

テクニカルレポート 極限等級の算出方法

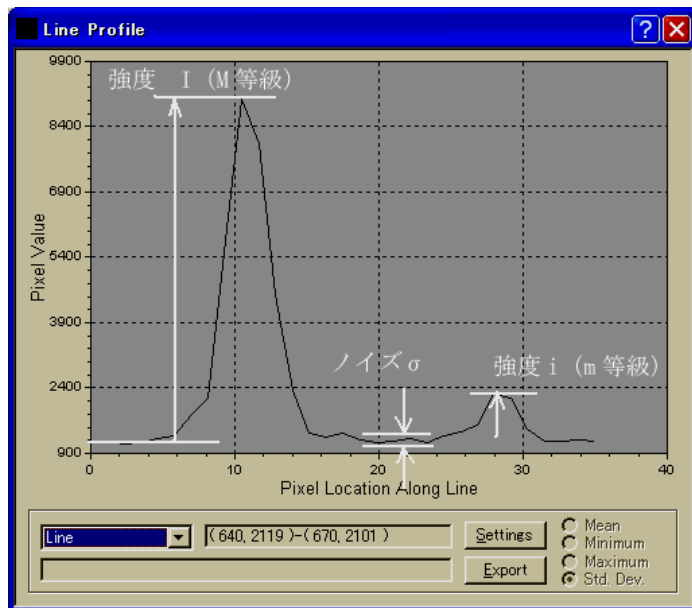
2009年3月9日
作成 田中一幸

概要

観測者が最も気になるファクタの1つが極限等級である。撮影したフレームの極限等級を知ることで、カメラの性能または望遠鏡システムの能力を知ることができる。

考え方

もっとも暗い星が検出できるかどうかは感度とノイズに大きく依存する。感度は CCD センサが決まればおおよそ決定されるが、ノイズは光害・ダークノイズ・読み出しノイズなどがあわさって映像の背景に現れる。映像の背景をノイズとしたとき $S/N=2$ となる強度を持つ星をもっとも暗い星としその等級数を極限等級とする。画面内に写っている明るく飽和していない恒星をリファレンスとすれば強度と等級数の関係が求まる。それを元にして $S/N=2$ となる等級数を計算する。



星の断面強度

上の図は星の強度断面を表わし、既に分かっている明るい星の等級数を星図で調べたうえでソフトウェアを使ってそのピーク強度を調べる。未知の強度 i の等級数 m は I と i の比率は次の関係式にある。

$$m - M = 2.5 \log(I / i)$$

算出式

$i=2\sigma$ となる強度を極限等級とすれば次の式で m を求めることができる。

I : 画面内の明るく飽和していない恒星の最大強度

M : その恒星の等級数 (カタログから用いる)

σ : 背景の標準偏差

m : 最微光等級

とすると

$$m = M + 2.5 \log(I / 2\sigma)$$

で表わされる。

天体画像は少なくとも 1 枚のダークフレームを引いておくこととする。

S/N=2 の妥当性

極限等級を決定する数値は $S/N=2$ の条件としたが、この妥当性について考えてみる。 $S/N=1$ では信号がノイズに埋まっており識別できない。経験的には星の大きさが小さいときには $S/N=3-4$ 、大きいときには $S/N=2-3$ で識別できる。 2σ を超えるノイズはわずか 5% であることを考えれば $S/N=2$ でノイズに埋もれて検出できなくなるケースは稀であろう。

実際例

過去に冷却カメラを使って撮影したデータから極限等級を算出してみた。 CCD センサの感度に依存するがそれ以上に背景ノイズに大きく左右される。光害が減れば背景光のフォトンノイズが減るため σ は小さくなる。ダークノイズや読み出しノイズも無視できず、高冷却で質の良いカメラほど σ が小さく最微光星等級が暗くなっていく。カラーセンサはモノクロに比べ 1.5 等ほど極限等級が明るいようである。

口径	焦点距離	種類	フィルタ	シグマ	ピクセル	極限等級	撮影地
31cm	2100mm	モノクロ	V	70	9	13.2	調布市
31cm	2100mm	カラー	IRC	50	9	19.3	豪州
25cm	920mm	カラー	IRC	170	9	17.8	山梨
12.5cm	475mm	モノクロ	Vr	67	5.4	19.4	山梨
25cm	920mm	モノクロ	V	63	9	19.4	山梨
65cm	7200mm	モノクロ	R	20	24	18	川口市

まとめ

CCD のピクセルサイズやカメラゲイン、ノイズの種類、フィルタ種類に関係なく、撮影した画像 1 枚から極限等級を客観的に求めることができる。極限等級は背景ノイズに大きく依存するため、空が暗い場所での撮影や高冷却・低ノイズカメラは極限等級が伸びる。