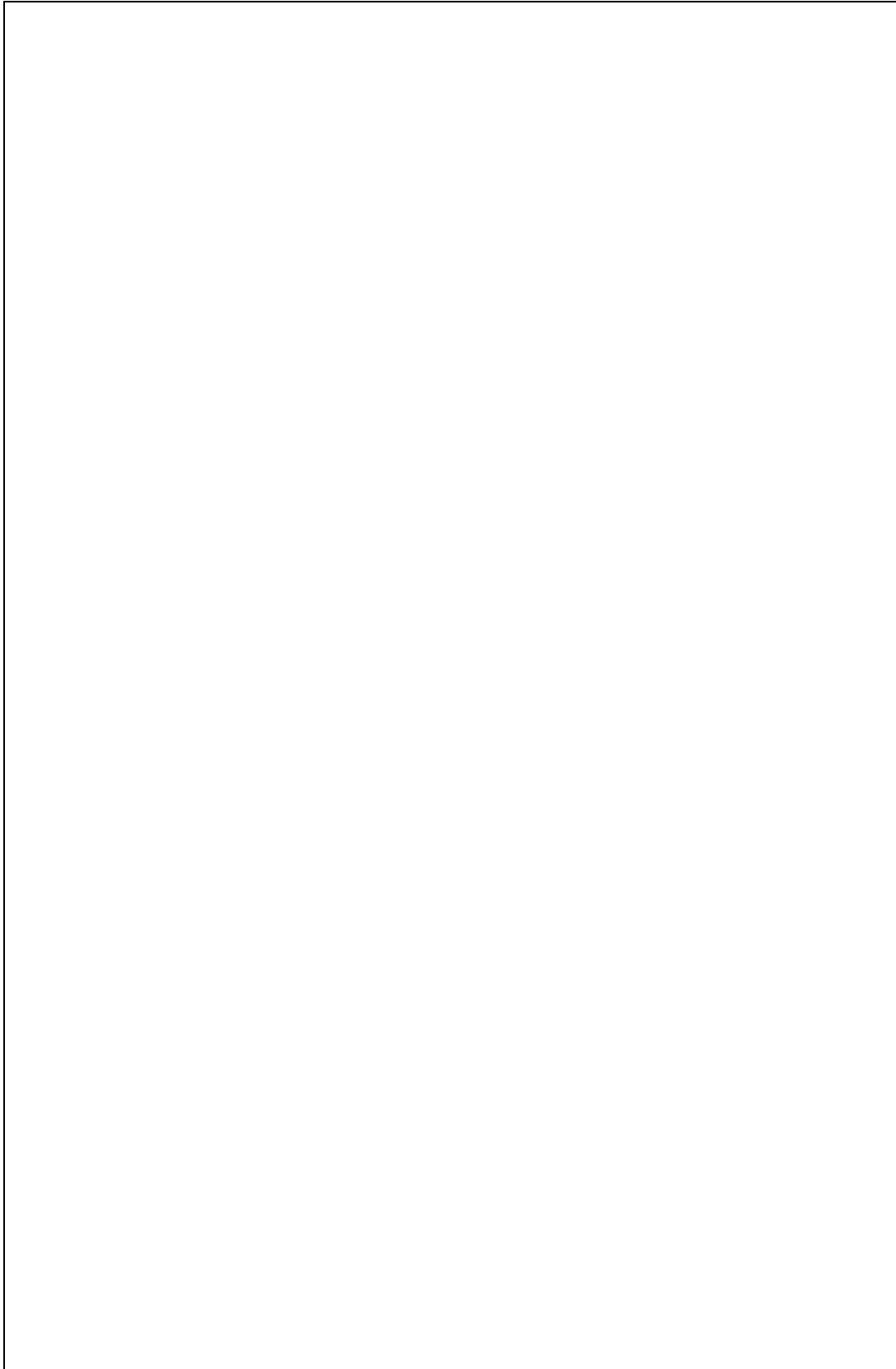
まず、10 倍の接眼レンズと 10 倍の対物レンズの組み合わせで、ピントを合わせる操作を行った。これらの過程で a ピントが合う前にすでに 1 種類の目盛りが見え、ピントが合った時点で 2 種類の異なる目盛り (A 目盛りと B 目盛り) が見えた。このとき、A 目盛りの 14 目盛り分と B 目盛りの 10 目盛り分がちょうど一致した。次に、接眼レンズは 10 倍のまま、対物レンズだけを 40 倍に変えた。その結果、b A 目盛りは拡大され、A 目盛りの 7 目盛り分と B 目盛りの 20 目盛り分がちょうど一致した。

続いて、対物マイクロメーターを顕微鏡からはずし、かわりにオオカナダモの葉のプレパラートをステージにセットし、接眼レンズを 10 倍、対物レンズを 40 倍にして観察を行った。その結果、葉の細胞中に多数の葉緑体を見ることはできたが、c 核を明確に観察することはできなかった。

d 観察された葉緑体は、細胞壁に沿って流れるように動いていた。動いている葉緑体の 1 つに着目したところ、この e 葉緑体は接眼マイクロメーターの 10 目盛り分の距離を 6.1 秒で動いていた。また、静止している葉緑体の直径を測定したところ、f 接眼マイクロメーターの 1.9 目盛り分であった。

- (1) 下線部 **a** で見えていた目盛りと下線部 **b** の A 目盛りは、それぞれ対物マイクロメーターと接眼マイクロメーターのどちらの目盛りであるか。
- (2) 下線部 **c** について、核を明確に観察するためには、プレパラートを作製するときどのような処理をすればよいか、15 文字以内で書け。ただし、句読点も文字数に含めるものとする。
- (3) 下線部 **d** の現象を何と呼ぶか。
- (4) 下線部 **e** について、この葉緑体の動く速度は何 μm /秒か。答えは少数点第 2 位を四捨五入して少数第 1 位まで求めよ。
- (5) 下線部 **f** について、この葉緑体の直径は何 μm か。答えは少数点第 2 位を四捨五入して少数点第 1 位まで求めよ。

- (1) 下線部 **a** の目盛り…接眼マイクロメーター 下線部 **b** の目盛り…対物マイクロメーター
- (2) 酢酸オルセインで染色する。(13 字)
- (3) 原形質流動(細胞質流動) (4) $5.7 \mu\text{m}/\text{秒}$ (5) $6.7 \mu\text{m}$



光受容器である眼の網膜には色彩の識別に関与する錐体細胞と明暗の識別に関与するかん体細胞がある。錐体細胞にはフォトプシン、かん体細胞にはロドプシンと呼ばれる視物質が含まれており、それぞれ光を吸収すると構造変化を起こし、興奮が生じる。視細胞の興奮は視神経を通過して、大脳の視覚野に伝わり、視覚が生じる。

【参考③】 オタマジャクシとカエルの目のつき方と視交叉の違い

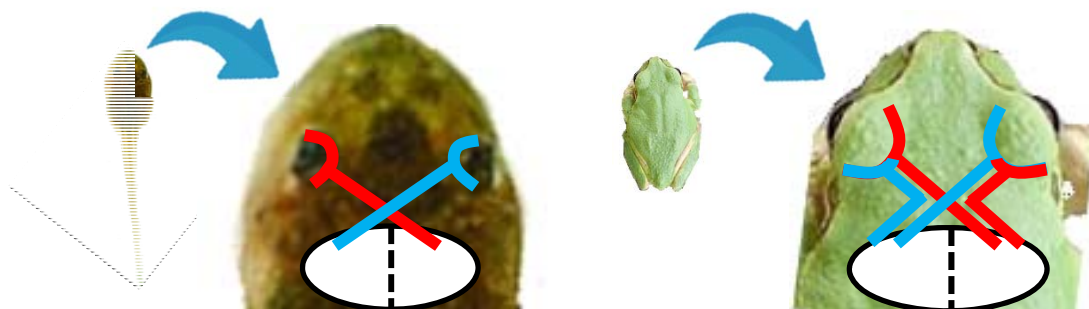


図 オタマジャクシとカエルの視覚の伝道路路

ヒトの視神経の脳へのつながり方を見てみると、両目の内側の網膜から出た視神経は交叉して、反対側の脳へつながっている「半交叉」と呼ばれる形をとっている。

魚類や鳥類、オタマジャクシのように頭の側面に眼がある多くの動物は、左右それぞれの網膜から出た視神経は全て反対側の脳へつながる「全交叉」と呼ばれる形をとる。

一方、変態して成体のカエルになると、私たち霊長類の仲間と同じように、頭の正面に眼が移動している。視神経の脳への経路もヒトと同じく「半交叉」となっている。

- 視交叉によるメリットはなんだろうか？
- なぜ眼の付き方で視交叉のしくみが変わる必要があるのだろうか？

考えを書いてみよう

発展

図1は、ヒトの眼と視神経の関係を表している。視神経のうち両眼の内側の網膜から出たものだけが眼球の後方で交差し、反対側の眼からきた視神経と合流して大脳に達する。図1のAまたはBの位置で視神経が切断された場合、左右の眼の見え方はどうなると考えられるか。下の(参考)をもとに、図2のア～カから選び、記号で答えよ。ただし、図2の白は正常な視野、黒は視野が欠損した部位を表す。また、視野とは、眼前の1点を凝視した状態で見えている範囲のことである。

図1

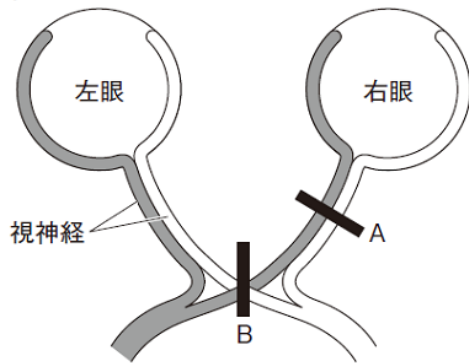
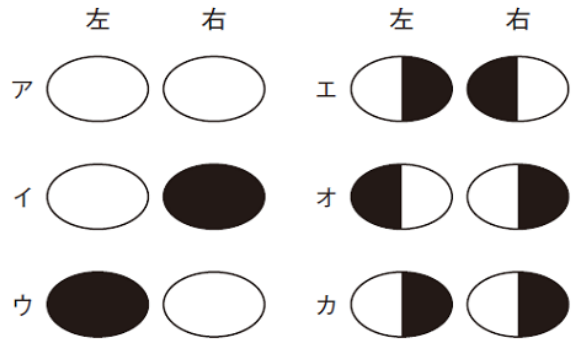


図2



生物研究ノートから

A イ B オ

(参考)



実験 生物 ヒトの盲斑の検出

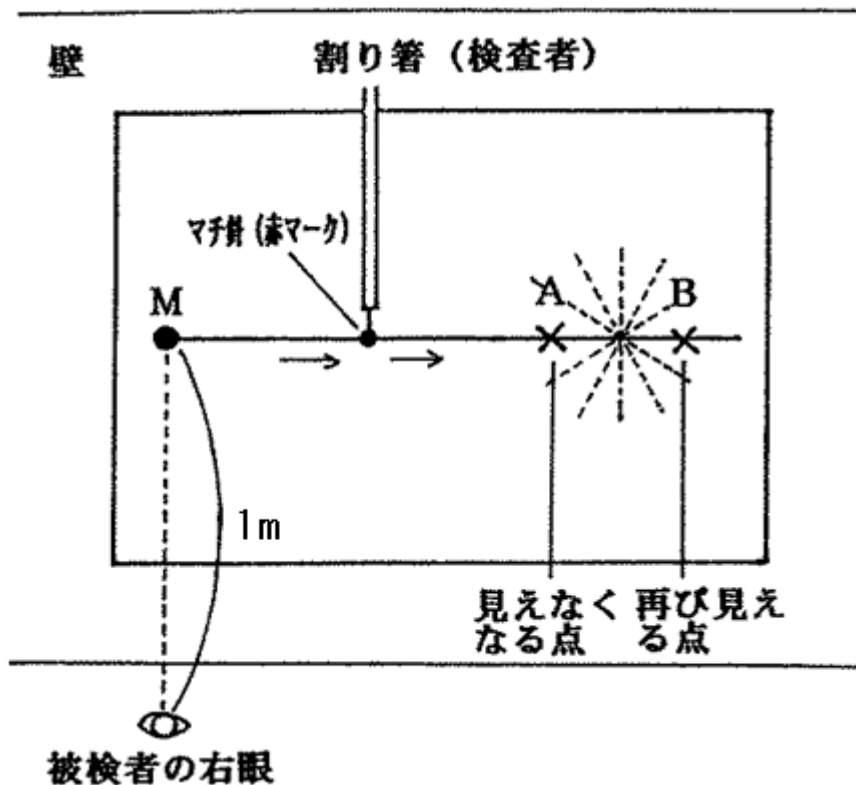
【目的】網膜上の盲斑の大きさや形状の検出方法を理解する。

【準備】

器具：上質紙（B4）、セロテープ、定規、ペン、割り箸（先に赤いマチ針か赤マークを書いた小さな紙をつけたもの）

【方法】

- (1) 2人1組で、被検者と検査者になる。
- (2) 上質紙の中央に横線を引き、その左端に5mm～1cmの黒丸を書く。
- (3) この紙を、壁に眼と同じ高さに貼る。
- (4) 被検者は、黒丸より1m離れたところから、右目で黒丸を注視する。この時左眼は閉じておく。検査者は最初割り箸の先を黒丸の上に置き、次に右へ移動させる。黒丸を注視している被検者には、割り箸の先の赤い点の動きが見えているが、やがて見えなくなる（A）。さらに動かしていくと、また割り箸の先に赤い点が見えてくる（B）。被検者は、それぞれの点（AとB）で眼を動かさずに、検査者に伝える。検査者は、その点に印をつける。
- (5) AとBの中央の点から30度ごとに12方向に線を引く。
- (6) 各方向の線に沿って赤い点を移動する。



【結果・観察】

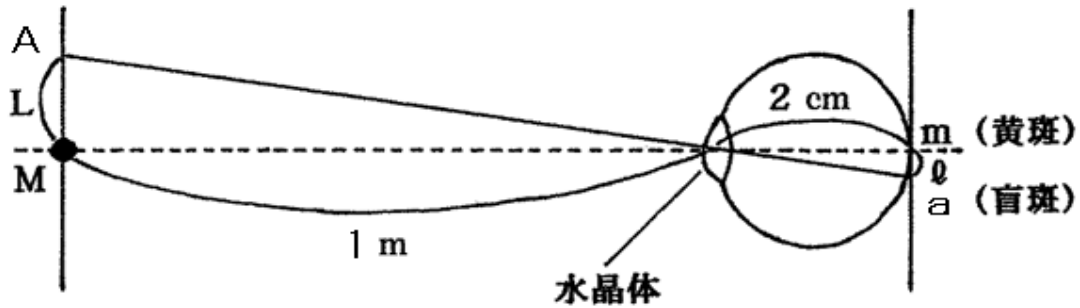
測定に用いた用紙を貼付する。

【考察】

(1) この結果から考えて、右眼では、盲斑は網膜の中央（黄斑）から、鼻側耳側どちら側にずれているといえるだろうか。→**鼻側**

(2) 下の図を参考にして、黄斑と盲斑の距離（ ℓ の距離）を求めてみよう。ただし、水晶体（レンズ）と黄斑の距離は2 cmで、網膜を上質紙と平行な面と考える。

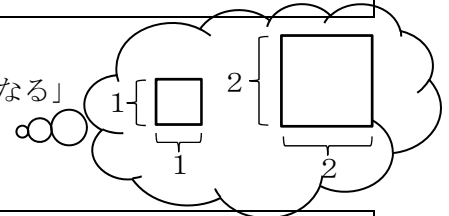
$L : 100 = \ell : 2$ $\ell = L \times 2 / 100$ (cm)



【発展①】 あなたの盲斑の直径はどれくらいだろうか。

【発展②】 あなたの盲斑の面積はどれくらいだろうか。

ヒント：「相似な図形では面積比は相似比の2乗に等しくなる」



測定用紙上の●が見えない部分の面積を $S \text{ cm}^2$ とすると・・・

【発展③】 測定用紙上の●が見えない部分の面積を $S \text{ cm}^2$ はどのようにして求められるか。

年	月	日	曜	校時	天候	気温	℃	評価
年	組	番	班	氏名				
【感想】								

[参考④] 進化にともなう色覚の変遷 ～色の感じ方は動物の種類で異なる～

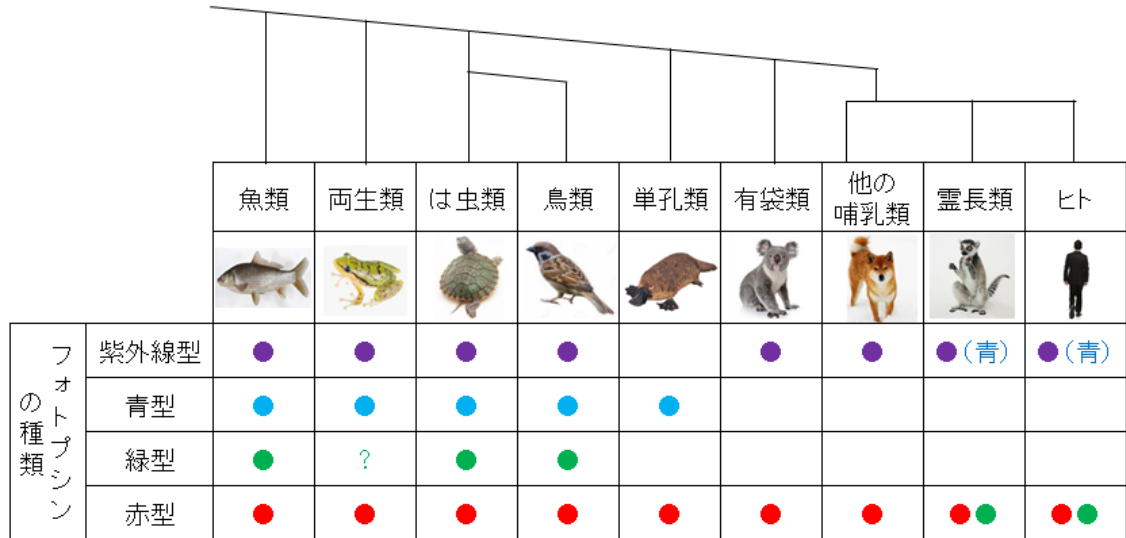


図 脊椎動物の色覚の変遷

遺伝子重複・多型

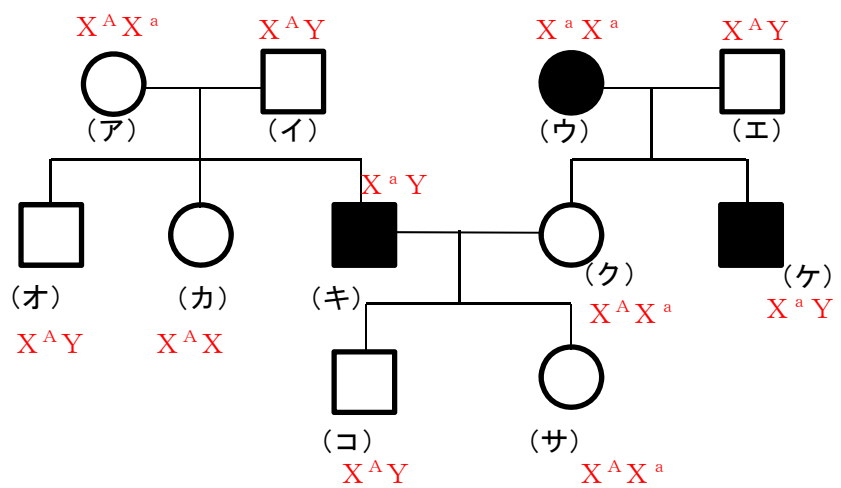
脊椎動物の共通祖先は4タイプの錐体フォトプシンを持っていた。魚類やは虫類、鳥類は現在もそれら全てを持っている。一方、ほとんどのほ乳類は青型と緑型のフォトプシンを進化の過程で失ってしまった。夜間の活動に適応するためだったと考えられている。しかし、樹上生活を始め、昼間に活動するようになった霊長類たちでは紫外線型フォトプシンが青寄りに変化し、青担当として働くようになり、また一部の霊長類では、赤型フォトプシンの中から緑担当として働くようになった錐体細胞が現れ、現在、ヒトは3色型色覚をもっている。

- 霊長類が赤色と緑色をそれぞれ識別できることで、どのようなメリットが生まれたのだろうか？
- カエルの多くは夜行性である。そんなカエルは夜間でも色の識別ができるそうだ。どのような視細胞をもっているのか、想像してみよう。

考えを書いてみよう

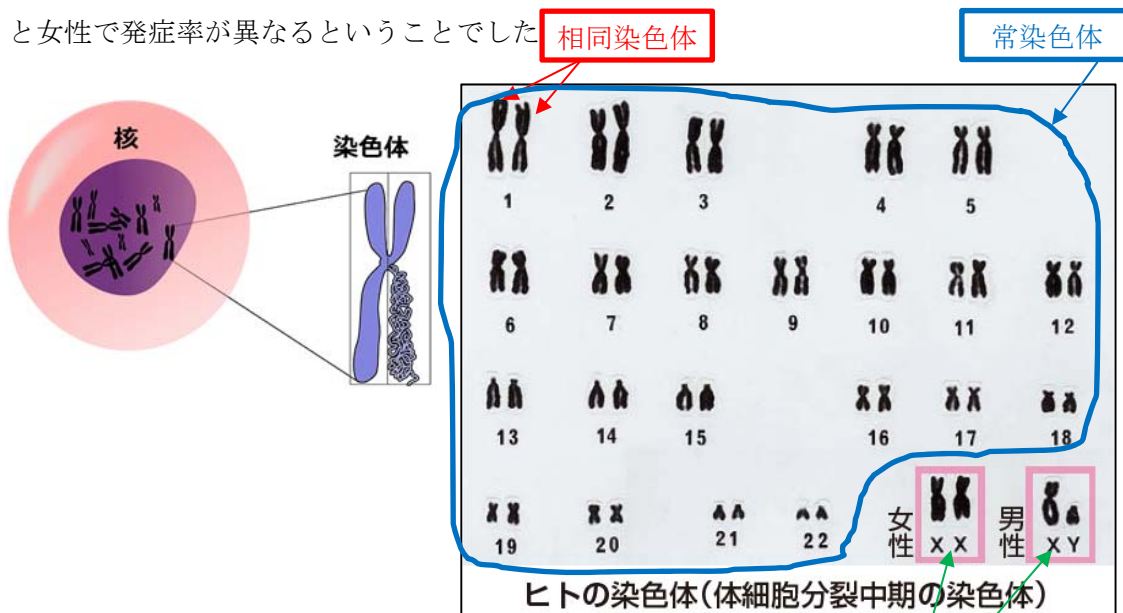
●赤と緑の色の認識に関わる遺伝子がある。突然変異を起こしたこれらの遺伝子をもつヒトでは、緑～赤にかけての色が識別しにくくなることがある。(赤緑色覚異常、赤緑色覚多様性)(色覚特性とも言われる)この突然変異の影響は、女性に比べて男性の方が出やすい。それはなぜだろうか。次の情報をもとに、考えてみよう。

- ①ヒトの場合、性決定には性染色体(X染色体とY染色体)が関係している。
- ②男性の体細胞にはX染色体とY染色体が1本ずつ存在する。
- ③女性の体細胞にはX染色体が2本存在する。
- ④男女それぞれがつくる生殖細胞には減数分裂の結果、性染色体が1本ずつ入る。
- ⑤日本人では男性の20人に1人、女性では500人に1人の割合で色覚異常の人が存在すると言われている。(特性の程度は、さまざまである)
- ⑥下の図は、色覚異常に関するある家族の様子を示したものである。
○は健常な女性、□は健常な男性、●は色覚異常を示す女性、■は色覚異常を示す男性を表している。



X染色体に存在する色の認識に関わる突然変異を起こした遺伝子をa、変異する前の遺伝子をAとする。男性はX染色体を1本しか持っていないので、これがX^aであれば色覚異常になるが、女性はX染色体を2本持っているため、このうちの1本だけがX^aであれば色覚異常は表に出ず、色覚異常の遺伝的保因者になる。2本ともX^aであれば女性でも色覚異常になる。

さて、「性と染色体」の話をもう少し進めましょう。さきほど、みなさんに考えてもらった、赤緑色覚異常の原因遺伝子はX染色体に存在し、Y染色体には存在しないため、男性と女性で発症率が異なるということでした



あらためて、染色体についてまとめておきましょう。生物の体細胞には、両親それぞれに由来する染色体のセットが1つずつ、合計2セットある。体細胞分裂の中期の染色体を観察すると、同形同大の対になった染色体が1対ずつあることがわかる。このような対をなす染色体を**相同染色体**といいます。なお、そのうち雌雄（男女）に共通してみられる染色体が**常染色体**、その他の2本は雌雄（男女）で構成の異なる染色体で**性染色体**といいます。

生物名 (学名)	染色体数
コウジカビ (<i>Aspergillus nidulans</i>)	8
イエバエ (<i>Musca domestica</i>)	12
イネ (<i>Oryza sativa</i>)	24
ヒト (<i>Homo sapiens</i>)	46
チンパンジー (<i>Pan troglodytes</i>)	48
ジャガイモ (<i>Solanum tuberosum</i>)	48
イヌ (<i>Canis familiaris</i>)	78
アヒル (<i>Anas platyrhynchos</i>)	80
コイ (<i>Cyprinus carpio</i>)	100
アメリカザリガニ (<i>Procambarus clarkii</i>)	200

いろいろな生物の体細胞の染色体数

伴性遺伝の例として、ヒトの赤緑色覚異常について学習をしましたが、その他、伴性遺伝のように、性の違いによって現れる形質の違いや差が見られる身近な例として知っているもの、思いつくものはありますか？考えてみましょう。

ヒトの血友病、ショウジョウバエの眼の色、三毛猫

グッピーのオスの背びれの色、鳥のオスの羽根の色、カブトムシのオスの角

伴性遺伝の身近な例としては、「三毛猫」もそのひとつです。

「船乗り猫」：日本においても、昔は必ず猫を船で飼った。猫が眠れば海が穏やかに、騒げば時化になり、また、荒天で方向が分からなくなっても猫は北を向くので磁石代わりになる、と信じられた。特に貴重な三毛猫のオスを飼っていれば航海は絶対安全とされ、競って入手しようとした。(出典：フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』)

三毛猫のたけし
記事

『南極へ行った猫「タケシ」は幸運のオスの三毛猫だった』

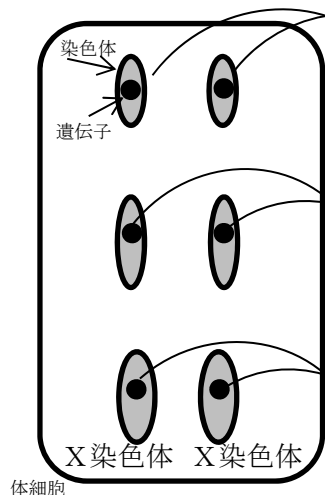
また、「南極物語」で一躍有名になった犬のタロとジロ。実は、犬たちに混じって三毛猫の「タケシ」という猫も隊員の仲間として活躍していたそうです。1956年11月8日、第1次南極観測隊とカラフト犬22頭、三毛猫のたけしは南極観測船宗谷で南極を目指しました。

なぜ、三毛猫のオスは幸運を招く、と信じられているのでしょうか？

次の例題文を読んでみましょう。

- ① ネコはヒトと同様に、メスが XX 型、オスが XY 型の性決定様式である。
- ② 三毛猫は、白色・茶色・黒色の三色の体毛がまだらに生えているネコである。ネコの体毛の色は複数の対立遺伝子 A と a、H と h、B と b の 3 組により決定される。
- ③ 遺伝子 A と a は白色遺伝子である。遺伝子型が AA や Aa である個体は、他の遺伝子に関わらず全身の体毛が白色となるが、遺伝子型が aa である個体は他の遺伝子によって体毛の色が決まる。
- ④ 遺伝子 H と h はまだら遺伝子である。遺伝子型が HH や Hh である個体は、部分的に体毛が色素を含まない状態になる。そのため体の一部に色が無い（白い）部分ができ、白いまだら模様ができる。遺伝子型が hh の個体では、すべての体毛が色素を含む状態になるため、白いまだら模様を生じない。
- ⑤ 遺伝子 B と b は茶・黒遺伝子である。遺伝子 B が発現している箇所の体毛は茶色になり、遺伝子型 b が発現している箇所の体毛は黒色になる。また、遺伝子 B と b は X 染色体上に存在する。
- ⑥ また、ほ乳類のメスでは、受精卵が細胞分裂を繰り返して体細胞の数がある程度まで増えた段階で、それぞれの体細胞が有する 2 本の X 染色体のうち一方がランダムに不活性化する。
つまり、ほ乳類のメスの細胞には、母親由来の X 染色体が不活性化された細胞と、父親由来の X 染色体が不活性化された細胞が存在することになる。

整理してみよう。まず、メスの体細胞で考えてみよう。



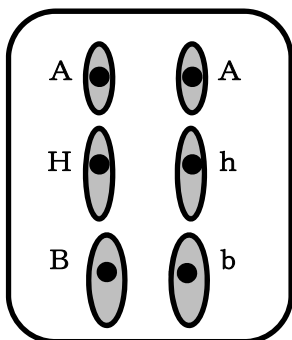
ここに遺伝子AとA、もしくはAとaがあった場合は、ネコの体色は、全身が 白色 となる。黒や茶色の色がつく場合は、遺伝子型は a a となる。

ここに遺伝子HとH、もしくはHとhがあった場合は、ネコの体色に、白いまだら模様が入 る。hとhがあった場合は、白いまだら模様が入 らない。

X染色体に遺伝子BとBがあった場合は、どちらのX染色体が活性化しても、茶色の色素を作る。

X染色体に遺伝子bとbがあった場合は、どちらのX染色体が活性化しても、黒色の色素を作る。

X染色体に遺伝子Bとbがあった場合は、茶色と黒色の色素を両方作る。



例えば左のような遺伝子をもつ個体の遺伝子型を $A A H h X^B X^b$ と表すものとする。

この個体の体色と性別は 白色のメス となる。

次の様々な体色のネコたちの遺伝子型を考えてみよう。



♀ メス						
	$aaHHX^BX^B$ $aaHhX^BX^B$	$aahhX^BX^B$	$aaHHX^bX^b$ $aaHhX^bX^b$	$aahhX^bX^b$	$aaHHX^BX^b$ $aaHhX^BX^b$	$aahhX^BX^b$
♂ オス						
	$aaHHX^BY$ $aaHhX^BY$	$aahhX^BY$	$aaHHX^bY$ $aaHhX^bY$	$aahhX^bY$		

問1. 三毛猫の遺伝子型について考察した以下の文章を読み、空欄に適する遺伝子型（遺伝子の組み合わせの型）や毛の色を考えてみよう。

茶・黒遺伝子について考えると、メスのネコにはX染色体が2本あるため、遺伝子型はBB、Bb、bbの3パターンが考えられる。

白色遺伝子の遺伝子型がaaであり、まだら遺伝子の遺伝子型がhhである場合には、黒・茶遺伝子型が（1）の場合には体毛は茶色になり、黒・茶遺伝子型が（2）の場合には体毛は黒色になる。しかし、黒・茶遺伝子型が（3）の場合には体毛は茶色と黒色のまだら模様となり、茶色一色にはならず、また茶色と黒色の中間になることもない。これは片方のX染色体の不活性化が原因である。

また、白色遺伝子の遺伝子型がaaであり、まだら遺伝子の遺伝子型がHHの場合やHhの場合には、黒・茶遺伝子型がBBであれば体毛は（4）、黒・茶遺伝子型がBbであれば体毛は（5）、黒・茶遺伝子型がbbであれば体毛は（6）になる。

1. X^BX^B 2. X^bX^b 3. X^BX^b
4. 茶色と白色 5. 黒色と白色 6. 茶色と黒色と白色（三毛猫）

問2. あなたはオスの白猫とメスの三毛猫を飼っているとします。この2匹から16匹の仔猫が生まれ、そのうち1匹が三毛猫でした。親であるオスの白猫とメスの三毛猫の遺伝子型を考えてください。なお、オスの遺伝子型は1つに絞り込むことはできない。

オスの白猫：AahhX^BY もしくは AahhX^bY メスの三毛猫：aaHhX^BX^b

さて、ここまでネコの体色の遺伝のしくみを学んできて、改めて考えてみましょう。
三毛猫のオスはどのようにして誕生するのでしょうか？？

突然ですが…「遺伝子」の話が出たところで、すでにみなさんも半年以上前から聞き慣れすぎて、耳にタコができていますかと思いますが、ニュースやワイドショーでも話題の「PCR検査」などの新型コロナウイルス感染検査や免疫についてもほんの少し勉強しておきましょう。

考えてみよう

まず、先ほどの「PCR検査」について、あなたはどのくらい知っていますか？現在、知っていることや、持っているイメージについて自由に記入してみよう。

なかなか、難しいですね？ウイルスの遺伝子を・・・という何となくのイメージを持っている人も多いのではないのでしょうか？

そもそも「遺伝子」とはいったいどのようなものでしょう。中学校で学習した「遺伝子」について、思い出してみましょう。

- ・ 遺伝子の本体はDNA
- ・ 核の染色体にあり、遺伝する形質のもととなるもの

「遺伝子」を説明する中で、「DNA」や「染色体」といった用語も必要になりますね。みなさんは、これらの言葉、区別できていますか？

DNA分子は、デオキシリボース、リン酸、塩基（^{アデニン}A・^{グアニン}G・^{シトシン}C・^{チミン}Tの4種類がある）からなる「ヌクレオチド」が多数つながってできている。この4文字の塩基配列が遺伝情報となるが、すべての塩基配列が遺伝情報となるわけではない。DNAには遺伝情報をもっている部分ともっていない部分が存在し、**遺伝情報をもっているDNAの一部（領域）のことを遺伝子という**。DNAは遺伝子（遺伝情報）を保持している物質として「遺伝子の本体」あるいは「遺伝情報の本体」と呼ばれる。すなわち、**領域を指すのが「遺伝子」で、物質名を指すのが「DNA」である**。

ヒトの細胞内では、DNA分子（長さが約2mもある！）はヒストンと呼ばれるタンパク質に巻きつき、繊維状の構造体で核内に分布している。分裂期になると、繊維状の構造体は何重にも折りたたまれて凝縮され、太い染色体となる。**細胞内でDNAを安定に保持するために生じた構造が染色体である**。

染色体とDNAの構造

模式図

図1 DNA・遺伝子・染色体の構造

DNAを構成する4種類の塩基の化学構造式

図2 4種類の塩基の化学構造

具体的にDNAは次のような構造をしています。

DNAのヌクレオチドの構造とDNAの1本の鎖の構造

模式図

DNAは二重らせん構造を持っており、結合できる塩基は、

A（アデニン）と**T**（チミン）

G（グアニン）と**C**（シトシン）と決まっている。

それは、（塩基どうしの水素結合の数がA T間では2カ所、G C間では3カ所とそれぞれ異なっている）から。

DNAの二重らせん構造

模式図

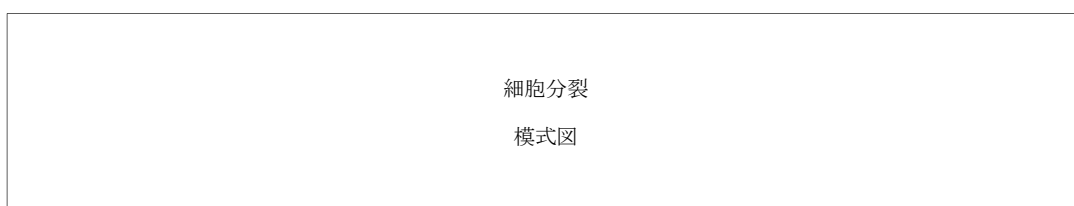
では、次に「PCR法」とは何でしょうか？

ウイルスに感染しているかどうか調べる方法の一つですが。そもそも「PCR」とは？

「PCR (= **Polymerase Chain Reaction**) とは『**遺伝子増幅実験**』のことです。」

もっと簡単な説明だと、遺伝子の本体である**DNA**を人工的に**ドンドン増やす**。ことです。

中学校でも学習したように、動物も植物も体の細胞が分裂し、新たな細胞が生まれる場合、母細胞（分裂前の細胞）と娘細胞（分裂後の細胞）に含まれる遺伝情報つまり遺伝子（DNA）は同じです。



では、どのようなしくみで、それぞれの娘細胞に全く同じ遺伝子（DNA）を分配しているのでしょうか。

動画「DNA Replication（DNA複製）」の動画を見て、DNAの複製のしくみを分析してみましょう。

Helicase…ヘリカーゼ

Replication fork

…複製フォーク

Primase…プライマーゼ

RNA bases…RNA塩基

Primer…プライマー

DNA polymerase

…DNAポリメラーゼ

(合成酵素)

DNA bases…DNA塩基

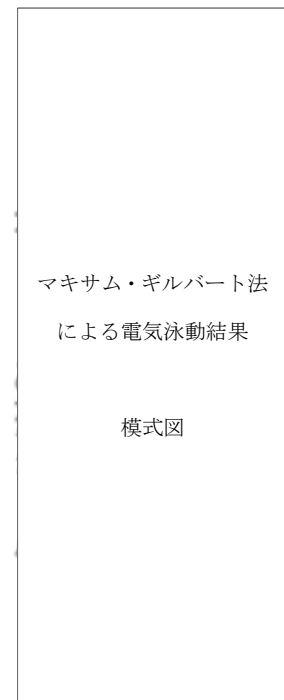


DNAの2本鎖は「ヘリカーゼ」と呼ばれる酵素によって、1本鎖に分けられる。その状態を「複製フォーク」という。1本鎖になったDNAに「プライマーゼ」と呼ばれる酵素が結合し、「RNA塩基」をもとにした「プライマー」を結合させる。そのプライマーを始点として、「DNAポリメラーゼ」の働きにより、「DNA塩基」を材料として、鋳型鎖と相補的な新しいヌクレオチド鎖が合成され、全く同じ塩基配列のDNA 2本鎖が2組できあがる。

考えてみよう そもそも、DNAの塩基配列はどのようにして調べるのだろうか。

DNAは、A、G、C、Tの4種類の塩基を含むヌクレオチドが、直鎖状に結合した物質であり、遺伝情報はDNA上の塩基配列として存在している。DNAの塩基配列を調べる方法（DNAシーケンス）の1つの手順（マキサム・ギルバート法）を示した(1)～(5)を読み、次の問いについて考えてみよう。

- (1) 同じ塩基配列のDNAを多量に集める。
- (2) そのDNAの2本鎖のうち、特定の1本鎖の片方の端に印をつける。
- (3) (2)のDNAを4つの試験管に分けて入れ、Gのところ、GかAのところ、TかCのところ、CのところでDNAを切断する試薬をそれぞれ入れる。ただし、それぞれのDNAはさまざまな異なる位置の1か所だけで切断されるようにする。
- (4) それぞれの試験管内のDNAを、大きさ（断片長）で分ける。
- (5) 印がついているDNAを検出すると、DNAの大きさ（長さ）の違いにより、DNAが小さいものから大きいものへと並ぶ。



この方法で、ある遺伝子の塩基配列を調べたところ、右図のような結果が得られた。

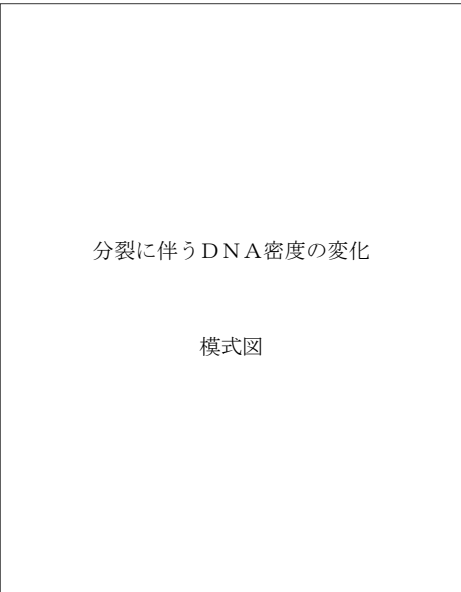
問1 図では何個の塩基が決定されただろうか。→36個

問2 DNAに付けた印に一番近い塩基は何か。→A

問3 調べた鎖の塩基配列を答えよ。なお、印に近い側を左に書くこと。

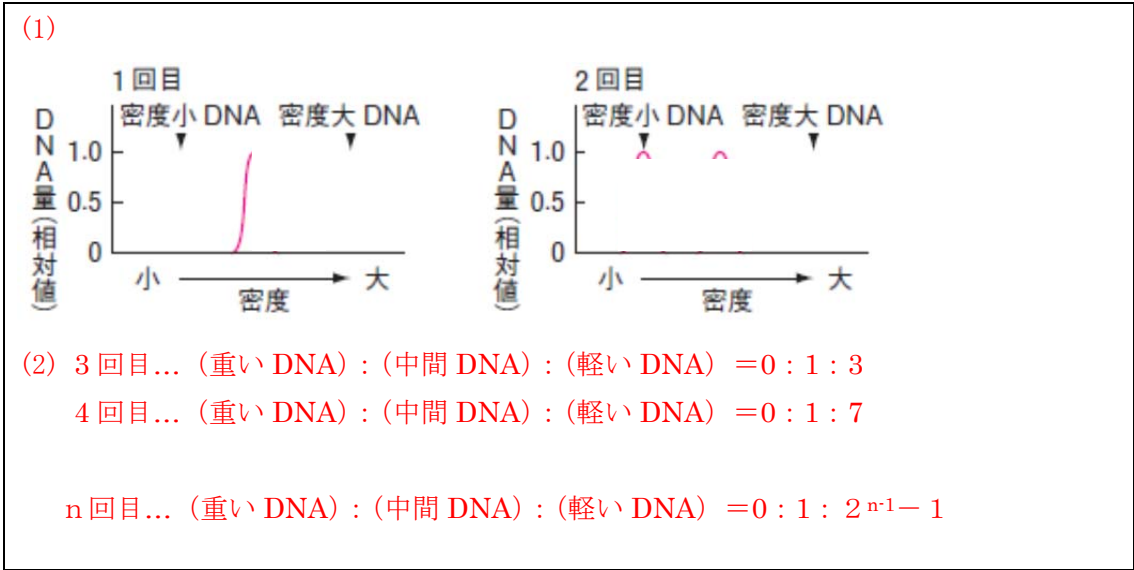
→ACTCTCTTCGGAGACAAGTTATGCGCCATTCCAAAG

発展 窒素源となる窒素化合物に重い窒素 (^{15}N) のみと通常の窒素 (^{14}N) のみを含むそれぞれの培地で、大腸菌を何世代にもわたって培養した後、DNA の密度を調べると、右図の結果が得られた。

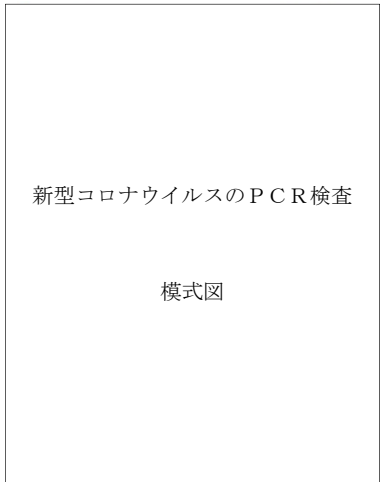


(1) ^{15}N のみを含む培地で培養した大腸菌を、 ^{14}N のみを含む培地に移して培養し、1 回目と 2 回目の分裂を終えた直後の大腸菌について、それぞれ DNA の密度を調べると、その分布パターンはどのようになるだろうか。右図を参考にし、それぞれグラフで示してみよう。

(2) (1) と同様の培養を行い、3 回目と 4 回目および n 回目の分裂を終えた直後の大腸菌について、(重い DNA) : (中間 DNA) : (軽い DNA) の比をそれぞれ考えてみよう。

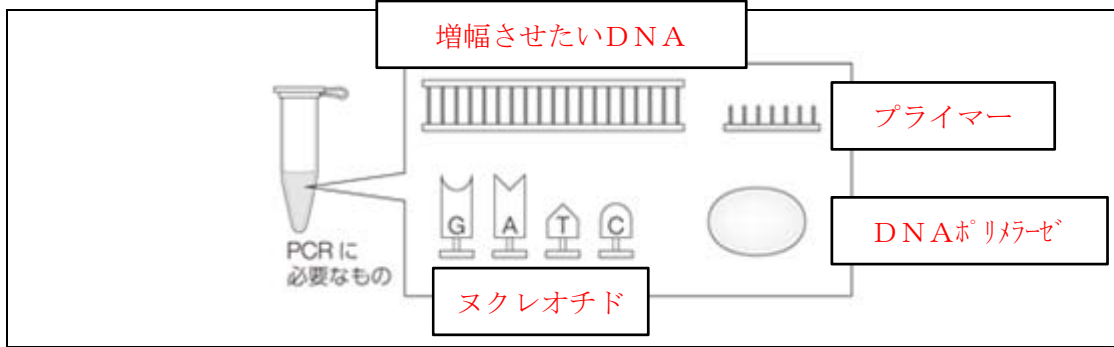


以上のようなしくみで、DNAの複製は細胞内で行われているが、この複製を人工的に専用の装置で行うのが、「PCR」である。



PCR (ポリメラーゼ連鎖反応) 法 「目的の遺伝子断片を何十万倍にも増幅する技術」

1. まず、PCRに必要な次のようなものを準備する。



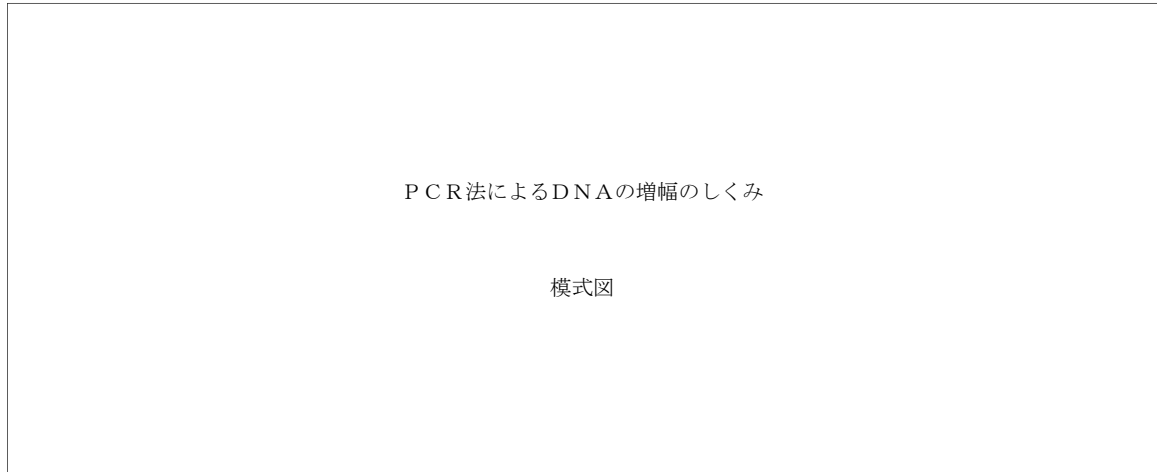
2. 反応液の温度を① 95℃、② 60℃、③ 72℃ と変化させ、これを繰り返すことで、目的のDNA配列が増幅する



考えてみよう

1. あるDNA 1分子を鋳型としてPCR（ポリメラーゼ連鎖反応）で10サイクル反応させると、何分子の遺伝子が試験管内で合成されるだろうか。

→ 2^{10} 分子 (1,024 分子)



2. PCRを新型コロナウイルスの検出に利用するために、必要な準備について、改めて考えてみよう。

→ウイルス特有の遺伝子の塩基配列を調べ、そのDNAに結合させるプライマーを準備する。

3. PCRは、ターゲットのDNAの領域を劇的に増幅する技術であり、非常に少量のDNAサンプルであっても、PCRを経ることで分析可能な量にまで増やすことが可能になる。PCRを現代社会で使用するにあたり、どのような応用例が考えられるだろうか。

食品検査→微生物やウイルスの検出・同定、食物アレルギーの検出、米などの作物の品種鑑別、食肉品種鑑別、家畜飼料中の動物組織の検出、遺伝子組換え作物検査など

医学的検査→遺伝子疾患の診断、感染症の検出、個人鑑別、親子鑑別、性別判定など

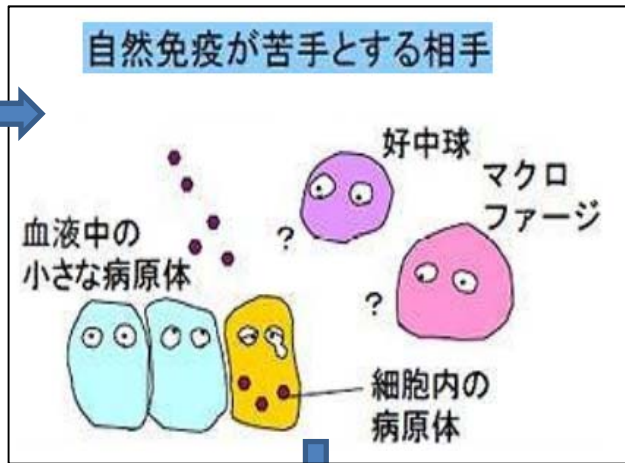
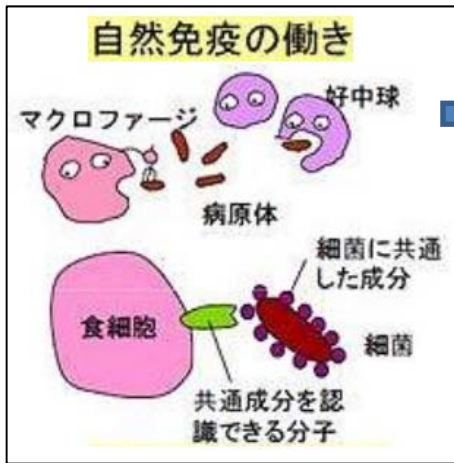
その他→毛繊維製品の鑑別、環境中の病原体検出など

また、コロナウイルス感染検査にはPCR検査以外に、「抗体検査」や「抗原検査」と呼ばれるものもあります。



そもそも、「抗原」「抗体」とはなんですか？

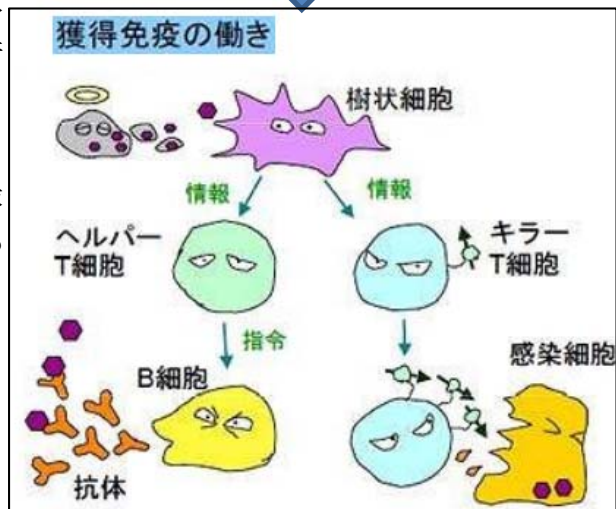
それらを把握するために、少し「免疫」のことについて学びましょう。



「**免疫**」…からだに侵入した病原体を排除することで、からだを守る防衛反応

「**抗原**」…マクロファージや好中球などによって認識される病原体のもつ物質のこと

「**抗体**」…B細胞がつくる抗原と特異的に反応するタンパク質。



「京都大学再生医科学研究所 HP」より

つまり、「抗原検査」とは、鼻やのどをぬぐった液の中に、ウイルス特有のタンパク質があるかどうかを調べ、今現在ウイルスに感染しているかどうかを確認する検査です。一方、「抗体検査」とは、血液中にウイルスに特異的に結合する抗体があるかどうかを調べ、過去にウイルスに感染したことがあるかどうかを確認する検査です。そのうち、最も短時間で結果が得られると言われている抗体検査について考えてみましょう。

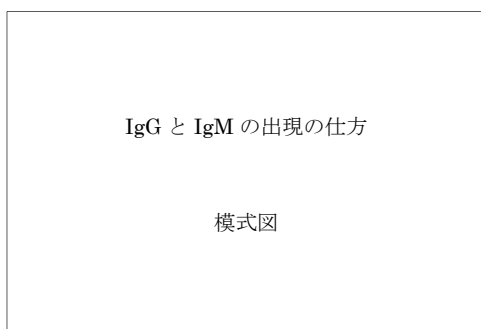
抗体検査の原理は次のようなしくみです。



また、抗体には様々な種類があるのですが、代表的なものの中に「IgM」抗体と「IgG」抗体というものがあります。これらの特徴は次の通りです。

「IgM」抗体→ウイルスに感染後、早期に産生されるが短期間で消失する。

「IgG」抗体→IgM に遅れて出現する。漸減しながら長期間持続される。

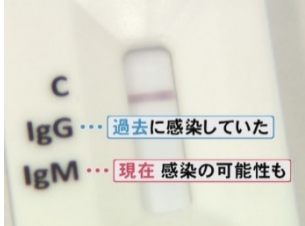




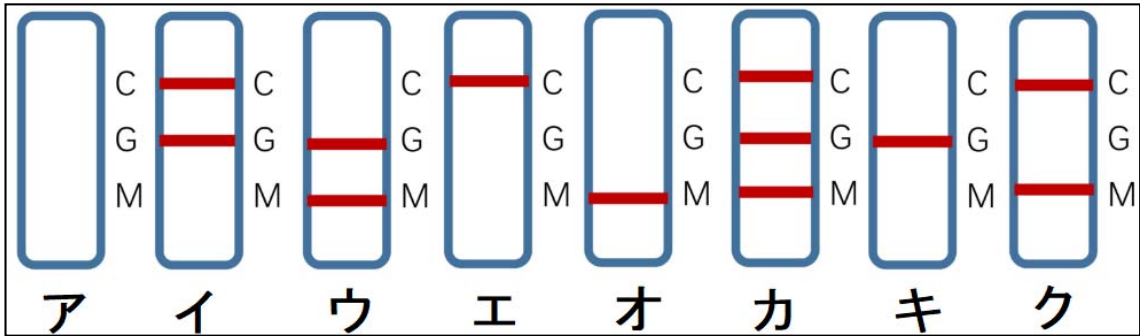
考えてみよう

「IgM」抗体と「IgG」抗体、それぞれの有無を調べることで、どのようなことがわかるのだろうか。

IgM 抗体を測ることで早期診断に役立つ。
 IgG 抗体を測ることで、「免疫がついた」ことを確認できる。



下図は、8名の被検者の IgM 抗体および、IgG 抗体の有無を調べた際の、検査キットに表れた結果である。Cはコントロール、Gは IgG 抗体のテスト結果、Mは IgM 抗体のテスト結果がそれぞれ表れる部分である。



これらの結果をみて、陽性者、陰性者、検査結果無効のそれぞれ3グループに分類してみよう。また、陽性者について、抗体量の増減が同じスピードで起こると考えた場合、感染した時期が早いと思われる者から順に答えよ。

陽性者：イ、カ、ク
 陰性者：エ
 検査結果無効：ア、ウ、オ、キ

【参考⑤】 ヒトの神経系 ～中枢神経系と末しょう神経系～

中枢神経系 受容器で受け取った刺激は、直接、筋肉などの効果器へ伝えられることはない。刺激の種類やその強弱などの様々な情報を中枢神経系で統合処理したのち、動物がどのような反応および行動をとるかが決定する。次の図はヒトの中枢神経系の模式図である。それぞれに中枢として働く部位が局在している。

大脳…各種感覚および随意運動の他、記憶・判断、本能・情動・欲求などの中枢

間脳…自律神経系の中枢

中脳…姿勢保持、眼球反射の中枢

小脳…運動調節、平衡を保つ中枢

延髄…呼吸運動、心臓拍動、だ液分泌などの中枢

脊髓…脊髓反射の中枢



図 ヒトの中枢神経系

● 中枢神経の各部のはたらきは、日常生活のどのような場面と関連しているか考えてみよう（例えば、小脳は日常生活のどこでどう役立っているのだろうか？）

考えを書いてみよう

また、脳の各部位は動物の種類によって発達の程度が異なっている。

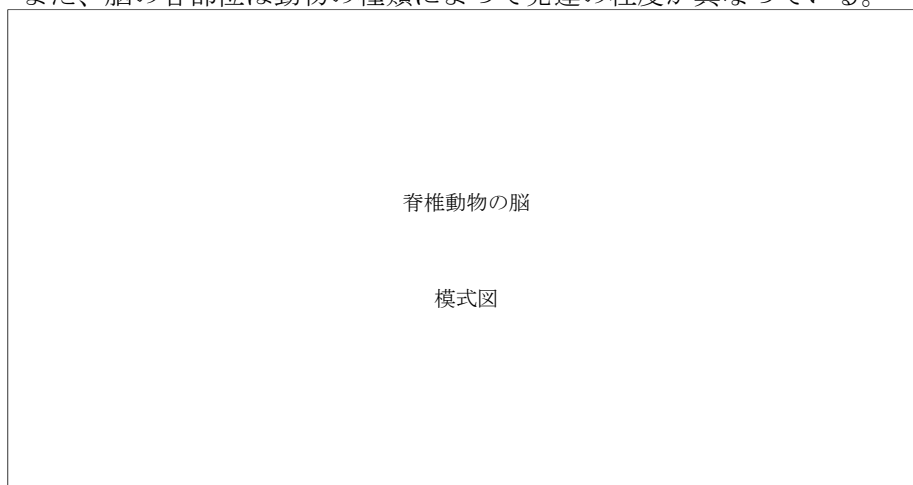


図 脊椎動物の脳の発達

●ヒトの生活の中で事故や病によって脳障害を起こすことがあります。特に、強い脳障害のあとに、意識が回復しない「植物状態」と呼ばれる状態になることもあります。また、1997年に「臓器移植法」が施行されて以来、「脳死」という言葉も耳にする機会が増えてきました。「植物状態」と「脳死」どちらも外界からの刺激に反応することができないため、混同してしまいがちです。それでは「植物状態」と「脳死」とは、一体何が違うのでしょうか。

●脊椎動物の脳の図から様々な生物の脳を比較し、それぞれの生物の脳の特徴についてその生物の生態などとの関連性に触れながら考察してみよう。(例：魚類では脳のどの部分が大きく発達しているか？また、それは魚類のどのような生態に関係しているか？)

考えを書いてみよう

末しょう神経系 情報を中枢神経系に送ったり、中枢神経系からの指令を体の各部に伝えるはたらきがある。



末しょう神経系は

- 体性神経系（感覚神経、運動神経）
 - 自律神経系（交感神経、副交感神経）
- の大きく2種類に分けられる。

今回は自律神経系に注目してみよう。

自律神経とは「大脳の支配から比較的独立しており、自分の意思とは無関係に身体の機能を調節している神経」である。

（ **交感** ）神経は緊張・興奮・活動時に主に働き、（ **副交感** ）神経は安静時に主に働くというように、互いに拮抗する作用を有しています。

普段のみなさんの生活を振り返って、交感神経および副交感神経の働きによって、体の各器官はどのように調節されているかを考えてみましょう。

器官等	瞳孔	だ液腺	心臓	血圧	皮膚血管	消化管	気管支	立毛筋	汗腺	膀胱
交感	拡大	粘度大	促進	上昇	収縮	抑制	拡張	収縮	促進	抑制
副交感	縮小	粘度小	抑制	下降	—	促進	収縮	—	—	抑制
	拡大	粘度大	促進	上昇	拡張	促進	拡張	収縮	促進	促進
	縮小	粘度小	抑制	下降	収縮	抑制	収縮	弛緩	抑制	抑制

自律神経の働きは保健体育で学習した（する）心身相関に大きく関与しています。心身相関とは、心と身体の働きが密接に関係しているということです。どのように関連しているか、「辛味成分が身体に与える影響」について仮説を設定して検証してみましょう。

課題：辛味成分は自律神経及び運動機能にどのような影響を与えるか

【目的】辛味成分が身体に与える影響について仮説を設定して検証する。

【準備】

辛味成分：粉末状一味唐辛子、チューブ入り練りわさび、チューブ入り練りからしなど
(各自、口に入れることが可能なものを各家庭から少量持参する。食べたくない時や体調が悪い時、辛いものが苦手な人は無理をしない)

器具：30cm定規

【方法】

- (1) 辛味成分が自律神経および運動機能に与える影響について仮説を設定する。
- (2) 2人1組で、交互に被検者と検査者になる。
- (3) 被験者は腕を水平に伸ばし、構える。
- (4) 検査者がふいに落とした定規を被験者がつかむ。
- (5) 落下した分の長さを計測し、記録する。
- (6) (3) から (5) を5回繰り返して平均値を求め、落下距離とする。
- (7) これを辛味成分摂取前、摂取直後、摂取5分後に行い、落下距離を求める。
なお、辛味成分摂取前、摂取直後、摂取5分後のそれぞれで計測開始前には手首の脈拍を測定しておく。
- (8) 辛味成分摂取直後の被験者の外見の変化、身体の中の変化を図や文章で記録する。

【仮説】

仮説①自律神経について

「辛味成分を摂取すると、自律神経のうち交感神経が刺激されるため、脈拍が増え、顔は赤くなり、汗が出るが、時間が経過するとそれらの変化は落ち着く」

仮説②運動機能について

「辛味成分を摂取すると、自律神経のうち交感神経が刺激されるため、筋肉が活動的な状態になり、俊敏に収縮ができるようになり、運動機能は上昇する。」

【結果】

	脈拍 (回/分)	落下距離(cm)					
		1	2	3	4	5	平均
辛味成分摂取前							
摂取直後							
摂取5分後							

辛味成分摂取直後の被験者の様子

【考察】

仮説①について

仮説②について

年	月	日	曜	校時	天候	気温	℃	評価
年	組	番	班	氏名				
【感想】								

[参考⑥] ヒトの骨格筋の構造 ～反応を示す効果器の代表例～

動物の体を動かすための筋繊維からなる組織で、筋繊維の特徴によって横紋筋と平滑筋の2種類に大別できる。横紋筋はさらに骨格筋と心筋に分類できる。



図 骨格筋の構造

それぞれの筋肉の特徴をまとめてみよう

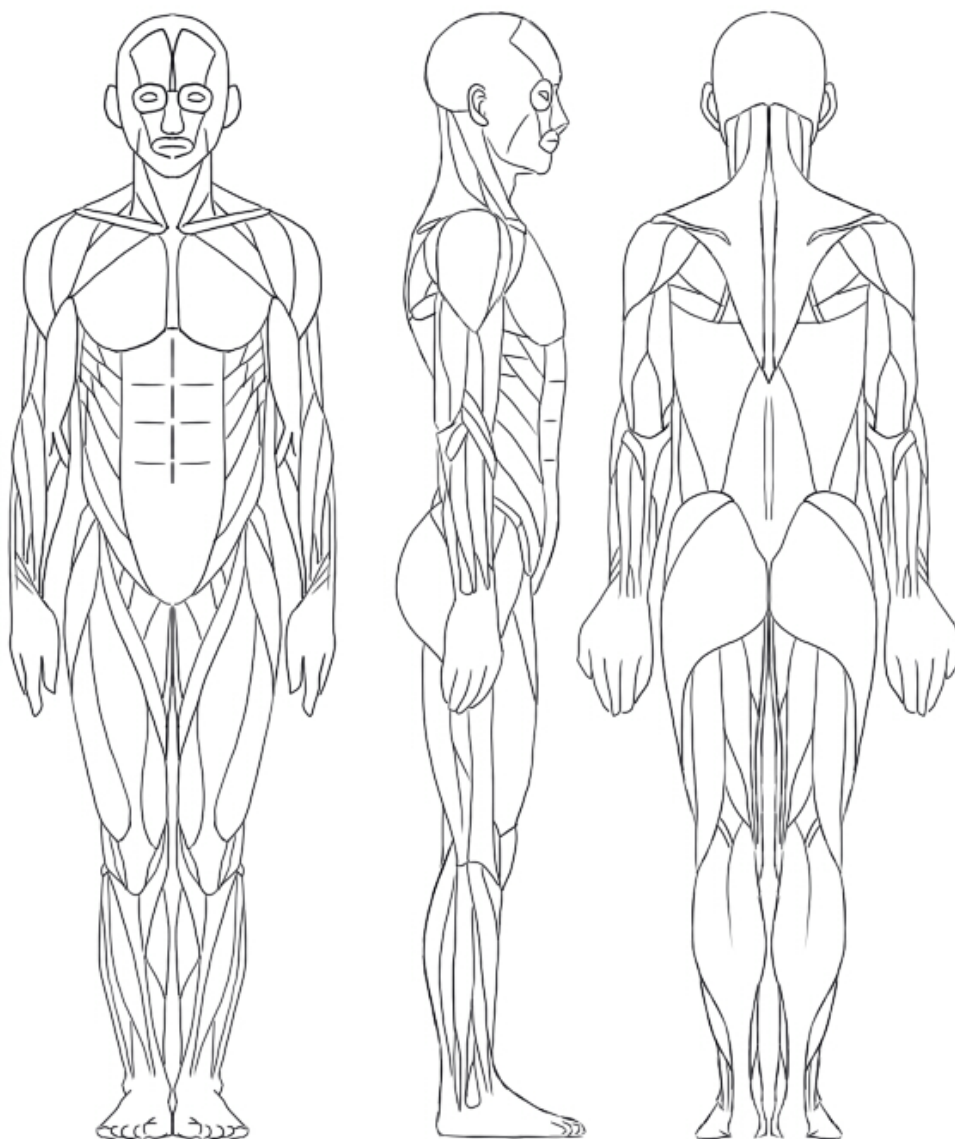
種類		単核・多核	形状	随意・不随意	収縮	疲労
横紋筋	骨格筋	多核	長い繊維状	随意	速い	しやすい
	心筋	単核	枝分かれ	不随意	速い	しにくい
平滑筋	内臓筋	単核	紡錘形	不随意	遅い	しにくい

●魚類の筋肉には、いわゆる「赤身」と「白身」があるが、なぜこのような色の違いが見られるのだろうか。また、それらの色や筋肉の性質の違いとそれぞれの魚の生態との関連について考えてみよう。

●ヒトにおいては、魚類のような筋肉の質の違いはないのだろうか。

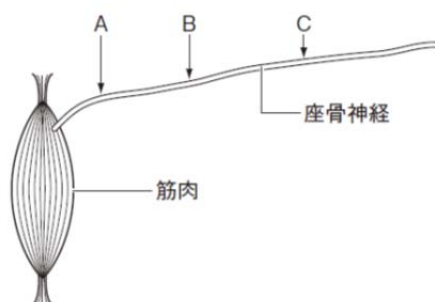
考えを書いてみよう

骨格筋は働きの上で「伸筋と屈筋」という分類もできる。ヒトの全身の骨格筋のうち伸筋および屈筋はどの部分に分布しているだろう。自分の体の動きを確認しながら色分けしてみよう。(屈筋→黒色、伸筋→白色)



問 下図のように、カエルの足のふくらはぎの筋肉を、複数の神経繊維の束（座骨神経）をつけたまま取り出して、次の実験を行った。以下の問いに答えよ。

〔実験2〕筋肉と座骨神経の接続部分から 1.2cm 離れた A 点を瞬間的に電気刺激した場合、3.2 ミリ秒後に筋肉が収縮した（1 ミリ秒=1、000 分の 1 秒）。A 点から 3.0cm 離れた B 点を同様に電気刺激した場合、4.2 ミリ秒後に筋肉は収縮した。



ニューグローバル生物より

- (1) 実験に用いた座骨神経の興奮の伝導速度 (m/秒) はいくらか、考えてみよう。
- (2) 座骨神経の B 点から 4.8cm 離れた C 点を電気刺激した場合、何ミリ秒後に筋肉の収縮が起こるか、考えてみよう。

(1) A～B間の距離 3.0cm、A～B間の伝導時間 1.0 ミリ秒

よって $3.0(\text{cm})/1.0(\text{ミリ秒})=30(\text{mm})/1.0(\text{m 秒})=30(\text{m/秒})$

(2) B～C間の伝導時間は $4.8(\text{cm})/30(\text{m/秒})=48(\text{mm})/30(\text{mm/m 秒})=1.6\text{m 秒}$

よって C～筋収縮までの時間=C～Bの伝導時間+B～筋収縮までの時間=
 $1.6\text{m 秒}+4.2\text{m 秒}=\underline{5.8 \text{ ミリ秒}}$

〔参考⑦〕動物の行動 ～生得的行動と習得的行動～

生物の行動は、その行動をもたらす神経回路の種類によって、生得的行動と習得的行動（学習行動）に大別できる。両者は、明確に分けられない場合もある。



生得的行動と修得的行動

模式図

走性

動物は食物や快適な環境を求めて移動する。このとき動物は、環境中の刺激を目印にして特定の方向を定めており、これを定位という。動物の定位行動には、刺激源に向かって反射的に移動したり、刺激源から反射的に遠ざかる走性のような単純なものから、鳥の渡りなどの長距離の移動を伴うものまでさまざまなものがある。

次のそれぞれの動物が示す走性の種類を考えてみよう。

ミミズ ゾウリムシ ゴキブリ ミドリムシ マイマイ ダンゴムシ メダカ ガサケの稚魚

走性	刺激源	正の走性を示す生物	負の走性を示す生物
光走性	光	ガ、ミドリムシ	ミミズ、ゴキブリ
重力走性	重力	ミミズ	ゾウリムシ、マイマイ
電気走性	電気	ミミズ (+極へ)	ゾウリムシ (-極へ)
流れ走性	水流	メダカ	サケの稚魚
湿度走性	湿度	ミミズ、ダンゴムシ	

いろいろな生得的行動

○コミュニケーション

昆虫の中にはコロニーとよばれる社会性の集団を形成して生活しているものがあり、同種の個体どうしで情報をやりとりするコミュニケーション（情報伝達）が発達している。

フェロモン 動物の体内でつくられて体外へ分泌された物質が、かぎ刺激として同種の個体の化学受容器で受けとられ、その個体に特有な行動を起こさせる場合、この物質をフェロモンといい、いろいろな種類のフェロモンが知られている。

アリは地中に巣をつくるものが多く、嗅覚を利用した化学コミュニケーションが発達している。えさ場を探し当てたはたらきアリはコロニーにもどるときに道しるべフェロモンとよばれる化学物質を地面に残しておき、なかまをえさ場へ誘導する。外敵に遭遇したときに分泌される警報フェロモンは、なかまに警戒を促す。また、アリは、体表成分の組み合わせでコロニー特有のにおいを識別できるので、なかまとほかのコロニーのアリとを識別できる。

実験 生物 カイコガの行動メカニズム

【研究の背景】

生得的行動はそれを引き起こす特定のかぎ刺激を受容して開始される。動物の行動発現がどのようなしくみで生じるのか、カイコガの行動実験をとおして感覚・行動のメカニズムについて調べてみよう。

【研究の目的】

(例) ガの雄が雌の存在を感知するときに生じる感覚の種類と雌にたどり着くまでの行動の様子、および交尾行動のメカニズムについて調べる。

【仮説】

(例) カイコガの雄は雌が発するにおいを感知し、雌に向かって最短ルートで移動し、雌の体の上に雄が乗って交尾を行う。

【準備】

提供できる材料：カイコガの成虫の雄と雌

準備可能な実験器具・薬品

シャーレ、ビーカー、試験管、三角フラスコ、駒込ピペット、ピンセット、
ガラスコップ、はさみ、うちわ、線香、マッチ、ろ紙、クリップ、薬包紙、色紙、
画用紙、ボイスレコーダー、段ボール、厚紙、セロテープ、ガムテープ、蒸留水、
エタノール 他

【材料と方法】仮説を検証するための実験方法を上記の準備品のいずれかを用いて、計画するとしたら、どのように計画を立てますか。構想をまとめてみましょう。

※雄が雌の位置を嗅覚（触角で受容するにおい）によって、判断している。ということ
を証明するためにはどの道具を使って、どのような実験を試みればよいか。

①何も処理をしない雄と雌とをある一定距離をとって平面上に置き、雄が雌の方に移動
するかどうかを調べる。

②シャーレに雌を入れ、密閉状態にする。雄が雌の方に移動するかどうかを調べる。

③雄の両方の触角を根元から切断する。雄が雌の方に移動するかどうかを調べる。

④雄の片方の触角を根元から切断する。雄が雌の方に移動するかどうか、③と結果の違
いがあるかどうかを調べる。

⑤雄の4枚すべての翅を根元から切断する。雄が雌の方に移動するかどうかを調べる。

⑥雄の両方の複眼に黒いマジックで色を塗り、視覚情報を得られなくする。雄が雌の方
に移動するかどうかを調べる。

ミツバチのダンス

ミツバチは蜜のある花（えさ場）を探し当てると、巣にもどってなかまにその情報を伝え、そのえさ場へと誘導する。

巣から80m以内の近場にえさ場がある場合は、円形ダンスによってその情報をなかまに伝える。ダンスで興奮したほかのはたらきバチは、触角を踊り手に触れながらその後を追う。その後、踊り手のからだに付着した花粉や蜜のにおいをもとめて巣の周辺を探すことで、結果的にえさ場にたどり着くことができる。円形ダンスでは、方角や距離の情報は伝えられず、「巣の近くにえさ場がある」という情報だけが伝えられる。

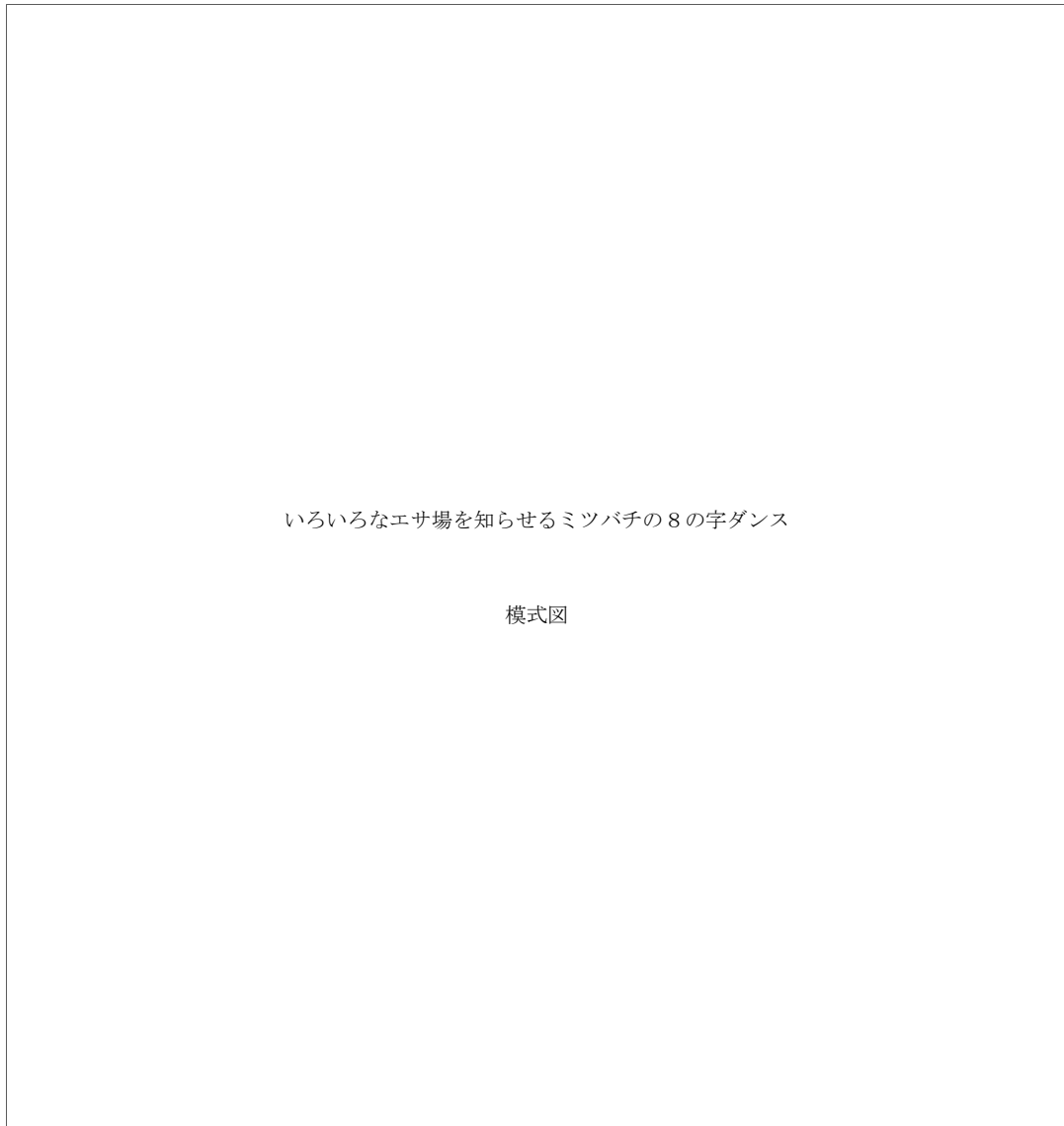


一方、えさ場が巣から遠い場合には8の字ダンスを行う。また、動きの速いダンスはえさ場が近いことを、ゆっくりであれば遠いことを意味する。



考えてみよう

下の図の4カ所のえさ場から巣箱に戻ったはたらきバチたちが、それぞれ4つの8の字ダンスを踊ったとする。ダンスの規則性を見つけ出し、ミツバチの8の字ダンスのしくみを解明してみよう。



巣箱から見て太陽の方向とえさ場の方向とがなす角度が、8の字ダンスでの鉛直方向（重力とは反対の方向）とダンスの直進部分の方向とのなす角度に相当する。

問 南中時刻、下図1のような位置にえさ場がある場合、そのえさ場から巣箱に戻ってきたはたらきバチはどのようなダンスを踊ると考えられるか。下の枠内に図示してみよう。

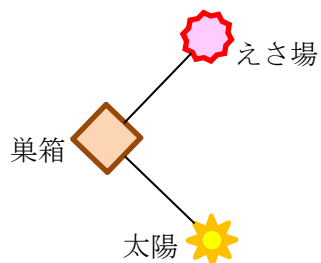


図1



図1の観察のあと、しばらく時間がたってから再び巣箱の中を観察すると、右図2のようなダンスが観察された。この観察は、図1の観察をした時刻から何時間後と考えられるだろうか。ただし、太陽の方角は1時間あたり 15° 変わるものとする。

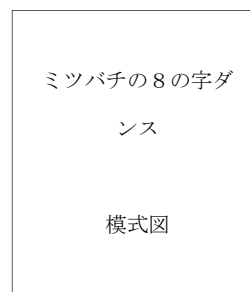


図2

ダンスの直進方向が 45° ずれていることから、 $45/15=3$ 時間が経過していたことがわかる。

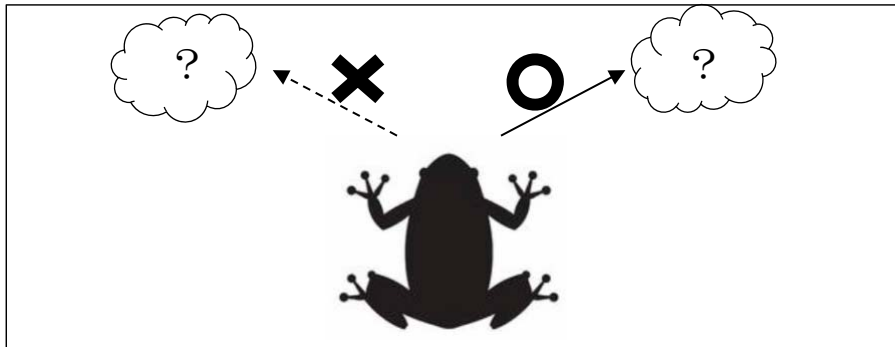
ステップ4 ～研究を進める上でのキーワード～

ステップ1～3を通して、動物の行動に関する内容とそれに関連のある生物以外の科目の内容について学習を進めてきた。ステップ4では動物学に関連のある研究事例やキーワードについて、紹介する。下記以外にも、各自、動物に関する興味深い事象についてインターネットや書籍を用いて、深く掘り下げて調べてみよう。

バイオミメティクス (生物模倣)	体色変化
バイオリボティクス	色知覚
バイオテクノロジー	ステレオグラム
生物工学	抗菌ペプチド
動物心理学	再生能力 (再生医療)
行動制御因子	アクトミオシン
カエルの合唱	人工筋肉

改めて考えてみましょう ニホンアマガエルが採餌行動を引き起こすために必要な最も重要な要因は何だと思いますか？→例えば、餌の形・大きさ・動き（方向、速さ）・色？それとも匂い・音？ 刺激の受け取り方や興奮の伝わり方、行動を起こすまでの簡単なメカニズムを知った現在の段階で、改めて仮説を立てて、それを検証するための実験方法を考えるとしたら、どのような計画を立てますか？

おそらく、ステップ1の段階で思いついた実験方法を大きく異なっていると思います。比較してみましょう。



ワークシート⑤

仮説「 _____

_____」

(ある要因を〇〇に変えれば、カエルは餌を食べようとする)

検証実験方法