

1. 3K × 1. 3K InGaAs 赤外線検出器の広島大学観測環境下における性能評価

森裕樹、川端弘治、松場祐樹(広島大学)、中屋秀彦、吉田道利(国立天文台)、伊藤亮介(東京工業大学)、内田智久(KEK)、永山貴宏(鹿児島大学)

概要

広島大学では可視赤外線同時カメラHONIRの開発を進めている。HONIRには2つの赤外線検出器が搭載可能だが、現在は1つしか搭載されていない。2つ目の検出器の候補として、国立天文台、浜松ホトニクス社などと協力して、天体観測用国産赤外線検出器の開発を進めている。今回はメーカーが作成したエンジニアリンググレード素子について、メーカーでは実施されていない、実際の観測環境下における性能評価及び試験観測を実施した。この結果をメーカーへフィードバックし、HONIR搭載を目指し、国産赤外線検出器の開発を進めていく方針である。

1 HONIRとかなた望遠鏡

かなた望遠鏡

口径1.5m。駆動速度は方位方向：5度/秒 高度方向：2度/秒と、このクラスの望遠鏡としては世界最速クラス。
 → GRB等の突発天体に即座に対応可能。

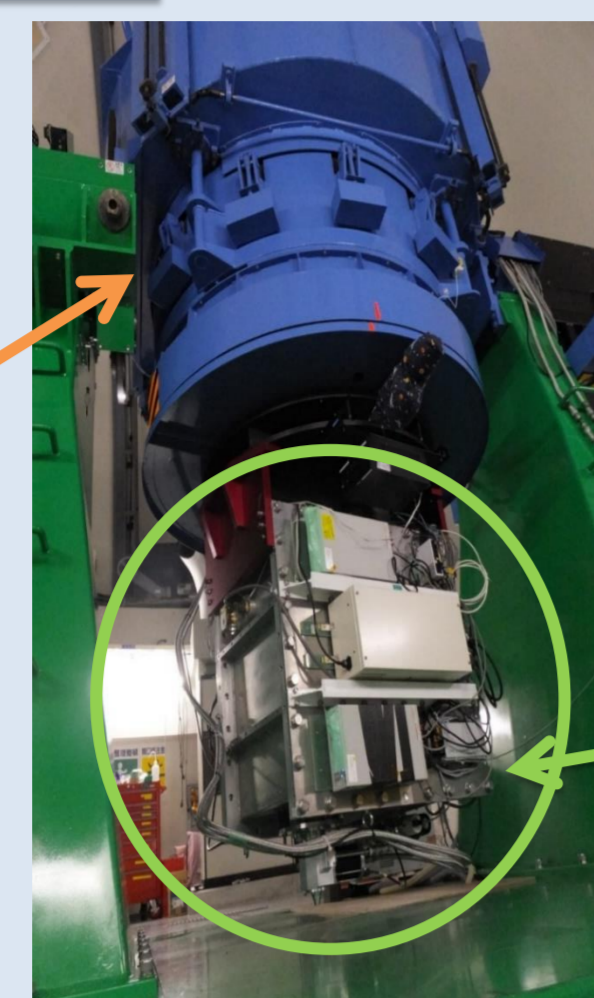


図1: かなた望遠鏡とHONIR

HONIR

- ・Hiroshima Optical and Near InfraRed camera (可視赤外線同時カメラ)
- ・かなた望遠鏡のカセグレン焦点に搭載。
- ・可視1、近赤外1バンド(将来的には近赤外2バンド)による同時撮像、分光および偏光撮像、偏光分光観測が可能。
- ・2つ目の赤外線検出器の候補として、広島大学では現在、国立天文台と共同でInGaAs検出器の開発を進めている。この検出器がHONIRに搭載された場合、Y,J,Hバンドを観測する予定で、現在よりも観測波長の選択肢・観測時の情報量が増加し、突発天体に対して力を発揮する。

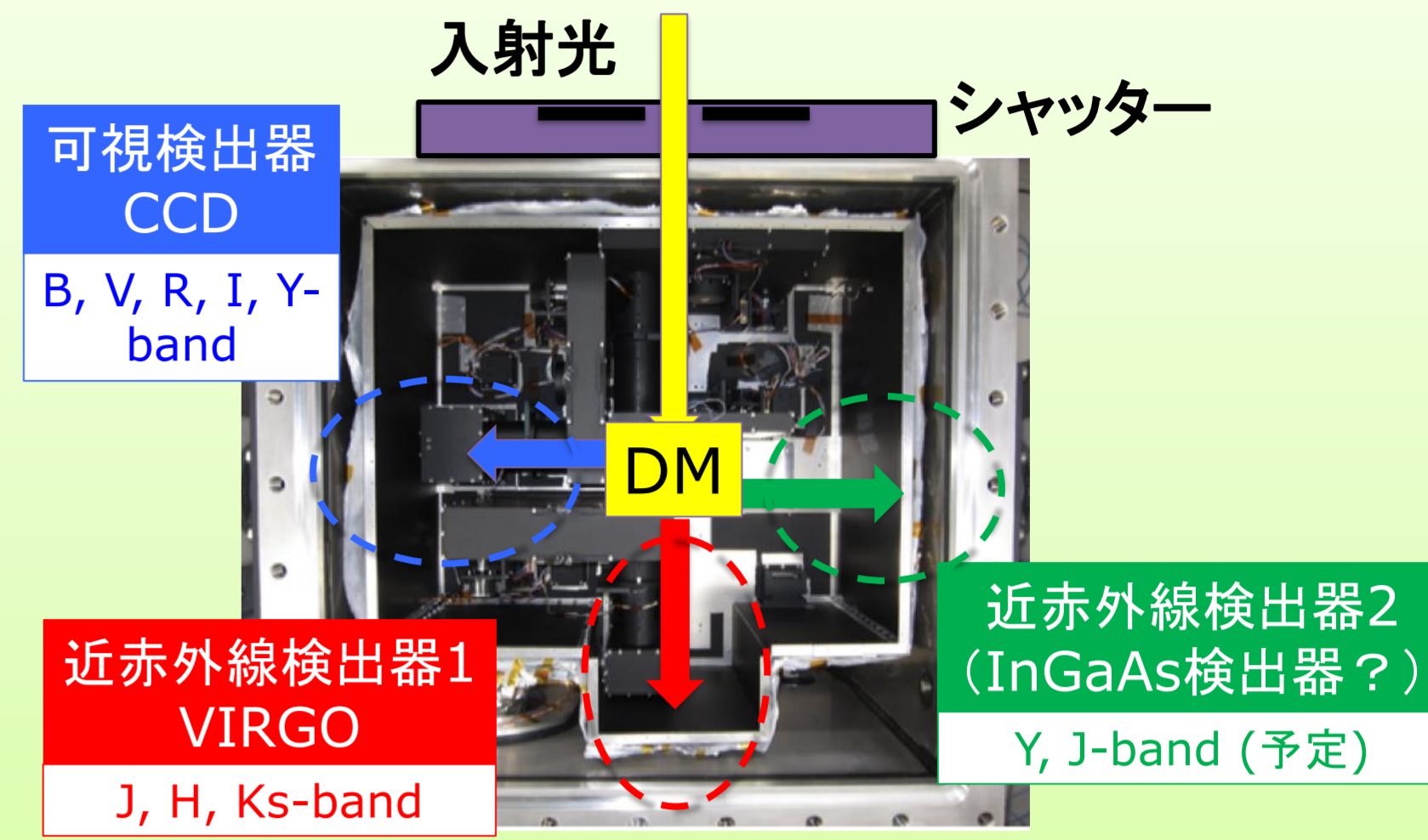
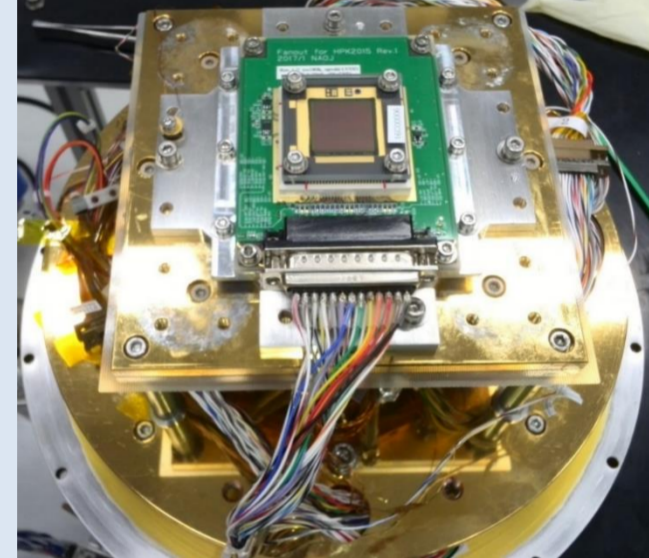


図2: HONIRを上から見た図

2 InGaAs赤外線検出器

- ・赤外線検出器は流通規制等の影響で入手困難。→(国産)浜松ホトニクス社製。
- ・天文用途に低ノイズ・大面積素子を開発。
- ・読み出しシステムに一部HSCエレキを使用。
- ・InGaAsを用いて検出器を作成することで比較的安価に国産での作成が可能。

図3: 1.3k × 1.3k InGaAs検出器検出器下の金色の物はデューワー 読み出しシステムはデューワー外部に設置



項目	諸量
有効画素数	1280 × 1280 [pixel]
画素サイズ	15 × 15 [μm]
有効受光面サイズ	19.2 × 19.2 [mm]
波長感度(室温)	0.95-1.7 [μm]
読み出しポート数	2 or 8

表1: 1.3k × 1.3k InGaAs検出器の諸性能

4 波長相対感度測定

- ・広島大学キャンパスの実験室にて0.5W豆電球を用いた波長相対感度の測定を実施した。(図7)
- ・冷却下(<217K)にて常温域(270K)に比べ、カットオフ波長が短波長側に移動することを確認した。これはInGaAsのバンドギャップの温度特性によるものである。
- ・温度間でcountのバラつきが大きいのが、素子の特性によるものか、実験方法の影響によるものか不明。今後、方法を変えた測定を検討中。

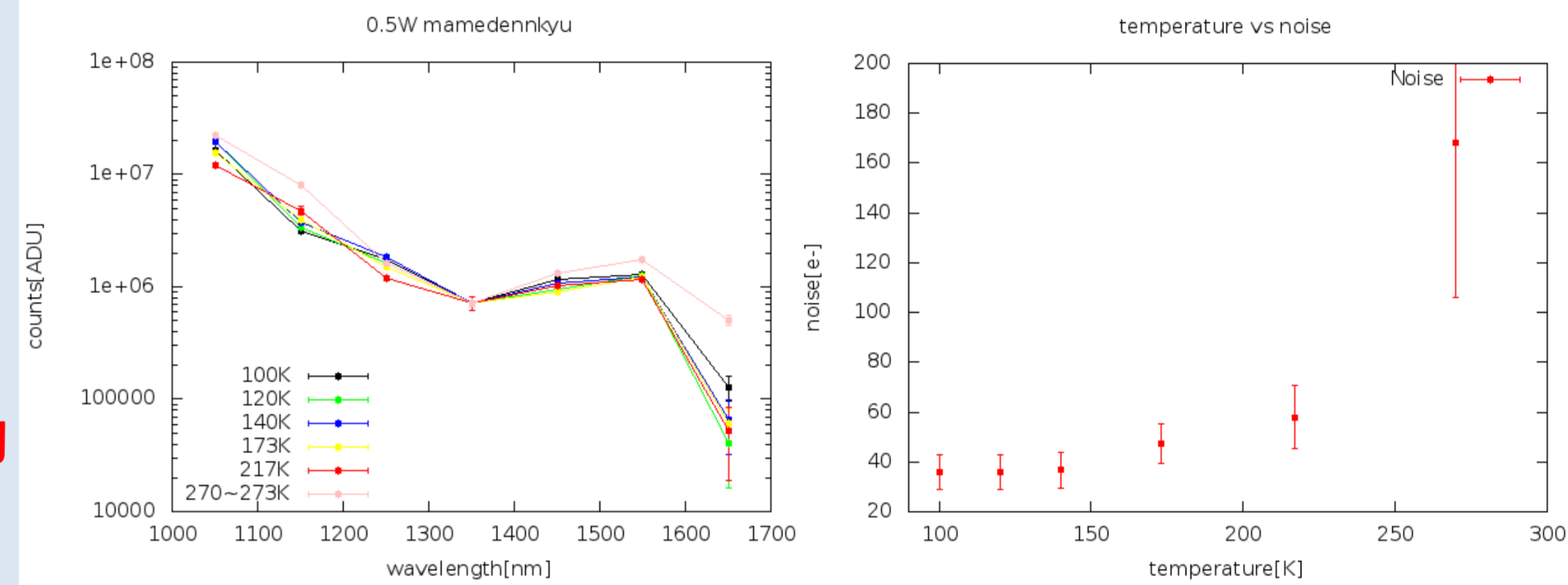


図7: 左→0.5W豆電球を用いた波長—信号強度のグラフ 積分時間: 1. 26s 50枚を連続取得し、median画像を作成。[100:500,100:105]の平均値をcounts、同様に取得したdark画像の50枚の標準偏差を誤差とした相対的な変化を見る為に140K,1350nmにcountsを合わせた。 右: 温度—ノイズのグラフ 左図取得時の50枚のdark画像の標準偏差画像を作成し、[100:500,100:105]の領域の平均値をnoise、標準偏差を誤差とした

3 かなた望遠鏡ナスミス焦点での試験観測及び性能評価

・2017/3/28-29にかけて、かなた望遠鏡ナスミス焦点にて1.3k × 1.3k InGaAs素子エンジニアリンググレードの試験観測を行った。温度は140K。観測にはY,J,Hバンドを用いた。図5に木星の3色合成写真を載せる。

・試験観測の際に取得したデータを用いて、観測環境下における基礎特性の評価を行った。表2に各測定値を載せる。バッドピクセルを除いた統計を取った場合、HONIRに搭載しているVIRGO検出器と同レベルのノイズやリニアリティを達成していることが判った。今後はバッドピクセルの少ないサイエンスグレードの試験を行い、観測投入の是非を判断する予定。



図5: 木星のファーストライト3色合成写真 撮像日時: 2017/3/28 積分時間: 2.2s Red=Hband(~1.6um) 21:13:10 Green=Jband(~1.25um) 21:06:10 Blue=Yband(~1.0um) 21:12:38 画像左下: ガニメデ 右上: エウロパ

項目	1.3k × 1.3k InGaAs素子エンジニアリンググレード ナスミス焦点 140K	VIRGO検出器 HONIR搭載時 カセグレン焦点 77K
ノイズ	~35 [e ⁻]	~30 [e ⁻]
リニアリティ (1%精度)	<150000 [e ⁻]	<150000 [e ⁻]
ゲイン	6.67 [e ⁻ /ADU]	11.6 [e ⁻ /ADU]

表2: 1.3k × 1.3k InGaAs素子の140Kでの基礎特性と VIRGO検出器(数値は 大橋et.al.2013から引用)との比較

・試験観測時に取得したM3星団(図6は3色合成写真。)を用いて各波長域での量子効率を導出した。尚、当日は雲が多い中での観測であった為、あくまで参考値である。測光にはIrafのphotを使用。パラメーターは以下の通りである。

FWHM=9.86 (pix) = 1.6762(秒角), aperture=annulus=1.6FWHM, dannulus=3(pix)

口径D[cm]の望遠鏡に等級Mの天体から1秒間に入射する光電子数の期待値は

$$\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{\Delta\lambda F_{\lambda}}{hc} \times 10^{-\frac{M}{2.5}} \dots (式1)$$

λ: バンドの中心波長[Å] Δλ: 波長幅 F_λ: 0等級のフラックス

D²=150² (主鏡) -32² (副鏡) [cm] (かなた望遠鏡の場合)

この式から得られる値と、photで得られた値の比を量子効率とした。

	Yバンド	Jバンド	Hバンド
標準偏差	6.37	3.17	1.81
量子効率 (5天体の平均) ±標準誤差	31.62 ± 2.85%	45.35 ± 1.42%	54.13 ± 0.81%

表3: 1.3k × 1.3k InGaAs検出器の量子効率の参考値

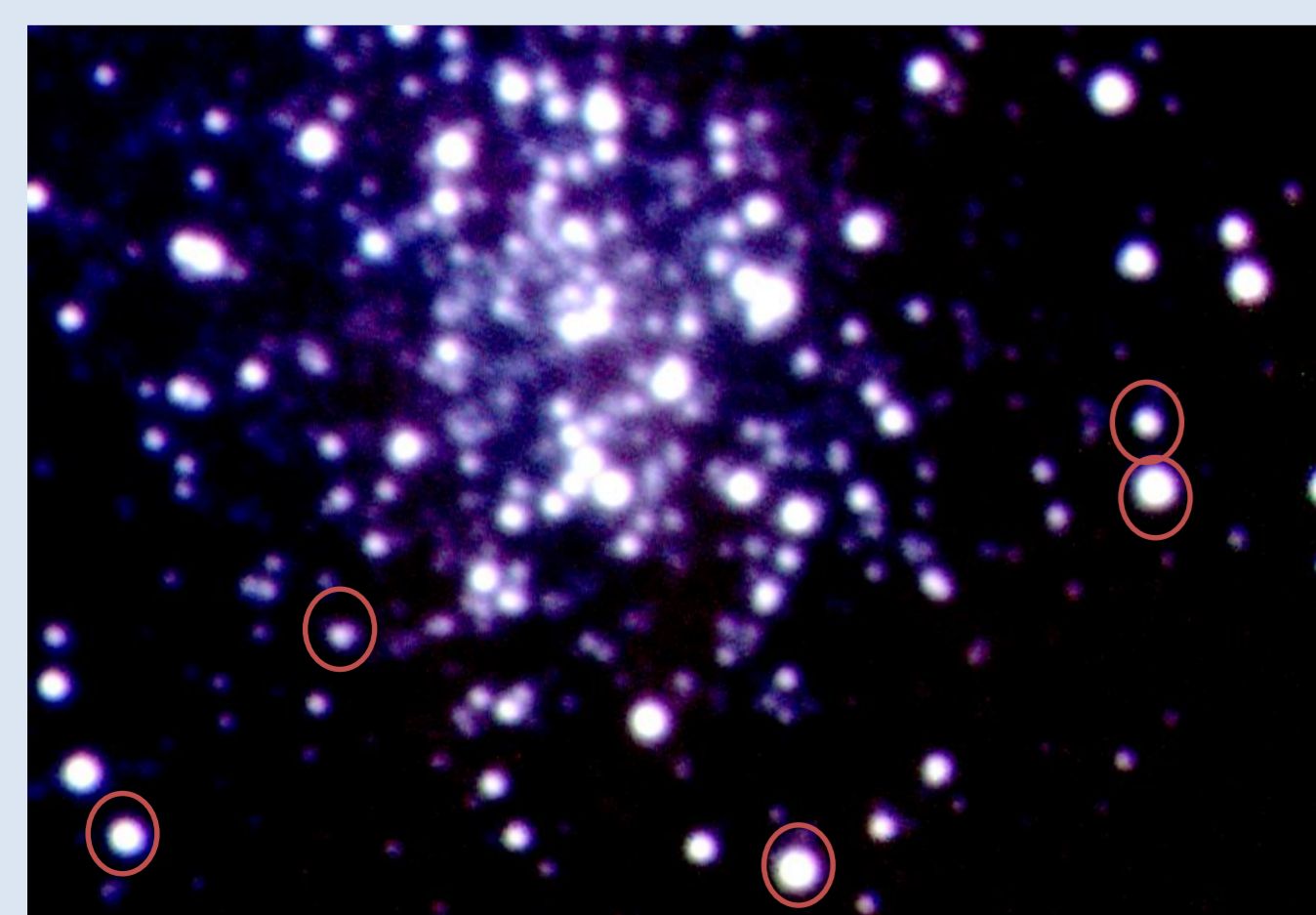


図6: M3星団の3色合成写真。解析には赤丸で囲った5天体を使用。周囲に天体が少なく明るい天体から暗い天体まで5天体を選定。

5 1.3k × 1.3k InGaAs赤外線検出器の課題

・1.3k × 1.3k素子の性能評価を通して、以前開発した128 × 128素子には見られなかった、referenceピクセルと通常のピクセルの間に周囲よりも低カウントの枠状の模様があることが判明した。(図8)

一次処理の過程で見かけ上は改善していくが(図9)、露出時間によって形状が変化していく等、安定性に欠ける為、データの信頼性に欠ける。現在、原因を調査中で今後の課題となっている。

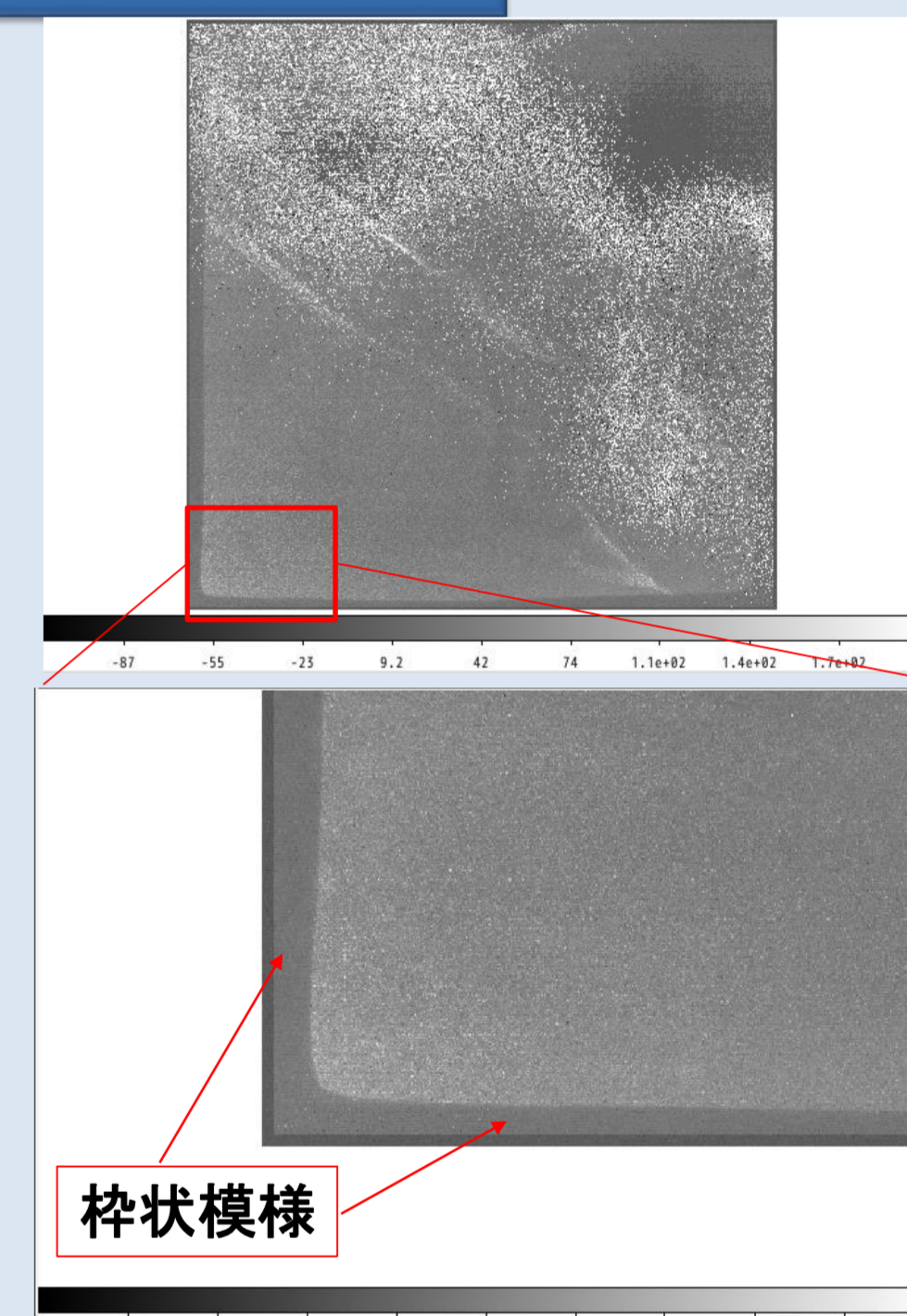


図8: 1.3k1.3k InGaAs検出器 100s積分dark画像 上→全体図 下→拡大図

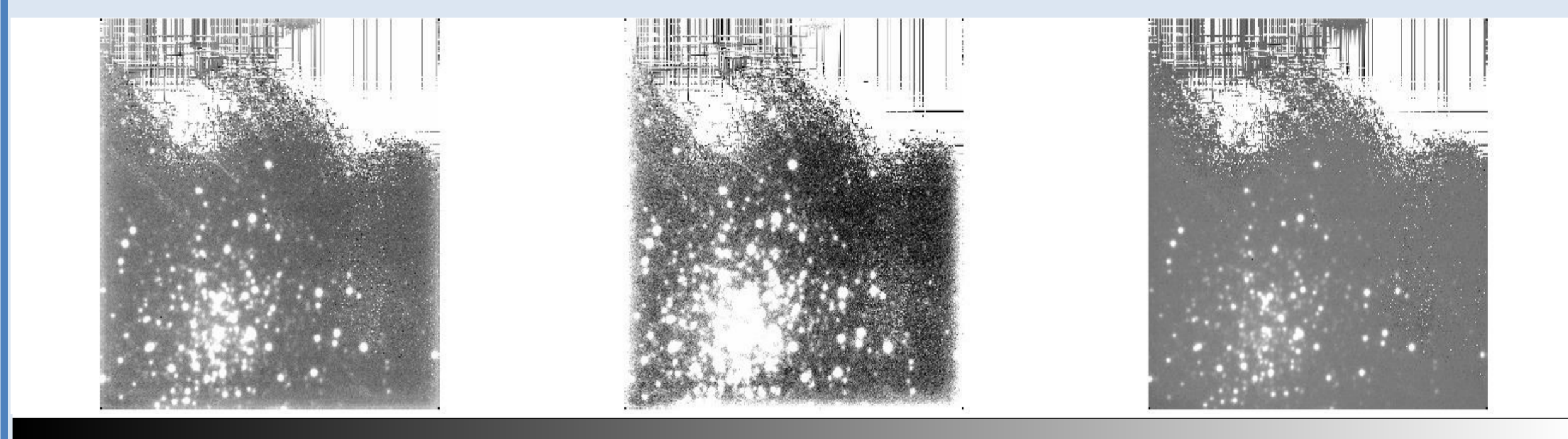


図9: M3星団のデータを用いた一次処理による枠状模様の変化の過程 左→生画像 中→dark引き 右→flat割り

6 まとめと今後

・1.3k × 1.3k InGaAs検出器のエンジニアリンググレード素子を用いた試験観測、及び冷却下における基礎特性性能評価を実施した。試験観測時のデータから、ノイズやリニアリティが、HONIRのもう一つの検出器VIRGOと比べても同程度であることから、広島大学としては観測投入可能なレベルであった。

・冷却下では常温域(~270K)に比べて、カットオフ波長が短波長側にシフトすることを確認した。

・128 × 128素子には見られなかった枠状の模様があることが判明した。これは今後の課題である。

・今後は、モノクロメーターを導入した量子効率の導出、及びサイエンスグレード素子の試験を行う予定。