

クエーサーの位置揺らぎとMACHO

通信総合研究所 細川瑞彦
 国立天文台 福島登志夫
 長野高専 大西浩次

相対VLBI (VERA)などの技術の発展によりクエーサーを用いた基準座標系の高精度化が進み、位置測定精度は $10 \mu\text{as}$ に達しようとしている。ここで新たな問題として銀河の星々による重力レンズ効果が現れてくる。銀河系外基準座標系は遠方のクエーサーの位置を基準として構築されるが、銀河の中で我々がその位置を測定する際に、銀河の星々の重力レンズ効果によって真の位置からずれると考えられる。このずれはランダムなもので、銀河内の星の運動によって時間的にも変動し、基準座標系の予想外の経年劣化を引き起こすと考えられる。1996年秋季天文学会において我々は星、MACHOの分布から重力レンズ効果による系外天体の位置のずれと、引き起こされる見せかけの固有運動の期待値を計算し、重力レンズ効果と基準座標系の精度限界に関する報告を行った。

主な結果を図.1と図.2に示す。ここでは計算の際に次のような単純化をおこなった。まず銀河内の物質は二種類、Disk StarとMACHOのみが存在すると仮定した。Disk Starについては Exponential Disk model を採用し、個々の質量は全て太陽質量 (M_{sun}) に等しいとした。用いたパラメータは次の通りである。

- $\rho = 46 M_{\text{sun}}/\text{pc}^2$: Disk Star のコラム密度
- $R_0 = 8.5 \text{ kpc}$: 銀河中心からの距離
- $z_h = 300 \text{ pc}$: Disk の厚み
- $v_0 = 220 \text{ km/s}$: flat rotation curve

MACHO については Isothermal model を採用し、個々の質量は全て $0.1 M_{\text{sun}}$ に等しいとした。

- a : MACHO のコア半径、ここではまず、 2000 pc
- ρ_0 : 局所ダークマターの密度, $8 \times 10^{-3} M_{\text{sun}}/\text{pc}^3$
- $v = 180 \text{ km/s}$: 視線に対してランダム

期待値計算の結果、図.1からは銀河中心付近において位置の揺らぎの期待値は $10 \sim 20 \mu\text{as}$ に達していることがわかる。また、この量はほぼ、(密度) \times (個々の質量) に比例するため、MACHO の質量を $0.1 M_{\text{sun}}$ とすると MACHO の存在はほとんど効かないことがわかった。

図.2では誘起される固有運動が銀河中心付近では $10 \mu\text{as/y}$ 前後であることがわかる。Disk Star のみとした場合には銀河中心から離れるにしたがい flat rotation curve による相対速度の減少により急速にゼロに近づいていくが、MACHO が存在するならばどの方向でもほぼ $4 \mu\text{as/y}$ 以上になることがわかる。この効果は分布の密度が一定ならば、個々の質量には依存しない。

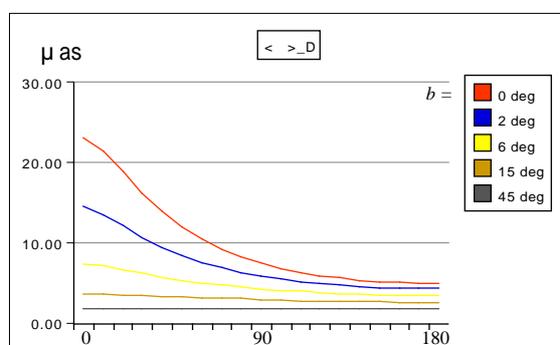


図.1 Disk Stars Only

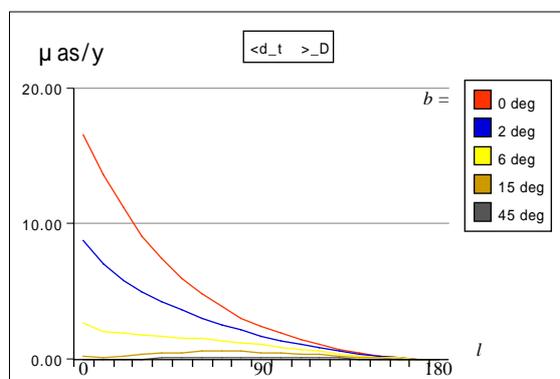


図.2-1 Disk Stars Only

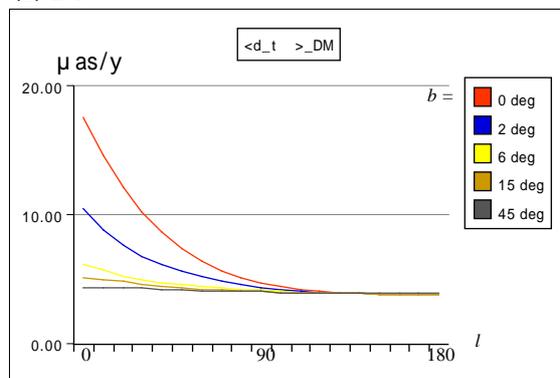


図.2-2 Disk Stars and MACHOs

以上の結果は基準座標系構築のために多数のクエーサーの位置を測定する際には重要であるが、インパクトパラメーターに対する偏向角はガウス分布からはほど遠いため、個々のクエーサーの位置を観測する際には期待値ほどのずれが得られる確率はあまり高くないと考えられる。そこで、確率(正確には optical depth)について計算を行った結果が図.3である。ここでは誘起固有運動が $1 \mu\text{as/y}$ 以上になる確率を、Disk Star と MACHO それぞれについて計算した。これらからわかるように、Disk Star では銀河面から 6° 程度、MACHO では銀河中心から 30° ほど離れると、誘起される固有運動が $1 \mu\text{as/y}$ 以上である確率は1%程度に減少する。この程度に低確率であれば誘起固有運動のあるクエーサーを発見した場合、その近傍のクエーサーにも同時に同程度の固有運動が誘起されている確率は大変低くなるので、近傍のクエーサーを位置基準として用いることが可能であろう。図.3-2では、MACHO のコア半径 a に対して 2000 pc の場合と 8000 pc とした場合について重ねてある。銀河中心から 30° 以内では両者でかなりの違いが見られるので、多数のクエーサーに対して誘起固有運動を検出し統計的な解析ができればこのようなパラメータを決定できよう。

インパクトパラメーター l がアインシュタインリング径に比べて十分大きいときには偏向角 θ とその変化率(誘起固有速度) d/dt には次の関係

$$1/l, d/dt \propto 1/l^2,$$

$$d/dt (\mu\text{as/y}) = (v/m)^2 (\mu\text{as}).$$

が成り立ち、位置が l ずれる確率 $P(l)$ と誘起固有運動が d/dt の確率 $P(d/dt)$ にはそれぞれ

$$P(l) \propto l^{-2}, P(d/dt) \propto l(d/dt)^2.$$

の関係が成り立つため、 d/dt を k 倍すると、次のようなスケーリング則が得られる。

$$P(k \cdot l) = P(l)/k^2, P(k \cdot d/dt) = P(d/dt)/k.$$

また、 $d/dt (\mu\text{as/y}) = (v/m)^2 (\mu\text{as})$ より、次の関係が得られる(図.4)。

$$\text{Disk Star } (1 M_{\text{sun}}) : d/dt (\mu\text{as/y}) \sim 0.005^2 (\mu\text{as})$$

$$\text{MACHO } (0.1 M_{\text{sun}}) : d/dt (\mu\text{as/y}) \sim 0.05^2 (\mu\text{as})$$

もしMACHOの平均質量が $0.1 M_{\text{sun}}$ より大きければMACHOによる位置の揺らぎは、より長周期、大半径のものとなり検出しやすくなる。

以上より、VERA計画で見込まれる $10 \mu\text{as}$ よりもう少し良い精度で、銀河中心から 30° 以内の範囲で数百個のクエーサーの相対位置変化を数年間にわたって測定し続けることが、MACHO の検出とその質量、密度、速度の分布を知るための一つの可能性として考えられよう。

References

- [1]. Hosokawa, et. al. 1993, A&A, 278, L27.
- [2]. Hosokawa, Ohnishi and Fukushima, Preparing.
- [3]. J. N. Bahcall, et. al. ApJ, 389, 234 (1992).
- [4]. Kan-ya, Nishi, Nakamura, 1996, PASJ, Vol.43, 479.
- [5]. 細川他1996年.宇宙電波懇談会収録.
- [6]. 大西他 1995年, 未開の大銀河研究会収録

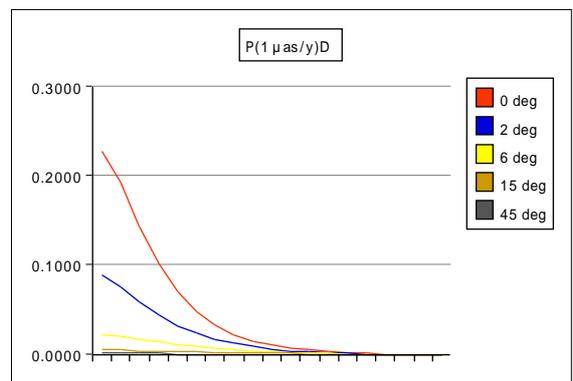


図. 3-1

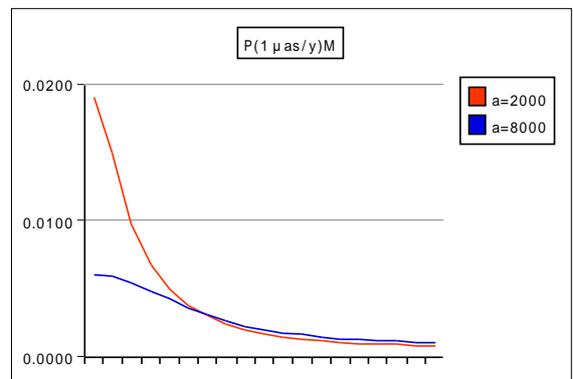


図. 3-2

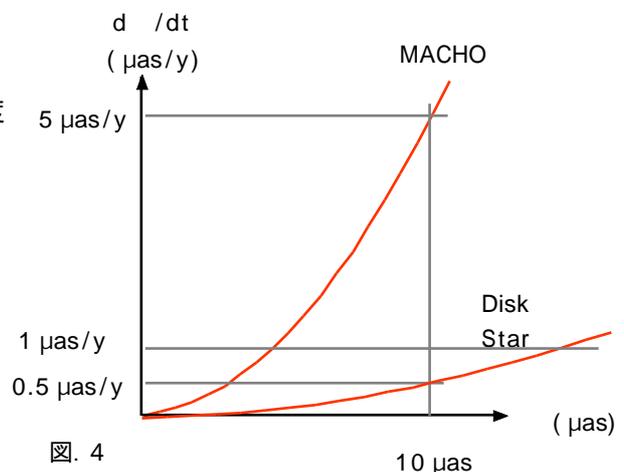


図. 4