



<はじめに>

「ぐんま天文台」を訪れる機会があったので、「天体望遠鏡とその光学系」という視点で解説します。HPによれば、1999年にファーストライトを達成し、主望遠鏡として「口径150cm望遠鏡（以下、「150cm望遠鏡」と呼びます）」・「口径65cm望遠鏡（以下、「65cm望遠鏡」と呼びます）」・「口径30cm太陽望遠鏡（以下、「30cm太陽望遠鏡」と呼びます）」が揃っています。中でも「**150cm望遠鏡は、眼視できる望遠鏡としては世界最大クラス**」とされています。実際、一般市民が観望できるような仕組みが取り入れられていて、天文に関してより身近に体験できる施設になっています。各望遠鏡の主目的は次の通りです。

- ・150cm望遠鏡：天文学の研究用だが、来館者が宇宙を直接感じられるような仕様を意識。
- ・65cm望遠鏡：視野が150cm反射望遠鏡より広いという利点。

・30cm 太陽望遠鏡：直径約1メートルの太陽像を投影板に投影。プロミネンスも観察可。

なお、本稿では「ぐんま天文台」のHPを参考にしつつ、筆者の予想（想像）で記述しておりますので、細部では実際と異なるところがあることをご了承ください。本稿の目的は、あくまでも「天体望遠鏡の一般的な解説と望遠鏡光学系（性能）についてご紹介すること」にあります。

<天体望遠鏡の架台について>

望遠鏡本体の性能が如何に優れていても、それを支え、目的の天体に導く「土台」（「架台」と言います）がしっかり（高倍率な像がブレたり、動いてしまわないように）していなくてはなりません。その「架台」には、大きく分けて2つの方式（赤道儀式と経緯台式）があります。

地球は自転しているので、太陽や各星々は、地軸を中心に凡そ一日で一周しているように見えます。従って、いつまでもその天体を見続けるためには、その動き（日周運動）をキャンセルする装置が必要になります。このために用いられる「架台」は、「赤道儀」と呼ばれています。これは小型・中型の望遠鏡では観察を続けるためには必須の装置です。（一方、小型・中型の安価な望遠鏡にも「経緯台式」がありますが、これは「経緯台式の方が安価に製作できる」からです。）

実は、本天文台の「150cm 望遠鏡」と「65 cm 望遠鏡」では、それぞれの「架台方式」が異なります。「150cm 望遠鏡」は「経緯台式」、「65cm 望遠鏡」は「赤道儀式」になっています。

「65cm 望遠鏡」は「赤道儀式」なのでいいとして、「150cm 望遠鏡」はなぜ「経緯台式」を採用しているのでしょうか？

かつて、世界最大の望遠鏡だったアメリカの「パロマ山天文台：口径500cm」の架台は、「赤道儀式」でした。しかしながら、望遠鏡が大きいと、その架台部に掛かるコストが膨大で、近年それを抑えたいという要求と共に、制御技術が向上したことから、特に「大型望遠鏡」では「経緯台式」に収斂しています。従って、「150cm 望遠鏡」は「経緯台式」を採用していると思われます。

下の写真は、左側が「150cm 望遠鏡」で、右側が「65cm 望遠鏡」です。

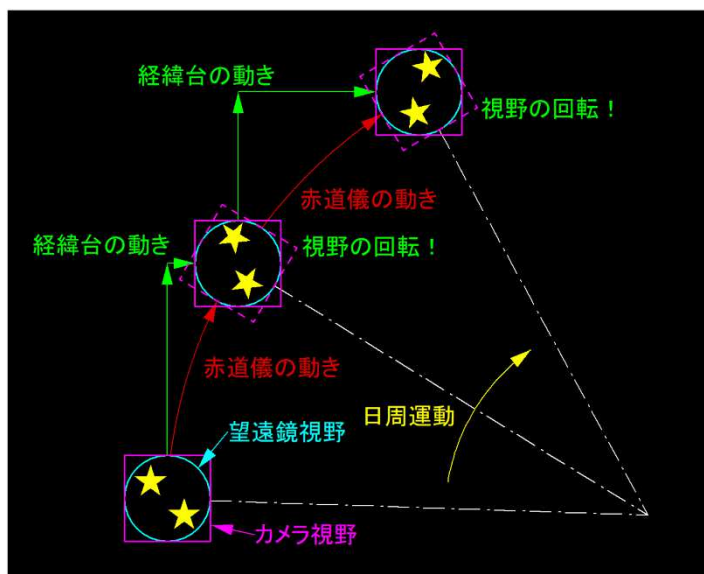


150 cm 望遠鏡：「経緯台式」（黄色矢印は回転可能部を示す）



65 cm 望遠鏡：赤道儀式

さて、「経緯台式」にした場合、デメリットは無いのでしょうか？



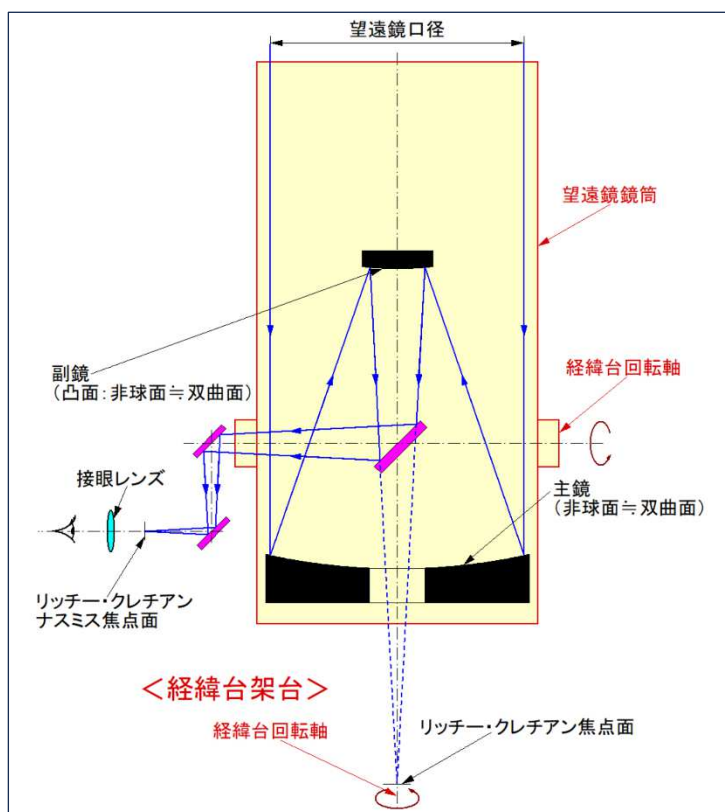
その最大の問題点は、長時間観察していると、「視野が回転してしまう」ことです。まず、これが起こる原因を左図で説明します。

「赤道儀式」は「日周運動」をキャンセルできるように設計された機構部（架台）になっていますので、天体を追っかけて行っても「視野」が回転することはありません。ところが、同じ天体を「経緯台式」で追っかけていくと、図にあるように（「カメラ視野」で示す）、そのままではカメラ内で天体が回転してしまい

ます。これでは、長時間星の光を蓄積して暗い天体を撮影したりすることはできません。

そこで、現代の「経緯台式」では、天体の追尾に同期して「カメラ」を回転させる制御が行われています。つまり、「経緯台式」にすることでトータルのコストを抑えていることになります。

<150cm 望遠鏡について>



150cm 望遠鏡の光路図（概念図）

一般に、反射望遠鏡と言えば、（ニュートン式もありますが）圧倒的に「カセグレン式」になります。これは、凹面の主鏡（**放物面**）と凸面の副鏡（**双曲面**）を組み合わせたスタイルで、主鏡に穴を開けて光が通れるようにし、その直後にできる「像」を観察するようになっています。（左図参照）

この光学系は、収差的には次の特徴を持っています。

<球面収差を補正している>

<コマ収差は補正できていない>

一方、本「150cm 望遠鏡」で採用している光学系は「**リッチー・クレチアン式**」です。これは、通常のカセグレン式に似た構成（左図）ですが、反射面の形状が異なります。主鏡と副鏡の反射面は、いずれも「**双曲面に近**

い高次の非球面」になっています。通常のカセグレン鏡に比べて、以下の利点があります。

＜球面収差を補正している＞

＜コマ収差も補正している＞

です。（こうした球面収差とコマ収差を共に補正した光学系を「アプラナート」と言います。）

主鏡と副鏡の形状をカセグレン光学系から少し形状を変化させることで達成しています。

・主鏡：放物面→双曲面に近い高次の非球面

・副鏡：双曲面→双曲面に近い高次の非球面

因みに、近年製作されている世界の大型反射望遠鏡はほとんどこの光学系を採用しています。

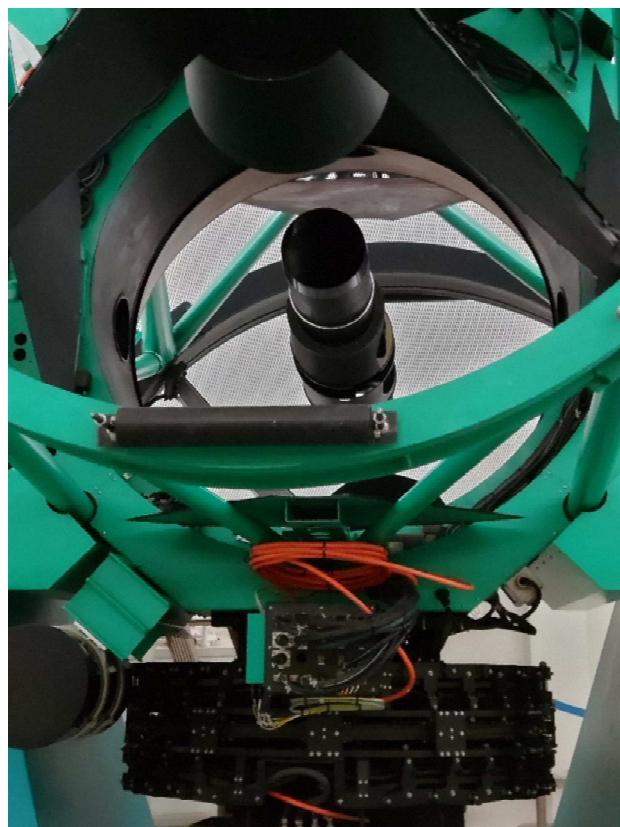
しかしながら、いいことばかりか言えばそうではありません。この補正をすることで、強い「像面湾曲」が発生しているのです。（カセグレン鏡もリッチー・クレチアン鏡も光学的には、主鏡と副鏡という2つの自由度しかありませんのでアプラナートにできたとしても、他の収差が悪化することになります）

従って、本光学系の像面の前には、「像面湾曲補正光学系」が必須となります。

さて、本「150cm 望遠鏡」は眼視可能な設備となっていますが、前ページに示した図のような配置の光学系になっているものと思われます。つまり、経緯台回転軸の中に光学系の光路を作り、観察はいつも一定の位置（下の写真参照）で可能になります（ナスミス式）。通常の望遠鏡では、天体が動けば（日周運動）、望遠鏡が動きますので、一定の位置で観察することは不可能でした。



150cm 望遠鏡接眼部



直径 150cm の主鏡が見える

<65cm 望遠鏡について>

HP によれば、この望遠鏡は 150cm 反射望遠鏡に比べて鏡が小さいため、集光力では劣りますが、視野が 150cm 反射望遠鏡より広いという利点があります、としています。

本望遠鏡の諸元は以下の通りです。

- ・ 架台：赤道儀
- ・ 光学系：純カセグレン反射式＝凹面の主鏡（**放物面**）と凸面の副鏡（**双曲面**）の組み合わせ
- ・ 口径：65cm
- ・ 合成 F 値：12.0
- ・ 焦点距離：7800mm

また、「ワンダーアイ」とよばれる装置により、車椅子に座った人でも、背の高い人でも、楽な姿勢で天体を観察できるそうです。因みに、メーカーは「三鷹光機」さんです。

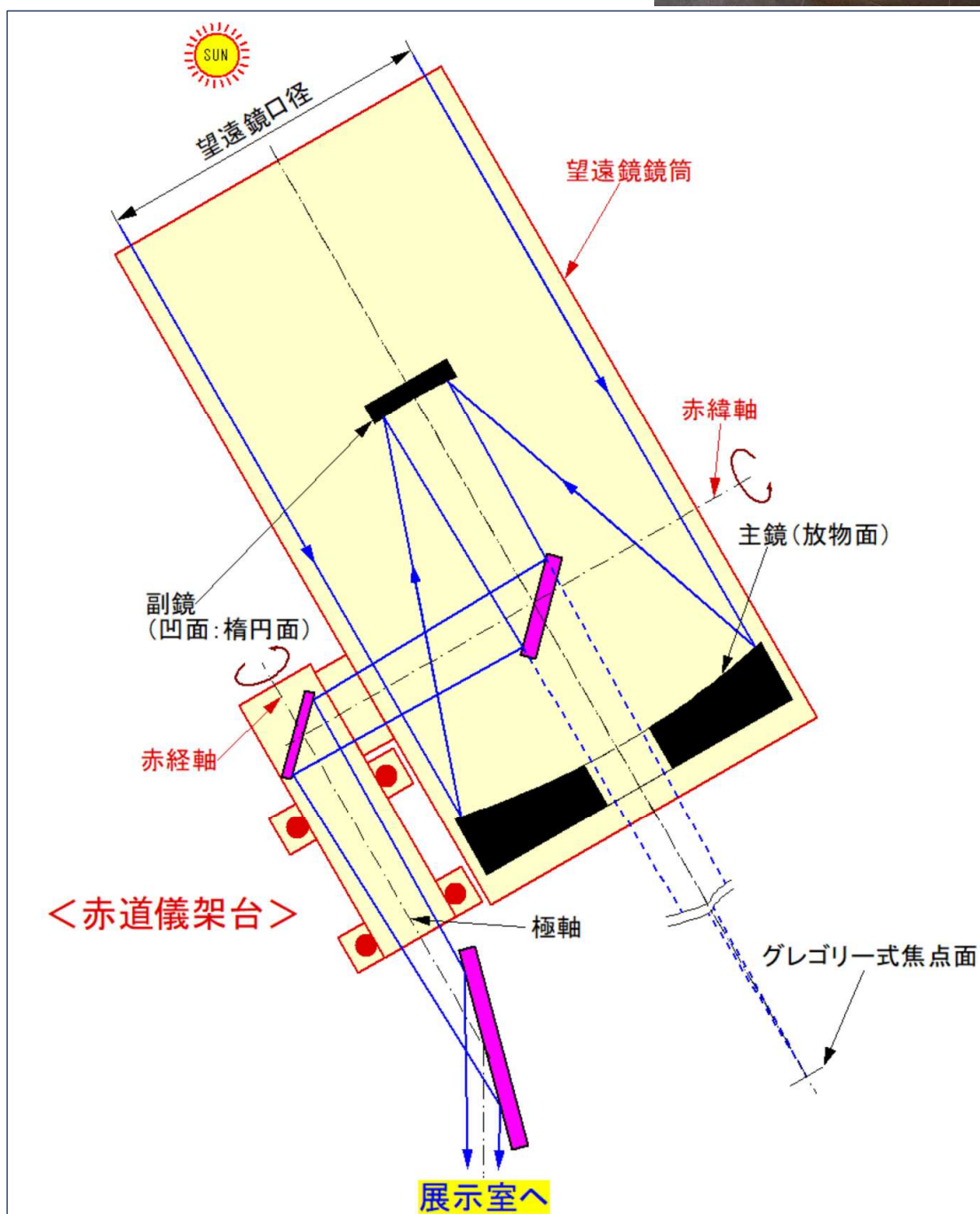


65cm 望遠鏡全景

<30cm 太陽望遠鏡について>

HP によれば、30cm 太陽望遠鏡は「反射望遠鏡(グレゴリアンクーデ式)」で、反射望遠鏡で集めた光は本館 2 階展示室まで送られ、ハーフミラーで分割され、投影板と分光器に送られます、とあります。この情報をもとに「グレゴリアンクーデ式光学系」について解説します。次ページに筆者が想像する光学系の光路図を示します。「クーデ式」ということなので平面鏡を 3 枚用いています。

「150cm 望遠鏡」は、通常の望遠鏡とは異なる光路を採用して、一定の位置で観察できる機構を備えていました。この太陽望遠鏡も、展示室内の右写真のような「投影盤」に常に太陽像を投影できるようになっています。しかも本太陽望遠鏡は、HP の解説等から「赤道儀」を使っているようで、「150cm 望遠鏡」とは異なっています。そこで、考えられる構造として下図の構成を考えました。



30cm 太陽望遠鏡光路図（概念図）

まず、「グレゴリアン」＝「グレゴリー式」光学系は「カセグレン式」に似た構成ですが、以下の特徴があります。

- ・凹面の主鏡（**放物面**）と**凹面の副鏡（双曲面）**の組み合わせ

「カセグレン式」では、副鏡に「凸面鏡」を使っていますが、「グレゴリー式」では、「凹面鏡」を使っている点が、大きく異なっています。

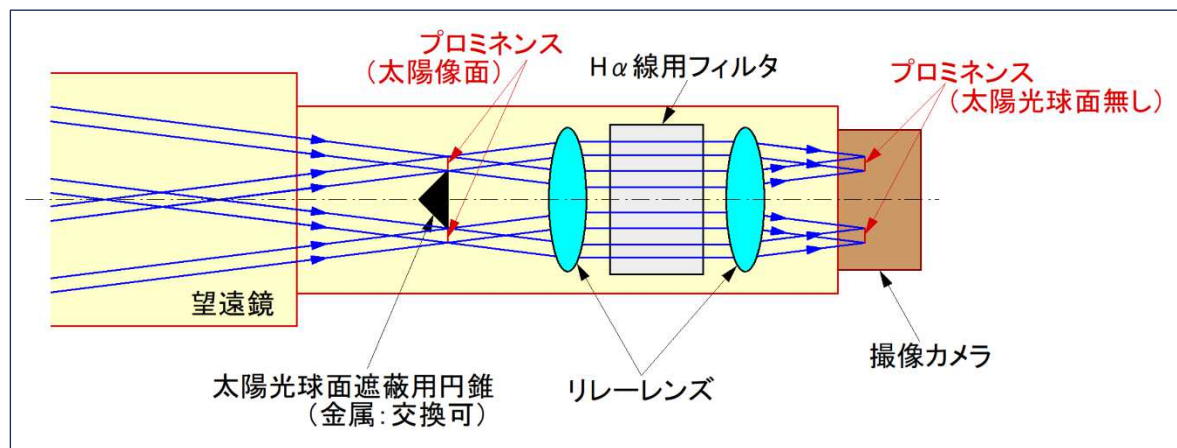
更に、前ページの図のようにグレゴリー式光学系の途中に3枚のミラーを挿入して「クーデ式」にし、それを使って太陽像を2F展示室に導いているものと思われます。展示室の天井には「投影レンズ」が設けられており、これにより直径1mの太陽像が「投影盤」に作られます。

<ソーラープロミネンスアダプタについて>

HPによれば、「30cm 太陽望遠鏡」の他にも種々のサブ望遠鏡が同架されていて、「ソーラープロミネンスアダプタ」も使用できるようになっている、としています。

そこで、ここでは「ソーラープロミネンスアダプタ」について述べてみたいと思います。太陽の「プロミネンス」とは、光球面から宇宙空間に噴出した「炎」のようなもので、特に「日食（皆既日食）」時に観察されるものです。このアダプタは、その「日食（皆既日食）」を意図的に作り出して、いつでも「**プロミネンス**」を**観察できるようにした装置**です。

下図に筆者が予想（想像）するアダプタの光路図を示します。まず、望遠鏡で作られた太陽像位置に、金属でできた「円錐」を置きます。この直径については後述しますが、これで太陽像の「光球」を隠します。「光球」からはみ出した「プロミネンス」は、その後方にある「リレーレンズ」でカメラ（又は接眼レンズを含む眼）に結像されます。この時、リレーレンズには通常「 $H\alpha$ 線（ $\lambda = 656.3 \text{ nm}$ ）の光のみを透過するフィルタ」を設けて、「プロミネンス」を観察しやすくしています。（「プロミネンス」の発光波長は主に「 $H\alpha$ 線」であるため、他の波長の光をブロックするためにフィルタが用いられます。一般的には「干渉フィルタ」が考えられますが、もっと透過波長半値幅の極端に小さな「リオ・フィルタ」も使われます）



ソーラープロミネンスアダプタの光路図（概念図）

ここで、光球を隠す「円錐」の底辺直径をどのように設計するか、という問題を考えてみます。このアダプタが装着される望遠鏡の焦点距離を「 f 」mm、太陽の「視半径」を「 θ 」° とすると、その像高「 Y 」は次式で与えられます。

$$Y = f \cdot \tan \theta$$

太陽の「視半径」は「約 16 分=0.2667°」です。観察する望遠鏡の焦点距離を、例えば「2,000mm(=2m)」とすると、太陽の像高は、

$$Y = 2000 \cdot \tan 0.2667 = 9.3 \text{ mm}$$

になります。従って、この望遠鏡に使うアダプタの円錐底面直径は「18.6mm」にすればよいことになります。

ところで、この円錐は一年中使えるでしょうか？答えは「否」です。地球は、太陽の周りを公転していますが、ご存知のようにその軌道は「楕円」ですので、厳密には日々刻々と太陽の「視直径」は変化しています。従って、円錐の直径も変えてやらなければ、「金環日食」になったり「皆既日食」になったりしてしまいます。そこで、(筆者の経験ですが、) 季節に合わせて3種類(春秋用、夏用、冬用)」位は用意する必要があります。

ここで、質問です。日本で観察する場合、「夏用円錐」と「冬用円錐」のそれぞれの底面直径はどちらが大きいでしょうか？