

# 星に星間ガスは降り積もるか？ 太陽圏を低質量初代星に応用



田 中 周 太

〈青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 〒252-5258 相模原市中央区淵野辺 5-10-1〉

e-mail: sjtanaka@phys.aoyama.ac.jp

宇宙の誕生後、重元素の合成が進んでいない中で最初に生まれる星々を初代星と呼ぶ。初代星は大質量星になりがちだが、低質量初代星も誕生すると考えられている。低質量初代星は寿命が宇宙年齢を超えるため、金属量ゼロの主系列星としてわれわれの銀河系内でも観測されうが、そのような星は今まで発見されていない。この観測結果は統計的に低質量初代星の数に非常に厳しい制限を与えている。別の解釈は、星間物質が低質量初代星に降着し星表面を金属汚染するというものである。つまり、現在観測されている金属欠乏星のいくつかを金属汚染された低質量初代星として解釈する。われわれはこの星表面の金属汚染において星風の効果を考慮した。なぜなら、太陽系においては太陽風によって星間物質の降着が阻害されていることがわかっているためである。低質量初代星はその一生のほとんどの時期で太陽同様に恒星圏を形成する。恒星圏には中性の星間物質のみが侵入できるが、ほとんどの中性物質は星の紫外線によって電離されるため再度恒星風によって恒星圏外へ掃き出される。降着流と恒星風の相互作用の重要性を示し、現在観測されている金属欠乏星の金属量を単純な星間物質の降着で説明することの困難を議論する。

## 1. はじめに

われわれに最も馴染み深い天体はもちろん太陽であろう。太陽は核融合をエネルギー源とする恒星であり、恒星は宇宙に無数に存在する。恒星とは言いつつも、誕生時の質量によって白色矮星、中性子星、ブラックホールなどに向かって時間進化し、恒久的に存在するわけではない。生まれては消える。一方で現代では、宇宙にも始まりがあることが宇宙マイクロ波背景放射の観測などからわかっている。これらを総合すると一見当たり前の結論にたどり着く。つまり宇宙で最初に作られた星々があるはずだ。それらを初代星と呼ぶ。

宇宙で最初に作られた星とは何とも壮大な話になったが宇宙物理学の話なので仕様がな。ただ、本稿で取り上げさせていただく初代星の話は冒頭

で述べた「馴染み深い太陽」と関連させた最近のわれわれの研究の話である。この二つを関連させたという意味で特徴的な研究と言えるだろう。ただし、そもそも私自身がこれまで「初代星」や「太陽」に関する研究を専門としてきたわけでもないで、まずは語弊が生じない程度に、「初代星」と「太陽」についての研究のうち、本稿に関わる部分のみに絞ってまとめる。筆者の不勉強を補うためにいくつか最近の日本語の記事を挙げるので詳しくはそちらを参照してほしい。鈴木健氏も過去の天文月報の記事で述べているように<sup>1)</sup>、太陽風に関する研究は天文学会で閉じないために天文月報以外の記事を含むが、すべてインターネットでも見つけることが可能である。

### 1.1 初代星

宇宙で最初にできる星はどんな星なのか？ こ

の問いは、ビッグバンと呼ぶ火の玉から始まった宇宙が星に満ちた現在の宇宙になるまでの、つまり天体形成論の出発点の探究である。初代星研究は宇宙論と天体形成論の交点とも言えるだろう。観測データが豊富で多様性のある「銀河系における現在の星形成」に比べて、精密宇宙論に基づくために初期条件の不定性が少ない「初代星形成」は、特に理論研究者の注目を集めている<sup>2)</sup>。

初代星は宇宙再電離、銀河中心大質量ブラックホールの種、最近ではガンマ線バーストや連星ブラックホールからの重力波源とも関連して研究が行われている<sup>3)-6)</sup>。初代星は現在の星と比べて星の典型的な質量が太陽の数十倍、数百倍と大きくなる傾向が示唆されており、宇宙再電離などの上記のトピックでも注目に値するのは大質量の初代星である<sup>7)</sup>。一方で、典型的な質量よりも軽い星、重い星もできるわけで、質量関数、つまりどのような質量の星がどれくらいできるかに関する議論が初代星形成理論では注目されている<sup>8)</sup>。本稿で注目するのは太陽と同等かそれ以下の質量をもつ低質量初代星である。

初代星の観測的制限が少ないのはずっと昔に作られたから、つまり何百億光年も離れたずっと遠くで観測されるからである。星は質量が大きいほど明るく輝くのだが、次世代大型望遠鏡をもってしても大質量初代星を直接観測するのは遠すぎるため難しいとされる。一方、間接的な観測の可能性も議論されている。星は質量が大きいほど寿命が短く、超新星爆発などを伴い華々しく散る。また、その成れの果てとして数十太陽質量のブラックホールとして宇宙を漂うと考えられる。これらをガンマ線や重力波で調べるのが間接観測と言える<sup>5),6)</sup>。

低質量の初代星はどうであろうか。低質量初代星の進化の研究から、質量が太陽の8割以下の星の恒星としての寿命は宇宙年齢を超えることがわかっている。つまり、仮にそのような低質量の初代星が形成された場合、現在においても主系列星

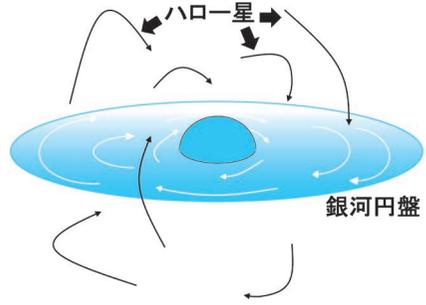


図1 銀河系の模式図。天の川銀河はバルジと円盤をもつ円盤銀河で、円盤部では現在でも星形成が続いている。バルジにも円盤にも属さない星も存在し、ハロー星と呼ばれる。われわれの太陽は円盤に属する恒星の一つである。

として存在するのである。古い星はどこにいるのかというと、銀河系ハローに含まれるとされている。図1のように、われわれの属する天の川銀河は円盤とバルジをもつが、どちらにも属さないハロー星も存在する。銀河は宇宙誕生後、原始銀河の合体成長で作られる。円盤部では常に新しく星が作られるが、もともと原始銀河に属していた星はそれらとは違う軌道を取るため、ハローに存在するというわけである<sup>9)</sup>。実際に太陽よりも10万倍以上も重元素量が少ない金属欠乏星がハロー星の中から見つかっており、太陽系のように銀河が化学進化した後に作られた星ではないことがわかる。しかし、ごく宇宙初期の重元素を含まない時期に作られた「ゼロ金属星」がこれまでに観測された例はない<sup>10)</sup>。

## 1.2 太陽圏

太陽系と呼ばれる太陽の重力に支配された系があることは、ティコ・ブラーエの観測データに基づくヨハネス・ケプラーによるケプラーの法則の発見を経てアイザック・ニュートンによる万有引力の法則の発見により、300年以上も前に確固たるものとなっている。一方で、太陽から太陽風と呼ばれるプラズマの風が吹いていることは1958年にユージーン・パーカーが理論的に予言し、後に衛星による観測で確かめられた現象である。

60年ほど前のことになる。太陽は銀河円盤に属し、星間物質と呼ばれるプラズマの中を運動しているため、図2のように、太陽風プラズマはこの星間物質を押しつけて太陽圏と呼ばれる半径100 AU以上に広がった領域を形成している<sup>11)</sup>。海王星の軌道半径はせいぜい30 AUなので、地球を含むすべての惑星は太陽圏に内在し太陽風プラズマにさらされているのである。

太陽内部の核融合で作られるほとんどのエネルギーは約6,000度の黒体放射として主に可視光域で安定的に光っており、われわれの地球上での暮らしを支えている。その100万分の1程度のほんの一部のエネルギーが、太陽表面活動を介して電波からガンマ線にわたる非熱的な電磁放射や太陽風プラズマ流などとして放出される<sup>12)</sup>。しかし、この太陽表面活動に起因するダイナミックな過程は宇宙天気現象と深く関わっており、地磁気嵐（オーロラ）などとしてわれわれの生活と深く関わっている<sup>13)</sup>。さらに、基礎物理現象としても、粒子加速、磁気再結合、無衝突衝撃波などの非平衡プラズマ現象が絡んでおり、今も活発に研究されている<sup>14)~17)</sup>。

太陽風には太陽表面の高緯度領域から出る高速風と低緯度領域から出る低速風があり、そのメカニズムは今なお研究の対象であるが、基本となるのはパーカーによる球対称の熱駆動太陽風モデルである<sup>12), 18)</sup>。そのモデルによると太陽風は100万度に達する太陽コロナの熱によって駆動され、遷音速点を超えてからは速度がほぼ一定の超音速流になる。太陽風プラズマは完全電離であり、磁場を伴うが磁場はエネルギー的には主要な役割を果たさず、太陽半径の数倍にある遷音速点を超えると動圧が支配的な流れとなる。太陽圏の大きさは膨張に伴い減少する太陽風の動圧と星間物質の磁気圧が釣り合う位置で決まり、ボイジャーなどの観測から、太陽から100 AU程度離れたところが境界であるとわかっている<sup>11)</sup>。

太陽風はほぼ水素（95%）とヘリウム（5%）

で構成されており、速度と密度は地球軌道で典型的には400 km/sと5個/cm<sup>3</sup>程度である<sup>19)</sup>。地球以遠で速度はほぼ一定で、密度が距離の自乗に反比例して小さくなると考えればよい<sup>11)</sup>。つまり、100 AUまで到達した太陽風は密度がさらに4桁下がり、星間物質の典型的な密度（1個/cm<sup>3</sup>）よりも数桁希薄なため、基本的にはプラズマ粒子同士のクーロン衝突が無視できる無衝突系である。しかし、星間プラズマが磁化しているため、プラズマの反磁性を考えると太陽風プラズマは星間物質の存在領域に自由に侵入することができない。逆に星間プラズマも太陽風プラズマの持つ磁場によって押しつけられている（図2）。結局無衝突系であるにもかかわらず図2にあるような流体的な描像が成立する。太陽圏は（i）超音速恒星風、

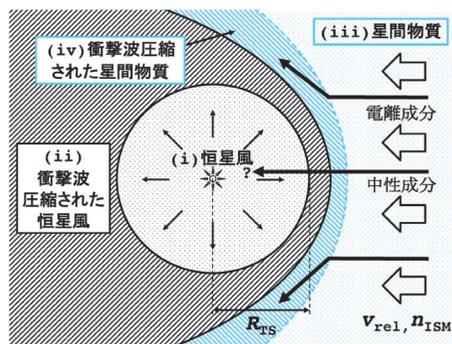


図2 太陽圏（恒星圏）の模式図。四つの領域に分けて考える。ほぼ流体的な描像で描かれており、領域（i）と（ii）の境界は逆行衝撃波、領域（ii）と（iv）の境界は接触不連続面、領域（iii）と（iv）の境界は順行衝撃波。（i）恒星風領域：恒星から吹く超音速のプラズマ流で占められている。（ii）衝撃波圧縮された恒星風：恒星風と星間物質の相互作用で作られた逆行衝撃波で圧縮された恒星風で占められている。（iii）星間物質：銀河の重力に補足された、星と星の間に分布する部分電離プラズマ。（iv）衝撃波圧縮された星間物質：恒星風と星間物質の相互作用で作られた順行衝撃波で圧縮された星間物質。恒星と星間物質の相対速度  $v_{rel}$  が星間物質の音速を上回るとこの領域が存在する。星間物質の中性成分はこの領域にとらわれず運動できる。

(ii) 圧縮された恒星風, (iii) 星間物質, (iv) 圧縮された星間物質という四つの領域に分けることができる。

ここで注目すべきなのは、星間物質が平均的に9割が中性の部分電離プラズマであるということである。星間中性物質は太陽風磁場とは相互作用せず、希薄な太陽風プラズマ粒子との衝突も無視できるために、太陽圏内に侵入できるのである。人工衛星を用いて地球近傍における星間物質由来の中性粒子も観測されており、太陽が星間物質に対してどのように運動しているかや、星間磁場の向きなどが調べられている<sup>11)</sup>。

## 2. 降着流 vs. 恒星風

本稿の主題となるのは、低質量初代星に星間物質が降着するか否かである。この疑問の発端となったのは「ゼロ金属星である低質量初代星でも、化学進化した銀河内の星間物質が降着することでゼロ金属星でなく金属欠乏星として観測される。」という話題を筆者が耳にしたことにある<sup>20)</sup>。低質量初代星は表面对流層が薄いために、星質量に対して少量の金属が降り積もるだけで見かけ上金属汚染が早く進むという話である。しかし、その論調が筆者の知っている太陽圏の描像と合わなかった。そもそも太陽は自身の大きさの1万倍にも広がった立派な太陽圏を保持しており、星間物質をはね退けているのだ。

まずは恒星風を忘れて、どれくらいの量のガスが降り積もるかを見積もってみよう。例えば太陽が相対速度  $v_{\text{rel}}=20 \text{ km/s}$  で数密度  $n_{\text{ISM}}=1 \text{ 個/cm}^3$  の星間空間を進んでいるとすると、ホイール=リットルトン降着率は  $\dot{M}_{\text{HL}} \approx 10^{-16} M_{\odot}/\text{年}$  となる<sup>21)</sup>。  $M_{\odot}$  は太陽質量。宇宙年齢は約100億年なので、宇宙年齢の間に降り積もる総質量としては  $\approx 10^{-6} M_{\odot}$  になる。低質量初代星の表面对流層は  $\approx 10^{-3} M_{\odot}$  なので<sup>22)</sup>、表面对流層の千分の1は降着物質である。降着物質がすべて太陽組成であった場合には、この低質量初代星は太陽組成の千分の1の組

成の星として観測されるということになる。太陽組成の10万分の1の金属欠乏星などは常識的な範囲で  $v_{\text{rel}}$  や  $n_{\text{ISM}}$  を変えることで、容易く説明されるように思われる。

逆に降着流を忘れて、恒星風として出ていくものを考えよう。地球軌道での太陽風の速度と密度から  $\dot{M}_{\text{wind}} \approx 10^{-14} M_{\odot}/\text{年}$  であることがわかる。太陽は約50億歳であるので、太陽風として失った質量は、生まれてから勘定してもまだ1万分の1にも満たない。しかし、この質量流出率は先ほど見積もった質量降着率の100倍にも及ぶ。出るほうが入るほうより多いので、一見星間物質が星へ降着することは困難なように思える。実際に太陽は太陽圏を作っており、星間物質が太陽に降り積もっているとは考えない。

ただし、 $\dot{M}_{\text{HL}}$  と  $\dot{M}_{\text{wind}}$  の比較だけでは十分ではない。どのような場合に降着流が恒星風に打ち勝ち、星に降り積もることができるだろうか。考慮すべきなのは降着流と恒星風の圧力バランスである。最も単純化したモデルでは、降着流と恒星風が無衝突系であることを無視して、流体的な対向流とする。恒星風の動圧は恒星風の密度と共に星から離れると下がる。降着流については恒星と星間物質の相対運動の動圧を考える。

圧力が釣り合う特徴的な半径(図2の  $R_{\text{TS}}$ )が、恒星風の密度と速度、降着流の密度、恒星と星間物質の相対速度によって決まる。太陽圏同様の恒星圏を形成するには、この特徴的な半径が恒星の重力半径(恒星の重力ポテンシャルの大きさが降着流の運動エネルギーと同じになる半径)の外側になればよい<sup>23)</sup>。低質量初代星は太陽風程度の速度と密度をもつ星風をもつとされている<sup>24)</sup>。計算すると、低質量初代星が星間空間の高密度領域 ( $n_{\text{ISM}} > n_{\text{crit}}$ ) を通過している際は、恒星圏が維持できないことがわかる。ここで、

$$n_{\text{crit}}(v_{\text{rel}}) \approx 10^4 \text{ cm}^{-3} \left( \frac{v_{\text{rel}}}{200 \text{ km s}^{-1}} \right)^2$$

であり、星間物質の典型的な密度  $1 \text{ 個}/\text{cm}^{-3}$  に比べるとはるかに大きい<sup>25)</sup>。

低質量初代星が  $n_{\text{crit}}$  ( $v_{\text{rel}}$ ) を超えるような高密度領域を通過することは起こるだろうか。低質量初代星 10 個の内に 1 個程度は宇宙年齢の間にそのような高密度領域を通過して、太陽組成の 100 万分の 1 程度まで金属汚染が可能と見積もる研究もある<sup>26)</sup>。定性的な見積もりでは、宇宙初期では物質密度は高く、銀河がまだ軽いため相対速度が小さい。そこでこの時期の星間重元素の降着が期待されている<sup>20)</sup>。しかし、この間に答えるには、低質量初代星が宇宙初期に原始銀河の中で誕生してから、その銀河の衝突合体や化学進化を解きつつ、低質量初代星の銀河内での軌道を追う必要がある。現在のコンピュータシミュレーションでこの問題を解くのは、特に高密度領域の扱いにおいて困難がある<sup>27)</sup>。ただ次章以降で述べるように、そもそも本稿で主題としたいのは  $n_{\text{crit}}$  の見積もり自体が妥当なのか、ホイール=リットルトン降着の描像は正しいのか、という点である。

### 3. 恒星風に捕捉される星間重元素

一般には、低質量初代星が星間空間を運動中に恒星圏が形成されるような低密度領域 ( $n_{\text{ISM}} < n_{\text{crit}}$ ) を通過していても、図 2 の領域 (i)–(iv) のようにきれいに分断された領域が形成されるかどうかはわからない。そもそも星間物質の電離成分と違い、中性成分は無衝突なので境界を自由に横断できる。さらに、中性成分の効果を考えて領域 (i) と (ii) の境界である逆行衝撃波すら形成されない可能性も過去に議論されている<sup>28)</sup>。ただし、太陽圏に関しては力学構造が図 2 から大きく逸脱しているとは考えられていない。ここでは、図 2 のような恒星圏の下で、恒星風領域 (i) に侵入した星間中性物質がどのように振る舞うかを考える。

この問題に関しては先に述べたように太陽圏での詳しい研究が行われており、地球近傍で星間中性物質の流れを観測することでわれわれは太陽圏

の中にいながら太陽圏外の星間物質の情報を得ることができる。ただし実際には、太陽光による光電離、太陽風プラズマとの荷電交換反応、非熱的電子による衝突電離を介して、星間中性物質も太陽風プラズマと相互作用する。いったん電離された星間中性物質は「ピックアップイオン」と呼ばれ、太陽風磁場に補足されて太陽圏の外縁へ吹き飛ばされる。つまり、太陽に星間物質が降着するには、1 階電離されるより前に太陽表面に到達すれば良い。

今回は恒星圏に侵入した星間中性物質の電離過程として、低質量初代星による光電離のみを考える。理由としては以下の 2 点を挙げておく。(1) 金属量の指標となる「鉄」について、荷電交換反応と電子衝突の断面積のよいデータがない。(2) 光電離のみで十分電離してしまう。図 3 は可視光から極端紫外線での太陽光スペクトルの観測データを元に計算した、太陽表面での光電離速度である。重元素は水素、ヘリウムに比べて尽く電離速度が大きいことがわかる。電離速度は元素毎に異なり、第一イオン化ポテンシャルの大きなヘリウムなどは電離し難いため、容易く地球軌道より内側に侵入することが確認されている。逆過程の再結合は無視することができる。

光電離速度がわかったが、星間中性物質が星表面に到達するかどうかはどのように見積もるべきか。力学的には星間中性物質は太陽に自由落下すると考えればよい。比べるべきものは自由落下時間と電離速度 (の逆数) ということになる。低質量初代星の星表面での自由落下時間は  $10^3$  秒程度であるため<sup>30)</sup>、図 3 と比較するとすべての元素が落下前に電離が進行することがわかる。

図 4 は星間中性物質のうち、酸素 (O)、炭素 (C)、鉄 (Fe) が光電離を受けながら自由落下していく過程を計算したものである。無限遠 (図の右側) での中性成分の量に対して、星表面 (図の左側) にどれだけ電離されずに到達するかを示している。低質量初代星の大きさや光度などは過去

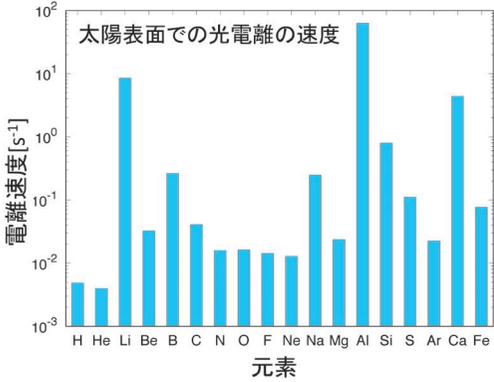


図3 太陽表面において毎秒いくつの中性原子が1階電離するかを代表的な元素について計算したもの。光電離のみを考えている<sup>29)</sup>。輻射場は地球で観測されている太陽の平均的なスペクトルを太陽表面での値に規格化している。

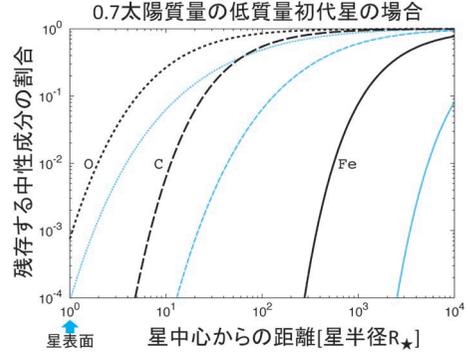


図4 太陽の0.7倍の質量をもつ初代星周辺での光電離過程。グラフの左が星表面に相当し、無限遠(右側)から落下してくる中性の元素(O:酸素, C:炭素, Fe:鉄)を表している。グラフの右端(星半径の1万倍の距離)では、星の輻射場が小さいために光電離は進行していないが、星に近づくにつれて急激に電離が進行する。星表面に到達する中性酸素(黒点線)は、星間空間中の量の千分の1程度である。線の色は星の星間物質に対する相対速度の違いで黒線は200 km/s, 青線は20 km/sの場合。

の星の進化計算の結果を採用した<sup>30)</sup>。太陽の0.7倍程度の質量をもって生まれた初代星が恒星圏を作っている場合、周辺の星間物質中の酸素の内の電離していない成分のさらに1000分の1程度が星の表面に到達することが可能である(図4の黒点線)。一方で、鉄は星半径の100倍以上離れた位置でほぼ電離されて(黒実線)、表面に到達することはない。

#### 4. まとめと議論

金属欠乏星と低質量初代星との対応に関連して、星間物質中の重元素が恒星に降着するかどうか議論されている。本稿では太陽風が作る太陽圏と関連させて、低質量初代星が作る恒星圏を考えた。恒星圏がある場合でも星間中性物質は自由に恒星圏に侵入できるため、星表面に降着可能性がある。しかし、星に近づくに連れて星間中性物質は電離され、恒星風にピックアップされるため星に降着することができない。

この結果は、もし低質量初代星が宇宙初期に形成されている場合はゼロ金属星として観測できることを示唆している。また、金属欠乏星は現在も誕生時の金属組成を保っていると結論することも

できる。ただし、これは低質量星の周りに恒星圏が形成されている場合の話である。

まず問題となるのは、低質量初代星から星風は吹くかどうかである。最近の鈴木健氏による研究で、低質量初代星が太陽同様にダイナモ磁場をもっていれば星風が吹くことが数値的に示された<sup>24)</sup>。大気の高元素量の違いにより低質量初代星の方が太陽よりも質量放出率が大きくなり、コロナ領域からの軟X線放射も大きくなる。結論としては、太陽圏同様の恒星圏を形成することが期待できる。

第2章で述べた「降着流と恒星風の圧力バランス」についてもまだわからないことがある。動圧の釣り合いを考えたという部分に流体的な描像を用いたが、実際には第3章の議論にあるように星間物質は部分電離プラズマである。これは天体への物質降着を議論する現象一般に言える話であるが、降着流か恒星風のどちらかが十分に卓越する場合についてしか議論が行われていない。例え

ば、流入の角度分布や、降着に伴う重力エネルギーの開放がどのようにさらなる降着を阻害するか<sup>21)</sup>という問題など、流入と流出を同時に考える場合には根本的な問題が残されている。

第3章で議論したのは星間物質中の中性元素の振る舞いである。星間中の重元素はダストにも取り込まれていると考えられる。ダストに関しては、すでに星の赤外線輻射を考えれば輻射圧によって降着が妨げられるという議論がある<sup>31)</sup>。また、最近発見されたオウムアムアのような恒星間天体が低質量初代星に落下して金属汚染する可能性も議論されている<sup>32)</sup>。ただし、恒星間天体の分布は未知の部分が多く、さらなる観測事例が期待される。

## 謝 辞

本稿の内容は甲南大学の須佐元教授、富永望教授とジョージア工科大学の千秋元研究員との共同研究である論文<sup>25)</sup>の内容をもとにしています。宇宙物理学研究のいくつかのトピックにまたがった研究であったため、本研究においてはたくさんの方々からコメントいただきました。ここですべの方の名前を挙げられませんが、この場で感謝申し上げます。最後に本稿の執筆を進めてくださり、丁寧なコメントをくださった岡部信広氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 鈴木健, 2011, 天文月報, 104, 619
- 2) 大向一行, 2006, 天文月報, 99, 462
- 3) 小野宜昭, 2017, 天文月報, 110, 59
- 4) 稲吉恒平, 2015, 天文月報, 108, 265
- 5) 仲内大翼, 2016, 天文月報, 109, 198
- 6) 衣川智弥, 2016, 天文月報, 109, 728
- 7) 細川隆史, 2013, 天文月報, 106, 772
- 8) 平野信吾, 2015, 天文月報, 108, 337
- 9) 石垣美歩, 2013, 天文月報, 106, 547
- 10) 須田拓馬, 2014, 天文月報, 107, 268
- 11) 鷲見治一, 2015, 日本物理学会誌, 70, 244
- 12) 鈴木健, 犬塚修一郎, 2006, 天文月報, 99, 205
- 13) 長妻努, 2002, 通信総合研究所季報, 48, 123
- 14) 星野真弘, 天野孝伸, 2009, 日本物理学会誌, 64, 421

- 15) 成行泰裕, 2012, プラズマ核融合学会誌, 88, 575
- 16) 岡光夫, 2014, プラズマ核融合学会誌, 90, 687
- 17) 松清修一, 2016, プラズマ核融合学会誌, 92, 87
- 18) Kyoung-Sun Lee, David H. Brooks, 今田晋亮, 2016, 天文月報, 109, 700
- 19) 亘慎一, 2002, 通信総合研究所季報, 48, 21
- 20) 小宮悠, 2015, 天文月報, 108, 511
- 21) 福江純, 2006, 天文月報, 99, 418
- 22) Yoshii, Y., 1981, A&A, 97, 280
- 23) Talbot, R. J. Jr., & Newman, M. J., 1977, ApJS, 34, 295
- 24) Suzuki, T. K., 2018, PASJ, 70, 34
- 25) Tanaka, S. J., et al., 2017, ApJ, 844, 137
- 26) Johnson, J. L., & Khochfar, S., 2011, MNRAS, 413, 1184
- 27) Shen, S., et al., 2017, MNRAS, 469, 4012
- 28) Holzer, T. E., 1972, JGR, 77, 5407
- 29) Verner, D. A., et al., 1996, ApJ, 465, 487
- 30) Marigo, P., et al., 2001, A&A, 371, 152
- 31) Johnson, J. L., 2015, MNRAS, 453, 2771
- 32) Tanikawa, A., et al., 2018, PASJ, 70, 80

## On the Accretion of the Interstellar Medium onto Low-Mass Population III Stars: Formation of Astrospheres Around Low-Mass Stars

Shuta TANAKA

Department of Physics and Mathematics, Aoyama Gakuin University, 5-10-1 Fuchinobe, Sagamihara 252-5258, Japan

Abstract: Although population III (PopIII) stars are thought to be massive, low-mass PopIII stars could be formed and would survive up until the present. They should be found in the halo of our Galaxy, if they exist. Non-detection of low-mass PopIII stars in our Galaxy has already put stringent constraint on the existence of them. On the other hand, some claim that the lack of such stars is as a result of metal enrichment of their surface by accretion of heavy elements from the interstellar medium (ISM). We investigate effects of the stellar wind on the metal accretion onto low-mass PopIII stars because accretion of the local ISM onto the Sun is prevented by the solar wind even for neutrals. We find that low-mass PopIII stars can form astrospheres like the Sun. Once the astrosphere is formed, most of neutral interstellar particles are photoionized before reaching the stellar surface and are blown away by the wind. This demonstrates that low-mass PopIII stars remain pristine and will be found as metal free stars.