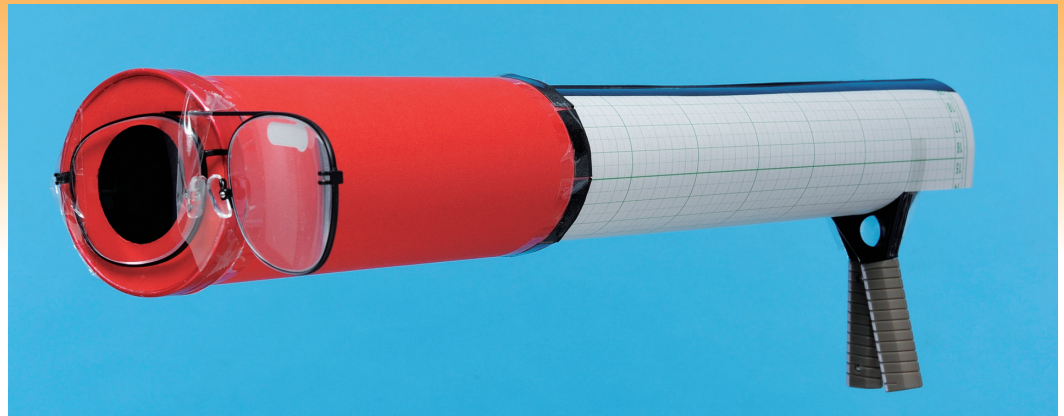


—めがね望遠鏡—

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●学研科学創造研究所

2008年4月1日 発行

目標とねらい

100円ショップでも手に入る凸レンズ（老眼鏡と虫めがね）や凹レンズ（ガラスコップの底）を使って、ガリレオ式望遠鏡とケプラー式望遠鏡を作り、その違いを確かめます。老眼鏡の度数を変えることで、望遠鏡の焦点距離を変えることができるので、焦点距離によって倍率がどう変わるのかを計算で求め、実際に観察して比べてみます。望遠鏡の基本を知り、天体観測への関心を深めましょう。

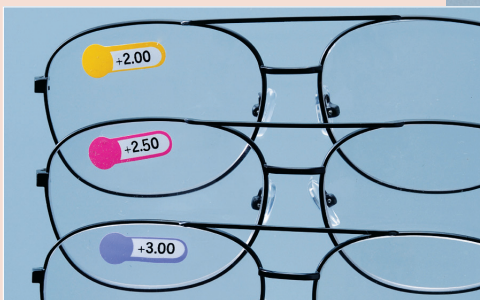
対象学年	小学校中学年以上	所要時間	2～3時間
------	----------	------	-------

1 工作に使う材料・工具

●用意するもの

【望遠鏡の材料】

□老眼鏡（度数 +2.0 +2.5 +3.0）
100円ショップなどで、度数が異なる老眼鏡を入手しましょう。なるべくレンズが大きなものを選びましょう。めがねのつるは精密ドライバーを使って外しておきます。

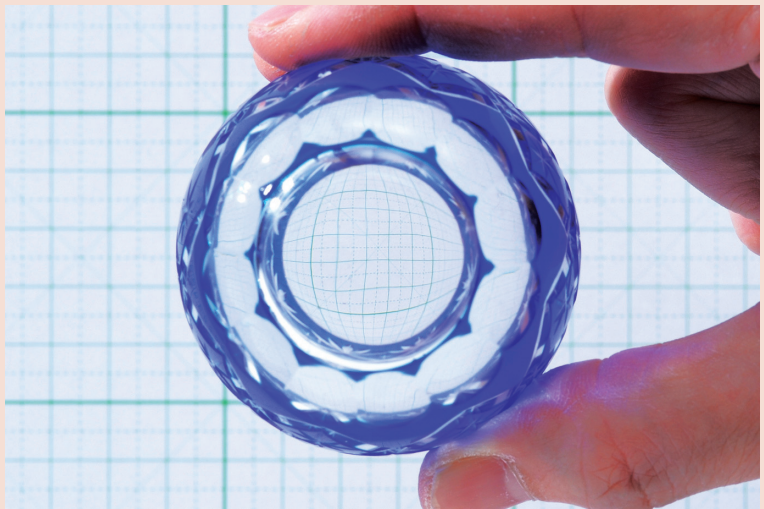


度数 +2.0 +2.5 +3.0 の老眼鏡

（次のページに続きます）

□ガラスのコップ（底が凹レンズ状になっているもの。“ぐい飲み”など、あまり直径が大きいものが工作しやすい。

凹レンズは方眼にあてると右の写真のように見えます。ガラスコップの底は、模様やゆがみがない、なるべくきれいな凹レンズになっているものを探しましょう。また、凹レンズのくぼみ方があまり大きいものは観察しにくいので避けましょう。



□虫めがね（倍率3倍くらいのもの、3枚）

虫めがね3枚のうち、2枚は重ねてセロハンテープで貼り合わせて使います。2枚のレンズが平行になるように、もち手がぶつかる場合はずらして貼ります。



□紙筒（ポテトチップの容器など）

□工作用紙

□黒画用紙

【工具・道具】

□蛍光灯などの光源

□巻き尺

□精密ドライバー

□はさみ

□カッターナイフ

□カッターマット（または段ボールなどの保護板）

□セロハンテープ

□ビニールテープ

□ホッチキス

□油性ペン(黒)

2 レンズだけで望遠鏡を体験

はじめから筒がついた望遠鏡を作るのではなく、対物レンズと接眼レンズだけを使って風景などを観察し、ガリレオ式望遠鏡とケプラー式望遠鏡の違いを比べてみましょう。ピント合わせは、対物レンズと接眼レンズの距離を変えて行います。

①老眼鏡（凸レンズ）を、ガラスコップの底（凹レンズ）でのぞく（ガリレオ式望遠鏡）

景色は正立像で見えます。このあと見るケプラー式に比べると、視野が狭いことがわかります。



②老眼鏡（凸レンズ）を、2枚重ねた虫めがね（凸レンズ）でのぞく（ケプラー式望遠鏡）

景色は倒立像（180度回転した像）で見えます。ガリレオ式に比べ、視野が広いことがわかります。



3 焦点距離と倍率を求める

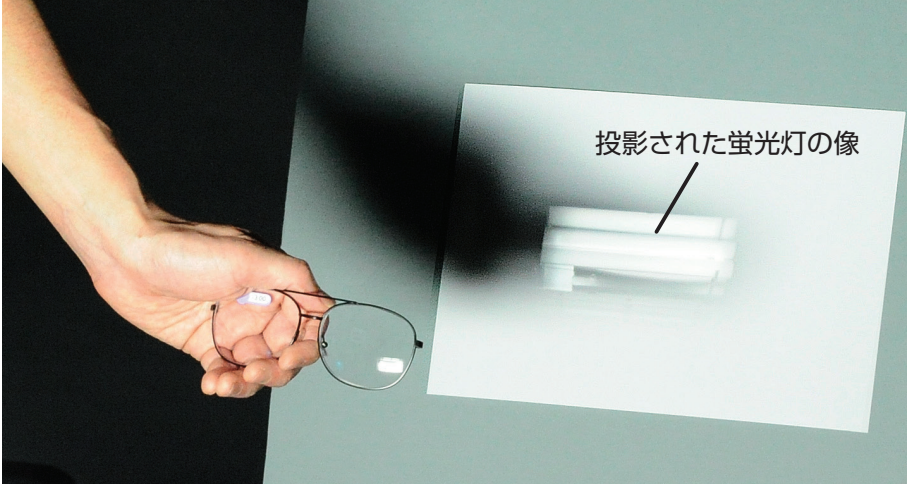
ケプラー式望遠鏡で、対物レンズと接眼レンズの焦点距離を測定し、その数値から望遠鏡の倍率を求めます。その後、実際に景色を観察して、倍率によって見え方が変わるようすを確かめてみましょう。

①対物レンズの焦点距離を求める

電灯か太陽光を使って、対物レンズ（老眼鏡 +2.0、+2.5、+3.0）と接眼レンズ（虫めがね1枚、2枚）の焦点距離を求めます。測定した値や、計算で求めた値を、科学工作 12 - 13 ページのワークシートに書きましょう。

〈電灯を使う場合〉

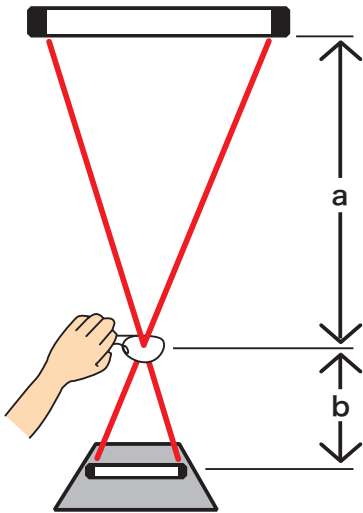
電灯の明かりを、レンズを通して白い紙に投影します。レンズの位置を調節すると、右の写真のように、電灯の像がくっきりと映る位置があります。このときの「電灯とレンズの距離」と「レンズと像の距離」を測ると、レンズの焦点距離を求めることができます。



実際には、下の図1のように天井の蛍光灯の光を、床に置いた白い紙に投影するのがやりやすいでしょう。

レンズの位置を上下させて、電灯の像が白紙にはっきり映ったときの、電灯とレンズまでの距離 (a) とレンズから像までの距離 (b) を測定します。レンズの焦点距離 (f) は以下の式で求めることができます。

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

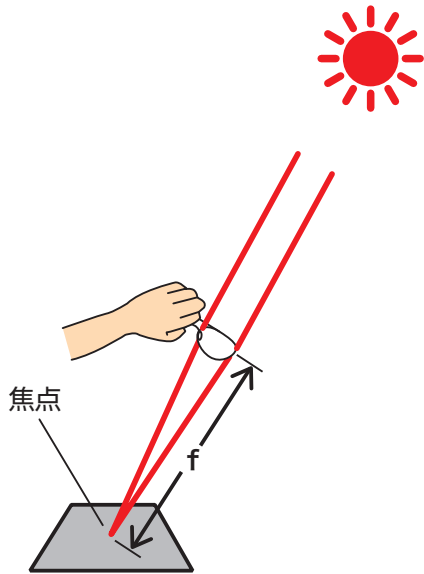


〈太陽光を使う場合〉

太陽光を使う場合は、左の式のaが無量大となるため、

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

となります。つまり、太陽光が焦点に集まったときの、レンズと焦点の距離が、そのまま焦点距離になるわけです。



※片方のめがねのレンズは、手でおおってかくします。

注意 太陽光を使って測定する場合は、レンズで太陽を見ないように十分に気をつけましょう。また、レンズで太陽の光を集めたところは高温になります。やけどをしたり、発火したりする恐れがあるので、十分に気をつけましょう。

②対物レンズと接眼レンズで得られる倍率を計算する

望遠鏡の倍率は、下記の式で求めることができます。

$$\text{倍率} = \langle \text{対物レンズの焦点距離} \rangle \div \langle \text{接眼レンズの焦点距離} \rangle$$

対物レンズ（老眼鏡 +2.0、+2.5、+3.0）と接眼レンズ（虫めがね 1 枚、2 枚）のすべての組み合わせで得られる倍率を計算し、科学工作 12 - 13 ページのワークシートに書かせましょう。

③求めた倍率と見え方を見比べてみよう

実際に対物レンズと接眼レンズを使って、科学工作 12 - 3 ページの②と同じようにして景色を観察します。見え方を、計算で求めた倍率の値と比べてみましょう。

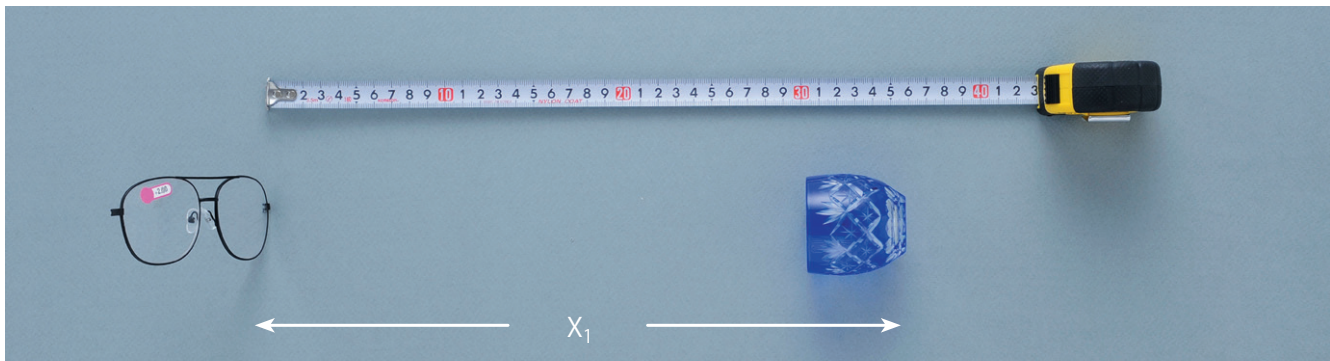
4 筒をつけて、望遠鏡を作る

今度は、レンズを鏡筒に取りつけて、望遠鏡を作ります。使用するレンズでピントが合う距離を調べて、それに合った長さの鏡筒を作りましょう。筒の内側に黒画用紙をはると、鏡筒内の乱反射が減り、とても観察しやすくなります。

①ピントが合うレンズの距離を測る

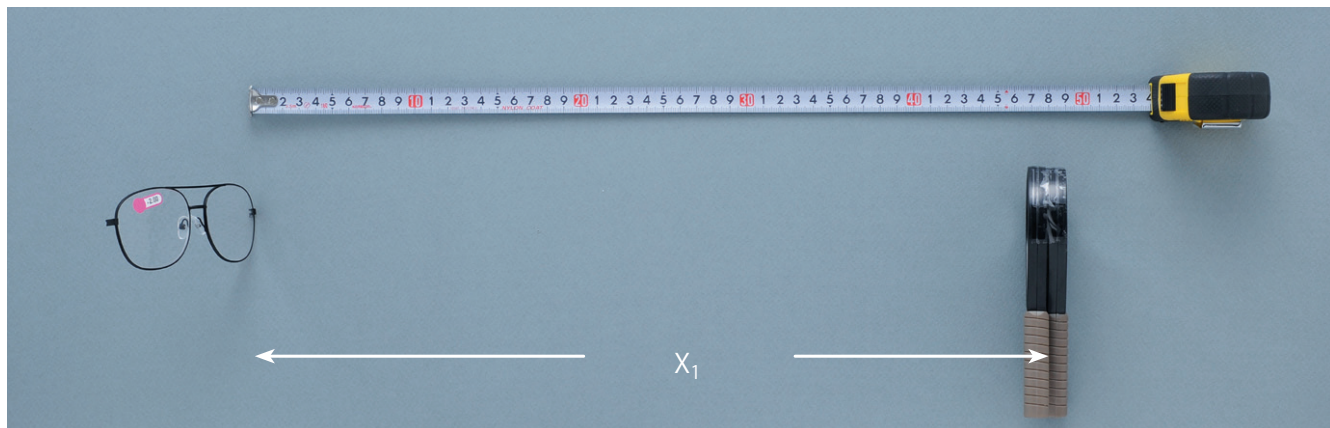
対物レンズと接眼レンズを使って遠くの景色を観察し、ピントが合うときの対物レンズと接眼レンズの距離 (X_1) を測ります。

〈ガリレオ式望遠鏡の場合〉



〈ケプラー式望遠鏡の場合〉

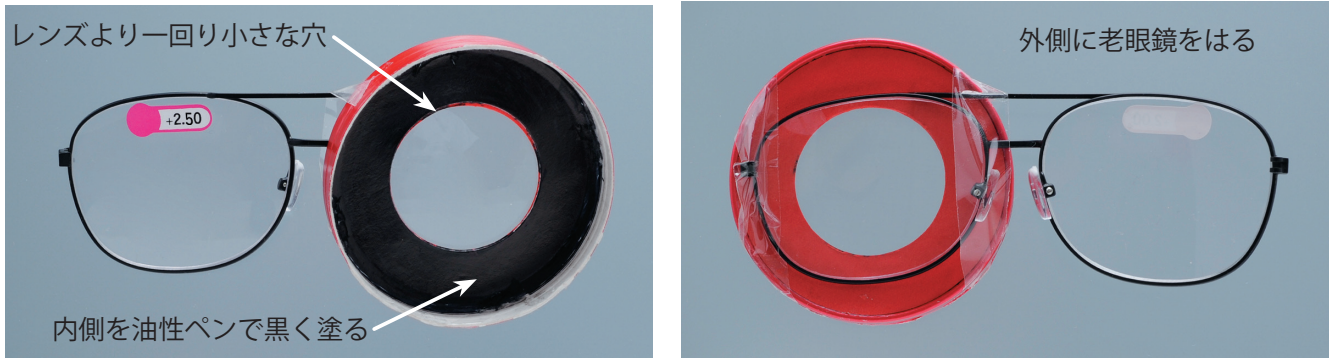
対物レンズの老眼鏡は、+2.0 だと鏡筒が長くなりすぎてしまうため、+2.5 か +3.0 が作りやすいでしょう。接眼レンズの虫めがねは、2 枚重ねたものを使います。



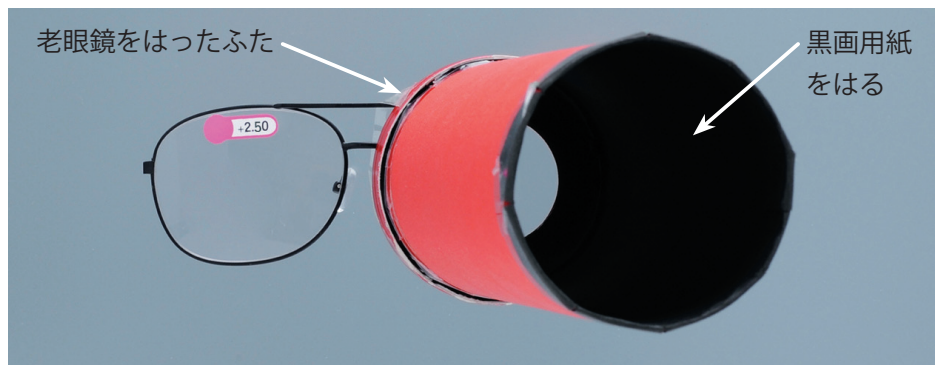
②対物レンズの鏡筒を作る

ポテトチップの筒などを使って、対物レンズの鏡筒を作ります。

老眼鏡のレンズの大きさよりも一回り小さな穴を、ふたに開けます。ふたの内側は油性ペンで黒く塗ります。外側に、老眼鏡をはります。



筒は底を切り取り、中に黒画用紙をはります。老眼鏡をはったふたを、取り付けます。

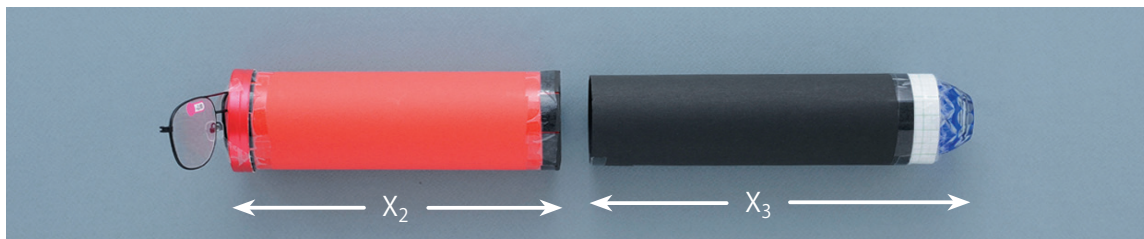


③接眼レンズの鏡筒を作る

黒画用紙や工作用紙を使って、接眼レンズの鏡筒を作ります。

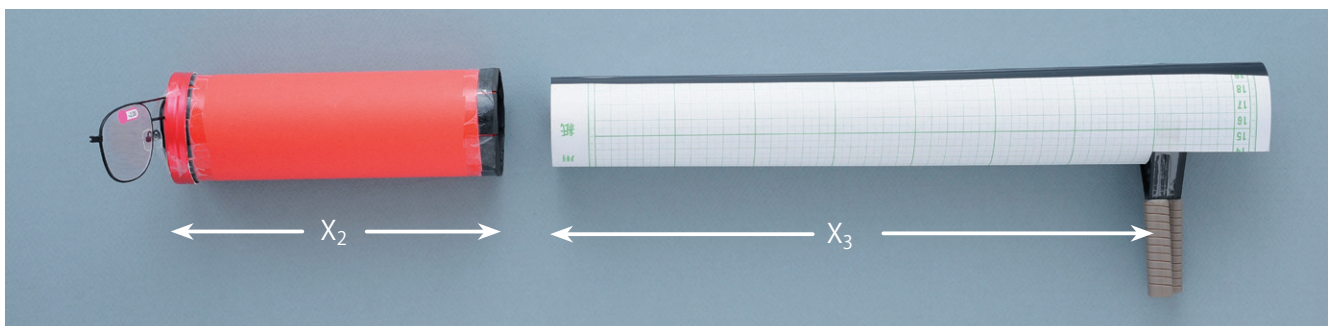
対物レンズの鏡筒の長さ (X_2) と接眼レンズの鏡筒の長さ (X_3) の合計が、①で測った X_1 よりも 10～15cm くらい長くなるように、接眼レンズの鏡筒の長さ (X_3) を決めます。

〈ガリレオ式の場合〉



$X_2 + X_3$ が X_1 よりも 10～15cm 長くなるように作る。

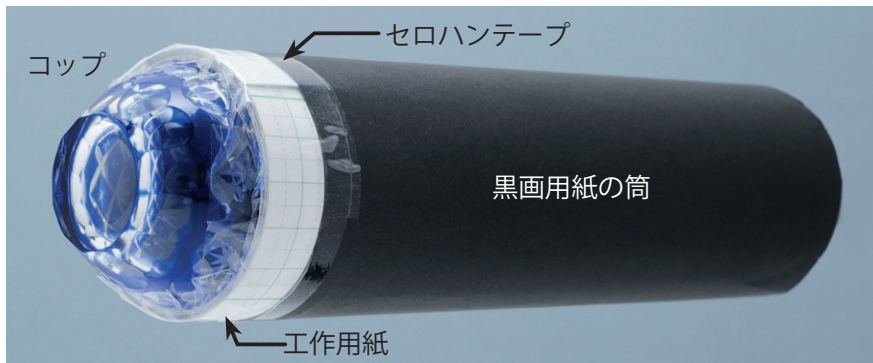
〈ケプラー式の場合〉



$X_2 + X_3$ が X_1 よりも 10～15cm 長くなるように作る。

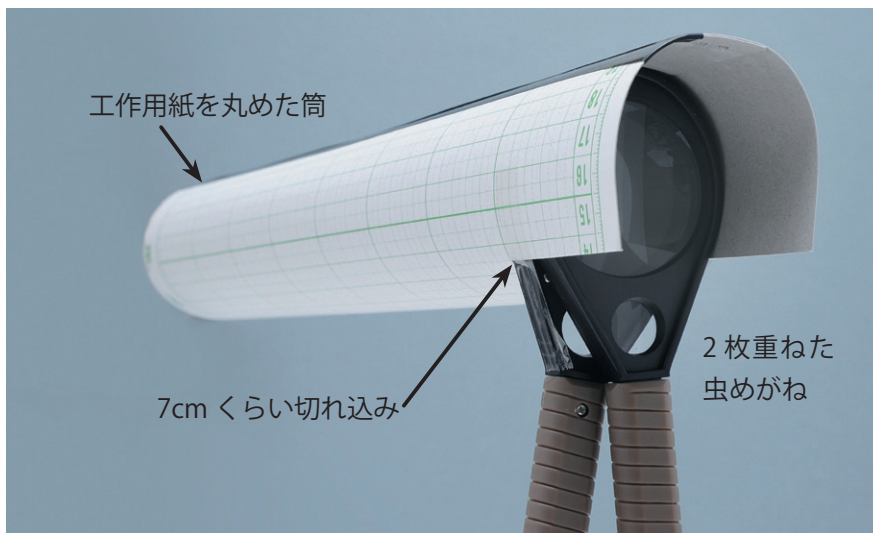
〈ガリレオ式●接眼レンズの鏡筒の作り方の例〉

対物レンズの鏡筒にぴったり入る太さに黒画用紙の筒を作ります。接眼レンズのコップの周りに工作用紙を巻いて黒画用紙の筒と同じ太さにします。セロハンテープでコップ、工作用紙、黒画用紙を固定します。



〈ケプラー式●接眼レンズの鏡筒の作り方の例〉

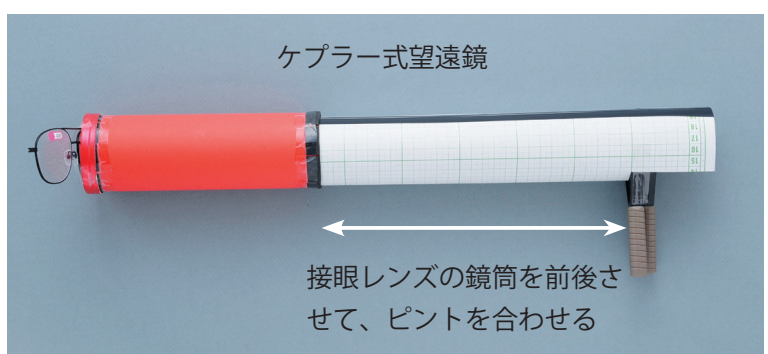
対物レンズの鏡筒にぴったり入る太さに工作用紙を丸め、ホッチキスとビニールテープでとめて筒を作ります。工作用紙に7cm くらいの切れ込みを作り、2枚重ねた虫めがねをセロハンテープやビニールテープで固定します。工作用紙の中に黒画用紙を丸めて入れ、内側が黒くなるようにしましょう。(裏面が黒く塗られた工作用紙がありますが、表面に光沢があり、光を乱反射するので、望遠鏡の工作には適していません。)



※接眼レンズと鏡筒の固定のしかたは、コップや虫めがねの直径や形状によって異なります。それぞれ、工夫して作りましょう。

④望遠鏡の完成

対物レンズの鏡筒に接眼レンズの鏡筒を入れて、望遠鏡の完成です。観察するものまでの距離や、個人差によってもピントが合う位置が変わるので、接眼レンズの鏡筒を前後させて、ピントを合わせます。(近くのものを見るのには適していません。)



5 天体望遠鏡の種類と構造

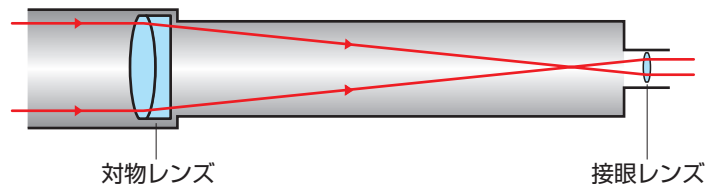
天体観測会などでよく見かける、一般的に販売されている天体望遠鏡の種類と基本的な構造を見てみましょう。天体望遠鏡は、大きく分けると、「屈折望遠鏡」と「反射望遠鏡」の2つに分けられます。

〈屈折望遠鏡〉

屈折望遠鏡は、レンズを使って光を集める望遠鏡です。

めがね望遠鏡で実験したガリレオ式やケプラー式は、どちらも屈折望遠鏡です。ガリレオ式のしくみはオペラグラスなどには使用されますが、現在の天体望遠鏡には使用されていません。

一般的な屈折望遠鏡では、基本的にはケプラー式と同じく、対物レンズと接眼レンズに凸レンズを使用しています。そのため、めがね望遠鏡と同じように、倒立像で天体を観測します。像が安定していて扱いやすいのが特徴です。



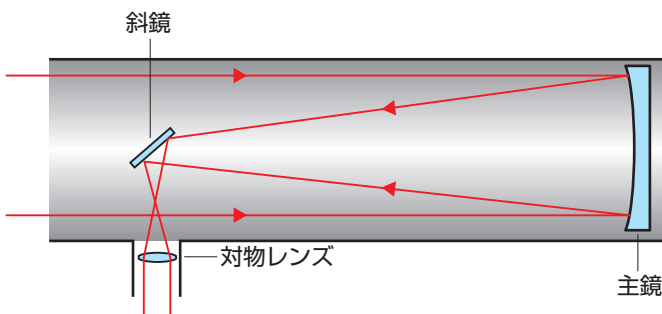
多くの屈折望遠鏡は、対物レンズに屈折率が違う2枚のレンズを使用して、色収差（光の色によって屈折の角度が異なるために起こる色のにじみ）をおさえます。

※実際の接眼レンズには、複数枚のレンズが組み合わされています。

〈反射望遠鏡〉

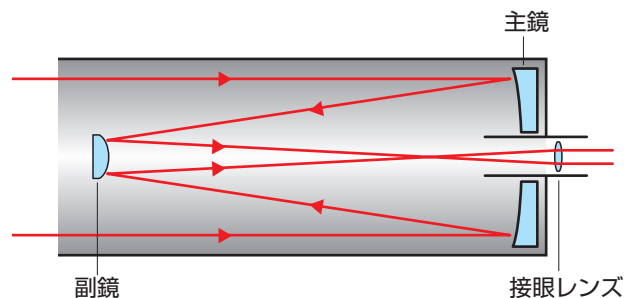
反射望遠鏡は、凹面の鏡を使って光を集める望遠鏡です。鏡で光を集めるため色収差が起きないのが特徴で、鏡を使うので口径の大きな望遠鏡を比較的容易に作ることができます。一般的に使われる反射望遠鏡にはニュートン式とカセグレン式があります。

ニュートン式反射望遠鏡



カセグレン式反射望遠鏡

補正板や補正レンズを使った様々なタイプがある



※実際の接眼レンズには、複数枚のレンズが組み合わされています。

〈望遠鏡の性能〉

望遠鏡の性能は、有効径（口径）、焦点距離、口径比、などの数字で表されます。

- 有効径（口径）（mm）：対物レンズや主鏡の、実際に使われる部分の直径。
- 焦点距離（mm）：対物レンズや主鏡の焦点距離
- 口径比（F 値）：対物レンズや主鏡の焦点距離を有効径で割った数値で、例えば焦点距離が 600mm、有効径が 80mm の場合、「1:7.5」または「F7.5」と表します。この数値が小さいほど、明るい像が得られます。
- 倍率：倍率は〔対物レンズや主鏡の焦点距離〕÷〔接眼レンズの焦点距離〕で計算されます。

屈折望遠鏡の例

有効径：90mm
焦点距離：500mm
口径比：F5.6



ニュートン式反射望遠鏡の例

有効径：200mm
焦点距離：800mm
口径比：F4



6 天体望遠鏡の歴史

●リッペレイの発明した望遠鏡を自作したガリレイ

1608年、オランダのレンズ職人リッペレイは、望遠鏡を発明しました。1609年、イタリアの科学者ガリレオ・ガリレイはこの話を聞いて自分で望遠鏡を作り、月、木星、土星などの天体を観測しました。この望遠鏡は対物レンズに凸レンズ、接眼レンズに凹レンズを使ったもので、ガリレオ（ガリレイ）式望遠鏡と呼ばれるようになりました。

●ガリレオ式に比べ、広い視野を持つケプラー式

1611年、ドイツの天文学者ケプラーが対物レンズ、接眼レンズのどちらにも凸レンズを使った望遠鏡を作りました。この望遠鏡は倒立像（逆さの像）が見えますが、天体観測には倒立像でも差し支えなく、ガリレオ式に比べて視野がずっと広がります。天体観測にはこちらが使われるようになりました。

●ニュートンが作った「反射望遠鏡」

ガリレオ式、ケプラー式は「屈折望遠鏡」と呼ばれますが、レンズを使うため色収差（色がにじんだり、色の縁取りが生じたりする現象）が生じます。この問題を解決したのが、対物レンズの代わりに凹面の鏡を使った「反射望遠鏡」です。反射望遠鏡の原理は、1661年にイギリスの数学者・天文学者グレゴリーによって発明されましたが、ニュートンが作ったものが有名なので、ニュートン式反射望遠鏡と呼ばれます。

反射望遠鏡にはニュートン式のほかにカセグレン式、クーデ式などがあり、現在、天体観測で活躍している大型望遠鏡はすべて反射望遠鏡です。

●電波望遠鏡

宇宙のさまざまな天体は、光だけでなく、電波なども放っています。こうした電波を調べることで、ふつうの望遠鏡では見えない天体や宇宙の姿を知ることができます。

1931年、アメリカのベル研究所の無線技術者ジャンスキーが電波を放射している天体があることを発見して、1940年頃から天体観測に使われるようになりました。地球の外からやってくる電波を受信する装置を「電波望遠鏡」といい、日本にある施設では長野県にある野辺山宇宙電波観測所 / 野辺山太陽電波観測所（国立天文台野辺山）が有名です。

●望遠鏡を宇宙へ

地上に設置された望遠鏡の観測では、地球をおおう空気の影響を受けてしまいます。この問題を解決する方法として、空気のない宇宙空間に望遠鏡やその他の観測装置を積んだ衛星を打ち上げて、よりくわしく天体を観測するようになりました。

こうした観測装置としてもっとも有名なのが、アメリカのハッブル宇宙望遠鏡（HST）です。HSTは、地上約600km上空の軌道上を周回しながら、直径2.4メートルの主鏡（対物鏡）を持つ反射望遠鏡で宇宙を観測しています。HSTが撮影した天体の写真や観測したデータは、地上に送られて研究者に提供されます。



国立天文台野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡（電波を集めるパラボラの直径が45mある）
写真は国立天文台提供



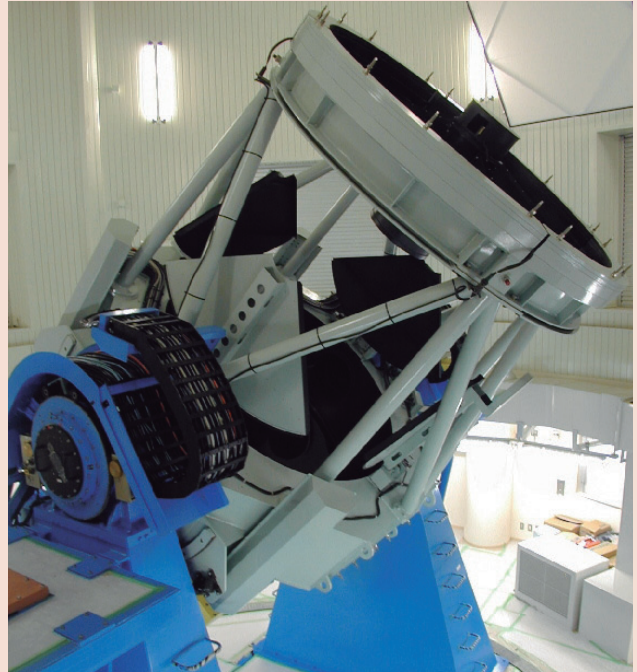
地球を回る軌道上から宇宙を観測するHST
写真はNASA提供



日本が世界に誇る 天体望遠鏡

●なゆた

兵庫県の西はりま天文台公園には、主鏡の口径2mを誇る日本国内最大の望遠鏡「なゆた」があります。この望遠鏡は、一般の見学者が天体を直接のぞくことができる望遠鏡としては世界最大の望遠鏡です。この口径2mの望遠鏡では、目でのぞいた場合、およそ10億光年離れた銀河の姿まで見ることができます。カメラを使えば、百億光年ほど遠方にあるクエーサーと呼ばれる天体まで撮影することができます。



口径2mの主鏡をもつ「なゆた」
写真は西はりま天文台提供

●すばる

ハワイのマウナケア山頂にある国立天文台の「すばる」は、主鏡の直径が8.2mもある天体望遠鏡です。望遠鏡の性能を表すときに「分解能」という指標を使うことがありますが、すばるの星像分解能は0.2秒という高精度です。これは東京から富士山頂にある2つのテニスボールを見分けることができるほどの解像力だといわれます。すばるは、ハッブル宇宙望遠鏡などと並ぶ、世界最高レベルの望遠鏡です。

この性能を発揮して、すばるは2006年9月にかみのけ座の方向に、天体観測史上最遠となる128億8000万光年離れた銀河を発見しました。これは、宇宙誕生のビッグバンから約7億8千万年後の時代の銀河の姿をとらえたことになります。



すばるのドーム（右）と制御棟（左） 写真は国立天文台提供

- ①めがね望遠鏡で景色を見るだけでなく、夜や日中の月面などを観測させましょう。（※ 日中に上空を観測する際は、太陽を見ないようにとくに注意！）月面の観測にはガリレオ式よりケプラー式のほうが適しています。天体観測は景色を見るのに比べ、対象物を視界に導入しにくいので、望遠鏡を持つうでのひじを机や柵などで固定したり、三脚を使ったりして、望遠鏡がぶれにくくなるような工夫をしましょう。
- ②この教材では道具に費用がかからないように、100円ショップなどで入手できるレンズを使った望遠鏡作りを紹介しました。余裕があれば、教材販売店やレンズメーカーから適当なレンズをそろえて実験するのもよいでしょう。精度のよいレンズを使えば、天体観測をしたときにより大きな満足感が得られるでしょう。
- ③めがね望遠鏡では月以外の天体の観測は難しいので、めがね望遠鏡の実験と工作のあと、本格的な天体望遠鏡を使って天体観測会を行う機会を持ちたいものです。自分で作っためがね望遠鏡と、本格的な天体望遠鏡が基本的に同じしくみをもつことが理解できれば、天体観測により深い関心を持てるでしょう。
- ④全国各地に天文台（や天体観測施設を持った科学館）があります。それらの天文台がどのような望遠鏡を使っているか、インターネットで調べてみましょう。近くの天文台で観測会や施設見学会があれば、大型望遠鏡の実物にふれてみましょう。

安全対策

- ①レンズや組み立てた望遠鏡で、絶対に太陽を見ないように指導しましょう。失明の危険があります。
- ②望遠鏡を屋外で使用するときや、望遠鏡で窓から外を観察する際には、望遠鏡をむやみに周辺の住宅などに向けないよう配慮しましょう。
- ③カッターナイフを使う作業があります。安全管理 1-1 ページからの「刃物や工具の使い方」をよく理解させ、けがに気をつけて作業させましょう。
- ④コップやレンズを割らないように、気をつけましょう。ひびが入ったり、欠けたりしたコップやレンズは、使わないように指導しましょう。

学習指導要領 との関連

小学校	3年	理科（エネルギー）	光の性質
中学校	1年	理科（エネルギー）	光と音
中学校	3年	理科（エネルギー・粒子）	科学技術の発展

キーワード

望遠鏡、焦点距離、対物レンズ、接眼レンズ、口径、ガリレオ式、ケプラー式

教材提供 : 学研科学創造研究所
発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター

協力 : 財団法人日本宇宙少年団 YAC 株式会社学習研究社
©JAXA2009 無断転載を禁じます

レンズの焦点距離を測って、倍率を求め、実際に観察してみましょう。

①レンズの焦点距離を求める

電灯か太陽光を使って、対物レンズ（老眼鏡 +2.0、+2.5、+3.0）と接眼レンズ（虫めがね 1 枚、2 枚）の焦点距離を求め、記入しましょう。

※太陽光を使って測定する場合は、a と b は測定せず、直接 f を測定します。

	a (光源からレンズまでの距離) を測定する	b (レンズから像までの距離) を測定する	f (焦点距離) 1/ f = 1/a + 1/b で求める
虫めがね 1 枚	mm	mm	mm
虫めがね 2 枚	mm	mm	mm
老眼鏡 + 2.0 度	mm	mm	mm
老眼鏡 + 2.5 度	mm	mm	mm
老眼鏡 + 3.0 度	mm	mm	mm

②対物レンズと接眼レンズで得られる倍率を計算する

倍率は、下の式で求めることができます。

倍率 = [対物レンズの焦点距離] ÷ [接眼レンズの焦点距離]

対物レンズ（老眼鏡 +2.0、+2.5、+3.0）と接眼レンズ（虫めがね 1 枚、2 枚）のすべての組み合わせで得られる倍率を計算しましょう。

対物レンズ \ 接眼レンズ	虫めがね 1 枚の焦点距離	虫めがね 2 枚の焦点距離
	= mm	= mm
老眼鏡 (+2.0 度) の焦点距離 = mm	倍	倍
老眼鏡 (+2.5 度) の焦点距離 = mm	倍	倍
老眼鏡 (+3.0 度) の焦点距離 = mm	倍	倍

③求めた倍率と、実際の見え方を、比べてみよう

望遠鏡を使って観察したものをスケッチしましょう。
使用した対物レンズ、接眼レンズの焦点距離も記入しましょう。

対物レンズの焦点距離： mm
接眼レンズの焦点距離： mm

対物レンズの焦点距離： mm
接眼レンズの焦点距離： mm

対物レンズの焦点距離： mm
接眼レンズの焦点距離： mm

対物レンズの焦点距離： mm
接眼レンズの焦点距離： mm

(気づいたこと)