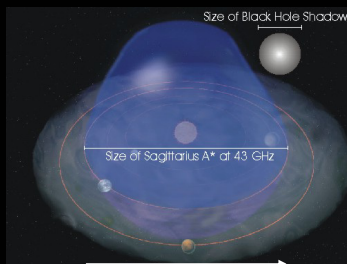


メーザーで探る銀河系中心 (数pc以内の位置、固有運動計測)

小山友明、出口修至、三好真、小林秀行(国立天文台)
今井裕(鹿児島大)、Shen, Zhi-Qiang (上海天文台)

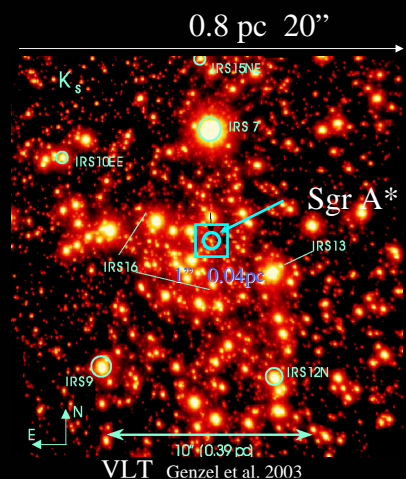
銀河中心領域(数pc以内)

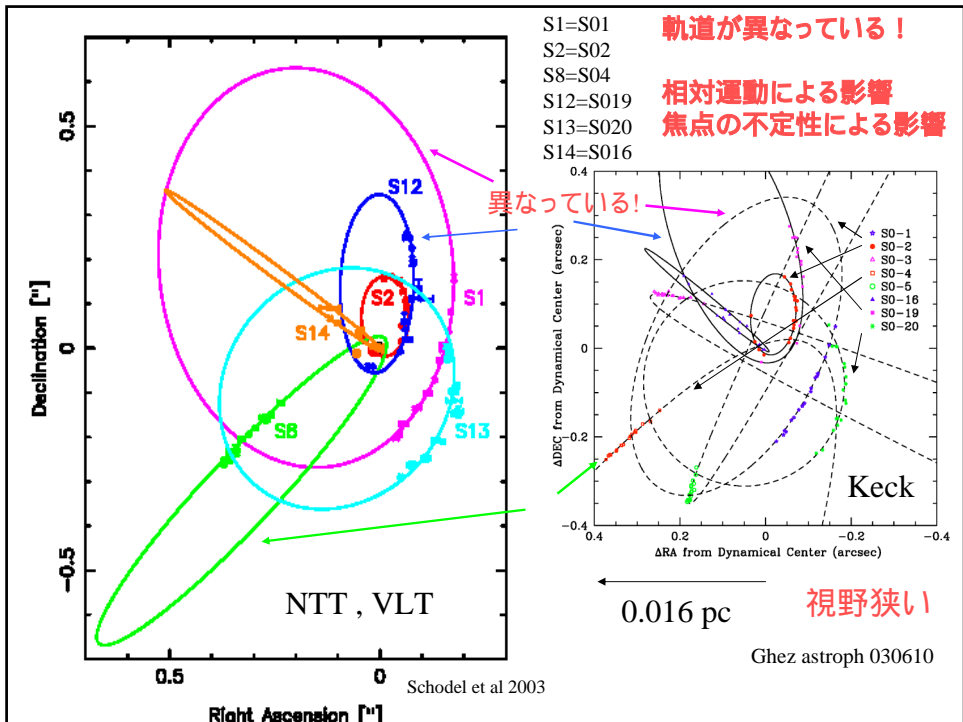
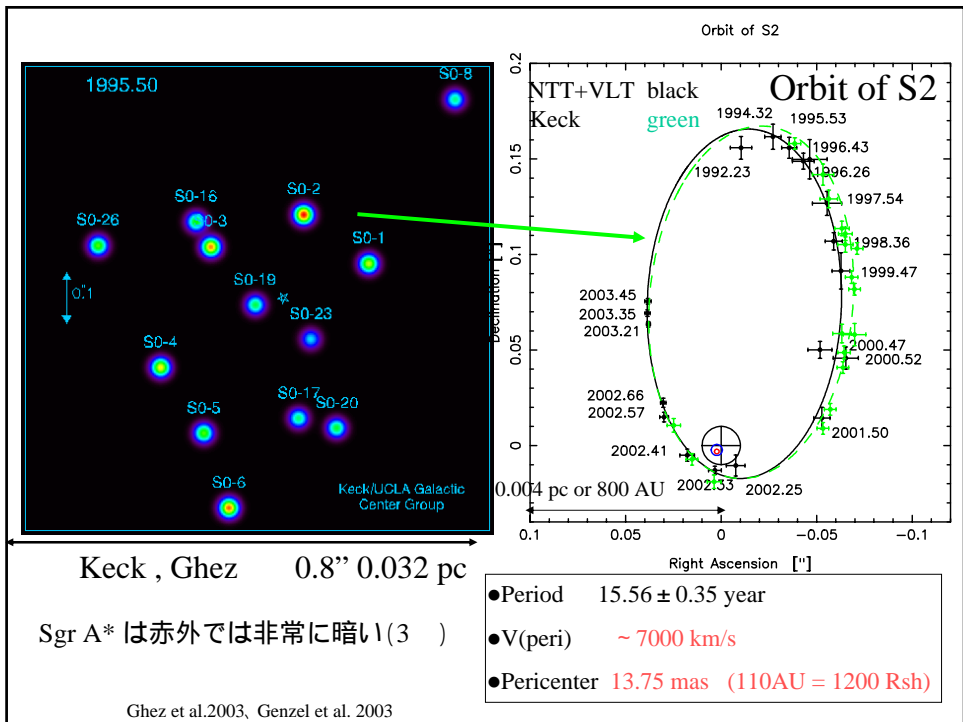
- SMBHの存在 $4 \times 10^6 M_{Sun}$ (Ghez et al. 2003)
- 多数の星団の存在(赤外線)
- 非熱的コンパクト電波源
Sgr A*の存在 (1 mas@7 mm)



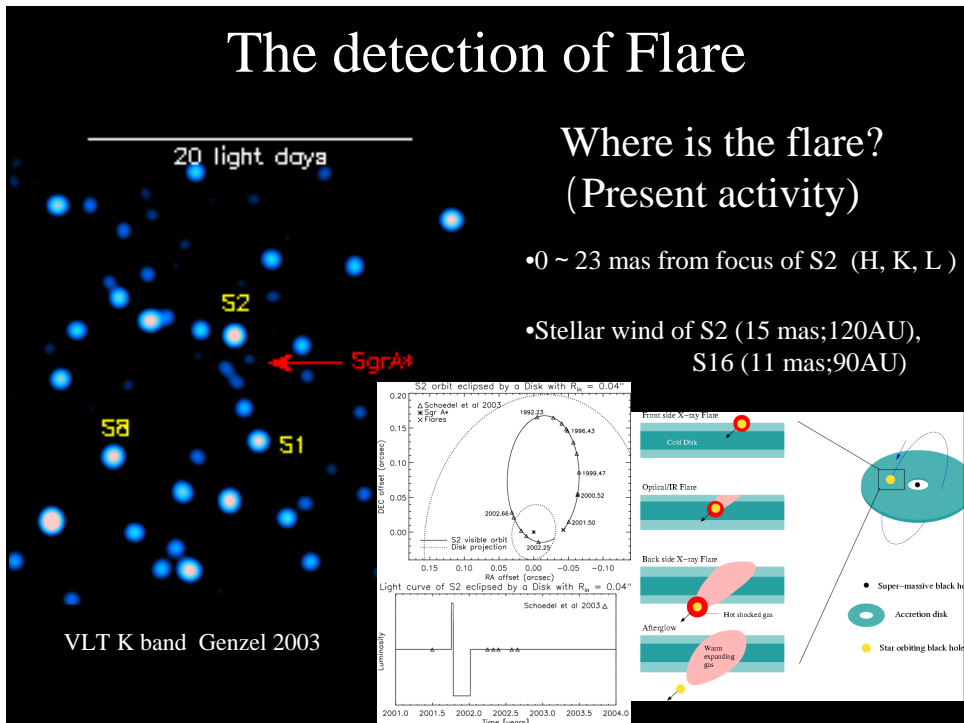
Falcke 2004

0.7 mas or 5.6AU





The detection of Flare



Motivation

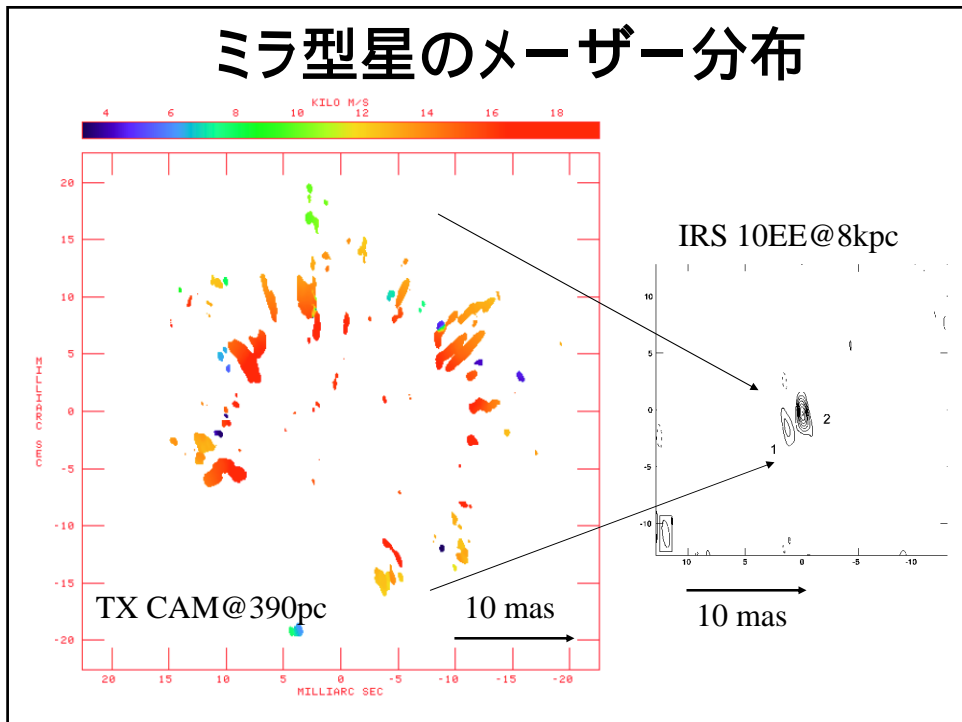
- 赤外mapにおける Sgr A* の位置をより高精度で測定 (10 mas以上)
電波 (SiOメーザー) と赤外両方で検出できる星をもちいて、電波での星と Sgr A* の相対位置を測定し、赤外の image での Sgr A* の位置を導く
- Sgr A* (dynamical center) に対して SiOメーザーの付随した星の運動を測定 (赤外での固有運動計測は相対運動のみ)
- 銀河中心 0.3pc より外側について固有精査 (質量分布等)
(赤外観測では視野、測定精度に制限約 $40'' \times 40''$ 、 $100 \text{ km/s} > 2.5 \text{ mas/y}$)

過去の固有運動計測精度 (VLA) $\pm 0.16 \sim \pm 3.47 \text{ mas/year}$
(メーザーの空間分布を把握できていないことによる)



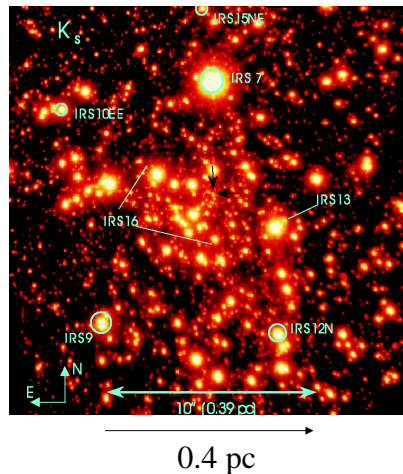
高精度化に向けてメーザーの空間分布を詳細に把握する事が必要
(VLAでは分解能不足 50 mas) 位相補償相対VLBI (長時間積分)

ミラ型星のメーザー分布



Observation

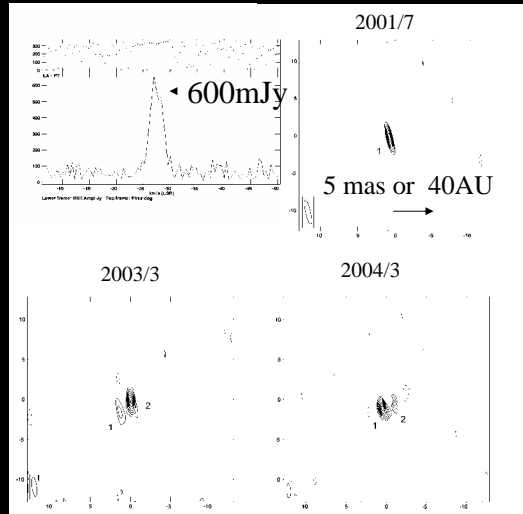
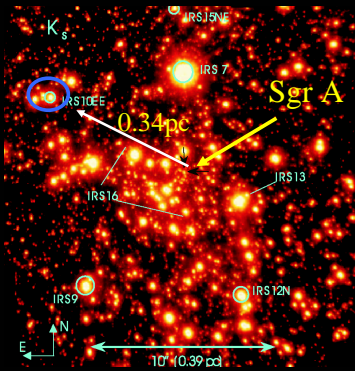
- 観測日時
2001/05/16, 7/31, 10/1
2003/01/11, 3/12, 10/6
2004/3/8, 20
- 観測 VLBA (位相補償長時間積分)
In beam
- システム雑音温度 150K - 400K
- 観測天体
SiOメーザーの付随した星 (1Jy以下)
IRS 7 (0.22 pc)
IRS 10EE (0.35 pc)
他8天体 (~ 1.8 pc)
- 参照天体 Sgr A*



Date	v	Band width	Resolution(Freq)	Int time(FOV)	Tracking center
01/05,07	1,2	4MHz × 8	0.44 km/s	1 (7.6")	5 (Sgr A*, IRS10 EE, IRS 7, SiO6, SiO8)
03/01,03,10	1,2	8MHz × 4	0.88 km/s	0.13 (55")	1 (Sgr A*)
04/03	2	16MHz × 2	0.44 km/s	0.6 (12")	3 (Sgr A*, IRS 10EE, IRS 9)

Positions and distributions of maser spots of IRS 10EE

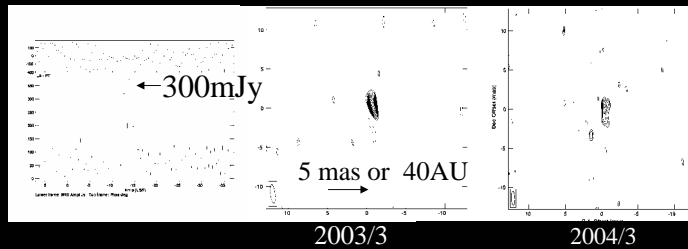
- MIII (Figer et al 2004)
- 2-10 mas (16-80AU)
- Mira or Super giant
- OH $v = 40\text{km/s}$ (Sjourman 1998)
- Period 732 day (wood 1998)
- 0.34 pc from GC



Positions and distributions of maser spots of IRS 15NE and SiO 6

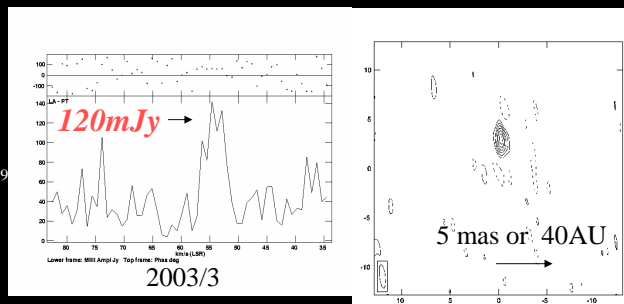
IRS 15NE

- MIII (Figer et al 2003)
- 2 mas (16AU)
- Mira
- 0.44 pc from GC

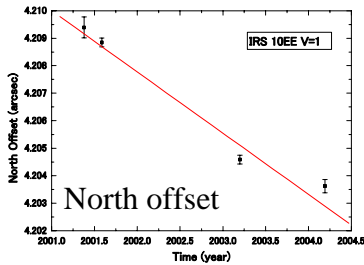
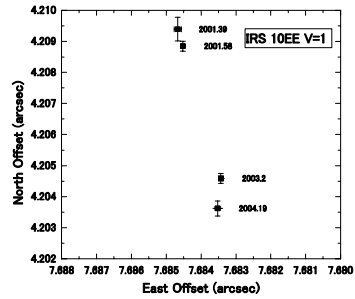
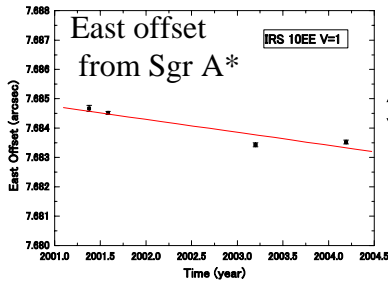


SiO 6

- 2-3 mas (16-24AU)
- Mira
- OH $v = 22\text{km/s}$ (Sjourman 1998)
- $45'' (1.82\text{pc})$
- H₂O maser (Leveine 1995)



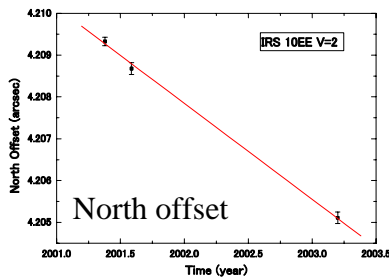
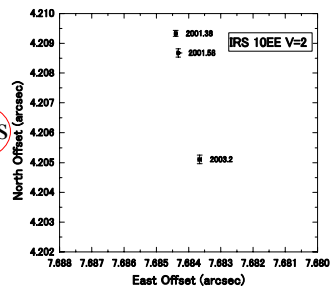
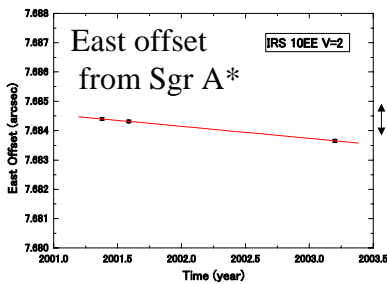
IRS 10EE $v=1$



	μ_x	μ_y
This work	-0.44 ± 0.03 mas/y	-2.22 ± 0.10 mas/y
	-16 ± 1 km/s	-85 ± 4 km/s
Reid 2003	0.20 ± 0.16 mas/y	-2.12 ± 0.20 mas/y

With respect to Sgr A*

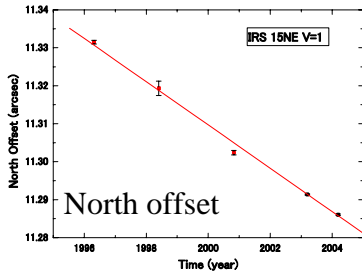
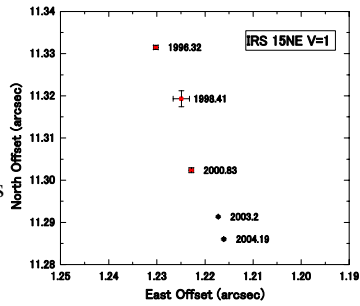
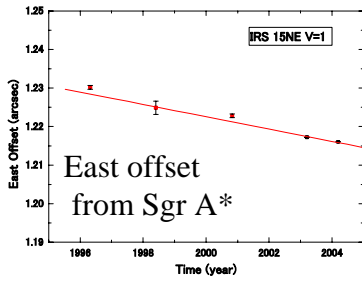
IRS 10EE $v=2$



	μ_x	μ_y
This work	-0.41 ± 0.03 mas/y	-2.29 ± 0.09 mas/y
	-16 ± 1 km/s	-85 ± 4 km/s
$v=1$	-0.44 ± 0.03 mas/y	-2.22 ± 0.10 mas/y

With respect to Sgr A*

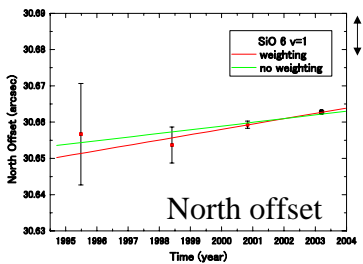
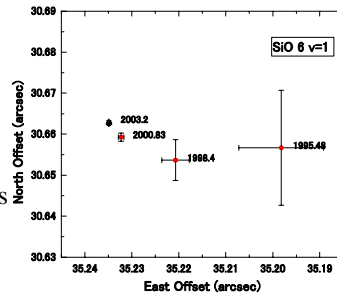
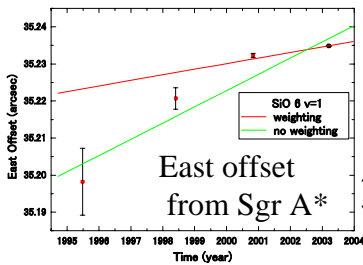
IRAS 15NE



	μ_x	μ_y
This work	-1.60 ± 0.05 mas/y	-5.70 ± 0.06 mas/y
	-60 ± 2 km/s	-215 ± 2 km/s
Reid 2003	-1.66 ± 0.24	-5.96 ± 0.35

With respect to Sgr A*

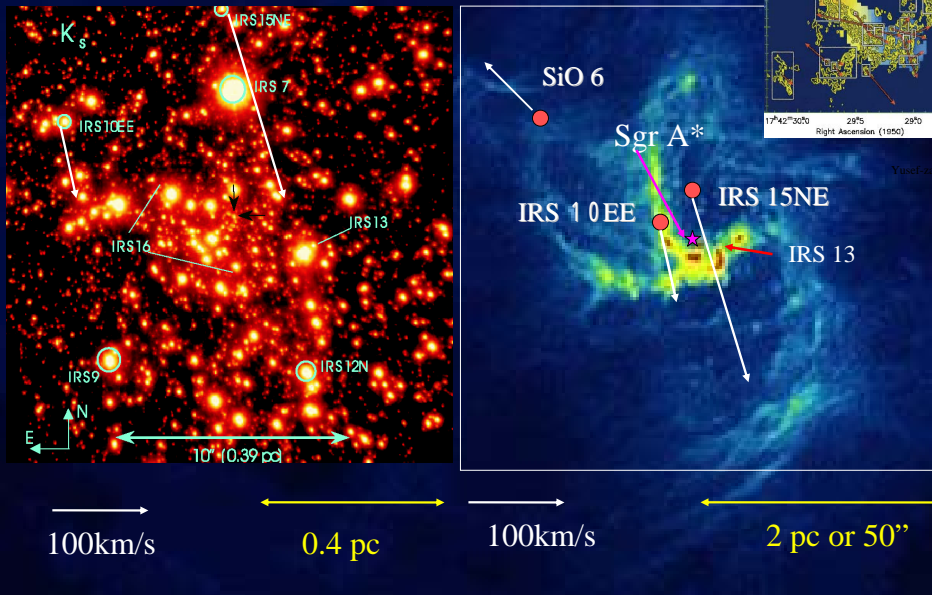
SiO 6



	μ_x	μ_y
This work	1.51 ± 0.23 mas/y	1.47 ± 0.38 mas/y
	57 ± 9 km/s	56 ± 14 km/s
Reid 2003	5.30 ± 0.99	1.59 ± 1.64

With respect to Sgr A*

Proper motions of stars near the gaseous minispiral



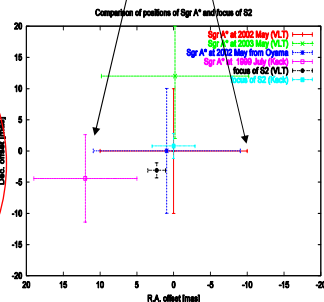
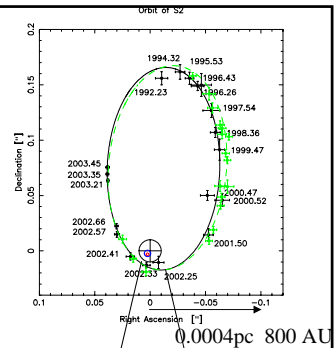
The position of Sgr A* on the NIR images at May 2002

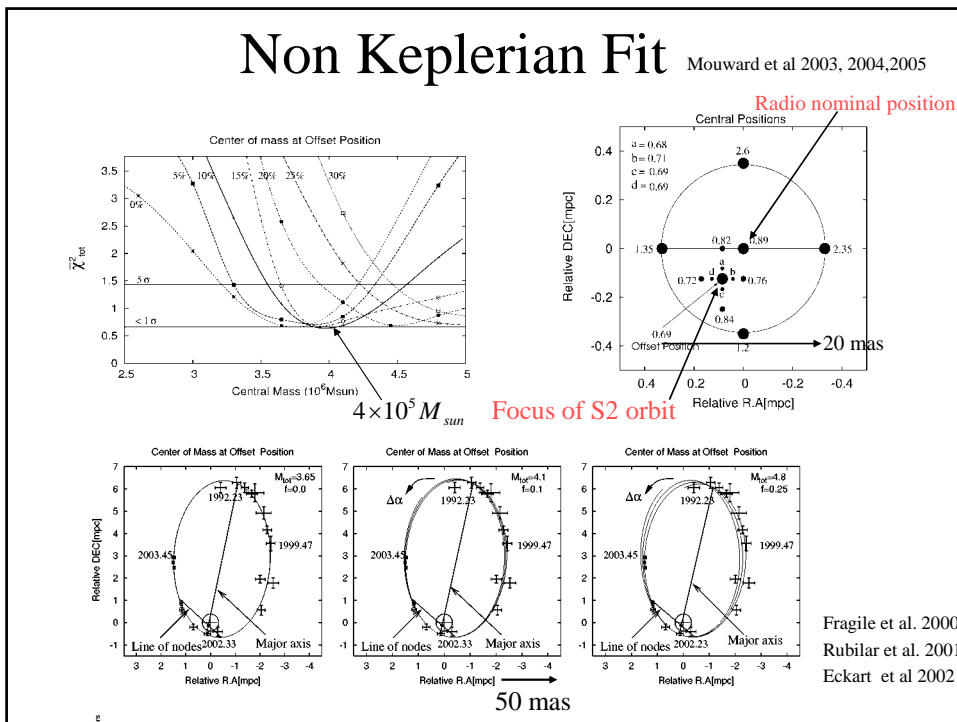
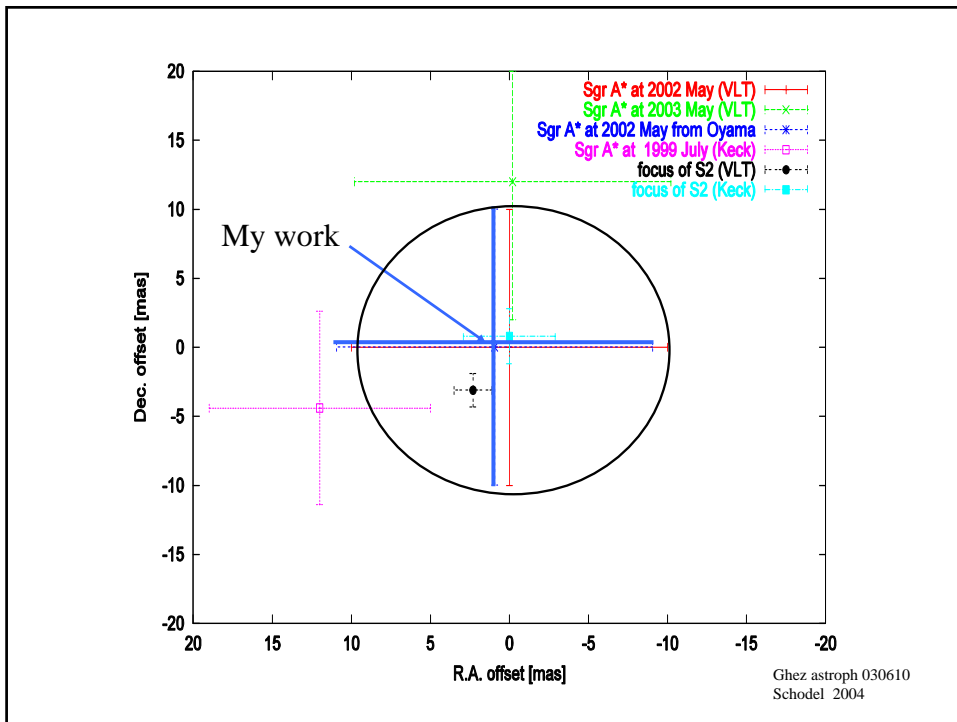
- VLA (Reid et al) + VLTで求められた 2002/5 のSgr A* - 星 (IRS10EE, IRS15) の相対位置を用いて、VLBAとVLA (Reid)の星の位置の差から2002年5月のVLTでのSgr A*の位置(差)を新たに求めた

0.935 mas (east) 0.015 mas (north) offset from Reid et al

Star	(Non-Keplerian orbit)		VLA+VLT	VLA+VLT	y (diff)	y (diff)
	VLBA (x:mas)	VLBA (y:mas)				
IRS 10EE	7.6842	4.2071	7.6847	4.2069	0.47	-0.27
IRS 15NE	1.2190	11.296	1.2204	11.296	1.4	0.3
Average					0.935	0.015

2002年5月でのSgr A* - 星の相対位置





Peculiar motion of the Sgr A* on the NIR images ?

IRS10 EE	μ_x (radio)	μ_y (radio)	μ_x (IR)	μ_y (IR)	μ_x (diff)	μ_y (diff)
VLA	$+0.20 \pm 0.16$	-2.12 ± 0.20	$+0.08 \pm 0.32$	-2.21 ± 0.93	-0.12 ± 0.36	-0.09 ± 0.95
Oyama	-0.44 ± 0.03	-2.26 ± 0.10	$+0.08 \pm 0.32$	-2.21 ± 0.93	$+0.52 \pm 0.32$	$+0.05 \pm 0.94$

IRS 10EEの赤外、電波で計測された固有運動を比較する

R.A方向に0.52 mas/year (20 km/s) 1.6 の運動を検出

Sgr A* (dynamical center)に対するCluster(星団)の運動
or
Cluster (dynamical center)に対するSgr A*の運動

Sgr A* or Cluster?

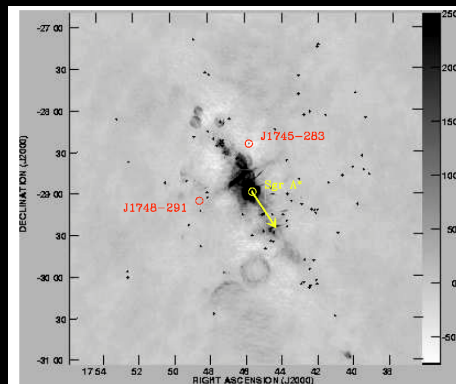
系外電波源に対するSgr A*の運動計測 (VLBA)

- 241 ± 15 km/s (銀経)
- 7.6 ± 0.7 km/s (銀緯) $R_0 = 8 kpc$

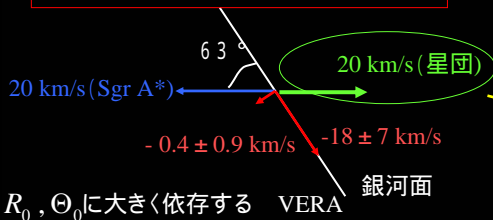
5.25, 7.17 km/s (Dehnen 1998)
 27.19 ± 0.87 km/s kpc^{-1} (Feast)
 $R_0 = 8 kpc$

Peculiar motion

- 0.4 ± 0.9 km/s (銀緯方向)
- 18 ± 7 km/s (銀経方向)



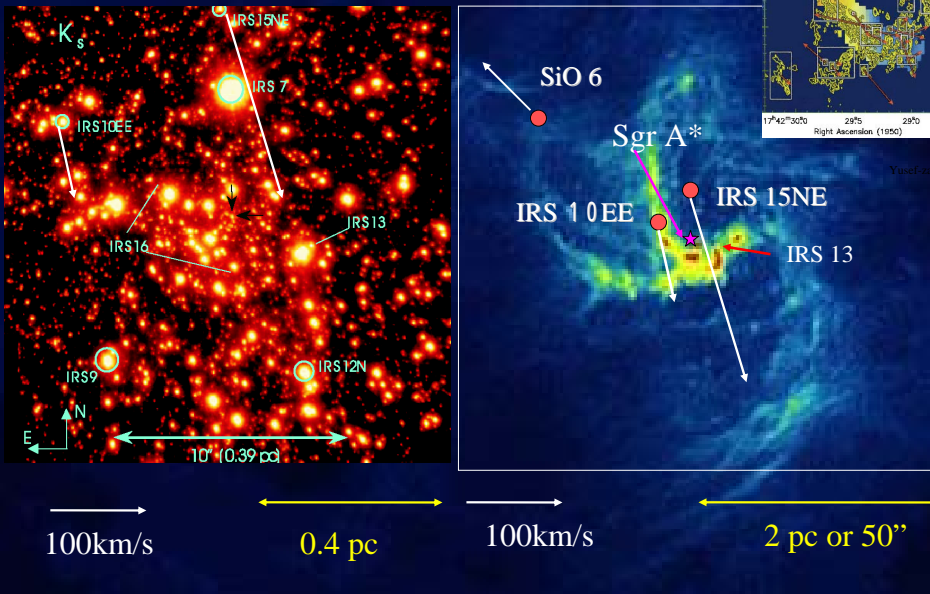
Reid et al. 2004



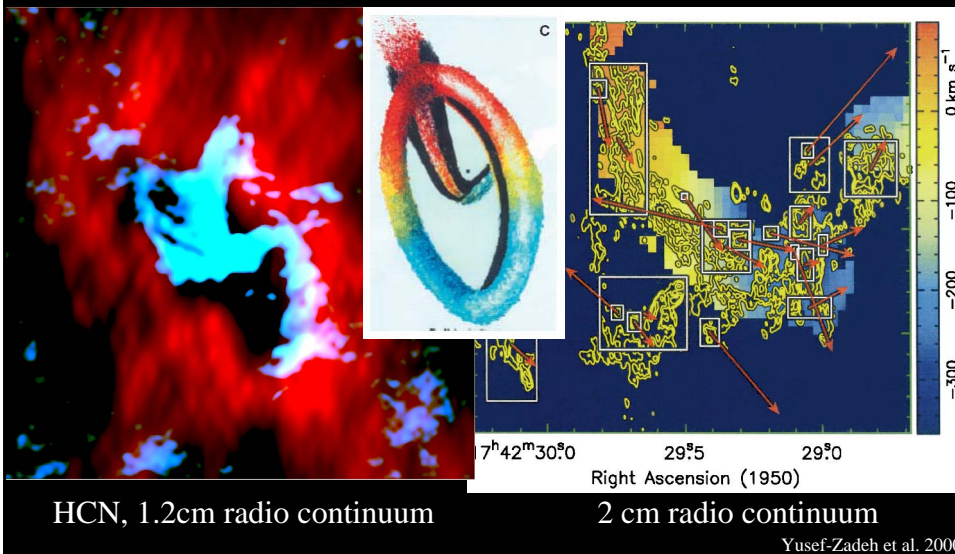
若い星団 + IMBH (Hansen et al. 2003, Levin et al. 2005, Ebisuzaki et al. 2001, 2005 年会)

R_0, Θ_0 に大きく依存する VERA 銀河面

Proper motions of stars near the gaseous minispiral



Mini spiral and Circum nuclear Disk



Conclusion

銀河中心近傍数 pcに存在する3つの星 ($1J_y$ 以下の弱いメーザーが付随)について位相補償長時間積分によりイメージを取得し、またその固有運動を従来より5倍高精度で検出した

(従来 ± 0.2 mas 今回 ± 0.04 mas/year IRS 10EEの場合)

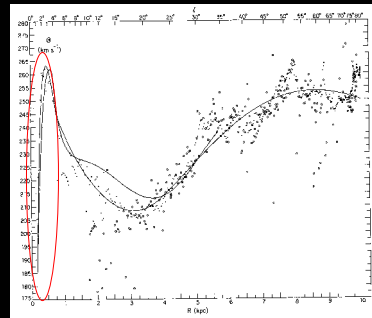
(VLBI初検出($120mJy$))

これにより

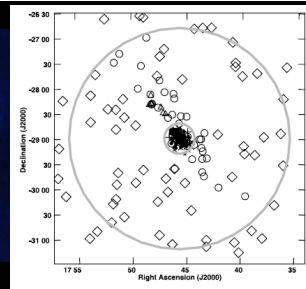
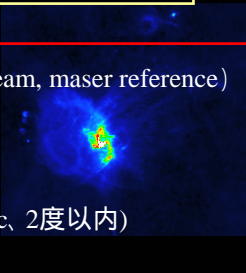
- 赤外imageでのSgr A*の位置が (Reid 2003)の値より 0.935 mas 東へずれている事を見出した ($4 \times 10^5 M_{sun}$ 以上のdark massの存在を示唆)
- Star clusterが銀河中心Sgr A*(dynamical center)に対して 20 km/s(1.6)で動いている事を見出した
- 銀河中心 0.4 pc(projected)以内の質量下限値 $2.7 \times 10^6 M_{sun}$ を求めた

Future and Present works

- 赤外による銀河中心の観測(すばる)
 - $_0$, R_0 の精密計測(数10km/s以内) VERA
- メーザーの強度変動をモニター
 - IRS 7 (Super giant 10 masの広がり)
 - IRS28 (固有運動計測精度 現状 $\pm 2-3$ mas)
- VERA+Nobeyama(45m)+kashima(34m)
(感度向上2倍、速度幅800km/s、視野50秒、 $V=1.2$ 同時観測)



- $0-0.3^\circ$ (switching or In beam, maser reference)
- $0.3-2^\circ$ (VERA)
 - mini spiral (2 pc)
 - CND (3-10 pc)
 - CMZ (~ 300 pc, 2度以内)
 - Bulge



Object	<i>v</i>	May 01	Jul 01	Oct 01	Jan 03	Mar 03	Oct 03	Mar 04a	Mar 04b	
IRS 10EE	1	yes	yes	no	yes	yes	yes	yes	yes	-27m/s
	2	yes	yes	no	yes	yes	yes	...	...
IRS 12N	1	no	no	no	...	...	...	...	...	-63km/s
	2	no	no	no	...	...	...	...	...
IRS 15NE	1	no	no	no	no	yes	no	yes	no	-12km/s
	2	no	no	no	no	yes	no	...	...
IRS 9	1	...	...	...	...	...	...	no	no	-340km/s
	2	...	...	...	...	...	...	...	...
IRS 7	1	no	no	no	...	...	...	no	no	-120km/s
	2	no	no	no	...	...	...	...	...
IRS 28	1	no	no	no	...	...	...	no	no	-55m/s
	2	no	no	no	...	...	...	...	...
SiO 6	1	no	no	no	no	yes	no	...	...	+52km/s
	2	no	no	no	no	yes	no	...	...
SiO 8	1	no	no	no	no	no	no	...	...	+72km/s
	2	no	no	no	no	no	no	...	...
IRS 17	1	...	...	...	no	no	no	...	...	+75km/s
	2	...	...	...	no	no	no	...	...
SiO 12	1	...	...	...	no	no	no	...	...	+82km/s
	2	...	...	...	no	no	no	...	...

"yes" represents detection.

"no" represents nondetection. Upper limits are shown in Table 5.1.

... represents out of observed band.

Vlsr