

# TRISPEC (トライスペック) なお生きて在り

## —可視近赤外 3 チャンネル撮像分光偏光装置—



佐藤 修二

〈名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理学専攻 〒464-8602 名古屋市千種区不老町〉

e-mail: ssato@z.phys.nagoya-u.ac.jp

TRISPEC (トライスペック) = Triple Range Imager and SPECTrograph with Polarimetry: 〈可視+近赤外〉3チャンネル撮像分光偏光装置は計画開始から13年後の2006年に、広島大学東広島天文台かなた望遠鏡に搭載された。2009年現在、ほぼ順調にデータを提供し続けている。期待どおり、時系列 $t$ に沿って、天体の強度 $I$ 、スペクトル $S$ 、偏光 $P$ のデータを刻々と取得している。

## 1. はじめに

広波長域にわたる測光と分光と偏光機能の観測装置は、私の夢であった。

『偏光—岡山, 上松, マウナケア, そして「すばる」』。その末尾に—「すばる」の集光力と解像力を活かしたうえ、到来するフォトン $\Phi$ の偏波を完全に記述する測定は可能か? フォトン $\Phi$ のもつ情報:  $\{A(t)/\sigma/\nu/k\}$ を同時に記述するような装置を実現したい、と夢想している—と当時の天文月報にある<sup>1)</sup>。

1993年から名古屋で新たな実験開発のグループを立ち上げ、TRISPEC: 可視+近赤外3チャンネル同時撮像/分光/偏光装置の開発を行った。新しい研究室が、自分たちの頭で考え、自分たちの手で作り、13年後に定常観測にまでたどり着いた。その装置の遍歴と現状のメモである (写真1)。

## 2. TRISPEC の流転

### a. 計画の始まり

1994年、Z研初大学院生と科学研究費A:「広波長域低分散分光測光による天体動スペクトルの研究」を元手に、出発した。目標は、1) 広波長域 ( $\lambda_1 \sim \lambda_2$ ;  $\lambda/\Delta\lambda \sim 200$ ), 2) 測光 ( $I$ ), 3) 偏光 ( $P$ ), そ



写真1 かなた望遠鏡のカセグレン焦点部に搭載されて稼働中のTRISPEC (長さ1,200 mm × 幅1,000 mm × 厚さ400 mm, 重量450 kg)。

して、4) 視野  $\{\theta_x, \theta_y\}$  である。

当初の仕様は  $\lambda_1$  0.36 ~  $\lambda_2$  4.2  $\mu\text{m}$  (結果的に 0.46 ~ 2.5  $\mu\text{m}$ ) を3チャンネル分割して、視野/スリットは、3チャンネル共通とする。偏光は複屈折素子 (波長板+偏光子) の組み合わせ。悩んだのは、視野/カバーする波長域と、空間/波長分解能である。それらは検出器の素子数によって制限される。TRISPECの選択した方針は「明るさ (~輝

度の暗い天体の測光)と低分散(～輝度の暗い天体の分光)」である。

この装置は、従来にない仕様であったため、種々の実験開発が必要であった。低温屈折率測定装置、多点温度計、小型低温モーター、異種アレイ読み出し回路 MACS2, そして MESSIA-III, 等々である。

これらの課題は、大学院生たちが、金工室の協力を得て、一つずつ自作して克服した。MESSIA-III は、関口真木君に指導してもらった。光学系は、ベンチャー企業と共同で進めることにした。この部分が、後に遅延することとなる。ほかにもさまざまなトラブルや問題に出くわしたが、それらを通して、身をもって物事のリアリティー＝物理学を学ぶことができた(科研費報告書)<sup>2)</sup>。

#### b. ハワイ船出と座礁

1999年5月三鷹シミュレーターで試験後、6月ハワイに向けて出荷、ハワイ大学 UH88 で F10 撮像モードと F31 分光モードの観測を行った。ここで、ひどい“コマ収差”と“瞳ズレ”に気がついた。焦点を合わせても瞳が合わず瞳を合わせても今度は光軸が合わない。ハワイの2年間はすばるオフィスの一部を借りての実験、補修、そして観測の繰り返し、であった。UH88 で F10 撮像を中屋君、英国 UKIRT で2回の偏光分光観測を渡辺君の学位論文とした<sup>3)</sup>。

TRISPEC はハワイからの撤退を余儀なくされる。山頂でトラックに仕舞い込み山麓に降りて前途をヒロ湾の夕べの雲に馳せた。このとき、ハワイ観測所の人が一計「トライスペックを天文台の備品とする」を案じて帰途の路銀を工面してくれた(今も貼られている国立天文台の備品ラベルは安宅関の勸進帳)。2年間のハワイ流浪の後、2001年4月離島、5月無事帰国した。

#### c. 岡山へ一改修と再出発

2001年に名古屋に帰参した頃は、開発資金も尽

き、開発してきた院生たちも散り始めた。再起は絶望かと思えたが、何人かの人が装置の特異な機能に注目して期待してくれていたし、折よく科研費 B が続いて採択された。気を取り直して修理に立ち向かった。

光学系改修に2年を要した。木野君は一つ一つ光学系を取り出してはプロ並の検査をした。レンズは全部で26枚ある。ついに瞳をつくるべきフッ化リチウムレンズ(口径60mm)が、乱視であったことを発見した。不覚であった。

そんな折、世の中には親切で有能な人がいるもので、現存のフッ化リチウムレンズを活かした“解”を見いだしてくれた。そして再研磨された。また IR2 チャンネルは作り直した。最後に、すべてのカメラ系を組み込んで再調整を行った。これで直った。

次の問題は、TRISPEC を載せるべき望遠鏡がないのである。すばる望遠鏡は高く遠くはるか彼方。上松望遠鏡の復活を図るも電源不通。専用望遠鏡建設を企図して鏡研削や鏡面形状測定を試みたりした。この頃には、「“TRISPEC”は世間にいわれるほどは馬鹿な子ではない、時節に恵まれないだけなのだ」という確信がわいてきた。岡山観測所の共同利用に頼って生き延びることにした。

2003, 04年の2年間に計4回、岡山の74インチ望遠鏡を利用して露命をつなぐ。2004年秋に中国地方を襲った台風で、岡山74インチのドーム床に置かれた TRISPEC 制御コンピューターが冠水したこともあった。岡山での長滞留も2年過ぎて撤収を考え始めた。その頃、思いがけない方向から曙光が指し込む。

#### d. 東広島一かたに雄飛

2004年に、三鷹にあった口径1.5m赤外シミュレーター(望遠鏡)が広島大学に移管される話がまとまり、東広島天文台の建設が決まった。広島

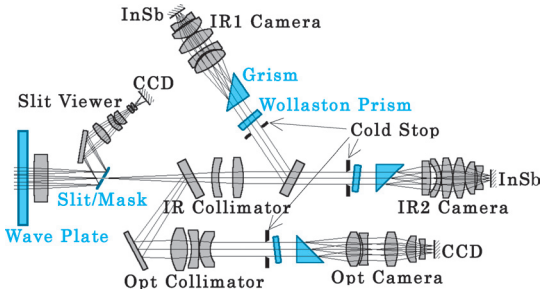


図1 分光偏光モードの光路図

Opt (0.46–0.9 μm), IR1 (0.9–1.8 μm), IR2 (1.9–2.5 μm), CCD, InSb は検出器。

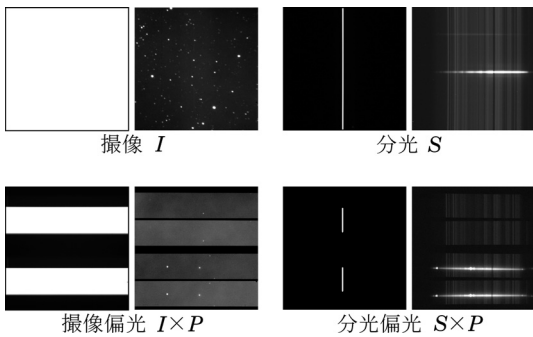


図2 4種類の焦点面マスク（各画像：左）と検出器上の像（同：右）。

大学との共同研究に備えて、ワークステーションとソフト、そして“瞳”を入れ替えた。望遠鏡駆動系の全面入れ替えの際に、脚（高度軸）の寸法を、TRISPECの丈(1.2 m)に合わせて20 cm 上げる改造をした。

2006年6月、かなた望遠鏡完成、7月 TRISPEC 搬入、8月カセグレン焦点搭載、9月より観測開始、以後2年以上にわたって、現在、TRISPEC は誠実に働き続けることになる。計画開始から予定の倍以上の13年目の2006年になって思

いどおりに天体フォトンが刻々と集められるようになった。

かなた望遠鏡の「機動性」と、TRISPECの「多様性と独自性」：広波長域にわたる測光と分光と偏光機能＝多モード同時性、が相まって、比類のない観測パラメーター空間を探っている(図1)。

### 3. TRISPEC の解説

TRISPEC の特徴は、

- 1) 一つの開口を共有、
- 2) 三つの独立した光学系(3チャンネル)、
- 3) 三つの機能(撮像 *I*/分光 *S*/偏光 *P*)、を備えている点にある。

それぞれのチャンネルは独立等価な(コリメーターとカメラ)光学系をもつ。コリメーター系は、収束光束を平行光束にする役目と同時に副鏡(物点)を結像した位置(コリメーター系のほぼ焦点)に“瞳面(像点)”ができる。ここに絞りを置く。光学系では、焦点面と同じ程度に瞳像面が重要である\*1。

この装置は、撮像モード：*I*が基本である。このモードでは、焦点位置では、全面を開放して(マスクなし：図2左上)、平行光束中の瞳の位置にストップ＝絞りを置く。

分光モード：*S*では、平行光束の“瞳”位置にグリズムを入れる。同時に焦点面にスリットマスクをおく(図2右上)。

偏光モード：*P*では、平行光束の“瞳”位置に、複屈折素子(ウォラストンプリズム)を入れる。同時に、焦点面に複マスクをおく(検出器上で、2偏光が重ならないように)(図2左下)。“窓”の直前で波長板を回転させる。

\*1  $a$  を副鏡-コリメータ主面間距離、 $b$  を焦点面-瞳像間距離、 $f$  を焦点距離とすると、 $1/a + 1/b = 1/f$ 、 $a \gg f$  から  $b \approx f$ 、すなわち、ほぼ焦点位置にくる。

瞳像の大きさ  $d$  は望遠鏡の  $F$  値によって異なる； $d = f/F$ 。TRISPEC は5回 ( $F_{12} \rightarrow F_{10} \rightarrow F_{31} \rightarrow F_{36} \rightarrow F_{18} \rightarrow F_{12}$ ) 瞳光学系を作り替え原点に復帰したことになる。

瞳の使い方はユーザーによって異なる。TRISPEC の場合、出射瞳として、1. 冷たい絞りを入れ、2. 光学素子を小さくし、かつ、3. 光束が素子の同一場所に当たるようにする使い方。

グリズムは光束を波長 $\lambda$ 方向に分散 (disperse) する, ウォラストンプリズムは光束を二つの偏光 (正常光/異常光) 方向に分離 (separate) する素子である. 図2において, 分散は横方向, 分離は縦方向にとってある.

偏光  $P$  は, 撮像  $I$  および分光  $S$  と併用できる. したがって, モードの数は,  $I+S+(I+S)\times P=I+S+I\times P+S\times P$ , すなわち, 撮像  $I$ , 分光  $S$ , 撮像偏光  $IP$ , 分光偏光  $SP$ , の4個となる. それに応じて, 焦点面マスクも4種類のパターンを切り換える. この四つの観測モードの中のどれか一つを選択して, 3チャンネルの情報を集める.

その結果, フォトンのもつ情報を, 3バンド同時にすくいとることが可能なのである. 撮像偏光  $IP$  モードの場合  $V/J/Ks$  3色, 分光偏光  $SP$  モードの場合  $0.46\sim 2.5\ \mu\text{m}$  の偏光分光の情報が同時に収集される. これらの点に TRISPEC 光学系の特徴がある\*2.

#### 4. TRISPEC の性能

表1. TRISPEC の性能.

	Opt	IR1	IR2
検出器 サイズ	CCD 512×512	InSb 256×256	InSb 256×256
視野 [分角]	7.0×7.0		
フィルター	$B, V, R, I$	$J, H$	$Ks, K$
限界等級 <sup>a</sup>	18.5	16.8	15.1
スリット [秒角]	3.3, 6.6		
波長域 [ $\mu\text{m}$ ]	0.46-0.9	0.9-1.8	1.9-2.5
波長分解能 <sup>b</sup>	138	142	360
装置偏光 [%]	<0.15	<0.3	<0.3
限界等級 <sup>c</sup>	12.8	12.0	9.7

<sup>a</sup> 撮像モードで点源を10分間積分した場合に  $S/N=10$  を達成する等級.

<sup>b</sup> 3.3秒角スリットを使用した場合.

<sup>c</sup> 偏光分光モードで点源を60分間積分した場合に偏光測定精度  $\Delta P=0.5\%$  を達成する等級.

TRISPEC は, 天体の放射温度計である. 温度からのズレ=非熱成分も検出できる. 激変星, 新星, 超新星,  $\gamma$ 線バースト, ブレーザー, 等々の時系列同時観測 (モニター), 即時対応 (アラート), また, 一つのスリットを3チャンネルが共有するおかげで, 高い信頼度で広い波長にわたる SED (スペクトラルエネルギー分布) をカバーできる特徴もある. それは超新星の SED の遷移や太陽系天体のスペクトルカタログ作成に活かされる.

広島大宇宙科学センターの植村 誠氏から, 毎週発行される「かなたステータスレポート」で現況がわかる (2月現在 77報目).

すでに論文が出版されつつある<sup>5)</sup>.

TRISPEC は1994年以來15年目の現在, 諸縁のありがたい不思議さに助けられて今も生きて在る. 『また越ゆべきと思いきや一命なりけり』である.

#### 参考文献

- 1) 広波長域低分散分光測光装置の提案: 天文月報 87 巻 第7号 (1994年7月号)
- 2) 科学研究費報告書 (課題番号: 07404007): 平成12年3月 研究代表者 佐藤修二
- 3) Watanabe M., et al., 2005, PASP 117, 870
- 4) ESO Messenger: X-shooter No. 120 (2005), No. 134 (2008)
- 5) 広島大学宇宙科学センター website

#### 参考資料1 経費

- i) 1995 科研費基盤 A: 広波長域低分散分光測光による天体動スペクトルの研究 (4年間) 3,390万円
- ii) 1996 民間共同研究 (藤井光学): 極低温下における光学定数測定装置の開発 500万円
- iii) 1997 大学院最先端設備費: 超構造総合解析システム「電磁波回折構造解析装置」3,000万円
- iv) 1998 すばる開発経費 (3年間) 1,800万円
- v) 1999 科研費基盤 B: 広波長帯偏光撮像装置によるフロキュラントな渦巻き銀河の研究 (2年間) 1,510万円
- vi) 2000 PPARC (英国粒子物理天文委員会) 168万円 開発経費 計 1億0368万円

\*2 フォトン  $\Phi$  のもつ情報を同時に記述する装置: 広波長同時の概念は今後追求される方向であろう. ESO Messenger に, X-shooter, The first second-generation VLT instrument と出ている<sup>4)</sup>. VLT 第2期装置のトップを切って, 2009年にデビューする. 偏光機能を有する点において TRISPEC はそれを凌駕すると思う.

## 参考資料 2 年表

- 1994 広波長域低分散分光測光装置の提案  
開発 @名古屋 5年
1999. 5 三鷹赤外シミュレータからハワイへ発送
1999. 6 ハワイ UH88 (1回目) 観測 撮像
1999. 9 ハワイ UH88 (2回目) 観測 分光
1999. 12 すばる持ち込み装置審査
2000. 8 ハワイ UKIRT (1回目) 分光偏光観測
2001. 2 ハワイ UKIRT (2回目) 分光偏光観測
2001. 5 ハワイ撤退  
光学系改修 @名古屋 2年
2003. 10 岡山 74 (1回目) (観測所時間)
2003. 11 岡山 74 (2回目) (石井プロポーザル)
2004. 5 岡山 74 (3回目) (観測所時間)
2004. 12 岡山 74 (4回目) (木野プロポーザル)
2005. 10 岡山 撤収  
データ取得系改修 @名古屋半年
2006. 7 東広島 (かなた望遠鏡) 搬送
2006. 8 東広島 (かなた望遠鏡) 搭載
2009. 3 現在稼働中

## TRISPEC, Being Active on the KANATA

Shuji SATO

*Department of Physics, Nagoya University,  
Furo-cho, Nagoya 464-8602, Japan*

e-mail: ssato@z.phys.nagoya-u.ac.jp

Abstract: TRISPEC (Triple-Range Imager and SPECtrograph with Polarimetry) is a three channel imager/spectrometer/polarimeter from optical to near infrared regions. The project was initiated in 1994 with an aim to collect all the parameters of incident photons through a single aperture. After we had experienced numerous developments, troubles and problems for more than a decade, TRISPEC has been commissioned on the KANATA Telescope at Higashi-Hiroshima Observatory since August 2006. It has been actively working since then. In tight collaboration with the small-sized telescope, it is revealing new niches and is producing unique data in parameter space; photometry  $I(t)$  at  $V$ ,  $J$ , and  $K_s$ -bands, spectro-photometry,  $F(\lambda: t)$  from 0.46 to  $2.5 \mu\text{m}$ , and polarimetry  $q(\lambda: t)/u(\lambda: t)$  simultaneously with time for various types of celestial objects; cataclysmic variables, novae, SNe, blazars,  $\gamma$ -ray bursts, planets, and so on.