

## 西はりま天文台近赤外線カメラ NIC 限界等級の再測定

高橋 隼<sup>1</sup>、禪野 孝広、石黒 正晃<sup>2</sup>

1) 兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 天文科学センター 2) ソウル大学

## Re-measured Limiting Magnitudes of the NIC

Jun TAKAHASHI<sup>1</sup>, Takahiro ZENNO, Masateru ISHIGURO<sup>2</sup>

1) Center for Astronomy, University of Hyogo, Sayo-cho, Hyogo 679-5313, Japan

2) Seoul National University, San56-1, Shillim-dong Gwanak-gu, Seoul 151-742, South Korea

E-mail: takahashi@nhao.jp

(Received 2013 December 30)

### 概要

我々は、西はりま天文台 3 波長同時観測近赤外線カメラ (NIC) に、多回数サンプリングモードを導入し、限界等級を再測定した。1200 秒積分、8 回平均サンプリングモードでの限界等級 ( $S/N = 10$ ) は、 $J = 18.9$  [mag],  $H = 19.0$  [mag],  $Ks = 18.0$  [mag] であった。

### Abstract

We re-measured limiting magnitudes of the Nishiharima Infrared Camera (NIC), after implementation of Fowler sampling modes. The limiting magnitudes ( $S/N = 10$ ) of  $J = 18.9$  [mag],  $H = 19.0$  [mag] and  $Ks = 18.0$  [mag] were derived from images obtained with a 1200 s integration and eight-time Fowler samplings.

**Key words:** science instrument – near-infrared – performance – photometry

### 1. はじめに

西はりま天文台 3 波長同時観測近赤外線カメラ (Nishiharima Infrared Camera: NIC) は、なゆた望遠鏡カセグレン焦点に取り付けられている観測装置である。近赤外  $J$ ,  $H$ ,  $Ks$  バンドの画像を同時に取得できる特徴がある。NIC の主な仕様・性能は、Ishiguro et al. (2011) にまとめられている。我々は多回数サンプリング (Fowler sampling, Fowler & Gatley, 1990) モード導入に向けた開発試験を続けてきた。これは検出器に対して非破壊読み出しを複数回行い、その平均値を取ることで、読み出しノイズを低減するものである。サンプリング回数  $k$  の場合、検出器リセットの後、 $k$  回の読み出しを行い、設定露出時間の経過後に、さらに  $k$  回の読み出しを行う<sup>1</sup>。露出前後の  $k$  セットの差分をとり、それらの平均値をカウントとして出力する。2013 年に 4 回平均 ( $\times 4$  sampling) および 8 回平均サンプリング ( $\times 8$  sampling) モードを実用化することができたので、改めて限界等級の測定を行った。

<sup>1</sup> 1 回の読み出しに 2 秒かかるため、サンプリング回数  $k$  の場合の最低露出時間は  $2k$  秒である。

## 2. 観測、測光

測定に用いたのは、2013年3月5日（外気温 5.8°C）に観測した散開星団 NGC 2420 の画像である。8回平均サンプリングモード、1回サンプリング（×1 sampling）モード<sup>2</sup>に対して、それぞれ1ショット120秒露出の10点ディザリング観測（半径:10''）を行った。Ishiguro et al. (2011)と同様に、ダーク差し引き、フラット補正、バッドピクセル・ホットピクセル・ダークピクセル除去、セルフスカイ差し引き、縦パターン除去、足し合わせの画像処理を行った。Fig. 1は測光に用いた画像である（*J*バンド）。星像の FWHM (full-width at half-maximum) は、約 1.1'' (7 pixels)であった。測光半径 1.5 FWHM として、IRAF の apphot.phot タスクを用いて測光を行った。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。

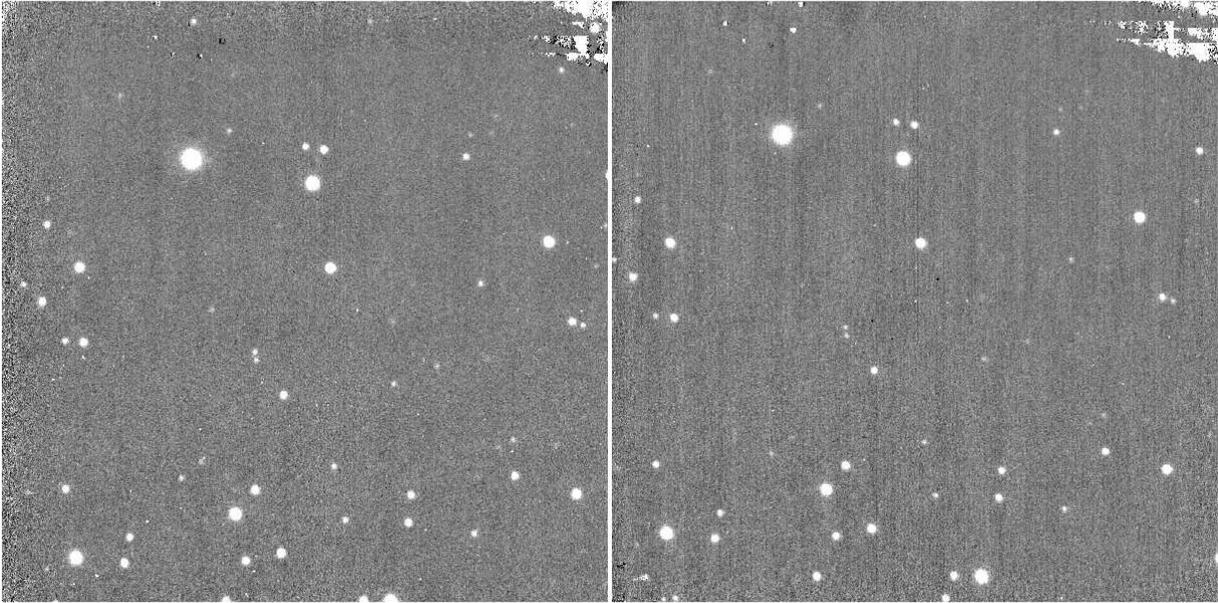


Fig. 1. Processed *J* images for photometry. (Left) ×8 sampling mode. (Right) ×1 sampling mode.

<sup>2</sup> ここで言う「1回サンプリング」とは、「1回の correlated double sampling」という意味であり、実際には露出前後に1回ずつ、計2回の読み出しを行っている。

### 3. 限界等級

Figs. 2-4 は、得られた  $S/N$  (signal-to-noise ratio) を等級に対してプロットしたものである。ここで、 $S/N$  は  $S/N = 1.086/\sigma_m$  ( $\sigma_m$ : 測光等級誤差) から得た。 $\sigma_m$  は IRAF の apphot.phot タスクで求めたものである (MERR)。(縦軸を対数スケールとした) 図上でプロットを直線フィットし、フィット関数で  $S/N = 10$  となる等級を限界等級とした。Table 1 に結果をまとめる。

1 回サンプリングに比べて 8 回平均サンプリングの限界等級は、 $J$  バンドで 0.5 mag、 $H$  バンドで 0.3 mag 深くなっている。一方、 $K_s$  バンドではほとんど変化していない。この結果について、限界等級を制約するノイズを分析して説明を試みる。Table 2 は、スカイノイズと読み出しノイズを算出し、それらによる総ノイズの変化に基づいて、1 回サンプリングと 8 回平均サンプリングでの限界等級の差を見積もったものである。 $J, H$  バンドでは、ほぼ見積り通りに 8 回平均サンプリングでの限界等級が深くなっていることがわかる。 $K_s$  では、ノイズからの見積りでは 0.2 mag ほど深くなるという結果が得られ、実測値と食い違う。この原因は不明であるが、読み出しノイズの不定性 (読み出しごとのランダムな変化や Ishiguro et al. 2011 での測定時点からの経年的変化) が影響している可能性がある。

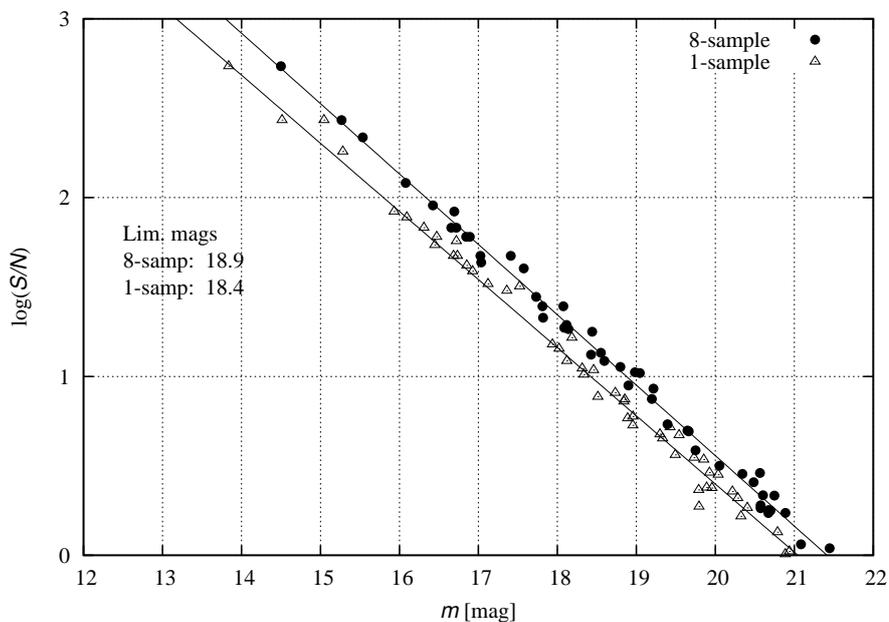


Fig. 2. Magnitudes vs.  $S/N$  diagram for  $J$  band.

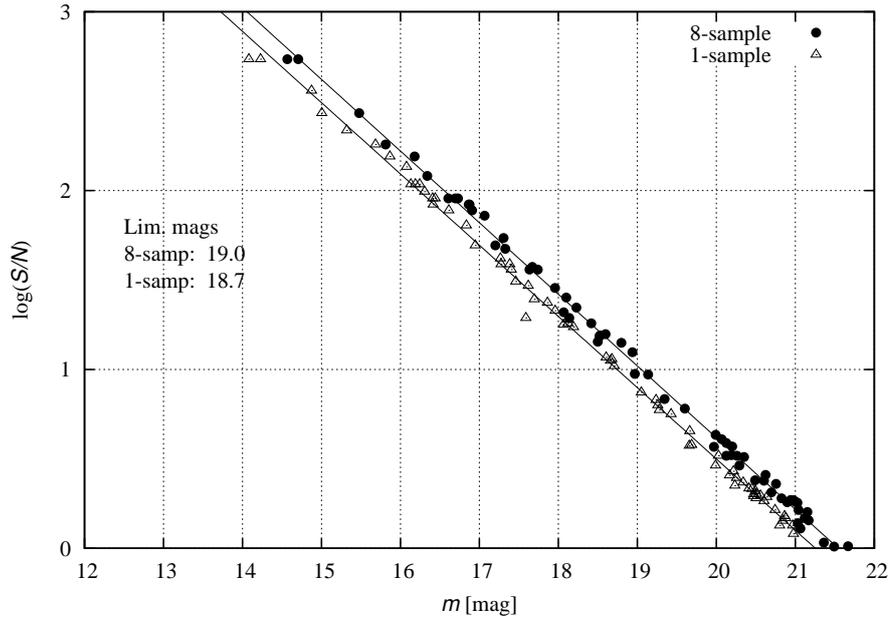


Fig. 3. Magnitudes vs.  $S/N$  diagram for  $H$  band.

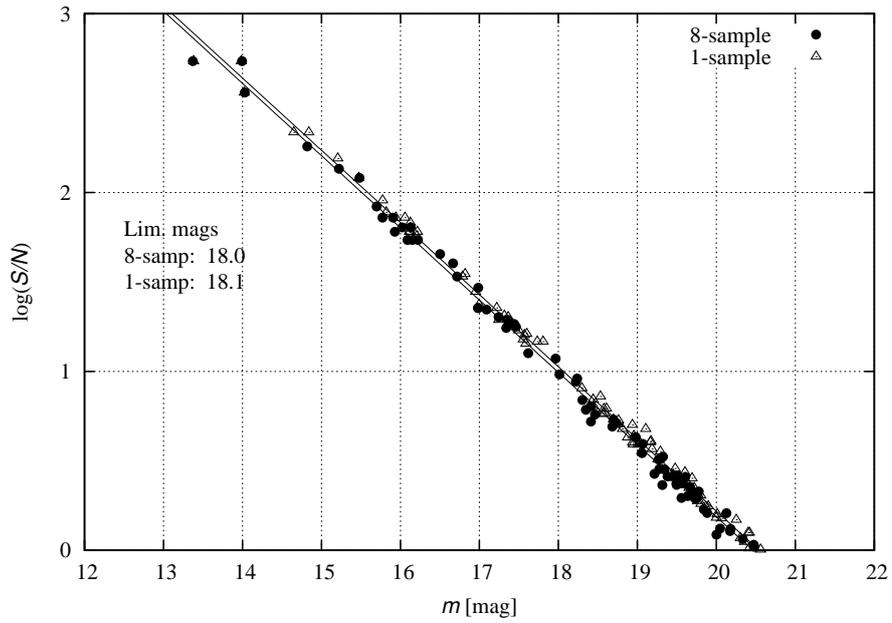


Fig. 4. Magnitudes vs.  $S/N$  diagram for  $K_s$  band.

Table 1. Limiting magnitudes.

Sampling	$J$ [mag]	$H$ [mag]	$Ks$ [mag]
$\times 1$	18.4	18.7	18.1
$\times 8$	18.9	19.0	18.0

Table 2. Estimates of differences in limiting magnitudes

Band	Sampling	Sky[ADU]	$N_{sky}[e^-]$	$N_{read}[e^-]$	$N_{total}[e^-]$	$R_{8/1}$	Est. $\Delta m$
$J$	$\times 1$	205	137	158	209	-	-
	$\times 8$	210	139	35	143	0.68	0.41
$H$	$\times 1$	2330	478	237	533	-	-
	$\times 8$	2085	452	35	453	0.85	0.18
$Ks$	$\times 1$	1430	367	262	451	-	-
	$\times 8$	1430	367	32	368	0.82	0.22

$N_{sky}$ ,  $N_{read}$ , and  $N_{total}$  stand for sky background noise, effective readout noise, and total noise, respectively. Sky counts in ADU are converted to electron unit using an effective conversion factor (C.F), which is calculated as  $n \times (\text{single C.F})$ , where  $n$  represents the dithered (i.e., combined) number ( $n = 10$  for our data). Then,  $N_{sky}[e^-] = \sqrt{\text{Sky}[e^-]}$  is used. Effective readout noise is obtained by  $N_{read} = \sqrt{n} \times (\text{single readout noise})$ , where values of single readout noise were derived by Ishiguro et al. (2011) (see Table 3 in this paper).  $N_{total}^2 = N_{sky}^2 + N_{read}^2$  is assumed.  $R_{8/1}$  is the ratio of  $N_{total}$  for  $\times 8$  sampling to that for  $\times 1$  sampling.  $\Delta m$ , which is defined as  $(\text{Lim. mag. for } \times 8 \text{ samp.}) - (\text{Lim. mag. for } \times 1 \text{ samp.})$ , is estimated by  $-2.5 \times \log R_{8/1}$ .

#### 4. まとめ

8回平均サンプリングモードの導入後、同モードでの限界等級を求めた。 $S/N = 10$ となる限界等級は、 $J = 18.9$  [mag],  $H = 19.0$  [mag],  $K_s = 18.0$  [mag] と求まった。表3は、更新されたNIC性能一覧である。

Table 3. Performance of NIC in 2013

	Unit	$J$	$H$	$K_s$	Remarks
Wavelength center	$\mu\text{m}$	<b>1.25</b>	<b>1.63</b>	<b>2.15</b>	
Wavelength width	$\mu\text{m}$	<b>0.16</b>	<b>0.30</b>	<b>0.31</b>	
Conversion factor	$e^-/\text{ADU}$	$9.2 \pm 0.2$	$9.8 \pm 0.2$	$9.4 \pm 0.2$	
Readout noise	$e^-$	$50 \pm 4$	$75 \pm 4$	$83 \pm 5$	$\times 1$ sampling mode
		<b><math>\sim 17</math></b>	<b><math>\sim 23</math></b>	<b><math>\sim 27</math></b>	$\times 4$ sampling mode
		<b><math>\sim 11</math></b>	<b><math>\sim 11</math></b>	<b><math>\sim 10</math></b>	$\times 8$ sampling mode
Linearity limit	ADU	$\sim 8,000$	$\sim 8,000$	$\sim 8,000$	Incl. counts before the first read.
Field of view	arcmin <sup>2</sup>	$2.73 \times 2.73$	$2.73 \times 2.73$	$2.73 \times 2.73$	
Pixel scale	arcsec/pix	0.16	0.16	0.16	
Limiting magnitude	mag	<b>18.9</b>	<b>19.0</b>	<b>18.0</b>	$S/N = 10$ , $120 \text{ s} \times 10$ dither $\times 8$ sampling mode
Photometry precision	mag	0.014	0.005	0.011	$10 \text{ s} \times 10$ dither $\times 26$ set
					$\times 1$ sampling mode
					Ref: $J=10.8$ , $H=10.2$ , $K_s=9.9$ Object: $J=11.2$ , $H=10.7$ , $K_s=10.6$

Bold texts are information added or renewed since Ishiguro et al. (2011).

This publication makes use of data products from the Two Micron All Sky Survey, which is a joint project of the University of Massachusetts and the Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology, funded by the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation.

#### 参考文献

Fowler, A. M., & Gatley, I. 1990, ApJL, 353, L33

Ishiguro M., Takahashi J., Zenno T., Tokimasa N., & Kuroda T. 2011, Annu. Rep. Nishi-Harima Astron. Obs., 21, 13

Skrutskie, M. F., et al. 2006, AJ, 131, 1163