

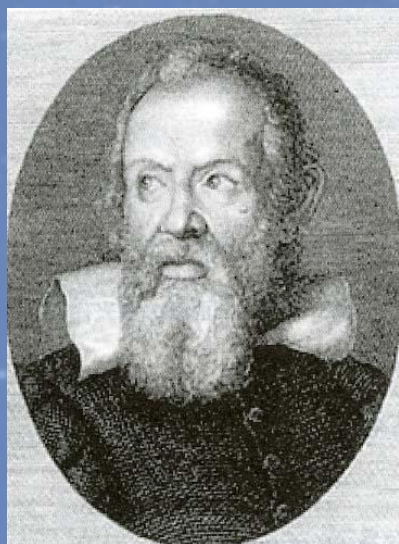
「望遠鏡のしくみ」

1 望遠鏡の歴史

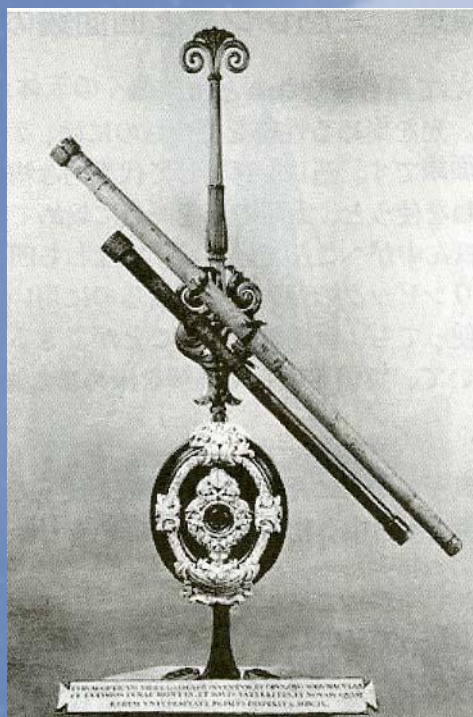
1608年 オランダの眼鏡職人ハンス・リッペルスハイが望遠鏡を発明
(リッペレイ、リーペシェイとする本もあるが同一人物)

1609年 ガリレオ・ガリレイが望遠鏡を製作。天体観測を行う。

1610年 ガリレオ、木星の衛星を発見。『星界の報告』出版。



Galileo Galilei(1564～1642)



ガリレオの望遠鏡
対物レンズに凸レンズ、接眼レンズに凹レンズを用いていた。

ケプラー式望遠鏡

1611年 ヨハン・ケプラーが接眼鏡に凸レンズを使用した
『ケプラー式望遠鏡』を発表

- ※ 倒立像になる
 - ※ 倍率を大きくしても、ガリレオ式ほど視界が狭くならない
 - ※ 角度などを測定する精密測角望遠鏡として使用できる
- 17世紀に一般に使用されたのはガリレオ式望遠鏡だった

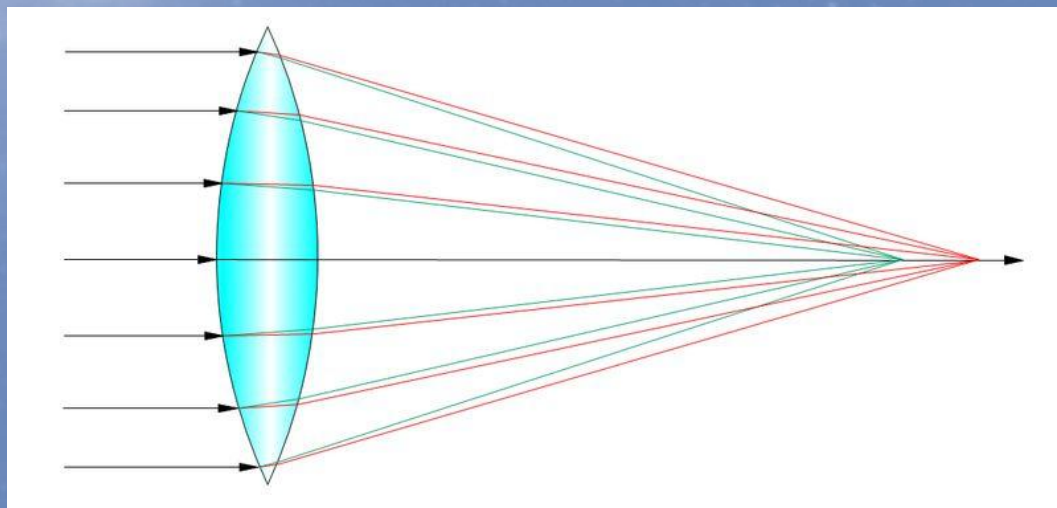
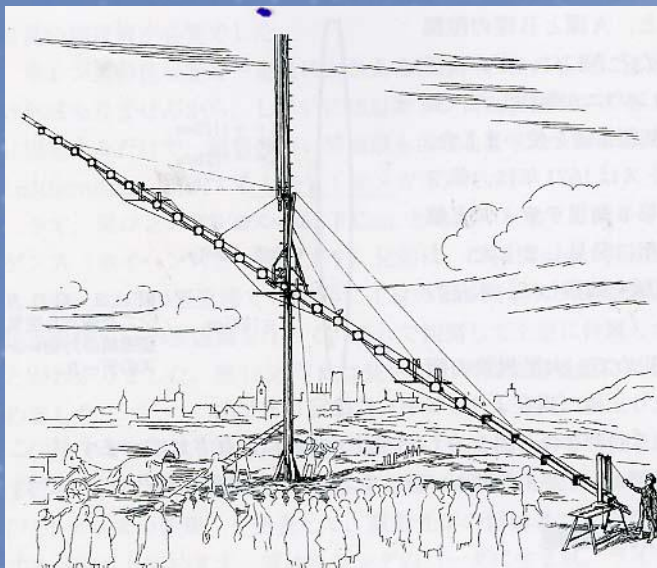
現在使用されている屈折望遠鏡はケプラー式



空気望遠鏡

当時の対物レンズは単レンズであり、色収差を回避するために、焦点距離が極端に長い望遠鏡が作られた。

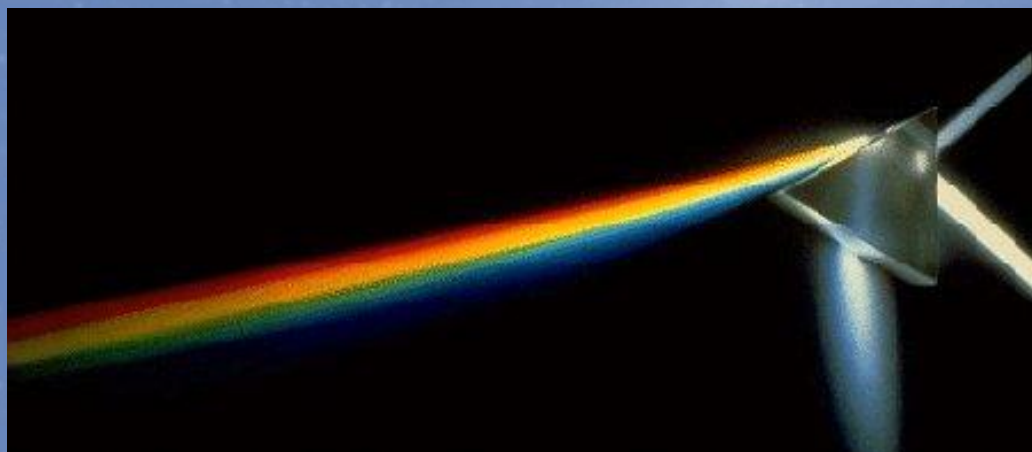
1673年 ヘベリウスが口径15cm、長さ45.5mの大望遠鏡を建設
(ヘベリウスの空気望遠鏡)



反射望遠鏡の誕生

1666年ごろ ニュートンがプリズムにより白色光が虹色に分かれることを発見

1672年 ニュートンが反射望遠鏡改良型2号機を
王立天文学会に提出

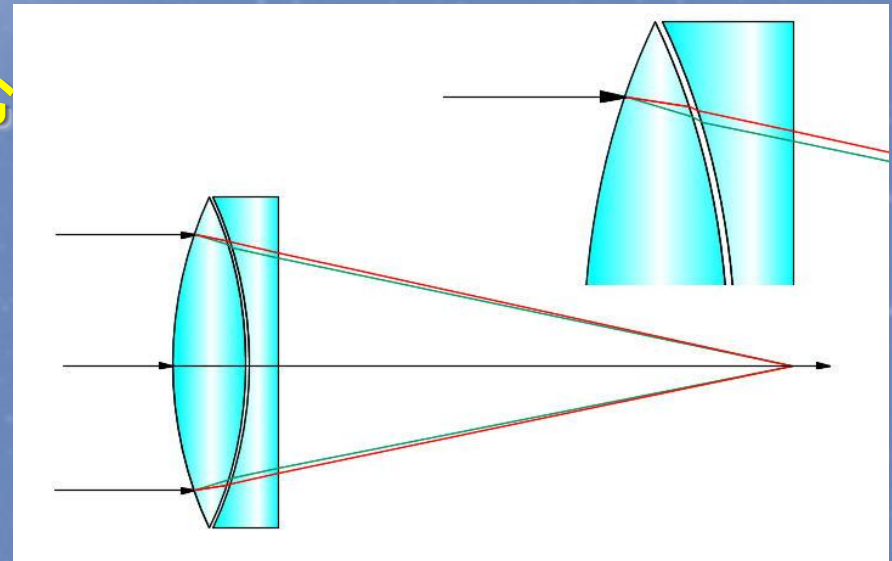


色消望遠鏡

1733年 イギリスの弁護士ホール
凸レンズと凹レンズを組み合わせで色収差を無くしたレンズ
(色消レンズ)を発明(特許はせず)

1758年 眼鏡師ドロンドが色消対物レンズの特許を出願
色消対物レンズを使用した望遠鏡を製作・販売

※ 以降光学ガラスの研究がすすむ

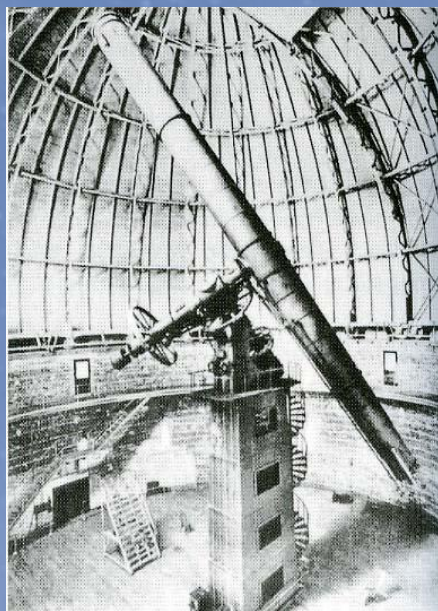


巨大望遠鏡の変遷



ハーシェルの反射望遠鏡

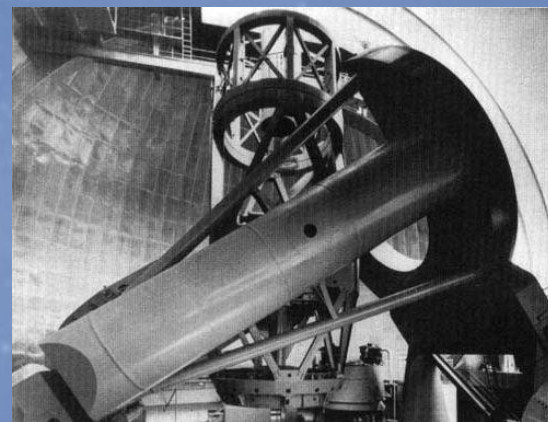
1850年頃までは金属鏡で
すぐに曇り、保守が大変



ヤーキス天文台
102cm屈折望遠鏡

1800年頃から色消しレンズが普及
天文学者は保守の容易な
屈折大望遠鏡を望んだ

100cm以上のレンズの製作は困難



パロマー天文台
5m反射望遠鏡

ガラス鏡にアルミ蒸着メッキの
手法が開発され
大望遠鏡は反射が主流に

現在の大型望遠鏡



ハワイの「すばる望遠鏡」



国内最大の望遠鏡
「せいめい望遠鏡」



ジェームスウェッブ宇宙望遠鏡

2 望遠鏡の原理

望遠鏡は、遠くの日体が発する光を集め

→凸レンズと凹面鏡

天体の像を作る

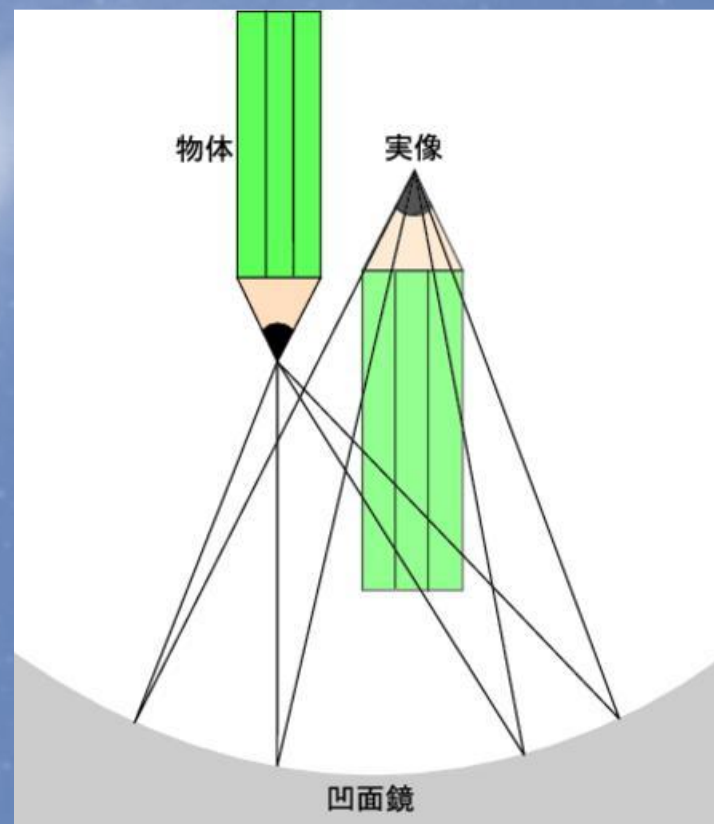
→どちらでも望遠鏡を作ることができる

凸レンズ:屈折望遠鏡

凹面鏡:反射望遠鏡

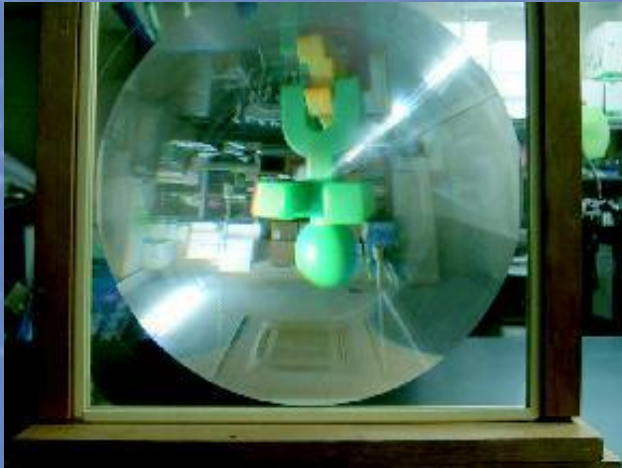


凹面鏡を使った、鉛筆の実像

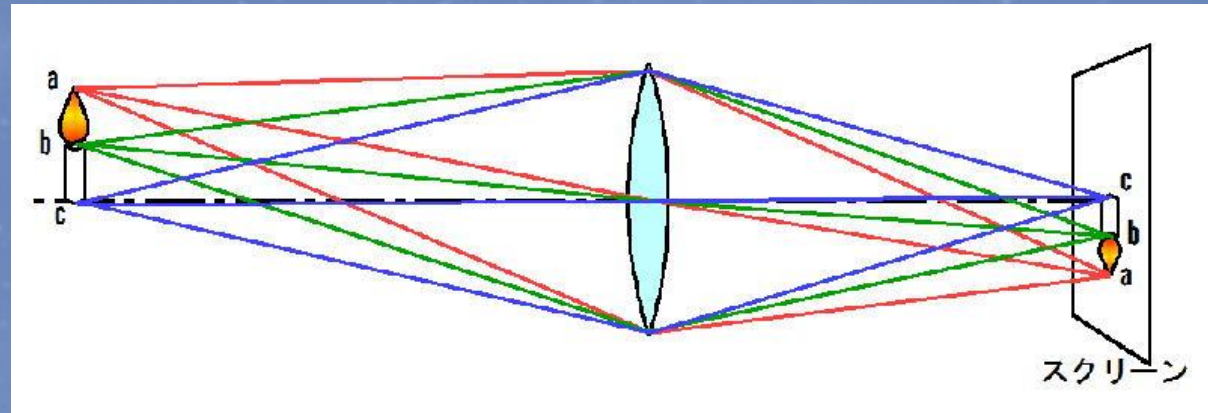


国立天文台、室井氏の資料より(この章の図で多数)

②凸レンズ→対物レンズ



凸レンズによる実像
倒立像になる



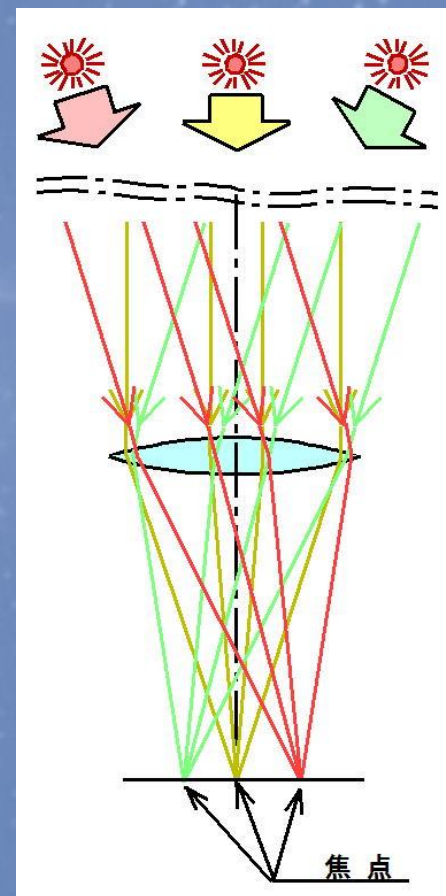
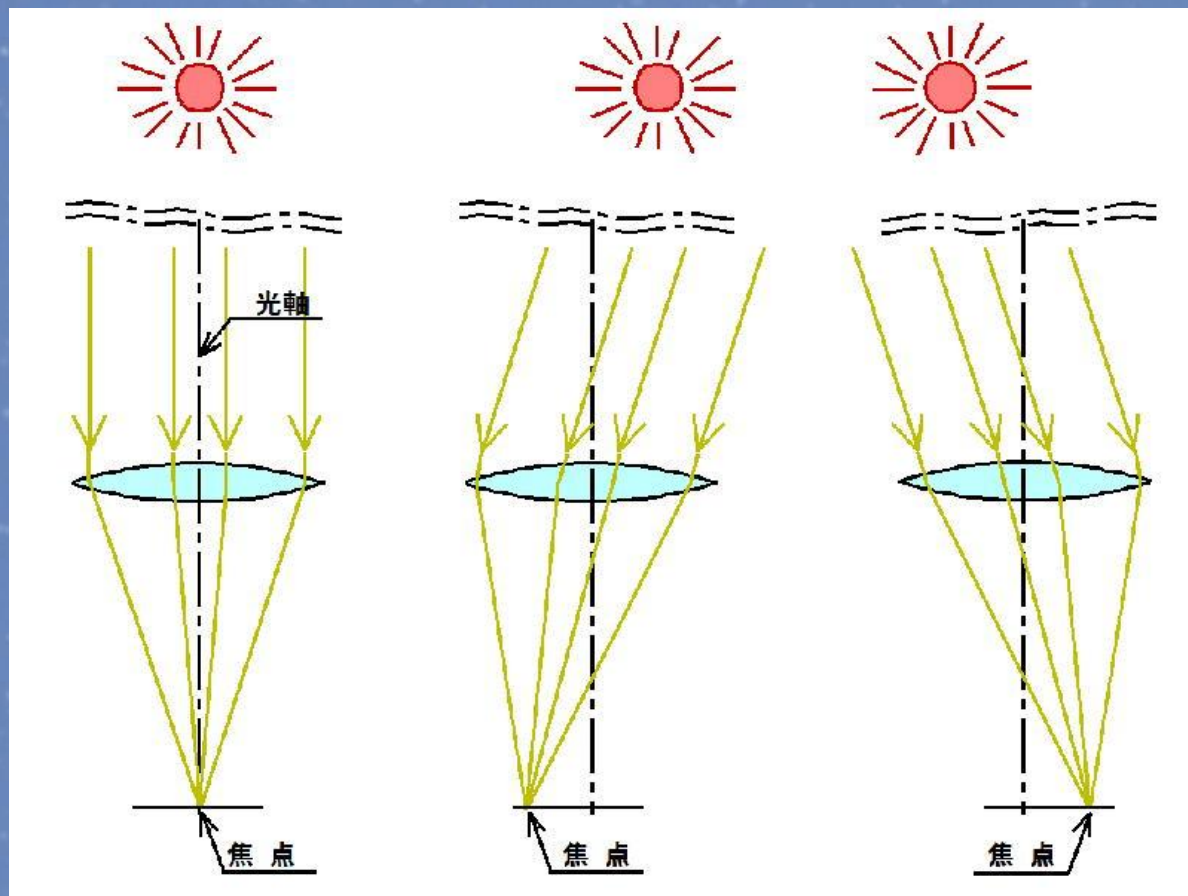
凸レンズの集光作用

凹面鏡や凸レンズを使うと、実像を結ぶことができる

倒立なのは、慣れればなんてことはありません

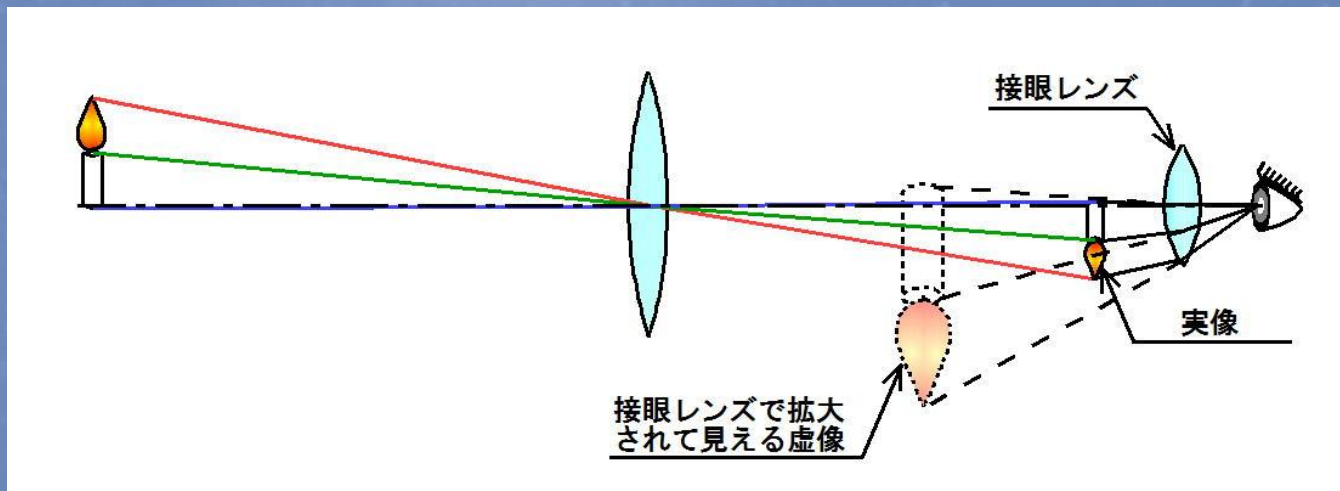
実は私たちの眼球でも、水晶体(凸レンズ)が網膜に造る像は、

倒立実像です(正立と、脳が「処理」)



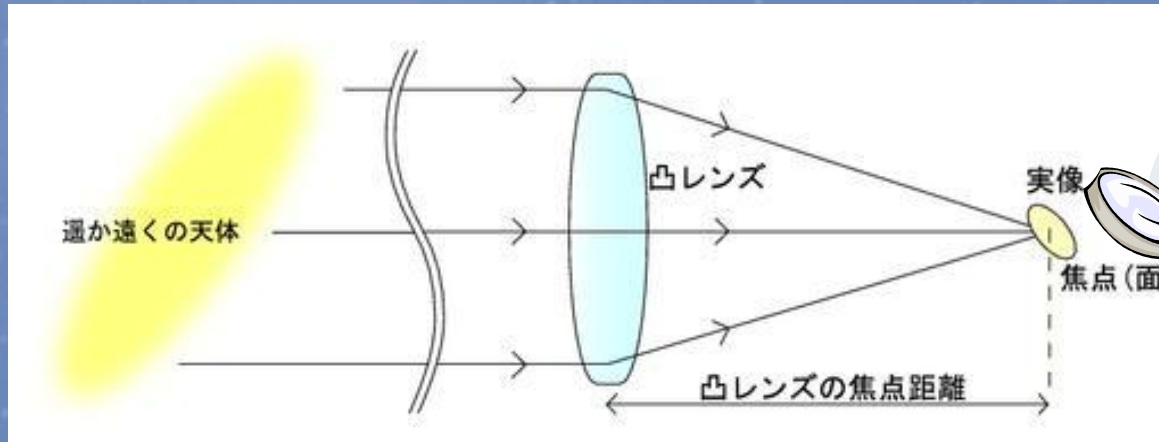
望遠鏡のしくみ

- ・望遠鏡の対物レンズや主鏡は、はるか遠くの天体の実像を近くに作り出す
- ・はるか遠くにある天体の実像は、焦点(面)にできる
- ・凹面鏡や凸レンズが1つあれば、それで望遠鏡ができる
- ・実際の望遠鏡は凹面鏡や凸レンズが作り出した実像を接眼レンズによって、さらに拡大して見ている

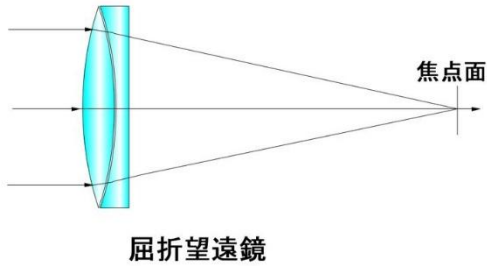


望遠鏡でよく使われる用語

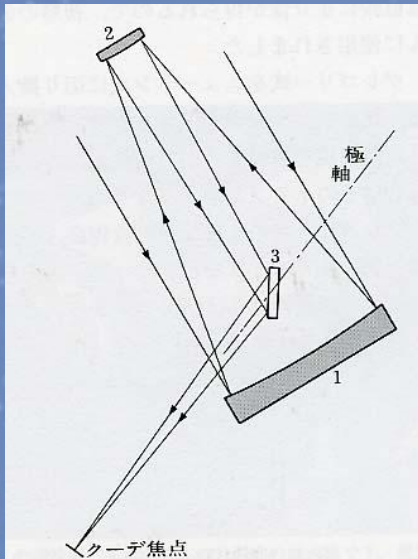
- ・対物レンズ: 天体に向ける凸レンズ
- ・主 鏡: 鏡の役割を果たす凹面鏡
- ・口 径: 対物レンズ 主鏡の直径
- ・焦 点(面): はるか遠くにある天体の実像ができる位置
- ・焦 点 距 離: 凹面鏡や凸レンズから焦点までの距離
- ・接眼レンズ: 実像を見るための凸レンズ(接眼レンズ)
接眼レンズを変えることで倍率を変えることができる



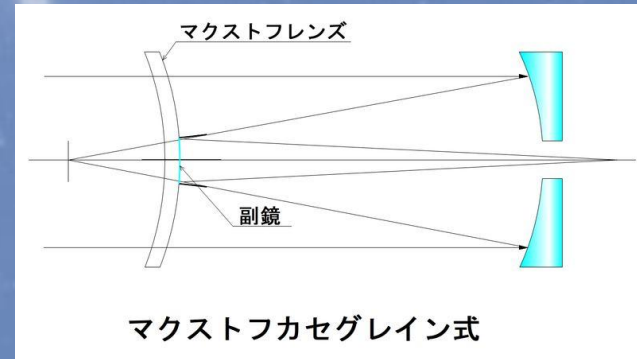
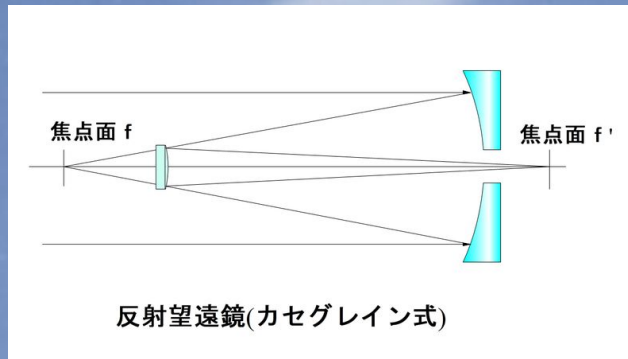
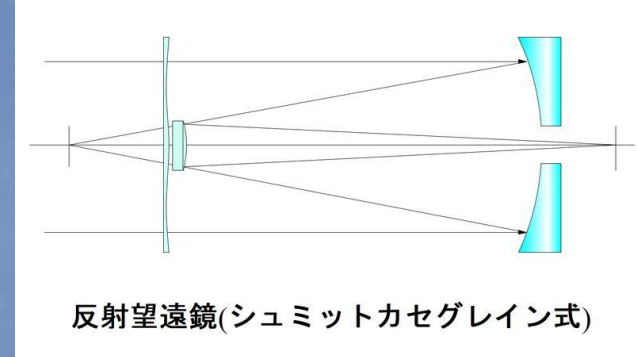
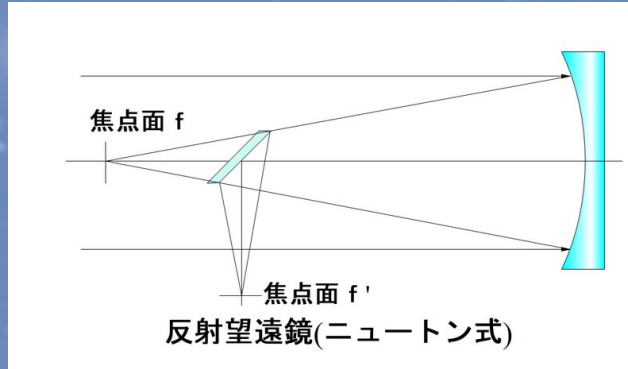
3 望遠鏡の種類



屈折望遠鏡



クーデ式



反射望遠鏡

- ※現在の屈折望遠鏡はケプラー式が主、ガリレオ式は用いられず
- ※小型反射望遠鏡はニュートン式が主流、大型望遠鏡は反射式が主流
- ※主鏡は、昔は金属鏡やガラス鏡などが用いられた。
現在はアルミでメッキしたものが主流。

屈折望遠鏡の特徴



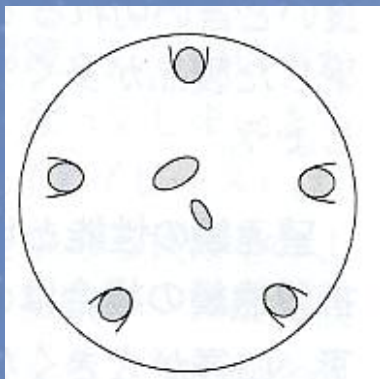
- 定期的なメンテナンスを要する部分が少なく、初めての人でも扱いやすい。
- 視界(望遠鏡で見える範囲)全体にわたって見える像が歪みなく安定しており、惑星面の模様なども見やすい。
- × 同口径の反射望遠鏡に比べて大きく、重い。
- × 口径や鏡筒が大きくなると極端に値段が高くなる。
- × 像に虹色のニジミ(色収差)ができることがある。
→色消しレンズ(2枚もしくは3枚の凸レンズと凹レンズを組み合わせ全体として凸レンズの働きをするレンズ)で軽減できる。

天頂が見にくい → 天頂ミラー(プリズム)が必要

反射望遠鏡の特徴



- 主鏡の口径をある程度大きくしても鏡筒は長くならず、望遠鏡として扱いやすい。
- 色収差が全くない。
- 主鏡や鏡筒の大きさ、目的や用途に応じて様々なタイプの望遠鏡を作ることができる。

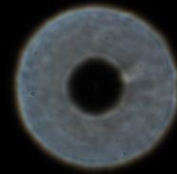


コマ収差(イメージ図)

- × 口径比の小さい反射望遠鏡では、視野周辺部に見える像がコマ(彗星・髪の毛)のように歪んで見えるコマ収差が見られる。
- × 鏡筒内気流が乱れやすく、見える像が揺れることがある。
- × 調整を要する部分が多い。



反射望遠鏡の不思議





焦点が合うと星の光は一点に収束する

4 望遠鏡の性能と倍率

望遠鏡の性能として最も重要なものは口径

屈折望遠鏡では凸レンズ(対物レンズ)

反射望遠鏡では凹面鏡(主鏡)の口径が大きいものがよい

口径が大きいと

- ①集光力があがる:たくさんの光を集めることができる
- ②分解力があがる:細かいところまできれいに見える

口径による見え方の違い



土星(大口径)



土星(小口径)

同じ倍率でも

大口径のほうが明るく(=集光力が大きい)

細かい部分までよく見える(=分解能が高い)

極限等級(限界等級)

望遠鏡で何等星まで見えるのか？

→主に望遠鏡の口径で決まる

(望遠鏡の極限等級)

$$= 5 \times \log(\text{望遠鏡の口径mm}) + 1.774 (\text{等})$$

例えば、

屈折 **8** cm・・・**11.3**等星くらい(見える星数**126**万**5**千個)

屈折 **15** cm・・・**12.7**等星くらい(見える星数**468**万**4**千個)

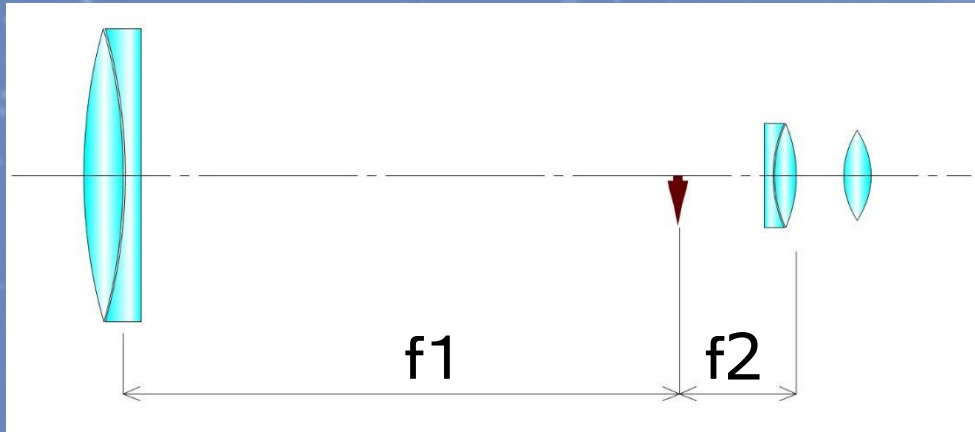
すばる望遠鏡(有口径**8.2**m)では、**26.3**等星まで！

倍 率

(望遠鏡の倍率)

= (対物レンズや主鏡の焦点距離: f_1)

÷ (接眼レンズの焦点距離: f_2)



例

対物レンズの焦点距離: $f_1 = 1000\text{mm}$

接眼レンズの焦点距離: $f_2 = 10\text{mm}$

のとき

倍率 = $f_1 \div f_2 = 1000 \div 10 = 100$ 倍



対物レンズの焦点距離: $f_1 = 2000\text{mm}$

接眼レンズの焦点距離: $f_2 = 40\text{mm}$

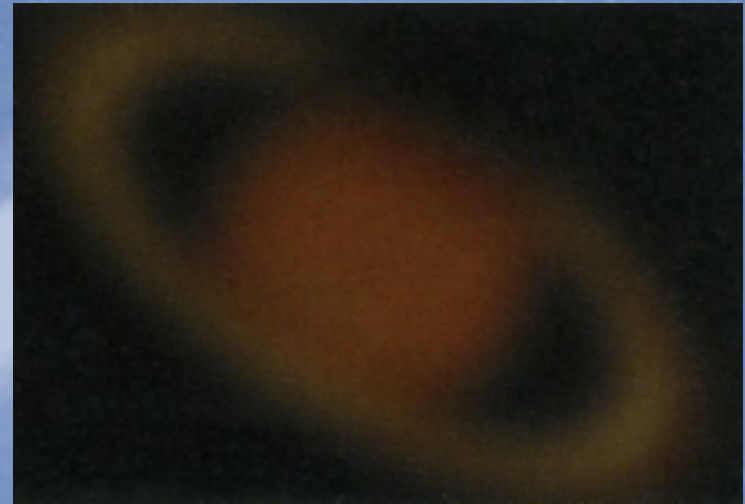
では

倍率 = $f_1 \div f_2 = 2000 \div 40 = 50$ 倍

望遠鏡の有効倍率



適正倍率



過剰倍率

倍率を上げすぎると、像が暗くなり見えにくくなる

有効倍率

ものには何でも「ころあい」がある

対物レンズあるいは主鏡で焦点面上に実像を作り、
それを接眼レンズで拡大 → 接眼レンズを変えれば倍率が変わる

★有効最高倍率

高倍率をかけすぎると、
分解能を越えて像が拡大され、また像が暗くなる

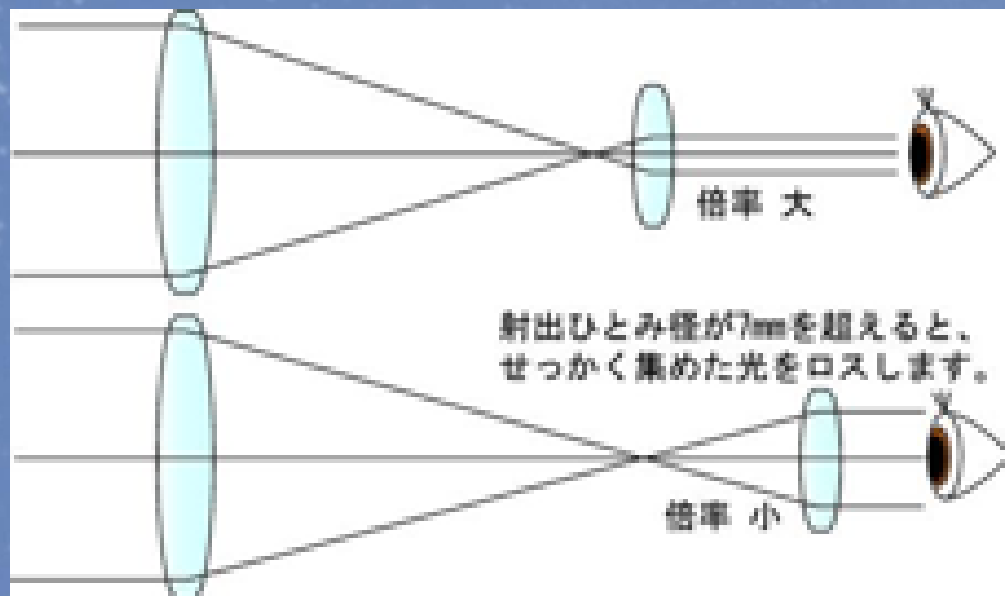
口径をmm単位で表した数値くらい

例：口径8cm望遠鏡なら、80倍（屈折式、反射式を問わない）

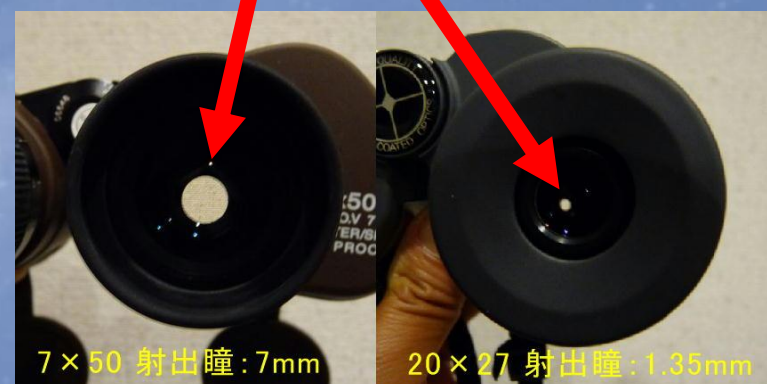
月や惑星のように、高輝度なら、この2倍の高倍率でもOK。

星雲・星団のように淡い天体は、明るく見たいため、
極端な高倍率は適さない。

★有効最低倍率



$$\text{射出瞳径} = \text{口径} / \text{倍率}$$



これが肉眼の瞳最大径の
7mmを越えると「もったいない」

有効最低倍率 → 口径(mm単位) / 7

例: 口径6cm望遠鏡なら、8-9倍

最高倍率は
口径(mm)程度

この説明文は、
まだ甘いくらい
である!

◆ “驚異の500倍！”などといった高倍率を売りにした広告の望遠鏡

最高倍率は、対物レンズの口径(mm)の2倍からせいぜい2.5倍まで。口径80mmなら160倍から200倍ってこと。

星を追尾する赤道儀つき
高倍率天体望遠鏡が 最高倍率
29,800円!

460倍

の 下迫力

初心者にうれしい
星座早見盤つき

●大口径115mmの本格派・反射式望遠鏡がついにこの価格で！最高倍率はなんと460倍！しかも肉眼の270倍という抜群の集光力で極めて明瞭な視界を実現しました。最高121等級の暗い星まで観測できる高性能機です。

●地球の自転により、視界から外れていく星をラクに追尾できる赤道儀を装備。初心者から上級者まで確実な観測が楽しめます。

初心者から上級者までOK！
使いやすい・高性能。

木星のガリレオ衛星や土星の輪も見える！

アルミ製赤道儀

大特価

プレを揃える
2段伸縮式
スチール三脚

写真撮影も

H 6 mm	153倍 (460倍)
K 10 mm	92倍 (276倍)
F 20 mm	45倍 (138倍)

()は30倍/100mm口径の標準倍率

通販の広告等で、高倍率を売りにしたものを見かけるが、こういった望遠鏡のほとんどが過剰倍率になっている。購入は差し控えた方が無難だ。

5 望遠鏡の性能を阻害するもの

シーイング：大気のゆらぎによって、天体の像が
ゆらいだり広がったりする度合い

※良いときで1" ～2"（単位：秒＝1／3600度）程度

※シーイングは大気の状態などにより毎日変わる。

※その他外的な要因によっても変化する

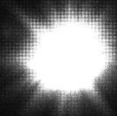
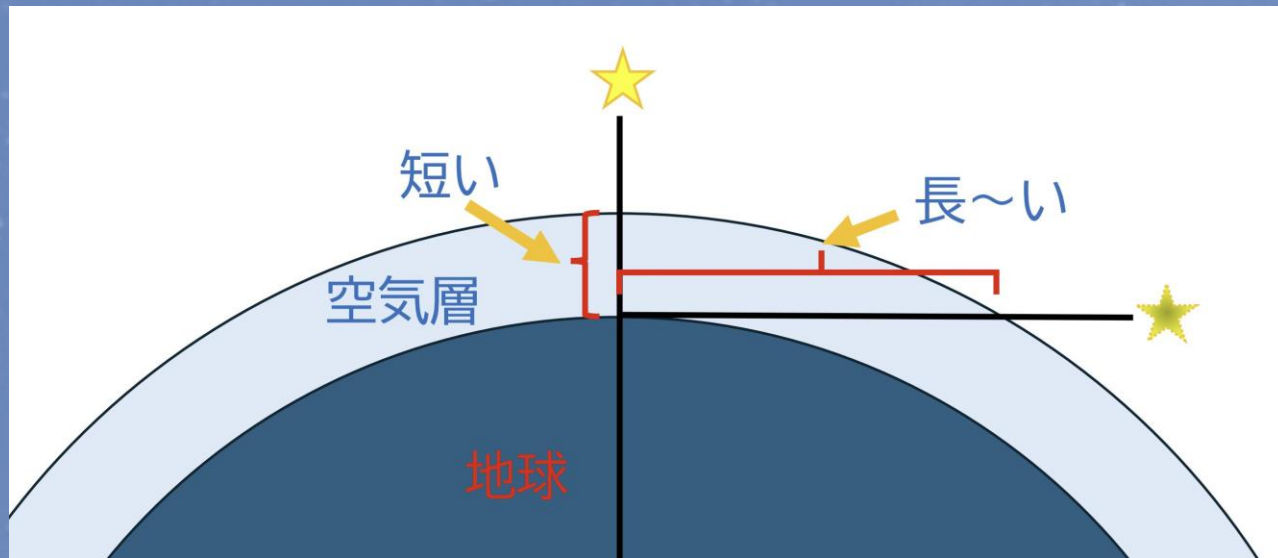
- ・望遠鏡と外気の温度差
- ・雨上がり直後など天候の変動
- ・天体の高度など

その他、街灯の存在や大気中のチリの量などにより
空が明るいとき望遠鏡の性能を十分に発揮できない



シーイングの善し悪し

シーイング: 高度(地平線からの高さ)の影響



クイズ

望遠鏡は、まず(a)で、天体の(b)
を作る。

その(b)を、写真に撮ったり、
(c)でさらに拡大して眼視したりする。

a : 対物レンズ(屈折望遠鏡なら)、
あるいは主鏡(反射望遠鏡なら)

b : 像(実像)

c : 接眼レンズ

6 架台の種類

架台とは望遠鏡を乗せる台

- ・安定していること、頑丈なことが大切
- ・天体を自動追尾するタイプでは精度も大切
- ・経緯台式(左)と赤道儀式(右)の2種類



経緯台式の特徴

望遠鏡を水平と垂直の**2**方向に動かして天体を捕らえる架台

- 方位(水平方向)と高度(垂直方向)に操作するので、簡単に動かせる
- 構造が単純
- × 天体の日周運動を追うには、水平・垂直、両方向に対して連続して動かさなくてはならない
- × 高倍率では天体の動きを追うの(追尾)が大変
- × 追尾していくと天体が視界内で回転してしまう。

経緯台

方位 (地面に水平方向)

高度 (地面に垂直方向)

西南西の方向、
地平線から30度の高さ、
という指定方法

鏡筒 (きょうとう)

ファインダー

接眼部

架台

高度

方位



この例での望遠鏡は、シュミットカセグレン式反射望遠鏡

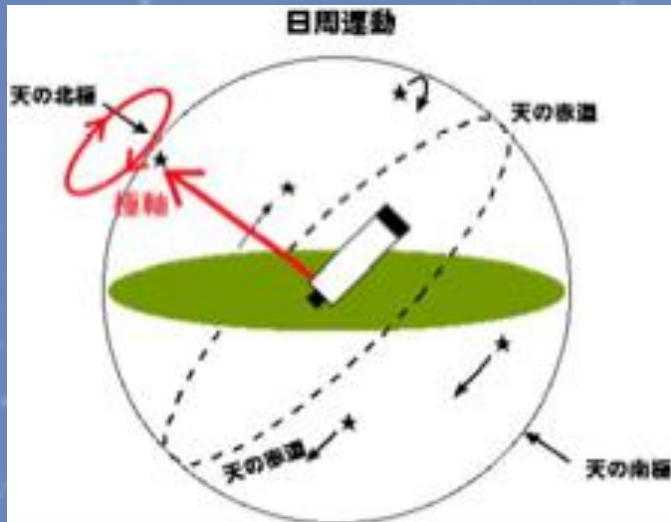


望遠鏡製作会社Vixenの製品より



赤道儀式の特徴

極軸を地球の自転軸の方向にあわせることにより、星の日周運動を追尾できる



天球と極軸のまわりの回転

- 追尾が容易なので長時間の観測に便利
- 視野の中で天体が回転しないため写真撮影に適している
- × 動かし方が感覚的に分かりにくい
- × 構造が複雑で、重い
- × 有効に使用するためには
極軸あわせが必要

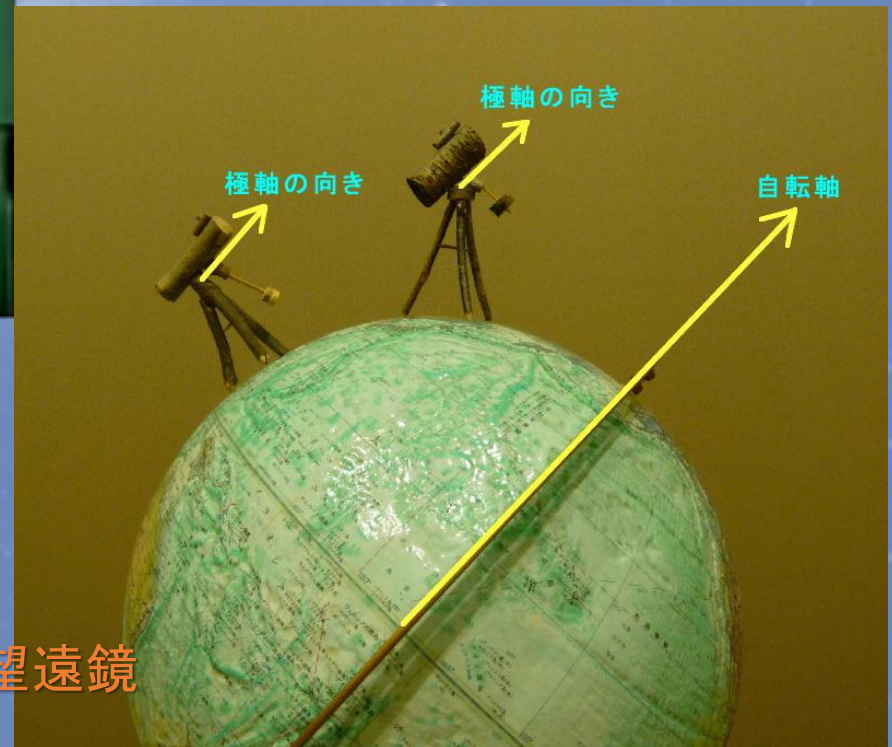
赤道儀

天の北極(南極)、赤道を基に、
天球面に緯度経度を張った
「赤道座標」に合わせる



微動ハンドル

この例での望遠鏡は、ニュートン式反射望遠鏡





ドイツ式



エアリー式



フォーク式



片持ちフォーク式

望遠鏡のしくみを理解して、
その性能を存分に発揮し、
星空を楽しみましょう！

クイズ

望遠鏡の性能を示す一番重要な数値は、倍率ではない、
(a)である。

(a)が大きいと、集光力が大きく、分解できる最小
の角度(分解能)が小さくなる。

集光力は(a)の二乗に(b)し、
分解能は(a)に(c)する。

(a)に応じて、有効な最高倍率がだいたい決まる。
それは(d)である。

a : 口径

b : 比例

c : 反比例

d : 口径のmm数 倍

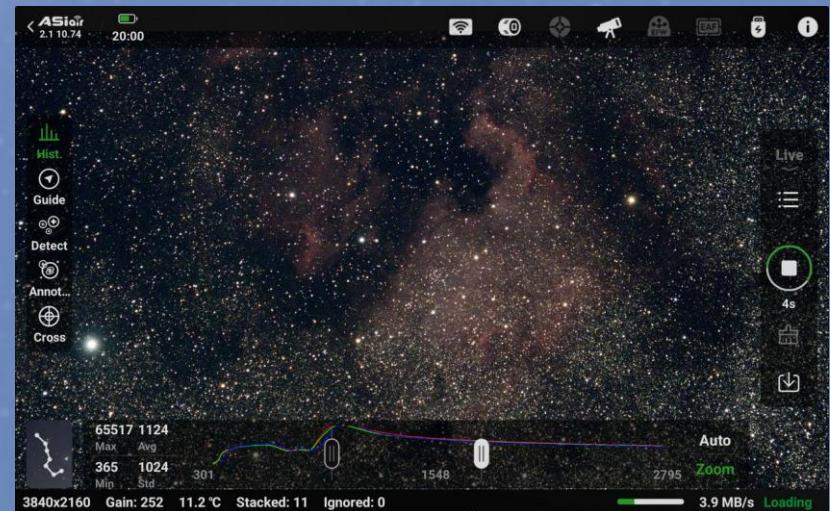
望遠鏡界に革命が進行中

- ・天文用高感度カメラ
- ・コンピュータ制御架台
- ・制御用アプリケーション
(専用ミニPC)



急速に進化・低価格化

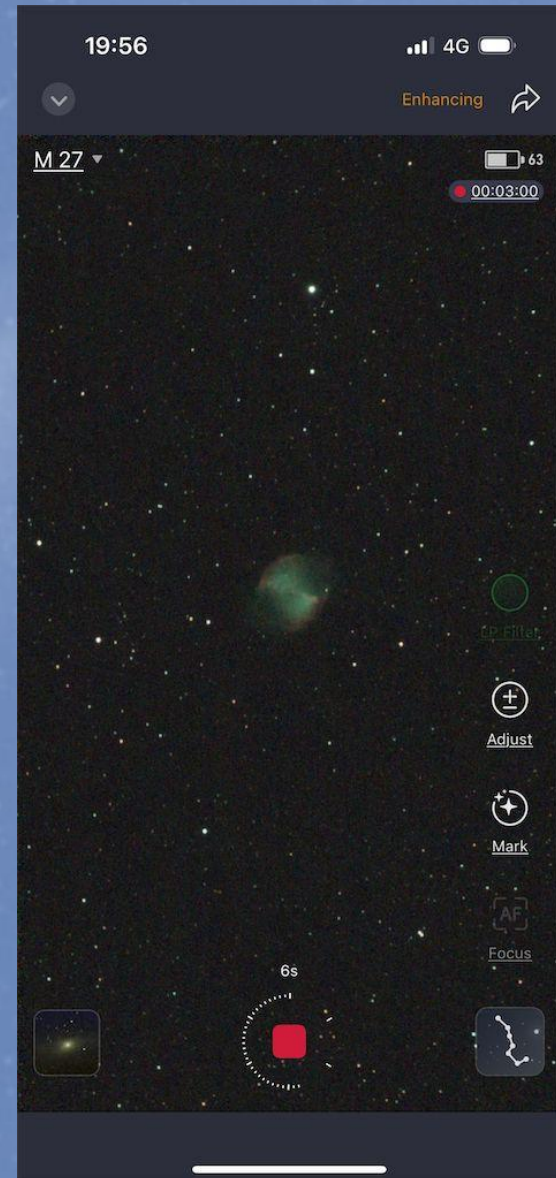
望遠鏡が自律的に天体を導入し
追尾しながら撮影を繰り返し
天体の画像をディスプレイに表示



これらがオールインワンで一体化した 「スマート望遠鏡」も登場



ただしオールマイティーではない
高倍率が必要な惑星・二重星は苦手
写野(写る範囲)が限られる



「望遠鏡を使って見よう」

望遠鏡のセットアップ

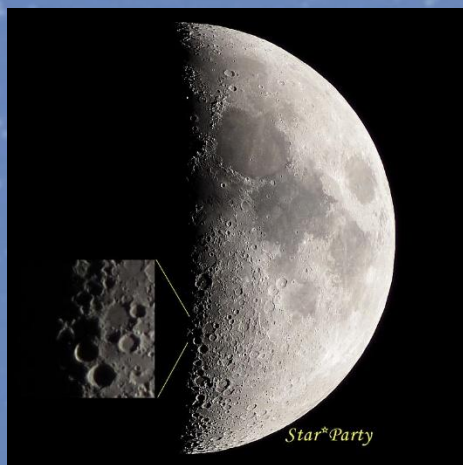
1. 三脚の組立・設置
2. 鏡筒の取り付け
3. ファインダーの取り付け
4. 天頂プリズム・接眼レンズ(低倍率用)の取り付け
5. ファインダーの調整
6. 粗動によりファインダーで天体導入
7. 微動により視野中心に
8. ピント合わせ

観望会での注意

1. 望遠鏡を覗くのは意外に難しい
2. できるだけ低倍率を使う(高倍率は非常用)
3. 子供の目の高さに注意する
覗けない子供がいたら天頂プリズムの向きや
三脚の長さを調整する
4. 天体の動きに注意(視野から外れていないか)
5. 臨機応変に見る天体を換える
6. 周囲に気を配る

見せると喜ばれる天体

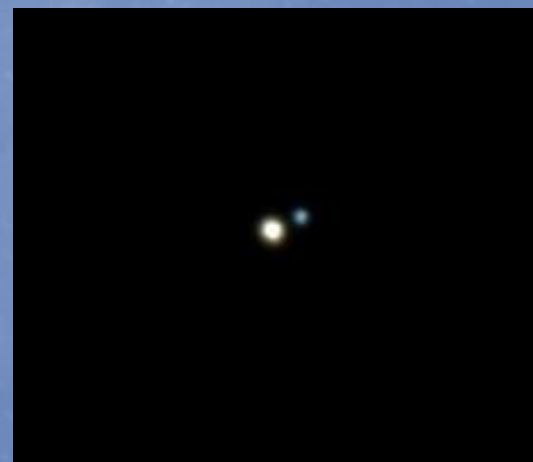
1. 月



2. 惑星



3. 二重星



4. 星雲星団

春: M44 プレセペ星団
M3りょうけん座球状星団

夏: M57 こと座リング星雲
M13ヘルクレス座球状星団
M22 いて座球状星団

秋: M31 アンドロメダ銀河
ペルセウス座二重星団

冬: M45 プレアデス星団
M42 オリオン大星雲
M35 ふたご座散開星団