

近紫外線波長帯の効率を高めた 撮像装置の開発・製作

千葉工業大学
CHIBA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

広島大学

秋田谷 洋, 諸隈 智貴 (千葉工業大学・惑星探査研究センター),
川端 弘治 (広島大学・宇宙科学センター)

1. 背景

- 近紫外線の観測は、中性子星連星合体にともなうキロノバ現象の検証、ニュートリノ事象にともなう突発天体現象、超新星爆発や活動銀河核等における高温・高エネルギー現象を理解する上で重要である。
- 「近紫外線(=300-400nm; NUV~u-band)観測」を目指して、
 - ✓ 「この波長の感度に注力した観測装置」を
 - ✓ 「低コスト・短時間で製作」して、
 - ✓ 「手近な望遠鏡(かなた)に装着して早期に観測」する。
- 現在「基礎検討」「観測環境調査」「初期装置製作」を進めている
- 2023年度内の初期観測を目指している。
- 写真乾板・光電子増倍管の時代は、U-bandに代表されるように近紫外線観測が盛んであったが、1980年代以降のCCD普及で感度のピークが長波長側に移行した。
- 最近では近紫外線の感度が優れたCCD・CMOS素子が登場している。
→再び近紫外線観測に注目する好機

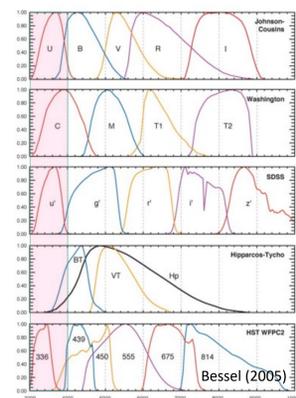


図1: 本装置が狙う波長帯

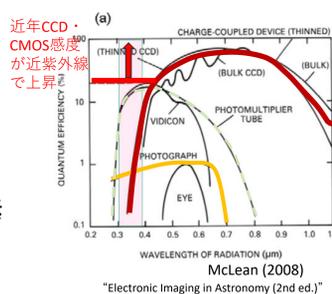


図2: 観測研究における検出器感度の変遷

2. サイエンスケース

- 重力波対応天体・中性子星連星合体
 - ✓ 「青いキロノバ」成分の検証
 - ✓ 本装置でu-band~20 mag(AB)の感度を達成。発見後1-2日の光度振る舞いを捉えられる。(GW170817と同等の場合)
- 高エネルギーニュートリノ multiplet 事象
 - ✓ 超新星起源であれば $\sim 2 \times 10^4$ Kの高温成分を近紫外線で同定
- 突発天体: 高エネルギー・高温度現象の黒体放射
 - ✓ $T_{peak} \sim 1 \times 10^4$ K / $(\lambda[nm]/300[nm])$
- C型小惑星近紫外線吸収帯
 - ✓ 含水鉱物・脱水過程のプロープ

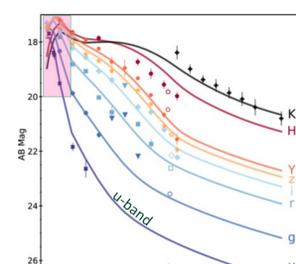


図3: GW170817の光度曲線 (Cowperthwaite+17) と本装置で観測しうる領域

3. 観測装置構想

設計仕様

- 撮像(視野 $5' \times 5'$), スリットレス分光 ($R \sim 40$), 直線偏光観測機能
- 東広島天文台口径1.5m かなた望遠鏡 2nd ナスミス焦点
- フィルター: SDSS u', 中帯域(300-350nm=u-short, 350-410nm=u-long), (g', r'も低効率だが観測可能)
- 検出器: CMOS GPixel Gsense 400-BI UV
 - ✓ 2048 x 2048 pixels; 11 μ m/pix
 - ✓ QE: 50-70% at NUV (UV仕様)
 - ✓ FLI KL400冷却カメラモジュール

光学設計

- CaF_2 + fused silica 2枚構成
- 視野 $5' \times 5'$ 内; 93% Encircled energy in 2 pix (0.29 arcsec)
- 300-400nmに最適化したARコート
- 設計: (株)フォトクロス
- 広視野光学系(再結合光学系; 11枚レンズ構成; 視野 $14.1'$)も設計済



装置仕様詳細

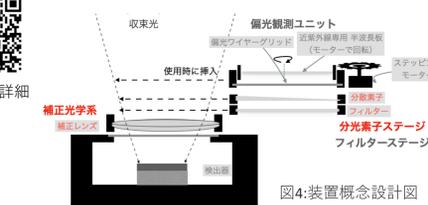


図4: 装置概念設計図



図5: かなた望遠鏡と第二ナスミス焦点

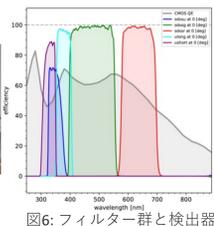


図6: フィルター群と検出器量子効率

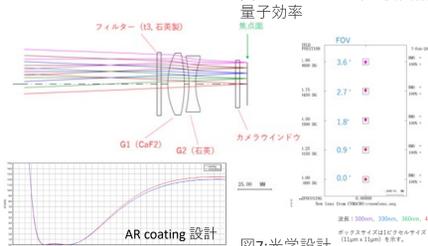


図7: 光学設計

限界等級 (magAB)

- S/N=5
 - 18.0-19.0 (t=10 sec)
 - 19.0-20.0 (t=100 sec)
- S/N=20
 - 16.5-17.5 (t=10 sec)
 - 18.0-19.0 (t=100 sec)

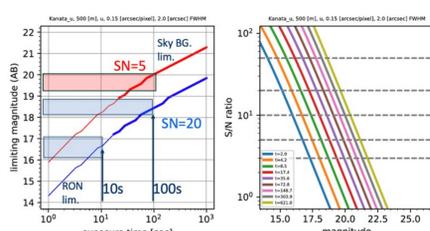


図8: 限界等級推定 (かなた望遠鏡 標高=512m, sec(z)=1.2)

- 装置効率推定
 - ✓ u-band・大気込み

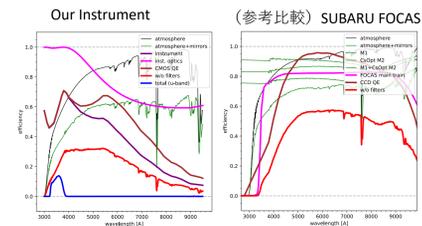


図9: 装置効率推定

4. 装置開発・製作現況

- バンドパスフィルターの分光透過率を測定 (NAOJ ATC オプトショップ 分光光度計)

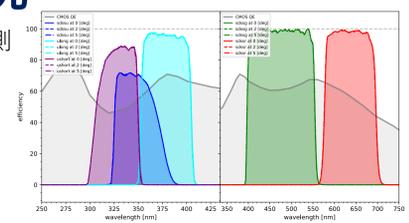


図10: NAOJ分光光度計 (左)、バンドパスフィルター (中)、測定した分光透過率 (右)

- かなた望遠鏡への装着準備
 - ✓ 第二ナスミス焦点の光路上にあるBK7光学窓2枚(望遠鏡光度軸エンコーダ気密保護用; 近紫外線不透過)の除去; 2023/9-11月に実施予定



図11: かなた望遠鏡第二ナスミス焦点と既存のBK7光学窓

- 近紫外線大気透過率の検討
 - ✓ LOWTRAN7 大気モデル (Kneizys88) を用いて u-band 透過率を推定
 - ✓ 低標高でも一定の透過率
 - ✓ 少なくとも>2000mの標高では実測値がモデルとよく一致

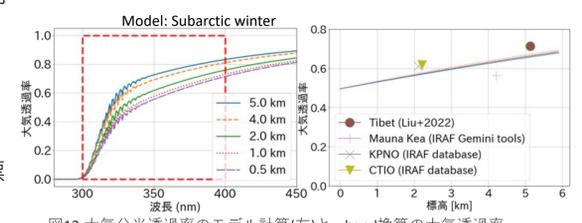


図12: 大気分光透過率のモデル計算(左)とu-band換算の大気透過率・実観測サイトの実測値(右)

- 直近のグレードアップ計画
 - ✓ u-band、近紫外線中帯域フィルター(u-short: 300-350nm; u-long: 350-410nm)を、低効率の市販量産品からpeak透過率~100%のカスタマイズ品に置き換え
 - ✓ u-bandで限界等級0.7 mag 向上 → 検出天体数の劇的向上

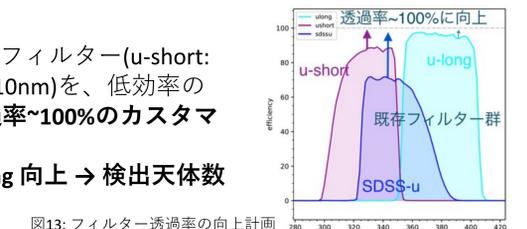


図13: フィルター透過率の向上計画

5. 計画

(1) スケジュール

- FY2022
 - 装置概念設計
 - 光学設計
 - 観測環境評価(机上)
 - 本機器購入(CMOSカメラほか)
- FY2023 (本年度)
 - 装置本体製作
 - かなたでの初期観測(秋-冬のファーストライト)
 - 観測環境調査 (実地)
- FY2024
 - 観測(国内、海外展開の検討)
 - 装置の改良・刷新

(2) 予算

- 獲得済
 - FY2021-: 惑星探査研究センター経費; 基礎検討、CMOSカメラモジュール、小型光学素子、光学設計、etc.
 - FY2023-2025: 東レ科学研究助成 (PI: 諸隈, Co-I: 秋田谷, 川端) 1300万円; 初期装置製作・観測
- 今後 ~2.5年: 現予算+内部経費+外部資金追加獲得で活動
 - 申請中: FY2024-2025 「マルチメッセンジャー宇宙物理学」学術変革領域研究 (A) (公募研究) E02: バンドパスフィルター刷新による限界等級向上 ($\Delta m \sim 0.7 \text{ mag @ u-band}$)

6. 謝辞

- ◆ 東レ科学技術研究助成金(「近紫外線専用観測装置の開発による地上近紫外線天文学の再興」、課題番号 22-6310、2023-2025年度、1300万円、代表: 諸隈智貴)
- ◆ 国立天文台先端技術センター共同利用(施設利用): オプトショップ測定器による光学素子の分光透過率測定