

## 2005年度内地留学奨学金による成果報告書

古谷久美子（神奈川県在住 主婦）

研究テーマ：銀河の衝突のシミュレーション

受入機関：国立天文台

担当教官：観山正見

研究内容の概要：宇宙空間の銀河の密度が高いところでは、銀河は互いに頻繁に衝突し、さまざまな銀河の形状が観測されている。しかし、初期銀河および衝突の条件と、衝突後の銀河の形状の関係の検討については、今のところシミュレーションによらなければわからない部分が多い。今回、国立天文台の **GRAPE** システムを利用して2個の銀河の衝突のシミュレーションを行った。衝突した銀河は、潮汐力により二つの尾ができ、アンテナ銀河 (NGC 4038/39) に似た形状になった。

### 1. はじめに

宇宙には、約1千億個の銀河があるらしい。これらの銀河の空間分布は一様ではなく、銀河団や銀河群を構成している。銀河団など、銀河の密度が高いところでは銀河は互いに頻繁に衝突し合っている。しかし、どんな初期銀河がどんな衝突をしたとき、どんな形状の銀河が形成されるのかに關しては、今のところ実際にシミュレーションをしてみないとわからない。そこに銀河の衝突のシミュレーションをする意義がある。

### 2. 学習環境と計算機環境について

内地留学期間中は、約1週に1回国立天文台に通い観山先生に研究を指導していただき、残りの日は自宅のパソコンから国立天文台のコンピューターにアクセスして計算、解析を行った。留学の最初の1カ月は国立天文台のコンピューターにリモートアクセスする環境設定作業に費やされた。自宅での計算機環境としては、Windows PC 上に UNIX エミュレーションソフトである Cygwin をインストールして使用した。国立天文台へのリモートアクセス、および環境設定についてわからなかったところは、国立天文台データ解析計算セ

クターのプログラマーの方々に質問して、詳しく教えていただいた。かなり苦労したが、ようやくリモートアクセスする環境設定を作り上げることができた。

### 3. 重力多体専用計算機 GRAPE を使った、C 言語によるプログラムの開発とプログラムの構造

1月にN体シミュレーションの学校が開かれ、私はそれに参加した。事前に、N体シミュレーションの学校の教科書をいただいた。そこにはN体シミュレーションのプログラム例が載っており、C言語で書かれていた。私はそれまで Fortran 77でプログラムを書いたことはあったが、C言語は初めてであった。そこで学校に参加するまでに、C言語の教科書を読み勉強した。学校では、重力多体系の物理や、GRAPE-5を使ったN体シミュレーションプログラムの実装について勉強し、実際にプログラムの開発を行った。プログラムは大きく分けて以下の部分からなる構造をもっている。パラメーター設定、初期分布設定、相互重力計算、時間積分、スナップショット出力である。この中の相互重力計算部分を、重力多体専用計算機 GRAPE で計算し、他の部分を汎用計算機

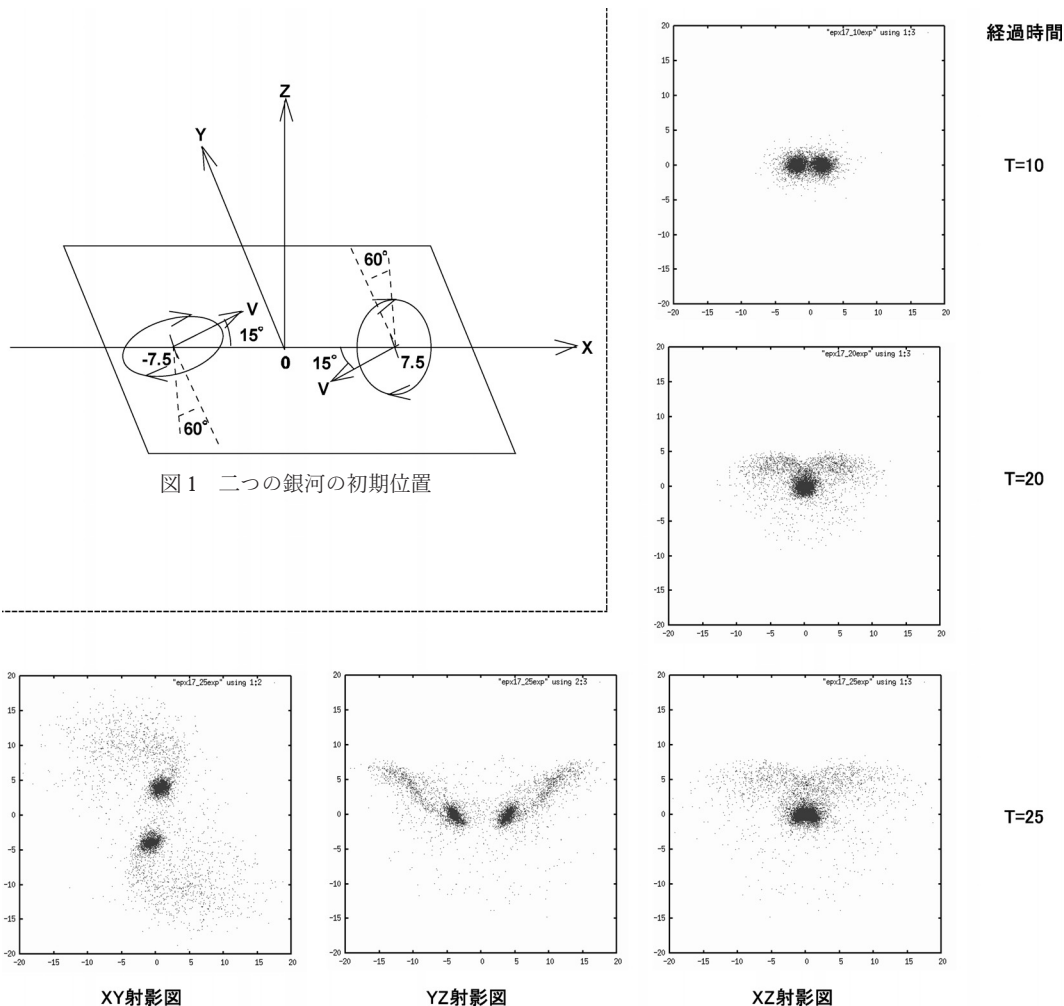


図2 ディスク銀河の形態の時間変化. XZ射影図において, アンテナ銀河に似た形態が得られた.

で計算した.

#### 4. 二つの銀河の衝突のシミュレーション

上記のプログラムを使って, 二つの銀河の衝突のシミュレーションを行った. 銀河の衝突のシミュレーションを行うのに先立って, 初期銀河の作製が必要であるが, 私は, Exponential Disk model (粒子数  $N=12,000$ ) と Plummer model ( $N=48,000$ ) を原点を一致させて重ねて初期銀河を作った. ここで, Exponential Disk model は銀河のディスク部分であり, Plummer model はハロー部分を模している. まず一つの銀河についてその

時間経過を調べ, この銀河が安定であることを確かめた.

次にこの銀河を二つ用意した. 図1に二つの銀河の初期位置を示す. ディスク銀河は互いに逆向きに  $x$  軸の周りに  $60^\circ$  傾けた. ディスク銀河の自転方向は二つの銀河を軌道面に投影したときと同じ回転方向になるようにした. 二つの銀河は距離  $l=15$  離しておいた. 初速度  $v=(6/5)\sqrt{(2/15)}$  はそれぞれ  $x$  軸から  $15^\circ$  の方向に与えた. このとき軌道運動のエネルギーは  $E=0.117$ , 角運動量は  $L=1.70$  である. ここで, 単位系は重力定数  $G=1$

になるようにとっている。この初期条件のもとに二つの銀河を衝突させると図2のようになった。潮汐力により二つの尾ができ、アンテナ銀河(NGC 4038/39)に似た形状になった。計算結果を使ってアニメーションの作製も行った。

## 5. おわりに

私がかねてから天文学に興味があり、自宅で天文学や物理学の教科書をよく勉強した。また、晴れた夜には娘と二人で双眼鏡と星座盤をもってよく外に出て、飽きずに長い時間星を眺めた。2000年秋に国立天文台で行われた一般公開へ私は初めて主人と娘の3人で出かけた。一般公開では一般向けの講演会もあり聴講した。講演したのは観山先生であった。観山先生の講演は非常にわかりやすく興味深かった。天文学会の会員であった私は、内地留学制度のあることを知り、娘が中学生になったら国立天文台の内地留学に応募しようと決めていた。国立天文台は理論グループでは日本最大のグループであり、あこがれの地であった。その念願がかなって、2005年国立天文台に観山先生のもとで内地留学することが決まったときは、たいへんうれしかった。この1年間、観山先生から研究の指導を受けられたこと、総研大の講義も聴講し勉強になったこと、また多くの研究者と直接お話できて私の興味の新たな刺激となったこ

と、など私にとって非常に有意義な1年となった。

**謝 辞** この研究を指導して下さった国立天文台の観山正見教授に心から感謝いたします。私の質問に丁寧に答えてくれた小久保英一郎研究員をはじめ、gnuplotの使い方を教えてくれた齊藤貴之研究員、アニメーションの作製のしかたを懇切丁寧にしてくれた武田隆顕研究員、ネットのつなぎ方を教えてくれた天文学データ解析計算センターのプログラマーの方々、秘書の泉 塩子さん、事務の木下誠一さんにもたいへんお世話になりました。また、この研究をするにあたり、いつも私を支えてくれた主人、私を応援してくれた娘にも、この場を借りて、お礼申し上げます。ありがとうございました。

## 参考文献

- 株式会社システム計画研究所編 C言語によるプログラミング基礎編 Ohmsha  
 杉本大一郎編: 専用計算機によるシミュレーション 朝倉書店  
 Binney J., Tremaine S., Galactic Dynamics Princeton Series in Astrophysics  
 N体シミュレーション学校教科書  
 Barnes J., 1988, Astrophys. J. 331, 699.