CCD の linearity の調査

東京大学天文学教室
仲田 史明

平成 11 年 4 月 15 日

1 twilight image による調査

twilight image から bias を引き、各 chip ごとに count 数の median をとって比較した。その結果を表 2 に示す。ただし、Chris 氏による data では、全 overscan 領域の平均を bias として raw data から差し引いており、median は全撮像領域に対するものをとっている。これに対して我々は、CCD の各列ごとに overscan 領域の平均をとったものを、その列での bias とし、各列別々に差し引いており、median は 200pix × 200 pix の小さい領域で求めた。表 1 に、median を求めるときに用いた領域を示す。ただし、この座標は、宮崎氏により開発されたソフトである、ZVIEW を用いたときの座標である。

	2/9 (object015-017)	3/22 (object021-025)	3/22 on a lattice
si001s	[1400:1600,1800:2000]	[1400:1600,1600:1800]	
si002s	[1400:1600,6200:6400]	[1400:1600,6200:6400]	
si005s	[2900:3100,2000:2200]	[2900:3100,2200:2400]	
si006s	[2900:3100,6200:6400]	[2900:3100,6200:6400]	
w6c1	[5000:5200,5900:6100]	[5000:5200,5900:6100]	[5250:5450,5900:6100]
w9c2	[5000:5200,5900:6100]	[5000:5200,2600:2800]	[5300:5500,2100:2300]

表 1: 各 chip での、median をとった座標

表 2 より、以下のことがわかった。

- Chris 氏のデータによると、SITe CCD と MIT CCD で、count の増加率が異なることがわかった。ただし、SITe CCD 同士、MIT CCD 同士では、それぞれ増加率が一定であることもわかった。
- そこで、この結果を追確認したところ、ほとんど同じ結果が得られた。我々と Chris 氏の median の求め方が異なることを考えると、この結果は、bias の引き方、median をとるときの領域の広さに影響しないことがわかる。
- 次に、ちがう日のデータ (2/9, I バンド) について同様に調べたところ、3/22 (R バンド) とまったく同じ結果が得られた。このことから、この結果は、天候等の日々の条件に対する依存性はなく、また、バンド依存性もないことがわかった。

- MIT CCD には、格子状の感度むらが見られることが知られている。そこで、3/22 のデータについて、median をとる領域を故意に格子の上にとり、同様に調べてみた。これは、表 2、表 1 の on a lattice のところに示されている。この結果、今までとまったく同じ結果が得られ、感度むらの影響もほとんどないことがわかった。
- これらのことから、SITe CCD または、MIT CCD のどちらか、あるいは両方の linearity が保たれていない疑いがある事がわかった。特に、bias を差し引いた後の count 数が、4000 を越えているデータについては、注意しなければならない。

	si001s	si002s	si005s	si006s	w6c1	w9c2
3/22 (by Chris)						
object022	2582(1.00)	2642(0.98)	2450(1.05)	2964(0.87)	2441(1.06)	2530(1.02)
object023	3894(1.00)	4000(0.97)	3679(1.06)	4454(0.87)	3988(0.98)	4096(0.95)
object024	7459(1.00)	7656(0.97)	7047(1.06)	8531(0.87)	9756(0.76)	9987(0.75)
object025	7915(1.00)	8148(0.97)	7477(1.06)	9068(0.87)	10596(0.75)	10727(0.74)
900 sec sky	160(1.00)	166(0.96)	151(1.06)	184(0.87)	157(1.02)	157(1.02)
2/9 (by Nakata)						
object017	1659(1.00)	1667(1.00)	1561(1.06)	1913(0.87)	1519(1.09)	1586(1.05)
object016	3635(1.00)	3652(1.00)	3414(1.06)	4184(0.87)	3473(1.05)	3605(1.01)
object015	7258(1.00)	7291(1.00)	6817(1.06)	8343(0.87)	9111(0.80)	9409(0.77)
3/22 (by Nakata)						
object021	244(1.00)	251(0.97)	234(1.04)	279(0.87)	228(1.07)	237(1.03)
object022	2586(1.00)	2667(0.97)	2482(1.04)	2974(0.87)	2456(1.05)	2556(1.01)
object023	3892(1.00)	4013(0.97)	3730(1.04)	4471(0.87)	4028(0.97)	4150(0.94)
object024	7455(1.00)	7667(0.97)	7147(1.04)	8558(0.87)	9828(0.76)	10085(0.74)
object025	7919(1.00)	8168(0.97)	7585(1.04)	9092(0.87)	10580(0.75)	10829(0.73)
on a lattice						
object021					227(1.07)	239(1.02)
object022					2440(1.06)	2542(1.02)
object023					3994(0.97)	4122(0.94)
object024					9772(0.76)	10042(0.74)
object025					10525(0.75)	10789(0.73)

表 2: 各観測日における twilight image の各 chip における median の count 数。括弧内の数字は、(si001s の count) / (各 chip の count) を表す。

2 SA57 による調査

2 月 9 日に撮像された、SA57 領域の画像を用いて、標準星の実際の等級と今回観測された aperture photometry を比較した。2 月 9 日には、object006, 011, 012, 013, 014 が SA57 のデータであるが、このうち S/N が良い object006, 011 のみを用いた。結果を表 3 に示す。

	real mag	object006 (by Komiyama)	object006 (by Nakata)	object011	
#9801	17.624	9.347	9.418 ± 0.001	10.781 ± 0.002	star
#9579	19.366	11.124	11.294 ± 0.007	12.635 ± 0.015	galaxy
#9110	19.495	11.278	11.378 ± 0.004	12.739 ± 0.008	star
#9928	18.132	9.647	9.859 ± 0.002	11.197 ± 0.003	star
#9842	19.513	10.982	11.263 ± 0.006	12.525 ± 0.015	galaxy
#8792	19.473	11.971	11.196 ± 0.009	12.463 ± 0.020	galaxy

表 3: 各標準星の等級の比較

ただし、aperture photometry は、iraf を用いて行い、零点は 25 mag で統一した。これらを、横軸に実際の等級、縦軸に aperture photometry を用いてプロットしたものを、図 1 に示す。
ただし、object006 + object011 は、object006 の real magnitude を積分時間の分だけ明るくしてプロットしたものである。すなわち、以下の式により変換した。

$$m_{plot} = m_{real} - 2.5 \log(600./180.)$$

このプロットには、最小 2 乗 fit の直線も示したが、それらの式は横軸を x として表 4 のように表される。

	si006s	w6c1
object006(by Komiyama)	$1.0115x - 8.6915$	$1.0269x - 8.7524$
object006(by Nakata)	$1.0074x - 8.4078$	$1.0602x - 9.2643$
object011	$0.9534x - 6.089716$	$1.0541x - 7.7959$
object006+object011	$0.9834x - 6.6627$	$1.049595x - 7.702038$

表 4: 最小 2 乗 fit の直線

また、最後にここで用いた標準星の、Suprime-Cam データにおける bias を差し引いた後の peak 値および seeing を表 5 に示す。

これらの結果から、以下のことがわかった。

- 図 1 を見ると、Komiyama 氏の結果と異なり、今回の結果では w6c1 と SI006S で直線の傾きが異なるように見える。すなわち、SI006S を基準に考えると、相対的に w6c1 は暗い方で暗くなりすぎるか、明るい方で明るくなりすぎるかのどちらかである。

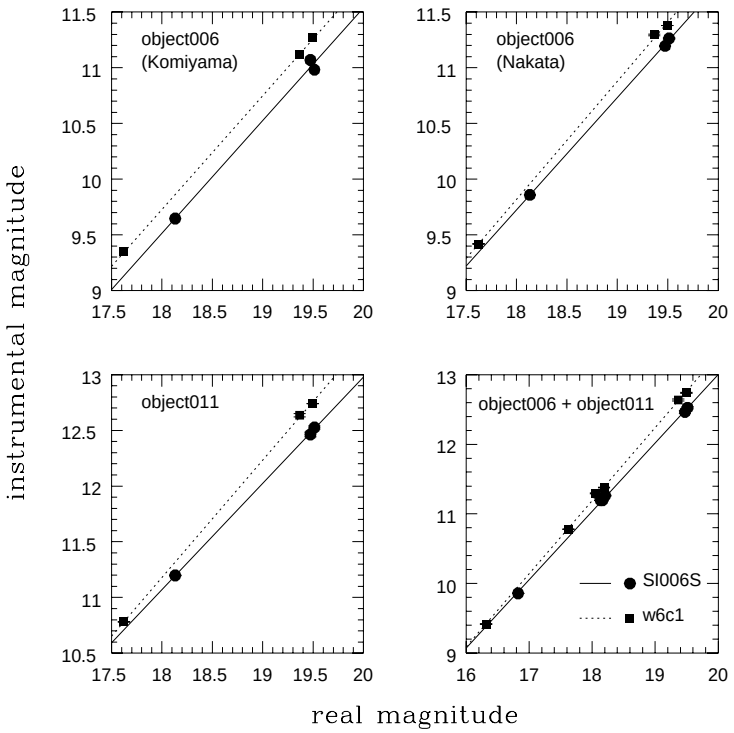

図 1: SA57 における標準星の等級と観測された等級の比較

- 表 5 によると、w6c1 に撮像されている標準星 #9801 の peak は 4000 を越えている。§1. の結果によると、4000 count そ越えたところで、w6c1 は SI006S に比べて明るく見積もることになるので、§1. の結果と図 1 の結果は一致する。

	object006		object011	
	peak	seeing(arcsec)	peak	seeing(arcsec)
#9801	4752	0.44	1135	0.50
#9579	487		177	
#9110	923	0.49	281	0.51
#9928	2802	0.50	841	0.50
#9842	539		203	
#8792	1229		539	

表 5: 各標準星の peak の count 数と seeing

3　M13 による調査

3 月 14 日に撮像された、M13 領域の画像には、露出時間が 5 sec (object022)、30 sec (object021)、2 min (object023) の 3 種類の画像がある。そこで、これらの画像で同じ天体の aperture photometry を行い、検出された flux の count 数を調べた。その結果を表 6 に示す。ただしこの表で、magnitude の零点は 25 mag で固定されている。

この結果のうち、各 chip の flux(t)/flux(t=5sec) を縦軸に、露出時間を横軸にとって、プロットしたものを、図 2 に示す。

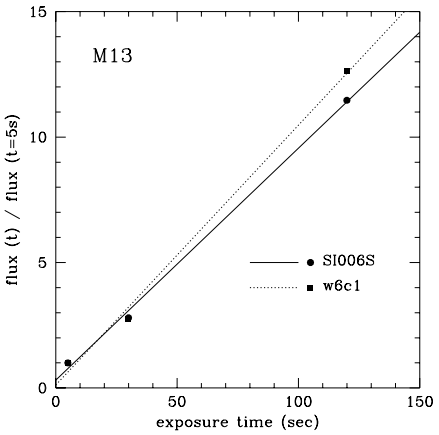

図 2: M13 における標準星の等級と観測された等級の比較

このプロットには、最小 2 乗 fit の直線も示したが、それらの式は横軸を x として表 7 のように表される。

また、最後に今回用いた天体の、露出時間 2 min の画像における peak を表 8 に示す。
また、露出時間が 30 sec、5 sec の画像では、これらの天体の典型的な peak 値はそれぞれ 2000、700 である。

これらの結果から、以下のことがわかった。

- 図 2 より、peak$\sim$ 8000 の露出時間 120 sec のとき、w6c1 の方が、si006s に比べて感度比が大きいことがわかる。これはこれまでの結果と一致する。
- また、peak$\sim$ 2000 の露出時間が 30 sec のとき、w6c1、si006s 両者の感度比はほぼ同じなので、2000 count では CCD の linearity はほぼ正常であることもわかる。
- 表 6 を見てわかる通り、各露出時間の flux 比が露出時間の比になっていない。これは、M13 を撮像した 3 月 14 日の天気は、悪かったということなので、撮像中に雲がかかったなどが、原因と考えられる。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ave.
w6c1										
mag										
2 min	9.052	8.991	8.933	8.970	9.155	9.235	8.993	9.290	8.981	9.067
30 sec	10.712	10.649	10.609	10.643	10.790	10.857	10.640	10.904	10.650	10.717
5 sec	11.818	11.754	11.716	11.748	11.894	11.949	11.757	12.011	11.745	11.821
flux(counts)										
2 min	2394418	2532795	2671776	2582260	2177710	2023019	2528133	1923092	2556230	2376604
30 sec	519039	550047	570690	553095	483059	454151	554626	434911	549541	518795
5 sec	187413	198793	205873	199894	174743	166112	198244	156892	200447	187601
flux(t)/flux(t=5sec)										
2 min	12.776	12.741	12.978	12.918	12.462	12.179	12.753	12.257	12.753	12.646
30 sec	2.769	2.767	2.772	2.767	2.764	2.734	2.798	2.772	2.742	2.765
5 sec	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
si006s										
mag										
2 min	8.831	8.867	8.926	8.857	8.676	8.959	8.847	8.866	8.895	8.858
30 sec	10.344	10.396	10.469	10.414	10.206	10.502	10.373	10.406	10.391	10.389
5 sec	11.459	11.505	11.582	11.526	11.317	11.584	11.490	11.552	11.546	11.507
flux(counts)										
2 min	2934945	2839226	2689057	2865497	3385322	2608555	2892011	2841842	2766942	2869266
30 sec	728450	694384	649232	682967	827180	629796	709251	688018	697590	700763
5 sec	260856	250035	232916	245245	297303	232488	253513	239442	240769	250285
flux(t)/flux(t=5sec)										
2min	11.251	11.355	11.545	11.684	11.387	11.220	11.408	11.869	11.492	
30 sec	2.793	2.777	2.787	2.785	2.782	2.709	2.798	2.873	2.897	2.800
5 sec	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表 6: M13 における各 chip での各天体の等級、flux、flux 比

si006s	0.103540x+0.120762
w6c1	0.092435x+0.313544

表 7: 最小 2 乗 fit の直線

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
si006s	9351	8655	7658	8394	9590	8315	8968	8845	8778
w6c1	8780	9118	9706	9471	8438	8128	9579	7674	9357

表 8: 各天体の露出時間 2 min の画像における peak 値

4 まとめ

Chris 氏からの指摘の通り、確かに SITe、MIT のどちらかの CCD では、4000 counts を越えるところで linearity が悪くなっていうように見える。しかし、今のところ SITe、MIT のどちらの CCD に原因があるのかわからない。ドームフラット、open cluster などを観測することで、原因をつきとめるべきである。なお、4000 counts とは、だいたい 17.5 mag の天体の peak 値に相当するので、これより暗い天体については、non-linearity の影響を受けない。