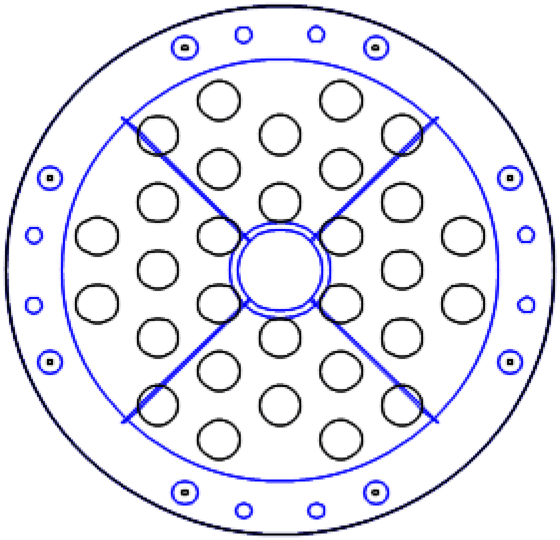
2007年6月21日　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　学部4年　沖田博文
10月5日加筆・修正

南極40cm望遠鏡に最適化したハルトマン板

ハルトマン板は光学系の直前に設置する多数の小穴のあいたマスクのことで、以下のようなものである。



ハルトマン板の穴径や穴数は、穴による回折像径とシーイングサイズ、スポット重心位置計算の精度などを考慮して決定する必要がある。

まず穴による回折像径は、開口を A [m]、波長をλ [m]とするとき、回折半径(ベッセル関数の第一根)と回折の半値幅(FWHM)は

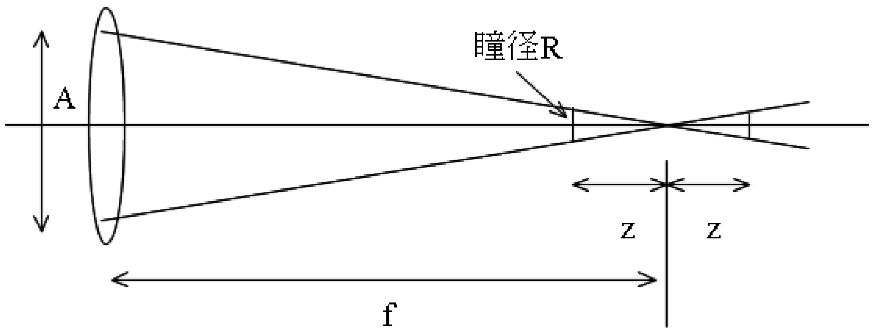
回折半径θ_1・・・・・$1.21967\dfrac{\lambda}{A}$ [rad]　　　　・・・・・・①

回折の半値幅θ_2・・・$1.02900\dfrac{\lambda}{A}$ [rad]　　　　・・・・・・②

であたえられる。

なお単位を[arcsec]に変換するには$\dfrac{180}{\pi}\times 3600$を行えばよい。

つぎに、ハルトマンテストは焦点の前後 2 箇所で恒星を観測(撮影)するので、焦点位置から z [m] 離れた位置にできる像(瞳径)の大きさを考える。開口(この場合、望遠鏡の口径)を A [m]、焦点距離 f [m]とすると、以下の図より



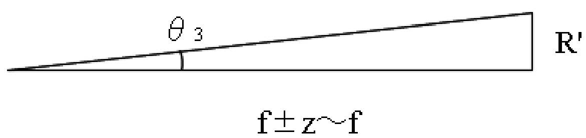
瞳径の大きさ $R = A \times \dfrac{z}{f}$ [m] ・・・・・③

またハルトマン板の穴から入射した光の瞳径の大きさは、穴の直径を A' [m]として

穴径 $R' = A' \times \dfrac{z}{f}$ [m] ・・・・・④

となる。
なお単位を秒角に直すには、下図より

$f \times \tan\theta_3 = R' \quad \rightarrow \quad \theta_3 \approx \dfrac{R'}{f}$ [rad] ・・・・・⑤



とすればよい。

典型的な仙台のシーイングサイズ θ_4 は？[arcsec]であるので、(三鷹は 3 ”)

$\theta_1 \sim \theta_3 \sim \theta_4$ ・・・・・⑥

となれば、必要十分な精度でハルトマンテストが行えることになる。

また、重心位置の計算を精度よく行う為には CCD 上に出来る穴像が十分な数のピクセルにまたがって投影される必要があるので、

R’ ＞ 数 10 ピクセル ・・・・・⑦

さらに、焦点位置からの距離 z をあまり大きくしすぎると瞳径 R が CCD のサイズよりも大きくなり、観測できない点が存在することになるので、

R ＜ CCD の大きさ ・・・・・⑧

となる。
実際に今回テストする 40cm 望遠鏡は、
有効口径 400[mm]
合成焦点距離 4800[mm]
であり、ハルトマンテストを行うときに用いる波長を 550[nm]（ハルトマンテストは鏡面誤差をテストするので、波長依存性はたぶんない。テストするときの CCD は何を用いるのか不明だが、ここでは ST-7 を使うと仮定する。）とすると、

40cm 望遠鏡の性能
θ_1 = 0.346 [arcsec]
θ_2 = 0.292 [arcsec]

穴の直径を 40mm とした場合、
θ_1 = 3.459 [arcsec]
θ_2 = 2.918 [arcsec]

であるので、シーイングサイズを 3”とした場合、穴の直径は 40[mm]程度が良いと考えられる。

ST-7 の CCD の大きさは、6.9 [mm]×4.6 [mm]で 1 ピクセルのサイズは 9 [μm]角なので、このとき⑧式を③式に代入して、

$$z < 55.2 \text{ [mm]}$$

z=55.2 のとき、④式よりひとつの穴の投影する像の大きさはおよそ 51 ピクセルとなる。

実際には写野ぎりぎりまで大きくする必要はないので、ひとつの穴が 20 **ピクセルとなるように最適化すると、**

穴の直径 A’ =40 [mm]
焦点位置からの距離 z = 21.6 [mm]

なお穴の開ける位置は、隣の穴と明確に区別するため、穴と穴の距離は直径の 3 **倍程度にするのが妥当なので、下図のようにすればよい。(詳細な設計図は別紙に示す。)**