

JVN/EAVN を用いた 6.7GHz メタノールメーザの VLBI モニタープロジェクト ～methanol maser feature の構造の統計的研究～

蜂須賀一也(上海天文台)

+ プロジェクトメンバー

概要

2010 年から始まった JVN/EAVN 観測による 6.7GHz メタノールメーザの VLBI モニタープロジェクトの最終目標は、大質量星形成領域にある回転ディスクに付随すると考えられているメタノールメーザの内部固有運動のデータベースを構築し、回転ディスクの統計的な議論をすることである。そのメーザの固有運動を計測する時に最も重要なことは異なるエポック間でのメーザスポットの同定である。そこで、JVN/EAVN 観測データを使ってメーザフィーチャーの特徴を調べた。時間変化が十分に小さければメーザの同定は容易であるが、より質の良い固有運動データベースを作成するために、(a)複雑な空間・速度構造を持つメーザフィーチャーに対して注意を払わなければならない、(b)この研究グループで固有運動計測の手法を統一しなければならないと考えている。なお、この研究は始まったばかりであり結果が十分でないことを明記しておく。

1. 背景

大質量星形成領域で見られる 6.7GHz メタノールメーザは、同じ領域で見られる水メーザと比べて空間の広がり数百～千 AU と狭く、視線速度幅も数 km/s と非常に狭い(例えば Walsh et al. 1998)。一般に星形成は原始星とディスク、アウトフローから成ることから、その中で 6.7GHz メタノールメーザはディスクまたはディスク周辺的环境下にあると推測されてきた。実際 VLBI で内部固有運動を測定すると天球面上の速度も視線速度と同様な小さな値である。さらに楕円状に分布している 6.7GHz メタノールメーザの内部固有運動は楕円の接線に沿って回転運動をしておりディスクまたはエンペロープに付随していることが確定している(Sugiyama et al. 2013)。しかし今まで内部固有運動が計測されている 6.7GHz メタノールメーザ源の数は少なく、その中には速度の遅いアウトフローのような運動も検出されており(Sugiyama et al. 2011)、統一的な 6.7GHz メタノールメーザの素性は理解されていない。そこで、JVNを中心としたEAVN 観測で 36 天体の 6.7GHz メタノールメーザ

源の内部固有運動を計測し、その発生場所や運動などの統一的な見解を得ようとしている(Fujisawa et al. 2013)。

我々のプロジェクトではこれまで 36 天体の 6,7GHz メタノールメーザ源の VLBI 観測を実行している。これは単一の VLBI サーベイデータとしては世界最大である。既にその中の 22 天体が内部固有運動計測に最低限必要な 3 エポック分の観測を終了している(2013 年 2 月現在)。今後これらの内部固有運動の膨大なデータベースが構築され、6.7GHz メタノールメーザ研究に大きな貢献ができるだろう。

しかし 6.7GHz メタノールメーザの内部固有運動はその計測量が非常に小さいために、その扱いに十分に注意しなければならない。固有運動計測で最も注意を払うことは、異なるエポック間のメーザスポットの同定である。メーザの空間構造が単純で時間変化がなければ問題は無いが、中には複数のスポットが空間的に重なり合うことで複雑な空間構造となりかつ各メーザが独自の時間変化をしている場合、同定の扱いに注意しなければならない。つまり、メーザの固有運動(や年周視差)測定では、

各メーザーの特性を考慮しなければならない。

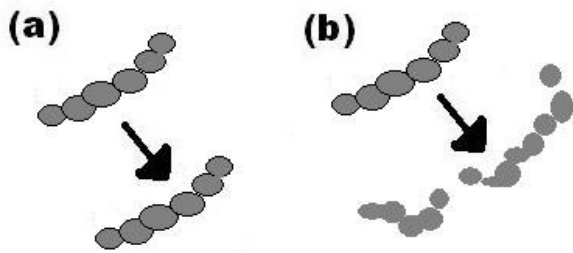


図1：メーザーフィーチャーの時間変化の概念図

一般にメーザーは速度構造がある。単一鏡観測から各メーザーコンポーネントは0.3～0.4km/sの速度幅(FWHM)があることが知られている(Pandian et al. 2007)。相関処理による速度分解能に寄るが、VLBI観測の速度分解能(三鷹相関器では0.18km/s)では1つのメーザーで少なくとも2～3チャンネル分のスポットが検出できる。それらのスポットを合わせたメーザーをメーザーフィーチャーと呼ぶことがある。この言葉の定義によれば、各メーザー源にはメーザーフィーチャーが点在していて、各メーザーフィーチャーは複数のメーザースポットから成るといふ描写となる。

メーザーフィーチャーが異なるエポック間で安定した構造を保っているならば、メーザースポットの同定は簡単である(図1(a))。しかし大きく変化した場合(図1(b))、同定が困難となる。同定を間違えると、正しい固有運動は得られない。以上の理由から、固有運動計測で最も注意すべきはメーザーフィーチャーの空間・速度構造の時間変化である。

一方、メーザーフィーチャーの空間・速度構造やその時間変化は、メーザーが発生しているディスクの局所的な物理情報を与えてくれる。もしかしたらディスクやエンベロップの乱流の情報が得られるかも知れない(例えば Imai et al. 2002 や McKee & Tan 2003)。

以上から、JVN/EAVN 観測データベースを使って、メーザーフィーチャーの特性を調べることにした。今回は第1エポックのデータ、全36天体で検出された213個のメーザーフィーチャー

について、その空間構造などについて調べた。解析方法は、VLBIの各チャンネルマップで検出されたメーザースポットの位置と強度の値を使って空間構造や速度構造(スペクトル)を各メーザーフィーチャー毎に解析をした。

2. メーザーフィーチャーの特性

メーザーフィーチャーの Blending

BlendingとはVLBI合成ビーム内に複数のメーザーフィーチャーが混在している状態のことである。解析ではスペクトルを Gaussian フィットを行い、1つの Gaussian でフィットできたものは単一のメーザーフィーチャー、それ以上は Blending しているメーザーフィーチャーとした。結果はデータベース中、19%のメーザーフィーチャーが Blending していた。よってほとんどのメーザースポットは時間変化が無ければまたは非常に小さければ同定を簡単に行うことができる。Blending しているメーザーフィーチャーは同じ領域に連続的だが異なる視線速度を持つ複雑な構造をしていることを意味していることから、ディスク内の乱流を反映しているかも知れない。逆に Blending していないメーザーフィーチャーが81%なので大部分のディスク内の速度場は安定しているのかも知れない。

速度幅

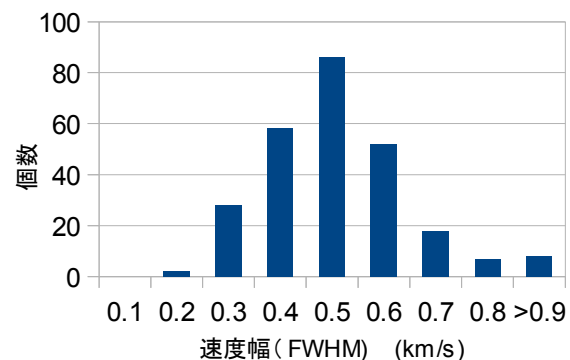


図2：メーザーフィーチャーの速度幅

各メーザーフィーチャーのスペクトルから得られた速度幅(FWHM)の平均値は0.45 km/s (中間値は0.46 km/s)である。これは単一鏡で得られたスペクトル解析から得られた平均値

0.38 km/s よりも若干広い。我々の観測の速度分解能は0.18 km/s なので、各フィーチャーには少なくとも2チャンネル分のスポットが検出されることとなる。弱い成分も含めると4チャンネル分は検出できるので、この速度分解能でも各メーザーフィーチャーの特性をある程度正しく得ることが可能である。一方、少なくとも3個が Blending しているメーザーフィーチャーは全体の速度幅が約2 km/s にも渡っているものもある。速度幅と強度の間に相関は無かった。

空間構造

各メーザーフィーチャーの空間形状を、直線状、円弧状、複雑の3種類に分類を行った。まず Blending の有無に関係なく全てのメーザーフィーチャーで分類すると、直線状は21%、円弧状は 52%、複雑な空間構造は 27%であった。Blending していないメーザーフィーチャーは円弧状の形状が 59%を占め、一方 Blending しているメーザーフィーチャーは 65%が複雑な構造をしていた。

何故円弧状のメーザーフィーチャーが多いのか、その理由は分からない。もしかしたら運動の方向に関連しているのかも知れないが、まだ固有運動を計測していないので不明である。Blending メーザーフィーチャーが複雑な空間構造をしている理由は、ローカルな乱流が起源かも知れない。

メーザーフィーチャー内の強度ピークのメーザースポットと隣のチャンネルのメーザースポットの平均相対位置は、約 0.9 mas であった。JVN/EAVN のビームサイズは 4 mas 程度なので、強度の強いメーザーフィーチャーの空間構造は十分な精度で把握できるだろう。一方、Blending しているメーザーフィーチャーほど相対位置が大きくなる傾向があり、それは複数のメーザーフィーチャーがあることが原因だろう。しかし、Blending していないメーザーフィーチャーでも相対位置が大きなものもあった。特に G037.40+01.52 のメーザーフィーチャーは

Blending していないにも関わらず、チャンネル間の相対位置が15 mas もある特殊な例もある。これはより高い速度分解能で解析をしなければその原因について分からないだろう。

最後にメーザーフィーチャーの空間構造が各メーザー源内の分布と相関があるかどうかを調べてみた。例えば全体の空間構造が楕円を表しているメーザー源に点在するメーザーフィーチャーの個々の形状が予測される回転運動方向と何らかの相関があるかどうかを調べた。2 天体について調べてみたが、特に優位な傾向は見られなかった。その理由はメーザーフィーチャーの構造は全体よりもローカルな物理状態を反映しているからかも知れない。

3. 固有運動計測に向けて

今回のメーザーフィーチャーの解析から、ほとんどのメーザーは複雑な構造をしておらず、時間変化に注意して異なるエポック間のメーザースポットの同定を行えば内部固有運動計測は正しく得られることが分かった。ただし Blending しているメーザーフィーチャーに対しては注意しなければならない。今後、我々の JVN/EAVN 観測から固有運動の大データベースを構築していくときに、解析者の間でメーザーの同定法を統一させる必要があると考えている。

また第 2、3 エポックも含めて時間変化の統計的な傾向を調べなければならない。

参考文献

- Walsh et al. 1998, MNRAS, 301, 640
- Sugiyama et al. 2013 in preparation (CepA)
- Sugiyama et al. 2011, PASJ, 63, 53
- Fujisawa et al. 2013 in preparation (Paper I)
- Pandian et al. 2007, ApJ, 669, 435
- Imai et al. 2002, ApJ, 567, 971
- Mckee & Tan 2003, ApJ, 585, 850