

# 天文広域精測望遠鏡 (VERA) アンテナの 超高精度のひみつ

VERAとは「VLBI Exploration of Radio Astrometry」の略称で、相対VLBIという手法を使って銀河系内のメーザー源の位置をこれまでより100倍高い精度で三角測量し、銀河系の3次元地図を作る計画です。国立天文台を中心に、多くの大学や研究所からもさまざまな分野の研究者が参加して計画が進められています。VERAはVLBI(超長基線干渉計)という電波干渉計の一種で、日本列島の4か所(水沢、入来、小笠原、石垣島)に設置された直径20mの電波望遠鏡を組み合わせることで、直径2300kmの電波望遠鏡に相当する分解能を得ることができます。これにより、月面上の1円玉の見た目の大きさに匹敵する位置測定精度が得られます。



VERAの大きな特徴は、相対VLBIという特殊な観測手法に特化されている点にあります。通常の観測では大気ゆらぎのために天体の位置を正確に測定できませんが、VERAでは近接する2つの天体を同時に観測することで大気ゆらぎを打ち消し、位置の精密測定を可能にします。VERAでは近接する2つの天体を同時に観測できる「2ビームアンテナ」と、その焦点に配置された2対の受信機を使って、最大2度離れた天体を同時に観測し、相対VLBI観測を効率よく行います。このような2ビームアンテナは世界でも初めての試みです。この電波望遠鏡の紙模型を作りつつ、その超高精度の秘密について探ってみましょう。



**石垣島局の20m電波望遠鏡**  
直径20mのアンテナは鏡面の誤差が $250\mu\text{m}$ 以下に保たれ、43GHzまでの電波を有効にとらえることができます。重量は380tで、台風銀座の石垣島への設置に備え耐風速は $90\text{ms}^{-1}$ としてあります。

**2ビーム受信機**  
2つの天体を同時に観測するために22GHzと43GHz用には1対の受信機が搭載されており、さまざまな天体のペアを観測できるように1対の受信機の位置を3次元的に調整できます。また、天体の日周運動による画角の回転を補正するために架台ごと回転します。



解説・紙模型設計・製作指導: 阪本成一@国立天文台

(c) 国立天文台

# 親子で作るVERAアンテナ紙模型 熟練者コース(作り方-1)

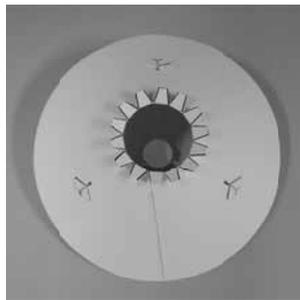
材料と道具：カッター、のり(木工用ボンドがよい)

1. 準備：ケント紙のような厚手の紙に3枚の型紙を、外枠が17cm×26.5cmとなるようにコピーし、太い線に沿って切り、33点の部品とする。なお、名前に\*印のついた部品(9点)については時間に制約がある場合には省略できる。太い線のところに切り込みや穴を開け、二点鎖線を山折り、破線を谷折りにする。



↑切り取りと折り曲げが完了した部品のようです。

2. フィドームの組立：フィドーム側部を丸めて作り、頂部を内側から取りつけて富士山のような形にする。
3. 副鏡部の組立：副鏡を爪などでしごいて凸面にする。三角柱状の副鏡駆動部の先端に副鏡を取りつけ、副鏡駆動部を三方から包み込むように副鏡ステーをのりづけして、やぐら状の構造とする。やぐらを立てたときに副鏡は下向きになることに注意。
4. 主鏡部の組立：印刷面が凹になるように組み立て、3つの溝に副鏡ステーの足を差し込み、裏側からのりづけする。



5. 主鏡支持構造の組立：印刷面が凸になるように組み立て、主鏡支持構造最外周の、主鏡側と書かれた方と反対側を、のりしろの継ぎ目の部分が一致するようにのりづけする。
6. センターハブ・受信機室の組立：受信機室側部を丸めて作り、仰角軸を内側から通してのりづけする。下側(仰角軸に近い方)に受信機室底部を、また、仰角軸より少し上にセンターハブ底部を、写真を参考にのりづけし、その後、上側に受信機回転台基部をのりづけする。受信機回転台に可動式受信機台をM字型に取りつけ、回転台の4箇所をベロを下に折り曲げて、それを受信機回転台基部の穴にはめ込む(のりづけしない)。センターハブ側部を丸めて作り、頂部をのりづけし、受信機室の上部にかぶせてセンターハブ底部にのりづけする。
7. セクタギアの取付：2枚のセクタギアを貼り合わせ、受信機室の側部とセンターハブの下部にのりづけする。
8. 架台部の組立：下部機器室を底のない箱型に組み立てる。2階部分には仰角駆動部を取りつける。架台部は正面側(型紙の左側)以外を組み立てた後、架台部1階部分のマークのある場所に下部機器室をのりづけする。2階部分は、まず前縁を架台部正面ののりづけ箇所に取りつけ、最後に架台部の正面側を組み立てる。仰角駆動輪をくさび形に組み立て、架台部1階部分の四隅のマークのある部分の裏側に下向きに取りつける。
8. 基礎部の組立：方位角軸を基礎部の中心にのりづけする。



↑部位ごとにほぼ組み立てが完了した状態。

(c) 国立天文台

# 親子で作るVERAアンテナ紙模型 熟練者コース(作り方-2)

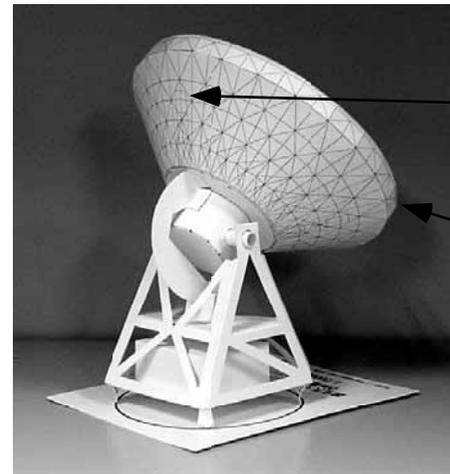
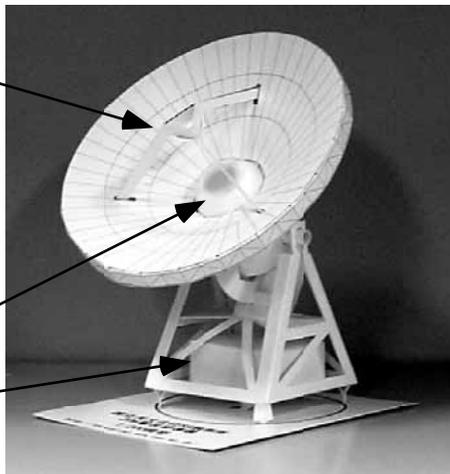
9. 全体組立：受信機室の仰角軸を架台部の仰角軸受に通し(のりづけしない)、さらにセクタギアを架台部の仰角駆動部の溝にはめ込む。主鏡部と主鏡支持構造を、副鏡ステーの付け根と主鏡支持構造の副鏡支持柱の位置が一致するようにのりづけし、一体の主鏡構造とする。この主鏡構造を、センターハブ上部に、4つの溝に糊がつかないように注意しながら、副鏡ステーが正面から見たときに逆Y字型となる向きに取りつける。フィドームの4つの爪をこの4つの溝にはめ込む(のりづけしない)。電波望遠鏡を基礎部の上へのせれば完成。



副鏡ステーは正面から見たときに逆Y字型となる。

フィドームはのりづけしない。

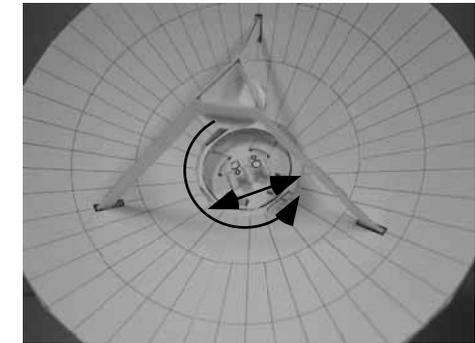
架台部は2階部分が凹んでいる方が正面。



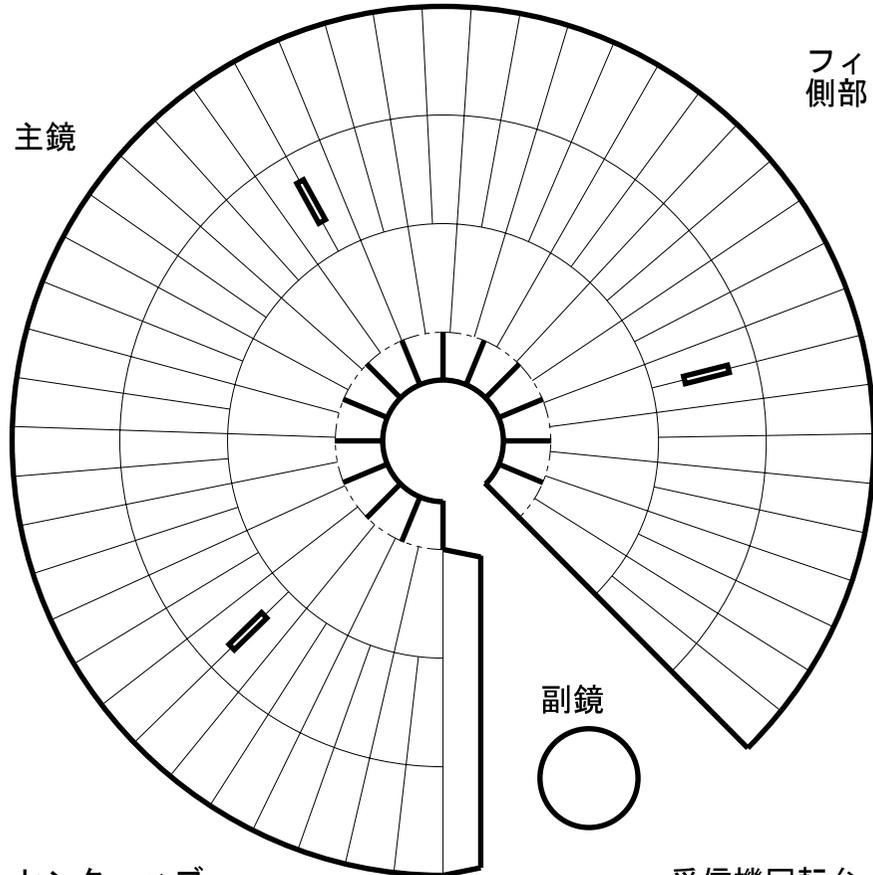
副鏡支持柱も、うしろから見たときに逆Y字型となる。

主鏡支持構造とその最外周は8本の支柱が1箇所で交差する。

フィドームを取り外すと可動式受信機台にのった2ビーム受信機が見え、受信機の間隔を変えたり、受信機を回転させたりできる。

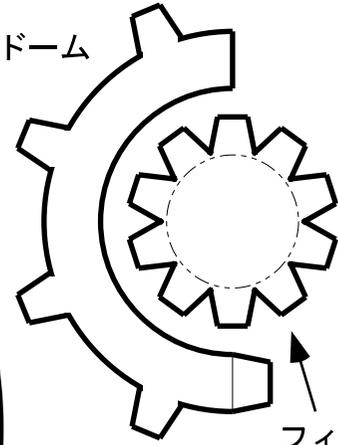


# 親子で作るVERAアンテナ紙模型 熟練者コース (1/3)



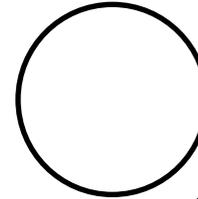
主鏡

フィドーム  
側部

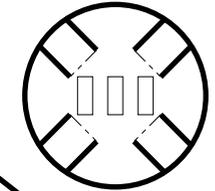


フィドーム  
頂部

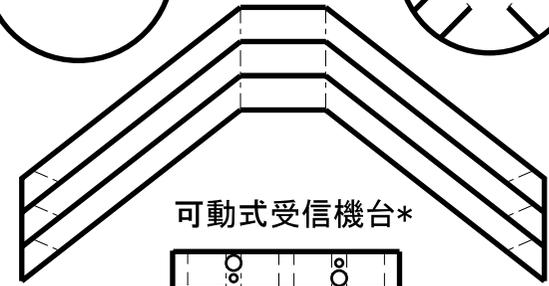
受信機室底部



受信機回転台\*



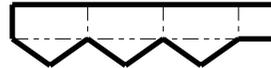
副鏡ステー



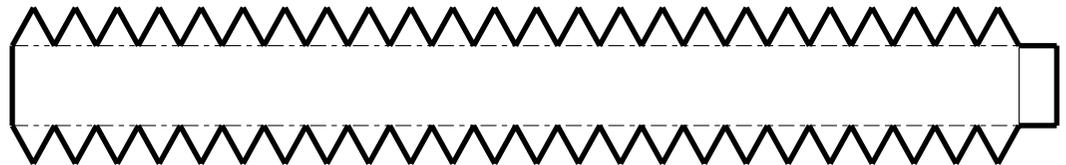
可動式受信機台\*



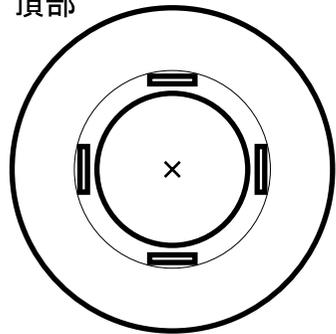
副鏡駆動部



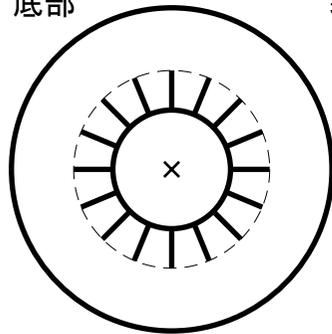
センターハブ側部\*



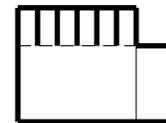
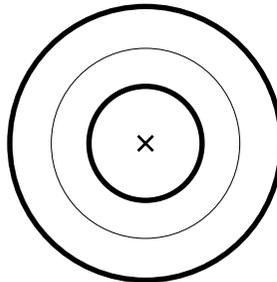
センターハブ  
頂部



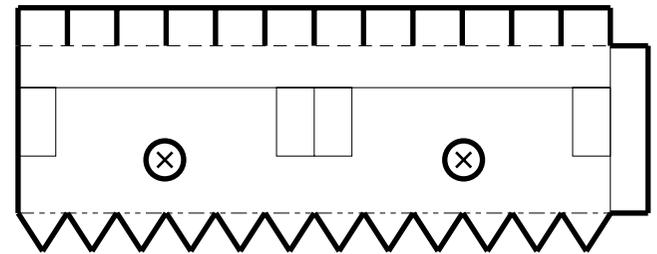
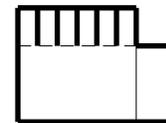
底部



受信機回転台  
基部\*

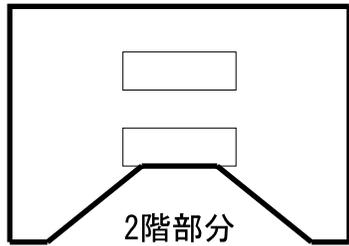


仰角軸

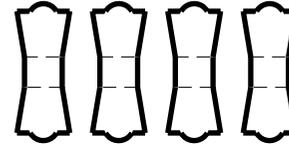


受信機室側部

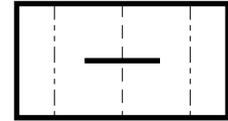
# 親子で作るVERAアンテナ紙模型 熟練者コース (2/3)



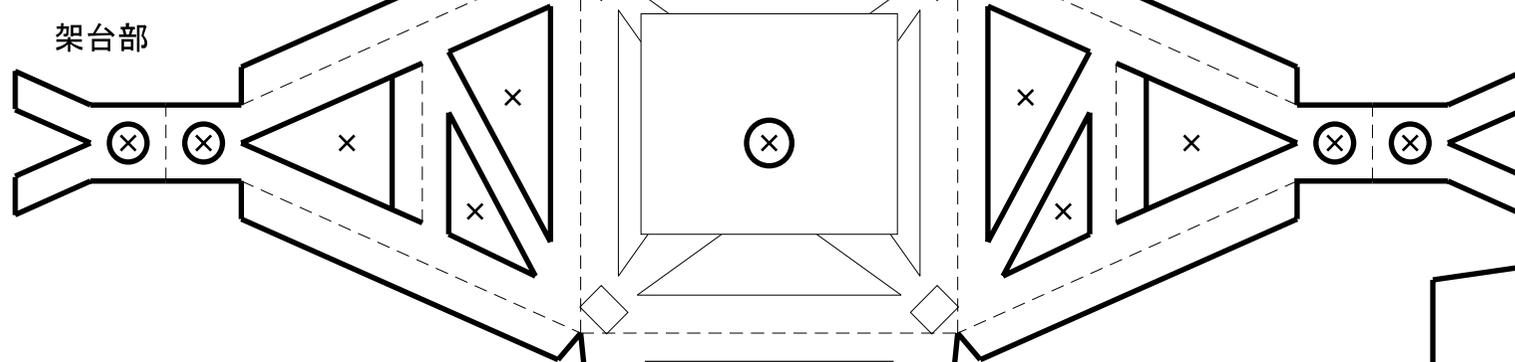
方位角駆動輪\*



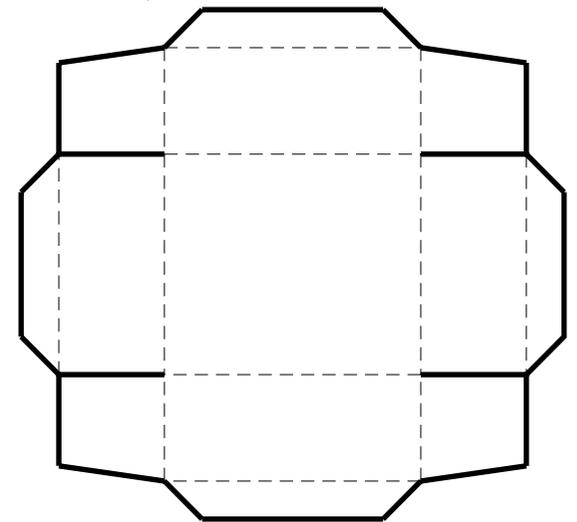
仰角駆動部



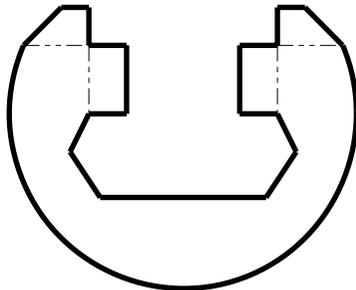
架台部



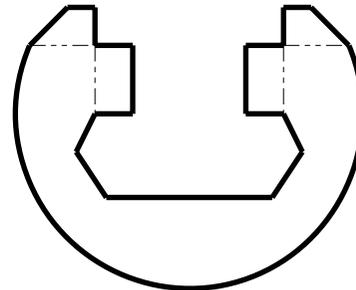
下部機器室



セクタギア



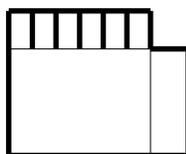
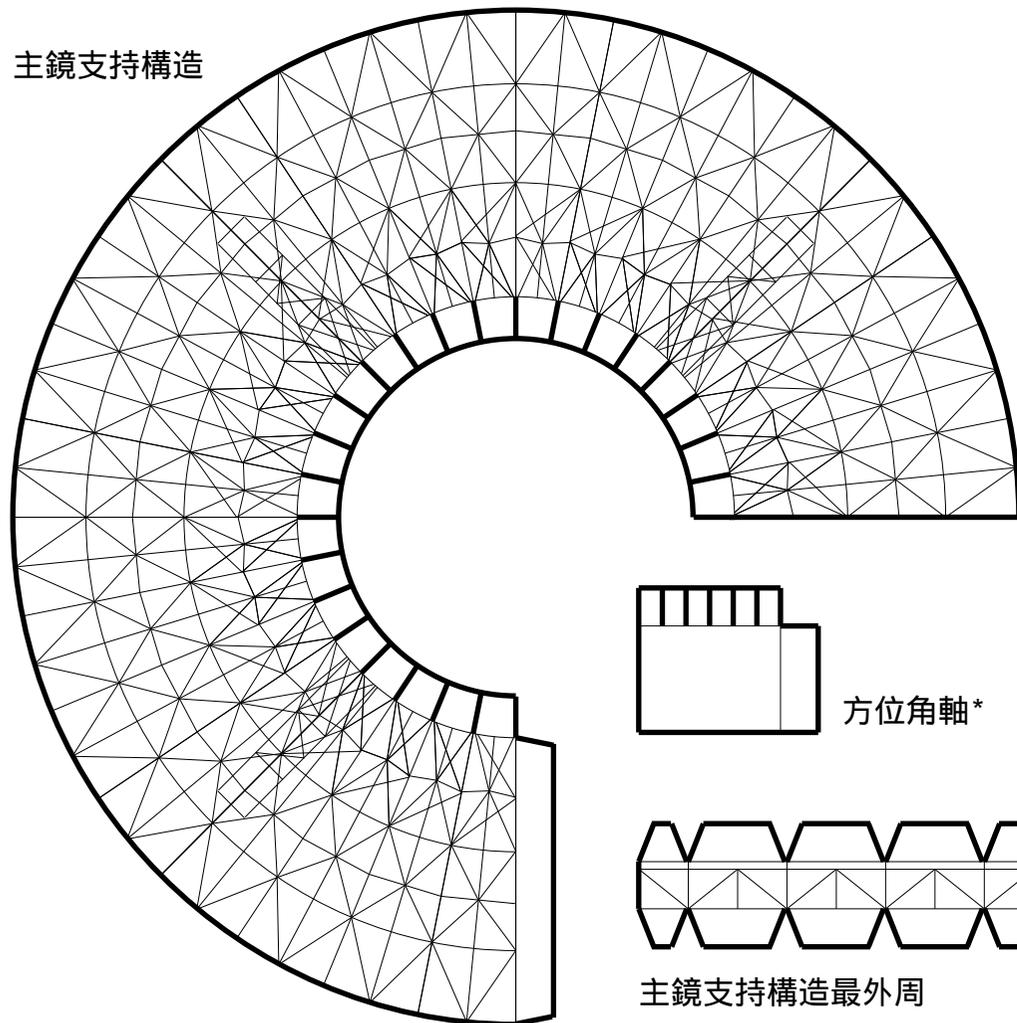
セクタギア



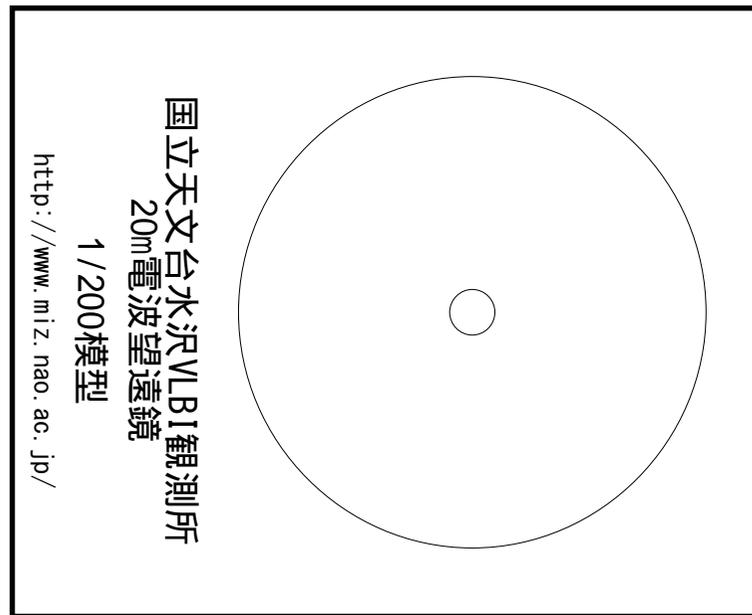
# 親子で作るVERAアンテナ紙模型 熟練者コース(3/3)

基礎

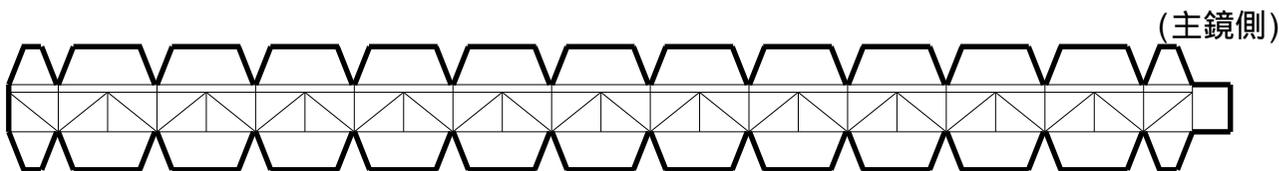
主鏡支持構造



方位角軸\*

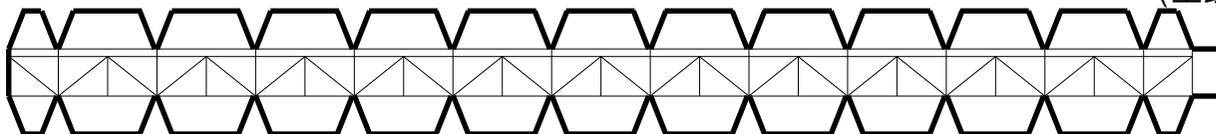


国立天文台水沢VLBI観測所  
20m電波望遠鏡  
1/200模型  
<http://www.miz.nao.ac.jp/>



(主鏡側)

主鏡支持構造最外周



(主鏡側)

# 望遠鏡豆知識

## 星のまたたきを止める

ハッブル宇宙望遠鏡など宇宙にある望遠鏡と違い、VERAやすばる望遠鏡やALMAなど地上に設置される大型望遠鏡は、地球大気による吸収(減光)と、大気のゆらぎの影響を受けます。大気のゆらぎは星のまたたきやかげろうの原因となり、そのままでは得られる画像がぼやけたり、天体の位置が不正確になったりするため、地上の大型望遠鏡ではこの影響を取り除くためのさまざまな工夫(位相補償法といいます)が凝らされています。その代表的な方法について、VERAの例も取りあげながら紹介します。

### 1. 星のまたたきを直接検出して補正する方法

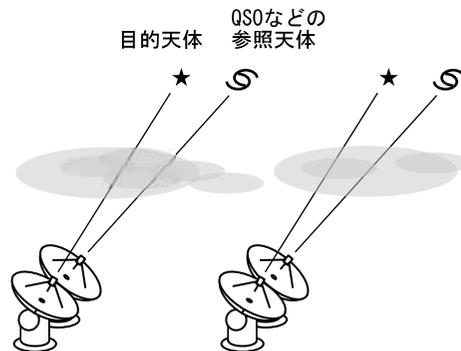
#### 1.1 セルフキャリブレーション(自己較正)法

望遠鏡の視野の内に十分に小さくて明るい参照天体があり、星の像がゆらぐ速さよりも短い時間でその天体を観測することができれば、この天体を基準として星のまたたきの効果を取り除くことができます。

すばる望遠鏡などに採用されている波面補償も、視野内のガイド星を利用して同様の原理で行われています。

#### 1.2 ペアアンテナ法

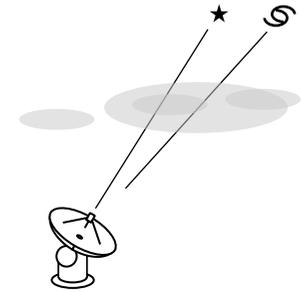
通常は視野内に十分に小さくて明るい天体があることは多くありませんが、2台のアンテナを対として使い、片方で目的天体を観測し、残り近くにある参照天体を観測すれば、同様の効果を得ることができます。VERAでは1台のアンテナに



2つの受信機を搭載し、独立に制御して2天体を同時観測することで、同様の効果を得ています。

#### 1.3 ファストスイッチング法

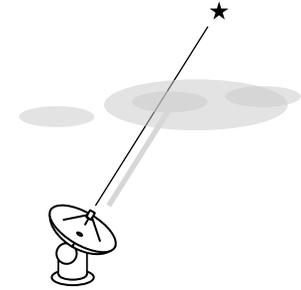
ファストスイッチング法では1台のアンテナで2つの天体を高速に切り替えて観測することで同様の効果を実現します。ALMAではこの方法とラジオメータ法(下記)が併用されます。ALMAでは非常に高い周波数で観測するため、その周波数で十分に強い参照天体の数は非常に限られます。そこで、参照天体を100GHz程度の低い周波数で観測し、得られた星のまたたきの量をもとに観測周波数でのまたたきの量に変換して補正する方法も採用します。



### 2. 位相ゆらぎを推定して補正する方法

#### 2.1 ラジオメータ法

電波観測において星をまたたかせる主な原因は水蒸気なので、何らかの方法で水蒸気量ははかることができれば、星のまたたきの効果を取り除くことができます。183GHzや22GHzにある水蒸気の輝線の放射強度や10μm付近の赤外線放射強度などが水蒸気量の推定のために利用されています。



### 3. 位相ゆらぎを補正しやすくする工夫

多素子の電波干渉計の場合には大気のゆらぎの効果を補正しやすいアンテナ配列(例えばアンテナ基線の冗長度をわざと多くした配列)を採用する場合があります。

(c) 国立天文台