

デジタルレンズを使った電波望遠鏡

大師堂 経明

(教育学部教授)

スーパーコンピュータの一〇〇倍という、世界最高速度の演算装置が動きはじめた。六四台のアンテナから出る信号を、この

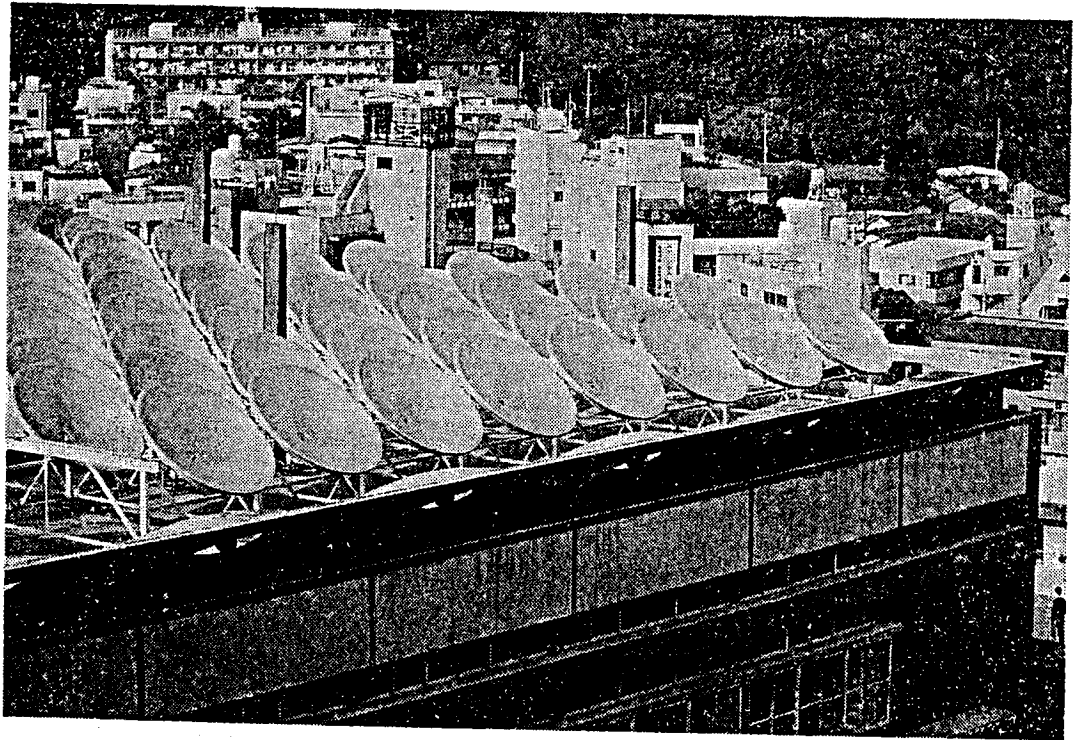
装置に通すと天体の電波像が毎秒二千万枚得られる。私達はこの装置をデジタルレンズと呼んでいる。カメラのレンズは入射光線を方向別に分けて焦点面に像をつくっているが、それと同じプロセスを高速のデジタル演算素子を多数並べて実現しているからである。レンズと同じようにシリコンからできてはいるが、外觀はケーブルが一二八本もつながっていてもレンズには見えない。この装置を使ってこれからテスト観測を繰り返し、まず天の川にときどき出現する電波新星や超新星を捜す。さらに装置を改良して宇宙の果てを観測し、一五〇億年昔の宇宙の構造を探ったり、一般相対論が検証できる天体を捜そう、と欲張った考えを持っている。実際にデジタルレンズの前に設置してあるのは二〇m四方に直径二・四mのアンテナ六四台であるが、デジタルレンズを使うことにより、直径二〇mのアンテナ六四台分の観測能力をもつことができる。全く新しい概念で設計されたこの観測

装置がどのようにして開発されていったか、何を観測するのか、開発現場の様子もまじえてお話ししよう。

ライルとヒューウィッシュ

英国ケンブリッジ大学のライルとヒューウィッシュは、現在の電波天文学の二つの大きな流れをつくりだした。ライルは観測方法において、ヒューウィッシュは新種の天体バルサーの発見においてである。

ライルが開発した装置が天体を観測する風景は、不思議な印象を与える。彼は三台のアンテナを建設し、二台を使用ずみの鉄道レールに乗せて動かせるようにした。第一日目、二日目、三日目……と日がたつにつれて、アンテナの位置を変えていく。三台のアンテナがあると三通りのアンテナの間隔が取れるが、毎日動かしてできるだけ多くの種類のアンテナ間隔で観測する。アンテナを対にすると、空に感度の干渉縞ができる。つまり空の電波強度



▶15号館屋上に設置された電波望遠鏡

分布を様々な空間波長の波に分解することができる。短い間隔の対からは、大きなゆったりとした空間的うねりの強さが得られ、アンテナ間隔を倍にするとその半分の細かい空間的波長のうねりの強さが得られる。毎日アンテナを動かしていたのは、できるだけ多くの種類の空間波長を観測したいからである。何日もかけて多くの種類の空間波長の波が得られた後、それらを全部重ね合わせると天体の電波像が得られる。この方法は、少ないアンテナ数できめ細かな電波像が得られる画期的なものであった。そのため以後の世界の電波天文台は、米国も日本もオーストラリアも、すべてこの方法を採用するようになった。きれいな電波像をつくるならライルの方法以上のものはなかったのである。

同じケンブリッジ大学のヒューウィッシュのグループが一九六七年にバルサーと呼ばれる天体を発見した。これは、一立方センチ当たり一〇億トンもある高密度の天体である。質量は太陽くらいあるのに、半径は一〇km程で環状八号線の中におさまってしまう。その結果重力が極めて強く、表面から飛び出すためには光速の三分の一の速度が必要である。物理学的には、この天体は太陽程の質量をもつ巨大な原子核である。ふつう原子核は正の電気を持つ陽子と電氣的に中性な中性子からできているが、鉄や鉛のように重い元素では原子核に含まれる中性子の割合が増えていく。正の電気を持つ陽子ばかりで原子核をつくると、電氣的に互いに反発して安定な原子核になれないからである。太陽程の質量の巨大な原子核ともなると、含まれる素粒子の数は莫大になり、ほとんどが中性子になってしまう。これを中性子星と呼んでいる。学生時代に私は、そのような巨大な原子核の話で理工研の山田勝美先

生からうかがったことがある。先生は原子核の質量公式の研究で有名であるが、その頃核物理と一般相対論を組み合わせて中性子星の計算もされていた。その論文はパルサー発見の一年も前に、理工研の論文誌に発表されている。山田先生のような理論物理学者は、一立方センチ当たり一〇億トンというような日常生活からはるかにかけ離れた物質の状態を、庭先の草花についても話すように明快に語るができる。しかもそんな天体が翌年発見されても、理屈どうりのものがあつたのだから別に不思議じゃないという風なのである。

発見されたパルサーというのは規則的な電波パルスを出す天体で、現在では四五〇個以上見つかっている。その中には、人間のつくった最も精度の高い原子時計よりさらに正確な周期のものもある。ライルとヒューウィッシュはこれらの功績によりノーベル物理学賞をさすけられた。面白いことにライルの開発した電波望遠鏡がいかにすばらしいものであつても、ヒューウィッシュ等の発見したパルサーの観測には全く向いていないのである。もちろんヒューウィッシュは独自のアイデアで別の観測装置を作っていたが、それは見るからに粗末なぶどう棚を思わせるアンテナであつた。ライルの装置のように像をつくることもできない。その代わり、天体の電波強度の変化には敏感な装置であつた。一方ライルの装置は、天体の電波強度が時間的に変わらないという前提によって設計されている。そのため何日もかけてアンテナの配置を色々と変えて観測している間に天体の強度が変わってしまうと、せっかく蓄積したデータを合成しても正しい電波像は得られない。最も短い周期のパルサーは一秒間に六〇〇回以上パルスを出しているので、

こんな天体をライル型の観測装置で捜すのは全く不可能である。

はくちよう座で大電波爆発

私は大学院生のとき、一九七三年にはくちよう座で起こった大電波爆発を観測した。その天体は、はくちよう座X-3と呼ばれ四・八時間の周期で回りあつている連星である。一方の星はおそらくブラックホールらしかつた。一、二年に一度全天で有数の強さの電波源になるこんな天体は、まだまだ沢山あるはずだと思つたが、それまでの観測装置で捜すことは不可能だつた。ライル型の電波望遠鏡はより細かい構造をさぐれるように、一九七〇年代から八〇年代にかけてアンテナの間隔が次々と延ばされていった。数十km、数百km、そして現在では数千kmに達している。そうなれば観測可能な視野は必然的に狭くなり、いどこに出現するか分からないこのような天体を捜すのは全く不可能になる。文字どおり、葦のすいから天井をのぞくである。ライル型の装置は、構造が不変な天体を細かく描き出すのに向いているが、時間的に変化する新天体の発見には向いていないのである。

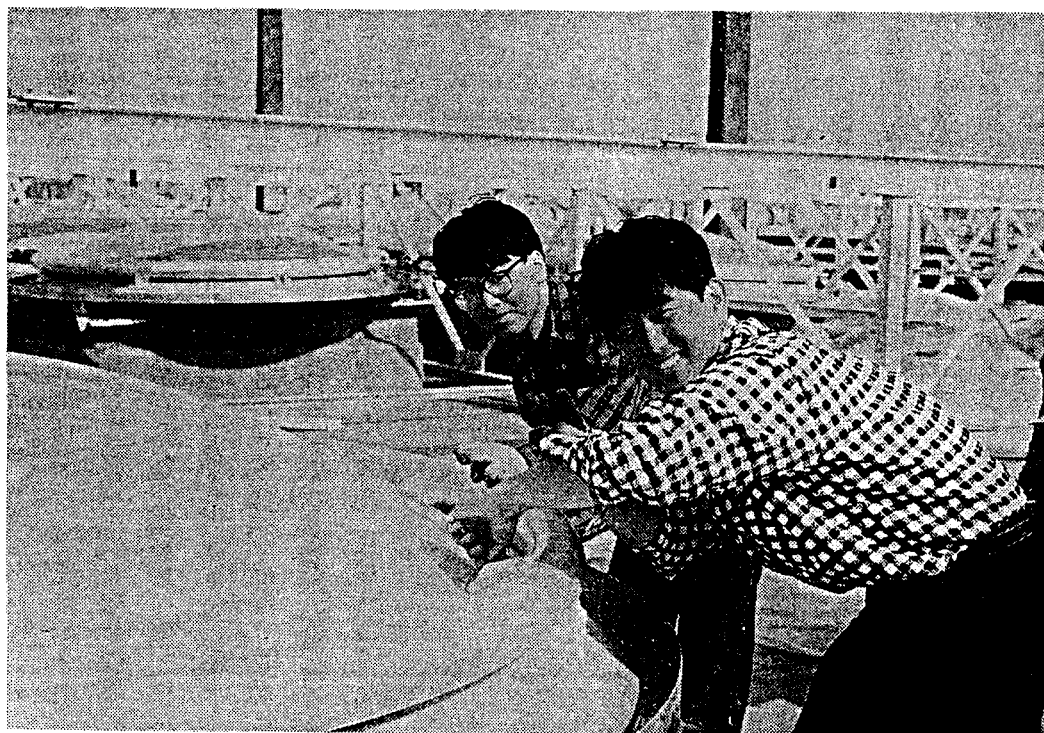
広い視野、高い感度、速い結像、安い製作費

はくちよう座X-3のような天体の発見には、逆に小さなアンテナをできるだけ密に並べて広い範囲が観測できるようにすべきである。密に並べると感度が上がるだけでなく、高速フーリエ変換という特別に効率の良い計算方式が使える。それはアンテナの

間隔が一定でないライル型では不可能なことだった。さらに早稲田大学のこの方式は、時間的にどんな変動をする天体に対してもリアルタイムで像をつくることができる。この点でヒューウィッシュのアンテナがもつ欠点もない。計算効率の良さは製作費の節約になる。これは駆け出しの私にとって大事なことであった。早稲田大学に勤務するようになって、この考えをもとに一次元八素子の実験装置を小原啓義先生、小松進一先生と作り始めた。卒業生の大川徹、遊馬邦之、西堀一彦さんたちが、がんばって開発はおおいに進んだ。その結果をもとに一昨年、初めに述べた実用機の建設を始めた。若い仲間も沢山加わってくれた。

世界最高速の演算装置開発の舞台裏

実用機開発のかぎは二つある。衛星放送用に開発された低雑音受信機と、最初に述べたデジタルレンズである。デジタルレンズの演算部には二二〇個の高速演算素子が使われていて、それらが並行して演算を行うことで世界最高の演算速度を達成している。もともとはハイビジョン用にソニーで開発されたLSIで、画像信号のリアルタイム演算を目的にしている。六四台のアンテナにつける受信機もテレビジョンの技術を利用して、どちらもメーカーが莫大な経費をかけて開発したものである。このような技術が天文学のような、すぐには役に立ちそうにない分野で利用できる国はそう多くはない。とはいえ、現実に受信機やデジタルレンズを開発するのは大変なことであった。こういう先端技術に携わる人はメーカーの中でも常に重要な仕事を背負ってい



▶アンテナの取り付けに学生が活躍

る。そこに、天文学でこんなに面白いことができずのでなんとかよろしく、と割り込みをかけることになる。公平に見ればこんな無茶な話はない。もともと天文用に開発したわけでもないのに、割り込んできて保証している性能を越えた使い方を要求したり、予算が足りないので半分だけ作ってくれたの、穴開けと半田付けは早稲田側でやるからさらに半値にしてくれ、などというのである。まだまだこの種の話はあるが……。それはともかく、受信機は併日本通信機の協力を得て、デジタルレンズは併ソニーの協力を得て、無事に動き始めた。受信機の製作やアンテナの取り付けは物理の受講生が大活躍した。

これだけ迷惑をかけたので、何か世の中に恩返しはできないだろうか。たとえはこの装置を衛星通信などの地上局に使うと、大きな構造を作らなくてよいので安くできる。通信方向をデジタルで精密に素早く制御できるので、機械部分の精度はいい加減でもよい。さらに同時に同じ周波数で六四方向と通信ができるので、周波数割り当てが楽になる等の利点がある。

宇宙の果て、宇宙の始まり、一般相対論

さて話は電波天文学にもどる。観測はまず、強い電波を出すはくちょう座X-3のような電波新星捜しを行うことになるだろう。装置の安定化がすすむにつれて、弱い電波源を観測する。興味深いのは宇宙背景輻射のゆらぎの観測である。まだ星も銀河も存在しない一五〇億年昔の宇宙を探り、プラズマからどうして銀河のような構造が形成されたかを調べるのである。これは三〇〇

〇m級の高山に小型のアンテナを設置して観測することになるだろう。また現在の装置の後に周期解析装置をとりつけてパルサーを効率よく捜すことも、将来計画として考えている。デジタルレンズは電波の波としての性質を残したまま信号の処理を行っているので、最終出力はたとえデジタルでも「生」の電波がそのまま出ていると思つてよい。デジタル信号をアナログ信号に変換すれば本当に電波そのものになる。ライル型では電波は検出されたら消えてしまうので、こういうことはできない。ところで信号には二種類ある。雑音のようになどどこを取り出しても大局的に同じとみなせる性質のものと、パルサーや放送局からの電波のようにそうでないものである。数学者は、前者をエルゴード的であると言ひ、後者を非エルゴード的であると言ひ。この言葉を借りると、ライル型は信号のエルゴード性を仮定しているのに対し、デジタルレンズは非エルゴード的な信号も処理できるといふ違いがある。未知の周期のパルサーを周期解析で捜す装置は、デジタルレンズの構成とよく似ているのでそれを付けることは難しくない。これはライル型の装置では全く不可能であり、ヒューウィッシュ型では空の一点しか観測できないため効率が極めて悪い。沢山のパルサーの中には連星のパルサーで軌道を真横から見るとのがあるかもしれない。そうすれば、一般相対論の予言する慣性系の引きずりの効果（光が天体の回転に引きずられてあともどりする効果）や、強い重力場で一般相対論の予言と観測が一致するかどうかなどが確かめられるであろう。これらは二〇世紀の物理学が残した難問である。