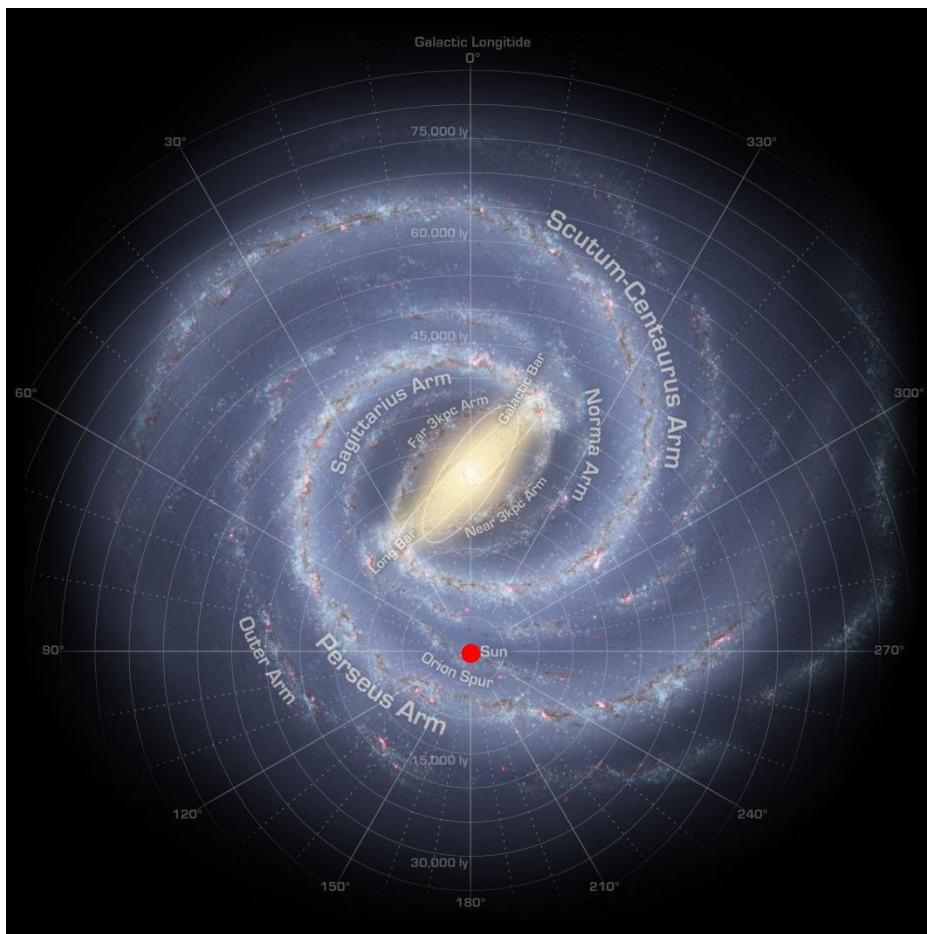


# THE DISTRIBUTION OF MASER STARS IN THE INNER MILKY WAY : THE EFFECT OF A WEAK, ROTATING BAR

H.J.Habing, M.N.Sevenster, M.Messineo, G.van de Ven, and K.Kuijken  
A&A 458, 151-162 (2006)

北海道大学大学院 理学院  
修士課程1年 南原甫幸

# 天の川の情報について



天の川想像図：

[http://www.nasa.gov/images/content/236084main\\_MilkyWay-full-annotated.jpg](http://www.nasa.gov/images/content/236084main_MilkyWay-full-annotated.jpg) 引用

○棒渦巻き銀河に属することが知られている。

○直径30 kpc のオーダーのディスクを持っていることが知られている。

○ 銀河中心と太陽の距離は約8 kpc であることが知られている。

# 天の川の構造についての解析

太陽系は天の川に属するために構造を外部から見る手法は取れない。ここで、天体を観測することで得られる物理量から、銀河に構造を解析する方法の一例を述べる。

1. 観測で得られる天体の物理量は、方向と視線方向の速度の合計三つの情報である。
2. しかし、銀河の構造を理解するためには、天体の3次元的位置と速度の合計六つの情報である。
3. 得られる情報量に対して、知りたい情報量が多いので、天体の軌道を仮定して解析的に求める。

# maser現象の原理

原子分子のエネルギー準位を決定する要素は自発放射と誘導放射、衝突である。ここで、地上のような原子分子の密度が大きい場合において、衝突が優位となり、エネルギー準位はボルツマン分布に従う。しかし、宇宙空間のような密度が小さな場合には、自発放射と誘導放射が優位になり、エネルギー準位がボルツマン分布に従わないことがある。特に下のエネルギー準位よりも上の方が多く分布することがあり、これを反転分布と呼ぶ。このような領域では電波が入射すると誘導放射を連続的に起こして、入射した電波強度が増幅される。これがmaserと呼ばれる現象である。

# maserを観測する利点

Maser放射の特徴の一部を述べる。

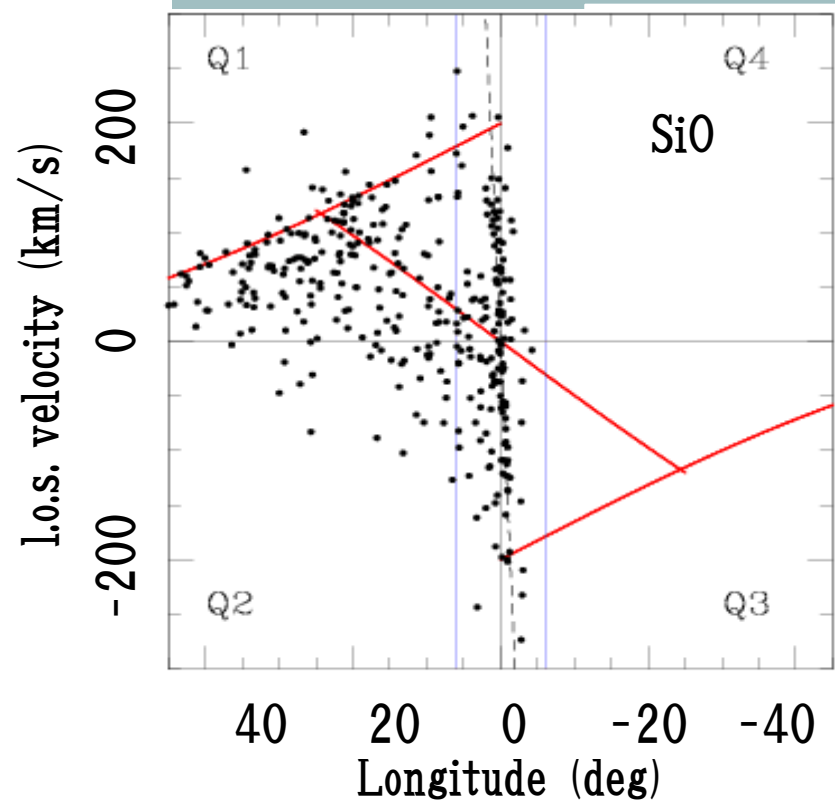
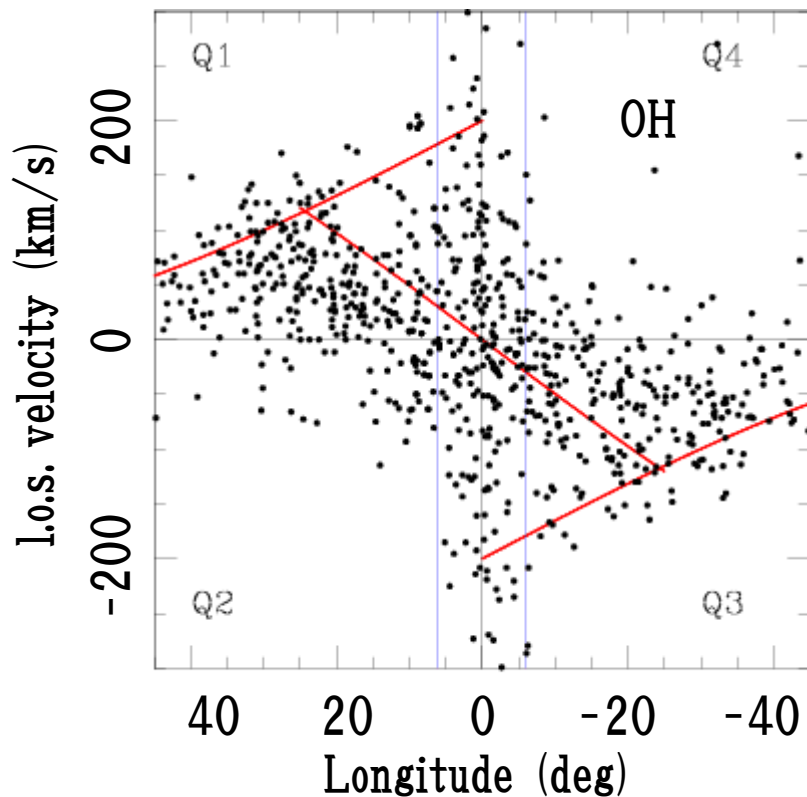
1. 光源の広がり極めて小さいことが知られている。  
→天体の位置を決定するために便利である。
2. 観測スペクトルの線幅が極めて小さいことが知られている。  
→ドップラーシフトから視線速度を求めるときに便利である。
3. 光源から発した電波の強度が増幅されて観測されることが知られている。  
→電波強度が強いために観測されやすい。

# サンプルとなるmaserとガス分布

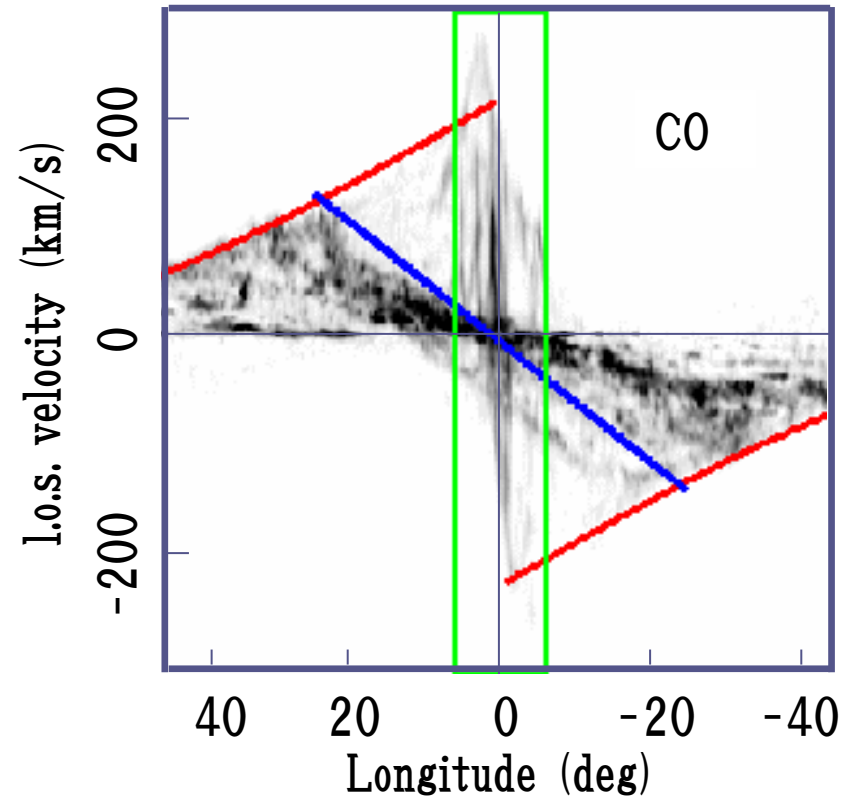
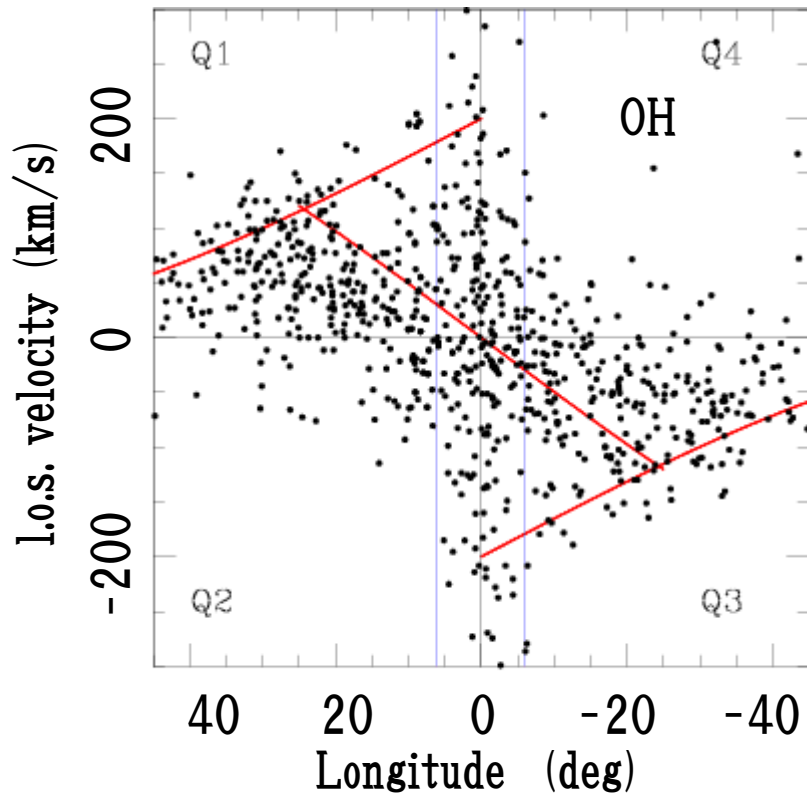
天の川を構成する天体とガスの分布の違いの評価も行なう。  
評価するために利用したサンプルは以下である。

- maser天体のサンプルについて、
  1. OH(1612 MHz)をSevenster et al.(1997, 2001)より引用している。利用した天体の数は771個である。
  2. SiO(86 GHz)をMessineo et al.(2002)より引用している。利用した天体の数は363個である。
  
- 分子ガスのサンプルについて、

CO(115 GHz)をDame et al.(2001)より引用している。



横軸に銀経、縦軸に視線速度を取り、黒色はmaserのサンプルである。左図がOH、右図がSiOである。Q1とQ3にそれぞれ存在する赤色の線は各銀径に対する視線速度の上限値もしくは下限値になるように引いたものである。Q1とQ3にまたがる線は天体の数が密集している領域とそうでない領域の境界である。負の銀径では、SiOは殆ど観測されていないが上記で述べた事柄についてはよく似ている。



図の見方は前図を参照。左図はOHであり、右図はCOである。COについては密度を黒色の濃淡で表わしている。これらも分布の特徴を基準に引いた線がよく似ている。



# bar構造について

銀河にbarがあることでポテンシャルが銀河中心対称となくなり、天体の軌道を不安定になる。これによって、内部の天体は銀河中心(外側)方向に進んでいくことが知られている。

barのポテンシャルについてはBinney & Tremaine(1987)より、

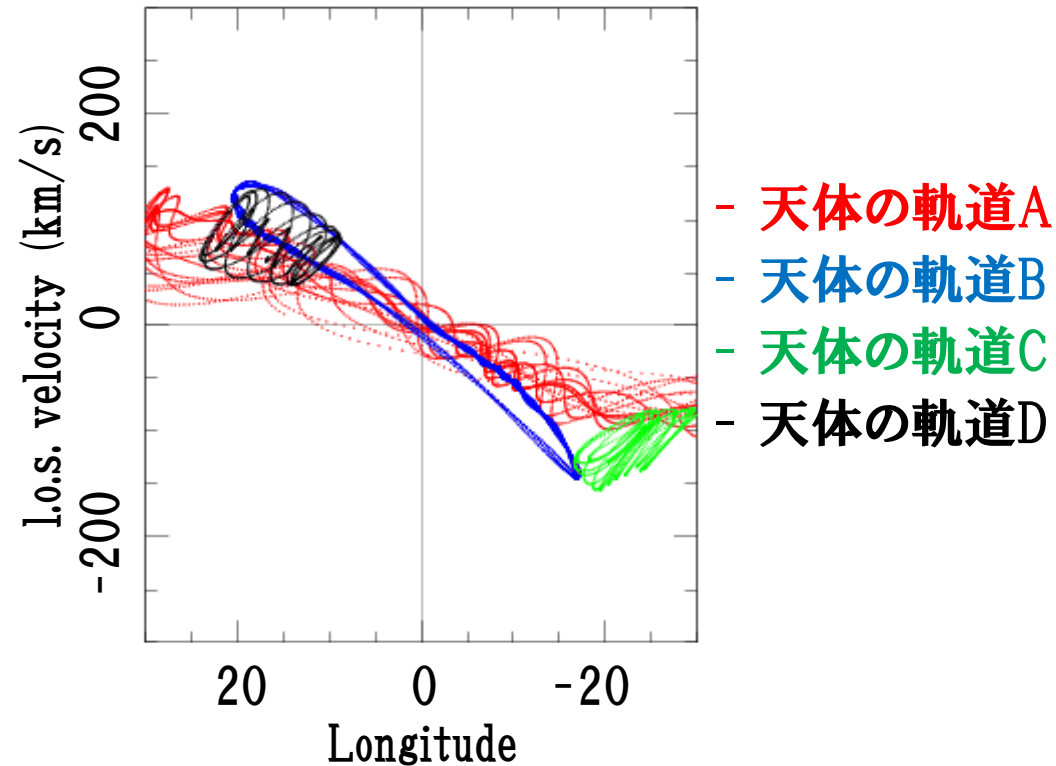
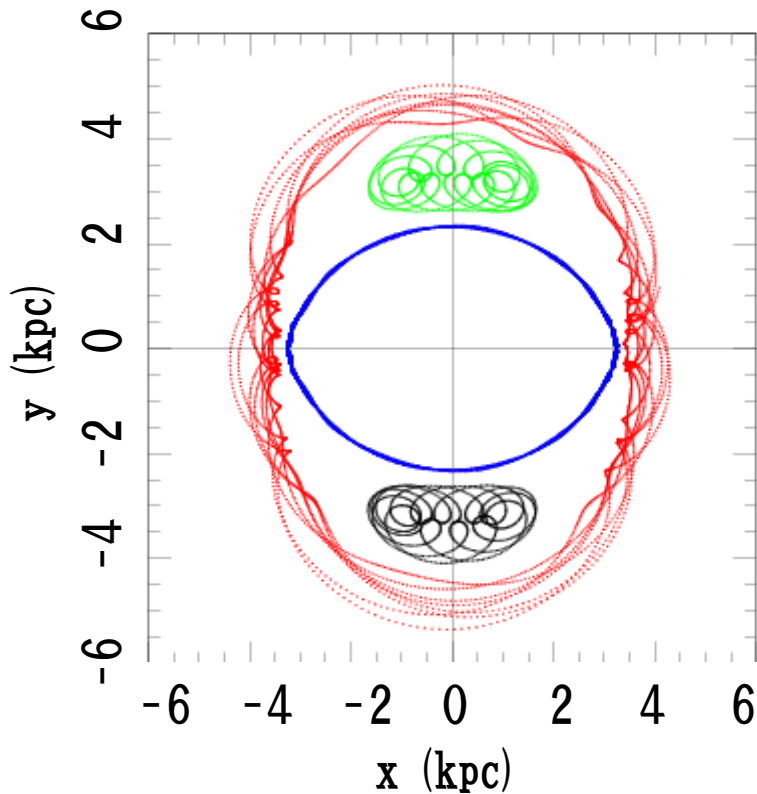
$$\Phi = \frac{1}{2} \ln\{x_0^2 + y_0^2 + x^2 + y^2(1 + \epsilon)\}$$

を利用し、またBissantz et al.(2003)から

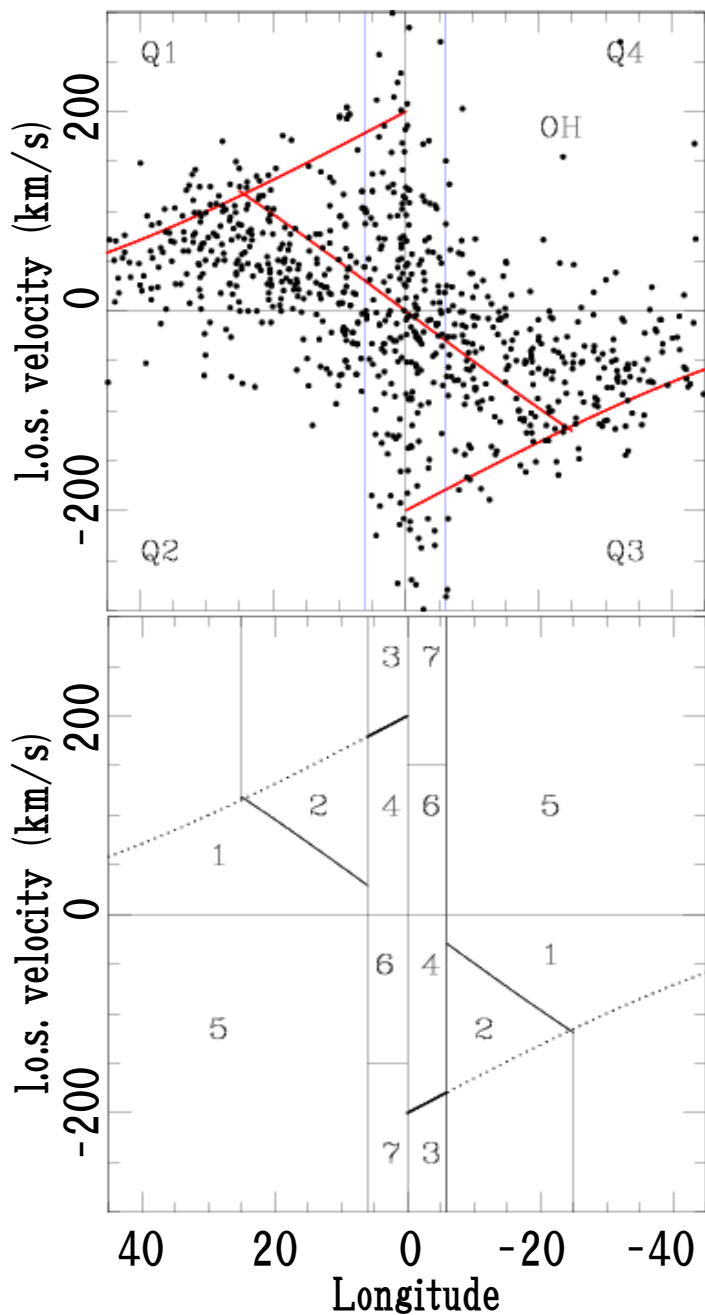
$$\epsilon = 0.11$$

を利用している。

# bar構造による軌道の一例



上図は前式から導かれた天体の軌道を表している。左図が銀河の構造をx-y軸で表しており、右図がそれに対応する銀経と視線速度を表している。四つの線の色が異なる軌道は異なる初期パラメータにおける軌道である。Benjamin et al. (2005) より、barの主軸から45度の方向に太陽があるものと考えている。

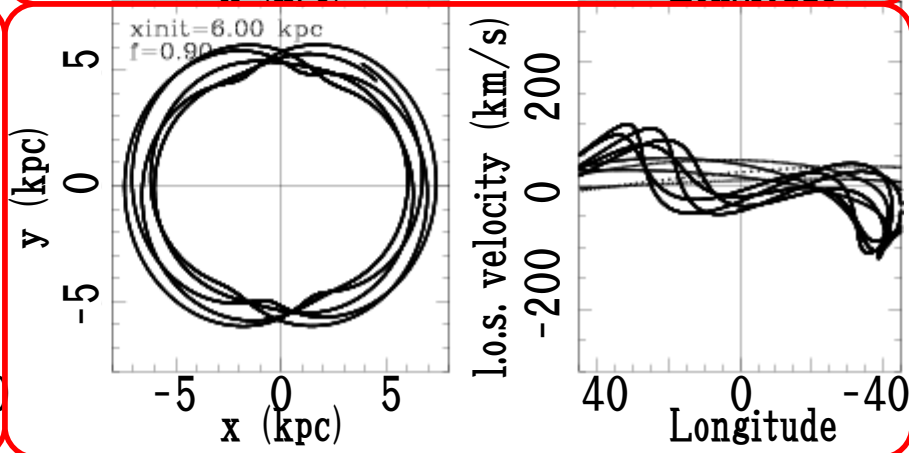
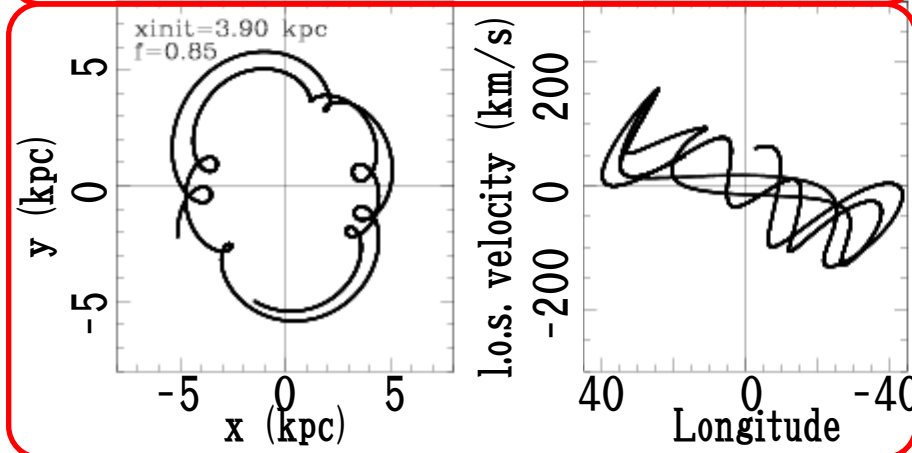
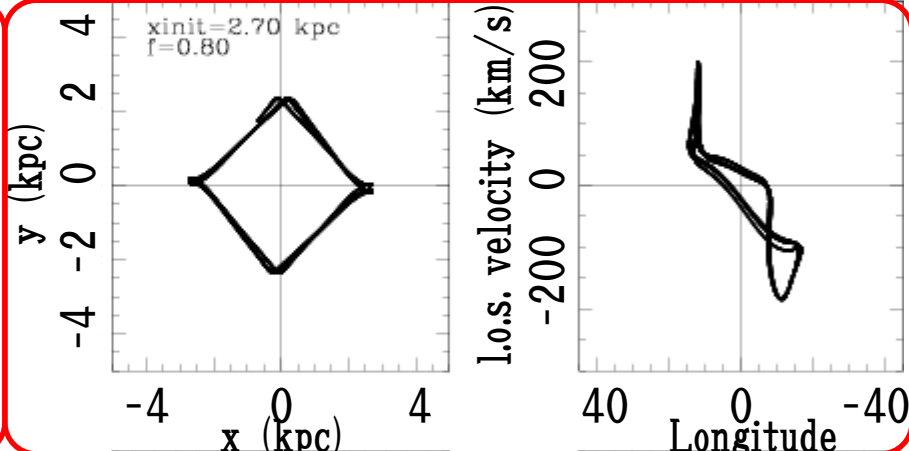
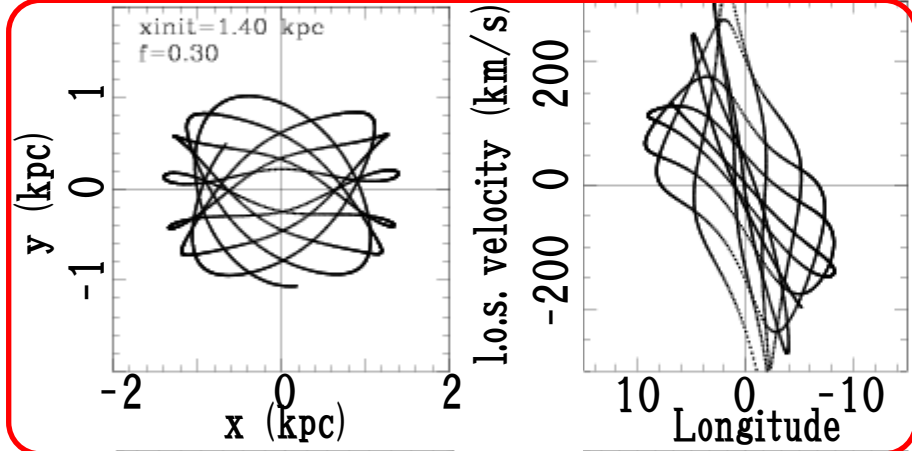
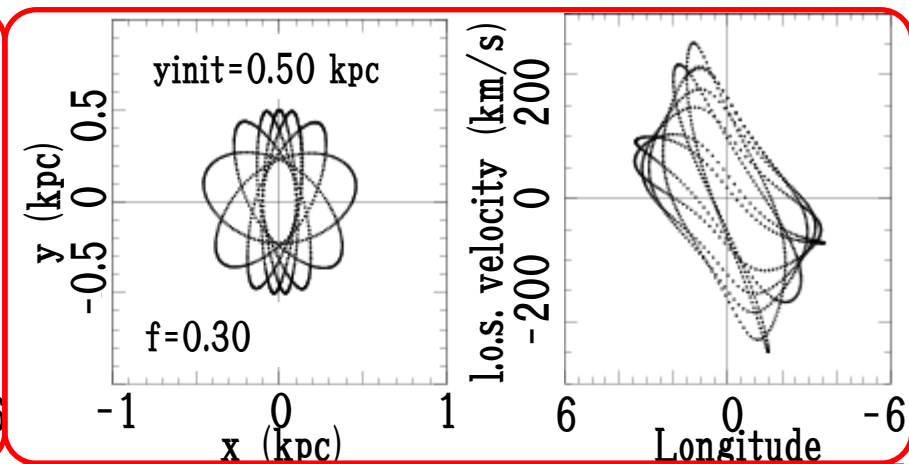
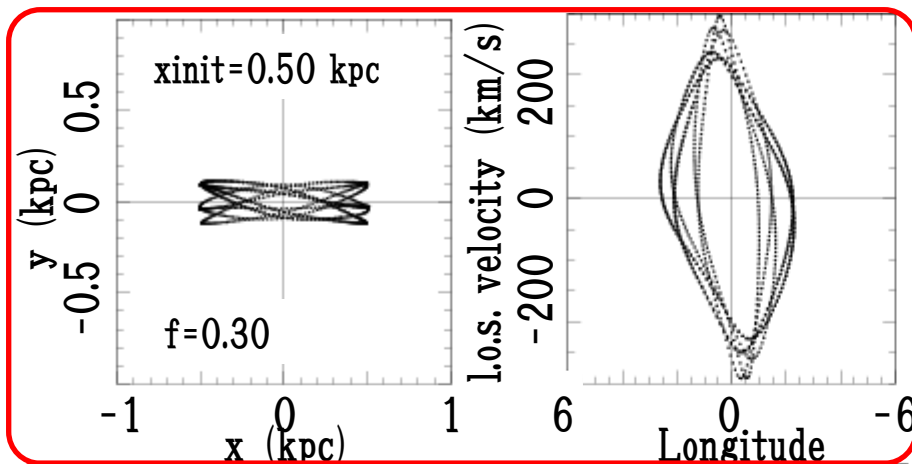


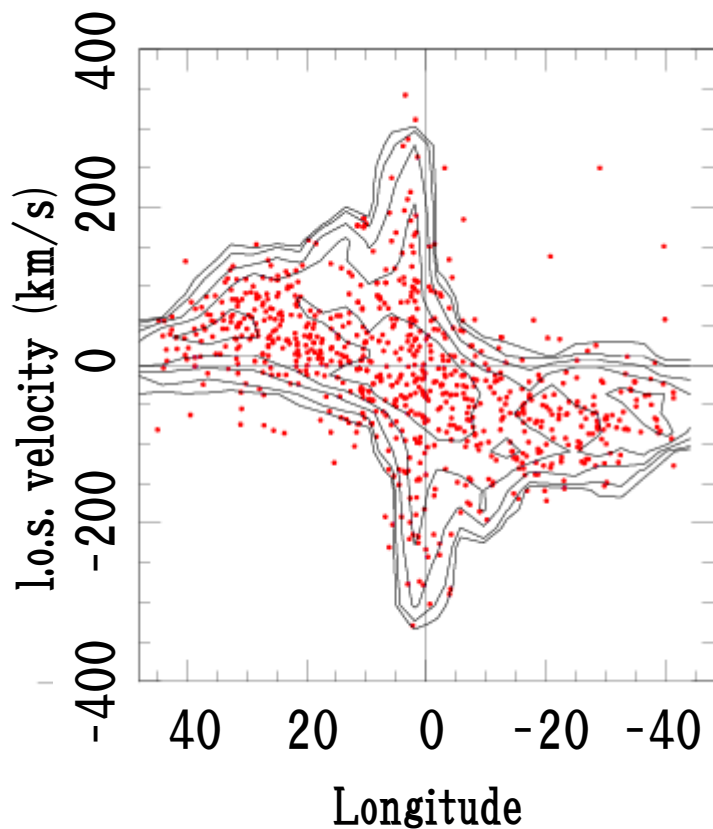
左上図はOHの銀経-視線速度図であり、見方は前を参照。この図を赤色の線を基準にして、七つの領域に分割する。これにより分割された領域とその番号を右下に示す。これらを利用して天体の構造を知る方法を以下に示す。

1. この七つの領域にある観測で得た天体の個数をそれぞれで数える。
2. bar構造のポテンシャルを基準に、さまざまな初期値を振った場合の軌道を計算する。この軌道が七つの領域にどれくらい滞在するのかを求める。
3. 1. と2. の値が近くなるような値を見つける。

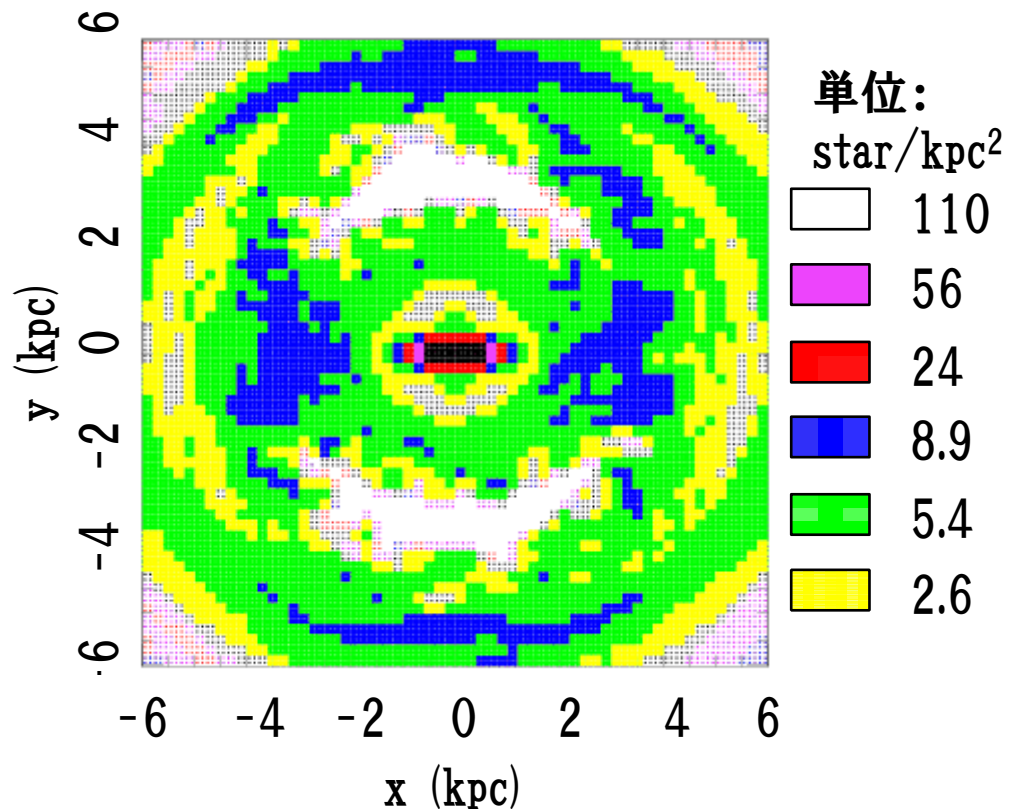
orb	$x_{\text{init}}$ kpc	$y_{\text{init}}$ kpc	$v_{x,\text{init}}$ km s <sup>-1</sup>	$v_{y,\text{init}}$ km s <sup>-1</sup>	[1]	predicted number in each area						sum	outside
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	913)	(14)
group 1, $f_1 = 0.30, w_1 = 2.00$													
1	0.30	0.00	0	-54	0	0	3	11	0	7	2	23	0
2	0.40	0.00	0	-56	0	0	4	9	0	7	2	22	0
3	0.50	0.00	0	-57	0	0	4	9	0	7	2	22	0
4	0.60	0.00	0	-58	0	0	4	9	0	7	2	22	0
5	0.70	0.00	0	-59	0	0	5	8	0	7	2	22	0
6	0.80	0.00	0	-59	0	0	5	8	0	7	2	22	0
group 2, $f_2 = 0.30, w_2 = 0.10$													
7	0.00	0.30	54	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
8	0.00	0.50	57	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
9	0.00	0.70	59	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
10	0.00	0.80	59	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
11	0.00	0.90	59	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
group 3, $f_3 = 0.30, w_3 = 0.20$													
12	1.00	0.00	0	-59	0	0	0	1	0	1	0	2	0
13	1.10	0.00	0	-59	0	0	1	1	0	1	0	3	0
14	1.20	0.00	0	-60	0	0	1	1	0	1	0	3	0
15	1.30	0.00	0	-60	0	0	1	1	0	1	0	3	0
16	1.40	0.00	0	-60	0	1	0	1	0	0	0	2	0
17	1.50	0.00	0	-60	0	1	0	1	0	0	0	2	0
18	1.70	0.00	0	-60	0	1	0	1	0	0	0	2	0
19	1.90	0.00	0	-60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
group 4, $f_4 = 0.80, w_4 = 0.95$													
20	2.10	0.00	0	-160	0	7	0	3	0	1	0	11	0
21	2.30	0.00	0	-160	0	7	0	3	0	1	0	11	0
22	2.50	0.00	0	-160	0	7	0	2	0	1	0	10	0
23	2.70	0.00	0	-160	2	7	0	1	0	1	0	11	0
24	2.90	0.00	0	-160	1	6	0	2	0	1	0	10	0
25	3.10	0.00	0	-160	2	6	0	2	0	1	0	11	0
26	3.30	0.00	0	-160	3	5	0	2	0	1	0	11	0
group 5, $f_5 = 0.85, w_5 = 2.00$													
27	3.50	0.00	0	-170	6	11	0	4	0	1	0	22	0
28	3.70	0.00	0	-170	7	10	0	3	0	2	0	22	0
29	3.90	0.00	0	-170	12	4	0	2	3	1	0	22	2
30	4.10	0.00	0	-170	13	5	0	2	2	1	0	23	1
31	4.30	0.00	0	-170	15	4	0	2	0	1	0	22	0
32	4.50	0.00	0	-170	15	3	0	3	0	1	0	22	0
group 6, $f_6 = 0.85, w_6 = 3.75$													
33	4.75	0.00	0	-170	24	5	0	4	5	2	0	40	3
34	5.00	0.00	0	-170	26	5	0	4	3	3	0	41	3
35	5.25	0.00	0	-170	16	4	0	4	7	3	0	34	20
36	5.50	0.00	0	-170	18	2	0	3	7	1	0	31	24
37	5.75	0.00	0	-170	20	2	0	1	8	2	0	33	20
38	6.00	0.00	0	-170	21	1	0	1	9	2	0	34	18
39	6.25	0.00	0	-170	23	0	0	1	9	1	0	34	16
40	6.50	0.00	0	-170	24	0	0	1	9	1	0	35	15
41	6.75	0.00	0	-170	24	0	0	1	8	1	0	34	16
42	7.00	0.00	0	-170	24	0	0	2	6	2	0	34	21
43	7.25	0.00	0	-170	21	0	0	2	6	2	0	31	27
44	7.50	0.00	0	-170	19	0	0	2	6	2	0	29	33

得られた天体の軌道の初期値を表にしたものである。左から、軌道番号、xとyの初期位置、xとy軸方向の初期速度、領域1-7の滞在割合、その割合の合計、領域以外の割合。滞在割合については軌道の重みを加えているので注意。この計算から重みを加え44個の軌道で表わされるということが分かった。そして、これらは六つのグループに分けられる。次ページに各グループの一例を示す。赤色の線で囲われたで一つの組み合わせであり、見方は前を参照。





選択した軌道と観測結果 (OH) :  
 実線は計算による軌道を、赤い  
 点は観測で得た天体を表す。



天体のマップ (解析結果) :  
 観測で得た銀経-視線速度図から  
 解析的に求めた銀河の構造である。

# 結論

- 天体とその形成領域は同じ特徴の分布をとる
  - 天の川内部のCO分子ガスとmaser天体のl-v図の比較
- barを含む非対称なポテンシャルの下で、l-v図の説明ができる
  - \*ただし、銀河中心対称が優位とする
- 天体が存在しない領域が存在する
  - barの存在が天体の運動を不安定にするため