

氏 名	ほそ かわ たか し 細 川 隆 史
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2871 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Dynamical Expansion of Ionization and Photodissociation Regions and Triggered Star Formation (電離・解離領域の伝播と誘発的星形成)
論文調査委員	(主 査) 教 授 嶺 重 慎 教 授 中 村 卓 史 助 教 授 鶴 剛

論 文 内 容 の 要 旨

申請者は、大質量星がまわりの星形成活動におよぼす影響を、輻射輸送や熱プロセスをも考慮したシミュレーションにより調べ、大質量星が星形成活動を誘発することを見だし、星生成領域の観測結果を説明した。

大質量星が出す紫外光は、周囲の分子雲を電離又は解離して星形成を阻害するだけでなく、衝撃波を作って分子ガスを掃き集めることにより、次世代の星形成を誘発することもあるというシナリオが昔から議論されてきた。最近、電離領域周縁部の分子ガスシェルとそれに付随した若い星が、実際に観測された。その好例はシャープレス104 (Sh104) である。そこで申請者は、大質量星周囲の電離領域およびその外部領域の動的な進化をシミュレーションにより調べた。彼は1次元球対称の流体計算コードに、紫外・極紫外光の輻射輸送、熱・化学プロセスを組み込み、特に電離波面に先行する衝撃波が掃き集めるシェルの構造に注意して、その時間発展を解いた。

まず、中心星光度を Sh104 の星光度とし、密度を巨大分子雲の典型的な値に選んで Sh104 のモデルを計算し、以下のような描像を得た。すなわち、中心星による電離が進んで、電離波面が初期のシュトレームグレン半径に達したところで電離波面の前に衝撃波が立ち、電離面と衝撃波の間に幾何的に薄いシェルが形成される。シェル内の密度は高く、媒質密度の10～100倍にも達する。初めは解離波面が電離波面より速く伝播するため、電離領域外部に解離領域が広がる。その後、電離面と衝撃波面は先行する解離面にやがて追い付き、ついには解離面はシェル中に取り込まれる。こうして、シェル内に次第に水素分子と CO 分子が溜ってくる。この原因には二つある。一つには電離面と衝撃波面が解離面を追い越して、衝撃波が分子ガスの多い領域に入り込む為であり、また一つにはシェル内の分子の再生成の時間スケールが系の動的進化の時間スケールより短くなるためである。そこでガスシェルは重力不安定による分裂が起こるころには、分子ガスで占められていることが予想される。これはまさに、Sh104 の観測とよく合致する。

次に申請者は、周囲の密度と中心星の光度を変えた様々なケースについて同様の計算をし、系の基本的な進化は上で述べた順序に従うことがわかった。さらに、多くの場合でシェル内に分子ガスが溜り、重力不安定による分裂が予想されることもわかった。密度を変えた場合は、密度が低いほど、より長い時間スケールで広い領域を電離領域が掃く。密度が高くなるとこれと逆の傾向になる。一方、星の質量を10-100太陽質量と大きく変えても、分子ガスが溜る時間スケールとシェルの質量のスケールは大きくは変わらない。これらの傾向は、解析的に導かれるスケール則と一致しており、定性的にも理解することができる。

更に申請者は、分子雲が散逸した後、電離領域が希薄な中性ガス中を伝播する場合についても調べた。電離領域が CNM (cold neutral medium; 密度 $n=10/\text{cc}$, 温度 $T=100\text{K}$) 中を伝播する場合は、高密度のシェルが形成され、掃き集めた中性ガスから分子ガスが再生成される場合がある。そこでは星形成を誘発する可能性がある。1000万年までにシェルの分裂が予想されるのは、主に中心星質量が太陽質量の18倍以上の場合である。

媒質が WNM (warm neutral medium; 密度 $n=0.1/\text{cc}$, 温度 $T=8000\text{K}$) の場合は、周囲の流体の動的な進化は顕著で

ない。WNM は単に電離され、密度、温度のほとんど変わらない電離ガスを生成する。

最後に、電離面の膨張に伴って誘発される星形成のモードの重要性についても調べた。簡単な見積りと計算の比較から、このモードが銀河系の星形成率の維持機構として十分寄与しうることが分かった。

論文審査の結果の要旨

星形成史の理解は天文学の最大の課題の一つであり、また、古くて新しく課題とも言える。特に、数々の多波長観測の結果が出され、計算機の格段の進歩により大型シミュレーションが可能になった現在、研究は急速に進展している。申請者の研究課題は、大質量星形成に伴い、果たして星形成は促進されるのか否かという基本課題にシミュレーションをもとに果敢に挑み、一次元球対称という限定された状況であるものの、基本的な物理過程をみごとに明らかにしたもので、その意義は大きい。

大質量星は多量の紫外線を出す。そこで、一旦、大質量星ができると、まわりの物質を電離・解離してしまい、その後の星形成を抑制するという考え方が従来から受け入れられていた。一方で、紫外線放射が衝撃波を作り出してまわりのガスを圧縮し、紫外線をシールドできれば、逆に星形成を促進するという可能性も指摘されていた。いずれのシナリオも、理論的に可能である。答えを出すには、系の時間発展を精緻に解いて物理量の時間・時間変化を定量的に求めるしかない。そこで申請者は、1次元球対称の流体計算コードに、紫外・極紫外線領域のラインを含む輻射輸送と、解離や電離プロセスなどあらゆる熱・化学プロセスを組み込み、衝撃波の伝搬とそれが形成するシェルの構造変化に注意してその時間発展を解き、以下の結果を得た。

(1)電離波面が伝搬して初期のシュトレームグレン半径に達したところで衝撃波が立ち、電離面と衝撃波の間に高密度シェルが形成される。(2)初期フェーズでは解離波面が電離波面より速く伝播するため、電離領域外部に解離領域が広がる。(3)しかし解離面は次第に減速され、やがて電離面、衝撃波面に追いつかれてしまう。この結果、シェル内の物質は完全に中心星からの紫外放射にブロックされ、どんどん水素分子とCO分子が中に溜ってくる。(4)シェル内の物質は重力により不安定であり、やがてこの中で次世代の星形成が促進されることが予想される。(5)星の光度やまわりの物質密度を変えた場合、定量的な違いはいくつかみられるが、基本的なふるまいは変わらない。また定量的な違いの傾向は、解析的に出される簡単なスケールリング則に一致する。

申請者は、特に今回の目玉である(3)のプロセスに注目して、丁寧に解析を進めた結果、これが単に解離面が衝撃波面にとりこまれたということだけでなく、分子の再生成の時間スケールが系の動的進化の時間スケールより短くなることも重要であると看破した。これは、申請者の高い物理的直感力を示すものといえる。また、単にシミュレーション結果を羅列するのではなく、結果を常に、簡単な解析モデルで理解しようとしている点も、その研究能力の高さを伺い知らされるものである。

さらに彼は、実際に中心大質量星がまわりにおける星形成活動を誘発していると考えられるシャープレス104の観測結果を吟味し、理論との比較し、その観測がまさにシェルによる紫外放射のシールドという観点から定量的にも説明できることを示した。観測データから重要な物理を取り出し、理論・観測のバランスよく考察を進めた点も、高く評価できる。

最後に申請者は、以上調べてきたプロセスが、われわれの銀河における星生成活動をどの程度説明しうるかを調べるため、今回のシナリオにそって星形成率を見積り、観測から評価された星形成率と同じオーダーであることを見いだした。これは、今回のシナリオが、近傍の星形成活動の一端を担いうることを示したもので、星形成活動のみならず、銀河系・星間物理の進化にも極めて重要である。

以上まとめると、申請者の仕事は、天文学の中心課題の一つに真っ向から取り組むもので、計算された状況がやや理想的である弱点はあるものの、その意義は高く評価できる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。