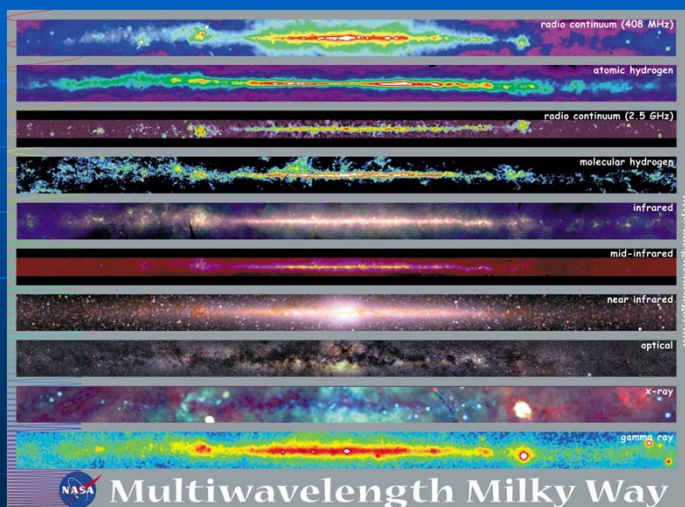


銀河系の基本構造 I

LSR, 銀河定数, 太陽運動

銀河系の多波長観測

- 基本的に円盤状に分布



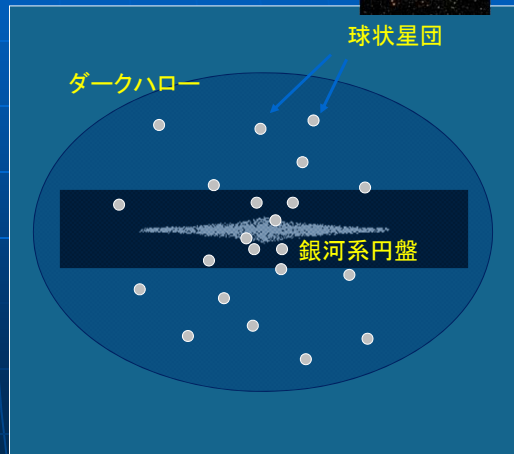
連続波
HI
連続波
CO
遠赤外
中間赤外
近赤外
可視光
X線
γ線

銀河系の構造

■ 銀河系ハローのおおよその構造

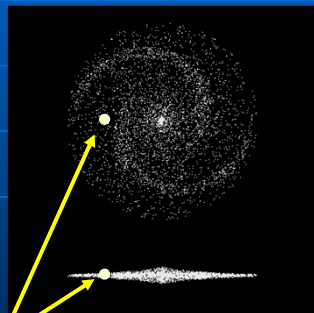
円盤をとりまくように、
球状星団とハロー
が分布

ハローの質量の
大部分は暗黒物質
(謎の物質)



銀河系円盤の構造

- 銀河系円盤は平べったい構造で、渦巻き
- 回転している



太陽系



銀河系円盤の想像図

正しい形状には、精密測量で距離を求める必要がある

銀河定数

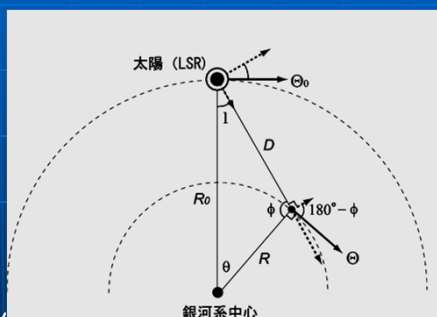
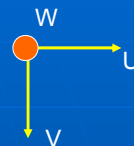
- 銀河定数: 銀河の構造を与える基本パラメーター

R_0 : 銀河中心距離
 Θ_0 : 太陽近傍の
 銀河回転速度

これらはすべての計測の基礎となるが、これらの値も現在10~20%程度の誤差がある。

$R_0 \sim 8 \text{ kpc} (+/-10\%)$
 $\Theta_0 \sim 220 \text{ km/s} (+/-20\%)$

あるいは $\Omega_0 = \Theta_0/R_0$ も使う



銀河系回転の模式図

銀河回転運動

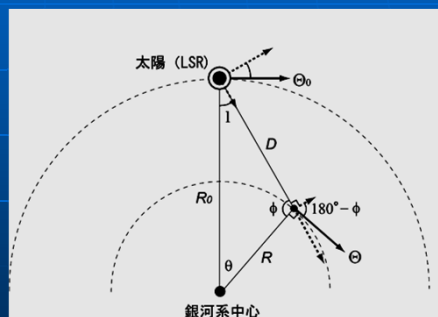
- 銀河回転により、天体はLSRに対して運動速度を持つ

視線速度 V_r
 接線速度 V_t

$$V_r = \left(\frac{\Theta}{R} - \frac{\Theta_0}{R_0} \right) R_0 \sin l,$$

$$V_t = \left(\frac{\Theta}{R} - \frac{\Theta_0}{R_0} \right) R_0 \cos l - \frac{\Theta}{R} D,$$

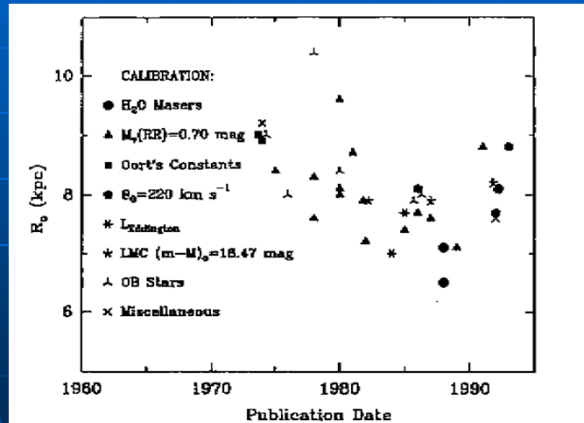
いずれもLSRに対する相対値



銀河系回転の模式図

銀河中心距離 R0

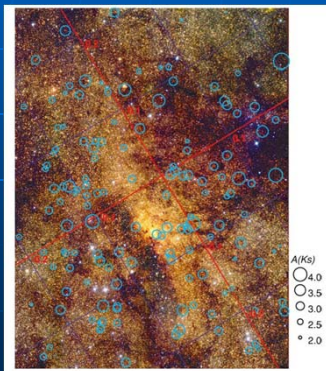
■ Reid (1993)のレビュー



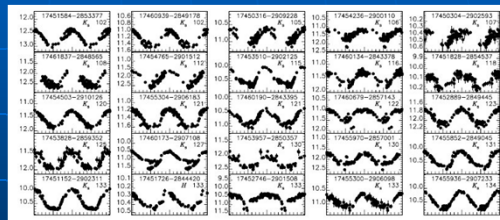
様々な方法により、7 – 9 kpc程度の値が得られている。

最近のR0決定の例

■ Matsunaga+(2009) 銀河中心部のミラ型変光星の周期光度関係を利用



Galaxy Center image

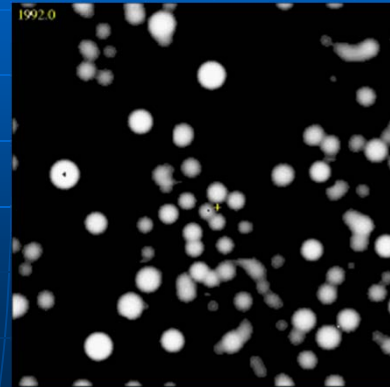
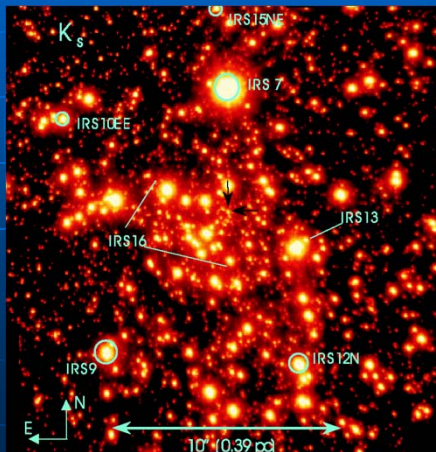


光度曲線

$$R_0 = 8.2 \pm 0.1 \pm 0.4 \text{ kpc}$$

Sgr A* 周囲の星の赤外線観測

- 最新の高分解能観測によって銀河系中心部の星の運動が見える

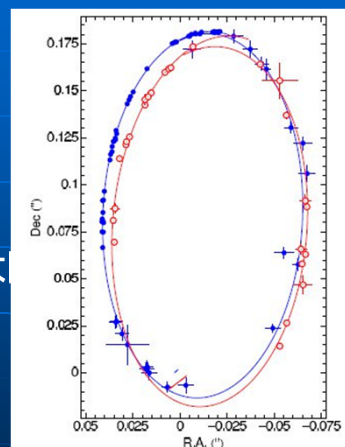


Motion of stars (Genzel et al.)

S2の軌道とR0

銀河系中心周辺の星S2の軌道を解く

- Gillesen+(2009)
 $R_0 = 8.3 \pm 0.3$ kpc
 $M = 4.3 \pm 0.4 \times 10^6$ 太陽
- Ghez+(2008)
 $R_0 = 8.4 \pm 0.4$ kpc
 $M = 4.5 \pm 0.4 \times 10^6$ 太陽



Gillesen+ (2009)
 米国グループと欧州グループ
 で軌道に若干の差がある

銀河回転速度

- 1960年代 $\Theta_0 \sim 250$ km/s
- IAU 1985 $\Theta_0 \sim 220$ km/s
- その後も多数の研究有。 $\Theta_0 = 180 \sim 270$ km/sで大きくばらついている。

その多くは太陽近傍の天体運動に基づく。

オールト定数と銀河定数

- オールト定数A, B

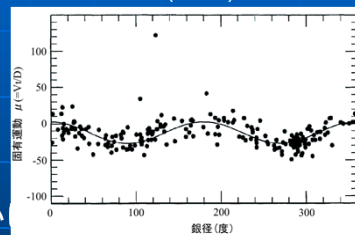
$$A \equiv \left[-\frac{R}{2} \frac{d}{dR} \left(\frac{\Theta}{R} \right) \right]_{R_0} = \frac{1}{2} \left[\frac{\Theta}{R} - \frac{d\Theta}{dR} \right]_{R_0}$$

$$B \equiv \left[-\frac{1}{2R} \frac{d}{dR} (R\Theta) \right]_{R_0} = -\frac{1}{2} \left[\frac{\Theta}{R} + \frac{d\Theta}{dR} \right]_{R_0}$$

$$V_r = A D \sin(2l)$$

$$V_t = (A \cos(2l) + B) D \text{ とか}$$

Longitude vs proper motion
Feast (1997)



Feast (1997): Cepheids with HIPPARCOS

$$A - B = \Theta_0/R_0 = \Omega_0 = 27.2 \pm 0.9 \text{ km/s/kpc}$$

銀河系スケールの測定の必要性

ヒッパルコス衛星が
測定した領域

銀河系円盤の大きさ: 約 10万光年



- ・ 銀河系の中心まで距離 2万5000光年
視差 **125 μ 秒角 (3千万分の1度)**
 - ・ 銀河系の測定には、10 μ 秒角 (4億分の1度) が測れる装置が必要
- 銀河系全域の直接測定は21世紀のフロンティア

VERA: VLBI Expolration of Radio Astrometry

4台の電波干渉計で
銀河系の測定を行う

入来



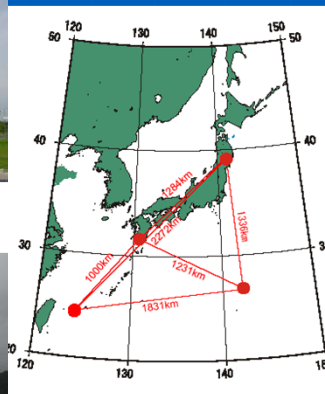
水沢



石垣島



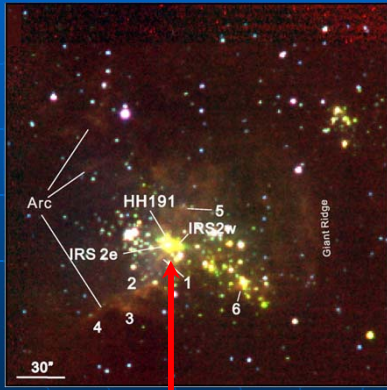
小笠原



最長基線: 2300 km
完成: 2002年春
観測: 2004年～

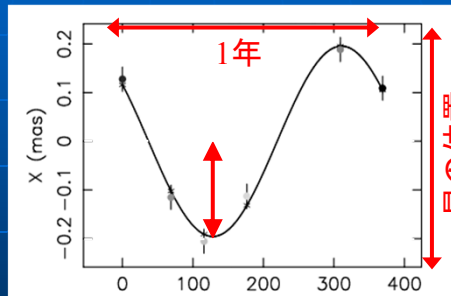
S269 (シャープレス269)の年周視差

■ S269の電波源の動き



電波を出す星

東西方向への星の動き(1年)

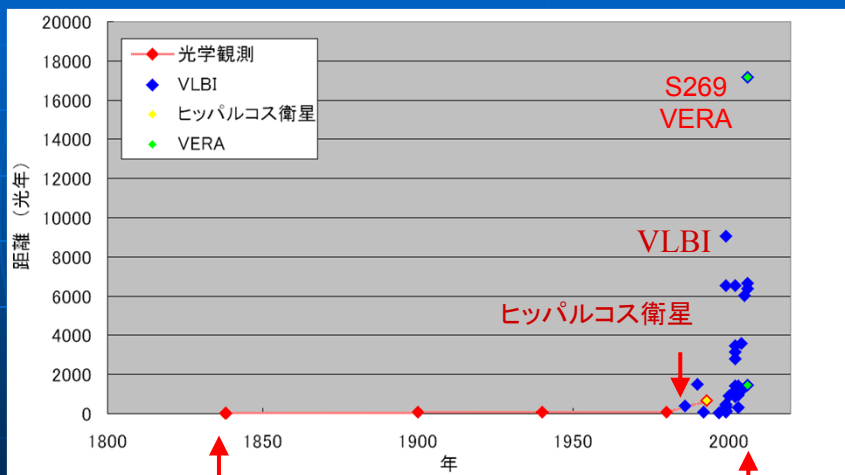


視差: 約2000万分の1度
距離: 1万7000光年

人類が三角測量で計測した、最も小さい視差(の一つ)

年周視差の記録

■ 1838年~2007年の代表的な記録



ベッセル (1838)

2007年

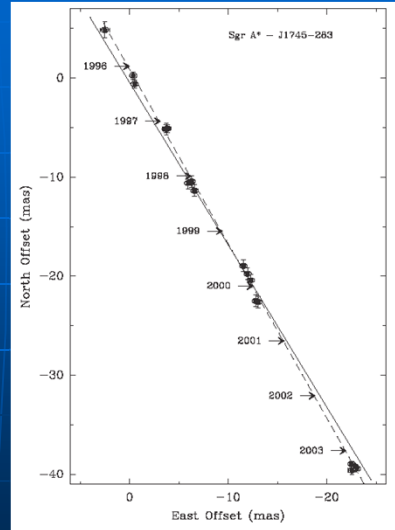
Astrometry Sgr A* with VLBA

- Reid & Brunthaler (2004)

Proper motion measurement
with VLBA for 8 yr
(parallax still difficult)

linear motion (Sun's
Galactic rotation)

$$\Omega = \Theta_0 / R_0 = 29.45 \pm 0.1 \text{ (km/s/kpc)}$$



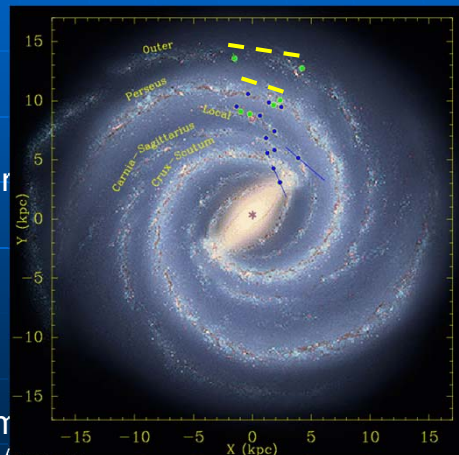
J1745-283に対するSgr A*の動き

Combined analysis of VLBA/VERA

- 18 sources published by 2008
 - 10 VLBA Methanol maser project (Reid+)
 - 4 VERA H₂O maser
 - 4 others from VLBA

- Pitch angle of Perseus arm
 - 16 +/- 3 deg
 - four arm spiral ?

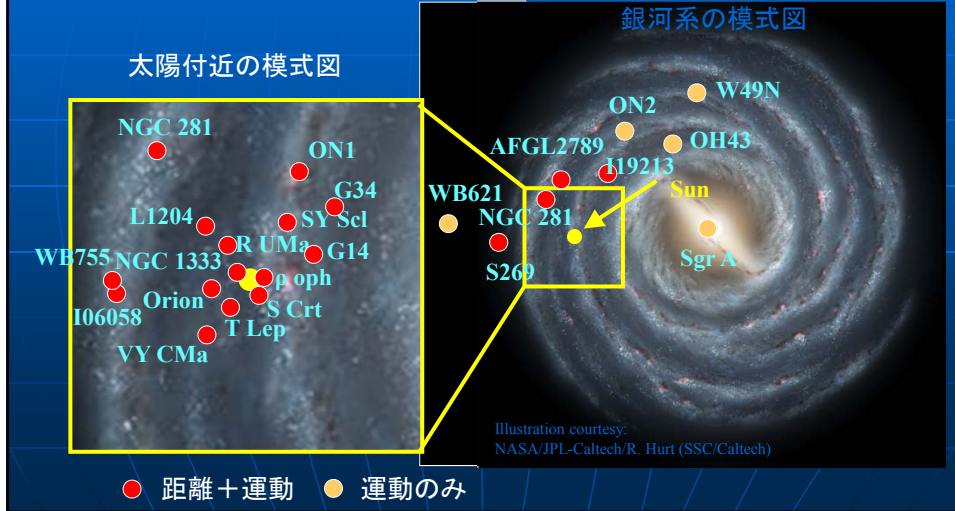
- Galactic constants
 - $R_0 = 8.4 \pm 0.6 \text{ kpc}$
 - $\Theta_0 = 254 \text{ km/s} \pm 16 \text{ km/s}$
 - $(\Omega_0 = 30.3 \pm 0.9 \text{ km/s/kpc})$



Reid+ 2009

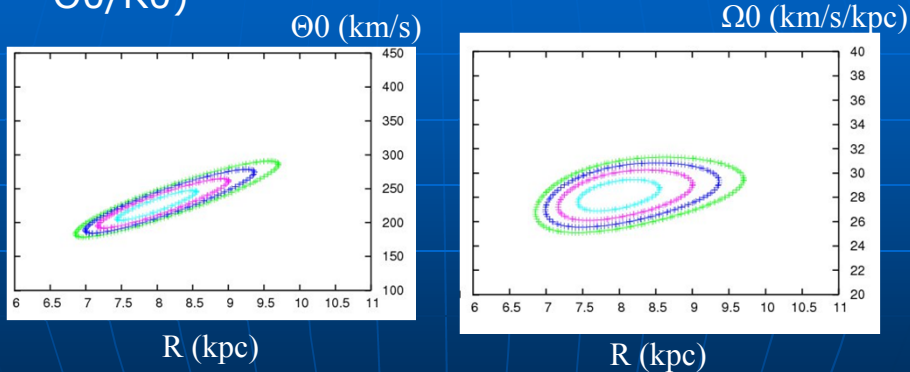
見え始めた銀河系の奥行き

年周視差・固有運動が計測された星の分布



VERAの最新の成果

- Preliminary results of R_0 & Θ_0 (or $\Omega_0 = \Theta_0/R_0$)



- R_0 & Θ_0 are tightly correlated, Ω_0 can be better constrained (best estimated of $\Omega_0 = 28.2$ km/s/kpc, but preliminary)
- Θ_0 of ~ 225 km/s for $R_0=8$ kpc, 240 km/s for 8.5 kpc

太陽運動 I

- LSRは太陽近傍の星の平均で決まる
- 太陽はLSRに対する特異速度を持つ

- 歴史的定義 (LSRに対する太陽速度)

$$V_{\text{sun}} = 20 \text{ km/s}$$

$$\text{toward } (\alpha, \delta)_{1900} = (18\text{h}, +30\text{deg})$$

$$\text{or } (U, V, W) = (10.0, 15.4, 7.8) \text{ km/s}$$

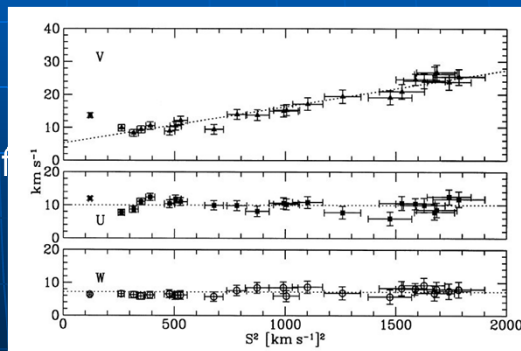
現在も電波での視線速度 V_{LSR} で利用される
(Kerr & Lynden-Bell 1986)

太陽運動 II

- Dehnen & Binney (1998) HIPPARCOS衛星
 $(U, V, W) = (10.0, 5.3, 7.2) \text{ km/s}$ (Vが減少)

V(回転方向)に
速度分散の依存
性が見える
= asymmetric drift

速度分散が大きい
天体は銀河回転が
遅い。



ある速度分散を持つ種族と太陽運動(U,V,W)の関係

太陽運動 III

- McMillan & Binney (2010)
Reid+(2009)のメーザーデータの再解析
MCMCで太陽運動も解くと
(U,V,W) = (10.0, 11.0, 7.2) km/s (Vが少し増える)

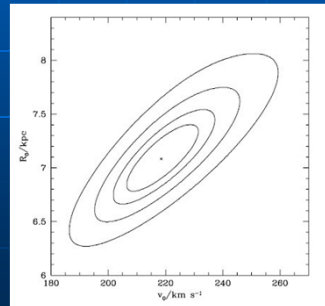
銀河定数

$$R_0 = 7 - 9 \text{ kpc}$$

$$\Theta_0 = 200 - 280 \text{ km/s}$$

モデルに大きく依存

$$\Omega_0 = 30 - 31.5 \text{ km/s/kpc}$$



Θ_0

まとめ

- 銀河系の基本パラメータ
 - $R_0 \sim 8 - 8.5 \text{ kpc}$
 - $\Omega_0 \sim 29.5 \pm 1.5 \text{ km/s/kpc}$
 - $\rightarrow \Theta_0 \sim 224 - 264 \text{ km/s}$
- 太陽運動
 - $U = 10 \text{ km/s}$
 - $V = 5 - 15 \text{ km/s}$
 - $W = 7 \text{ km/s}$