

# ISLEスペクトルをもちいた惑星状星雲 NGC 7027の元素組成解析

大塚雅昭<sup>1</sup>、柳澤顕史<sup>2</sup>、田実晃人<sup>3</sup>、泉浦秀行<sup>2</sup>、黒田大介<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Space Telescope Science Institute、<sup>2</sup>国立天文台岡山、<sup>3</sup>すばる望遠鏡  
e-mail: otsuka@stsci.edu

## Introduction

惑星状星雲 (Planetary Nebula; PN)は初期質量が 1- 8 Msunの星が、漸近赤巨星枝(Asymptotic Giant Branch; AGB)を経て至る、最終進化段階にある天体と考えられている。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、銀河の化学的進化の舞台そのものであると考えられる。PNの輝線強度比から求められる元素組成比は、PNの親星の様相や銀河の重元素汚染史を知る手助けとなりうる。

我々はPNの元素組成解析と理論モデルとの比較を通じて、親星の様相を詳しく知りたい。そのためには、特にCの量を正確に求める必要がある。現在の理論モデルによれば、Cは中性子捕獲元素とともに、AGB末期に起こるThird Dredge-upによって星表面に運ばれると考えられている。Cとともに中性子捕獲元素量を求めることができれば、PNの親星の様相がより詳しくわかる可能性がある。

我々はNGC 7027における中性子捕獲元素量をIUE、すばるHDS、岡山ISLEによってえられたスペクトルを基に調査した。解析の結果、ISLEスペクトルにおいては[Kr III]2.19 $\mu$ m、[Xe III]1.23 $\mu$ m、そして中性子捕獲で合成される<sup>31</sup>Pの輝線 [P II]1.15/1.19 $\mu$ mを検出した。<sup>31</sup>PはHe-intershell 内でC、Kr、Xeとともに合成されると考えられている。

このポスターでは主にISLE観測による解析結果を報告する。

## Observations

- IUE スペクトル(1150-3350 Å)
  - ・ MASTから複数のデータセットをダウンロード、そして足しあわせ
- すばるHDSスペクトル(3500-7500 Å)
  - ・ 観測日: 2008/10/06 (PI: Otsuka)
  - ・ 積分時間: 1s, 5s, 10s, 30s, 180s, 600s
  - ・ 波長分解能: > 30,000
- 岡山ISLEスペクトル(10700-12500 Å, 20200-23800 Å)
  - ・ 観測日: 2009/04/18,22(観測所時間)
  - ・ 積分時間: 19 x 120s (J-band), 18 x 120s (K-band)
  - ・ 波長分解能: > 2,000

## Reductions & Analysis

- NOAO/IRAF twodspecを使用
- アパーチャサイズの補正
  - ・ Line intensity ratioはNebula内で一定と仮定
  - ・ He II I(1640 Å)/(4686 Å)、H I I(1.09, 2.17 $\mu$ m)/I(4861 Å)の理論値で補正
- イオン存在量の計算
  - ・ multi atomic level ( $\geq 5$ )でのlevel populationを解く

## Results

(1) ISLE観測による[Kr III]2.19 $\mu$ m、[Xe III]1.23 $\mu$ m、[P II]1.15/1.19 $\mu$ mの候補輝線の検出

- これらfine-structure linesから求めたKr<sup>2+</sup>、Xe<sup>2+</sup>はHDSスペクトルで検出されたnebular linesから求めた量とほぼ一致

- ・ Kr<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup>=2.5x10<sup>-9</sup> (ISLE) vs. 2.4x10<sup>-9</sup> (HDS) using Ne(C III) & Te([Kr III])
- ・ Xe<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup>=3.8x10<sup>-11</sup> (ISLE) vs. 4.1x10<sup>-11</sup> (HDS) using Ne(C III) & Te([Kr III])

- [P II] I(1.15 $\mu$ m)/I(1.19 $\mu$ m)は理論値とほぼ一致。P<sup>+</sup>はtrans-aurora linesから求めた量とほぼ一致

- ・ P<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>=1.6x10<sup>-7</sup> (ISLE) vs. 1.7x10<sup>-7</sup> (HDS) using Ne([S II]) & Te([P II])
- ・ I(1.15 $\mu$ m)/I(1.19 $\mu$ m)= 0.33 $\pm$ 0.04 (観測値) vs 0.38 (理論値)

- 結論

- ・ [Kr III]2.19 $\mu$ m、[Xe III]1.23 $\mu$ m: identificationはおそらく正しい
- ・ [P II]1.15/1.19 $\mu$ m: これで確定

(2) すばるHDS観測によるBr、Kr、Rb、Sr、Xe、Ba、Pb輝線を40本以上検出

- 詳細については、日本天文学会等で報告する予定

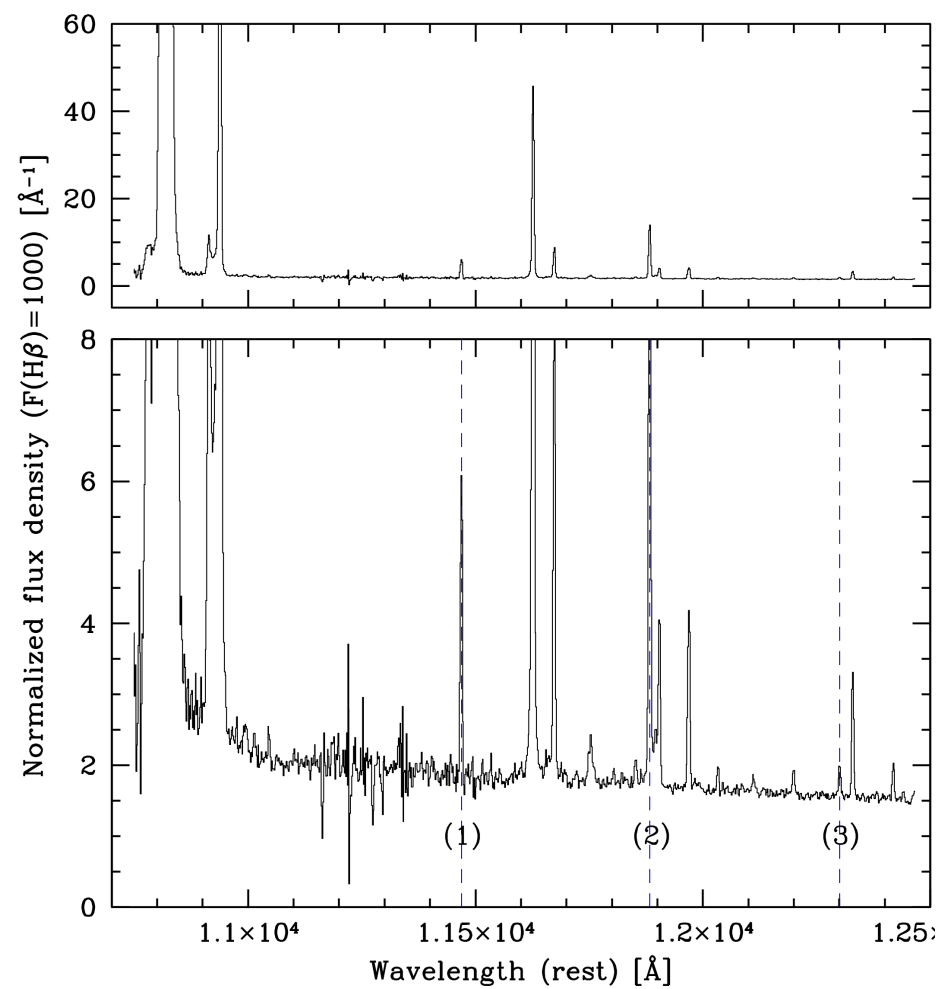


Fig.1: NGC 7027 Jバンドスペクトル。  
(1)[P II]1.15 $\mu$ m; (2)[P II]1.19 $\mu$ m; (3)[Xe III]1.23 $\mu$ m

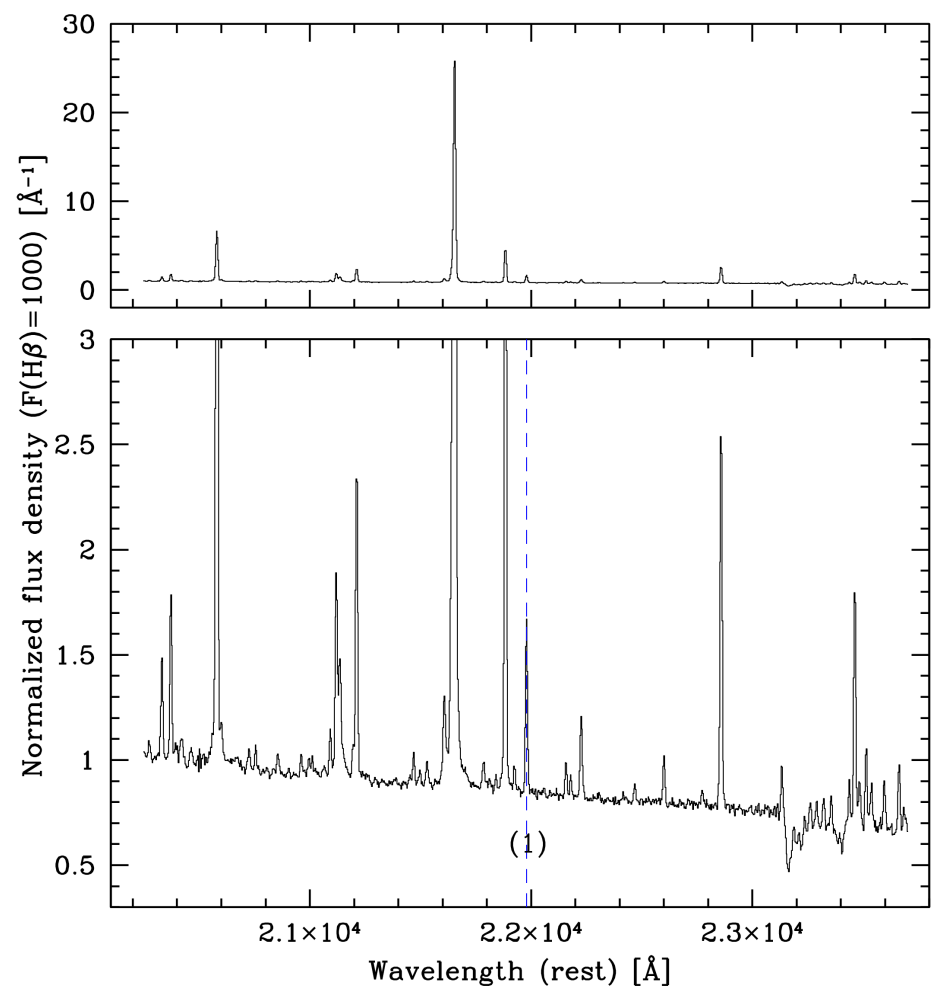


Fig.2: NGC 7027 Kバンドスペクトル。  
(1)[Kr III]2.19 $\mu$ m.2.32-2.34 $\mu$ m付近をのぞいて大気吸収の補正はうまくいっている。

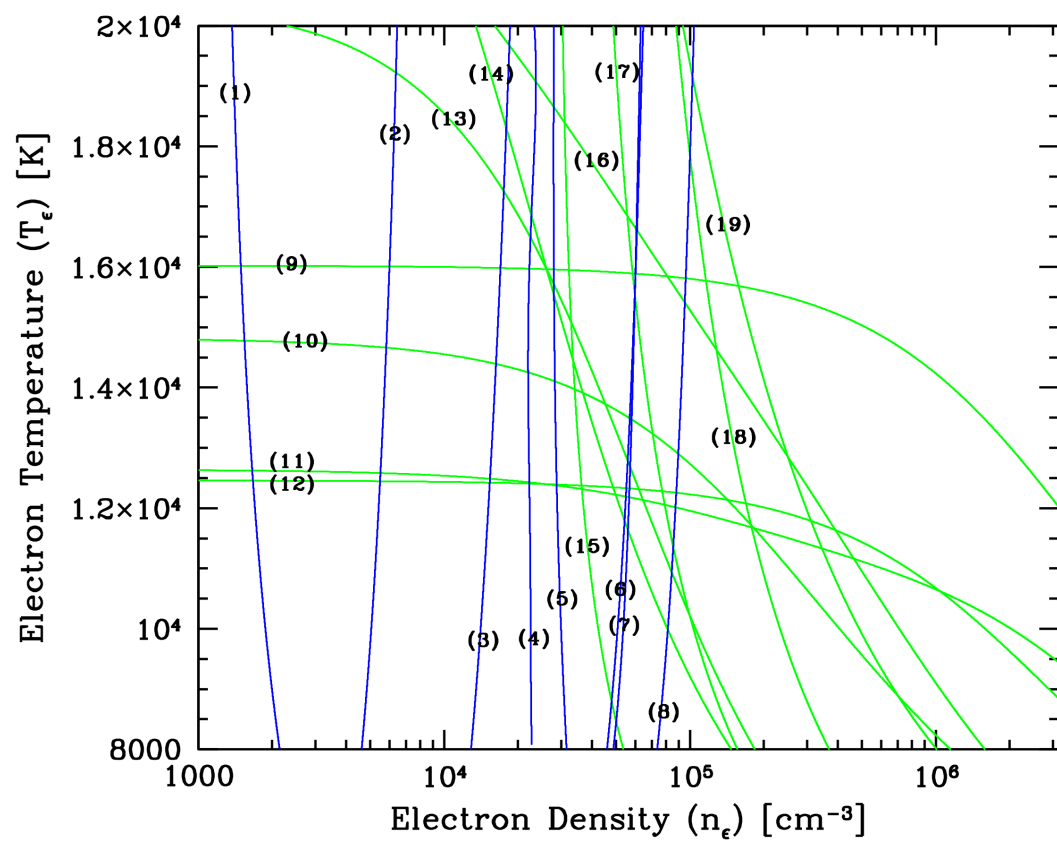


Fig.3: 電離診断図。  
Ne-sensitive: blue lines  
Te-sensitive: green lines

Ne (cm <sup>-3</sup> )				Te (K)			
Diag.	I.P.(eV)	ID	Results	Diag.	I.P.(eV)	ID	Results
[N I]	0	(1)	1,580	[Ar V]	40.7	(9)	15,770
[O II]	13.6	(2)	5,730	[O III]	35.1	(10)	13,800
[Ne IV]	63.5	(3)	16,100	[Kr III]	24.4	(11)	12,280
[Fe III]	16.2	(4)	21,970	[Ar III]	27.6	(12)	12,360
[S II]	10.4	(5)	28,240	[P II]	10.5	(13)	14,910
[K V]	60.9	(6)	60,450	[N II]	14.5	(14)	13,140
C III]	23.4	(7)	58,480	[S II]	10.4	(15)	14,910
[Ar IV]	40.7	(8)	100,000	[K V]	60.9	(16)	15,590
				[O II]	13.6	(17)	15,420
				[Ar IV]	40.7	(18)	17,960
				[Ne IV]	63.5	(19)	18,920

(3) P、Kr、Xe存在量

つぎに、P<sup>+</sup>、Kr<sup>2+</sup>、Xe<sup>2+</sup>からP、Kr、Xeの存在量をIonization correction factor(ICF)をつかってもとめる。N、Clのイオン存在量、元素存在量はIUE & HDSスペクトルを使ってもとめた。

P/H = ICF(P) x P<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>,  
ICF(P) = N/N<sup>+</sup>

Kr/H = ICF(Kr) x Kr<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup>  
ICF(Kr) = Cl/Cl<sup>2+</sup>

Xe/H = ICF(Xe) x Xe<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup>  
ICF(Xe) = Cl/Cl<sup>2+</sup>

元素(X)	ICF(X)	log(X/H)+12	[X/H]
P	9.26	6.17	0.63
Kr	2.72	3.83	0.47
Xe	2.72	2.01	-0.34

(4) 元素合成理論との比較 / 他PNとの比較

NGC7027の(L\*,T\*)と理論進化トラックとの比較から親星質量は3-4Msunと推測されている。本研究からZ~0.008、[Kr/O]=+0.5と求まっている。

この[Kr/O]の量は、1.9 or 2.5 Msun & Z=0.008の理論モデルで推測される量と比較しうる。

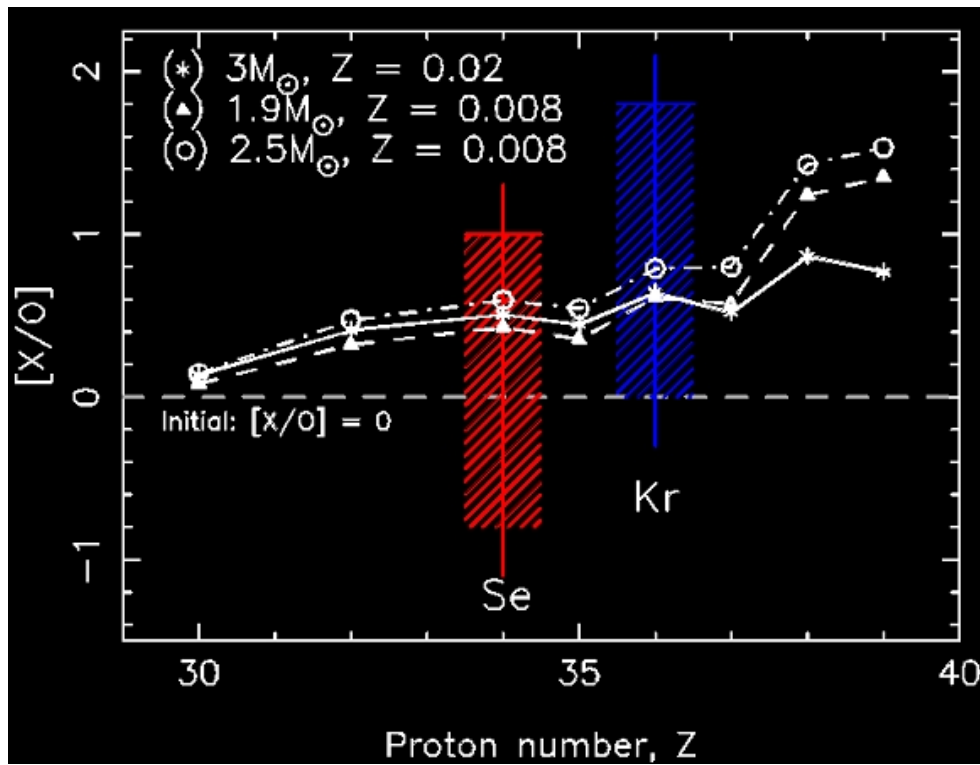


Fig.4: 1.9, 2.5, 3 Msunの親星がPNに進化した時、予想される元素量 (Amanda Karakasによる). PNにおいては網掛けで示されている範囲でSe、Krが観測されている。

[Kr,Xe,Ba/Ar]-[C/Ar] diagramを下に示す。NGC7027はC-richかつ、Kr-richな天体である。[Kr,Xe,Ba/Ar]と[C/Ar]との間で正相関がみられる。中性子ソースはHe-intershell内での<sup>13</sup>C( $\alpha$ ,n)<sup>16</sup>Oと思われ、理論とあう。

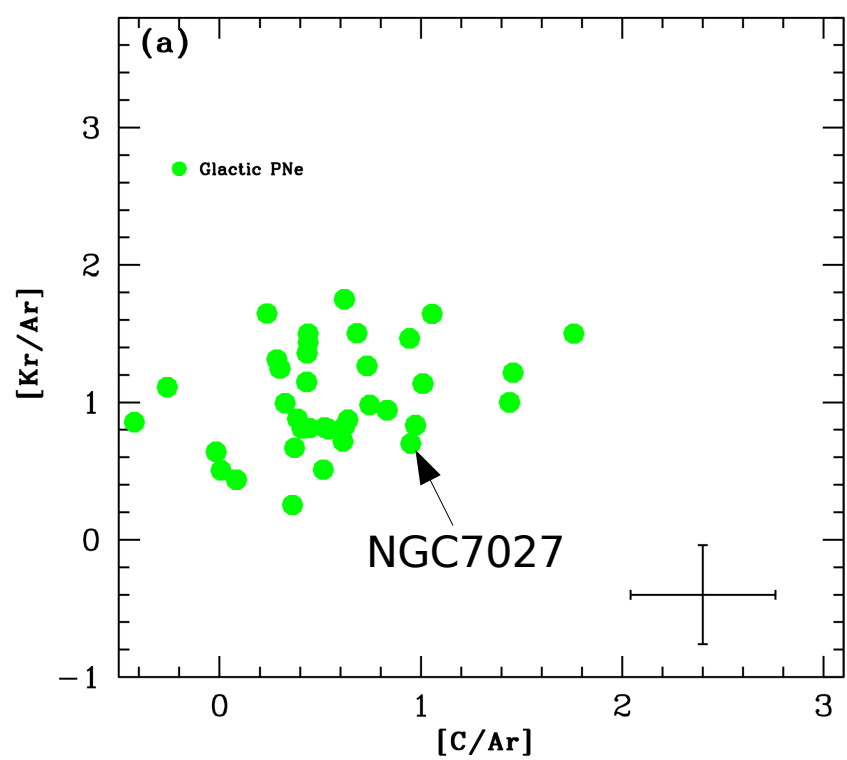


Fig.5: [Kr/Ar]-[C/Ar] diagram.

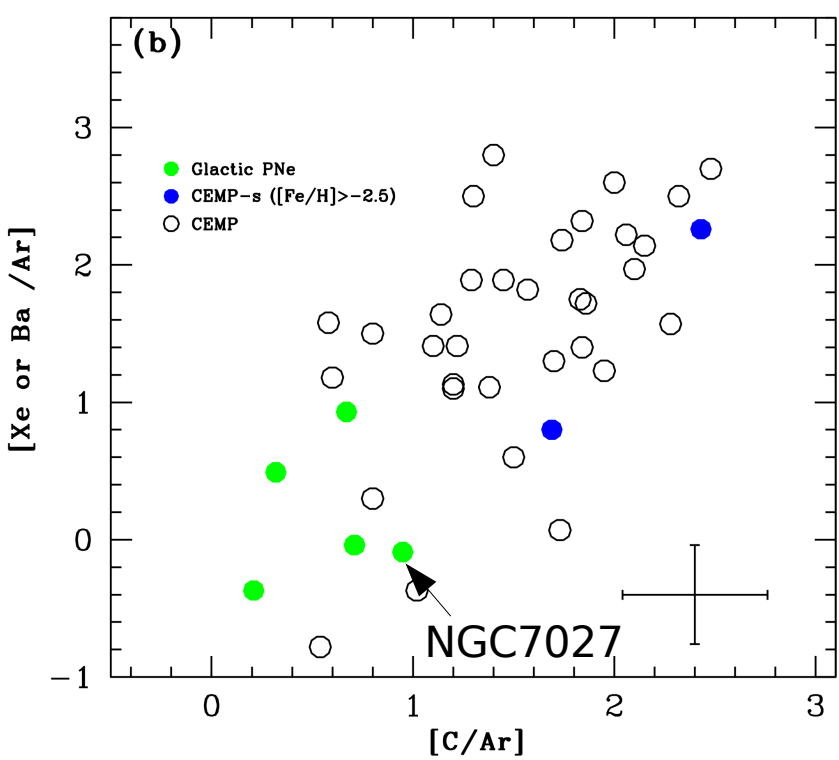


Fig.6: [Xe, Ba/Ar]-[C/Ar] diagram. CEMP: Carbon-Enhanced Metal Poor star



