

降着モデルの違いによる大質量星の進化の変化

加藤 広樹 (大阪大学大学院 理学研究科)

Abstract

本講演は、Hosokawa, T., Yorke, H. W., & Omukai, K. 2010, ApJ, 721, 478 のレビューである。大質量星 ($M_* > 8M_\odot$) の形成には高い質量降着率 ($> 10^{-4} M_\odot$) が必要であると考えられており、観測においてもこの事を示唆している。今回の講演ではこのような高い質量降着率について、円盤を形成して中心星に落下する場合と、球状に一様等方な方向から中心星に落下する場合を考える。これらの降着の仕方の違いによって、中心星へのエントロピーの流入の違いが生じ、その結果中心星は二つの場合で異なる進化を辿る事になる。具体的には $M_* < 8M_\odot$ までの星の進化を見た時に、球状の場合と円盤状の場合とでは、球状の方が半径が一桁程大きいという結果が得られる。更にその後の進化を見た場合には $M > 10M_\odot$ では星の半径は両降着モデルでほぼ等しくなり、その後の進化は同じになる。本講演では、このような違いが具体的にどのようにして起きるかを示し、その理由について考察する。

また、今後の展望としては、星の場所による降着の違い等が考えられる。今回の星形成の条件では円盤状に降着した場合も、最後に星に質量降着する瞬間は、星の表面においてどこでも一様に降着が起きるとしたが、実際には円盤の形状による影響や、星の磁場による影響により、場所によって降着率の違いが生じる可能性があり、そこから予測されうる事柄について述べる。

1 Introduction

大質量星 ($M_* > 8M_\odot$) の形成は、Wolfire, M. G., & Cassinelli, J. P. 1987, ApJ, 319, 850 を代表とするように、中小質量星 ($M_* < 8M_\odot$) の場合とは違って、高い質量降着率 ($\dot{M} > 10^{-4} M_\odot$) で形成される事が示唆されている。だが、そのような高い質量降着率における星形成への影響は未だにわかっていない事柄が多く、現在国内外を問わず、非常に盛んに研究されている分野である。また、多くの星形成領域の観測によって、円盤やジェット等が星の周りに形成される事も確認されており、それらの星形成への影響は重要である。星に物質が降着する時は、まず星の近くにある角運動量の小さいものが球状に落下して、その後遠くにある角運動量の大きいものが円盤を作りながら落下していく。この時、球状に落下するものはショックによって大きなエントロピーを作るが、円盤が形成されると、円盤面からの放射等によりエネルギーが外に抜けてエントロピーは小さくなる。今回は、そのエントロピーの違いによって作られる星の違いについて考える。

2 Methods

まず、単純な見積もりとして星の密度と圧力は以下ようになる

$$\rho \sim M_*/R_*^3$$

$$P \sim GM_*^2/R_*^4$$

これらを理想気体におけるエントロピーの表記に代入すると、以下の様な星の半径とエントロピーの関係が得られる。

$$R_* \propto M_*^{-1/3} \exp[\text{const.} \times s]$$

ここで s はエントロピーである。これにより、質量が同じ時は流入したエントロピーが大きい程、星の半径も大きい事がわかる。計算方法は Stahler, S. W., Shu, F. H., & Taam, R. E. 1980, ApJ, 242, 226 に従って行い、境界として光球表面を考えて、新たに上記のエントロピーの流入量による半径の大きさの違いを表す式を為、エントロピーの時間変化の式 $s(M) = s_{c,0} + \beta * k_B * M/m_H/M_{*,0}$ を入れて考える。

3 Results

図にあるように $M_* < 8M_\odot$ の領域での半径の大きさに主に違いが生じる。ただし、どちらの場合にも

- 1 膨張
- 2 急激な膨張
- 3 収縮
- 4 膨張

という風に大まかに分類できる。また、最後の膨張に転じたあたりから同じ進化を辿るようになる。これはケルビンヘルムホルツのタイムスケール（放射によってエネルギーが運ばれる時間）と、降着によって物質が運ばれるタイムスケールが時間を追うごとにどのように変化するか調べると理解でき、タイムスケールの大きさの変化に従い膨張や収縮といった変化は起きる。

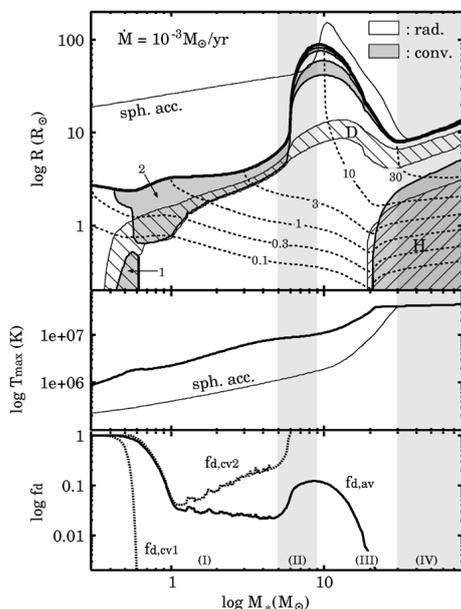


図 1: 二つの降着モデルによる進化の違い

4 Discussion

タイムスケールの大きさの変化は主に opacity によって変わる事になる。opacity は温度が大きくなると小さくなる特徴があり、その大きさで放射によ

て運ばれるエネルギーが変わるのでケルビンヘルムホルツのタイムスケールは時間が経つと急な変化をおこす。これによって放射が効いてくる場合は、エントロピーが放射によって星の表面に集められて、急な膨張を起こす。さらに時間が経つと、逆に放射の効果で表面からエントロピーが抜け始めて収縮に転じ、収縮が進むと核融合が始まり再び膨張を始める、という風になる事が理解できる。

また、図のような結果が降着の違いにより得られた訳であるが、この方法は星の表面で質量降着率が同じであると仮定して得られている。つまり円盤状の降着の場合にも、最後に星への物質降着は球状で考えている。これは明らかに変であり、本来なら星の緯度において質量降着率に違いが生じるはずである。その結果、その質量降着率の違いをならすようなタイムスケールを考えて、そのタイムスケールよりも降着のタイムスケールが短かかったら、質量降着率の大きいところだけ星は膨らみ、星は球状でない歪な形のものができることになる。

5 Conclusion

降着の違いにより、星表面に運ばれるエントロピーは変わってくる。星内部での放射によりエントロピーの輸送が起きるが、タイムスケールの大きさによって、その効果が効いてくるかどうかは変わる。放射の影響が効いてくる前は、降着するエントロピーの量の違いにより、2つの降着モデルで半径が大きく違う事になる。放射の影響が効いてくると、星表面にエントロピーが溜まって、それによって星表面が急速に膨らむ。この時は、半径のほとんどを表面近くの膨張した領域が占める事になり、両モデルの半径の上限値は同じくらいになる。更に時間が経つと、今度は放射によって表面からエントロピーが抜けて収縮をし、いずれ主計列の段階に入ると、核融合による膨張が支配的になって両モデルによる違いはなくなる。

6 参考文献

Reference

Hosokawa, T., Yorke, H. W., & Omukai, K. 2010, ApJ, 721, 478

Wolfire, M. G., & Cassinelli, J. P. 1987, ApJ, 319, 850

Stahler, S. W., Shu, F. H., & Taam, R. E. 1980, ApJ, 242, 226