



第12回 科学の甲子園 全国大会

実技競技② 「顕微鏡，自分で作れるってよ」

問題と手順

■注意事項

1. 指示があるまでは、「問題と手順」，「顕微鏡製作と実験の手引き」の冊子は開かないこと。
2. 競技開始の合図があったら，「解答用紙・写真提出用紙」の所定の欄に，学校名，番号などを記入する。
3. 本競技では生物の実験を行う。実験中は白衣を着用し，必要に応じて保護メガネをかける。特に【実験2 体細胞分裂の観察】を行う際には，実験用手袋もはめて安全に行うこと。
4. 実験で使用する試薬や器具類は注意して取り扱うこと。試薬や器具類の追加補充は原則として行わない。
5. 競技中に冊子の落丁や乱丁，材料，試薬，器具類の不足・不具合などに気づいたときは，監督（白いブルゾン着用）に申し出ること。
6. 競技中に体調が悪くなったり，トラブルが発生したりしたときは，すぐに監督に申し出ること。トイレに行くときも同様である。
7. 競技中の質問は受け付けない。
8. 競技が終了して退場の合図があるまでは，監督の許可なしに，会場の外に出ないこと。

【問題と手順】概要

- ① 別冊「顕微鏡製作と実験の手引き」を読み，顕微鏡を製作する。
- ② 顕微鏡に関する文章1と文章2を読んで，問1と問2に答える。
- ③ 製作した顕微鏡を用いて，標本A・標本Bの観察を行い，問4に答える。
- ④ 「ネギ根端組織の写真」を使って細胞周期に関する問5に答える。
- ⑤ 体細胞分裂が盛んなネギ根端組織のプレパラートを製作し，問3と問6に答える。

上記の①～⑤は並行することも可である。チームで相談のうえ，役割を分担するなどして効率よく進めること。

【文章1】

顕微鏡は16世紀にオランダのヤンセン父子により発明されたとされる。17世紀に入ると，オランダのレーウェンフックとイギリスのフックが顕微鏡を用いて微小な生物の観察を行い，大きな成果を上げることになる。しかし両者の顕微鏡はかなり異なる。レーウェンフックの顕微鏡は図1のような外見をしており，レンズは1枚（単式顕微鏡）だが，それによって100倍以上の倍率を得ていた。しかし光学的な無理があり，像は視野の周辺ではかなり歪んでいたと考えられる。一方，フックの顕微鏡（図2）は，現在普及している顕微鏡の原型といってもよく，対物レンズと接眼レンズを用いたもの（複式顕微鏡）である。

本課題では，フックタイプの複式顕微鏡を製作し，それによって様々な生物組織や細胞を観察することにする。

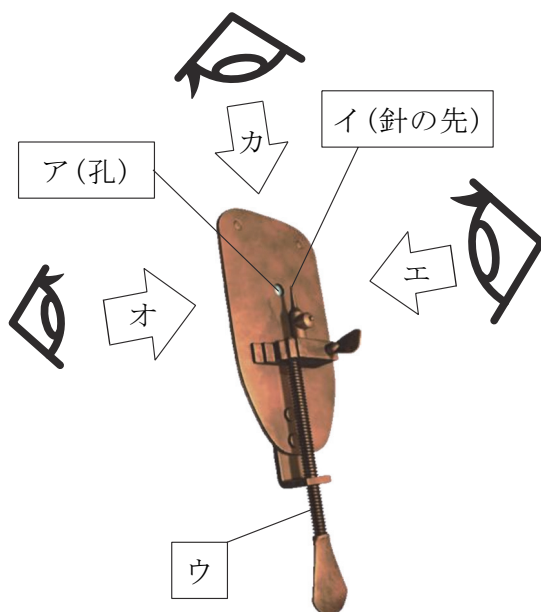


図1 レーウェンフックの顕微鏡

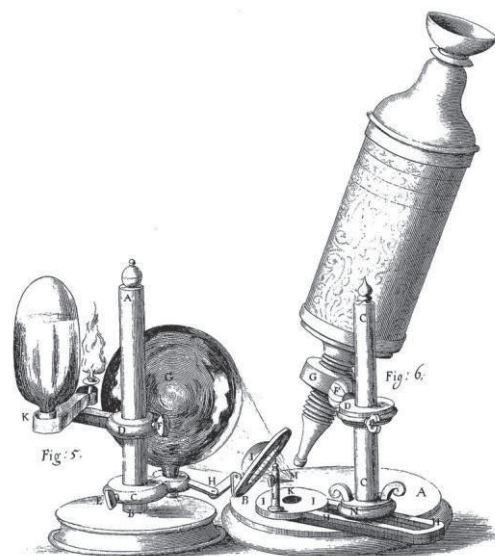


図2 フックの顕微鏡

問1 レーウェンフックの顕微鏡（図1）において，観察者はどのように観察したのであろうか。レンズ，観察標本，観察者の眼の位置を図1中の記号を使って答えよ。

【文章 2】

複式顕微鏡は対物レンズと接眼レンズを組み合わせることで，高い拡大率を生み出している。対物レンズ，接眼レンズはともに凸レンズである。その原理は，まず対物レンズで拡大した実像を作り，接眼レンズではそれをさらに拡大した虚像を作り，眼で見るということである。接眼レンズのはたらきは，虫眼鏡と同様で，**図 3** に示されるように，眼は標本（もしくは対物レンズで作られた実像）の虚像を見ることになる。

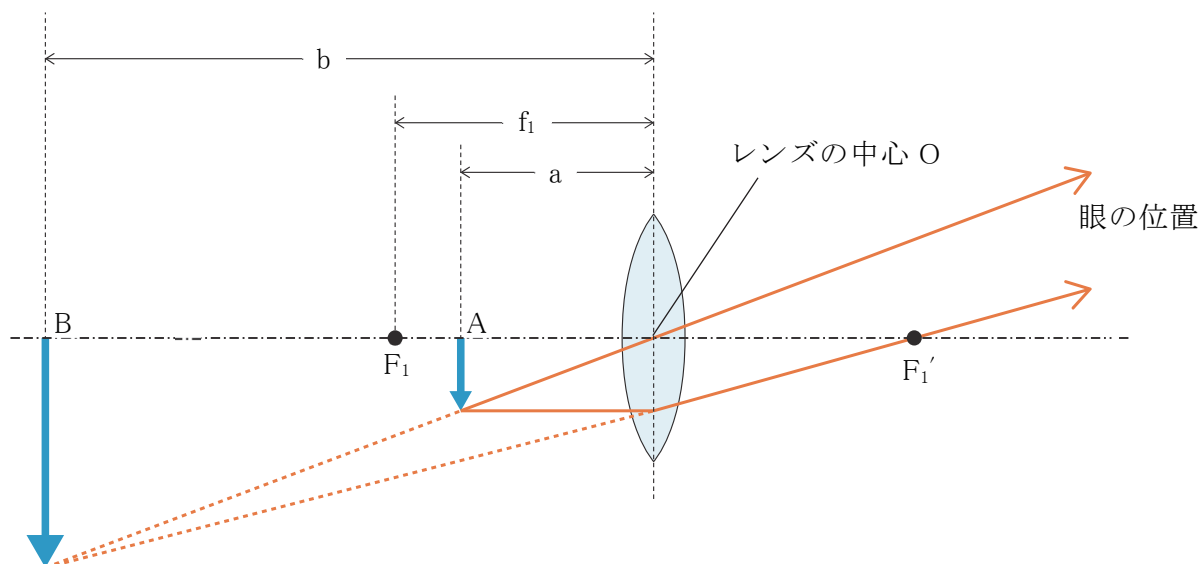


図 3 接眼レンズのはたらき

F_1, F_1' はレンズの焦点の位置を， f_1 は焦点距離を表す。A は標本（実際は対物レンズで生じた実像）の位置，B は虚像の位置を表し，実線は光路を，点線はその延長線を表している。A, B とレンズの中心 O までの距離をそれぞれ a, b で表している。

レンズの公式にしたがうと，以下の式(1)が得られる。

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \quad \dots\dots(1)$$

a, b, f_1 はレンズの中心 O からの距離を示す。
また， $f_1 > a$ である。

この場合，**図 3** において生じた虚像の倍率は ① と表せる。市販の顕微鏡の接眼レンズの側面に「×1 (010 倍)」と表記してあるのは，ヒトの明視の距離 (250 mm) のところになできた虚像が 10 倍の大きさになっていることを示している。

次に，対物レンズを考えてみよう。対物レンズの場合，標本の実像を作る必要がある（図4）。対物レンズの焦点距離を f_2 とすると，C の位置に置かれた標本の実像は D の位置にできる。

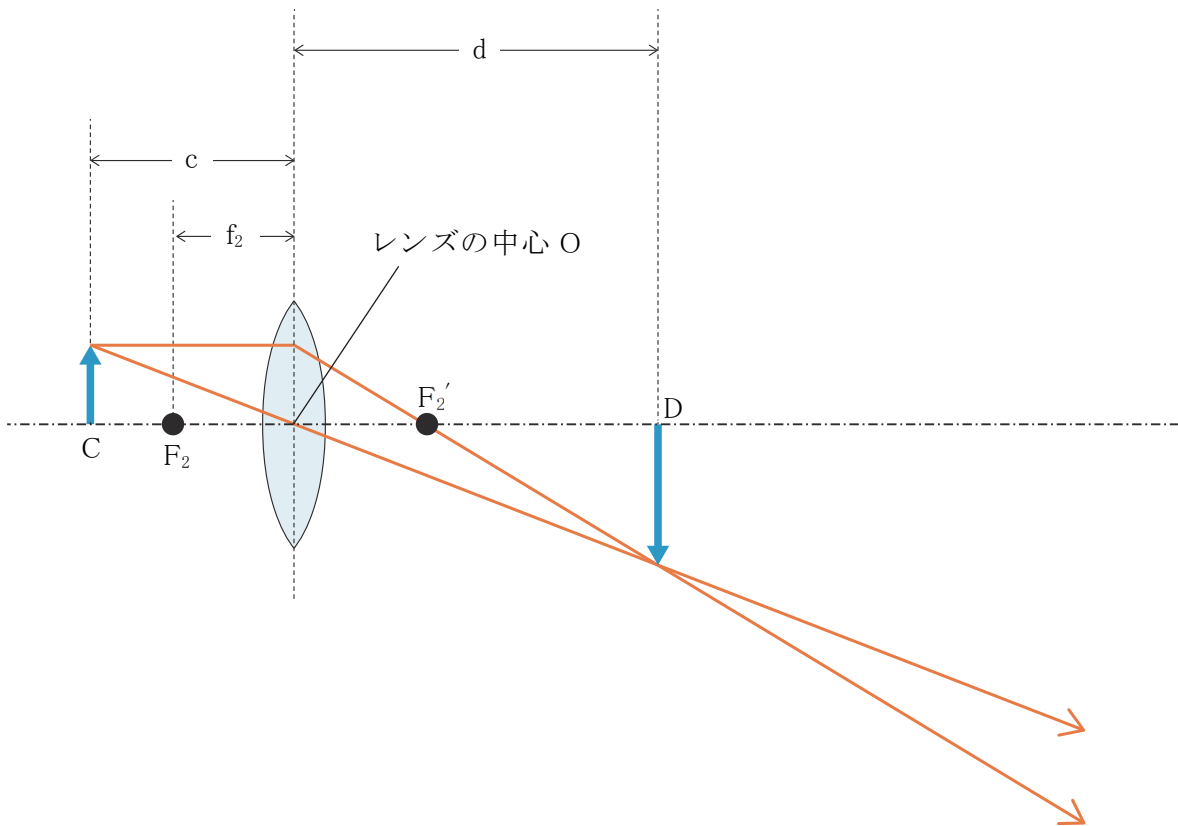


図4 対物レンズのはたらき

F_2, F_2' はレンズの焦点の位置を， f_2 は焦点距離を表す。C は標本の位置，D は実像の位置を表し，それぞれの点とレンズの中心 O までの距離を c, d で表している。

接眼レンズの場合と同様に，レンズの公式にしたがうと，以下の式(2)が得られる。

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{c} + \frac{1}{d} \quad \dots\dots(2) \quad \left[\begin{array}{l} c, d, f_2 \text{ はレンズの中心 O からの距離を示す。} \\ \text{また, } c > f_2 \text{ である。} \end{array} \right]$$

この場合，図4においてDの位置にできる実像の倍率は ② と表せる。

さて，対物レンズと接眼レンズを組み合わせる場合，図3の標本の位置Aに図4の実像Dができるようにする必要がある。この場合，対物レンズと接眼レンズの間の距離を顕微鏡の鏡筒の長さとするとき，その値は ③ となり，倍率は ④ となる。

ところで式(2)から，焦点距離 f_2 が一定でも c と d の数値は異なった組み合わせがとれるので，それによって倍率も異なることがわかる。しかし d の値を大きくとると，顕微鏡の鏡筒部が ⑤ になってしまい，実用的でない。そこで一般的な実習用顕微鏡など有限補正光学系を採用している顕微鏡では，鏡筒の長さ（機械筒長）は実用的な一定の長さに決められている。（※JIS や ISO で定められている機械筒長は 160 mm である。機械長筒とは対物レンズ

の取り付け面（レボルバーと接している面）と接眼レンズの取り付け面（接眼レンズを差し込む鏡筒の端）との間の長さを指す。

さて、顕微鏡の重要な要素として、倍率に加え分解能がある。例えば遠くに2人の人が並んでいる場合を考えると、2人が離れていれば2人として識別できるが、接近していくと2人か1人かわからなくなる。すなわち分解能とは観察している近接した2つの点を、どこまで2つの点として識別できるかということである。その性能を表しているのが、対物レンズに記されている開口数（N.A.）という数値である。これを用いて、分解能 δ は一般に以下の式で求められる。

$$\delta = \frac{0.61\lambda}{\text{N.A.}} \quad \lambda : \text{光の波長} (\mu\text{m})$$

この式から、分解能を高める（より短い間隔を識別できる）には、光の波長を短くするか、開口数が大きい対物レンズを使えばよいことがわかる。各倍率のレンズのN.A.は、実験の手引き（p.2の表中）に記されている。

問2-1 文章2の空欄①～⑤に最も適当な文字や式を入れよ。

問2-2 520 nm（緑色）の波長の光で観察するとすれば、製作した顕微鏡の最高の分解能はどれほどとなるか、 μm の単位で有効数字2桁で答えよ。

問2-3 顕微鏡の対物レンズと接眼レンズをセットとして用いた場合の分解能を考える上で、接眼レンズの開口数があまり問題にされないのはなぜか簡潔に述べよ。

【実験 1】 顕微鏡の製作

別冊「顕微鏡製作と実験の手引き」により，顕微鏡を製作する。

文章 2 から，接眼レンズと対物レンズの距離を変えると，ピントが合ったときの対物レンズと標本の距離（作動距離と呼ぶ）と倍率が変わることがわかる。実験の手引き（p.12）に記されているように，多くのメーカーでは 160 mm となっている。

さて，本課題で製作する顕微鏡は，文章 2 の原理に基づき，光源，標本，対物レンズ，接眼レンズ，眼（実際にはタブレットのカメラ）を一直線上に並べたものである。ここで第一に重要なことは，光軸が一直線上にくることである。すなわち，2つのレンズの中心軸が一致すること，その延長線上に標本とそれを照明する光源，そして観察用のカメラを配置することである。本実験ではアルミチャンネル上にこれらを配置することによってこの問題を解決しようとしている。この点に留意して顕微鏡の製作と実験を進めることが大切である。具体的には，2つのレンズの中心を結ぶ光軸に光源と観察する標本があることを確認しながら実験を進めることである。なお，標本，対物レンズ，接眼レンズ間の距離については文章 2 を参照すること。

次に実際の観察にあたっては，標本を適度な明るさで観察，もしくは撮影する必要がある。このために光量を調節する必要がある。ここでは簡易な方法として，偏光フィルターを用いている。

また，今回製作する顕微鏡では，倍率が高い場合（400 倍），標本の観察したい部位を顕微鏡の視野内に移動させることには苦勞させられるであろう。そこでまず低倍率（100 倍）で観察し，標本を最適な位置へ移動させ，その後高倍率の対物レンズで観察するのが効率的である。この標本の移動はスライドグラスを手でずらすことで行う。一方，ピントを合わせるためにスライドグラスをレールに沿って微動させることは難しい。ここではその解決策としてシリンジを用いて微動装置を製作することとする。

問3 ステージの微動装置の製作に関する以下の文章において、空欄①～⑥に当てはまる適当な語句を選択肢の中から選べ。

与えられている 1 mL と 5 mL の注射筒をチューブでつなぐ。すると一方の注射筒の押子を押し込むと、もう一方の注射筒の押子が押し出されてくるのがわかる。一方の注射筒の筒をレールか架台に固定し、その押子をステージに固定しておけば、もう一方の制御する側の注射筒の押子を押し引きすることでステージを前後に動かすことができる。この場合、ステージを動かすシリンジには ① 直径の注射筒を、もう一方の注射筒には ② 直径のものを用いれば、後者の注射筒の押子の動きを微量なステージの動きに変えることができるはずである。ところで注射筒と連結チューブの中には ③ よりも ④ を詰めた方がよいと考えられる。その理由は ④ の方が圧力による体積変化が少ないからである。また注射筒を連結するチューブは伸縮性が ⑤ 方がよいから、⑥ ものがよいであろう。さらにチューブが曲がると中の内容積が変化し得る可能性があるから、チューブと制御用注射筒は架台に固定しておいた方がよいと考えられる。

選択肢

ある ない 大 小 空気 水 柔らかい 硬い

問4 2種類の組織標本 (A, B) が与えられている。これらの組織を観察し、100 倍の倍率で写真撮影を行い、それぞれの標本について、特徴を捉えた最もよい写真の画像ファイルを写真1 (標本 A)、写真2 (標本 B) として提出せよ。

実技競技終了時に、「写真提出用紙」とタブレットを一緒に提出すること。なお、この手順は問6も同様である。

また、各組織の名称を下の選択肢から選んで記号で答え、そのように判断した根拠を画像の特徴を引用して述べよ。

(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
単子葉茎横断 トウモロコシ	双子葉茎横断 ヘチマ	双子葉茎横断 ホウセンカ	単子葉根横断 ネギ
(オ)	(カ)	(キ)	(ク)
平滑筋 イヌ	心筋 ラット	腎臓 ラット	胃底 イヌ

【実験 2】 体細胞分裂の観察

問 5 解答用紙 p.4 の「ネギ根端組織の写真」を使って，この組織における① 体細胞分裂中期，② 体細胞分裂後期の所要時間をそれぞれ小数第 2 位を四捨五入して第 1 位まで求めよ。なおこの写真の細胞数は 300 個，細胞周期は 25 時間とする。さらに，写真に①（中期）と②（後期）がわかるように印を付け（該当する細胞を①は丸，②は四角で囲むこと），提出せよ。

問 6 発根したネギの種子を用いて，根の成長点（体細胞分裂が盛んなネギ根端組織）付近の標本を「顕微鏡製作と実験の手引き」p.15【実験 2 体細胞分裂の観察】の手順にしたがって作成せよ。

次にそれを観察し，間期，分裂前期，分裂中期，分裂後期の特徴を示す細胞を同定せよ。そしてそれらがタブレット画像のなるべく中央にくるようにプレパラートを動かし，400 倍※（対物レンズを 40 倍に換える）で写真撮影し，その画像ファイルを写真 3（間期），写真 4（分裂前期），写真 5（分裂中期），写真 6（分裂後期）として提出せよ。撮影の際には，タブレットのズーム機能を用い，顕微鏡の視野（円形）がタブレットの画面いっぱいになる程度にまで拡大し撮影せよ。視野（円形）の輪郭が残る画像にする理由は，100 倍で観察した画像を，タブレットの機能で 400 倍相当に拡大して提出する間違いを防止するためである（「顕微鏡の製作と実験の手引き」p.17 参照）。

さらに，それぞれの写真（写真 3～6）上で特徴を示す典型的な細胞をひとつ選び，タブレットの描画機能を用いてその細胞を丸で囲み，それを矢印で示し，写真番号（間期であれば 3）を記入せよ。1 枚の写真に複数の分裂像がある場合，該当の細胞をそれぞれ丸で囲み，矢印を指し示して，写真番号を付すこと（実験の手引き p.17 参照）。別の提出方法として，同じ写真を複数提出して，写真ごとに該当の細胞を示しても良い。この場合，写真は同じでも写真番号ごとに囲まれる細胞が異なることになる。

また，解答欄にはその細胞がそれぞれの時期であると判断した根拠を画像の特徴を引用して述べ，さらに使用した対物レンズの倍率も記入すること。

※400 倍で明瞭に撮影できない場合は，100 倍で撮影してもよい。ただし，評価は低くなる。

以上

採点および順位の決定方法について

1. 本競技（時間 100 分）では，【実験 1】と【実験 2】の結果をもとに，解答用紙に記載された解答や，タブレットで撮影された写真などを 240 点満点で総合的に評価する。
2. 合計得点が 1 位または 2 位のチームが複数ある場合には，問 6 に関する設問や写真の得点が高い方のチームを上位として，1 位，2 位を決定する。
3. 上記によっても決まらない場合は，問 4，問 5，問 3，問 2，問 1 の順に評価し，1 位，2 位を決定する。
4. 3 位以下では，合計得点と同じ場合は同順位のままとする。