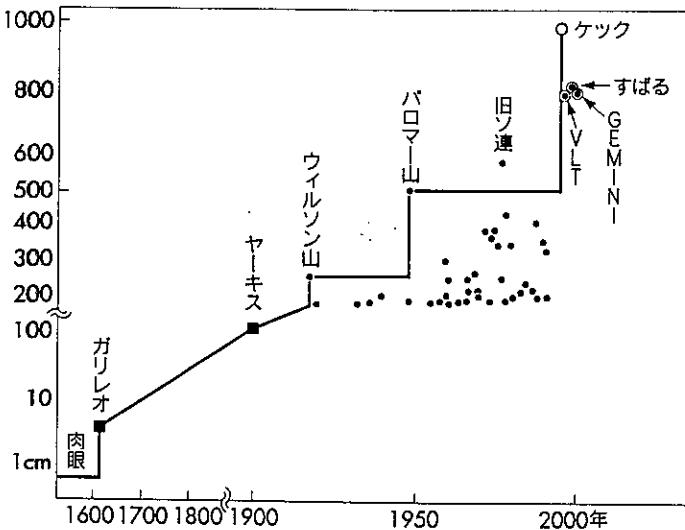


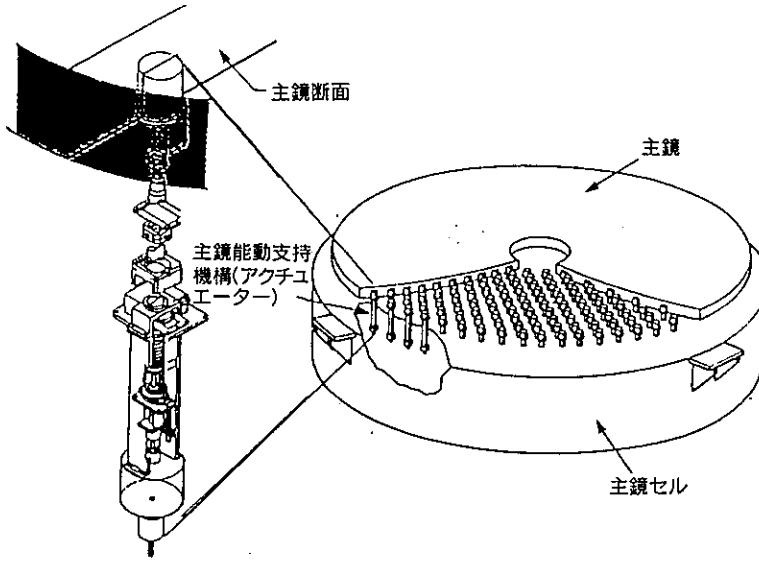
建設進むハメートル級望遠鏡群

ガリレオ・ガリレイが初めて望遠鏡で天体を観測したのは、一六一〇年のことであった。肉眼でしか宇宙を観察できなかつた人類は、望遠鏡の登場で、宇宙を見る瞳をそれ以後、急速に拡大させていった。

一八九七年には、直径一〇一センチの屈折式望遠鏡がヤーキス天文台に完成した。だが、対物レンズを用いる屈折式望遠鏡は、必然的に筒が長くなり不便なため、これ以上は大型化できなかつた。これに代わって、一九一七年にウィルソン山天文台に直径二五七センチの反射式望遠鏡が作られ、四八年にはパロマーレ山天文台で直径五〇八センチの反射望遠鏡が完成した。

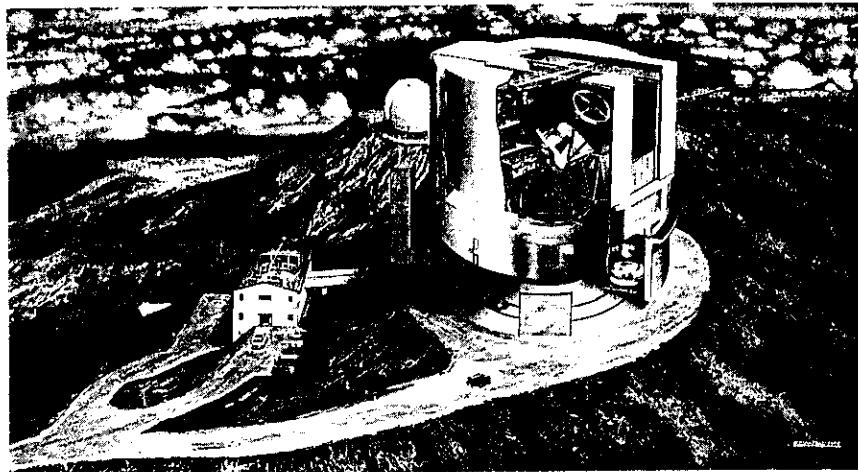
その後、九〇年までに直径三メートル以上の望遠鏡が世界中で一二台建設されたが、パロマーレ山の五メー





図③ すばる主鏡の能動支持機構。厚さ二〇センチの主鏡をコンピューター制御の二六四個の支持機構が支えている。

図(2) すばる望遠鏡の完成予想図。



太平洋のまつただ中にあるハワイ島のマウナケア山は、海底から山頂までの高さを考えると、世界で最も高い山だと言われている。絶海の孤立峰だから、風上に風を乱す地形がない。そのため、山頂に年間平均七メートルのかなり強い風が吹くが、風に乱れがなく、シーリングが良いのだ。

さらに海拔四二〇〇メートルの山頂は、雲の上に位置するため、年間晴天率も七〇%程度、と恵まれている。湿度も低いから、近年重要性を増している赤外線観測にも都合がいい。市街地からの明かりは天文台に大敵だが、ここにはその明かりも届かない。六〇年代に地元のハワイ大学がここに望遠鏡を設置して以来、ハワイ大学の熱心な誘致に応じ、道路や共通宿泊施設の整備の進んだマウナケア山頂域に、望遠鏡群が林立している。私たちがここを選んだのも、これらの理由からだ。現在、ここは北半球最大の国際天文台となっている。

すばるの鏡は常識破りの薄さを実現

すばる望遠鏡は、一枚鏡としては世界最大の直径八メートル、曲率半径三〇メートルの主鏡を持つ。補正

レンズをつければ焦点距離一五メートルの主焦点、凸型の副鏡と組み合わせれば焦点距離一〇〇メートルのカセグレン焦点とナスミス焦点が利用できる。架台は経緯台方式、ドーム上部は望遠鏡とともに回転する仕組みとなっている。

超低膨張ガラスで作る主鏡は、厚さをわずか二〇センチにして軽量化を図る。直径八メートルに厚さ二〇センチは、常識破りの薄さと言える。そこには、工夫がある。コンピューター制御の二六四個の支持機構(アクチュエーター)で鏡面がたわまないよう支えるのだ(図③)。こうして、これまでの望遠鏡で達成できなかつた〇・一秒角というシャープな解像力を実現する。この技術を、後で詳しく説明する「能動光学」と呼ぶ。ちなみにこの解像力は、富士山頂に置いた野球のボールの数を東京から数えられるほどのものだ。

この稿を書いている九三年末の時点では、①主鏡用の超低膨張ガラス材の製作、②望遠鏡基礎とドーム下部構造の工事、③ドームの詳細設計、④望遠鏡本体の設計製作が、予定通り急ピッチで進行している(写真)。九四年度には主鏡の研磨にとりかかり、望遠鏡のドームは仮組み立て、ドーム上部構造の建設などが進む予定だ。斬新なデザインの円筒型のドームには、星像を

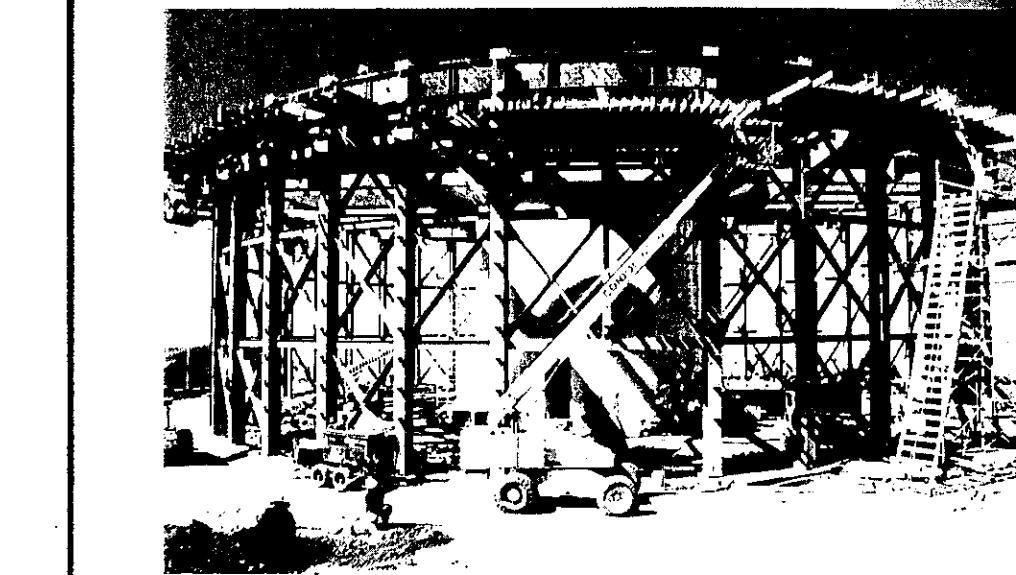
集光力世界一のケック望遠鏡

最近、すばる望遠鏡に先駆け、一足先にマウナケア山頂に超大型望遠鏡が完成した。建設一番乗りを果たしたのは、ケック財団の基金を基に、カリフォルニア大学が中心となつて作ったケック望遠鏡である（写真真）。

ないように、様々な工夫が盛り込まれている。ドーム内は日中から冷却し、夜の観測に備える。望遠鏡の両側に巨大な壁を作り、通風路を確保しているので、万一観測中に空気の揺らぎが大きくなつても、風を通じて乱れた空気を流し去ることができる。すばるの主要な研究テーマである宇宙の大構造にちなんで、この壁を「グレートウォール」と呼んでいる。

望遠鏡に付ける観測装置としては、画素数八〇〇〇万個の超大型モザイクCCDカメラ、大型赤外線半導体カメラ、微光天体分光摄像装置、高分散分光装置、赤外線分光装置、コロナグラフカメラ、多天体分光装置などが計画されている。これらの観測装置は、宇宙の構造と進化、銀河の誕生と進化、恒星や惑星の誕生と進化などの問題に、新たな発見をもたらす、と期待されている。

②。

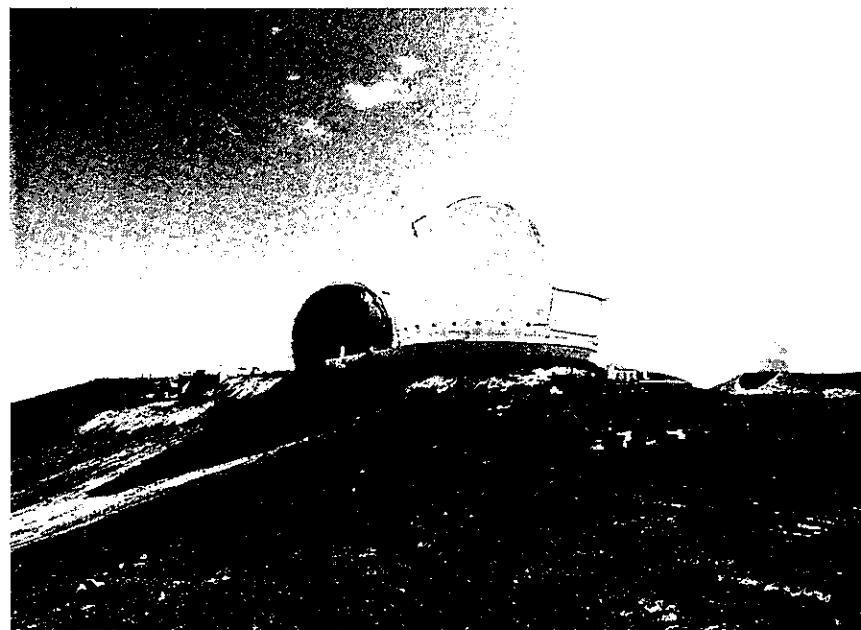


写真① マウナケア山頂での建設が進むすばる望遠鏡のドーム。

精度の高い六角要素鏡を作るのはたいへんな苦労だったが、六角鏡一枚あたり三〇本のバネを仕掛け、その力を調整して鏡を曲げながら磨く技法を開発して、要素鏡の実用化にめどをつけた。しかしそのために、制御は世界一複雑である。三六枚の要素鏡の姿勢を合わせるために、合計一六八個の位置センサーが配置され、コンピューター制御の一〇八個の支持機構を用いている。

いくつかの試練を乗り越え、九三年春から観測を始めたケック望遠鏡は、集光力で世界一の地位に躍り出た。他のハーメートル級望遠鏡に比べて光学調整が困難だが、〇・五秒角の解像力を目指して努力が続いている。一台目が完成したため、財団は二台目の建設を進めている。

進むハーメートル級望遠鏡群



写真② 次世代望遠鏡一番乗りを果たしたケック望遠鏡。後方に建設中のケック望遠鏡2号基のドームが見える。

メーカー・レビー彗星は、九三年三月二十四日された新彗星だが、たいへん変わった形をして、二〇個以上の破片が一列に数珠つなぎになつてしまったからだ。

軌道から考えると、前年七月に木星の側を通り、近付きすぎたため、直径二〇キロほどあつたものが、木星の潮汐力でばらばらに壊されてしまつたらしい。

最大の破片は直径一〇キロほどとみられ、重量は数千億トンにもなる。六五〇〇万年前に恐竜絶滅の原因になつたのも、この程度の小惑星か彗星が地球に衝突したからだという説が有力である。

この彗星が秒速六〇キロで衝突すると、その時のエネルギーは広島型原爆一〇〇億個分、約二億メガトンに相当する。この数珠玉彗星の発見者の一人、米国地

質調査所のユーゲニー・シューメーカー博士は彗星の軌道を計算して、九四年七月に木星に衝突すると発表、大きな話題になつた。惑星探査の本拠である米航空宇宙局(NASA)ジェット推進研究所も「衝突は九九年確実」と言つている。

衝突は七月一八日から二四日にかけて次々と起つるが、残念ながら地球から見て、木星の裏側である。木星は地球と違つて水素の薄い大気で覆われているガス惑星であるため、衝突でどのような影響があるのかはつきりしない。明るく輝くとか、オーロラが出現するとか、大気内に巨大な渦が生じるとか予想する人もいる。いずれにせよ、木星の内部構造の解明に役立つと期待されており、今年の夏は木星観測が盛んになることだろう。

木星に衝突する彗星

VLT建設に必要な二・五ヘクタールの敷地を造成するため、セロ・パラナル山頂上から三〇メートル下まで爆破し、そつくり削り取つた。

VLTの主鏡は、すばると同様の薄鏡である。鏡はガラスセラミック製で、一枚目の鏡は九三年秋から磨き始めた。VLTの一台目の完成予定は九七年末、順調に進めば九九年には四台目が完成する運びである。

四台の望遠鏡の合計八つの焦点位置には、それぞれ本柱としている。

異なる専用の観測装置を付け、独立した望遠鏡として使う。四台のハメートル望遠鏡に加えて、移動可能な複数の一・八メートル望遠鏡を配置して光干渉計を構成し、直径二〇〇メートルの望遠鏡の解像力を実現する将来計画も検討されている。

双 GEMINI 望遠鏡

最近が、GEMINI計画である。同計画は、アメリカ五〇%、イギリス二五%、カナダ一五%、チリ五%、ブラジル一・五%、アルゼンチン二・五%の共同出資で行われる国際協力で、その名の通りハワイのマウナケア山とチリのセロ・パチヨン山に、それぞれ一台ずつ計二台のハメートル望遠鏡を建設する。望遠鏡は、すばると同じ薄鏡方式で作る。

現在、詳細設計中で、なお未定な点も多いが、GEMINIの最大の特徴は、近赤外線の観測を優先し、波長二・二ミクロンで回折限界(望遠鏡の直径で決まる解像力の理論限界)に近い〇・一秒角を目標に設定しているところにある。南北の宇宙を同じ設計の望遠鏡と観測装置で観測できるので、偏りのない研究を行うのに適している。

望遠鏡の鏡は、その誤差が光の波長の約一四分の一以下になるように仕上げねばならない。だが望遠鏡といふものは、いろんな姿勢に傾けて使うものだ。つまり自重のかかり方が、一定しない。だから、これまでは主鏡のガラス材を十分に厚く、傾けても「硬くて変形しない」鏡にするのが常識であった。ところが大型望遠鏡を作るとなると、これではコストが「天文学的な数字」になつてしまふ。鏡を薄くして軽くしたいが、薄くすると今度は鏡は柔らかくなり、歪んでしまう。

能動光学は、柔らかさを逆手に取つて、鏡面をいつも理想の形になるように自動制御するアイデアである。鏡の形は、トンボの複眼のようなレンズ配列を内蔵した測定装置で、比較的明るい星を観測して測る支える力の分布をモニターして、鏡の変形を計算する方法も併用する。

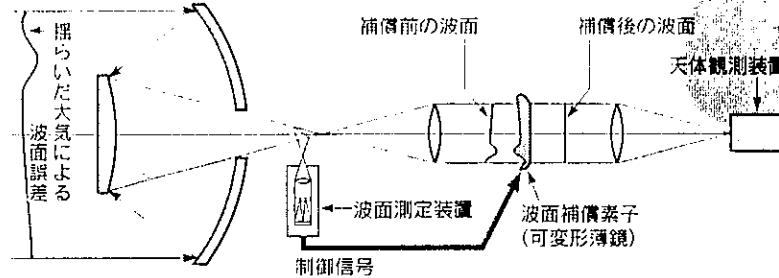
姿勢の変化に伴う鏡の変形だけでなく、能動光学では、温度変化に伴う変形や研磨誤差など変化の速くない成分も、まとめて補正できる。能動光学は、望遠鏡をいつも理想的状態にしておく道を開いたと言える。さらに、鏡を積極的に変形させることにより、焦点距離をある程度は変えることさえもできる。いわば、「ズーム」機能を持たせられるのだ。こうした芸当は、従来の望遠鏡にはとうてい真似のできなかつたものである。

制御光学の第二の柱が、補償光学という考え方である。今、波長〇・五二メートルの光、直径一メートルの望遠鏡で天体を観測するとすると、解像力の限界は理論的に〇・二五秒角に決まる。ところが現実には、望遠鏡の直径をいくら大きくしても、解像力は一秒角以下にはなかなかならない。前述のシーリングが、壁となるからである。そのためにすばる望遠鏡は、マウナケア山頂に登ることにしたわけだ。ちなみに日本国内の観測所のシーリングは約三秒角、マウナケア山頂は約一秒角と言われている。

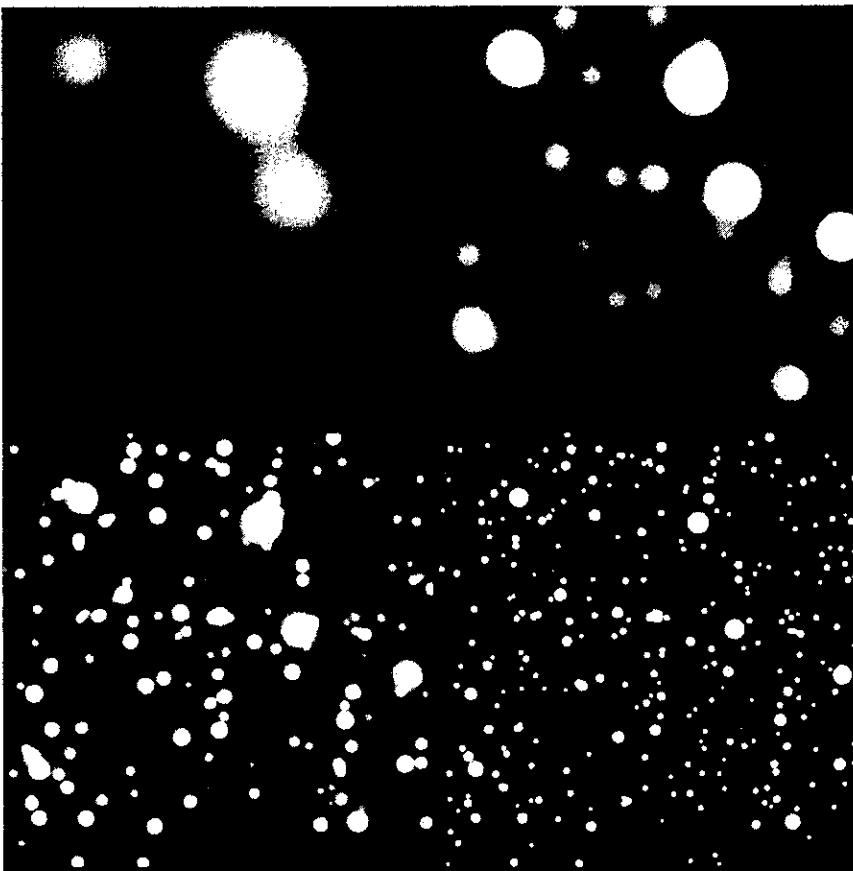
しかし、乱れた大気の底からでも、リアルタイムで乱れの影響を補正できれば、回折限界に迫る空間解像力が達成できる。補償光学のこの概念は、五三年にア

解題

補償光学が天文学で実用になるかどうかは、波面測定が手軽にできるかどうかにかかっている。ところが現実には、観測したい天体のすぐそばに、波面測定用の光源として利用できる明るい星があるとは限らない。そこで、測定用の人工星を任意の方向に作ることによると、好都合だ。この夢を実現する鍵を握る地表から約九〇キロの上層大気中にあるナトリウムの密度の濃い厚さ一〇キロくらいの層である。



図(4) 换算光学系の概念。大気のゆらぎによる波面誤差を波面測定装置で測り、可変形補償鏡を用いて、波面修正すると、望遠鏡の解像力の限界に近いシャープな画像が得られる。



写真③ 解像力と星の見え方。(左上)普通の望遠鏡による典型的な3秒角の星像、(右上)1秒角の星像、(左下)能動光学での0.3秒角の星像、(右下)補償光学が実現した時の0.1秒角の星像。

子を“興奮させる”波長五八九ナメートルの
レーザー光をこの層に当てれば、ナトリウム原

の層を作ることができる。このレーザー星技術も実証実験は成功しているので、実用化されれば補償光学が天体観測で一気に広がる可能性がある。

補償光学技術が成熟し、八メートル級望遠鏡で実用化されると、可視光での天体解像度は八〇年代の一秒钟に比べて、最大で約三〇倍の〇・〇三秒角に向上する。この解像力は、ハップル宇宙望遠鏡を三倍以上も上回る。高解像力での観測は、原始惑星系、球状星団、銀河中心核、重力レンズ天体などの研究に、大きな威力を発揮するだろう。また、記録した画像データを後で画像解析して回折限界の解像力を達成するスペックル干渉法などの手法と違つて、実時間で像を絞り込む補償光学は、暗い天体の発見や分光観測の限界向上に大きな貢献が期待されている。

能動光学・補償光学の効果をシミュレーションにより示したのが、写真③だ。解像力の向上の威力が一目瞭然である。補償光学が実現すると、光をより集中することができるため、以前より暗い天体が観測できるようになる。

赤外線で広がる観測波長域

これまで観測と言えば、CCDカメラによる可視光(〇・三七～一・〇六メートル)観測が主流だったが、次世代の八メートル級望遠鏡では、この観測に加えて、近赤外線(一・〇～一・三六メートル)や中間赤外線(一・三～三〇六メートル)の本格的な観測が可能となる。可視光は温度が一萬度前後の大部分の星々と電離した星間ガスの観測に向いているが、赤外線はより低温の星々や星を生む母胎となる分子雲の観測に適している。赤方偏移が大きいクエーサーや銀河など宇宙論的な天体の場合も、重要なスペクトル線が赤外線領域に移行するため、赤外線での観測が重要となる。赤外線用の新しい二次元半導体検出器が次々と開発されているので、赤外線観測にかけられている期待は、非常に大きい。

制御光学を採用した八〇メートル級大型望遠鏡が、活躍する日々が近づいている。コロナブルが大西洋を横断して新大陸に到達してから五〇〇年後の現在、人類は宇宙の果てまでを探査できる大きな瞳を得ようとしている。

口径二万キロの超巨大な瞳

アーティファクト配列で解像度を上げる

アメリカのC・ジャーンスキーガ、一九三〇年に初めて電波で宇宙を観測した時のデータを基に、後にW・サリバンが天球の輝度図を描いた(図①)。その解像度は、瞳に相当する鏡面が大きければ大きいほど良くなる。同時に、観測波長から見ると、波長が短ければ短いほど、やはり解像度が良くなる。

逆も、また真である。観測波長が長ければ長いほど、解像度は悪くなる。これは、波で観測する時の原理的な宿命である。例えば、瞳より耳の方が明らかに大きいのに、目で見るより音の方向が定まらないのは、音波の波長が長いからだ。

私が観測手段にしている電波は、電磁波の中長が圧倒的に長いので、解像度では極端に不利で