国産InGaAs赤外線検出器搭載による広島大学HONIRの3色同時観測に向けた研究

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、天体観測用国産大面積赤外線検出器の開発を進めている。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。また、HONIRにInGaAs検出器を搭載する準備を進めているので、今回はこれらの報告を行う。

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。

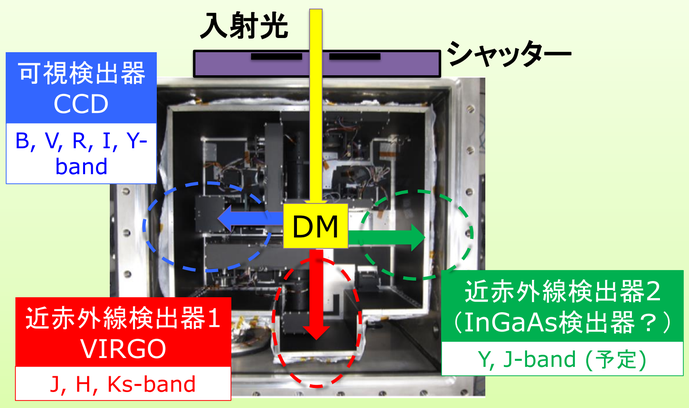


図2：HONIRを上から見た図

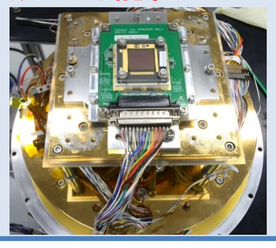
2 InGaAs赤外線検出器

・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。

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

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



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。
今後はサイエンスグレードの試験を行う予定。

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

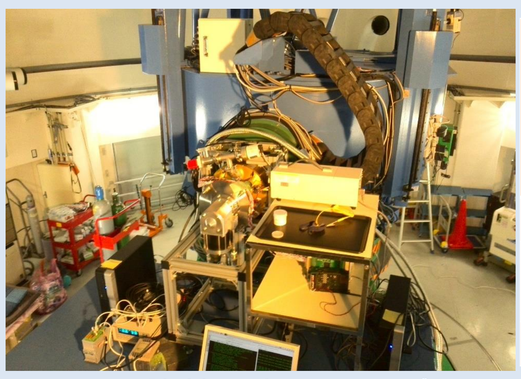


図4：試験観測時のセットアップ
写真中央の金色のものがデュワー

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.all2013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QE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)

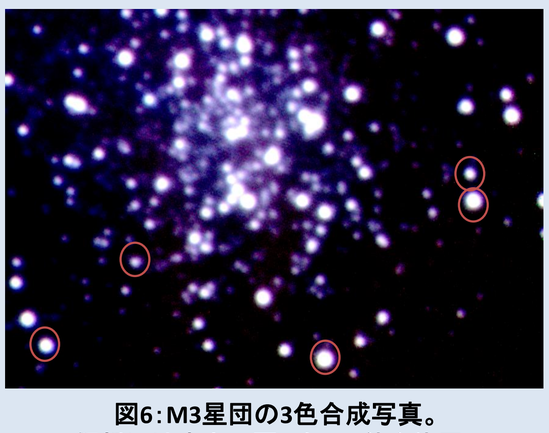


図6：M3星団の3色合成写真。
解析には赤丸で囲った5天体を使用。
周囲に天体が少なく明るい天体から暗い天体まで5天体を選定。

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

$$\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \frac{\Delta\lambda\, F_\lambda \lambda}{h\,c} \times 10^{-\frac{M}{2.5}} \quad \cdots(式1)$$

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
D^2=150^2 (主鏡) -32^2 (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

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。
・温度間でカウントのバラつきが大きいが、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。

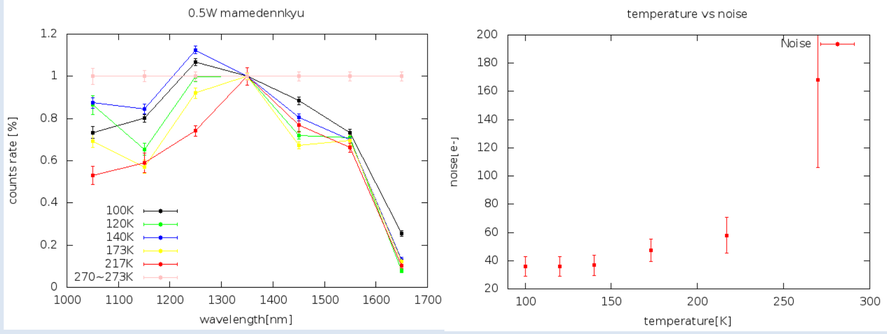


図7：左→ 0.5W豆電球を用いた波長相対感度のグラフ
積分時間：1．26s 50枚を連続取得し、median画像を作成。[100:500,100:105]の平均値をcounts、同様に取得したdark画像の50枚の標準偏差を誤差とした相対的な変化を見る為、270Kに規格化した後、1350nmにカウントを合わせた。
右：温度ーノイズのグラフ
左図取得時の50枚のdark画像の標準偏差画像を作成し、[100:500,100:105]の領域の平均値をnoise、標準偏差を誤差とした

5 InGaAs検出器の課題

・1.3kInGaAs検出器の画像の外縁部に、周囲より低カウントの枠状の模様（以降、枠状模様）があることが判明した。（図8）

・枠状模様は露出時間に応じてパターンが変化する為、一次処理で取り除くことが難しい。

・現在、枠状模様の原因を調査し、枠状模様がない素子の開発を目指している。完成目標は2020年。

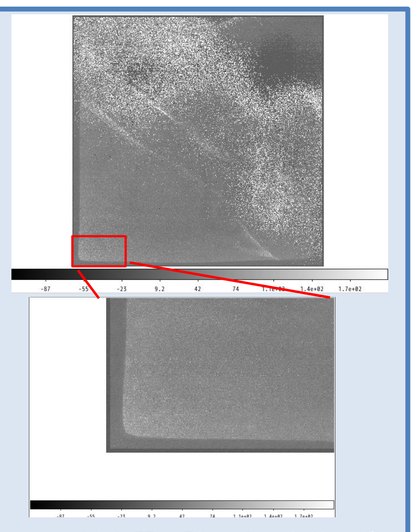


図8:上→1.3k検出器の読み出し全体画像
下→拡大図

6 HONIR3色同時観測化への取り組み

・3色同時観測化までのスケジュールは以下のようになっている。

機関	項目
~2017年内	検出器の性能評価 検出器ケースの作製
~2018年1月	HONIR内部の配線整備 （現行）InGaAs検出器の搭載 光学系の搭載
2018~2019年	フィルター類の搭載
~2020年(?)	読み出し系統の統一 （完成品）InGaAs検出器の搭載

表3:3色同時観測化までのスケジュール

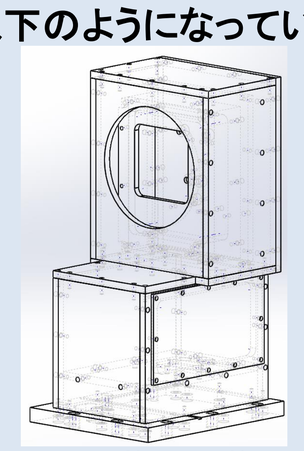


図9： InGaAs検出器用検出器ケース
Virgo検出器ケースを
InGaAs検出器用に仕様を変更

7 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。

・枠状模様があることが判明した。これは今後の課題で、完成品は2020年を目標に開発中。

・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。