

天体望遠鏡を使ったお気楽デジカメ撮影

長崎大学教育学部 長島雅裕

1. はじめに

天体望遠鏡は単に天体観測のためだけでなく、使いようによって、様々な対象への教材になります。本稿では、天体望遠鏡と皆さんがお持ちのデジカメを使った簡単な月の撮影方法を紹介しつつ、望遠鏡から何が学べるか、考えてみたいと思います。

最初に天体望遠鏡の効用とその仕組み（光学系と架台）を述べます。次に、デジカメで撮影する際に気をつけることについて触れます。最後に、望遠鏡から学べることを考察してみます。

2. なぜ天体望遠鏡を使うか

天体観測をするからといって、必ずしも望遠鏡が必要とは限りません。星座を見たり、流星を観察する場合は普通は望遠鏡は使いません。では、どのようなときに望遠鏡を使いたいと思うのでしょうか？

天体望遠鏡を使う目的は二つあります。一つは暗い天体を観測することです（**限界等級**）。二つ目は拡大して細かい構造をみるためです（**分解能**）。「デジカメで月の写真」という場合には、後者の効能が重要なのですが、そこに行く前に、それぞれについてもう少し詳しく考えましょう。

2-1. 限界等級

空が暗く澄んでいる良い条件のもとでは、肉眼では6等星まで見ることができます。この、見ることのできる最も暗い星の等級のことを限界等級と呼びます。では、6等という値は何で決まっているのでしょうか？それは、瞳、すなわち光を集めるレンズの大きさと、視細胞および人間の光の認識方法、すなわち検出器の性能です。

望遠鏡を使った肉眼での観測を考えましょう。この時、検出は人間の眼で行いますから、望遠鏡を使うということは、瞳というレンズの性能を上げることに相当することになります。さて瞳孔が開いた状態での人間の瞳の直径は、平均的に7mmとされています。つまり、7mmのレンズの限界等級は6等、ということです。では、口径 D の望遠鏡（屈折望遠鏡の場合は対物レンズの直径、反射望遠鏡の場合は主鏡の直径）を使うとどうなるのでしょうか？**集められる光は、当然レンズの面積に比例**します。肉眼の何倍の光を集められるかを集光力と呼びますが、これは

$$\text{集光力} = \left(\frac{D}{7\text{mm}} \right)^2$$

となります。つまり $D=7\text{cm}$ なら100倍、70cmなら10000倍です。次にこれを等級に焼き直しましょう。「等級」というのは「明るい方が値が小さい」のように厄介な単位なのですが、「明るさが1/100になると5等級増える」と定義されています。これと、「 $D=7\text{mm}$ で限界等級が6等」というのを組み合わせると、限界等級 M は

$$M = 6 + 2.5 \log \left(\frac{D}{7\text{mm}} \right)^2 = 1.77 + 5 \log \left(\frac{D}{\text{mm}} \right)$$

と書けます。口径7cmの望遠鏡なら、11等星まで見られることとなります。このように、

肉眼よりも暗い天体が観測可能になる、というのが天体望遠鏡の第一の効用です。

2-2. 分解能

どれくらい細かい構造を見分けられるかを示すのが分解能です。さて、「どれくらい」というときの単位は何かというと、**角度**です。10cm先の本の文字は読めても、10m向こうに持っていくと読めませんが、これは文字を見込む角度が小さくなり、肉眼で分解できる角度を下回ってしまうからです。

天体望遠鏡の場合、経験的に「ドーズの限界」という式が用いられます：

$$\varepsilon = \frac{116''}{D/\text{mm}}$$

ここでDは望遠鏡の口径、''は秒角(1度の1/60が1分角、1分角の1/60が1秒角)を表します。理論的には、波である光がレンズに曲げられ、レンズ上の別の点を通った光と干渉することから導かれます。そのため、本来は ε は波長に比例すべきものですが、肉眼で感度が最も良い波長域付近ではドーズの限界で分解能が与えられるとして良いでしょう。

では、月面上のどれくらいの大きさの構造まで見分けられるのでしょうか？月までの距離約38万kmにラジアンで測った角度をかけると月面上での大きさになります。すると、ドーズの限界を用いて、 216 (mm/D) km となることがわかります。したがって、肉眼($D=7\text{mm}$)の場合は約31km、口径10cm($D=100\text{mm}$)の望遠鏡では約2kmの構造が見分けられることとなります。望遠鏡を使うと相当細かい構造まで見えることがわかると思います。

3. 望遠鏡の仕組み

望遠鏡は、鏡筒部、架台部、脚部の3つの部分から成ります。脚部は要するに三脚のことですのでいいでしょう。しっかり支えられていれば問題はありません。ここでは、残る二つについて順番に見ていきましょう。

3-1. 鏡筒

主に1) 屈折望遠鏡、2) 反射望遠鏡、に区分されます。屈折望遠鏡は、対物レンズによって光を集めるものです。大きいレンズは重くなるので作製が難しく、大口径望遠鏡には向きませんが、扱いが簡単なので、小口径望遠鏡ではよく使われます。反射望遠鏡は、対物レンズのかわりに凹面鏡を使って光を集めるものです。すばる望遠鏡をはじめとする大型望遠鏡は反射式です。いずれの形式でもデジカメで写真を撮る分には問題ありません。

さて、主鏡や対物レンズで集めた光は、接眼レンズによって再び平行光線に戻されます。普通、望遠鏡を購入すると、接眼レンズが幾つかついてきます。これを変えることで、倍率などを変えることができます。ちなみに倍率は(対物レンズの焦点距離) / (接眼レンズの焦点距離) で計算できます。つまり、**焦点距離の短い接眼レンズを使えば倍率はいくらでも上げることができます**。しかし、**分解能や集光力は対物レンズで決まっているので**、倍率を上げてても像は薄暗くぼやけたものになってしまいます。写真を撮る場合は、むしろ長焦点の接眼レンズにして、像をコンパクトに明るくした方がうまく撮影できます。

3-2. 架台

こちらも主に二種類あり、それぞれ1) 経緯台、2) 赤道儀、と呼ばれています。**天球は二次元面ですから、二つの座標を指定すると天球のある一点を指し示すことができます。**言い換えると、架台には必ず回転軸が二つあり、それぞれをどの角度に向けるかで二つの座標を指定していることに相当します。

経緯台はカメラの三脚のような構造をしており、地面に対して水平方向と垂直方向に向きを変えるように作られています。簡単な構造ですので価格も安いのですが、回転軸が日周運動の方向と異なるため、長時間同じ天体に向けるのが困難です。

一方、赤道儀は、図1のように少々ややこしい構造をしています。設置する際は、赤道儀の軸を天の北極の方向に合わせます。一つの回転軸はこの軸のまわりに回転します。つまり、日周運動と同じです。したがって、一旦ある天体に望遠鏡の向きを合わせてしまうと、あとはこの回転軸を同じ速さで24時間で一周する速さで一少しづつ動かせば、簡単に天体を追尾できます。最近の赤道儀はモーターがついていて、自動で追尾できるようになっていますので、わずらわしい追尾から解放されます。

少し話しがそれますが、赤道儀が一定の速度で回転することで星を追いかける、ということの意味を考えると、日周運動とは何か、星の動きとはどういうことか、別の側面からの理解を得ることができます。赤道儀の回転は、要するに、地球の自転をキャンセルするような運動である、ということです。24時間で一周(360°)回転するには、1°回転するには何分かかかるか考えても面白いでしょう。さらに恒星の南中時刻は1日に4分ほどずれていきますが、これは1年が約365日であることから1日のズレ分が約1°、1°自転するには約4分かかる、ということから理解することも可能です。

赤道儀の方が観測を始めてしまうと便利なのですが、架台にかかる力のバランスを取るために重りが必要で、経緯台に比べるとずっと重量があります。また、長時間同じ天体を追いかけるには(たとえば長時間露出で写真撮影をするときなど)、赤道儀の軸を正しく天の北極に向けなければなりません(北極星は、天の北極からほんのわずかにずれています)。どちらも一長一短があります。

4. 写真を撮ろう!

さて、天文雑誌などには、星雲のような淡い天体の写真がよく載っています。この手の写真は望遠鏡にカメラを取り付けて長時間露出して光をためることでようやく画像を得ることができます(つまり、口径を変えずに光をためることで限界等級を下げています)。これはとても気楽にできるものではありませんが、月のように明るい天体ならば、通常私たちが昼間に撮る写真程度のシャッタースピードでも十分撮影が可能です。携帯のカメラでも撮れると思います。

まずは望遠鏡の設置です。シャッタースピードは十分短いのですから、追尾する必要は

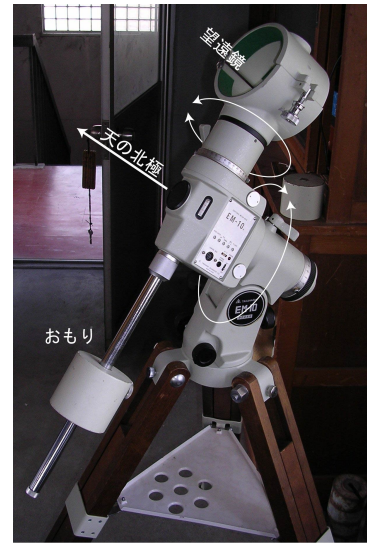


図1:赤道儀の例。

ありません。望遠鏡は固定されていても問題ありません。赤道儀の場合は軸を天の北極に向ける手間がありますが、これも月の写真を撮るためであればそんなに神経質になる必要はありません。「大体この方向かな」くらいで十分です。セッティングに時間を撮られるよりは、観測を楽しみましょう。

次に望遠鏡を月に向けたら早速撮影開始です。深く考える必要はありません。普通、デジカメでは、目で見た景色が撮影されます。天体望遠鏡でも同じです。目で見たように撮影できます。「目では見えなかったが写真には写っていた」というのは心霊写真の定番ですが、当然こんなことは起きません。ただし、光軸を外れると、月の像がデジカメのレンズに入ってこないことがあります。バックパネルに像を写しながら撮影すれば、失敗はないでしょう。また、デジカメのレンズと接眼レンズをフィルムケースを使ってうまく固定する方法もあるようです。ちなみに、このように接眼レンズを通してカメラで写真を撮影することを「コリメート法」と言います。これでネットを検索すれば、色々うまいやり方がわかるかもしれません。

例として、私が撮影した写真を図2に示します。望遠鏡は高橋製作所の10cm屈折望遠鏡、デジカメはNikon COOLPIX 3100です(320万画素;3年ほど前に型落ちで購入した、ごく普通のデジカメです)。このカメラはほとんどオートで設定されてしまい、シャッタースピード等マニュアルでは操作できないのですが、それでもこの程度には綺麗に写ります。

最後に、いつ月の写真を撮るべきかについて。肉眼で見ると満月が綺麗ですが、望遠鏡では必ずしもそうではありません。望遠鏡の売りは細かい構造が見えるということですが、満月では地球と同じ方向から月に光があたるため、月面のデコボコの影が見えなくなってしまいます。そのため、のっぺりとした印象になり、あまり面白くありません。むしろ、半月のときの方が、横から光があたっているため、影がよくでき、月が立体的に見えます。

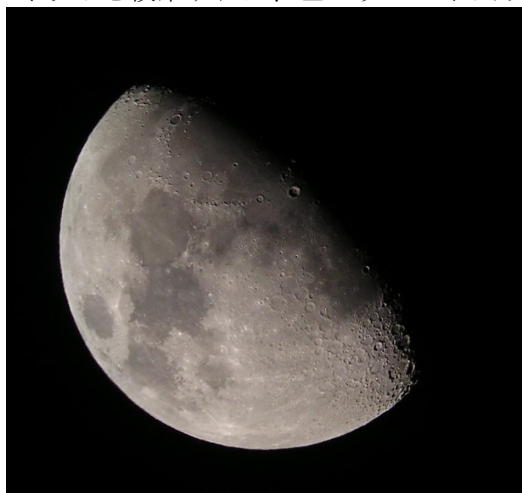


図2:コリメート法による月の写真。

5. おわりに

以上見てきたように、小口径の望遠鏡でも簡単に月の写真を撮ることができます。ただ、撮影して終わり、ではなく、望遠鏡を使って光学系(レンズの役割など)を理解させたり(100円ショップで売っている大小の虫眼鏡を向かい合わせて簡易望遠鏡を作ることでもできます)、赤道儀を使って日周運動を考えたり、クレーターの影から太陽、地球、月の位置関係を考察するなど、子どもたちが考えるきっかけを作ってやって欲しいと思います。

また望遠鏡で月の端を見るとゆらいでいるのがわかります。星の瞬きと同じ原因で、大気のゆらぎによるものです。天体観測をするということは、見方を変えると大気の状態を観測していることになります。望遠鏡を使うと、様々な対象・現象について、今までとは違った見方ができ、理解も深まるのではないかと期待します。