

# 東大アタカマ天文台計画プロジェクトブック

東京大学大学院理学系研究科 TAO 計画推進グループ

TAO 計画は, 東京大学大学院天文学教育研究センターと天文学専攻が協力して推進している計画です. 計画の具体的な検討は以下の天文学教育研究センターのメンバーによってなされています (2012 年 2 月現在).

吉井 譲 (計画代表者)

|       |        |        |       |
|-------|--------|--------|-------|
| 土居 守  | 河野 孝太郎 | 川良 公明  | 田中 培生 |
| 小林 尚人 | 宮田 隆志  | 本原 顕太郎 | 田辺 俊彦 |
| 峰崎 岳夫 | 酒向 重行  | 諸隈 智貴  | 田村 陽一 |
| 青木 勉  | 征矢野 隆夫 | 樽沢 賢一  | 加藤 夏子 |
| 小西 真広 | 越田 進太郎 | 高橋 英則  | 上塚 貴史 |

過去に協力していただいた方々.

|                     |                 |               |
|---------------------|-----------------|---------------|
| 板 由房 (東北大学)         | 内一・勝野 由夏 (東京大学) | 大藪 進喜 (名古屋大学) |
| 片坐 宏一 (JAXA / ISAS) | 半田 利弘 (鹿児島大学)   |               |

また, 科学的検討に際しては以下の方々にも検討に加わっていただきました.

|                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| 浅野 健太郎 (東京大学)     | 伊藤 洋一 (神戸大学)      | 臼井 文彦 (JAXA/ISAS) |
| 大内 正己 (東京大学)      | 大坪 貴文 (東北大)       | 大藪 進喜 (名古屋大学)     |
| 鍛冶澤 賢 (愛媛大学)      | 春日 敏測 (国立天文台)     | 黒田 大介 (国立天文台)     |
| 児玉 忠恭 (国立天文台)     | 小山 佑世 (国立天文台)     | 小麦 真也 (国立天文台)     |
| 左近 樹 (東京大学)       | 佐藤 隆雄 (東北大)       | 鮫島 寛明 (東京大学)      |
| 猿楽 祐樹 (ISAS/JAXA) | 高木 俊暢 (JAXA/ISAS) | 滝田 怜 (JAXA/ISAS)  |
| 田中 雅臣 (東京大学)      | 田中 賢幸 (東京大学)      | 戸谷 友則 (京都大学)      |
| 長尾 透 (京都大学)       | 長島 雅裕 (長崎大学)      | 中村 友彦 (東京大学)      |
| 成田 憲保 (国立天文台)     | 長谷川 直 (JAXA/ISAS) | 林 将央 (国立天文台)      |
| 藤吉 拓哉 (国立天文台)     | 吉川 智裕 (京都産業大学)    | 前田 啓一 (東京大学)      |
| 安田 直樹 (東京大学)      | 山下 卓也 (国立天文台)     | 吉川 智裕 (京都産業大学)    |
| 米田 瑞樹 (東北大)       |                   |                   |

現地調査においては, 国立天文台の多くの研究者, 技術者, 特に, ALMA 計画関係者に甚大な協力をいただいています. さらに, 全国の多くの大学の研究者からの, 計画全体に渡っての支持・協力の基に進めています. TAO 計画の進捗状況につきましては随時ホームページにてお知らせしております (<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/>).

# 目次

|                                                           |          |
|-----------------------------------------------------------|----------|
| <b>第 1 章 計画の概要と特長</b>                                     | <b>1</b> |
| 1.1 計画の概要                                                 | 1        |
| 1.2 計画の特長                                                 | 2        |
| 1.2.1 口径 6.5m 赤外最適化望遠鏡                                    | 2        |
| 1.2.2 赤外透過率に優れたチリ北部アタカマの 5600m 山頂に建設                      | 2        |
| 1.2.3 全国共同利用と戦略的共同研究                                      | 3        |
| 1.2.4 次世代を担う若手がのびのびと使える大学望遠鏡                              | 3        |
| 1.3 世界の大型計画                                               | 4        |
| 1.4 日本の大型観測施設の中での TAO 計画の位置づけ                             | 6        |
| <b>第 2 章 目指す天文学</b>                                       | <b>7</b> |
| 2.1 銀河の起源と進化                                              | 10       |
| 2.1.1 銀河の質量獲得メカニズムの解明                                     | 10       |
| 2.1.2 近赤外線多色広視野撮像で探る銀河の進化                                 | 14       |
| 2.1.3 多天体分光サーベイで探る $z \sim 2$ 銀河の星形成史                     | 17       |
| 2.1.4 遠方赤外線銀河のダスト放射物理の解明                                  | 21       |
| 2.1.5 サブミリ波銀河と隠された星形成史                                    | 24       |
| 2.1.6 $\text{Pa}\alpha$ で探る近傍宇宙の星形成パノラマ                   | 26       |
| 2.2 活動銀河核, 超新星, 宇宙論                                       | 28       |
| 2.2.1 TAO で探る超巨大質量ブラックホール進化                               | 29       |
| 2.2.2 $\text{Fe II}/\text{Mg II}$ 輝線強度比の測定による第一世代星形成時期の推定 | 32       |
| 2.2.3 ダストに埋もれた活動銀河核の探査                                    | 34       |
| 2.2.4 変光現象で探る活動銀河核の構造と進化                                  | 35       |
| 2.2.5 近赤外超新星サーベイ                                          | 38       |
| 2.2.6 近傍超新星の測光・分光観測                                       | 39       |
| 2.2.7 Ia 型超新星による宇宙膨張測定                                    | 42       |
| 2.2.8 活動銀河核の変光観測による宇宙膨張測定                                 | 45       |
| 2.2.9 その他の宇宙論的な観測                                         | 47       |

|            |                                |            |
|------------|--------------------------------|------------|
| 2.3        | 系外惑星・星惑星系形成 . . . . .          | 49         |
| 2.3.1      | トランジット観測による系外惑星の性質解明 . . . . . | 49         |
| 2.3.2      | トランジット周期変動 (TTV) 法 . . . . .   | 52         |
| 2.3.3      | 小・中質量星の星惑星形成 . . . . .         | 54         |
| 2.3.4      | 大質量星の星惑星形成 . . . . .           | 61         |
| 2.4        | 星と星間物質 . . . . .               | 62         |
| 2.4.1      | 星間ダストの供給問題 . . . . .           | 62         |
| 2.4.2      | 大質量星の進化とダスト形成 . . . . .        | 63         |
| 2.4.3      | 中小質量星の進化とダスト形成 . . . . .       | 71         |
| 2.4.4      | 分子雲におけるダスト形成 . . . . .         | 82         |
| 2.5        | 太陽系内天体 . . . . .               | 84         |
| 2.5.1      | 金星 . . . . .                   | 84         |
| 2.5.2      | 木星 . . . . .                   | 90         |
| 2.5.3      | 彗星 . . . . .                   | 95         |
| 2.5.4      | 小惑星 . . . . .                  | 98         |
| <b>第3章</b> | <b>望遠鏡</b>                     | <b>119</b> |
| 3.1        | 望遠鏡の基本デザイン . . . . .           | 119        |
| 3.1.1      | 背景 . . . . .                   | 119        |
| 3.1.2      | TAO 望遠鏡の特徴 . . . . .           | 119        |
| 3.1.3      | 望遠鏡の概要 . . . . .               | 122        |
| 3.2        | 望遠鏡光学系 . . . . .               | 122        |
| 3.2.1      | 光学系概要 . . . . .                | 122        |
| 3.2.2      | 主鏡 . . . . .                   | 123        |
| 3.2.3      | 副鏡 . . . . .                   | 125        |
| 3.3        | 望遠鏡本体 . . . . .                | 127        |
| 3.3.1      | 望遠鏡本体概要 . . . . .              | 127        |
| 3.3.2      | 環境条件 . . . . .                 | 127        |
| 3.3.3      | 望遠鏡架台 . . . . .                | 129        |
| 3.3.4      | 望遠鏡鏡筒 . . . . .                | 129        |
| 3.4        | ドーム . . . . .                  | 130        |
| 3.5        | 制御系 . . . . .                  | 131        |
| 3.5.1      | 望遠鏡制御系 . . . . .               | 131        |
| 3.5.2      | 観測制御系 . . . . .                | 132        |
| 3.6        | 遠隔観測 . . . . .                 | 133        |

|              |                        |            |
|--------------|------------------------|------------|
| 3.6.1        | 通信設備                   | 133        |
| 3.6.2        | 監視システム                 | 134        |
| 3.6.3        | 信頼性・耐障害性の向上            | 135        |
| 3.7          | 限界等級                   | 135        |
| 3.7.1        | 主なパラメータ                | 135        |
| 3.7.2        | 望遠鏡鏡面の反射率              | 135        |
| 3.7.3        | 観測装置の効率                | 135        |
| 3.7.4        | 大気の透過率                 | 137        |
| 3.7.5        | 背景放射                   | 138        |
| 3.7.6        | 限界等級                   | 139        |
| <b>第 4 章</b> | <b>観測装置</b>            | <b>143</b> |
| 4.1          | 近赤外線 2 色同時多天体分光器 SWIMS | 143        |
| 4.1.1        | 装置コンセプト                | 143        |
| 4.1.2        | 光学系                    | 146        |
| 4.1.3        | 検出器                    | 149        |
| 4.1.4        | 分光用スリットマスク交換機構         | 150        |
| 4.1.5        | 開発中の機能                 | 154        |
| 4.1.6        | 開発スケジュール               | 157        |
| 4.2          | 中間赤外線分光撮像装置: MIMIZUKU  | 158        |
| 4.2.1        | TAO 望遠鏡の中間赤外線での特徴      | 158        |
| 4.2.2        | 装置概要                   | 158        |
| 4.2.3        | 装置の仕様                  | 161        |
| 4.2.4        | その他新規技術                | 170        |
| 4.2.5        | 開発スケジュール               | 173        |
| <b>第 5 章</b> | <b>サイト</b>             | <b>177</b> |
| 5.1          | サイト概要                  | 177        |
| 5.1.1        | チリ北部 アタカマ地区            | 177        |
| 5.2          | TAO サイトの特性             | 180        |
| 5.2.1        | 大気透過率                  | 180        |
| 5.2.2        | 観測可能天域                 | 181        |
| 5.2.3        | 雲量                     | 182        |
| 5.2.4        | 地表面気象条件                | 183        |
| 5.2.5        | シーイング                  | 185        |

|              |                                               |            |
|--------------|-----------------------------------------------|------------|
| 5.2.6        | その他サイトの特性 . . . . .                           | 187        |
| 5.3          | サイトへのアクセス . . . . .                           | 190        |
| 5.3.1        | サイト調査の経緯 . . . . .                            | 190        |
| 5.3.2        | アクセス道路 . . . . .                              | 191        |
| 5.3.3        | 山頂サイト . . . . .                               | 191        |
| 5.3.4        | 山麓観測施設 . . . . .                              | 194        |
| <b>第 6 章</b> | <b>東京大学アタカマ 1m 望遠鏡</b>                        | <b>197</b> |
| 6.1          | 1m 望遠鏡 . . . . .                              | 197        |
| 6.1.1        | 1m 望遠鏡の建設 . . . . .                           | 197        |
| 6.1.2        | 1m 望遠鏡仕様 . . . . .                            | 198        |
| 6.2          | 近赤外線観測装置 ANIR . . . . .                       | 199        |
| 6.2.1        | miniTAO 1m による $\text{Pa}\alpha$ 観測 . . . . . | 199        |
| 6.2.2        | 装置概要 . . . . .                                | 201        |
| 6.2.3        | 近赤外チャンネル . . . . .                            | 201        |
| 6.2.4        | 可視チャンネル . . . . .                             | 204        |
| 6.2.5        | 装置性能 . . . . .                                | 206        |
| 6.3          | 中間赤外線観測装置 MAX38 . . . . .                     | 210        |
| 6.3.1        | 装置概要 . . . . .                                | 210        |
| 6.3.2        | 光学系・真空冷却系 . . . . .                           | 211        |
| 6.3.3        | 検出器および制御回路 . . . . .                          | 212        |
| 6.3.4        | 新規開発技術 . . . . .                              | 213        |
| 6.3.5        | ファーストライト観測および初期成果 . . . . .                   | 216        |
| <b>第 7 章</b> | <b>運用体制, 年次計画</b>                             | <b>221</b> |
| 7.1          | 研究・運用に必要な人員 . . . . .                         | 221        |
| 7.2          | TAO 天文台の運用・維持・管理 . . . . .                    | 222        |
| 7.3          | 予算額 . . . . .                                 | 223        |
| 7.4          | 年次計画 . . . . .                                | 223        |
| <b>第 8 章</b> | <b>他機関との協力</b>                                | <b>225</b> |
| 8.1          | 大学望遠鏡の必要性 . . . . .                           | 225        |
| 8.2          | 国内の他大学などの研究機関との協力に関する基本方針 . . . . .           | 227        |
| 8.3          | 天文学研究連絡委員会 . . . . .                          | 229        |
| 8.3.1        | 天文研連特別議事録 . . . . .                           | 229        |
| 8.3.2        | 天文研連委員長談話 . . . . .                           | 237        |

|              |                                                              |            |
|--------------|--------------------------------------------------------------|------------|
| 8.4          | 光学赤外線天文連絡会 . . . . .                                         | 238        |
| 8.4.1        | 運営委員会声明 . . . . .                                            | 238        |
| <b>付 録 A</b> | <b>外部評価委員会報告書</b>                                            | <b>241</b> |
| <b>付 録 B</b> | <b>協定</b>                                                    | <b>259</b> |
| <b>付 録 C</b> | <b>合意書</b>                                                   | <b>281</b> |
| <b>付 録 D</b> | <b>世界の大型光学赤外線望遠鏡</b>                                         | <b>291</b> |
| D.1          | 運用中の地上望遠鏡 . . . . .                                          | 291        |
| D.1.1        | ケック望遠鏡 I, II . . . . .                                       | 291        |
| D.1.2        | すばる望遠鏡 . . . . .                                             | 291        |
| D.1.3        | ジェミニ望遠鏡 . . . . .                                            | 292        |
| D.1.4        | Very Large Telescope (VLT) . . . . .                         | 292        |
| D.1.5        | マゼラン望遠鏡 I・II . . . . .                                       | 292        |
| D.1.6        | Hobby-Eberly 望遠鏡 (HET) . . . . .                             | 293        |
| D.1.7        | Multi-Mirror Telescope (MMT) . . . . .                       | 294        |
| D.1.8        | South Africa Large Telescope (SALT) . . . . .                | 294        |
| D.1.9        | Large Binocular Telescope (LBT) . . . . .                    | 294        |
| D.1.10       | カナリア大望遠鏡 (GTC) . . . . .                                     | 295        |
| D.1.11       | Stratospheric Observatory for Far Infrared Astronomy (SOFIA) | 295        |
| D.2          | 計画中の地上望遠鏡 . . . . .                                          | 296        |
| D.2.1        | Large Synoptic Survey Telescope (LSST) . . . . .             | 296        |
| D.2.2        | Thirty Meter Telescope (TMT) . . . . .                       | 296        |
| D.2.3        | European Extremely Large Telescope (E-ELT) . . . . .         | 297        |
| D.2.4        | Giant Magellan Telescope (GMT) . . . . .                     | 297        |
| <b>付 録 E</b> | <b>TAO 計画—これまでの経緯</b>                                        | <b>299</b> |



図 1: 東京大学コミュニケーションセンターにて、2010 年 8 月 23 日より開設している TAO プロジェクト展示コーナーの応援ボードに寄せられた応援メッセージ。