

45m 電波望遠鏡の鏡面パネル調整

半田一幸、神澤富雄、和田拓也、御子柴廣（国立天文台野辺山宇宙電波観測所）

1. はじめに

45m 電波望遠鏡では開口能率が毎年の測定により年々低下していることが判明している。望遠鏡の開口能率は物理的に電波を集める開口面積と実際に集めることに寄与する有効な面積との比で表わされ、電波望遠鏡の特性を表す重要なパラメータである。開口能率を低下させる原因は主に鏡面精度が支配的であり、鏡面を測定する手法として電波ホログラフィ - 法を用い、2014 年 2 月から試験測定を開始し鏡面誤差を精度よく測定できることが分かった[1]

現在、鏡面誤差を測定する方法の主流は電波ホログラフィー法であり、これは静止衛星などから放射されたビーコン電波を測定する電波望遠鏡と参照アンテナとでそれぞれ受信し両者の信号の相関を取ることによって電波望遠鏡の放射パターンが得られる。これをフーリエ変換することで電波望遠鏡の開口での電界分布が求められ、この電界分布の振幅が照射分布であり位相が鏡面誤差となる。

我々は 2015 年 6 月から 10 月に掛けて、電波ホログラフィ - 測定を行い得られた鏡面誤差をもとに鏡面パネル調整を行う作業を複数回実施し、鏡面精度を向上することができた。

今回は鏡面パネル調整の概要と最終的に得られた鏡面精度について報告するとともに電波ホログラフィー測定をする上で明らかとなった問題点についても報告する。

2. 鏡面パネル調整装置の概要

図 1 は 45m 電波望遠鏡主鏡内に設置されている鏡面パネル調整装置である。この装置は主鏡骨組の接合部の台座に設置され、調整装置上部にある 4 個の穴にパネル支持棒を立て鏡面パネルの隅に空いている穴に通して、鏡面パネルの表面にある鏡面支持金具に取り付けパネルを固定する。鏡面パネルの調整は調整用の軸（写真黒の所）を回転することで支持棒を押し引きすることができ鏡面パネルの上下方向の調整を行う。また本装置は鏡面パネル 4 枚が接触しているコーナーにあり、鏡面全体で 700 ヶ所設置されている。



図 1 鏡面パネル調整装置

以前はこのパネル調整装置は 45m 観測棟から計算機制御でリモート駆動することが可能であったが、現在はリモート制御が出来ないので望遠鏡骨組内に登り安全を確保して調整用軸を回すことで鏡面パネルの上下方向の調整を行っている。なお調整には軸にレンチを取り付け手で回転させる。1 回転させると 240 μm 上下することが出来る。また図 2 は望遠鏡主鏡内のトラス構造でありトラスの交点上部の台座にパネル調整装置が設置されているのがわかる。



図 2 45m 主鏡骨組内のトラス構造

3. 鏡面パネル調整

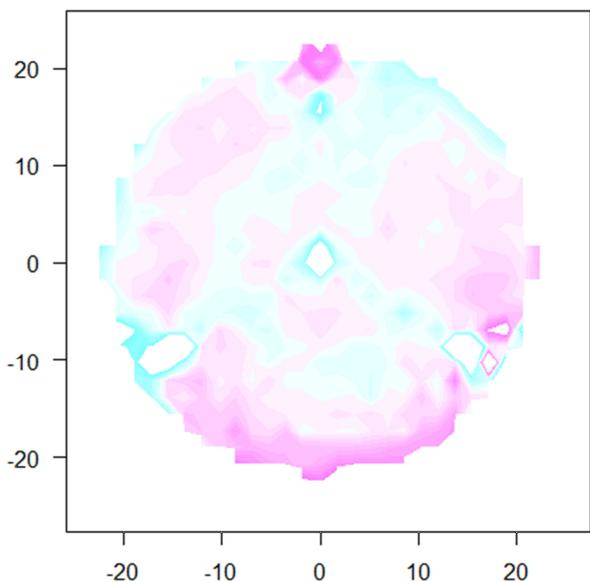


図3 調整開始前の鏡面誤差マップ

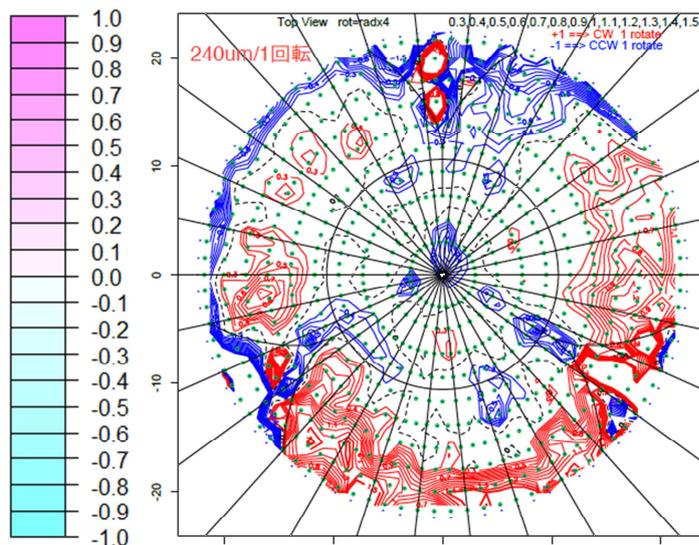


図4 鏡面調整用の指示マップ

2015年6月8日から10月29日にかけて鏡面パネル調整を計17回実施した。電波ホログラフィ - 測定を行い、得られた鏡面誤差から鏡面パネル調整用の指示マップを作成し各調整点での値を読んでレンチを使い調整用軸を回転させ所望のアップダウンを行う。図3は6月8日以前に電波ホログラフィ測定によって得られた鏡面誤差のマップであり、等高線は-1 mmから+1 mmまで0.1 mmステップで色を変えている。図4は図3の鏡面誤差マップから作成した鏡面パネル調整用の指示書マップである。赤色のコントアは+方向(凸)に調整する所であり、青色のコントアは-方向(凹)に調整する場所を示している。初日の調整では先ず初めにパネル調整装置の調整軸をカバーしているアルミ製のキャップを外し、こちらで作成したプラスチック製のキャップを取り付け接触面にシール材を塗布する作業を行いながらパネル調整を実施した。またこのキャップ交換作業は数日では完了しないので大変苦労した。

4. 鏡面パネル調整の結果

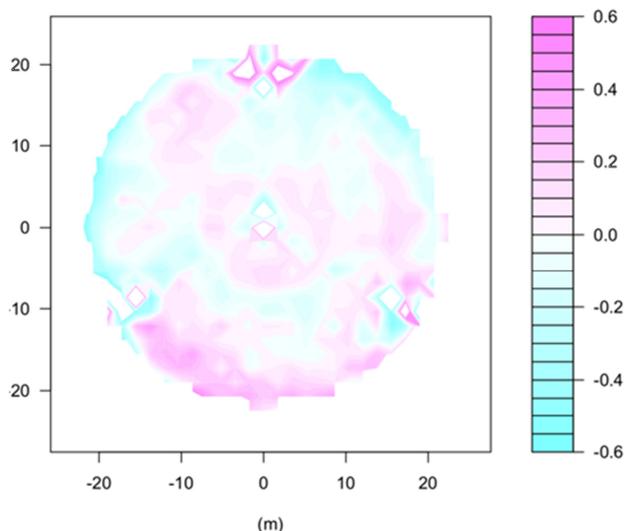


図5 鏡面調整開始前の鏡面誤差

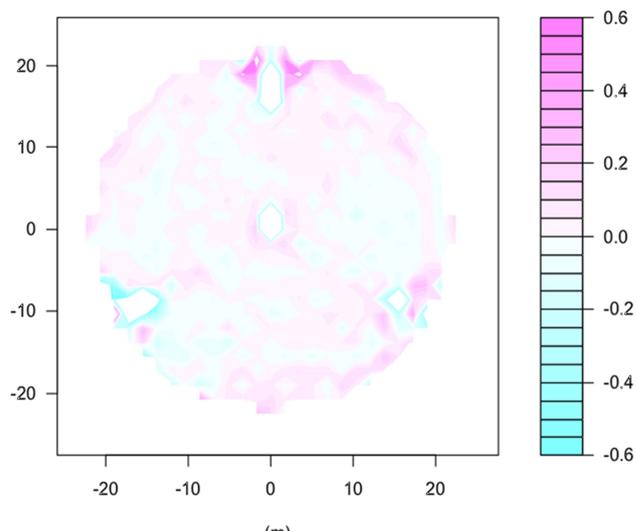


図6 鏡面調整完了後の鏡面誤差

図5は鏡面パネル調整前の鏡面誤差であり、全体で鏡面誤差が $188\mu\text{m}[\text{rms}]$ である。また図6は鏡面パネル調整完了後の鏡面誤差であり鏡面全体で $78\mu\text{m}[\text{rms}]$ となり鏡面精度が向上した。なおホログラフィー測定は測定条件の良い時に行った。

5. 放射冷却と日射による鏡面の変形

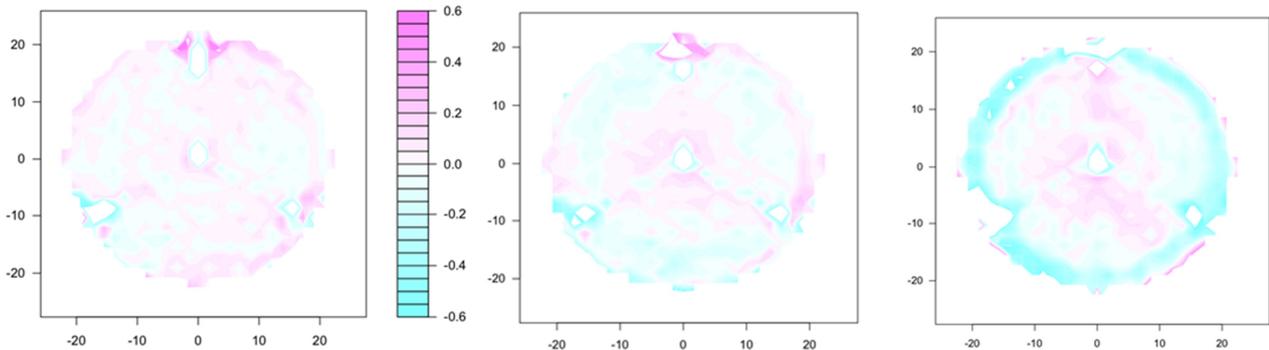


図7 日射・放射冷却影響なし

図8 放射冷却による鏡面の変形

図9 日射による鏡面の変形

図7は測定条件が良い時に得られた鏡面誤差のマップであり、図8は放射冷却の影響を受けている時の鏡面誤差マップ、図9は日射の影響を受けた時の鏡面誤差マップである。45mの鏡面は内周では熱変形の小さいCFRPスキンアルミハネカムパネルを使っているが、外周ではアルミハネカムパネルを使っているため熱の影響を受けやすくなっている。図8から放射冷却による影響は夏季であるため左程大きな変形は見られない。図9から最外周は濃い水色で示されているように鏡面側から見て凸上に変形しており日射による変形が大きいことが分かる。よって高精度の測定は夜間で放射冷却が少ない曇りの時の条件が必要である。勿論風による鏡面の変形を抑えるため無風であることも必要条件である。

6. まとめ

今回は2015/6/8から10/29に亘って45m電波望遠鏡の鏡面パネル調整を行い鏡面誤差 $188\mu\text{m}[\text{rms}]$ から $78\mu\text{m}[\text{rms}]$ に向上することができた。また高精度の測定を行うための条件も分かった。実際鏡面精度が向上しているのか検証するため、鏡面パネル調整後に望遠鏡の開口能率測定を行い100GHz帯において概ね10~15%の能率の向上が見られ鏡面精度が良くなっていることが実証できた。今後、鏡面精度向上のため鏡面パネル間段差の測定を行い、調整し更なる鏡面精度向上を出来ればと考えている。

引用文献

[1]半田一幸、神澤富雄、和田拓也、御子柴廣（国立天文台野辺山宇宙電波観測所）

電波ホログラフィーによる45m電波望遠鏡の鏡面測定 第34回天文学に関する技術シンポジウム2014集録