

# 低速回転星におけるダイナミカル不安定

鷹野 重之、江里口 良治 (東大総合文化)

自己重力流体は高速回転下で非軸対称モードに対してダイナミカルに不安定化することが知られている。このような不安定性については剛体回転一様密度流体 (Maclaurin Spheroid) の場合にはよく調べられており、その不安定化の条件は  $T/|W| > 0.27$  となることがわかっている。ここで  $T$  は星の回転エネルギー、 $W$  は重力ポテンシャルである。また、最も不安定化しやすいのは  $m = 2$  のモード (bar-mode) であることも知られている。(以下では  $m = 2$  の f-mode についてのみ考える。)

ダイナミカル不安定を引き起こすような高速回転が生じるような天体現象としては、重い星の重力収縮過程や星形成過程における分子雲ガスの収縮など、流体の半径が何桁にもわたって収縮するような場合が考えられる。しかし、現実的な状況では収縮により微分回転が卓越する上、流体は圧縮性も伴うため、これらの天体の安定性を議論する上で、Maclaurin Spheroid は簡略化しすぎたモデルとなっている。より現実的モデルでも閾値  $T/|W| > 0.27$  が適用可能かどうかはわかっていない。近年の非線形シミュレーションによれば、微分回転下では回転が閾値以下でもモードが不安定化する例も見られ、結論は未だ明らかでない (Pickett et al. 1996, Centrella et al. 2001, Shibata et al. 2002, etc.)。そこで本研究では微分回転を伴う流体のダイナミカルな安定性を調べるために線形解析を行い、微分回転星の安定性限界を詳細に調べる。

ここでは星の平衡形状モデルに微小な摂動を加え、数値的に線形解析を行なうことで振動の固有値・固有関数を複素領域で計算してモードが安定か不安定かを調べる。いま、平衡形状モデルとしてはニュートン重力、軸対称形状、ポリトロープを仮定し、微分回転の回転則は次のようなものを考える：

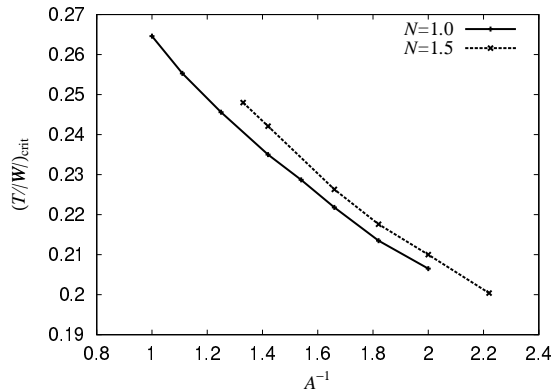
$$\Omega = \frac{\Omega_c A^2}{(r \sin \theta)^2 + A^2}, \quad (1)$$

ここで  $A$  は微分回転の強さを表すパラメータで  $A$  が小さいほど微分回転は強く、 $A \rightarrow \infty$  の極限で剛体回転に帰着する。さらに摂動は断熱的とし、解くべき物理量は

$$\delta f(r, \theta, \varphi, t) = \sum_m \exp(i(\sigma t - m\varphi)) f_m(r, \theta), \quad (2)$$

のように展開できるものとする。これらの条件の下で構成された流体の摂動方程式を境界条件とともに数値的に解き、モードの固有値  $\sigma$  を求める。式2より、求めた固有値が複素数である場合、モードはダイナミカルに不安定であるとみなせる。系列に沿って星の回転を速くしていくとき、初めて固有値が複素数となる  $T/|W|$  が不安定の閾値に対応する。

このようにして求めた不安定の閾値 ( $T/|W|$ ) を微分回転の強さに対してプロットしたグラフを下に示す。



図より明らかなとおり、微分回転の効果が強くなる (図中右方向) と不安定の閾値は低下し、この傾向は状態方程式にあまり依存しない。この結果は Maclaurin Spheroid の安定性が一般に応用できず、微分回転を伴うような場合では天体はより不安定化しやすくなることを示唆する。

前述の通り回転流体では収縮とともに強度の微分回転が卓越すると考えられる。天体が収縮する段階で回転速度が低下した閾値に達すると、bar-mode 振動がダイナミカルに不安定化し、急速に成長する可能性がある。モードが非線形にまで成長すると高速回転するガスの系が壊れて異なる系へ進化すると考えられる。例えば星形成過程における星間ガスの収縮でダイナミカルな不安定が起きれば、流体の分裂に伴う連星系形成や原始星を取り囲むような円盤の形成が起こるかも知れない。このような原始星の不安定性は角運動量問題 (高速回転する YSO が未発見) の解決に繋がるかもしれない。また、重い星の重力収縮でのモードの非線形成長は、渦状腕の形成や重力波の放出によって原始中性子星からの角運動量放出に寄与する。このような角運動量の抜き取りは中性子星の回転進化を支配する可能性がある他、その際に放出される重力波は次世代重力波干渉計の有力なターゲットとなり得る。