

# パソコンによる天文現象のシミュレーション

環境情報教育課程 環境教育コース 自然環境領域  
地学教室 金光 理 研究室 205643 森 加奈恵

## 1. はじめに

2011年に21周年を迎えるハッブル宇宙望遠鏡は、同年4月22日にArp273の鮮明な写真を公開した。これは、バラを思わせる形状に変化している銀河の様を捉えたもので、大銀河UGC1810とそれを通り抜けたUGC1813、その腕に捕えられた矮小銀河の3つの銀河の相互作用によって形成されたと考えられている。その優美で神秘的な姿に見惚れ、銀河衝突の研究を進めていこうと考えた。

観測技術の向上とともに銀河の衝突を鮮明に捉えた観測写真は増加しているが、その全貌は明らかになっていない。長大な時間をかけて変化する銀河衝突は観測するだけでは変化がわからない。そのため、銀河研究にはシミュレーションが不可欠であると言える。

本研究では、衝突銀河の形成過程を見るためのシミュレーションを行う。

## 2. 目的

本研究は、衝突銀河のシミュレーションプログラムを改良・実行することを目的としている。また、実際観測されている衝突銀河の写真と比較し、シミュレーションの精度を見た。

そのために、本研究では以下の2点を行った。

### a. バージョンアップ

現在最新版のMicrosoft Visual Basic 2010 (以下VB2010)では、Microsoft Visual Basic 6.0 (以下VB6.0)以前に組まれたプログラムとの互換性がない。これはVB6.0以降で大幅な言語体制の変更が行われたためである。本研究では今後のためにも、既存のプログラムデータ (VB6.0で作成) をVB2010で実行できるよう書き換えた。

### b. システムの改良

より複雑な銀河の相互作用をシミュレーションするため、XY平面に対し、X軸およびY軸を中心に銀河を回転させるようなシステムの改良に加え、操作性の向上を図った。

また、正面衝突によるエラーを回避するようなプログラムの修正も行う。

## 3. バージョンアップ

VB6.0は1998年にリリースされた、最後の旧来型Visual Basic (以下VB) である。一方、本研究で用いたVB2010 (2010年リリース) はVB.NET型の最新版である。VB.NET型に移行した際に言語使用の大幅な改定が行われたため、旧来型とVB.NET型には互換性がほとんどない。旧来型VBへのサポートも終了しており、今後研究を進めていく上ではVB.NET型へのバージョンアップが必須であると言える。

今回、今山 (1999) 『特異銀河の研究』と野田 (2008) 『太陽系小天体について』で用いられたプログラムのバージョンアップを行ったが、本研究は前者に基づき、システムの改良を進めた。

## 4. システムの改良

### a. シミュレーション画面

旧実行画面において、

① 実行画面にXY軸がなく見にくい。

② 「G2iy」および「再描画」ボタンは配置されているが実装されていない。

という問題点があった。

上記問題点を踏まえ、本研究では、以下4点のシステム改良を行った。

- ① 実行画面で常にXY軸を表示させる。
  - ② 「G2ix」「G2iy」のプログラムを修正し、XY平面に対して銀河が回転できるようにした。
  - ③ 「再描画」ボタンを押すことで、変更したパラメータを読み取り、初期画面を描画するようにした。
  - ④ 角度の変更がスムーズになるようトラックバーを実装した。
- システムの改良により、パラメータの変更がスムーズにできるようになり、シミュレーションの実行もより快適になった。

#### b. 銀河の回転

「G2ix」「G2iy」による銀河の回転には回転ベクトルの計算を用いた。この2つのパラメータにより、銀河をXY平面に対してX軸およびY軸を中心として回転させている。回転は各軸の先端方向から見て反時計回りの方向を正としている。

#### c. 正面衝突のためのプログラム

今山(1999)では、銀河を正面衝突させると銀河中心が遠方へ飛び去ってしまうというエラーが起きていた。これは以下の2つの問題点によると思われる。

- ① 銀河間の距離が極端に小さくなった時、相互に加わる力が無限大となってしまう。
- ② 1ステップの中で行われる積分計算の刻み幅が荒い。

これを解決するため、銀河間の距離が十分に遠い場合と、銀河が近接した場合で計算の方法を分けた。

プログラム中に使用する数式の分母は銀河間の距離を示すが、これが0に近づくと計算値が無限大に大きくなっていく。これを避けるため、銀河が近接した場合は距離に0.0001を加え、距離が0にならないようにした。

ルンゲ・クッタ法による計算では、積分の刻み幅  $hh$  を指定している。通常、 $hh=0.01$  であるが、銀河が近接した場合は  $hh=0.001$  とし、1ステップ中に10回計算させた。

また近接しているかどうかは、銀河間の距離が0.8以下になった場合とした。銀河間の距離は銀河中心の座標から計算しており、銀河中心の半径が0.3であることから、決定した。

### 5. シミュレーションの実行

本研究では、円盤銀河をモデル化し、銀河中心にのみ質量を与えている。銀河の周囲の星は質量を持っていない。

各銀河は右の表のようなパラメータを設定している。銀河自身のパラメータとして、質量、銀河半径、位置(x、y、z座標)、速度(x、y、z成分)、リングの数、リング上の星の数を設けている。また、実行する際には、銀河2をXY平面に対して傾けたり、視点を変更したりすることで、銀河を様々な角度から見ることができる。

また、それぞれの単位は以下としている。

- 質量の単位： $10^{11}$ 太陽質量 =  $2.0 \times 10^{41}$ kg
- 距離の単位：10kpc =  $3.0856 \times 10^{20}$ m
- 時間の単位： $4.7 \times 10^7$ 年 = 4700 万年

基準となる銀河1は最初速度を持たず、銀河2にのみ速度

銀河	銀河1(基準)		銀河2(衝突させる)	
質量	M1	1	M2	1
銀河半径	G1R	1	G2R	1
位置	G1x	-1	G2x	1
	G1y	0	G2y	-1
	G1z	0	G2z	0
速度	G1u	0	G2u	0.1
	G1v	0	G2v	0.9
	G1w	0	G2w	0
XY平面に対する傾き			G2ix	0
			G2iy	0
リングの数	Ring1	10	Ring2	10
リング上の星の数	Substar1	30	Substar2	30
X軸の視点			lx	0
Y軸の視点			ly	0

を与えている。基本的には銀河 1 のパラメータの変更は行わないが、極端に銀河の大きさに違いが見られる場合は半径や星の数を調整した。

銀河 2 に与える初期条件のパラメータは参考とする銀河の画像から予想して変更した。銀河の画像は、Halton Arp 『Atlas Of Peculiar Galaxies』、および公開されたハッブル宇宙望遠鏡の銀河写真から選出している。本研究で用いた天体は、Arp82(NGC2535+36)、ESO77-14、Arp256、ホウグの天体の 4 つである。

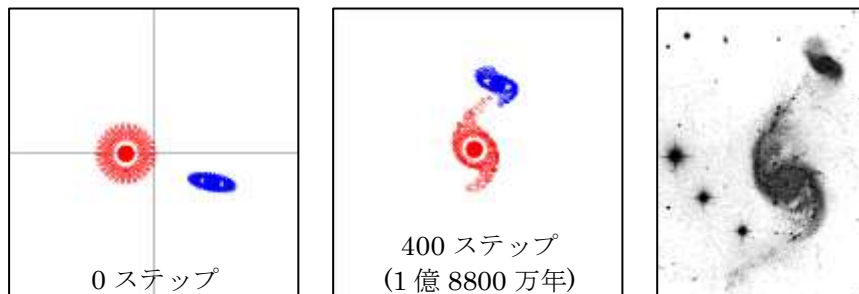
実行結果を参照した画像と照らし合わせ、シミュレーションの精度、および銀河の相互作用による形態の変化を見た。

更に、正面衝突のプログラム修正では、修正前のプログラムと比較することで精度を見た。比較には同じ初期条件でプログラムを実行させ、衝突直前と直後の様子を用いた。

## 6. シミュレーションの結果

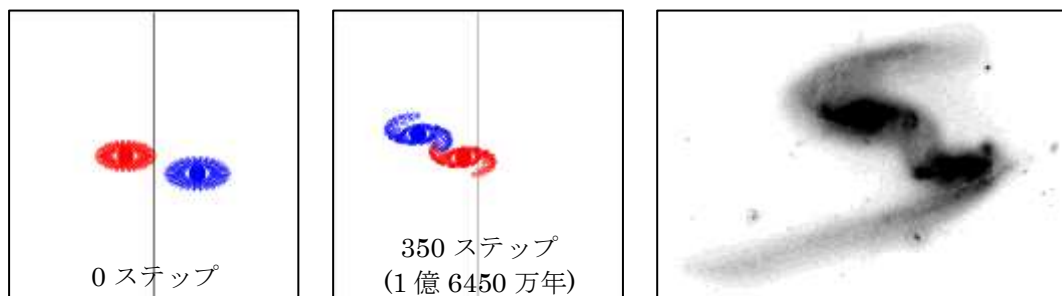
シミュレーション結果を以下に示す。左から、初期画面、結果画面、実際観測された画像となっている。

### a. Arp82 (NGC2535+36)



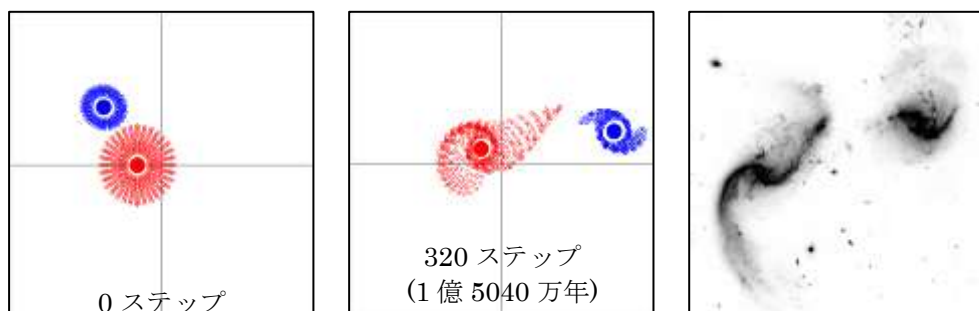
下の銀河から伸びる 2 本の特徴的な腕が表れている。また、一方の腕が上の銀河まで伸びている様子を再現できている。

### b. ESO77-14



左上の銀河から出る腕と、右下の銀河から出る腕が表れている。しかし、腕の長さが十分でない。また、2 つの銀河にかかる橋を再現できている。

### c. Arp256



左の銀河から伸びる 2 本の腕と表れている。また、周囲に見える星の散らばりもわかる。

右の銀河にも 2 本の腕が表れている。

#### d. ホウグの天体

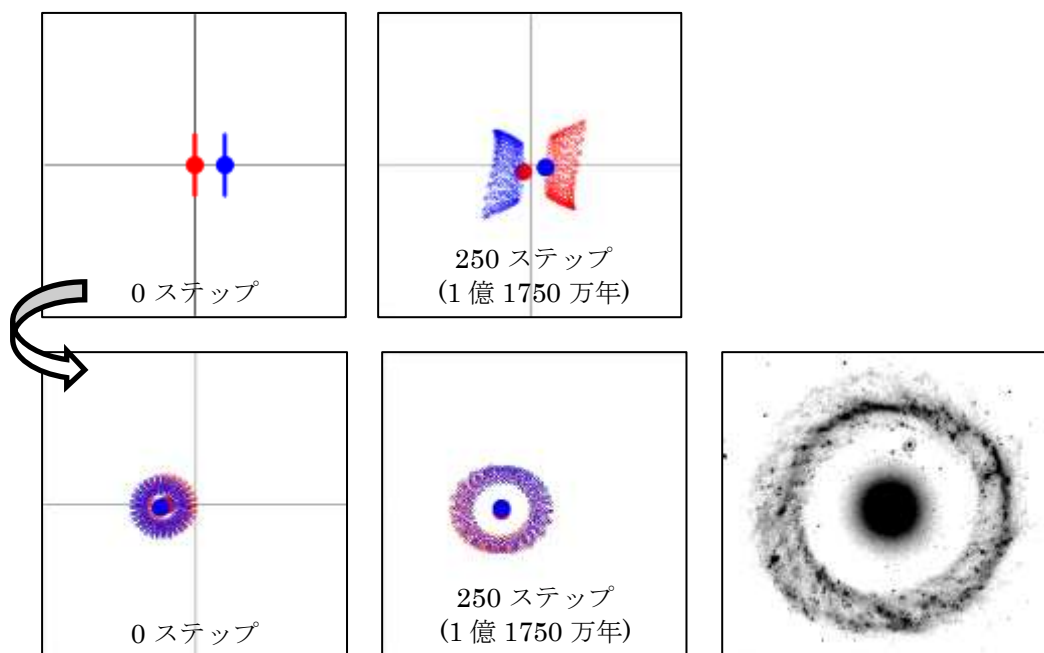
まず、正面衝突の修正プログラムを確認するため、今山（1999）のプログラムとそれを修正した本研究のプログラムで、同じ初期条件からシミュレーションを実行し、その経過を比較した。実際にはほとんどありえないが、プログラムを評価するために銀河を文字通り正面衝突させて実行した。

74 ステップまでは見た目に大きな違いは見られない。

しかし、今山（1999）のプログラムでは、75 ステップで銀河中心がほぼ一致し、76 ステップで画面から消失する。これは計算値が極端に大きくなりすぎたために描画範囲を超えたのである。一方、修正後のプログラムでは、75 ステップ、76 ステップでも銀河中心が描画範囲にとどまっている。

次に、実際に観測されているホウグの天体でシミュレーションを行った。

1 列目は銀河の衝突を真横から、2 列目はほぼ正面から見た実行画面である。



中心と周囲の星の間隙を表すことができた。また、ほぼ円形の形が再現できた。

## 7. 考察

バージョンアップとともに、システムの改良を行い、より詳細に銀河の相互作用を見ることができるようになった。銀河は相互作用により、その形態が著しく変化することがわかった。また、一部の不規則銀河の形態は銀河の相互作用によるものであると言える。

1 ステップが 47 万年ということを考えると、Arp82 は 1 億 8800 万年、ESO77-14 は 1 億 6450 万年、Arp256 は 1 億 5040 万年、ホウグの天体は 1 億 1750 万年という長大な時間をかけて銀河が形態変化していることがわかった。

正面衝突のエラー回避プログラムは、修正前に比べると大幅な改善が見られる。しかし、本来ならばお互いの重力に引きずられ、銀河中心はもっと遅い速度で離れていくものと考えられる。今後はより厳密に積分の刻み幅を設定しなければならないだろう。そのためには、計算結果を描画するだけでなく、数値として出力し、それを評価していく必要があると考えられる。

今回のシミュレーションでは、円盤銀河をモデルとしているが、実際は別形態の銀河が相互作用している可能性がある。