

もしも太陽が星の都で惑星状星雲になったら ～組成から見る惑星状星雲の形状について～

講演番号:53T もし天2024 Nebulous班:

加賀屋 諒(高2)【渋谷教育学園幕張高等学校】、廣中 すみれ(高2)【北海道科学大学高等学校】、
木下 和奏(高2)【石川県立小松高等学校】、千本木 玲季(高3)【神奈川県立横浜緑ヶ丘高等学校】

背景

惑星状星雲とは、中小質量星がその生涯を終える際に質量放出現象を起こして形成される天体である。中心の白色矮星が発する紫外線が周囲のガスを電離する際に生じるエネルギーで輝いて見えることにより目視が可能である。多様な形状がある。先行研究より、元素存在量比が $\text{He}/\text{H}>1/8$ 、 $\log(\text{N}/\text{O})>-3/10$ の惑星状星雲には双極型の天体が多い[3]。

そこで私たちは、円形や楕円形の惑星状星雲とガスを構成する元素の組成には何らかの関係があるという仮説を立てて研究を行った。



図1. 惑星状星雲の画像[1][2]

目的

形状の違いが生じる要因の解明。

→中小質量星がどのような形の惑星状星雲を作るかの予測。

研究手法

惑星状星雲の He/H と $\log(\text{N}/\text{O})$ (個数密度)を求め、独自に作成した惑星状星雲の扁平率との相関関係を求めた。

・ He/H と $\log(\text{N}/\text{O})$ (個数密度)

○絶対的な元素の存在量はわからない

→ He/H (ppチェーンの起こり具合を示す)と N/O (CNOサイクルの起こり具合を示す)で比較する。

・ppチェーン

水素燃焼反応により陽子4個がヘリウムになる恒星内部の核融合反応のサイクル。主に太陽以下の質量の恒星で卓越。

・CNOサイクル

C・N・Oを触媒にして陽子4個がヘリウムになる恒星内部の核融合反応のサイクル。太陽の約1.1倍以上の質量の星から発生する。

C・N・Oの総量は変わらないが、C・N・Oの比率は変化する。

→OがNになる反応が起きづらいのでNがどんどん多くなっていく。

○スペクトルから輝線のフラックスのピークを求める。

→参考文献[4]から引用した式(図2)と値を用いてそれぞれの元素について個数密度を求める。

・扁平率

→楕円が円と比べてどの程度つぶれているかを示す値。

$0 \leq f \leq 1$ の値となり、0に近いほど円、1に近いほど楕円。

Makali'iを用いて導出。

惑星状星雲の外縁を最大輝度の

50%の位置と定義し、ピクセル

数から計算。

$$N(X) = \left\{ \sum_{\lambda}^{obs} \frac{I_{\lambda}}{\epsilon_{\lambda}(T_e, N_e)} \right\} \cdot ICF(X)$$

図2. 引用した式

観測

仙台市天文台のひとみ望遠鏡を用いてスリット幅1.35"でNGC7027を分光観測。

悪天候により標準分光星と

他の天体のデータは得られなかった。

→アーカイブデータから10個の楕円

形または円形の惑星状星雲のスペ

クトル図の、表1に示した輝線の

データを使用した。

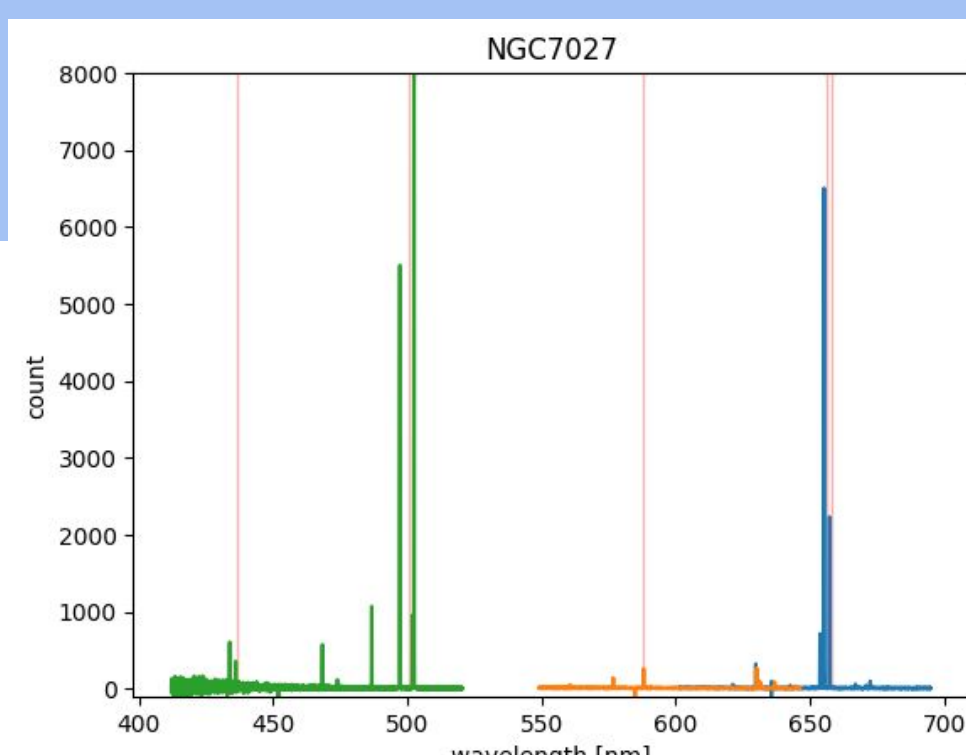


図3. NGC7027のスペクトル

輝線	波長(Å)	輝線	波長(Å)	輝線	波長(Å)
[O II]	3726	He II	4686	[O III]	5007
Hγ	4340	Hβ	4861	Hα	6563
[O III]	4363	[O III]	4959	[N II]	6584

表1. 使用した輝線の波長

結果

扁平率と He/H については図4、扁平率と $\log(\text{N}/\text{O})$ については図5のようになった。オレンジ色の点は観測したNGC7027を、青色の点はアーカイブデータ[5]を用いた天体を示している。

○図4より、扁平率と He/H の間に相関関係は見られなかった。

○図5より、 $\log(\text{N}/\text{O})$ との間には負の相関が見られた。

→ $\log(\text{N}/\text{O})$ が大きい惑星状星雲は扁平率が小さい傾向がある。

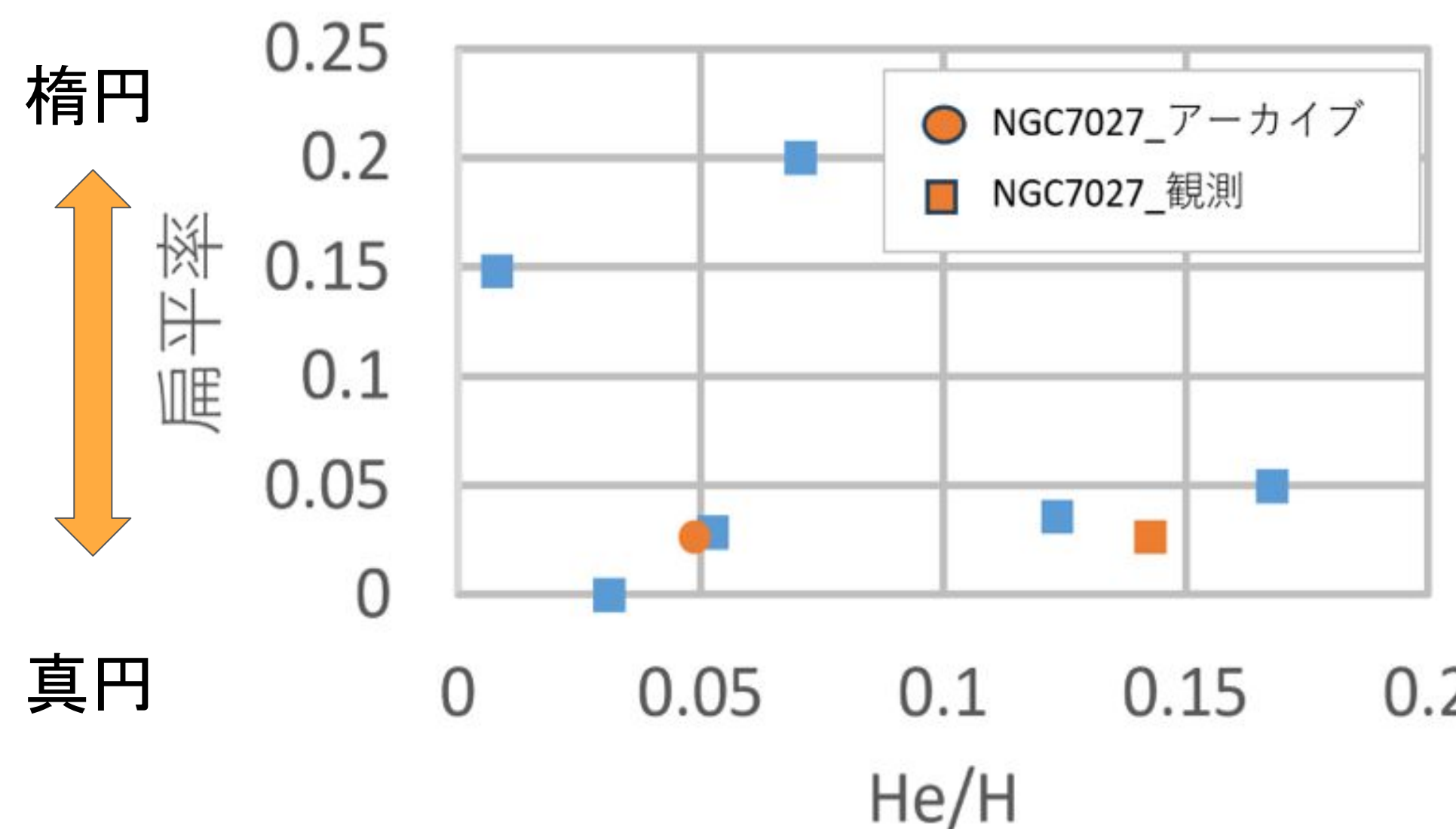


図4. He/H と扁平率

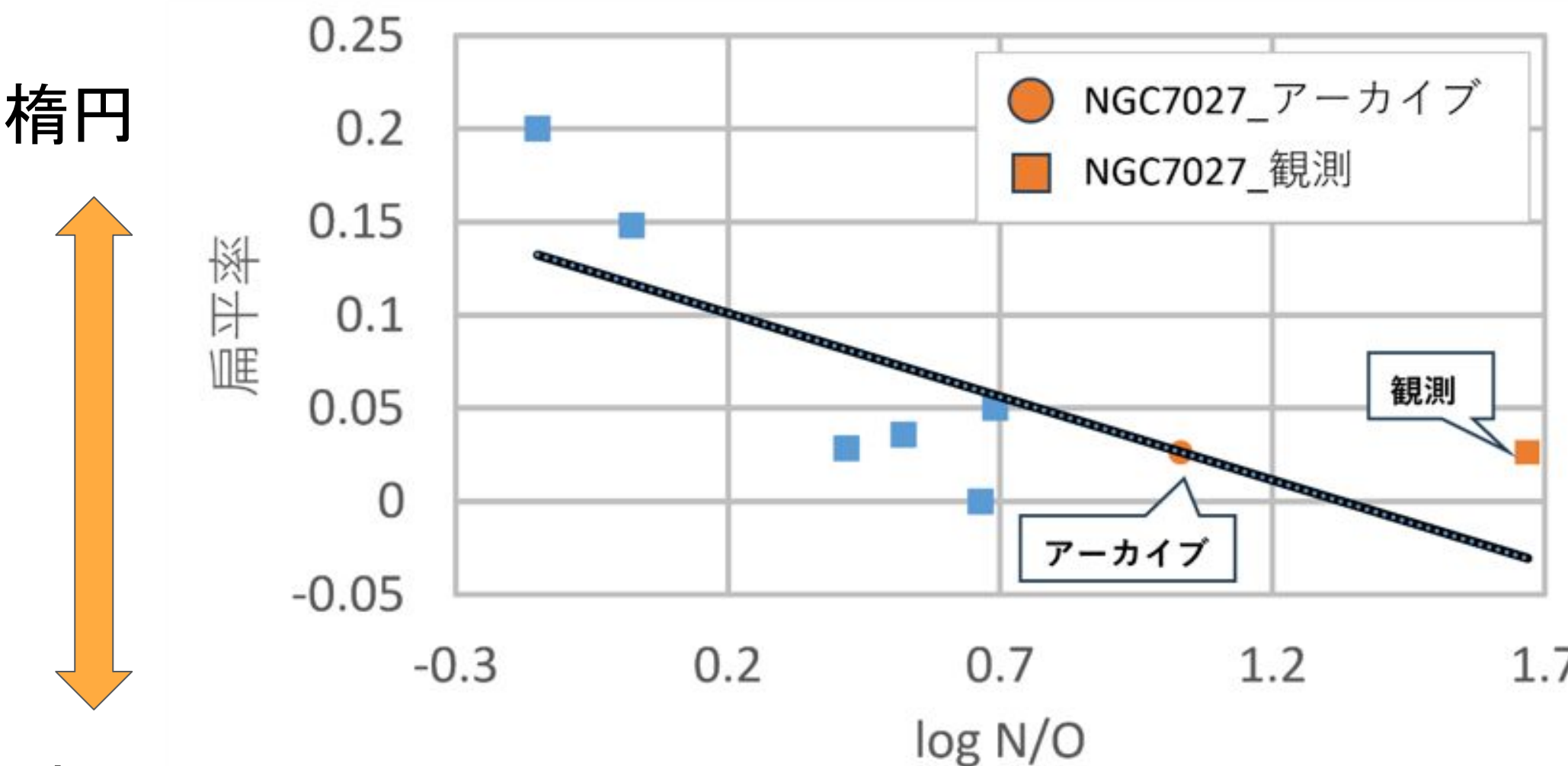


図5. $\log(\text{N}/\text{O})$ と扁平率

考察

・ He/H と扁平率の相関が見られなかった。

→ppチェーンの核融合反応と形状には関係がない。

・ $\log(\text{N}/\text{O})$ が大きい惑星状星雲は扁平率が小さい傾向がある。

→CNOサイクルを盛んに行っていた質量の大きい恒星の質量放出現象によって形成される惑星状星雲は真円に近づく傾向がある。

核融合反応の進み具合は星の質量と関係していることから、惑星状星雲の形状にはもとの恒星の質量が関係していると考えられる。

→CNOサイクルによって変化する窒素、酸素の存在比を調べることで惑星状星雲の形状を予測することができる可能性がある。

今後の展望

惑星状星雲の中心星の特性や、惑星状星雲の立体構造、質量放出を起こす直前の恒星の組成など、惑星状星雲の組成以外の観点と形状の関係についても調査を進める。

謝辞

本研究に際し、仙台市天文台職員の皆様ならびにもし天2024のスタッフの皆様の多大なるご協力を賜りました。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

[1]NASA,Hubble Imagery,https://hubblesite.org/images(2025/3/6閲覧)

[2]ESO,Smoke signals in space,https://www.eso.org/public/images/potw1131a/(2025/3/12閲覧)

[3]M. Peimbert & S. Torres-Peimbert.Proceedings of the Symposium, vol. 103 . D. Reidel Publishing Co., 1983, p. 233-241

[4]Sulfur, chlorine, & argon abundances in planetary nebulae. I: observations and abundances in a northern, samplehttps://inspirehep.net/literature/575345

[5]Karen B. Kwitter & Richard B.C. Henry. “Gallery of Planetary Nebulae Spectra”. https://web.williams.edu/Astronomy/research/PN/nebulae/search/ (2024-12-24)