



第24回
浜松コンファレンス講演録 ～新しい文化論～
光
2007・11・3 (浜松)

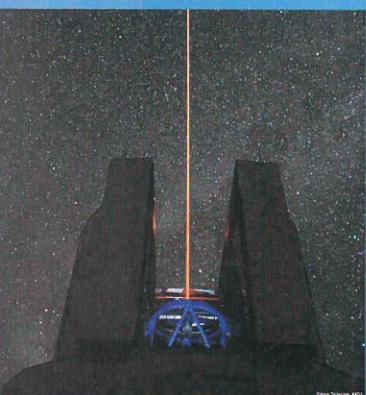
第24回

浜松コンファレンス

日時●平成19年(2007)11月3日(土) 13時30分～17時
会場●アクシティ浜松 中ホール

～新しい文化論～

光 講演録



すばる望遠鏡で探る137億年の宇宙史

家 正則



光とこの1年～未知未踏と新産業創成～

晝馬 輝夫

財団法人 光科学技術研究振興財団

CONTENTS

講演 1

2p

文化の日に、新しい文化について語ろうと思う。
 そこでは、長い歴史の中で先輩達が築き上げてきた文化を
 もう一度再認識し、その上に立って、いかに生き、
 そしてどの方向に向かって歩いて行くべきかを考える。

文化の日の本質を全く新しい観点から考察し、
 人間の「内の世界」と「外の世界」について
 小さく、純に、そして自由に語ろうと思う。

この『浜松コンファレンス』は、できるならば毎年開催したい。
 なお、この集まりは人数の多寡を問題にしない。
 まじめに、そして開き直って、自分と世界の将来を考える人達の
 集まりにしたいと念願している。



すばる望遠鏡で探る 137億年の宇宙史

自然科学研究機構 国立天文台 教授
 次世代超大型望遠鏡プロジェクト長
 家 正則

音楽鑑賞

25p



オルガンとトランペットの コラボレーション

トランペット 田宮 堅二
 オルガン 絹村 光代



- ・古いスウェーデンの讃美歌〈トランペット+オルガン〉
 《オスカー・リンドベルグ》
- ・田園の唄〈オルガンソロ〉
 《ジャン・ラングレー》
- ・組曲『惑星』より“金星 平和の神”〈オルガンソロ〉
 《グスタフ・ホルスト》
- ・ジュ・トゥ・ヴー(おまえが欲しい)〈オルガンソロ〉
 《エリック・サティ》
- ・“エクスルターテ” 楽興の時 作品156〈トランペット+オルガン〉
 《ベルンハルト・クロール》

講演 2

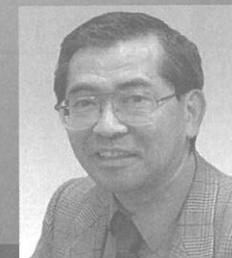
26p



光とこの1年

～未知未踏と新産業創成～
 財団法人 光科学技術研究振興財団 理事長
 浜松ホトニクス株式会社 取締役会長兼社長
 斎馬 輝夫

すばる望遠鏡で探る 137億年の宇宙史



自然科学研究機構 国立天文台 教授
次世代超大型望遠鏡プロジェクト長

家 正則

皆さんこんにちは。国立天文台の家 正則（いえ まさのり）と申します。名前が変わっているので、一度聞いたら覚えていただけるのではないかと思います。すばる望遠鏡の建設が始まった1991年、第8回浜松コンファレンスでもお話をさせていただきました。すばる望遠鏡は2000年にできあがって観測を始めました。いろんな成果が出ておりますので、今日はそのお話をさせていただきたいと思います。

話の内容は、(1)すばる望遠鏡の紹介、(2)すばる望遠鏡で私たちが発見した一番遠い銀河とその観測の意義。(3)「レーザーガイド補償光学」というハイテク技術、(4)次世代の超大型望遠鏡構想の4つです。

ハワイ島のすばる望遠鏡

すばる望遠鏡という名前はご存じでしょうか？ ハワイ州ハワイ島の海拔4,200メートルの山の上に日本がつくった世界一の望遠鏡です（図1）。すばる望遠鏡は日本の研究所が外国の地につくった最初のケースなんですね。南極に昭和基地があります。あれは海外ですが、外国ではないんです。外国に日本の研究所をつくる最初の例となったもんですから、設置のための法律もなく、文部省、外務省、大蔵省などいろいろなところにお世話になってやっと実現した非常に大きな計画

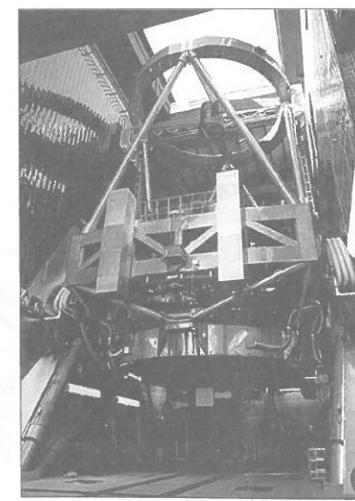


図1 口径8.2mのすばる望遠鏡

です。

私は1984年にヨーロッパへの留学から帰ってきてこの計画の検討を始めたんですが、予算がつくまでに8年かかりました。建設に9年かかって、2000年から動いています。ということは、はじめて考え始めてできるまでに17年かかったということです。幸い私は定年まで数年ありますので、できあがった望遠鏡を使っていろいろと楽しんでいただいております。

予算総額としては、建設に約400億円使わせていただきました。ハワイ観測所には私たちの仲間が130人ぐらい働いています。ハワイでつくりましたので、ハワイ州やハワイ大学に協力いただいて実現した国際プロジェクトです。ハワイに行ったことがある方はこの中にもたくさんおられるのではないかと思いますが、私たちの望遠鏡ができたハワイ島のマウナケアはホノルルのあるオアフ島ではなくて、そこから飛行機で約40分東へ飛んだハワイ諸島の東の端のビッグアイランドにあります（図2）。ヒロという町は山口県とか広島県から入植した方がたくさんおられる日系人の多い町であります。そこに国立天文台のハワイすばる観測所があります。望遠鏡は山の上にあります。山頂のドームは直径40メートル、高さ42メートル、回る部分だけで2,500トンという大変大きな構造物です（図3）。



図2 ハワイ島ヒロ（左）に開設した
国立天文台のハワイ観測所（右）



図3
マウナケア山頂のすばる望遠鏡ドーム

世界最大のガラスをつくる

すばる望遠鏡の一番大事な顔になるのは鏡です。すばる望遠鏡の鏡は1枚物の薄い鏡としては世界最大の直径8.2メートルの、非常に精密な鏡です。このようなものをつくることができる会社は世界中に当時ありませんでした。すばる望遠鏡のための鏡のガラスをつくる、そしてそれを磨く工場をつくるところから始めなければいけない。そういう大変な事業だったわけです。

天文観測の鏡は光を集め、それを正しく焦点を結ばせなければいけません。望遠鏡はドームを開けて空気にさらして使いますので、気温が変化するとガラスが伸び縮みします。伸び縮みしてもいいと思われるかもしれません、光を集め装置ですので、光の波長の10分の1とか20の1伸び縮みしただけで駄目なんですね。ガラスとしては膨張しないゼロ膨張ガラスという特別なガラスが必要です。

すばる望遠鏡はこういう特殊なガラスを使って鏡をつくったんですが、一度に直径8メートルものガラスを溶かして、それを冷やすことはできません。どうしたかというと、直径2メートルぐらいの特殊なガラスを55枚つくりまして、それを六角形に切り落として、1枚1枚が膨張率ゼロになってるかどうかちゃんと検査して確かめて、そ

してこの図のように並べるんですね(図4a)。それを大きな炉の中で熱します(図4b)。温度をうまく調節してガラスがとろ~り溶けるぐらいの温度にしますと、継ぎ目がくっついて1枚物のガラスになる、そういうつくり方をしました。

最初につくったガラスは55枚あるんですが、55枚のガラスを測ると、それぞれ膨張率が微妙に違います。順番に並べていけばいいと思われるかもしれません、できあがったガラスは一番賢い並べ方と何も考えない並べ方とでは性能が20倍ぐらい違ってしまうんです。一番賢い並べ方をしようと思うと、55枚のガラスをどう並べるのがいいのか。最初の数学的な

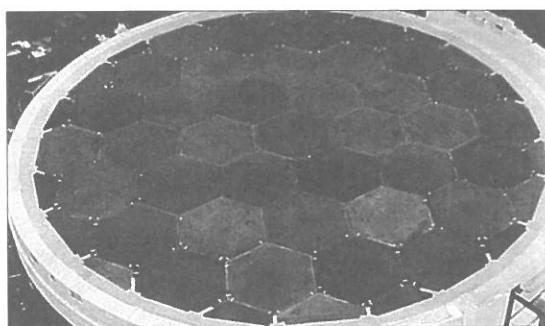


図4a 伸縮しないガラスを55個並べたところ

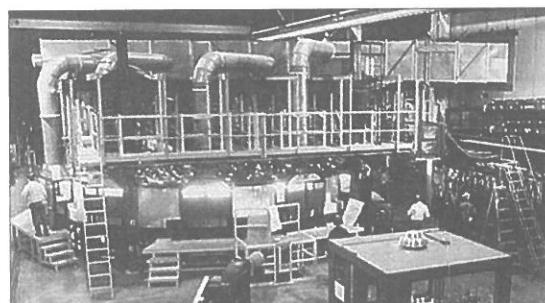


図4b 炉で過熱して継ぎ目を融着

問題はそういう問題だったんですね。55枚の入れかえ問題、これは何通りぐらいあるか。とんでもない数です…、10の60乗ぐらいですかね。1秒間に1回入れかえても、宇宙年代たっても全部検証できないぐらいの数なんですが、コンピュータの時代ですから、かなりシミュレーションをやってベストな解に近い解を見つけることができました。そうやって55枚の並べ方を決めて、最終的に1枚のガラスになるようにしたんですね。

建設は1991年から始めました。その年に私はここで、これからすばる望遠鏡をつくります、9年かかりますけど、ぜひ楽しみにしてくださいというお話をさせていただきました。ガラスが完成したのは94年です(図4c)。すばるの鏡をつくるためのガラスをつくる工場をつくるのに4年かかっています。その後磨くのにまた4年かかるんですね。

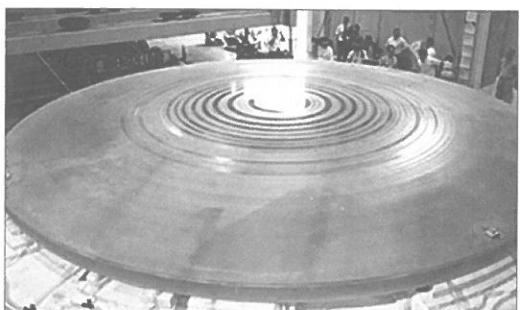


図4c できあがった世界最大のガラス

寸分の狂いも無い最高の鏡に磨き上げる

ニューヨーク州にありますコーニングという会社でつくったガラスを磨いたのはイリノイ州のピッツバーグの近くにあるコントラバスという会社です。当初、私たちのプロジェクトで検討した時には運搬のことは余り考えてなかったんです。が、この8メートルもの大きなガラスを運ぶというのはなかなか大変な作戦でした。

これは実際に運んでいるところの風景なんですが、直径8メートルものガラスを運ぶわけですから、ガラスが割れないようクッションを入れた専用の運搬箱を載せると、アメリカの3車線ある広い高速道路でも両側が50センチしか残らないぐらいの大きさになってしまいます。運ぶ時は警察の許可を得て、道路を一時封鎖して占有させてもらって、前後にパトカーがついて運ぶ、そういう大作戦だったんです。

アメリカは銃社会ですし、日本のことよく思っていない人がいて、ピストルでも撃たれてガラスが割れたら大変だ。杞憂かもしれません、そんなことまで打ち合わせで相談しまして、ライフルで撃たれても大丈夫なようにするには箱の鉄板の厚さを何ミリにしなくてはいけないか、そんな計算までしました。バズーカでやられちゃったらどうしようもないんですけど、まあ、それはないだろうと…(笑い)。

すばるのガラス主鏡は直径が8.2メートル、焦点距離が15メートルというものです。焦点距離というのは曲率半径の半分ですので、ほとんど球面に近い回転双曲面という特殊な面なんですが、この曲がりの半径は30メートルになります。この鏡を、磨くには頻繁に測りながら作業をしなければなりません。そのためには球面の中心の30メートル先から光を広げて出して、それが戻ってくる様子で鏡がしっかりとできているかどうかを測ります。したがって30メートル先に光源と測定装置を置く必要があります。

ヨーロッパの会社からは30メートルの専用のタワーを建てますという提案をしてきたんですが、このピツバーグの会社は石灰岩を掘った地下にこういう設備を持ってまして、そこを少し拡張して深く広げてやりますという提案で、こちらを採用しました。ですから、すばるは山の中の地下トンネルの中で、ニュートリノの神岡鉱山じゃありませんけど、4年かけてガラスを磨いてできたんですね。

鏡を研磨するというのは大変忍耐がいる仕事です。表面の形状を測ると、たいていはでこぼこしています。理想的な形と比べて、でっぱっている部分をそっとなでて山を低くしていく。そして山を次々につぶしていく、最終的な回転双曲面という非常



図5 すばる主鏡の研磨のようす



図6 世界最大の鏡が完成（1998年8月）

に難しい形にもっていくわけです。あせって、山を削ってるつもりで谷を掘っちゃうと大変なことになります。掘り過ぎた谷を消すには、もう一度全面と同じ分だけ削ったり、磨きなおしをしないと穴は消せないからです。鏡を磨く時には必ず山であることを確認して、そこをちょっとずつなでていって、そして減ったことを確認して次の山を、というやり方をします。せっかちな人はガラスの磨き屋さんになれないんですね。コンピュータコントロールで作業を進めましたが、結局、3年半ぐらいかかりました（図5）。

1998年8月、建設を始めてから7年かかって、世界で最大で最高性能のガラスができあがりました。私も完成時期に1カ月間、ピツバーグの地下の工場に

詰めました。図6はできあがる状況をモニターして、最終的にこれでいいという決心をした時の写真なんですが、まだメッキしていないので、ガラスの裏側でガラスを支えるアクチュエーターの機構が見えています。

これは、できあがって現地で記者会見をした時の様子です。当時、日本映画の『ゴジラ』がアメリカで封切りされていたので、現地の新聞は「ゴジラのコンタクトレンズができた」という見出しで紹介してくれました。

できあがったガラスを今度はピツバーグからハワイへ運ばなくてはなりません。これもトラックに乗せて、途中からミシシッピー川をはしけでニューオーリンズまで行って、そこから外洋船に乗ってパナマ運河を通ってハワイに行くという大輸送作戦でした（図7a）。ミシシッピー川を下っていく途中、大きなハリケーンがやってきました。船が沈没したら7年間の苦労が水の泡になっちゃいますので、川をさかのぼって北へ逃げたり、そんなこともあります。

ハワイ島に着くと今度は山の上まで運び上げなくてはいけない。そこはピツバーグのようにきれいな舗装道路ではなくて山道です。ガラスが傾いて落ちると大変なので、コンピュータ制御でいつも水平に保ちながら運べる特殊車両を西ドイツから借りてきて、それで山頂へ運ぶということをしました（図7b）。

そして山頂で、ぴかぴかの鏡にアルミ蒸着する前の最終的なクリーニング作業の様子です。最後は人の手の脂などが残らないようにアルコールで拭き上げる作業をしました。山頂は空気が薄いので、ただでさえ酸欠でフラフラするんですが、この作業はアルコールの蒸気を吸って「みんなフラフラするんじゃないの、大丈夫だった？」と聞いたら、私の仲間の一人が「いや、なかなかいい気持ちでしたよ」と言ってましたけど、実際には大変な仕事だったと思います。



図7a 鏡の輸送経路

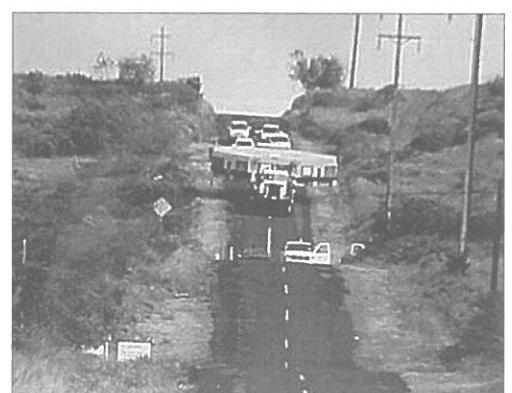


図7b ハワイ山頂への輸送風景

縁の下の賢い力持ち—能動光学

できあがったガラスは8.2メートルの直径で、厚さは20センチしかありません。直径に対して40分の1しかない。本当にコンタクトレンズみたいな薄い鏡なんですね。重さは23トンもありますが、薄いので支え方次第、あるいはちょっとでも傾けると鏡の形がゆがんでしまいます。それでは望遠鏡になりません。でも逆に軟らかいということをうまく逆手にとって、鏡の形がいつも理想的な形になるように測りながらコンピュータ制御で形を整えることにしました。図のように鏡は261本のコンピュータ制御のア

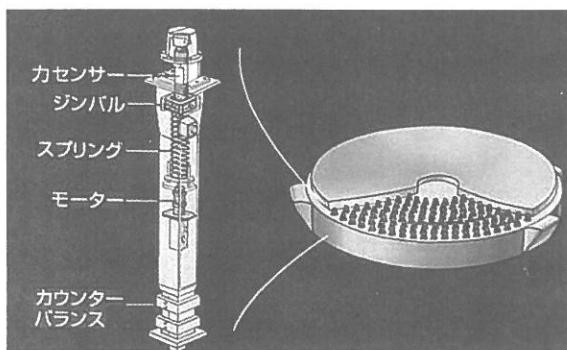


図8 鏡を支える能動光学アクチュエーター

クチュエータが、時々刻々その力を調節して賢く支えています(図8)。このおかげですばる望遠鏡は世界一の鏡になってるんです。制御をちゃんと働かせますと、理想的な形からの誤差は平均14ナノメーター(nm)という値になる。これは世界一の鏡です。1万倍しますと髪の毛の太さぐらいですが、鏡

の形を測って、それをいつも直すということで実現した望遠鏡であります。

1万倍に拡大すると8メートルは800キロメートルになって、日本海ぐらいの広さです。14ナノメートルを1万倍すると1.4ミリメートルですから、日本海全体で波の高さが1ミリしかない、それぐらいツルツルの鏡なんですね。そんなものできるのかなという気がするんですが、現代の技術で4年かけて忍耐強くやって実際に完成したわけです。

薄い空気、でも揺らぎが大敵

山頂は4,200メートル、富士山より高いので気圧が0.6気圧しかありません。我々も現地へ行くと胸いっぱい空気を吸ってるつもりなんだけど、6割しか酸素がとれてない。私もハワイには80回ぐらい行ってますが、観測で山頂に上ると最初の夜は頭痛がします。3日目ぐらいになると慣れてきますが、それだけ厳しい環境です。空気が薄いので空気の揺らぎの影響が少なくて星がきれいに見える。それでそういう高い山で観測するわけです。

天文台というと、白くて丸いピンポン玉を半分に割ったようなドームをイメージすると思うんですが、すばるのドームはちょっと違う形をしています。お茶筒のような、

シルクハットのような形をしています(図9)。ハワイの山の上は風が強いんですが、地面の近くの乱れた風が星をチラつかせます。地面の近くの乱れた風がドームの前に上がってこないようにするために、わざと球形じゃなくて円筒形のドームにして、風が横を逃げていくように設計してるんですね。

89年にすばる望遠鏡の小さい模型をつくって、鏡の形が制御できるかどうかを見る実験をしました。人も帰り自動車も通らない夜のほうが静かで測定がきちんとできるので、鏡の形をよりコントロールしやすいと思い、夕方から翌日の夜まで24時間、鏡の形を測って制御するという実験をしました。ところが、みんなが帰ると測定がばらついて、朝我々が出勤してくると、サボってたのを反省したみたいに測定値がおとなしくなるんですね。予想と全く逆です。

この図の赤いのは夜の気温で、下がってきます。鏡の温度を測ってみると鏡も冷えていきますが、必ず気温よりも遅れて冷えます。ということは、夜の間は冷えていく気温よりも鏡の方がいつも温かい状態になっている。つまり、鏡からのかげろうが立つため、夜は測定値がばらつくことが分かったのです(図10)。これは、世界中の今までの天文台の望遠鏡は、すべて夜中に鏡自身からかげろうが立っていて、それで像を乱していることを意味します。

これは大変だ……。この論文は世界中で大変なセンセーションを巻き起こしました。すばる望遠鏡では、ガラスを日中冷房して、夜の間、鏡の温度が気温よりも高くならないように工夫することにしました。このような工夫があって、すばる望遠鏡は世界で一番見え味のいい望遠鏡になったのです。

マウナケアのマウナはハワイ語で山、ケアは白いという意味だそうです、「白山」で

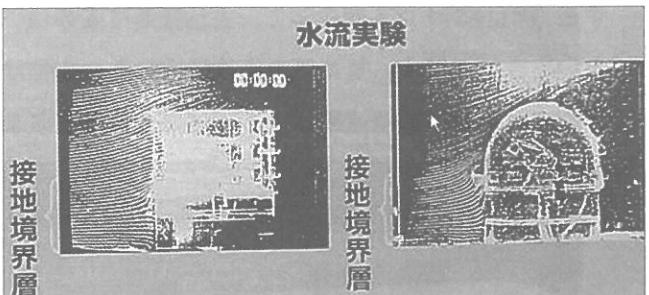


図9 ドームの形と水流実験

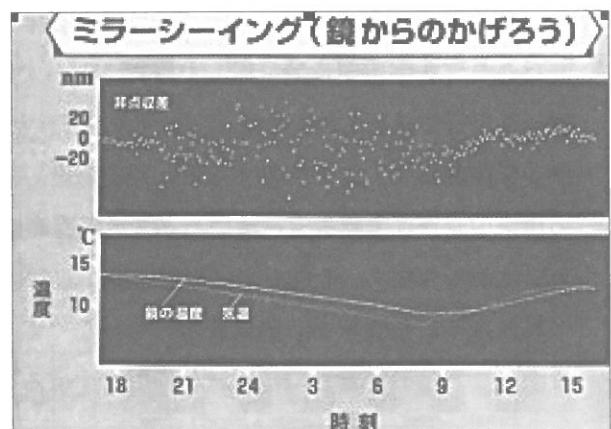


図10 鏡の形状測定値のばらつき(上)と、気温と鏡の温度の変化(下)

すね(図11)。すばる望遠鏡で一番活躍してるのは、望遠鏡の先端にある主焦点カメラというカメラです。望遠鏡の先端に重いものを付けると望遠鏡がたわむるので、アメリカやヨーロッパの望遠鏡はここには何も付けていません。すばるだけがここに観測装置を付けるという決断をしたんですが、それが今、大成功になっています。ほかに非常に広い視野を撮れるカメラをつくったおかげで、すばるが大いに活躍しています。



図11 山頂のすばる望遠鏡

最遠方の銀河を探す

すばる望遠鏡ができる最初にやった仕事は、ハッブル宇宙望遠鏡との見え味を比べるという実験です。ハッブル宇宙望遠鏡は空気の揺らぎのない宇宙で写真を撮ってますから非常にきれいな写真が撮れます。新聞やテレビでいっぱい報道されていますよね。望遠鏡は大きいけど、ハッブルには画質では負けるかなと思ってました。図12の左はハッブル宇宙望遠鏡で撮った写真、右がすばるで撮った写真で、同じ赤いフィルターを用いて同じところを撮ってます。さて、どっちがよりたくさんの天体が見えてるか。学術的にちゃんと評価すると、見え味という意味では引き分けでした。予想以上の出来でした。すばる望遠鏡はハッブル望遠鏡に比べて、100倍広いところを一度に撮ることができます。それがすばる望遠鏡が非常に成功している大きな理由なんですね。

私は毎年、年賀状を“謹賀新年”じゃなくて“銀河新年”というギャグで通しています。これはおととしの年賀状の絵で、すばる望遠鏡で遠い宇宙の銀河を今年こそ見

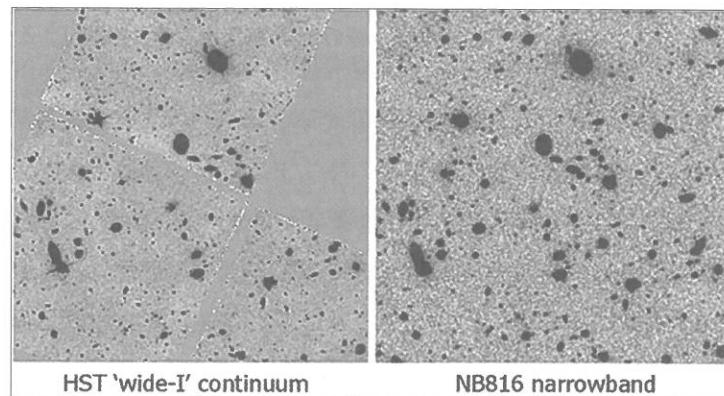


図12 すばる(右)とハッブル(左)の見え味比較

つけますよという宣言です。宇宙で一番遠い銀河はどんな光を出しているのでしょうか？ 宇宙の中で最もたくさんある元素は一番簡単な水素原子です。水素原子が出す一番強い光はライマン・アルファ(α)光と呼ばれる波長121ナノメートルの紫外線なんですね。波長が短くて普通は見えません。ところが膨張宇宙では、遠い天体から出る光は赤方偏移で波長が長くなります。赤方偏移は波長が長くなる割合のことで、波長が1パーセント伸びたら赤方偏移は0.01です。波長が100パーセント伸びて2倍になったら赤方偏移が1となります。

ここでは赤方偏移7、つまり波長が8倍になっている銀河を見つけるために特別なフィルターをつくりました。121.6ナノメートルの波長を8倍すると973ナノメートルとなり、可視光を通り越してしまって赤外線になってしまいます。人間の目では見えない。可視光を透さないのでこのフィルターは真っ黒です。赤外線のこの波長の光だけを通す特殊なフィルターなんですね。これをつくるのに2年かかりました。

このフィルターをすばる望遠鏡に付けて、一昨年から観測した画像の中に41,533個の銀河が写りました。これは全部、星じゃなくて、遠くの銀河です。同じ領域を青い光、黄色い光、赤い光、それからさっきの特別なフィルターと、何種類かで写真を撮って、このフィルターでだけ光っていてほかのフィルターでは見えない、そういう天体を探しましたね。そして、この4万個余りの銀河の中で1個だけついに探していた銀河が見つかったんですね(図13a)。水素原子が出すライマン・アルファ光という特別な光がこのフィルターの透過波長まで赤方偏移してきてる、そういう銀河が4万個の中で1個だけ見つかった(図13b)。これは世界記録です。ギネス記録と言ってよいでしょう。

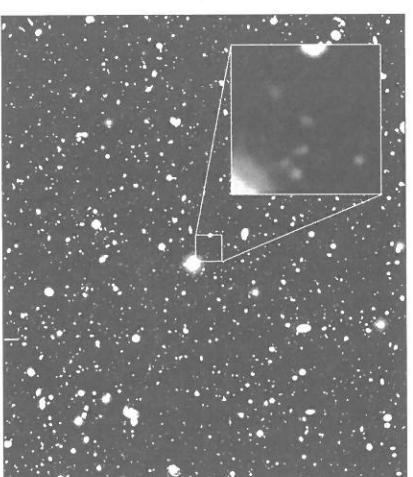


図13a すばる望遠鏡で見つけた最遠銀河IOK-1

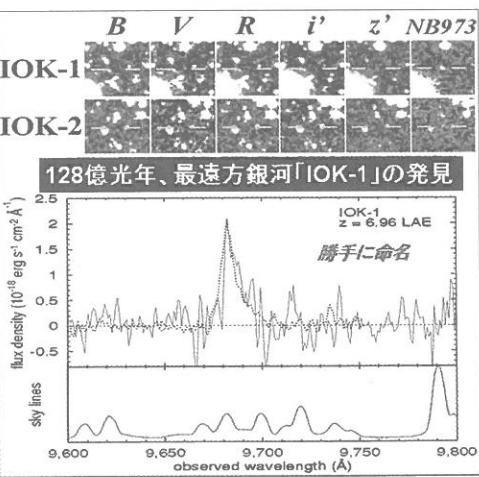


図13b IOK-1のスペクトルから、その赤方偏移が7.0であることが確認された

天文学者には一つ特典があります。それまでにない天体を見つけると自分で好きな名前をつけることができます。普通はその天体の位置を表す座標を名前に入れるのですが、それではおもしろくないので、私たちは勝手に IOK - 1 という名前をつけました。I は家の I で、O は一緒に観測した大学院生の太田君、K というのは准教授の柏川さん、この 3 人でやりましたので IOK の 1 番という名前を勝手にこっそりつけました。

図14は、人類が見た一番遠い天体がどのくらい遠くなってきたかという歴史を表しています。私が大学院に入った1980年ごろには一番遠い天体は赤方偏移1の銀河でした。すごいなというのが30年ほど前の時代です。それからCCDカメラができて赤方偏移が4、5というのが見えてきました。すばるでは赤方偏移6.6を見たのが、一昨年の話ですが、今はついに7.0というところまで来たのです。

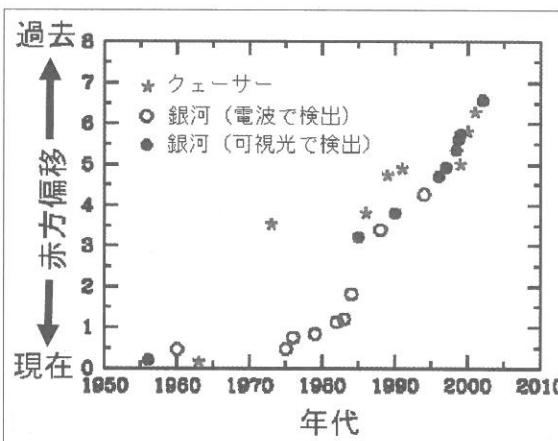


図14 最遠銀河発見の歴史

この成果は『ネイチャー』という学術誌に掲載されまして、朝日、産経、毎日、読売、日経、すべての新聞で紹介してもらいました。国立天文台では広報室というのがあって報道を全部モニターしていますが、主要5紙に報道されるのをグランドスラムといってます。これはグランドスラムでした。

図15が去年の9月時点での世界記録のベストテンなんですが、今でも変わ

ってないんです。あしたあたりひょっとして抜かれるかもしれません…。人類が見た一番遠い天体は IOK - 1 です。この表を見ていただくとベストテンの第8位以外は全部すばるで見つけている。日本人が発見者なんです。すばるの性能がいかに良いかという証拠なんですね。この研究分野では日本は世界をリードしています。

宇宙の夜明けに迫る

では、遠い銀河を観測すると何が分かるのでしょうか？ 時間をさかのぼっていくと、137億年前にビッグバンという大爆発で宇宙が始まったと考えられています。ビッグバンから38万年後には急激に膨張した宇宙は、温度が3,000度ぐらいまで冷えています。3,000度ぐらいまで冷えると宇宙の中にあった陽子と電子がくっついて中性水素原子になる。これを宇宙の「晴れ上がり」といいます。中性になった原子は光との相互作用がなくなりますので、この時に宇宙を満たしていた光、フォトン(光子)はそのまま宇宙の中の原子に邪魔されずに飛んでいきます。宇宙が137億年の間に1,000倍ぐらいに膨れ上りましたので、当時3,000度の温度が3度まで冷えてきて、当時の紫外線が今はマイクロ波という電波になって見えるわけです。これが宇宙の背景放射なんですね。

ビッグバンから38万年以降は背景放射以外には光を放つものがなくなってしまったんですね。その意味で宇宙は真っ暗になりました。これを宇宙の「暗黒時代」といいます。ガスの濃いところで最初の星や銀河が生まれ始めたのがビッグバンから約3億年後だと考えられています。最初の星や銀河が生まれるまで宇宙の中には光を出す天体がなかったので暗黒時代といいますが、あちらこちらで星が生まれると、一旦冷えた宇宙がもう一度暖まり始めます。星からの紫外線で暖められ、せっかく中性になった宇宙がまた電離されるんですね。これを「宇宙の再電離」といいます。この再電離は宇宙のビッグバンから10億年後ぐらいには完了し、今の宇宙空間はほぼ完全に電離しています。中性水素ガスではなくてプラズマになってるんですね。

すばるでの観測が始まると同時にこの10億年後の時代までの観測があったのですが、先ほど見つけた赤方偏移7という銀河の発見は、ビッグバンから7億5,000万年後の時代、宇宙の再電離期の時代に初めて踏み込んだことになるのです。これをもっと進めていくとこの時代が分かるというのが、今、観測天文学で世界中の天文学者がしのぎを削っている研究なのです。

図15 最遠銀河ベストテン

Table 1: 赤方偏移が確定した最遠銀河ベストテン (2006年9月14日時点).

順位	銀河名	座標	赤方偏移	億年#	論文	出版日
1	IOK-1	J132359.8+272456	6.964	128.8	Iye et al.	Sep. 14, 2006
2	SDF ID1004	J132522.3+273520	6.597	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005
3	SDF ID1018	J132520.4+273459	6.596	128.2	Kashikawa et al.	Apr. 25, 2006
4	SDF ID1030	J132357.1+272448	6.589	128.2	Kashikawa et al.	Apr. 25, 2006
5	SDF ID1007	J132432.5+271647	6.580	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005
6	SDF ID1008	J132518.8+273043	6.578	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005
6	SDF ID1001	J132418.3+271455	6.578	128.2	Kodaira et al.	Apr. 25, 2003
8*	HCM-6A	J023954.7-013332	6.560	128.2	Hu et al.	Apr. 1, 2002
9	SDF ID1059	J132432.9+273124	6.557	128.2	Kashikawa et al.	Apr. 25, 2006
10	SDF ID1003	J132408.3+271543	6.554	128.2	Taniguchi et al.	Feb. 25, 2005

図15 最遠銀河ベストテン

宇宙考古学

私は放送大学で天文学の講義をさせていただいている。4年前にはまだ宇宙の年齢は決まってなかったんですよ。ですから4年前までやっていた講義では、宇宙年齢は150億プラスマイナス50億年ぐらいだということが分かっているという話をしていました。その時に見えていた一番遠い銀河は赤方偏移5.8ですから、4年前は図16を使っ

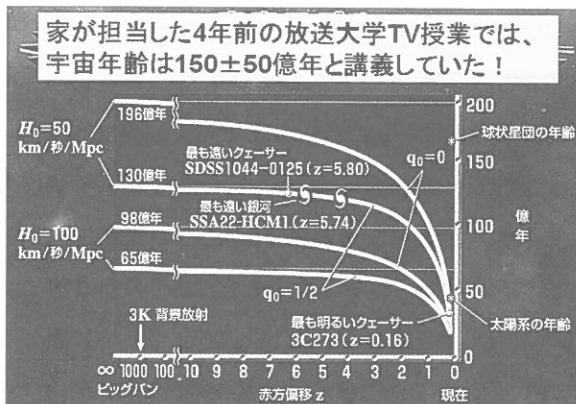


図16 放送大学で4年前まで使っていた宇宙年齢の説明図

ていたのです。宇宙年齢は現在では約137億年であることが分かってきました。この4年間で本当に大きな進歩があったのです。遠くを見ると、遠い天体はそれだけ昔の天体ですから、昔の天体を見ることで宇宙の歴史を宇宙考古学としてさかのぼることができます。

銀河・宇宙の歴史を調べるもう一

つの方法は、我々の天の川銀河の中、あるいはお隣のアンドロメダ銀河の中の古い化石星を見るというアプローチです。お隣のアンドロメダ銀河の中の星をたくさん調べて、その中で一番年とった星を探し出して、その星の性質を調べることでアンドロメ

ダ銀河がいつごろどうやって生まれて、どう成長してきたかという謎をひもとくことができます。そういう古い化石星を探す観測も、カリフォルニア大学や東北大学の先生と一緒に行っています。

図17は、アンドロメダ銀河の周辺を非常にかすかな光まで撮った写真です。写真は白と黒が反転していますから、黒いのが星なんですね。きれ

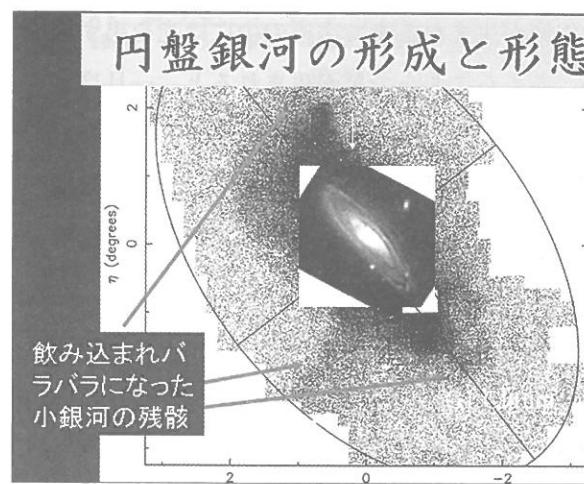


図17 銀河形成の傷跡

いなアンドロメダ銀河の周りをよく見てみると、かすかな星々が遠くまで筋を引いています。星の集団のこぶが認められるところもあります。これは、アンドロメダ銀河に、最近のみ込まれた小さな銀河がばらばらになって、その中の星々が広がって筋になっ

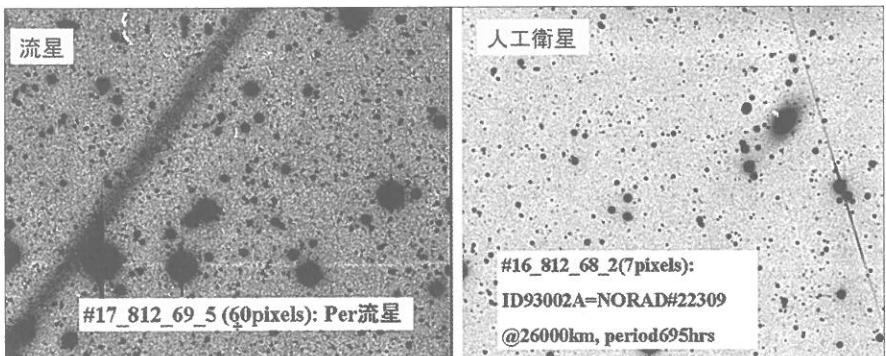


図18 偶然写った流星と人工衛星の例

ている、そういう証拠だと考えています。

図18はおまけですが、アンドロメダ銀河の観測をしていた3年前に、すばるで見てると流れ星や人工衛星が写った例です。すばる望遠鏡は無限に遠い128億光年のかなたを見てますので、流星なんて100キロメートル位のところの天体は近すぎてピンボケになつて写るんですね。この流星はピンボケだから幅が広く見えますが、実際の幅がある方法で計算することができて、この流星の場合は3ミリぐらいだということが分かりました。流星が光ってる領域は上空100キロでわずか数ミリから数センチなんですね。これも、すばる望遠鏡でごく最近分かったことです。

太陽電池パネルを広げて飛んでいる人工衛星は、パネルの向きで太陽の反射光の明るさが周期的に変わります。すばるの画像に写った人工衛星については、NASA(アメリカ国立航空宇宙局)やJAXA(宇宙航空研究開発機構)のデータと照合してみましたが、半分以上はデータがありません。宇宙ごみかもしれません、軌道要素が公開されてない秘密の衛星もかなりあるということが分かります。

宇宙最大の望遠鏡：重力レンズ

ちょっと気持ちの悪い絵をお見せします。非常に大きな質量を持つ銀河団やブラックホールの周辺では空間がゆがむので、その背後からやってくる光が曲がり、まるでレンズのような働きをします。これを「重力



図19a 重力レンズによる像のゆがみ

レンズ」効果といいます。ただでさえ醜い私の顔の真ん前に小さなブラックホールが通ったらどんなことになるか(図19a)。こんな悲惨なことになるんですね(笑い)。ブラックホールがあると、その向こう側からやってきた光がブラックホールの両側から回り



図19b 重力レンズ効果の幾何学

込んで届くので、複数の歪んだ像が見え
ことがあります(図19b)。

重力レンズ現象を使って、銀河団の背
後にいる遠い銀河を拡大増光して見る
という観測がなされています。すばる望遠
鏡の観測が始まったころ、約40億光年か
なたのエーベル851という銀河団の重力レ
ンズ効果の観測をしました。

銀河団の背後に写っている暗いかすかな無数の銀河の形
と向きを調べると、平均的には銀河団を取り囲むように同心円状に像が引き延ばされ
て写っています。その様子を詳しく分析して、重力レンズ効果を起こしている物質の
分布を逆に求めるという研究を宮崎さんという助手が行いました。初めてこの結果を
聞いた時、計算はできるかもしれないけど、本当なの、と思いました。ところが、こ
の銀河団をX線観測衛星で見た結果の論文と比べると、重力レンズ効果から逆算した
物質分布の図とともに良く一致するんですね。つまり、見えない物質の分布をこれで
見ることができるんですね。実際にすばる望遠鏡を使ってダークマター、暗黒物質の
分布を三次元的にあばき出すという研究成果が今年の初めから出始めています。

補償光学

次に、話題を変えて、「補償光学」という話をさせていただきます。文部科学省から
6億円の特別な研究費をいただいて、5年かけてつくったハイテク装置です。私が代
表者ですが、ハワイ現地雇用の電気技師や機械技師など英語圏の人たちとチームにな
って15~16人でつくりました。

天体の写真を撮るのがすばる望遠鏡の役割です。例えば128億光年向こうからの光が
128億年かかる、やっとこさ地球まで届く、その光を集めます。遠い銀河か
らの光は光源から球面波として広がりますが、余りに遠いので、地球には完璧な
平面波としてやってきます。ところが、最後の最後の100キロほどの厚さの地球の大気
を通るときに、大気の中が揺れてるものですから、せっかくの光が乱れてしまうんで
すね。このために、すばる望遠鏡は本来持っている理論的な解像力を実現できていま
せんでした。

図20に「補償光学系」の原理を示します。補償光学系は大気揺らぎのため歪んだ光
波面を「波面センサー」で測り(図21a)、「可変形状鏡」(図21b)を1秒間に1,000回の速

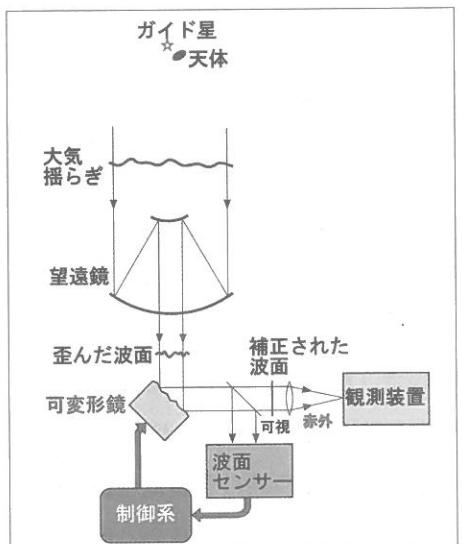


図20 補償光学系の原理

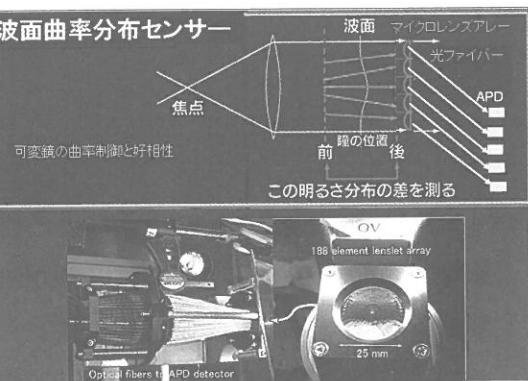


図21a 波面センサーの原理と実物

188素子バイモルフ可変形鏡

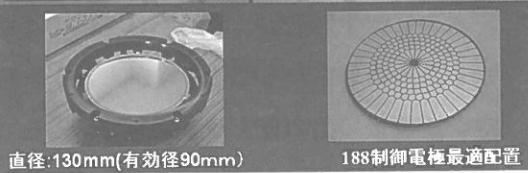
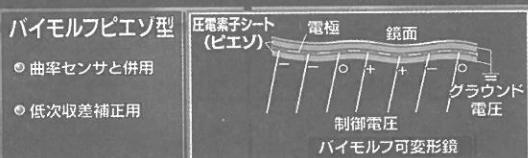


図21b 可変形状鏡の原理と実物

188素子補償光学系の初画像

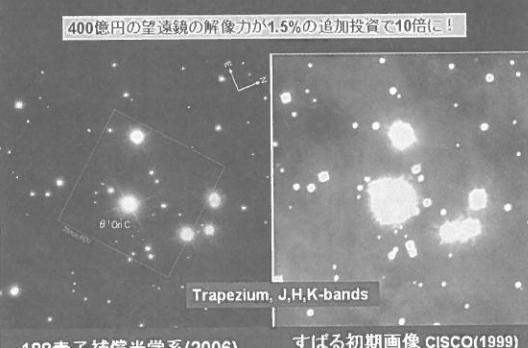


図22 オリオン座トラペジウムの画像：188素子補償光学系の使用前(右)と使用時(左)

図22はオリオン座のトラペジウム(注)を
補償光学装置が未だ無い1999年に撮影し
た写真(右)と2006年に新しい補償光学系で撮影した写真(左)を比べたものです。すば
る望遠鏡の星像が大気のゆらぎでにじむといつてもわずか0.6秒角です。裸眼ではすば
るは世界で一番きれいに見える望遠鏡だと言われてるんです。でも、補償光学を使う
と光が10分の1のところに全部集まって、0.06秒角になる。多額の研究費をいただきま

(注)トラペジウム：オリオン大星雲中にある台形をなす四つ星の通称。この領域には生まれたての
若い星が多く見られる。

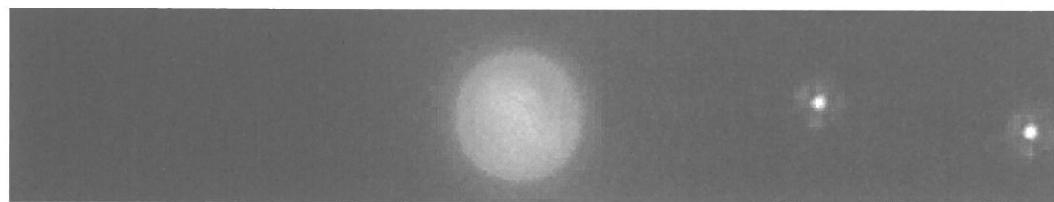


図23 土星の衛星タイタンによる星食現象のビデオの一こま

したが、400億円の望遠鏡を6億円で10倍にしたので、まあ許してもらえるかなと思ってるんですが（笑い）。

このビデオは我々の画像ではないのですが、補償光学の原理を使ってわずか50cmの望遠鏡で木星を撮った画像からつくったムービーです。空気の揺らぎを直す技術を込んでやりますと、探査機で木星の近くまで行かなくても地上からこういう画像を撮ることができます。木星の衛星が回っていくとその影が写ります。大気の状態がいい時はよく見えますし、悪い時は直しきれなくて寝ぼけて見えるという様子が分かると思います。

次のビデオ（図23）、よおく見ていてください。何かが起こります。何かお気づきになった方はおられるでしょうか。もう一回お見せしますね。これは土星の衛星、タイタンが背後の星の前を通り過ぎていくところを補償光学カメラで撮影したもので。補償光学を効かせて解像力を上げて見ると、星の前をタイタンが通り過ぎていく時に、タイタンの周りを光の点がツルツルと回っていく現象が見えてきました。幾何学的にはこの星は衛星タイタンに隠されていて見えないはずなんですが、タイタンには非常に分厚い大気があるので、その大気中を光が屈折して回り込んでくる。そういう現象だと分かったのです。補償光学が機能するまではこういう現象は予想されていませんでした。

最後の例は、我々の天の川の中心付近の星の位置を10年間追いかけた図です。天の川の銀河系の中心には太陽質量の100万倍ぐらいのブラックホールがあるといわれてきました。太陽の周りを回る惑星のように、大質量のブラックホールのまわりを星が軌道運動している。その運動の様子からブラックホールの質量を計算することができたのです。また、ブラックホールに周りのガスが落ち込むとき、それが高温になりパッと明るくなる。そういう現象まで、補償光学という技術ができたおかげで、直接見え始めてきています。

補償光学を用いると、像の大きさが小さくシャープになるだけでなく、集めた光を狭い場所に積み上げるため、光が強くなってコントラストが向上します。これが大きなメリットなのですね。

レーザーガイド星補償光学

こういう機能をもつ補償光学装置の一号機を私たちは2002年につくりました。この装置では、観測したい天体のそばに、空気の揺らぎを測るための明るいガイド星が必要でした。ガイド星の光の揺らぎを測って直してやると、そのそばにある天体もくっきり見えるというのが補償光学の原理だからです。このため、明るい星の周辺で系外惑星を探す観測などには活躍したのですが、私たちが観測したい宇宙の果ての銀河を観測するには、うまく使えませんでした。128億光年もかなたの銀河のすぐそばには明るい星などないからです。せっかく私たちがつくった補償光学系が使えなかったんですね。

そこで、今回、とんでもない装置をつくりました。すばる望遠鏡から積極的にレーザーを撃って、観測したい天体のすぐそばで光る人工星を上空90キロの高さにつくってしまう、そういう装置です。高さ90キロのところには、流星が蒸発してばらまかれた原子のうちの、ナトリウム原子が集まったナトリウム層が存在します。高速道路でよく見るオレンジ色のナトリウムランプというのがありますよね。あのナトリウムランプの波長で光るレーザーを撃つと、このレーザーで90キロの高さのナトリウム原子が発光します。レーザーのパワーを上げれば、十分に明るい人工星ができ、その光のゆらぎを測ればいつでも補償光学系を動作させることができる。それが原理です（図24）。



図24 レーザーガイド星補償光学系の原理（左）と構成（右）

ナトリウム原子で光るレーザーをつくるというのは非常におもしろい偶然の発想でした。YAGレーザーというレーザーがありまして、この2種類の波長のYAGレーザーは両方とも赤外線で目では見えないんですが、この2つの光のエネルギーを足し算してやりますと波長は、それぞれの調和平均になります。偶然ですがナトリウムのレーザー

とほぼ同じになります。その原理を使って、理化学研究所と共同開発して4年がかりでつくりました。

2年前に試作をした時に、埼玉県和光市の理化学研究所でデモンストレーションをしました。七夕の日にやったんですが、図25aのレーザービームの先にあるのが織女星です。今、私が持ってるレーザーポイントは空に向けても見えないんですが、これの千倍以上のパワーのあるレーザーなので、この望遠鏡で空に向けると星が指せるんですね。これがアルタイルです、これがベガですと指すことができる。見に来た新聞社の人にはみんなオーッという喚声をあげました。1億円のレーザーポインターですけど(笑い)。



図25a レーザーガイド星用レーザーのデモンストレーション

実際にナトリウム原子を光らせるためには波長を1千万分の1で正確にチューニングしないといけません。ずれるとナトリウムは感じてくれないので星ができない。チューニングをちゃんとすると、実際に上空に星ができる。今ビューンという音がしましたね。レーザーを撃つ時はこんなやかましい音はしません。これは

パソコンのウィンドウズのサウンドファイルの中にレーザーというのがあったので持ってきただけですので、ご心配なく(笑い)。音はしないんですが、実際にレーザーの波長をちゃんとすると、今までなかったところに星ができるんですね。これを光源にして空気の揺らぎを測り、直しているわけです。

これは2006年の10月に実際にすばる望遠鏡からレーザーを打った時の写真です。合成写真じゃないんです、本物です。オレンジ色のナトリウムランプのレーザーが空に向かって上がっていきます。この時は5年間の科研費として6億円をつけてもらって、2007年の3月までに成果を出さなければど

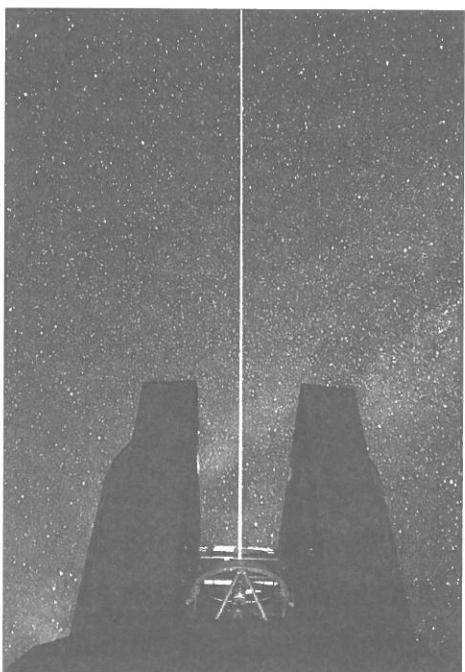


図25b すばる望遠鏡からのレーザー初照射

こかの松の木に首を吊って覚悟を示さなければいけない、そういう状況だったんですね(笑い)。幸いなことに2006年の10月9日に、さっきの補償光学のすばらしい写真が撮れて、その3日後の12日にレーザーを撃つことができました(図25b)。

こういう大きなプロジェクトをやってると何か予想しなかったトラブルが起るものなんです。補償光学もちゃんと動いてきれいなトラペジウムのすばらしい写真が撮れて、その3日後にはレーザーを撃って、星をつくることができた。こんなめでたいことはないと思って10月15日に帰ってきました。

日曜日の夕方帰ってきて、月曜日の朝、パソコンで見たら何とハワイで大地震があった。マグニチュード7以上の地震で、ハワイ島でも20世紀後半の最大の地震でした。我々がつくったレーザーガイド補償光学装置というのは重さが2トンあるんですが、それが揺れて、4つの台座から10センチぐらいドスンと落ちたんです。さっきの薄い鏡が割れたのではないかと心配しました。幸い割れてなかつたので調整し直して済んだんですが、すばる望遠鏡自身もこの地震で1.3ミリだけ動いてしまいました。ジャッキで戻そうとしたのですが戻らないので、新しく動いたところを中心にして周りに目盛りを張り直して今はちゃんと動いているので問題ないんですが、大変な地震があったんですね。

この地震がもう1週間早く来てたら、私は両方の実験ができなくて、今日はここにはいなかったと思うんです。ある意味でラッキーでした。

補償光学技術の応用

私たちが見つけた宇宙で一番遠い銀河というのはまだこんな赤いしみでしかないんですが、先ほどの補償光学系を使いますとこれが10倍よく見えるはずで、128億年前の銀河の構造が見えてくると期待しています。

こういう最先端技術を世界中の天文台が頑張って建設を進めていますので、数年後にはすべての望遠鏡が自分でレーザーを撃って見え味を良くして観測するという時代になります。……まるでスターウォーズですね。レーザーがほかの望遠鏡の邪魔になるといけないので、山頂ではお互いに話し合って夫々の観測の邪魔にならないようにするためのレーザー管制システムというのをつくりたりしています。

天文学はおもしろいけど実生活には役に立ちませんねと言われますが、そんなことはないんです。この補償光学の技術というのは産業界でも注目を浴びて、いろいろ応用が始まっています。



図26 眼底検査に使われる補償光学

一つの例は眼科医療、眼科診断です。年配の方が人間ドックを受けると眼底検査というのをやりますね。眼底の中でも網膜の視神経細胞を撮影するのには今の技術だと前から光を当てて反射を見ます。目のガラス体の中を光が通って戻ってくるので、そこで光が揺れてしまって画像がきちんと撮れないという問題があります。しかし補償光学の考え方を使って、目の玉の中の光の揺らぎを測って直してやると、その奥にある細胞がくっきり見えるんですね。

図26は人間ではなくて猿ですけど、猿の目の奥の神経細胞をそういう技術で撮ると、一つ一つの細胞が見えてきます。糖尿病の方が眼底出血すると失明しますが、そういうのをしっかり診断して、そこをレーザーで焼いてしまうと失明を防げるとか、そういう応用研究があります。ほかにも、レーザーのビームを絞ってパワーを上げることによってレーザー加工とか核融合とかいろんなところに応用が期待されています。

浜松トニクスの技術が活きる

すばる望遠鏡には、ほかにもパワーアップ計画があります。この中で浜松トニクスさんの新しいCCDの活躍が期待されています。

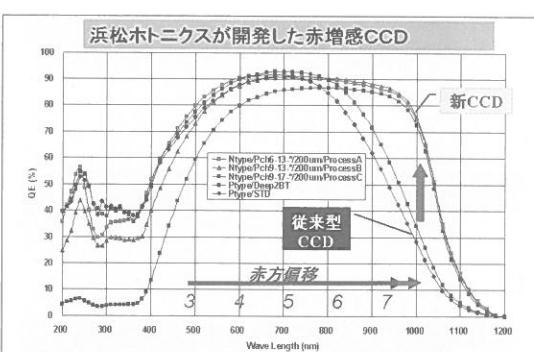


図27 浜松トニクスで開発した赤増感CCD

図27はCCDカメラの波長感度特性を示しています。今までのCCDに比べて波長1ミクロンあたりの近赤外線での感度が大幅に改善されたCCDができてきました。今までのCCDでは赤方偏移7に銀河を探すのが限界だったのですが、波長1ミクロンでの感度が4～5倍になります。

すばる、もうちょっと遠い昔まで観測ができる可能性が開けてきてるんですね。私は今、赤方偏移7の世界記録を持ってますが、7.3の天体を見つけるためのフィルターをちゃんと用意しています。浜松さんのCCDができあがったら、それをつけて組み合わせて宇宙を探しにいって、うまくすれば来年か再来年、またギネス記録を破る、そういうことを実はたくさんでいます。

今のすばる望遠鏡の視野はこのくらいです。アンドロメダ銀河を半分ぐらい撮れます。すばる望遠鏡の視野を10倍に拡大する、より大きなカメラをつくろうという計画が始まっています(図28)。これができると、より広い宇宙を一度に調べることができますので、宇宙の歴史を一層深く調べることができます。何かと期待しています。

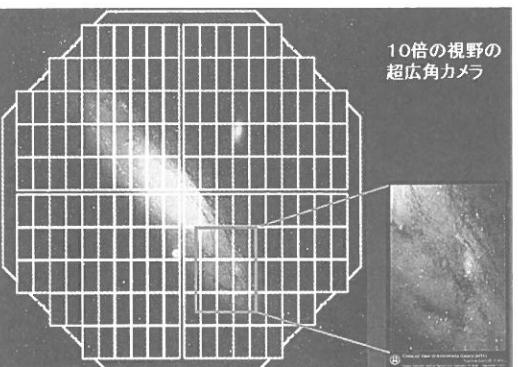


図28 現在のすばる望遠鏡の視野を10倍にする新しい超広視野カメラの開発

次世代超大型望遠鏡

すばる望遠鏡は2000年にできましたが、日本の天文学者は2015年から20年ごろにできあがることを目指して直径30メートルの次世代望遠鏡をつくりたいと考えています。さっきお話ししましたように私が技術検討会というのを立ち上げて、すばる望遠鏡の建設をはじめに検討始めたのが1984年ですから、はじめに勉強会を始めてからできるまで16年かかっているんですね。ですから、今はじめに検討を始めて、次ぎの望遠鏡ができるのは多分2020年ぐらいになります。そのころ私は定年になっていて、ひょっとするとこの世にいないかもしれません。それぐらい長い期間のかかるプロジェクトなんですが、何とかこれをやりたい。

30メートルのガラスをつくるというのは、いくら無謀なことを平気で言う天文学者でも、無理だろうと思っています。私たちは1メートルぐらいの鏡を800枚ぐらいつけて、それを敷き詰めて30メートルにするという計画を提案してきました。すばる望遠鏡は400億円ですが、次の望遠鏡はどう考えても1千億円以下ではできないと思います。できれば日本単独で、あるいは中国や韓国や東アジアの国と一緒にになってつくるという考えも追求したいんですが、今はアメリカと一緒につくることを願っています(図29)。その中でも日本の技術がいろいろと使えまして、非常に精度よく鏡を削ってほとんどできあがりにしてしまう技術とか、ガラスより割れにくいゼロ膨張率のセラミ



図29 次世代30m級望遠鏡構想

ックスで鏡をつくるとか、そういう新技術の開発研究も進めています。

小さいながら広島大学の1.5メートル望遠鏡に33センチのセラミックス鏡を世界で初めて今年完成し、実用化しました。

ハワイの州知事は女性で、この写真のようになかなかチャーミングな方です。望遠鏡をハワイにつくるために州知事とかハワイ大学長とお話をしたりしていますが、まだ正式な予算とかそういうところには我々はいってないわけです。天文学では新しい技術は必ず新しい発見をもたらします。今後も宇宙間の新しい展開にぜひ注目していただければと思います。

最後に、科学技術映像祭で最高賞を取ったビデオのラストシーンがあるので、ごらんいただきたいと思います。放送大学でも使いましたが。ナレーションが入っています。マウナケアの山頂の向こうから月が上がってくるこの幻想的なシーンをごらんいただいて今日の講演を終わることにしたいと思います。

マウナケアの山頂の裏側から上がってくる月を超望遠レンズで、すばる越しに撮りたい。どこにカメラを置いたらいいか。60キロぐらい離れたハワイ島の西海岸のコナの高速道路に置いてやってみたけど、月が上がってきたらずれちゃうんですね。月の上がってくる方向は毎日変わります。翌日少し移動して挑戦、というふうに1週間かかるってやっとこの画像が撮れたのですね。満月を撮りたかったのに、半月になってしまった……。私も画像を最初に見た時にジャガイモかなと思ったんですが(笑い)。カメラマンのこのこだわりラストシーンだとか、すばるのいろんなシーンがよかったですおかげで、『すばるの未知への航海』というビデオが2002年の文部科学技術大臣賞と毎日映画祭の最優秀賞をいただきました。

以上です。長い時間、ご清聴ありがとうございました。(会場拍手)

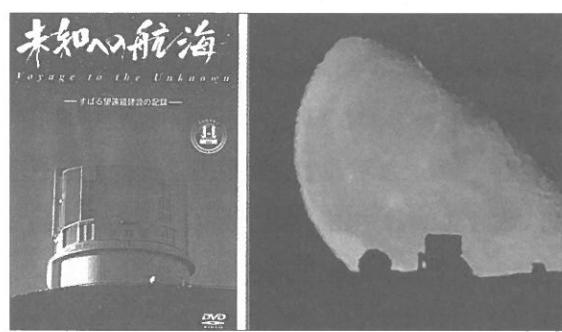


図30 未知への航海

パイプオルガンとトランペットのコラボレーション



トランペット
田宮 堅二



オルガン
絹村 光代

トランペット+オルガン

古いスウェーデンの讃美歌

—*Gammal Fabodqsalm*

オスカー・リンドベルグ Oskar LINDBERG (1887~1955)

オルガンソロ

田園の唄

—*Pastral Song*

ジャン・ラングレー Jean LANGLAIS (1907~1991)

オルガンソロ

組曲『惑星』より “金星 平和の神”

—“Venus, the Bringer of Peace” *The Planets*

グスタフ・ホルスト Gustav HOLST (1874~1934)

オルガンソロ

ジュ・トゥ・ヴー (おまえが欲しい)

—*Je te veux*

エリック・サティ Erik SATIE (1866~1925)

トランペット+オルガン

“エクスルターテ” 楽興の時 作品156

—“Exsultet” *Moment musical Opus 156*

ベルンハルト・クロール Bernhard KROL (1924~)

講師略歴



現 職 国立天文台光赤外研究部教授
日本学術振興会数物系科学主任研究員
経 歴 昭和47年 東京大学理学部天文学科卒業
昭和52年 東京大学理学系大学院博士課程修了、理学博士
東京大学理学部天文学科助手
昭和61年 東京大学東京天文台助教授
平成4年11月～現在 国立天文台教授
この間、総合研究大学院大学数物科学研究所長

受賞歴 平成11年 第47回菊池寛賞受賞 ◎
平成15年 第44回科学技術映像祭文部科学大臣賞受賞
平成16年 日本天文学会2004年度欧文研究報告論文賞受賞
平成17年 日本天文学会2005年度欧文研究報告論文賞受賞
平成18年 日本光学会2006年度光設計特別賞受賞

著 書 昭和62年 「物理学における幾何学的方法」、吉岡書店
平成4年 「銀河が語る宇宙の進化」、培風館
平成10年 「地学IIB」、高等学校教科書、共著
平成12年 「地球と宇宙の事典」岩波ジュニア新書、共著
平成14年 「すばる望遠鏡」岩波ジュニア新書
「21世紀の宇宙観測」誠文堂新光社、監修
平成19年 現代の天文学第5巻「銀河II - 銀河系」日本評論社、共編
現代の天文学第15巻「光赤外天文観測II」日本評論社、共編



現 職 浜松ホトニクス株式会社 代表取締役会長兼社長
(財)光科学技術研究振興財団 理事長
経 歴 昭和22年 浜松工業専門学校(現静岡大学工学部)機械科卒
昭和28年 浜松テレビ(株)設立、取締役就任
昭和39年 浜松テレビ(株)代表取締役専務就任
昭和53年 浜松テレビ(株)代表取締役社長就任
昭和58年 浜松ホトニクス(株)に社名変更
昭和59年 ホトニクス・マネジメント・コーポ(米国) 取締役社長就任
(財)しづおか産業創造機構 理事就任
平成5年 (財)光科学技術研究振興財団 理事長就任
平成6年 中国浙江大学 教授就任
平成8年 (株)磐田グランドホテル 代表取締役会長就任
平成10年 中国南開大学 客員教授就任
北京浜松光子技術有限公司 代表取締役社長就任
平成11年 (株)光ケミカル研究所 代表取締役社長就任
平成13年 上海交通大学 客員教授就任
平成14年 日本経済団体連合会 理事就任
(財)浜松光医学財団 理事長就任・現任
平成16年 国立大学法人浜松医科大学 理事就任・現任
学校法人光産業創成大学院大学 理事長就任・現任
受賞歴 昭和58年 第25回科学技術功労者表彰(科学技術庁長官賞)
昭和59年 藍綬褒章受章
平成10年 浜松市勢功労者表彰
平成15年 国立大学法人静岡大学名誉博士号
平成18年 SPIEビジョナリー賞受賞

第24回 浜松コンファレンス講演録 新しい文化論 光

■主 催 財団法人 光科学技術研究振興財団

■後 援 浜松市
浜松市教育委員会
浜松商工会議所
(財)浜松観光コンベンションビューロー⁺
浜松ホトニクス株式会社

■事務局 浜松コンファレンス実行委員会

発行日／平成20年(2008年)11月3日

発行元／財団法人 光科学技術研究振興財団
浜松コンファレンス実行委員会
静岡県浜松市中区砂山町325-6 ☎430-0926
TEL (053) 454-0598 FAX (053) 454-1929
E-mail : hikari@hq.hpk.co.jp

許可なくして転載することを禁じます。