

# D-term校正による単一鏡偏波計測の高精度化

鹿児島大学 宇宙物理学研究室 修士2年 水野 いづみ

## 1. 概要

本講演は Cenacchi et al. (2009) のレビューである。電波単一鏡観測で偏波 (Stokes I, Q, U, V) を計測するための手法を確立した。観測信号系の伝達経路において、光学系の非対称性や直交偏波間の混信 (D-term) がストークスパラメータに系統誤差を及ぼす。特に円偏波成分 V は天体由来の値が小さいので、測定が困難と考えられてきた。今回開発した手法では、偏波校正天体を幅広い parallactic angle で観測し、その結果から D-term の2次の項を解いて系統誤差を削減する。この手法を Effelsberg 100m 電波望遠鏡で試験した。この結果、D-term が 0.04-0.08 % の精度で得られた。この D-term を惑星状星雲などの観測に適用した結果、Stokes V を 0.04-0.19 % の精度で測定できた。今回の手法は多くの単一鏡でのシステムで使える。

## 2. はじめに

### 2-1. 研究背景

多周波の円偏波、直線偏波情報から AGN (Active Galactic Nucleus) の磁場、相対論的粒子のエネルギー分布などについて理解できる (Beckert, 2003; Gabuzda, 2006)。単一電波望遠鏡で円偏波観測はあまり観測されていない。これは、円偏波率が低い上に、系統誤差を及ぼす D-term の偏波校正精度が不十分という技術的な問題のためである。出力信号の D-term の2次の項までの影響を見積もることで偏波の精度向上を図った。

### 2-2. Stokes parameter

偏波観測では、右旋偏波 (R) と左旋偏波 (L) の受信信号がそれぞれ独立に観測信号系を伝播して出力される。出力信号を用いて偏波を表す Stokes parameter (I, Q, U, V) を以下のように算出する。電波強度を表す Stokes I は  $(RR^* + LL^*)$ 、直線偏波の強度を表す Stokes Q と U は、 $Q = (LR^* + RL^*)$ 、 $U = i(RL^* - LR^*)$ 、円偏波強度を表す Stokes V は  $(L^*L - R^*R)$  となる (\*は複素共役)。無偏波のときは R と L の相関が無いので  $Q=U=V=0$  となる。

### 2-3. 直交偏波間の混信 (D-term)

信号伝播の際に R と L の信号が互いに混信すると、天体由来の I, Q, U, V の成分が混ざり、Stokes parameter に系統誤差が生じる。この混信の比率を D-term という。R は L への混信により  $R = R + L\tilde{D}_L$ 、 $(\tilde{D}_L = D_L e^{-i\varphi_{L^*t})$  に、L は R からの混信により  $L = L + R\tilde{D}_R$ 、 $(\tilde{D}_R = D_R e^{-i\varphi_{R^*t})$  に変化する。

## 3. 手法

I, Q, U, V が相互に混ざり合う比率は、D-term や受信機の増幅率など5つの未知パラメーターを含む要素からなる4x4行列 (T行列) で表現される。観測される Stokes parameter ( $I_m, Q_m, U_m, V_m$ )、天体由来の Stokes parameter ( $I_s, Q_s, U_s, V_s$ ) T行列の関係は以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} I_m \\ Q_m \\ U_m \\ V_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ t_{41} & t_{42} & t_{43} & t_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_s \\ Q_s \\ U_s \\ V_s \end{bmatrix}$$

$\theta$ : parallactic angle  
 $Q'_s = Q_s \cos 2\theta - U_s \sin 2\theta$   
 $U'_s = Q_s \sin 2\theta + U_s \cos 2\theta$

無偏波天体 ( $Q=U=V=0$ ) を観測すると T行列の4つの成分 ( $t_{i1}$ ,  $i=1, 2, 3, 4$ ) を決定できる。また、広範な parallactic angle に渡って直線偏波天体 ( $V=0$ ) を観測すれば、偏波面が回転して、観測される  $Q'_m, U'_m$  の値が変化するので、その変化の割合から  $Q'_m, U'_m$  にかかる8個の T行列の成分 ( $t_{ij}$ ,  $i=1, 2, 3, 4, j=2, 3$ ) が決

定できる。無偏波天体と直線偏波天体の観測によってT行列の12個の成分を決定できれば、T行列の5つの未知パラメータを解くことができるため、T行列の成分を全て決定でき、天体由来の Stokes parameter を算出できる。

## 4. 観測結果

### 4-1 観測諸元

2007年にEffelsberg 100m 電波望遠鏡で上記の較正手法を確認するため、系外電波源 39天体、惑星状星雲 2天体、惑星2天体の観測を行った。較正天体の観測から、T行列の未知パラメーター (D-termの値:  $D_L=0.59\pm0.04\%$ ,  $D_R=0.16\pm0.08\%$ ,  $\phi_L=-2.4\pm3.8^\circ$ ,  $\phi_R=-3.7\pm8.4^\circ$ , 基準信号の位相差:  $\Psi=-4.1\pm2.7^\circ$ ) を算出し、ストークスパラメータの較正を行った。

### 4-2 円偏波

既に円偏波が計測されている天体を観測し較正した結果、円偏波の観測精度が向上した。Published level:

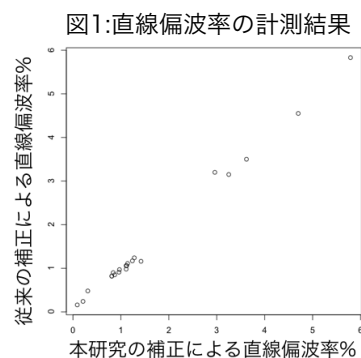
較正前: , 較正後:  に網がけして以下に示す。

表1:円偏波率の計測結果

Source	$V_s$ [%]	$I_m$ [K]	$\sigma$	$V_m$ [%]	$\sigma$	$I_s$ [K]	$\sigma$	$V_s$ [%]	$\sigma$
0743-00	$0.51\pm0.08$ $0.46\pm0.05$	6.063	0.015	-0.09	0.10	6.089	0.132	0.36	0.08
1253-05	$0.17\pm0.17$	36.672	0.223	-0.33	0.11	36.831	0.635	0.11	0.07
1519-27	$0.92\pm0.17$	4.700	0.079	0.20	0.21	4.719	0.114	0.62	0.15
NGC 6572	unpolarized	3.861	0.008	-0.42	0.11	3.878	0.117	0.03	0.12

### 4-3 直線偏光

従来の単一鏡偏波観測では、 $3\times 3$ の行列により I, Q, U の較正が行われ直線偏波のみ計測された。従来と今回検証する手法をそれぞれ観測データに適用したところ値はほぼ一致し、正確な直線偏光の計測が確認できた。



## 5. 結論

電波単一鏡でのD-termの2次の項の影響を見積もり偏波較正を行った結果、高精度に Stokes I, Q, U, V を計測することができた。よって、単一鏡でのFull Stokes study が可能になる。

## 6. 参考文献

- Cenacchi, E., Kraus, A., Orfei, A., & Mack, K.-H. 2009, A&A, 498, 591  
 Beckert, T. 2003, Ap&SS, 288, 123  
 Gabuzda, D. 2006, in Proc. of the 8th European VLBI Network Symp.