

茨城 32 m 電波望遠鏡日立アンテナ における指向精度測定の新進

齋藤悠、栗橋潤、滝沢美里、田中智明、米倉覚則、百瀬宗武、横沢正芳 (茨城大学)

1 概要

現在、茨城大学では茨城 32 m 電波望遠鏡 高萩/日立アンテナの立ち上げを行っており、2010 年 9 月から日立アンテナの指向精度測定に取り組んでいる。2010 年 11 月の測定結果から推定した器差パラメータ値を適用して行った 2011 年 1 月の測定では、指向誤差の平均値及び標準偏差で $0.28'$ 及び $0.56'$ という値を得た。目標指向精度である $0.38'$ (8.4 GHz 帯 HPBW = $3.8'$ の $1/10$) を目指し、その後も測定及び器差パラメータの更新を 2 回行ったが、その測定では指向精度は改善されずにいた。しかし今回この原因が器差パラメータ値の適用方法の間違いにあることが分かった。2011 年 10 月の測定で正しく器差パラメータ値を適用したところ、指向誤差の平均値及び標準偏差で $0.07'$ 、 $0.59'$ という結果が得られた。

2 指向精度測定及びその解析方法

2.1 指向精度測定方法

指向精度測定は 9 点十字スキャンによる電波ポインティングによって行った。十字スキャンとは位置が正確に分かっている点源と見なせる天体に対して、方位角 (Azimuth)・仰角 (Elevation) 方向にオフセットを入れた方向とその天体中心方向の電波強度を測定する方法である。この結果を gaussfit することで指向誤差量を求める事が出来る。今回はオフセットを $\pm 3'$ 、 $\pm 1.5'$ として測定点を 9 点とした。各測定において、この十字スキャンを全天をカバーするように異なる Az, El で 50 - 100 セット程度行い、指向誤差量を求める元となるデータを取得した。

2.2 解析方法

2.2.1 指向誤差量の導出

各スキャン毎に測定値をアンテナ温度に換算し、方位角方向の実角 (dX) と仰角 (dEl) 方向に対してそれぞれ独立なガウス関数 $f(x) = a + b \exp\{-\frac{(x-c)^2}{d^2}\}$ でフィットし、指向誤差量を求めた。ここで、 $dX = dAz \cos(El)$ である。各方向における方位角及び仰角方向の指向誤差量 dX 、 dEl の平均値 \overline{dX} 、 \overline{dEl} と標準偏差 σ_{dX} 、 σ_{dEl} についてそれぞれ二乗和を取ったものを指向誤差の平均値及び標準偏差とした。つまり指向誤差の平均値及び標準偏差を $\sqrt{\overline{dX}^2 + \overline{dEl}^2}$ 、 $\sqrt{\sigma_{dAz}^2 + \sigma_{dEl}^2}$ として、これらの値を用いて指向精度を評価した。

2.2.2 器差パラメータ値の推定

各 Az 、 El 方向での指向誤差量はそれらの正弦余弦成分からなる多項式によって表される。日立アンテナでは 8 つの器差パラメータを含む以下の多項式によって指向誤差を再現した。

$$dX = A1 \cos(El) + A3 \cos(Az) \sin(El) - A4 \sin(Az) \sin(El) + A5 \sin(El) + A7 \quad (1)$$

$$dEl = A2 - A3 \sin(Az) - A4 \cos(Az) + A6 \cos(El) + A8 \sin(El) \quad (2)$$

A1: Az エンコーダの原点ずれ A2: El エンコーダの原点ずれ

A3: 天頂からの Az 軸の東西方向への傾き A4: 天頂からの Az 軸の南北方向への傾き

A5: $Az - El$ 軸の非直交性 A6: 重力によるたわみ A7: 光軸と El 軸の非直交性 A8: 重力によるたわみ

測定より求めた指向誤差量を、最小二乗法を用いてこの式でフィットすることで器差パラメータ値を推定した。そしてそれらの値から指向誤差量を計算して再現性を確認した後、アンテナ制御プログラムに反映させ、指向誤差の補正を行った。

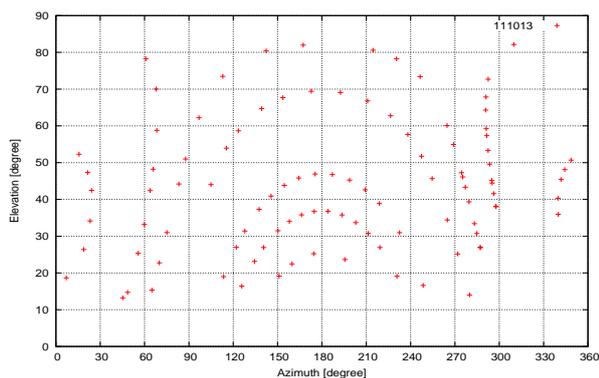
3 測定

3.1 測定諸元

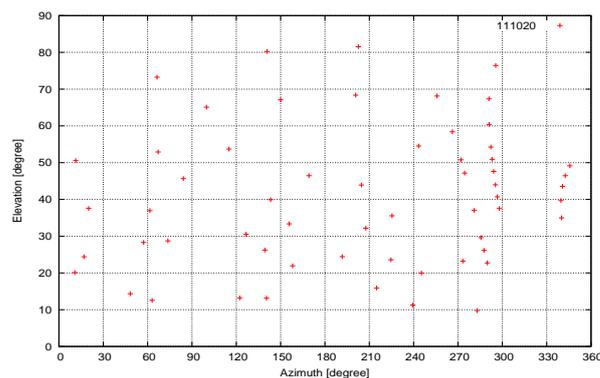
今回の測定は 2011 年 10 月に、夜間の天候が安定した時を選んで 2 回行った。これは太陽放射による鏡面の熱変形や風の影響による非再現性誤差を減らすためである。初めの測定で指向誤差を求め、その結果から器差パラメータを推定した。その後、このパラメータ値を適用して再測定を行い、推定したパラメータ値の検証をした。以下に測定の詳細を示した。

表 1 10 月の測定諸元

観測名	Oct.2011-1	Oct.2011-2
観測日時 (JST)	2011 年 10 月 13 日 18:30 - 14 日 06:06 2011 年 10 月 16 日 17:00 - 17 日 06:06	2011 年 10 月 20 日 17:00 - 21 日 06:04
観測天体	0212+735, 0836+710, 3C84, 0234+285, 3C454.3, 0003-066, 2345-167	0212+735,0836+710,3C84,0234+285,3C454.3 0003-066,2345-167,2225-285
有効観測セット数	101	59



(a) Oct.2011-1



(b) Oct.2011-2

図 1 観測方向のプロット

3.2 測定結果

測定結果を以下にまとめた。今回の測定で器差パラメータ値の適用方法を正しく改めた結果、指向精度が大幅に改善した。10 月の指向誤差量の測定結果をプロットした図 2 (a) からこの事が分かる。しかし未だ指向誤差の標準偏差が 0.59' と大きく、目標指向精度 (0.38') には達していない。

表 2 10 月の測定結果

単位 : [arcmin]		Oct.2011-1 実測値	残差	Oct.2011-2 実測値
dAz	平均値	0.13	-0.045	-0.0036
	標準偏差	0.41	0.42	0.44
dEl	平均値	-0.47	-0.052	-0.070
	標準偏差	0.59	0.31	0.39
指向誤差	平均値	0.49	0.069	0.070
	標準偏差	0.72	0.53	0.59

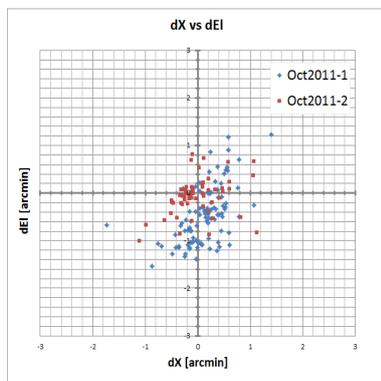
4 これまでの測定結果の比較

10月までの測定において器差パラメータ値の適用方法を間違えていた事が分かった。具体的には、測定時の器差パラメータ値を P_{t-1} 、この結果から推定した器差パラメータ値の補正量を ΔP_{t-1} とすると、新たに適用すべきパラメータ値 P_t は正しくは $P_t = P_{t-1} + \Delta P_{t-1}$ であるが、Jul.2011 及び Aug.2011-1 では誤って $P_t = \Delta P_{t-1}$ を適用していた。各測定時に適用した器差パラメータ値を表3にまとめた。 P_0 は器差パラメータの初期値で、全て0である。

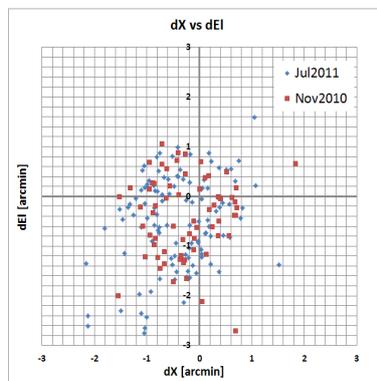
立ち上げ後初めて行った Nov.2010 の測定結果から推定したパラメータ値 ΔP_1 を適用した結果が Jan.2011 である。この段階では、Nov.2010 時点のパラメータ値は全て0であったので、正しく補正できていた(図2(c))。Jul.2011 の測定では、器差パラメータ値を Jun.2011 の結果から推定した補正量 ΔP_2 に置換していたため、Jan.2011 と Jun.2011 の間のずれ(この両者の測定でパラメータの値は同じであるため、地震によるずれと思われる)のみが補正され、 ΔP_1 で補正されていたずれが元に戻った(図2(b))。同じく Aug.2011-1 の測定では、器差パラメータ値を Jul.2011 の結果から推定した補正量 ΔP_3 に置換した。このため ΔP_2 で補正されていた Jan.2011 と Jun.2011 の間のずれが元に戻った事で、Jun.2011 と Aug.2011-1 の結果は似た傾向を示した(図2(c))。

表3 器差パラメータ値の推移

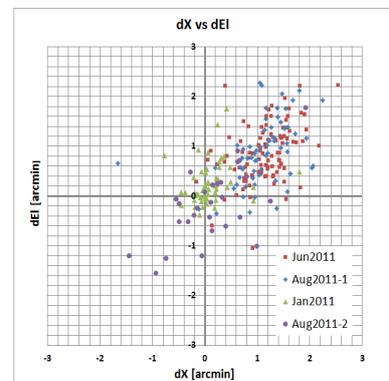
測定	適用した器差パラメータ値	推定した補正量
Nov.2010	$P_1 = P_0$	ΔP_1
Jan.2011	$P_2 = \Delta P_1$	
Jun.2011	$P_2 = \Delta P_1$	ΔP_2
Jul.2011	$P_3 = \Delta P_2$	ΔP_3
Aug.2011-1	$P_4 = \Delta P_3$	
Oct.2011-1	$P_4 = \Delta P_3$	ΔP_4
Oct.2011-2	$P_5 = P_4 + \Delta P_4$	



(a) 2011年10月測定結果



(b) 2010年11月、2011年7月測定結果



(c) 2011年1、6、8月測定結果

横軸 dX 、縦軸 dEI で各観測点の指向誤差量をプロットした図である。

図2 各測定における指向誤差量のプロット

5 今後の課題

2011年10月の測定により指向精度が改善したが、目標指向精度達成のため更なる改善が今後必要である。そのためには再現性誤差と非再現性誤差を切り分ける事と、より再現性の良いモデル式を使用する事で、器差パラメータ値を正しく求める事が必要となる。前者に対しては連続的な十字スキャンやメタノールメーザーを用いた分光観測などの精度の良い測定を行う事、後者に対しては現在のモデル式に短周期の高次項を加える事などが考えられる。また、受信機換装や時間変化による指向誤差の変動の調査も必要である。