

せいめい

—京大岡山3.8 m望遠鏡プロジェクト

長田 哲也

〈京都大学大学院理学研究科 〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町〉

e-mail: nagata@kusastro.kyoto-u.ac.jp



京都大学（以下、京大）理学研究科附属天文台の岡山天文台せいめい3.8 m望遠鏡 [1] は、おかげさまで国立天文台との協力により、リスクシェアでの公開とほいうものの大きなトラブル皆無で2019年前期から共同利用観測が行われてきています。今後は口径をフルに使った回折限界の高解像度を目指します。ここでは、プロジェクトの経緯を中心に、概要をまとめます。

1. はじめに

大学院に入ってからすぐの頃に、野辺山宇宙電波観測所の45 mミリ波電波望遠鏡が竣工し、ハワイ・マウナケアにあるJCMT*¹ 15 mサブミリ波望遠鏡と、さらにUKIRT*² 3.8 m赤外線望遠鏡を結んだ日英協力事業（日本学術振興会）が始まりました。世界最大の口径3.8 mの赤外線専用望遠鏡に、上松天体赤外線観測室の1 m望遠鏡で稼働していた偏光測光器（先輩の小林行泰さん製作）をNECのPC-9801で制御するようにして持ち込み、それまでにない低表面輝度まで観測することができたのは、頬ぺたをつねってみたくなるような体験でした。……そして、夢の3.8 m望遠鏡が岡山の地に、その三十数年後に完成するとは、思ってもいませんでした（図1）。

2. せいめいプロジェクトの経緯

2010年にまとめられたプロジェクトの説明書Blue Book（図2）の最後の章からひろってみます。せいめいに直接つながるものとして、1998年11月頃から3 m級望遠鏡計画が京大で議論さ

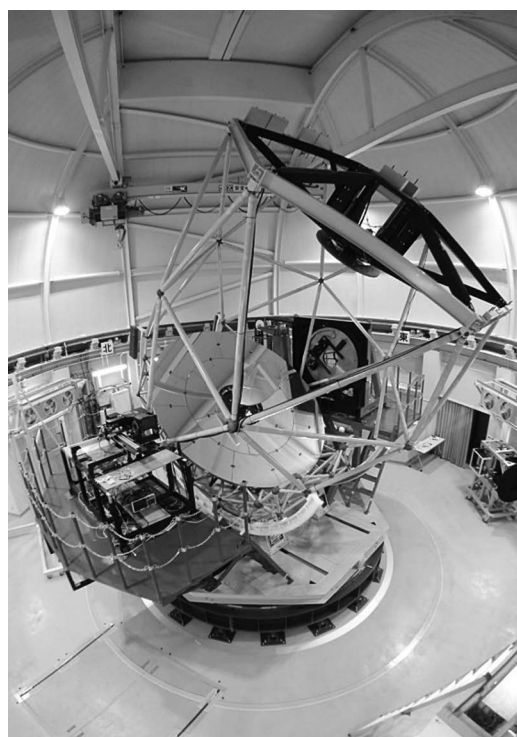


図1 2020年現在のせいめい。2つのナスミス台が青と赤に、など、地元の小学校の児童から募集した色ではっきりと塗られ、安全にも役立っています（カラーは表紙画像を参照）。

*¹ James Clerk Maxwell Telescope*² United Kingdom Infra-Red Telescope

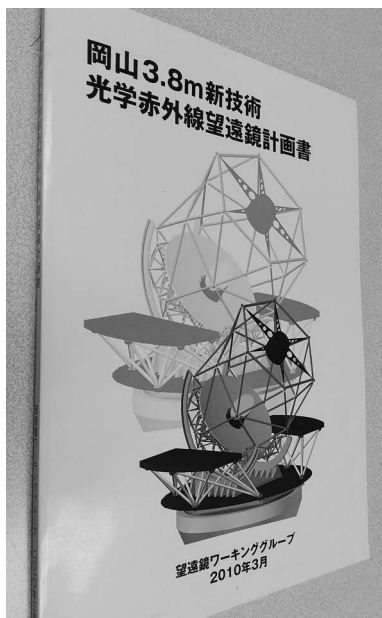


図2 2010年、ワーキンググループが132ページにまとめ、1,000部印刷して研究者や天文学コミュニティなどに配布した「Blue Book」。

れていました。1999年1月頃には、岡山天体物理観測所の188 cm望遠鏡の後継機という観点から、京大で大谷浩教授、平田龍幸助教授、太田耕司助教授（当時）らにより、岡山3 m望遠鏡ワーキンググループが結成されます。1999年の天文学会での光学赤外線天文連絡会（光赤天連）の総会では、3 m光学赤外線望遠鏡計画（予算約10億円）という案が初めて提示されました。この年の4月に柴田一成教授が附属天文台に、6月に舞原俊憲教授が宇宙物理学教室に着任します。2000年3月には宇宙物理学教室から3 m望遠鏡計画に関する概算要求が初めて京大理学部に提出されます。とは言え、翌年からも完成後の維持運営を考慮して附属天文台から引き続いて提出されるものの、附属天文台の太陽望遠鏡整備が1位で、3 m級望遠鏡計画は2位、つまり大学としては検討がなされないという状態でした。

2001年5月に学術会議の天文学研究連絡会（天文研連）の会議で特別議事録「岡山天体物理観測

所の将来計画について」が発表されます。「国立天文台付属岡山天体物理観測所を京都大学へ移管し、建設後40年を経た現有188センチ望遠鏡を新鋭の望遠鏡に置き換えて先端的研究を推進する…」とのことで、ここに初めて京大の計画が日本の天文学のコミュニティからサポートを受けたわけです。さらに、2002年2月には飛騨天文台の太陽望遠鏡整備の概算要求が認められたため、2003年度の概算要求としては3 m級望遠鏡計画が理学部（大型設備概算要求）の実質1位となりました。

2002年9月に当時の岩室史英助教授と岡山観測所吉田道利所長がアリゾナ周辺の中口径望遠鏡を視察、2002年9月の岡山ユーザーズミーティング／光赤天連シンポでは30 m望遠鏡などを念頭においた分割鏡の可能性が指摘され、検討が始まりました。2003年1月頃、トラス方式（軽量架台）の採用を決定します。

2003年4月に、再び学術会議天文研連で特別議事録「大学における光赤外線観測天文学の研究基盤の強化について」、さらに2005年5月の「大学における光赤外線観測天文学の推進について」が発表されるあたりは吉井譲さんの大学間連携特集の記事[2]に詳しいところです。2005年6月、東大との間に、「東大および京大の望遠鏡プロジェクト推進に関する協力関係についての協定」が結ばれますし、その間もその後も、理学部1位の概算要求がずっと出されますが、なかなか目に見える成果になりませんでした。

しかし、2005年前期には、別の面で大きな進展がありました。京大理学部宇宙物理学教室の卒業生、藤原洋氏（インターネット総合研究所代表取締役所長）から資金提供を受けて、産学連携で望遠鏡の基礎技術を開発し、同時にその技術を産業界にフィードバックすることにより、産学連携で3 m級望遠鏡を作ろうというプロジェクトが始まりました。2005年11月にはそのための企業、ナノオプトニクス研究所が設立され、2006年8月には、京大大学院理学研究科の宇宙物理学教室と

附属天文台・名古屋大学大学院理学研究科の光赤外線天文学研究室（佐藤修二教授）・国立天文台岡山観測所・ナノオプトニクス研究所の間で4者の協力に関する覚書が締結されます。これを受け、2007年10月に超精密加工機のナガセインテグレックス社で、望遠鏡の鏡を研削するための研削加工機（建設費約4億円）の完成披露式が開催されました。

大学の側では、2007年4月からの理学研究科将来計画委員会に望遠鏡ワーキンググループが設置され、平野丈夫副研究科長が将来計画委員長として、運用のメドがたったこと、国立天文台との共同運用や附属天文台の人員配置計画の内容も具体化されてきていることを2009年にまとめています。Blue Bookではこの後、大学間連携での進捗が書かれていて、2008年8月の観山正見国立天文台長からのメールで大学間連携へ、という流れは大学間連携の特集の記事[3]に書きました。その後、2012年8月に「京大岡山3.8 m新技術望遠鏡プロジェクト外部評価委員会」を開いていただき、海部宣男委員長から10月に学術会議物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会へと評価報告書が提出されました。ここで特に助言を受けた国立天文台との協力体制に関しては泉浦秀行岡山室長によりすばらしく整備が進みました。

私自身は、2004年に赴任後、理学研究科の巡り合わせで2013-2016年に副研究科長を務めて、事務部長や財務や施設などさまざまな事務の方々と胸襟を開いて話し合ったのが印象に残っています。2013年12月に平成25年度補正予算として望遠鏡が採択され、2015年に平成27年度当初予算としてドームが認められました。2012年に研究科長として国立天文台長と協議してくださった山極寿一さんは2014年から京大総長になり、ともに副研究科長をした平野さんは研究科長として2019年の開所式でご挨拶をたまわりました。

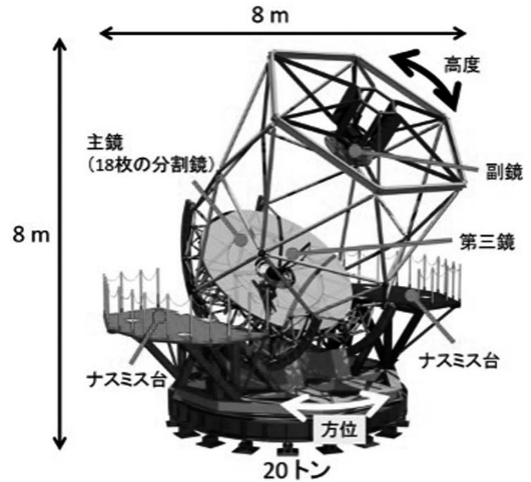


図3 せいめいの概要。

表1 せいめいの光学パラメータ。

主鏡有効径	3,783 mm
主鏡F比	1.32
主鏡焦点距離	5,000 mm
主鏡コニック定数	-1.034609
副鏡有効径	1,059 mm
副鏡焦点距離	1,667.4 mm
副鏡コニック定数	-2.73112 (凸面)
合成焦点距離	22,692.39 mm
合成F比	6.00
焦点面スケール	9".09 mm ⁻¹

3. せいめいの概要

せいめいで目指したのは、3.8 mでの回折限界を達成する高精度の鏡や、軽量の構造でのすばやい指向性といった技術を獲得することでした。その結果は、図3に示す口径3.78 mのリッチークレチエン光学系の経緯台式望遠鏡となりました。2つのナスミス焦点だけを持っていて、第3鏡を回転させることで即座に切り替えられます。光学パラメータは表1の通りです。米国キットピーク天文台のWIYN 3.5 m望遠鏡と似ています。6分角の視野を持ち、補正光学系を入れれば1度の視野まで拡張可能という設計です。

「鏡の制御」の記事[4]にあるように、主鏡は

18枚のセグメント鏡からなり、これに内周リングを加えた19要素を3点ずつのアクチュエータ57個で駆動して重力や風や熱変形を補正しています [5]。一枚一枚のセグメント鏡は軸対称でない非球面であり、高精度研削と研磨によって製作されました [6]。花びら形で内周6枚、外周12枚となっていて、内外周の段差をうまく計測しないと曲率に関する感度が低くなる [7] ので、センサの配置に工夫をしています。

「軽量の望遠鏡」 [8] の記事にあるように、新しく考案された望遠鏡構造、さらに遺伝的アルゴリズムでの最適化によって、軽量化が実現しました。1.4トンの光学系を含む支持構造は8トンで、方位方向に動く質量はすべて合わせて18トンにすぎません。そのため、5秒の加速の後に方位角は毎秒4度、高度角は毎秒3度での駆動が可能で、空のどの方向にある天体でも1分以内にとらえることができます。

2019年2月28日の初観測以来、1-6月と7-12月の半年ごとに国立天文台が共同利用観測を公募しています [9]。リスクシェアでの公開ではあるものの、当初から思いのほか順調に進み、エンジニアリング夜数は徐々に減って2021年前期は科学観測にあてる夜数が140夜となっています。共同利用と京大時間で折半して70夜、共同利用観測はレフェリーによる評価が行われ、せいめい小委員会が採択課題を決定しています。

4. 未来にむかって

現在のところ、せいめいはいわゆる光子バケツとして機能していて、その口径をフルに高解像度には活かしていません。3.8 mの回折限界を得るためには、セグメント鏡の間の段差を小さくして、口径3.8 mの全面でとらえる光の位相を合わせることが必要です。このために、レーザーを用いた段差の調整や、鏡の裏に設置したウォーピングハーネスで力を掛けて一枚一枚の鏡の形状もさらに良くする計画です。そして極限補償光学の観

測装置も開発中です。安定した望遠鏡と装置の運用により、岡山で若い研究者が試行錯誤を繰り返しながらしっかりと地に足のついた研究を進めていく手助けができれば、と願っています。

謝 辞

せいめいのたゆまぬ運用の延長で、天文月報編集委員の前原裕之さんにはこの記事の執筆でもひとかたならぬお世話になりました。

参考文献

- [1] Kurita, M., et al., 2009, PASP, 121, 266
- [2] 吉井讓, 2016, 天文月報, 109, 183
- [3] 長田哲也, 2016, 天文月報, 109, 102
- [4] 木野勝, 2021, 天文月報, 114, 268
- [5] 木野勝, 軸屋一郎, 2017, 計測と制御, 56, 449
- [6] 所仁志, 高橋啓介, 2017, 計測と制御, 56, 445
- [7] Shimono, A., et al., 2012, Proc. SPIE 8444, 84445Z
- [8] 栗田光樹夫, 2021, 天文月報, 114, 261
- [9] <http://seimei.nao.ac.jp/openuse/call-for-proposals/> (2021.1.08)

Seimei—Kyoto University Okayama 3.8 m Telescope Project

Tetsuya NAGATA

Graduate School of Science, Kyoto University,
Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto
606-8502, Japan

Abstract: The Seimei Telescope, a 3.8-m optical and infrared telescope located in Okayama, Japan was commissioned in 2019, thanks to many people's tremendous efforts for many years. The primary mirror of Seimei consists of 18 petal-shaped segments on an ALT-AZ mounting. We will aim at diffraction-limited images, by phasing the segments and employing adaptive optics in the future. The telescope tube has a light-weight homologous structure designed with a genetic algorithm. The total moving mass is only 18,000 kg including the two Nasmyth platforms; it can acquire anywhere on sky within 1 min. Seimei is operated by Kyoto University with the help of National Astronomical Observatory of Japan for the open-use time observations, which have been made without any serious problems since 2019 Feb 28.