

## 電波干渉計による画像作製と CLEAN

杉江 剛典 (近畿大学大学院 総合理工学研究科)

## Abstract

電波望遠鏡で受信した電波から画像を得るまでの過程を大まかに説明する。その後実際の観測データを用いてシュミレーションソフト CASA で解析を行った結果について報告する。さらに現在行っている観測データの CLEAN についても触れる。

## 1 Introduction

電波望遠鏡には単一鏡と干渉計の 2 種類が存在する。このうち干渉計について述べる。干渉計はたくさんのアンテナを用いて天体からの電波を受信する。その後相関器から作られたデータを元にビジビリティを求め、逆フーリエ変換して画像が得られる。観測されたビジビリティの uv 面における綿密度は一様ではないため分解能が悪くなる傾向がある。

## 2 画像を得るまでの過程

まず点源が 1 つの場合を考えていく。アンテナの数は簡単のため 2 つとする。この 2 つのアンテナから得たデータを 1 つにまとめる必要がある。この時以下で定義される関数を用いる。

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} V_1(t) V_2(t + \tau) dt \quad (1)$$

$t$  は時間、 $\tau$  は遅延である。これを相互相関関数という。 $V(t)$  は時間変化の関数

$$\begin{aligned} V_1 &= E_0 \exp(2\pi\nu_0 t) \\ V_2 &= E_0 \exp(2\pi\nu_0(t - \tau_g)) \end{aligned} \quad (2)$$

であり、 $E_0$  は電圧、 $\nu_0$  は周波数、 $\tau_g$  は幾何学的遅延である。Weiner-Khintchine の公式を用いると相互相関関数  $C(\tau)$  はある関数のフーリエ変換になっていることが分かる。このある関数をクロスパワースペクトル  $S(\nu)$  という。

$$S(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} C(\tau) \exp(-2\pi i \nu \tau) d\tau \quad (3)$$

次に空間周波数

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{2\pi} \frac{\partial \phi}{\partial l} \\ \phi &= 2\pi\nu_0\tau_g = 2\pi \frac{D \cdot s}{\lambda_0} \end{aligned} \quad (4)$$

を定義する。 $\phi$  は干渉縞の位相、 $l$  は天体の位置 (ラジアン)、 $D$  は望遠鏡間の距離で基線ベクトルと呼び、 $s$  は天体の方向、 $\lambda_0 = c/\nu_0$  である。 $l$  と  $s$  の関係は法線ベクトル  $n$ 、天体の位置のベクトル  $l$  を用いて

$$s = n + l \quad (5)$$

と表すことができるので、

$$\begin{aligned} D \cdot s &= D \cdot (n + l) \\ &= D \cdot l = Dl \end{aligned} \quad (6)$$

となる。また

$$u = \frac{D}{\lambda_0} \quad (7)$$

より、

$$2\pi\nu_0\tau_g = 2\pi ul \quad (8)$$

が得られる。クロスパワースペクトルを  $u$  の関数と見なして新たに  $V(\nu, u)$  と書き表すと

$$V(\nu, u) = E_0^2 \exp(2\pi i ul) \quad (9)$$

となる。 $V(\nu, u)$  をビジビリティと呼ぶ。

点源が  $n$  個ある場合、 $\tau_g$  と  $l$  はそれぞれ  $\tau_{gk}$ 、 $l_k$  ( $k = 0, \dots, n$ ) になり、それらビジビリティの和をとると、

$$V(\nu, u) = \sum_{k=1}^n E_0^2 \exp(2\pi ul_k) \quad (10)$$

となる。さらに連続分布の場合には

$$V(\nu, u) = \int_{source} I_0(\nu, l) \exp(2\pi i u l) dl \quad (11)$$

となる。ここで電位  $E$  の 2 乗が輝度分布  $I$  に等しいとして  $E_0^2(\nu, l) = I(\nu, l)$  に置き換えた。van Cittert-Zernike の定理とビジビリティを用いて画像となる輝度分布が求まる。しかし、これでは 1 次元の情報しかないため 2 次元に拡張したものが使われる。またこの 2 次元のビジビリティをグラフで表したものを uv 面という。

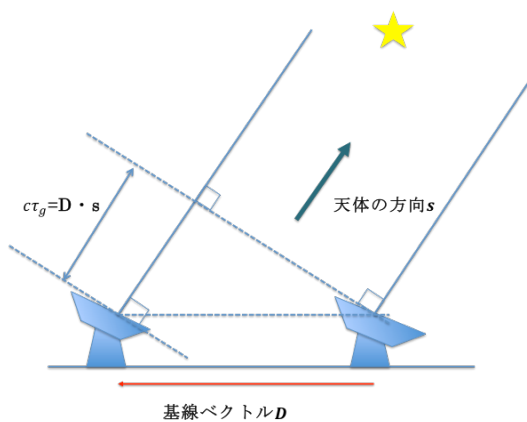


図 1: 基線ベクトルと天体の方向について

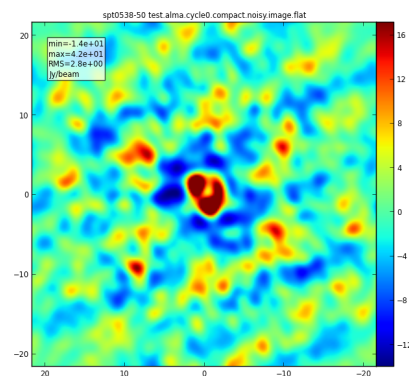
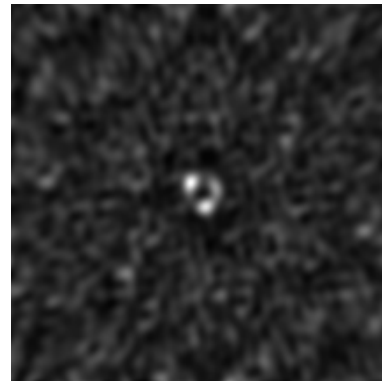


図 2: SPT0538-50 の元画像 (上) と simanalyze の結果 (下)

### 3 CASA を用いた解析

NRAO から配布されている CASA(Common Astronomy Software Application) を用いることで電波干渉計の擬似的な観測が行える。モデル画像から干渉計で観測したと仮定した時の uv 面上での輝度を計算する「simobserve」と、simobserve を基に画像を出力する「simanalyze」の 2 つのプログラムを使用した。以下は天体 SPT0538-50 の元画像と simobserve、simanalyze を行った後の画像である。

### 4 CLEAN

観測されたビジビリティの uv 面における面密度は一律でないため分解能が悪くなる傾向がある。そのため重み付けを行い面密度を調整する必要がある。この調整を行うと合成ビームが変化する。ビジビリティを逆フーリエ変換して出した画像(ダーティマップ)は真の強度分布と合成ビームの畳み込みであるため、デコンボリューションを行い合成ビームの影響を取り除き真の強度分布を求める。その一つに CLEAN という方法があり、ダーティマップの強度のピークを見つけ、その位置を中心とする合成ビームを適当にスケールしてダーティマップから差し引く。これを行うことでより正確な強度分布を求める。

## 5 今後の展望

CLEAN を用いて干渉計を通して見た天体の画像の正確な再現が出来ること及び様々な天体モデルの画像を作り実際の干渉計の観測データと比較していくことが今後の展望である。

## Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝します。

## Reference

- 国立天文台 編「干渉計サマースクール 2003 教科書」2003、  
総研大レクチャー
- 中井直正、坪井昌人、福井康雄「宇宙の観測 II - 電波天文学、シリーズ現代の天文学 第 16 巻」2009、日本評論社