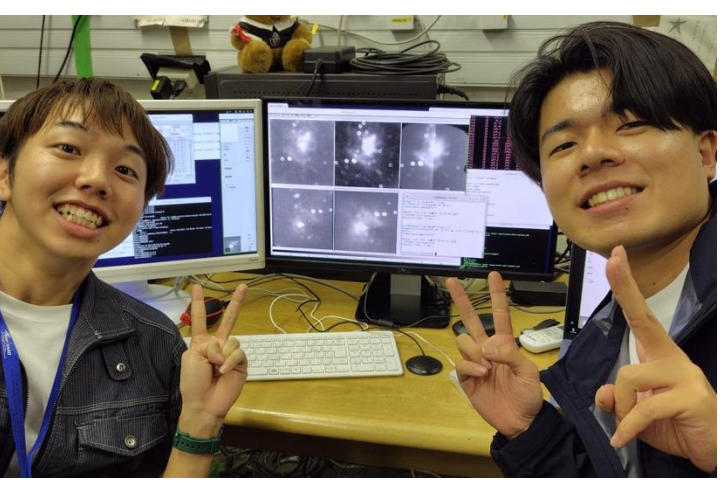


# IRSF1.4m望遠鏡用 可視2バンド同時撮像装置VERSATILE-CAMの開発



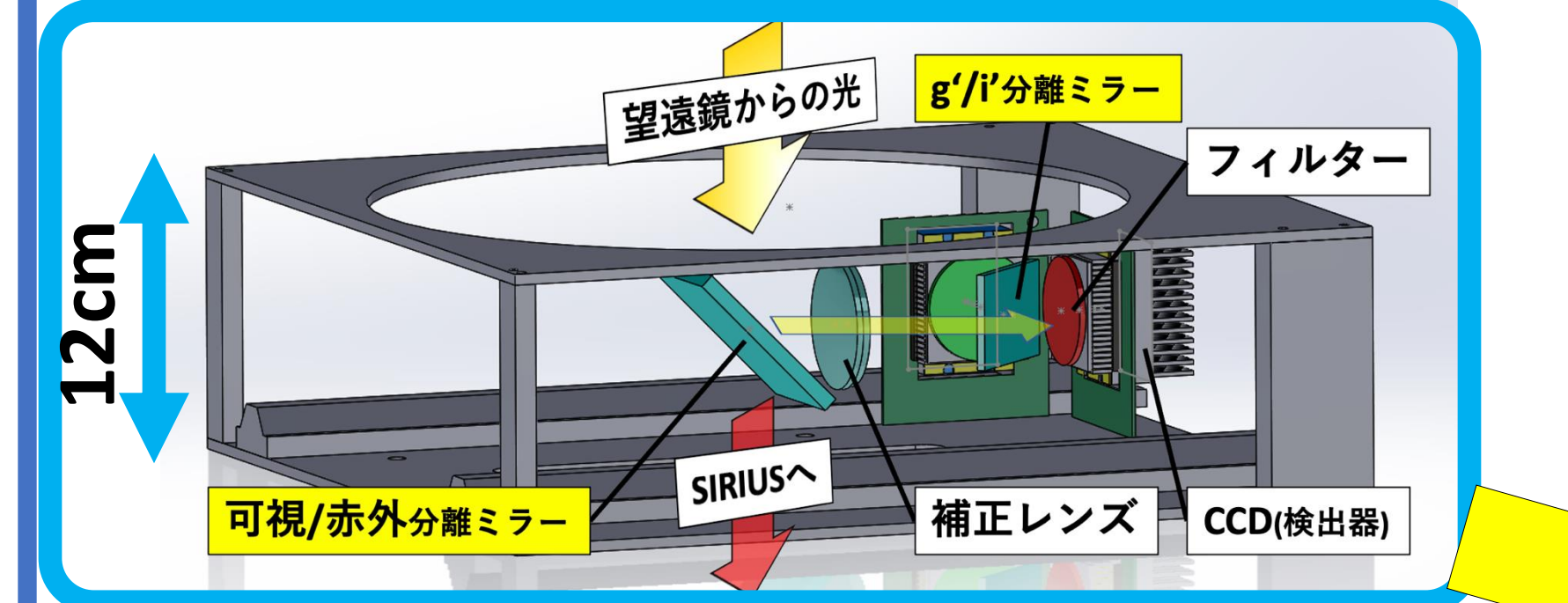
鹿児島大学大学院 理工学研究科 博士前期課程2年 武内友希 温田修大

## 概要

鹿児島大学1m光赤外線グループではIRSF用 可視2バンド同時撮像装置VERSATILE-CAM(以下V-Cam)の開発を行っている。本研究は近赤外3バンド同時撮像カメラSIRIUSと併用することによる可視-近赤外5波長同時観測を目的としている。2年間の開発期間を経て、2024年11月17日南アフリカサザールランド観測所にてファーストライトを迎えた。フォーカスの位置は、g,i,Jの3バンドで観測に影響ない範囲で揃っている(副鏡の値0.01mm程度)。スループット・900秒積分/SN10による限界等級はそれぞれgバンド13.9%/18.3等、iバンド19%/18.0等と得られた。この値は想定値からそれぞれgバンド13.8pt/0.4等、iバンド12.0pt/0.6等ずつずれている。

## 装置の仕様

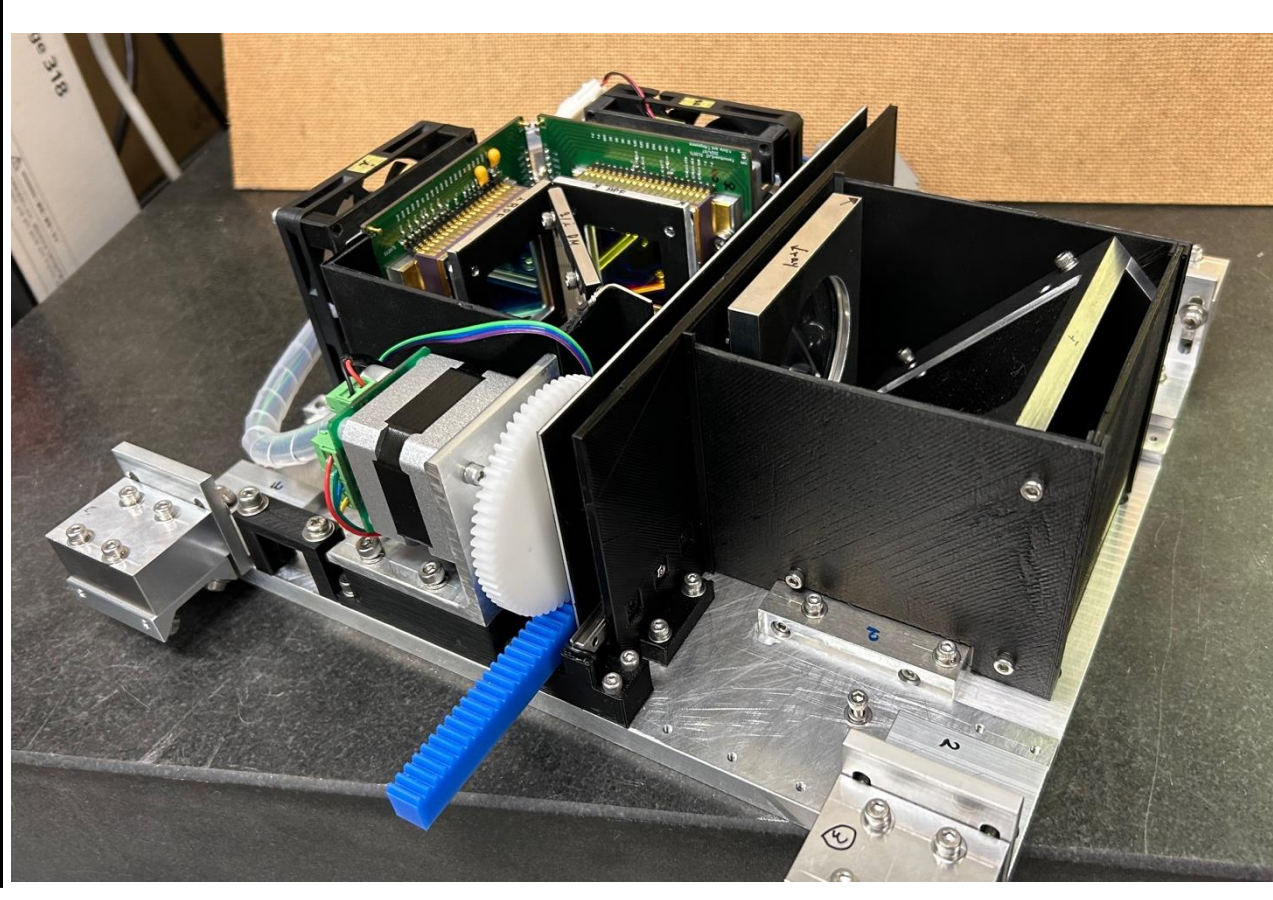
- 望遠鏡とSIRIUSの間12cmに収まる構造
- ダイクロミックミラーによる2色同時撮像
- SIRIUSと焦点を共有 3D設計(光学部品のみ)



## スペック

検出器	浜松ホトニクス社 S12071(CCD)
有効画素数	1024×1024
ピクセルスケール	0.42"(pix/ac)
視野	7.2×7.2
観測波長	480nm(SDSS g')
	770nm(SDSS i')
最終F値	8.3

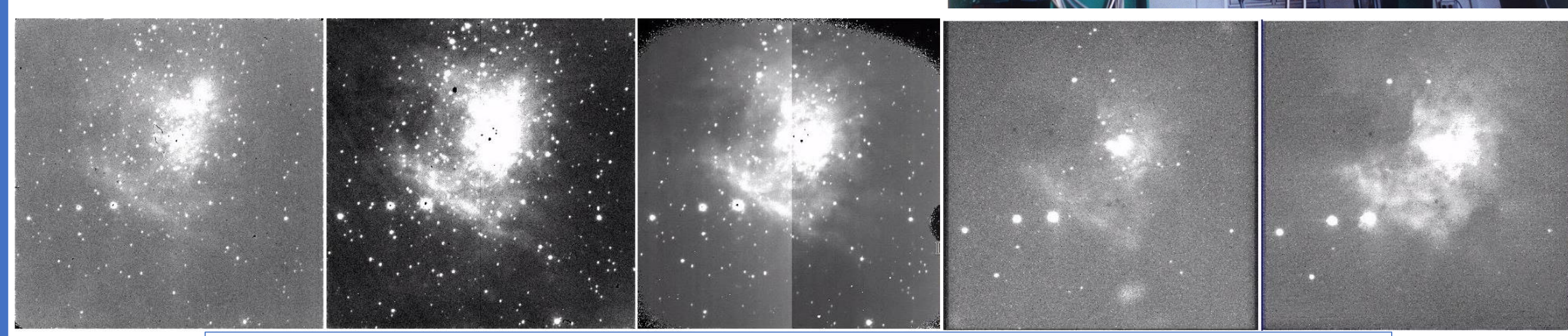
## 装置外観



- 冷却素子内蔵 CCD
- 内製回路による小型化
- 高さ10.6cmに!

## ファーストライト

2024年11月17日 南アフリカ天文台サザールランド観測所にてファーストライトを迎えた



ファーストライト画像 M42(左からKs,H,J,i,g) 2秒積分 7'×7'

## 限界等級

■想定値 以下のパラメータ・SNの式により、限界等級の想定値を算出した。

$$S/N = \frac{I_{st}}{\sqrt{N_R^2 + (I_{BG} + I_{DC})t}}$$

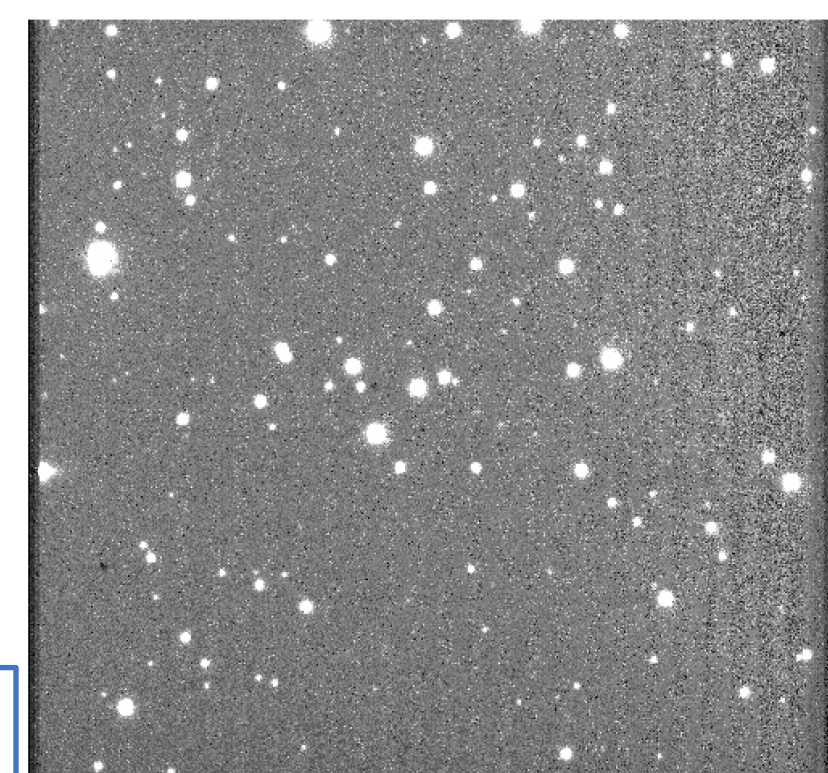
	g'band	i'band
$N_R$ 読み出しノイズ(実測)[e-]	319	123
$I_{BG}$ バックグラウンドノイズ[e-/s]	30.41	52.86
$I_{DC}$ 暗電流[e-/s/pix]	2	
スループット(実測)[%]	13.9%	19.0%

■実測値 等級のわかっている星を含む星の多い視野内の星を検出・測光した結果をプロット

→merr0.1等(SN10)を限界等級と定義

積分時間 30s×30枚 (900s積分)

測光に用いたNGC2323(g)



## 試験観測

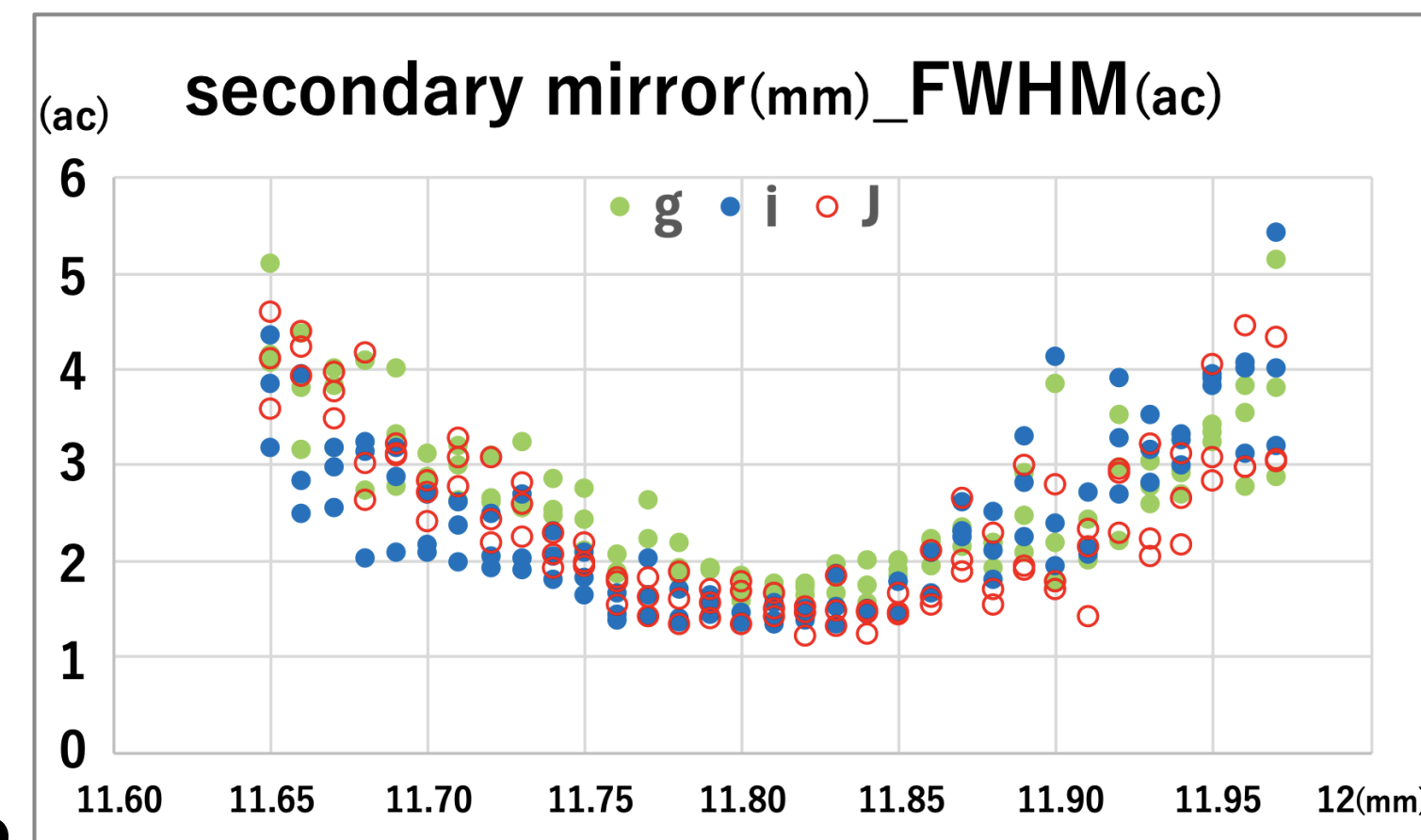
IRSF1.4m望遠鏡に載せた状態でのV-Camの性能評価。評価項目は以下の3つ。 1.フォーカス(g,i,J) 2.スループット 3.限界等級(900s積分)

## フォーカス

■背景 V-Cam開発の困難な点として、既存のSIRIUSの焦点・視野は変更することはできず、V-Camの焦点・視野をSIRIUSに合わせ込む必要があった。

特に焦点に関して、副鏡の値0.01mmの精度で合わせることができなければ5波長同時観測が実現しないため、以下の試験でフォーカスを確認した。

■測定方法 0.01mmずつ副鏡をずらし、それぞれのフォーカスの値で5秒積分を3枚ずつ撮り、FWHMを確認した。



■結果 g,i,Jの3つのバンドで0.01mm程度でフォーカスを合わせることができた →1.2"~1.7"程度 シーイングリミット?

観測に影響ない範囲で調整できている

→可視-近赤外5波長同時観測(0.4-2.1μm)が実現!

## スループット

■想定値 以下のパラメータにより、スループットの推定値を算出した。

	g'band	i'band
大気透過	0.74	0.87
望遠鏡	0.71	0.61
可視赤外分離DM	0.95	0.95
補正レンズ	0.94	0.94
g/i分離DM	0.95	0.93
BPF	0.95	0.95
検出器量子効率	0.73	0.82
検出器窓材	0.90	0.90
トータルスループット	27.7%	31.0%

想定値の算出に用いた値

■実測値

$$\text{実測値}[\%] = \frac{I_{obs}}{I_{ture}}$$

$I_{obs}$  観測によって算出した電子数[e-]  
 $I_{ture}$  星の光がすべて到達した際 検出される電子数[e-]

	g'band	i'band
0等星のFlux Density[erg/s/cm2/um]	5.11E-05	1.28E-05
BPF帯域幅[μm]	0.1297	0.1547
測光に用いた星の等級	12.588	13.104
測光で得られたカウント値[ADU]	33912.6	32674.12
コンバージョンファクタ[ADU]	15.6	15.6

実測値の算出に用いた値

■結果 想定値に比べ実測値が giともに10ポイント以上悪い結果となった

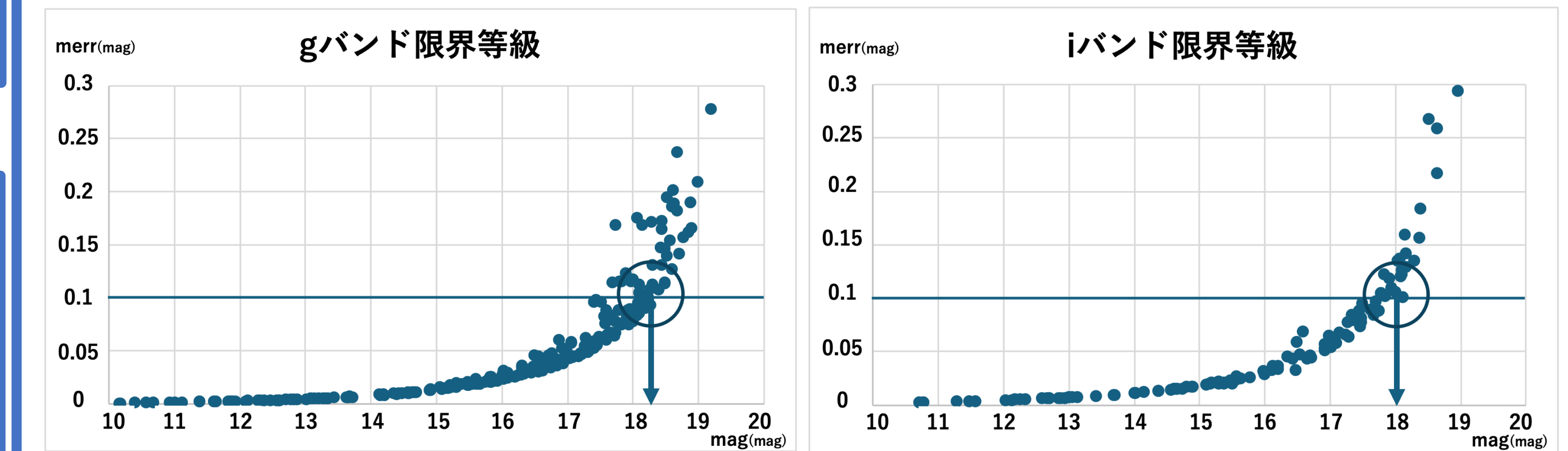
	g'band	i'band
想定値	27.7%	31.0%
実測値	13.9%	19.0%
想定との差	13.8	12.0

大気透過の見積もり、副鏡の反射率 検出器のQEを疑っているが、現状、原因は特定できていない。

## まとめ

- SIRIUSと併用可能なIRSF1.4m望遠鏡用可視2バンド同時撮像装置"V-Cam"を開発し、南半球での可視-近赤外5バンド同時観測が可能になった。
- (スループット)想定より10ポイント以上悪い結果となった。実測できていない値の見積もりにより、推定が実際より良く出ている可能性がある
- (限界等級)想定よりgで0.4等深く、iで0.6等浅い結果となった。既存の装置と同じレベルでは想定と合致していない。

## 結果



想定値に比べ実測値が gで0.4等深く、iで0.6等浅い結果となった (KSIRIUS想定値-実測値: J+0.6等,H+0.2等,Ks+0.1等)

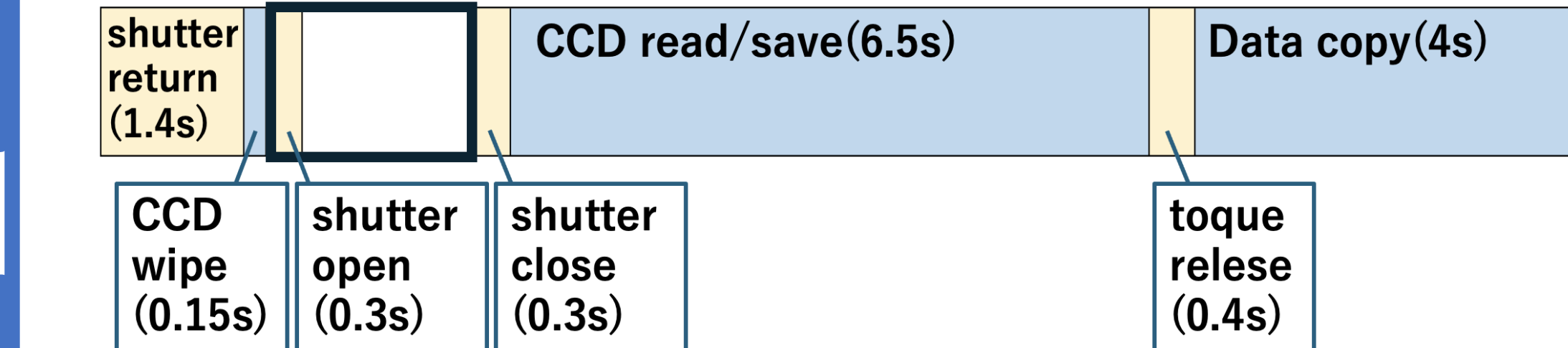
	g'band	i'band
想定値	17.9	18.6
実測値	18.3	18.0
想定との差	-0.4	0.6

想定値と実測値は0.1~0.2等の範囲で合致していない

## 読み出しのタイミング

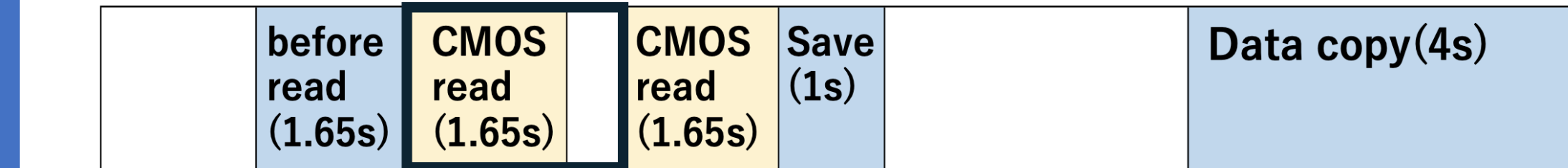
以下のタイミングでSIRIUSとV-Camそれぞれの読み出しを行うことにより、同時撮像を行なっている。

## V-Cam Exposure time



- コマンド1つで5バンドのFITS画像が同一のds9に表示される
- 最短積分時間2秒
- オーバーヘッド 12.6秒

## SIRIUS Exposure time



## ライトカーブ

SIRIUS-Vのデモンストレーションとして5バンドによる連続測光を行い、ライトカーブを作成した。

(Object) Gaia DR3 3130088774241620608  
dwarf nova  
20s積分を100分間連続測光

- 高い時間分解能
- 天体の色の情報

系外惑星トランジット観測 激変星などの短時間変動天体に有効!

