

# 銀河系の力学構造と トーラス構築法

上田晴彦(秋田大学)

郷田直輝・矢野太平・官谷幸利・

出田誠(国立天文台)

小山博子(早稲田大学)

樽家篤史(東京大学)

## はじめに

・なぜ、力学構造を研究するのか？

位置天文学(自然科学の最古の分野のひとつ)に大きな進展が期待できるから！

・これまで地上観測が主であった

ヒッパルコス衛星の成功により、スペースからの観測という新たな時代に突入

- ・ところが、ヒッパルコス衛星により距離が正確に測られた範囲は、太陽から100pc程度にすぎない。

- ・今後10年程度の間、銀河バルジ程度までの距離を正確にきめることが出来る、2桁高い精度の観測計画が進められている。

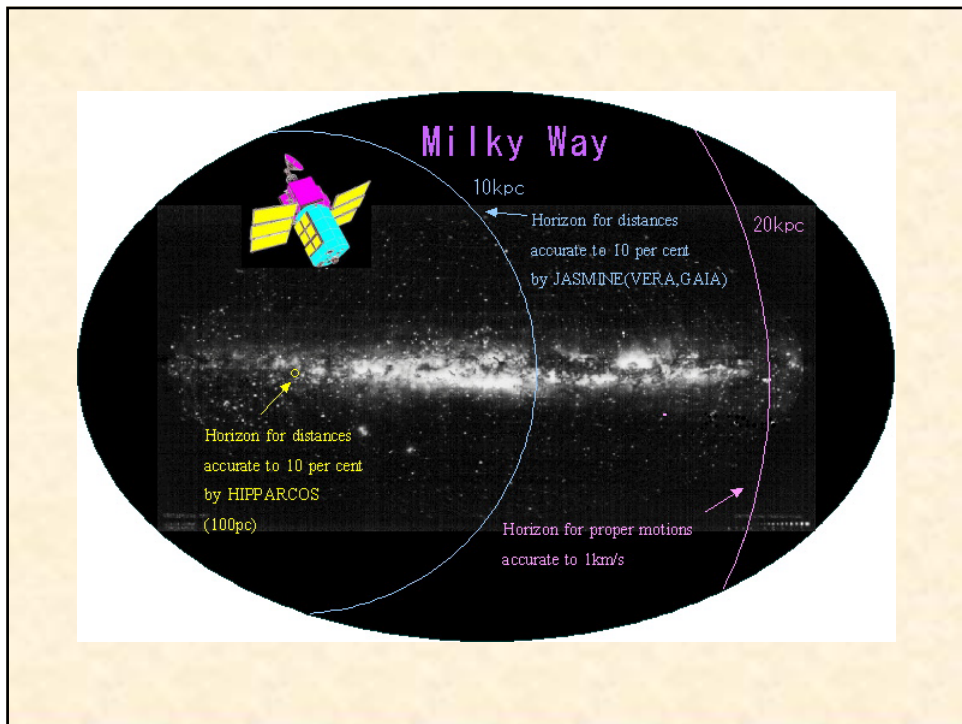
GAIA、JASMINE、

## JASMINE

- ・日本の赤外線探査による位置天文衛星計画

(Japan Astrometry  
Satellite Mission for  
Infrared Exploration)





- ・銀河系内のかなりの部分の星の位置、速度を観測できると、何がわかる？

銀河系の力学構造を決定することが出来る。

銀河形成史の研究に発展

SPH、 Semi-analytic model

## 位置天文学への期待

- 国立天文台の若手メンバー(7名)を中心として、**銀河系の力学構造を決定する手法の研究**をおこなっている。
- 本プロジェクトでおこなわれている研究の中で、いわゆる「**トーラス構築法**」と呼ばれるものについての概要を述べるとともに、**初期の解析結果**を報告する。

## 銀河系の力学構造の決定

- 銀河系の力学構造を理解するとは？  
**銀河系の構成要素の位相分布関数を $f(x, y, z, v_x, v_y, v_z, t)$ を求めること**
- 銀河系は定常状態であると仮定  
**位相分布関数は6次元**
- 観測から得られる情報は2次元的位置、天体までの距離、固有運動、および視線速度  
**観測された星の6次元位相分布関数はわかる。**

- 観測できるのは、重力物質のごく一部(暗い星、ダークマターに関する情報はなし)

欲しいのは銀河系を構成する全ての重力物質の位相分布関数。

重力物質の位相分布関数

観測された星の位相分布関数

- 観測データには加速度情報が含まれないため、重力ポテンシャルも直接はわからない。

## どうすればよい？

- 定常状態の銀河の場合、その星の軌道のほとんどは規則軌道と考えられる。

強いジーゼの定理により、位相分布関数は3つの孤立積分量のみ関数 $f(I_1, I_2, I_3)$ となる。

### やるべきこと

- 1) (適当な)孤立積分量を探し出す。
- 2) 理論モデルのテンプレート(雛形)と比較し、力学構造を決める。

# 孤立積分量

- 孤立積分量として作用変数を考えると都合が良い。

$$J = \frac{1}{2\pi} \oint pdq$$

(Galactic Dynamics: Binney & Tremaine 1987)

- しかし一般には作用変数は解析的に解くことが出来ない  
ので、観測データ(位置と速度)との比較が出来ない。

母関数によって、解析的に解けている場合と結びつける。  
(トーラス構築法: McGill & Binney 1990)

# トーラス構築法の原理

## 用意するもの

- A) **Toyハミルトニアン**  $H_0(J)$

作用・角変数  $(J, \theta)$  が  $(p, q)$  の関数として解析的に書き下すことが出来るもの。具体的には調和振動子型またはケプラー型のハミルトニアン。

- B) **Targetハミルトニアン**  $H(J')$

銀河系の重力ポテンシャルを表現するハミルトニアン。  
作用・角変数  $(J', \theta')$  を  $(p', q')$  の関数として解析的に書き下すことが出来ない。

C) N個の正準変数のペア  $(J_i', \theta_i)$

D) (トライアルな) 母関数  $S$

母関数による変換

$$\mathbf{J} = \nabla_{\theta} S(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{J}')$$

$$\boldsymbol{\theta} = \nabla_{\mathbf{J}'} S(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{J}')$$

・どのように母関数  $S$  を決定するか？

トールス構築法の本質

## 母関数の決め方

- 1) 用意された  $N$  組の正準変数のペア  $(J_i', \theta_i)$  から、トライアルな母関数を使って  $(J_i, \theta_i)$  を計算 (ただし  $J_i' = \text{const}$  に設定しておく)
- 2)  $(J_i, \theta_i)$  から  $(p_i, q_i)$  を計算
- 3) これからターゲットハミルトニアン  $H_i(p_i, q_i)$  のエネルギーを計算

4) N組のペアごとにエネルギーが計算されるが、 $J_{i'} = const$  としているので、エネルギーは一定のはず。

しかし母関数がうまく設定されていないと、一定でなくなる。

それらのバラツキ具合(分散)を計算

5) 分散が最小になるように、Sを決めなおす。

6) 1) ~ 5)を繰り返し、最終的に母関数Sを定める

## 実際の解析結果

トイハミルトニアンおよびTargetハミルトニアンを以下のように設定し、実際にトーラス構築法を実行した。

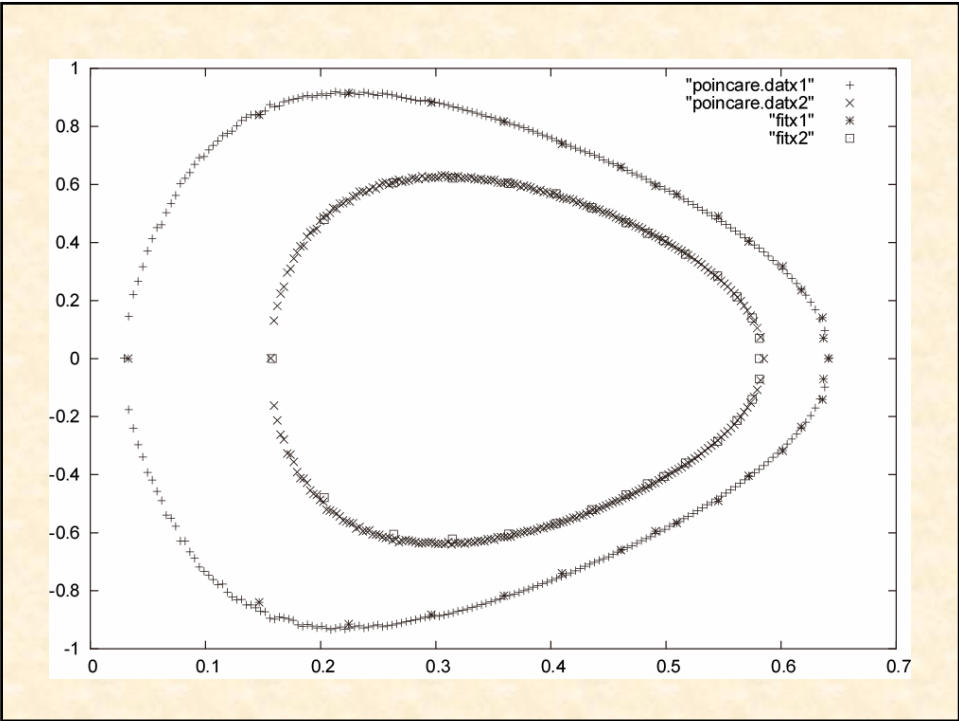
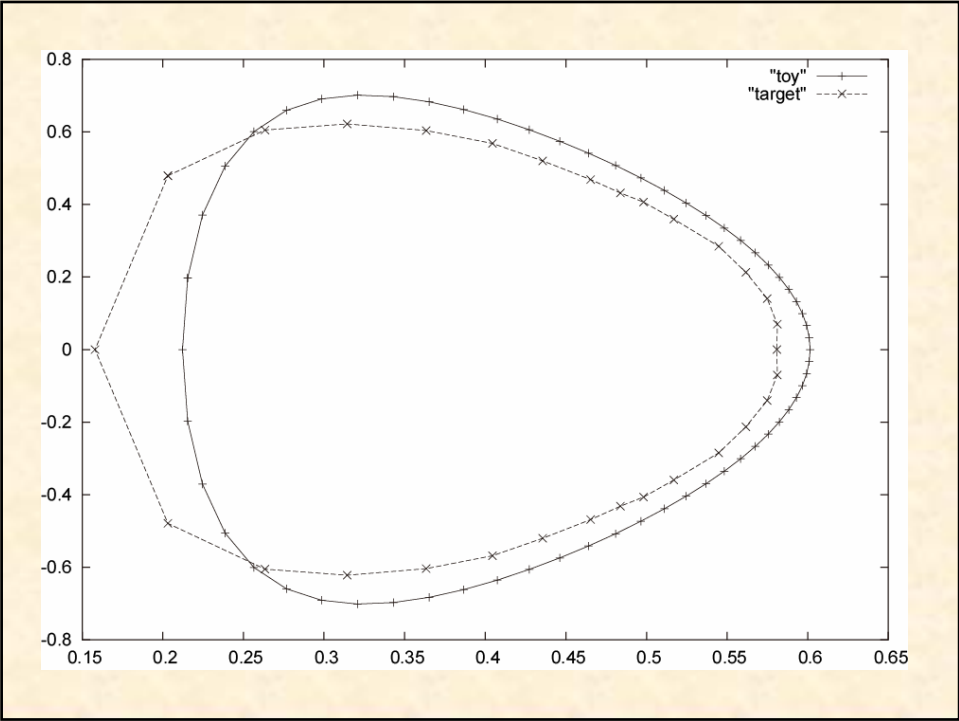
1) Toyハミルトニアン (isochrone potential)

$$H_0 = \frac{1}{2} P_r^2 + \frac{P_\theta^2}{2r^2} + \frac{-k}{b + \sqrt{b^2 + r^2}}$$

2) Targetハミルトニアン (logarithmic potential)

$$H_0 = \frac{1}{2} P_r^2 + \frac{P_\theta^2}{2r^2} + \frac{1}{2} \log(x^2 + \frac{y^2}{q^2} + R_c^2)$$





## 現状のまとめ

- ToyトラスとTargetトラスの差があまりない単純なマッピングの場合、トラス構築法はうまく働くことが分かった。
- 一般の場合には、エネルギーの分散値が小さくなるという条件だけでは、トラス構築法はうまく働かないようである。

## 今後の課題

- 1) トラス構築法の弱点をはっきりさせる。
  - ・どのような場合にうまく働き、どのような場合にはうまく働かないか、の理解
  - ・どのような条件をつけると、一般にうまく働くかについての考察
- 2) 3次元に拡張する。

皆さんも、参加して  
みませんか？