

解説

宇宙の彼方を探る

Observing the Distant Universe

家 正則

Masanori IYE



- 1949年8月生まれ
- 冷却 CCD カメラの開発、鏡面能動支持などの技術的研究、及び銀河や宇宙の構造と進化に関する天文学の研究を実施。現在、大形望遠鏡に関する研究に従事
- 国立天文台 (〒181 三鷹市大沢 2-21-1)

1. 「探る」の宇宙的意味

「宇宙を探る」というときの「探る」はほとんどの場合、極めて受動的な意味にならざるを得ない。宇宙に働き掛けを行い、その反応を観測するにはばく大なエネルギーと悠久の時間を必要とする場合が多いからである。病気の原因を探るときのように患者に X 線を当てて体内を調べたり、薬物を投与してその反応を観察するという能動的な働きかけをすることは、宇宙が対象の場合、実際上ほとんど不可能である。

それでも例外がなくはない。一つは、ボイジャーに代表される月や惑星探査などで、現場での実地調査が可能な場合である。ただし、これは事実上太陽系空間にその適用範囲を限定されよう。

もう一つは、地球外文明との交信を目的にして積極的に電波を送信しその反応を期待するというものだ。筆者の知っている限りでは、約 1 万光年の彼方にある球状星団と 17 光年の距離にある一等星アルタイル（七夕の牽牛星）に送信した試みがあるそうだ⁽¹⁾。前者は進化した星が密集しているので知的文明が存在する可能性があるという理由で選ばれたのだが、返事がくるまでに送信したという事実が忘れ去られてしまいそうである。後者は近いが若い星なので進んだ文明がある可能性

はあまりなさそうである。星間通信により「探れる」範囲はせいぜい 100 光年以内であろう。

それより遠くの宇宙を「探る」のには、文字どおり宇宙からやってくる電磁波信号を忍耐強く注意深く「観測」して、その結果をほかの観測事実や物理法則と照らし合わせ、論理的に推論してゆくしかないのである。

2. 電磁波が運ぶ宇宙の情報

宇宙からの信号は、ガンマ線、X 線、紫外線、可視光、赤外線、電波などの電磁波としてだけでなく、重力波として、また高エネルギー粒子やニュートリノなどの素粒子として、この瞬間も地球に届いている。このような信号を注意深くとらえることにより、受動的にはあるが宇宙を「探る」ことができるのである。

ただし、地表にいる我々に実際に到達する信号はこの一部に過ぎない。地球は人類にとってかけがえのない大気に包み守られているが、この大気が特定の電磁波を吸収散乱してしまうからである。可視光、短波長の赤外線、電波については地上からの宇宙観測ができるが、それ以外の電磁波については地球大気の外に出ないと宇宙からの信号を捕らえることができない (図 1)。

3. X 線、電波、光の天文学

3.1 X 線で探る 宇宙からやってくる X 線、紫外線や波長の長い赤外線の観測は、飛行機、気球、ロケット、人工衛星を用いることにより 1960 年代から可能になってきた。我が国では

特に宇宙からのX線の観測において、宇宙科学研究所を中心としたグループがX線天文観測衛星「はくちょう」、「てんま」、「ぎんが」を次々に打上げ、世界的な観測成果を上げています。飛翔体を用いた観測は一般に高価であり、寿命も短いので、観測の対象は特定のものに限定せざるを得ない。X線天文衛星「ぎんが」はキューサーなど銀河系外天体の観測を目的の一つとして打上げられたものであり、遠い宇宙のレントゲン写真をもとに宇宙の構造の診断ができる時代もそう遠くなくさうである。

3.2 電波で探る 宇宙からの電波が発見されたのは1931年のことであった。電波天文学も1960年代になって急速に進歩し、3Kの宇宙黒体放射、キューサー、パルサーなどの大発見が相次いだ。その後、電波観測技術が向上し波長1cm以下のミリ波の観測が始まると、さまざまな星間分子のスペクトルが検出されるようになり、宇宙物質の化学の解明が始まった。国立天文台野辺山観測所の45m宇宙電波望遠鏡と5素子ミリ波干渉計はこの分野で世界をリードしている(表紙、図2参照)。

3.3 光で探る 我々にもっとなじみの深い可視光での宇宙の観測でも、近年の技術革新には目覚ましいものがある。半導体技術の進歩により登場したCCD(電荷結合素子)カメラのなかに

は量子効率が80%にも達するものがある(図3)。カメラに入って来た光子の80%を捕らえることができるという画期的な検出器である。CCDカメラは内部光電効果を利用しているため、従来の光化学反応を利用した写真乳剤に比べ約100倍の感度を有するのである。それまでは約21等級の天体を検出するのが限界だったのが、CCDカメラの登場で24等級の天体を比較的楽に検出することができるようになってきた⁽²⁾(図4)。22等級より暗いこのような微かな天体の多くは極めて遠くの銀河である。ビッグバン宇宙論によれば、遠くの天体はそれだけ昔の姿を見ていることになる。従って、このような暗くて遠い銀河を詳しく観測すれば、昔の宇宙の姿が分かるは

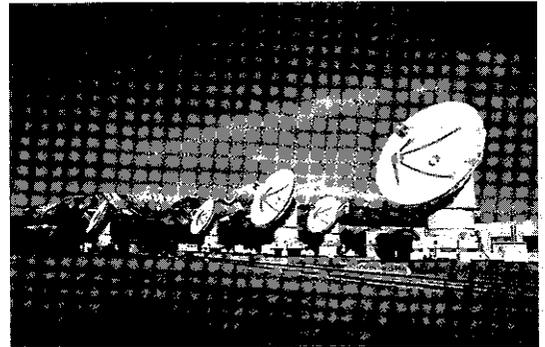


図2 国立天文台野辺山宇宙電波観測所の5素子ミリ波干渉計(同所石黒正人教授撮影)

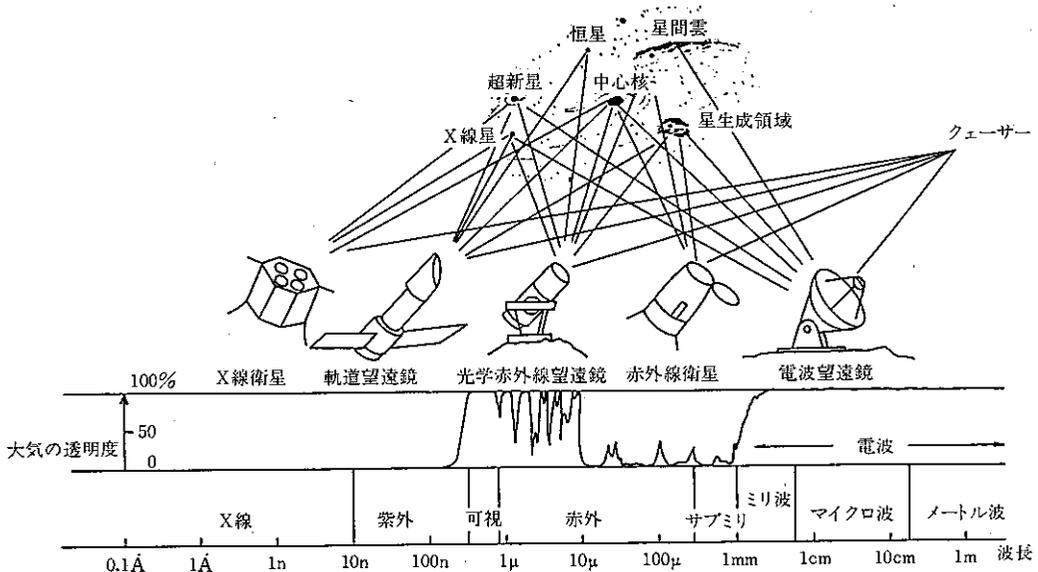


図1 宇宙からの電磁波と地球大気の透明度

ずである。表1はビッグバン宇宙論に基づく宇宙の年代史をまとめたものである。現代の宇宙論では宇宙が始まってから10万年ぐらまでのこと、10億年ぐらいたった後、現在に至るまでのことは比較的よく分かっている。むしろ、銀河が生まれた時期に相当する、10万年から10億年ぐらまでの間の時期の歴史がまだよく分かっていないといえる⁽³⁾。

天体の写真だけからでもかなりいろいろなことが分かるが、詳しい情報を得るには、その天体のスペクトル観測を行う。スペクトル観測は天体からの光を7色(実際には数100から10万色)の虹に分けることによって、天体の化学組成、温度、密度、質量などの情報を光の中の信号から読み取るものである。ただでさえ暗い天体の光をさらに細分しようというのだから、22等級よりも暗い天体のスペクトル観測を行うには、7~8mクラスの望遠鏡がどうしても必要となる。



図3 国立天文台 岡山天体物理観測所の188 cm望遠鏡に取り付けられた液体窒素冷却形CCD(電荷結合素子)カメラ

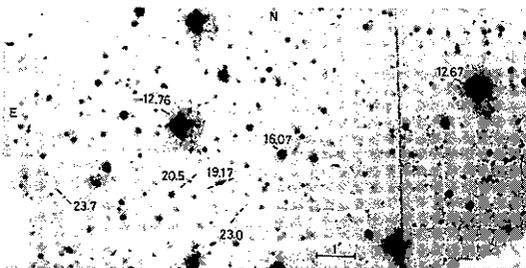


図4 CCDカメラで撮った銀河系の北極方向の天域。赤色域で24等級の暗い天体が検出できる

4. 大形光学赤外線望遠鏡(JNLT)計画

国立天文台がハワイ島マウナケア山頂に建設を計画している口径7.5 mの大形光学赤外線望遠鏡(略称JNLT)は、いままでの望遠鏡では見えなかった宇宙の彼方を探るための野心的な望遠鏡である⁽⁴⁾(図5)。この望遠鏡は可視光だけでなく遠い宇宙の観測に威力を発揮する近赤外線でも使えるように設計されている。口径が大きくて集光力が現在世界の第一線で活躍中の4 m級の望遠鏡の4倍もあるだけでなく、常に理想的な結像性能を発揮するよう自動調整することができる。そのため、観測できる宇宙の範囲は大幅に広がる。

JNLT計画は数々の新技術を取り入れ、次の

表1 宇宙の年代史

ビッグバン	0	ビッグバン 以後の時間
粒子生成	10秒	
ヘリウム・重水素合成	10分	
物質優勢になる	~1万年	
宇宙が透明になる	~30万年	
種族IIIの星?		
クエーサー 銀河集団 銀河	謎の時代 (~10億年)	
最も古い星	~150億年	
原始太陽系星雲	~47億年	
微生物発生	30億年	
ほ乳動物出現(中生代)	2億年	
霊長類出現(新生代)	6千万年	
ホモサピエンス出現	10万年	
現在	0	

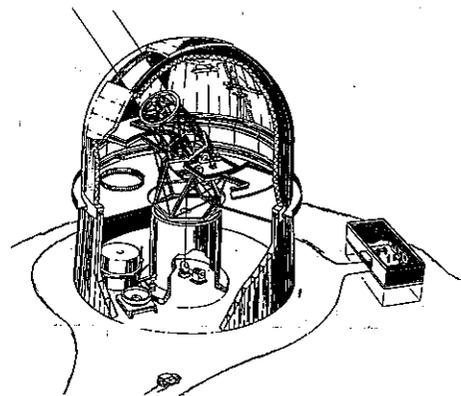


図5 我が国の次期大形光学赤外線望遠鏡(JNLT)の完成予想図

ような特徴をもっている。

(1) 薄皿形主鏡 直径 750 cm に対して、厚さわずか 20 cm の薄皿形主鏡を採用して軽量化を計り、コストを軽減する。従来の設計法によると、主鏡が変形しないような剛性を確保するには 100 cm 以上の厚さが必要であり、コストと製作期間が非現実的になってしまうためである。

(2) 能動支持機構 コンピュータ制御の支持機構を採用して、望遠鏡が常に最上の結像性能を発揮するようにする。主鏡は薄いため剛性が低く変形しやすい構造を持つが、コンピュータ制御の支持機構で常に理想的な鏡面を維持する。このため従来の望遠鏡よりシャープな天体写真が撮れる上、観測限界も向上する。

(3) 経緯台 望遠鏡のマウントに経緯台方式を採用する。構造的に赤道儀方式より単純で、観測装置を姿勢が安定なナスミス焦点に設置できる利点がある。

(4) 短い鏡筒 焦点距離が F2 という明るい主鏡を採用することにより、鏡筒を短くし、ドームもコンパクトにしてコストを軽減する。

(5) 良いサイト 天体観測に世界一適した場所とされているハワイ島のマウナケア山頂に建設、世界一の総合性能を持つ望遠鏡とする。このための協議、合意がハワイ州やマウナケア山頂を管理するハワイ大学との間でなされており、JNLТ 建設候補地の気象条件の観測などが行われている。

図 6 は 7.5 m の主鏡を常に理想的な面形状に保つための能動支持機構の原理を示している。鏡の面形状は実際の星の光を使って随時測定し、理想形状となっているかどうかをチェックする。理想面からの誤差が検出されると、鏡の支持機構のモータに補正量を指令して矯正する。光を使った測定のほかに、鏡の支持機構の支持力をモニタして補正量を指令することもできる。

このような方式による鏡の制御がうまく作動するかどうかの基礎実験は、国立天文台を中心とし

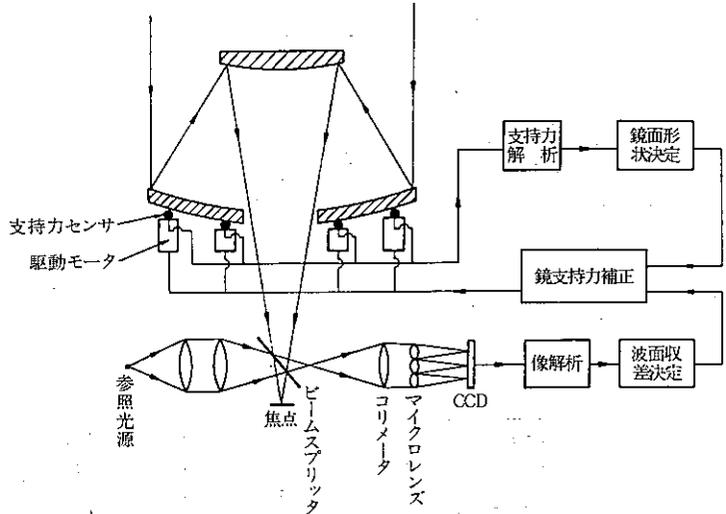


図 6 主鏡の能動支持機構の動作原理

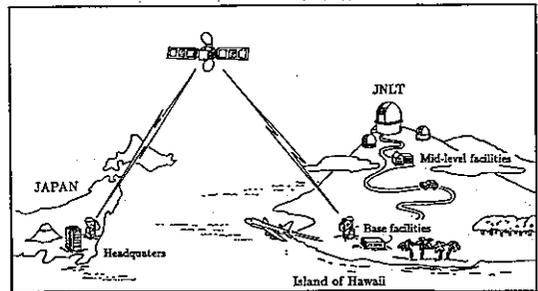


図 7 宇宙の彼方を探るハワイ島観測所の JNLТ

た研究グループによりすでに行われており、システム構築のめどが立っている。

JNLТ が完成した暁には、現在世界の第一線で活躍中の国立天文台野辺山宇宙電波観測所の口径 45 m 電波望遠鏡や宇宙科学研究所の X 線天文衛星とスクラムを組んで、我が国の天文学者の手で宇宙の謎解きが次々になされることになるう(図 7)。

文 献

- (1) 平林 久・宮内勝典, ET からのメッセージ, (1987), 朝日出版.
- (2) 家 正則, 月刊天文, 53-3 (1987), 16.
- (3) 早川幸男・佐藤文隆・松本敏雄, 現代の宇宙論, (1988), 名古屋大学出版会.
- (4) 山下泰正・小平桂一・家 正則, 精密工学会誌, 53-9 (1987), 49.

(原稿受付 昭和 63 年 8 月 30 日)

ような特徴をもっている。

(1) 薄皿形主鏡 直径 750 cm に対して、厚さわずか 20 cm の薄皿形主鏡を採用して軽量化を計り、コストを軽減する。従来の設計法によると、主鏡が変形しないような剛性を確保するには 100 cm 以上の厚さが必要であり、コストと製作期間が非現実的になってしまうためである。

(2) 能動支持機構 コンピュータ制御の支持機構を採用して、望遠鏡が常に最上の結像性能を発揮するようにする。主鏡は薄いため剛性が低く変形しやすい構造を持つが、コンピュータ制御の支持機構で常に理想的な鏡面を維持する。このため従来の望遠鏡よりシャープな天体写真が撮れる上、観測限界も向上する。

(3) 経緯台 望遠鏡のマウントに経緯台方式を採用する。構造的に赤道儀方式より単純で、観測装置を姿勢が安定なナスミス焦点に設置できる利点がある。

(4) 短い鏡筒 焦点距離が $F2$ という明るい主鏡を採用することにより、鏡筒を短くし、ドームもコンパクトにしてコストを軽減する。

(5) 良いサイト 天体観測に世界一適した場所とされているハワイ島のマウナケア山頂に建設、世界一の総合性能を持つ望遠鏡とする。このための協議、合意がハワイ州やマウナケア山頂を管理するハワイ大学との間でなされており、JNLТ 建設候補地の気象条件の観測などが行われている。

図 6 は 7.5 m の主鏡を常に理想的な面形状に保つための能動支持機構の原理を示している。鏡の面形状は実際の星の光を使って随時測定し、理想形状となっているかどうかをチェックする。理想面からの誤差が検出されると、鏡の支持機構のモータに補正量を指令して矯正する。光を使った測定のために、鏡の支持機構の支持力をモニタして補正量を指令することもできる。

このような方式による鏡の制御がうまく作動するかどうかの基礎実験は、国立天文台を中心とし

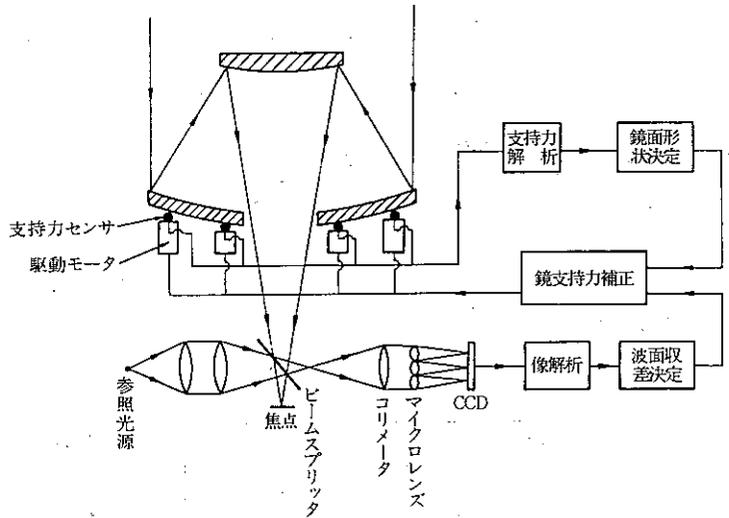


図 6 主鏡の能動支持機構の動作原理

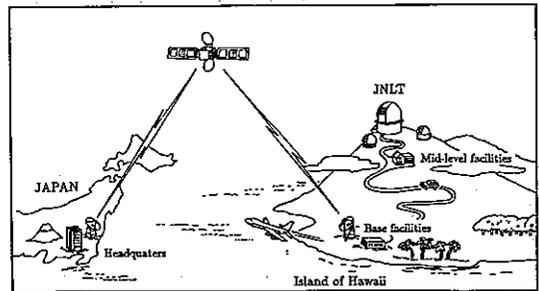


図 7 宇宙の彼方を探るハワイ島観測所の JNLТ

た研究グループによりすでに行われており、システム構築のめどが立っている。

JNLТが完成した^{あかつき}際には、現在世界の第一線で活躍中の国立天文台野辺山宇宙電波観測所の口径 45 m 電波望遠鏡や宇宙科学研究所の X 線天文衛星とスクラムを組んで、我が国の天文学者の手で宇宙の謎解きが次々になされることになる(図 7)。

文 献

- (1) 平林 久・宮内勝典, ET からのメッセージ, (1987), 朝日出版.
- (2) 家 正則, 月刊天文, 53-3 (1987), 16.
- (3) 早川幸男・佐藤文隆・松本敏雄, 現代の宇宙論, (1988), 名古屋大学出版会.
- (4) 山下泰正・小平桂一・家 正則, 精密工学会誌, 53-9 (1987), 49.

(原稿受付 昭和 63 年 8 月 30 日)