

惑星状星雲M57の形成前の恒星の性質を探る

横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校・附属中学校 天文部：

樋渡 風駕、脇田 都輝（高1）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、

青木 康生（中3）、本間 敦士（中1）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校附属中学校】

要 旨

惑星状星雲M57に対し、形成される前の恒星の主系列段階における性質を撮像観測によって星雲の体積や電子数を計算した。また、既存のM57のスペクトルデータ[2]（以下スペクトルデータ）から元素の構成などを用いた。

1. 目的

M57を形成した恒星の主系列性段階における、大まかな等級・質量を求める。

2. 方法

- ・M57の撮像観測を行う（CMOSカメラ、タカハシC300カセグレン式反射望遠鏡を使用）
- ・観測で得たデータと、Makaliを用いてM57の体積を求める
- ・弊校での分光観測は難しかったため、オープンなスペクトルデータからM57の原子の個数を求め電子密度から質量を求める
- ・元の恒星の性質を、公式などを用いて求める

3. 計算過程とその結果

表1 カウント値の割合と放出される電子の比の合計

HII	HeII	NII	OIII	NeIII	SIII	電子比計
0.1762	0.01471	0.1134	0.6239	0.03067	0.04107	
0.1762	0.01471	0.1134	1.248	0.06134	0.08214	

[1]の研究と同じ手法でM57の質量を求める。スペクトルデータからカウント値の割合をとると、表1のようになった。また、放出される電子の比をとり、それらの総計は1.696になった。これらの値より、M57に存在する原子の個数は表2のようになった。

表2 M57に存在する原子の個数

HII	HeII	NII	OIII	NeIII	SIII
2.652	2.213	1.707	1.878	9.232	1.236
$\times 10^{55}$	$\times 10^{54}$	$\times 10^{55}$	$\times 10^{56}$	$\times 10^{54}$	$\times 10^{55}$

M57は楕円体だと仮定する。観測した写真と[6]から得られたM57までの距離を用いて、M57の体積を求めると、 0.42 ly^3 になった。M57の電子密度を、論文[3]より、 718.7 cm^{-3} とし、中心にある白色矮星の質量を[4]より $0.6 M_{\odot}$ とすると、これらの値からM57の質量は $3.8 M_{\odot}$ になった。

4. 考察

惑星状星雲形成時に核融合反応は生じないため、質量保存の法則より、惑星状星雲と白色矮星の質量と元の恒星の赤色巨星の質量は一致すると仮定する。CNOサイクルにおける質量欠損率は、

$(\text{陽子の質量(g)} \times 4 - \text{ヘリウム原子の質量(g)}) / \text{陽子の質量(g)} \times 4$

$$= (4 \times 1.007u - 4.003u) / 4 \times 1.007u = 0.006207$$

より、ほぼ影響を受けない。また、恒星時の質量放出による減少量は、[5]から約 $1.0 \times 10^{-12} M_{\odot} \text{ y}^{-1}$ よりほぼ影響を受けない。したがって元の恒星の質量は $3.8 M_{\odot}$ であると考えられる。次に元の恒星の等級を求める。質量光度関係より、元の恒星の光度Lは $L = 3.8^{3.5} M_{\odot} = 1.1 \times 10^2 L_{\odot}$ になった。光度は距離に依存しないので、絶対等級を求めると、ポグソンの式より、約-0.27だったと考えられる。

5. 今後の展望

弊校のカセグレン式反射望遠鏡では、M57のスペクトルの観測が難しいことが分かった。今回はオープンデータを使用した。今後天文台を借りてスペクトルを観測したい。また、撮像観測においてより綺麗な像を撮ることで正確な半径を導出することを目指す。

参考文献

[1] 飯田美幸, 高野春菜. 太陽の進化`惑星状星雲`
<https://drive.google.com/file/d/17Bdx1Yx4wjVdFRpPJlP2Kamo4ZKo8YnG/view> (2025年1月20日閲覧)

[2] Williams College. Detail for information NGC 6720
<https://apps.williams.edu/nebulae/spectra.php?nebNGC%206720> (2025年1月19日閲覧)

[3] B Samarakoon, Medagangoda, P Geekiyanage, J Adasuriya, S Gunasekara. "SPECTROSCOPIC DETERMINATION OF ELECTRON TEMPERATURE AND ELECTRON DENSITY OF PLANETALY NEBULAE"
<http://192.248.104.6/bitstream/handle/345/4447/1-9.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (2025年1月19日閲覧)

[4] 天文学辞典（日本天文学会）白色矮星
<https://astro-dic.jp/white-dwarf/> (2025年1月19日閲覧)

[5] 天文学辞典（日本天文学会）質量放出
<https://astro-dic.jp/stellar-mass-loss/> (2025年1月19日閲覧)

[6] Strasbourg astronomical Data Center. "M57". SIMBAD Astronomical Database - Université de Strasbourg. May 2, 2010. <https://simbad.cds.unistar.fr/simbad/> (2025年1月20日閲覧)