

# Spatio-Kinematic Study on Planetary Nebula, IC 2149

大塚 雅昭、田村 眞一 (東北大)、田実 晃人 (NAOJ, Hawaii)、  
磯貝 瑞希、佐藤 裕輝 (東北大)

## 1 Introduction

惑星状星雲 (以下、PN) の主殻の内外部には微細な構造が存在していることはよく知られている。これらの構造は主に低電離輝線領域 ([O I]、[S II]、[S III]、特に [N II]) が卓越しており、付随している主殻に対して高速度で運動 ( $\pm 25 \sim 200 \text{ km s}^{-1}$ ; Balick et al. 1993) していることから頭文字をとって Fast Low Ionization Emission Regions、FLIERs と呼んでいる。FLIERs の生成は Kelvin-Helmholtz 不安定、磁場、放射不安定、連星系などの諸説が考えられているが、未だ不明なままである。

FLIERs の構造を 3 つに分けて考えると、下に挙げる構造がある。

- **Jet** : 主に主軸に沿った方向に現れる。細長い形状をしており、付随している Shell から遠ざかるにつれ、速度が大きくなっている。
- **Jet-Like** : Jet とほぼ同じ性質をもつが速度の点で異なる。加速度運動をしておらず、周囲とほぼ同じ速度で運動している (ex. IC 4953)。
- **Knot** : 小さな塊 (1-3" 程度)。中心星を挟んで対称にペアとなって現れることが多い。

FLIERs は、よく知られているものとして NGC 3242 や NGC 7009 においても存在し (Figure 1.)、現時点でその存在が確認されている PN は 50 天体におよんでいる (Gonçalves et al. 2001)。また PN までの距離の測定や密度、化学組成などの物理量を不確かなものとしているのは主に、形態や親星の化学組成が多岐にわたっていることが原因なのであるが、FLIERs では PN で最も強く放射されるバルマー系列輝線や [O III] $\lambda 4959, 5007$  輝線に対する [N II] などの低電離輝線の比が通常 ( $N/H = 1 \sim 2$ ) よりも 2~5 倍程度大きい傾向にあるため、このような物理量を不確かなものとしている要因の一つであるように思われる。

われわれは FLIERs の一種である Knot が P.A.70° 付近に存在していることが確認されているが (Balick et al. 1993)、形態が不明であると報告されている銀河バルジ付近に存在している IC 2149 に対し、国立天文台岡山天体物理観測所にて HIDES にイメージローテータを用いて P.A.70° および P.A.160° における空間情報を含んだ 2 次元高分散輝線分布を初めて得ることができた。

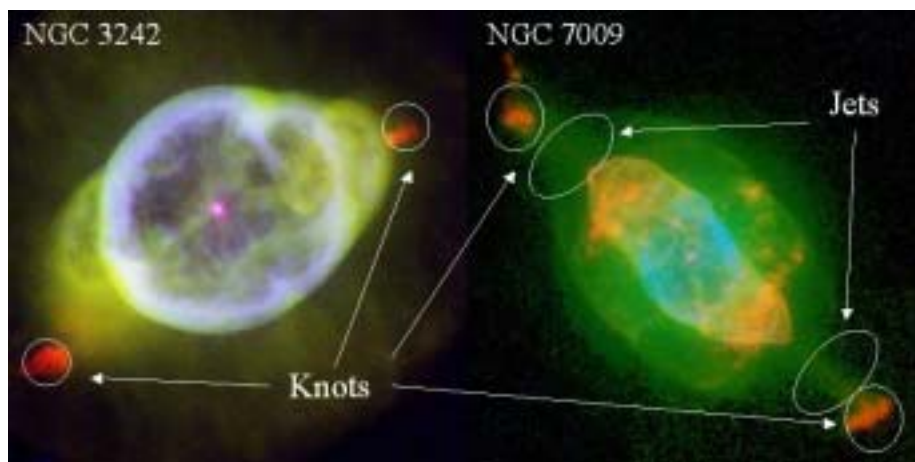


Figure 1. : FLIERs が確認されている PN の HST 画像。

(左図): NGC 3242, (右図): NGC 7009. コンパクトかつ赤い領域は [N II] の放射領域である。Knot、Jet 以外にも主殻の内外部に微細な構造が存在していることがわかる。

## 2 Observation & Results

観測は Table 1. に示してある仕様で行った。今回の観測は狭帯域フィルターを用いたロングスリットモードでの観測ではないため、青側領域 ([O III] $\lambda$ 5007, 以下, [O III]) は赤側領域 ( $H\alpha$ , [N II] $\lambda$ 6583(以下, [N II])) に比べ、取得できる空間情報がかなり限られてしまっている。その点を考慮に入れ、取得できた [O III]、 $H\alpha$ 、[N II] について空間情報を保持した 2 次元輝線分布、および空間的に足し合わせた 1 次元輝線輪郭について解析を試みた。

Table 1: 観測仕様

Date	Feb. 12/13 2002
Instrument	Cóude focus HIDES
Attachment	Image Rotator
Exposure	1800 [s]
Slit Width	200[ $\mu$ m] ( $0''.76$ )
Slit Length	14''.4 ( $H\alpha$ + [N II]), 5''.2 ([O III])
Resolution	68.000 ( $4.4$ [ $\text{km s}^{-1}$ ])
Wavelength	4300 ~ 6800[ $\text{\AA}$ ]
P.A.	$70^\circ$ , $160^\circ$

Figure 3. および Figure 4. はそれぞれ P.A. $70^\circ$  および P.A. $160^\circ$  における IC 2149 の 2 次元輝線分布 (以下, PV-Map) を示している。まず、Nebula の system の原点での速度 (つまり、中心星の位置での速度、以下  $V_{sys}$ ) を決定するにあたり、Figure 3.、4. に示してある  $H\alpha$  の PV-Map を参考にした。P.A. $160^\circ$  における  $H\alpha$  の輝線幅は P.A. $70^\circ$  におけるそれに比べ小さいことから、P.A. $160^\circ$  における  $H\alpha$  の中心領域付近 (連続光が見えている付近、つまり Relative Position =  $0''$  の付近) から  $\pm 1''$  以内を空間的に足し合わせて得られた 1 次元輝線輪郭をガウシアンフィットすることによって決定した ( $V_{sys} = -33.34 \pm 0.16 \text{ km s}^{-1}$ )。

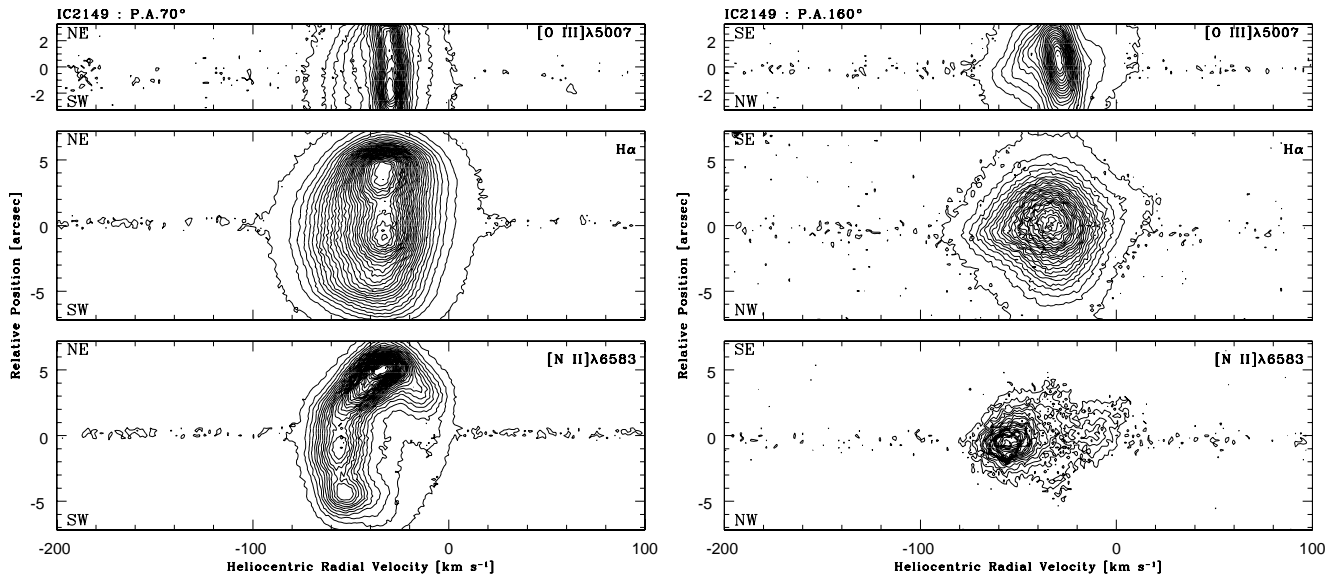


Figure 3., 4. : IC 2149 の Position Velocity Map (以下, PV-Map); Figure 3.(左図): P.A. $70^\circ$  における PV-Map. Figure 4.(右図): P.A. $160^\circ$  における PV-Map. 縦軸はスリットの Relative Position、横軸は Heliocentric Radial Velocity を示している。P.A. $70^\circ$  において、各 PV-Map の上側は北東方向 (NE)、下側は南西方向 (SW) に相当する。一方、P.A. $160^\circ$  においては、各 PV-Map の上側は南東方向 (SE)、下側は北西方向 (NW) に相当する。P.A. $70^\circ$  における [N II] の PV-Map(Figure 3. の一番下のパネル) を見てみると、中心領域から NE 方向  $5''$  付近の位置に Bow-Shock 的な形状をしている Knot が存在し、また SW 方向  $5''$  付近にも Knot が存在していることがわかる。この SW Knot は今回の観測によってはじめて確認された。

まず、IC 2149 において最も特徴的な輝線分布であると思われる P.A.70° における [N II] の PV-Map (Figure 3.) に注目してみると、中心領域から NE 方向 5" の位置に Bow-Shock 的な形状をしている Knot が存在し、また SW 方向 5" の位置にも *HST* では未確認の Knot が存在していることがわかった。さらに、これら 2 つの Knot は Edge-on Ring の一部分として分布しているように見える。Vázquez et al. (2002) による中分散観測 ( $R \sim 38,000$ ) の報告では [N II] の PV-Map が示す空間的な構造は Edge-on Ring であると解釈している。[N II] の赤側が欠けて見えるのは、[N II] は視線方向に対して optical thin であることを考慮して考えると、中心領域に数 arcsec のかなり濃いダストが存在するためである。Latter et al. (1995) による近赤外撮像から、中心領域付近に 2~4" 程度にわたって H<sub>2</sub> が広がっていることが確認されている。[N II] の赤側が見えないのは H<sub>2</sub> による強い吸収のためである。一方、P.A.160° における [N II] の空間分布は 10" 程度のコンパクトな分布をしており、(P.A.160° での [O III] で特に顕著に見られる傾向であるが) 若干、NW 方向に指向性を持っているように思われる。

P.A.160° において特徴的な輝線は [O III] である。Figure 4. を見ればとわかるように H $\alpha$ 、[N II] においてみられるガス流の不均一な空間分布が [O III] では特に顕著である。中心領域 ( $\pm 1''$  以内) のガス流が青側 (手前側)、NW 方向に指向性を示すことから、視線方向に対して P.A.160° に沿う軸が僅かに傾いていることが予想される。また、それよりも外側ではガス流が赤側、SE 方向に指向性を持っている。このことから、IC 2149 の中心領域のガス流はかなり複雑な流れであることが示唆される。

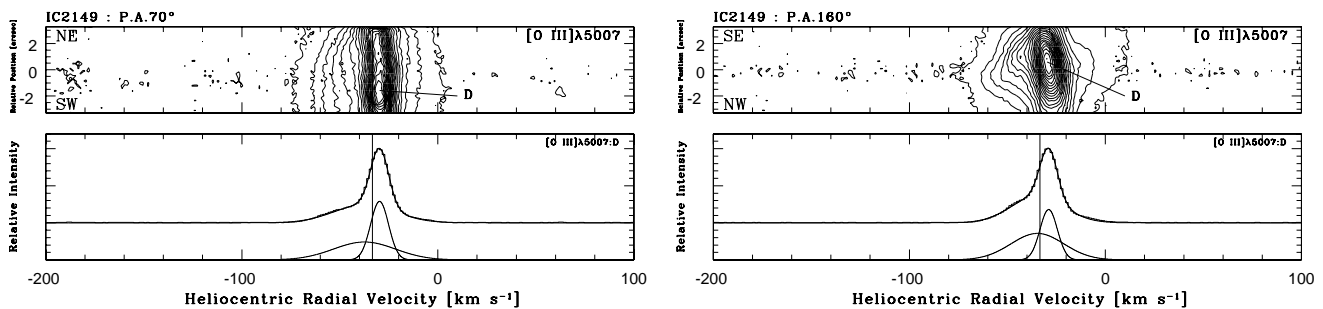


Figure 5., 6. : [O III] に対するガウシアンフィットの様子。Figure 5.(左図): P.A.70° における [O III]。Figure 6.(右図): P.A.160° における [O III]。Figure 3., 4. で示した PV-Map も一緒に示してある。各パネルの横軸に対して垂直な縦線は  $V_{sys}$  の位置である。PV-Map の下のパネルには Velocity Component D の  $\pm 1''$  程度を足し合わせるによって得られた 1 次元輝線輪郭に対し、ガウシアンフィットを施した様子が示してある。

Figure 5., 6. はそれぞれ P.A.70° および 160° における [O III] の Velocity Component D の  $\pm 1''$  付近を空間的に足し合わせるによって得られた 1 次元輝線輪郭についてガウシアンフィットを施した様子を示している。P.A.70° (Figure 5.) および 160° (Figure 6.) における [O III] の Velocity Component D 付近の 1 次元輝線輪郭をみると、各 Gaussian Component の強度ゼロにおける翼部の広がり、Main Component (Relative Intensity は大きい、輝線幅は小さい Component : Nebula の Main Stream を示している) に比べ Sub Component (Main Component に比べ、Relative Intensity は小さい、輝線幅は大きい Component : Nebula の Sub Stream を示している) の方がかなり大きく、100 km s<sup>-1</sup> にまで達しており、全体として強い非対称性を示している。このような強い非対称的な輝線輪郭はダストによる吸収のみで形成されるとは考えにくく、IC 2149 の中心領域付近に双極流的な流れが存在しているものと考えられる。また、Figure 4. で見られた P.A.160° におけるガス流が NW 方向への指向性を持ち、P.A.70° と P.A.160° における各イオン同士の輝線強度は P.A.160° の方が小さいということも、この考えに至る根拠のひとつである。

IC 2149 の化学組成は銀河バルジ付近に存在している PN に比べ重金属が少なく、質量の軽い親星から進化したものではないのかという報告がなされている (Vázquez et al. 2002)。IC 2149 の化学組成を Table 2. にまとめておく。現在まで、ハロー PN を代表とする軽い親星から進化した PN は双極流的な流れが出来にくいという統計的な議論がなされてきた (Phillips 2001)。しかし、Our Galaxy の天頂付近に存在するハロー PN、H 4-1 の中心領域付近において双極流的な流れが存在していることが確認されている (Otsuka et al. 2003)。また、今回の観測結果から IC 2149 の中心領域には双極流的な流れが存在していることがわかった。以上のことから、IC 2149 は PN における質量放出過程と形態の形成についての問題において重要な鍵を与える存在であると思われる。IC 2149 における電離ガスの空間運動についての理解を深めるには、より多

数の P.A. における観測も必要であるが、中心領域 (特に [O III]) における輝線の十分な広さの空間分布の情報が必要であると思われる。そのためには狭帯域フィルターを用いたロングスリットモードでの観測が必要であると思われる。

Table 2: PN の化学組成

Nebula	He	O	N	Ne	Ar	S	Ref
IC 2149	11.00	8.56	7.33	7.85	6.13	6.38	(1)
H 4-1	11.16	8.23	7.66	6.85			(2)
Halo PNe	11.00	7.98	7.51	6.44	5.17	6.06	(3)
Bulge PNe	11.04	8.87	8.33	8.26	6.57	7.37	(4)

Ref: (1) Vázquez et al. (2002), (2) Otsuka et al. (2003), (3) Henry et al. (1996),  
 (4) Torres-Peimbert, S. and Peimbert, M. (1979)

### 3 Discussion & Conclusion

NE 方向に Knot を持ち、その形態が不定形を成すとされた惑星状星雲 IC 2149 の複雑な内部運動が今回の高分散分光観測によって明らかになった。

- P.A.70° における [N II] の空間分布から中心から NE 方向 5" の位置に Knot が存在し、Bow-Shock 的な形状をしていることが本観測によって確かめることができた。また *HST* では確認されていない Knot が中心から SE 方向 5" の位置に存在していることがわかった。

- P.A.70° では顕著にみられないガス流の指向性が P.A.160° では見られ (特に [O III] において)、NW 方向に指向性をもっていることがわかった。さらに [O III] の 1 次元輝線輪郭がダストによる吸収のみで形成されるとは考えにくい強い非対称性を示していた。また、P.A.160° における各イオンの輝線強度が P.A.70° に比べ小さいということから P.A.160° に沿った方向での中心領域におけるガス流は双極流的であることがわかった。

### 4 Reference

Balick, B., Rugers, M., Terzian, Y., and Chengalur, J.N. 1993, *Apj*, **411**, 778  
 Gonçalves, D.R., Corradi, R.M. and Mampaso, A. 2001, *ApJ*, **547**, 302  
 Vázquez, R., Miranda, L.F., Torrelles, J.M., Olguín, L., Benítez, G., Rodríguez, L.F., and López, J. 2002, *ApJ*, **576**, 860  
 Henry, R.B.C., Kwitter, K.B. and Howard, J.W. 1996, *ApJ*, **458**, 215  
 Latter, W.B., Kelly, D.M. Hora, J.L., and Deutsch, L.K. 1995, *ApJS*, **100**, 159  
 Otsuka, M., Tamura, S., Yadoumaru, Y., and Tajitsu, A. 2003, *PASP press in Jan.* 2003  
 “Analysis of internal motions in the Halo Planetary Nebula, H 4-1”  
 Phillips, J.P. 2001, *MNRAS*, **326**, 1041  
 Torres-Peimbert, S. and Peimbert, M. 1979, *RMxAA*, **4**, 41