

ガス・恒星 2 成分系の進化

和田 桂一 (北海道大学理学部物理学科)

1 はじめに

銀河は無衝突系 (恒星系) と散逸系 (星間ガス) の 2 成分が、重力で結び付いた系であると考えることができる。星間ガスの質量は、恒星系の質量に比べ一般に小さいので、銀河を無衝突系と近似し、その力学進化を調べることが多い。しかし、銀河進化のある局面では、2 成分自己重力系であるということが無視できない重要な性質ある可能性がある。

ここでは、stellar bar 中のガスディスクのダイナミクスを問題としてとりあげる。これはバー銀河や相互作用銀河の中心付近で観測されるスターバーストの発生機構は何か、言い替えると、いかにして大量のガスを銀河中心領域へ急激に供給するかという問題に関係している。星の棒状分布中のガスは、回転する非軸対称な重力ポテンシャルによるトルクのため角運動量を奪われ、さらにガス軌道の変化により発生した shock でそのエネルギーを失い、その結果中心へ急激に集中する、というのが 'bar-driven gas fueling' のおおまかなシナリオである。実際にバーポテンシャル中で、ガスがどのように振舞うか、は計算機シミュレーションによって多くの人が調べており、バーの回転速度がガスの振舞いを決める重要なパラメータであることが知られている。それらの計算モデルは、1) バーポテンシャルを時間的に変化しない外場として与えるもの、2) バーポテンシャルを棒状分布した N 体系で表し、ガス系とともに重力を計算して、その進化を追うもの、の 2 種類に大別される。2 成分系の進化を知るという点では、むしろ後者のモデルによるシミュレーションに興味があり、最近いくつかの研究がある (e.g. Friedli and Benz 1993; Shlosman and Noguchi 1993)。しかし、これらのシミュレーションは、global unstable な (ガス+恒星系) ディスクを初期条件としているため、星のバーの形成過程に対して、ガス系の変化の影響が避けられない。そのため、結果の物理的解釈が難しく、バーポテンシャル中のガスダイナミクスを調べるという目的には必ずしも適していない。

2 モデルと計算方法

われわれは対象を銀河の内側 (バルジ部分) に限る。それは、ディスクとバーの interaction (dynamical friction による slow down など) による影響を避けるためと、主に銀河中心領域のガス構造に興味があるためである。恒星系のバーの形成にガスの進化が影響を及ぼさないようにするため、計算を以下のように 2 段階に分けた。(1) 回転する unstable な stellar sphere ($N = 5000 \sim 7000$) を、ガスディスクの重力ポテンシャルの影響のもとで collapse させ、rotating bar を作る。この collapse の際にはガスディスク (恒星系の mass の 1/10) は変化させない。rotating stellar system の collapse は、N 体計算によって調べられており (e.g. Aguilar and Merritt 1990; Udly 1993)、いろいろな回転速度、構造のバーをあらかじめ用意するための初期条件 (例えば、 $T_{rot}/|W|$, T_{rot} : rotating kinetic energy、 W : potential energy) 依存性は有る程度見当がつく。(2) 恒星系がリラックスしたところで、重力ポテンシャルに釣り合うように回転を与えたガスディスク ($N_{SPH} = 3000 \sim 5000$) を evolve させる。ガスは等温 ($v_{sound} \sim 0.1 max.(v_{rot})$) を仮定した。ガ

ディスクの rotation curve から、計算のスタート時に中心からガスディスクの半径の 2/3 付近に inner Lindblad resonance (1st ILR) が存在していることがわかる。計算は workstation 上で、3次元 Tree-SPH コード (Hernquist and Katz 1989) を用いて計算した。

3 結果と議論

図 1 は xy 平面上に投影した、ガスと星の分布の時間変化である。初期の段階で、ガスは星のバー中で、細い棒状に集中する ($t = 0.37$)。ガスの棒構造が星のバーよりも先行して回転している (回転方向は反時計回り) ことに注意。これはバーポテンシャル中のガスの進化の際に必然的にみられる特徴である (Wada 1993)。このため、ガスはバーポテンシャルに引き戻されるようなトルクを受け、角運動量を失う。逆に恒星系は角運動量を得る (図 2)。ガスは回転方向に巻き込みながら中心へ落ち込む。その結果、密度の高い、2つのコアとそこから伸びる trailing spiral arm 構造が形成される ($t = 0.85 \sim 0.95$)。この構造はいくつかの bar galaxy 中心付近で観測される分子ガス構造と非常によく似ている (Kenney et al. 1991)。

もう一つ、注目すべき結果はガスの中心への accretion とともに恒星系のバー構造が急速 (バー半回転程度) に弱くなることである。この原因はガスの中心集中のために、radial mass 分布が変化し、バーに垂直な x2 軌道群が存在する 1st, 2nd ILR 間の領域が拡がり、それまで X1 軌道群で構成・維持されていたバー中の軌道の性質が変わるため、と考えられる。Hasan and Norman (1990) や Friedli (1993) により、バーポテンシャルの中心付近に massive black hole (total mass の数%から 10%) を加えたとき、バーポテンシャル中の軌道のポアンカレ map は regular な軌道中に chaotic orbit が出現することを示しており、これによりバーが壊れる可能性が示唆されている。われわれのバーが弱くなったのも同じメカニズムである可能性が大きい。ただし、Hasan らの解析は保存系に対してだったが、われわれの 2成分系は散逸系であるため、この両者の違いが本質的なかどうかは興味あるところである。今後更に、われわれの計算結果を解析する必要がある。

一方、恒星系のバー構造がガスの中心集中で容易に壊される、という結果はバー銀河の安定性に関連して重要である。ある条件 (バー回転速度など) のとき、ガスの中心集中そしてスターバーストが引き起こされるが、バー自体は弱くなるとすれば、スターバーストが必ずしも強いバーに付随していない観測事実を説明するかも知れない。また、銀河の構造がスターバーストを伴って大きく変化する可能性もあり、さまざまな形態の銀河の構造形成は、銀河がガスと恒星系の 2成分系であるという性質に深くかかわっているかもしれない。

references

- Aguilar, L.A., Merrite, D., 1990, ApJ, 354, 33
 Friedli, D., Benz, W., 1993, A&A, 268, 65
 Hernquist, L., Katz, N., 1989, ApJ. suppl., 70, 419
 Hasan, H., Norman, C. ApJ, 361, 69
 Kenney, J.D.P et al.1992, ApJ, 395, L79
 Udly, S., 1993, A&A, 268, 35
 Shlosman, I., Noguchi, M., ApJ, 414, 474
 Wada, K., 1993, PASJ, submitted

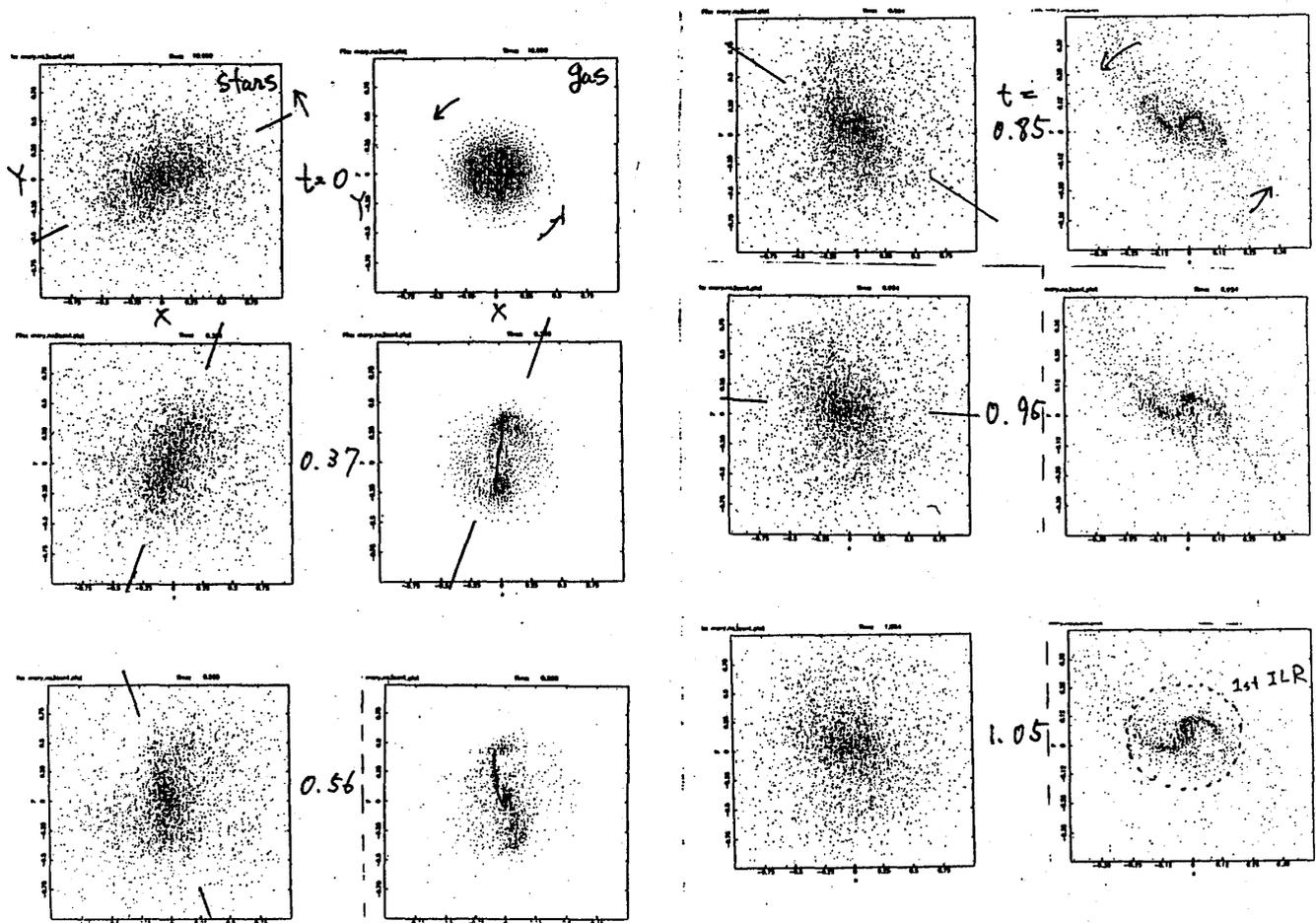


図1：恒星系（左）、ガス（右）の分布変化

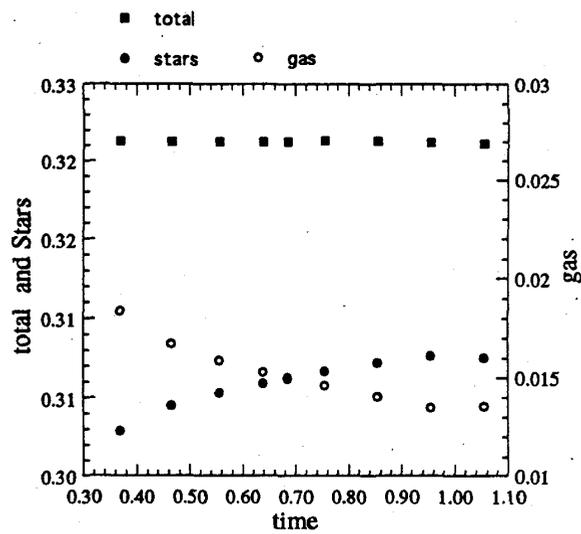


図2：角運動量の時間変化