

大型電波望遠鏡

森本雅樹*

はじめに

最近の電波天文学の発展はまことに眼をみはるばかりのものがある。準星の発見(1963年)は、銀河の生成と進化に関するわれわれの考えを大きくかえたとし、更に、宇宙全体の構造をしらべる上でも、大きな転機をもたらしている。パルサーの発見(1967年)によってわれわれは、星の進化の最終段階ともいえる中性子星を直接観測する機会をもったし、またこれが、宇宙線などの高エネルギー粒子の非常に有効な供給源であるかもしれないことがわかり、その天文学上の重要性はさらに高まっている。若い星の集団、H II領域の電波観測も、1966年ごろから急に盛んになり、さらに若い、星になりかけの雲、そしてそのガスの中でのいろいろな分子のスペクトル線などが電波観測の結果発見され、星の生まれつつある姿がとらえられようとしている。

これらは、電波観測からえられた最近のいろいろな成果のほんの一部にすぎないが、このような成果は、最近の電波天文の観測技術の進歩、観測装置にはらわれた多大の努力によることはもちろんである。電波天文は、従来「電波天文学」という天文の他の分野からなば独立したような位置にあったが、これらの成果のためあって、現在では「宇宙を認識する五官の一」として、光、X線等々による天文学と相補的に天文学を支えているのである。われわれが星をみること(光による宇宙の観測)がなければ天文学が存在し得ないごとく、電波による観測がなければ、天文学は成りたち得ないのである。

電波観測から得られる最近のこのような成果は、観測装置、観測技術の進歩の結果であるとのべたが、この面での世界における進歩発展もまたまことに目覚ましいものがある。1960年代前半における大型化の傾向に、さらに高精度という要素が加わり、これが、最近の電子工学の進展によって、搭載受信機器にもめぐまれ、前述のような諸発見により電波天文学を書きかえるまでの成果をあげたのである。

わが国におけるいきさつ

わが国においては、この方面の研究は戦後まもなくとり上げられた。昭和26年東京天文台に建設された直径10

メートルの電波望遠鏡は、赤道儀式としては当時世界最大のものであった。研究の主力は太陽電波の理論および観測に向けられ、その方面では多大の成果があげられたが、宇宙、銀河電波の観測的研究はあまりとり上げられなかったことは御存知の通りである。

ここ数年來、この方面の観測も興味をもたれはじめ、宇宙通信用アンテナの空き時間を利用するなどして、ある程度の成果もあげられるようになってきた。理論方面でも、電波の性質から宇宙の磁場を発見するなど、ユニークな研究があらわれてきている。

このような基礎がありながらも、宇宙、銀河電波の研究が、大きくのびて、光の天文学と相補的に発展するようにならないのは、この方面での観測を行なう、国際的レベルの観測装置がないからにほかならない。

このような観点から、わが国に、大型電波望遠鏡を建設しようという要望がたかまり、電波天文関係の研究者が集って、電波科学研連委第5分科(電波天文)の委員会で討論が重ねられた。その後、天文学研連委将来計画小委員会が発足するにあたり、大型電波望遠鏡ワーキンググループとして、その建設をもっぱらな目的とした機関が発足した。

種々討議を重ねた結果、昭和42年に第一回、本年5月に第2回の報告をまとめた。この報告に盛り込まれた案は、45メートル電波望遠鏡を中心とした干渉システムであり第2回報告にはこの45メートル望遠鏡の設計を含み、具体的な計画としてすぐにも手をつけられる段階にまでなっている。私もこのワーキンググループの一員であったので、以下、この計画の指針としたところ、ねらい、などとともにその内容のあらましを御紹介しよう。

基本的な要求

この計画は、元来「わが国に国際レベルの電波天文の観測装置をそなえる」必要性からおこったものである。国際水準のもので、しかも、多数の研究者の多種多様の要求にこたえるものでなければならない。その意味で、装置の中心となるものは、大口径のパラボラアンテナであるべきで、一応、口径45メートルという結論がとられた。

「国際水準」という意味を、私たちにかなりきびしく考えた。この計画は、なんといっても大事業である。これが、いやしくも、外国の大型機械の模倣であつたり、金

* 東京天文台

M. Morimoto: On the Large Radio Telescope Project

さえかければできるようなものであってはならない。外国に例がないような、われわれにしてみればはじめてできるような、ユニークなものでなければならぬ。しかも、そのユニークさも、奇に走ったユニークさでは「多くの研究者の要求をみたしてわが国の電波天文の水準を支える」といった目的から反してしまう。すなわち、集光力、精度という、望遠鏡の最も基本的な性能において、大きく水準を抜くものであるべきである。

しかし、一方において、この計画は日本で行なうものであるから、あまりお金のかかるものでは実現の可能性は少ない。たとえば、諸外国の同種のものにとくらべてずっと経済的なものでなければならぬ。

装置の設計の方針として高い性能とやすい値段、多目的性とユニークさなどという一見矛盾する要素を正しく組み合わせて行く必要がある。その段階で、妥協によって、装置の「よさ」が失なわれることは許されない。しかし、そこには、必らず「妥協ではない」両立の路がある筈なのである。この点についてはたとえば、「よい設計は必然的に経済的なものである」ということを指摘しておきたい。

ここに、ながながと「べし、べからず集」のようなものを述べた。このあたりの姿勢が、たとえば望遠鏡のタイプをなににするかよりも本質的である場合があるので、読まれる方の退屈をおそれながらも「べし、べからず集」をならべたわけである。

設計の要点

おわんの直径は上記の通り45メートル。架台は経緯儀方式とした。経緯儀式では、おわんを直接支えている軸

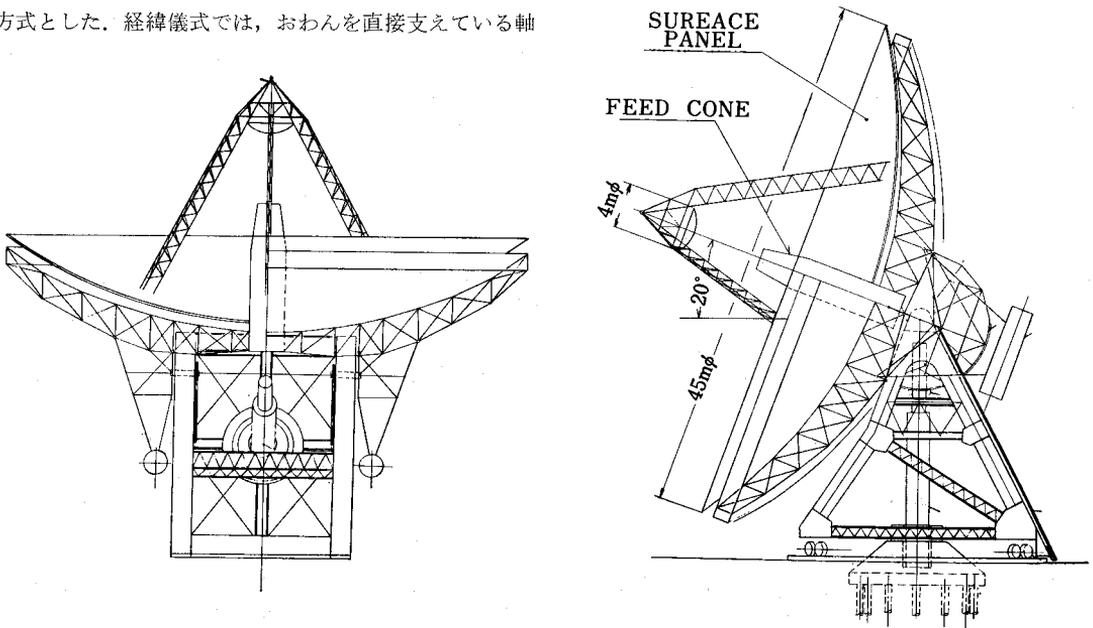
が常に水平に保たれているので、重力によるおわんの変形が、望遠鏡の高度角のみによって決ってしまう。垂直軸を回転して望遠鏡の方向角を変えても、望遠鏡対重力の関係がかわらないのである。これに対し、赤道儀式では、極軸をまわすとおわんを支えている軸が水平になったりななめになったりして、おわん対重力の関係が複雑に変化する。すなわち、赤道儀式では、おわんの変形が望遠鏡の天球上の位置によってすべてちがうのである。この点が、経緯儀式架台の赤道儀式に対して本質的にすぐれている点である。

光学系としては修正カセグレイン方式をとり、主鏡の f 値は0.4とした。

修正カセグレイン方式とは、カセグレイン式の場合の副鏡の形を少し変化して、普通のパラボラアンテナで充分利用されない周辺部を効果的に利用して、アンテナとしての「開口能率」を改善する方式である。普通のパラボラアンテナでは鏡面に当たった電波のうち、よい場合で60~70%程度しか受信機に入って来ない。つまり、それだけの面積の理想的アンテナにしか相当しない。修正カセグレイン方式の採用によりこれが70~80%に向上される。

f 値を0.4としたのは、このくらいの値で、おわんの形が力学的に、重力の変形をうけにくいからである。

ここまでで既にお気付きのように、鏡面の精度が、よい望遠鏡を作るためのキーポイントになり、それに対して最も大きな影響をもつのが、重力による変形なのである。これを如何にコントロールするかが望遠鏡の性能を



第1図 45メートル望遠鏡の設計概念図 縮尺 1/370

決定することになる。すなわち、鏡面の支持構造の設計が非常に重要になるのである。

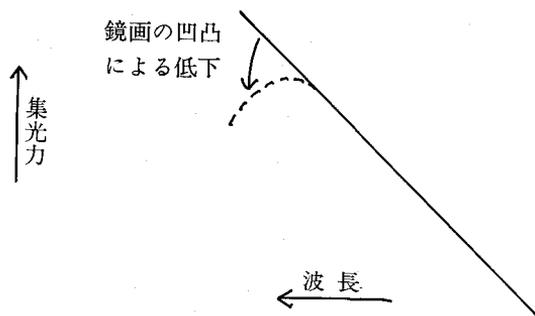
鏡面はアルミパネル張りとし、アルミ板はストレッチ・フォーミングとよばれる加工方法によって精度よく作り、鏡面支持構造にとりつけられる。この鏡面の取付けおよび調整は、光の望遠鏡でいえばレンズみがきに相当するわけである。パネルの取付け方法を工夫し精確に調整しやすくすれば、残る問題は、鏡面の誤差をいかに精確に測定するかということになり、重力による変形をのぞけば、0.5 mm の精度で鏡面を測定し調整することが可能であることがわかった。

このようにして調整を、たとえば高度角 60 度で行なわれれば、その前後 10 度くらいでは重力変形が小さいので、この精度がほとんどそのまま保たれる。

このように、集光力、精度を高くたもつ反面、本計画では

- (イ) 望遠鏡の向けられる範囲を高度 20° 以上に限って、構造設計を容易にし極度の重量増大をさけた。
- (ロ) 指向精度はきわめて高いものが要求されるが、角度よみとりを、回転軸によらずコリメーターによって鏡面から直接行なうこととし、回転支持構造に対する精度の要求をやわらげた。
- (ハ) 観測のよく行なわれる重要な高度角の範囲で鏡面を調整し、他の高度角では、鏡面の重力による変形が一つのパラボラを、別の新しい形のパラボラに移すような形になるような骨組構造を見出した。これによって、望遠鏡の性能をあまりおとさずかなり大きな重力変形をゆるすような設計とした。

等のかかなり思いきった方策により、設計としては非常に経済的なものとなり、諸外国の同程度の規模の装置とくらべてはるかに性能が高くしかもずっとやすい費用で製



第3図

作可能な見通しである。第1図にこの構造図を示す。

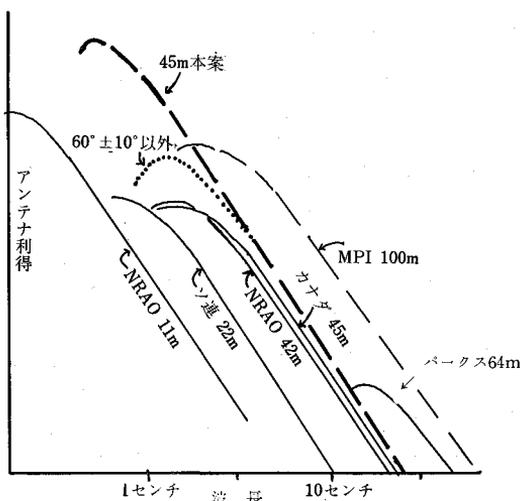
さらに、これと組合わせる干渉装置については観測効率に特に重点をおき、干渉計で特にやりにくいスペクトル線の観測をやりやすいように考えた。これによって、45メートル望遠鏡単独ではできない部分まで観測分野をひろめ現在日本における宇宙電波研究者の多様な要求に応え得るものとなる。

第2図に世界の主な望遠鏡の集光力(アンテナ利得)と波長の関係を示した。アンテナ利得とは、アンテナの集光力を、理論的に考えられる最も単純なアンテナ(単一振動子)を単位として対数(デシベル)であらわしたものである。理想的な鏡面では利得は開口面積を波長の二乗で割ったものに比例するので、第3図のように、カーブは左上りの直線となる。鏡面のデコボコによって反射波におこるみだれのため、波長が短いところでは集った電波がお互いにうまく重なり合わず、利得が下る。(第3図点線) そのためにある波長で最大の利得をもつようになる。このあたりより短い波長では、鏡面で集めた電波のほとんどはお互いに打消し合うために使われてしまって僅かののこりの部分が受信機に入って来るようになる。このような状態では望遠鏡を向けていないソップから入る電波も受かってしまったり、観測には適しない。つまり図の左上りの範囲で望遠鏡を使うことになる。

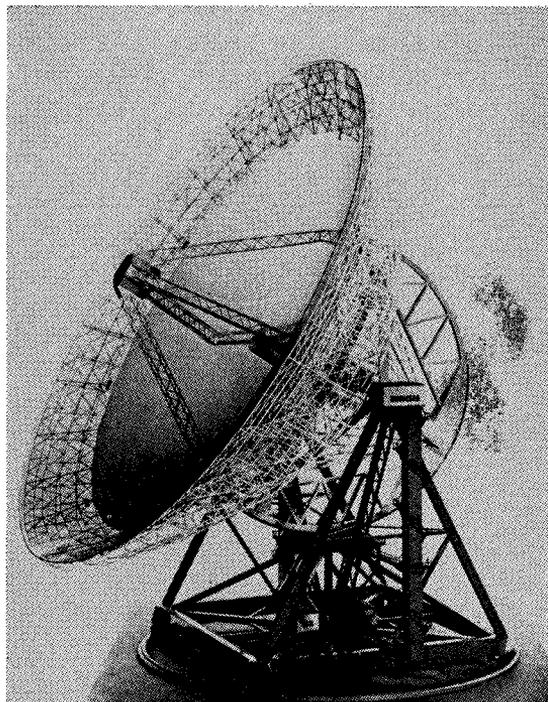
第2図のたくさんのカーブのうち、右の方の低いところにあるのが有名なパークス(オーストラリア)の64メートル望遠鏡、さらに少し左上に二つ重なっているのがグリーンバンク(アメリカ)とカナダの42メートル、45メートルの望遠鏡で、これらが現在の代表的な望遠鏡である。パークスが波長5センチ以上、アメリカとカナダがそれ以下2センチくらいまでを受持つてはなばなく活躍していることは御承知の通りである。

うすい点線で MPI と書いてあるは、ドイツで建設中の100メートル望遠鏡で、ここにあるような高性能を狙っている。

われわれの45メートル望遠鏡は太い点線で示してある。高度角60°近くでは図で明らかなように、非常に高



第2図



第4図 西独ボン大学に建設中の直径100メートル電波望遠鏡

い性能を示し、特に観測可能な波長が1センチ以下、ミリメートル波の領域までのびていることに御注目いただきたい。この波長域で充分使える望遠鏡といえば、従来から10メートル程度が限度とされていたが、本計画によりそれを大きく打破することができる。波長1センチ以上5センチあたりまででは、現在の水準を倍くらい抜くことができる。さらに、この望遠鏡のどちらかといえば不得意といえる波長10センチ以上でもパークスの64メートル望遠鏡とくらべてあまりおとらない集光力をもつ。高度60°からはなれた方向でも面精度1ミリは確保できるので、現在世界最高といわれている望遠鏡とくらべてはるかに高い性能をもつ。

観測目標と天文学上の意義

(1) 波長数センチ以上での観測

これは、現在の電波天文の主流となっている波長域である。水素21センチ波、OH18センチ電波、水素やヘリウムの再結合線パルサー、準星や電波星雲、銀河バックグラウンドなど、はなばなしい観測が行なわれている。45メートル望遠鏡は、そのすぐれた光学系と高い精度によって、大きな活躍をするだろう。特に、この波長域では干渉計による観測が有効に行なわれ45メートル望遠鏡をおぎなうことができる。このような観測の意義についてはいまさら論ずるにはおよぶまい。

(2) 波長1センチまで

45メートル望遠鏡が最も威力を発揮する波長域である。準星や電波銀河の爆発をとらえることは非常に重要であるし、この望遠鏡の得意技の一つとなろう。

銀河系内天体としては、超新星のあと、高密度のHII領域などが興味深い。

(3) 分子のスペクトル線の観測

波長数センチからミリメートル波にかけて、分子のスペクトル線がたくさんある。最近、OH分子の線が波長6センチ付近で2種、水蒸気とアンモニアの線が波長1センチ近くで観測された。水蒸気の線にはOHの場合のように非常に強いメーザー現象が観測されている。

これらの線は、OH18センチ輝線のみえる高密度HII領域のあたりで観測されており、星のまわりで分子の形成される状態が非常に興味深い。

さらに最近、ホルムアルデヒド(H₂CO)の線が検出され注目されている。

ホルムアルデヒドは、簡単ながら有機物のはじまりで、星間空間にすでにこのような物質が存在することは非常に興味深い。

このようなスペクトル線はさらに多く発見されるだろう。そして、天文学上非常に重要な分野となるだろう。

(4) 波長1センチ以下

この波長域では望遠鏡の能率は下り、観測可能な高度も限定されるが、世界でも全く類のない性能をこの望遠鏡は有している。大きさにいえば、ここは天文学がはじまったばかりの波長域である。すなわち、なにがでてるかわからないわけである。この望遠鏡のなみはずれた集光力によって、天球上のある範囲をサーベイして、「全く未知の」新天体の発見にころがけることはこの種の装置のつとめの一つであろう。

こういった夢のような話以外にも、星になりかけのガスや若い準星など、宇宙のダイナミックにゆれうごいている部分が、観測者の前にすがたをみせることだろう。

今後の問題

この計画は、まだ文字通り「計画」の段階である。さらに具体的な設計も進められているが、これを実現させるためには数多くの難関が待っているであろう。その最大のものの一つで、第一にあらわれるのが費用の調達である。さらに、適地の入手、計画実行にともなう種々の技術的困難等々数えあげればきりが無い。この分野の研究者の一致はもちろんのこと、関係各方面の御協力が是非とも必要である。ぜひとも実現させたいものである。

なお、本計画立案にあたって、三菱電機の技術方面の方々大変お世話になったことを付記して、感謝の意をあらわしたい。