

～たくさんのアンテナをつないでひとつに～ 電波干渉計のしくみ

動画版



大きな望遠鏡であれば、より暗い天体も見え、解像度も高まります。しかし、方向を変えたり構造を支えられる大きさには限界があります。そこで考え出されたのが「たくさんの望遠鏡をつなぎ合わせてひとつの望遠鏡を構成する」という仕組み。これが「電波干渉計」です。

望遠鏡が1台の場合

図1のようなアンテナ1台からなる電波望遠鏡（単一鏡）は、宇宙の一点一点を観測して電波強度を描き出すことで、天体の構造を明らかにします。この「点」の大きさが**望遠鏡の解像度 θ** で、**観測波長 λ** と**望遠鏡の直径 D** の比で決まり、 **$\theta \approx \lambda/D$** で表されます。しかし、一つの視野の中でどこから電波が来ているのかはわかりません。

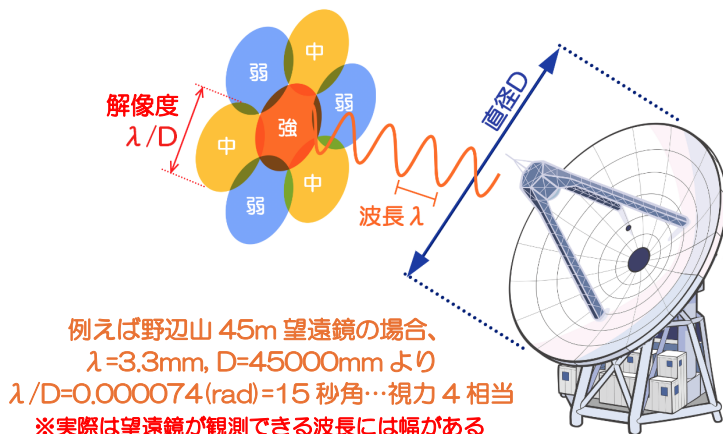


図1. 1台の望遠鏡では向きを少しずつ変えてマッピングする

望遠鏡が2台の場合

図2のように2台のアンテナで同じ天体を見ます。もし観測する天体が2台のアンテナの真正面にあれば、その天体からやってくる電波は2台のアンテナに同時に届きます。

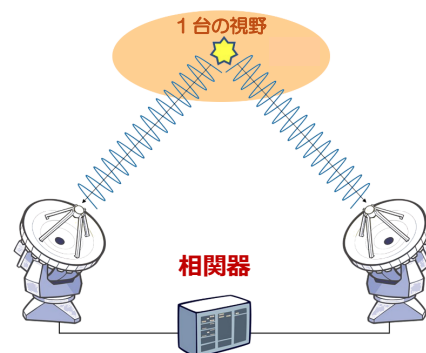


図2. 2台のアンテナの真正面に天体がある場合

図3のように天体が少し傾いた方向にあれば、電波がアンテナに届く時間がずれます。右のアンテナには少し遅れて届くとすると、アンテナの間に直角三角形ができます。このとき、**辺Aの長さ**は「**光の速さ×電波の到達時間差**」で求められます。そして**アンテナ間の距離L**は測ることができます。2辺の長さがわかれば、三角関数を使って**角度E**が計算できます。この角度Eは、アンテナから見た天体の方角に相当します。

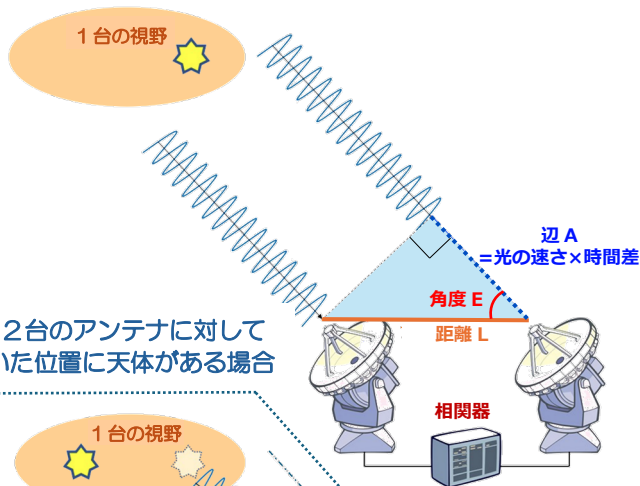


図3. 2台のアンテナに対して少し傾いた位置に天体がある場合

図4のように、天体の位置が図3とは少し違うところにある場合、2台のアンテナに届く時間差が少しだけ変わります。すると直角三角形の形が少し変わり、角度Eも**E'**に変化します。つまり、2台のアンテナに到着する電波の時間差を測れば、一つの視野の中で電波を出す天体がどこにあるかを見分けられる、ということになります。2台のアンテナからの信号を受け取って、比べて、時間差を測っているのが、**相関器**です。

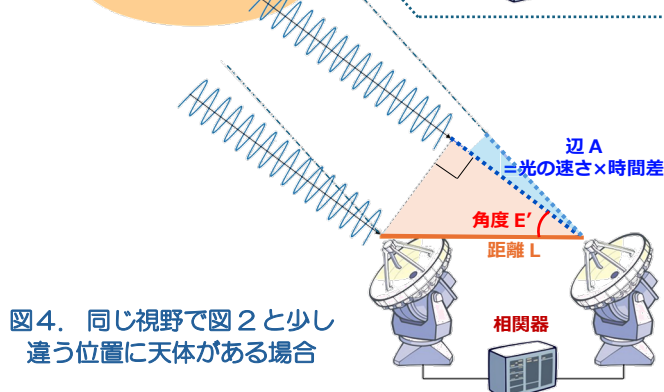


図4. 同じ視野で図2と少し違う位置に天体がある場合

台数を増やせば画像は鮮明に

～たくさんのアンテナをつないでひとつに～ 電波干渉計のしくみ
Credit: 国立天文台, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

図 5 のようにアンテナ A と B の正面に高さの異なる天体があった時、電波は A と B に対して同時に届きます。つまり、電波の到達時間では高さの違いが見分けられないことになります。これを解決するには、3 台目の望遠鏡 C を置きます。すると、アンテナ A と C で見れば時間差が生まれて、直角三角形ができます (B と C のペアでも良い)。このように天球上のどの方向から電波が来ているかを求めて、電波の地図を作っているのです。

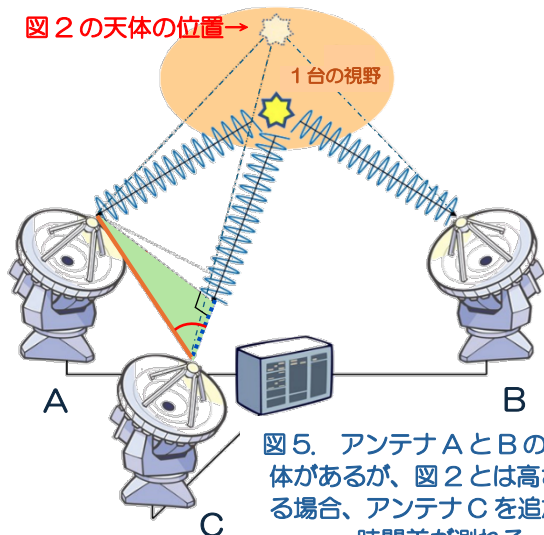


図 6. アンテナ台数を増やしたときの観測画像の変化 (左から 3 台, 10 台, 30 台)

さらに台数を増やすと、図 6 のように複雑な形の天体をはっきりと映すことができます。できるだけ多くの方向のアンテナペアで時間差を測ることにより、より鮮明な電波写真をつくることができます。

離して木を見て、縮めて森を見る

アンテナ同士をより遠くに置けば、より小さな時間差を測ることができるため、わずかな天体の位置の違いも見分けられます。これは、解像度が上がるということです。しかし、アンテナ同士の間隔を広げると、ぼんやりと広がった天体が見えなくなります。広がった天体を見るときは、アンテナ同士を近づける必要があります (図 7)。

南米チリにあるアルマ望遠鏡は、最大 16km まで展開できるアンテナ 50 台 (欧米製) と、写真 1 の手前に見える密集したアンテナ群 12 台と単一鏡 4 台からなる愛称モリタアレイ (日本製) を組み合わせることで、広がった天体から高解像度まで観測できる幅広い性能を持たせています (図 8)。最高解像度は野辺山 45m 電波望遠鏡の 3000 倍、**視力 12000 相当**を誇ります。



写真 1. 南米チリにあるアルマ望遠鏡 (標高 5000m)
Credit: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), A. Marinkovic/X-Cam

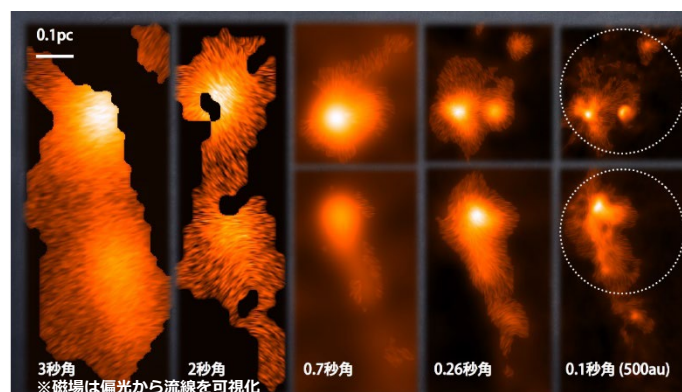


図 7. 大質量の星形成領域。右に行くほど解像度が高い。低解像度では全体を包みこむ磁場が見え、高解像度では星が生まれる核にガスが流れこむ様子が見える。Credit: Koch et al.

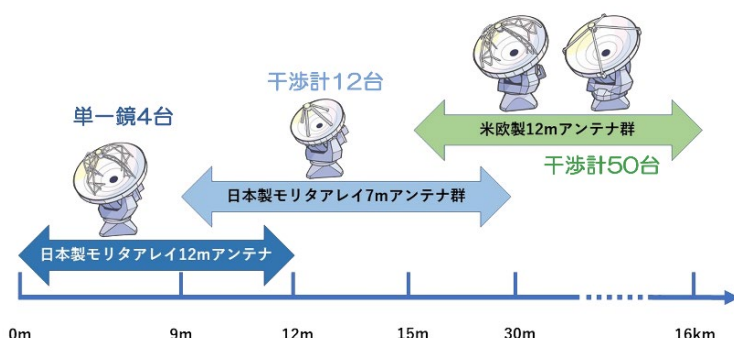


図 8. アルマ望遠鏡 全 66 台のグループ別のアンテナ間距離