

銀河系内遠方メーザーのアstrometryと VERA狭帯域の高感度化の提案

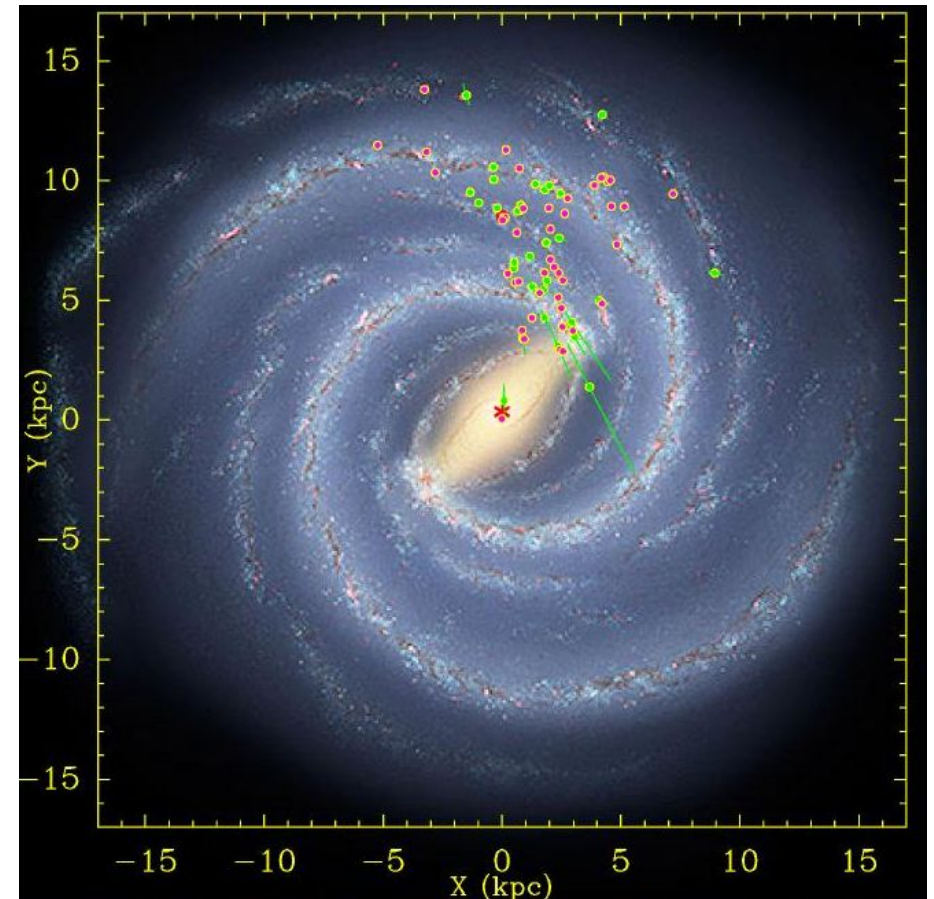
蜂須賀一也
(上海天文台、中国)
khachi@shao.ac.cn

概要

銀河系内メーザー源は系内全体に分布しているはずだが、現在の系内メーザーVLBIアstrometryの対象はフラックスの強い天体を中心に行っているため、銀河系中心を超えた領域の遠方メーザー源は観測天体に含まれていない可能性が高い。VERAがBeSSeLなどの競合プロジェクトよりも際立った結果を残すために、遠方メーザー源(太陽から12~20 kpcの距離)を対象とした銀河系最後のフロンティア(新天地)の開拓を提案する。この観測は絶対固有運動のみの計測のため、年周視差測定ほどの精度は必要ない。しかし対象メーザー源は非常に弱いはずなので狭帯域での高感度化が必要である。

今後VERAのターゲット天体は、 BeSSeLプロジェクトの天体と被る？

- BeSSeLプロジェクト
 - 5年間で約500天体のメーザー源(水、6.7 and 12 GHz メタノール)をVLBAで観測。
 - 一方、LBAで南天のメーザー源も観測開始。
- おそらく総計600~700天体になると推測される。
- VERAの観測予定天体を先にBeSSeLで観測されてしまうかも知れない。
 - 住み分けができるほど観測対象天体数は多くない。



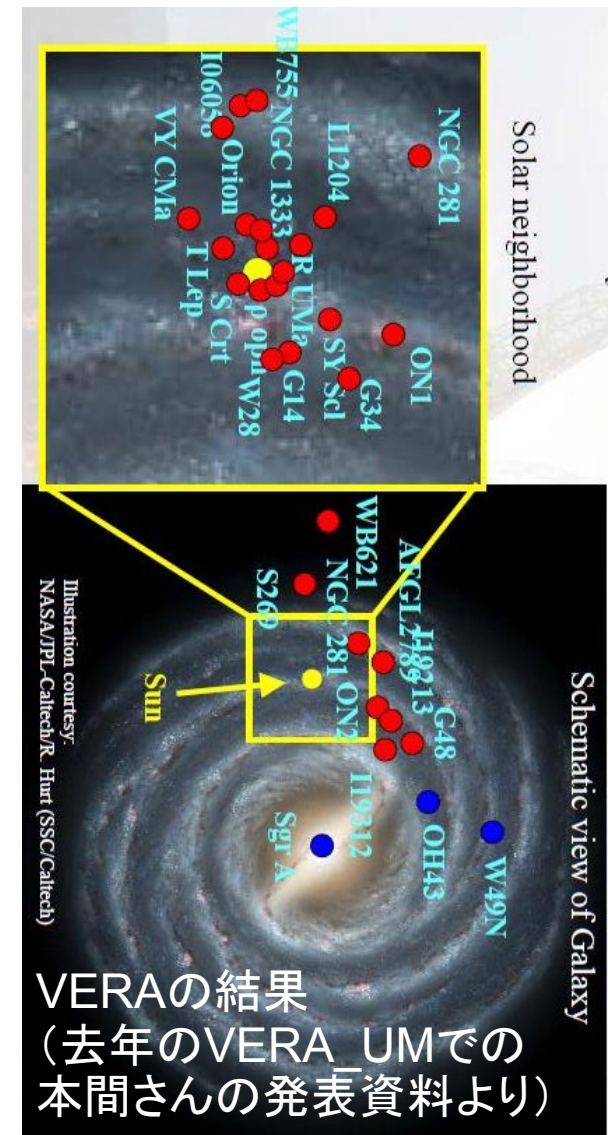
BeSSeL project (Brunthaler+ 2011)

緑: 観測済み

赤: 観測中(力学的距離)

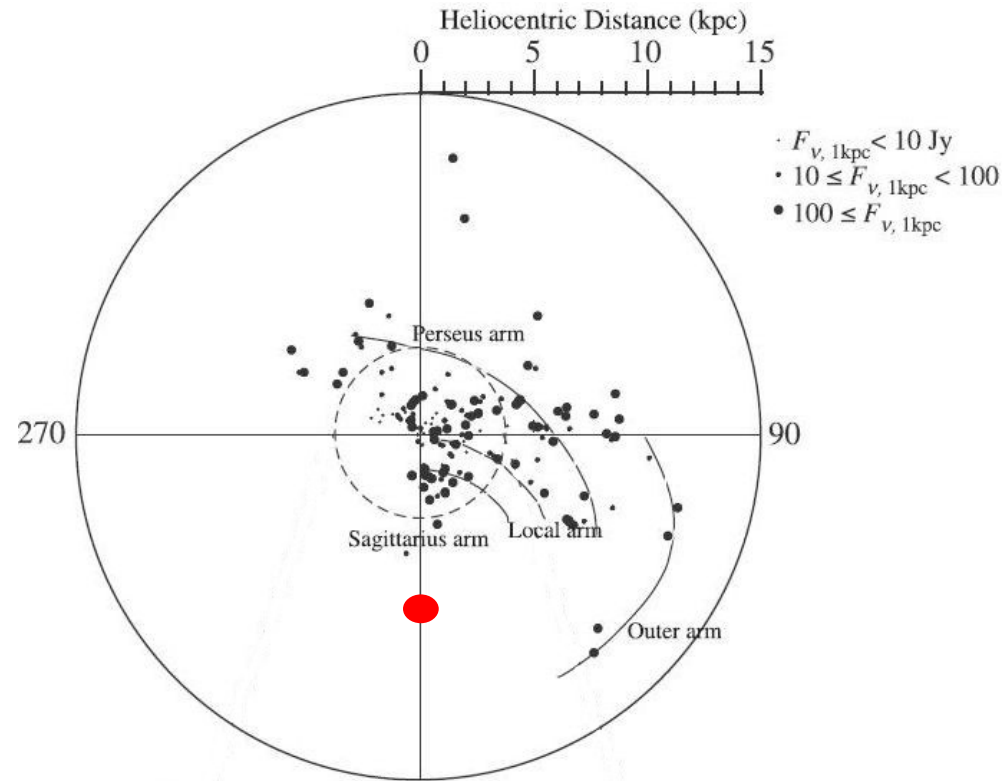
しかし現状のVERAやBeSSeLの銀河系内水メーザー源VLBIアストロメトリは(おそらく)銀河系全体を網羅できない

- VERAもBeSSeLも強度の強いメーザー源が第一ターゲット。
- 10 kpc を超えるような遠方メーザーの強度は弱い。何故なら遠いから。
 - W49Nとかは例外
- よって、現行のVERAやBeSSeLプロジェクトは太陽を中心とする半径10 kpc程度内の距離測定になると予測される。
 - 銀中を大きく超えた領域の水メーザー源は観測されない可能性あり



その上VERAやBeSSeLで使っているメーザーカタログは基本近傍のみ (< 10 kpc)

- 砂田さんが2007年に出した論文に掲載されている水メーザー源の分布は、結構リアルだと思う。
 - つまりほとんどの天体が near distance
 - 銀河中心を大きく超える領域にある腕、つまり距離12 kpcを超える系内水メーザー源は今まで検出されていない可能性がある。
- よって、既存のカタログは銀河系全体を網羅していない可能性がある。

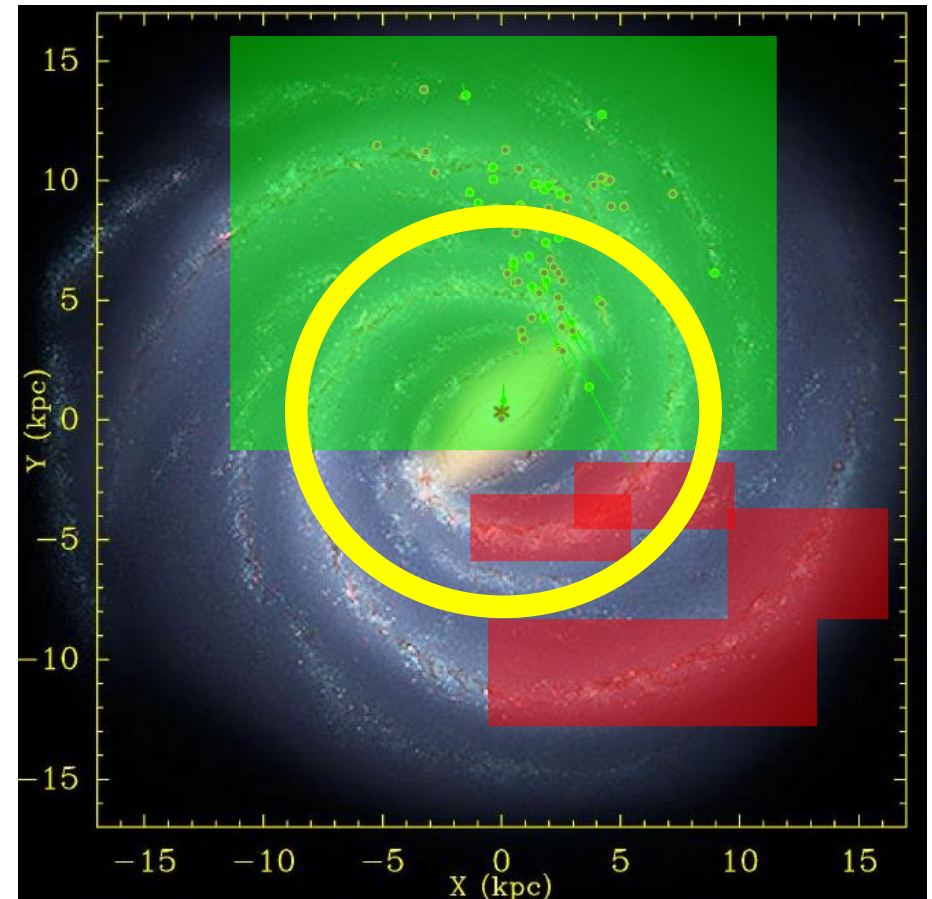


Sunada+ 2007

野辺山の単一鏡サーベイから力学的距離を用いてマッピングしたもの。円の中心は太陽。赤丸は銀河中心。

そこで銀河系中心を超えた領域の メーザー源マッピングの提案。 行えば、現状でVERAの独壇場

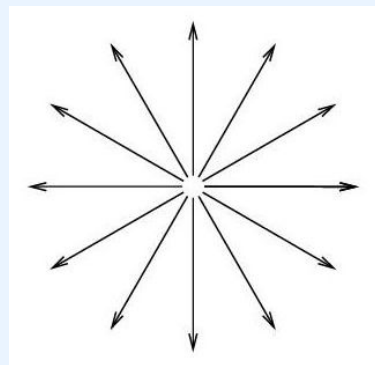
- VLBI力学的距離(視線速度+絶対固有運動)を使えば、銀河系中心の向こう側のメーザー源を同定できる。
 - 太陽-銀河系中心間で正確に決定された回転曲線を使えば、大雑把な距離も推定可能。
- 今まで明確に発見されていない”遠方の腕”の直接検出になる。



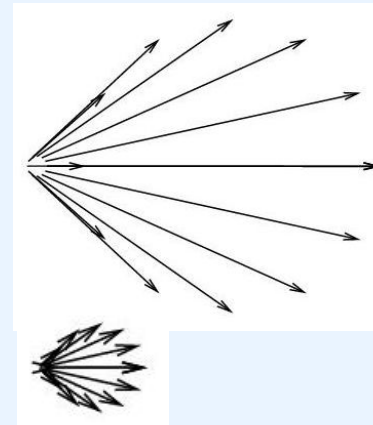
緑:現状のBeSSeLやVERAの観測範囲
赤:今回VERAに提案している観測範囲
黄:太陽円

VLBI力学的距離：絶対固有運動の測定 でnear/far distance の切り分けが可能

- 遠方メーザー源の絶対固有運動は最大で約94 mas/year/kpc
 - Flat rotation curve (220km/s)を仮定。銀径0度で最大。この値は銀河回転成分のみ。
 - 9.4 mas/year @ 10 kpc
 - 6.2 mas/year @ 15 kpc
 - 4.7 mas/year @ 20 kpc
- 一方、太陽近傍(near distance)にある天体の絶対固有運動は、特異運動が無ければほぼ内部運動のみだが1kpcにある天体が特異速度20 km/s があると4.3 mas/year+内部運動。
- 一見、切り分けが困難のようだが、遠方メーザー源の絶対固有運動は、全てのメーザースポットでほぼ同じベクトル。また近傍天体は固有運動が大きい、年周視差は容易に検出可能。



メーザー源のモデル
距離1 kpc (太陽近傍)にある
メーザー源の内部運動。内部
運動の大きさは
14 km/s (= 約 3 mas/year)



上のモデルに20km/sの
特異運動を加えたもの。
距離1 kpc、太陽と同じ銀河
回転をしている。絶対固有
運動は大きい、内部運動
の寄与が大きく見える。
下は距離が5 kpc の場合。

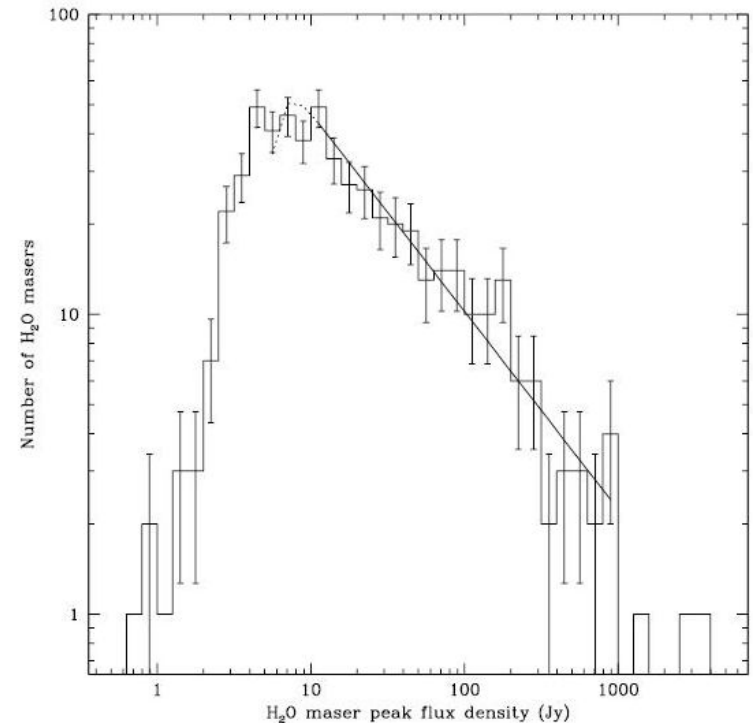


モデルに20km/sの特異運動
を加えたもの。距離15 kpc。
銀河回転による絶対固有
運動は 6.2 mas/year.
内部運動は0.2 mas/year.

距離による絶対固有運動の違いの例
(同スケール)

水メーザー源 新データベース: Mopra 22m による 無バイアス水メーザー源サーベイ HOPS (H₂O Southern Galactic Plane Survey) (Walsh+ 2011)

- 銀中方向の100平方度をサーベイ (RMS 1.5 Jy)
 - $-70^\circ < l < 30^\circ$, $-0.5^\circ < b < 0.5^\circ$
- 334天体の新発見。遠方水メーザー源が含まれている可能性大。VERAは位置的にその約半分が観測可能。
- 新発見のメーザー強度
 - Max: 731 Jy 中間値: 8.5 Jy

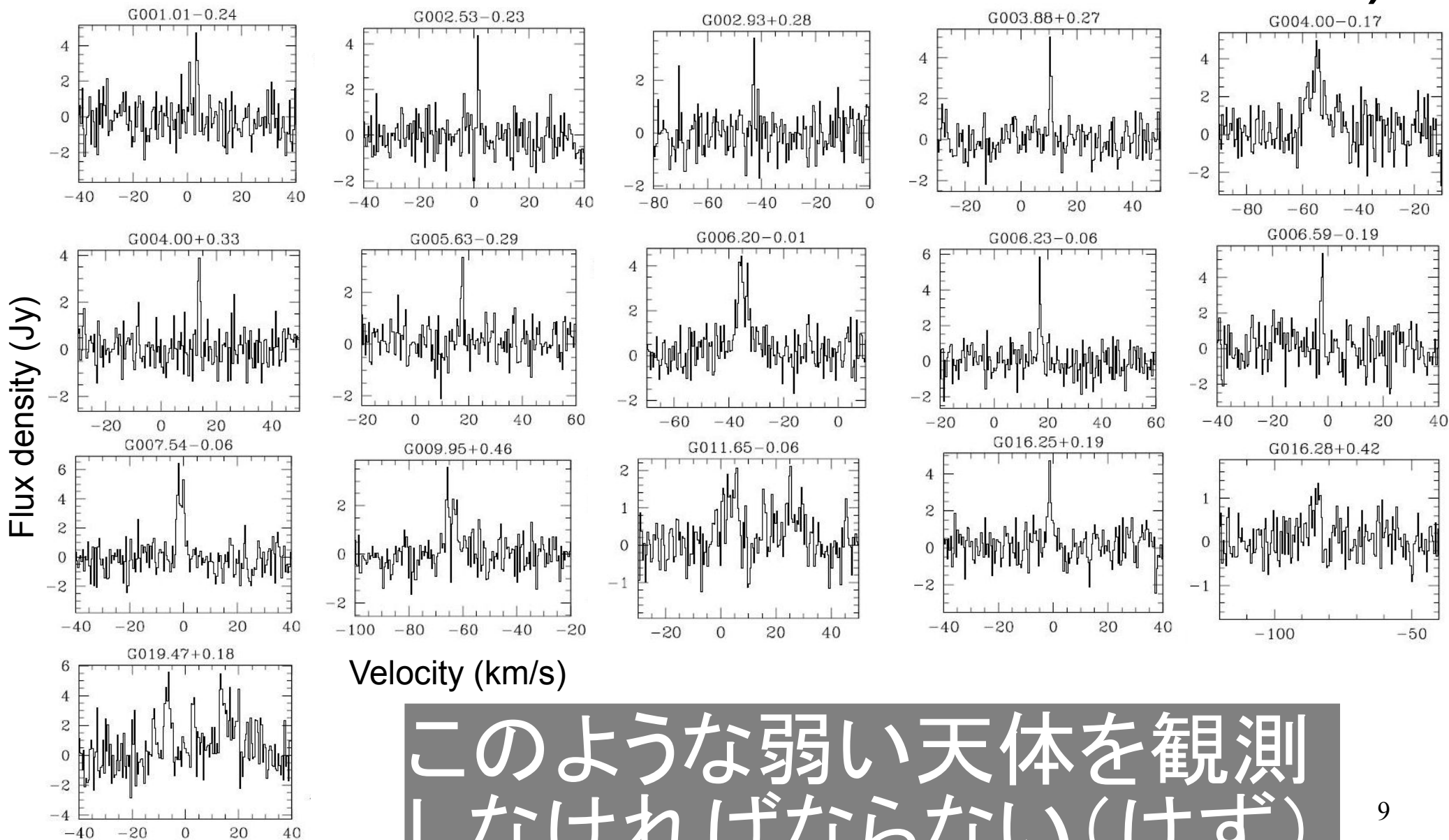


水メーザー源のピークフラックスのヒストグラム。10Jy以下で個数が減っているのは検出限界に近いから。⁷

問:HOPSカタログの中には遠方水メーザー源があるのか？ 答:あるかも

- 仮定（非常に大雑把です・・・）
 - 水メーザー源のピークフラックスの視線速度は、その天体の系統速度と同じ。天体の視線方向の特異速度は無し。
 - 遠方メーザー源の太陽からの距離を15 kpcと固定。
 - Scutum-Centaurus腕や遠いPerseus腕などの大よその平均距離。
 - 強い水メーザー源の典型的な強度を1,000 Jy (at 1 kpc from Sun)とすると、15 kpcでは4.5 Jy程度(r^{-2} で減衰すると仮定)。この仮定により、5 Jy以上は近傍天体とする。
 - 銀径が $0^\circ < l < 20^\circ$ の範囲内のみ。Evolved star付随は除く。
- 太陽円内(inner Galaxy): 7天体（in 遠方Perseus腕）
 - 視線速度が大きければ大きいほど銀河中心に近い。狙うターゲット領域は、視線速度が20 km/s 以下。
- 太陽円外(outer Galaxy): 9天体（in Scutum腕）
 - 視線速度は負

ターゲットとなるかも知れない16天体の水メーザー源のスペクトル(HOPSより)



このような弱い天体を観測
しなければならない(はず)

遠方メーザー源は弱い(はずな)ので、VERAの高感度化が必要。特に狭帯域。

- 相関フラックスが数Jy(時には <1 Jy)の水メーザー源のVLBIアストロメトリを行わなければならない。
- 広帯域化による恩恵は基本的に連続波のみで、メーザーは狭帯域の感度が上がらなければ、観測的・解析的に困難となる。
 - 相対VLBIを行えば積分時間が延びて感度が上がるという意見があるが、実際の解析は連続波でも狭帯域(例えば16MHzの帯域ずつ)をベースに行うので、この帯域の感度が悪ければ良いキャリブレーションは不可能。良いキャリブレーションができなければ、微弱メーザーは受からない。
- VERAの狭帯域の感度を上げれば、連続波の感度も上がり年周視差測定ターゲット天体数も増える。

VERAの狭帯域の高感度化のコメント

- 対応策(何人かに意見を聞きました)
 - 受信機のアップグレード
 - 光学系の見直し
 - 能率アップ
 - スピルオーバー損失の改善
 - 両偏波化
 - 局数を増やす
 - JVNやKVN、CVNとの共同観測。現状ではKVNが現実的。
- VLBI観測する前に遠方メーザー源候補の選択やテスト観測などの準備が1~2年必要なため、2、3年後までにVERA狭帯域の高感度化について検討を行い、その実行の可能性について答えを出す。

観測計画案

VERA単独ではなく大学との連携も必要

- 単一鏡サーベイ
 - 強い参照電波源周辺を茨城32mや山口32mを使って超高感度メーザー源無バイアスサーベイ(HOPS以上の感度)
 - アンモニアなどの分子ラインで付随天体の視線速度の測定
 - HOPSカタログ天体の再観測(現在のフラックスの確認)。
- 他波長データを使って遠方メーザー源の絞込み
 - 例えば付随するHII領域のサイズが大きいの→近傍天体
- 絶対位置測定(できれば0.1秒角程度)
 - VLAやATCAを使う。もしくは茨城の超短基線VLBI。
- VLBIアストロメトリ観測
 - 年周視差測定では無いので、年に2~3回程度の観測。

遠方水メーザー源のある領域は
銀河系に残された最後のフロンティア。
ハイリスク・ハイリターンだが
専用望遠鏡VERAだからこそやるべき

• 得るもの

- 他の銀河系内メーザー源
VLBIアストロメトリ計画を
出し抜ける。
- 新しい銀河系の構造が
分かる。
 - 遠方の腕の直接検出
 - 遠方の星形成領域の発見
- 大学とVERAで共通の
サイエンスプロジェクト

• リスク

- 遠方メーザー源だと
思っても、近傍天体で
ある可能性もある。
- VERAの狭帯域高感度
化にお金がかかる・・・。
- シングルスポットのメー
ザー源ではnear/farの
切り分けが難しい。
 - 年周視差が受からない
ことの証明が必要

まとめ

- 今後10年間のVERAの方針として従来どおりの年周視差測定も重要だが、遠方メーザー源を含む絶対固有運動測定も重要。
 - 絶対固有運動測定も立派なアストロメトリ
- このようナリスクの高い観測は他のVLBIでは採用されにくい。アストロメトリ専用のVERAだからこそ可能なプロジェクト。
 - 銀河系最果てのアストロメトリはVERA次第だと言える。もしくはVLBA・・・(運用費を払って時間をもらう・・・)。ただ個人的にはここでVERAの意地を見せたい。
- VERA狭帯域の高感度化を検討し、VERAや各大学で協力してこのプロジェクトを進めてはいかがでしょうか？興味のある方は是非実行して下さい。

補足：東アジアVLBIに対するコメント

KVNとの連携が1つの鍵

- KVN

- VERAとの連携はイメージ感度向上を期待できる。

- CVN

- 現状では上海25mのみ参加可能。しかし65m完成後の25mの運用は未定(クローズも検討されている)。他のCVNはウルムチ局の参加が現実的。一方、北京・昆明局は諸事の理由により現在では未定としか言えない。中国はCVNをもっと天文学に利用したいが、月プロジェクト、金銭的・人的な問題があって現状は厳しい。

- 上海新65m鏡

- 2012年に完成を予定しているが、2012年時点では低周波の受信機のみを搭載、2015年までにQ帯まで搭載を完了する予定である。高感度のVLBI観測が期待できるが、中国の月プロジェクトの中核を成す望遠鏡でもあるので、どの程度EAVNに参加できるか不明。