

氏名・(本籍)	おお つか まさ あき 大 塚 雅 昭
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理 第 1 2 2 9 号
学位授与年月日	平 成 19 年 3 月 27 日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
最終学歴	東北大学大学院理学研究科博士課程後期3年の課程 平成16年5月科目修了退学
学位論文題目	Chemical Abundance Analysis of the Galactic Halo Planetary Nebulae based on High-sensitivity and High-dispersion Spectroscopy (銀河系ハロー部に属する惑星状星雲の高感度/高分散分光観測に基づく化学組成解析について)
論文審査委員	(主査) 教 授 関 宗 蔵 教 授 斎 尾 英 行, 千 葉 桓 司, 土 佐 誠 教 授 二 間 瀬 敏 史

論 文 目 次

- I. Chemical Abundance Analysis of the Galactic Halo Planetary Nebulae based on High-sensitivity and High-dispersion Spectroscopy
 - 1. Introduction
 - 2. Observations & Data Reductions
 - 3. Data Analysis Procedure
 - 4. Results
 - 5. Discussion
 - 6. Conclusions
- II. Other Related Works
 - 1. Analysis of internal motions in the Halo Planetary Nebula, H 4-1
 - 2. High resolution spectroscopic study of the Halo PNe - the case of H 4-1
 - A. Observed line list for Halo PNe

論 文 内 容 要 旨

惑星状星雲は、ゼロ年齢主系列における質量が1~8太陽質量の範囲にある中小質量星が漸近赤色巨星枝を経て至る最終進化段階と考えられている。星が自身を構成するガスを星周空間に放出するというこの天体は、銀河、更には宇宙の化学的な進化の舞台そのものであり、よってその研究は天文学において非常に重要な意義を持つものだといえる。

惑星状星雲は銀河系内において1,000個以上存在し、その多くは銀河円盤・銀河中心方向に集中し、銀河回転運動に近い空間運動を示している。一方で銀河円盤から遠く離れた所に位置し、銀河回転から大きく外れた高速度運動を示す惑星状星雲も存在している。このような特徴を示す惑星状星雲の多くは銀河系ハロー部に位置していることから、ハロー惑星状星雲と呼ばれている。ハロー惑星状星雲の金属量は太陽の1/10~1/200程度と非常に少ないことから、銀河初期に誕生した星から進化した天体であると考えられている。ハロー惑星状星雲は金属欠乏星の内部進化だけではなく、銀河形成・化学進化を議論する上でも重要な情報を有している天体であると考えられ、数多くの研究がなされてきたが、内部進化状態と起源については未解明のままである。

ハロー惑星状星雲はこれまでに13天体が確認されている。その中でも特に金属量が小さい、K 648 (球状星団 M 15中に存在)、H 4-1, BoBn 1 の3天体については金属欠乏単独星内部進化モデルでは説明が困難なほどの炭素量過剰を示しており、その成因についてはよくわかっていない。また、ハロー惑星状星雲は、0.8太陽質量程度の単独星から進化したのであれば、このような星は、進化途中で星自身が放出してきた膨張ガスがすでに消滅、あるいは十分拡散してしまう前に、表面温度が10,000 K 以上の高温星に進化することができないため、惑星状星雲として進化できないはずである。0.8太陽質量以上の単独星から進化したのであれば惑星状星雲として進化することはできるが、銀河初期から現在にまで存在しているとは考えにくい。内部進化状態と起源に関する問題は、ハロー惑星状星雲が単独星としてではなく、連星として進化したのであれば解決できる可能性もある。本研究は国立天文台すばる望遠鏡の高感度・高分散分光器を利用して得られたハロー惑星状星雲 K 648, H 4-1, DdDm 1 のスペクトルとヨーロッパ南天天文台VLTを利用して得られたハロー惑星状星雲 BoBn 1 のアーカイブスペクトルに対し、精密化学組成解析を行い、その結果得られた元素存在量と、ハロー惑星状星雲の金属量に近い値を示す金属欠乏星の元素存在量を比較することにより、ハロー惑星状星雲の起源、特に、K 648, H 4-1, BoBn 1 の3天体の起源について迫ろうとする試みである。

そのためには、内部進化の程度を示す炭素、窒素、酸素および、ハロー惑星状星雲の金属量を示すものとしてアルゴンの存在量を、それぞれ高精度で求める必要がある。金属欠乏星の研究においては金属量を示すものとして鉄の存在量を採用している。惑星状星雲においては鉄の存在量は必ずしも金属量を示すものではない。なぜならば、惑星状星雲においては、鉄の一部はダストに取り込まれてしまっていることが多いからである。一方、アルゴンはダストに取り込まれることはないため、金属量を示すものとして最適な元素であるといえる。惑星状星雲における元素存在量は主として禁制線の線強度比を用いて決定されている。しかし、禁制線により求められる元素存在量は電子温度の不定性が大きく、正確な値を示していない可能性がある。一方、再結合線により求められる元素存在量は電子温度の不定性が少なく、より正確な値を求められると期待される。本研究では再結合線の弱い電子温度依存性に注目し、炭素、窒素、酸素、およびネオンの存在量については禁制線および再結合線を利用して求めた。再結合線による元素存在量の導出は、サンプル天体のうちの3天体については本研究が初めてである。

ハロー惑星状星雲のスペクトルを解析した結果、1天体あたり、100本から300本以上の禁制線と再結合線を検出することができた。過去の検出例に比べ、2倍から8倍の本数にまで増やすことができた。検出輝線が格段に増えたことで、化学組成解析の不定性を減らすことができ、その結果、ハロー惑星状星雲の化学組成を高精度で求めることができた。再結合線による化学組成解析の結果、K 648 については炭素の存在量、H 4-1 については炭素、窒素、酸素の存在量を求めることができ、また、BoBn 1 については炭

素, 窒素, 酸素, ネオンの存在量が, DdDm 1 については窒素, 酸素の存在量を求めることができた。再結合線により求められた元素存在量と禁制線により求められた元素存在量とを比較すると, 前者から求められた量の方が1~2 dex 多いことがわかった。

再結合線により求められた元素存在量の方が禁制線により求められた量よりも多くなるという傾向は, 銀河ディスク成分の多数の惑星状星雲においても観測されている。本研究で確認された元素存在量の不一致は過去の研究例と矛盾しない。本研究では観測を行ったハロー惑星状星雲における元素存在量の不一致の解釈についても, 他の研究者が提唱している3つのモデル全てを利用して試みた。

K 648, H 4-1, BoBn 1の起源についての議論は, 再結合線を利用して求められた炭素, 窒素, 酸素の存在量と禁制線により求められたアルゴンの存在量, 金属欠乏星においては炭素, 窒素, 酸素, および鉄の存在量とを比較することにより行った。この議論においては金属欠乏星のアーカイブデータを利用した。議論の結果, K 648, H 4-1, BoBn 1の金属量は, 炭素過剰な金属欠乏星(CEMP星)の金属量とよくあうことがわかった。K 648については金属欠乏星のなかでも炭素過剰であることがわかり, H 4-1, BoBn 1については炭素および窒素過剰であることがわかった。K 648, H 4-1, BoBn 1の金属量に対する, 炭素, 窒素, 酸素の存在量比のふるまいはCEMP星のそれと似ていることから, これら三天体はCEMP星が進化した天体であると思われる。CEMP星の多くは連星をなしていることが多いことから, K 648, H 4-1, BoBn 1は連星進化を経験した可能性がある。また, K 648, H 4-1, BoBn 1の炭素, 窒素, 酸素, および鉄の存在量は金属欠乏単独星内部進化モデルで説明が可能かどうかについても議論した。

こうした議論の末, K 648は単独星, 連星のいずれからでも進化が可能で, H 4-1, BoBn 1については連星から進化した可能性が高いと結論づけた。

本論文の第2部においては, ハロー惑星状星雲 H 4-1における内部運動についての解析結果が述べられている。補遺Aにおいては第I部の化学組成解析において検出された輝線がリストされている。

論文審査の結果の要旨

惑星状星雲は太陽の1~8倍の質量を持つ恒星の最終進化段階にある天体で、その殆どは銀河系円盤部に分布するが、近年、円盤部から離れたハローに位置する惑星状星雲がいくつか発見され、いずれも太陽に比して1/10~1/200程度の金属量しか示さないことから、それらの質量と起源、および銀河系形成との関わりが問題となっている。

大塚雅昭提出の論文は、すばる望遠鏡の高感度・高分散分光器を利用して得たハロー惑星状星雲のスペクトルとヨーロッパ南天天文台のアーカイブデータを用いて、計4個のハロー惑星状星雲の元素組成解析を詳細に行い、輝線ごとに適切な化学組成解析法を確立した後に、個々の天体の起源について論じたものである。

解析を行った元素は、惑星状星雲の内部進化の程度を示す炭素、窒素、酸素および、金属量を代表するアルゴンである。8 m級の望遠鏡により、1天体あたり100本から300本以上の禁制線と再結合線を検出できたおかげで、炭素、窒素、酸素、およびネオンについては禁制線および再結合線を利用してそれぞれの存在量を高精度で導出し、これらの天体における金属量の導出のみならず、相異なる導出法による結果の比較検討が可能となった。再結合線を用いた元素組成解析により、ハロー惑星状星雲 K 648 についてはあらたに炭素の存在量を、H 4-1 については炭素、窒素、酸素の存在量を、BoBn 1 については炭素、窒素、酸素、ネオンの存在量を、そして、DdDm 1 については窒素、酸素の存在量をそれぞれ求めて、禁制線から導出した元素存在量と比較した。その結果、いずれの天体においても、前者から求められた組成比の方が1~2 dex多いことが明らかとなった。

著者は、銀河円盤内の惑星状星雲においても同様の差が表れることを確認し、その物理的解釈を試みた結果、ハローに位置する惑星状星雲K 648は太陽質量程度の単独星または連星のいずれからでも進化が可能で、一方、H 4-1、BoBn 1については連星から進化した惑星状星雲である可能性が高いと結論づけた。

これらの結果と考察は、恒星の進化と銀河の化学進化の研究に重要な示唆と知見をもたらすものであり、著者が自立して研究活動を行う上で必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。

よって大塚雅昭提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。