

銀河生成シミュレーション

ポリテクカレッジ宮城 青山 隆司
(宮城職業能力開発短期大学校)

1. はじめに

当校の情報技術科では、2年次学生が各教官の専門分野を考慮して、配属先教官を選ぶことから卒業研究が始まる。自分で選んだ教官であるので、後で文句は言えない。卒業研究のテーマの選定については、学生の希望を最大限取り入れることにしているが、学生の能力と卒業研究に当てられる時間を考慮し、教官がある程度コントロールすることになる。具体的な指導方法は、各教官の考え方の違いによりまちまちであるが、私の場合、卒業研究は学生自らが行うという立場で指導している。つまり、教官は

あくまでナビゲータであり、相談相手ではあるが、共同研究者ではない。

卒業研究の締めくくりは「卒業研究発表会」である。発表会は、情報技術科以外の教官、学生にも公開されている。この準備のため、発表会前(2月下旬)の土曜、日曜は、学生のみならず、教官も休みではない。さらに、発表会直前は2～3日徹夜するのが恒例となっている。

以下に、このような状況で発表会にこぎつけた、平成9年度卒業研究の内容について述べる。なお、昨年度の卒業研究のテーマは3つあり、ここで紹介するのはその中の1つで、「銀河生成シミュレーション」についてである。



図1 渦巻銀河の例

2. 銀河生成シミュレーションの目的

現在、宇宙は100億光年以上のところまで観測されており、そこにはおよそ 10^{11} 個の銀河が存在している。これらの銀河は、宇宙空間に存在する熱いガスから誕生した無数の星々の集団であって、あるものは球状銀河、また棒状銀河や渦巻銀河などと呼ばれる特有の形状を示す(図1参照)。さらに、多くの銀河の中には、2つの銀河が衝突した結果と考えられる形状のものも存在している。

本研究では、実際に肉眼で見るには規模が大きすぎ、かかる時間も膨大な銀河生成過程を、数値シミュレーションにより再現することを目的とする。

具体的には、星の初期分布を与え、その後の各星の位置変化を運動方程式を解くことにより追跡し、銀河の形状の変化を求める。数値シミュレーションにより求められた銀河の形状が、実際に観測された銀河と類似していれば、その銀河の過去および将来の形状を想定し得ることになる。

3. 銀河生成シミュレータの開発

卒業研究としてのシミュレータ開発であるので、すべてのプログラムを手作りで行うことにした。プログラムの内容は、学生の知識レベルを超えた部分もあるので、パソコン上で教官が開発したシミュレータの雛形を与え、それを理解させることから始めた。その後、ワークステーション上に移植させ、プログラムの改良およびグラフィック出力を追加させることにした(開発機器は日立WS3050であり、UNIX上のFortran77, GKSを使用した)。

3.1 銀河生成過程の計算方法

銀河中のある点 x に存在する質量 M の星の運動は、万有引力のみを考慮すれば、次に示す運動方程式によって求められる。

$$M\ddot{x}=F(x)$$

$$F(x)=-G\sum_j(MM_j(x-x_j)(x-x_j)^{-3})$$

ここに、 j についての和は、それ自身を除くすべての銀河中の星についてとる。原理的にはこの運動方程式をすべての星について解けばよいが、万有引力はあらゆる星の間で働くので、銀河が N 個の星からできているとすると、 $N(N-1)/2$ 個の対について計算しなければならない。このまま計算するのでは計算量が膨大になりすぎ、計算の簡略化が必要となる。

そこで、万有引力を求める際に次のような簡略化を行う。万有引力 F は、重力ポテンシャル ϕ を使って次式のように書ける。

$$F=-Mgrad\phi$$

また、われわれは銀河を粗いスケールでしか見られないとすれば、星は非常にたくさんあるため、このあたりの星の密度 ρ はこのぐらいであるとし、かえなくなる(いわゆる連続体近似)。このとき重力ポテンシャル ϕ は、

$$\nabla^2\phi=4\pi G\rho$$

というポアソン方程式で書ける。つまり、銀河内の星の密度 ρ を求めることにより、万有引力 F が得られる。具体的には、シミュレーションエリアをメッシュ(100×100の10000個)に分け、各メッシュの中に入っている星の数を数え、それをメッシュの体積(ここでは2次元シミュレーションのため面積)で割って密度を求める。次にこれを右辺とするポアソン方程式を解き、重力ポテンシャル ϕ を求め、それからそれぞれの星に働く力 F を計算する。1つのメッシュの中には多数の星が存在しているが、同一メッシュ内の星に働く力はすべて等しいとみなす。このことが計算の簡略化につながる。力 F がわかれば、 t だけ後の星の速度と位置は、運動方程式、

$$M\ddot{x} = F(x)$$

から求められる。このプロセスを繰り返すことにより、各星の位置変化、つまり銀河の形状の変化を追跡できることになる。

3.2 プログラムの流れ

銀河生成シミュレータ全体のプログラムのフローチャートを図2に示す。まず初期設定をし、サブルーチンINITで星の初期分布、初期速度の設定を行う。ここでは、星の初期設定を行うために、乱数とガウス分布を計算するサブルーチンを用いている。

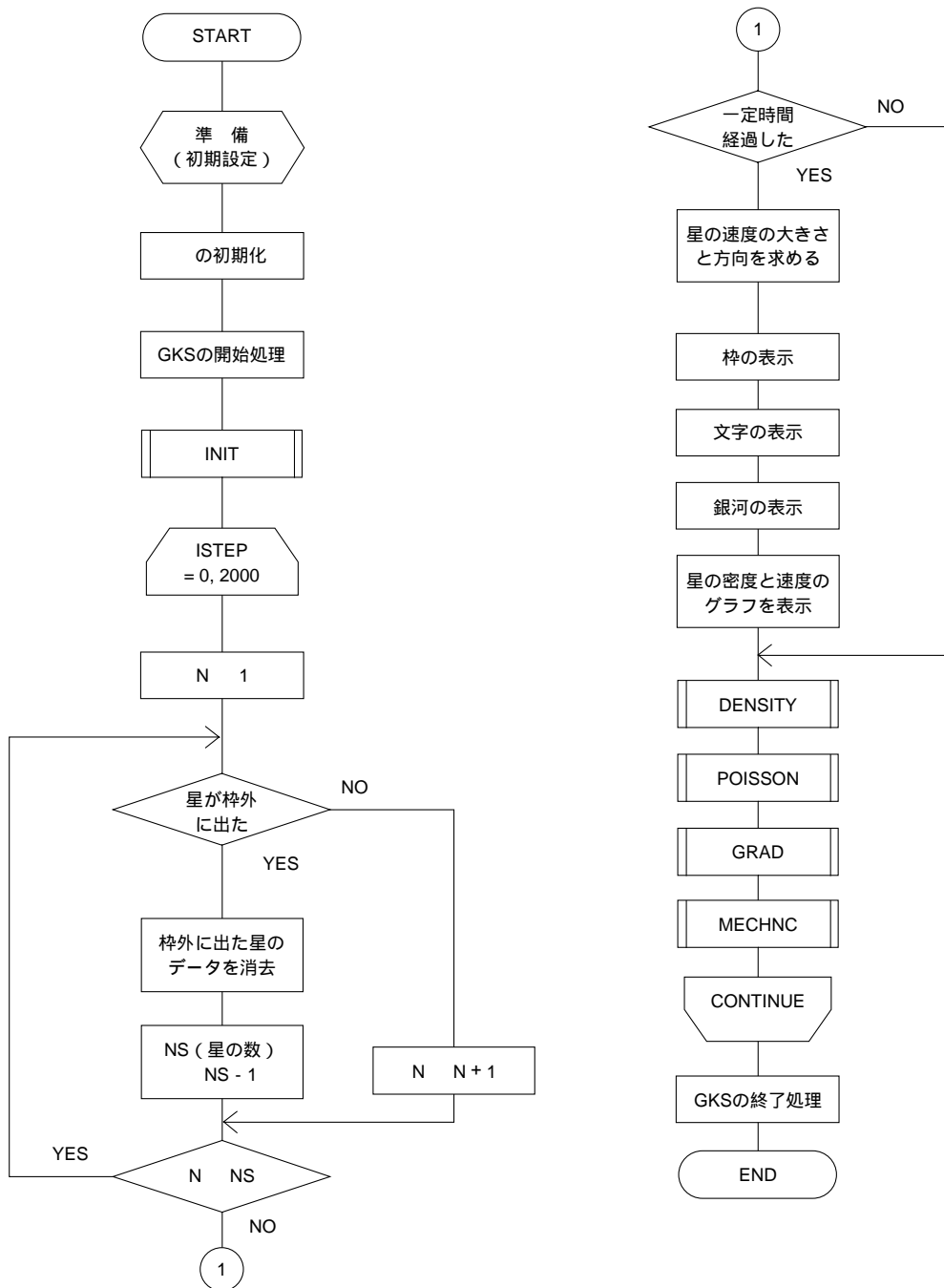


図2 銀河生成シミュレータのフローチャート

次にシミュレーションエリア外に出た星の処理をし、星の分布（銀河の形状）をグラフィック表示する。そして、サブルーチンDENSITY、POISSON、GRAD、MECHNCを用いて、メッシュ内の星の密度を求め、ポアソン方程式を解き、力を計算し、運動方程式を解くことにより、次の時間ステップにおける星の位置、速度を求めている。

4. シミュレーションの実行結果(衝突銀河)

卒業研究では、初期条件を変えている色々な銀河の生成過程を追跡したが、誌面の関係で、ここでは2つの銀河を衝突させた例のみを以下に示す。

4.1 初期条件

2つの銀河が、それ自身はその中心に対して反時計回りに回転しつつ、上下方向（図3aの最初のパネル参照）に並進運動をするような初期条件を与えた。計算時間の関係で星の数は2500個としている。実際の銀河はおよそ1000億個星からなっているので、ここで扱っている1つの星は、多数（数千万個）の星の集合体と考えるべきである。図中右下に示す時間を表すパラメータTIMEの意味は、TIME = 1で銀河がほぼ1回転する時間間隔であると考えてよい。星の位置および速度分布等の詳細な初期条件の与え方については、ここでは省略する。

4.2 実行結果

シミュレーションの結果を図3a, bに示す。時間は上から下に向かって経過している。図3aの左上のパネルが初期状態を示している。2つの銀河間に何の相互作用もなければ、図中左上にある銀河は下方に、右下にある銀河は上方に自ら回転しつつ動き、行きすぎるだけのはずである。しかし、実際は万有引力により引き合い、TIME = 2.8の時点で衝突し、その後すれ違い、TIME = 5.0、TIME = 5.4のように衝突し、すれ違うという複雑な動きを繰り返す。そ

して、最終的には、1つの銀河になり渦巻銀河のような形状に落ち着く。

4.3 考察

図3a, bの結果を見て、不思議に思われた方も多いと思う。つまり、2つの銀河がすれ違うという点である。このシミュレーションでは星の大きさは考慮していない。すなわち、各銀河を構成する星が互いに衝突して、破壊あるいは合体するような効果は含まれていない。そのため、現実の衝突銀河では、このシミュレーションより早く最終状態に落ち着くものと考えられる。

今後、意欲のある学生が、より現実に近い銀河生成シミュレータ（3次元化および星の大きさを考慮したもの）を開発してくれることを期待している。

5. おわりに

当校情報技術科では、18単位（324時間に相当）を卒業研究にあてている。2年間という短い期間の中で、卒業研究に多くの時間を割いている理由は、この期間、特に研究発表会前の1～2ヵ月の間の学生の能力向上が著しいからである。おそらく、普段の授業の何倍もの集中力をもって卒業研究に取り組むからであろう。

卒業研究をとおして、学生は自分の技術にある程度の自信を持つようになる。テーマを完成させた喜びと自信は、将来の学生の職業生活のうえで大きな財産になると信じている。

最後にひと言つけ加えるならば、私は日頃は厳しく学生に接しているが、何かを成し遂げたときには学生と一緒に大いに喜ぶことにしている（意識してやっているわけではないが、自然とそうなる）。いつも厳しい先生が、こんなに自分の成果を喜んでくれるという気持ちで、学生の研究意欲を増大させることになる。卒業研究は楽し！

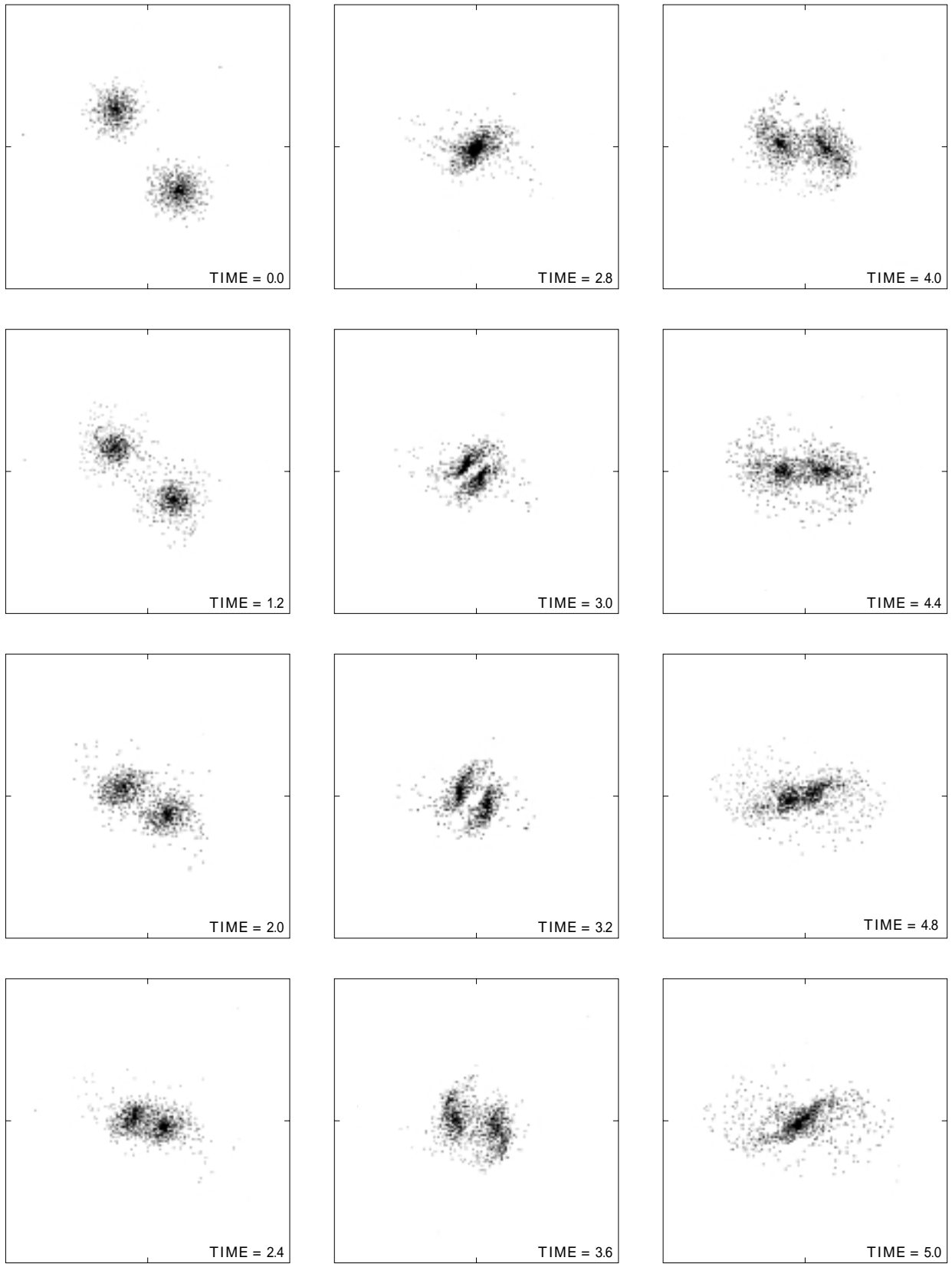


図3a 銀河衝突のシミュレーション結果

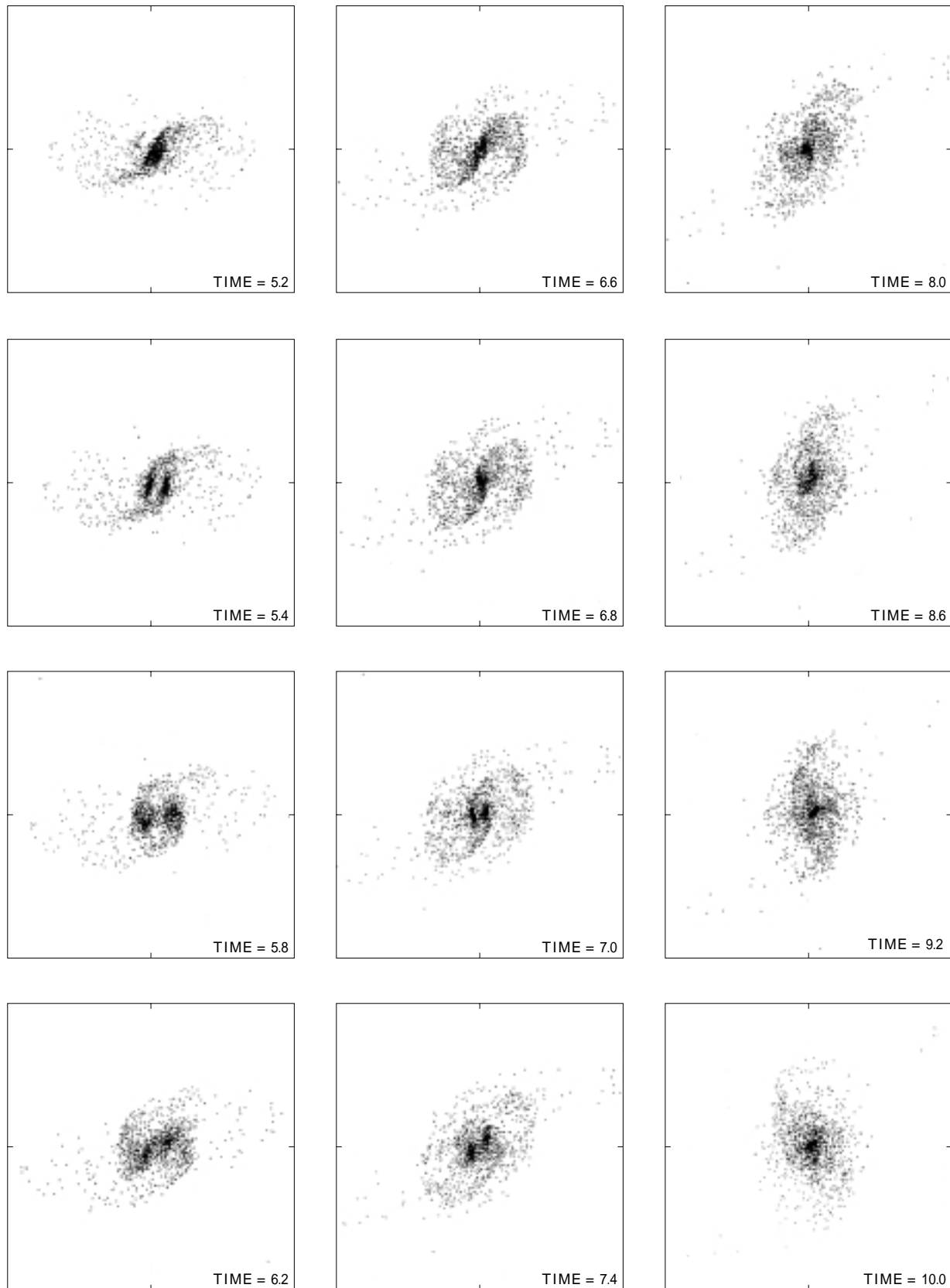


図 3 b 銀河衝突のシミュレーション結果