

Probing synchrotron self-absorption turnover of blazars with VLBI+ALMA

小山翔子 (MPIfR)、紀基樹 (KASI)、永井洋 (NAOJ)、土居明広 (ISAS)

1 導入

活動銀河核ジェット形成機構として、磁気駆動型ジェットモデルが広く用いられている (e.g., McKinney, 2006)。しかし、ジェットの最も根元の部分における磁場強度の値を観測データから見積もることは難しい。本研究では、VLBI と ALMA を用いて電波コアのシンクロトロン自己吸収 (SSA) ピークから磁場強度を推定する手法を検討する。

2 背景

ブレイザーは通常、センチ波帯ではフラットなスペクトルを示す。これは、異なるスペクトルピークを持つ複数の放射成分を重ね合わせることで説明できる。一方で、ALMA による同時多周波観測から、複数のブレイザーがミリ波帯 (~86 GHz 以上) で光学的に薄いスペクトルを示す兆候を発見した (Doi et al., Nagai et al.)。単一鏡や ALMA は空間分解能が悪いため (ALMA で ~30 mas 以上)、光学的に厚い領域と光学的に薄いジェットを分離することができない。しかし、光学的に厚い領域の SSA ピークを推定することができれば、以下の関係から磁場強度 (B_{ssa}) を見積もることができる (e.g., Kino et al., 2015) :

$$B_{\text{ssa}} \propto \theta^4 \nu_m^5 S_m^{-2}. \quad (1)$$

ここで、 θ は放射領域のサイズ、 ν_m はピーク周波数、 S_m はピークフラックスを表す。本研究では、VLBI と ALMA の多周波スペクトルを用いて、これら 3 つの物理量 (θ , ν_m , S_m) を見積もる手法を検討する。

3 手法

まず、光学的に厚い領域 (SSA 成分) のサイズ (θ_{ssa}) は、Global millimeter VLBI Array (GMVA) 86 GHz のイメージで測定される電波コアのサイズ ($\theta_{86\text{G}}$) と仮定する。すなわち、

$$\theta_{\text{ssa}} \sim \theta_{86\text{G}}. \quad (2)$$

それゆえ、VLBI 86 GHz では、SSA 成分のフラックス ($S_{\text{ssa},86\text{G}}$) は電波コアのフラックスと同程度になり、

$$S_{\text{ssa},86\text{G}} \sim S_{\text{vlbi,core,tot},86\text{G}} \quad (3)$$

という関係が成り立つ。VLBI 低周波 (ν_n) では、空間分解能の低下により SSA 成分を分解できないため、電波コアのサイズ (θ_{ν_n}) は大きくなる (各領域は図 1 を参照)。領域内の放射が一樣であれば、 $\theta_{86\text{G}}$ と同じサイズの領域からの放射は、面積比から以下のように見積もることができる :

$$S_{\text{ssa},\nu_n} \sim S_{\text{vlbi,core,tot},\nu_n} \times \frac{\theta_{86\text{G}}^2}{\theta_{\nu_n}^2}. \quad (4)$$

光学的に薄い成分のフラックス $S_{\text{vlbi,thin},\nu_n}$ は、VLBI のトータルフラックスを $S_{\text{vlbi,tot},\nu_n}$ とすると、

$$S_{\text{vlbi,thin},\nu_n} = S_{\text{vlbi,tot},\nu_n} - S_{\text{ssa},\nu_n} \quad (5)$$

と表される。 $S_{\text{vlbi,thin},\nu_n}$ を各周波数で求め、光学的に薄い成分のスペクトル指数 $\alpha_{\text{vlbi,thin}}$ を求める ($S_{\text{vlbi,thin}} \propto \nu^{\alpha_{\text{vlbi,thin}}}$)。 $\alpha_{\text{vlbi,thin}}$ を外挿することで、ALMA 帯での光学的に薄い成分のフラックス ($S_{\text{ALMA,thin}}$) を見積もる。

ジェット成分の放射が卓越している天体の場合は、VLBI よりもさらに広がった光学的に薄い成分 ($S_{\text{ALMA,extended}}$) からの放射も考慮する必要がある。 $S_{\text{ALMA,extended}}$ は、86 GHz 以下で、単一鏡フラックス $S_{\text{single,tot},\nu_n}$ と $S_{\text{vlbi,tot},\nu_n}$ の差分 ($S_{\text{vlbi,ext},\nu_n}$) のスペクトル指数を求め、ALMA 帯に外挿することで見積もることができる。ALMA で測定されるトータルフラックス ($S_{\text{ALMA,tot}}$) は、SSA 成分 ($S_{\text{ALMA,ssa}}$) と、 $S_{\text{ALMA,thin}}$ 、 $S_{\text{ALMA,extended}}$ の和になることから、以下の関係が導かれる：

$$S_{\text{ALMA,ssa}} = S_{\text{ALMA,tot}} - S_{\text{ALMA,thin}} - S_{\text{ALMA,extended}} \quad (6)$$

86GHz 以下の VLBI 観測から S_{ssa,ν_n} を、86GHz 以上の ALMA 観測から $S_{\text{ALMA,ssa}}$ を見積もることで、全周波数での SSA 成分のフラックスが求まるため、SSA ピークを推定することができる。

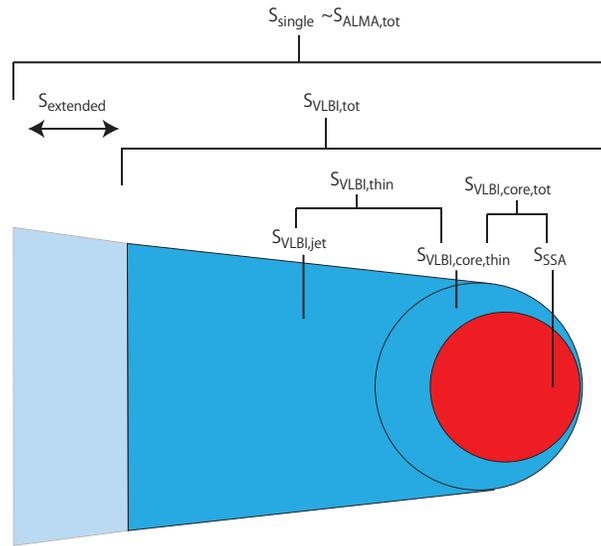


図 1: VLBI と ALMA で観測される領域とそのフラックスの模式図。

4 暫定結果

本研究では、クエーサー 3C345 に 3 章の手法を適用した。既得の GMVA 86 GHz イメージから、 $\theta_{86\text{G}} = 50 \mu\text{s}$ とわかる (Koyama et al., in prep)。図 2 から、SSA 成分のスペクトルは、90 GHz 付近にピークを持つと予想できる。この場合、領域の磁場強度は、以下のように見積もることができる。

$$B_{\text{ssa}} \sim 1.5G \left(\frac{\theta_{\text{ssa}}}{50 \mu\text{as}} \right)^4 \left(\frac{\nu_{\text{m}}}{90 \text{GHz}} \right)^5 \left(\frac{S_{\text{m}}}{1.9 \text{Jy}} \right)^{-2} \left(\frac{\delta}{12} \right) \left(\frac{1}{1+z} \right). \quad (7)$$

ここで δ はドップラーファクター (e.g., Schinzel et al., 2012)、 $z = 0.0593$ である。この値は、broadband spectral energy distribution モデルから見積もられる典型的な磁場強度と同程度であることがわかった。

5 今後の展望

既存の GMVA 86 GHz の観測に、phased-ALMA が加わることで、南北方向の uv が埋まるため、南北方向の空間分解能が向上する。よって $\theta_{86\text{G}}$ をより正確に決める事ができる。また、基線検出感度が約 10 倍向上することにより、淡く広がったジェット成分のフラックス ($S_{\text{vlbi,jet}}$) の測定精度の向上が期待できる。

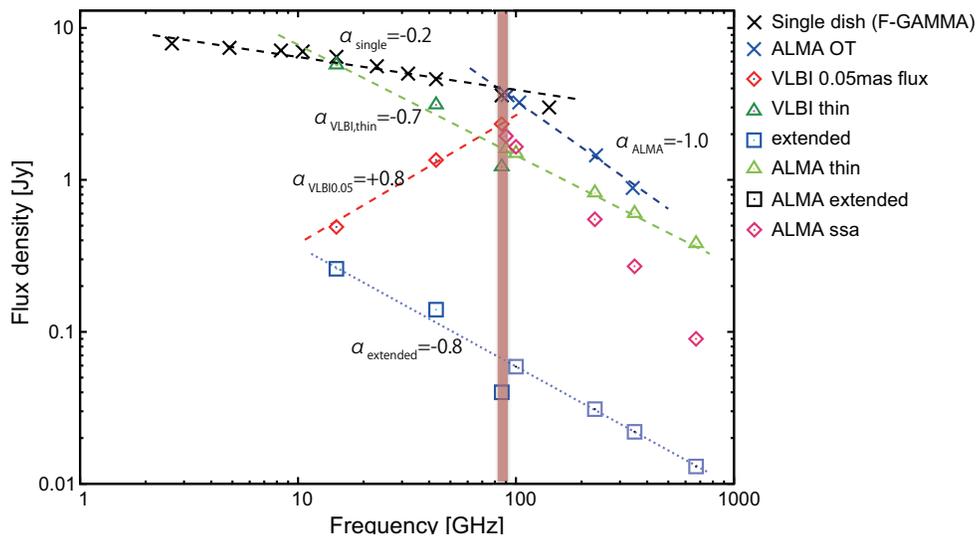


図 2: クエーサー 3C345 の電波スペクトル。

今後は、この手法を他のブレイザーにも適用して検討を行いたい。とくに、230 GHz で VLBI 観測を行っている Event Horizon Telescope で観測可能な天体に適用できると、より光学的に薄い領域で、領域サイズを正確に決めることが期待される。一方、VLBI 低周波から ALMA 帯まで、多周波同時観測が必要な点や、コアシフトによる多周波間での電波コア同定の難しさなど、問題点も浮き上がった。GMVA+ALMA を用いる前に、既存の GMVA でどこまでできるか検討したい。

参考文献

- Kino, M., Takahara, F., Hada, K., et al. 2015, ApJ, 803, 30
 McKinney, J. C. 2006, MNRAS, 368, 1561
 Schinzel, F. K., Lobanov, A. P., Taylor, G. B., et al. 2012, A&A, 537, A70