

# 国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2017年3月1日 No.284

## 特集 TMT 計画を進める人々 Vol.01



- 国際協力によるTMT建設／TMTプロジェクト・メインスタッフ インタビュー・Edward C. Stone／Gary Sanders／Henry Yang／家 正則／Thomas Soifer／Michael Bolte／Gregory Fahlman／薛随建／B. Eswar Reddy／臼田知史／Robert Kirshner
- 天文台メモワール・小林行泰／水本好彦／有本信雄／野口本和／渡辺松夫
- 2016年度「N体シミュレーション立春の学校」報告／Caltech(カルテック)の重力波研究室を訪問しました／「一般社団法人 日本カレンダー 暦文化振興協会 2016年の活動」報告／平成30年(2018) 暦要項を発表しました！

3

2017

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03

## 特集

## TMT計画を進める人々 Vol.01

- 国際協力による TMT 建設 — 青木和光 (TMT 推進室)
- TMT プロジェクト・メインスタッフ インタビュー  
— TMT 国際天文台を訪ねて—  
インタビュー取材: ラムゼイ・ランドック (Ramsey Lundock)
- I TIO マネジメント・スタッフに聞く
  - ・ 統括責任者責任者 — Edward C. Stone (エドワード・ストーン)
  - ・ プロジェクト・マネージャ — Gary Sanders (ゲリー・サンダース)
- IIa TIO ボード・メンバーに聞く①
  - ・ TIO 評議員会 議長 — Henry Yang (ハンリー・ヤン)
  - ・ TIO 評議員会 副議長 — 家 正則
- IIb TIO ボード・メンバーに聞く②
  - ・ カリフォルニア工科大学 (カルテック) — Thomas Soifer (トーマス・ソイファー)
  - ・ カリフォルニア大学 — Michael Bolte (マイケル・ボルティ)
  - ・ TMT-カナダ — Gregory Fahlman (グレゴリー・ファールマン)
  - ・ TMT-中国 — 薛隨建 (シュエ・スイジエン)
  - ・ TMT-インド — B. Eswar Reddy (B. エスバール・レディ)
  - ・ TMT-日本 (国立天文台 TMT 推進室) — 臼田知史
  - ・ ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団 — Robert Kirshner (ロバート・カーシュナー)

10

12

14

30

## 天文台メモワール

- ありがとう! 天文台! — 小林行泰 (光赤外研究部/JASMINE 検討室)
- 退職のご挨拶「未完成」もよし — 水本好彦 (光赤外研究部/ハワイ観測所)
- 退職のご挨拶 — 有本信雄 (光赤外研究部/ハワイ観測所)
- 天文台生活47年 — 野口本和 (先端技術センター)
- 退職のごあいさつ — 渡辺松夫 (事務部施設課長)

35

## おしらせ

- 2016年度「N体シミュレーション立春の学校」報告  
— 田中佑希 (天文シミュレーションプロジェクト)
- Caltech (カルテック) の重力波研究室を訪問しました  
— ラムゼイ・ランドック (天文情報センター) / 校閲: 都築寛子 (天文情報センター)
- 「一般社団法人 日本カレンダー暦文化振興協会 2016年の活動」報告  
— 片山真人 (天文情報センター)
- 平成30年 (2018) 暦要項を発表しました! 理科年表、環境年表も発売中!  
— 片山真人 (天文情報センター)

39

- 編集後記
- 次号予告

40

## シリーズ「アルマ望遠鏡観測ファイル」12

いろいろな目で見える太陽 — 平松正顕 (チリ観測所) / 下条圭美 (チリ観測所)



表紙画像

TMT計画を推進する研究者たち。

背景星図 (千葉市立郷土博物館)  
渦巻銀河 M81 画像 (すばる望遠鏡)



→09ページ参照。

## 国立天文台カレンダー

## 2017年2月

- 4日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 9日 (木) 幹事会議
- 10日 (金) 4次元デジタルシアター公開/観望会 (三鷹)
- 11日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 17日 (金) プロジェクト会議
- 18日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 21日 (火) 天文データ専門委員会
- 24日 (金) 三鷹地区安全衛生委員会
- 25日 (土) 観望会 (三鷹)

## 2017年3月

- 4日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 7日 (火) 教授会議
- 9日 (木) 天文情報専門委員会
- 10日 (金) 4次元デジタルシアター公開/観望会 (三鷹)
- 11日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 14日 (火) 幹事会議
- 18日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 21日 (火) プロジェクト会議/先端技術専門委員会/  
太陽天体プラズマ専門委員会
- 22日 (水) 運営会議
- 23日 (木) 安全衛生委員会 (全体会)
- 24日 (金) 三鷹地区安全衛生委員会
- 25日 (土) 観望会 (三鷹)
- 27日 (月) 理論専門委員会

## 2017年4月

- 1日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 7日 (金) 4次元デジタルシアター公開/観望会 (三鷹)
- 8日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 15日 (土) 4次元デジタルシアター公開 (三鷹)
- 22日 (土) 観望会 (三鷹)
- 27日 (木) 幹事会議
- 28日 (金) プロジェクト会議

特集

# TMT計画を進める人々

## VOL.01

TMT (Thirty Meter Telescope) は、日本・米国・カナダ・中国・インドの5か国が進める30メートルの次世代超大型望遠鏡の共同建設プロジェクトです。この特集では、TMTプロジェクトの概要の紹介と、インタビューを通して、その建設や運用を支える主要スタッフの取り組みをご紹介します。

### クレジット

- インタビュー取材：ラムゼイ・ランドック (Ramsey Lundock) NAOJ
- 協力：TMT国際天文台 (TMT International Observatory : TIO)  
国立天文台TMT推進室 (NAOJ TMT-J Project Office)

# 国際協力による TMT建設

青木和光  
WAKO AOKI  
(TMT推進室)

望遠鏡の進歩とともに深まってきた宇宙の理解をさらに推し進めるため、かつてない大型の光学赤外線望遠鏡TMTの建設が進められています。この計画は、TMT国際天文台(TMT International Observatory: TIO)の枠組みを中心に、5か国の研究組織の協力で進められています。

画像：三菱電機

## ● TMT計画とTMT国際天文台

今から400年ほど前、ガリレオ・ガリレイが望遠鏡を夜空に向けて月のクレーターや木星の衛星、天の川を形作る無数の星々など、宇宙に関する驚くべき発見を報告しました。それ以来、人類の宇宙についての理解は、望遠鏡の進歩とともに深まってきました。

20世紀末には、天体からの光を集める鏡の直径が8メートルにもなる大型望遠鏡が登場し、新しい宇宙像を切り拓いてきました。すばる望遠鏡もそのひとつで、130億光年かなたの銀河をとらえ、太陽以外の星のまわりの惑星の姿を写しだしてきました。また、可視光・赤外線以外の波長での観測の進展も著しく、特にアルマ望遠鏡による電波での超高解像度観測は、惑星誕生の現場とみられる若い星のまわりの円盤を鮮明に写し出すなど、続々と成果を挙げています。

これらの成果は同時に、新たな課題を浮き彫りにしました。そして、それに挑戦する新しい望遠鏡への期待が高まっています。2015年、遂に重力波が初めて検出され、今度はその起源となる天体の特定と可視光・赤外線をはじめとする電磁波での詳細な観測が期待されているところです。

TMTは、これらの期待に応える望遠鏡の計画です。直径30メートルの主鏡は、従来の望遠鏡にくらべて10倍以上の光を集めることができます。この大きな鏡を実現するために、多数の鏡を組み合わせ、全体で1枚の鏡であるかのように組み立てて動かす方式がとられています。大きな鏡は、天体をより細かく観測することを可能にしますが地上からの観測であるために、地球の大気の影響が問題となります。これを克服するのが補償光学という技術です (画像

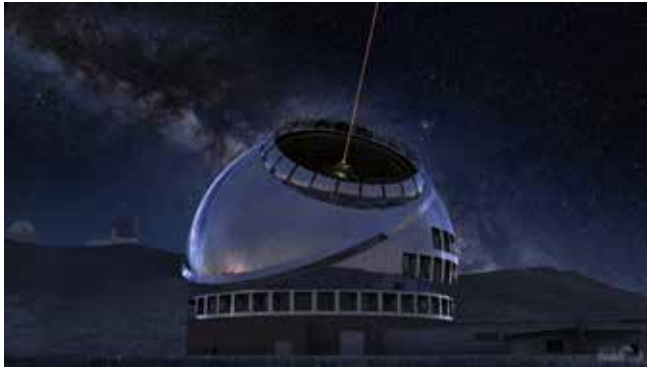
## ● TMT Project and the TMT International Observatory

About 400 years ago, Galileo Galilei pointed a telescope to the night sky and made many discoveries about the Universe, including lunar craters, the moons of Jupiter and the numerous stars that form the Milky Way. Since then, our understanding of the Universe has improved thanks to advances in telescopes.

The end of the 20th Century brought the introduction of large telescopes with mirrors as large as 8 meters to gather light from celestial objects, making it possible to discover a Universe than had yet to be seen. As one such telescope, the Subaru Telescope captured images of galaxies 13 billion light-years away, as well as images of planets orbiting stars other than our Sun. Significant advances were also made in scientific observation of frequencies other than the visible light and infrared range. Most notably, the super high resolution observation of radio frequencies made by ALMA has provided abundant results, including vivid images of disks around young stars. These disks are believed to be the sites in which new planets are born.

These discoveries simultaneously raised new questions, and anticipation is running high for new telescopes to tackle these questions. With the successful observation of gravitational waves for the first time ever taking place in 2015, the focus is now on identifying the astronomical

01)。大きな望遠鏡で補償光学を十分に機能させるには、これまでにない高い技術が必要とされますが、これにより、アルマ望遠鏡に匹敵する解像度を実現することができま  
す。高解像度の観測を行うためには、大型化する望遠鏡を、  
これまでにない高い精度で動かす必要があります、これも新しい  
技術的な挑戦となります。



画像01 補償光学系用のガイド星生成用レーザーを照射するTMTの完成予想図。

このような大型望遠鏡の建設は、もはや一つの国のレベルでは難しいことから、国際協力で進められています。TMT建設は、日本、米国、カナダ、中国、インドの5か国による共同事業です。研究対象が地球外にある天文学では、国際協力を行うのはむしろ自然なことといえるかもしれません。

この国際協力による望遠鏡建設を進めている組織が、TMT国際天文台です。TMT国際天文台は、5か国の研究機関の合意のもと設立・運営されており、日本の自然科学研究機構・国立天文台もそのメンバー機関のひとつです。しかし、国際組織であることから、なかなかその素顔が見えにくいところもあります。この国立天文台ニュースの特集では、関係者へのインタビュー記事により、TMT国際天文台についてご紹介します。

### ● TMT国際天文台

国際協力による望遠鏡の建設・運用にも、いろいろな形があります。5か国の研究機関が協力して建設するTMTは、その建設・運用を担う組織を、米国の有限責任会社として設立することにしました。これがTMT国際天文台(TMT International Observatory: TIO)です。

### ★国際協力の枠組みがつくられるまで

口径8~10メートルの大型光学赤外線望遠鏡が相次いで建設され (p06・画像02)、活躍し始めた2000年代初頭、世界各国で次世代の大型望遠鏡の検討が具体的に進むようになりました。日本でも、「JELT構想」として、口径30メートル規模の望遠鏡の検討が始まっていました。

そのころ、米国やカナダでは複数提案されていた構想を統合した30メートル望遠鏡の建設計画を具体化し、「TMT観測所公社」を設立して検討を進めていました。日本もこの計画に合流する可能性が検討され、2006年からオブザーバ参加、2008年から協力メンバーとして参加することとなり、建設における役割分担などが協議されるようになりました。その後、2009年に中国が、2010年にはインドが

phenomena that are the sources of these gravitational waves and to perform detailed observations of their electromagnetic waves, including waves in the range of visible light and infrared.

The Thirty Meter Telescope (TMT) Project is a project to build a telescope that will meet these expectations. The 30-meter primary mirror of TMT will be able to gather more than 10 times more light than currently existing telescopes. In order to make such a large mirror possible, multiple mirrors will be combined to form and move as what is essentially a single mirror. Although the large mirror would enable detailed observations of celestial bodies to be made, the existence of Earth's atmosphere poses a problem as observations are performed from the ground. This problem is resolved through the application of technology known as adaptive optics (Fig.01). In order to sufficiently harness the full potential of adaptive optics on a large telescope, advanced technology at an unprecedented level is required. However, such technology would enable observations in a resolution that matches that of ALMA to be realized. High resolution observations will also require the enlarged telescope to move with a precision beyond what has been possible up to now, posing a new technological challenge.

Because it is not practical for a single country to construct such a large telescope, the project is being carried out through international collaboration. The construction of TMT will be a collaboration between five countries, including Japan, the United States, Canada, China, and India. It could be said that international collaboration was a natural progression for astronomy, given that the subject of its research reaches far beyond the Earth.

The organization heading this international collaboration to build the telescope is the TMT International Observatory (TIO). TIO was established and is operated under an agreement established between research institutions from five countries. The National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), National Institutes of Natural Sciences (NINS) of Japan is one such member institution. However, the nature of TIO may not be so easily understood given that it is an international entity. In this special feature of NAOJ News, TIO is introduced through interviews with those involved in TMT.

### ● TMT International Observatory (TIO)

There are a number of ways to organize the construction and operation of a telescope under international collaboration. It was decided that TMT, to be constructed through collaboration between research institutions from five countries, would be constructed and operated by an organization established as a limited liability company in the United States. This company is what we now call the TMT International Observatory (TIO).



画像02 1999年に観測を開始したすばる望遠鏡（口径8.3メートル）。

TMT計画への参加を表明し、5か国による国際協力の枠組みが定まってきました。

この過程で、2009年頃から、参加機関（メンバー）の間での合意書づくりが始められ、さまざまな議論・検討を経て、2013年にはメンバーによって、協力の原則を定める主協定書への仮署名が行われました。そして、2014年5月に正式に有限責任会社合意書を締結しTIOを設立しました。日本は、自然科学研究機構が正式メンバーとして参加し、実行機関（後述する物納貢献の実行など）としては国立天文台があたっています。

#### ★TMT国際天文台のしくみ

メンバーの合意によって、TMT計画の目標、意思決定の仕組み、権利と義務関係などの協力の原則が定められました（「主協定書」）。そして、TMTの建設と完成後の運用を担う機関として、TMT国際天文台（TIO）を設立する合意書がかわされました（「TIO有限責任会社合意書」）。



画像03 カリフォルニア州パサデナにあるTIO本部オフィス。

#### ★ Events leading up to the International Collaboration

As the 8 to 10 meter class large-size optical/infrared telescopes were built one after another (Fig. 02) and started to produce results in the early 2000's, countries around the world began to evaluate the real possibilities of building a next generation 30 meter class telescope. Japan, as part of the "JELT Concept," had also begun considering a 30 meter class telescope.

During the same period, the United States and Canada established the "TMT Observatory Corporation" and were in the process of giving shape to a plan to construct a 30 meter telescope that combined multiple concepts that had been proposed. Japan also considered joining this project and began participating as an observer in 2006 and as a collaborative member in 2008, which eventually lead to discussions on sharing responsibility for the construction work. Then in 2009, China announced that it too would join the project, followed by India in 2010, giving shape to the framework for a five country collaboration.

As part of this process, efforts for forming an agreement amongst the participating institution members were initiated around 2009, and in 2013, after deliberation and consideration of various points, the Master Agreement, which set the principles for the collaboration, was signed provisionally by the members. In May 2014, the Limited Liability Company Agreement was formally introduced and TIO was officially established. NINS became the official member of TIO for Japan, with NAOJ acting as the implementing institution (for delivering in-kind contributions as explained later).

#### ★ Organizational Structure of TIO

The principles of collaboration, including the purpose of the TMT Project; the decision-making processes; and rights and obligations related issues were established as agreed upon by the members (in the "Master Agreement"), and an agreement ("TMT International Observatory Limited Liability Company Agreement") was executed to establish TIO as an organization to take responsibility for the construction of the telescope and its operation following completion of construction.

Operational policies for TIO are determined by a board comprised of member representatives (with three delegated from each member institution). Decisions for important issues are determined by a vote of the board, with each vote weighed proportional to the value of the member's contribution, but effort is made to generally make any decisions unanimous. A regular board meeting is held each quarter.

TIOの運用方針は、メンバーの代表（各機関3名）からなる評議員会によって決められます。評議員会では、重要事項は投票で決定し、その投票権は貢献額に比例することとなっていますが、通常は全会一致での合意が得られるように努力します。定例の評議員会は四半期ごとに開催されています。

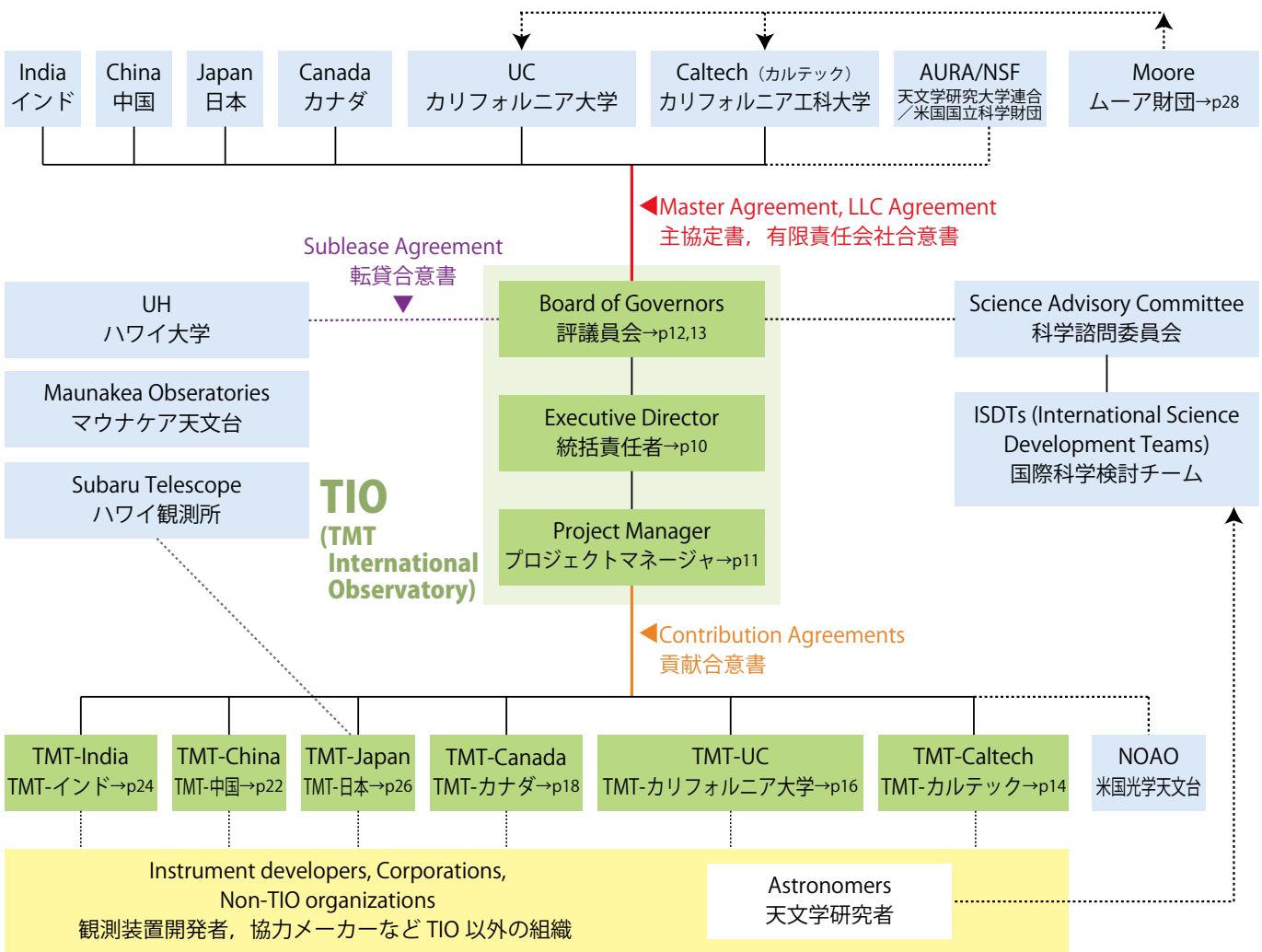
その方針にもとづき、統括責任者（Executive Director）のもとでプロジェクトマネージャをはじめとする職員が建設の仕事にあたります。後述するように、建設の多くの部分は各メンバーによる設計・製造の分担で行われ、TIOはその統括を行います。TIOには望遠鏡本体構造、主鏡・光学系、ドーム、補償光学、観測装置など、それぞれの部分を担当するグループがおかれています。本部は現在、カリフォルニア州パサデナにおかれ、約70人の職員が働いており、一部はカリフォルニア工科大学などと併任しています（画像03）。

TMTによる科学研究、装置開発や運用の計画については、各メンバーから出された委員による科学諮問委員会によって検討されています。定例の科学諮問委員会も、四半期ごとに開催されています。

Based on these policies, construction work is performed by TIO staff, which includes Project Managers, under the oversight of the Executive Director. As further explained later, numerous components of the construction work are divided amongst the members in the form of design and fabrication work, with the oversight of these assignments undertaken by TIO. Within TIO are groups overseeing their respective parts, including the telescope structure; primary mirror and optics; dome; adaptive optics; and science instruments. TIO headquarters is currently located in Pasadena, California, and employs approximately 70 staff members, some of who concurrently work for the California Institute of Technology (Caltech) (Fig. 03).

Plans for scientific research and development and operation of science instruments for TMT are currently under evaluation by the Science Advisory Committee consisting of committee members chosen by each member institution. The regular Science Advisory Committee meetings are also held once every quarter.

**TMTプロジェクトの全体組織図 (TMT Project Overall Organizational Chart)**



### ★TIOのもとでの望遠鏡建設

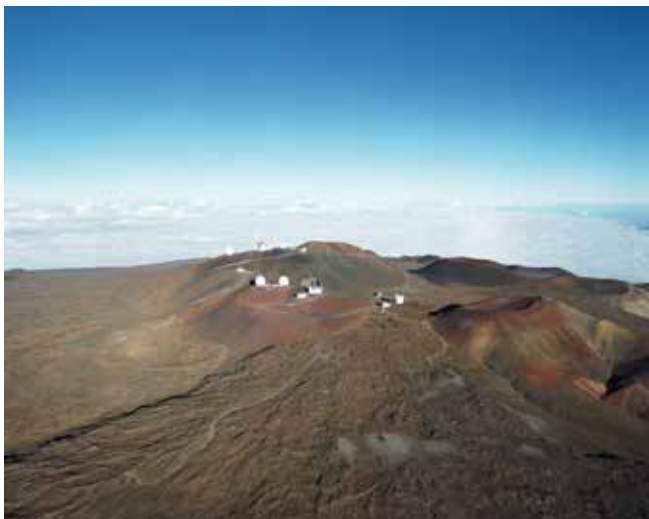
建設は、TIOが直接すべて行うのではなく、各メンバーが設計・製造する部分（in-kind contribution: 物納貢献）と、メンバーが支払う分担金によってTIOが行う部分からなります。物納貢献については、TIOと各メンバーとの間で「貢献合意書」を結び、貢献内容と納期、その価値評価について定め、TIOが全体を統括します。

このように、TIOのもとでの建設は、望遠鏡の各構成要素（鏡、本体、ドームなど）や観測装置の設計・製作ごとに、メンバーとTIOが深くかかわりながら進められるのが特色です。たとえば、日本においては望遠鏡本体構造の設計・製作が大きな役割となっており、その最終設計が行われています。この作業は、国立天文台と国内企業に加えTIOの担当者が常にかかわりながら進められています。また、主鏡分割鏡の製造も日本の大きな役割のひとつですが、これには複数のメンバー（日本のほか、米国、インド、中国）が関わっており、TIOと各メンバーの担当者が常に連携して作業を進めています。観測装置の製作も国際協力で行われており、日本の分担個所の設計・開発を担っている国立天文台のグループは、日常的に海外メンバーのグループと協力して作業にあたっています。

これらの作業全体を統括するTIOは、メンバーが支払う共通経費（「分担金」）によって運用されています。TIOはこのような管理業務だけでなく、望遠鏡のインフラ整備や現地対応、広報・教育活動などを担っています。

### ★TMTとハワイ

TMTの建設予定地・ハワイ島マウナケア山頂域は、ハワイ州の科学保護地区です。保護地区の管理はハワイ大学に委ねられていますが、保護地区において望遠鏡建設を行うには、ハワイ州による許可が必要で、現在そのための手続きがハワイ州土地天然資源委員会によって進められています。この許可申請はハワイ大学から行われます。また、山頂域の管理・運営はハワイ大学によっています。TMTを含め、山頂域の望遠鏡・天文台はハワイ大学と常に協力して望遠鏡運用を行っています（画像04）。



画像04 ハワイ・マウナケア山頂域の天文台群。

### ★ Construction of the telescope under TIO

TIO is not directly responsible for every aspect of the construction. The overall construction consists of components designed and fabricated by the members (as in-kind contributions) and components fulfilled by TIO using cash contributions made by members. As for in-kind contributions, a “Contribution Agreement” is formed between TIO and each respective member; the expected deliverables and their delivery deadlines, as well as their values, are determined and overseen by TIO.

In this way, the distinctive feature of this construction under TIO is the progress made through having both the members and TIO deeply involved in the design and fabrication of each required component (mirrors, telescope structure, dome, etc.) and science instrument. One such example is the final design underway for the design and fabrication of the telescope structure, for which Japan has a major role. For this work, progress is made through the constant involvement of the management at TIO along with the involvement of NAOJ and its domestic suppliers. Also, in the case of fabricating the mirror segments of the primary mirror, another element for which Japan has a major role, multiple members (Japan and others including the U.S., India, and China) are involved and progress is made through constant cooperation between TIO and contacts at each respective member. With the science instruments also being developed through international collaboration, the NAOJ team responsible for the design and development of Japan’s work share collaborates daily with overseas member groups.

TIO, which is in charge of overall management for these jobs, is operated using common funds (cash contributions) provided by the members. Not only is TIO responsible for such oversight, it must also handle other duties including telescope infrastructure maintenance, onsite support, and public relations/educational activities.

### ★ TMT and Hawai`i

The planned TMT construction site near the summit of Maunakea on the island of Hawai`i is located on the State of Hawai`i’s science reserve. Although management of the science reserve is entrusted to the University of Hawai`i, a permit from the State of Hawai`i is required to build a telescope on the reserve. Currently, the process to attain that permit is ongoing at the Board of Land and Natural Resources in Hawai`i. Also, maintenance and operation of the Maunakea summit area is performed by the University of Hawai`i. The telescopes and observatories operated on the summit, as well as TMT, constantly work in cooperation with the University of Hawai`i to operate their telescopes (Fig.04).





▲ TIO オフィス入り口のプレート。

# TMTプロジェクト・メインスタッフ インタビュー

## TMT国際天文台を訪ねて

ここからは、現在TMTの開発・建設に携わっているTIO（TMT国際天文台）の主要スタッフ（マネジメント・スタッフと評議員会のボードメンバーから合わせて11名）の方々に、その取り組みについてお話を伺います。インタビューは、2016年秋に行ったものです。

### インタビュー取材

ラムゼイ・ランドック (Ramsey Lundock) NAOJ

### 協力

家 正則 (Masanori Iye) NAOJ

都築寛子 (Hiroko Tsuzuki) NAOJ

# I TIOマネジメント・スタッフに聞く

最初は、TIOのマネジメントに直接携わるエグゼクティブ・ディレクターのエドワード・ストーン氏とプロジェクト・マネージャのゲリー・サンダース氏のお二人を紹介しましょう。

## From Voyager Mission to TMT Project

### ボイジャー計画からTMTプロジェクトまで

#### Edward C. Stone

Professor of Physic at Caltech  
Former Director of JPL  
TMT Related Activities: TIO Executive Director

#### エドワード・ストーン

カリフォルニア工科大学（カルテック）教授  
元ジェット推進研究所長  
TMT関連活動：TMT国際天文台の統括責任者



文：家正則 (Masanori Iye)

Prof. Ed Stone is an internationally famous physicist who led the Voyager missions as project scientist from 1972 to the present (for a total of 45 years!) He became known as the JPL public spokesperson during the planetary flybys, explaining the Voyager's scientific discoveries to the public. He served as the director of Jet Propulsion Laboratory in Pasadena from 1991 to 2001 and oversaw many space missions, including Mars Pathfinder and its Sojourner Rover, Mars Global Surveyor, etc., to great success. He was widely seen on television and became the face of Voyager 1 when it left the heliosphere and continued to sail into interstellar space in 2012.

He also served as the chair of the board overseeing the construction and operation of the W.M. Keck Telescopes. He has been recognized with numerous awards; among them the NASA Distinguished Service Medal and National Medal of Science.

One can only admire the way he has handled something as challenging as the TMT project for over a decade by coordinating and synchronizing both the budgetary and technical planning amongst the six partners with such fair and clear-cut steering to eventually form TIO in 2014. He has a special gift for gaining everybody's respect and trust.

エドワード・ストーン教授は、1972年から現在まで（45年間にわたって）、プロジェクト・サイエンティストとしてボイジャー計画を推進してきた国際的に著名な物理学者です。惑星フライバイ観測による科学的な発見の広報担当者として知られています。1991年から2001年まで、パサデナにあるNASAジェット推進研究所（Jet Propulsion Laboratory：JPL）の所長を務め、マーズ・パスファインダーとその着陸探査機ソジャーナやマーズ・グローバル・サーベイヤーなど、大成功を収めた探査プロジェクトを率いました。また2012年にボイジャー1号が太陽圏から星間空間へ飛び出たとき、テレビによく出演していました。

彼は、W.M.ケック望遠鏡の建設と運用を統括する評議員会の議長も務めました。NASA殊勲賞と米国科学栄誉賞を含む数々の受賞に輝いています。

10年間以上にわたり、彼が6つのパートナー組織の財政的、技術的状況を調整し、チャレンジングなTMT計画の実現プランを取りまとめてきたことは、賞賛されるべきことです。ストーン教授の公平で的確なリーダーシップによって、2014年にTIO（TMT国際天文台）が結成されたのです。彼はすべての人から尊敬され、信用される人格を備えています。

## Overseeing the Day-to-Day Activities of TMT

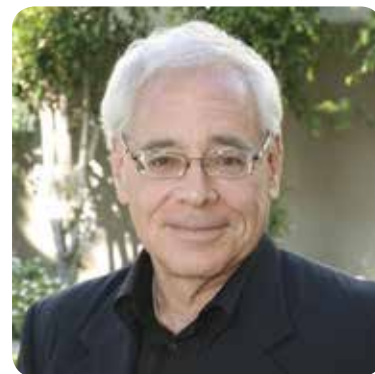
TMTの活動を常に監督しています

Gary Sanders

TMT Related Activities: TIO Project Manager

ゲリー・サンダース

TMT関連活動：TMT国際天文台 プロジェクト・マネージャ



文：家 正則 (Masanori Iye)

Dr. Gary Sanders is an outstanding manager of big science projects. He led GEM detector of the Superconducting Super Collider (SSC) project during 1989-1993, Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) during 1994-2004, and the Thirty Meter Telescope (TMT) since 2004. The great success of LIGO to detect the gravitational wave from binary black holes in 2015 owes much to his contribution.

I've been working for TMT with him since 2005 and have always been impressed by his broad scope of knowledge, honest open minded character with lots of wits, and his quick and to-the-point decisions to lead the project. TMT, as an unprecedented international project, has faced and is facing many difficulties, some of which were quite unexpected. He shows strong leadership to organize the staff of TMT International Observatory and convince its Governing Board. Gary is always prepared for emergencies and show his leadership to find a way out. He must have seen every corner of the hell and the heaven during his exciting career to lead those projects. He serves also as the chair/member of advisory board of many international science projects including SKA and KAGRA.

According to his mother, he wrote a paragraph when he was eight years old that he wanted to grow up to be an "experimental elementary particle physicist"! NSF has supported him to run a lecture course on "science project management" which I found to be a very useful class for our Japanese colleague scientists and administrators in funding agencies. His hobby is scuba diving and sometimes flying a plane. And he is a 4 million miler on American Airline!

ゲリー・サンダース博士は3つの巨大科学計画を率いた傑出した実験科学者です。1989-1993年には超伝導超大型加速器SSCのGEM検出器（ガンマ線・電子・中間子の相互作用を調べる実験）の開発責任者、1994-2004年には重力波天文台LIGOの建設を率い、そして2004年からは次世代30m望遠鏡TMTのプロジェクト・マネージャを務めています。LIGOは2015年に、初めてブラックホール連星からの重力波の検出に成功しましたが、彼の寄与は絶大なものがあります。

筆者（家）はゲリーとはTMTに関して2005年からの付き合いですが、彼の幅広い知識とウィットに富み率直で開放的な人柄、プロジェクトを率いる上での的を射た決断に常に感心してきました。彼はTMT国際天文台の職員を力強く統率し、評議員会を説得する力を持っています。ゲリーは常に非常事態に対処できる心構えを持っており、危機を切り抜ける方策を考えだします。前例のない計画を乗り切ってきた彼は、天国も地獄もすべて見てきたに違いありません。彼はSKAやKAGRAなど多くの国際科学計画の助言委員会の委員や委員長としても活躍しています。

ゲリーのお母さんによると彼は8歳のときに、将来は素粒子実験物理学者になりたいと、なにかの作文で書いたのだそうです。NSFは彼が「科学計画マネジメント」と題する一連の講義を毎年開催するのを支援してきました。この授業は日本の科学者や科学行政官にも大変有益な授業だと思います。ゲリーの第一の趣味はスキューバダイビングですが、時々飛行機の操縦も楽しんでいるようです。ちなみに彼はアメリカン航空でこれまでに400万マイルを飛んでいるそうです。

# IIa TIOボード・メンバーに聞く①

次に、5か国の諸機関からなるTIOの評議員会（ボード）メンバーを紹介します。まず、評議員会の議長ヘンリー・ヤン氏に登場いただき、次に初代副議長の家 正則氏にお話を伺います。

## Listening and Talking to Stakes Holders of the TMT Project

### TMT計画の鍵を握る人々と話しています

#### Henry Yang

Chancellor of UC Santa Barbara  
TMT Related Activities: TIO Board of  
Governors Chair

#### ヘンリー・ヤン

カリフォルニア大学サンタ・バーバラ校学長  
TMT関連活動：TMT国際天文台 評議員会 議長



文：家 正則 (Masanori Iye)

Professor Henry Yang chairs the Governing Board of the TMT International Observatory. He is a professor specializing in aerospace engineering and has been the chancellor of University of California, Santa Barbara since 1994. Before then, he was a Neil Armstrong Distinguished professor and Dean of Engineering at Purdue University. He is a member of the U.S. National Academy of Engineering and recipient of the prestigious 2016 NAE Arthur Bueche Award. He has also received awards for outstanding research such as Benjamin Lamme Award from ASEE, Structures, Structural Dynamics, and Materials award from AIAA, and seven Honorary Doctoral Degrees.

I met him for the first time in 2005 when he came to Japan. It was the time when our ELT project office completed the phase A study of Japanese 30 m Telescope project and was starting to seek international partners to move forward. Considering the legacy of Subaru Telescope on Maunakea we talked about the importance for Japan to build the next generation telescope in Hawai'i.

He devoted his busy time to meet and talk to key people for TMT not just at a very high level but also at grass-roots level. Especially, upon facing the opposing movement against TMT in Hawai'i, Dr. Yang took the initiative to listen and talk to stakes holders to reconcile the situation. His friendly and respectful manner helped quite a lot to enhance the local support to TMT.

TMT国際天文台の評議員会議長のヘンリー・ヤン教授は、カリフォルニア大学サンタ・バーバラ校の学長を1994年から務めている航空工学者です。その前にはパーデュー大学工学部長でニール・アームストロング特別教授でした。アメリカの国立工学会会員で、2016年にはアーサー・ブッシュ賞を受賞しています。他にもアメリカ工学教育協会からベンジャミン・ラム賞、アメリカ航空宇宙学会からは構造力学・材料学賞を受賞するなど多くの荣誉ある賞を受賞し、7つの名誉博士号を授与されています。

筆者（家）がヤン教授に最初にお会いしたのは、2005年に彼が来日して訪ねてこられたときでした。当時、ちょうど私たち次世代超大型望遠鏡計画推進グループが日本の30m望遠鏡構想JELT計画の予備検討を終え、建設に向けて国際パートナーを探し始めていたころでした。マウナケアに建設したすばる望遠鏡の成功を踏まえ、日本にとっては次世代望遠鏡をハワイに建設することが重要だと考えているという話をしました。

ヤン教授は学長としての多忙な日程の中、TMT計画推進のカギとなる人々、それも高いレベルの人々だけでなく、草の根レベルのキーパーソンと面会し話す努力を続けてきました。特に、ハワイでTMT計画への反対運動が起こった中、ヤン教授は地元の運動のカギを握る人物やグループと面会して、その意見に耳を傾ける努力を重ねてきました。彼の友好的で親身に話を聴く態度と人柄がハワイでのTMT支持者を増やす上でどれほど貢献してきたか、言葉を尽くし切れません。

## Making Subaru's Legacy even Greater through TMT

すばるの成功をTMTでさらに発展させたいと願っています

### Masanori Iye

NAOJ Professor Emeritus  
TMT Related Activities: TIO Board of  
Governors First Vice Chair

### 家 正則

国立天文台名誉教授  
TMT関連活動：TMT国際天文台 評議員会  
初代副議長



Interviewer: Ramsey Lundock (ラムゼイ・ランドック：L)

L: Could you talk about Japan's prehistory with TMT?

I: In 2002, when Subaru Telescope and its 8 instruments are in stable operation phase, we started to think about the next generation telescope, Japan Extremely Large Telescope, JELT. We made an optical design of a three aspheric mirror telescope with diffraction limited wide field imaging capability, started R&D of producing concentric segment made from zero-expansion ceramics by developing a microwave sinter furnace together with the National Institute of Fusion Science and successfully polished a 30 cm convex secondary mirror for Hiroshima 1.5 m telescope. However the crude cost estimate turned out to be not affordable for us to go alone.

L: How did Japan come to join TMT?

I: We started to attend the TMT board as observers from 2006 and we became a partner when TMT chose Maunakea as a site for construction in 2009. Initially we planned to provide all the polished mirror segments but later our role became the design and construction of the telescope structure and providing all the mirror blanks and polishing 30 % of them. Japan was the first among the international partners to start financial contribution to TMT and we helped to make international agreements taking international partners point of view into account.

L: What is your role now?

I: I retired from NAOJ in March 2015 but am continuing to support TMT-J Director Prof. Usuda, as the Japan Representative of the TMT International Board, and the first Vice Chair of the TIO Board. Although TMT is facing a difficult situation, I hope to see it completed eventually in Hawai'i.

L: TMT計画に参加する前の日本の状況をお聞かせください。

I: 2002年にすばる望遠鏡と8台の第一期観測装置が安定運用期に入ったのを機に、山下卓也教授ほか数名の方々と日本の次世代超大型望遠鏡JELT構想の検討を始めました。成相恭二名誉教授と非球面3面を用いて回折限界の無収差で視野15分の平坦焦点面を持つ光学系を設計し、30mの主鏡は日本セラテック社が開発したゼロ膨張セラミクスで同心円型のセグメントとする基本構想をまとめ、核融合研の佐藤教授とマイクロ波焼成炉を開発し、直径30cmの肉抜き軽量化鏡材を当時プロジェクト研究員だった秋田谷洋さんほかと試作し、ニコンと共同で鏡面研磨が可能なことを実証しました。この構想の当初見積もりは素人の仮算定でも2000億円を超える規模となったため、国際協力での実現を目指すことを2005年頃に決めました。

L: 日本のTMT参加の経緯についてももう少し詳しくお願いします。

I: 2006年からTMT評議員会に毎回オブザーバー参加し、2009年には建設地をハワイとすることが合意されました。最初はカナダが望遠鏡とドームをつくるという話だったので、主鏡をすべて日本でつくることを検討しました。セラミックス主鏡の実証には少し時間が足りなかったので、オハラ社のゼロ膨張ガラスセラミクスを採用して試作を始めました。やがて、望遠鏡の製作はすばる望遠鏡の実績がある日本に任せたいということになり、日本の役割分担が固まってきました。2012年からはTMT推進室として活動を広げてきました。国際パートナーの中では日本が一番乗りで予算獲得に成功し、TMT国際天文台の設立や合意書内容の議論においては国際パートナーの立場を主張して指導力を発揮できたように思います。

L: 今のお立場についてお聞かせください。

I: 2014年度で定年を迎えましたが、RCUH職員として、臼田室長を支え、TMT国際天文台評議員会日本代表・初代副議長として引き続き活動させていただいています。予定外の反対運動で計画進捗がスローダウンしていますが、ハワイでの完成を見届けたいと願っています。

TIO参加の各国や大学は評議員会の代表を3名任命します。ここでは、その中のお一人に各組織の役割を紹介していただきます。また、スポンサーのムーア財団にもお話を伺います。

Interviewer: Ramsey Lundock (ラムゼイ・ランドック : L)

## California Institute of Technology (Caltech) カリフォルニア工科大学 (カルテック)

### Working with Widely Diverse Partners 多彩な組織との協力

#### Thomas Soifer

Professor of Physics at Caltech  
Director of the Spitzer Science Center  
TMT Related Activities: TIO Board Member

#### トーマス・ソイファー

カリフォルニア工科大学 物理学教授  
スピッツァー・サイエンス・センター長  
TMT関連活動：TMT国際天文台評議員会メン  
バー



L: The TMT project got started at Caltech didn't it?

S: I would say it was a joint enterprise between Caltech and UC. There was interest on both sides, and because of our history of collaborating on the W. M. Keck Observatory it was very natural for us to continue and explore a next generation telescope together. So it really was a joint effort from the beginning.

L: So why did you decide to build a 30 meter telescope?

S: I think probably the best reason is because we could.

The thing to keep in mind is that the technical expertise, the sort of driving person who really understood what could be done technically and pushed for 30 meters, was Jerry Nelson who was also the architect of the Keck Telescopes. The whole concept of the segmented mirror is his concept. And it's rather a breath-taking step to go by a factor of 3, instead of the normal factor of 2: from the 100-inch Hooker Telescope at Mt. Wilson to the 200-inch Hale Telescope at Palomar (which is 5 meters) to the 10-meter at Keck. And so a factor of 2 would be a nominal guess as to where you'd go next.

But if one thinks of what the constraints are that would limit you, so many technologies have been improving. The key technology that the Keck Telescopes demonstrated is to manufacture and then mount and execute the segmented mirror. And then it was a matter of, "Do you have the computing power to keep that mirror phased up?" So the fact that computing had advanced so far that it was no longer any kind of an issue, let you think about a 30-meter telescope.

L: And could you please explain Caltech's role in TIO?

S: Well, Caltech is one of the members, so we have 3 of the Board Members. Caltech provided the housing for the project offices early on, and now the project offices have moved into a commercial area in Pasadena (→p19).

As far as the role, we are contributing basically cash right now. As distinct from Japan's role, where major contributions of Japan are the telescope mount, the primary mirror blanks and much of the mirror polishing. We're providing cash which the project then spends on a variety of things that it has to do,

L: TMTプロジェクトはカルテックから始まったと伺いました。

S: というより、初めはカルテックとUC (カリフォルニア大学) の合同組織でした。W. M. Keck Observatory (W. M. ケック天文台) を作る際にUCと協力した歴史があったので、合同で次世代の望遠鏡の可能性を探ったのは自然な流れでした。最初から協力していました。

L: なぜ30m望遠鏡を作ろうと思ったのですか？

S: 一番の理由は「作れる」と思ったからです。

まず、心に留めておいてほしいのは、技術的な専門知識、つまり技術的に何ができるのかを実際に理解して、30メートル望遠鏡を作ろうと言ったのは、ケック望遠鏡設計者のJerry Nelson (ジェリー・ネルソン) だということです。望遠鏡の主鏡を分割するアイデア (分割鏡面望遠鏡) は、すべて彼の考えによるものでした。ケック望遠鏡の3倍の口径30メートルにすることは大きな挑戦でしたが、過去には口径を2倍にした望遠鏡を作った実績が二度あります。ウィルソン山天文台の100インチフッカー望遠鏡の次に作ったパロマー山天文台の200インチ (5メートル) ヘル望遠鏡ですね。さらに、その次にケック天文台の10メートルの望遠鏡を作りました。とすると、以前と同様のやり方だとケックの2倍の口径の望遠鏡、つまり20メートルになるところでした。

しかし、現在は、さまざまな技術が向上しているので、当時考えられていた限界が限界では無くなりました。また、ケック望遠鏡は、分割鏡面の製造や設置、実使用ができることを示してくれました。次に残された課題は、たくさんの分割鏡のすべての位相を合わせるためのコンピューターの処理能力の向上でした。皆さんご存知の通り、コンピューターの処理能力は大幅に向上したので、以前、限界だと思われていた限界はもう問題ではなくなりました。そのため、30メートル望遠鏡の構想が浮かび上がってきたのです。

L: カルテックのTIOでの役割を説明してください。

S: カルテックはTIOのメンバーなので、TIO評議員が3人います。初期の頃は、カルテックにTMTプロジェクトの事務所が置

most notably the figuring of the primary, but other aspects also. And Caltech is significantly participating in the instrumentation for the project. I think we have significant representation in all 3 of the current first light instruments.

L: And what difficulties have you had to overcome in your TIO activities?

S: For us, I think the major difficulty has been, basically the fundraising. First of all, working with UC to develop and obtain the commitment of the Moore Foundation for substantial funding. The Moore Foundation has really been funding a huge fraction of what's gone forward to date. But then raising the additional monies that Caltech has pledged to contribute has been a big issue for us.

As far as on the technical side, I think the projects have been exciting, and they've been challenging, but I wouldn't say there have been big obstacles. These are exciting challenges, both scientific and technical, that you have to figure out. But I would say, for us the biggest issue so far has been the fund-raising.

And to be honest, right now I personally am deeply involved in trying to understand the siting. I mean we've all suffered from the delay in the construction associated with the issues in Hawai'i. And I think that that has been a struggle for the entire partnership. And where that ends is hard to predict. Right now the site is the biggest hurdle that we have, so obviously it's a big hurdle for Caltech.

L: And what do you expect from TIO in the future, both in terms of research and other aspects?

S: This is an international observatory with the 4 countries, plus California (that's almost a country). So it's going to be exciting. And certainly working together to execute what is arguably one of the major scientific research facilities of the 21st Century, will be hard, but it's a great opportunity. Learning how to work together in this magnificent international project is both a challenge and a great opportunity.

Scientifically, I have every expectation that TIO will be operating the Thirty Meter Telescope, the outstanding ground-based telescope of the 21st Century. The exciting science that will emerge from this observatory will be as every bit as breathtaking as the science that we've seen come out of earlier generations of telescopes. I think that the birthing pains of big projects are often very traumatizing, but once you get past them, once you get to actually executing the project, in retrospect it always seems worthwhile. And I have great confidence it will be for TMT as well. So I look forward to it.

L: Is there anything else you'd like to get on the record?

S: This has been a fascinating project to me. It's the first time, with respect to a ground based project, that I've dealt with such a widely diverse group of partners. And I've really enjoyed meeting and working with people from so many different countries. And so it's been a great learning exercise for me. I've enjoyed it. And all I can say is I hope we get through the pains of figuring out where we're going to put the telescope and get on to building it. That will be an enjoyable and challenging enterprise.

かれていました。現在は、パサデナの商業地区に引っ越しています (19ページ参照)。

現在のカルテックの役割は、基本的には資金の提供です。望遠鏡本体や鏡材などの製作が大きな貢献である日本とは異なり、私たちは出資をしています。この資金は、主鏡の形状保持の研究開発など、様々なことに使われています。また、資金提供とは別に、TMTの観測装置を作るという大きな役割もあります。今、TMTのファーストライトの際に使う3台の観測装置の製作に関わっています。

L: TIOの仕事で何か困難だったことはありますか。

S: 先に述べたように、私たちは資金集めに力を注いでおり、UCと協力して、ムーア財団に資金提供を働きかけました。そして、ムーア財団はこれまでに多くの活動資金を提供してくれました。しかし、それでも設定した額の資金を集めることは、カルテックにはなかなか大変なことです。

TMTは、技術面ではやりがいがあって興味深いものですが、そこに特に大きな障害があるとは思いません。技術面やサイエンス面で生じる課題というものは、わくわくするようなチャレンジングなものですし、解決していかなければならないものです。むしろ、現在抱えている問題は資金面ですね。

また、現在、私は建設地の選定問題をきちんと理解し、向き合う必要にも迫られています。ハワイで起きている建設反対の声による工事の遅れの影響を受けており、TIOのパートナーすべてがこれを克服しようと取り組んでいます。建設地問題は、大きな困難のひとつだと思います。この問題がどのように決着するか、今は予測しにくいですが、TMTにとってもカルテックにとっても難しい問題です。

L: TIOに対して(研究とその他の面においても)将来どんなことを期待していますか。

S: TIOは国際天文台です。4か国とカリフォルニアを加えた、国際的な天文台です。ですから、とても面白い共同事業となっていくでしょう。21世紀の最重要研究施設の一つとなるTMTを、複数の国と協力して実現させることは難しい面もあると思いますが、良い機会でもあります。うまくいけば、いろんな文化圏の人と国際プロジェクトができることを示せませし、国際プロジェクトを協力して行う方法を学ぶ素晴らしい機会にもなると思います。

また、TIOが21世紀の最先端の地上望遠鏡であるTMT望遠鏡を運用することに科学面からも大いに期待しています。TMTから生まれる興味深いサイエンスは過去の世代の望遠鏡から生まれたサイエンスに負けないくらい、わくわくするようなものになると期待しています。大型プロジェクトを産み出すのはいつも大変です。しかし、過去の大型プロジェクトを振り返ると、苦勞してプロジェクトが達成できたとき、諦めなくてよかったと思うものです。きっとTMTもそうだと信じています。だから、私はTMTに期待しています。

L: 最後に読者へコメントはありますか。

S: 私にとって、このプロジェクトはとても魅力的です。こんなに多くのパートナーと協力したのは、地上望遠鏡のプロジェクトでは初めてのことです。多くの国の人と協力して働くのはわくわくしますし、たいへん勉強になります。だから、楽しみながら仕事を進めています。まずはTMTの建設地問題が解決して、現地建設が始まることを願っています。TMTが挑戦的で魅力的なプロジェクトになると信じています。

## Listening to everyone's Opinions

皆の意見を聞く

### Michael Bolte

Professor of Astronomy and Astrophysics at the University of California Santa Cruz  
Former Director of UC Observatories/Lick Observatory  
TMT Related Activities: TIO Board Member

### マイケル・ボルティ

カリフォルニア大学サンタクルーズ校 天文・宇宙物理学教授  
カリフォルニア大学天文台組織委員会・リック天文台の前理事  
TMT 関連活動：TMT 国際天文台評議員会メンバー



L: Could you please explain the University of California's role in TIO?

B: So just a little bit of history, the United States is curious in that the largest telescopes in the world going back through time have almost always been funded privately by individuals: the 200-inch, the 100-inch telescope, the Lick Observatory 36 were all made possible by philanthropists who gave money to build what was at the time the largest telescope in the world. And the University of California has been part of that ever since 1888 when Lick Observatory, funded by James Lick, was built to be operated by the University of California. And it was the largest telescope in the world for some time. And we've kind of played that role ever since.

So the 2 Keck telescopes, segmented 10-m mirror telescopes, were developed by University of California astronomers Jerry Nelson and Terry Mast. And with Caltech, we're one of the owners of the Keck facility. When those telescopes were originally designed and built, and turned out to be successful, that led to the idea of making an even larger next generation of telescope. Because the nice thing about segmented mirrors is that to make a bigger telescope you just add additional rings of segments.

So the University of California has been sort of an intellectual hotbed for telescope design for a long time. And since before it was TMT, when it was originally CELT, the California Extremely Large Telescope initiative, many of the original people who did the technical work, as well as the scientific leadership work, came from the University of California. We have had the Project Scientist, Jerry Nelson, on this telescope.

L: And what difficulties have you had to overcome in your CELT/TMT/TIO activities?

B: Oh, boy is that a big question. You know, it's an expensive project, \$1.5 billion, so significant activity and challenge has always been raising that kind of money.

On the private side, the Gordon and Betty Moore Foundation (→p.28) has been extremely generous with the University of California and Caltech. They gave us a joint pledge of \$200 million back in 2009, which at the time was the largest private gift for a science project in the history of the world. So that's enormous, yet in a \$1.5 billion project, that's only the first chunk of money.

It was a big challenge: to put the partnership together that has the funding to build this telescope. We've had to develop, we've had to court, and negotiate with partners: Japan, Canada, China, and India. And we had to both convince them that this project was the right one to participate in, and in some cases we had to help them make the case to their funding agencies, to generate more of the money for the project.

L: TIOにおけるカリフォルニア大学の役割を教えてください。

B: まずは、歴史的背景について少しお話ししましょう。アメリカの天文学の歴史で興味深いのは、過去に造られた世界最大の望遠鏡の多くが個人の寄付金で賄われていたということです。有名な200インチ望遠鏡（パロマー山天文台）、100インチ望遠鏡（ウィルソン山天文台）、リック天文台の36インチの望遠鏡は、どれも慈善事業家からの寄付によって、当時世界最大の望遠鏡として建設されました。James Lick（ジェームズ・リック）がカリフォルニア大学に寄付し、リック天文台が建設されたのは1888年のことです。当時、リック天文台の望遠鏡は世界最大でした。それ以来、カリフォルニア大学はリック天文台の運営に関わっています。

そして、ハワイに建設されたケック天文台の10メートル分割鏡望遠鏡2台はカリフォルニア大学の天文学者 Jerry Nelson（ジェリー・ネルソン）と Terry Mast（テリー・マスト）が作りしました。私たちは、ケック天文台をカルテックと共同所有しています。そして、ケック望遠鏡の設計・組立が終わり、利用を開始すると、より大きな次世代望遠鏡の構想が生まれました。というのは、分割鏡望遠鏡のよいところですが、より大きな望遠鏡を作るためには、分割鏡を追加していけばよいからです。

カリフォルニア大学は昔から、望遠鏡計画の知の拠点です。「TMT」という名前がつく以前の CELT（California Extremely Large Telescope カリフォルニア超大型望遠鏡）計画と呼ばれていた時代に技術開発やサイエンス面を主導していた研究者の多くはカリフォルニア大学の研究者たちでした。TMT プロジェクト・サイエンティストの Jerry Nelson もその一人です。

L: CELT/TMT/TIO に関連して何か困難だったことはありますか。

B: それは、少し長いお話になります。なにしろ15億米ドルを必要とする高価なプロジェクトなので、資金を集めるために必要な活動や新しい試みを続けています。

まず、Gordon and Betty Moore Foundation（ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団）という私立財団（28ページ参照）が、カリフォルニア大学とカルテックへ資金援助をしてくれました。2009年に2億米ドルもの寄付を約束してくれたのです。当時、科学プロジェクトへの私的な援助としては最大額のものでした。大変素晴らしいことですが、15億米ドル規模のプロジェクトなので、資金集めはまだまだ始まりにしかすぎなかったのです。

この望遠鏡を建設するためには、さらに資金のある協力組織を探ることが課題でした。そこで、日本、カナダ、中国、インドといった各国の組織にパートナーになってもらえるように交渉しました。このプロジェクトが参加する価値があることを認めもらうことのみならず、それぞれが資金的な裏づけを得られ



The technology challenges are significant, but in a way those are the easiest. You have to have this gigantic structure, that weighs many tons, somehow point with a precision on the sky of less than an arcsecond; it has to track the sky extremely smoothly; it can't have deformations which ruin the alignment or the image quality. So it's amazing that you can do all those things.

And then of course we've run into this complication in Hawai'i. We had selected the Hawaiian site fully aware that there were some sensitivities at the mountain. And we spent a lot of time, years, meeting with many people up and down the chain in Hawai'i, from the Governor to our opponents at the grassroots level, trying to make sure we understood what the issues were and that we had properly addressed them. So you know not just so we could get a permit and finally build up there, but so we were accepted and welcomed in the community has always been our goal.

We listened a lot, and we thought that we had addressed many of the concerns and showed respect for the concerns people had, which I think is very important. Yet, we've run into issues, first the protests and now some legal complication. We've solved many, many challenges, but one of the major ones we thought we had solved, we hadn't quite. And it's a big roadblock at the moment.

I started on this project in the year 2000, and I've been one of the few people who have been involved in the project since the very beginning, since before it was TMT. It became the TMT in 2004. It's now 2016, so I've been working on this project for 16 years. The science reach of the telescope is going to be enormous, and as an astronomer, I get excited about that. But boy, when a project takes a few decades, it requires some persistence and some patience. And that's one of the challenges we face right now: we were already to go and now the slowdown. It can't last too long or you start to worry about the people who are actually doing lots of the work in the project going someplace else or joining other projects.

So those are the challenges.

**L:** And what do you expect from TIO in the future, both in terms of research and other aspects?

**B:** I have to say it's been an excellent partnership. Everyone has come together in a very nice way. We're always jointly trying to solve problems. People bring different perspectives to the table; they have slightly different goals; they have different ways they have to get there through their funding agencies. But everybody listens. It's kind of like what I thought we did in Hawai'i. People listen carefully to everyone, try to see everyone's points of view, and come to a nice consensus.

And if that ability for the group to work together was going to be eroded, it was going to be through these difficulties of the last year. But it hasn't, people are still working together to try to find the right solution to get to the end.

So I think we're going to get through this. And I think TIO will continue to be a group of people from the partners who have a big vision on behalf of their community all working together to make sure the visions of all of our communities get met through this facility.

るよう各財政当局への申請の支援をしたこともあります。

技術的な開発もたいへんな仕事ではありますが、それはある意味では容易な問題でもあります。たとえば、何千トンもある巨大な構造物を1秒角以下の精度で、空のある方向に向くようにしなければなりませんし、天体をスムーズに追尾する必要があります。そして、鏡の配列や撮像の画質を損なう歪みが生じないようにしないといけません。でもこれらすべてを克服していくことは、本当に価値のあることなのです。

ただ、建設予定地として選んだハワイには、ひとつの問題があります。ハワイの住民がマウナケアに対して強い思いがあることは知っていました。そこで、州知事から望遠鏡建設に反対している一部の住民まで、草の根レベルで多くの方々と何年もの時間をかけて話すことによって、何が問題視されているのかを正しく把握し、適切に対処することに努力しました。もともと望遠鏡の建設許可をもらって建設するだけではなく、地域社会に受け入れられ、歓迎されるようになることは、当初からの目的でした。

私たちは多くの住民の意見に耳を傾けました。住民の方々が抱いていた懸念を尊重して丁寧に対応しました。意見をきちんと尊重することは大切です。まだ、住民の反対は続いていて、抗議デモも起こり、裁判でも争われています。これまでTIOは多くの問題を解決してきましたが、解決したと思っていた問題の1つが残っていて、現在、それが大きな障害となっています。

2000年に私はこのプロジェクトに加わりました。私はプロジェクトが始まった頃から参加している数少ないメンバーの一人です。これは「TMT」と呼ばれる以前のことで、「TMT」と呼ばれるようになったのは2004年です。今は2016年です（インタビュー当時）、16年間以上、このプロジェクトに関わっていることとなります。この望遠鏡が切り拓くサイエンスは素晴らしいものがあります。天文学者としても、その能力に期待しています。数十年かかるプロジェクトには根気強さと忍耐力が必要です。しかし、このままTMTの建設開始の時期が建設地の情勢から遅れる状況が長く続くようだと、TMTプロジェクトに関わっている人が他のプロジェクトに移ってしまうのではないかと心配はあります。

以上が、TMTの課題です。

**L:** TIOに対して（研究とその他の面においても）将来どんなことを期待していますか。

**B:** TMTプロジェクトに関わる各組織は素晴らしい協力関係にあります。全員が団結しています。いつも、協力して問題を解決しています。各組織間には異なる観点、異なる目的があり、資金を調達する方法も異なっていますが、お互いが話すことによく耳を傾けています。ハワイの住民に対しても意見を聞き理解しようという心がけてきました。TIO評議員会でも、皆が互いの意見を丁寧に聞き、目的を理解して、妥協点を探ろうとしています。

もし、TIOのパートナー間の協力姿勢がなかったら、2015年に経験した反対運動のトラブル対応のような困難は乗り越えられなかったでしょう。今後も、全員が協力して良い解決策を探っていくつもりです。

私たちは現在かかえている課題を乗り越えたいと思っています。TIOは、大きな目的を持つ機関や組織が集まった集団ですので、TMTを通してみんなの目的が実現できるように頑張ります。

## Proud to be Part of the TIO Community

TIO 共同体の一員であることが誇り

## Gregory Fahlman

General Manager of Hertzberg Astronomy and Astrophysics at the National Research Council of Canada  
Former Executive Director of the Canada France Hawai'i Telescope  
TMT Related Activities: TIO Board Member

## グレゴリー・ファールマン

カナダ国立研究会議ヘルツベルク天文・天体物理研究所長  
カナダ・フランス・ハワイ望遠鏡 前常任理事  
TMT 関連活動：TMT 国際天文台評議員会メンバー



L: Could you please explain Canada's role in TIO?

F: Canada has 2 major interests in the TIO. This is termed our workshare in TIO-speak. The first significant piece of workshare is to provide the TMT enclosure. In Canada, we have a company that has been involved in building many of the large enclosures in optical astronomy for many years. They also build devices for radio astronomy as well. The company, called Dynamic Structures, has been involved in many of the enclosures that one sees, for example on the top of Maunakea. In addition to the Canada France Hawai'i Telescope, they've also built the enclosure for the Gemini telescopes, the Keck telescopes and finally for the Subaru Telescope. A major part of our workshare, approximately half, will be delivering the calotte enclosure that is an iconic image of the TMT.

The other major part of our workshare concerns the adaptive optics system that TIO will use. This is called NFIRAOS (pronounced 'nefarious'). The TMT is of course a telescope that is intended to be used quite extensively in adaptive optics imaging. The adaptive optics imaging is the way in which the full resolution of the 30 m aperture can be achieved. We are aiming to get as close as possible to the diffraction limit that such a telescope is capable of achieving.

NFIRAOS itself will be a very large contribution and associated with NFIRAOS, there are a number of auxiliary issues that arise in how instruments such as the Infrared Imaging Spectrograph, which is called IRIS, will interface and work with the adaptive optics system. So Canada is also involved in many aspects of the instrumentation program through its interface with the adaptive optics system. In the National Research Council's Hertzberg program, we have an extensive history in building adaptive optics systems. NFIRAOS will be by far the largest and most elaborate of these systems.

L: Thank you. And what difficulties have you had to overcome in your TIO activities?

F: I think the major difficulty, as always, is securing support from the government of Canada to fund the activities that we are doing. The primary work that we have done, besides the technical development, has been to convince the government of Canada that this is a project worthy of their support. It's a major international science project. We're very proud, very pleased to be part of the community that is building the TMT.

Our funding was secured in 2015 and unfortunately, it was only a matter of months after we had secured the funding that the building permit for the TMT on Maunakea was removed, or deemed to be void, by the Hawaiian Supreme Court. So currently we are all, all the partners, not just Canada, involved in dealing with that particular situation. We have a beautiful project, and we don't have any place to build it at the moment.

L: TIO におけるカナダの役割を教えてください。

F: カナダがTIOで分担しているおもな仕事は2つあります。両方ともTIOでは、「ワークシェア」と呼ばれているものです。1つ目の重要なワークシェアはTMTのドームを作る仕事です。カナダには、何年も前から可視光天文学の大型ドームの建設を請け負っている会社があります。Dynamic Structures (ダイナミック・ストラクチャーズ) 社です。Dynamic Structures社は、電波天文学の関連装置も開発しています。また、ハワイ・マウナケアにあるドームなども建設しています。具体的には、カナダ・フランス・ハワイ望遠鏡のドーム。そして、他にもGemini (ジェミニ) 望遠鏡、Keck (ケック) 望遠鏡、すばる望遠鏡のドームを作りました。カナダのワークシェアの約半分は、TMTの先進的なイメージを象徴するドームを作ることです。

もうひとつの重要なワークシェアは、TIOで使用される補償光学装置「NFIRAOS (ネファリオス)」に関するものです。そもそもTMTは補償光学を用いて観測する望遠鏡で、NFIRAOSを使えば、口径30メートルの分解能をフルに発揮することができ、望遠鏡の回折限界ぎりぎりまで性能を高められるように開発の努力が続けられています。

このNFIRAOSの開発・調整もカナダにとっては大きな仕事ですが、IRIS (Infrared Imaging Spectrograph、近赤外線撮像分光装置) などの観測装置とNFIRAOSとの組み合わせの際に生じる問題もあります。ですので、補償光学と関連した観測装置の多くの問題にも関わっています。カナダの国立研究会議ヘルツベルク研究所には、天文学・宇宙物理学に関して長年の補償光学の経験がありますが、NFIRAOSはその中でも、とびぬけて大きく複雑なシステムを持つものとなります。

L: TIO 関連の仕事で何か困難だったことはありますか。

F: 一番の課題は、いかにカナダ政府に資金の援助をしてもらうかです。技術開発以外の私たちの主な仕事は、カナダ政府に「TMTプロジェクトは援助する価値がある」と説得することですね。TMTは重要な国際科学プロジェクトなので、私たちはTIOの開発組織の一員であることを誇りに思っており、また同時に嬉しく思っています。

その努力が実って、2015年にカナダ政府が資金を確保してくれました。しかし、残念ながら、その数か月後、ハワイ州最高裁判所がTMTのためのマウナケア科学保護地区の使用許可の手続きを差し戻しました。現在は、カナダのみならず、全メンバーがこの問題を解決しようとしています。TMTは重要なプロジェクトですが、その建設地が定まらないのですから。

L: And what do you expect from TIO in the future, both in terms of research and other aspects?

F: Our community is fairly experienced and like the Japanese community, we have access to 8-m facilities. We have access to 4-m facilities on Maunakea as well. We are very interested in wide field imaging. We are very interested in adaptive optics, high resolution imaging on narrow fields. The main driver at the moment for that field is exoplanets. We expect that TIO will make major contributions to advancing knowledge in the area of exoplanets in the coming years.

We also expect that TMT, by virtue of its large aperture, will be able to push deeper into the Universe. We will be able to see, in far more detail, how structure in the Universe is assembled, how galaxies themselves are assembled and how the chemical evolution of the Universe has proceeded almost from the beginning of the modern era, which would be at the end of the so called Dark Ages. Very high redshift objects going right back to the aftermath of the Big Bang will be an important topic of TMT research.

L: And is there anything else you'd like to get on the record?

F: We are involved in making sure the project can continue under the current situation. We all are looking forward to actually seeing this telescope built and on the sky.

L: TIOに対して（研究とその他の面においても）将来どんなことを期待していますか。

F: 日本と同じく、カナダには大型望遠鏡の建設実績があります。口径8メートルの望遠鏡や、マウナケアにある口径4メートルの望遠鏡を利用した運用経験もあります。そして、私たちは広視野撮像に興味をもっていますし、補償光学を用いた高解像度での狭帯域撮像にも関心があります。現在、この分野での主要な研究テーマは太陽系外惑星です。将来、TIOが太陽系外惑星研究に貢献することを期待しています。

TMTの大口径望遠鏡では、より遠くの宇宙を観測できると期待しています。宇宙の暗黒時代の終焉期からどうやって宇宙や銀河ができたのか、宇宙における化学進化がどのように進んだかをさらに詳しく知ることができます。ビッグバンの直後の高赤方偏移天体の観測はTMTの重要な研究課題の1つです。

L: 最後に読者へコメントはありますか？

F: 現在の状況下で、私たちはプロジェクトを確実に継続しようとしています。TMTが建設され、観測できるようになる日を楽しみにしています。



▲パサデナ市役所の立派な建物（TIO本部とカルテック（→p36に関連記事）の間にあります）。



▲TIO本部の駐車場から見えるサン・ガブリエル山脈。



▲TIO本部に近いパサデナの街の雰囲気。街路樹が南国風です。



▲TIO本部が入っているPARSONSセンタービル。



▲オフィスフロアに置かれていた小型望遠鏡。口径はTMTの400分の1？

## TIO本部を訪ねて

TIO本部はアメリカ・カリフォルニア州のパサデナにあります。西海岸特有の明るい開放的な街並みが印象的です（撮影：ラムゼイ・ランドック）。



▲TIO本部の入り口。



▲開放的なオフィスフロア。



▲ラウンジ。左奥の部屋でボード会議が開かれています。





## Chinese International Collaboration with no Precedent 中国にとって前例のない国際協力

### Suijian Xue

Deputy Director-General of the National  
Astronomical Observatories of Chinese  
Academy of Sciences  
TMT Related Activities: TIO Board Member  
Project Manager of China-TMT Consortium

シュエ・スイジエン  
薛 随 建

中国科学院国家天文台副台長  
TMT 関連活動：TMT 国際天文台評議員会メン  
バー  
中国のTMTプロジェクト・マネージャ



L: Could you explain please the role of China in TIO?

X: It was in 2009, I think, that the National Astronomical Observatories (NAOC) of the Chinese Academy of Sciences (CAS), Representing the Chinese side, decided to join the TMT project. Actually, when we negotiated an agreement with TMT at the very beginning, we have been very keen to find some ways that China will be able to provide some solid contributions to the project. We want to contribute our technological and scientific abilities to implement jointly with our international cooperation to a successful project. That is our original purpose to join TMT.

We don't have sufficient money to spend overseas for some international projects. You know there is no precedented case like that way. So we joined this international project, and probably the major consideration is that the project would be able to let us make as much as possible in-kind contribution.

China-TMT Consortium includes an institute consortium. Within the Chinese Academy of Sciences (CAS), there are 5 relevant technical institutes: National Astronomical Observatories (NAOC), the Institute of Optics and Electronics (IOE); Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics (CIOMP); Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology (NIOT); and the Technical Institute of Physic and Chemistry (TIPC). And an astronomer committee within the education system from universities. So these 2 committees work together on China-TMT.

L: And what difficulties have you had to overcome in your TIO activities?

X: I think there are 2 in principle. Firstly, it's a long long project. Probably the most serious difficulty, especially recently, is how to maintain the incentives and energies for such a long time run project, which might not yield scientific results for another 10 years. We are now suffering these kinds of difficulties.

And another difficulty, I think, is the funding situation. You know when we began thinking to join TMT, we had an expectation that this project is a U.S. led project. There must be some significant federal money, in particular, that the NSF will support this project. That gave our government agency more incentives to encourage China's scientific community to join this project. But due to various kinds of difficulties or reasons, that is not yet the case. NAOC authority had to take the lead of the TMT-China consortium, we have to make strong determination to seek our internal funding available to bridge the money eventually coming from other government agencies to keep our commitment including the cash contribution and the support to the ongoing in-kind technical activities.

Yea, I think these are the 2 biggest difficulties in my mind: fund participation and how to keep the momentum from our community.

L: TIOにおける中国の役割を説明してください。

X: 2009年頃、中国科学院国家天文台がTMTプロジェクトに参加すると決めました。TMT協定について協議を始めて以来、中国はTMTプロジェクトに具体的な貢献ができないかを探ってきました。参加が決まったことで、TMTを成功させるためにも、国際協力を行い、私たちの科学技術力を提供したいと考えています。

まず、国際プロジェクトのため海外で執行できる十分な予算がありません。そのような前例も中国にはないのです。ですから中国がこの国際プロジェクトに加わったときに考慮した点は、資金を出す代わりに、できるだけ建設にかかわる貢献を現物で提供するということでした。

中国のTMT組織は研究所の共同体からなっています。中国科学院 (CAS) には、5つの関連する技術研究所があります。国家天文台 (NAOC)、国家天文台南京天文学技術研究所 (IOE)、長春光学精密機械物理研究所 (CIOMP)、南京天文学技術研究所 (NIOT)、理化技術研究所 (TIPC) の5機関です。他にも大学の教育系統に天文学者委員会があります。中国のTMTには、この共同体と委員会が協力しています。

L: 中国がTIOの中で活動する上でどんな問題がありますか。

X: 基本的に2つの問題があります。1つめの問題は、TMTプロジェクトが非常に長期的な計画だということです。特に今後10年間の建設期間にわたり、科学的な成果の出てこない長期プロジェクトに対して、やる気と動機を保ち続けるための方法です。中国にとって、大きな問題です。

2つめの問題は資金の調達です。TMTへの参加を検討していた際には、米国主導のプロジェクトになると期待していました。連邦政府の予算も大きいものだと思っていましたし、米国国立科学財団 (NSF) がすぐにサポートしてくれると思っていました。こうした考えのもとで、中国の政府機関は、中国の科学コミュニティにTMTへの参加を勧めました。しかし、多くの問題が生じて、実際にはまだうまくいっていません。中国のTMT共同体を率いているNAOCは、他の政府機関から資金が提供されるまでは、意欲的に資金出資や技術支援活動を維持し、責任を果たすために内部資金を集めなければなりません。

つまり、資金調達のメドをつけることとコミュニティの意欲を保ち続けることの2点が、現在、最も難しい問題だと考えています。

L: What do you expect from TMT in the future in terms of research and other aspects?

X: Yes, we expect there could be transformative science, and eventually TMT will change the way astronomers and even non-astronomers understand our Universe.

Actually TMT is only possible through international cooperation that goes beyond money. You know TIO is a non-profit organization. And each partner has different strengths and technological expertise to contribute to the project. And we are all learning from each other.

Actually, besides the technological challenges, the science definition teams of the TMT Project provide a platform of building strong scientific collaboration between partners. We pay much attention to organizing the SAC committee from China and trying to encourage people from the entire community and make them well represented on the committee. And you know those SAC members, they are very keen to work on the science cases definition.

And of course, within the TMT, there are also organizations called Science Development Teams. You know, we encourage our Chinese astronomers to work together with team members from the international committees. I think the TMT partnership should set such an example for successful international scientific collaboration which can then be adopted for other scientific projects.

As a matter of fact, as I just mentioned, there is no such international collaboration pattern as TMT before. It is unprecedented. So we are very keen to initiate this international project and very keen to be able to fulfill our responsibilities in either a scientific way or technological contribution.

L: Is there anything else you'd like to get on the record?

X: Yes, I've emphasized several times that joining TMT had a strong motivation from our scientific committee itself. In China, there is no precedent case as such, and it's a bottom-up process. Previously, Chinese major scientific projects were always in some sense top-down; which is comparatively easy. But for TMT, we are approaching it in a different way. So it is very challenging for us.

However, you know, we try to even set challenges. We worked very hard and tried to sort out problems and in another way we tried to bridge the money in order to support the technical readiness to the eventual implementation of TMT. So we do hope we could benefit in other science from the international community. We should help to understand each other and to help each other.

Currently in China, we have another approved significant astronomical project. It's the 12 m telescope program. Hopefully, this project is to be able to get funded in 2 years. And we want to build this project before the completion of TMT. As the TMT first light timeline schedule is a bit stretched, we are very keen to be able to build a Chinese giant telescope before the first light of TMT. So we think this project is, in the purpose of advancing astronomy, just a middle step. And I think it's a bridge project that will connect our current situation to the TMT. So in that case, I think, this is the only way we could keep our momentum in the optical infrared domain and keep the technical team working in this field, and in that way keep the momentum to finish the workshare in the TMT project.

L: TMTに対して（研究とその他の面においても）どんなことを期待していますか。

X: そうですね。画期的な科学成果ができることを期待しています。最終的には、天文学者も天文学者でない人も宇宙への考え方が変わるような、そんな成果を期待しています。

国際協力を行わなければTMTプロジェクトは成功しません。TIOは非営利組織ですが、資金に限らず国際協力が大切です。それぞれのメンバーには異なる長所と技術力があり、それぞれがプロジェクトに貢献し、お互いに学び合っています。

技術的な課題とは少し違う話になりますが、TMTのサイエンス検討チームの活動がきっかけとなって、科学協力面でのメンバーの結びつきが深まっています。また、私たちは中国のSAC委員会（科学諮問委員会）をまとめています。中国の天文コミュニティの仲間にも働きかけて、委員会で存在感を示せるように気を配っています。SAC委員会の仲間も意欲的に取り組んでいます。

TMTには「国際サイエンス検討チーム」というチームもあります。私たちは、中国の天文学者と国際コミュニティのチームメンバーが協力して働くように努力しています。TMTの国際協力が他の科学プロジェクトにも活用できるような国際協力の成功例になればいいと思います。

先程も言いましたが、これまで中国はTMTのような国際的プロジェクトで科学協力事業を行ったことはありません。そのため、このプロジェクトでは、科学・技術の両面で貢献して、意欲的に中国の責任を果たそうとしています。

L: 最後に読者へコメントはありますか？

X: 中国の科学コミュニティ自体にもTMTプロジェクトに参加したいという強い意思がありました。これは、下部の組織が上部の組織に訴えるという過去に前例がない、ボトムアップ型の出来事です。過去の中国の重要な科学プロジェクトは、すべてトップダウン型でした。ことを進めるには、トップダウン型の方が簡単で、ボトムアップ型のTMTプロジェクトには、大いに苦労しています。

しかし、私たちは自分たち自身の意思で挑戦しようとしているのです。多くの問題を整理し、資金の問題に関しては、TMTへの技術支援という形で進めようとしています。また、国際協力の観点から、他のサイエンスにも利益をもたらせるのではないかと期待しています。それぞれがお互いを理解し、助け合うことができればよいと思います。

最近、中国ではTMTとはまた別の重要な天文学プロジェクトが承認されました。12m望遠鏡プロジェクトです。これから2年後に資金が入ることを期待しています。TMTが完成する前には、このプロジェクトを完成させたいと思っています。TMTの完成スケジュールは少し先になりますので、TMTファーストライトの前に、中国の大型望遠鏡を完成させたいところです。今後の天文学の進歩の観点からみると、この12m望遠鏡プロジェクトの位置づけは、まだ道半ばといったところです。最終的な先行にはTMTがあると考えています。しかし、可視光・赤外線分野の天文学の勢いを保ちつつ、技術チームの歩みを止めないようにするためには、12m望遠鏡を先に完成させるしかありません。この方法をとれば、先に述べた2つの困難を克服して、TMTプロジェクトの勢いを止めることなく、TMTの完成を目指すことができます。

## B. Eswar Reddy

Professor in Astronomy and Astrophysics at Indian Institute of Astrophysics  
TMT Related Activities: TIO Executive Governor for India  
Program Director for India-TMT Coordination Centre  
TIO Board Member

## B. エスバール・レディ

インド宇宙物理学研究所 天文学・天文物理学教授  
TMT 関連活動：インドTIO エグゼクティブ・ガバナー  
インド-TMT コーディネート・センターのプログラム・ディレクター  
TMT 国際天文台評議員会メンバー



L: Could you please explain India's role in TIO?

R: As you know India participates in the TMT project at 10% level which, in our view, is adequate for the size of astronomy community in the country. I think that would be sufficient and provide a good competition. The project is funded by 2 departments from the government of India which are Department of Atomic Energy and the Department of Science and Technology. To run this program efficiently within India, the funding agencies created India-TMT Coordination Centre, hosted at Indian Institute of Astrophysics, Bangalore.

Goals for India's participation are, one is the scientific aspect, and another is the technology aspect of it.

When India joined this project, one of the conditions was that India should provide much of its contributions through in-kind, rather than just cash. I think that worked within the TIO project well. India contributes 70% in-kind and 30% cash. The government of India approved the project in 2012 with total fund outlay of \$200 million over the construction period. India plays some key role in providing some of the key hardware systems to the project which include the segment support assembly (SSA), edge sensors, and actuators. While SSA's provide passive support to the segments, edge sensors and actuators help to actively control the alignment of the segments.

There are 492 mirrors, and all of them have to behave like a single monolithic mirror. To behave as a single mirror, you need to have a complex mechanical and electronic system. The segments of mirrors are separated by about 2 mm, but during operation they move from one another. The relative displacements need to be measured and corrected at a few nanometer accuracy. Edge sensors attached to each of the six hexagon face sense the displacement of segments from each other. This information will be passed on to the three actuators attached to each of the 492 segments. Actuators move the segments such that alignment matches the predetermined values.

Within India a number of industries are participating to manufacture the high precision systems. In the last three years, we worked on manufacture capability demonstration. Some industries are qualified and some are yet to be qualified. As I told these are very high precision components, some of the industries in the country underestimated complexities involved in manufacturing of these systems.

We are working with them. Hopefully, by end of 2017 we have more companies qualified for production of these systems.

L: TIO におけるインドの役割を教えてください。

R: インドのTMTの国際分担割合は10%程度で、インドの天文学コミュニティとしては、この分担は適切だと思います。この割合ですと、国際協力の枠組みの中で、ほど良い競争環境も育めそうに思います。資金面では、インド政府の2つの政府機関から資金提供を受けています。それはDepartment of Atomic Energy (インド原子力エネルギー庁) と Department of Science and Technology (インド科学技術庁) です。インドでTMTを効率的に運営するための国内機関として、Indian Institute of Astrophysics, Bangalore (インド天体物理学研究所バンガロール) に India-TMT Coordination Centre (インド-TMT 連携機構) を創設しました。

インドがTMTに参加した理由は、サイエンスと技術の2つの面からです。

まず、インドがTMTに参加するための条件の1つは、資金の代わりに現物提供をさせてもらうことでした。インドの場合、TIOに関しては現物提供が適切だと思います。インドの負担の割合は、現物提供が70%、資金出資が30%です。2012年にインド政府はTMTプロジェクトに対して、建設期間中に総額2億米ドルの資金拠出を行うことを承認しました。インドの担当分として、SSA (segment support assembly 分割鏡支持機構)、(分割鏡の) エッジセンサー (edge sensors)、アクチュエータ (actuators) といった重要なハードウェアシステムの提供があります。分割鏡はSSAによって受動的に制御されます。エッジセンサーとアクチュエータは分割鏡の配列を能動的に制御するものです。

492枚の分割鏡は全ての鏡が全体で1枚の鏡であるかのように動かなければなりません。1枚の鏡のように制御するためには、複雑な機構とエレクトロニクスが必要です。分割鏡は約2ミリずつ離れていますが、TMTを運用する際は1枚1枚の鏡を動かして、数ナノメートル精度で相対位置を測定し、測定結果に合わせた修正が必要になります。六角形の鏡の6つの角にそれぞれに取り付けられたエッジセンサーは、分割鏡の変位を感知します。この情報は、492枚の分割鏡にそれぞれ取り付けられた3つのアクチュエータに送られます。アクチュエータは、配置が所定の位置になるように分割鏡を動かすのです。

インドの複数の企業が、この高精度なシステムの製造に関わっています。過去3年間にわたり、その技術力を証明しようと開発が進められ、現在、その力を認められた企業も、まだ認められていない企業もあります。この部品は非常に高い精度を要求しているので、製造技術を軽視していた一部の企業は基準をクリアできていませんが、うまくいけば、2017年末までには、より



Apart from the hardware, India's responsibility is to provide much of the software: Telescope Control system (TCS) and Observatory Software. Together form the bulk of TMT software. India is also responsible for design, development, and commissioning of the mirror coating systems. This is not immediately, but that comes later during the project.

So those are basically India's contributions.

**L: What difficulties have you had to overcome in your TIO activities?**

**R:** We had quite a number of issues in the beginning. One of them was the project expectations. So the problem in that sense, sometimes when you design it, you don't think of the feasibility of manufacturing, and manufacturing difficulties associated with different partner countries. We had serious problems in the beginning as the companies underestimated complexities and understanding our stringent quality requirements. TMT project office had many discussions with our industries to understand the issues. Industries learned our requirements and even procured certain hardware to meet TMT quality requirements. We are all committed to make best systems as per the design, and hope we will be successful in delivering all the systems.

Of course there are a lot of cultural issues we had in the beginning: the way we say something and the way TIO understand issues. I think now, we reached the level where we understand each other, the needs.

**L: What do you expect from TIO in the future, both in terms of research and other aspects?**

**R:** Yes. Certainly TIO is the amalgamation of five countries. Among these there are top-notch laboratories and also good research groups. At present in India we have few 2-m class telescopes and one 3.5-m telescope which is the largest aperture optical and IR telescope. So jumping from 2~4-m class telescopes to TMT (a 30-m diameter telescope) is a great challenge as well as an opportunity.

Among TIO partners there are very good scientific and technology resources. Certainly, both astronomers and engineers at India TMT and industries gain significantly from these resources. At India TMT we are working on technical collaborations with partners by encouraging students, post Docs and young scientists to visit and work at partner institutes. A robust policy need to be in place to achieve tangible goals. Hopefully that will materialize very soon. For example, India TMT sending a post-Doctoral fellow for a month to work with a team in Japan.

Thus, such collaborations will enrich us and partners, and our experiences with the TMT participation will help in our future astronomy projects such as the proposed National Large Optical Telescope.

多くの企業が製造許可を得られるでしょう。

ハードウェアとは別に、インドには多くのソフトウェアを提供する役割があります。望遠鏡制御システム (Telescope Control system、TCS) と観測ソフトウェアです。TMTの大部分のソフトウェアの開発も担当しています。他にもインドはミラーコーティングシステムの設計、開発、検証試験を担当しています。これは現状すぐに行われるものではありませんが、プロジェクトの後半で関わってきます。

インド側がTMTに貢献する内容は以上です。

**L: TIOの仕事で何か困難だったことはありますか。**

**R:** 初めの頃は、多くの問題を抱えていました。1つはプロジェクトが求める品質要求でした。設計段階では、実際に製造可能なかどうか突き詰めて考えられていなかったのです。他国が製造する際に生じる問題についても、きちんと調査されていなかったため、初めから大きな問題を抱えていました。それは、本来は複雑な設計になるはずが、発注先の企業が設計を軽視したため、私たちが求める厳しい品質要求を理解せず、品質要求を満たしていなかったのです。その後、問題を把握するためにインドの企業と話し合い、ようやく私たちの要求を理解してくれました。そして、TMTの品質要求を満たすように、新しいハードウェアを調達しました。私たちはすべて設計通りに最高のシステムができるように全力を尽くしています。担当したすべてのシステムをうまく提供できるよう願っています。

TIO内の業務についても、もちろん、初めのうちは文化的な問題もありました。私たちが言っている内容と、TIOが認識した内容がズレていたりしたのです。しかし、今は、お互いが言っていることや要望を理解できるようになりました。

**L: TIOについて（研究やその他の面においても）将来どんなことを期待していますか。**

**R:** TIOは5か国の共同体です。TIOには、最先端の研究所と優秀な研究グループが参加しています。現在、インドには2メートル級の望遠鏡が少数あり、可視光赤外線では最大口径の3.5メートル望遠鏡が1台あります。つまり、今まで2~4メートル級望遠鏡を利用していたのが、これからは口径30メートルの望遠鏡 (TMT) を利用できるようになるということです。これは、挑戦的かつ素晴らしいことです。

TIOメンバーとの繋がりは、科学面でも技術開発面でも大きなリソースになります。TMT-インドの天文学者や技術者、そして企業のエンジニアにとって、この繋がりは大きな財産です。TMT-インドでは学生、博士研究員、若手研究者がパートナーの組織を訪ね、共同で研究を行うことで、技術交流を進めようとしています。人的交流を確実に行うには、強固な方針が必要です。うまくいけば、もうすぐ実現する予定です。TMT-インドの博士研究員が1か月、日本の研究チームで働くといったことなどです。

このような共同研究はインドと他機関の両方を発展させます。TMTに参加した経験は将来の天文学プロジェクト、例えば National Large Optical Telescope (国立大型可視光望遠鏡) などに役立つことでしょう。

## TMT-Japan Project Office TMT 日本（国立天文台 TMT 推進室）

### The Organization with the Largest Share in the TMT International Observatory (TIO) TMT 国際天文台（TIO）の中で最も規模が大きい組織

Tomonori Usuda

Director of TMT-J Project Office at NAOJ  
Professor in SOKENDAI  
TMT Related Activities: Member of the TIO Board  
of Governors

臼田 知史

国立天文台 TMT 推進室長  
総合研究大学院大学教授  
TMT 関連活動：TMT 国際天文台評議員会メン  
バー



L: Please explain Japan's role in TMT.

U: Yes. Japan's role has 3 major parts. The 1st is the telescope, producing the main structure of the TMT telescope. Included in the manufacturing of the main structure is the control system for the telescope. This is one of our important contributions.

The 2nd is the primary mirror. TMT's primary mirror consists of 492 mirrors with a size of 1.44 m arranged into a 30 m aperture. All of these mirror blanks are being made by Japan. In addition, they also need to be precision ground and polished. Japan is responsible for 30% of that work.

The 3rd is, there's no point in producing just the telescope alone; science instruments must also be made, which are like giant digital cameras, to attach to the telescope. TMT has decided to start with 3 science instruments at first. Japan is contributing to 2 of those instruments. Right now design works are on-going at the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) Advanced Technology Center (ATC).

L: Even in Japan, TMT research is being conducted in laboratories outside of NAOJ. Please explain the role of domestic TMT research collaboration.

U: The most important role that we expect them to fulfill is to conduct leading edge research by using TMT. To that end, first we must provide information about the telescope and science instruments, then we need everyone to ask "What kind of research could we do?" In particular, we are asking people affiliated with Japanese universities to ponder various questions like, "What kind of research could you do using TMT?" or "What capability could we add to TMT which would let you do your research?" While collaborating on this with Tohoku University, Kyoto University, Osaka University, and others, we're also asking them to consider things like, "What would be a good kind of science instrument to make next?" At this stage the most important role is getting them to think about these various questions for us.

L: Among the TIO partners, Japan holds the largest share. What circumstances led to this outcome?

U: Well... Before the Subaru Telescope was constructed, I don't think you could have really said that Japan was on the leading edge of astronomy. But at the end of the 20th Century, Japan made the Subaru Telescope, which was one of the largest telescopes in the world. And using the Subaru Telescope, Japan began producing

L: TMT における日本の役割を教えてください。

U: はい、日本の役割として、大きなものは3つあります。1つは望遠鏡、TMT 望遠鏡の本体を作ることですね。望遠鏡の本体を作るのは実際動かす制御系も含んでいます。これがまずは大きな貢献の1つです。

2つ目は主鏡です。TMT の主鏡は492枚の1.44メートルの鏡をならべて30メートルの大きさにしています。その鏡材は全部日本が作ります。さらに、それを綺麗に研磨して仕上げる必要がありますが、その30%の作業を日本は担当します。

3つ目は、望遠鏡だけできても意味はなくて、その後ろに大きなデジタルカメラみたいな物、観測装置を作らなければいけません。TMT は一番初めに3台の観測装置を作ろうとしていますが、その2台について、日本は貢献しています。今は、国立天文台の先端技術センターを中心として、設計を進めています。

L: 日本では、国立天文台以外の研究室でTMTの研究が行われています。国内のTMT研究協力の役割を教えてください。

U: 一番大きな役割として、我々が期待しているのは、ちゃんとTMTを使って最先端の研究をしてもらうことですね。そのため、まず我々が望遠鏡と観測装置の情報を提供して、皆で「どんな研究ができるか？」を考えてもらわないといけません。特に国内の大学の関係者にいろいろとお願いしているのは「TMTを使ったらどんな研究ができますか。」とか「TMTに、例えば、こんな機能を付けてもらうと自分はこんな研究ができるようになるんだ。」とか。そのために、東北大学、京都大学、大阪大学等と協力しながら、じゃあ、次に作る観測装置はどういうものかいいのかななどの検討も行ってもらっています。色々と考えてもらっているのが今の段階の一番大きな役割です。

L: TIOの中で日本は最も規模が大きいですが、どのような経緯によるものですか。

U: そうですねえ。すばる望遠鏡ができる前は、ある意味、日本は天文学の先進国ではなかったと思います。しかし、20世紀の最後にすばる望遠鏡、世界最大級の望遠鏡を日本が作り、すばる望遠鏡を使って、色々な素晴らしい成果を

many excellent discoveries that enabled Japan to leap to the forefront of world astronomy. As a result of our abilities being recognized world-wide, when the plan to construct a new telescope called TMT was discussed with Japan, Japan was able to consider it in the form of a more advanced Subaru Telescope. I think that with the experience we had accumulated with the Subaru Telescope we were making our presence felt on many fronts.

L: Is there anything else you'd like to get on the record?

U: Well, when we first considered TMT, we thought it might be too difficult. But we started thinking "Well, if we utilize Japan's technological and scientific potentials, and do it this way... it just might be possible." Since then I think it has become a pretty realistic plan.

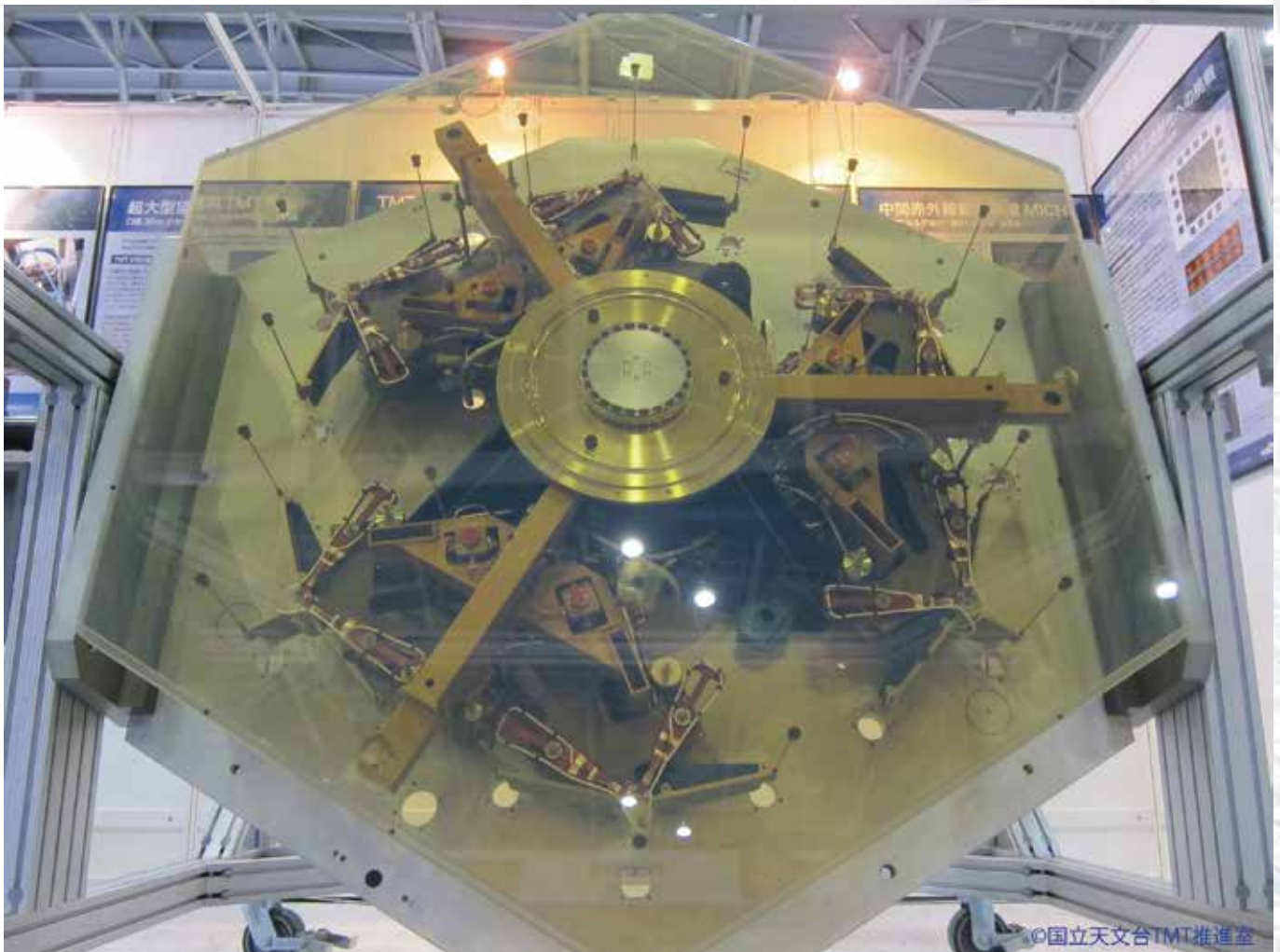
Although the project as a whole has just hit a stumbling block, we do see the light at the end of the tunnel. So by all means, we want to actualize TMT. After that, I hope TMT will show us visions of the Universe that truly no one has ever seen before.

出すことができ、その結果、天文学の研究において、日本は世界の最先端に躍り出ることができました。こうした実力が世界的にも評価された結果、新しいTMTという望遠鏡を作る計画を日本も一緒に議論するときに、日本はすばる望遠鏡の発展形として考えることができました。すばる望遠鏡で積み上げた経験もあって、いろいろな面でプレゼンスも示せるようになっていると思います。

L: 読者に特に伝えたいことはありますか。

U: そうですね。僕らがTMTの検討を始めたときは、正直なかなか難しいなあと思いました。しかし、日本の技術力と科学力を生かして、こうやればできるんじゃないかななどと検討して、かなり現実的な計画になっていると思います。

今は計画全体が困難に直面している時期ですけれども、実際TMTを作る見込みは立っていますので、なんとか是非、TMTを実現したいです。それから、本当にこれまでに誰も見たことがない宇宙の世界をTMTが映し出せばいいなと思っています。



六角形が特徴的な TMT 主鏡分割鏡の試作品。

## Gordon and Betty Moore Foundation

ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団

### Very Pleased to be Part of this Fantastic Discovery Machine

素晴らしい発見が期待できる装置の支援

#### Robert Kirshner

Clowes Research Professor of Astronomy at Harvard University  
Chief Program Officer for Science at the Gordon and Betty Moore Foundation  
TMT Related Activities: Financial Support for the TMT Project, Observer on the TIO Board

#### ロバート・カーシュナー

ハーバード大学 クロウズ科学講座 教授  
ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団 サイエンス・チーフ・プログラム・オフィサー  
TMT 関連活動: TMT プロジェクトへの財政支援  
TMT 国際天文台評議員会オブザーバ



L: Could you give us a little background information about the Gordon and Betty Moore Foundation please?

K: The Moore Foundation was established by Gordon (one of the founders of Intel Corporation) and Betty Moore, 15 years ago, to have a positive impact on future generations. It has more than 6 billion dollars in its endowment that is used to generate money for science, for conservation work, for improving patient care, and for investments in these same areas in the San Francisco Bay area.

L: Why did you decide to support the TMT program?

K: The TMT program is something the foundation has been interested in for a long time. Caltech and the University of California were trying to create a plan to make a big telescope, and our foundation thought it would be a good idea to give them some encouragement and support for doing that. Caltech and UC have long been partners of the foundation so the Moore Foundation is helping both universities equally to be partners in this tremendous telescope.

L: What do you think about TMT's technological progress?

K: Well, the TMT has come up with a very good design, I think. They have taken some of the ideas that were in the Keck telescopes, which the University of California and Caltech worked on a scientific generation ago, and the kind of structural engineering that was done for Subaru, and put those together. The structure resembles Subaru, only bigger, and the mirror is like Keck's, only bigger. So it's a very good combination of ideas and they've developed it to quite a good extent.

L: Does Moore's Law\* apply to telescope surface area?

K: No, the price per surface area of telescopes has been hard to beat down. This has been done by introducing new technologies, like a segmented mirror, not just extending the old ones.

Many of the parts of a telescope get bigger as you make a bigger telescope, even if you make a serious effort to make the structure compact. Well, that sounds right. But it means that the enclosure gets bigger; the moving weight goes up. And so it's been a struggle to bring the cost down, or at least the cost per unit area of a telescope down.

But there are real advantages to a big telescope. A big telescope, if you have adaptive optics, can make sharper images than a small telescope. And by concentrating the light in that way, you get the opportunity to observe fainter objects than you could with a telescope that didn't have adaptive optics. So you win two ways: the area goes up, and the images get sharper. In the best case, the intensity

L: Gordon and Betty Moore Foundation (ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団) についてご紹介ください。

K: 15年前、ゴードン・ムーア (Intel Corporation (インテル) の設立者の一人) と (その妻の) ベティ・ムーアは、未来の世代が恩恵を受けるようにと、ムーア財団を設立しました。60億米ドル以上の資金をもとに、科学、環境保護、医療ケアへの寄付を行い、またサンフランシスコ・ベイエリアにおいて、同様の分野への投資を行っている財団です。

L: TMT プロジェクトに寄付した理由をお聞かせください。

K: ムーア財団は TMT プロジェクトに長い間関わってきました。そもそもカルテックとカリフォルニア大学 (UC) が、共同で大きな望遠鏡の建設計画を立てていて、それは素晴らしいということで、当財団が資金的支援・援助を行いました。昔から、カルテックと UC は当財団と協力関係があったので、両大学が素晴らしい望遠鏡を建設できるようにと平等に支援を行っています。

L: 現在の TMT の技術的な進歩についてはどう思いますか。

K: そうですね。TMT は大変良い設計だと思います。前の世代の望遠鏡となるケック望遠鏡はカリフォルニア大学とカルテックが協力して作りましたが、そのケック望遠鏡のアイデアを使いました。そして、ケック望遠鏡のアイデアとすばる望遠鏡で使われた基本構造を結びつけました。TMT の鏡はケック望遠鏡と似ていますが、ケック望遠鏡より大きく、また基本構造もすばる望遠鏡と似ていますが、すばる望遠鏡より大きくなっています。素晴らしいアイデアを組み合わせるにより、さらに技術とスケールを発展させました。

L: 話は変わりますが、ムーアの法則\*は望遠鏡の鏡の表面積に当てはまりますか。

K: いいえ、望遠鏡の主鏡の単位表面積あたりの価格は下がりにくいですが、元の技術を進化させるだけではなく、分割鏡面のような新技術を導入することによって、価格を低くできました。

望遠鏡が大きくなると、いくら支持機構を小さくしようとしても、部品は大きくなります。それは当然のことです。そして、ドームも大きくなります。さらに、望遠鏡の重さも大きくなります。このため、望遠鏡と主鏡の単位面積あたりの価格を下げるのは難しいです。

しかし、大きな望遠鏡には有利な点があります。補償光学を導入すると、大きな望遠鏡は小さな望遠鏡よりシャープな画像が撮影できます。また、補償光学を使っていない望遠鏡より、暗い天体を観測できるようになります。すると、小さな望遠鏡と比べると、2つの点で有利になります。まず、より大きな鏡で撮影すると、より高い分解能が得られること。そして、最大の場合で、鏡の直径の4乗に

goes as the 4th power of the diameter. So that is a very good reason to build big telescopes. Even though the cost per unit area doesn't go down as fast as you'd like, the quality of the information you can gather improves very steeply as you go to big telescopes.

L: And what do you expect from TMT in the future?

K: TMT is going to be a fantastic discovery machine for astronomical work. We're going to be able to study the most distant galaxies, the ones that formed just after the Big Bang, the very first galaxies. We know they must be there, but we can't measure their light. Gathering the light with a big area and making it sharp with adaptive optics will give us a chance to study the very first galaxies and the very first stars.

At the other extreme, in our neighborhood, in our own Milky Way Galaxy we'll look at the nearby stars where there is evidence that there are planets. We'll find out which ones have the planets around them, and then a big telescope like TMT will be used to study those planets to find out what they're like, see if they're habitable.

That depends a little on good luck and figuring out the best ways to do it. But a big telescope lets you separate the image of a planet from the image of its host star. And it gives you the opportunity to measure quickly what's going on when the planet is passing in front of the star; to make measurements when the planet's in back of the star: by subtracting those two, you can figure out what the planet is doing to the light from the star. This will reveal the chemistry of its atmosphere and maybe even detect a signature of life.

L: And is there anything else you'd like to get on the record?

K: Well, the Moore Foundation is very pleased to be part of this telescope project. The partnership that's been put together with the University of California and Caltech and with Japan, with China, with India, and with Canada is a really good partnership, where everyone brings something to the table. I've been very impressed with productivity in Japan, where people have been making mirror blanks at a great pace. And I've also been very impressed with the engineering work that's being done to design the telescope structure, or build that very clever robot to change the mirrors out. So there's a lot of creativity that's been brought from different directions, and each of the countries is contributing in a different way. It is very gratifying for the Moore Foundation to see how well this has come together, and we're very hopeful that once we get the site issues straightened out, that progress on the telescope will be very rapid.

比例して、感度が高くなること。だからこそ大きな望遠鏡を作ると良いのです。鏡の表面積あたりの価格は期待する程は下がりにませんが、大きな望遠鏡で観測すれば、得られる情報の質は急激に向上するのです。

L: TIOに対して（研究とその他の面においても）将来どんなことを期待していますか。

K: TMTは天文学研究において素晴らしい発見が期待できる観測装置です。ビッグバン直後に生まれた最初の銀河、すなわち最も遠い銀河を観測できるようになります。今は、あの彼方にあるとわかっている、その光を分析できていません。大きな鏡で光を集め、補償光学で高分解能な撮像をすれば、宇宙で最初に生まれた星と銀河を観測・研究できるかもしれないのです。

その一方で、私たちの天の川銀河系内にあるご近所さんの恒星で、惑星を持っていそうな星も探ります。実際に惑星があることが分かれば、TMTのような超大型望遠鏡でその惑星を調査し、どんな惑星なのか、生命が棲むことができるのかどうか調べられます。

最善の観測方法を発見するには、少しばかりの運も必要ですが、次世代の大きな望遠鏡なら惑星と主星を分離した画像が撮れます。また、惑星が主星の前を横切ったり、主星の裏を通過したときを素早く測定することができます。そのふたつのタイミングで撮ったデータを測って引き算すると、惑星が主星の光にどんな影響を与えたのか分かります。これによって惑星大気化学が明らかになり、もしかしたら地球外生命の信号も発見できるかもしれません。

L: 最後に読者へコメントをお願いします。

K: はい、ムーア財団はこの望遠鏡プロジェクトに関われたことを誇りに思っています。カリフォルニア大学、カルテック、日本、中国、インド、カナダから成る共同体は、各組織が力を合わせて貢献する素晴らしい共同体です。そして、日本チームが迅速に分割鏡を製造し供給していることに大変感銘を受けています。望遠鏡の構造を設計するための技術や分割鏡を交換するために賢いロボットを作る技術力にも目を奪われました。国際チームの多様な視点から多くの発想が生まれ、各国ならではの方法でプロジェクトに貢献しています。各国が一体となってTMTを作ろうとしていることを非常に喜ばしく思っています。建設地問題が解決し、TMTを建設することができたら、望遠鏡の進歩も格段に早まるものになると期待しています。



\* Moore's Law: In 1965 Gordon Moore predicted that the number of transistors in an integrated circuit would continue to double every 1 year (revised to every 2 years) leading to less expensive electronics. This prediction has proven to be basically true up to the present day.

\* ムーアの法則：1956年にゴードン・ムーアは集積回路のトランジスタの数は、1年ごとに倍になるとともに、電気製品の価格が下がると予測しました（後に2年に修正されました）。現在まで、ムーアの予測はほぼ当たっています。

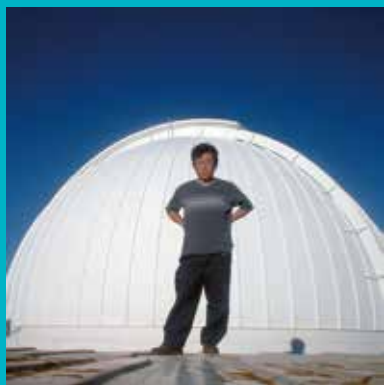
◀ インタビュアーのランドック（国立天文台）とカーシュナー氏。

# 天文台メモワール

## ありがとう！ 天文台！

小林行泰

(光赤外研究部/JASMINE 検討室)



01 MAGNUMドームの前で。



02 同窓会で。

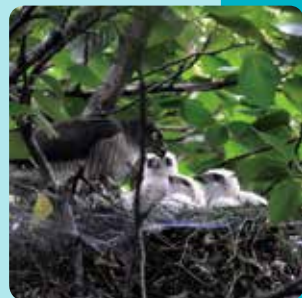
あつという間だった。とうとう退職の年となってしまった。左下の画像は、知る人ぞ知る、どこかの国の、いや、どこかの星での挨拶のポーズだ。退職の挨拶代わりにここに置くことにする。天文台に来たいと思ったこともなかったし、こんなに長く居ようとも思ったこともなかった。34年前、東京天文台に職を得てから、結局、今日まで、三鷹に居続けることになってしまった。この間、天文台でなければできない、いくつものかけがえのない経験をする事ができた。天文台への感謝の意味を込めて、ここに記したい。

一つめの経験は、いくつもの大きな望遠鏡の建設に携われたことだ。もともと天文少年だった。手にできる望遠鏡はお小遣いの範囲で、大きな望遠鏡はあこがれの的だった。天文台に来たら、いくつもの大きな望遠鏡の建設や観測を経験することができた。億を超えるような予算を好き勝手に？ 使えるのだから、私にとってこれはもう天国だった。最初に関わったのは天文台に来てすぐに参加した(1984年)JNLTワーキンググループだ。これは15年後にすばる望遠鏡となった。続いて1987年に、補正予算が突然ついた宇宙研の口径1.3mの赤外線モニター観測装置だ。今でも宇宙研の研究棟の屋上で働いている。続いて、東京大学の吉井さん達と口径2mのMAGNUM望遠鏡の建設が始まった。この2つの望遠鏡は自分の思うように作りあげることができた実感がある。MAGNUM望遠鏡は日本で2番目に大きな望遠鏡なのに、無人で自動運用するという無茶をした。この望遠鏡は2008年までマウイ島で観測を続けた。写真01はMAGNUMドームの前での記念撮影。1.5mの赤外シミュレーターもあった。最後はNano-JASMINEの口径5cmの望遠鏡だ。口径は小さいが、なにしろ宇宙望遠鏡だ。宇宙望遠鏡なのだから、早く宇宙に行けると良いと思う。

二つめは天文機器開発実験センターという組織の立ち上げに携わることができたことだ。もともと人付き合いがうまい方でもなく、組織を率いるようなことはないと思っていたのだが、ひょんなことから、私にお鉢がまわって来たものだ。すばるのためということで、予算がついていたので、お金はあるし、天文台の後押しで、人員も次々と配置してもらえ

て、すごく恵まれた環境で立ち上げを行うことができた。日本では天文機器開発のための施設は初めてのものだったので、変な制約もなく自由に仕事をすすめることができた。技術には人が重要ということで、プロジェクトよりは人という信念で進めて来たが、うまく行ったのかどうかはわからない。いま、運動場から西を望むと、すばる、ALMA、TMTと天文台の進める大プロジェクトの開発棟が立ち並び、しかも急激な右肩上がり形成している。ほんの左の始まりのところに関わったことになるが、最初は3人からだったとか、ある種の感慨を感じる。長として、部下がやってくれる環境は初めての事だったが、時には良いものだということを知った。その後、移動した人も、そのままの人もいるが、今でも何かあれば助けてくれる。とってもありがたい。写真02は当時の所員達と昨年秋に同窓会として箱根温泉に行ったときのものだ。昔、所員総出で、泊りがけで温泉に行き、ハイキングを楽しんだりしたことが懐かしく思いだされた。これからもこのような関係が長く続くと良いと思う

三つめは、広大な10万坪の天文台荒野を思う存分に楽しませてもらったことだ。天文台に職を得て間もなく、今では建て替えられて、りっぱな星と森と絵本の家となった1号官舎に住むことをゆるされた。この頃から天文台荒野を我が家の庭のように楽しませてもらった。春になれば梅やすみれ、桜の満開を楽しんだ。金欄や銀欄の野草の群生も素晴らしい。桜はたくさん植えられていて、何十回もの花見の宴を楽しんだ。桜の数を人の数で割れば、天文台はきっと日本一の桜の名所だろう。昔は雉もいて、ホ口打ちの声を聞くこともあった。狸もいるし、かつてはうさぎが走り回り、モモンガや台湾リスなどを見かけたこともある。早起きをして、鳥を探してまわるとまた新たな発見にも出会う。天文台内で見つけた野鳥の数は57種になった。ツミやおオオタカなどの子育てを見ることもできた。写真03はツミの子育て。収穫の喜びも荒野があってこそで、筍に梅の実、銀杏、ノビル、栗、つくしによもぎなど。庭も広がったので、実のなる木を好んで植えた。ふじりんご、紅玉、百目柿、温州蜜柑、キウイ、ザクロ、八朔、甲斐路、シュガープルーン、ブルーベリーにラズベリーと数え上げたらきりが無い。いつまでも、この不思議な天文台荒野の自然が残ると良いと思う。



03 ツミの子育て。

# 天文台メモワール

1995年1月17日未明に、今までに経験したことのない揺れとガシャガシャガシャンと建物全体が出す大音響で飛び起きました。これが兵庫県南部地震で、阪神淡路大震災の始まりです。私は6年間奉職した神戸大学からその年の4月に国立天文台に異動することになっていました。私の異動によって神戸大理学部から長い歴史を持つ宇宙線研究室がなくなるため、研究室を閉める仕事に追われていました。このひと揺れによって研究室の店仕舞どころではなくなりました。パニックに近い異常時にちゃんと対応できる責任者が少ないことや意外な人が活躍することをまのあたりにしました。

震災の神戸から逃れて4月1日に国立天文台光学赤外線天文学研究系・大型光学赤外線望遠鏡計画推進部の助教授に着任しました。翌日からすぐに仕事が始まりました。私の担当はすばる望遠鏡のソフトウェア全体で、まずはそれまでに作成されていたすばる望遠鏡ソフトウェアシステムの膨大な仕様書の勉強から始めました。仕様書作成を主導してきた近田義広教授の「おもしろいことをしよう」という言葉に集まった人たちが5年近くかけて作成した仕様書には「理想の望遠鏡を作ろう」という意気込みが感じられました。私の仕事は限られた時間と予算の中でこれを実現することでした。全部を実現することは到底できない。ではどうするか。観測計画の準備、観測（データ取得）からデータ保存とデータ解析までを一連の流れとして処理するシステムは世界中まだどこにもない。膨大な仕様書の中から必要なコンポーネントを抜き出してこれを実現しようと考えつくまで半年近くかかったと思います。

すばるのファーストライトから1年半たったハワイ時間2001年6月22日25時半に、観測手順書による観測を開始してSPCamによるデータ取得、山麓へのデータ転送、データベースへの保存、一次データ処理までが自動で流れるシステムの試験のための観測を行いました。翌日10時半に解析が終了しました。途中いくつか止まってしまった箇所を人手でつなぐなどしましたが、一応全ての手順が動くことを確認できました。これが私とすばる

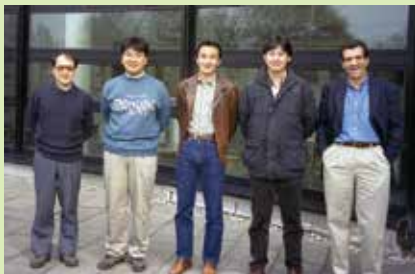


1995年11月。建設中のすばる望遠鏡ドームの屋根にて。

のソフトウェアを開発したチームにとってのファーストライトでした。このときは感動しました。それから15年がたった現在、残念ながらもこの機能は実現していません。ハワイ観測所にはこの機能の開発を継続する余裕と長期展望がなかったのです。



1999年4月1日。すばる関係者のお花見。



2000年4月。すばるソフト関係者でESOを訪問。

すばる望遠鏡のソフト開発をお役御免になった後、天文データ解析計算センター長を仰せ付けられました。研究者が自前の計算機でデータ処理ができる時代になり、計算機パワーを利用者に提供するセンターは存在価値が薄れつつありました。そこで計算センターから理論の望遠鏡であるスパコン部分を独立させ、残りをハワイ観測所のデータアーカイブ機能を取り込んですばるを中心とした天文データセンターに改組する案を作りました。案作りは簡単ですが、それを実現するのは極めて難しいものです。スパコンはCfCAとして独立して成果を上げています。一方、天文データセンター部分は、すばるやALMAなどを含めた組織変更案がその後検討されることなく現在に至っています。

定年を前にして国立天文台での私の足跡を思い返すとどの仕事も未完に終わりましたが、一人ではとうてい実現できないことを少しでも進められたのは、諸先輩、同僚、そして、多くの皆さんの協力のおかげと深く感謝します。

## 退職のご挨拶 「未完成」もよし

水本好彦

(光赤外研究部／ハワイ観測所)



## 退職のご挨拶

有本信雄

(光赤外研究部／ハワイ観測所)



著者近影 観葉植物の生い茂る研究室にて (2009年)。



01 シャンパンボトルを持つジュザ・ケイレル・ド・ストルーベル先生、手前はカトリーヌ・ボアソン。パリのジュザの自宅での筆者の送別会(1986年)。ジュザの思い出は限りなくある。ブルという年老いた犬を飼っていて、ブルはいつも車の中でジュザの仕事が終わるのを待っている。ある日、乗せてやると言われて車のドアを開けると、ブルが飛び出してきて遠くに行ってしまう、暫く帰って来なかった。ま、いいから車で待っていきましょうとジュザと乗りこむと、異臭がする。アイヤイヤイヤヤー、ジュザが叫んで、さあ、それから二人で車の中を拭きまくった。かわいそうなのはブルで、じっと我慢していたのだろうが、こらえ切れなかった。暫くしたらブルが帰ってきたので、さあ、じゃあみんな帰ろうと言って、ジュザがハンドブレイキに手を掛けると、またしてもあの感触である。思わずジュザと二人で叫んだ、アイヤイヤイヤヤー。



02 ダーラム大学(英国)での筆者(1988年)。楕円銀河のモデルは紙と鉛筆で。

“のぼちゃん、見てみれば”

近所の兄ちゃんが三脚に載せた小さな望遠鏡を月に向けながらこう言った。初めて見る上弦の月のクレータが筒の中で揺れていた。この兄ちゃんは何でも旨く、夏の川に入って魚を手づかみしたり、秋になれば山に茸や栗を採りに連れて行ってくれる。その兄ちゃんと望遠鏡の組み合わせはなんだか可笑しかったけれど、望遠鏡で見る月はとても綺麗で、私はあのとときに天文学者になりたいと思ったらしい。

大学受験に失敗してお寺さんに弁当持参で毎日通った。受験の準備のために玄関脇の庫裡を貸してもらい、その代わりに、寺の留守番をやるという条件だった。寺にはお年寄りが遊びに来る。その相手をよくさせられた。私のメンター術はこのときの経験がものを言っている。ときには葬儀の通告もある。そんなときには神妙な顔をして対応しなくてはいけない。楽しみは庫裡で食べる弁当。もちろん本を読みながら食べる。いつも同じ本ばかり読んでいた。星三百六十五夜、野尻影抱著。この本はいまハワイの書斎にある。窓の外では山鳥が鳴き、寺の台所に干してある俵板や杓文字が風もないのにカランカランと鳴る。寺の奥さんが、おや、また誰か死んだよと呟く。私は天文学者になることを夢見ていた。“あらまあ、随分と寒いところに行くのね”、高校の先輩に仙台の大学にゆくことになりましたと告げたら、こう言われた。新潟からみれば仙台は極寒の地、どうやらそう思われていたらしい。仙台では春先に風花が舞う。この前の大地震で津波に洗われた開上や荒浜行きのバスに乗って、今度の春からどうしよう。留学、就職、それとも、結婚? 同じ土地に長いと閉塞感に襲われる。その頃、東大本郷の天文教室の助教授であられた小平桂一先生が仙台にお出でになった折に相談して指導を請い、10年以上も暮らした仙台を離れて東京に移り住んだ。

“パリに行きませんか”、小平先生の仲介でフ

ランスに向かった。まだ結婚して一年しか経ってなかった。行き先はパリ・ムードン天文台、身分はフランス政府給費生。ホストはジュザ・ケイレル・ド・ストルーベル(Giusa Cayrel de Strobel)さん。遠い日本からフランス語の全く話せない若者が来る。空港に迎えに行くとやろうと、早朝のシャルル・ド・ゴール空港にいらしていただいたらしいが、メールもない時代で、なにも知らない私は空港に着いたその足で手続きのためにフォアアイエに直行して、そのままそこで一週間過ごしたので、天文台からすれば行方不明になっていたらしい。まあ、あの頃の私はのんびりしていた。ジュザは陽気なイタリア人で、何くれと無く私たち夫婦の面倒を見てくれた。自宅のみならず、友人のパーティにもいつも連れて行ってくれる。おかげでフランス人の年寄りに友達が増えた。

フランスに行ってから半年ほどしたときに、イタリアのシシリャ島で国際会議があり、そこでの楕円銀河モデルの研究発表が高く評価され、ムードンでも面目を施した。ちょうど同じころ、お昼の帰りにカンティーヌを出て構内を歩いていると、顔見知りの老天文学者が、おまえはもう半年もここにいるのにどうしてフランス語をしゃべらないんだと、少ときつい口調で私に言った。その翌日からフランス語で用を足すように努めた。言葉というのは話し始めれば上達する。ちなみに、私のフランス語にイタリア訛りがあるのは、ジュザのおかげである。ついでに言えば、英語にフランス訛りが出るのは、もちろん、フランスの皆さんのおかげです。

パリの暮らしが3年、ハイデルベルグ大学3年、ダーラム大学3年。帰国して、東京大学10年、国立天文台三鷹キャンパスで10年、そしてハワイ観測所に5年。移り住むたびに言葉が変わる。思い出は尽きないが紙数が尽きている。ハワイでの暮らしもそろそろ終わりである。暫く大学に戻って、研究と学生の指導をやりたい。アンニョンハセヨ。



03 The Epoch of Galaxy Formation, Durham University, July 18th - 22nd 1988、ダーラム大学の歴史を飾る研究会。筆者はハイデルベルグ大学から参加。



# 天文台メモワール

小学5年生の時に東京天文台堂平観測所が  
発足し、見学会で見た91 cm 反射望遠鏡の  
大きさに驚き、星はどう見えるのか子供心に夢  
が掻き立てられた。やがて念願叶い東京天文  
台に就職でき堂平観測所に配属された。初め  
ての観測は富田さん、平山智啓さん指導の下  
ペーカナンシュミットカメラで人工衛星測  
地観測。これで望遠鏡光学、機械工学、フィ  
ルム撮像なので化学（現像）を学んだ。その  
後91 cm 反射望遠鏡で観測することになり小  
学生以来の夢が実現。カセグレン分光器のアイ  
ピースで見ると視野一杯キラキラ輝くだけ  
で（Vega だった）これには失望した。

望遠鏡は年1回定期保守を行う。柴崎、山  
口（達）、大島、飯塚さんに事務の山口（博）、  
新井さんが加わり堂平スタッフ総動員。駆動  
系ギヤ清掃グリスアップから鏡の鍍金、ド  
ームの補修と全て行った。観測装置開発は多岐  
にわたり毎年製作した。予算が少なく部品を  
買い自作せざるを得ない時代だった。人工衛  
星観測望遠鏡の標準時刻校正装置では度々鹿  
見島宇宙空間観測所（KSC）へ出張し煩雑  
だった時刻校正を簡便に行う装置を開発する。  
磯部さんの指導で月レーザ測距観測室の空き  
地にマイケルソン型恒星干渉計を作り、北極  
星のフリンジ検出に成功した。この頃、干渉  
技術研修でCERGA カレーン天文台（フラン  
ス）に出張。25 cm 反射望遠鏡恒星干渉計で  
観測し、干渉工学の技術を学ぶ。天体スペ  
ックル干渉法が連星の観測に有効であること確  
認し、磯部、馬場（千葉大）、大坪（静岡大）、  
乗本さんと天体スペックルカメラを開発。岡  
山天体物理観測所188 cm 望遠鏡で観測を行  
う（写真01）。その後ICCD カメラによるス  
ペックルカメラを開発しサンペドロマルチ  
ル天文台（メキシコ）2.1 m 望遠鏡で観測する。



01 岡山スペックルカメラ。

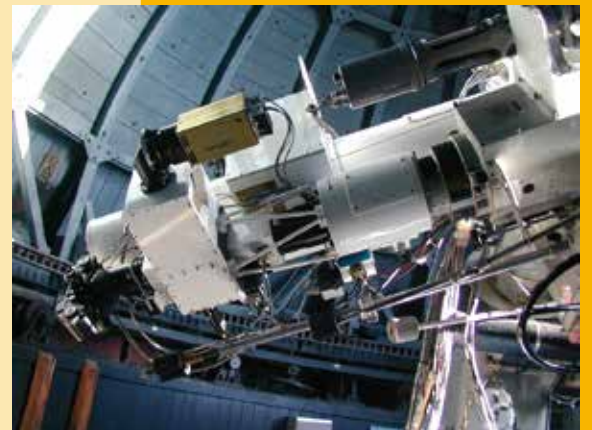
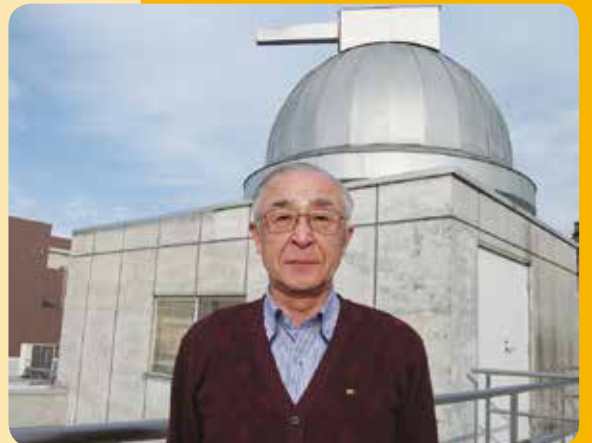
1989年に光学赤外線天文学研究系に異動。  
大型光学赤外線望遠鏡計画（すばる望遠鏡）  
に関わるが、予期せぬ事情により1991年乗  
鞍コロナ観測所に異動。コロナの観測は直視  
分光器でコロナ輝線強度を全周測る。そこに  
視力と分光器扱いの名人芸が求められたうえ、  
天候わずかの变化でコロナ輝線が見えずに欠  
測する。これらを克服し、誰でも簡単にコロ  
ナ観測ができる装置を作ろうと一本さん（現  
京都大学）が主導し、光学系は武山さん（現  
genesis）、私は機構系の設計を行い、コロ  
ナスタッフ、工場（現先端技術セ  
ンターME ショップ）一体となり  
コロナ輝線撮像装置NOGIS  
（NOrikura Greenline Imaging  
System）を開発した（写真02）。  
短時間で太陽全周に激しく活  
動するコロナが撮像できコロ  
ナ強度、速度場が求められた。  
色々な装置開発を行ったがこ  
れは想い出の一品。

2000年 Solar-B 推進室併任、  
常田さん（現 JAXA 宇宙研所  
長）の「何でもやりましょう」  
の一言に誘われて。衛星開発  
で必要とする大型クリーンブース開発、ク  
リーンルーム設備運用管理、衛星試験立会など  
行う。2005年に SOT（可視光  
望遠鏡）完成（写真03）。2006  
年9月23日打ち上げで私の役目  
はお終い。2006年11月 ALMA  
推進室へ異動。千葉さんの下  
で総務職。この頃から管理業  
務の仕事が増えて装置開発か  
ら遠ざかる。事情により2007  
年11月太陽観測所に異動。フ  
レア望遠鏡で観測を行う傍  
ら小型の観測装置開発を行う。  
2010年先端技術センター異動。  
設備管理を担当。様々な資格  
を持っていたので液化窒素管理、  
実験室設備、薬品管理、建物な  
どほぼすべての設備管理業務  
をする。これで天文台の仕事  
は終了する。

堂平観測所で天文台生活が  
始まり47年が過ぎ、7組織に出  
ては戻り所属、異動したが、そ  
の時々良い指導者、天文台内  
外の多くの人と交流を通し研究、  
観測、装置開発などが行えとて  
も充実した楽しい時間が過ぎ  
せました。感謝を込め、ありが  
とうございました。

## 天文台生活47年

野口本和  
（先端技術センター）



02 NOGIS。



03 SOT 完成。

## 退職の ごあいさつ

渡辺松夫  
(事務部施設課長)



竹を伐採中。



01 VERA石垣島観測局バラボラアンテナ写真。



02 施設課職員の集合写真。

私は2015(平成27)年4月から2年間を国立天文台事務部施設課に在職し、このたび定年退職を迎えることになりました。

国立天文台の2年間で一番の思い出はと聞かれると、2016年夏の8月6日(土)から7日(日)にVERA石垣島観測局特別公開の応援スタッフとして参加したことを挙げたいと思います。この特別公開は石垣市が主催する「南の島の星まつり」の開催に合わせて毎年行われるものです。この2日間の出来事について簡単に紹介させていただきます。

6日(土)は明日の特別公開設営のためVERA石垣島観測局に朝一番に集合しました。VERAスタッフの皆さんは毎年のことで段取り良く準備を進めており、応援スタッフは不慣れで指示を受けながら設営を手伝いました。バラボラアンテナツアーで子供達の安全確保のため、階段手摺り全体にネットを張り階段ステップ下にトラロープを10~15cmピッチで張り巡らすという、階段の間隙塞ぎの作業が一番キツイ作業です。当日は朝から曇り空のため炎天下に比べれば幾分楽な作業になりました。設営作業を終え午後から石垣島天文台に移動し大勢の見学者に混じって施設を見学しました。

夕方から石垣港横の「南の島の星まつり」会場に向かい、VERAスタッフはイベント会場に設置した望遠鏡の操作と解説に、応援スタッフは来場者に混じりイベントを見学しました。暗くなる頃には西に上弦の月と木星が雲間から見え、一斉ライトダウンの前までポツリポツリと小雨が降ったり止んだりでしたが、雲の動きが速くカウントダウン直前に雲が無くなりました。ライトダウンの瞬間は一瞬にして満天の星空で見えなかった星が見えるようになり、その数の多さには感動を覚えました。南天にはさそり座の近くに火星と土星が見え、天の川がその左側で斜めに頭上に延び、酉年で老眼の私には天の川が薄雲のように見えました。星空を見上げる機会が少ない私にとっては記憶に残る出来事でした。

いよいよ7日(日)が特別公開本番の日です。当日は雲の動きが速く開場してから1時間程度は持ちましたが、その後雨が降ったり止んだりして雨も南国特有のスコールとなり、受付テント周辺は水浸しになりながら見学者に対応していました。不順な天候でも地元の家連れが多く訪れ、VERAスタッフの説明を熱心に聞いている姿が印象的

した。バラボラアンテナ上部機器室まで上るツアーは子供達に人気があり、家族連れやグループで来られた数組までは対応出来ましたが、雨が強くなった時点で安全のため中止となり、子供達が残念そうに雨空を見上げていました。

特別公開が無事終了し後片付けを残すのみとなり、その頃には雨は止み晴れ間が顔を出す日差しが強く湿度も高く、撤収作業は全員が全身汗まみれになりながら行いました。夜は懇親会を行うとのことでホテルに戻りシャワーを浴びてから、特別公開スタッフ等と視察に訪れていた機構長一行の合同の集いに参加しました。余談ですが、有志による2次会で石垣島天文台所長行き付けの鳥唄ライブの店において、全員でカチャーシーを踊ったのが良い思い出となりました。

さて、私は国立大学等において施設整備の仕事に携わってほぼ40年になります。中学在学中に伊勢神宮、出雲大社、法隆寺等の古代から上代の木造建築に興味を持ち、漠然としながらも進路を建築関係と定め、工業高校建築学科を卒業し国立大学施設部に就職してから工業大学建築学科に夜間通学しました。一貫して建築を学びながら仕事に付くということで、今思えば趣味の延長で仕事をしてきたような感じです。皆様には施設整備の仕事が一体何をしているか分からないと思うので、この場をお借りして説明すると、施設整備は建物・設備を普通に使える状態に維持保全することが主な仕事です。建物・設備を問題なく使えるのは当たり前前で、施設担当が裏方として維持保全の仕事をしています。施設ある所には施設維持保全担当者があることを心に留めて頂けるとありがたいです。

最後になりますが、三鷹キャンパスに来る前は武蔵野の雑木林に囲まれているという勝手なイメージを持っていましたが、来てみると守衛所まで竹が迫ってきている状況で竹林の広がりには驚きました。三鷹キャンパス構内にはまだ各所に雑木林が残っており、今でも近隣の農家がコナラやクヌギの落ち葉を堆肥として使うため集めている姿は昔ながらの雑木林のイメージどおりです。三鷹キャンパス構内北側の竹林で三鷹市主導のボランティアが間伐等の整備活動を進めており、この活動に私も賛同し仕事の合間に雑木林に浸食する竹の増殖防止を陰ながら行ってきました。皆様も在職中に三鷹キャンパス構内に残された雑木林を巡ってみては如何でしょうか。

国立天文台の2年間はあっというまに過ぎていきました。機構事務局及び国立天文台の皆様には大変お世話になりました。特に施設課の皆様にはお付き合ひして頂き感謝しております。

どうもありがとうございました。

## 2016年度「N体シミュレーション立春の学校」報告

田中佑希 (天文シミュレーションプロジェクト)



今年度「N体シミュレーション立春の学校」の受講者・講師・TA。

今年度も、天文シミュレーションプロジェクト (CfCA) と天文データセンター (ADC) が主催する「N体シミュレーション立春の学校」が、2017年2月8日 (水) から10日 (金) までの3日間に渡って開催されました。講義はすばる棟院生セミナー室、実習は南棟2階共同利用室で行われました。

銀河団、銀河、星団、微惑星系、惑星リングなど、多数の天体から構成され、その進化が重力によって支配されている系を重力多体系と呼びます。この重力多体系の進化を調べる手法として広く使われているのがN体シミュレーションです。N体シミュレーションでは天体を多数の粒子で表現し、その粒子間の重力相互作用を計算することで、個々の粒子がどう動き、系全体がどう進化していくかを調べることが出来ます。

CfCAでは重力多体計算専用計算機GRAPEシステムの共同利用を行っています。N体シミュレーションの中では粒子間の重力相互作用の部分が最も計算量が多くなりますが、GRAPEはその部分を超高速で計算するためのハードウェアです。GRAPEを用いることでより大規模なN体シミュレーションを行うことが可能になります。N体シミュレーションの面白さと、GRAPEのさらなる有効活用を促進するため、今回の学校が企画されました。

今年度の参加者は12名で、学部生6名、修士課程5名、博士課程1名でした。これから研究を始めようという段階の参加者から、既に研究を行っていて新たな数値計算法の習得を行おうという参加

者まで、様々なメンバーとなりました。また海外からの留学生も参加し、国際色豊かな学校となりました。初日はN体シミュレーションに関する講義が行われました。まずは校長の小久保英一郎教授から

開校の挨拶が行われた後、重力多体系での物理の基礎や、N体シミュレーションに必要な数値計算法についての講義が行われました。また、K&F Computing Research社の福重俊幸さんに来て頂き、GRAPEの仕組みについての講義も行われました。

2日目からは実習が始まります。ここではN体シミュレーションを行うためのコードを、教科書の記述を参考にしながら参加者自身に一から開発してもらいます。プログラミングに慣れていない人もいたため、レベルに合わせて講師・TA陣の指導の下で実習が進められました。また、学校では数値計算だけではなく計算結果の可視化についても学びます。可視化をすることによって計算がどのように進んでいるのかを直感的に確認するこ



K&amp;F Computing Research社の福重さんによるGRAPEについての講義。



講師やTAによるサポートを受けながら参加者は実習に取り組みます。

とが出来たため、現象の理解を深める手がかかりとなります。また可視化はコードのデバッグをする上でも有効な手段となりえます。

実習の最中には、GRAPEを含めたCfCAで管理している計算機システムの見学ツアーも行われました。また4次元デジタル宇宙シアターの鑑賞会を行い、N体シミュレーションがどのような研究に応用され、どのように可視化されているかの実演も行われました。土星の環の構造や宇宙の大規模構造の進化などの計算結果の映像を鑑賞することで、N体シミュレーションへの理解がさらに深まったことと思います。

3日目には、いよいよGRAPE-9★01を用いた計算を行います。前日まで行っていた通常の計算機での計算速度と、GRAPEを用いた時の計算速度の違いを実感できたことと思います。この日は講義も行われ、ツリー法★02などのより高度なN体シミュレーションを行うための手法が紹介されました。また、天文情報センターの武田隆顕さんから、シミュレーションの可視化についての講義が行われました。ここでは、計算結果をいかに分かりやすく伝えるかについて、実際のシミュレーション結果の可視化の例を挙げながらの講義が行われました。

2日目と3日目の実習では参加者も遅くまで残り、講師・TAのサポートの下で実習に取り組みました。その結果、参加者の全員が実習の目標を無事に達成することが出来ました。また進度の速い参加者は発展的な課題に取り組んだり、独自に問題を設定して計算に取り組んだり、活発な学校になったと感じています。

## ★01 GRAPE-9

CfCAでは、GRAPE-9 (無衝突系) と GRAPE-DR (無衝突系、衝突系) という目的に合わせて最適化された計算精度をもつ2種類のGRAPEシステムが運用されています。GRAPE-9は昨年度より本運用を開始した最新のGRAPEで、これまで利用されてきたGRAPE-7のおよそ10倍の性能です。衝突系の対象は宇宙の大規模構造形成、銀河形成、惑星リング等、無衝突系の対象は球状星団、微惑星集積等です。

## ★02 ツリー法

遠方にある質点の集合を1つの質点とみなして計算することにより計算量を削減する方法です。

●今年度も南棟2階の共同利用室を占有して実習に使用させて頂きました。学校の開催中にご不便をおかけしましたこととお詫言いたします。天文データセンター並びに関係者の方々のご協力に厚く御礼申し上げます。

★2016年度 N体シミュレーション立春の学校スタッフ：小久保英一郎、押野翔一、木村優子、田中佑希

## Caltech (カルテック) の重力波研究室を訪問しました

ラムゼイ・ランドック (天文情報センター) / 校閲: 都築寛子 (天文情報センター)



図01 カルテックLIGO研究室の看板。

天文情報センター出版室の仕事の一環として米国のカリフォルニア工科大学 (California Institute of Technology, Caltech、カルテック) を訪れ、そこに古い知人を訪ねました。重力波に関心がある方は David Reitze 教授のことを聞いたことがあるかもしれませんが、重力波を検出したことで話題になった LIGO のプロジェクト長です。皆さんは、

重力波を検出したことを発表した、記者会見をご覧になりましたか？ あの記者会見で「Ladies and Gentlemen, we have detected gravitational waves. We did it! (皆様、私達は重力波を発見しました。ついに重力波を捉えたのです!)」と言った、あの人です。

2000年に入った頃、私はフロリダ大学 LIGO 研究室にいたのですが、Reitze 教授は私の上司でした。私はただの大学生だったので、今でも彼が私のことを覚えてくれていたことに驚きました。それと同時に飲み席 (バー) で、また乾杯できたことは嬉しく感じました。バーを出るとき、「カルテックの LIGO 研究室を見てみたいか？」と Reitze 教授に招待され、喜びのあまり、思わず「はい！ 是非！」と叫んでしまいました。

私が訪問した金曜日は、Reitze 教授本人は多忙だったので、科学機器グループリーダー (Instrument Science Group Leader) の Eric Gustafson 教授が案内してくれました。まず、LIGO 研究室のコーヒータイムに参加してもらい、多くの研究室のメンバーと話をしました。メンバーは大変優しく面白い人たちでした。カルテックがあるのはカリフォルニ

ア州ロサンゼルス郡のパサデナという都市です。ここでは、映画産業の有名なハリウッドの近くにあるので、どの人もスーパースターや空港などで有名な俳優と会ったことがあるそうです。しかし、私は日本在住で米国のテレビや映画をあまり見ないので、どの俳優のことを話しているのか、その俳優が誰なのか、全く理解できませんでした。

コーヒータイムが終わると、Gabriele Vajente 博士が一番下の地下2階にある3つの研究室を案内してくれました。

1つ目の研究室では、散乱光を吸収させるための、新規の黒色処理法の調査が行われていました。重力波望遠鏡では、光がレンズや鏡を通ると、光の一部が散乱します。散乱光が周辺物に反射し、それを検出器が捉えてしまうと雑音になります。無作為に散乱した光が数mあるいは数km離れたところにある検出器を通ることは、大変稀なことです。ですが、重力波望遠鏡は、高エネルギーのレーザーを使用し、ごく僅かな信号変化を検出するため、この雑音を無視できません。

そのため、散乱光が生じないように、光が通る周囲にはバップル (遮蔽の筒) を設置しています。バップルは、できるだけ反射しないように、できるだけ黒色にする処理が必要です。世界中で一番効果的な黒色処理法は何なのか調査するために、様々なサンプルを調べています。その日も、カーボンナノチューブによる黒色処理の実験を行うために準備中でした。

次に訪ねた研究室では、クラックリング雑音 (crackling noise) についての実験

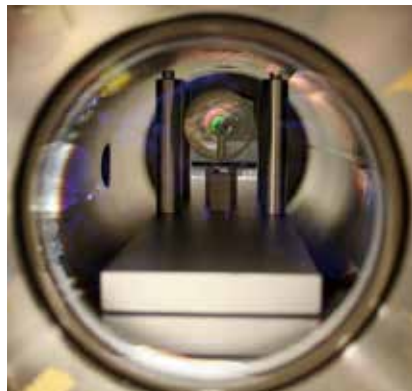


図03 黒色処理法の実験装置。

を行っていました。薄板バネなどの防振システムは地震雑音などの振動から光学部品を守ります。理論的には、バネの伸び縮みは振動の力に比例します。しかし、とても小さなスケールで見ると、個々の原子が格子状で構成されているシステムになっています。

格子構造は完璧ではありません。格子点がない原子もあります。隣の空いている格子点に原子が飛んでいくと、バネの形が少し変形します。このため、バネに強い力を与えると、バネは元の形に戻りません。しかし、弱い力だとしても、いくつかの原子が飛んでしまう可能性があります。この場合、個別のステップを取ります。このように理論から離れることをクラックリング雑音と呼ばれています。この実験は、LIGO の防振の部分にクラックリング雑音がどう観測に影響するのかを調べています。

実験台を水平にする方法は驚くほどシンプルです。ワイヤーにおもりがついていて、それを2つのピンホールに通しておきます。ワイヤーがどちらのピンホールにも触れなければ、実験が水平に行われていることとなります。世界最先端の技



図02 カルテックの建築様式はカリフォルニアらしい。

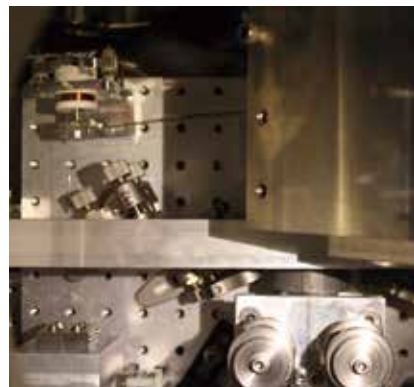


図04 クラックリング雑音の実験。右下で見る縦のワイヤーは左上で見る長く横のバネを引っ張ります。

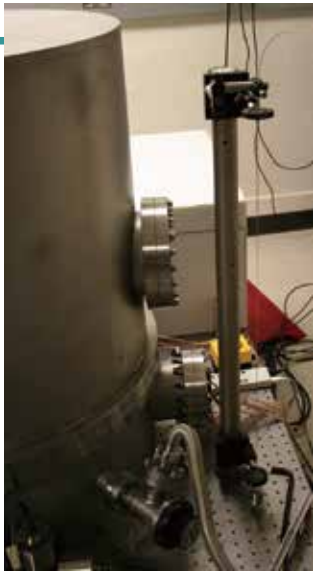


図05 実験台を水平にするためのワイヤーとピンホール。

術が、いつも複雑な装置を使用しているというわけではないのです。

最後の地下の研究室は、コーティングの研究室でした。重力波を観測する際に実際に行っていることは、遠く離れた鏡の相対的な動きの観測です。もし鏡が勝手に動いてしまうと、その動きから偽信号が送られてしまいます。実際には、鏡の表面の原子は、熱エネルギーの影響で、常に動いています。偽信号を熱エネルギーの影響下から逃れさせるために、鏡に塗布しているコーティングの調査を行っているの

です。



図06 コーティングのリングダウン振動数。



図07 カルテック40mの重力波望遠鏡のコントロール室はLIGO 4km重力波望遠鏡と同じのソフトを使う。

コーティングの熱運動の源は力学的エネルギーの損失です。力学的エネルギーの損失については、運動エネルギーがどのように熱エネルギーになるかについて

理解できれば、熱エネルギーの影響を計算できます。実験方法としては、くし型コンデンサーによって、コーティングに運動エネルギーを与えます。運動エネルギーが熱エネルギーになるときに、コーティング材の振動が小さくなります。この現象は「リングダウン」現象と呼ばれています。お寺の鐘を打つと、音がだんだん小さくなっていくのと同じ原理だからです。

鐘には固有の振動数があります。鐘はどんなふうに打たれても、ある特定の振動しかしないので、ゴーンという良い音で鳴ります。一方、光学部品とそれにつけているコーティングの組合せには様々な固有振動数があります。本実験では、コーティングを少しずつ変化させていくと、その振動数で起こるリングダウンがどう変わっていくかを調べています。

最後に、薄暗い地下の研究室から地上に出て、キャンパスの反対側へ行きました。この日1番のイベントは、40mの重力波望遠鏡の見学です。この40m重力波望遠鏡では、重力波観測に必要なとされる $10^{-21}$ のひずみを検出できません。ただしLIGOの4kmの重力波望遠鏡に対し、この40m重力波望遠鏡は小さいため、4kmの重力波望遠鏡ではできない実験ができます。つまり、制御ソフトや技術を試す試験台として使用できるのです。現在、LIGOの重力波望遠鏡で実際に使用されている、干渉計の固定方法は、この40m重力波望遠鏡を参考に開発されました。私が重力波の分野で働いていた当時は、あるレーザー波長のみを使用していましたが、現在は他の波長を使用しているようです。

話は変わりますが、重力波望遠鏡の隣の建物に地理学部が人工の川をつくったそうです。この人工の川に石を流して、ガ



図08 LIGOのSOSタワーの1つ（前面）と他の光学部品を吊るすタワー（背景）。

ンガン石同士をぶつけて、石のすり減り具合を調査する実験を行っているそうです。この実験を行っている時に重力波望遠鏡で観測しても、流れている石がガンガンぶつかっている振動しか検出することはできません。こういった事情から、重力波望遠鏡で観測できるのは、地質学者たちが帰宅した後の夜の時間だけです。

観測では、できるだけ4kmの重力波望遠鏡と同じハードやソフトを使用しています。私が特に興味を持ったのは、SOSタワー（Small Optics Suspension、小型光学部品を吊るすタワー）です。18年前、私がフロリダ大学LIGO研究室で行った初めての仕事は、このSOSタワーを洗浄し、各地にある研究室へと輸送することでした。

写真の前面に写っているSOSタワーも、私が洗浄したのかもしれないと思うと感慨深いです。



図09 カルテック40mの重力波望遠鏡の本体。

## 「一般社団法人 日本カレンダー暦文化振興協会 2016年の活動」報告

片山真人 (天文情報センター)

## ●第6回総会 &amp; 講演会

暦文協★1の活動も6年目に突入、8月27日には、東京大学弥生講堂一条ホールにて総会 & 講演会を開催、約100名の参加をいただきました。

まずは国立科学博物館理工学研究部理化学グループの洞口俊博博士から「渋川春海と江戸時代の天文学者たち」と題して、初の日本独自の暦である貞享暦を作り上げた渋川春海、天文暦学に関心を持ち自ら天文観測も実施した徳川吉宗、ケプラーの法則を導入した寛政暦による改暦を実現した高橋至時・間重富、後に東京大学へとつながる蛮書和解御用を設置した高橋景保、ラランデ暦書により精密な西洋天文学を取り入れた天保暦を完成させた渋川景佑らの足跡を紹介いただきました。なお、この講演は国立科学博物館で渋川春海没後300年を記念して開催



国立科学博物館 洞口博士による講演。



トークセッションの様子。



故古川麒一郎副理事長。

した企画展にもとづいており、国立天文台で所蔵する貴重書も展示いただいたものです★2。

続いて、トークセッション「江戸時代の天文学者と暦」では、活水女子大学の細井浩志教授と暦の会の小田島梨乃さんも交え、企画展開催にあたっての工夫や、江戸時代に天文暦学が発展した要因などについてさまざまなトークが進みました。

総会では、6月29日にご逝去された古川麒一郎副理事長に代わり、日本暦学会会長の平井正則福岡教育大学名誉教授を副理事長に選出、新たに細井教授を理事に加えました。

## ●新暦奉告参拝

12月3日「カレンダーの日」★3には、恒例の新暦奉告参拝を明治神宮にて実施、約90名の参加をいただきました。

土曜日開催ということもあり多くの人が見守る中、参拝は神楽殿前からの参進に始まり、本殿奥にて参拝・玉串拝礼、その後神楽殿にて祈願の祈祷、巫女舞の奉納という形で執り行われました。

参拝の後は参集殿にて、平井正則日本暦学会会長から「2007年三浦梅園旧宅修理で発見された麻田剛立筆『見行草』・梅園謄写の『世界図』について」と題して、発見された資料を紹介しつつ、江戸中期の自然哲学者である三浦梅園と天文学者・医者である麻田剛立の交流や西洋科学への認識・世界観について講演



平井副理事長による講演。



参拝の様子。

いただきました。

暦文協では今後もさまざまな形で、活動を続けていく予定です。

## ●その他の暦関連ニュース

8月17日、大阪歴史博物館および大阪市立中央図書館が所蔵する「間重富関係資料」が国の重要文化財に指定されました。図書係と暦計算室共同で実施している貴重資料展示室でも、第55回展示で取り上げています★4。

11月30日、中国の申請した「二十四節気」が国連教育科学文化機関（ユネスコ）の無形文化遺産代表一覧表に登録されました★5。自然と人間の調和、農業のみならず、詩歌や行事・儀式といった文化を通じて社会に深く根付いている点が評価されてのことだそうです。

## ★1 暦文協

一般社団法人 日本カレンダー暦文化振興協会の略称（国天ニュース2011年10月号参照）<http://www.rekibunkyo.or.jp/>



一般社団法人  
日本カレンダー暦文化振興協会  
Japan Association for Calendar and Culture Promotion

## ★2 国天ニュース2016年5月号参照

## ★3 カレンダーの日

国天ニュース2016年3月号などを参照

## ★4 貴重資料展示室「間重富」

<http://library.nao.ac.jp/kichou/open/055/>

## ★5 ユネスコの記事

<http://www.unesco.org/culture/ich/en/RL/the-twenty-four-solar-terms-knowledge-of-time-and-practices-developed-in-china-through-observation-of-the-suns-annual-motion-00647>

## 平成30年（2018）暦要項を発表しました！

片山真人（天文情報センター）

平成29年2月1日、官報にて平成30年（2018）暦要項を発表しました。

<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/yoko/>

## ● 春分の日、秋分の日は、それぞれ3月21日、9月23日になります。

## ● 日食が3回、月食が2回あります。

- 2月16日、7月13日、8月11日には部分日食がありますが、いずれも日本では見ることができません。
- 1月31日から2月1日にかけては皆既月食があり、全国で皆既食を見ることができます。
- 7月28日には皆既月食があります。日本では全国で見られるものの、月食の途中で月が沈みます。とくに北海道（南西部を除く）、青森県北東部、岩手県北東部では皆既食が始まる前に月が沈むため、部分食しか見ることができません。

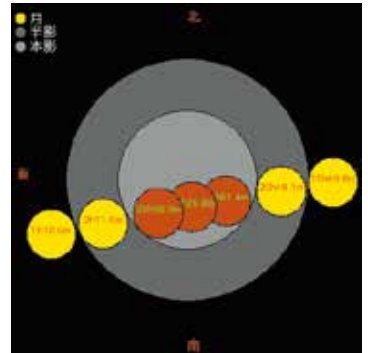
1月には久しぶりの典型的な皆既月食を堪能し、7月には暁に沈む皆既月食と大接近中の火星の競演を楽しみましょう（最接近は7月31日）。

※各地の詳しい予報については暦要項のほか、暦計算室ホームページでもお調べいただけます。

## ● 明治改元から150年

せっかくなので、暦要項一覧を拡大掲載してみました。改元といえば、平成も……。

<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/yoko/archives.html>



1月31日～2月1日の皆既月食。

## 理科年表、環境年表も発売中！

理科年表は多数の研究機関の協力の下に国立天文台が編纂する、日本で最も信頼されている「自然界の辞典」です。大正14（1925）年に創刊されましたが、第2次世界大戦中に休刊された時期があることから、今号が第90冊となります。創刊号から最新号まで90冊分のデータを集録した「理科年表プレミアム個人版」もぜひご利用ください。また、環境に関するあらゆる分野の情報を網羅したデータブック、理科年表シリーズ「環境年表 平成29-30年版」も刊行されています。こちらも併せてご利用ください。

★理科年表オフィシャルサイト <http://www.rikanenpyo.jp/>



## 編集後記

2月のガス・電気代を見てびっくり、、、岩手の冬の寒さを思い知らされました。(は)

念願かなって(?)3月中旬から4月中旬までチリ出張。花粉症の身には助かるが、この春の東京の桜は拝めそうもない。(i)

天文データをプラネタリウムにスムーズに導入するための仕組みを議論するData to Domeワークショップに参加してアルマ望遠鏡データアーカイブについて紹介。世界の名だたるプラネタリウムからの参加者に興味を持ってもらえてありがたかった。(h)

研究会でオランダのライデン大学へ。オールド先生の使った望遠鏡を見せてもらいました。大学にはオールド棟にオールド通りもありました。(e)

年度末。このシーズンは、毎年のことながら、書類書きとやけに多い会議、それに加えて海外出張で心身ともに疲れ気味。そんな私を癒やしてくれるのは、3歳になった娘が描いてくれた大きな太陽の絵。(k)

体を鍛えていれば免疫力が上がって花粉症は治るなどという噂を聞きつけ、今年は花粉に立ち向かってみよう、としばらくマスクなし生活を送っていたのですが……負けました。そして花粉の逆襲なのか、今日は部屋の中でもマスクなしでは過ごせません。やはり1日10分位の運動じゃダメかあ? はっくしょん。(k)

オーロラを見に行ってきました。ブレイクアップに出会い、素晴らしいものでした。(w)

## 国立天文台ニュース

NAOJ NEWS

No.284 2017.3

ISSN 0915-8863

© 2017 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

## 国立天文台ニュース編集委員会

●編集委員：渡部潤一（委員長・副会長）／小宮山裕（ハワイ観測所）／秦和弘（水沢VLBI観測所）／勝川行雄（ひので科学プロジェクト）／平松正顕（チリ観測所）／小久保英一郎（理論研究部／天文シミュレーションプロジェクト）／伊藤哲也（先端技術センター）

●編集：天文情報センター出版室（高田裕行／岩城邦典）●デザイン：久保麻紀（天文情報センター）

★国立天文台ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話あるいはFAXでお願いいたします。  
なお、国立天文台ニュースは、<http://www.nao.ac.jp/naoj-news/>でもご覧いただけます。

発行日／2017年3月1日

発行／大学共同利用機関法人 自然科学研究機構  
国立天文台ニュース編集委員会

〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

TEL 0422-34-3958（出版室）

FAX 0422-34-3952（出版室）

国立天文台代表 TEL 0422-34-3600

質問電話 TEL 0422-34-3688

4月号は、3月号  
に引き続き、特集  
「TMT計画を進める  
人々」Vol.02をお送り  
します。どうぞ、お  
楽しみに！

次号予告



アルマ望遠鏡 観測ファイル12

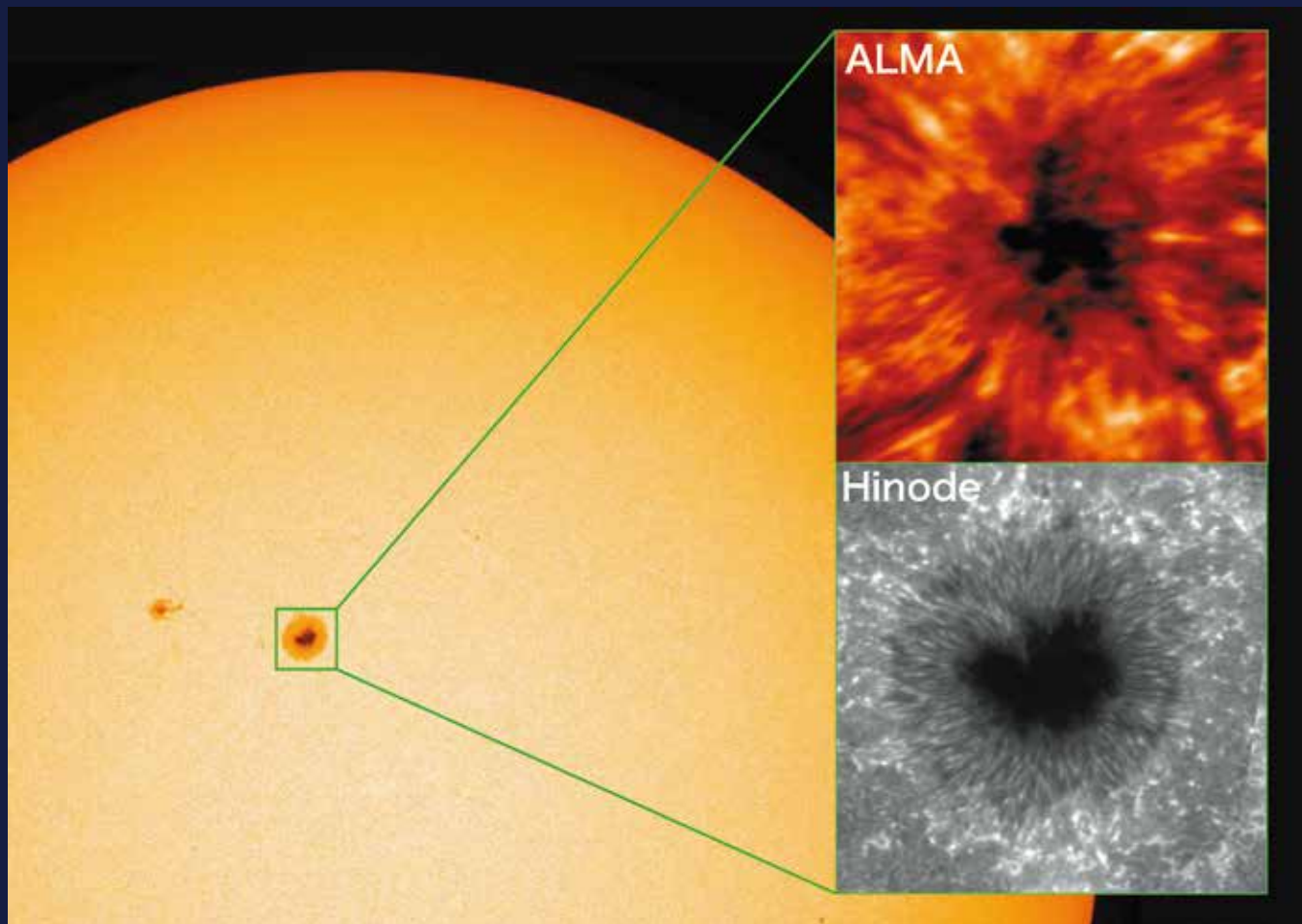
## いろいろな目で見ると見る太陽

Navigator

平松正顕 (チリ観測所)

私たちに身近な星、太陽もアルマ望遠鏡の観測対象です。猛烈に明るい太陽をアルマ望遠鏡で観測するために、観測装置にも観測手法にも特別の工夫を施しています。アルマ望遠鏡は、太陽の彩層と呼ばれる領域から放たれるミリ波・サブミリ波を観測することで、その温度を精密

かつ圧倒的に高い解像度で測定することが可能です。画像はNASAの太陽観測衛星SDOが捉えた太陽全面と、アルマ望遠鏡および太陽観測衛星「ひので」が捉えた黒点です。同じ黒点でも、可視光とミリ波では姿がまったく異なることがわかります。



Credit: ALMA (ESO / NAOJ / NRAO) ・ NASA ・ 国立天文台 / JAXA

### 研究者の声

下条圭美 (チリ観測所)

彩層は太陽大気の中でも特にダイナミックな層です。この層の複雑な構造や運動を理解することが、「彩層やコロナがなぜ太陽表面より温度が高いのか？」という謎を解明する鍵だと考えられています。彩層の観測は、ながらく可視光や紫外線の吸収線や輝線を使って行われてきました。しかし輝線・吸収線の解釈が難しく、

ダイナミックな構造の温度を正確に求めることはほぼ不可能でした。アルマ望遠鏡で得られるミリ波・サブミリ波の明るさはほぼ温度を示すので、まさに彩層に温度計を差し込むが如く温度を測ることができます。この正確な温度をつかって太陽大気の理解が大きく進むでしょう。

