

私の発言

しっかりした高い目標を掲げれば 実現への道はやがて拓ける



国立天文台 教授
家 正則

■渦巻銀河の模様を不思議に 思ったのが原点かな？

聞き手：家先生が天文の分野に進まれたきっかけと、研究のテーマなどを教えてください。

家：多くの少年と同じように宇宙や

SFには関心がありました。小学校6年の頃に、5センチぐらいの天体望遠鏡を買って、土星の輪とか木星の衛星を見ましたが、1, 2回見たらもう飽きてしました。あまりまじめな天文少年ではありませんでした（笑）。ですが、図書室で銀河

の写真集を見たときに「ああ、どうしてこんなきれいな、いろんな渦巻銀河があるのだろう」と子供心に思ったのが、自分の研究の原点だったという気がしています。

中学・高校時代は数学の成績が良く面白かったので、漠然と数学学者になろうかなと思っていました。ところが、大学に入学して、線形代数という大学の数学に接して、自分はとんでもない勘違いをしていたことに気づきました。答えが用意されている受験数学と、抽象的な概念の世界に拡がる本当の数学は全然レベルが違うものだと知り、愕然としました。自分は数学者にはとてもなれないと思いました。

私が入学したのは大学紛争一色の年でした。5月には駒場がストになり1年間は全く授業がありませんでした。私はノンポリでしたから、古典ギター愛好会に入りクラシックギ

●家正則（いえ・まさのり）先生のご経歴

1949年札幌市生まれ 1972年東京大学理学部天文学科卒業 1977年東京大学理学系大学院博士課程修了 1977年日本学術振興会奨励研究員 1977年東京大学理学部天文学科助手 1981年東京大学東京天文台助手 1986年東京大学東京天文台助教授 1988年国立天文台助教授 1992～国立天文台教授 この間、日本天文学会副理事長、総合研究大学院大学数物科学研究科長、国際天文連合日本理事、日本学術振興会学術システム研究センター数物系科学主任研究員、国際光工学会シンポジウム組織委員長などを歴任

●分野

銀河物理学、観測天文学

●主な受賞歴等

2013年日本学士院賞 2011年紫綬褒章 2011年東レ科学技術賞 2010年文部科学大臣表彰 2010年研究部門 2008年仁科記念賞 2006年日本光学会 2006年度光設計特別賞 2003年第44回平成15年度科学技術映像祭文部科学大臣賞（科学技術部門） 2002年第13回ハイテクビデオコンクール2002年度最優秀作品賞

ターをさわりつつ、部室で四人を集めて雀荘に流れるという日課でした。

1年後、安田講堂への機動隊導入で全学ストが解除されると、結局残りの3年間で4年分の授業を受けることになりました。大学3年からの本郷での専門科目は駒場時代に決めねばなりません。当時、東大では駒場での成績次第で人気学科に進めるかどうかが決まる進学振り分け制度がありました。私は成績の悪い方ではなかったのですが、定員が6名しかない天文学科は極端に人気があり、進学振り分け時の自分の成績では入れるかどうかぎりぎりでした。もう少し大学生活を楽しみたいという気持ちもあり、留年してもまあいいかというつもりで希望を出したら、天文学科に入れてもらえた。それが一生を決めたという感じです。(笑)

これは後で聞いたのですが、振り分け事前調査での天文学科の合格最低点が極端に高かったのには秘密があつたようです。どうしても天文に入りたい学生が成績のいい友達複数

にダミーで天文学科に進学希望を出させ底点を上げていたというのです。事情を知らない学生があきらめて、ほかの学科へ行けば、自分が滑り込めるというとんでもない仕掛けがあつたらしいのです(笑)。

■理論から観測へ、そして技術開発へ

大学院に入ってからのテーマは、銀河の渦巻構造がなぜできるのかという理論的な研究でした。学部では授業を受け身で聞くだけでしたが、大学院では自分で研究したいことを決めて、自主的に最先端の論文を読み勉強するようになります。それが面白くて、やっとまじめに集中して勉強し始めました。

銀河の渦巻きに関する論文は、物理数学をふんだんに使うもので、自分には向いていました。渦巻銀河を物理学的なモデルに置き換え、銀河が振動するようすを微分方程式にして、解析的あるいはコンピューターで分析します。「自己重力微分回

転銀河円盤の重力不安定渦状モード」というタイトルの博士論文をまとめました。私の研究ではどのような渦巻模様ができるかは、銀河自体の構造に依存します。理論的研究を進める一方で、自分の理論予測が本当に正しいかどうかは、観測データで検証すべきだと考えていました。それで、理論の学位研究をやりながら、観測もやることにしました。東京大学東京天文台の岡山天体物理観測所で渦巻銀河の写真を望遠鏡で撮影し、銀河の基本構造と渦巻模様の関係を調べる観測を始めました。大学院生の20代半ばで、当時日本で一番大きい2メートルの望遠鏡自分で操作して、自分の研究のための天体写真を撮るという体験に、大きな感動を覚えたものです。

東京天文台には岡山の2m望遠鏡の他に、木曾観測所に1mのシュミット望遠鏡があります。木曾は岡山よりも空が暗いので銀河の観測には適しています。どちらにも大学院時代には何度も通って観測しましたが、やっぱり国内では良い観測ができないのです。岡山だと3割晴れればいい方で、木曾だと1割とか2割しか晴れなくて、13夜観測したけど一晩しか晴れないこともあります。

一所懸命、銀河の観測をして、そのデータから論文を書こうとするのですが、日本で観測したデータでは、海外で観測されたデータと比べると、どうしても見劣りしてしまうのです。これじゃあ、勝負にならない。この状況を何とか改善したいという気持ちが強くなりました。

1977年に博士の学位を得て、東大の助手に採用してもらい、1982年からイギリスとドイツに合計2年



すばる望遠鏡の主焦点カメラSuprimeCamで撮影した渦巻銀河NGC 6946。四つの渦巻腕に沿って青い星や赤いガス星雲が並んでいる。

間、留学する機会を得ました。イギリスでは、渦巻の理論研究を続けましたが、2年目は、ドイツに本部があるヨーロッパ南天天文台ESOに招いてもらいました。ESOはヨーロッパ8カ国からなる国際天文台組織で、チリのアンデス高原に世界最先端の望遠鏡を建設して運営していました。当時、その最先端の4m望遠鏡の新しい観測装置が完成直前であり、この装置を駆使した観測提案を4つ書いたところ、そのうちの3つが面白いと採用されました。ESOでは加盟国以外の国籍の新参者でしたが、観測装置立ち上げを兼ねて、最初のユーザーとしてドイツから1ヶ月間チリに赴くことになりました。最先端の天文台現場での、この1ヶ月の観測体験は、世界のトップレベルを体得する良い機会となり、非常にカルチャーショックを受けました。装置のレベルと観測手法の洗練度が違います。これまでの日本の観測では適わないはずだと納得しました。

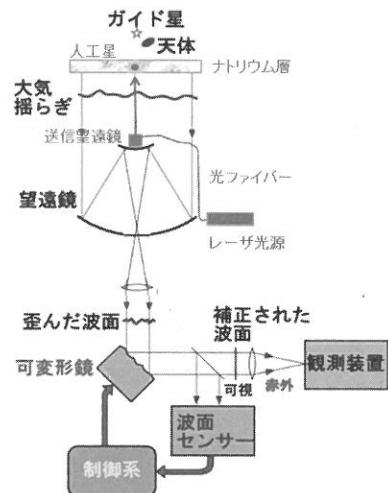
2年間の留学が終わり帰国すると、すぐに新しい技術を使ったCCDカメラを開発して、日本の望遠鏡の観測感度をアップするというテーマで科学研究費の申請を行いました。これは非常にいい評価をもらいました、当時30代の若手の助手としては、破格な額になる3000万円ほどの研究費を頂きました。この研究費で2年後に、日本で最初の本格的なCCDカメラを完成させ、岡山の望遠鏡に載せたら、それまで写真観測では21等星までしか観測できなかったのに、24等星がいきなり見えるではありませんか。3等級暗いというのは今まで見えていた一番暗い星よ

り、さらに20分の1ぐらいの暗さのものまで見えるということです。新しい技術をしっかり導入すれば、日本の観測レベルを世界のレベルに引き上げることが可能だと示すことができました。

もともとは理論研究者だったので、理論の証明には観測が大事で、観測のレベルを上げるには、よりよい装置開発が必要だというので、だんだん研究のスタイルがシフトしていました。今は、大きな国際プロジェクトの代表者として、予算獲得の書類づくりや、国際協議のバトルが仕事の中心となっています（笑）。

■すばる望遠鏡の建設

CCDカメラや観測装置に関するさまざまな開発を行うのと平行して、帰国直後の1984年夏から大型望遠鏡の技術検討会を企画し、隔月開催しました。これは、当時の私の上司だった小平桂一先生を中心に、地上で一番観測条件の良い場所に世界最先端の望遠鏡を建設しようという大胆な構想の検討を始めたからです。すぐに実現する計画ではなさそうなので、あらゆる発想を取り入れた勉強を重ね7年間で50回の技術検討会を続ける中ですばる望遠鏡の計画が次第に固まりました。計画の要点は、直径8mの主鏡の製作と制御をどうするかでした。全体予算を抑えるには主鏡の軽量化が不可欠で、直径8mのガラスを厚さ20cmの薄いお皿型にして、コンピューターでその鏡の形を制御するという方式を考えましたが、この中で私の学位研究に使った銀河円盤の振動の解析と同じ数学が使えることに気づきました。この方式を能動光学と名づけました。



すばる望遠鏡レーザーガイド補償光学系の原理

私はずっと技術検討会の世話をやりました。いろんな大学の先生やいろんな研究所の先生、メーカーのトップレベルの技術者を招いて、新しい大望遠鏡に使える技術がないかといろいろ聞き、計画をまとめ上げていきました。こうしてまとまった計画は直径8mのすばる望遠鏡をハワイに建設するというというもので、必要な予算規模は400億円との見積もりになりました。額が大きいだけに、予算措置までには年月がかかるだろうと思っていたのですが、1980年代末は日本の経済が右肩上がりで、多くの関係者の努力と後押ししが実り、1991年度からの建設予算が付くことになりました。

付いてしまったという言い方は変なのですが、付いた以上はちゃんとやるしかない（笑）。90年代の10年間は、覚悟を決めて、望遠鏡と観測装置を作るプロジェクトに没頭しました。サイエンスをやる時間は全くなくなりました。

すばる望遠鏡の建設計画を進めながら、同時に望遠鏡に付ける観測装

置であるFOCAS（フォーカス）という撮像分光装置を柏川伸成さんを中心作りました。遠い微かな銀河を写真撮影し、その性質を解明する分光観測をするための重要な装置です。

私が直接指揮した装置としては、すばる望遠鏡の視力を10倍に改善する補償光学装置というハイテク装置もあります。これは地球の大気が光をちらちらさせて天体画像をぼけさせるという、天文学者の長年の悩みを解決する最新技術です。光のゆらぎを毎秒1000回の速さで測定して、小型の可変形鏡をリアルタイム駆動してゆらぎを補償することで、回折限界の解像力を達成するという原理です。総額7億円の研究費を頂いて、早野裕さんたちと2011年にすばる望遠鏡に搭載した第2世代の補償光学装置は、ハッブル宇宙望遠鏡の3倍の解像力を実現しています。またこの装置がいつでも使えるようにするためのレーザーガイド星生成装置というのも開発しました。

■最も遠い銀河の探査と宇宙の夜明けの発見

望遠鏡が1999年に完成し、合計8台の観測装置も2002年には全部動き始めました。すばる望遠鏡計画を始めたチームの中では私が一番若かったので、完成後にすばる望遠鏡を使った観測的研究を行う機会が10年ぐらいあったのは幸いでした。おかげさまで、宇宙で一番遠い銀河を後輩達と見つけて2006年に世界記録を立て、「ネイチャー（Nature）」誌に論文を発表して大変話題になり、過分な賞をいくつも頂きました。世界記録競争自体も、抜きつ、抜かれつ、の繰り返しで、スリル満点で

すが、学術的にはこの一連の研究で、銀河がたくさん生まれた「宇宙の夜明け」と呼ばれる時代が実際にいつだったのかを、特定できたことが大きかったと思っています。「宇宙の夜明け」は、専門的には「宇宙の再電離」とも呼ばれます。この研究は、もちろん私一人の研究ではなく、優秀な若手がたくさんいたからできた研究です。最初の最遠の銀河を見つけた研究は、当時、私の研究室にいた東大院生の大田一陽君の学位研究でした。彼にこのテーマを提示したとき、「5年間頑張って見つかれば『ネイチャー』論文。だけど、見つかないと学位が取れないかもしれない。それでもやるか？」と聞いたら、すかさず「やります」との返事。太田君は不屈の精神で、結局5年間頑張って、距離128.8億光年かなたにある銀河を1個だけ見つけたんです。それで彼は「ネイチャー」論文の著者になりました、東大博士となりました。今はケンブリッジ大学で研究を続けています。その後、アメリカの研究者に抜かれてまた抜き返したのですが、それはまた別の学生で、総

合研究大学院大学の瀧谷隆俊君でした。瀧谷君も2007年から5年間かけた観測をおこなって、距離129.1億光年かなたの銀河を1個だけ見つけて世界一になったのです。天文学者には幸運も必要なようです。

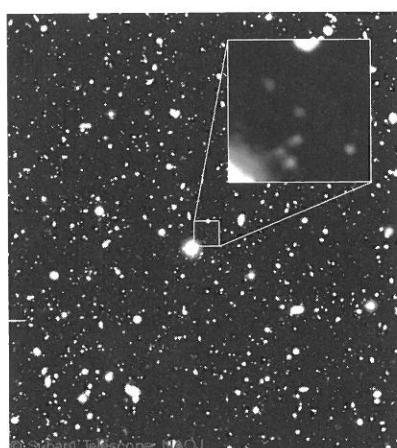
■次は国際協力で30m望遠鏡TMTを建設

2002年にはすばる望遠鏡と全ての観測装置が安定して動き始め、全国の天文学者の観測が精力的に進められるようになりました。すばる望遠鏡は、私が1984年に留学から帰国してから本格的な検討を始め、出来上がって装置が全部動いたのは2002年ですから完成までに18年かかっています。ということは次の望遠鏡を2002年から考え初めても、できるのは2020年以降になるということになります。

動いた時点ですぐ次を考えないと、計画が出遅れてしまいますから、2002年頃から日本ですばるの次の30m望遠鏡を構想し、その設計や技術開発を始めました。日本独自のセラミックス技術を用いた鏡を開発するなどして独自の計画を2005年にまとめたのですが、必要な予算は、2,000億円程度との見積もりとなりました（笑）。

すばる望遠鏡は9年間で400億円の予算を付けてもらいましたが、遠慮知らずの天文学者でも、2000億円の予算要求は塩漬けにされることぐらい予想できます。実現性を考えると、日本単独ではなく国際協力の道を追求するしかないと考え、2006年には学界からもその方針に賛同を得ました。

その頃、次世代の超大型望遠鏡想は日本以外に3つありましたが、多



すばる望遠鏡で発見した距離128.8億光年かなたの銀河IC 10 X-1。2006年から2011年まで、人類が見た最も遠い銀河とされていた。

くは南半球のチリアンデスでの建設を想定していました。チリからは南の宇宙は見えますが、北の宇宙を見るには北半球にも望遠鏡が必要です。どの構想に合流すべきか、誰と結婚すべきかという、決断が必要になりました。

8mすばる望遠鏡と同程度の規模の望遠鏡は、2014年時点で世界中で10台余りありますが、すばるの主焦点カメラ(Suprime Cam)ほど広い視野を一度に観測できる望遠鏡は一台もありません。我々が129億光年ものかなたの最も遠い銀河を見つけることができたのも、広い視野を一度に探査できるこのカメラがあつたおかげです。すばる望遠鏡は日本の天文学者が望む観測機能を全て満たすためいろんな装置が付けられるように、がっしりした望遠鏡にしました。だから望遠鏡のてっぺんに重たいカメラを付けることができます。

この機能は世界中の他の8m望遠鏡では実現できません。米欧の天文台は、望遠鏡をなるべく軽く安価にして複数の望遠鏡を建設し、観測時間を増やす戦略を取りました。そのため、後から大きな重たいカメラを



建設地をハワイ島マウナケア山に決めた2008年のTMT評議会

望遠鏡の先端に付けるような改造は、できなかったからです。ですから今後当分の間、広視野カメラでの探査観測はすばる望遠鏡の独断場となります。

すばるの隣に超大型望遠鏡TMTを建設できれば、日本の研究者がすばるの広視野カメラで見つけた重要な天体を、日本人がリーダーシップを執ってTMTで詳しく観測することができます。そうすれば日本から天文学でのノーベル賞受賞者が出る

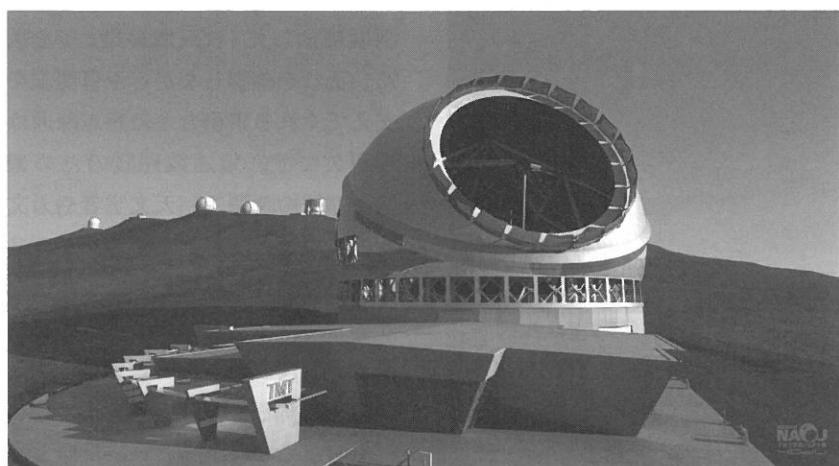
可能性が開けると私は考えました。

だから、TMTの建設地はチリではなく、是非ハワイにしたい。2008年にはTMTはチリにするかハワイにするか決めていませんでした。ハワイに建設するなら一緒にやりますと持ちかけたのです。アメリカ、カナダは手続きが簡単なチリで建設を進めたかったのですが、日本が参加しないと予算も足りないのでハワイになったわけです(笑)。ですから我々は非常に責任も大きいと思っています。

■失敗談、苦労話

聞き手: 研究・開発プロセスにおいて、自信を喪失したり試行錯誤して苦悩された苦いご経験がありましたら、ぜひそのエピソードをお聞かせください。

家: まあ、失敗談とか苦労話は数限りなくあります。そのときは落ち込んだりもしますが、楽天家なのかあんまり引きずらないですね。最初にCCDカメラを完成したときも、万端の実験・準備を整えて岡山の2m



TMTの完成予想図(CG)

望遠鏡に付けました。ところが、銀河の写真を撮ろうとしたら画像が出てこない。CDD素子が静電破壊で壊れたらしいのです。米国の業者に電話して、代わりのデバイスを手配しましたが、折角割り当ててもらった観測予定期間中には届きません。そんな時に限って毎晩快晴の観測日和が続くではありませんか。普通、精密素子には静電気破壊が起こらないように安全回路を付けておくものなのですが、その業者は付けていなかった。私の事故の後、それを付けるようになりましたが……(笑)。

5年間で6億円の科学研究費をもらって、補償光学装置を開発したときも冷汗三斗でした。当初計画よりは遅れが生じ、最終年度に成果がないと、やっぱりまずいわけです。装置の基本的なところだけは動くようになつたので、すばる望遠鏡に搭載することになり、装置をハワイに送る手続きを整える段で問題が生じました。この年は、国立天文台がそれまでの国の直轄機関から、大学共同利用機構法人となった初年度でした。すばるを建設した当時は国の直轄機関で、日米間の取り決めにより関税が免除さしていました。ところが国の直轄機関ではなくなつたため、取り決めがご破算になり、もう一度米国に申請し直していました。免税の通知が輸送時には未だ届いていないことが判明したのです。関税を払って送るか、免税の許可が出るまで待つかですが、研究期間の終了期限が迫るので、関税を払って通関しようと準備を始めると、米国に免税の申請をしている期間中に、急ぐからとはいえ関税を払って通関する前例をつくってしまうと自己矛盾と

なるので、待てと差し止められてしましました。その事情も分かるのですが、私にも時間のリミットがあるので、八方ふさがりとなり、当時初めて設けられた年度予算の繰越措置を申請して、輸送を3ヶ月だけ延期しました。この手続きにもひと騒動あります。胃が痛くて1日寝込んでしまいました(笑)。

3ヶ月の延長期間も切れ、もうこの日に送らないと観測成果を出す時間が確保できないっていう最後の日に、「免税になりました」と連絡が入ったのです。これは劇的なタイミングで、一生の運を使い果たしたかと思いました。

■国際プロジェクト

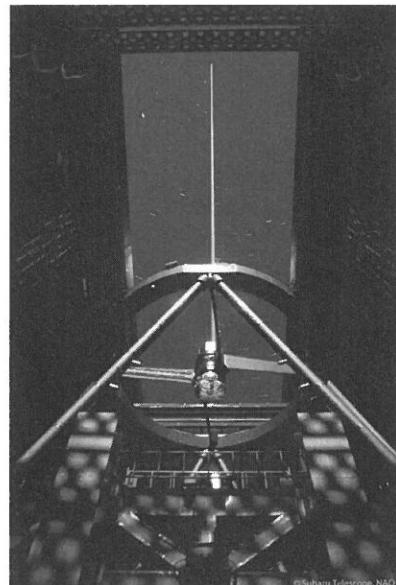
TMT計画は国際プロジェクトです。個人の努力や力量だけで実現できる計画ではありません。国際チー

ムの中でもメンバーごとの意見の調整が必要です。TMT計画としては一致できても、各国でその計画のすばらしさを訴え、それぞれの政府から予算をつけてもらわねばなりません。各国ごとに自分たちではコントロールできない枠組みとか制度があり、その制度を動かしている人々に、納得して協力してもやらなきや実現できないわけですね。予算がついても、10年に及び建設期間中には、予期できない事態が発生する可能性があります。そういうさまざまなものリスクをマネージするところの苦労の方が多いです。

建設開始に向け、現在国際合意書を弁護士チームを交えて、署名寸前の状態にまできています。この国際合意書の文面協議も大変でした。各國はTMT計画への貢献義務と引き替えに観測時間の権利を得ることになりますが、その計算法についてカリフォルニアのグループと日本とで意見の対立があり、4年間合意ができませんでした。国際シンクタンクに調停案を出してもらって、最後は合意することができました。ちょっとしたTPP交渉のようなものでした。

国際合意の内容も日本の予算会計制度に則っていなければなりません。それを確認しながら予算要求を支えてくれる事務方との意志疎通は不可欠です。望遠鏡建設のための様々な技術課題は、天文学者や天文台の技術者と関連企業のエンジニアが智恵を出して解決していかねばなりません。みんなに素晴らしいプロジェクトだと思って協力してもらえるようにすることが大事です。

そのためには、高い科学目標と実現可能な技術仕様を設定することが



すばる望遠鏡からのレーザービーム。高度90kmでナトリウム原子を発光させて、「人工星」をつくるためレーザーを送信。この人工星のゆらぎ方が打ち消されるように補償光学装置を駆動すると、大気によるゆらぎをキャンセルしてすばる望遠鏡の視力が10倍に改善できる。

重要です。TMTが完成すると「宇宙の最初の歴史が分かる」、「地球のような生命を宿せる惑星を探せる」、「ダークエネルギーの正体に迫ることができる」などが大きな研究テーマとなると考えています。誰が見ても「なるほど、これなら大型予算も惜しくない」と思ってもらえるよう、その目標に至る道のりを技術面、予算面、スケジュール面で、説得力のあるシナリオにすることが大事ですね。幸い、すばる望遠鏡も、TMTもそういう説明ができたから、多くの皆さんと政府に応援していただいているのだと思います。

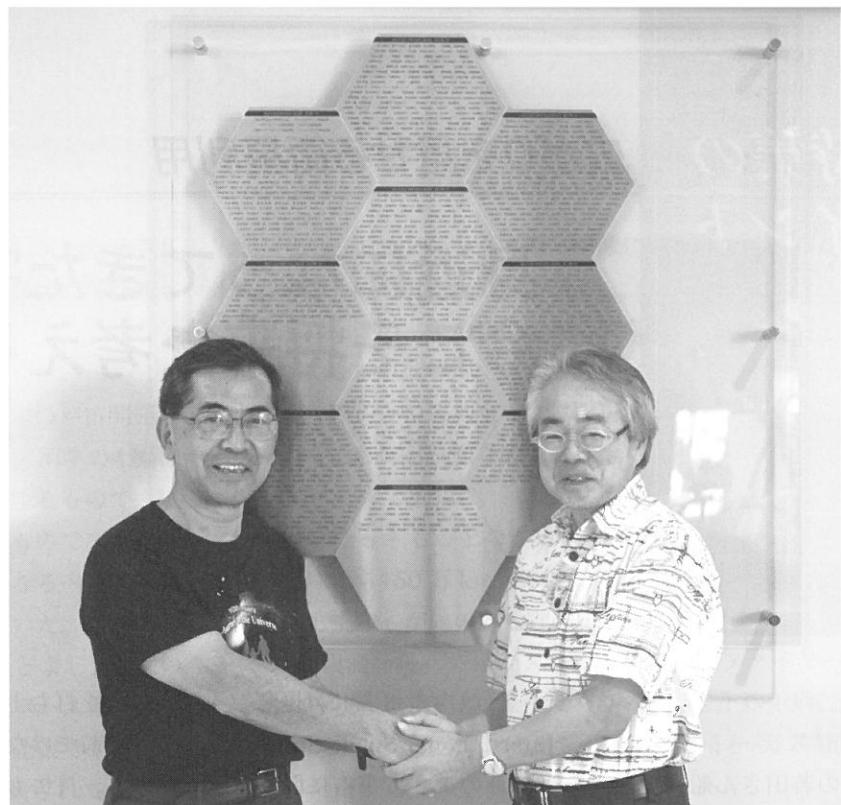
2012年秋からTMT応援寄付金のキャンペーンを始めましたが、2013年3月までの半年たらずの間に1583名の方々から寄付を戴きました。2014年3月11日には寄付者銘板をハワイ観測所に掲示してきました。このキャンペーンは継続していますので、関心のある方は、是非国立天文台のホームページをご覧下さい。1000円から名前が残るお得なキャンペーンです（笑）。

■天文学は総合科学 いろんな人材が必要です

聞き手：最後に天文・光学分野の若手技術者や学生などに向けて面白さやメッセージをお願いします。

家：そうですね、この分野に入つてこられる方は、特に面白いと思って入つてこられる方が多いと思いますが、天文学にはいろいろな関わり方があるのです。

例えば理論研究でも、紙の上で宇宙の理屈を考えるような研究から、コンピューターを使ってシミュレーションをする研究があります。それ



第一期1583名のTMT寄付者の名前を刻んだ募金銘板のハワイ観測所でのお披露目式典（右は有本信雄ハワイ観測所長）

から実際に望遠鏡で観測した宇宙のデータを解析する観測研究。さらには、望遠鏡そのものや観測装置を作る技術開発研究もあります。また研究成果を分かりやすく一般の人や教育現場に伝える広報普及活動も重要です。いろんな適性に合わせたスタイルで関わることができます。

その中で、大型国際プロジェクトをマネージする人材は、なかなか育てる機会がありませんが、国立天文台では近年プロジェクトが大型化／国際化してきていて、さまざまな苦労の経験から、人材が育つてきているように感じています。このような人材を持つことは国際プロジェクトでのリーダーシップを取る上で重要です。これまでと違つて、大学育ちの教員や技官／事務官に加えて、企業経験者にも職員として参加してもらえるように組織を改革してきました。海外では分野を問わず、大型プロジェクトを渡り歩く人材がいます。国立天文台からも将来、天文学

以外の分野の大型プロジェクトに転出する人材が出るかもしれません。

ただ、大型プロジェクトは10年とか長い時間がかかりますので、既に職を持っている立場なら、自分の研究者人生を賭けるという決心ができますが、これから就職をしなきゃいけないという若手の大学院生とか、ポストドクの立場の人は、もっと短期的な成果を上げないと自分のプレゼンスが示せなくて就職の道もあまり見えてこないというリスクがあります。だから、プロジェクトを面白いと思っている若手は多いと思うのですが、参加を勧めきれないところがあります。これは研究者の雇用制度・評価制度にも関わることです。国立天文台でも、評価を研究論文だけでなく、多軸化する工夫をしています。

※ここに掲載した内容は、O plus Eのウェブサイトでもお読みいただけます。<http://www.adcom-media.co.jp/opluse/>