

# 南極 40cm 赤外線望遠鏡の光軸調整方法

沖田博文 (東北大)

2009/12/16

## 1 はじめに

南極 40cm 赤外線望遠鏡の光学性能をフルに引き出す為には光軸調整が必要不可欠である。しかしながら南極 40cm 望遠鏡は赤外線望遠鏡であるために以下の点が通常の 40cm クラスの望遠鏡と異なる。

- 副鏡に取り付けられた円錐反射鏡
- 主鏡を鏡の外周で固定
- 主鏡バツフルが無い

これらの特徴をふまえ、光軸調整を行う必要がある。なおこのレポートで言う光軸調整とは明るい時に主鏡や副鏡の位置・傾き調整を行うというもので、実際の観測に必要な精度を出す為には接眼部に焦点距離の短い (=高倍率) アイピースを取り付け、視野中心に導入した明るい恒星を観測して追い込む必要がある。この作業は熟練が必要な作業でありマニュアル化するのは難しいが必ず必要な作業であるので省略せずレポートの最後に簡単に説明する事にした。

## 2 カセグレン式反射望遠鏡

南極 40cm 赤外線望遠鏡はカセグレン式反射望遠鏡と呼ばれる光学系で構成されている。凹放物面の主鏡と、凸双曲面の副鏡を共通の光軸上に組み合わせた光学系である。概略が図 (1) である。

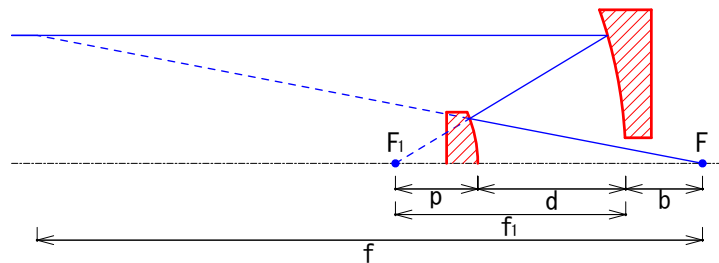


図 1 カセグレン式反射望遠鏡概略図

ここで合成焦点距離  $f$  は

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (1)$$

と計算される。但し  $f_1$ 、 $f_2$  はそれぞれ主鏡、副鏡の焦点距離である。

以下表 (1)、表 (2) に IK 技研株式会社より示された南極 40cm 赤外線望遠鏡の鏡材の諸元と配置を記す。

	有効直径	中央穴	焦点距離	離心率
主鏡	400mm	95mm	800.0mm	1
副鏡	100mm	12mm	-178.28mm	1.4

表 1 鏡材の諸元

主焦点-副鏡間距離	p	148.57mm
副鏡-主鏡間距離	d	651.43mm
バックフォーカス	b	240mm

表 2 鏡材配置

よって南極 40cm 赤外線望遠鏡の設計上の合成焦点距離は

$$f = 4800[mm] \quad (2)$$

となる。しかしながら南極 40cm 赤外線望遠鏡の場合、副鏡を動かすことでピント調整を行う為正確な合成焦点距離はピント位置によって異なる。

### 3 光軸合わせの原理

光軸合わせとは「主鏡光軸」「副鏡光軸」「観測装置の光軸」を共通の軸上に組み合わせる事である。

主鏡光軸・副鏡光軸が傾いていたり共通軸上に無い場合、望遠鏡本来の性能を出すことができない。またザイデルの 5 収差 (球面収差・コマ収差・非点収差・歪曲収差・湾曲収差) のうちコマ収差は入射角度に比例して大きくなるので観測装置の光軸を主-副鏡共通の光軸と一致させると収差が最小となり都合がよい。

ここで南極 40cm 赤外線望遠鏡の鏡筒部の模式図を図 (2) に示し、以下具体的に南極 40cm 赤外線望遠鏡の場合の光軸調整を説明する。

なお光軸は主鏡、副鏡の中心を通っていると暗黙に仮定している。

#### 3.1 調整箇所

一般に Dec 軸と光学系全体の光軸は直交しなければ天体の導入に誤差を生じる。しかしながら南極 40cm 赤外線望遠鏡には Dec 軸と光学系の直交を調整する機構が無い。その為「主鏡光軸」は Dec 軸と直交するようあらかじめ調整されている。よって光学系の光軸調整はこの「固定された主鏡光軸」を基準として合わせることになる。

光軸調整をする前に以下の仮定をおく。

- 主鏡は組み立てる時に正確に主鏡セルの中心に取り付ける
- 主鏡セルは機械加工精度で Dec 軸と直交が出ており、主鏡光軸と主鏡セルの軸はほぼ一致する

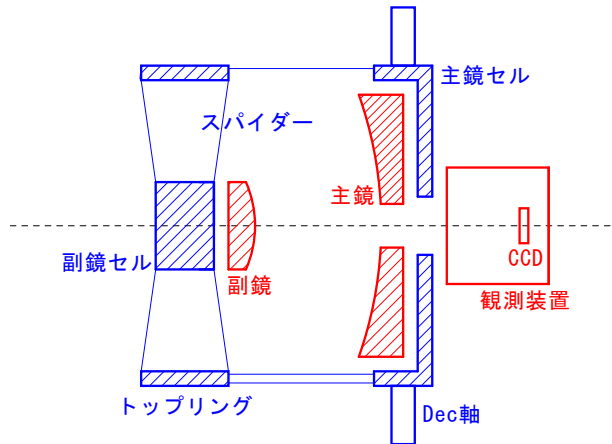


図2 南極 40cm 赤外線望遠鏡の鏡筒模式図

- 観測装置は主鏡セルに正しく取り付けられる

この仮定とは、「Dec 軸と光軸の直交を確保する為に主鏡の位置・傾きを調整することはできないが、元々主鏡を固定する主鏡セルと Dec 軸は良い精度で直交が確保されているはずなので、主鏡セルに取り付ける観測装置の光軸と主鏡の光軸は良い精度で一致するはずである」というものである。その為、南極 40cm 赤外線望遠鏡の光軸調整において調整することの許される箇所は「副鏡の位置と傾き」のみである。

#### 4 おおざっぱな光軸調整

まず 明るいところで おおざっぱな光軸調整を行う。この作業では望遠鏡の接眼部から (アイピースなど何もつけず) 直接覗いて見える副鏡等の位置関係を見て、光軸調整ネジを回して調整する。

ところで実際は接眼部の中心に目を持って行くのが難しい。そこで図3「センタリングアイピース」と呼ばれるレンズが無くその代わりに中心に小さな穴が開いていあるアイピースを使用する。



図3 センタリングアイピース (大)(小)

#### 4.1 光軸が合っている時

まず光軸が合っている時、接眼部から直接（接眼レンズや観測装置を外して）望遠鏡を覗き込むと図4のように主鏡や副鏡等がすべて同心円に見える。具体的には、外側の円から

1. 接眼部の内壁
2. 直接見える「副鏡」
3. 直接見える副鏡に映った「主鏡」
4. 直接見える副鏡に映った主鏡に映っている「副鏡」
5. 直接見える副鏡の「円錐反射鏡」

である。但し4番（直接見える副鏡に映った主鏡に映っている「副鏡」）は5番（直接見える副鏡の「円錐反射鏡」）に遮られ見えない。（ちなみに4番と5番は接眼部から見て同じ大きさになるよう設計されている。）

今後、望遠鏡をのぞき込んだときに見える「円」をこの番号で呼ぶ。

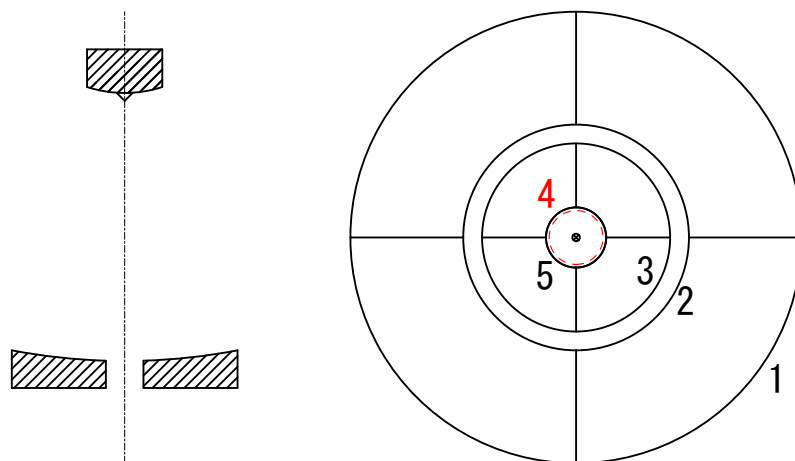


図4 光軸が合っている時

#### 4.2 副鏡が傾いている時

副鏡光軸が主鏡光軸に対して副鏡位置で一致しているが2つの光軸が傾いている時の状態を図5に示す。この場合、3番(直接見える副鏡に映った「主鏡」)、4番(直接見える副鏡に映った主鏡に映っている「副鏡」)がズレて見える。

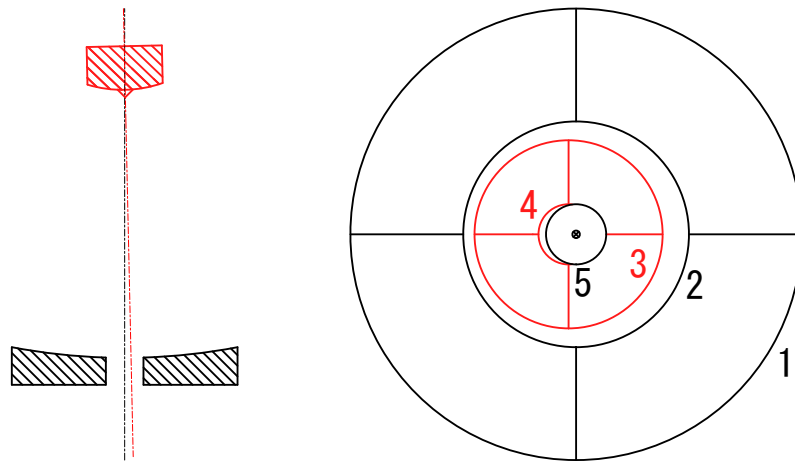


図5 副鏡が傾いている時

#### 4.3 副鏡の中心がズれている時

副鏡光軸が主鏡光軸と平行であるが副鏡位置で一致していない場合の状態を図6に示す。この場合、本来見えないはずの4番(直接見える副鏡に映った主鏡に映っている「副鏡」)がズレて見える。

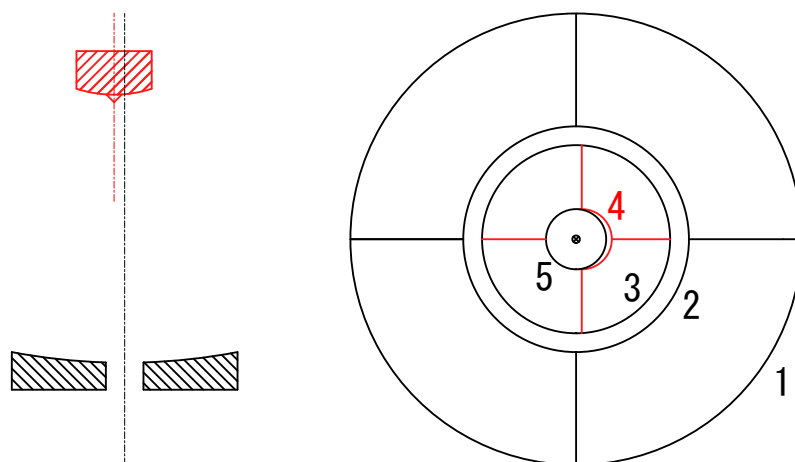


図6 副鏡の中心がズれている時

なお図6の図解は正しくは「主鏡が傾いている時」の図である。副鏡中心がズれている場合は2番(直接見える「副鏡」)もズれて見えるはずである。

なお「主鏡が傾いている時」というのは副鏡光軸と主鏡光軸が副鏡位置で一致しておらず、且つ平行ではないという状態のことでありこれは「副鏡が傾いている時」と「副鏡の中心がズれている時」の重ね合わせの状態と同等である。よって本当は「主鏡が傾いている」のに「副鏡の中心がズれている」と考えて副鏡の位置を調整した場合、今度は「副鏡の傾き」がズれることになる。

よって望遠鏡の接眼部から覗いて図4のようになるよう副鏡位置・傾きを調整すればよい。

## 5 恒星を使った光軸の追い込み調整

望遠鏡の接眼部から覗いて1番~5番まで同心円になるように調整するだけでは精度が足りない。そこで恒星を使って光軸の追い込み調整を行うことになる。

実際の流れとしては望遠鏡の接眼部に短焦点(=高倍率)アイピースを取り付けて恒星を視野中心に導入しその星の「ピンぼけ」具合から判断する。視野中心に光軸中心があると仮定すると「コマ収差」の影響が無いのは視野中心のみのため、視野中心の恒星像を見て光軸調整する必要がある。

図7、図8はピンぼけ時と焦点位置での星像を示した模式図である。光軸がずれている場合、ピンぼけ時に見える中心の黒い穴(=副鏡の影)が中心に見えず、焦点位置でも尾を引いたように1点に集まらない。

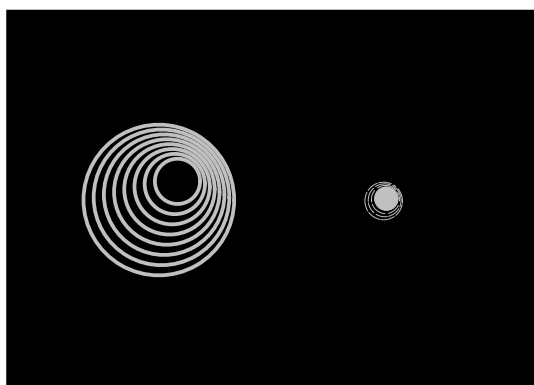


図7 光軸が合っていない場合

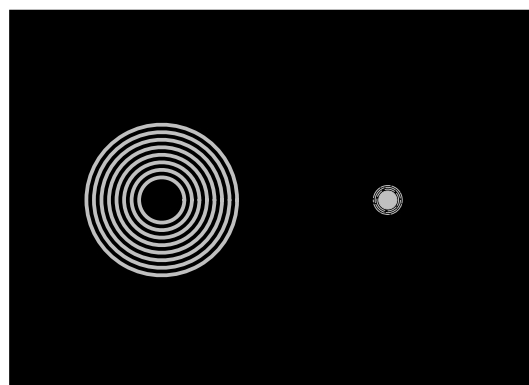


図8 光軸が合っている場合

よってピンぼけ像・焦点位置での星像を見て光軸が正しいかどうか判断する。そして正しくない場合、副鏡調整ネジを「ほんの僅かずつ」回して図8となるように調整する。この作業は熟練が必要であるが、調整ネジを動かす人と望遠鏡を覗く人の2人で作業すると短時間に効率的に合わせることができる。

なお、この恒星を使った光軸の追い込み調整では「副鏡の傾き」のみを調整することになる。その為どれだけ調整しても図8の用にならない場合は「副鏡の中心位置」の調整も必要な事を意味している。この場合は再度明るいところで副鏡の位置調整をする必要がある。

## 6 光軸調整の手順

望遠鏡の設置も含めた実際の光軸調整では表3の作業手順で光軸調整作業を行う。

なお光軸調整作業を行う前に望遠鏡の導入誤差を無くす為、光軸とDec軸が直交するように主鏡を調整す

作業手順	調整箇所
望遠鏡の設置時	主鏡・主鏡セルの中心を一致させる
直交誤差の観測	主鏡の傾き
おおざっぱな光軸調整	副鏡の位置と傾き
恒星を使った光軸調整	副鏡の傾き

表 3 調整箇所

る必要がある。このために主鏡の中心と主鏡セルの中心が一致するように主鏡を取り付けなければならない。これによって機械加工精度で光軸と Dec 軸が交わる。さらに天体の導入誤差から Dec 軸と光軸の直交誤差を見積もり、必要な量だけ主鏡を傾ける。これによって光軸と Dec 軸の直角を出て、光軸と Dec 軸は直交する。

## 7 参考文献

1. 40cm カセグレン望遠鏡の球面収差、及川賢一・水の孝雄 (東京芸術大学紀要 4 部門 pp.145 ~ 151,1990)
2. 天文アマチュアのための望遠鏡光学・反射編、吉田正太郎、誠文堂新光社
3. 南極 40cm 望遠鏡のビデオディックモーションの測定と考察、沖田博文、2008 年 10 月 22 日レポート
4. 南極 40cm 赤外線望遠鏡の Dec 軸・光軸の直交誤差について、沖田博文、2009 年 11 月 18 日レポート