

衛星電波の方向を測る

情報通信研究機構
鹿島宇宙技術センター
川瀬成一郎

電波の方向を測るといって、多くの方々には、電波伝搬やシンチレーションに関しての方向変動が思い浮かぶのではないだろうか。けれどもここでいう“方向”とは、衛星の居る場所、つまり軌道の測定を指すもので、そういう測定にこれまで係わってきた小さな体験談をここに綴ってみたい。

静止軌道に、世界各国の通信衛星が投入されて混雑するようになったことから、軌道と電波の利用状況を監視する活動が我が国でも1990年代の末に始まった。その活動に役立てようと、軌道の測定を引き受けることになったのだが、そのためには、衛星の電波を受けて精度よく方向を測らなければならない。

衛星の方向を測るにはふつう、パラボラアンテナで追尾をしてAZELをよみとる。1970年代に、初のCS衛星による実験が始まったとき、筆者は当時の電波研・鹿島支所において、最新鋭のKa帯13mアンテナが追尾するAZELデータを、軌道の決定に結びつけるという課題をうけていた。実際にAZELデータを軌道解析にかけると、さまざまな誤差があらわれる。アンテナの機械駆動にともなう誤差だけでなく、アンテナ鏡面に日があたると温度分布によって変形がおきり、さらにアンテナをのせた建物も、日があたると歪んで傾いて誤差をおこす。どれも普段は気にしないような、わずかな変化だが、軌道決定からみれば大きな誤差としてはたらく。アンテナによる精密追尾がいかにか難しいか、痛感したものであった。その後、CSが実用化へ移行するにあたり、房総方面に新設された管制センターでは、方向追尾のための専用アンテナを導入した。そのアンテナは上記のような誤差を防ごうと、送風機でアンテナ鏡面や建物に気流を送って、温度を均一に保つように仕組んだ結果、軌道決定の精度を確保できた。いわば力づくで誤差をねじふせたといってよい。

その後、縁あって90年代のおわりに再び、衛星の方向測定を扱うことになったのだが、力でねじふせる発想はもういい。ちがう方法を考えて、電波干渉計というものに着目した。干渉計は、小型アンテナ二つで電波を受けて、位相差から方向を割り出す。電波伝搬の分野では古くから色々な報告がある。ところが位相の測定には必ず、360度×N倍という不確定さをともなうので、絶対的な方向が決められない。それを解決しようとする、アンテナをたくさん並べなければならない。監視の目的上、衛星電波が混みあうC帯とKu帯の二波をどうしても受ける必要があるが、たくさんのアンテナに二波を共用させるのは大ごとになってしまう。

そこで、アンテナは二つだけにして、位置を動かすことを考えた。図1のように、水平アームの両端にアンテナをのせて一周させたなら、アームの長さBをコンパスにして描いたパラボラと同等な分解能をもって、方向を割り出せるであろう。実際に、電波天文学で使っている大規模な電波干渉計では、アンテナがレールの上を走って配置を変えるようなものが存在する。しかしながら、図の形式のままでは問題があって、アンテナから局内へ引き込むケーブルがアームと一緒にねじれるため、位相の精度を失いかねない。また、アンテナはたとえ小型でも、二波を持てば重くなって、それをアームの端にのせるのは機械設計上、感心しない。

ならば、形式を図2のように直して、アーム上には平面反射板をのせ、もう一对の反射板を地上に置い

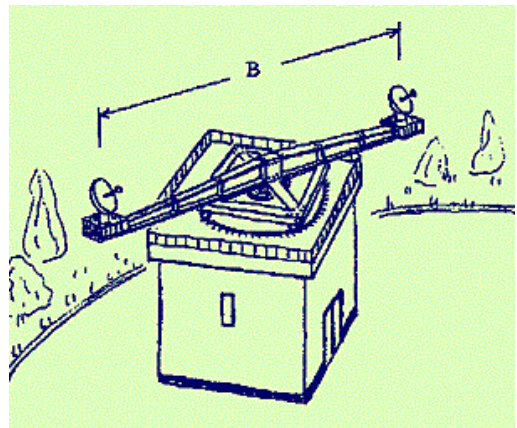


図1 可動式の干渉計（原理）

て電波を導けば、アンテナを固定したままで同じことができる。地上に置くほうの反射板を傾けると、周波数帯も切り替えられる。こうして、衛星の軌道を測る干渉計が、写真のような外観になって出来あがった。平面反射板はその昔、マイクロ波回線が実用化されたころ、山陰やビルのうしろへ回線を引き込むために使われたそうで、かつてそういう反射板を扱ったというベテランの方が見えて、こんな使いみちが反射板にあったのですか、と感慨深そうにしておられたことがあった。

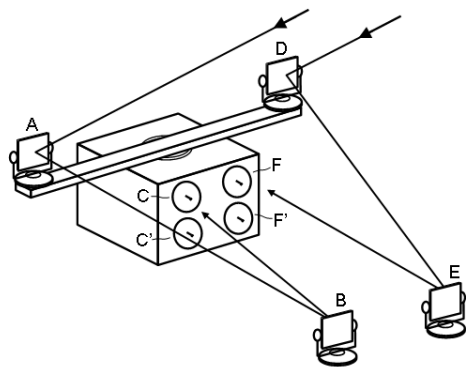


図2 反射型の干渉計
A→B→C, D→E→Fと電波を導く。
C', F'は別の周波数帯用

写真 C/Ku帯 可動基線干渉計
アーム長 13m, 反射板 2m×2m
固定アンテナ径 1.8m

装置は次のように働く。まず、受信ビームがターゲット衛星に向くように、反射板の角度をセットする。ターゲット信号としては、C/Ku帯から任意のビーコン、または帯域をもつ通信信号を選ぶ。ビームが向く状態を保ちながら、アームの方位をステップ状に進めて信号の位相を測り、これをくり返して一周する。運転は自動ですすむように、アームや反射板の回転、RF系の設定、データの収集を指示する一連のコマンドを事前に用意して、それを実行する。

一周測定は初めに一回おこなえばよい。そのあとに続く測定では、アームは毎時1回、90度はなれた二方位のあいだを往き来しながら位相を測り、そのつど衛星の位置が推定される。半日ないし1日分の位相データが集まると、軌道6要素も推定される。

可動アームを使った設計には利点がある。アームは回転軸のまわりに重量が釣り合うので、小さなモータでもスムーズに動く。保守点検の際にはアームのギヤにハンドルを差し込んで、手回して送ることが多い。ハンドルは手のひら大で、それを指1本で楽にまわしてアームを送れる程で、そのぶん機械精度も得やすい。アームの長さは夏冬の気温に応じて4mmの伸び縮みをするが、その影響は、温度計を参照してデータ処理のなかで補正する。大口径のパラボラアンテナが相手であれば、熱変形の誤差補正はとても難しいであろうが、1次元の伸び縮みなら補正はわけない。結果として、どの衛星でも区別なく、1千分の3~4度という精度で軌道位置をいつでも測れるようになった。装置の製造をお願いしたメーカーの皆様には、参照できる先例がない中で、設計から組立、試験に至るまで色々苦心しながら尽力いただいたことを、改めて深く感謝したい。

干渉計は現在も稼働中で、静止軌道のなかで特に混雑する箇所について測定をおこない、随時データを行政官庁に提供している。今後は、軌道6要素の収集に主眼が移って行きそうで、その軌道要素は、不要電波が衛星に干渉を与えたような場合、干渉原を逆トレースするために役立つとされている。

思い返せば、衛星の方向追尾というテーマをもらったのが1970年代、その20年後になってようやく、納得のいく答案をだすことができた。■