

# 広島大学1.5m『かなた望遠鏡』を用いた突発性天体の 多波長・多モード観測

川端弘治<sup>a)</sup>・かなた望遠鏡チーム一同<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> 広島大学 宇宙科学センター

Multi-wavelength, multi-mode observation of transient objects with the 1.5-m ‘Kanata’ telescope of Hiroshima University

Koji S. KAWABATA<sup>a)</sup>, Kanata Telescope team<sup>a)</sup>

## Abstract

We are promoting optical and near-infrared observations with the 1.5-m Kanata Telescope since 2006. It is dedicated mostly for multi-wavelength and/or multi-mode (photometry, spectroscopy and polarimetry) observations of transient objects, such as gamma-ray bursts, blazars, dwarf novae, classical novae, and supernovae. The telescope has three instruments, TRISPEC, HOWPol, and high-speed spectrograph. We describe the current status of the telescope and the primary functions of the three unique instruments. Additionally, we introduce some recent studies with the Kanata telescope.

**Key Words:** Small telescope, multi-wavelength, polarimetry, GRBs, blazars, dwarf novae, classical novae, supernovae.

## 1 広島大学かなた望遠鏡

広島大学は、広島大学理学研究科のグループが開発に携わっているX線・ガンマ線天文衛星 [1] と連携した高エネルギー宇宙現象の研究をより多角的に推進すべく、国立天文台より赤外シミュレータを譲り受け、改良を施し、観測装置を整備して、気象条件の良い西日本地域での観測研究を進めている。当望遠鏡の受け入れ・運用母体として2004年に広島大学宇宙科学センターが発足した[2]。望遠鏡の移設予定地としては当初、国立天文台岡山天体物理観測所（OAO）の構内を予定していたが、半年以上に亘る調査の結果、広島大学近郊にOAOと同等に良いシーディング環境（Rバンド中央値1.1秒角 [3]）を持つ一帯があることが判り、天文台建設地は東広島市下三永地区に決定した。2006年に東広島天文台が完成して望遠鏡が据えられ、同年秋から観測が開始されている。

移設に際し、かなた望遠鏡（図1）には制御系などの改修が施された。特に、架台部分は軸受け型から、西村製作所製の直径3mのRガイド型に一新された。これらにより、1mクラスの望遠鏡では少ない、方位軸速度毎秒5° の高速駆動性能を達成し、ガンマ線バースト（GRB）の即時観測にも有利な性能が得られている。設置・調整後の指向精度は最良3秒角r.m.s.程度、ハルトマン定数は0.3秒角程度である。

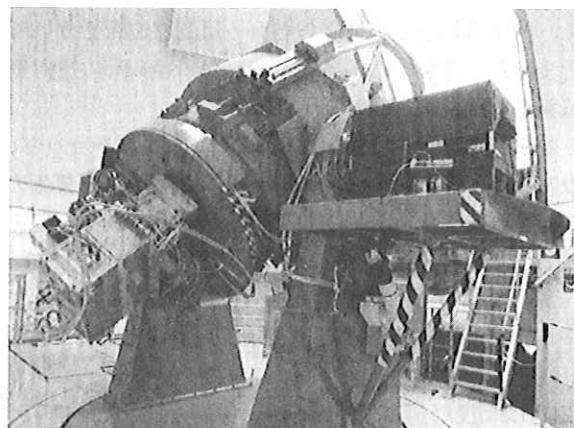


図1 かなた望遠鏡 カセグレン焦点のTRISPECと第二ナスミス焦点の高速分光器が見えている。HOWPolは向こう側の第一ナスミス焦点に設置されている。

## 2 観測装置

かなた望遠鏡は3つの焦点をもち、2009年現在、カセグレン焦点にはTRISPECが、第1ナスミス焦点にはHOWPolが、第2ナスミス焦点には高速分光器が、それぞれほぼ常設されている。

TRISPEC [4][5] は、名古屋大学Z研で開発された可視近赤外同時撮像分光装置で、可視1バンド、近赤外2バンドの計3バンドでの同時多バンド観測が可能であり、観測モードも、撮像、低分散分光の他、偏光観測

## 広島大学 1.5m『かなた』望遠鏡を用いた突発性天体の多波長・多モード観測

も可能となっており、かなた望遠鏡で観測を始めてから、その研究目標にマッチした主力装置として様々な天体の観測に活躍している。

HOWPol [6][7][8][9] は広島大学で開発が進められてきた1露出型可視広視野偏光撮像器で、ガンマ線バーストのような位置決定精度が悪く、且つ時間変動の激しい天体に対して最適化した装置である。視野の広さを活かした撮像の他、2009年5月以降はGRBのアラートを受けて自動的に望遠鏡を指向し、偏光観測を行うシステムがスタンバイしている。

高速分光器[10] は京都大のグループ（嶺重、野上両氏）を中心に開発された装置で、1秒間に約30フレームのレートでの読み出しが可能なCCDカメラを備えた（超）低分散の可視分光器である。主光学トレインはHOWPolと共に通る。

なお、広島大学と国立天文台を中心とするグループ（山下ほか）では、かなた望遠鏡におけるTRISPECの後継機として、可視赤外同時カメラHONIRの開発を進めしており[11]、2010年度からの観測目標にしている。HONIRは検出器のピクセルスケールがかなた望遠鏡に最適化され、特に近赤外域での限界等級が3等程度深くなると期待される。

### 3 観測成果

広島大学では、かなた望遠鏡の豊富な観測時間を活かして、大望遠鏡では困難な、変動天体の継続的観測を重点的に推進している。対象天体は、X線やガンマ線で明るい高エネルギー天体（GRB、ブレーザー、X線連星等）や、それ以外の突発性天体（矮新星、新星、超新星、彗星）、変動天体（前期主系列星）などである。望遠鏡時間の8割型は広島大学のメンバーが主導する観測に充てられるが、約1割は、名古屋大、京都大、東京大、東北大、大阪大、山口大など他機関のメンバーが主導するプロジェクトに充てられている。観測は大学院生が主導して行っている。最新の観測結果の一部はウェブサイト <http://kanatatmp.g.hatena.ne.jp/kanataoblog/> に逐次掲載している。

#### 3.1 GRB

かなた望遠鏡では、当初よりGRBの初期残光の観測に力を入れており、TRISPECおよびHOWPolを用いた即時観測を推進している[12][13]。最近では1露出型偏光モードによる観測を開始しており、GRB 091208Bにおいてはガンマ線トリガーから150秒後の可視残光の偏光観測開始に成功している。これは最も早い偏光観測例であり、較正が済み次第、いずれかで公表する予定である。

図2にはかなた望遠鏡とTRISPECで観測したGRB

080506の光度曲線を載せる[14]。この図ではSwift/XRTによるX線残光も併せてプロットしているが、t~500秒付近のX線フレアに伴う可視光度の変化はみられない。またSEDやその時間変化においても可視とX線の相関はみられず、両者の輻射機構は異なることが示唆される。同類の結論が、GRB 071112Cに対しても得られている。

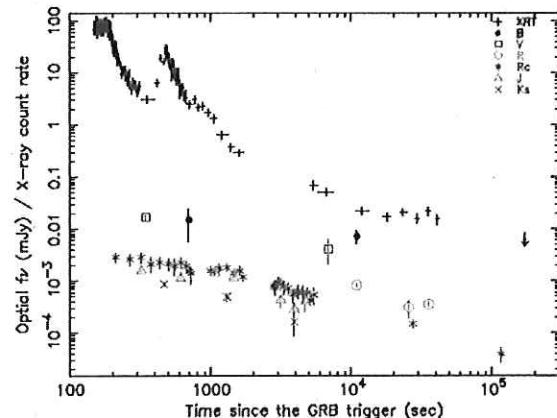


図2 GRB 080506の光度曲線  $t=200\text{--}5000\text{秒}$ における青いシンボルがかなた望遠鏡の観測。X線観測(黒)のフレアに伴う可視の変動はみられない [14]。

#### 3.2 ブレーザー

2008年6月にNASAから打ち上げられたガンマ線衛星フェルミは、ブレーザーと呼ばれる活動銀河核に対するMeV-GeV領域の観測に優れ、その連携を目的として、かなた望遠鏡でもTRISPECを用いた可視・近赤外偏光観測を2008年夏より特に重点的に推進している。フェルミ衛星の主力検出器LATには広島大学と浜ホトトが開発・供給したセンサーが用いられており、また打ち上げ後も日米欧の当番制の仕事を担当するなど、広大の貢献している面も多い。

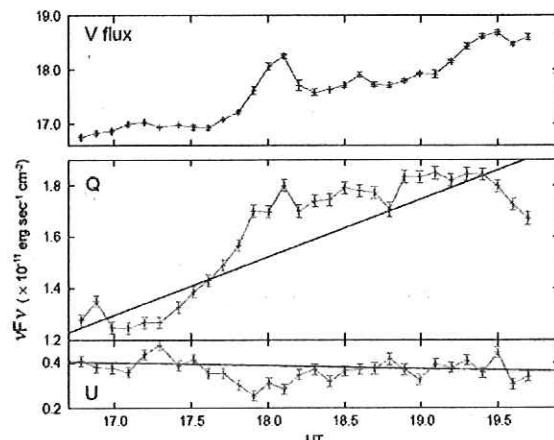


図3 ブレーザー S5 0716+714の光度・偏光の短時間変動の発見 [18]

かたな望遠鏡では、ここ2年程度で、約40天体に対してかつて無いほどの大規模な可視・近赤外偏光データのサンプルが得られており、その解析が進められている[15][16][17]。S5 0716+714に対しては、約15分という、AGNにおいては非常に短いタイムスケールでの光度・偏光が相關した時間変化を初めて捕らえ、活動領域のサイズに制限を付けた（図3）[18]。3C 454.3などにおいては光度変化に伴う偏光ベクトルの大きな回転が観測されている。また、フェルミ衛星と連携した、ガンマ線強度と可視光偏光の変動の相関についての研究も進められている[19][20]。

### 3.3 超新星

かたな望遠鏡では、明るい超新星に対する継続的観測も行われている。図4は、2009年4月に発見されたIa型超新星 SN 2009dcのかたな望遠鏡によって得られた極大時の総輻射光度である。この超新星は総輻射強度は、通常のIa型超新星に比べて2倍以上、 $^{56}\text{Ni}$ 質量だけでチャンドラセカール質量を超えることが示唆され[21]、super-Chandrasekhar mass, type Ia supernovaeの3例目として記録される例となった。この超新星に対しては、県立ぐんま天文台や国立岡山天体物理観測所、鹿児島大、東京大などの観測連携も行われ、超新星外層に不燃の炭素が大量に存在したこと、偏光が弱く見かけは球対称に近かったことなども判り[22]、同種の超新星研究に対して新たな展開も期待される。

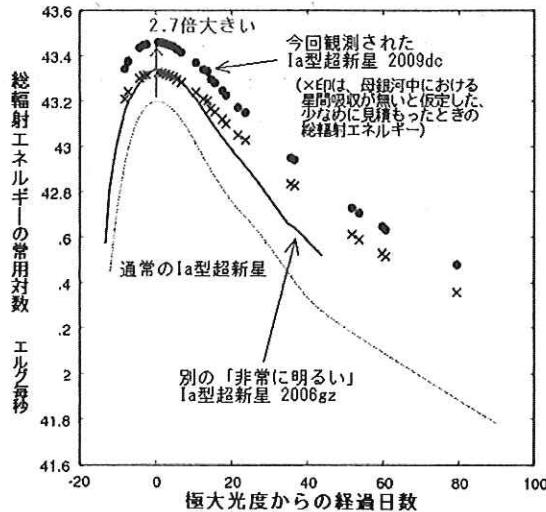


図4 極めて明るい「super-Chandrasekhar mass」Ia型超新星 SN 2009dcの総輻射光度の時間変化 [22]

### 3.3 マイクロクエーサー

X線連星のうち、VLBI観測などにより光速に近いジェット現象が観測されるものは、その現象等の相似性からマイクロクエーサーと呼ばれ、かたな望遠鏡でも観測されている[23]。図5は2007年から2008年に掛け

てのKsバンドの光度曲線（上段）である。このKsバンド光度は、X線強度きれいに反相関している。このような観測例は初めてのもので、降着過程を探る上で重要な結果になるであろう。かたなによる近赤外域を含む重点観測が活かされた好例である[24]。

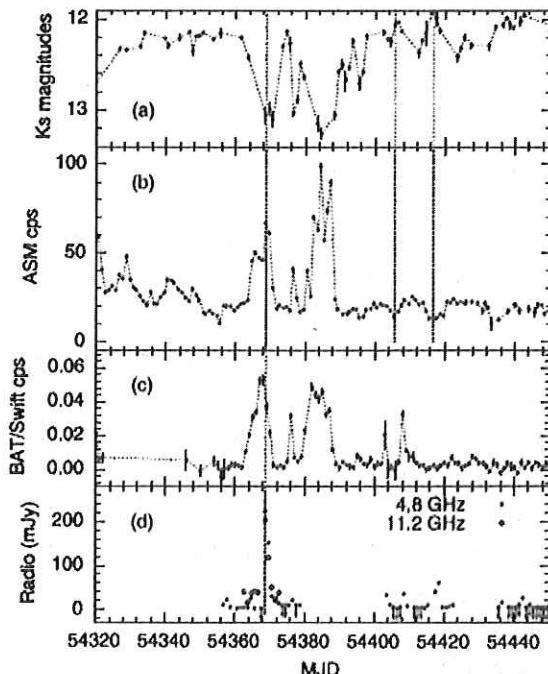


図5 マイクロクエーサーGRS 1915+015の近赤外光度（一段目）とX線強度（二段目）の反相関の検出[24]。X線は電波強度（三段目）と相関し、ジェットの放出に伴い強くなったと考えられるが、近赤外域が暗くなった理由はよくわからない。降着円盤風の関連も検討される。

### 3.4 矮新星

かたな望遠鏡では矮新星の観測も多数行われている[25][26][27]。図6は2007年9月にスーパー・アウトバーストと呼ばれる現象を示したWZ Sge型矮新星 V455 Andの可視・近赤外同時測光観測の結果である[28]。この観測は、増光中のフェーズをカバーし、且つ可視光と近赤外線で同時に観測が行われた、珍しいサンプルとなった。増光から2週間余り経った後、急激な減光とカラーの赤化を示したが、その後はカラーはほぼ一定を保ったまま（黒体輻射温度~8000K）、光度は緩やかに減光した。これはアウトバースト中も降着円盤外縁部に多量の物質があることを示唆し、WZ Sge型でみられるアウトバーストのエコーを説明しうる結果である。

### 3.5 新星、その他

これらの天体以外にもかたな望遠鏡では、多数の新星や、マイクロレンジング現象などの突発現象などに対して観測が行われてきている。特に新星に対しては、

## 広島大学1.5m『かなた』望遠鏡を用いた突発性天体の多波長・多モード観測

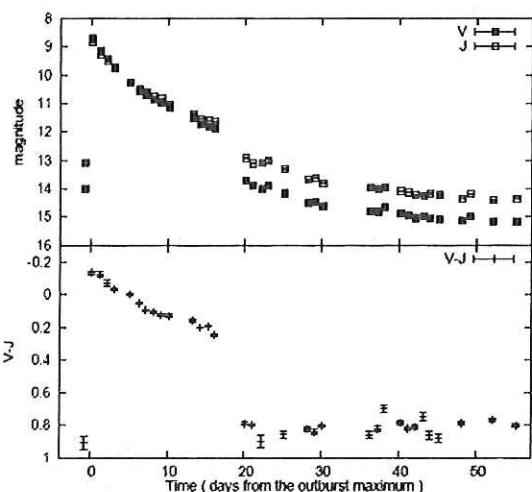


図6 V455 Andの2007年スーパー・アウトバーストの可視近赤外同時観測の結果。t=20日付近の急減光に伴い、着陸円盤が低温状態に遷移し、その後徐々に縮んだことが示唆される [26]。

可視・近赤外同時の測光・分光、偏光分光観測が行われ、興味深い結果も得られつつある [29][30]。他機関のグループが主導する観測研究として、太陽系内惑星・衛星の可視近赤外スペクトルアトラス [31] や彗星の偏光分光観測[32] なども挙げられる。

### 4まとめ

東広島天文台での観測が開始されてから3年余りが経過した。その間、望遠鏡や観測装置に大きなトラブルはなく、可視赤外同時観測や偏光観測といったユニークな観測モードのデータを順調に産出し続けてきた。

かなた望遠鏡で得られたデータが用いられた査読論文として、これまでに12編が公表済みないしは掲載決定となっているほか(うち8編は広島大所属者が筆頭著者となっている)、2編の博士論文、9編の修士論文(うち2編が広島大以外の大学院生によるもの)が産出されており、順調に成果を上げつつあると言えよう。データがあまりにも順調に産出されるため、マンパワーの制約により、データ解析が追いついていない面もあるが、学外研究者との連携研究が少しずつ増えているほか、学内の大学院生も育ってきており、状況は徐々に改善されつつある。X線衛星すくに加え、2008年に打ち上げられたフェルミ衛星などの多波長連携研究も本格化しており[18][19][33]、成果の裾野はさらに広がりつつある。

### 参考文献

- [1] 大杉節(監修)、Atwood, W. B., Michelson, P. F., Ritz, S. (原著)、日経サイエンス2008年3月号 (2008)
- [2] 川端弘治 天文月報, 98, pp. 688-689 (2005)

- [3] 千代延真吾 広島大学2004年度卒業論文 (2005)
- [4] Watanabe, M., et al., PASJ, 117, pp. 870-884 (2005)
- [5] 佐藤修二 天文月報, 102, pp. 267-271 (2009)
- [6] 千代延真吾 広島大学2006年度修士論文 (2007)
- [7] Kawabata, K. S., et al., SPIE, 7014, 70144L-10 (2008)
- [8] 田中祐行 広島大学2008年度修士論文 (2009)
- [9] 小松智之他 日本天文学会2009年秋期年会 (2009)
- [10] 磯貝瑞希他 日本天文学会2008年春期年会 (2008)
- [11] 宮本久嗣 広島大学2008年度修士論文 (2009)
- [12] Urata, Y., et al., ApJ, 668, pp. L95-L98 (2007)
- [13] Uemura, M., et al., submitted
- [14] 上原岳士 広島大学2008年度修士論文 (2009)
- [15] 池尻祐輝他 日本天文学会2009年秋期年会 (2009)
- [16] 先本清志他 日本天文学会2009年春期年会 (2009)
- [17] Uemura, M., et al., PASJ, in press
- [18] Sasada, M., PASJ, 60, pp. L37-L41 (2008)
- [19] Hayashida, M., et al., submitted
- [20] 伊藤亮介他 日本天文学会2009年秋期年会 (2009)
- [21] Yamanaka, M., et al., ApJ, 707, pp. L118-L122 (2009)
- [22] Tanaka, M., et al., submitted
- [23] Nagae, O., et al., AJ, 137, pp. 3509-3519 (2009)
- [24] Arai, A., et al., PASJ, 61, pp. L1-L5 (2009)
- [25] Uemura, M., et al., IBVS, 5815, 1
- [26] Uemura, M., et al., PASJ, 60, pp. 227-236 (2008)
- [27] Imada, A., et al., PASJ, 60, pp. 1151-1158 (2008)
- [28] Matsui, R., et al., PASJ, 61, pp. 1081-1092 (2009)
- [29] Arai, A., et al., submitted
- [30] 保田知則 広島大学2007年度修士論文 (2008)
- [31] Lundock, R., et al., A&A, 507, pp. 1649-1658 (2009)
- [32] 古荘玲子他 日本天文学会2008年春期年会 (2008)
- [32] Seta, H., et al., PASJ, 61, pp. 1011-1022 (2009)

(2009年12月21日受付, 2010年1月15日受理)