

10 μ as での星の質量測定の見直し

情報通信研究機構 細川瑞彦

国立長野高専 大西浩次

国立天文台 福島登志夫

概要： 10 μ as レベルの位置計測精度が得られると、重力レンズ効果を利用して **Astrometricに星の質量を測定** する可能性が出てくる。観測者とレンズ星の相対位置変化を知ることが重要だが、**地球の公転** とともに、複数の背景星が得られれば、**レンズ星の固有運動** も利用可能になる。

10 μ as の位置計測

'90年代初頭、VERAの計画を聞いて・・・

重力偏向から恒星の質量が測れるのでは？

偏向角そのものは一地点からだけでは観測不可能！

相対位置変化の基準を得るのが難しい

1993 細川、大西、福島、竹内 (Astron. Astrophys. 278, L27)

地球の公転運動を基準とすることにより

恒星の**距離と質量の同時決定**が可能

10 μ as (計測精度), 1 as (背景星との離角),

60 pc (レンズ星までの距離), 5 M_{sun} (2%?)

・・・現実には、かなり厳しい制約

重力レンズ効果：astrometry と photometry

- astrometry 屈折（重力偏向）
太陽での検証
銀河による重力レンズ
恒星：太陽以外は不可能？
（アインシュタイン）

- photometry 変光
恒星も可能？

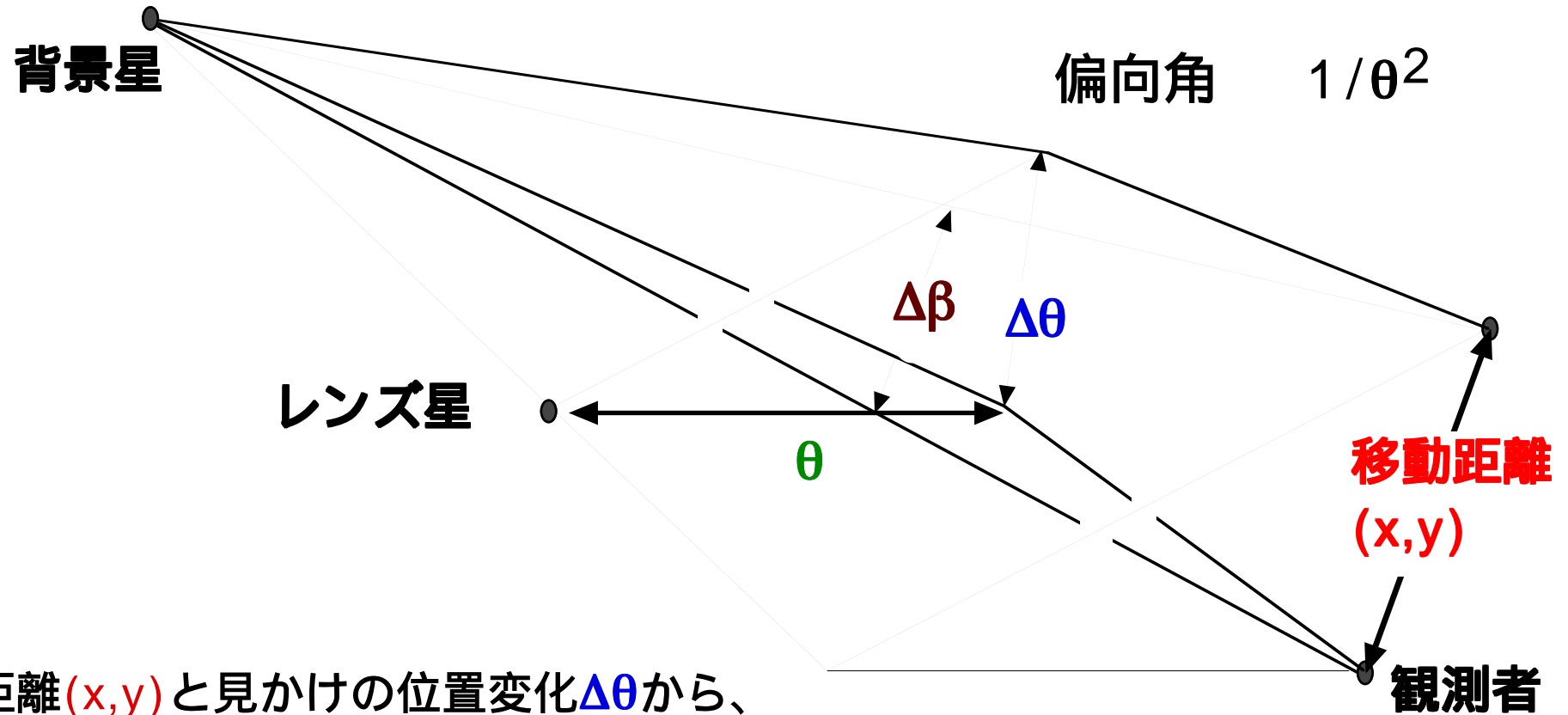
明るさの変化を見るのは
非常に小さな可能性
マイクロレンジング、
1/百万の確率

- 重力偏向角は、一点からの
観測だけではわからない
- **位置の相対変化**に対し、
見かけの像がどう変化するか
レンズ効果の強さ
- **既知**の位置変化と
観測される像の変化との差から
レンズ星の質量測定が可能

質量測定の手順

- 観測者から、近いところにレンズ星、
無限遠方に背景星、見かけの離角 θ
- 観測者とレンズ星の相対位置変化 (x,y)
があった場合、背景星とレンズ星の
見掛け上の位置変化 $\Delta\theta$ が観測される
- レンズ星が背景星の光路に
レンズ効果作用を与えていると
 (x,y) と $(\Delta\theta_x, \Delta\theta_y)$ は平行でなくなる
- 平行からのずれはレンズ星までの距離 D 、
背景星との離角 θ 、レンズ星の質量 M
そして移動距離 (x,y) に依存

質量測定の実験図

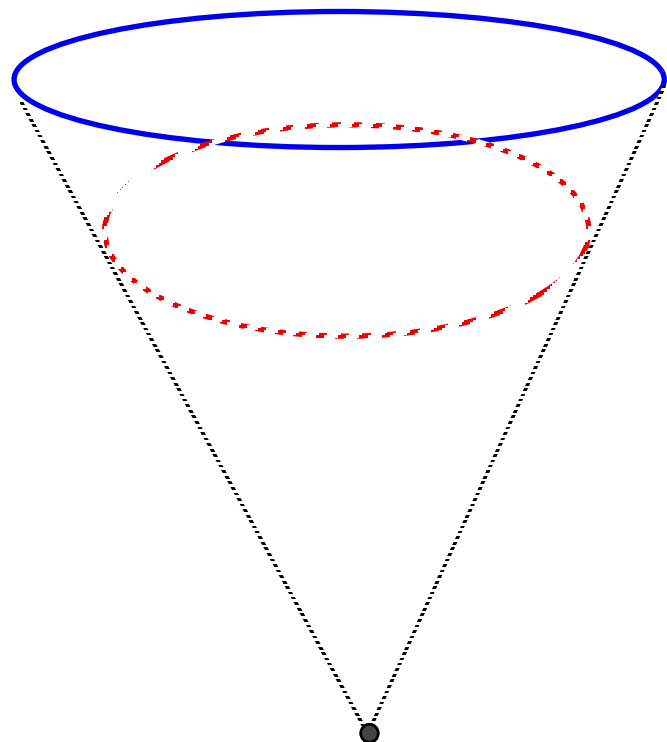


移動距離 (x,y) と見かけの位置変化 $\Delta\theta$ から、
距離と質量を同時決定するための公式 (1993 A&A)

$$D = \frac{1}{2} \left[\frac{x}{\Delta\theta_x} + \frac{y}{\Delta\theta_y} \right], \quad M = \frac{c^2 \theta^2}{8G} \left[\frac{x}{\Delta\theta_x} - \frac{y}{\Delta\theta_y} \right]$$

$\Delta\theta$ は観測量、移動距離 (x,y) は 既知 でなければならない！

地球の公転運動を利用する直観的イメージ（観測者から）



背景星

—— レンズ星の見かけの視差楕円

- - - レンズ星の本来の視差楕円

利用できる (x,y) : 地球の公転運動

θ が小さいと非現実的 : $\theta \sim 1$ 秒角

測定精度 : $\Delta\theta \sim 10$ マイクロ秒角

60 pc 以内、 $5 M_{\text{sun}}$ 以上

公転運動では、やはり位置変化は小さい

固有運動の利用！

ほぼ直線運動

(銀河回転は無視できる)

およそ地球公転速度と同じ程度ならば

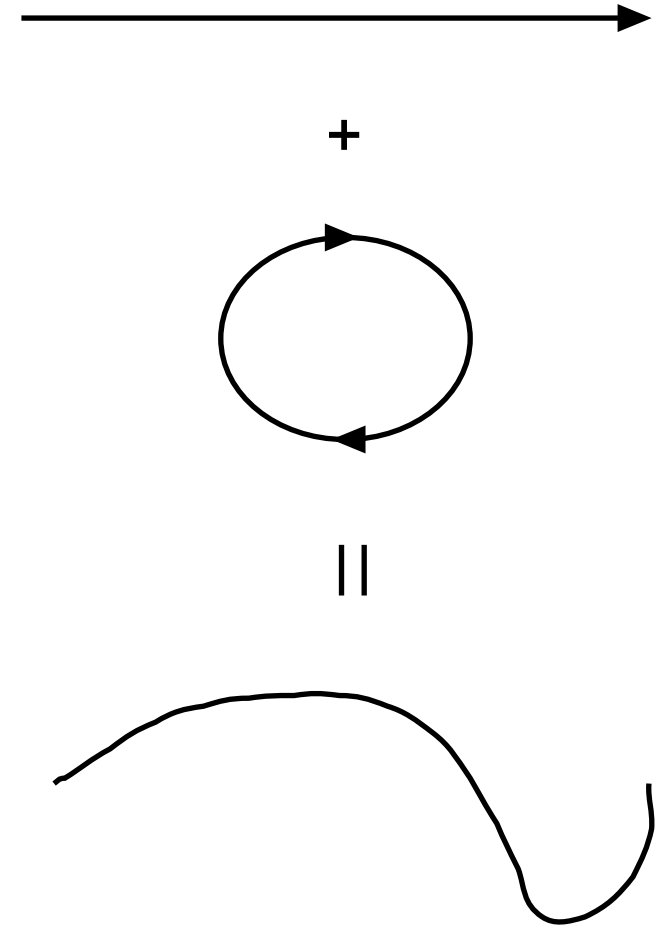
1年で視差の3倍、

長期観測では積分効果あり

観測量は角度の変化(角速度)

いかにして位置変化の絶対値を求めるか？

複数の基準点、重力レンズ効果無しの視差測定

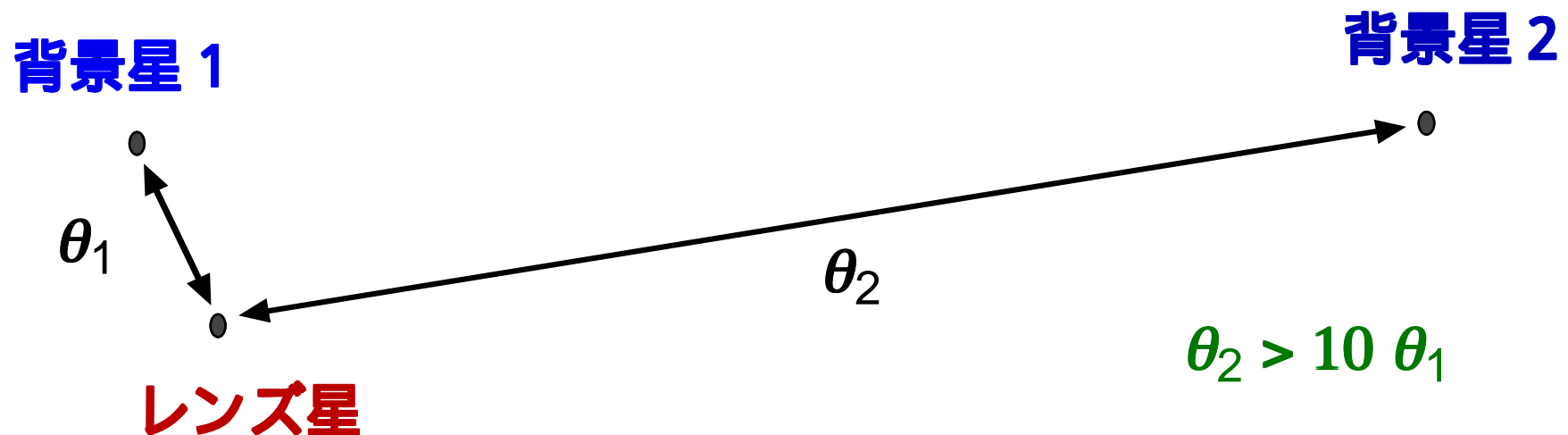


絶対位置変化の求め方

不動基準点に対する固有運動（**角度**）と、視差（**距離**）から、位置変化の**絶対値**を定める

重力レンズ効果の排除 もう一つの背景星

偏向角 $1/\theta^2$: 有効数字二桁の測定には、
10倍離れていればよい



固有運動利用の **メリット**

- ・ 高速な星なら、一年でも大きな位置変化が得られる
- ・ 積分効果がある（長期観測が有効）
 数年で一桁の精度向上（測れる範囲の拡大）
- ・ レンズ星が二重星の場合でも大丈夫
 二重星の軌道運動も遠方の背景星を基準に測れる

固有運動利用の **デメリット**

- ・ 背景星がもう一つ必要になる
- ・ 二つの背景星の間に相対運動があってはいけない
 固有運動 μ as レベル以下：銀河、マゼラン星雲の星では駄目
 実質上、クエーサーのみ（電波？ 光大口径？）
- ・ 固有運動は星によって異なる（適するものと適しないもの）

まとめ

重力レンズ効果（偏向）による **星の質量**計測

- $10 \mu\text{as}$ の位置計測時代ならではの可能性
- 観測者とレンズ星の位置変化が **既知** でなければならない
- **地球の公転運動**を位置変化の基準にする（1993）
 $10 \mu\text{as}$ 、離角 1as 、距離 60pc 、質量 $5 M_{\text{sun}}$
- **星の固有運動**を利用する（2004）
 より大きな位置変化、積分効果（長期観測が有効）
 数年で一桁の精度向上（測れる範囲の拡大）の可能性
 離角 3as or 距離 600pc or 質量 $0.5 M_{\text{sun}}$
- 複数の**不動**の背景星（クエーサー）が必要
- **課題**：計測可能性の高いレンズ星、背景星の組を探す