

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

国際会議発表

“Induced star formation by external compression”

Kazutaka Motoyama & Tatsuo Yoshida,

East Asia Numerical Astrophysics Meeting, November 30 - December 2, 2004,

National Astronomical Observatory Japan

学会、研究会発表

bright-rimmed cloud における誘発的星形成と降着率への影響

本山 一隆、梅本 智文

2005年 9月, 野辺山観測所ユーズーズミーティング, 野辺山観測所

ionized shock が bright-rimmed cloud 中の星形成に与える影響 (講演番号 P03a)

本山 一隆、梅本 智文

2005年 10月, 天文学会秋季年会, 札幌コンベンションセンター

執筆中の論文 (A&A に投稿予定)

Radiation Driven Implosion Model for High Accretion Rates of Protostars

Kazutaka Motoyama & Tomohumi. Umemoto

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

今年度中に出版された論文、国際会議集録、国際会議、学会、研究会発表、その他出版物（印刷中、投稿中の場合はその旨を記載すること）

評価資料として利用いたしますので、様式・順序は任意ですが、学術論文については題名、著者、発行年月、雑誌名、巻、ページが記載されていること。

紫外線による電離が bright-rimmed cloud 中の星形成過程に与える影響

国立天文台 野辺山宇宙電波観測所 本山一隆
プロジェクト ID: wkm46c (カテゴリ C)

1 Introduction

現在の星形成の理論では牡牛座分子雲のような低質量星形成領域での形成過程は比較的良好に理解されている。しかし、大質量星の形成過程やその近傍での低質量星の形成過程はまだ詳しくは理解されていない。我々は大質量星近傍での星形成過程を理解するために、bright-rimmed cloud での星形成に着目した。bright-rimmed cloud とは大質量星の近傍に存在する分子雲で、大質量星からの強い輻射にさらされているために分子雲の淵が明るく輝いているものである。bright-rimmed cloud では近傍の大質量星からの強い UV 輻射により cloud の表面が電離され、電離したガスの高い圧力により衝撃波が cloud 内部に進行すると考えられている。このような圧縮過程は Radiation Driven Implosion と呼ばれており、bright-rimmed cloud での星形成を誘発している可能性がある。このような外部からの圧縮は原始星の進化の過程で、密度・速度構造や降着率に影響を与える可能性がある。

このような外部からの圧縮が星形成過程に影響を与えている事を示唆する観測結果として、bright-rimmed cloud の原始星は他の分子雲の原始星よりも一桁から二桁程度光度が大きいという報告がある (Sugitani et al. 1989)。原始星段階の星ではまだ核融合反応は始まっておらず、原始星へのガスの降着によってその光度が賄われている。そのため光度が大きいことの原因として、圧縮の影響により降着率が高くなっている可能性が考えられる。

本プロジェクトでは bright-rimmed cloud での星形成が本当に圧縮の影響を受けているのかを降着率の大きさに注目し、シミュレーションを行うことで検証する。

2 Numerical models

シミュレーションは球対称を仮定して一次元の計算を行った。計算は時間、空間とも二次精度で Godunov 法を用いている。初期条件として Bonnor-Ebert 球を仮定し、球状のガス雲が外側から紫外線を受けているとする。紫外線により電離したガスは圧力が上がり、この圧縮により重力収縮が引き起こされる。解くべき方程

式はガスの自己重力を含んだ流体の基礎方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial r^2 \rho v}{\partial r} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial r^2 \rho v^2}{\partial r} = -\frac{\partial P}{\partial r} - \frac{GM(r)\rho}{r^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial M}{\partial r} = 4\pi r^2 \rho, \quad (3)$$

これに加えて電離過程を表す以下の方程式である

$$\frac{dx}{dt} = \sigma(1-x)J - \alpha n x^2, \quad (4)$$

$$\nabla \cdot J = -\sigma(1-x)nJ, \quad (5)$$

ここで x は電離度、 n は水素原子の個数密度、 J は水素を電離させるだけのエネルギーを持った光子の flux である。 α 、 σ はそれぞれ再結合係数と ionization cross-section である。また音速は電離度に応じて次式のように決める

$$c^{-2} = c_i^{-2} + (c_n^{-2} - c_i^{-2})(1 - \sqrt{x})^2 \quad (6)$$

ここで $c_n (= 200 \text{ ms}^{-1})$ は中性ガスの音速、 $c_i (= 13 \text{ kms}^{-1})$ は電離ガスの音速を表している。

3 Results & Discussion

今回行った計算の結果を示す。ここでは初期条件の cloud の質量が $3M_\odot$ の場合の結果を示している。また ξ は Bonnor-Ebert 球の無次元化した半径である。 ξ の値が大きいほど半径が小さく、中心集中した密度構造になっている。ionizing star のスペクトル型は O7 型を仮定した。

図 1 は降着率の最大値の ionizing star からの距離への依存性を示している。ionizing star に近いほど降着率は大きく $10^{-4} \sim 10^{-3} M_\odot \text{ yr}^{-1}$ に達している。牡牛座分子雲のように大質量星の影響がない星形成領域では降着率がおおよそ $\sim 10^{-6} M_\odot \text{ yr}^{-1}$ 程度であるから、一桁から二桁近い増加していることになる。この降着率の

増加によって観測によって示されている bright-rimmed cloud での高い luminosity を説明できそうである。

図 2 は原始星の最終的な質量の ionizing star からの距離への依存性を示している。ionizing star に近いほど原始星の最終的な質量は小さくなっている。これは距離が近い程、電離によって失われるガスの質量が増えるためである。

今回の結果から、bright-rimmed cloud は大質量星からの紫外線による電離のために圧縮を受けており、その影響で降着率や原始星の最終的な質量も大きな影響を受けている可能性が高いことがわかった。また、ここに示したモデルの場合で降着率は $10^{-4} \sim 10^{-3} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ まで達し、bright-rimmed cloud での原始星の高い luminosity を説明できそうである。

4 Future works

今回行った計算は球対称を仮定した一次元の計算であった。今後は軸対称を仮定した二次元の計算に拡張するとともに、観測結果との比較を詳細に行っていく予定である。また、今回は音速を電離度の関数として近似的に扱うことで、冷却過程などは厳密に取り扱わなかった。今後は各種の cooling や heating の効果も含めた計算を行う予定である。

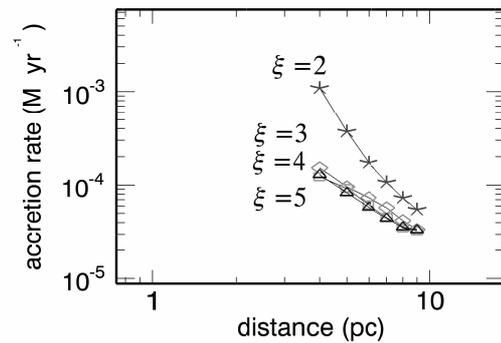


図 1: 降着率の最大値と ionizing star からの距離の関係。降着率の単位は $M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 、距離の単位は pc。

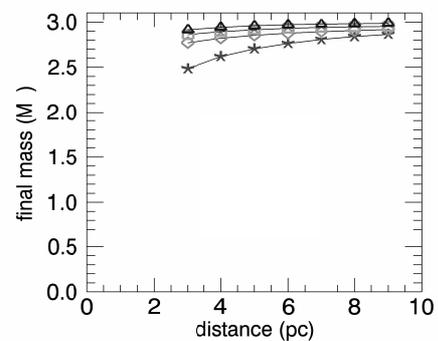


図 2: 原始星の最終的な質量と ionizing star からの距離の関係。質量の単位は M_{\odot} 、距離の単位は pc。