

連載 趣味としての検便

# 爬虫類のウンチを見よう

山内 昭

彼らの便の中には、別の宇宙が広がっており、何度見ても見飽きない素晴らしい世界があります。顕微鏡を買う前に、簡単な用語や仕組みを解説します。せっかく買うのですから、過不足なく、最低限必要な組み合わせを考えてみましょう。

今回は、爬虫類の検便を行うための、顕微鏡の基本を解説しました。今回は、実際に顕微鏡を買うことを前提に、もう少し具体的にそれぞれのパーツについて考えてみましょう。



各部の名称 (写真提供: オリンパス光学工業)

## システム顕微鏡

一言にシステム顕微鏡といっても、種類が沢山あります。システム顕微鏡の定義は明確ではありませんが、固定されたセットでの使用に限定されたものではなく、ユーザーがレンズや機能の組み合わせを選択できたり、将来発展させることができるものと考えていいでしょう。これには、何百万円もする高級なものから、学校などで使用する実習用の顕微鏡まで含まれています。自分の用途や予算に合わせて、過不足ない組み合わせを考えてみましょう。

純粹にシステム顕微鏡というものを考えた場合、まずボディ(本体)を何にするかを決定します。それに合わせてレンズを選択します。これは、ちょうど1眼レフのカメラを買うときに、ボディを決定し、自

分の用途に合わせてレンズを選ぶことに似ています。

### 顕微鏡本体

顕微鏡の本体というものを考えた場合、これから述べるすべてのパーツを単に支えるための台だと考えてもらって差し支えないでしょう。鏡筒、レンズ、ステージ、コンデンサ、照明装置などはすべてオプションです。

もちろん、これらのパーツをすべて自分で選んでオリジナルの組み合わせの顕微鏡を作ることできますが、あまりに複雑になるので、メーカー側である程度のセットをシリーズとして売っています。

多くの場合、本体には電源と粗微動装置(ピント合わせ用)は組み込まれていて、それにステージ、光源を組み合わせたバリエーションが、シリーズとしてカタログに載っています。

オリンパスを例にあげると、おおむねA、B、Cの3つのシリーズが用意されています。

A、Bのシリーズは、医療関係の研究所や病院での使用を目的とした高級なシステムなので、便の寄生虫検査を主な目的で使うにはオーバースペックでしょう。金銭的にも、スペース的にも余裕のある人はこの限りではありませんが、通常の検査では、Cシリーズの実習用の生物顕微鏡で十分です。

これはレンズの無い本体部分の仕様なので、一通りの機能が備わっていれば、あまりこだわる必要はないでしょう。本体に、レボルバ、粗動・微動装置、コンデンサが付いており、できればメカニカルステージ、照明装置が組み込まれているか、もしくはオプションで設定できるものであれば言う事ありません。

システム顕微鏡は接眼鏡筒部分も選べる様になっています。片目で見る単眼鏡筒、両目で見る双眼鏡筒、双眼にカメラ鏡筒が付いた3眼鏡筒などがあります。値段は少し高くなってしましますが、できれば双眼鏡筒を購入される事をお勧めします。単眼よりも圧倒的に覗きやすく、疲れも少なくなります。もし、写真撮影もする場合や、将来計画している方は、初めから3眼鏡筒を求められると良いでしょう。

メカニカルステージは、あると非常に便利な装置です。特に検便などで虫卵を探すような場合は必需品となりますので、強くお勧めします。

照明装置もないと絶対だめと言う訳ではないのですが、せっかくのレンズの性能を十分に引き出すためには、ケーラー照明(明視野で対物レンズの性能を最も引き出す照明方法)のできる光源内蔵のものがよいでしょう。



## 接眼レンズ

接眼レンズで注目すべきスペックは、収差補正、倍率と視野数です。顕微鏡は、まず対物レンズで実体を拡大し、その中間像を更に接眼レンズで拡大して見る様になっています。従って、接眼レンズは対物レンズとの組み合わせで考えるべきであり、対物レンズの性能に見合ったものでなければなりません。せっかく良い対物レンズを使用しても、接眼レンズが合っていないと、性能を発揮できなくなります。さらに、対物レンズと接眼レンズ双方の組み合わせで収差を除去している場合もあるので、同一メーカーの接眼レンズを揃える必要があります。

理論的には、総合倍率 = 対物レンズ倍率 × 接眼レンズ倍率となりますので、接眼レンズの倍率を上げれば上げるほど、拡大率は高くなる計算です。しかし、解像度を決定しているのは殆ど対物レンズの性能によりますので、総合倍率が高くなっても、細部まで見えるようになるとは限りません。逆に、接眼レンズの倍率が上がるほど、視野も狭くなり、覗き難くなる欠点があります。色消しをした10×の接眼レンズがベストでしょう。

また、当り前のことですが、双眼鏡筒や3眼鏡筒を選択した場合、接眼レンズは同一のものが2つ必要になります。

## ・視野数

視野数は、対物レンズで拡大した中間像を、接眼レンズで更に拡大して見る時の範囲を直径で表わした数字です。数字が大きくなるほど見える範囲が広がります。少ないと中間像の、より小さい一部を覗くような感じになってきます。

これも広ければ広いほど良いと思われがちですが、実際は次に述べる対物レンズとの組み合わせによって効果が異なってきます。対物レンズの像面湾曲補正度合によっては、オーバースペックになったり、役不足であったりする可能性があります。通常の使用でしたら視野数18～20もあれば十分でしょう。

因みに視野数20を越える様なものは、本体、接眼鏡筒も、径の大きい超広視界専用の非常に高価なものを揃えなければなりません。通常の使用では、そこまでは必要ないでしょう。

## 対物レンズ

顕微鏡の心臓部とも言える拡大レンズです。顕微鏡の解像度、見え味、倍率など性能のほとんど全てを決定付けると言っても過言ではないでしょう。極端な話、顕微鏡本体はどんなにボロくても、良い対物レンズを使用するだけで、驚くほど良く見えるようになります。

顕微鏡を購入する際には最も注目したい部品です。残念ながら、一般的に光学製品は、性能の良さと価格は指数関数的に比例してしまうのも事実ですが、他の機能をあきらめてでも、コストをかけたい部品です。

対物レンズで注目すべきスペックは、開口数、種類(諸収差補正タイプ)、倍率、使用時の媒質指定などです。

対物レンズは多くの記号でその種類が表現されています。例えばノーカバー用のNC、位相差用のPC、偏光用のPO、蛍光用のUVなど知らないと難解なネーミングが施されています。ここでは一般的な対物レンズの側面に刻印されている記号について解説します。

## ・開口数 (NA)

レンズの明るさを示す数字で、望遠鏡での口径に相当するものです。ただし、開口数は望遠鏡やカメラのレンズのように、対物レンズの口径を直径で表わすものではなく、試料からの光をどこまでレンズに導入できるかを表わした指標です。

望遠鏡の解像度が口径によって左右されてしまうのと同様に、顕微鏡の解像度も対物レンズの開口数によってある程度決まっています(もちろん開口数だけではありませんが)。開口数は対物レンズの作動距離、カバーガラスとレンズの間の媒質、レンズの材質、構成など様々な要因で決定されています。



対物レンズの側面には、何やら分からない記号や数字が書かれています。1つずつ見てみましょう。(上写真：DPlan 対物レンズシリーズ。写真提供：オリンパス光学工業)



**DPlan**：視野数 20 までの平坦性を保証したアクロマートレンズ。

**A**：アクロマートレンズ。

**10, 40, 100**：倍率。

**PL**：位相差レンズのコントラスト表示。この他に、PLL, NH, NM もある。

**0.25, 0.65, 1.25**：開口数(NA)。

**oil**：油浸レンズ。

**160**：機械的筒長(mm)。(JIS規格)

**0.17**：カバーガラス厚指定(mm)。

**先端赤帯**：位相差レンズ(写真中央)。

**先端黒帯**：油浸レンズ(写真右)。

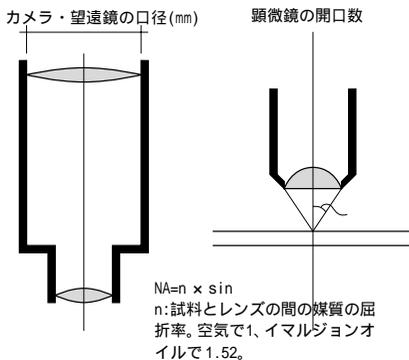


図2: 顕微鏡対物レンズの開口数: 望遠鏡やカメラのレンズでは、ほとんど平行光線に近い光の導入が前提なので、レンズの明るさや解像度を表す指標として、対物レンズの口径(直径)をmmで表します。

顕微鏡の場合は、試料までの距離が非常に近いので、レンズの性能を表すのに、開口数という指標を使います。開口数から、分解能、明るさ、焦点深度が計算で求まります。

同一倍率のレンズで比較した場合、開口数の大きいレンズほど解像度は良くなります。信頼あるメーカーの対物レンズには、必ず開口数が側面に刻印されています。開口数の刻印が無いレンズは、どんなものが全く分かりません。

一般的には、10×で0.25、40×で0.65程度の値になっています。

### ・種類(収差補正タイプ)

どんなに良いガラスを使用してどんなに良い設計を行っても、光学レンズの宿命として、収差は避けて通れない道です。また、全ての収差を完全に除去する事は不可能であることも分かっています。収差には、色収差、像面湾曲収差、非点収差、球面収差、コマ収差など様々なものがありますが、顕微鏡で最も気になるのは色収差と像面湾曲収差でしょう。対物レンズの設計ではこれら収差をどの程度除

去しているかによってランク分けされており、それぞれに独特の名前が与えられています。

### 色消し

例えば、色収差に付いて考えて見ましょう。何も色収差補正をしていない単純な凸レンズ1枚で対物レンズを構成することを想定します。図3の様に、光は周波数(色)によって屈折率が異なります。その為、レンズを通過した光はプリズムと同じ原理で様々な色に分解されます。従って、各色の結ぶ像の位置が異なってしまいます。その像を更に接眼レンズで拡大して見る訳ですから、虹色に分かれてピントのぼけたひどい視野になってしまいます。色が干渉しあって何を見ているのか分からないでしょう。

この凸レンズに、異なる材質の凹レンズを組み合わせると(実際

## 光学ガラス

光学製品のレンズに使われているガラスは、窓ガラスやビンなどに使用されているガラスと区別して、光学ガラスと呼ばれています。光学ガラスはその製法や成分によって、実に様々な種類に分けられています。

光学的性能の指標はたくさんありますが、レンズを設計する上で重要なのが、屈折率と分散率です。

### 屈折率

屈折率は、光をどれくらい曲げるかを表す指標です。たとえば、同じ形のプリズムでも、単色光を通すと、プリズムを作るガラスの屈折率の違いによって、曲がる量が変わります。

### 分散率

分散率は、各色の屈折率のばらつき具合を表す指標です。

白色光をプリズムに通すと、各色のスペクトルに分解されることが知られていますが、それは光の波長によって屈折率が異なるからです。一般的に波長の長い光(赤)はあまり曲がらず、波長の短い光(青)ほど大きく曲がるようになります。

分散率の高い光学ガラスでプリズムを作ると、波長の違いが大きな差となって表れ、分散率が低いガラスでは、虹色に分かれる範囲が狭くなります。

プリズムの用途では分散率が高い方が良いでしょうが、レンズを作る場合、こ

の色の分散は大きな障害となって現れます。色によって焦点を結ぶ距離が変わり、物体の縁が色付いて見えてしまいます。この現象は色収差と呼ばれています。

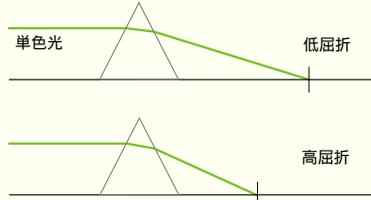
### 色消し

光学ガラスメーカーもレンズメーカーも、長年、いかにこの分散をなくすかを研究してきましたが、物理的に完全に除去することは不可能です。したがって、ある程度で妥協して、様々な屈折率や分散率の光学ガラスで作ったレンズを組み合わせて、できるだけ色収差が少なくなるように設計しています。この時のレンズの組み合わせ、レンズの形状、枚数、順序などに、独自のノウハウが凝縮されているのです。

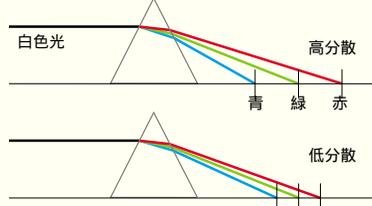
最近ではカメラや望遠鏡のレンズで、フローライトやEDの名前をつけたものが売られていますが、これらは、特殊な光学ガラスの材質に付けられた名前です。

フローライトは、蛍石として天然にも存在している鉱石ですが、古くから分散率が非常に少ないことが知られていました。しかし、物理的にもろく、加工が困難だったため、最近まで大口径のレンズを作ることができませんでした。顕微鏡のレンズは小さいので幾分加工しやすかったのでしょう。それでも、フルオリートレンズは高価なものとなっています。EDは、Extra-low Dispersionの略で、異常低分散ガラスと呼ばれている光学ガラスです。

屈折率の違い



分散率の違い



は凸凹合わせて数枚使っている) 発散していた色の分散をある程度収束させる事ができます。

ここで、特定の2色(たとえば赤と青)について注目し、凹レンズを適当な屈折率・分散率の材質で作ると、2色を同一焦点面で結像させることができます。この様に、2色について色消しをしたレンズを一般的にアクロマートレンズと呼びます。

この手法を更に推し進めて、3色(たとえば赤、青、オレンジ)について色消しをしたレンズを設計する事もできます。これはアポクロマートレンズと呼ばれています。

同様にして、4色、5色と色消しを進めることは、理論上可能ですが、設計が難しく、レンズ構成枚数が多くなることによって、暗くなったり、コントラストが低下したりする別の副作用が出て来る為、アポクロマートを越えるレンズは作られていません。もしあったとしても、とても趣味で買える範囲の値段に収まらないでしょう。

アクロマートレンズはアポクロマートレンズより値段が安い為、一番普及しているレンズです。アクロマートレンズは、~ Ach等と名前がつけられています。

アポクロマートレンズは最高の見え味を發揮しますが、非常に高価で、アクロマートとは1桁違った値段がつけられています。レンズ側面

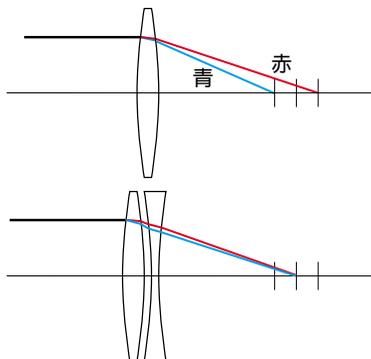


図3: 屈折率と分散率が異なる凸レンズと凹レンズを組み合わせると、色収差をある程度補正することができる。

には ~ Apo 等と刻印されています。

この他にも、アクロマートレンズの一部にアポクロマートのレンズ構成を使用したセミアポクロマートレンズと呼ばれているものもあります。さらに、レンズの材質そのものが色の分散率が非常に少ないフローライト(蛍石)等を使って製作されたレンズもあります。カメラや望遠鏡の世界ではそのまま「フローライト」と呼んでいます。顕微鏡の世界では何故かこれをフルオリートと呼びます。これも、大変高価なレンズです。

通常の使用でしたら、アクロマートレンズで十分でしょう。特にシビアなカラー写真を撮りたい方や予算的に余裕のある方はアポクロマートレンズに挑戦してください。

## 象面湾曲収差

この他にも、対物レンズの気になる収差として、象面湾曲収差があります。これは、一般的にレンズの焦点面が平面にならず、球面になってしまうことによって起ります。補正していないレンズでは、視野中心でピントを合わせると、周辺部でピントがぼける現象として捉えられます。この現象もひどく気持ちの悪いものです。特に写真撮影をする場合は顕著に現れ、中心部でいくらピントを合わせても、中心以外はぼやけた写真になってしまいます。

この現象ができるだけ少なくなる様に補正レンズを組み込んだものがPlan（プラン）と呼ばれているものです。これも完全に除去する事は不可能なので、どの程度補正しているかによってタイプが分かります。オリンパスでは視野数

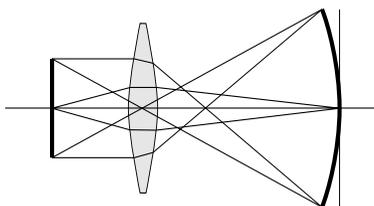


図4：象面湾曲収差：普通のレンズでは、焦点面が平面ではなく、球面の一部になり、中心部で正確にピントを合わせても、視野周辺部ではピントが甘くなってしまいます。補正レンズを組み込んで象面を平面に近づけ、視野周辺までフォーカスが合うようにしたものが、Plan系のレンズです。

20まで像の平坦性を保証しているものをDPlanと呼んでおり、視野数26まで保証しているものはSPlanと呼ばれています。

ここで前述の接眼レンズとの関係が出てきます。例えば、DPlan対物レンズと視野数26の接眼レンズの組み合わせでは、周辺部分が甘くなってしまうし、SPlan対物レンズに視野数20の接眼レンズでは、折角のSPlanレンズの能力をフルに発揮できなくなってしまいます。前述のCシリーズの本体で使用する場合は、DPlanレンズと、視野数20の接眼レンズの組み合わせがベストでしょう。

対物レンズの名称で、我々が最も混乱するのは、ネーミングの統一性がないところです。たとえば、アポクロマートは必ずApoと表示されていますが、アクロマートは表示されていたり、何もかかれていなかったりします。～Planという名称が像の平坦性を表わしているとする、色収差の補正はどうか、刻印だけでは想像が付きませんが、実際にはPlan系レンズは後ろに何も書いていないと、暗黙的にアクロマートの様です。「～Plan Ach」と表示されていた方がより分かり易かったです。Planのアポクロマートは「～Plan Apo」と表示されています。また、これらの表記法がメーカーによっても異なっているので、一層混乱を招きます。

通常の観察では、Achレンズで十分ですが、写真をとることもあり、コスト的に許されればDPlanレンズをお勧めします。

#### ・倍率

メーカーによって異なりますが、対物レンズは大体1×から100×まで様々な倍率のものが揃っています。その中で、一般的に良く使われているレンズは、4×、10×、20×、40×、60×、100×でしょう。60×や100×のレンズは、開校数を増やすために、試料とレンズの間にオイルを入れたりするので（油浸レンズ）使用法やメンテナンスが少し大変になります。最初に爬虫類の検使用に買う対物レンズとしては、10×と40×の2本で十分でしょう。メーカーでは、レボルパーの穴の数分の様々な対物レンズのセットを販売していますが、その予算があったら、2本にしぼって性能の良いレンズを単品で買った方が実用的ですし、満足度も高いでしょう。たくさんあっても、そう頻繁に使うものでもありません。

線虫や糸虫の卵は100 μmのオーダーなので、10×の対物レンズで十分に見えますし、数十μmオーダーのトリコモナス等の原虫類も40×の対物レンズで核や鞭毛まで良く見えます。

より深く、詳細に観察したくなったら、より高倍率の対物レン

ズに挑戦して見て下さい。恐れることはありません。

逆に、大型の生物（顕微鏡レベルでの大型：線虫本体等）を観察する場合は4×位の低倍率レンズが必要になるかもしれません。また、低倍率のレンズは、線虫卵を探すときなどにも重宝します。

ただし、これらは必要性を感じてから購入しても遅くはないでしょう。また、そういった買い方ができるところも、システム顕微鏡の良いところなのです。

#### ・使用時の媒質指定

顕微鏡で何か微細なものを観察しているとき、その試料から人間の目の直前までが、すべて顕微鏡の光学系であると考えられています。対物レンズや接眼レンズだけではなく、試料の周りの水も、カバーガラス自体も、さらに、カバーガラスとレンズの間にある物質もすべて光学系の一部なのです。

この、試料からレンズまでの間に何があるかによって、レンズの設計が大きく変わります。逆に、ある媒質が間にあることを前提に設計された対物レンズは、それ以外の使い方をすると、著しく解像度が落ちてしまいます。

最も一般的なものは、試料が水の中に入っており、その上にカバーガラスがかけられ、カバーガラスからレンズまでの間は空気です。

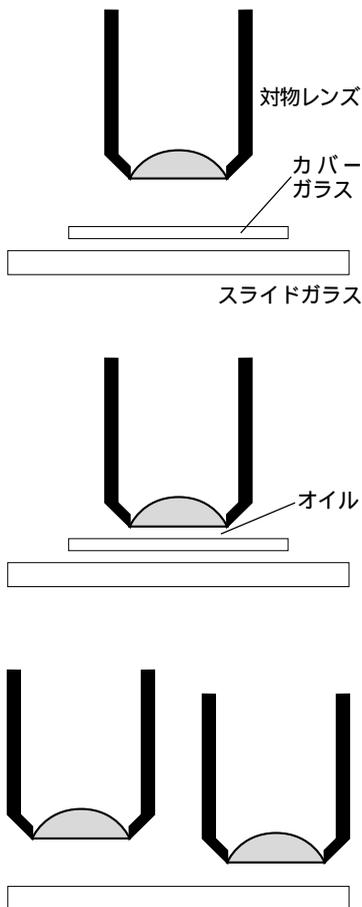


図5: 試料からレンズまでの様々な媒質の違い。

上: 乾燥系レンズ。カバーガラスとレンズの間は空気。(低倍率レンズなど)

中: 油浸レンズ。カバーガラスとレンズの間は、ガラスと同じ屈折率の特殊なオイルで満たされる。(高倍率レンズ)

下: ノーカバーレンズ。カバーガラスをかけないことを前提に設計されているレンズ。これも、乾燥系と油浸系がある。(塗抹標本専用)

こういう使い方を前提に設計されたレンズは、通常何もかかれていません。何も書かれていないレンズは必ずカバーガラスをかけて使います。これは、「乾燥系レンズ」と呼ばれています。

対物レンズの倍率が上がると、作動距離が短くなり、開校数が小さくなってしまいますので、多くの60×とか100×の対物レンズは、カバーガラスとレンズの間にオイルを入れて使用することを前提として設計されています。これらのレンズは、対物レンズの側面に「oil」の刻印があり、黒い帯の表示があります。この場合、屈折率が1.5の顕微鏡専用のイマージョンオイルを使用しないと、設計通りの性能ができません。必ずカバーガラスの上にオイルを1滴たらして使います。これは、「油浸レンズ」と呼ばれています。

さらに、カバーガラスを使わないことを前提に設計されたレンズは、「ノーカバーレンズ」と呼ばれています。これは血液の塗抹標本などを観察する時に多用されるレンズです。ノーカバーレンズには「NC」などの刻印があります。

一般的には40×までは乾燥系レンズ、100×もしくは60×で油浸レンズとなります。油浸レンズは使用の都度、レンズやプレパラートの掃除が必要となりますので、取り扱いがやや面倒になります。乾燥系の

100×レンズも存在しますが、油浸レンズほどの性能が得られない上、ひどく高価になりますので、特殊な用途でしか使われません。

### ・カバーガラス厚指定

その他に対物レンズ本体に刻印されているものとして、カバーガラスの厚さ指定があります。前述のように、標本から上は全て光学系の一部となりますので、高解像度のレンズほどカバーガラスの厚さの影響を受けます。従って良いレンズには、できるだけ指定厚のカバーガラスを使用するようにしましょう。「0.17」等の刻印があると思います。これは、0.17mm厚のカバーガラスを使うように指示するものです。よりシビアな対物レンズには、カバーガラスの厚さに合わせて調整できる装置が付いたものもあります。

### その他のレンズ

上記の他にも様々な種類のレンズがありますが、筆者が特に気に入って愛用しているものに、位相差対物レンズがあります。これは、専用のコンデンサと組み合わせて使用します。

透明な媒質(水など)の中の、透明な物体(多くの微生物は生体では透明)は、どんなに高解像度のレンズで見ても見え難いものです。しかしながら、同じ透明でもわず

かに屈折率が異なります。屈折率が異なると、透過光の位相がずれるので、その差を巧く干渉させると明暗に変換する事ができます。位相差装置はこの原理を応用して、普段は染色しないと見えないような試料が、そのまま生きた状態で驚くほど良く見えるように変換してくれます。特に、通常のレンズでは見えにくい原虫類の鞭毛や繊毛の観察には威力を発揮します。絶大な効果の割に、機構が簡単なので値段もさほど高くなく、より深く研究したい方にはお薦めします。コンデンサは、1台で通常の明視野照明、暗視野照明、位相差照明が切り換えられる「ユニバーサルコンデンサ」と呼ばれているものが便利でしょう。将来の拡張としてご検討ください。

### まとめ

以上より、初期導入セットとしてお薦めできるものは、拡張性のあるシステム顕微鏡本体(電源、照明装置、コンデンサ、メカニカルステージ付)と、双眼もしくは3眼鏡筒、10×、40×のPlanアクロマートレンズ(DPlanなど)、視野数20の10×接眼レンズの組み合わせです。ちょっと値が張りますが、初めに良い物を揃えておくと末永く使えます。将来、位相差装置を組み込んだり、写真撮影装置を追加したりと、グレードアップも行えます。(続)