



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」

### 解答例と解説

**問 1** レーウエンフックが製作した顕微鏡は 550 台とも言われるが，現存するものは 10 台ほどである。それらは，真鍮製，銀製が主で，基本的な形は図 1 に示されたものである。この顕微鏡はレンズを 1 枚だけ使った単式顕微鏡と呼ばれるもので，ルーペに近い。球形に近い曲面をもったレンズが図 1 のアの位置に埋め込まれており，標本（検体）をイに付着させ，オの方向から見る。検体の位置はウのねじで調節する。

当時，既に図 2 のような複式顕微鏡も発明されていたが，技術的な問題が多く良好な像が得られなかったため，レーウエンフックは目的に合わせてレンズなどを変えた単式顕微鏡を多数製作し，観察したと考えられている。

**問 2 - 1** 複式顕微鏡では対物レンズで生じた実像を接眼レンズで虚像として見る。よって図 3 と図 4 を用いれば，鏡筒の長さは対物レンズと実像間の距離  $d$  と接眼レンズと標本（対物レンズで生じた実像）間の距離  $a$  の和  $(a+d)$  となる。各々のレンズによって生じる像の拡大率は，レンズによる結像の代表的な光線がつくる三角形の相似から求められる。また，図 4 から，標本を対物レンズの焦点に近づければ，拡大率は大きくなるが， $d$  も長くなり，鏡筒長も長くなるので実用的ではない。

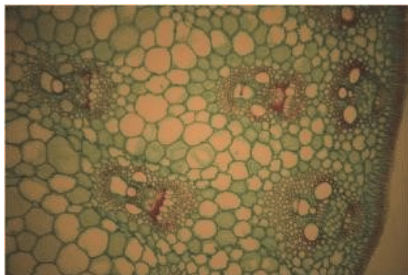
**問 2 - 2** 対物レンズは二種類（40 倍と 10 倍）提供されるが，そのなかの最大の N.A. の値を用いて， $\delta = \frac{0.61 \lambda}{\text{N.A.}}$  の式から  $\delta$  を求めればよい。

**問 2 - 3** 顕微鏡で生物標本を観察する場合，非常に微小なものが対象となるため，高い分解能が必要とされる。例えば  $1 \mu\text{m}$  の分解能（ $1 \mu\text{m}$  離れた 2 つの物体が 1 つの塊でなく 2 つの物体として認識できる）を必要とする場合，10 倍の対物レンズでは N.A. が 0.25 であるため，分解能は  $1.2 \mu\text{m}$  となり不十分で， $1 \mu\text{m}$  離れた 2 つの物体は 1 つの塊となって見えてしまう。したがって問 2 - 2 の解答で得られたように，40 倍のレンズ（分解能  $0.47 \mu\text{m}$ ）を使う必要がある。

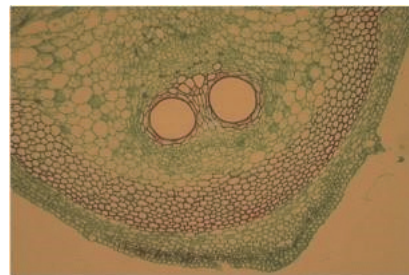
ところでこの対物レンズを用いた場合では， $1 \mu\text{m}$  のものから  $40 \mu\text{m}$  の実像が作られているので，接眼レンズの分解能は  $40 \mu\text{m}$  程度のものでよいことになる。すなわち分解能の低い接眼レンズ，例えば分解能が  $10 \mu\text{m}$  といった低いものでも  $40 \mu\text{m}$  よりは十分小さいので，最終的な観察像における分解能は落ちない。一方，N.A. が 0.25 の 10 倍の対物レンズを用いて，接眼レンズで倍率を高くしたり分解能を高めたとしても，その対物レンズで作られた  $1 \mu\text{m}$  離れた 2 つの物体は，実像では 1 つの塊となってしまっているため，それをいくら拡大しても 2 つの物体としては認識できない。

**問 3** シリンジとチューブ内は密閉されているので体積変化はないと考えれば，シリンジの押子の動く距離は直径の 2 乗に反比例するはずだから，大容量のシリンジの押子の動きは小容量のシリンジの押子の動きの数分の 1 になるので，ステージの微小な動きがしやすくなる。また，空気では圧力により体積が変わりやすいので，体積が変わりにくい液体の水のほうが一方のシリンジを操作した時の他方のシリンジの押子の反応が早く，操作しやすい。同様に柔らかいチューブだと圧力により伸縮しやすいので硬い方がよい。

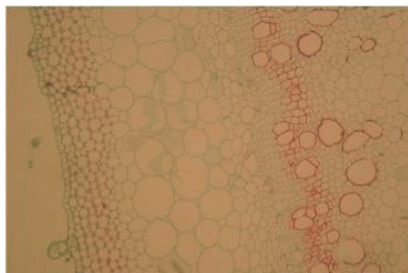
問4 解答の根拠となる事実を知っていれば，組織の特徴が現れた標本が与えられているのがわかるはずである。標本Aは根のように木部（道管）と師部（師管）が分離しておらず，1つずつまとまって維管束になっている様子がはっきり見えるので，維管束植物の茎であることがわかる。また，双子葉であれば，維管束が規則正しく輪状に並んでいる。標本Aでは維管束が散在しているので，単子葉のトウモロコシの茎横断面であると推測される。標本Bでは円形の細胞の集合した組織が散在するのが見られる。一方，平滑筋や心筋では縦断面では紡錘形の細胞の集合が，横断面ではほぼ円形の細胞の集合が見られる。また胃では，表層部でひだ状の粘膜構造が，その下層部では筋組織などが見られる。よって，標本Bは髄質の中に糸球体が散在している腎臓であると推測される。



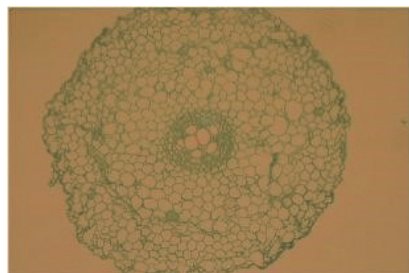
(ア) 単子葉茎横断（トウモロコシ）



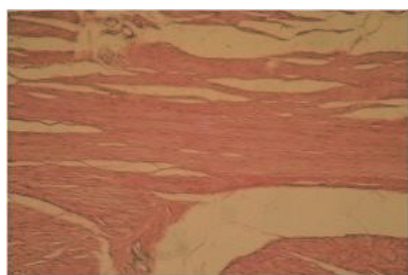
(イ) 双子葉茎横断（ヘチマ）



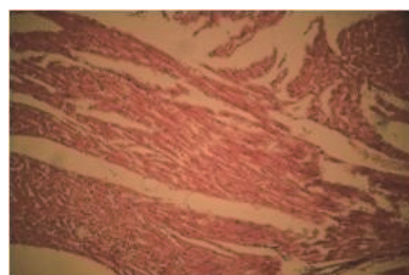
(ウ) 双子葉茎横断（ホウセンカ）



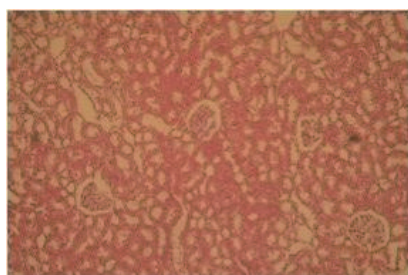
(エ) 単子葉根横断（ネギ）



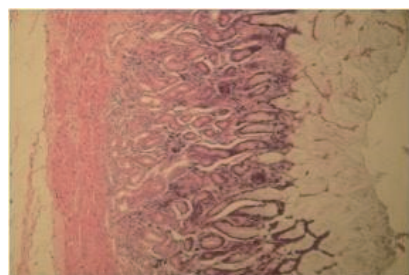
(オ) 平滑筋（イヌ）



(カ) 心筋（ラット）



(キ) 腎臓（ラット）

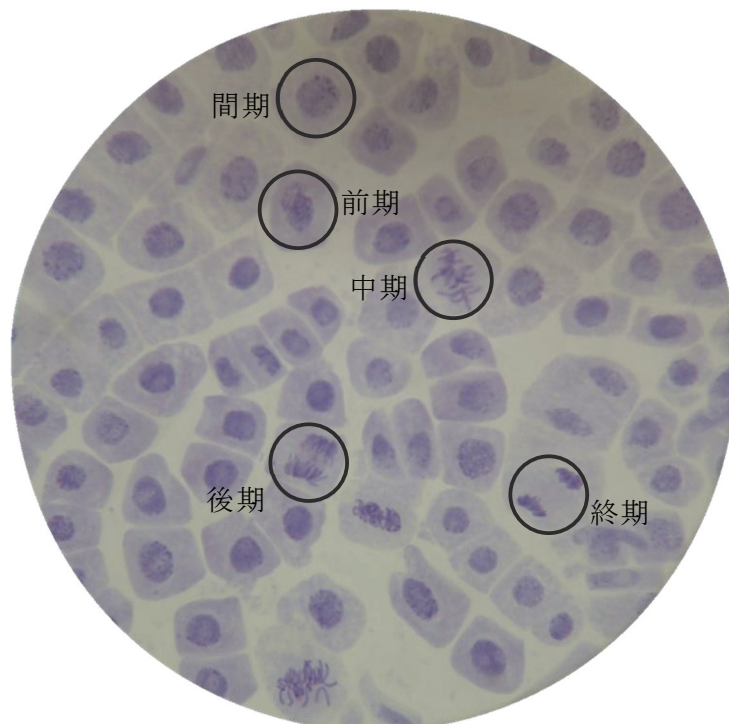


(ク) 胃底（イヌ）

**問5** 植物の体細胞分裂において分裂期では，棒状の染色体が出現し核膜や核小体が消える前期，棒状の染色体が赤道面に配列する中期，棒状の染色体が2群に分かれ2つの極に移行していく後期，完全に分かれた棒状の染色体群が核膜に囲まれてまとまり，細胞板が出現してくる終期に分けることができる。この分類に従って写真の細胞を特定することになるが，実際にはそれぞれの時期への移行状態をどのように判定するか，また立体的な細胞をどの角度から見るかによって判定が難しい場合が多い。よって解答例は典型的なものを示している。

**問6** ネギの根端の分裂組織を上手に取り出すことに多少の技術を要する。また，染色後，カバーガラスを被せた後，押しつぶして細胞を分散させるのにも多少のコツがいる。そこまで順調に運べば，**問5**と同様の基準を満たす細胞の写真撮影して提出すればよい。酢酸ダーリア溶液と3%塩酸の混合液で染色すると，染色質や染色体は青く染まる。塩酸は，根端細胞どうしの接着をゆるめ，解離しやすくする。根端を封じたカバーガラスの上から細い棒で叩き，根端細胞の塊を一層になるまで薄く延ばすことで細胞内の核，染色体を観察しやすくしている。

実験の手順にしたがって作成したプレパラートの観察像が，次の写真である。顕微鏡の総合倍率は400倍で撮影した。



- ① 間期の多くでは，青く染まった染色体が小粒の集団のように観察できる。
- ② 前期には，青く染まった染色体が棒状になり，核膜と核小体が消える。
- ③ 中期には，分裂方向の中間（赤道面）に染色体が並ぶため，ブラシ状に見えるものが多い。これを側面観といい，この時期は染色体の姿を観察しやすい。染色体が縦列している様子も見られる。また，中には染色体の移動方向側からの観察像が見られることもあり（極面観），染色体数を数えたり，個々の染色体の姿を観察したりするのに都合がよい。
- ④ 後期は，染色体が極方向に移動する様子を示している。「2本の破れ傘が両方向に引っ張られている姿」に例えることもできる。
- ⑤ 終期には，両極に移動した染色体がまとまりつつあり，細胞質には細胞を2つに仕切るための細胞板が形成される。

(解答例)

問 1

	レンズの位置	観察標本の位置	観察者の眼の位置
解答	ア	イ	オ

問 2 - 1

	①	②	③	④	⑤
解答	$\frac{b}{a}$	$\frac{d}{c}$	a + d	$\frac{b}{a} \times \frac{d}{c} \left[ \frac{bd}{ac} \right]$	長く

問 2 - 2

解答：  $4.9 \times 10^{-1} \mu\text{m}$        $0.61 \times \frac{0.52}{0.65}$

解説  
 対物レンズは2種類（40倍と10倍）提供されるが，そのなかの最大の N.A. の値を用いて，  
 $\delta = \frac{0.61 \lambda}{\text{N.A.}}$  の式から  $\delta$  を求めればよい。

問 2 - 3

解答：接眼レンズでは対物レンズで拡大された実像を見ることになるため，対物レンズより多少悪い分解能でも，最終的な観察像における分解能は落ちないと考えられる。

解答例の通り。

問 3

	①	②	③
解答	大	小	空気
	④	⑤	⑥
解答	水	ない	硬い

問 4

写真 1	標本 A	組織の名称	判断した根拠 ○ 木部と師部が1つずつまとまって維管束を作っているため根ではない。またその維管束が散在していて， <u>形成層は観察できない</u> から。このような特徴から，不整（不斉）中心柱を持つ単子葉類の茎と判断できる。
		(ア)	
写真 2	標本 B	組織の名称	判断した根拠 ○ 組織中に球状の腎小体または糸球体と見られる構造が観察できることから，腎臓の組織と判断できる。
		(キ)	

問 5

① 体細胞分裂中期	② 体細胞分裂後期
0.4 時間	0.3 時間



50  $\mu$  m

## 問 6

写真 3	間期	判断した根拠 ○ 形のはっきりとした核が見えることから、核膜があると考えられる。 <u>核内に白く染まっていない部分が見える</u> ことから、核小体があると考えられる。
写真 4	分裂前期	判断した根拠 ○ 核膜・核小体が不明瞭になり、染色体が短く・太くなっているから。
写真 5	分裂中期	判断した根拠 ○ 棒状の染色体が赤道面に並んでいるから。
写真 6	分裂後期	判断した根拠 ○ 縦裂した染色体が、両極に移動しているから。