

MALLS および NIC の Exposure Time Calculator (ETC) の作成

戸塚都¹

1) 兵庫県立大学西はりま天文台

Exposure Time Calculator (ETC) for MALLS and NIC.

Miyako TOZUKA¹

1) *Nishi-Harima Astronomical Observatory, Center for Astronomy, University of Hyogo*

E-mail: tozuka@nhao.go.jp

(Received 2018 October 30; Accepted 2018 December 13)

概要

西はりま天文台 2m なゆた望遠鏡搭載の可視光中低分散分光器 (Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph; MALLS) および、3 波長同時観測近赤外カメラ (Nishi-harima Infrared Camera; NIC) について、Exposure Time Calculator(ETC) を作成した。

現段階の ETC では、V 等級と積分時間から想定される S/N 値、V 等級と S/N 値から要求される積分時間が計算される。MALLS では積分時間に加え、フラットやコンパリソン、天体同定の観測に必要な全行程を含む観測時間も算出できるようにした。NIC では読み出しモードの違いによる S/N 値、積分時間が算出できるようにした。

Abstract

We constructed the Exposure Time Calculator (ETC) for the Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph (MALLS) and the Nishi-harima Infrared Camera (NIC) on board the 2 m Nayuta telescope at the Nishi-Harima Astronomical Observatory.

This ETC has been enabled to calculate a probable signal-to-noise ratio based on a V magnitude and an exposure time. It can also calculate a required exposure time based on a V magnitude and a signal-to-noise ratio. At MALLS ETC, we can get more information of the total observation time including time getting flat and comparison data and time finding and pointing target. At NIC ETC, we can compare the difference between 2 read out mode.

Key words: Exposure Time Calculator (ETC)– Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph (MALLS) – Nishi-harima Infrared Camera (NIC)

1. はじめに

西はりま天文台では 2m なゆた望遠鏡を共同利用として定期的に観測提案を受け付けている。また、2018 年後期より「継続観測」枠として、1 日の観測時間が 1 時間以下とする長期観測の観測提案も受け付け始めた。これに伴い観測提案、観測計画の作成の助けのために天体の積分時間と S/N を計算する Exposure time calculator (ETC) を作成した。

2. Exposure Time Calculator (ETC) の導出

2-1. MALLS ETC の算出

MALLS の ETC を求めるためにまず、2018 年 1 月 20 日 (外気温 摂氏 4.4) に観測された B1 型星 HD 289002 のデータを用いた (表 1)。観測は Grating を 300 l/mm、1800 l/mm の 2 種類に対して全波長でのスペクトルを得られるように分割して観測した (表 2)。

Table 1. Basic properties of HD 289002.

Position		Object type	Spectral type	V mag
RA J_{2000}	DEC J_{2000}			
06h45m13.373s	+02°08'14.69s	Star	B1	10.44

Table 2. Observation data of ND 289002

Observation date (YYYYMMDD)	Grating (l/mm)	exposure time (sec)	λ_c (\AA)	slit width (sec)	slit filter	order cut filter
20180120	300	120	5500	0.8	Clear	WG320
20180120	300	120	7500	0.8	Clear	GG495
20180120	1800	1200	4800	0.8	Clear	WG320
20180119	1800	1200	6563	0.8	Clear	GG495

この観測でのスペクトルを図 1、2 に示す。このスペクトルより、各波長でのカウント値 (ADU) をもとに S/N 値を求めた。

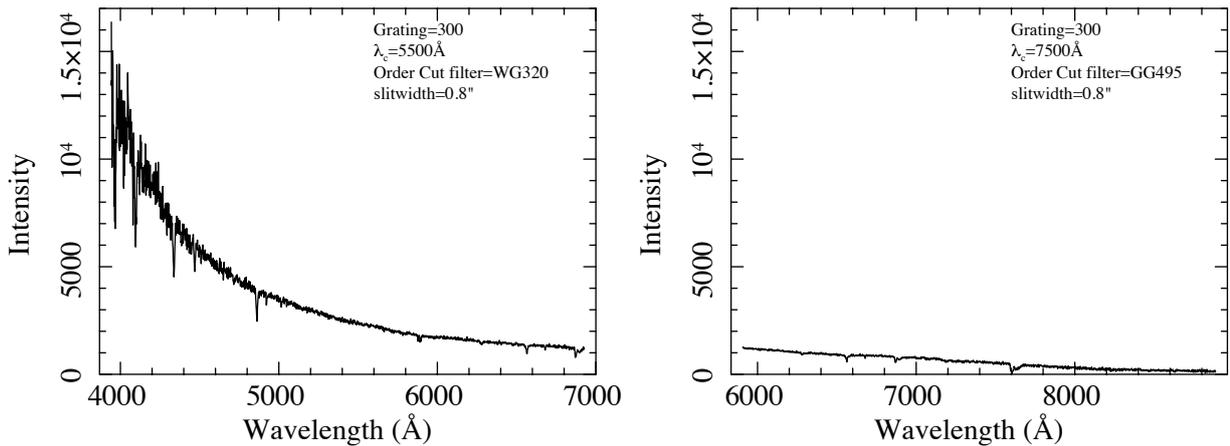


Fig. 1. Spectra of HD 289002 with grating 300 l/mm. (Left) λ_c 5500 \AA . (Right) λ_c 7500 \AA .

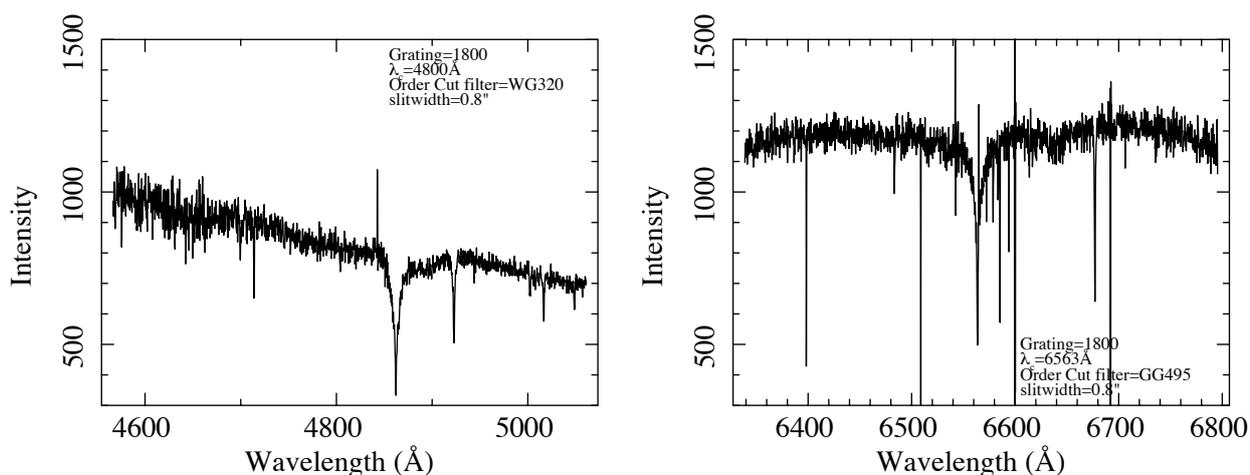


Fig. 2. Spectra of HD 289002 with grating 1800 l/mm. (Left) λ_c 4800Å. (Light) λ_c 6563Å.

さらに、積分時間とカウント数が比例関係、等級とカウント数がポグソンの関係に従うものとして、S/N 値を観測時間 t (sec) と天体等級 M (mag) の関数として算出できるようにした。一例として、Grating 1800 l/mm で 7500Å での S/N 値は以下のようにかける。

$$S/N = \sqrt{\frac{1.58 \cdot t}{10^{(M-10.44)/2.5}}} \quad (1)$$

今回作成した ETC では、Grating 300 l/mm、1800 l/mm それぞれに対して、7500Å、6500Å、5500Å、4500Å での S/N 値を求めた。この時、MALLS の基本性能に示してあるゲイン値 2.2 e/ADU の値を引用している。

2-2. NIC ETC の算出

今回の NIC の ETC の算出については、10 回ディザリングで 8 回平均サンプリングモードでの観測データを用いた。この結果と Takahashi et al. (2013) をもとに、10 回ディザリングの観測について、8 回平均サンプリングモード及び 1 回平均サンプリングモードについて ETC を算出した。

解析は、2017 年 4 月 9 日に観測された CygX-3 の観測データを用いた。このデータは 30sec×10 回のディザリング観測を 8 回平均サンプリングモードで読出したデータである。視野中心の Cyg X-3 の天体情報は表 3 に示す通りである。また、観測によって得られた画像を図 3 に示す。

Table 3. Basic properties of Cyg X-3.

Position		Object type	Spectral type	J	H	K _s
RA J_{2000}	DEC J_{2000}			mag	mag	mag
20h32m25.780s	+40°57'27.90s	high Mass X-ray Binary	WN4/5-6/7	15.309	13.192	11.921

観測データの測光には IRAF の apphot.phot タスクを用いて測光した。視野内の 2MASS(Skrutskie et al. 2006) 点源との相対測光により等級を求めた。星像の FWHM(full-width at half-maximum) は 0.8" (5pix) で、測光は半径 2.5 FWHM の領域で行なった。

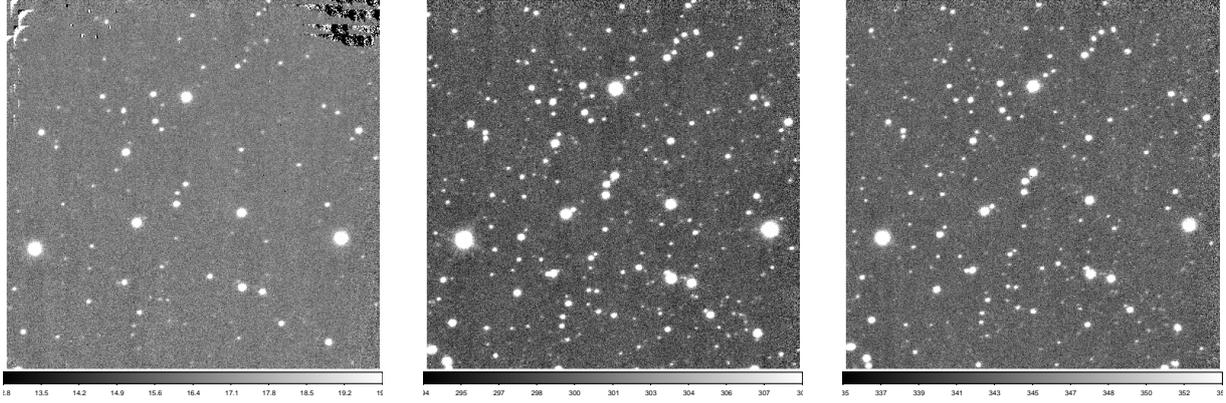


Fig. 3. Processed Image. (Left) J band image. (middle) H band image. (Right) K band image.

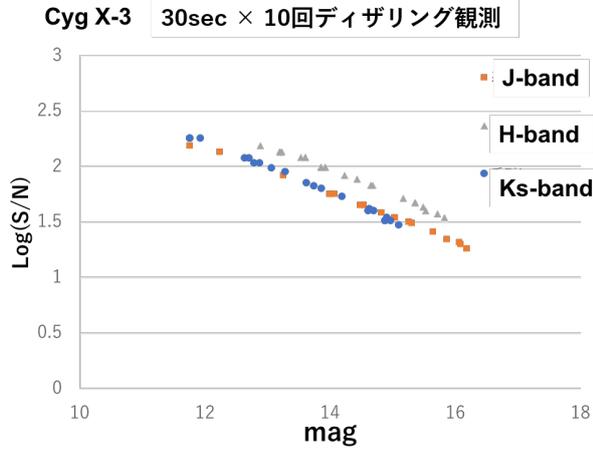


Fig. 4. Magnitudes vs. S/N diagram.

S/N は $S/N = 1.086/\sigma_m$ (σ_m : 測光等級誤差) を基に求めた。これにより得られた S/N 値と等級 M(mag) との関係は図 4 に示す。それぞれの S/N 値と等級 M(mag) の関係式は以下のように求められた。

J-band

$$S/N = 5.10 \cdot 10^4 \cdot e^{-0.486M} \quad (2)$$

H-band

$$S/N = 1.22 \cdot 10^5 \cdot e^{-0.513M} \quad (3)$$

K-band

$$S/N = 8.80 \cdot 10^4 \cdot e^{-0.486M} \quad (4)$$

30sec×10 回の ディザリング観測積分での S/N 値の関係式が (2)、(3)、(4) のように示せることから、積分時間 t(sec)×10 回 ディザリングと等級 M(mag) の関数として S/N 値は以下のように求められる事になる。

J-band

$$S/N = 5.10 \cdot \sqrt{\frac{t}{30}} \cdot 10^4 \cdot e^{-0.486M} \quad (5)$$

H-band

$$S/N = 1.22 \cdot \sqrt{\frac{t}{30}} \cdot 10^5 \cdot e^{-0.513M} \quad (6)$$

K-band

$$S/N = 8.80 \cdot \sqrt{\frac{t}{30}} \cdot 10^4 \cdot e^{-0.486M} \quad (7)$$

Takahashi et al. (2013) での測光条件とは異なるのは、シーイングの違いと視野内での星の混み具合の違いによるものであるが、限界等級についてはほぼ一致する値を得られた。120sec×10回 デザリング観測で限界等級 S/N=10 となるは表 4 の通りである。

Table 4. The limiting magnitudes of each band

band	J	H	K
magnitude [mag]	18.90	19.69	18.65

また、Takahashi et al. (2013) より、120sec×10回 デザリングの場合、1回平均サンプリングモードでの限界等級は、8回平均サンプリングモードより Jバンドでは 0.5 mag、Hバンドで 0.3 mag、K_sバンドで 0.2 mag 浅くなることが報告されている。よって 1回平均サンプリングモードでの S/N 値のは以下のように示せる。

J-band

$$S/N = 4.00 \cdot \sqrt{\frac{t}{30}} \cdot 10^4 \cdot e^{-0.486M} \quad (8)$$

H-band

$$S/N = 1.04 \cdot \sqrt{\frac{t}{30}} \cdot 10^5 \cdot e^{-0.513M} \quad (9)$$

K-band

$$S/N = 8.35 \cdot \sqrt{\frac{t}{30}} \cdot 10^4 \cdot e^{-0.486M} \quad (10)$$

3. ETC の web ブラウザ上での表示と Total observation time の算出

前節で求められた ETC を基に web ブラウザベースで簡単に計算できる仕組みを作った。MALLS および NIC のどちらでも、観測ターゲットの等級と積分時間を入力することで、S/N 予想値が求められるだけでなく、等級と要求される S/N 値を入力することで、必要とされる積分時間も求められるように作成した。

3-1. MALLS

MALLS ETC では、図 5 に示すように S/N の値と積分時間だけでなく、観測時間も表示するようにした。観測時間は、積分時間とフラット、コンパリの取得時間と全ての読み出し時間、ターゲットの導入の時間の総和として求めた。また、積分時間が長時間になる場合は、ダークカレントが高くなるように、適当な積分時間に区切り複数枚観測することを想定し観測時間を計算した。表 5 に示すように、V 等級と観測時間もしくは V 等級と S/N 値を入力すると、S/N 値もしくは積分時間が表示される。その下に観測時間とその内訳が表示される。さらにその下に、参考として観測で使用が予想されるコマンドリストが表示される。

Malls Exposure Time Calculator

These calculation are based on the following conditions.

==Star spectral type B1==

seeing size = 1.5 arcsec
slit width = 0.8 sec
slit filter = Clear
recommended order cut filter -See [this page](#)

Calculate S/N ratio

Grating

Center Wavelength

V mag

Exposure time sec

SN ~ 7.4

Total observation time required: 2416sec

= Exposure: (1000sec + readouts 30sec) x 2
+ Flat: (5 sec + readouts 30sec) x 5
+ Comparison: (0.5 sec + readouts 30sec) x 2
+ finding and pointing source: 120sec

1000sec x 2 exposure are recommended for low Dark current.

e.g. Comannd line set for this observation
 mls -e 5 Flat 5
 mls -e 0.5 comparison 1
 mls -e 1000 (source_name) 2
 mls -e 0.5 comparison 1

Calculate Exposure time

Grating

Center Wavelength

V mag

S/N ratio

Exposure time ~ 3652.46 seconds

Total observation time required: 4346sec

= Exposure: (1300sec + readouts 30sec) x 3
+ Flat: (5 sec + readouts 30sec) x 5
+ Comparison: (0.5 sec + readouts 30sec) x 2
+ finding and pointing source: 120sec

1300sec x 3 exposure are recommended for low Dark current.

e.g. Comannd line set for this observation
 mls -e 5 Flat 5
 mls -e 0.5 comparison 1
 mls -e 1300 (source_name) 3
 mls -e 0.5 comparison 1

Fig. 5. Usage example of MALLS ETC.

3-2. NIC

NIC では図 6 に示すように、J、H、K 等級と観測時間もしくは J、H、K 等級と S/N 値から、S/N 値もしくは積分時間が表示される。S/N 値、積分時間どちらも、1 回平均サンプリングモードおよび 8 回平均サンプリングモードの 2 通りでの観測時間の計算結果を示している。また、読み出しモードの違いにより最低露出時間が異なることも反映した。

NIC Exposure Time Calculator

SN and Exposure time in this ETC are calculated with 10 times dithering at 2 way of readout mode.
 -- See [this page](#) about readout mode.

Calculate S/N ratio

Band J 17 mag

Exposure time 120 sec x 10 dither

@ 1 readout mode
S/N ~ 20.67

Total observation time: 1348sec
 =(Exposure time 120sec + readouts 13sec + pointing 2sec) x 10

@ 8 readout mode
S/N ~ 26.35

Total observation time: 1518 sec
 =(Exposure time 120sec + readouts 30sec + pointing 2sec) x 10

Calculate Exposure time

Band H 17 mag

S/N ratio 10

@ 1 readout mode
Exposure time ~ 10.37sec x 10 dither

Total observation time: 252sec
 =(Exposure time 10.37sec + readouts 13sec + pointing 2sec) x 10

@ 8 readout mode
Exposure time ~ 7.62sec x 10 dither

==Error==
Exposure time need more than 16sec for observation.

last update : 20 July 2018

Fig. 6. Usage example of NIC ETC.

4. 今後の予定

MALLS ETC については、今回見積りに使用した B1 型星スペクトルを基に他の型の星でも見積りが行えるようにする予定である。また、入力する星の等級も V 等級だけではなく、BVIR 等級に対応できるようにしたい。

<< 参考文献 >>

- Takahashi J., Zenno T., & Ishiguro M. 2013, Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs., 1, 17
- Skrutskie, M. F., et al. 2006, AJ, 131, 1163