

日本における衛星通信の黎明時代 —今は昔、実験時代のエピソード—

横井 寛

現在では、世界中の主なできごとが茶の間のテレビで居ながらにして見聞できるようになりました。この様なことができるのも正に衛星通信のおかげと言えるでしょう。

しかし衛星通信の黎明期には、実に色々なことがありました。

1. どのアンテナが天下をとるか

国際間で衛星通信の実験計画が具体化したのは 1960 年頃でした。当時の我が国はまだ衛星を打上げる環境にはなかったのですが、せめて地球局ぐらいいは自分たちで開発したいという意気に燃えていました。

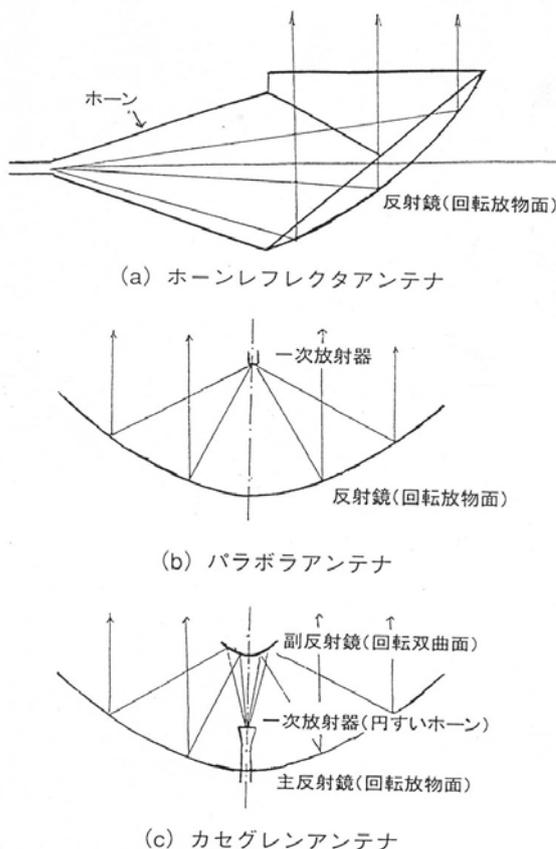


図1 黎明期の地球局アンテナ

さて、地球局アンテナとして、どの様なものがよいか？アメリカは金力にものを言わせて、ホーンリフレクタというアンテナを作りました。イギリスは普通のパラボラをちょっと深めにしたものを作りました。そして日本はカセグレンアンテナを作ったのです。

このカセグレンというのは反射型の光学望遠鏡を発明したフランス人の名前からきていますが、その望遠鏡の原理をアンテナに適用することを最初に考えたのはアメリカのハンナンという人でした。この人が 4 m くらいのカセグレンアンテナを作って実験を行い発表したのが 1960 年 1 月。その論文が出てからわずか 2~3 ヶ月後に我が国はこの新方式で口径 20m の地球局アンテナを作ろうとしたのです。このまだ評価が定まっていない新方式で超大型アンテナの製作にとりかかる。これは、今にして思えば随分と勇気の要る決断でした。

アメリカが打上げた衛星を用いて 1962 年頃から行われた衛星通信の国際的な大実験。米・英・日三種三様の地球局アンテナのうち果たしてどのアンテナが天下をと

るか？ 当時は世界中の関係者が注目したのです。

2. 青天の霹靂(へきれき)

衛星通信では、このお皿のアンテナを百分の一度とか百分の二度といった精度で、衛星の方向へ向けねばなりません。当時の衛星は中高度衛星でかなり速い速度で動いていました。

アンテナは太陽熱や台風などによるほんの少しの歪も許されないといったことから、実験時代のアンテナは諸外国ともレードームでもって覆われていました。KDDの地球局アンテナは、実験当時、その直径が 20mとやや小型でしたが、図2のようにやはりレードームでもって覆うこととしました。もちろん、このレードームも国産品です。レードームは硬質のものと軟質のものがありますが、地球局アンテナではレードームによる電波のわずかなロスも許されないといったことから一般に軟質のものが使われました。

つまり、これは電波がなるべく減衰をうけないように、とくに注意して選んだ材料、ハイパロンとネオプレーンゴムを重ね合せた厚さ 1.5mm 程度の大風せんで、その内部に空気圧をかけて膨らませていました。

その直径 30mのレードームが、まだ出来て間もないころ、真冬の季節風によって一瞬のうちに真二つに破れてしまったのです。当時としては青天の霹靂、まさに大事件でした。時に 1964 年 1 月 20 午後 0 時 59 分。この時の風速は 40m。目撃者によれば

「ちょうど、桃太郎の桃がパッと割れたようにレードームが裂けて、アンテナが現れた」

とっています。そして、生後間もないこのアンテナはあわれにも風雨の中にじかにさらされることになったのです。



図 2：実験当初の KDD 地球局
図中斜めに流れているのはテルスター II 号の軌跡

3. 事故が新しい開発のきっかけに

私たちは、さっそくメーカーの人たちと一緒にレードーム破損の原因究明に乗り出しました。綿密な現場検証はもちろんのこと、いろいろな人を訪ねて聞き込みもやりました。そして、このレードームと全く同じ形、同じ材質で 1/10 のモデルを作り、これを風洞実験室に入れて、同じような破れ方をするまで何回も実験を繰り返したのです。

一方、また、アンテナ本体は大丈夫かどうか、精密な機械的、電氣的測定を行なったのはいうまでもありません。破損の当日は、たまたま実験の無い日で、アンテナは天頂に向けて固定されていました。アンテナ自体としては最も安定した姿勢であったといえます。

不幸中の幸いというべきでしょう。被害はごく僅かですみました。とにもかくにも、ひとまず応急手当をほどこして、翌々日には衛星からの電波を受信することができたのですが、この事故は多くの問題を私たちに投げかた

のです。まず始めに、誰もがもう一度レードームを作ろうと考えました。そして、徹底的に行なったモデル実験の結果を参考にしてレードームの構造や材料を再検討し始めたのです。

しかし一方、何人かの人達は考えました。レードームなしでも大丈夫なアンテナを作ろうではないかと、そのためにレードームがなくなったこの大アンテナをその試験台にしようと考えたのです。メーカーの人たちも実によく協力してくれました。後で知った話ですが、そのメーカーでは「1月20日0時59分を忘れるな」ということで、毎年、その日その時刻になると関係者一同起立して、一分間の黙祷を行ない、全員が一丸となってアンテナの研究に取り組んだということです。

現在、世界中の地球局アンテナはレードームを使用しなくなりました。それは間もなく静止衛星の時代となりアンテナの高速運転が不要になったのと少しでも雑音温度を低くしたいという事からです。それにしても、あの時、レードームが破れたからこそ日本はいち早くレードームなしのアンテナ研究を進めることができました。そしてまた後でお話する電波星利用のアンテナ利得測定もレードームがなかったからこそ世界に先がけた研究が出来たのです。

今にして思えば、あの時の突風こそ本当の“神風”であったのです

4. 大和魂

前述のように、技術的にはきわめて多くの問題をかかえながらも、マスコミを喜ばせるような衛星通信の実験は常にカッコクたる戦果をおさめていました。

ところが、不思議なことに、あの有名な1963年11月23日の我が国初の太平洋横断テレビ受信では、ケネディ大統領の暗殺という大事件を伝え、また、日本から始めて米国へテレビを送信した1964年3月25日の実験では、その前日に、当時の駐日大使であったライシヤワ氏が刺されるという事件がありました。いずれも、衛星通信そのものとは全く無関係な事件ですが、大実験のたびに何かある、関係者としては何とも気味が悪いものでした。三度目の実験は、日欧間初のテレビ送受信で、これは1964年4月17日。二度あることは三度あるという諺もあり関係者一同は「どうぞ今度こそ何事も起きませんように」と祈りにも似た気持でこの実験の準備を進めていました。

当時の実験衛星はリレーII号、テルスターII号などで、いずれも中高度衛星でした。衛星は時々刻々と大きく移動しているので、大陸間の通信ということになると、双方から同時に衛星が見える時間は、わずかに10分ないし30分間程度、大口径のアンテナはかなりのスピードで衛星を追跡する必要があります。あらかじめ予測された軌道情報に基づいて、大型アンテナと小型の追尾用アンテナ(口径6m)を地平線上に向けておき、まず、追尾アンテナが衛星からのビーコン電波をキャッチして、その方向をコンピュータ経由で大型アンテナに伝えて、大アンテナを動かすといった仕掛け

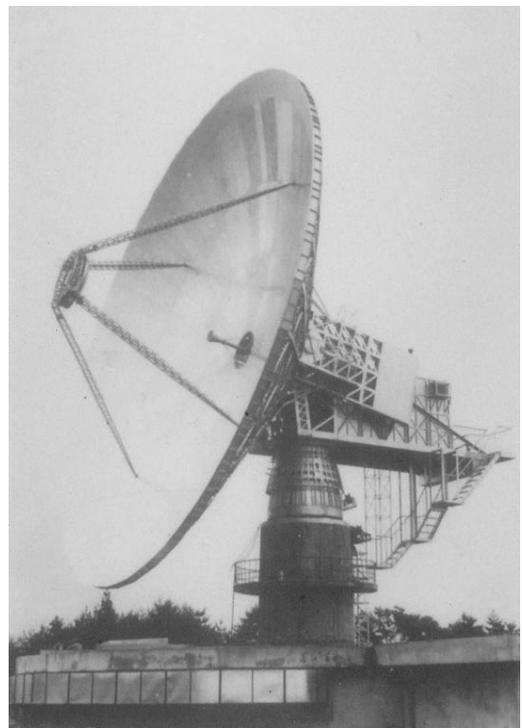


図3：実験当初の口径20m
カセグレンアンテナ

です。

もし、追尾装置が故障すれば、計算軌道にそってコンピュータが大型アンテナをガイドする。追尾、送信、受信、端局、大型アンテナ、そしてコンピュータを含む管制室、そのすべてが完璧でなければならないのです。ところが実験時代の各種機器は現在のように安定したものではありません。

実験開始の二時間から三時間前には全員が各部所について、念には念を入れて各部をチェックします。そして30分前には管制室へ“異状なし”の報告をして待機したものです。当時は、管制室から全部署に対して放送が流れ、1分前・50秒前・3、2、1、スタートといった秒読みで実験が行われていました。今から考えるとちょっと滑稽ですが、そのころはみんな真剣そのものでした。というのもいつも、どこかが具合が悪くて、ハラハラしながらぎりぎり一杯の時刻になって“OK”となるのがあまりにも多かったからです。つまり、我々が持っていた技術の限界を駆使して実験を行っていたのです。

日欧間の初のテレビ送受信は20数分間の実験でした。この日は無風快晴、まさに、デモンストレーションの実験としてはベストコンディションの日でした。ところが、いつものようにコンピュータはその日もなかなかうまく働いてくれません。さんざん気をもませたあげく、実験開始の1時間ほど前になってやっと正常になりました。ところがその次には追尾の方で何か問題があるらしい。これも何とかになって、さていよいよという実験の30くらい前でしょいか、こんどはいつも大丈夫だった大型アンテナの油圧制御装置が故障です。

実験開始時刻は刻々と迫ってきます。ヨーロッパ24か国向けの初放送です。ヨーロッパ中からの特別番組もこの日始めて日本へ送られてくることになっています。日本中はおろか世界中の人々の目がこのTV中継に集まっているのです。NHKのアナウンサーと学識経験者がすでにテレビで対談をはじめています。

「今日もきつとうまくいきますよ」・・・と涼しい顔で・・・

ついに実験開始直前、やはり故障はなおりません。ここで私たちは一大決心をしたのです。この大アンテナを人力で動かしてやろうと。追尾からの情報によるアンテナの仰角と方位角、それに大口径アンテナの仰角と方位角、両者からの出力電圧の差をとってそれぞれがゼロになるようにアンテナを動かせば良い筈です。両者からの出力をそれぞれのメータにつなぎました。佐藤さんは仰角担当、森下さんは方位角担当です。そして、人が体を丸めてやっと座れるくらいの狭い二つの場所で、メータ一つと管制室から流れくる声だけを頼りに、とにかく、メータの針が真ん中のゼロを指すように重いハンドルを回し続けるのです。速度も少しずつ変えていかなければなりません。

午前6時11分、実験スタート。関係者がかたずをのんで見守る中で、くっきりと皇居前のお掘りに浮かぶ白鳥がテレビに映りました。衛星から戻って来た映像です。細工は上々。ハラハラしながらも、プログラムは順調に進みます。ところが、丁度柔道の番組を送っているときに大変なことが起きました。テレビの画面が流れはじめたのです。メータは0のまま。

そうです。こんどはメータが故障したのです。それとばかり、代替用メータを用意するためアンテナ塔上から駆け降りて行く人。管制室からは、「右か左、とにかくどちらかへまわせ」「それぞれ、映ったぞー、その方向、よーし、その速度うまいぞ、少し速く、いかんこんどはちょっと遅く、遅く・・・」人力の盲目運転でアンテナを百分の何度かの精度でもって衛星に向けるのです。代替用のメータがくるまで、ほんの2、3分だったのですが、その時間の長かったこと。しかし、佐藤さんの勘の鋭さとそのファイトは画面のときれをわずか30秒くらいに抑えきったのです。日本の面目をかけて、大和魂によって、切り抜けた衛星通信実験の一騎でした。

5. 悪戦苦闘

レドームの破損によって丸裸になった大口径アンテナは、風雨の影響もさることながら、太陽熱による変形がさっそく問題となりました。しかし、このような問題は多くの苦勞をとまないながらも、メーカーの協力によって着々と解決されていきました。ところが当時の技術者たちは、通信実験の進行とともに新しい課題に直面して本当に困っていました。というのは、実際の衛星を介して実験を行なってみて、KDD地球局の性能がどうも当初の設計値よりもかなり悪いらしいということがわかってきたのです。

石尊山という山の頂上においた疑似衛星(照準塔)を使って、事前に十分測定はしてあったのですが、衛星を往復した電波の強さが計算値より弱すぎるのです。当初は、送信機がおかしいのだ、いや、受信機だ、アンテナだ、いや、KDDのものはみんな良くて、衛星そのものが悪いのだと議論百出。そのうちに、英国のアンテナでも問題があるらしいという話も伝わってきて、KDDのアンテナ技術者たちもなんとなく肩身がせまくなってきました。

英国のアンテナでは、その原因の一つに、アンテナ姿勢による鏡面の変形があるということで、さっそくこの改造にとりかかりました。ところが、KDDのアンテナはこの点非常に良くできていて、厳密な機械測定でもほとんど問題ないことがわかりました。そうすると、原因はいったいどこにあるのだろうかということになります。

このような大口径のアンテナの利得は、本来ならば、20kmとか 30km離れた所から電波を出して測定する必要があるのです。それは、近いところからの電波だと送信点からアンテナ中央までと端までとの距離差を無視できなくなるからです。とって、本当にそんな遠いところから電波を出そうとすると適当な場所がありません。仮にあったとしても、こんどは地面による電波の反射が問題になったりしてうまく測れません。

そのようなことから、当時は世界各国ともに数km離れた塔、または山から電波を出して測定を行ない、近距離による誤差を計算で補正していたのです。

私たちは、まずこの点に問題があると考えました。それに、日本ではアンテナが新型であるためその設計にもあるいは問題があるかもしれない、そんな不安もありました。

なんとしてでも遠くの空から電波を出してアンテナを測定したい。しかも、この電波は、強さが正確にわかっていて、きわめて安定したものでなければならない——研究者の悩みは深刻でした。ヘリコプターに発信機を積んで測定したらという案も出ました。これは結構お金がかかるし、また、きわめて安定した電波を出せるかどうか心配です。あれやこれやとさんざん考えたすえ到達したのが次にお話する電波星の利用です。

6. 電波星の利用・・・鶏が先か卵が先か・・・



図4 電波星：タウラスA

肉眼では一般に見えないが電波を出している星を電波星といいます。この時代、すでに二千個位の電波星が見つかっていました。東京天文台の先生方の話では、この中でいくつかの電波星は衛星通信用の周波数帯でも大口径アンテナならば十分受信できるというのです。カシオペアA、タウラスA、シグナスA等は最も強い電波星です。強いといっても、衛星電波にくらべるとその百分の一以下の受信レベルですが、電波の強さが

常に一定であるという特徴があるのです。

私たちは意気揚々と大アンテナを星へ向けました。ところが、どうしてもカシオペアAやタウラスAの電波は予想したほど強く受かってはくれません。ほんとうなら、もう数十%、いや、それ以上強く受信されねばならないのです。しかもこれはKDD開発による高精度ラジオメータを使つての測定です。外国とくらべれば、すでにレドームが破れて無くなっているために、星も良く見えるはずで、いわば「生(なま)」の測定なのです。

やはり、本当にアンテナが悪いのだろうか？それとも天文学者のいう星の電波強度に間違いがあるのだろうか？研究者は、とことんまで追及しないと気がすみません。

さて、このデータをもって、もう一度、天文台へ相談に行きますと

「さあねえ…天文学者の測定では2dBや3dBの誤差はありうるし…」

という答えです。それなら、電波星電波をなお正確に測定すればよい…そのためには、アンテナの利得が正確に分かっていなければならない…「鶏が先か卵が先か」…困ったことになってしまいました。

7. 真犯人はどこに？

ここで皆さんは、きつこういわれるのに違いありません。「なぜ天文学者と同じ遣り方で電波星を測定しようとししないのか」と。そこで天文学者の測定ですが、これはまず始めに、ある人が昔あるところに大きな角錐ホンのアンテナを作りました。角錐ホンはその工作精度さえ正確ならばその利得を正確に計算で求めることができます。このホンをある仰角で空へ向けるために土手の斜面にもたせかけて設置しました。そして地球の自転を利用して一日に一回びったりとそのアンテナの指向方向を通過する、ある電波星のフラックス(到来電波の強さ)を測定したのです。これを絶対測定といいます。

そして、以後はすべてこの電波星のフラックスをもとにして、この何倍になっているか何分の一かということで、他の電波星電波の強さを次々と決めていったということです。これを相対測定といいます。そして大抵の電波星強度は相対測定で求めたものとさらに比較しての相対測定ということになっていました。私たちが本当に欲しいのは4GHzと6GHzの周波数でみた電波星電波の強さです。当時、この周波数帯での絶対測定はもちろんのこと、相対測定すらもまだなかったのです。カシオペアAにしてもタウラスAにしても他の低い周波数で測定した相対測定の値を線で結んで4GHzと6GHzまで伸ばしてあったものを使っていたわけです。しかも電波星は図4や図6のように完全に一点ではありません。この広がりによる誤差も、わずかですが計算で補正する必要がありました。

そんなところから、あるいは私たちの測定の方が正しくて、天文学者の推定値の方が間違

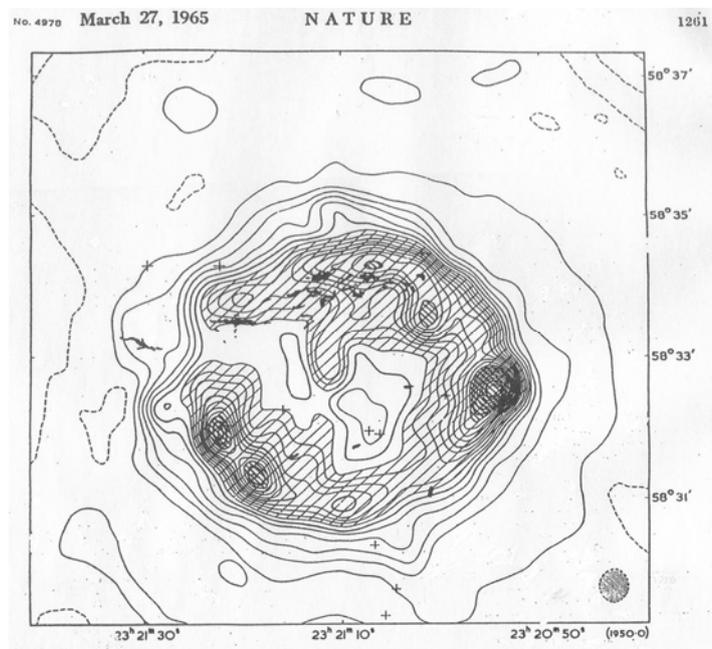


図5 カシオペアAの輝度分布

っている可能性も多分にあったわけです。いまさら大角錐ホーンを土手に据え付けるのもくやしいし、経済的にも大変なことです。それに石尊山から電波を出して測定した我々の方法も、諸外国のアンテナ測定法と同じですし、まだ、簡単には捨て難いものがありました。

きっと、天文学者の推定が間違っているにちがいない。アンドロメダ星雲までの距離にしても、長い間68万光年と信じられていたのが、バーデ等の新しい観測や考え方によってその二倍以上の150万光年ということになり、これを基準に計っていた宇宙の広さも一気に二倍になったという話もあるではないか、ことによったら電波天文学上の大発見かも・・・といった影の声もありました。

それにしても衛星往復の電波が弱すぎるのは厳然たる事実です。果たして真犯人はどこに？というわけで、次のホシはアンテナの指向精度にむけられました。

この頃すでに大口径アンテナ自己追尾装置の開発が着着と進められていましたが、私たちはさらに、その実用化を急ぐとともに、アンテナの指向誤差を特に高精度で系統的に見出す新測定法を考えて、再び電波星の電波を受信することにしました。

この時に使った星は、カシオペアA、タウラスA、白鳥A、バーゴA、オリオン星雲、オメガ星雲、サギタリウスAなどです。何日も何日もかかって測定したこれら電波星の観測値から、大アンテナ指向誤差のマップを作りました。これによると、方向によっては少しの誤差もありますが、やはり決定的という程のものはないのです。とにかく、これらの誤差を補正したうえで、もう一度衛星を介しての実験を行なってみました。問題はやはり解決しません。真犯人は別にいるという結論です。どうしても「鶏が先か卵が先か」のアンテナ利得測定に再び挑戦せざるを得ない羽目になりました。

8. 親子アンテナ

ここで私たちは、もう一度原点に戻って考えることにしました。そして――人工衛星――これこそ正に私たち人類が作った電波星ではないか、ということに改めて思いをよせたのです。しかし、この衛星は、特に当時は、その電波強度も時々刻々変動しているし、中高度衛星ですから、衛星までの距離もどんどん変化しています。ところが、やってくる電波の強さは電波星のそれにくらべるとはるかに強大です。この点に着目すれば、つまり、電波を受けるだけならば、通信を目的としないならば、口径2m位の小さなパラボラアンテナでもなんとか受信できるはずで。

このように小さなアンテナだと従来の技術でも非常に正確に利得を測定できるのでこの特性のわかった子供アンテナと大型の親アンテナを同時に衛星に向けて、両者の出力を切り替えながら受信をすれば、大きい方が小さい方の何倍で受信できたかで親アンテナの利得がわかるはず、これは最も信頼度の高い測定法です。うまい具合に、カセグレナアンテナでは副反射鏡の裏側に、ちょうど、この子供アンテナをとりつける場所があります。ここに子供アンテナを設置して親子ともども一体として衛星を追尾することにしました。測定誤差が入らぬように自慢のラジオメータを駆使して、いろいろと工夫をこらし、念には念を入れて測ってみました。測定精度は0.1dBでした。そして、この方法によって遂に大口径アンテナの利得を正確に知ることができたのです。やはり大口径アンテナの利得が所定の値をかなり下回っているということは動かしがたい事実となりました。

アンテナの性能改善の話は、後の話にゆずるとして……

電波星の電波強度がわかってしまえばそれ以後の測定はもうしめたものです。先に挙げた三つの電波星のうち、少なくとも一つは世界中どこからでも、何時でもみることができます。KDDIは、この電波星を使う測定法をインテルサットの技術委員会を始め、CCIR(国際無線

通信委員会)へ提案しました。諸外国でも地球局アンテナの測定法に関心をもっていた矢先でもあったので、話はとんとん拍子にすすみました。

そしてこの電波星を用いる私たちの測定法が地球局大口径アンテナの国際的な標準測定法となったのです。

9. 聖夜の実験

さて、前に述べた測定によって、大口径アンテナの利得はこれまでに照準塔からの電波で測定した値より4GHzは約2dB、6GHzでは約 2.5dB も低いことがわかったのです。地球局アンテナの性能が設計値を大きく下回っていた。これは大変なことになりました。

私たちは、まずこのアンテナの位相焦点、すなわち、アンテナの中心にあって電波を集める一次放射器の設定位置に着目しました。つまり波動光学的な焦点を実験的に探してみようと考えたのです。ところが、中高度衛星による実験時代、日本から衛星が見えるのはほんのわずかな時間です。このわずかな時間を利用して各種の通信実験が山積していました。

なにしろ静止衛星による衛星通信の実用化がすぐ目の前に迫っていて、各種の機器がこのための改造直前にあり、最後のデータとりに全力をあげていた時期だったのです。それで、アンテナだけの研究のために何度もアンテナを一人占めにするには許されませんでした。

凍てつくような星月夜、それは 1965 年のクリスマスの夜でした。そして、ちょうど週末でもあったのです。この日ばかりはすべての衛星実験が休みです。この時を狙ってKDDのアンテナ研究者たちが大口径アンテナのもとに集まってきました。このアンテナでもって、電波星カシオペアAの電波を受信しながら、一次放射器のホーン位置を動かして、アンテナ焦点の最適設定点を見つけようというわけです。

アンテナ塔上で寒さに震えながら、いろいろと苦労して重い一次放射器の位置を少しずつ移動して設定する人々、コンピュータ・ガイドでアンテナを静かに駆動する人、ラジオメータの出力をじっとにらむ人・・・、

この実験で、始めのうちはあまり変化が見られなかった星の電波があるところから少しずつ強く受かり始めたのです。アンテナの利得上昇です。

すごい感激！！

アンテナの搭上で小躍りする人もいました。

そして、東の空が白みかける頃、このアンテナの利得が、なんと当初の設計値をかなり上回ったのです。その時、長さ 87cmのホーンは1m40cmも前へ出ていました。

この実験はまさにカセグレンアンテナの核心を突いたもので、アンテナ改善の立場からも実にいろいろの新しいことがわかりました。そして、この頃から日本におけるカセグレンアンテナの本格的な研究がKDD、アンテナ製造メーカー等を中心に、ものすご

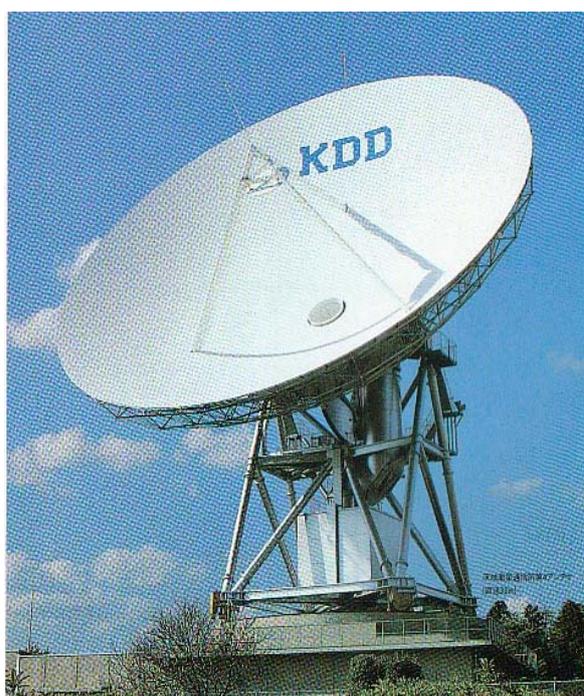


図6 地球局アンテナ：茨城衛星通信所
(1992)

い勢いで進みはじめたのです。

10.世界の頂点に立つ日本の地球局アンテナ

それから5年くらい後、各国の衛星通信用地球局アンテナはほとんど総てが日本と同じ形式のカセグレンアンテナとなりました。今では世界中に随分と沢山の地球局がありますが、大・中ともに、その3分の2以上は日本製であるといわれています。

下記の表は実験用の地球局ができてから20年の間にKDDが作ってきた地球局アンテナの特性と新技術の適用を示したものです。少し専門的になりますが、この表から当時のKDDでは、メーカーの協力を得ながら、アンテナを作るたびに新技術を導入してきたことがお分かり頂けると思います。

完 成 年 月		1963.8	1966.5	1968.1	1969.5	1971.8	1980.8	1983.11
地球局(アンテナ 開口径)		茨城第1 (20 m)	茨城第1 (22 m)	茨城第2 (27.5 m)	山口第1 (27.5 m)	茨城第3 (29.5 m)	山口第2 (34 m)	茨城第4 (32 m)
4 GHz 帯	帯域幅 (MHz)	130	130	500	500	500	575	800
	能 率 (%)	30 (60)	61.9	62.0	75.3	66.9	80.2	80.3
6 GHz 帯	帯域幅 (MHz)	130	130	500	500	500	575	875
	能 率 (%)	21 (?)	55.3	64.2	71.5	60.5	82.8	74.8
ニアフィールド給電								
副反射鏡のみ鏡面修正								
主・副反射鏡々面修正								
コルゲートホーン使用								
ビーム給電							(改良形)	(改良形)
直交偏波給電								
広帯域給電								

表 地球局アンテナの性能と新技術の適用

なお、この表の中で、茨城第1(20m)の能率が(60)とあるのは上記、聖夜の実験結果によるものです。1966年の茨城第1は実験用アンテナの一次放射器をニヤフィールド型として置き換え、またその開口径も22mに拡大して、とりあえずは、1966年からの実用化に対応しました。それから後は衛星通信の発展と共にアンテナも次々に改良がなされて行ったのです。

参考文献

横井 寛“宇宙通信よもやま話—アンテナと電波の研究開発物語—“ポピュラーサイエンス、裳華房、1997