OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	Fragmentation of Primordial Filamentary Clouds Under Far-Ultraviolet Radiation
Author(s)	Bessho, Shinji
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27470
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【22】

氏名	別所慎史（べっしょしんじ）
博士の専攻分野の名称	博士（理学）
学位記番号	第　25724　号
学位授与年月日	平成24年12月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学位論文名	Fragmentation of Primordial Filamentary Clouds Under Far-Ultraviolet Radiation （紫外線照射下での棒状ガス雲の分裂）
論文審査委員	（主査） 教授　高原　文郎 （副査） 教授　芝井　広　准教授　藤田　裕　准教授　住　貴宏 甲南大学教授　須佐　元

論文内容の要旨

宇宙における星形成のシナリオには様々なものがある。星の素となるガス雲の1つの起源として、棒状ガス雲が挙げられる。棒状ガス雲は多数の球状ガス雲に分裂する傾向があることが知られており、その分裂片が星の素となる可能性がある。棒状ガス雲を起源とする星の質量は分裂片の質量に依存しており、分裂片の質量を求めることは形成される星の質量を見積もるためには必須である。

一方、宇宙に初代星が誕生すると、それらは周りに光を放つ。その光には水素原子を電離する光と水素分子を解離する光があるが、前者は初代星を取り巻くガス雲からは逃れられないことが知られている。しかし、後者の解離光は初代星を取り巻くガス雲より外側にも広がる。その結果、電離光は照射されないが解離光は照射する領域が宇宙に存在することになる。そのような環境はまったく光のない初代星が形成された環境とは異なるので、第2世代の星の形成シナリオについては解離光を考慮した研究が必要である。

以上の2点から、本論文では解離光のみが照射している環境での棒状ガス雲の分裂について調べた。計算手法は主に数値計算によるもので、one-zone モデルや1次元モデルを用いて計算を行った。これらのモデルでは分裂を追えないので分裂条件(収縮の時間スケールが分裂の時間スケールよりも長くなると分裂する)を仮定した。さらに、棒状ガス雲が形成された時に解離光が点火することを仮定した。また、初期密度 n_0、線質量(長さ方向の単位長さ当りの質量) f、輻射の大きさをパラメータとして、多数のパラメータについて計算を行った。

解離光は密度が低いほどガス雲に浸透し水素分子を破壊するので、解離光の効果は低密度領域で顕著になった。その密度は $n_0 < 10^3 cm^{-3}$ であった。このような低密度の棒状ガス雲は解離光によって冷却剤となる水素分子を失い、ほぼ断熱的に収縮した(解離光による加熱は起こらない)。線質量が $f < 5$ ($f = 2$、温度 $T = 300$ K で線質量はおおよそ 1 pc 当り 1000 太陽質量)の場合は断熱的に進化している時に分裂条件を満たし、100000 太陽質量ほどの分裂片ができた。これは解離光が無い場合よりも 100 倍以上大きな質量である。n_0 が $10^3 cm^{-3}$ より小さく、f が 5 より大きな場合は解離光の影響を受けて棒状ガス雲は断熱的な進化をするが、質量が大きいため、解離光から水素分子を守る(自己遮蔽する)まで収縮する。その結果、棒状ガス雲は水素分子によって冷却した後分裂する。その場合、分裂片の質量は解離光の無い場合とほぼ変わらない値となった。$n_0 > 10^3 cm^{-3}$ の場合は、n_0 自己遮蔽するのに十分な高密度のため解離光の影響を受けなかった。これらの傾向は細かな数字の差異はあるが one-zone

モデルでも１次元モデルでも同様であった。解離光の下では解離光の無い場合よりも大質量の分裂片ができうるということが確認された。

一方、１次元モデルを用いて、$n_0=0.1cm^{-3}$という低密度でfが５より大きな場合の棒状ガス雲の進化を調べた。密度が低いため、上記のように、棒状ガス雲は解離光の影響を受け断熱的に進化した。fが十分大きいと自己遮蔽するのに十分な密度まで収縮し、その後は水素分子によって冷却した後に分裂した。自己遮蔽が起きるほどfの大きな棒状ガス雲については解離光の無い場合よりも小質量な分裂片ができた。解離光の影響で大質量の分裂片ができるのか小質量の分裂片ができるのかは、分裂が断熱過程で起こるのか自己遮蔽が起きてから起こるのかに依存していることが分かった。

論文審査の結果の要旨

本論文は宇宙における初期天体の形成に対する紫外線背景放射の効果を研究したものである。重元素の存在しない時代の初代の天体は大質量の星で大量の紫外線を放出する。水素原子の電離エネルギーより高い光子は星周囲のガスを電離することに費やされ、すぐに宇宙を満たすことはない。しかし、それより低いエネルギーの光子はより早期に宇宙を満たし、重元素が存在しない状況のもとでの次世代の天体形成に大きく影響する。これはこれらの紫外線光子が高密度ガス中に存在する水素分子を解離し、ガスの冷却を妨げるからである。本論文はこの状況下での天体形成を調べたものである。宇宙論的シミュレーションによれば、この時代のガスの分布はフィラメント状になっており、星の形成はフィラメントの分裂という形で生じる。従来の研究は解離光子の影響を無視していたり、フィラメントの力学を自由落下と仮定したりしていた。また、解離光子の影響下で分裂片の質量が増加するか減少するかという問題についても双方の報告があり、一致した結果が得られていなかった。

本研究では、フィラメントの動径方向の運動を自己重力と圧力勾配とを考慮して解き、原子分子の化学反応過程も同時に解いて、水素分子密度や温度を整合的に求めた。そしてフィラメントの分裂のタイムスケールと系の力学的進化のタイムスケールを比較して、前者が短くなる時間に分裂が生じるとして、分裂片の質量を求めた。外部解離光子の侵入の度合いについても、水素分子の存在度と放射輸送方程式から整合的に定めた。

結果はフィラメントの線密度、初期の密度、外部解離光子の強度によっている。まず、フィラメントの線密度が、自己重力と圧力勾配の比で決まる臨界密度を大きく超えない限り、分裂片の質量は外部解離光子の存在の下で増加することを明らかにした。次に初期密度が小さいほど外部解離光子の影響が大きいことを示している。これは初期密度が大きいと解離光子の侵入を妨げる遮蔽効果があって、フィラメントの進化が解離光子の強度にあまりよらなくためである。最後に線密度が臨界密度の１０倍程度以上大きいと、分裂片の質量は外部解離光子の存在により、やや小さくなることを見出した。これは外部光子の存在下で、温度が上昇するためにより高密度になってから分裂が起こるためと解釈される。分裂条件の明確化とともに、本論文はフィラメントの重力収縮の過程で、フィラメントが必ずしも一様に収縮するのではなく、芯の部分と鞘状部分とに分離する傾向があり、このことも分裂片の質量の評価に影響することを見出している。

本論文は初期天体の生成における外部解離光子の影響の問題を統一的に理解することに成功し、初期天体の研究に大きな寄与をなすものである。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。