

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

PRIME installation and first light at the South African Astronomical Observatory

氏名：近藤依央菜（大阪大学理学研究科 宇宙地球科学専攻D3・学振（渡航当時））

渡航先：南アフリカ共和国・北ケープ州

期間：2022年7月2日～8月20日

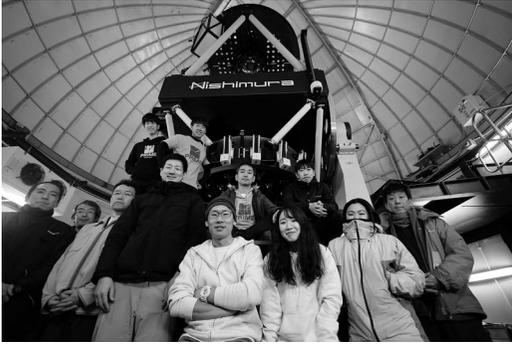
私は南アフリカ共和国の南アフリカ天文台サザーランド観測所でPRIME (PRime-focus Infra-red Microlensing Experiment) 計画における望遠鏡インストール作業に参加しました。

PRIME望遠鏡は近赤外線で最大級の視野 (1.45 deg^2) を持ち、世界で初めて近赤外線マイクロレンズ系外惑星探査を行います。近赤外線では、従来の可視光での探査に比べて以下の利点があります。星間減光が強い銀河系中心近くの星数密度の高い領域を観測可能であり、惑星発見数が増えること。また、検出感度が上がるため低質量惑星の発見数も増え、惑星の発見数が従来の可視光観測の10倍以上である42-52個/年にまで増えること (Kondo et al. 2023 in preparation)。したがってPRIMEの観測結果を用いることで、星数密度が高い領域での惑星存在量を世界で初めて見積もり、従来の可視光マイクロレンズ観測の結果と比較することで環境による惑星頻度の違いを検証できると考えられています。今回の渡航ではPRIME望遠鏡の本観測に向けて、望遠鏡のインストール作業・光学調整試験・観測準備・試験観測を行いました。本観測に使用される広視野近赤外線カメラ、PRIME-CamはNASAで製作中のため、今回の渡航では光学試験用カメラを用いて光学調整と試験観測を行いました。

インストール作業では、主に天体観測機器の製造会社である西村製作所の方々やサザーランドの技官の方々中心で望遠鏡の組み立てを行いました。方位ベース、ターンテーブル、フォーク、セ

ンターピース、トップリング、補正レンズユニット、主鏡というように望遠鏡を少しずつ組み立てていき、電源や水冷用のホースの配線作業等も行いました。私を含め阪大メンバーはその作業の手伝いと、光学調整に向けた準備を行いました。搬入用クレーンが丸一日動かなかったり、望遠鏡のパーツの一部にネズミが住み着いていたので半日かけて掃除を行ったり、ドームのスリットの間が狭く2トンの重さの主鏡がぶつからないように慎重に主鏡を搬入する必要があったり、強風で補正レンズユニットに砂が大量に入り込んで掃除が必要だったり等、トラブルも非常に多かったのですが無事に望遠鏡の組み立てを終えることができました。また、光学調整の準備として、広視野での収差を補正するためのレンズが4枚搭載されているレンズユニットと、カメラが取り付けられるローテータープレートのtip/tiltの傾きを測定し、輸送時の振動などによって輸送前と比べて大きくずれていないことを確認しました。

そして望遠鏡の組み立て終了後に、望遠鏡の性能評価、主鏡と光学収差補正レンズユニットの位置合わせを目的とした光学調整を三段階に分けて行いました。①まず三次元位置測定器で両者の位置合わせを行いました。これによって星をカメラに導入しやすくしたあと、②可視光の光学試験用カメラ (Z-band) を用いて、2022年7月22日にファーストライトを迎えました。このカメラでは、星をデフォーカスした像から得られた収差パターンを光線追跡ソフトでシミュレーションした収差パターンと比較し、光学系の相対位置を解析的に推定する手法 (Kuijken et al. 2004) とハルトマン試験の2つの手法を用いて、PRIMEの視野全体で光軸を微調整して光学性能を最適化を行いました。結果的には②に関して以前日本で行っ



PRIME望遠鏡完成時の大阪大学のメンバーと西村製作所の方々との集合写真。望遠鏡の建設を行った西村製作所の方々には、私たちのサザーランド観測所での生活も手厚くサポートしていただきました。心より感謝申し上げます。

たテスト結果と比べてそこまでハルトマン定数をよくすることはできませんでした。そこで③近赤外線光学試験用カメラ（H-band）を用いて、ハルトマン試験を行いました。この際に光線追跡シミュレーションで得たゼルニク係数と観測結果を比較することで、光学調整修正量を推定し、光学調整を行いました。その結果、最良値として視野中心でハルトマン定数 $0.26''$ 、視野平均で $0.295''$ を達成することができました。その後、追加のパーツの取り付け等により、最終的な値は視野平均で $0.32''$ になりました。

上記の作業と並行して、試験観測のための準備として、サザーランドのITの方々と協力し、現地でのネットワークの設定、サーバーの設置・環境設定等を行いました。光学試験後には、試験用カメラと望遠鏡の連動を組み込んだ観測パイプラインの開発やマイクロレンズアラートが出たイベントのフォローアップ観測や標準星の観測等を行いました。サザーランドでの50日間の生活は正直に言うところ少し長く感じましたが、毎日非常に充

実していました。作業の合間にスプリングボックスを見たり、星空を見たり、南アフリカの自然を十分に味わうことができました。特に、食事の時間では、共同研究者のDavid Buckley氏のほかにも、SALTやIRSFの研究者やサザーランドの技術者と一緒になることがあったため、近赤外線観測、観測機器に関してやお互いの研究内容に関する雑談をすることができました。また、作業の空き時間に、SALT、IRSE、ATLAS、KMTNet等、サザーランドに設置してある他の望遠鏡や観測室など見せてもらいお話しすることができたため、研究者交流という面でも非常に有意義な渡航でした。

本渡航は、当初は2021年12月に予定されていましたが、新型コロナウイルスの影響で延期になりましたが、不安定な状況のためなかなか渡航の見込みが立ちませんでした。今回、無事に望遠鏡のインストールと試験用カメラでのファーストライトを迎えることができ、大変感激しました。NASAで製作中のPRIME-Camインストールが今後行われる予定ですが、今回の経験が十分に活かせると考えています。また、サイエンスだけでなく観測機器や技術的な知見・経験を得ることができたため、研究者として視野を広げることができたと思います。

今回の渡航により、装置のインストール作業・試験用カメラでのファーストライト・光学調整・試験観測などの望遠鏡の立ち上げという大変刺激的で貴重な機会に最初から最後まで参加することができました。また、海外の様々な研究者・技術者との国際的な交流や議論ができる有意義な経験となりました。最後になりますが、渡航を援助してくださった日本天文学会早川幸男基金、ならびにその関係者の皆様に厚く感謝申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

Installing the PRIME telescope at SAO

氏 名：宮崎翔太（大阪大学理学研究科赤外線天文学グループ PD：学振（渡航当時））
 渡航先：南アフリカ共和国・北ケープ州
 期 間：2022年7月17日～8月14日

今回、私は日本天文学会早川幸男基金の援助を受け、2022年7月17日から8月14日まで南アフリカ天文台サザーランド観測所にて、PRIME望遠鏡の現地インストール作業に参加しましたので、ここにその内容を報告致します。

我々 PRIME コラボレーションは口径1.8 mの広視野近赤外線望遠鏡 PRIME (H-band, 観測視野 $\sim 1.4 \text{ deg}^2$) を用いて、銀河系中心方向の低銀緯領域 ($|b| < 2^\circ$) における世界初の重力マイクロレンズ系外惑星探査を行います。低銀緯領域は星密度が非常に高く、従来の可視光観測領域の数倍のイベントレートがあるため、PRIMEでは従来の数倍ペースでマイクロレンズ惑星を発見することがで

きます。また、PRIMEは低銀緯領域のマイクロレンズのイベントレートを初めて解明する事で、2026年にNASAが打ち上げ予定のRoman宇宙望遠鏡の観測戦略の最適化に貢献します。さらに、PRIME+Romanの協調同時観測によって、自由浮遊惑星の存在量推定などといったRoman望遠鏡の観測でしか成し得ない絶大な科学成果の最大化に貢献することが期待されています。

私は学部生の頃からPRIMEに参画しており、世界最大級の広視野近赤外サーベイ観測を達成するために必要な、PRIMEの光学系設計や熱設計の検討等を行ってきました。2020年には、日本国内で西村製作所と共同でPRIME望遠鏡の組み立て・光学系調整試験を実施し、許容範囲内で光学性能を満たしていることを確かめました。その後、コロナ情勢やその他諸々の事情で大幅に時期が遅れてしまったのですが、今回ついにPRIME望遠鏡の現地インストールが実現し、無事完了することができました。

望遠鏡インストールは、西村製作所から4名と大阪大学から7名（スタッフ4名、学生3名）で共同で行いました。渡航の前半は西村製作所の方々が主となって望遠鏡の建設を進め、後半に大阪大学がPRIME光学系の光学調整試験を行うという流れでした。前半の工程を予定よりも早く終わらせていただいたおかげで、我々は余裕を持って光学調整に臨むことができました。PRIMEの光学調整は二段階の工程を踏んでおり、(1)「三次元計測器（レーザートラッカー）を用いた粗調整」と(2)「星を導入したハルトマンテストによる光学調整」で構成されています。(1)の粗調整は、主鏡と主焦点レンズユニットを傾き \sim 数十秒角、中心ずれ $\sim 100 \mu\text{m}$ で調整するものですが、我々が事前に開発したソフトウェアとレー



建設途中のPRIME望遠鏡。主鏡をマウントしているところ。望遠鏡上部の主焦点部にレンズ光学系とカメラがマウントされる。



主焦点部スパイダーのネジを調整する筆者。主焦点部のtilt, decenterを調整することで、光学系の調整をする。

ザートラッカーによって1日で無事完了することができました。(2)のハルトマンテストによる光学調整ですが、これが難しく結果的に調整を完遂するのに3週間強かかりました。これは、PRIMEの広い視野全体で光学性能をよくしなければならないという要求からくるもので、我々は視野サイズが1/100程のテストカメラでPRIMEの視野全体の光学収差量をハルトマンテストで順次計測する必要がありました。しかし、一度計測すれば光学系の修正量をハルトマン画像から瞬時に導出す

るソフトウェアを修士2年の山響君と助教の鈴木大介先生が共同で開発していたため、我々はそれを以て光学調整を着実に進めることができました。多々トラブルや困難もあったのですが、最終的に観測視野 ~ 1.4 平方度で平均ハルトマン定数0.3秒角以下を満たすことが確認でき、無事に光学調整を終えることができました。調整が終わった時は非常に感慨深いものがありました。

南アフリカへの渡航は今回が初でしたが、天文台の宿泊設備・サポートが充実しており、我々は集中して作業に臨むことができました。西村製作所の皆さんには迅速かつ着実にインストールを進めていただき、また我々に対しても(業務外の事でも)献身的にサポートしていただきました。大変お世話になりました、深く感謝申し上げます。今回の渡航で大型望遠鏡を一から組み立てる工程を目の当たりにし実際に作業できたことは、非常に貴重な経験になりました。渡航をサポートしていただいた早川基金の関係者の方、日本天文学会に深く感謝申し上げます。PRIMEの観測はまさにこれからですが、成果を上げられるよう引き続き努めて参ります。ありがとうございました。