

活動銀河核NGC1068の
VLBI観測による
中心核ブラックホール質量の測定

岐阜大学 修士課程2年 森島優菜

共同研究者

谷口義明（放送大学）

中井直正（関西学院大学）

山内彩（国立天文台）

須藤広志（岐阜大学）

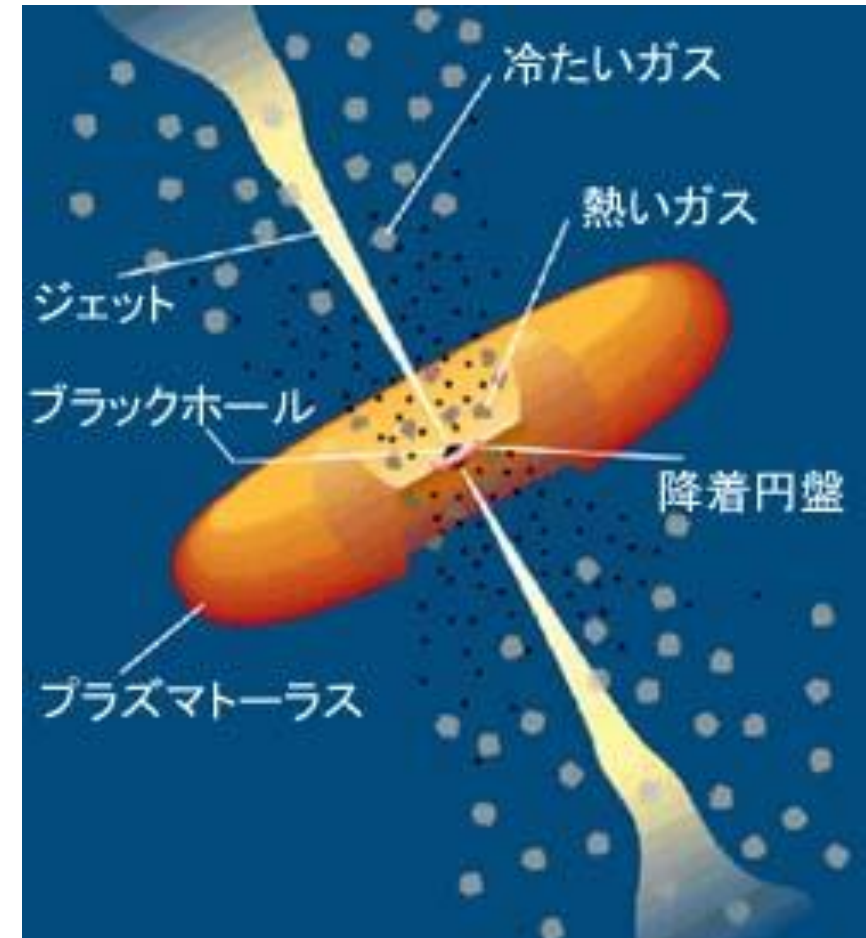
研究背景

～活動銀河核（AGN）とは～

- 可視光で銀河を観測したとき、異常に明るい銀河中心部を持つ天体
- 可視光・電波・X線・ガンマ線など、広い周波数帯の電磁波を放射している。



- これらの激しい現象は
AGN中心にある超大質量ブラックホール
(質量が太陽の $10^5 \sim 10^{10}$ 倍程度) によるものだと考えられている。



図：

http://wwwj.vsop.isas.jaxa.jp/vsop2/science/images/il_agn.jpg

研究背景

～超大質量ブラックホール（SMBH）の成長～

- SMBHの成長には、SMBHを持つ銀河同士の合体が重要な役割を担っている可能性がある。
- この説が本当ならば、銀河の中心にはブラックホールが複数見つかるはずである。
- VLBI観測でSMBHに基づくガス円盤が複数発見されれば、この説の検証になる。

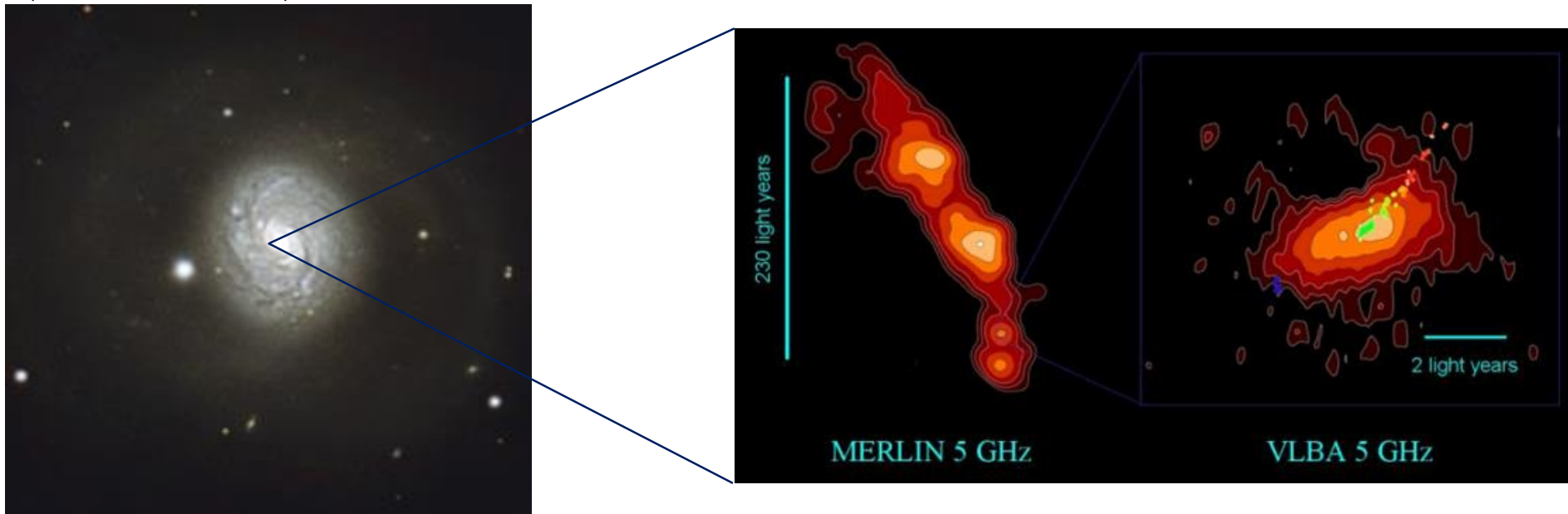
研究目的

- 近傍のセイファート銀河NGC1068において、複数のSMBHがないのか??二つめの分子ガス円盤を探查する
- 今回の発表では、すでに存在するとわかっているSMBH周辺の成分 (S1) について注目しSMBHの性質について考察する。

研究対象

～NGC1068～

- 渦巻銀河
- セイファート銀河のなかでは、天の川銀河に最近傍である。
(6000光年)



左図 : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/M77HunterWilson.jpg>

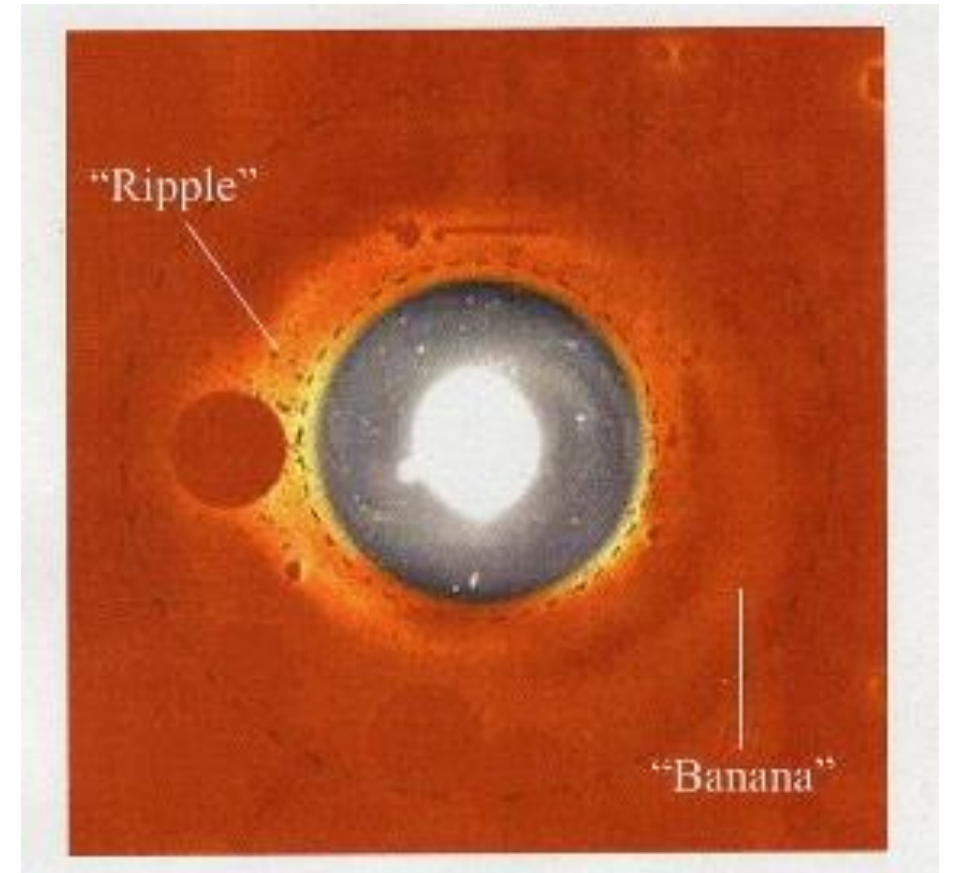
右図 : http://www.vlba.nrao.edu/imgmonth/N1068/n1068_600px.gif

研究背景 ～マイナーマージャー～

- 銀河合体の証拠
- すばるHSCにより、NGC1068にて、マイナーマージャーが起こったと考えられる兆候

複数のSMBHの存在が考えられる。

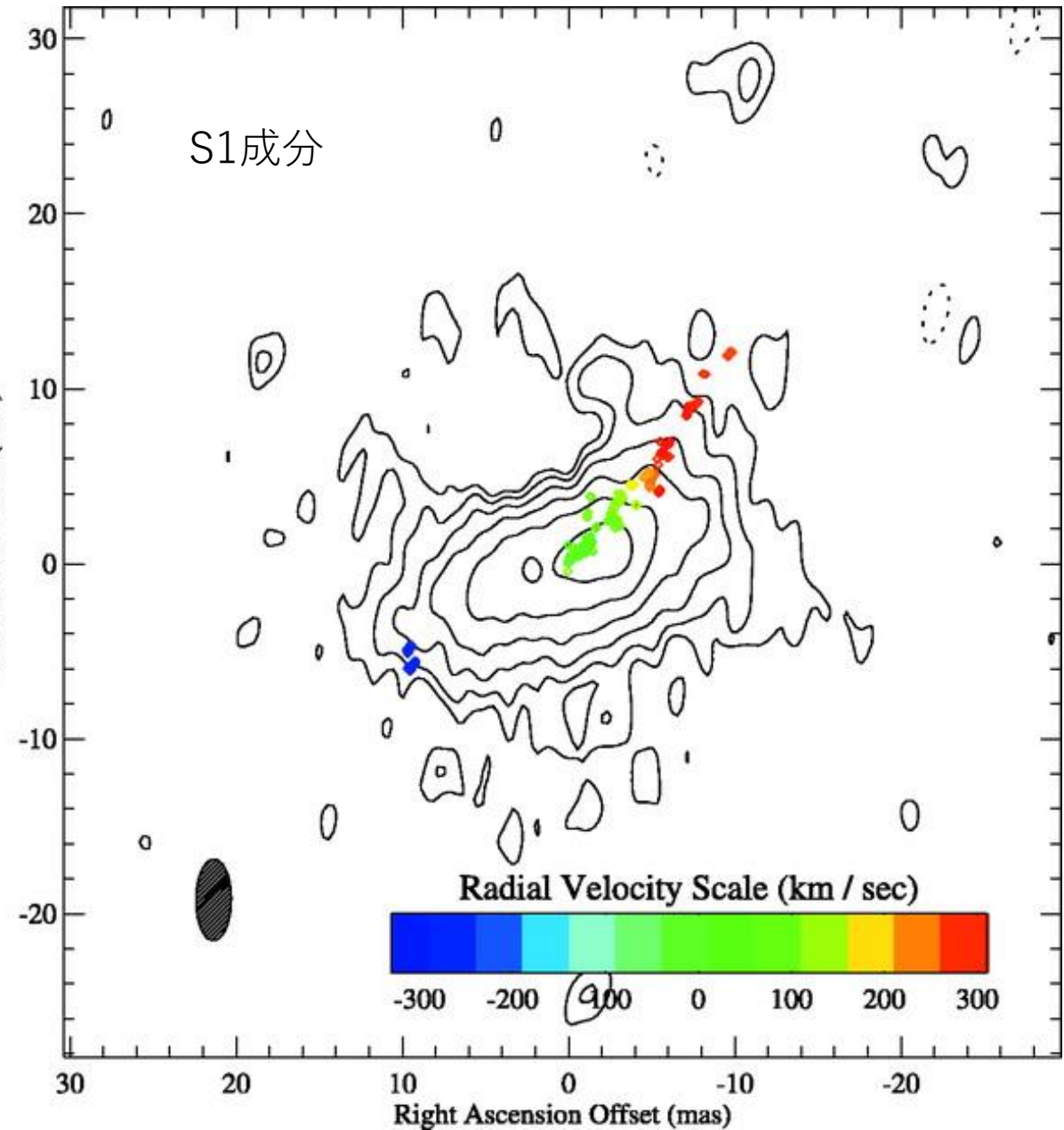
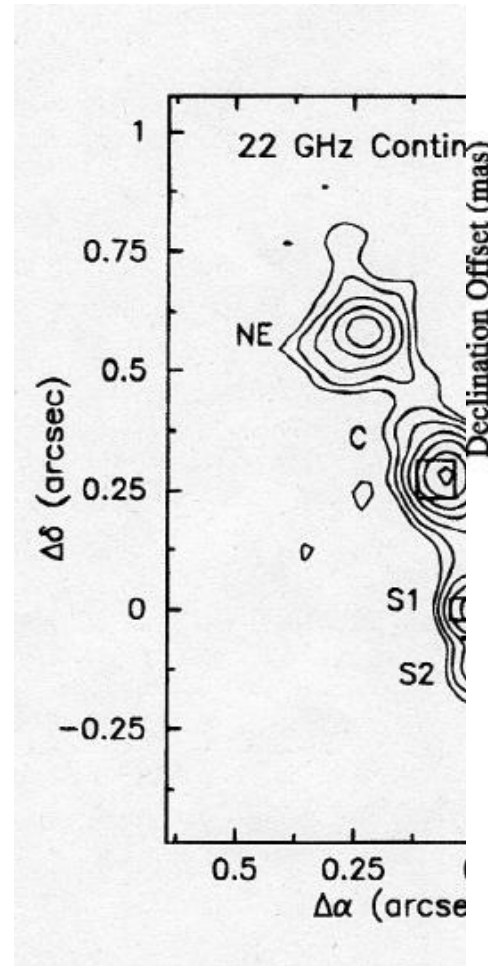
図：Tanaka et al 2017



研究対象 ～NGC1068-

- S1とCに水メーザー源が見つかってい
- S1：SMBH起源
- C：ジェット起源??
→ 2nd SMBHの可能性は？

高感度なVLBIで詳細な分布を得たい

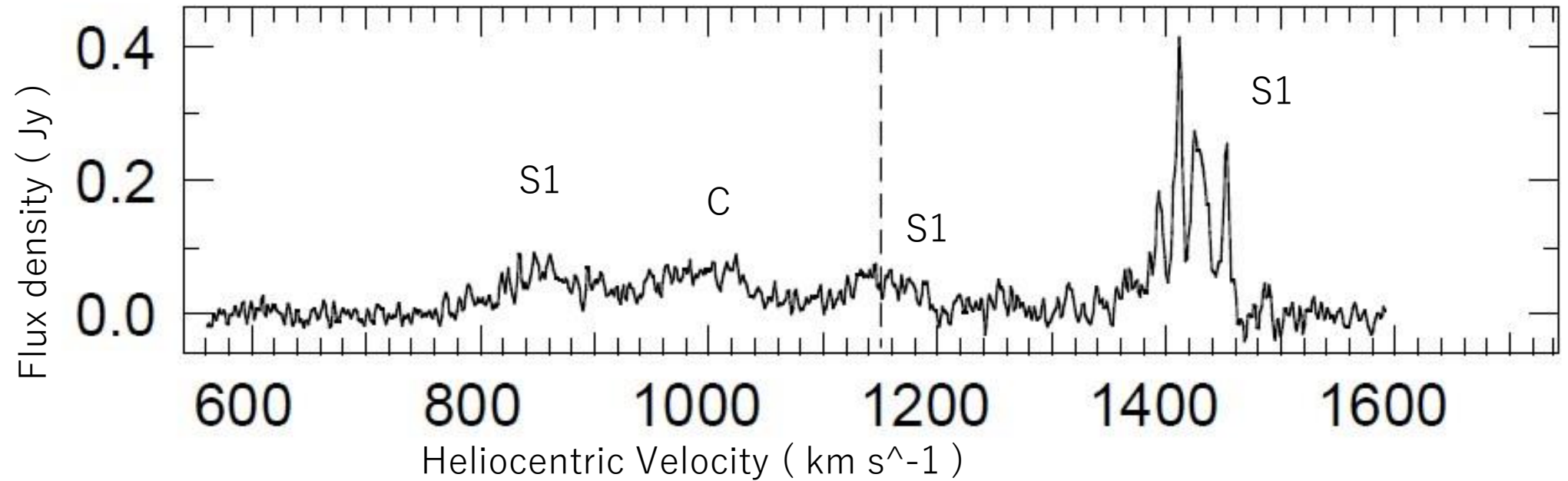


図：Gallimore et al 1996

解析データ

- NRAOアーカイブデータ (GG042B)
- 観測局
VLBAとVLA (アメリカ合衆国) ・ EVN (ヨーロッパ) 計15局
実際に解析に用いたのはVLBA, VLAとEB (EVN) を含む10局
→ これまでの研究の中で最大規模の観測
- 観測期間
2000年2月23日～2000年2月24日 およそ15時間
- 観測周波数
22.180～22.124GHz (水メーザー)
- 分光点
512ch (8 IF)

NGC1068のスペクトル

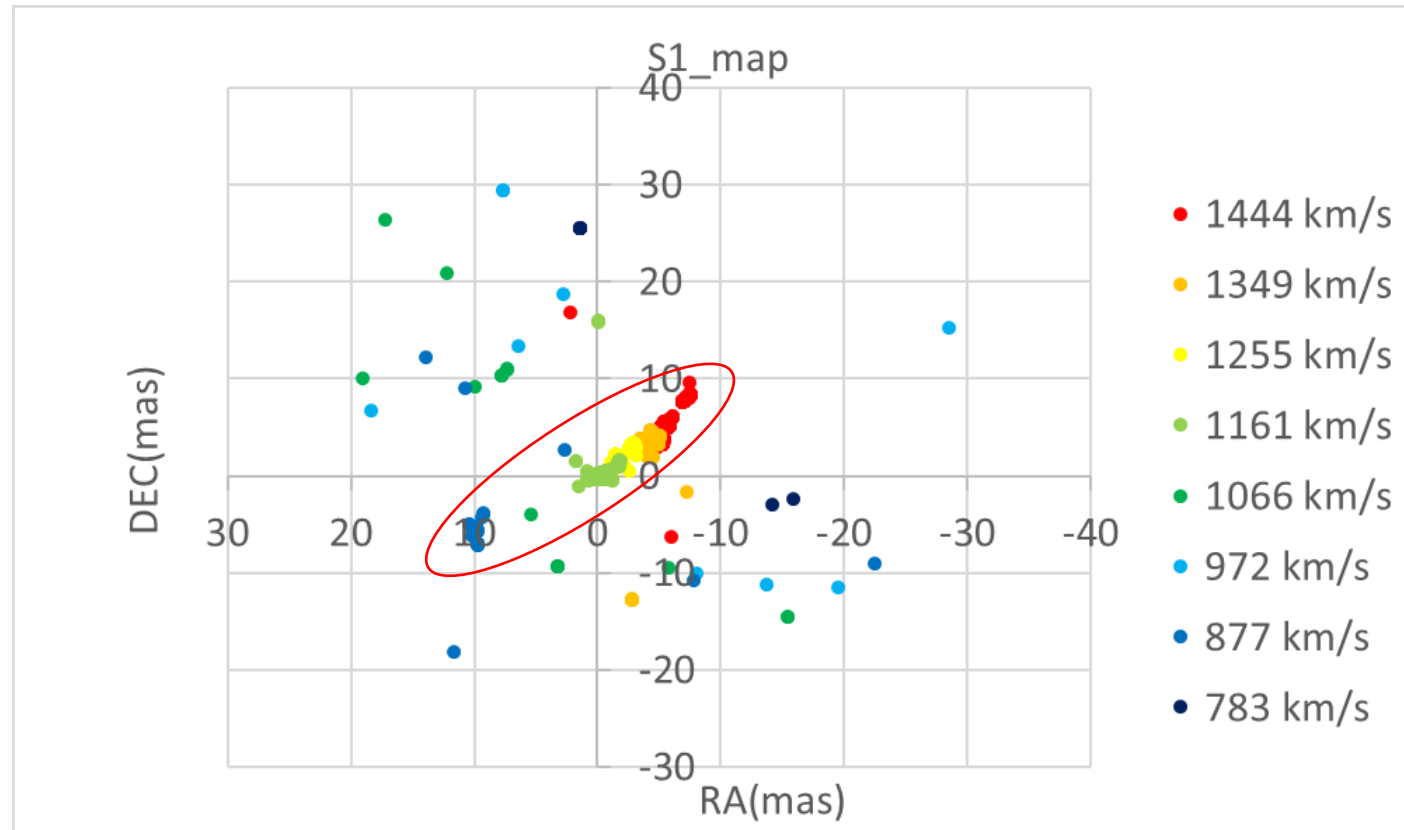


- Effelsbergによる自己相関スペクトル
- アークイブでは700 km/s ~ 1460 km/s を観測
- 1つのIFにつき約100 km/s の速度幅で観測している。

図 : Greenhill et al 1997

解析結果 ～メーザースポットのプロット～

- 図中央に円盤が見える。
- 円盤部分以外にもメーザー源が分布している。➔ 初検出！

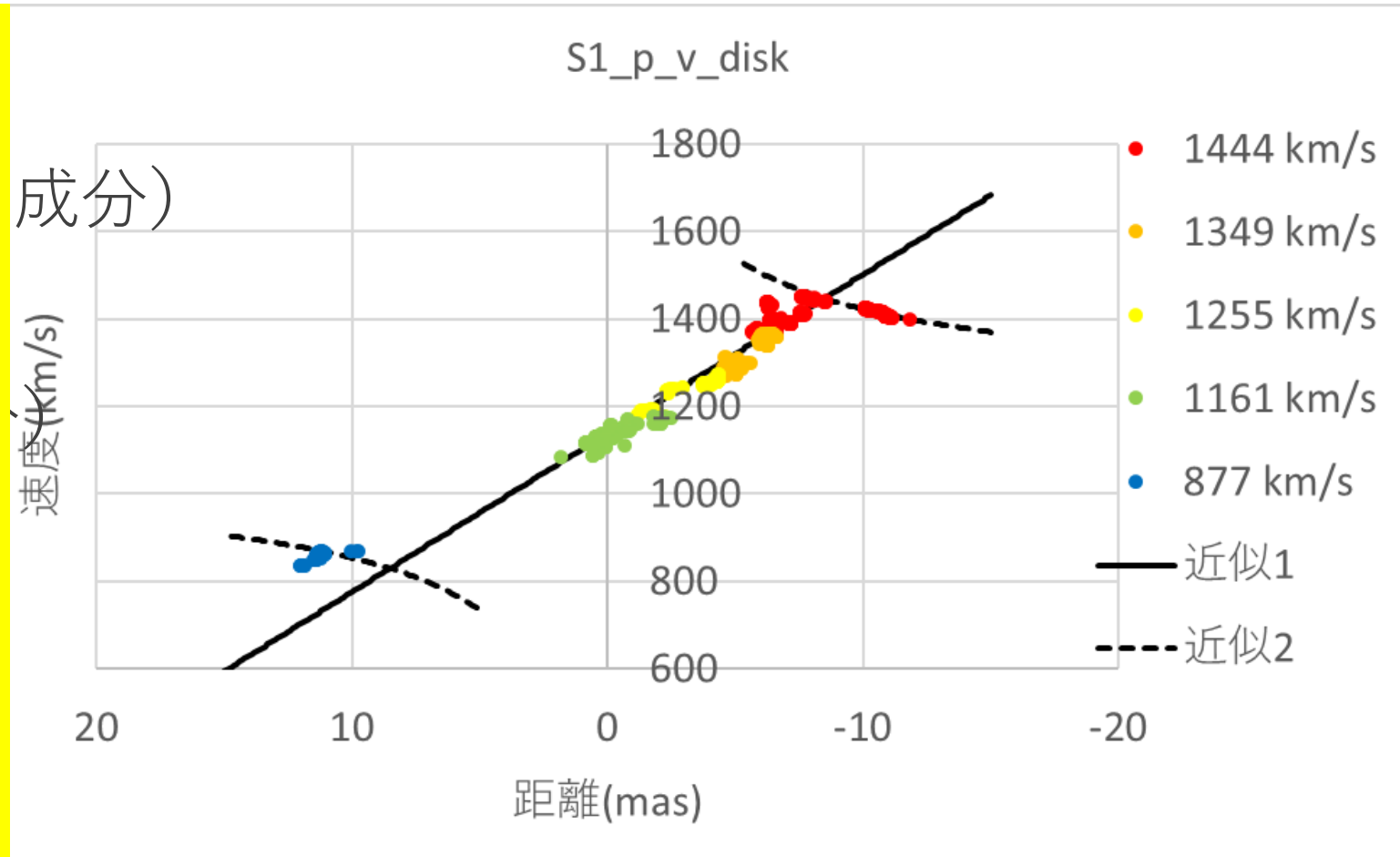


円盤成分の解析結果

～ケプラー回転に基づく最小二乗フィッティング～

• 得られた物理量

- 質量 $1.7 \times 10^7 M_{\text{sun}}$
- 回転速度 206-309 km/s
- 内径 0.73 pc
- 外径 1.08 pc



参考 ～Greenhill et al 1997～

- 観測装置 VLBA VLA
- 質量 $1.5 \times 10^7 M_{\text{sun}}$
- 回転速度 250-330 km/s
- 内径 0.65 pc
- 外径 1.1 pc

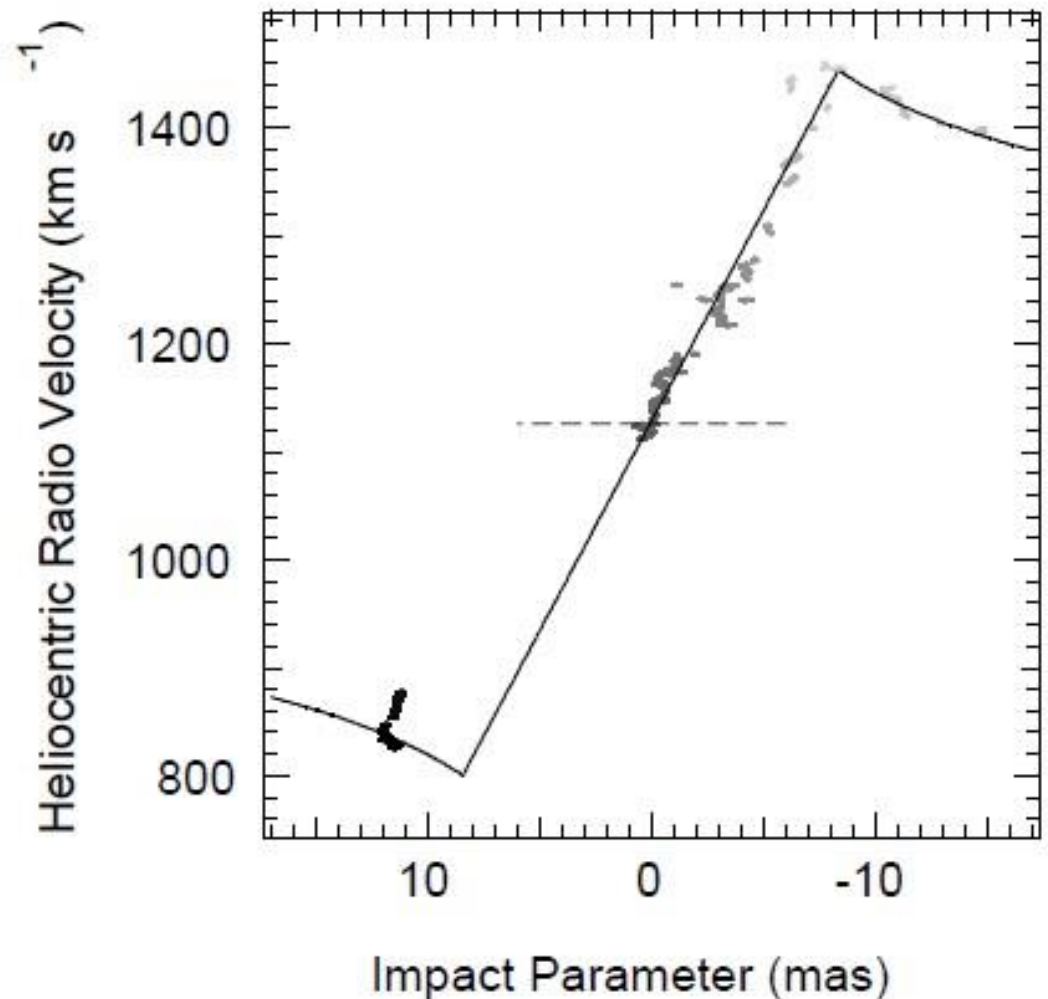


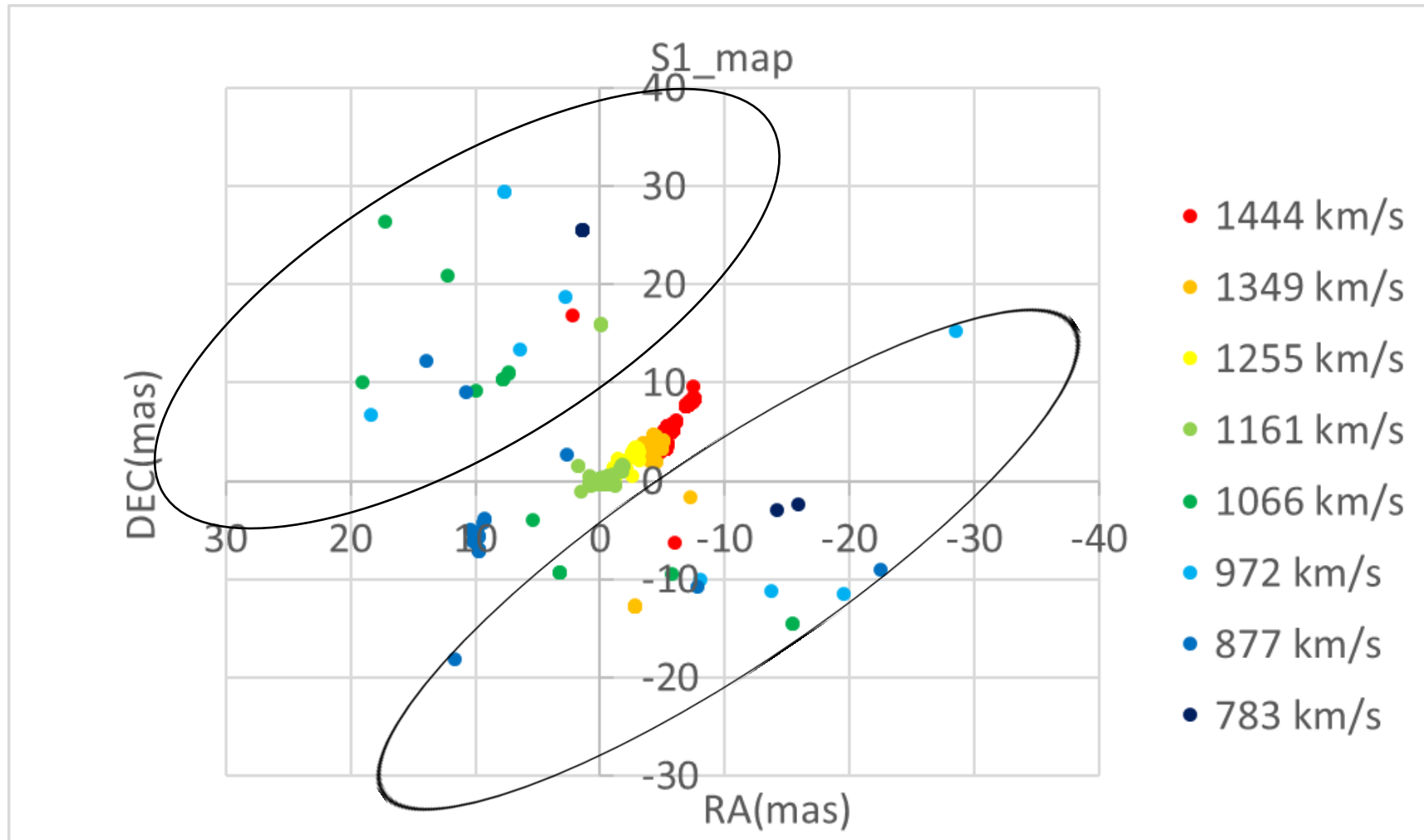
図 : Greenhill et al 1997

結果の比較

	質量(M_{sun})	回転速度(km/s)	内径(pc)	外径(pc)
本研究	$1.7 \times 10^7 M_{\text{sun}}$	260-309	0.73	1.08
Greenhill et al. 1997	$1.5 \times 10^7 M_{\text{sun}}$	250-330	0.65	1.1

- Greenhill et al 1997と比較して矛盾しない。

円盤由来でないメーザー源の解釈



参考例 Circinus

- 円盤 と
周辺にあるメーザー源
- 1997年7月と
1998年6月の観測値を
重ね合わせている

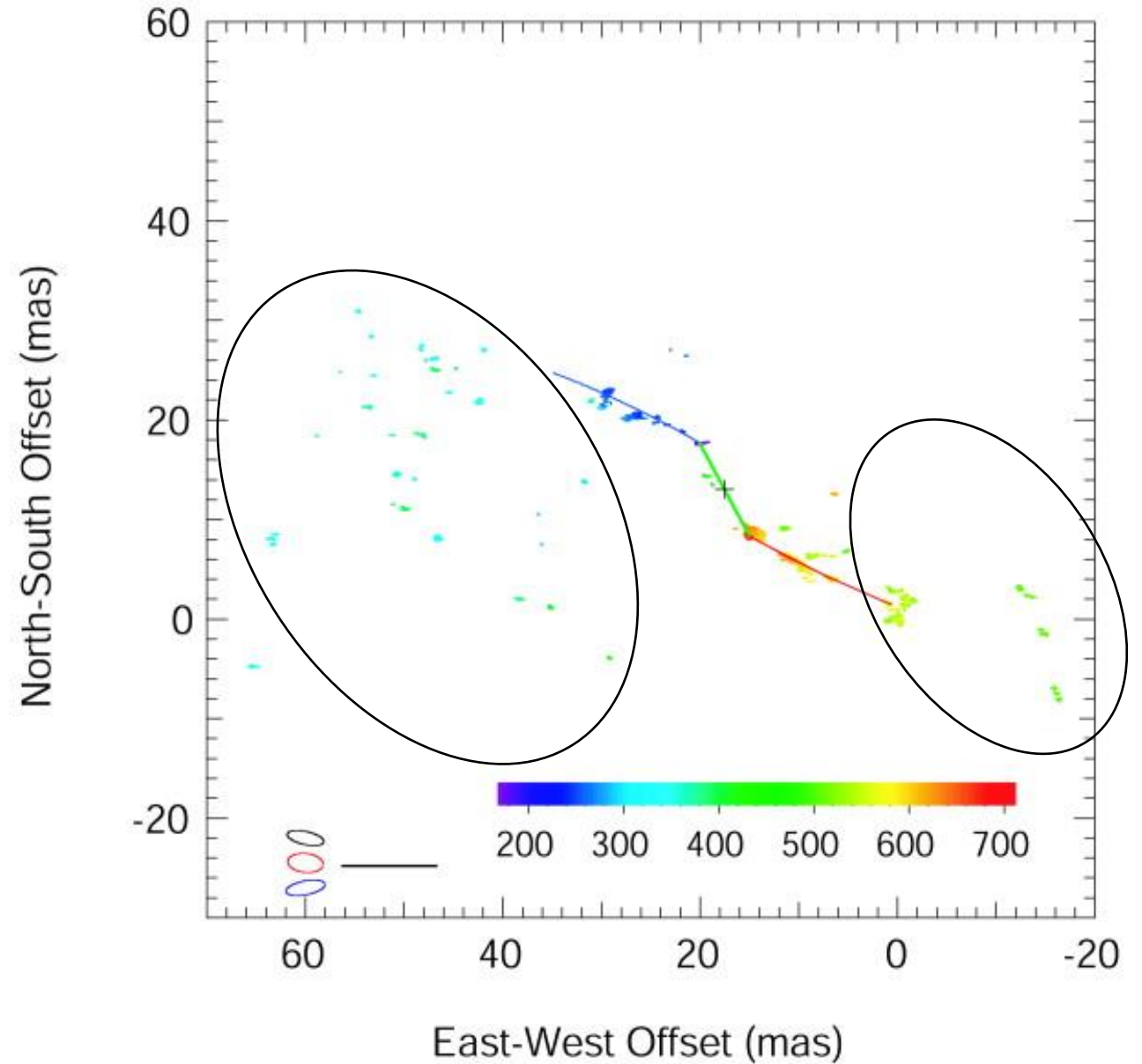
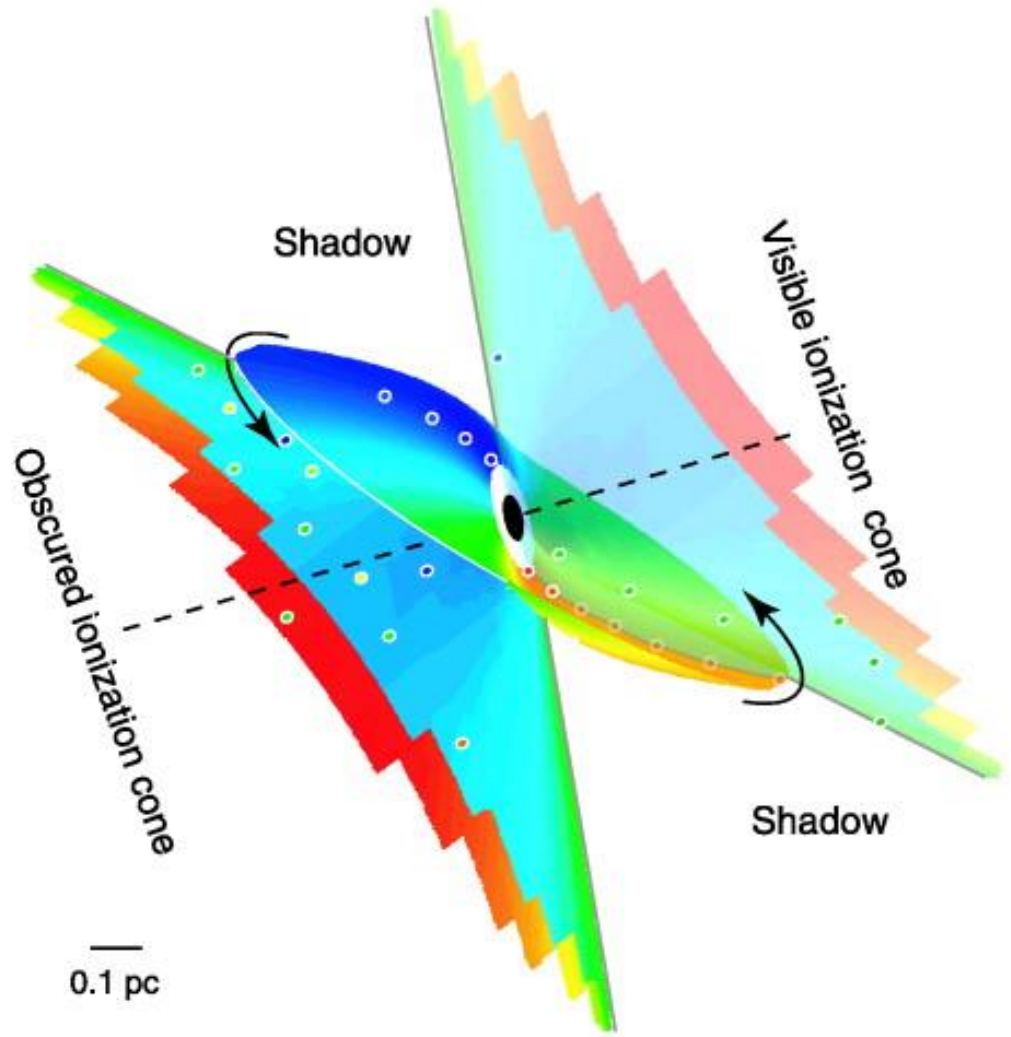


図 : Greenhill et al 2003

参考例 Circinus

- BHに対して捻じれた円盤とアウトフローのモデル
- NGC1068のS1も似たようなモデルになる可能性はないか検討したい。



今後

- 年内
 - ケプラーフィッティングの誤差を出すこと。
 - まだ入っていないEVNアンテナも入れて補正し解像度を上げること。
- 年度内
 - S1成分での円盤以外の離れているメーザー源の起源の考察
- 来年以降
 - C成分でのメーザーマッピング => 起源の検討 (ジェット? SMBH?)

ご清聴

ありがとうございました

参考スライド

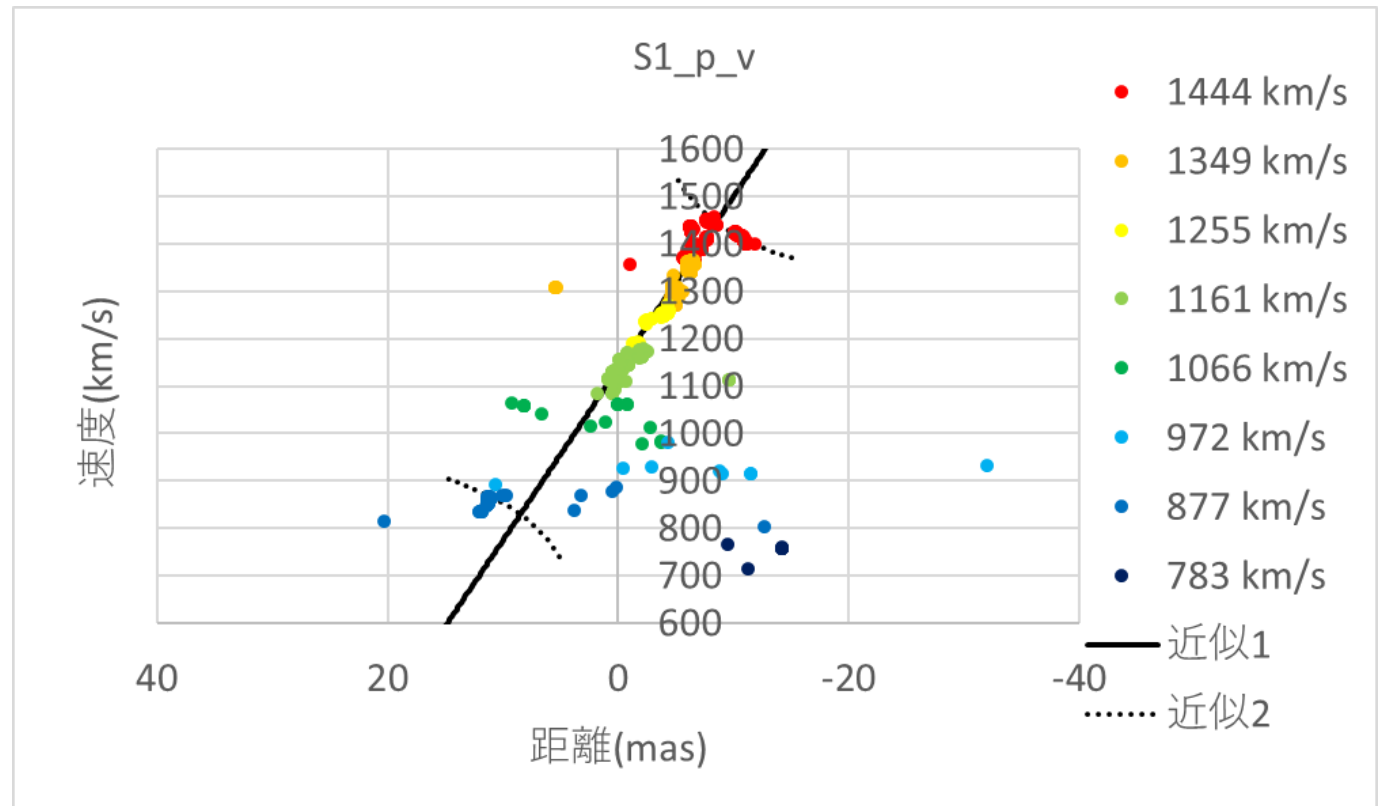
解析結果

～ケプラリアンフィッティング～

- 円盤の回転軸からの距離 (p) と速度 (v) のグラフ
- IF1~IF4のデータを用いてフィッティングしている。
- 近似式

$$V = \frac{900}{\sqrt{p}} \quad (\text{曲線近似})$$

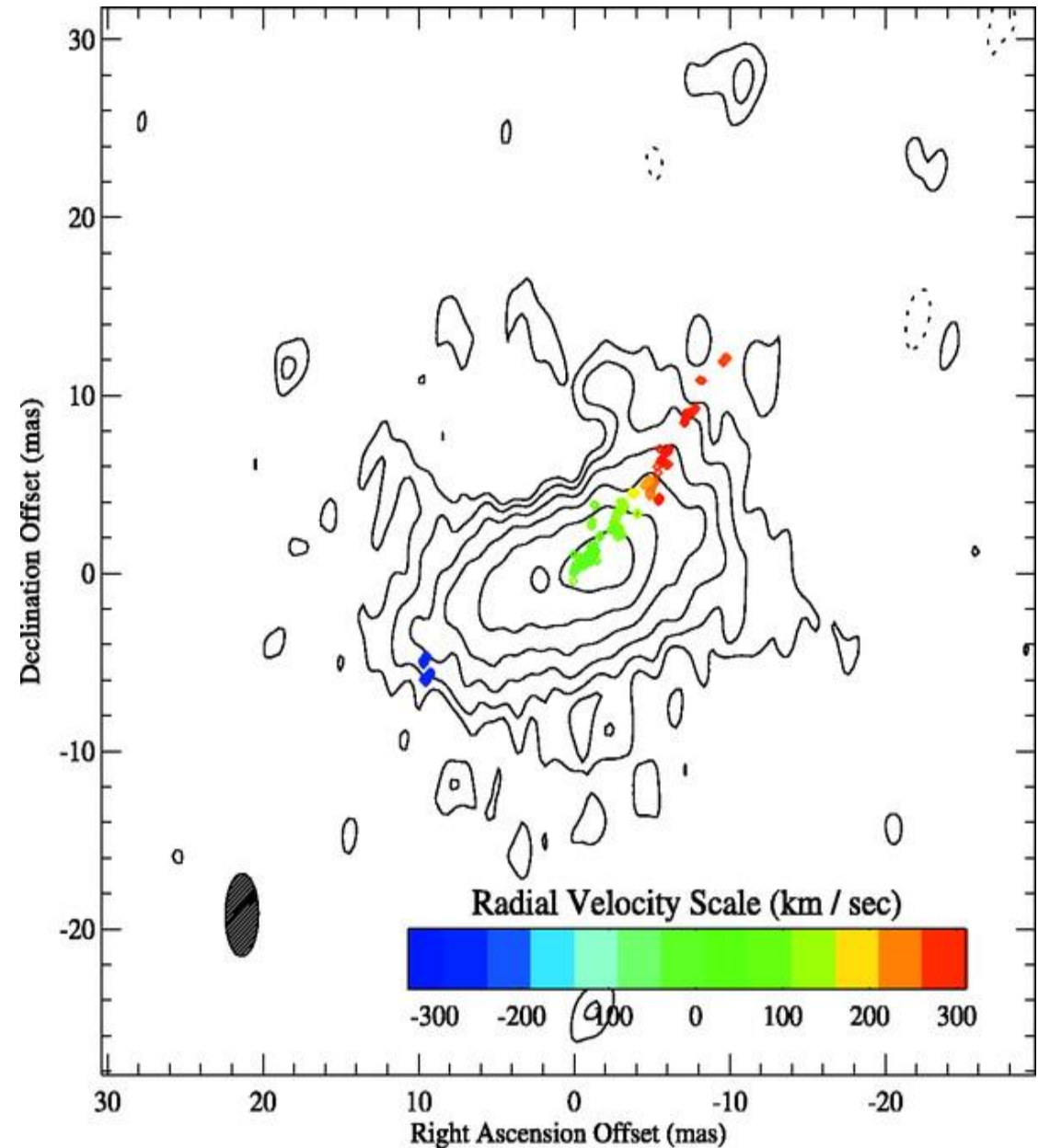
$$V = -36.3p + 1137.9 \quad (\text{直線近似})$$



研究対象～NGC1068～

- S1にはAGNがある。
- S1メーザーは SMBHに由来するものである。
- 5 GHz (連続波) VLBA
- 22GHz (メーザー) VLBAとVLA

☒ : Gallimore et al 2004

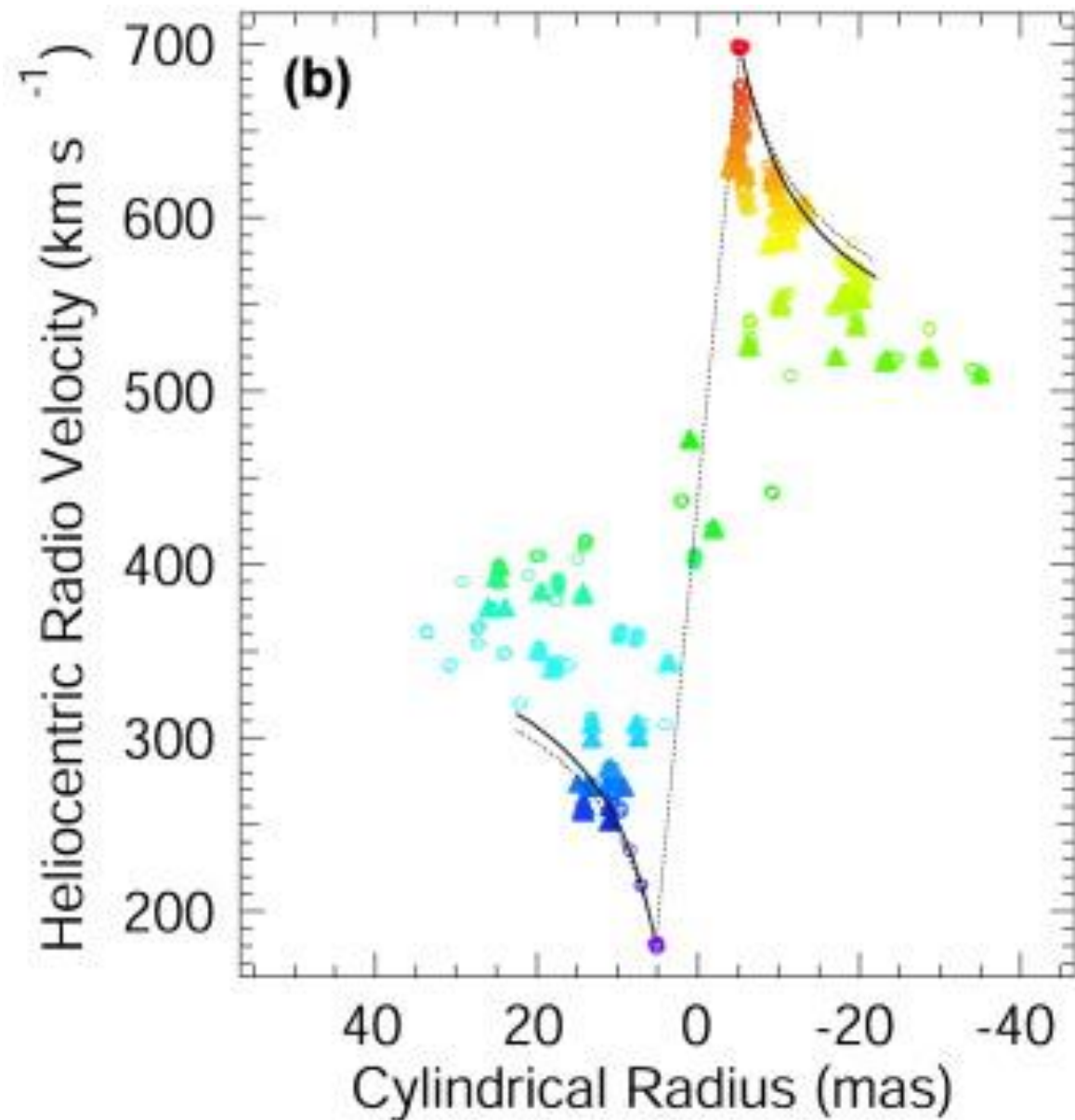


参考例 Circinus

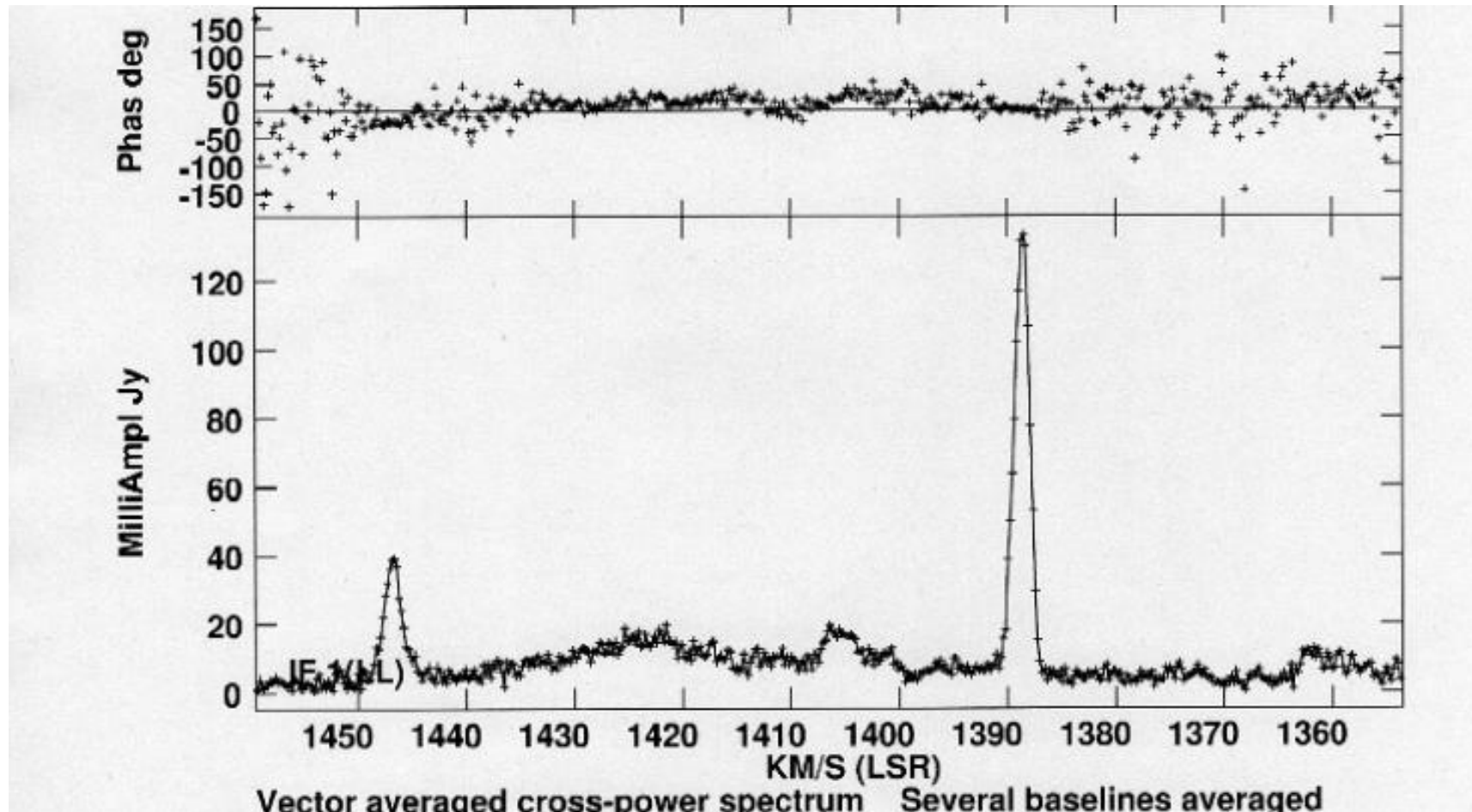
- p-vグラフにした場合

- \triangle : 1997年7月
- \circ : 1998年6月

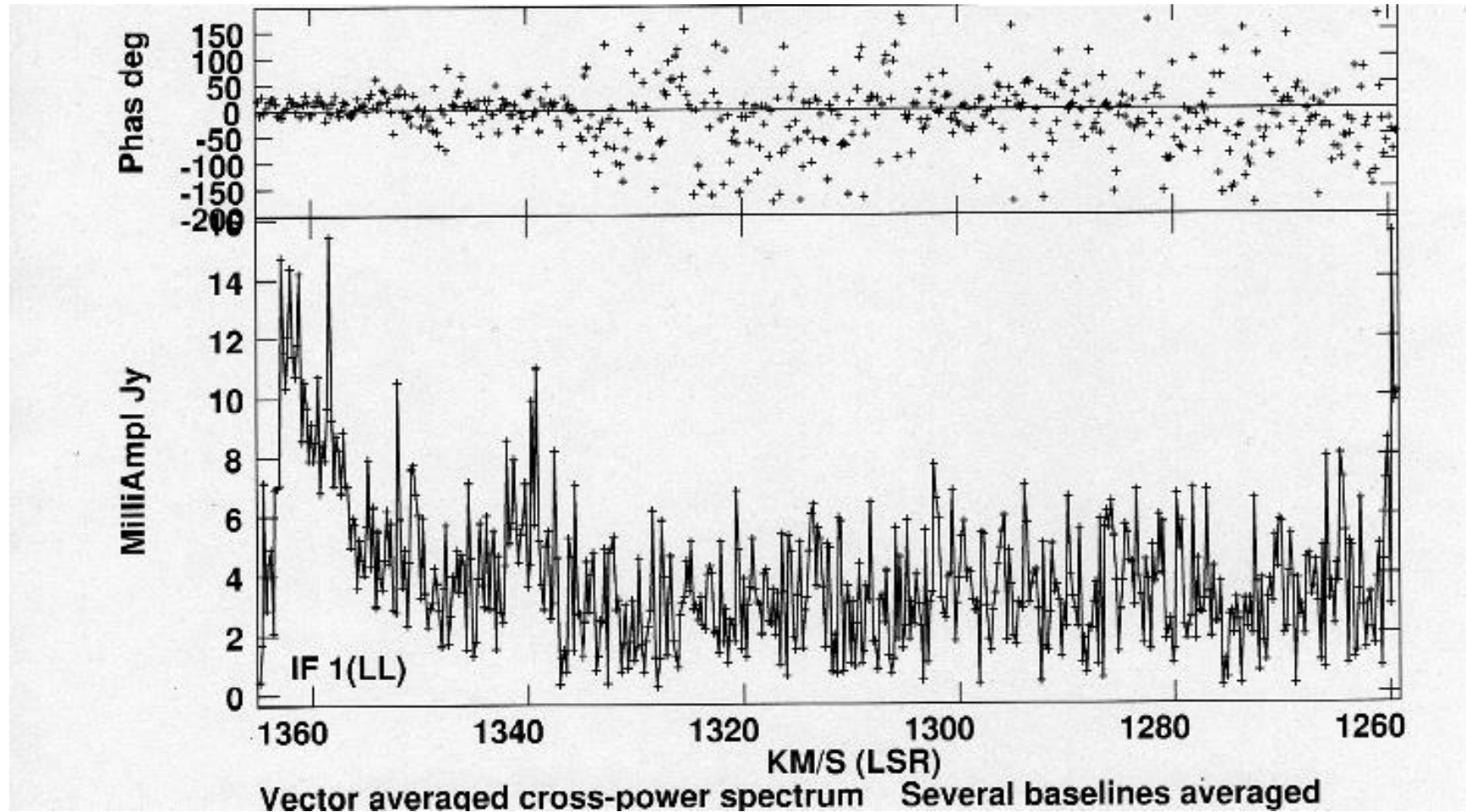
図 : Greenhill et al 2003



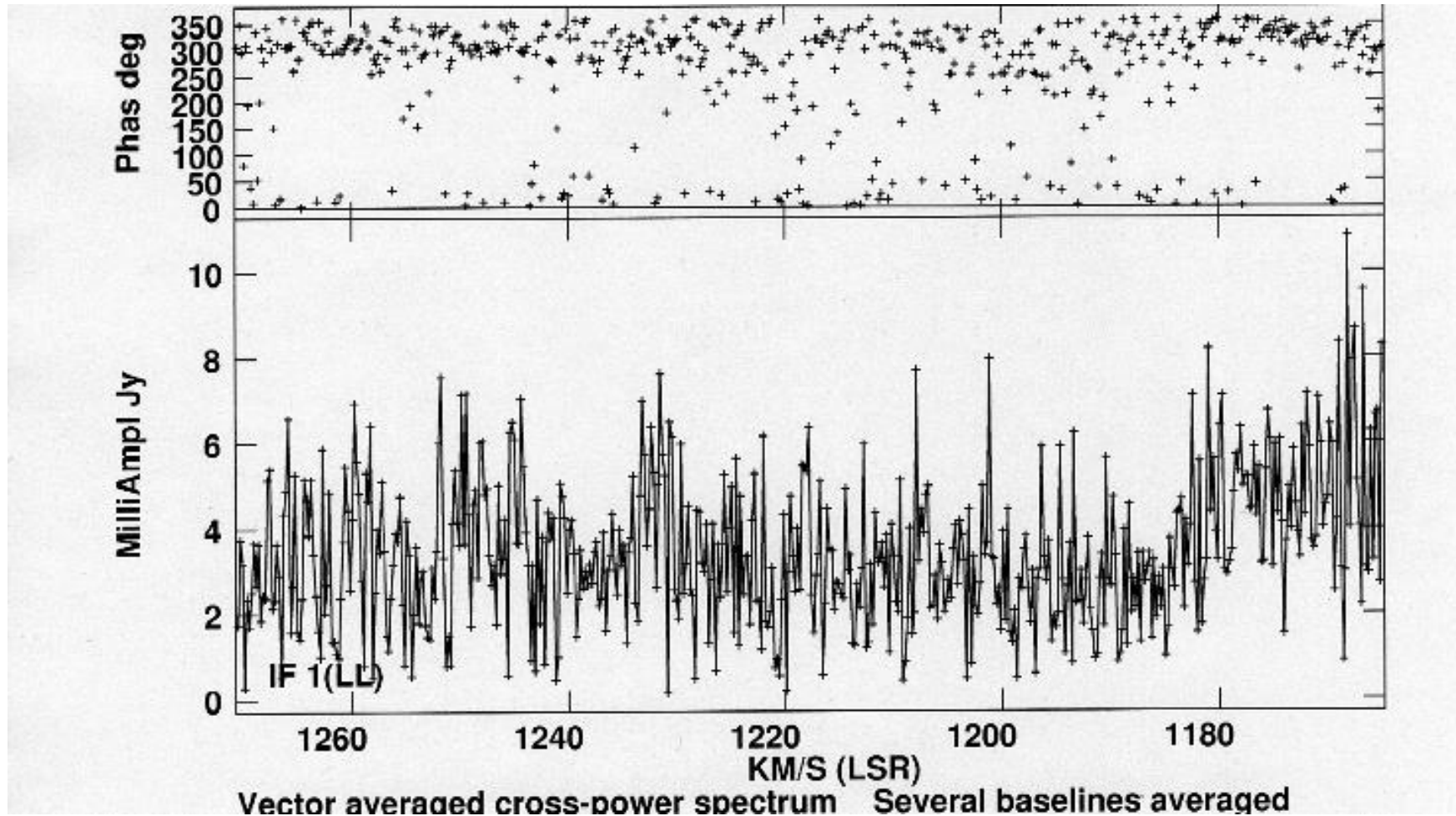
NGC1068 IF1 (1460 km/s ~ 1350 km/s)



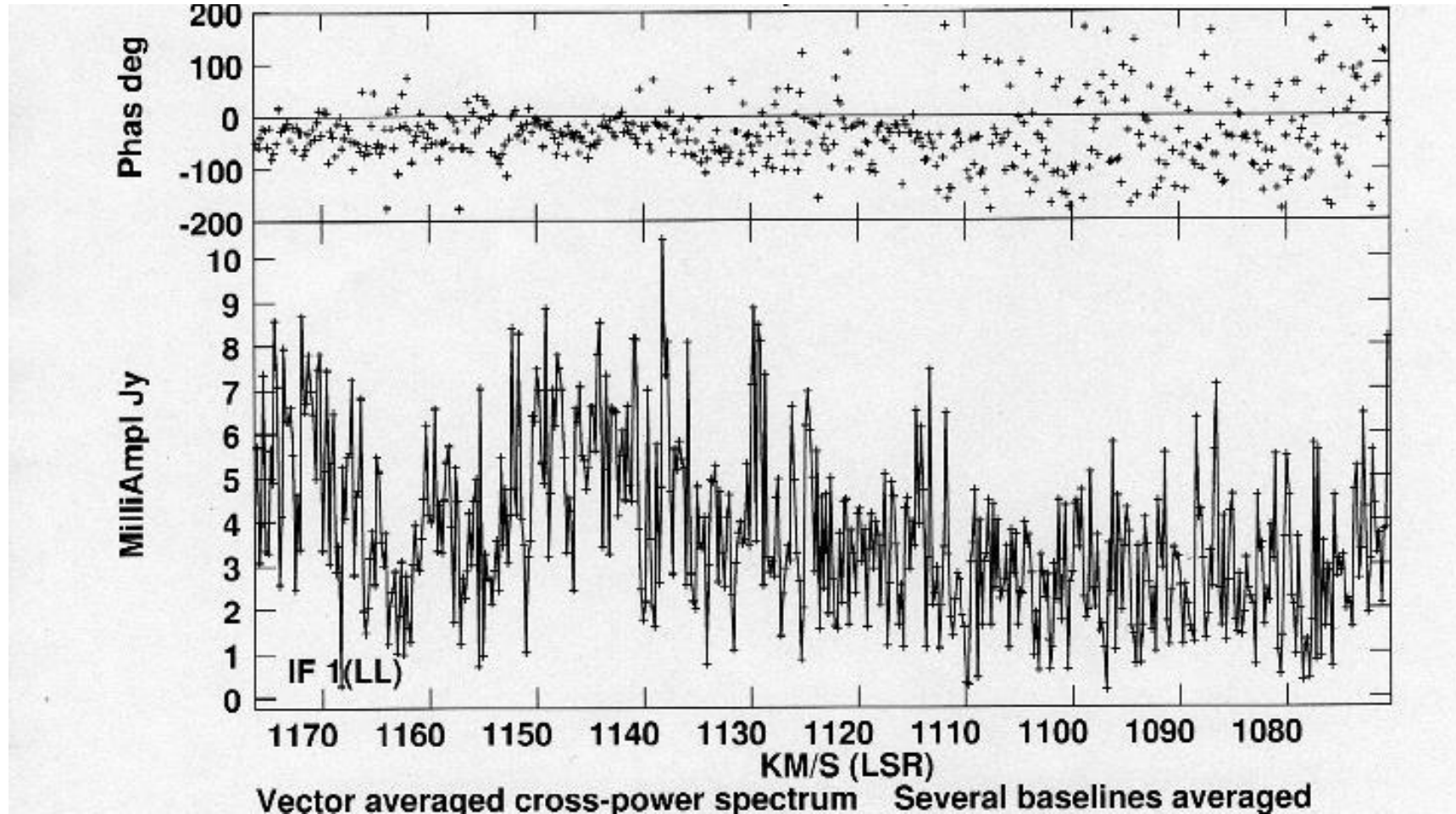
NGC1068 IF2 (1360 km/s ~ 1260 km/s)



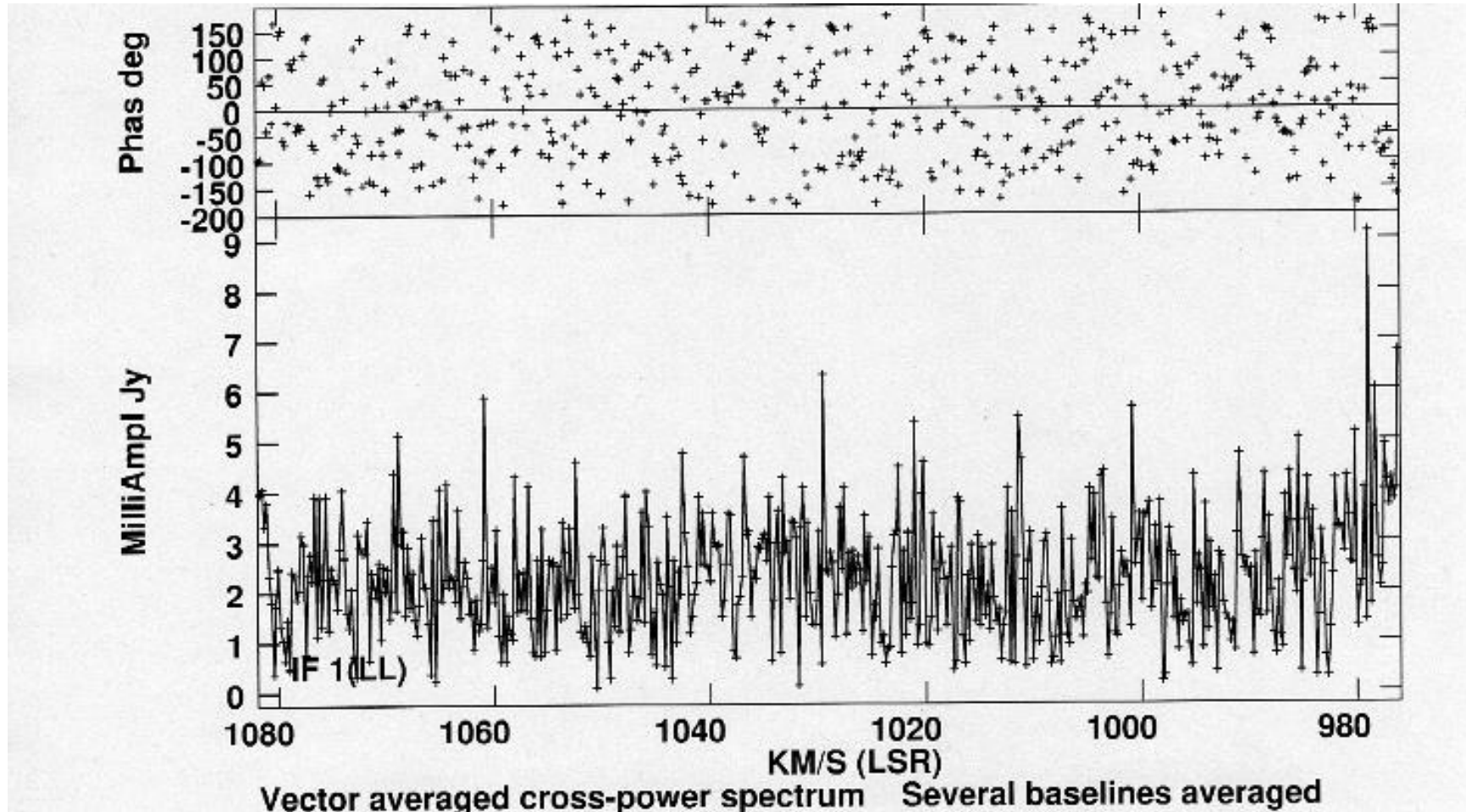
NGC1068 IF3 (1270 km/s ~ 1170 km/s)



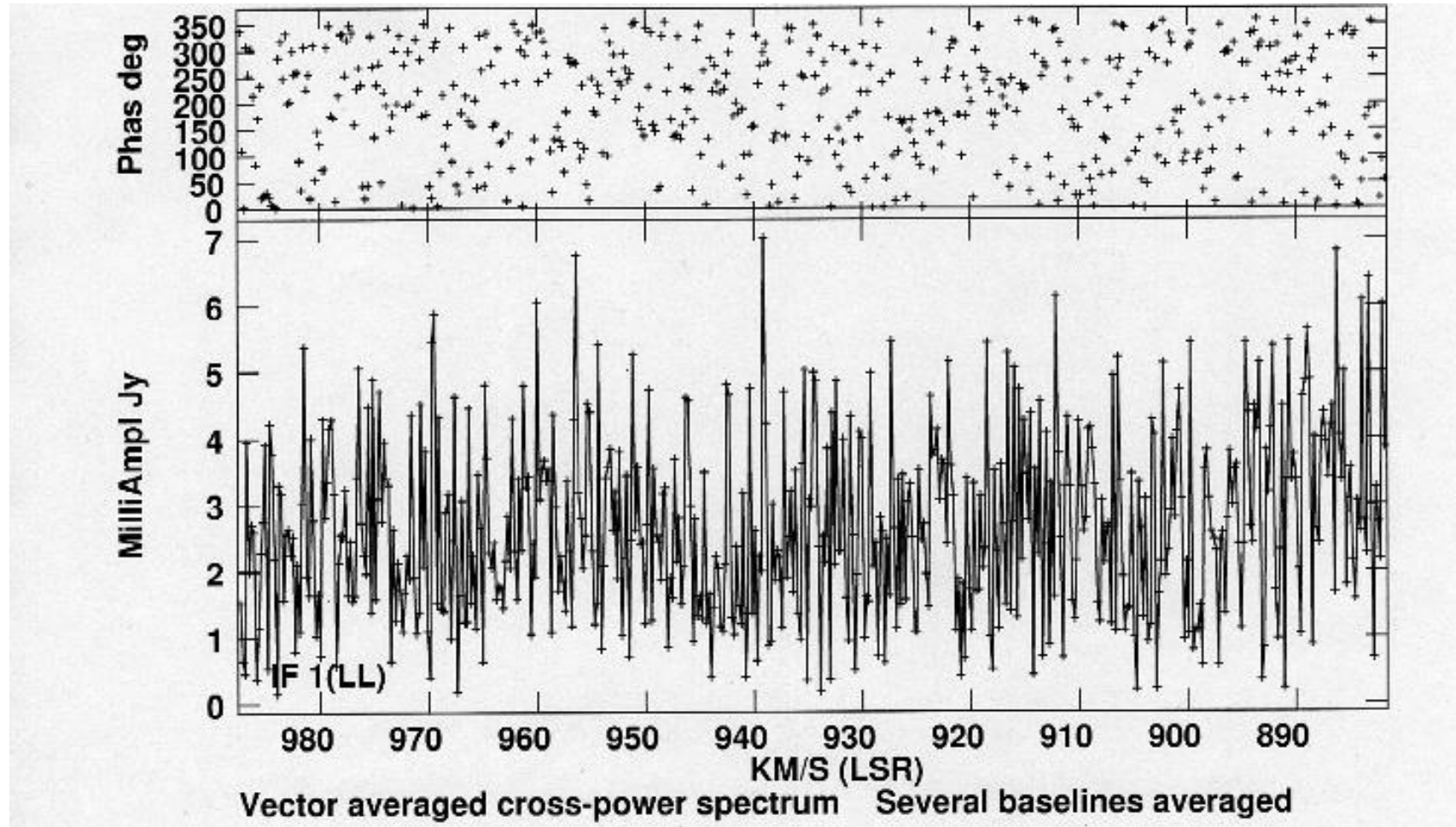
NGC1068 IF4 (1170 km/s ~ 1070 km/s)



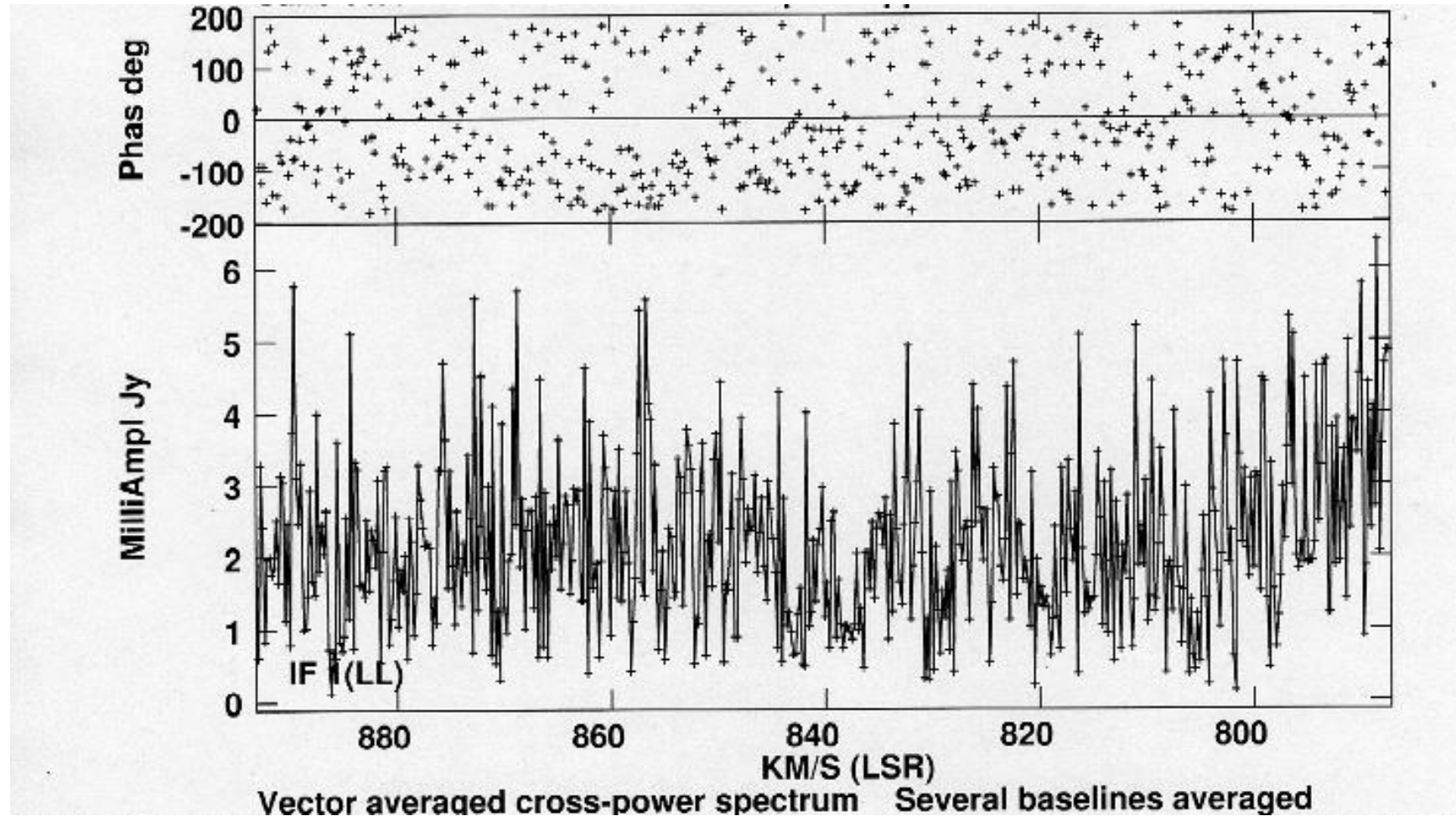
NGC1068 IF5 (1080 km/s ~ 980 km/s)



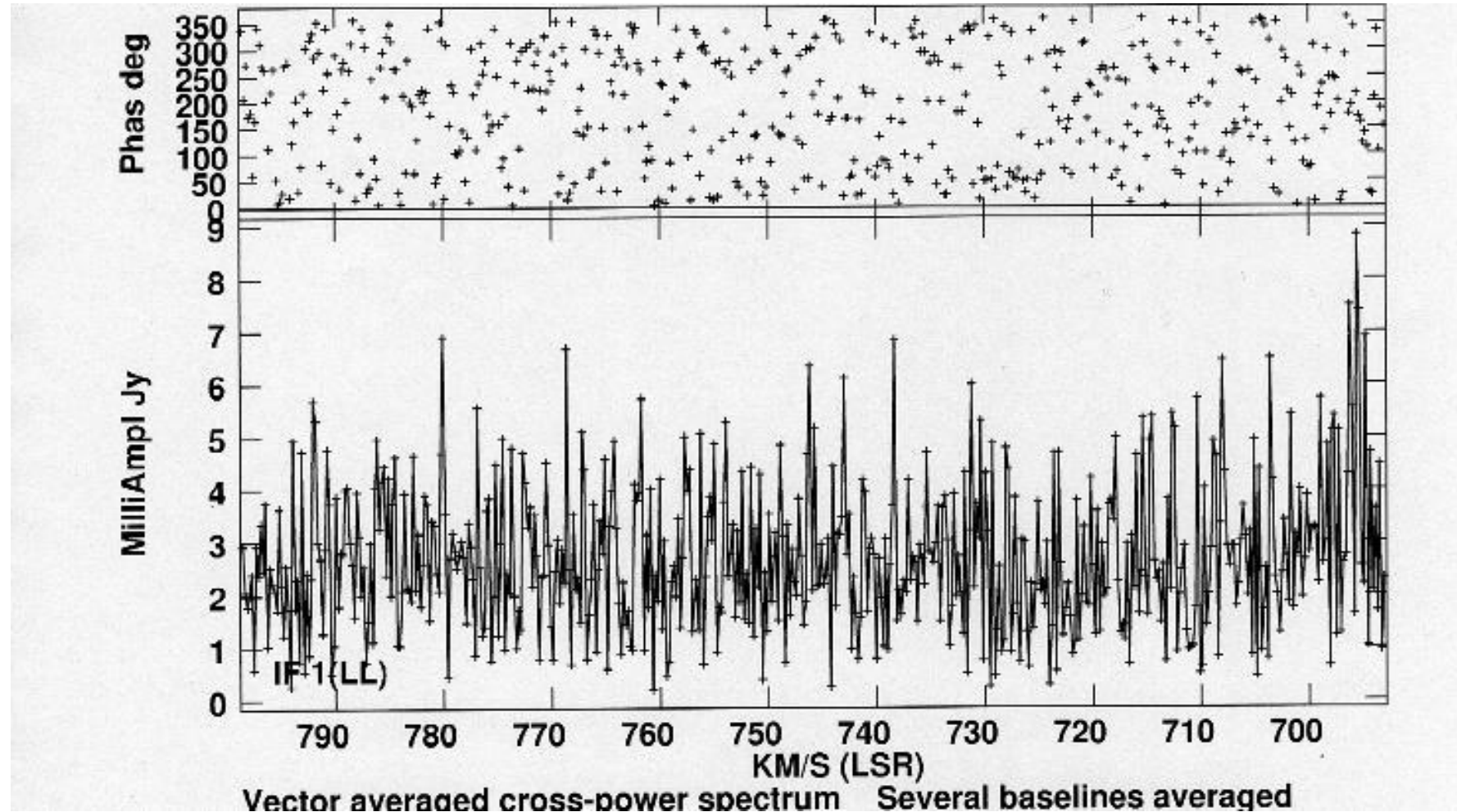
NGC1068 IF6 (980 km/s ~ 880 km/s)



NGC1068 IF7 (890 km/s ~ 790 km/s)



NGC1068 IF8 (800 km/s ~ 700 km/s)



物理量の算出

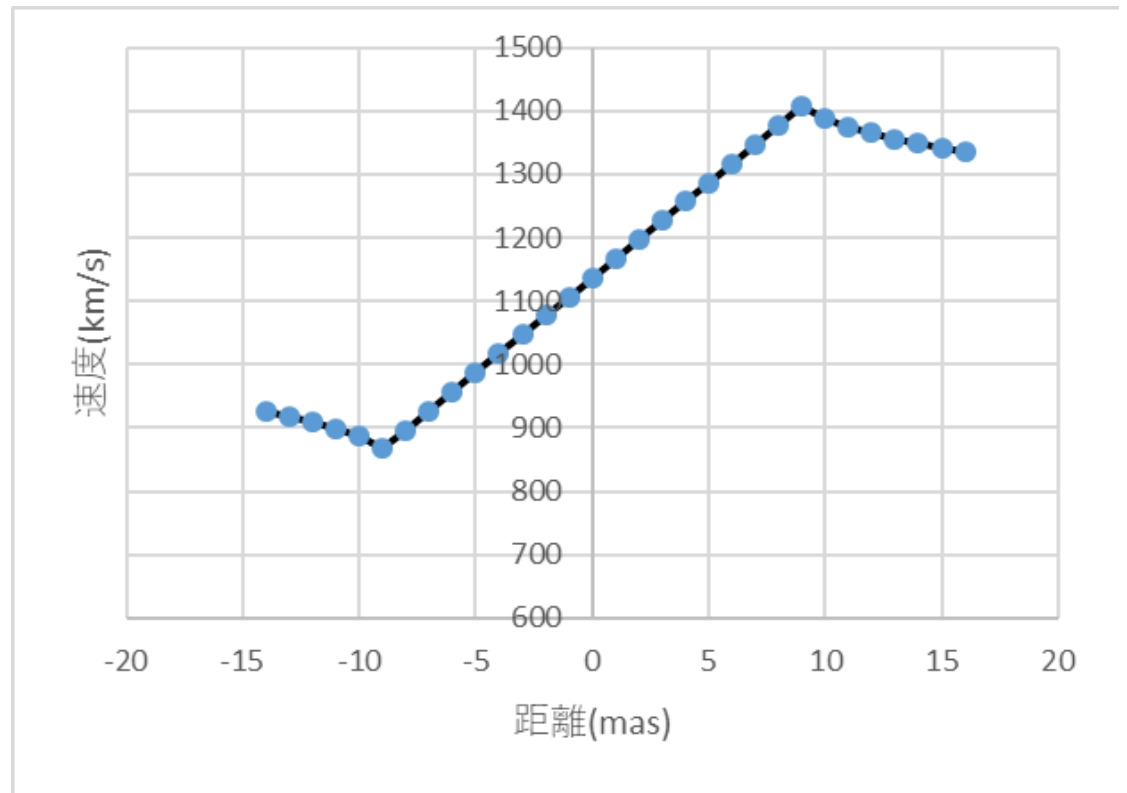
～理想的なケプラリアンフィット～

- メーザー源とブラックホールまでの円盤に平行な距離(p)と速度(v)のグラフは、

$$V = \sqrt{\frac{GM}{p}}$$

で表される。

- 近似式からSMBHの質量・円盤の内半径を求める。



右図：理想的なフィッティング

ケプラーリアンフィッティング ～1～

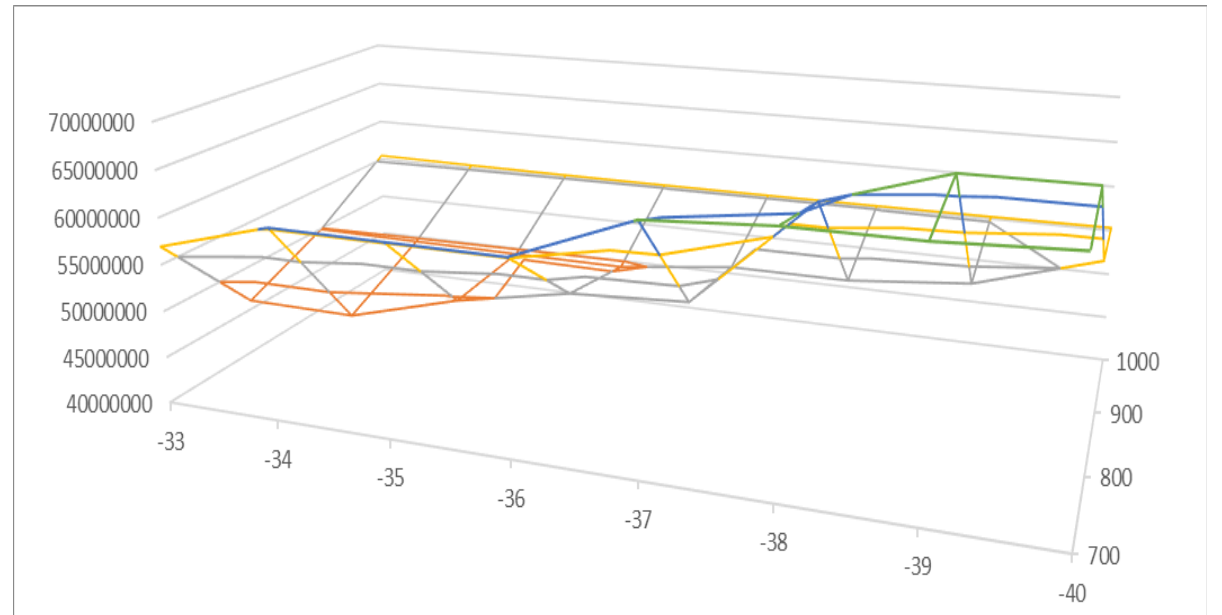
式1: $V = a \times (p - r) + b$ (直線) か 式2: $V = c \times 1/\sqrt{p - r} + b$ (曲線)

- 式1と式2の交点のp座標 $((p-r), -(p-r))$ の間にある観測値は式1で近似する
- それ以外の観測値は式2で近似する。
- 観測値と近似式との差の二乗和が最小になるようにパラメータ(a,b,c,r)を変化させていく

ケプラーアンフィッティング

(a,b,c,r) の初期値設定

- bは銀河の後退速度、rはbの速度を持つメーザー源の位置を表している
るので、
 bとrの初期値は観測値にする。
- aとcの初期値はp-vグラフを参考に大体の値を何通りか決めて、
 差の二乗和 (K) が最小になる組み合わせにする。
- 例えば左の図から
 a,cの初期値は
 a = 34.0
 c = 800
 とできる。

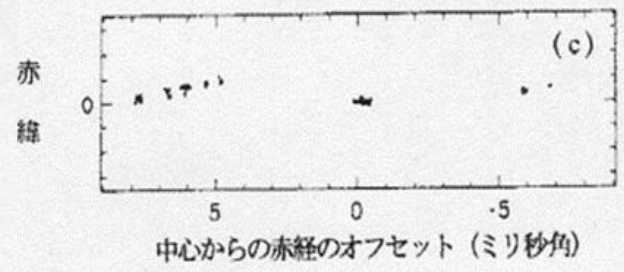
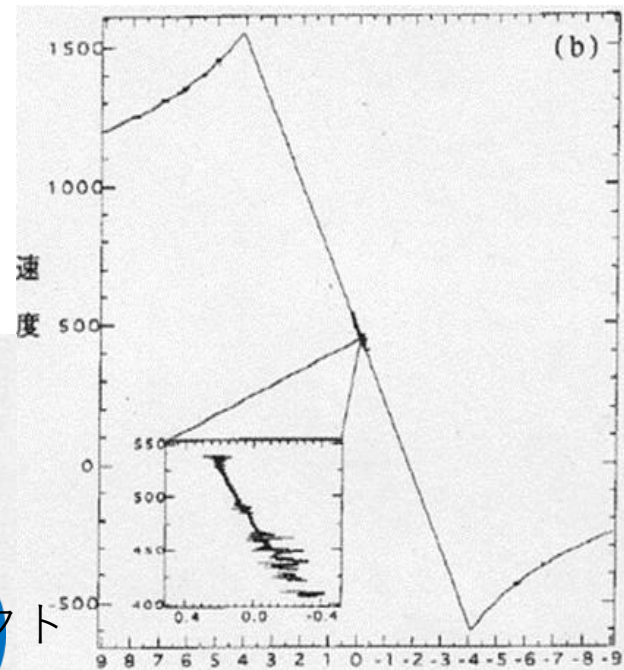
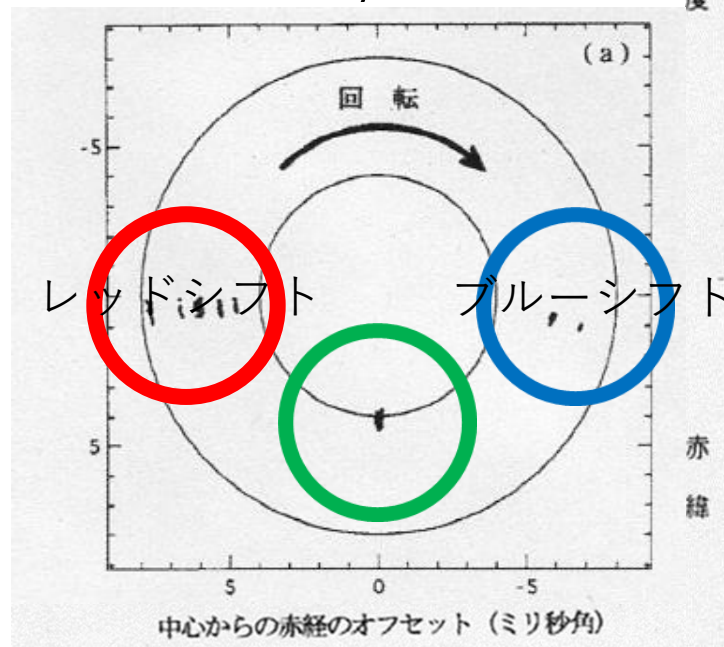


研究背景

～SMBHの例 NGC4258～

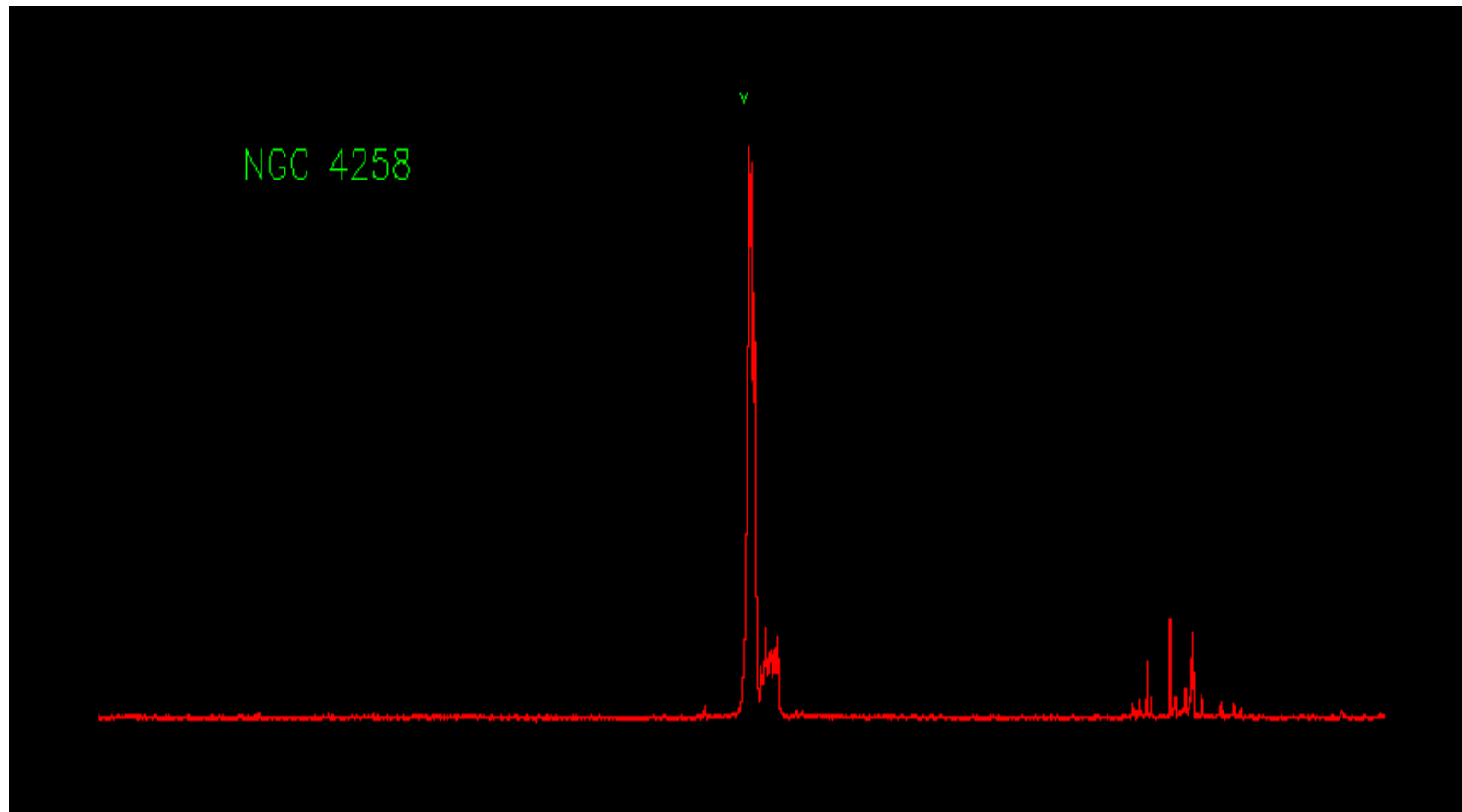
- 天球面にほぼ垂直
- 銀河の後退速度 $\Rightarrow 450\text{km/s}$
- 円盤の回転速度 $\Rightarrow 770\text{-}1080\text{km/s}$

放射されるメーザーは
ドップラーシフト
を起こしている。



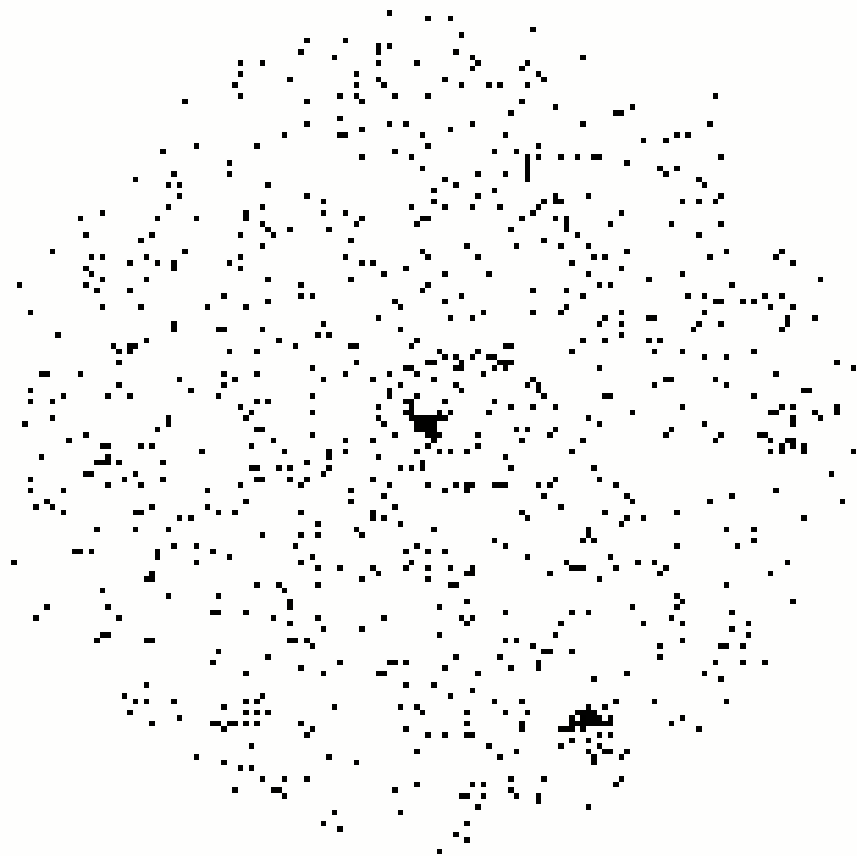
研究背景

～SMBHの例 NGC4258～



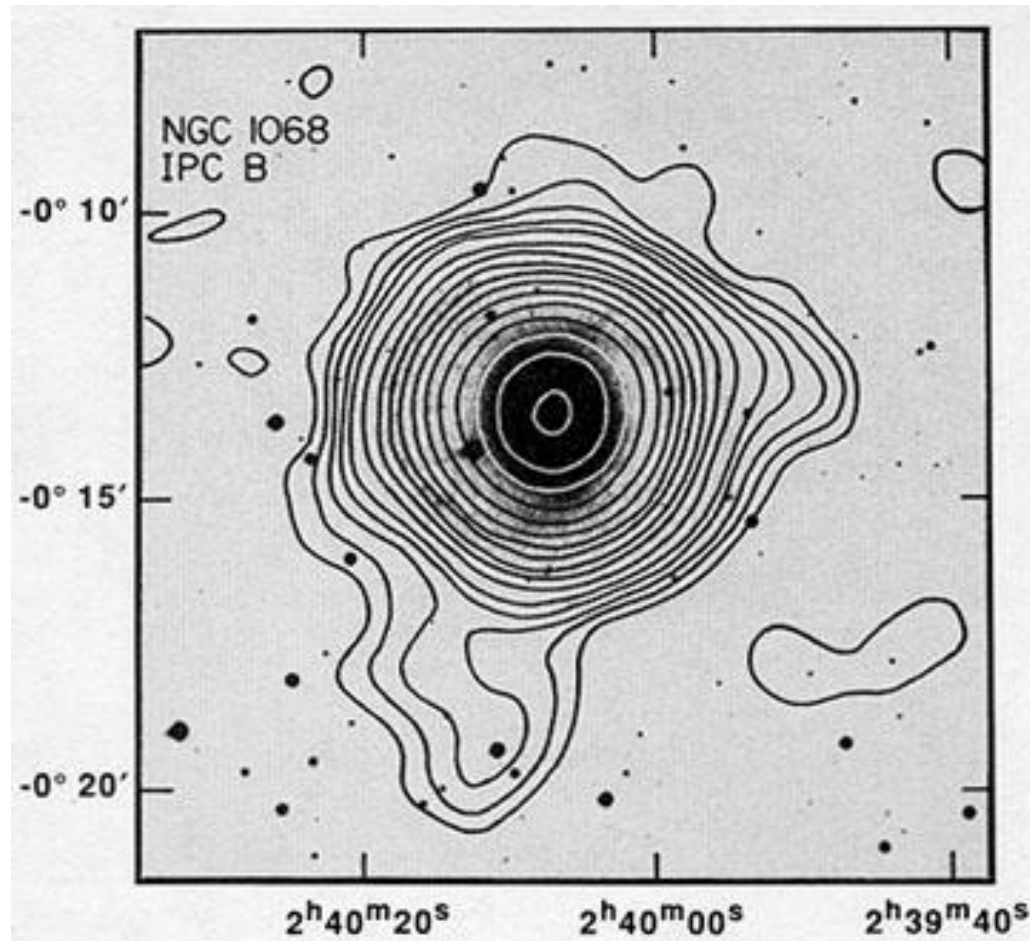
グラフ : <http://www.gb.nrao.edu/~jbraatz/masergifs/ngc4258.gif>

NGC1068 ～X線～



- 観測装置 ROSAT

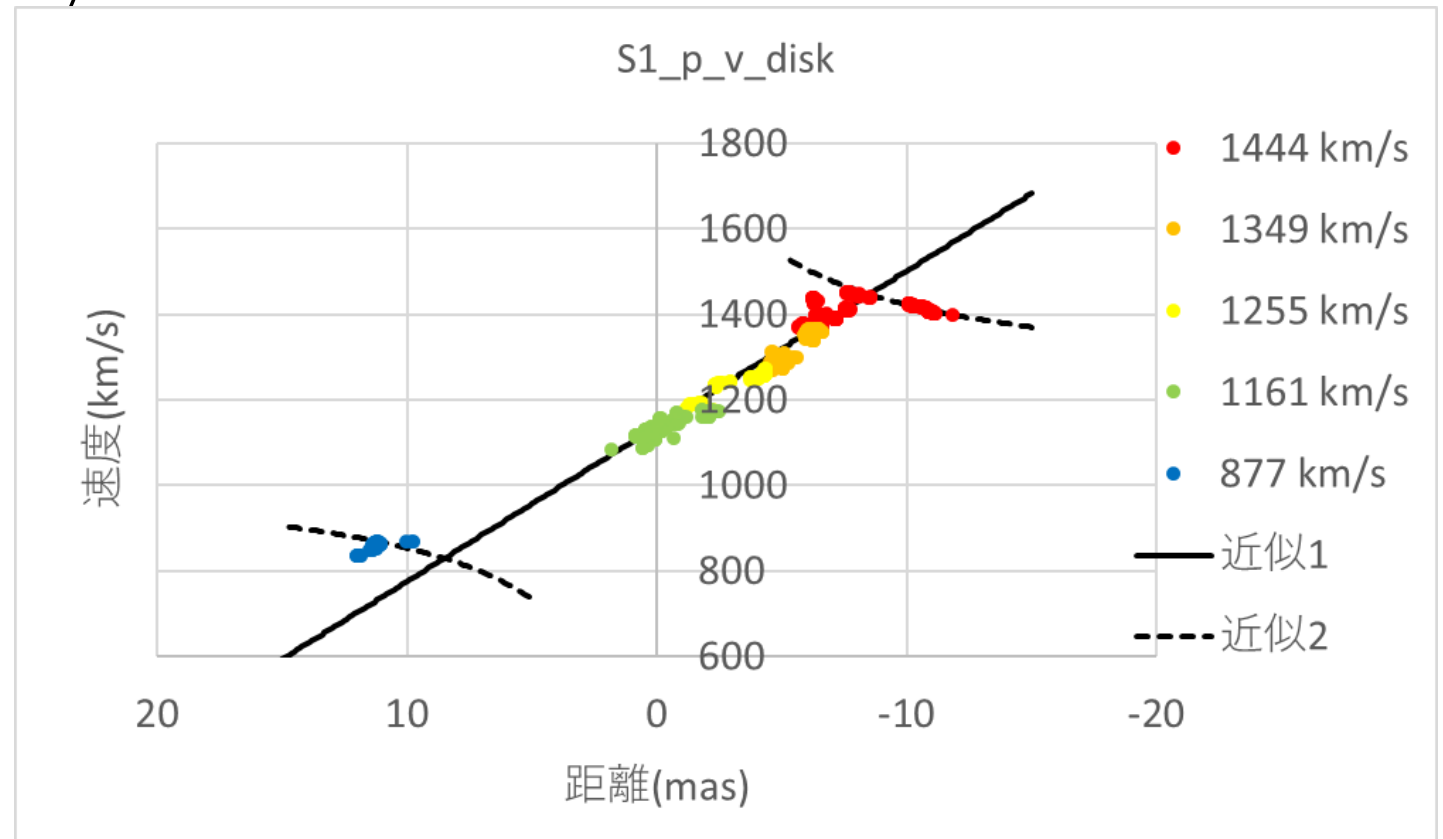
NGC1068 ～X線～



- 観測装置 Einstein
- http://ned.ipac.caltech.edu/uri/NED::Image/jpg/1992ApJS...80..531F/NGC_1068.l:l:7.5A:fkt1992
- An X-Ray Catalog and Atlas of Galaxies
- Fabbiano, G.; Kim, D.-W.; Trinchieri, G. et al 1992

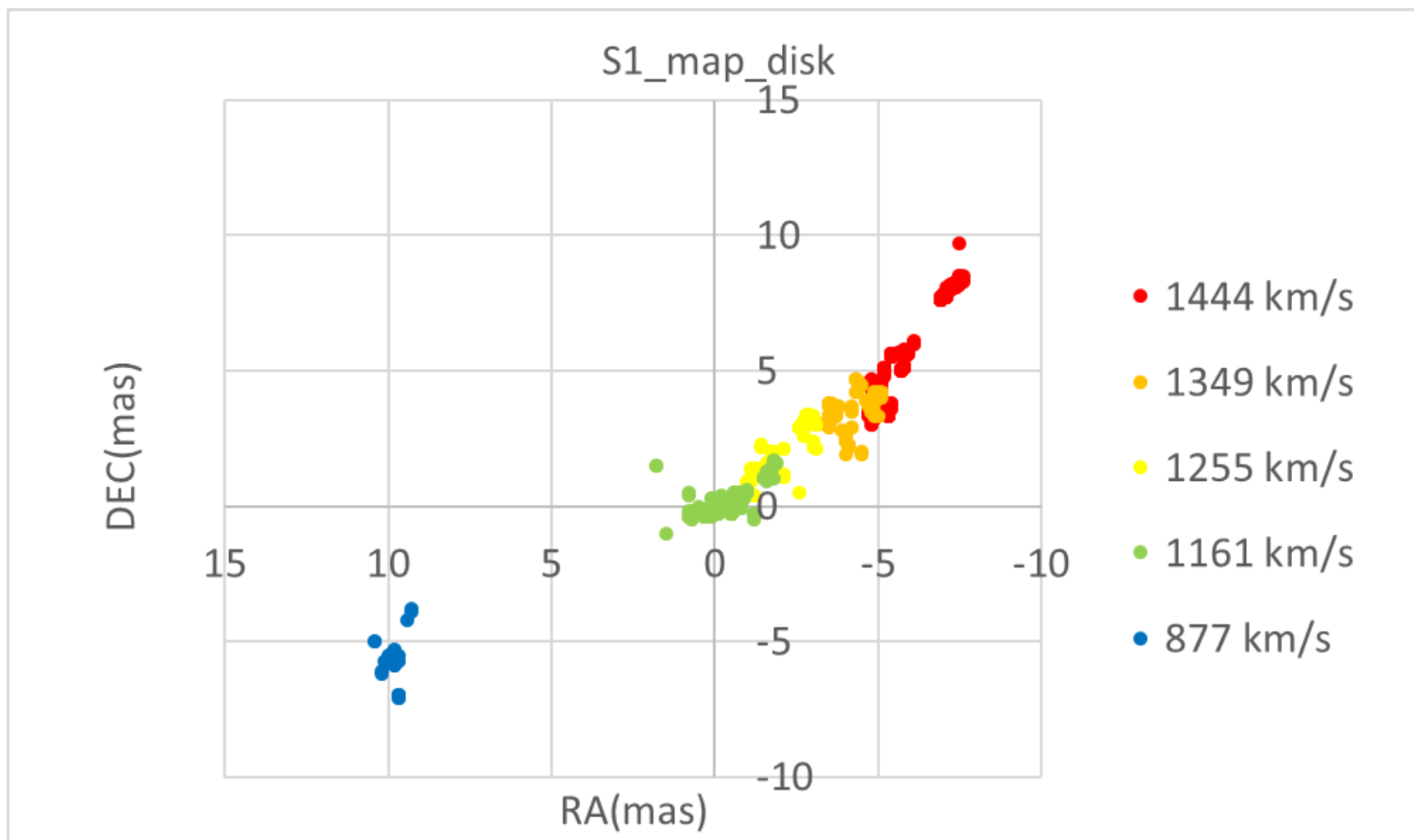
物理量

- 質量 $1.7 \times 10^7 M_{\text{sun}}$
- 回轉速度 206-309 km/s
- 內徑 0.73 pc
- 外徑 1.08 pc



解析結果

～円盤由来のメーザーだけを表示する～



銀河合体の例

ハッブル宇宙望遠鏡による撮影

