HBS用CCDカメラ CRYOCAM-2の性能テスト (1)

東北大学大学院理学研究科 天文学専攻
博士課程後期 1 年
秋田谷 洋

1999 年 5 月 4 日

1 はじめに

1998 年 12 月 17 日から 21 日にかけて、HBS 用 CCD カメラ CRYOCAM–2 (SITe SI502A 512×512 pixels) の第一次性能テストを行った (SI502A の仕様は表 1 の通り)。以下に、その結果を報告する。

2 テストの諸情報

2.1 使用ソフト

- Cryocam Ver1.33
- IMAGE DISPLAY Ver.1.32

2.2 主なテスト項目

- 基本動作確認 (シャッター開閉、冷却温度)
- おもなソフト上の gain 設定における gain、conversion factor の測定
- readout noise の測定
- bias 画像
- 熱雑音の測定

Format	512 × 512 pixels
Pixel Size	24μm × 24μm
Imaging Area	12.3 mm × 12.3 mm
Dark current(MPP), 20°C	50 pa/cm^2 (Max. 70 pa/cm^2)
Readout Noise $7e^-$(Max. $9e^-$)	
Full Well signal	350,000 e^- (Min. 300,000 e^-)
CTE per pixel	0.99999 (Min. 0.99995)

表 1: SITe SI-502A の仕様

3　基本動作確認

眼視により、シャッターの開閉が正常に行われていることを確認した。

CCD 冷却は、室温 17°C において、−70°C で安定した (この気温での最大冷却達成温度は −72°C)。TEC は、短時間 (数時間) では比較的安定しているが、長期間 (数日) で 30 ± 5°C 程度での変動が見られた。

bias 画像 1 枚の取得に要する時間は表 2 の通りである。今回の実験では、すべて ADC Speed : Low で行った。

ADC speed	Time (sec.)
Low	12
Medium	9
High	6

表 2: ADC speed による画像取得に要する時間

4　offset–bias 関係

以後のテストの便宜のため、幾つかの gain 設定について、CCD offset 値と bias 画像内平均 count の関係を導出した。(図 1)

図 1: offset 値と bias 平均 count 値の関係。bias の平均値は画像内の全 pixel の平均値を用いた

5　主な gain 設定での gain、conversion factor

おもな CCD gain 設定について、gain g'[ADU/e$^-$] および conversion factor g [e^-/ADU] を導出した。

5.1　gain 4×4、1× 8、8× 1、8× 8

4×4、1×8、8×1、8×8 の場合については、いわゆる count–σ 関係を用いて、gain および conversion factor を導出した。

チップ全体に ∼2000 ADU から ∼40000 ADU にかけてのカウントをもつピクセルがまんべんなく現れるような halogen lamp 光を照射した画像を複数枚取得し、bias 差引後、それぞれの pixel において画像間平均 count S[ADU] と、その pixel での count の画像間の分散 $\sigma^2_{S_{\rm ADU}}$[ADU^2] を求める。

gain を g'[ADU/e$^-$]、bias 画像から求めた ADU 単位での readout noise (6 節参照) を $\sigma_{1(\rm ADU)}$ [ADU] とし、画像内の複数 pixel の S、$\sigma^2_{S(\rm ADU)}$ に対して、関係式、

$$\sigma^2_{S(\rm ADU)} = g' S_{\rm ADU} + \sigma^2_{1(\rm ADU)} \tag{1}$$

を fitting し、gain g'[ADU/e$^-$] を求める (図 2、3、4、5)。このとき、conversion factor g [e^-/ADU] は、

$$g = 1/g'$$

となる。

fitting には、x:6–510,y:101–400 の計 151500 pixels を用いた。この pixel 範囲で、gain、readout noise 等の CCD の特性が一様であると仮定する。さて、光源の光量に時間によるふらつきがあると、式 1 に 2 次の項が現れ、大きな S のときに無視できなくなる (図 2)。また、大きな S では pixel の linearity が悪くなり、式 1 が成り立たなくなる可能性がある (図 3、4)。そのため、fitting では、S が 0–10000 [ADU] の pixel のみをもちいた。

結果は、表 3 である。

gain 設定	gain g' [ADU/e^-]	conversion factor g [e^-/ADU]
4×4	1.54± 0.01	0.648±0.002
1×8	0.592± 0.002	1.69±0.01
8×1	0.599± 0.003	1.67±0.01
8×8	4.78 ± 0.06	0.209±0.003

表 3: 各 gain 設定の gain g' および conversion factor $g(= 1/g')$

5.2　そのほかの gain 設定

5.1 節において gain 8×8 の count–σ 関係を導出した時と、CCD への照射の状況 (光源の明るさ、光源と CCD の位置関係、積分時間) は全く変えず、gain 設定 (と offset 値) を様々に変えて画像を取得した。ここで、gain 8×8 での gain を $g'_{88} = 4.78 \pm 0.06$[ADU/e^-]、新たに設定した gain 設定での gain を g'_a[ADU/e^-]

図 2: count–σ 関係 (gain 4×4)。fitting には $S = 0 \sim 10000$[ADU] の点のみ用いた。S が大きくなると、σ_S^2 が一次関数からずれるのは、光源のふらつきのためか。

図 3: count–σ 関係 (gain 1×8)。$S > 30000$[ADU] での一次関数からのずれは、linearity が悪くなっているためか。

図 4: count–σ 関係 (gain 8×1)。$S > 30000$[ADU] での一次関数からのずれは、linearity が悪くなっているためか。

図 5: count–σ 関係 (gain 8×8)。S が大きい領域でも一次関数上でよく fit できている。

とする。このとき、gain 8×8 および新たに設定した gain 設定それぞれの場合での bias 差引後の各 pixel の count 値を S_{88}、S_a とすると、

$$g'_a = g'_{88} \times \frac{S_a}{S_{88}} \tag{2}$$

の関係が成り立つ。これを用いて、g'_a を求める。導出に際しては、x:6–510、y:101–400 の 151500 pixel における g'_a を平均した。結果は、表 4 である。

gain 設定	gain g'[ADU/e^-]	conversion factor [e^-/ADU]
1×1	0.0748 ± 0.0021	13.4 ± 0.4
1×2	0.150 ± 0.004	6.68 ± 0.20
1×4	0.299 ± 0.008	3.35 ± 0.09
1×8	0.599 ± 0.015	1.67 ± 0.04
2×1	0.150 ± 0.004	6.66 ± 0.16
2×2	0.300 ± 0.007	3.33 ± 0.08
2×4	0.599 ± 0.014	1.67 ± 0.04
2×8	1.20 ± 0.03	0.833 ± 0.019
4×1	0.299 ± 0.007	3.34 ± 0.08
4×2	0.598 ± 0.014	1.67 ± 0.04
4×4	1.20 ± 0.03	0.837 ± 0.019
4×8	2.39 ± 0.05	0.419 ± 0.009
8×1	0.598 ± 0.013	1.67 ± 0.04
8×2	1.20 ± 0.03	0.835 ± 0.019
8×4	2.39 ± 0.05	0.418 ± 0.010

表 4: ADU カウント比から求めた gain g' 及び conversion factor g

6 readout noise

21 枚の bias 画像を取得し、各 pixel における ADU 値の画像間の標準偏差 $\sigma_{1(\mathrm{ADU})}$ を求め、さらに x:6-510,y:101-400 の計 151500 pixels について $\sigma_{1(\mathrm{ADU})}$ の平均をとった。さらに、これらに表 3 の gain g' を適用し、

$$\sigma_{1e^-} = \sigma_{1(\mathrm{ADU})}/g'$$

より、電子数単位の readout noise $\sigma_{1(e^-)}$ [e^-] を求めた。これが表 5 である。
gain1×8 のとき、readout noise がやや高いが、原因は不明。その他の設定では、readout noise が約 $6e^-$ となっている。(cf. cryocam1 では $7.6e^-$)

7 bias 画像と安定性

gain8×1 での count–σ テストで取得した bias 画像を全て平均し、x 方向、y 方向のカウントの分布を図 6、7 に示した ($g \sim 0.6$[ADU/e^-])。y 方向に若干カウント値の変化があるが、ほぼ一様なカウント分布を持っている。

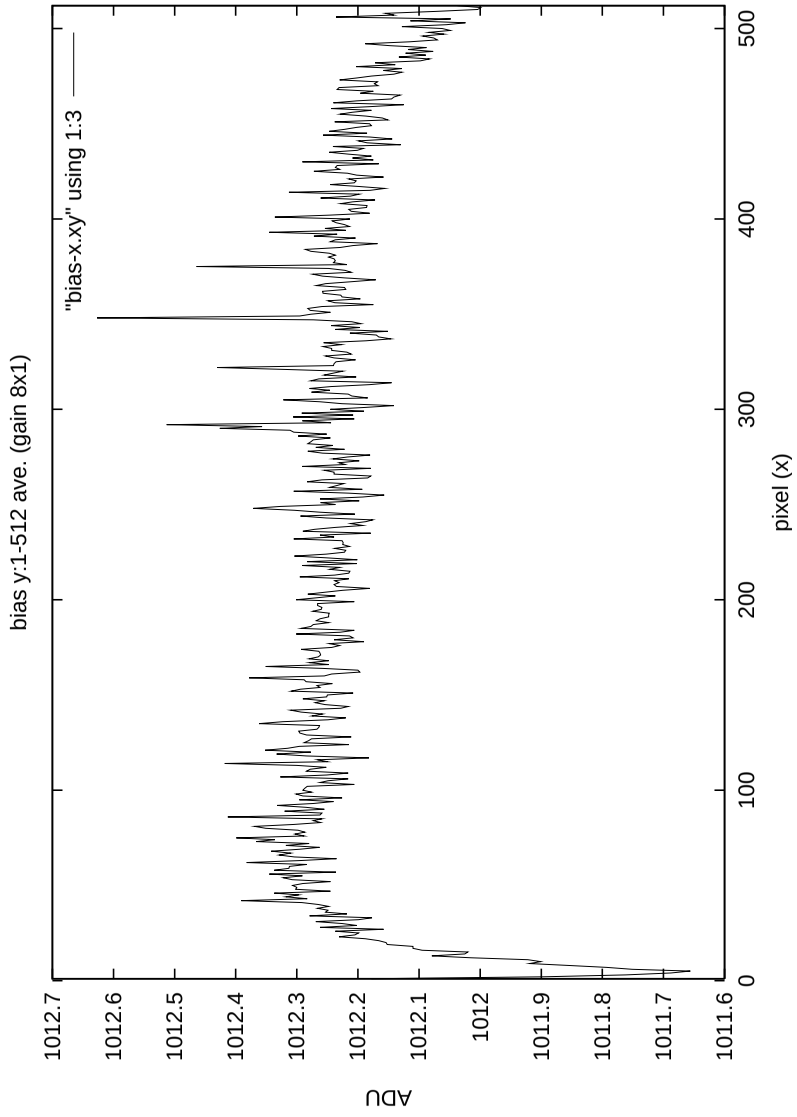

図 6: x 方向の断面図 (y 方向で平均)。

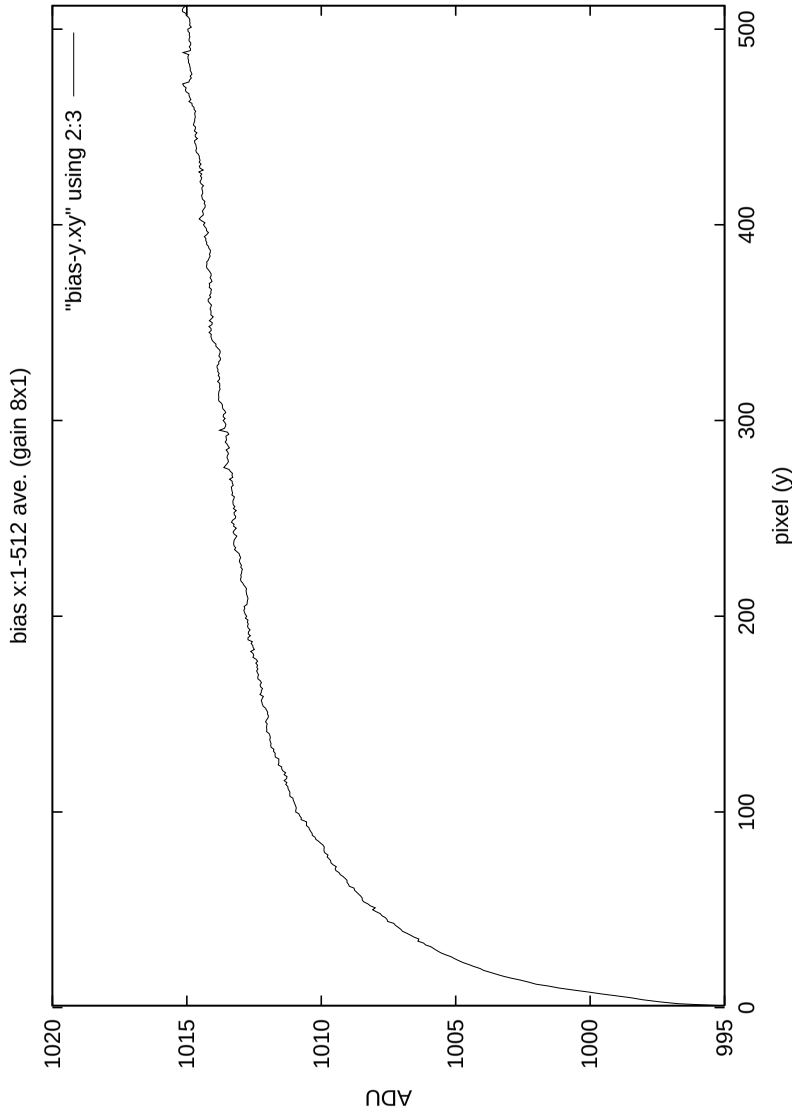

図 7: y 方向の断面図 (x 方向で平均)。

gain 設定	$\sigma_{1(\mathrm{ADU})}$ [ADU](151500 pixels 平均)	$\sigma_{1(\mathrm{ADU})}$ の pixel 間標準偏差 [ADU]	$\sigma_{1(e^-)}$ $[e^-]$
4×4	8.74	7.59	5.66
1×8	11.4	2.3	19.6
8×1	3.63	2.00	6.05
8×8	26.7	16.4	5.59

表 5: bias 画像から求めた readout noise

12/20 6:00 から 12/21 の 16:20 にかけて計 10 枚の bias 画像を取得した。CCD 温度は −70°C、TEC 温度はほぼ 30°C で安定。gain 設定は 1×8。

10 枚の画像間での bias の全ピクセル平均値の変動は、peak–to–peak で 6.1 [ADU] (10.2 $[e^-]$) であった。

8 熱雑音とその安定性

500sec 積分の dark 画像と 1000sec 積分の dark 画像を取得した (CCD 温度 −70°C、TEC 温度 30°C)。これらから bias を差し引いた画像における pixel 間平均カウント、60ADU($100e^-$) 以下の pixel の数と割合は表 8 の通りである。また、それぞれの画像のカウントのヒストグラムを図 8、8 に示した。ここで示した 500sec 積分の dark 画像の結果を用いると、熱雑音は

$$0.064[e^-/sec]$$

となる。(cf. cryocam1 0.025$[e^-/\mathrm{sec}]$)

また、12/20 6:00 から 12/21 16:00 までの間に 4 枚の 500sec dark 画像を取得したが、画像間平均が 0.064$[e^-/\mathrm{sec}]$、変動は peak–to–peak で 0.008$[e^-/\mathrm{sec}]$ であった。

	平均カウント ADU / e^-	60ADU($100e^-$) 以上のカウントをもつ pixel 数
500sec dark	19.26 / 32.1	1805 (0.7%)
1000sec dark	41.04 / 68.4	24344 (9.2%)

表 6: dark 画像 (bias 差し引き後) の平均カウント、

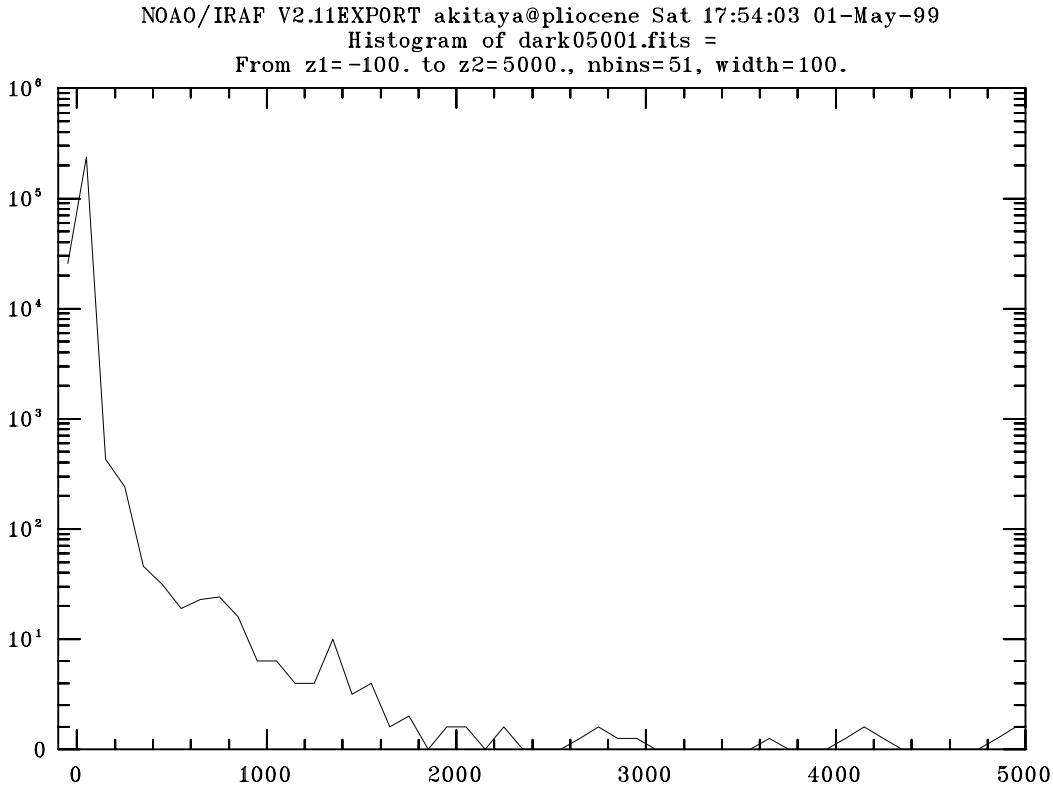

図 8: 500 秒積分 dark 画像 (bias 差引) のカウント値のヒストグラム。

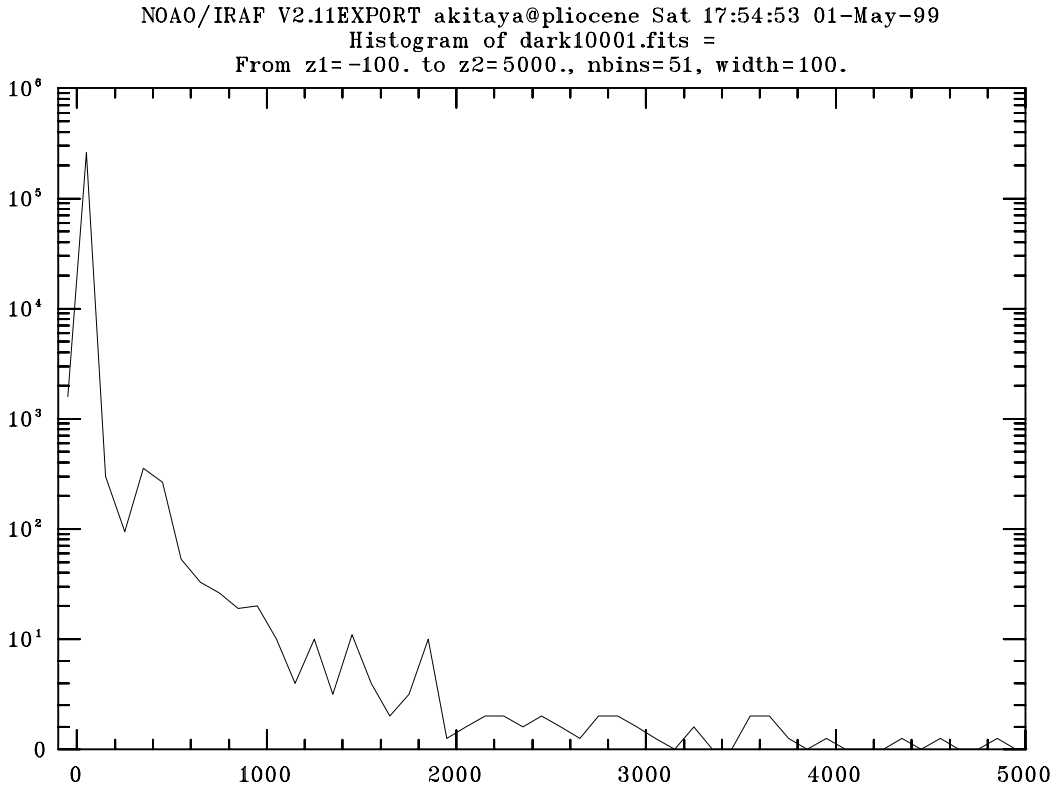

図 9: 1000 秒積分 dark 画像 (bias 差引) のカウント値のヒストグラム。