

# 太陽の進化～惑星状星雲～

飯田美幸, 高野春菜(高2)【茨城県立竹園高校】

## はじめに

私たちは恒星の一生について興味があり、太陽の進化を調べることにした。一般に質量が太陽の0.5～8.0倍程度の恒星は、進化の最終段階として惑星状星雲になるといわれている。そこで実際の惑星状星雲について検証し、太陽の最終段階についての考察を行う。

## 惑星状星雲とは？

質量が太陽の0.5～8.0倍程度の恒星が、進化の最終段階に放出したガスが輝いているもの。望遠鏡で観測したときに惑星のように見える。

## 研究対象

りゅう座にある惑星状星雲 NGC6543 (姫路市の天文台での観測結果を利用)

## 惑星状星雲になる条件は？

- ・質量
- ・恒星の明るさ、大きさ
- ・構成元素

① NGC6543 は水素だけで構成され、球体であると仮定する。

$$\begin{aligned} \text{水素原子の数 } N(H_2) &= \text{体積} \times \text{電子密度} \\ &= 5.74 \times 10^{51} \text{cm}^3 \times 8.0 \times 10^3 \text{cm}^{-3} \\ &= 4.59 \times 10^{55} \text{個} = 7.62 \times 10^{31} \text{mol} \end{aligned}$$

$$\text{質量} = 7.62 \times 10^{31} \text{mol} \times 1 \text{g/mol} = 7.62 \times 10^{31} \text{g}$$

太陽質量と比較すると、

$$\frac{\text{NGC6543}}{\text{太陽}} = \frac{7.62 \times 10^{31}}{1.99 \times 10^{33}} = 0.038 \text{ (太陽質量)}$$

② カウント値の比 (割合) を取る (比の和が1とする) と

$$\text{H II} : \text{He II} : \text{N II} : \text{O III} : \text{O II} = 0.182 : 0.0276 : 0.0757 : 0.523 : 0.192$$

(Hβ、Hγ、Hδの3つは一階電離状態だからHIIにまとめる。HIは電離していない状態であり、求め方が違うので、後述する。)

これからそれぞれの原子から放出される電子の比 (割合) をとると、

$$\text{H II} : \text{He II} : \text{N II} : \text{O III} : \text{O II} = 0.182 : 0.0276 : 0.0757 : 1.046 : 0.192$$

となり、その総計は1.5233

質量計算①より 電子数は密度×体積=4.59×10<sup>55</sup>個となる。

各原子から放出される電子の個数の比は、

$$\begin{aligned} \text{H II} : \text{He II} : \text{N II} : \text{O III} : \text{O II} &= 0.548 \times 10^{55} \text{個} : 0.0831 \times 10^{55} \text{個} \\ &: 0.228 \times 10^{55} \text{個} : 3.152 \times 10^{55} \text{個} : 0.579 \times 10^{55} \text{個} \end{aligned}$$

次に原子の個数を求める。

ここで、He I はカウント値と実際の個数の比を使うと

$$\begin{aligned} (\text{He I の実際の個数}) : (\text{He II の実際の個数}) &= 28258 : 10794 \\ &= 0.218 \times 10^{55} \text{個} : 0.0831 \times 10^{55} \text{個} \end{aligned}$$

すべての原子の個数から質量を

$$\frac{\text{原子の個数}}{\text{アボガドロ数}} \times \text{原子の質量数} = \text{原子の質量(g)}$$

から、求めると

元素名	H II	He II	N II	O III	O II	He I
質量(10 <sup>30</sup> g)	9.10	5.52	53.02	418.87	153.89	14.49

以上より、総質量は0.655×10<sup>33</sup>gとなる。

$$\frac{\text{NGC6543}}{\text{太陽}} = \frac{0.655 \times 10^{33}}{1.99 \times 10^{33}} \approx 0.330 \text{ (太陽質量)}$$

## まとめ

分光観測から NGC6543 には水素以外にもいくつかの元素が含まれていることがわかった。さらに太陽の進化の最終段階は惑星状星雲であると推測できた。

今後はより正確なデータを得るための観測を行いたい。また NGC6543 の質量が条件を満たせるようにし、太陽がいつ惑星状星雲になるかということも求めたい。

さらに、惑星状星雲以外の進化の最終段階である中性子星やブラックホールなどにも焦点を当てて研究していきたい。

## 参考文献

天文年鑑 2010 年版/誠文堂新光社 理科年表 自然科学研究機構国立天文台編 星間物理学(宇宙物理講座) 小暮智一

## 質量計算

望遠鏡のピクセルスケール 0.82"/pix

$$\text{視直径 } \theta = 35 \text{pix} \times 0.82''/\text{pix} = (7.97 \times 10^{-3})^\circ$$

地球から対象までの距離 1690光年

$$1 \text{ 光年} = 9.46 \times 10^{17} \text{ cm}$$

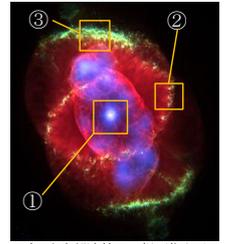
$$1690 \text{ 光年} \times 9.46 \times 10^{17} \text{ cm} = 1.60 \times 10^{22} \text{ cm}$$

$$\text{半径 } R = d \tan \frac{\theta}{2} = 1.11 \times 10^{27} \text{ cm}$$

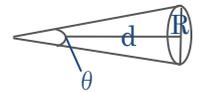
$$\text{体積 } V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \times (1.11 \times 10^{27})^3$$

$$= 5.74 \times 10^{31} \text{ cm}^3$$

$$\text{電子密度} = 8.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$



ハッブル宇宙望遠鏡の可視画像とチャンドラ X線天文台の X線データの合成画像



## 考察①

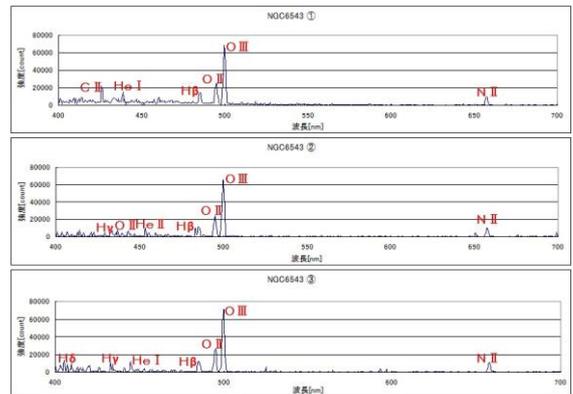
この計算結果では明らかに質量が少ない。つまり水素だけで構成されているという仮定は誤りであると思われる。もし他の元素も含まれているのならば、その分質量は増える。そこで水素以外の元素が存在しないか解析した。

観測対象からの光を分光し、スペクトル線から水素以外の成分元素を発見！！

→ ①の計算結果より質量が大きくなるかも!?

分析結果から多く含まれていた元素をいくつか取り上げ、それぞれの比率を求めた。それを用いて NGC6543 に含まれている元素の質量を計算し、より正確な質量を求めて太陽質量と比べ、太陽の進化の最終段階を推測した。

## ①～③の地点における光のスペクトル分析結果



## 考察②

水素だけで質量を見積もった時よりは大幅に質量が増えている。さらに、惑星状星雲は一般的に可視光では見えない分が周りに広がっていると考えられており、さらに中心に白色矮星があるので、それらの分の質量も考慮すると惑星状星雲になるための条件を満たすと考えられる。したがって、今回の計算は条件を満たしていないが、太陽程度の恒星は進化の最終段階で惑星状星雲になると考えられる。同様に太陽は惑星状星雲になると推測される。