

8 GHz 開口能率測定測定（第3回）

藤沢健太（山口大学）

1. はじめに

山口32m電波望遠鏡の開口能率について第1回、第2回の報告を行っている。これらの観測では、フラックス密度の標準とされるプライマリ天体（3C286、3C48）を用いている。この2天体は強度が正確にわかっており、また時間的に変動しない、しかもビームサイズと比較して十分に小さいという特徴を持つ。しかし8GHzでのフラックス密度は3Jy程度であり、高精度な開口能率測定を行うためには十分強力であるとはいえない。そのためこれまでに得られている開口能率の値は10%程度の標準偏差をもって分散している。

フラックス密度が十分大きい天体を用いて測定を行おうとすると、今度は正確な強度がわからないという問題が発生する。しかし、プライマリ天体で得られた開口能率の結果を用いて強力な天体のフラックス密度を校正し、その値を基準にして高精度（分散の小さい）な開口能率を測定することは可能である。

今回は、3C345と3C454.3という全天でも有数のフラックス密度の大きい天体を用いて開口能率測定を行ったので、報告する。

2. 測定

測定は2回行っている。3C345が2004年1月2日18時～1月3日0時30分（仰角=15-80度）、3C454.3は2003年12月30日11時～12時（仰角=40-25度）に行われた。時刻はUTである。測定者は藤沢、アンテナの制御とデータの取得はネットワークを経由しておこなわれ、実際の作業は山口大学で行った。3C345の測定では天気は霧で、観測終了前の2時間は多少雲があるが晴れていた。3C454.3の測定では晴であった。測定はLHCP（CH1）で行われ、周波数変換には8GHzダウンコンバータの新規作成チャンネルを用いた。受信強度の測定にはパワーメータを用いた。測定したパワー値をGP-IB経由でPCに取得し、測定後に解析を行った。受信した周波数帯域は8180-8580MHzなので、以後のデータ処理では中心周波数である8380MHzを用いた。

測定は、ポインティング測定とほぼ同じ手順で行った（ポインティング測定の詳細は『山口32m電波望遠鏡のポインティング測定』2003年8月15日）。計算された天体位置と、計算位置に対して2分角のオフセットを（Az, El）に与えた位置、さらに30分角のAzオフセットを与えた位置での受信強度を測定する。これをスキャンと呼ぶ。今回の測定では各点での滞在時間を30秒とし、1スキャンを4分間で終了する。これを連続的に繰り返す。開口能率測定ではシステム雑音温度が重要となるため、オフ点に向けた時点でノイズソースを自動でONさせ、システム雑音温度の測定も同時に行っている。

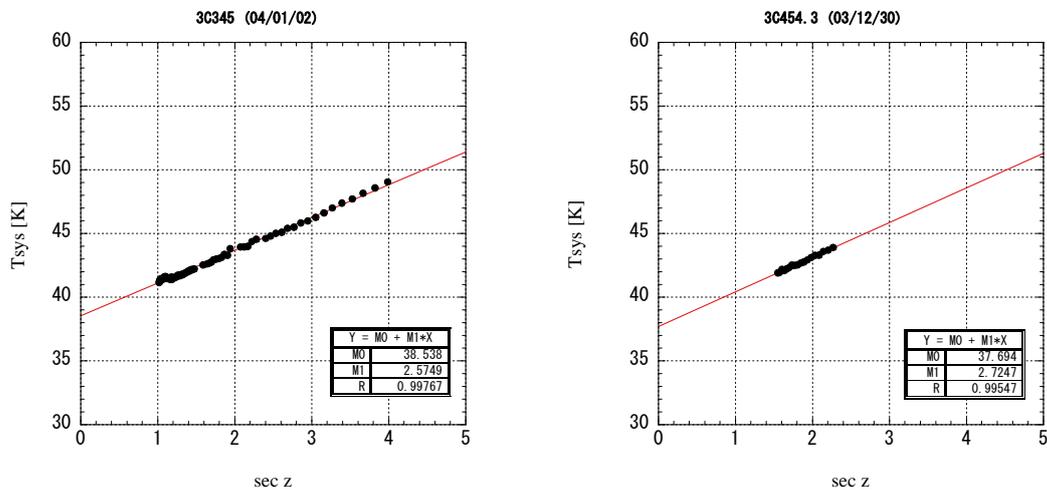
3. 結果と考察

3-1. システム雑音温度

図1 a, bにシステム雑音温度を $\sec z$ の関数として示す。直線近似した結果から 0.5 K 程度高い値を示すデータがあるが、これは雲の影響であると考えられる。それ以外は極めてよい直線性を示している。グラフの傾斜から、天頂における大気吸収量は

$$\tau_0 = 0.010$$

を得る。これは大気の物理モデルに依存するが、結果にはほとんど影響しないため、以後の解析ではこの値を固定値として用いた。



(a) 3C345の測定時

(b) 3C454.3の測定時

図1. システム雑音温度の仰角依存性

3-2. アンテナ温度

各スキャン点での測定結果に対してガウス関数型のモデルフィットを行い、ビームのオフセット値、半値幅、ピーク強度を計算する。AzとElの両方について計算を行い、天体がビームの中心にあった場合に得られる受信強度 P_m を推定する。

天体の放射によるアンテナ温度の上昇分 T_a は、 P_m とオフ点での受信強度 P_0 およびシステム雑音温度 T_{sys} から、

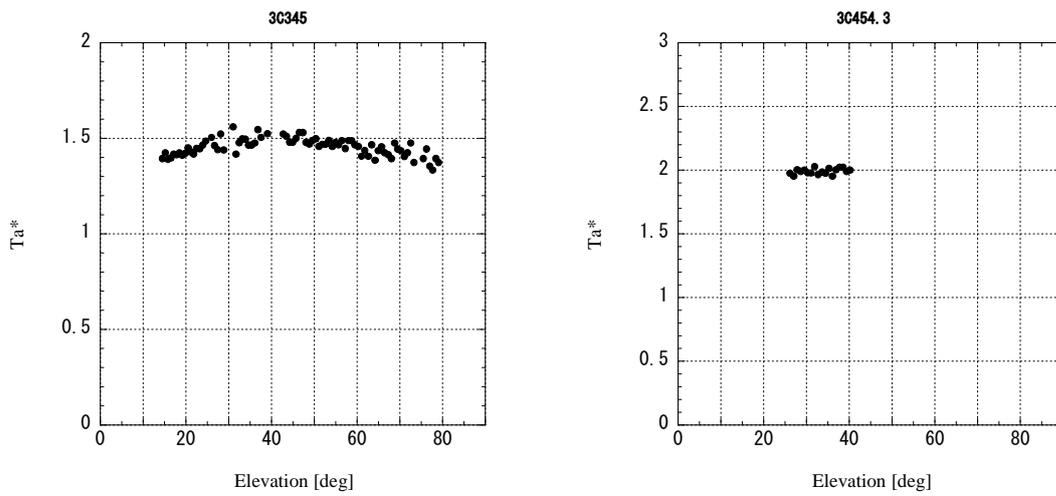
$$T_a = T_{sys} \frac{P_m - P_0}{P_0}$$

によって計算される。この値は大気吸収を受けているため、大気吸収量を補正した値 T_a^* を

$$T_a^* = T_a e^{\tau_0 \sec z}$$

によって計算する。3C345と3C454.3について計算した T_a^* を図2 a, bに示す。

なお、雲の影響などにより、明らかに異常なデータは除外してある。この値は開口能率と定数係数だけ異なっている。



(a) 3C345

(b) 3C454.3

図2. 大気吸収を補正したアンテナ温度

3-3. アンテナ温度から開口能率への変換

今回測定されたアンテナ温度を開口能率に変換するために、変換係数を求めた。まず、プライマリ天体を用いて得られた開口能率を仰角5度ごとに区切って平均値を求める。同様に今回測定されたアンテナ温度も5度ごとに区切って平均値を求め、定数(変換係数)倍する。その結果がプライマリ天体による開口能率に一致するよう、変換係数を最小自乗法で求めた。

図3に、仰角5度ごとに区切った開口能率の仰角依存性を示す。誤差棒は各範囲内の測定値の標準偏差(1σ)である。仰角40度以下では測定値の分散が大きいため、誤差棒も大きくなっている。この範囲は変換係数の決定には用いなかった。

図4 a, bは、最小自乗法の適用状況を示す。図4 aは、横軸に3C345のアンテナ温度、縦軸に開口能率をプロットしたものである。原点を通る直線は

$$y = 47.941x$$

となり、3C345のアンテナ温度から開口能率を計算する変換係数は47.941と得られた。図4 bは横軸に3C345のアンテナ温度、縦軸に3C454.3のアンテナ温度をプロットしたものである。3C454.3の測定は、開口能率の測定値に誤差が大きい仰角40度

以下で行われているので、3C345の結果を用いて変換係数を決定した。原点を通る直線の傾きは1.3380であり、これから3C454.3のアンテナ温度から開口能率を計算する変換係数は35.830と得られた。

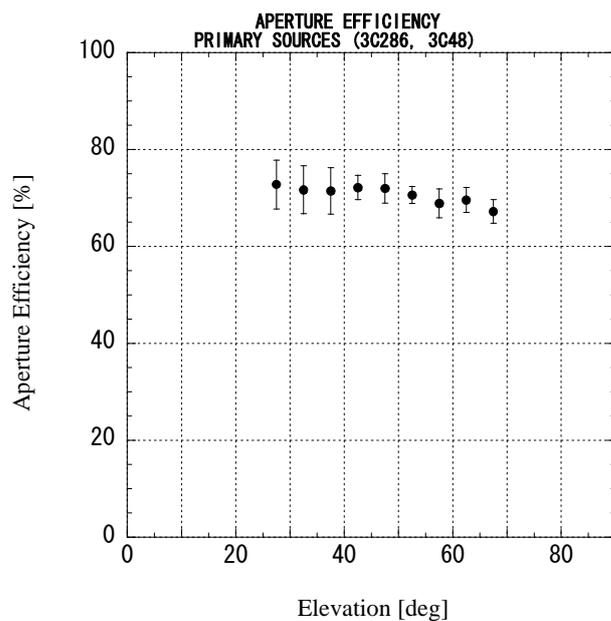
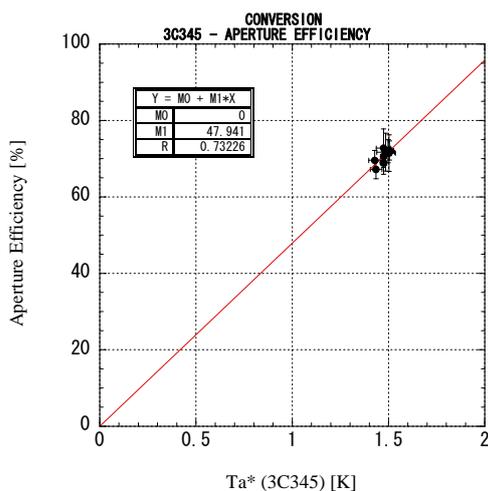
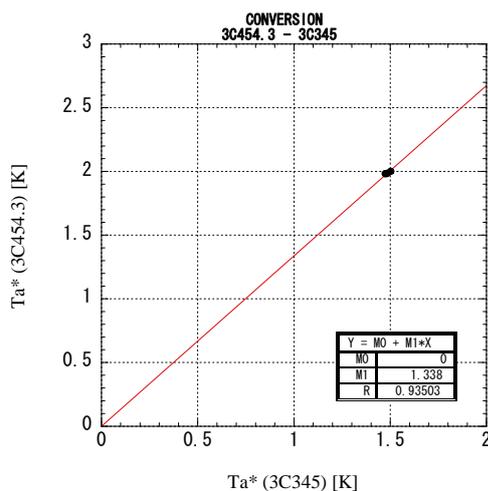


図3. プライマリ天体によって得られた開口能率（仰角5度区切り）



(a) 3C345の変換係数



(b) 3C454.3の変換係数

図4. 変換係数の計算

3-4. 開口能率

上記の手順で得られた開口能率を、3C345と3C454.3をまとめて示したものが図5である。開口能率は約70%、高仰角と低仰角ではゆるやかな低下が見られる。

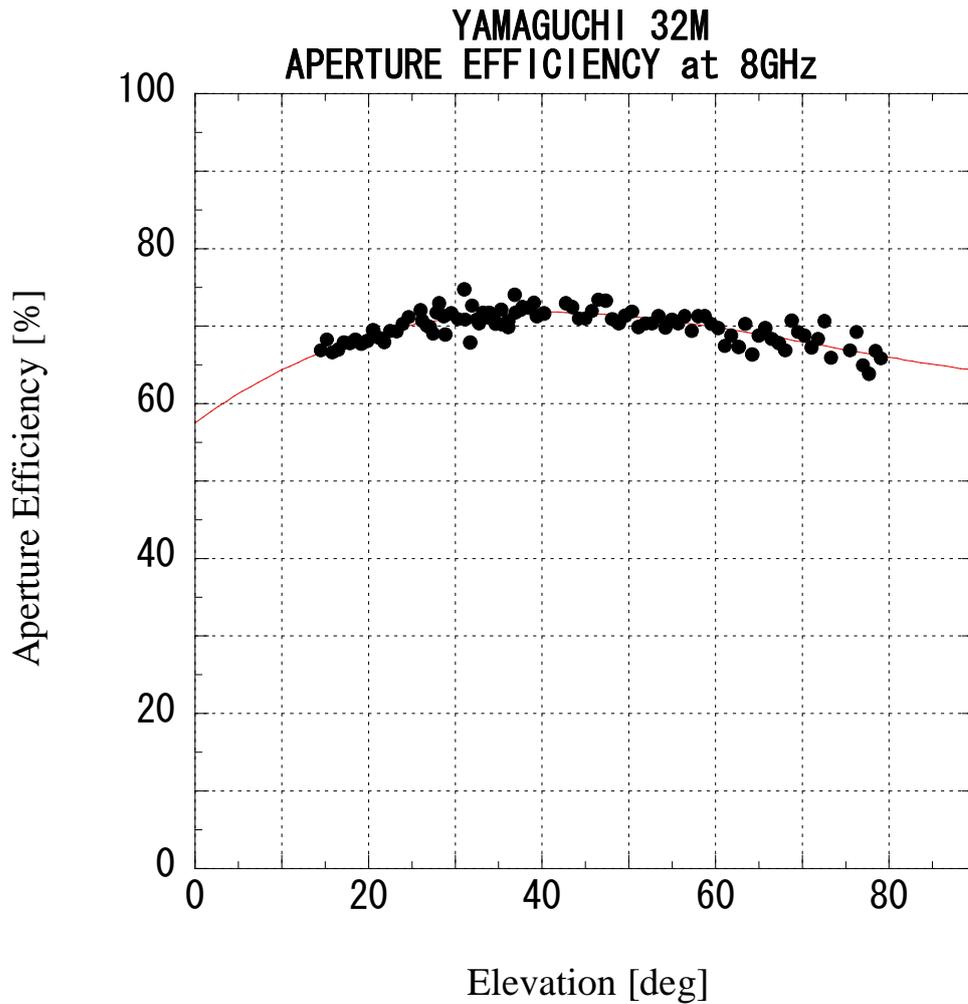


図5. 3C345と3C454.3によって得られた開口能率

図5には最適あてはめ曲線もあわせて示した。2次多項式によるフィッティングではデータと多項式の相関係数が小さく、4次多項式による相関係数は3次多項式と一致したため、最適あてはめ曲線は3次多項式を用いた。最適あてはめ曲線は次の式で表される：

$$\eta[\%] = 57.543 + 0.815e_l - 0.014042e_l^2 + 0.000064673e_l^3 \quad e_l[\text{deg}]$$

開口能率はゲインG [K/Jy]でも表すことができる。物理的開口面積 A_p 、ボルツマン定

数 k 、天体のフラックス密度 S_ν 、大気吸収を補正したアンテナ温度 T_a^* には次の関係

$$\frac{T_a^*}{S_\nu} = \frac{\eta A_p}{2k} \quad [\text{K} / \text{J y}]$$

がある。山口 32 m の場合は、

$$\frac{T_a^*}{S_\nu} = 0.1676 + 0.002374e1^1 - 0.00004090e1^2 + 0.00000018836e1^3 \quad [\text{K} / \text{J y}]$$

となる。また、この逆数は

$$\frac{S_\nu}{T_a^*} = 5.775 - 0.056464e1^1 + 0.0009624e1^2 - 0.0000043328e1^3 \quad [\text{J y} / \text{K}]$$

となる。

システム全体の感度の目安となる SEFD (システム等価フラックス密度) の典型的な値として、開口能率 = 70%、システム雑音温度 = 45 K を採用すると、

$$SEFD = \frac{2kT_{\text{sys}}}{\eta A_p} = 221 \quad [\text{J y}]$$

となる。

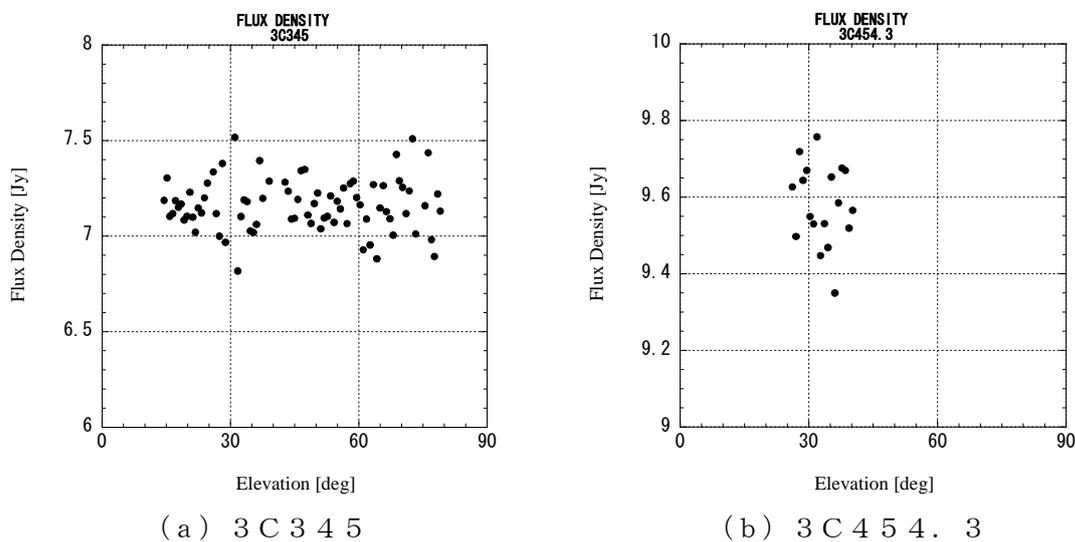
== 以上 ==

付録

A. フラックス密度の測定について

開口能率から逆に、3 C 3 4 5 と 3 C 4 5 4 . 3 のフラックス密度が計算される。3 C 3 4 5、3 C 4 5 4 . 3 それぞれについて計算したフラックス密度を仰角に対してプロットしたものが図A 1 a, bである。3 C 3 4 5 の平均値は7. 1 6 2 J y、標準偏差は0. 1 3 7 J y (平均値に対して1. 9 1%)、標準誤差は0. 0 1 5 4 J y (測定点数=79点、平均値に対して0. 2 1 5%) となった。

今回の開口能率はほとんど3 C 3 4 5 の結果に基づいているため、仰角に対する依存性は見られない。今後も継続して測定を行い、仰角に対する依存性がないことを確認する必要がある。



図A 1. 計算されたフラックス密度