

VLBI観測可能な放射

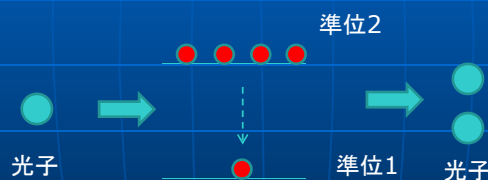
※非熱的な高輝度放射に限られる

- メーザー放射
- シンクロトロン放射

一方、通常の熱放射はVLBIでは見えない。

メーザー放射の仕組み

- 誘導放射による電磁波の増幅
- 反転分布(励起温度がマイナス)



メーザー放射の模式的描像

宇宙のメーザー

分子	周波数	温度	密度	天体
OH	1.6G	~100 K	$10^5/\text{cc}$	AGB,SFR,AGN
CH ₃ OH	6.7G	~150 K	10^5	SFR
H ₂ O	22G	~500 K	10^9	AGB,SFR,AGN
SiO	43G	~1500 K	10^9	AGB, (SFR)

メーザーを起こす天体

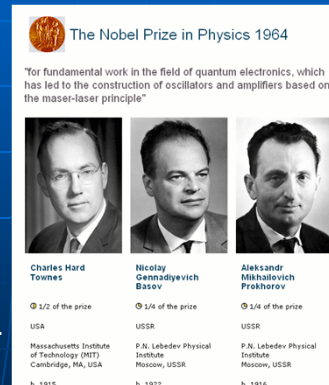
- SFR : Star Forming Regions
原始星アウトフローによるショック領域
- AGB : Asymptotic Giant Branch Stars
年老いた巨星の星周領域
- AGN : Active Galactic Nuclei
銀河中心BH周囲の分子トラス

メーザーの発明

- 最初のメーザーはタウンズらによる人工的なもの(マイクロ波増幅技術として, 1954年)
- その後、宇宙空間でのメーザー現象が発見された

レーザーは現在の日常生活に
欠かせない技術

レーザーポインター、
CD, DVD
加工用レーザー、医療用レーザー
等



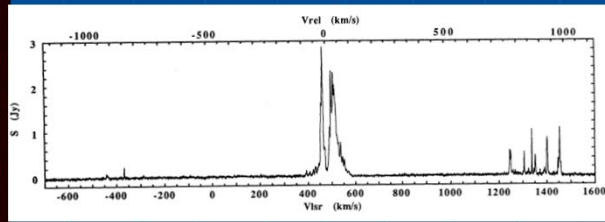
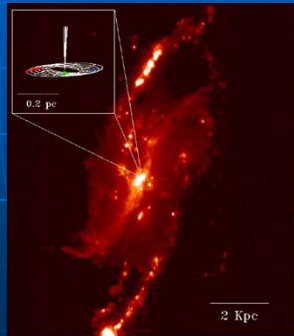
1964年ノーベル賞
(メーザーとレーザー)

メーザー観測の利点

- 高い空間分解能
BH近傍、原始星近傍、恒星近傍を
観測するユニークな道具
- 天球面上での運動を容易に検出可能
天体観測に新しい軸を導入(時間軸)
運動学、位置天文学

NGC4258のAGNメガメーザー

- NGC4258 (M106)
- + / - 1000km/sにもおよぶ幅の広いスペクトルの発見 (1993、野辺山45m鏡)



光学写真

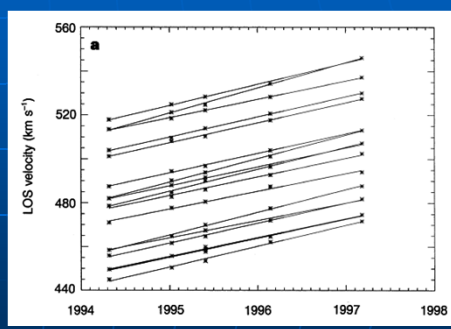
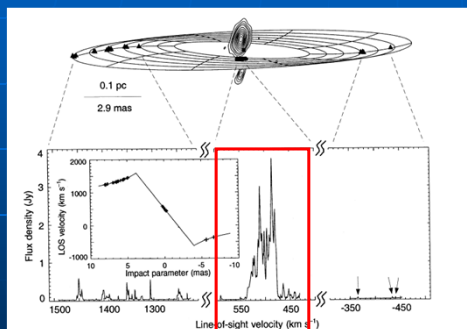
中心部の水メーザーのスペクトル

中心成分は視線速度が系統的に変化する(加速)

NGC4258のメーザー加速

円盤モデル

視線速度の加速



加速を示す成分

Herrnstain et al.(1999)

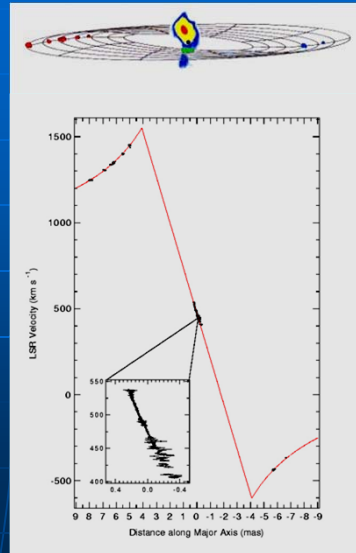
NGC4258のVLBI観測

- VLBAによるイメージング
ブラックホール周りの回転ガス円盤を検出

その大きさと回転速度が
ブラックホールの質量が
3600万太陽質量と分かった

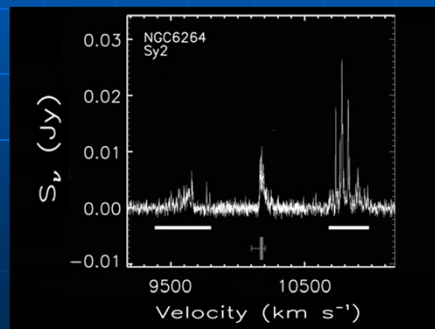
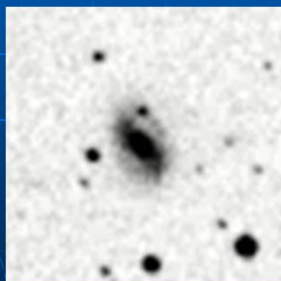
もっとも確からしいブラックホールの証拠
(日米共同研究、1995年)

※天体の距離も精密に求めた



AGN Maser Cosmology

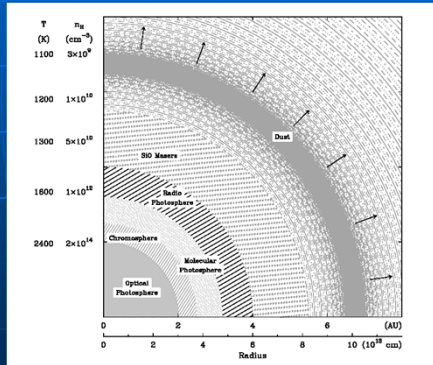
- AGNメガメーザー円盤は遠方銀河の距離を超高精度に測れる唯一の手段 ($v=r\omega$, $a=r\omega^2$, $\theta = r/D$)
- GBT100m + VLBAによる多数のAGN観測により、ハッブル定数の超高精度決定を目指すプロジェクトが米国で進行中



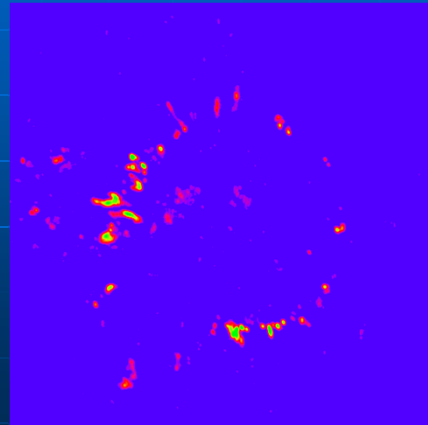
NGC6264の写真とスペクトルの例

AGB星の星周領域

- AGB星: 年老いた星。質量放出をしながら脈動している。



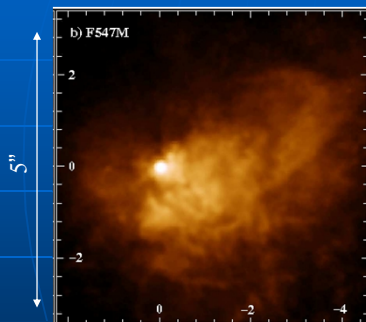
AGB星の星周領域の模式図



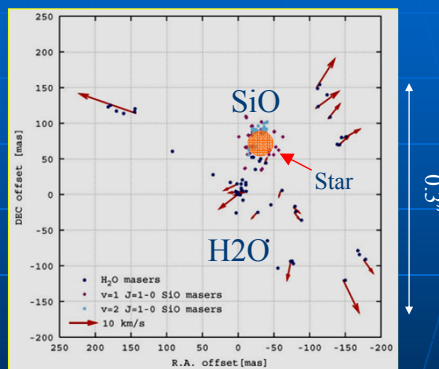
TX CamのSiOメーザー(VLBA)

晩期型星メーザーの例: VY CMa

- VY CMa: 進化した大質量星(超新星爆発目前?)



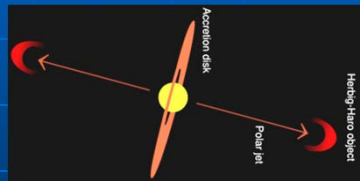
HSTで見た質量放出
(Smith et al. 2001)



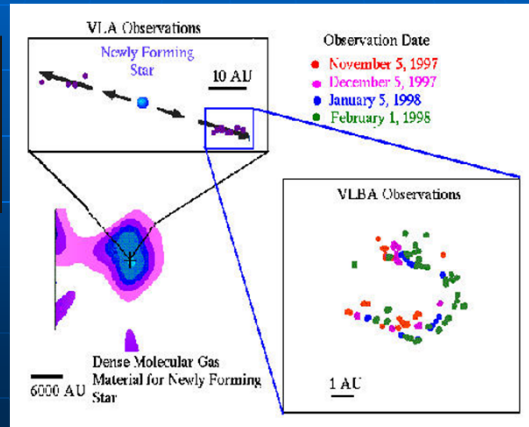
H₂O と SiO メーザー
(Choi et al., VERA)

星形成領域のメーザー

- 水メーザーは主に原始星ジェットのショック領域をトレース。運動が容易に検出できる。

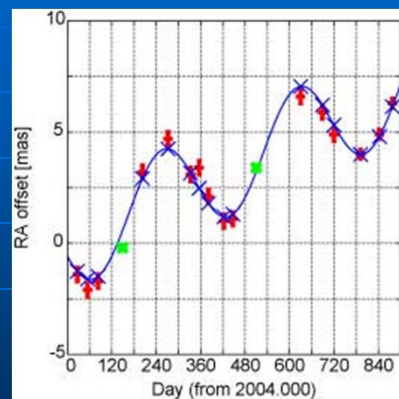
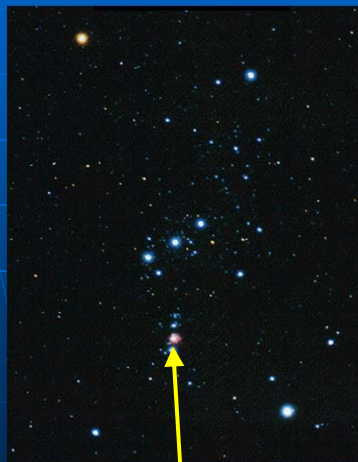


S106 FIR



メーザー位置天文学

- オリオン星雲 (VERA) 2年あまりの東西方向の動き

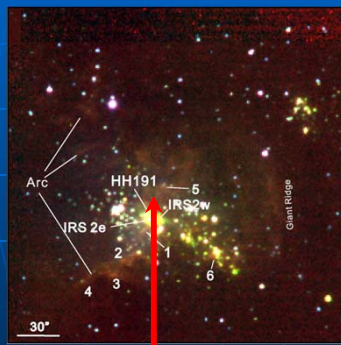


視差: 約140万分の1度
距離: 1420光年
オリオン星雲の最も正確な距離

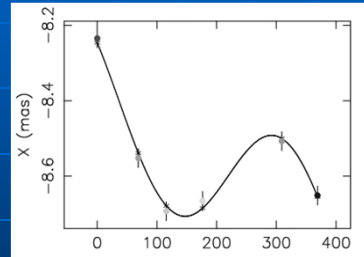
VLBIの観測例：天体の運動2

■ VERAによるメーザー位置天文学の例

東西方向への星の動き(1年)



S269水メーザー源



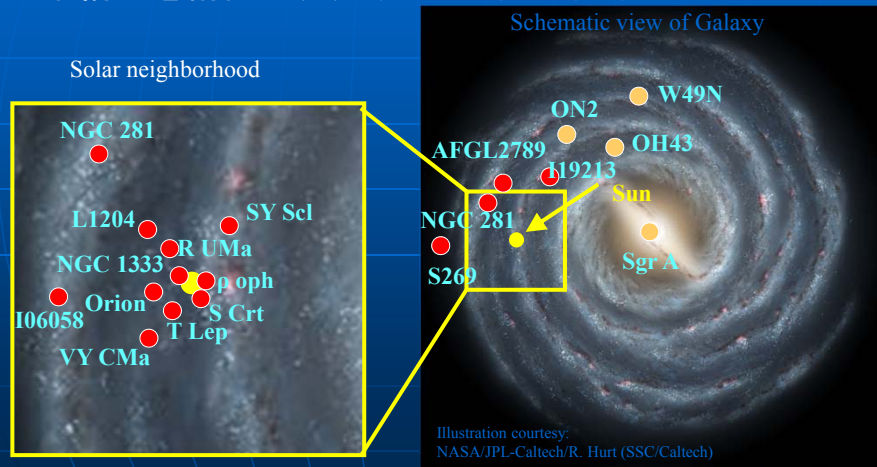
視差: $189 \pm 8 \mu\text{as}$

距離: 5.28 kpc

年周視差の世界記録
(2007年当時、人類が計測した中で最も小さい視差)

VERAでのメーザー測量

VERAはメーザー源の距離と運動を精密に計り、銀河系構造を精密に決定する(現在進行中)



● Parallax + proper motion

● Proper motion

Illustration courtesy:
NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)

関連技術：水素メーザー

- HI 21cmを用いた人工的なメーザー。超高安定度の時計として用いられる
(時刻管理、電波干渉計の周波数標準 etc)



左：クバルツ社
水素メーザー

右：水素メーザー
の模式図
(Gaigerov+)

