Suprime-Cam 限界等級の計算

川崎 渉 (東京大学天文学教室)

1998 年 5 月 1 日

1 はじめに

以下では簡単のために点光源を考え、これをすばる+Suprime-Cam で撮像する場合の限界等級の計算を行なう。S/N 計算の際の aperture は $1''.0\phi$ とする。

2 計算式

S/N は

$$S/N = \frac{n_{sig}}{\sqrt{n_{sig} + n_{sky}\cdot A + (\sigma_r^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{dark}\cdot t)\cdot A}} \tag{1}$$

ここで

$$\begin{cases} n_{sig} & : \text{1pixel当たりの天体からの光子数} \\ n_{sky} & : \text{1pixel当たりのskyからの光子数} \\ A & : \text{image area} \quad = \pi\cdot 0.5^2/a_p \\ & \quad = 24.6 \text{ pixels}(a_p : \text{後述}) \\ \sigma_r & : \text{readout noise} \quad \sim 15e^-/\text{pixel}\cdot\text{read} \\ \sigma_d & : \text{digitization noise} \quad \sim 1e^-/\text{pixel} \\ \sigma_{dark} & : \text{dark current} \quad \sim 0.001e^-/\text{pixel}\cdot\text{sec} \\ t & : \text{積分時間} \quad (\text{sec.}) \end{cases}$$

である。

n_{sig}, n_{sky} の表式は

$$n_{sig} = \frac{f_0}{h\nu}\cdot 10^{-0.4m}\cdot\epsilon_{atm}\cdot\frac{\pi}{4}D^2\cdot\epsilon_{sys}\cdot t \tag{2}$$

$$n_{sky} = \frac{f_0}{h\nu}\cdot 10^{-0.4\mu_{sky}}\cdot\frac{\pi}{4}D^2\cdot\epsilon_{sys}\cdot a_p\cdot t \tag{3}$$

ここで

$$\begin{cases} f_0 & : \text{0等星からの大気外でのflux} \quad (\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}) \\ h\nu & : \text{光子のエネルギー} \quad (\text{J}) \\ m & : \text{天体の等級} \\ D & : \text{望遠鏡口径} \quad = 820 \text{ cm} \\ \epsilon_{atm} & : \text{大気減光による損失} \\ \epsilon_{sys} & : \text{systemによる損失} \\ \mu_{sky} & : \text{Skyの明るさ} \quad (\text{mag}/\square'') \\ a_p & : \text{1pixelの面積} \quad = 3.19\times 10^{-2}\square'' \end{cases}$$

である。

ある積分時間 t において、ある S/N を達成できる限界の等級 m は、(1) 式を変形して得られる：

$$m = -2.5\log\left\{\frac{(S/N)^2}{2Pt}\cdot\left[1+\sqrt{1+\frac{4A(Qt+R)}{(S/N)^2}}\right]\right\} \tag{4}$$

ここで

$$\begin{cases} P \equiv \frac{f_0}{h\nu}\cdot\frac{\pi}{4}D^2\cdot\epsilon_{atm}\cdot\epsilon_{sys} \\ Q \equiv \frac{f_0}{h\nu}\cdot 10^{-0.4\mu_{sky}}\cdot\frac{\pi}{4}D^2\cdot\epsilon_{sys}\cdot a_p + \sigma_{dark} \\ R \equiv \sigma_r^2 + \sigma_d^2 \end{cases}$$

とおいた。

3 限界等級

ここでは UBVRI(広帯域) 及び、現在提案されている狭帯域フィルターのうち 6 バンドについて計算を行なう。バンドに依存する諸量については次の値を採用する。

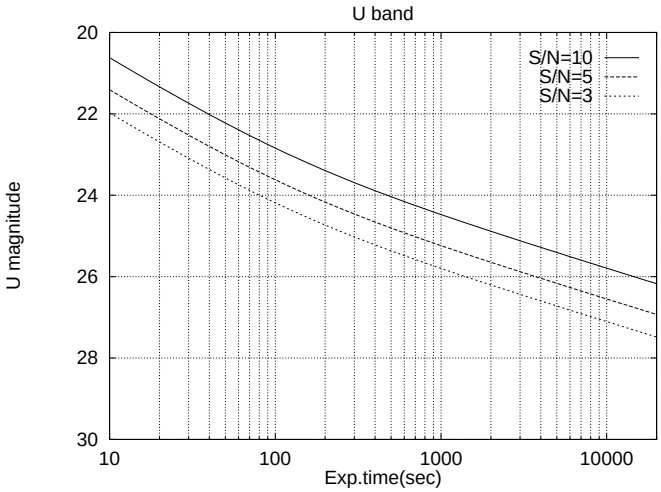
[広帯域]

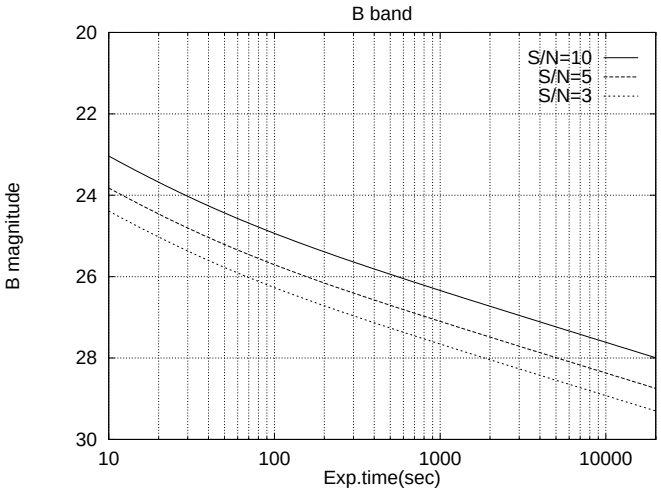
Band	λ(Å)	ϵ_{atm}	ϵ_{sys}	μ_{sky}	$f_0/h\nu$
U	3652	0.54	0.10	21.6	5.16×10^5
B	4448	0.79	0.25	22.3	1.43×10^6
V	5505	0.87	0.40	21.1	8.87×10^5
R	6588	0.91	0.55	20.3	1.14×10^6
I	8060	0.95	0.45	19.2	7.52×10^5

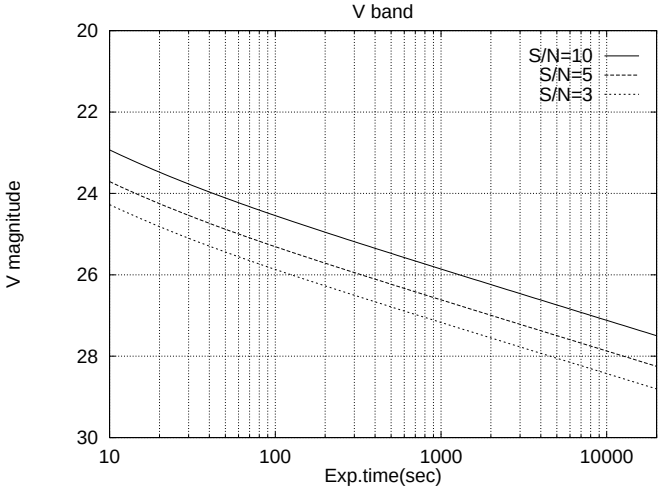
[狭帯域]

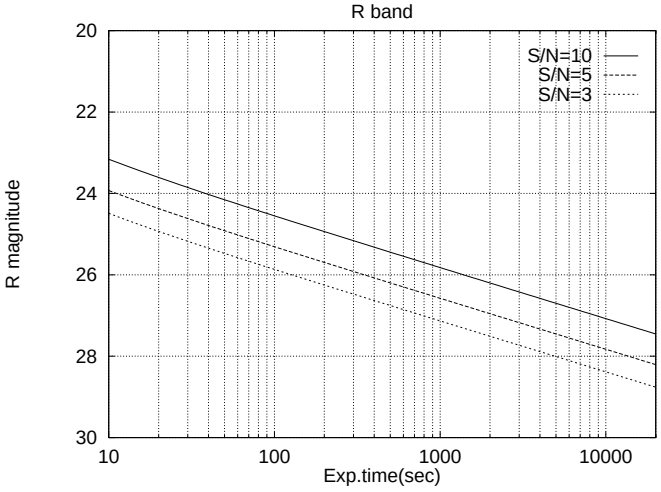
ID	λ(Å)	FWHM(Å)	ϵ_{atm}	ϵ_{sys}	μ_{sky}	$f_0/h\nu$
1	3922	193	0.54	0.42	21.6	1.89×10^5
4	4451	219	0.79	0.56	22.3	3.11×10^5
9	5496	271	0.87	0.56	21.1	2.91×10^5
13	6507	321	0.91	0.56	20.3	2.33×10^5
18	8041	397	0.95	0.56	19.2	1.94×10^5
23	9939	493	0.95	0.14	19.2	1.61×10^5

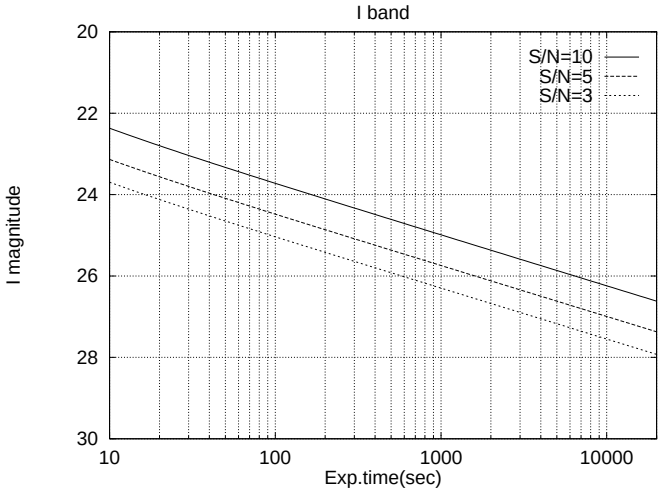
結果を次ページ以降に示す。S/N=3,5,10 に対応する限界等級を積分時間の関数として表示している。

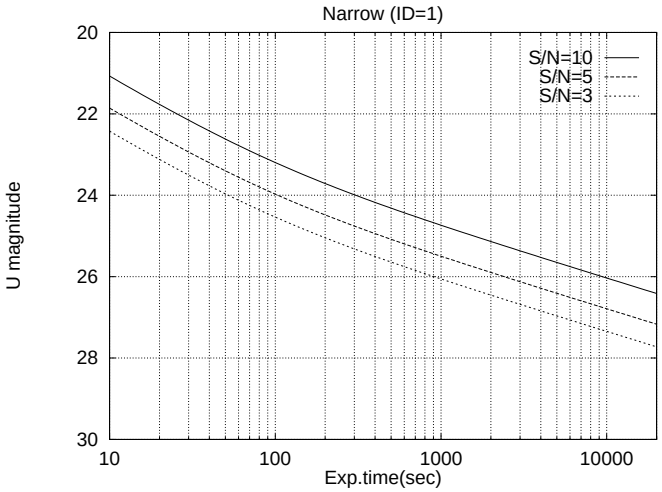

U band
U magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000

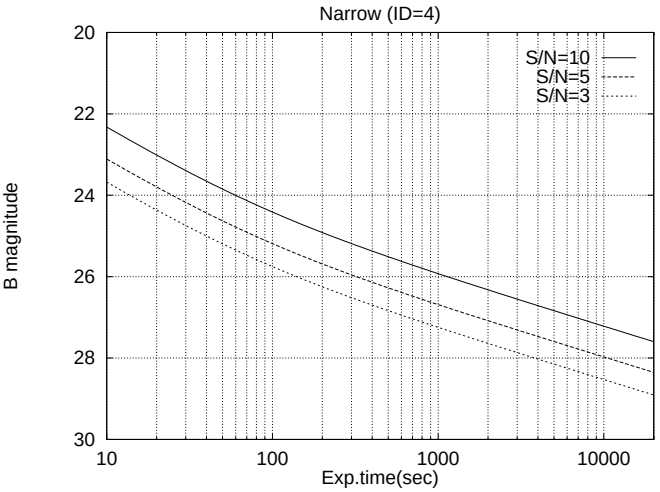

B band
B magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000

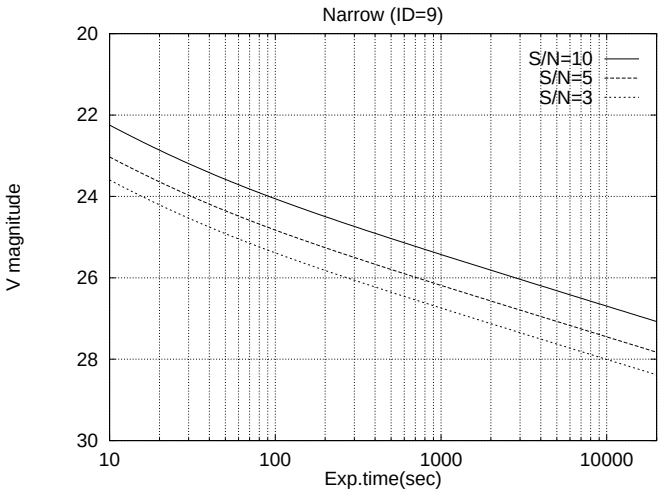

V band
V magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000

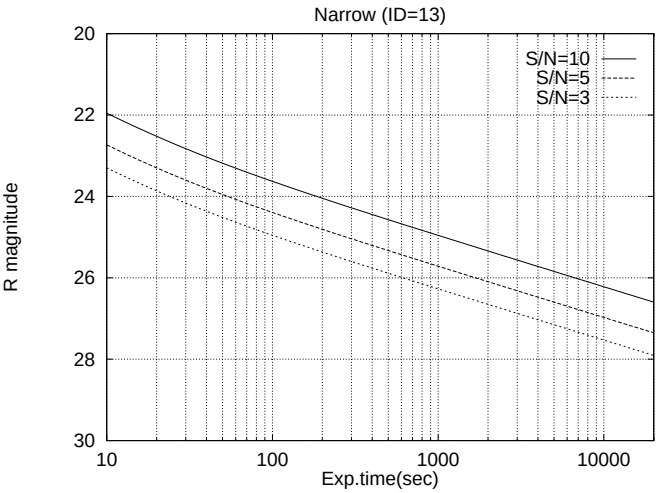

R band
R magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000

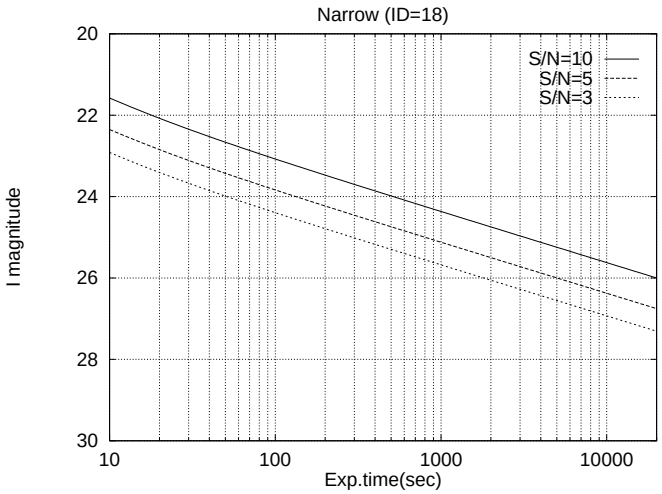

I band
I magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000

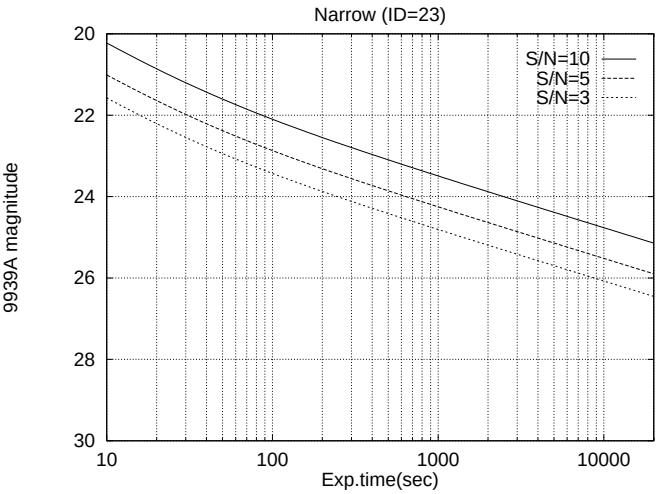

Narrow (ID=1)
U magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000


Narrow (ID=4)
B magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000


Narrow (ID=9)
V magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000


Narrow (ID=13)
R magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000


Narrow (ID=18)
I magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000


Narrow (ID=23)
9939A magnitude
Exp.time(sec)
S/N=10
S/N=5
S/N=3
20
22
24
26
28
30
10
100
1000
10000