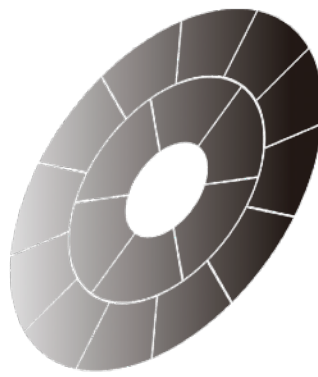




Okayama Observatory, Kyoto University

SEIMEI
TELESCOPE



Spatially-Resolved Study of Planetary Nebulae with the Seimei/KOOLS-IFU

M. Otsuka (Okayama Obs, Kyoto U.),
T. Ueta (U. of Denver), Y.-H. Chu (ASIAA), X. Fang (Hong Kong U.),
and PEGASS consortium

This work is based on NAOJ open-use and Kyoto-U. programs

岡山駅新幹線ホームにある看板

岡山県は
宇宙レベルで
星が見える
かも？



天文王国
おかやま
LAND OF ASTRONOMY OKAYAMA

ライフパーク倉敷科学センター<倉敷市>

岡山天文博物館<浅口市>

写真提供 京都大学岡山天文台

京都大学岡山天文台<浅口市>

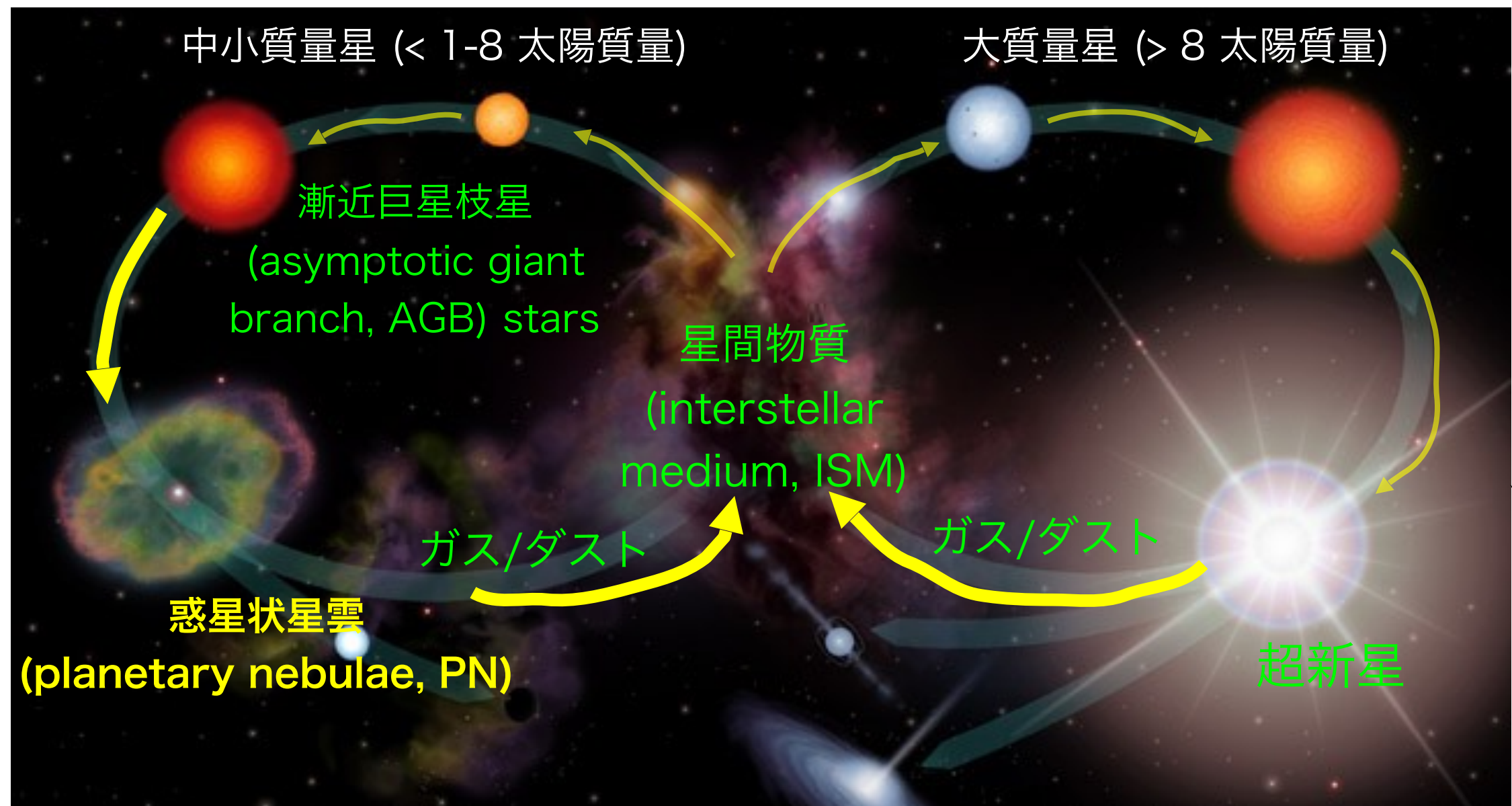
美星天文台<井原市>

岡山県備中県民局

- * 晴天率が高く、星が見えやすい
- * 大気が安定しており天体観測に最適
- * 国内有数の巨大望遠鏡が密集
- * プラネタリウムなどの天文関連施設が充実

天文王国おかやまにある
せいめい望遠鏡+KOOLSによる
惑星状星雲研究にまつわる話

Stellar Evolution and Material Recycling between the stars and the host Galaxy

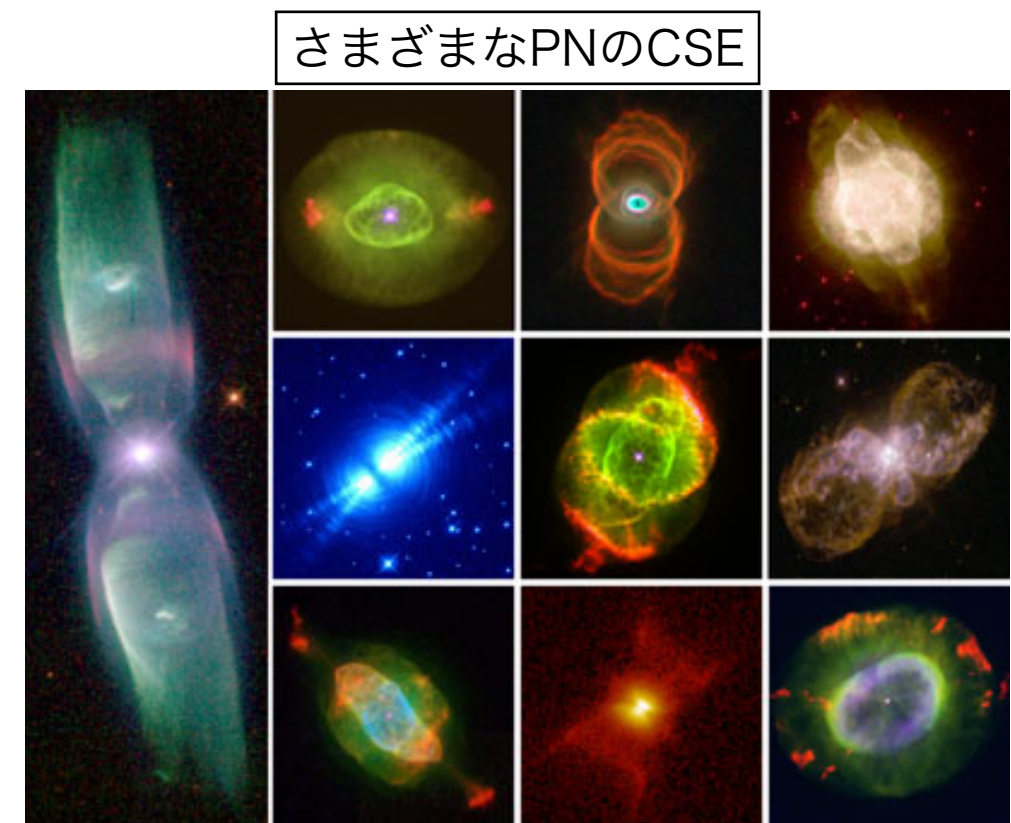
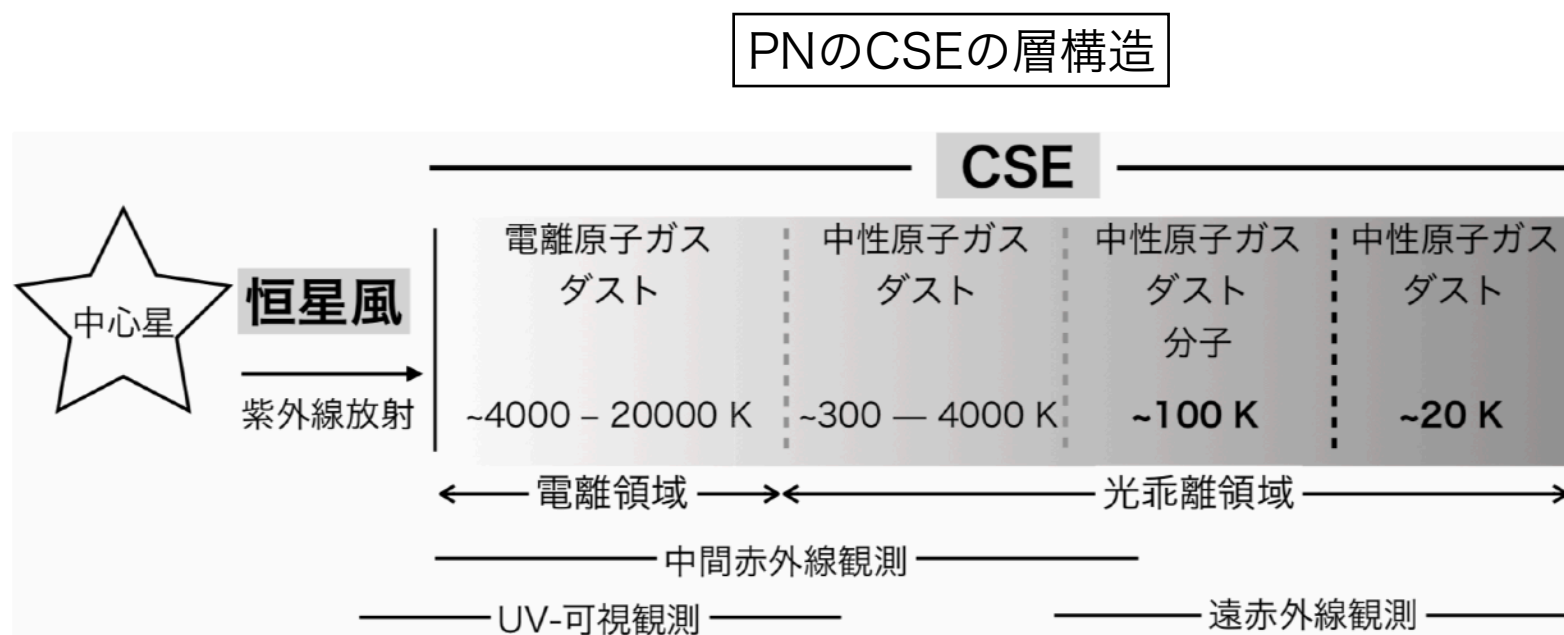


AGB 星/PN からの質量放出の解明は銀河の化学進化の理解に必須

この研究で明らかにしたいこと

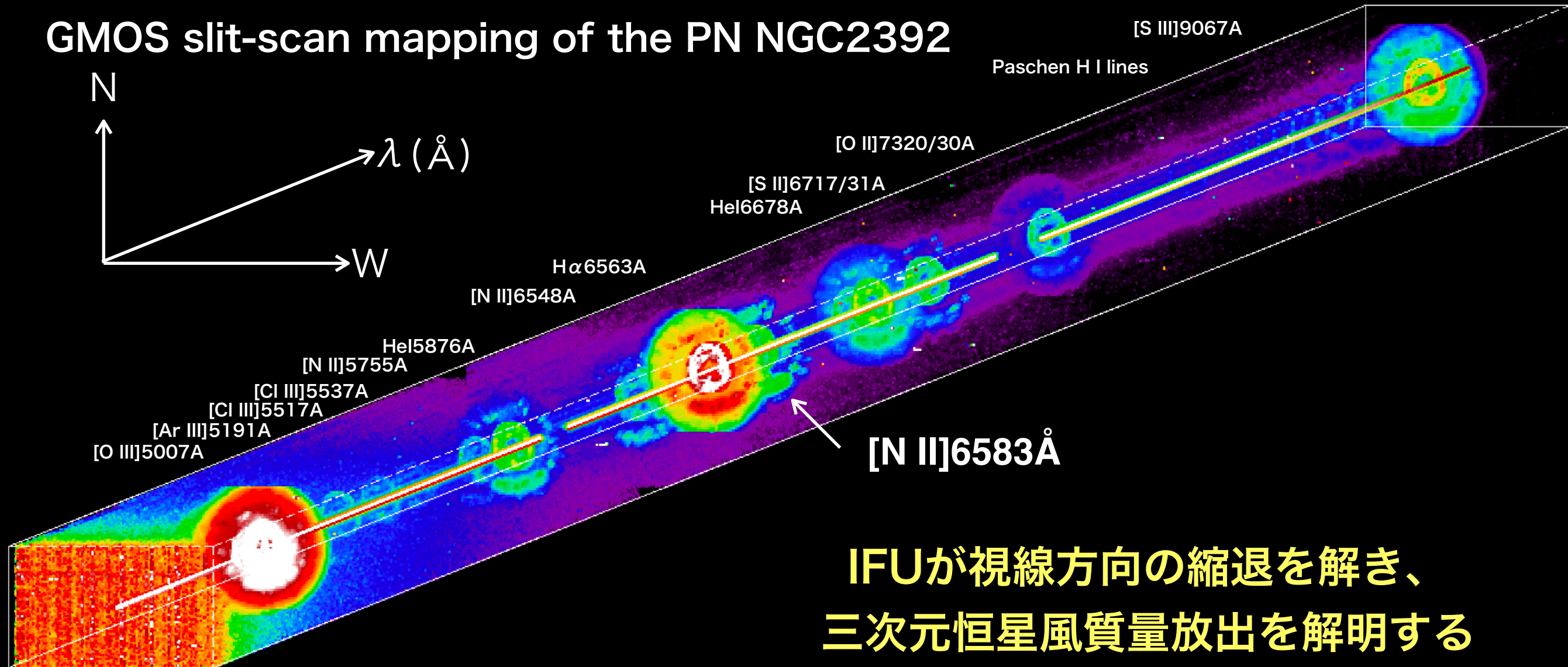
恒星風質量放出をCSE(星周殻)の詳細解析で解明し、最終的に銀河の物質循環における中小質量星の役割の理解につなげたい。

- いつ/どの方向に/どれ位の量の質量放出をしてきたのか?そして、CSEの多様な形状を決定する恒星風の運動学的特性は何か?



- どの元素も一様に星周物質(ISM)へと拡散してるのか?
- 恒星風質量放出が周辺のISMに与える化学的作用は?

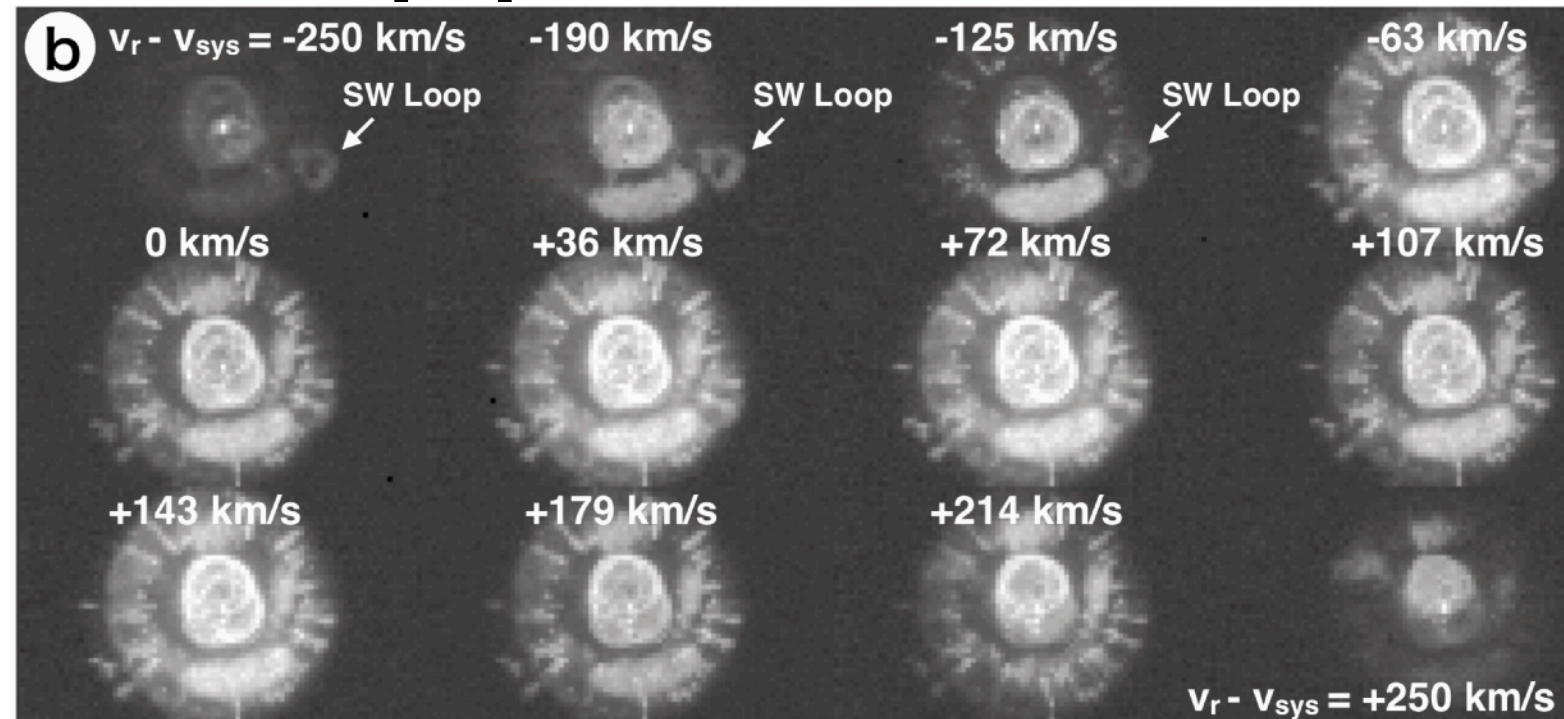
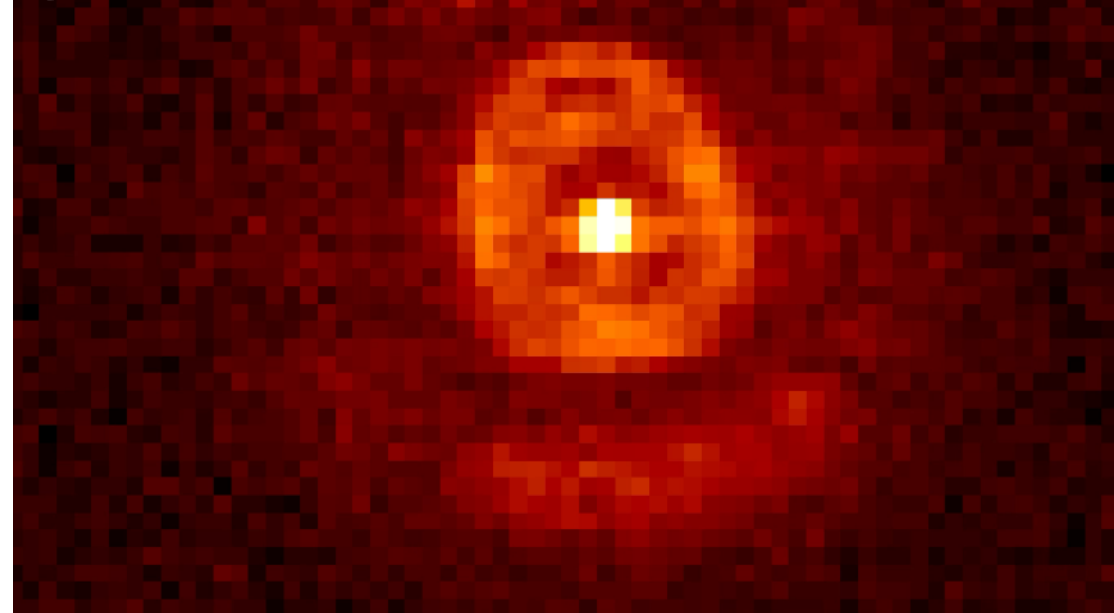
GMOS slit-scan mapping of the PN NGC2392



IFUが視線方向の縮退を解き、
三次元恒星風質量放出を解明する

[N II]6583Å位置-視線速度マップ

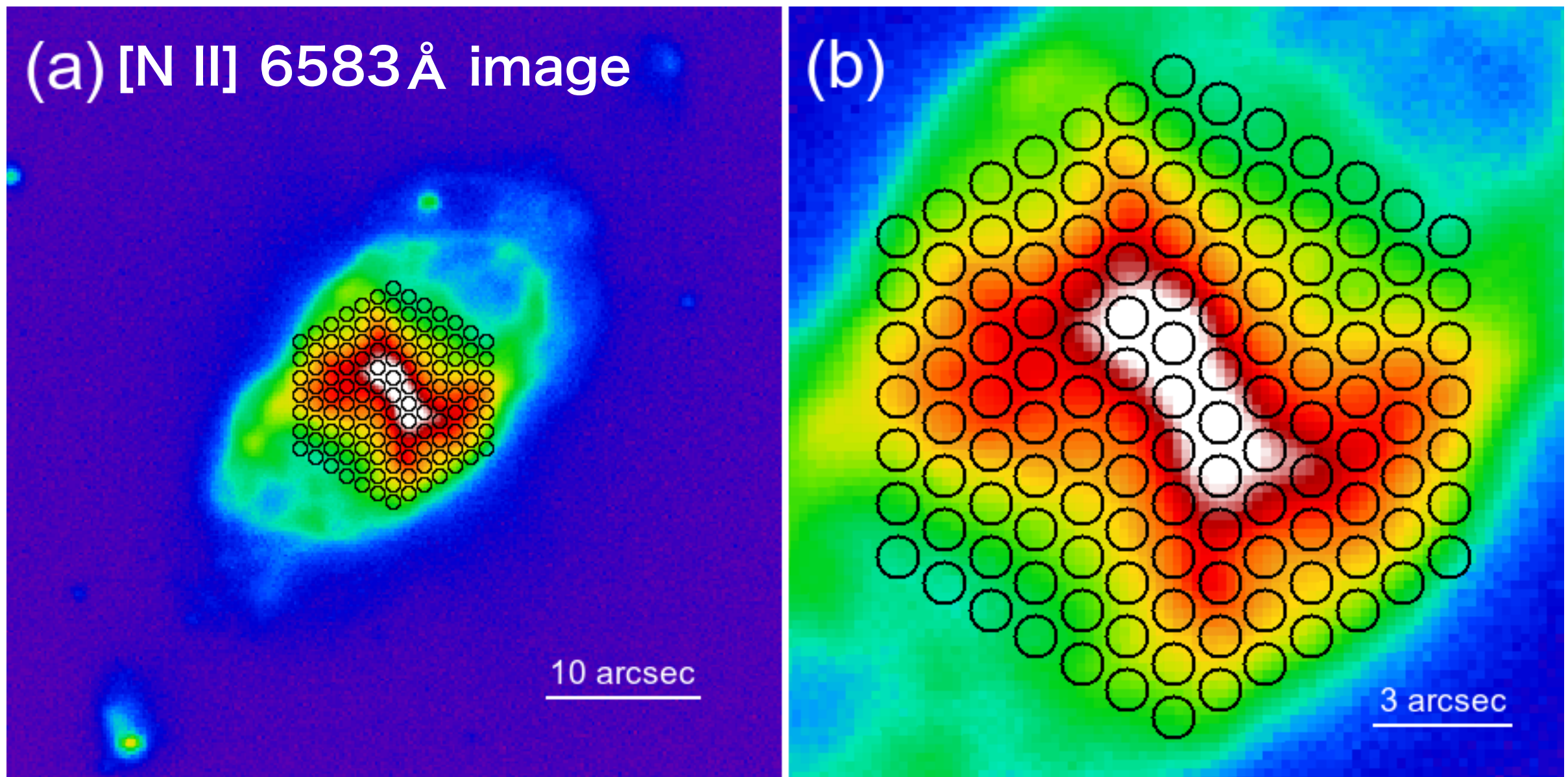
視線速度 -250km/s から+250km/sで見たときのイメージ



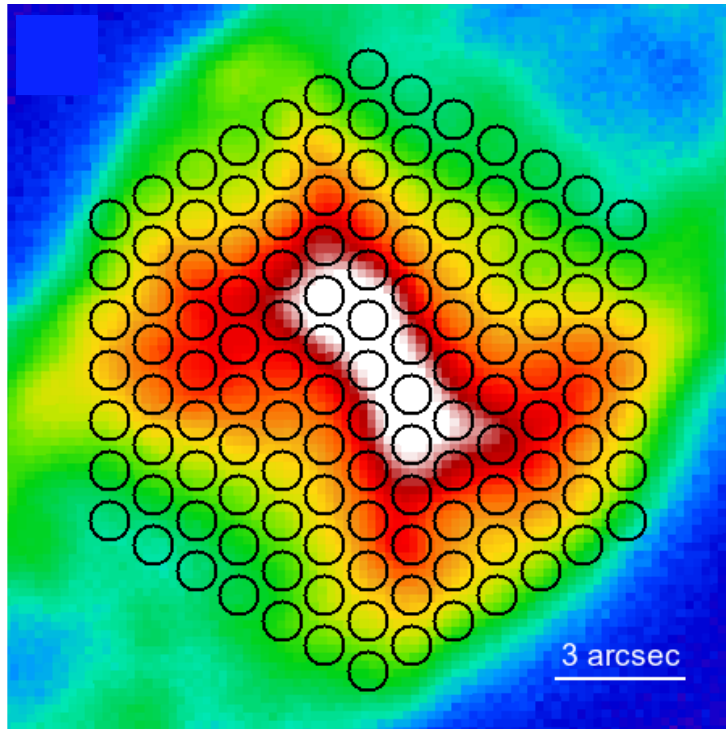
KOOLS Observation of Galactic PNe; the case of Hu1-2

せいめい望遠鏡とKOOLの特性を知り、どのようなPNサイエンスが展開できるか見極める

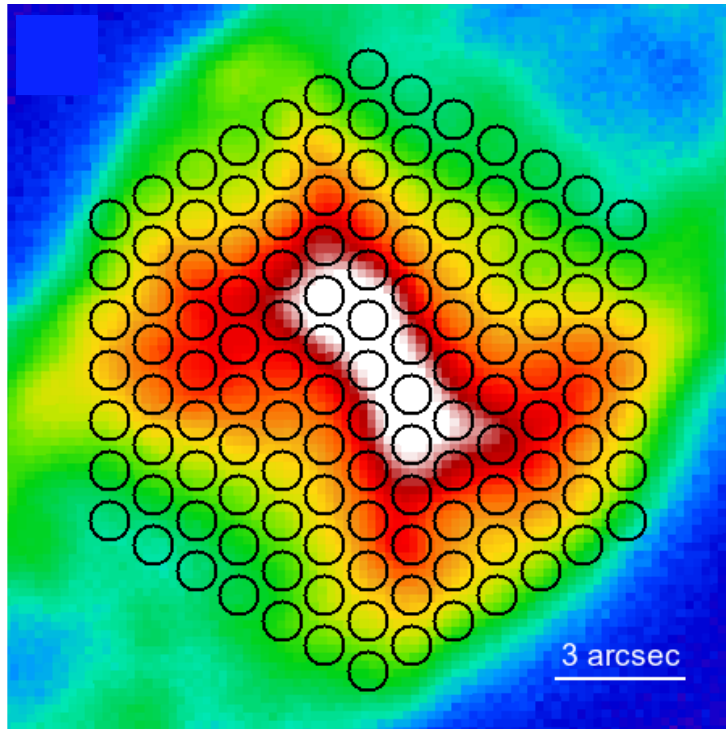
2019年5月15日に実施、シングル360秒積分、背景光引き用オフソースデータも取得



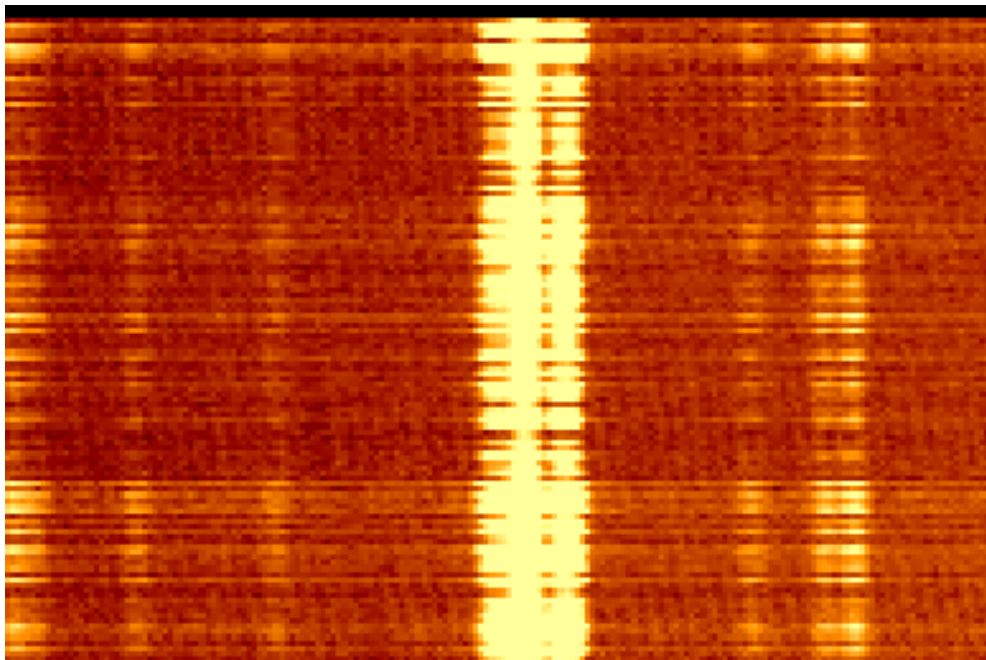
127本からなるファイバー
ユニットを天体に向ける



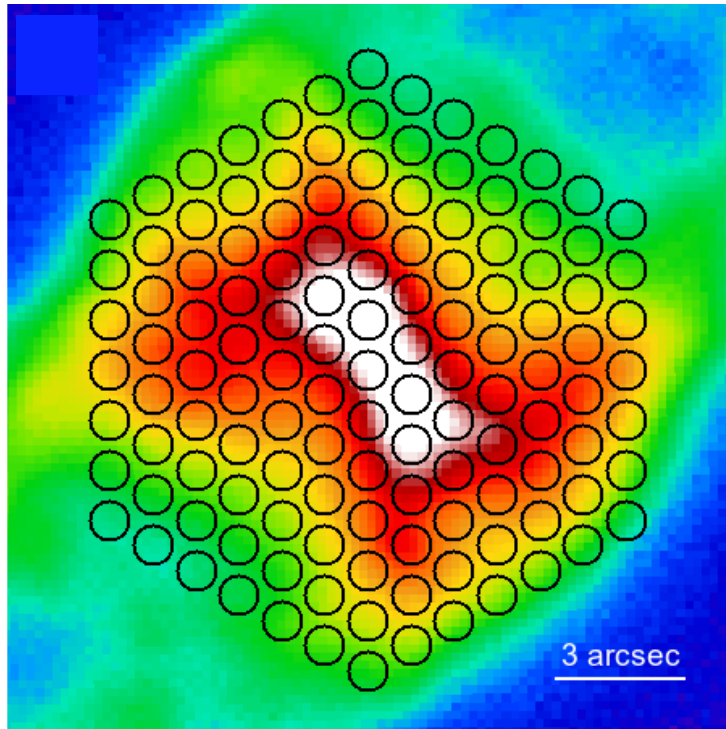
127本からなるファイバー
ユニットを天体に向ける



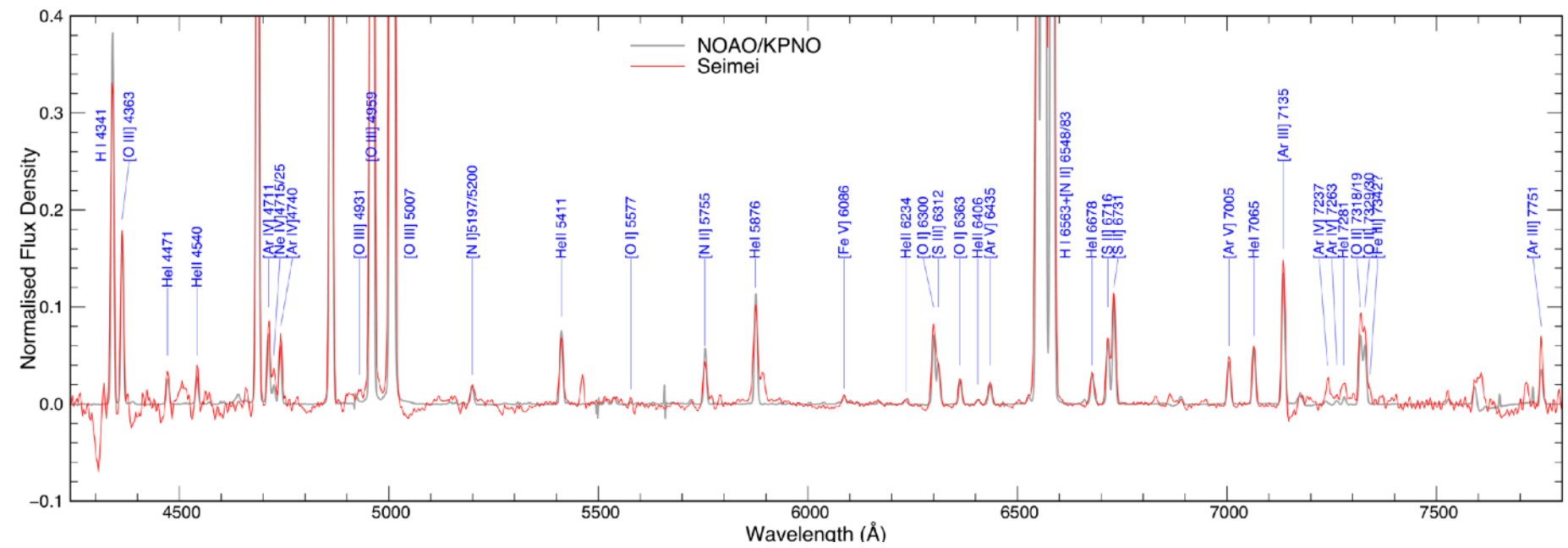
127本のスペクトルをえる



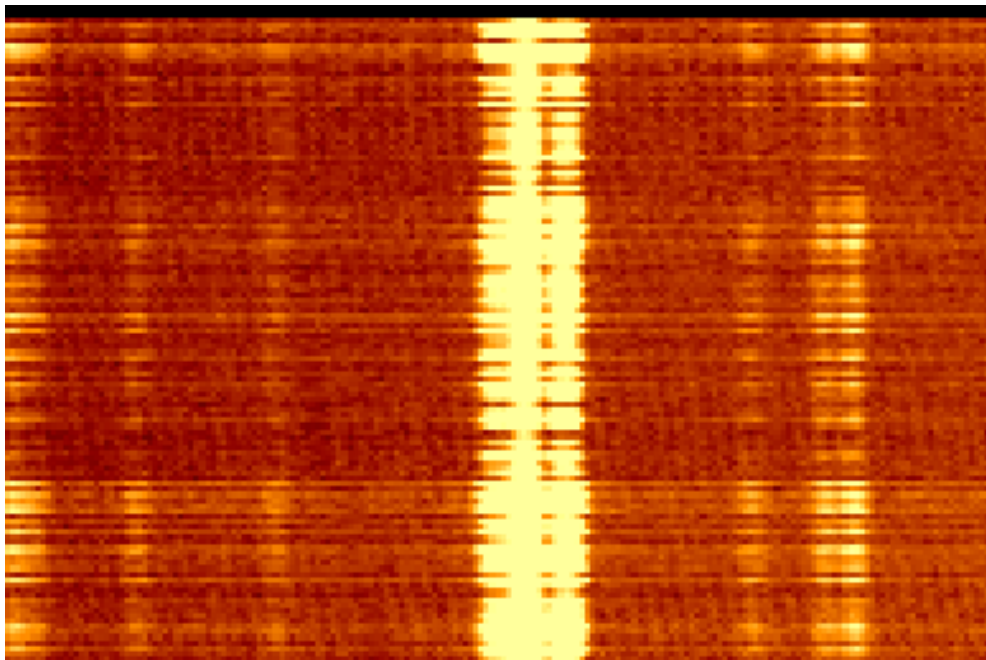
127本からなるファイバー
ユニットを天体に向ける



スペクトルを全部あるいは意図する
部分のスペクトルを足し合わせる

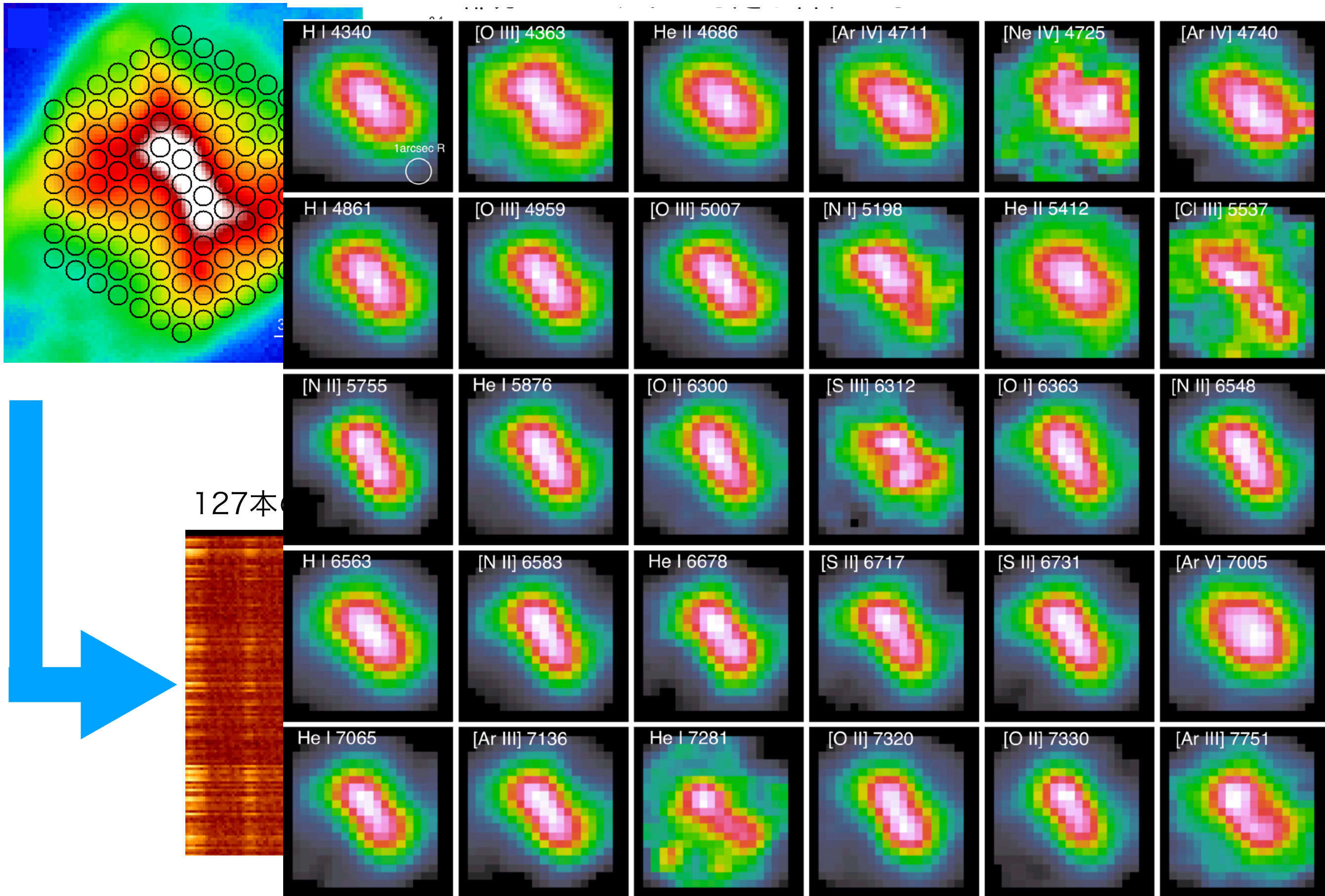


127本のスペクトルをえる

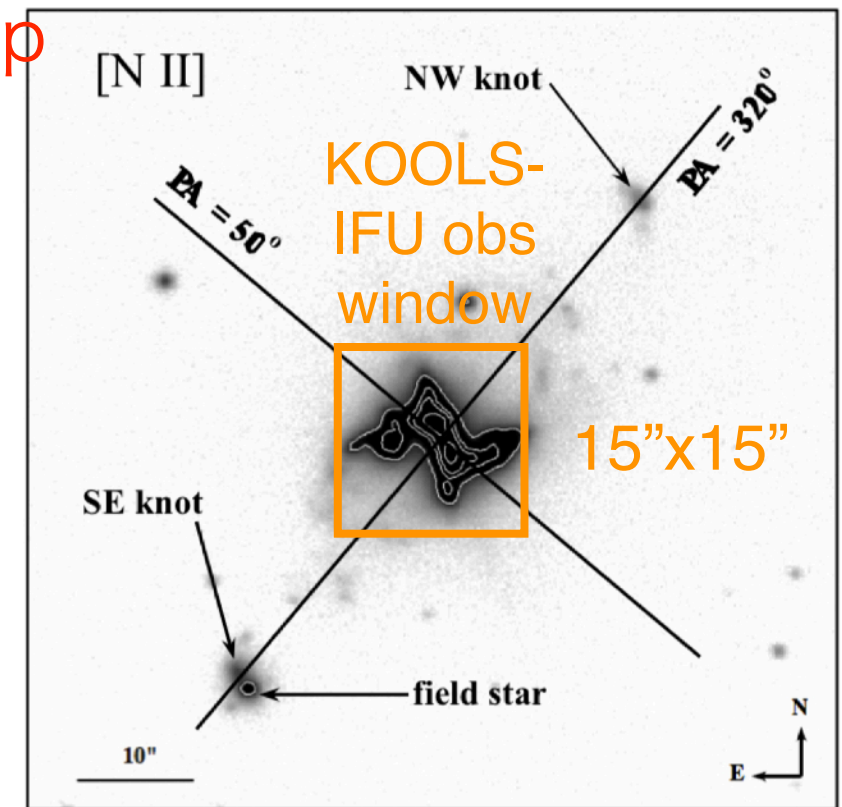
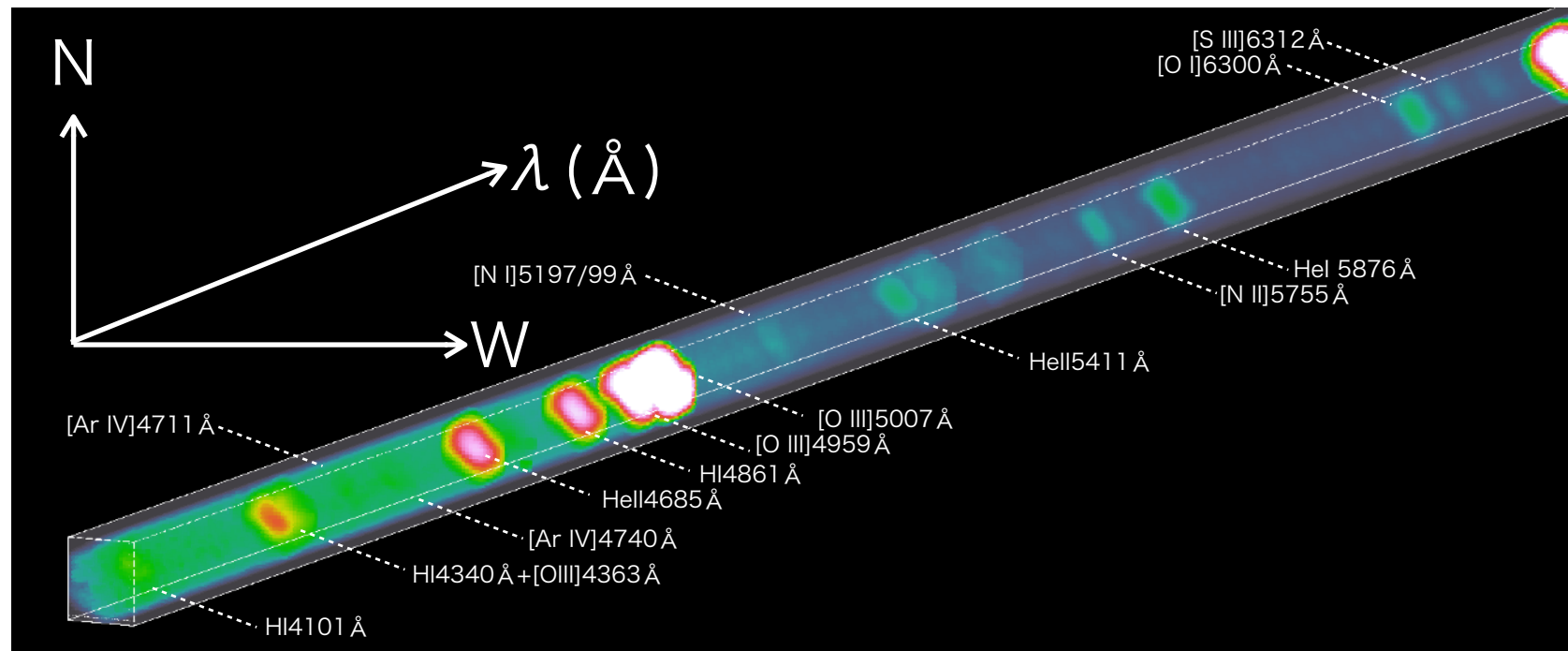


127本からなるファ
ユニットを天体に向

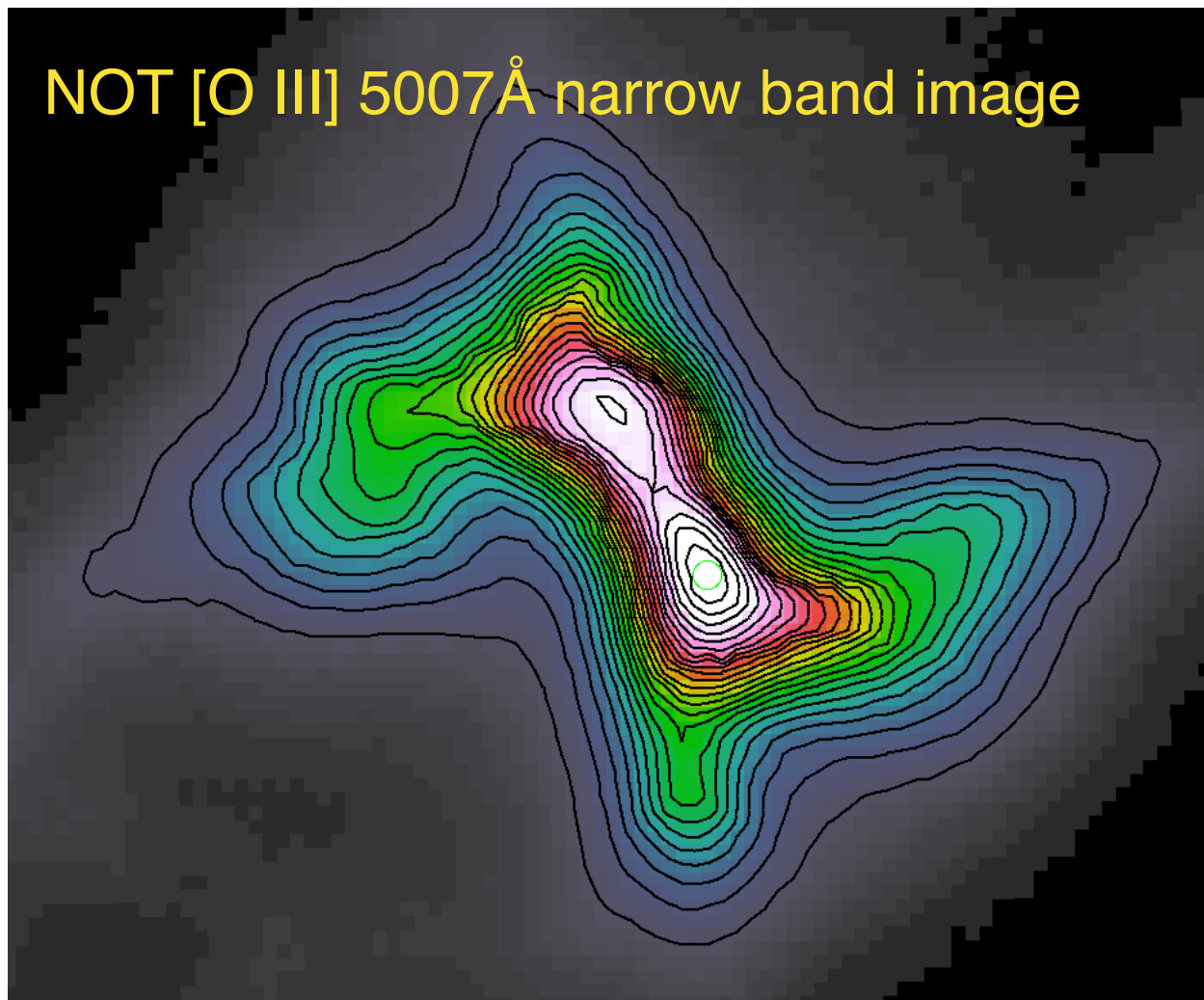
足し合わせずに各スペクトルを再配列する



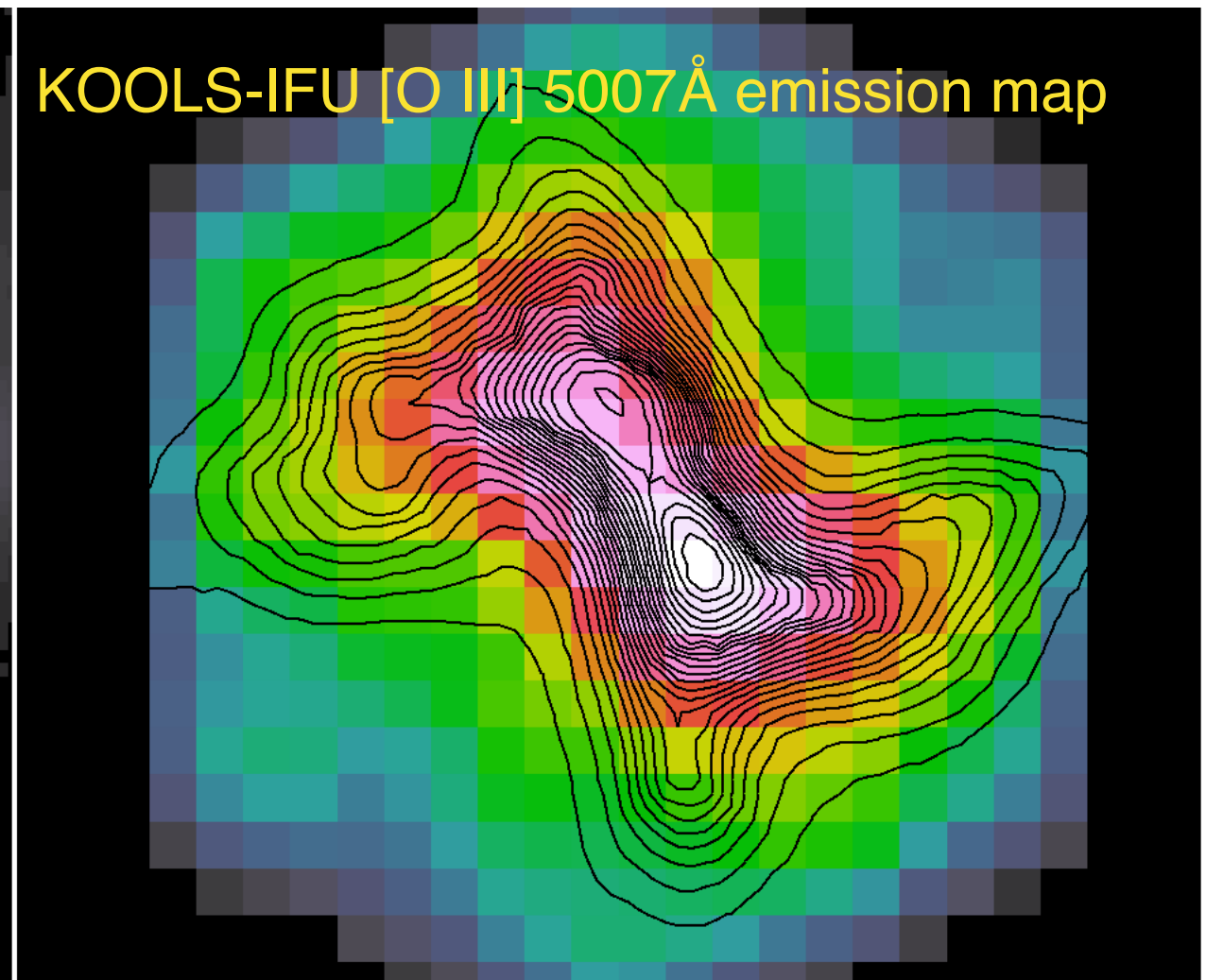
Quality Check (II); Comparison btn NOT 2.5-m Narrow-band image and **Seimei 3.8-m Emission map**



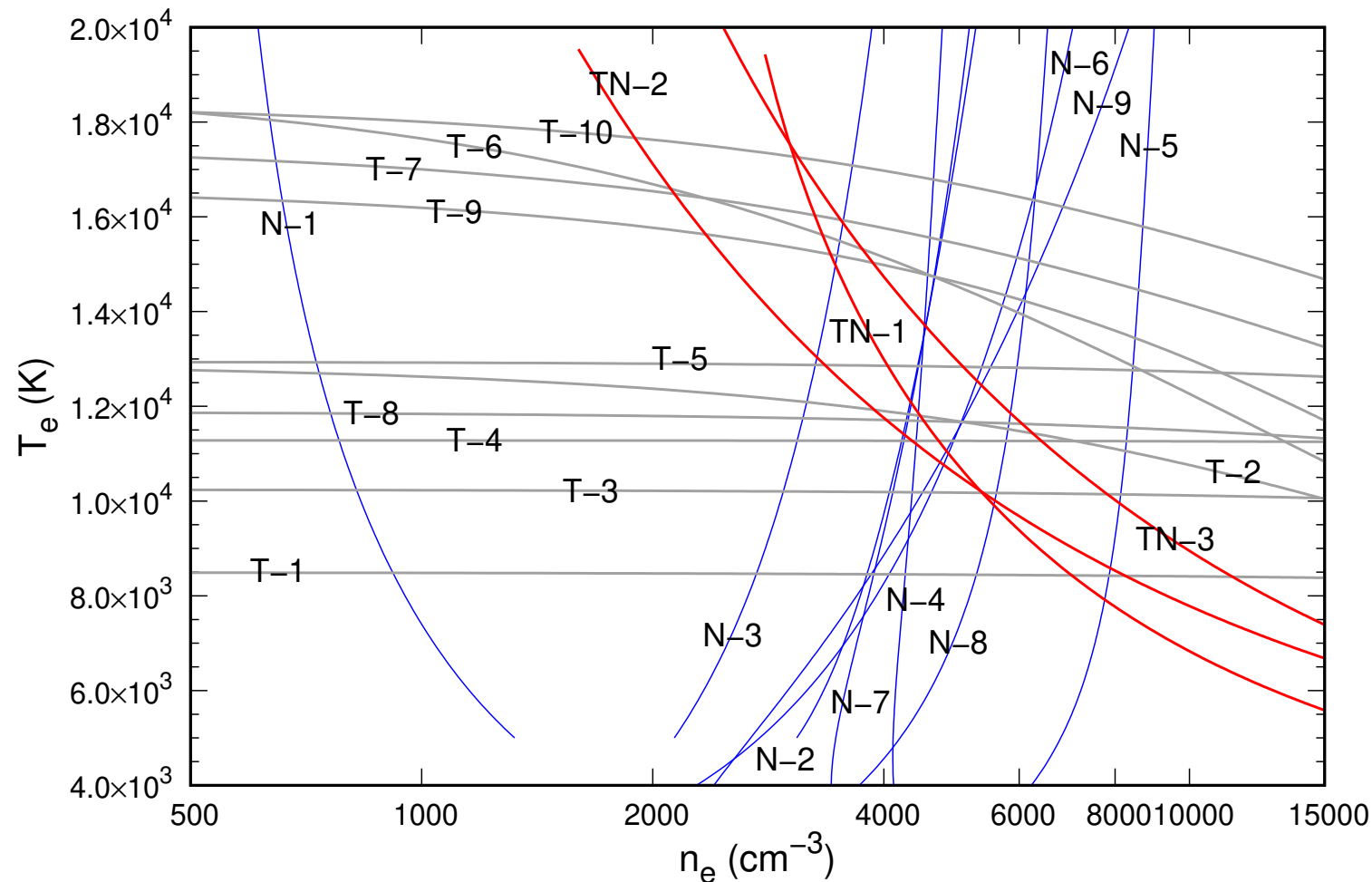
NOT [O III] 5007Å narrow band image



KOOLS-IFU [O III] 5007Å emission map



PNe are NOT constant 10000 K/10000 cc plasma balls



- Ionic abundance derivationsではターゲットとするイオンに適切な電子温度/密度のペアを決めないとダメ。
- 広波長スペクトルは多くの電子温度/密度診断のために必須。

ID	CEL n_e -diagnostic line	Value	Result (cm^{-3})
N-1	[N I] 5197 Å/5200 Å	1.346 ± 0.053	920 ± 110
N-2	[S II] 6717 Å/6731 Å	0.584 ± 0.015	4360 ± 490
N-3	[O II] 3726 Å/3729 Å	1.773 ± 0.067	3290 ± 390
N-4	[S III] 18.7 μm /33.5 μm	2.886 ± 0.245	4660 ± 590
N-5	[Cl III] 5517 Å/5537 Å	0.683 ± 0.020	8400 ± 710
N-6	[Cl IV] 11.8 μm /20.3 μm	1.361 ± 0.178	4470 ± 1590
N-7	[Ar IV] 4711 Å/4740 Å	0.879 ± 0.016	6090 ± 340
N-8	[Ne V] 14.3 μm /24.3 μm	1.749 ± 0.147	6500 ± 1240

ID	CEL T_e -diagnostic line	Value	Result (K)
T-1	[O I] (6300/63 Å)/5577 Å	96.719 ± 7.203	8500 ± 200
T-2	[N II] (6548/83 Å)/5755 Å	57.138 ± 1.147	12060 ± 120
T-3	[S III] 9069 Å/6313 Å	9.023 ± 0.282	10190 ± 140
T-4	[Ar III] (7751/7135 Å)/5191 Å	125.043 ± 9.734	11290 ± 360
T-5	[O III] (4959/5007 Å)/4363 Å	98.464 ± 1.587	12850 ± 80
T-6	[Cl IV] (11.8 μm /20.3 μm)/7531 Å	4.031 ± 0.292	14920 ± 880
T-7	[Ar IV] (4711/40 Å)/(7170/7262 Å)	25.503 ± 0.893	15120 ± 420
T-8	[Ne III] 15.8 μm /(3869/3967 Å)	0.745 ± 0.045	11640 ± 230
T-9	[Ar V] 13.10 μm /6435 Å	8.138 ± 0.641	14140 ± 650
T-10	[Ne IV] (2422/25 Å)/(4714/15/24/26 Å)	77.386 ± 4.338	16330 ± 510

ID	CEL T_e/n_e -diagnostic line	Value	Result (K)
TN-1	[S II] (4069/76 Å)/(6717/31 Å)	3.180 ± 0.206	12180 ± 1060
TN-2	[O II] (3726/29 Å)/(7320/30 Å)	11.195 ± 0.244	13000 ± 240
TN-3	[S III] (18.7/33.5 μm)/9069 Å	1.798 ± 0.097	13920 ± 960

	RL T_e -diagnostic line	Value	Result (K)
	He I 7281 Å/6678 Å	0.204 ± 0.006	9290 ± 280
	$[I_\lambda(8194 \text{ Å}) - I_\lambda(8169 \text{ Å})]/I(\text{P11})$	0.022 ± 0.003	9140 ± 2540

Importance of Te determination on ionic/ elemental abundance derivations

Line emissivity (ϵ)は

[N II] 6583 Å: $8.48\text{E-}21 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 12000 K $\rightarrow$ $6.36\text{E-}21 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 10000 K (**~25% ↓**)

[N II] 5755 Å: $1.80\text{E-}22 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 12000 K $\rightarrow$ $8.96\text{E-}23 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 10000 K (**~50% ↓**)

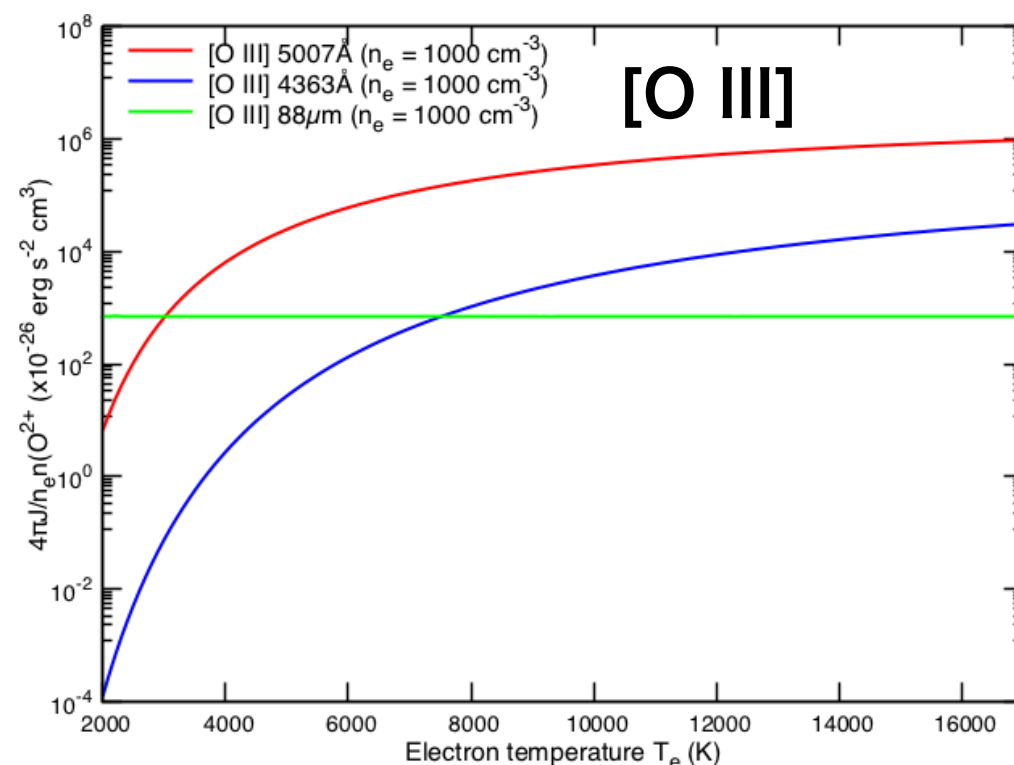
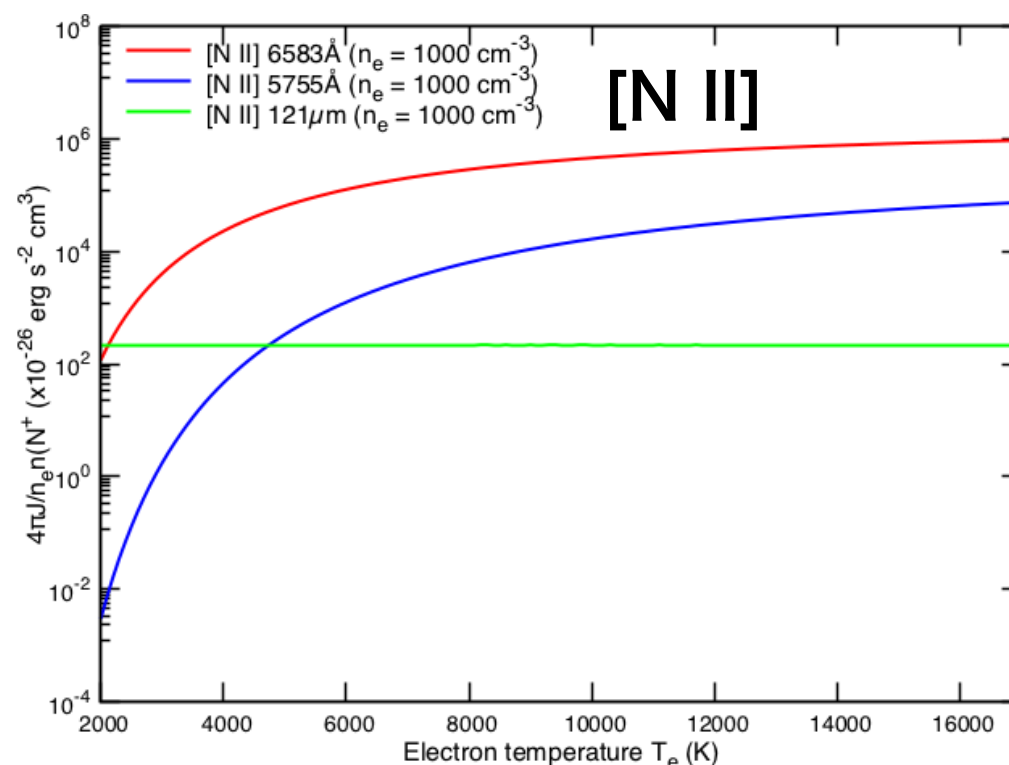
H β : $1.07\text{E-}25 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 12000 K $\rightarrow$ $1.26\text{E-}25 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 10000 K (**~15% ↑**)

水素数密度 $n(\text{H}^+)$ に対するN $^+$ 数密度 $n(\text{N}^+)$ 比は

$$n(\text{N}^+)/n(\text{H}^+) = I(\lambda)/I(\text{H}\beta) * (\epsilon(\lambda)/\epsilon(\text{H}\beta))^{-1}, I(\lambda): \text{ラインフラックス}$$

ただし、H β は必須なラインではなく、H I 12.3 μm (in mid-IR)やH α でもよい。

N $^+$ /H $^+$ アバンドンスは2000 Kの違いでトータルで>30% in [N II] 6583 Å、>50% in [N II] 5755 Åの差。
コレクションファクタの不定性も考慮すると、エレメンタルNアバンドンスの不定性はさらに大きくなる。



Importance of Te determination on ionic/elemental abundance derivations

Line emissivity (ϵ)は

[N II] 6583 Å: $8.48\text{E-}21 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 12000 K $\rightarrow$ $6.36\text{E-}21 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 10000 K (~25% ↓)

[N II] 5755 Å: $1.80\text{E-}22 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 12000 K $\rightarrow$ $8.96\text{E-}23 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 10000 K (~50% ↓)

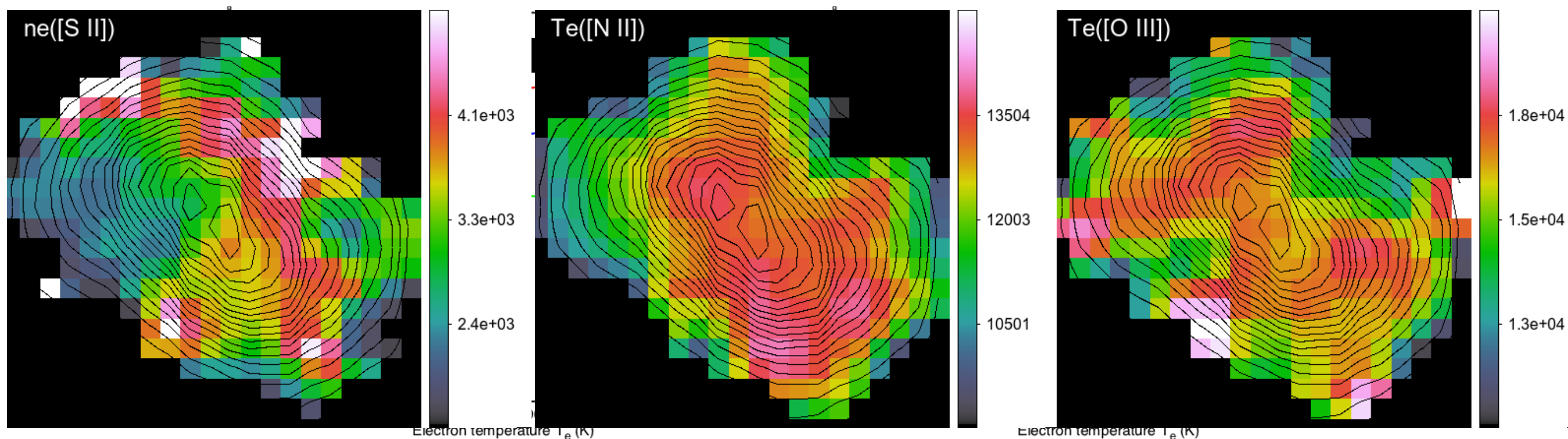
H β : $1.07\text{E-}25 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 12000 K $\rightarrow$ $1.26\text{E-}25 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^3$ in 10000 K (~15% ↑)

水素数密度 $n(\text{H}^+)$ に対するN $^+$ 数密度 $n(\text{N}^+)$ 比は

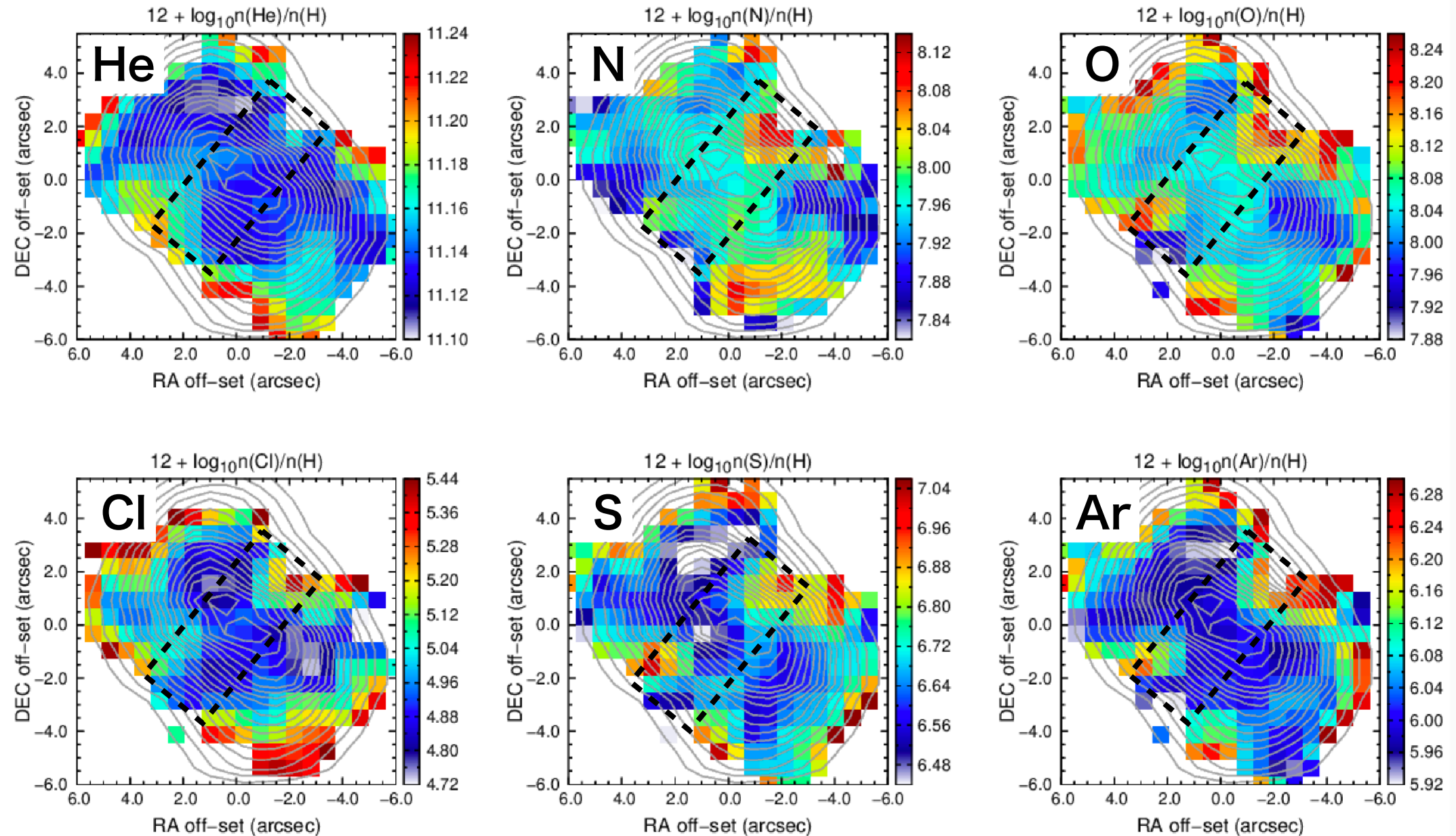
$$n(\text{N}^+)/n(\text{H}^+) = I(\lambda)/I(\text{H}\beta) * (\epsilon(\lambda)/\epsilon(\text{H}\beta))^{-1}, I(\lambda): \text{ラインフラックス}$$

ただし、H β は必須なラインではなく、H I 12.3 μm (in mid-IR)やH α でもよい。

N $^+$ /H $^+$ アバンドンスは2000 Kの違いでトータルで>30% in [N II] 6583 Å、>50% in [N II] 5755 Åの差。
コレクションファクタの不定性も考慮すると、エレメンタルNアバンドンスの不定性はさらに大きくなる。



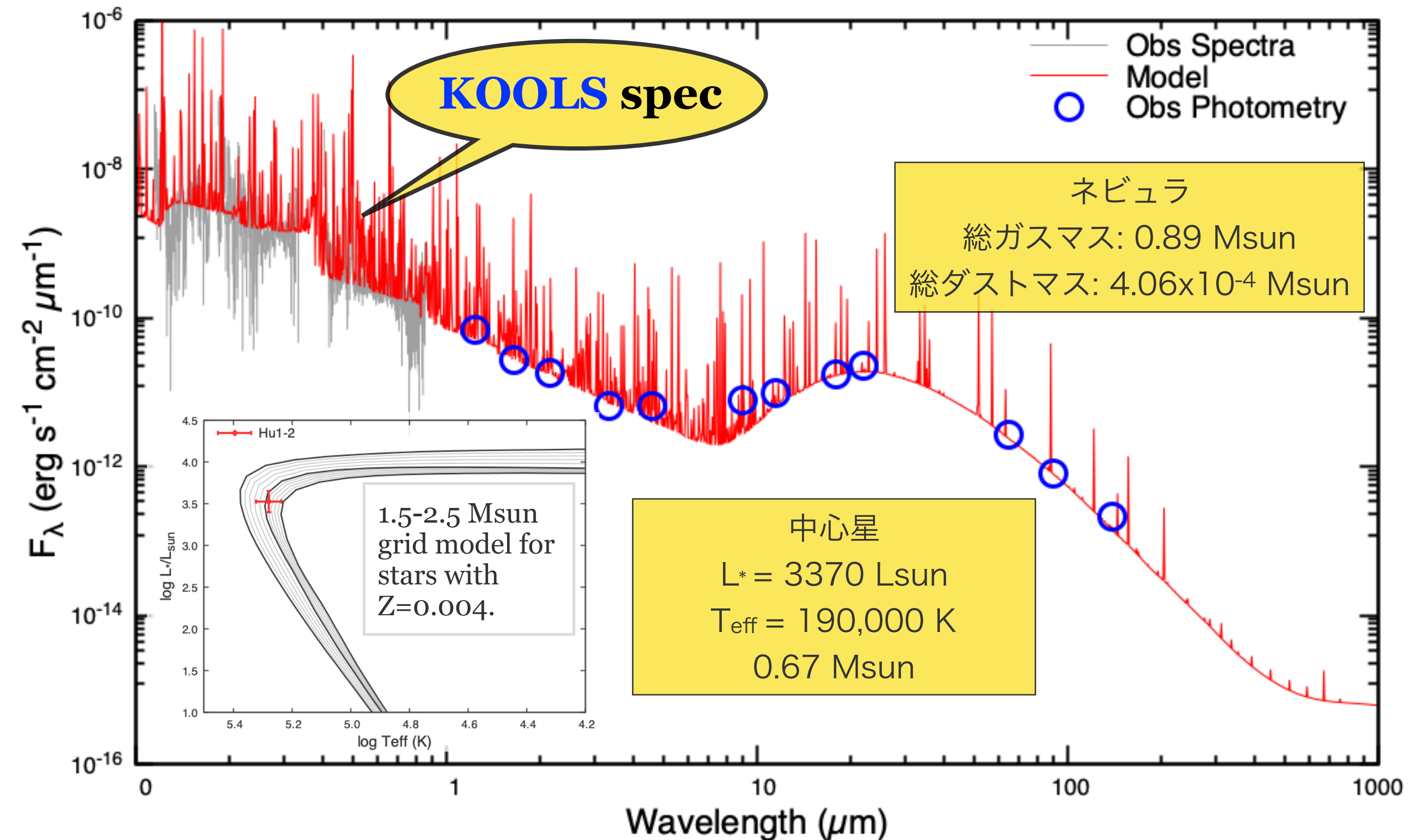
Elemental abundances distribution



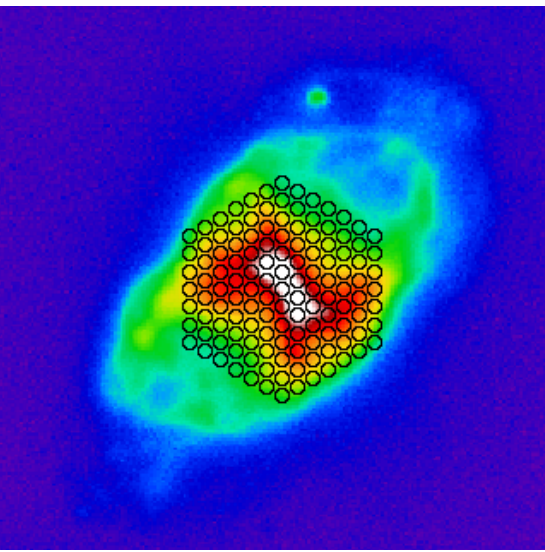
	He	N	O	Cl	S	Ar
This work	11.15+/-0.06	7.97+/-0.07	8.05+/-0.07	4.97+/-0.15	6.68+/-0.14	6.06+/-0.09
Fang et al. 2015	11.16+/-0.04	8.12+/-0.07	8.15+/-0.06	—	6.62+/-0.13	5.92+/-0.12
Hyung et al. 2004	11.11	8.23	8.11	5.08	6.48	6.08

0.1dexの違いはリニアスケールで25%もの違い。各研究の結果の違いは見積もり誤差、データの質由来ではなく、そもそも元素組成分布が非一様？

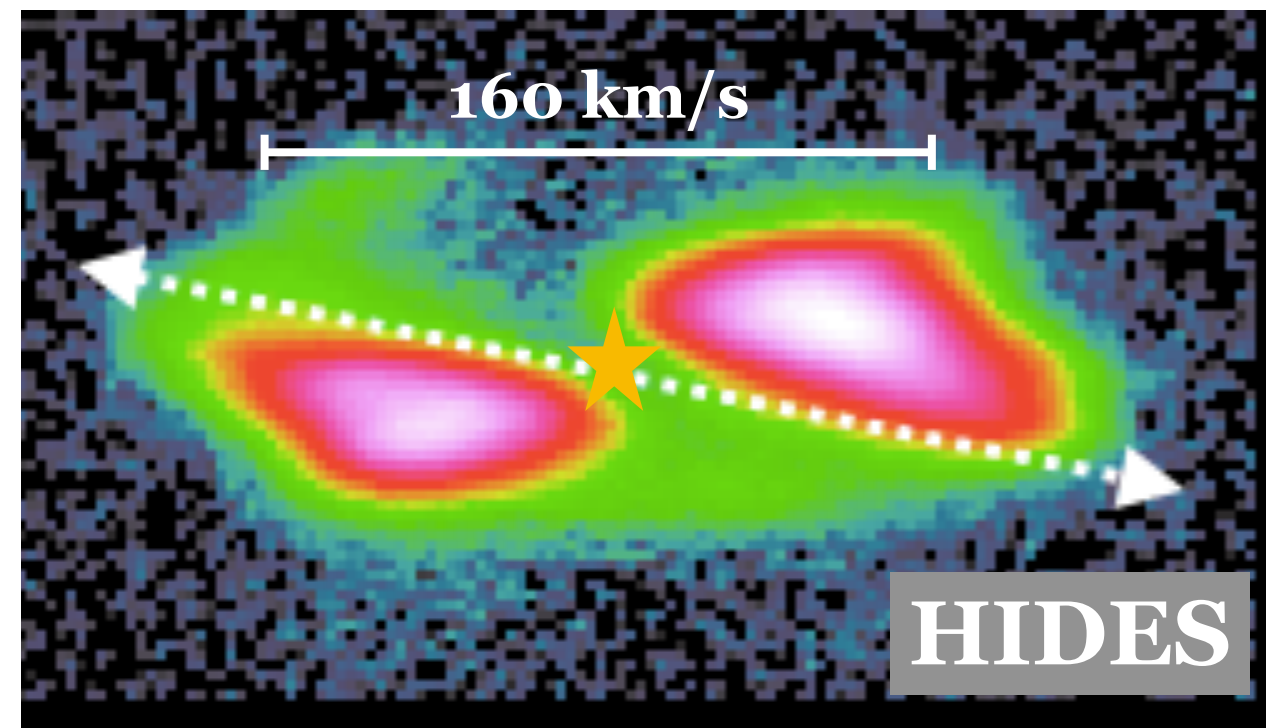
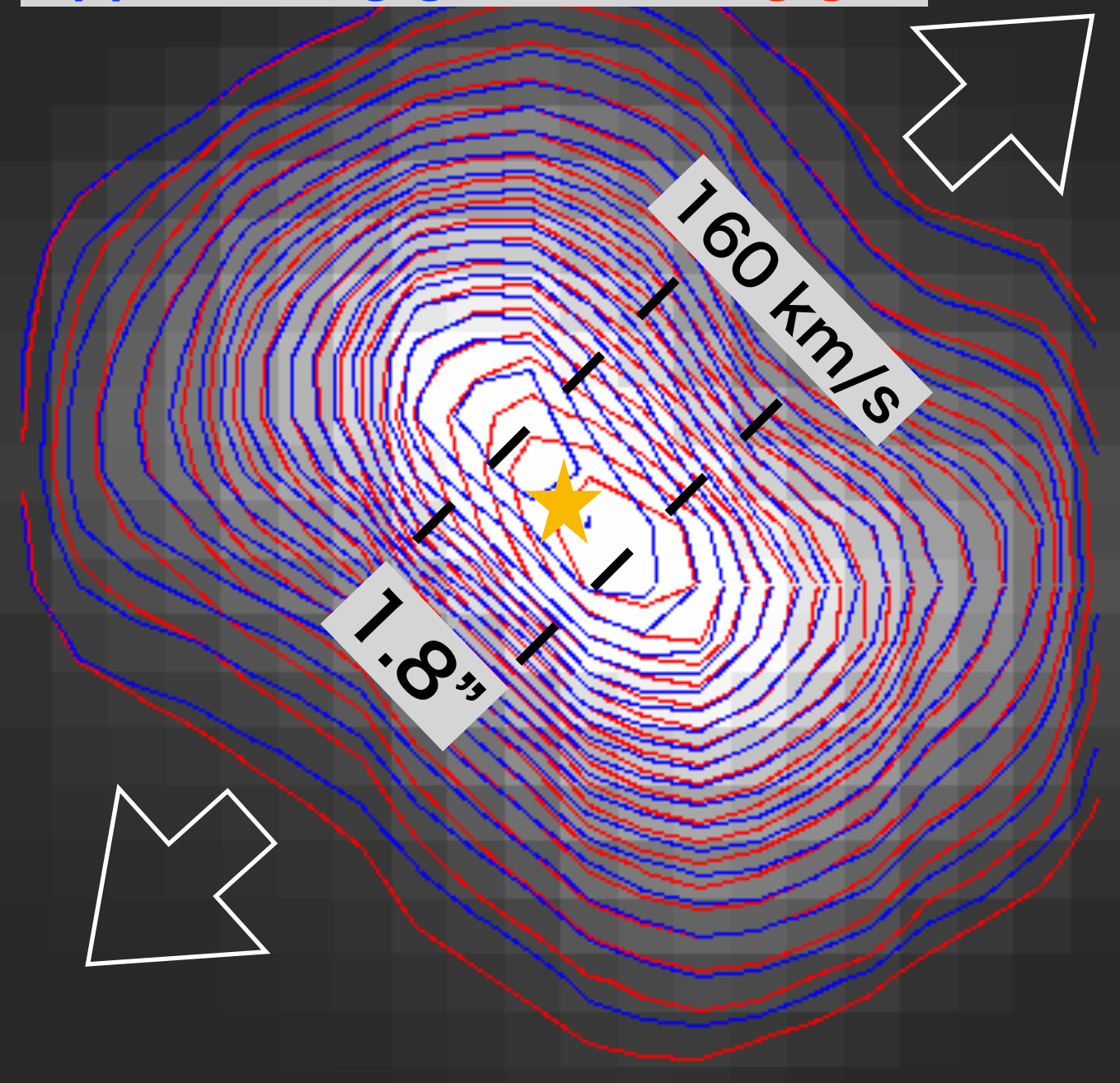
CLOUDY PI-modelling based on IUE, KOOLS, WISE, and AKARI



KOOLS/HIDES PV-maps of [OIII]5007 Å; Rotating Torus?



Approaching gas / Leaving gas

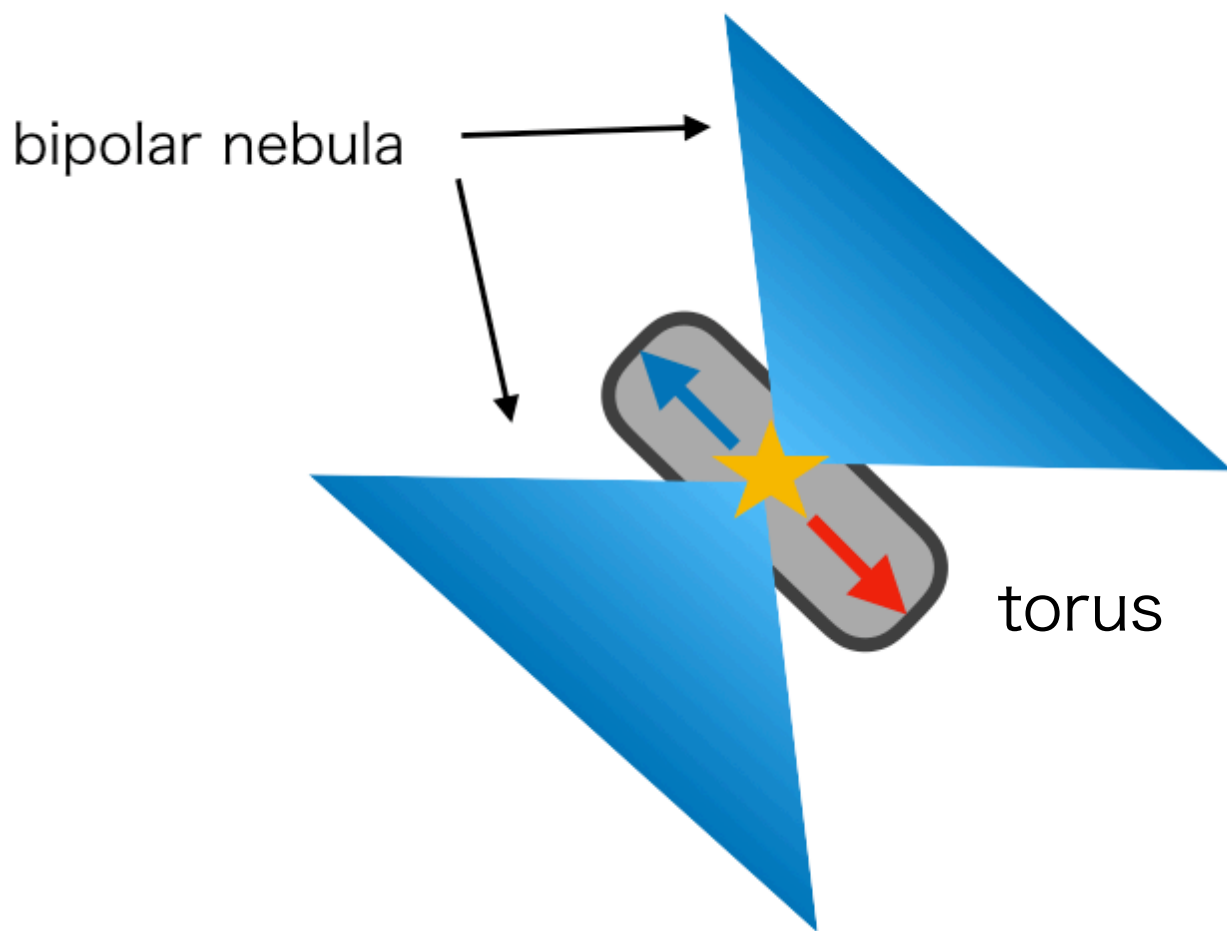


- ・ トーラスの両端で速度のズレ (KOOLES)
- ・ Keplerian rotation curveに良く似たプロファイル (HIDES)
- ・ 中心星質量0.67太陽質量としたとき、回転速度@10AUは7.5 km/s。トーラス回転成分+別の速度成分を見ている。

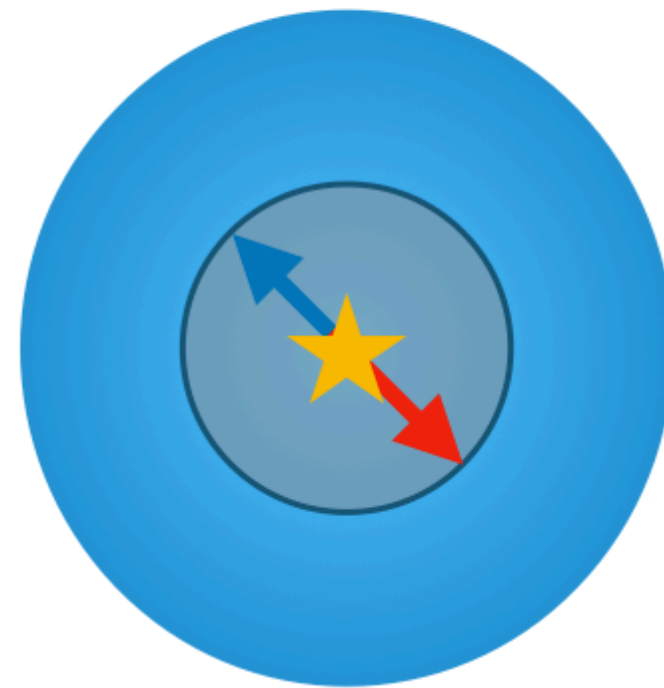
KOOLS/HIDES PV-maps of [OIII]5007 Å; Rotating Torus?

Edge-on View

Pole-on View

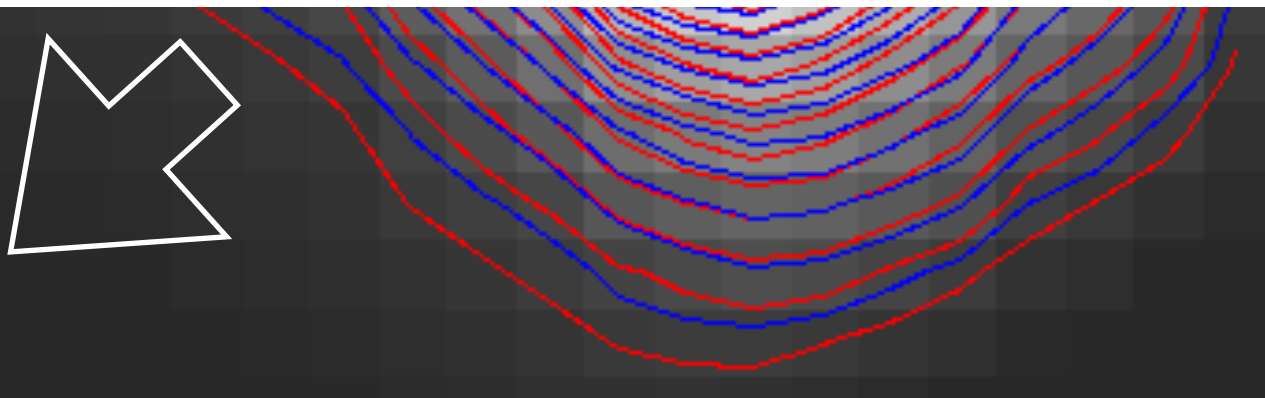


KOOLSが新たに発見
したのは青・赤矢印で
示した速度成分



ロニアイル(HIDES)

- 中心星質量0.67太陽質量としたとき、
回転速度@10AUは7.5 km/s。トーラス
回転成分+別の速度成分を見ている。



Lessons learned from our study with the Seimei/KOOLS-IFU

- 元素組成分布は一様ではない。天体のサイズに対してエントランスが狭いスリット分光でえられた物理量は対象天体の代表的値であることを保証しない。
- 一方、KOOLS-IFUなど面分光観測は物理量の空間的分布、代表的な値を得ることが可能。よって、面分光観測で得られる物理量マップは、
 1. 対象天体の理解、
 2. AGB元素合成モデルのカリブレーション、
 3. 銀河の化学進化（たとえば金属量勾配）、などに有用。
- 視線方向の縮退で決して見ることができない速度成分も面分光を使えば見ることができる。

About Seimei and KOOLS, Please drop by
<http://seimei.nao.ac.jp/openuse/um/um2019/>

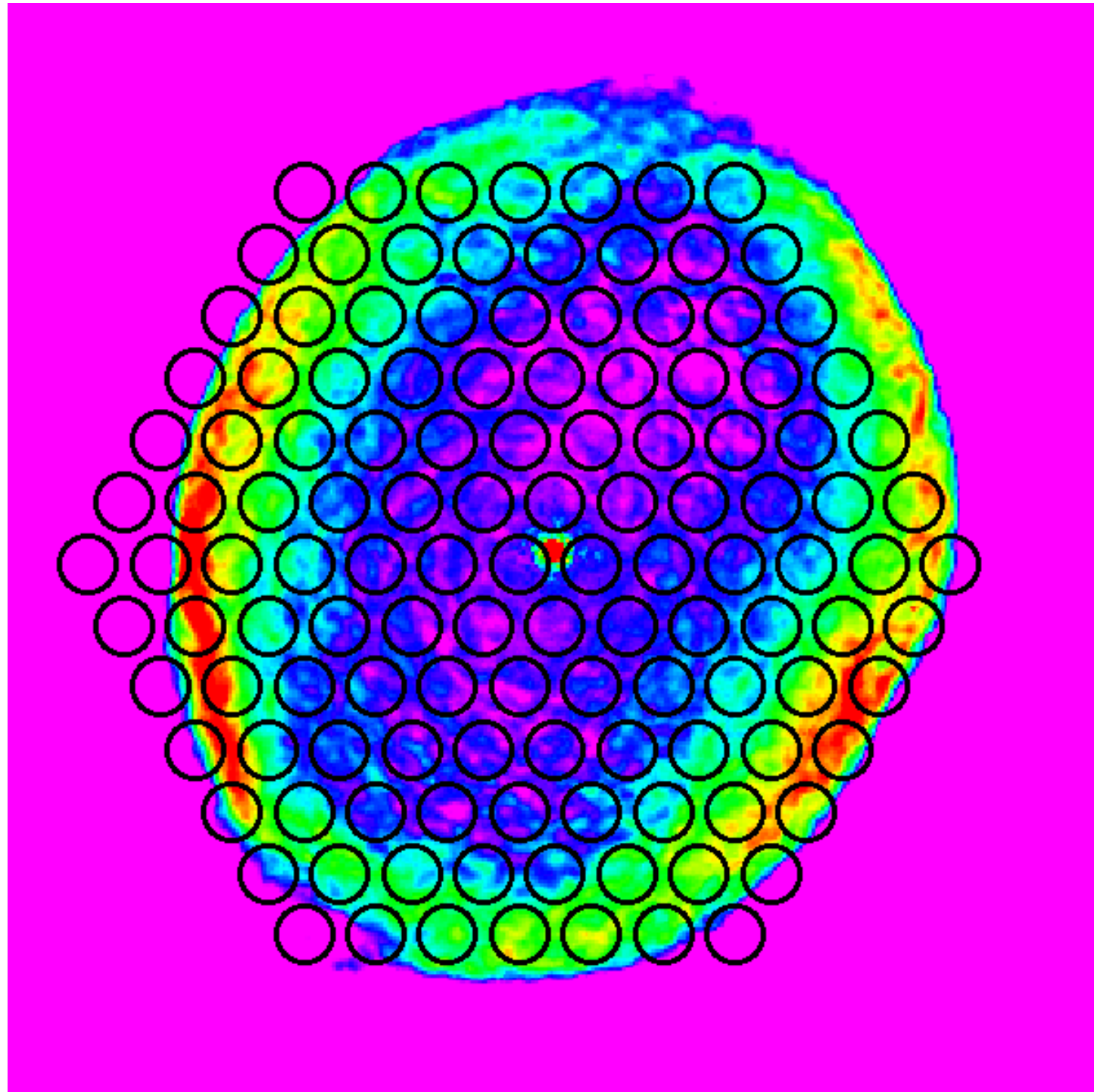
Mapping observation of the PN IC418

- Date: 16, Oct, 2019
- KOOLS-IFU VPH BLUE
grating
- Single 30 sec exposure
per a position



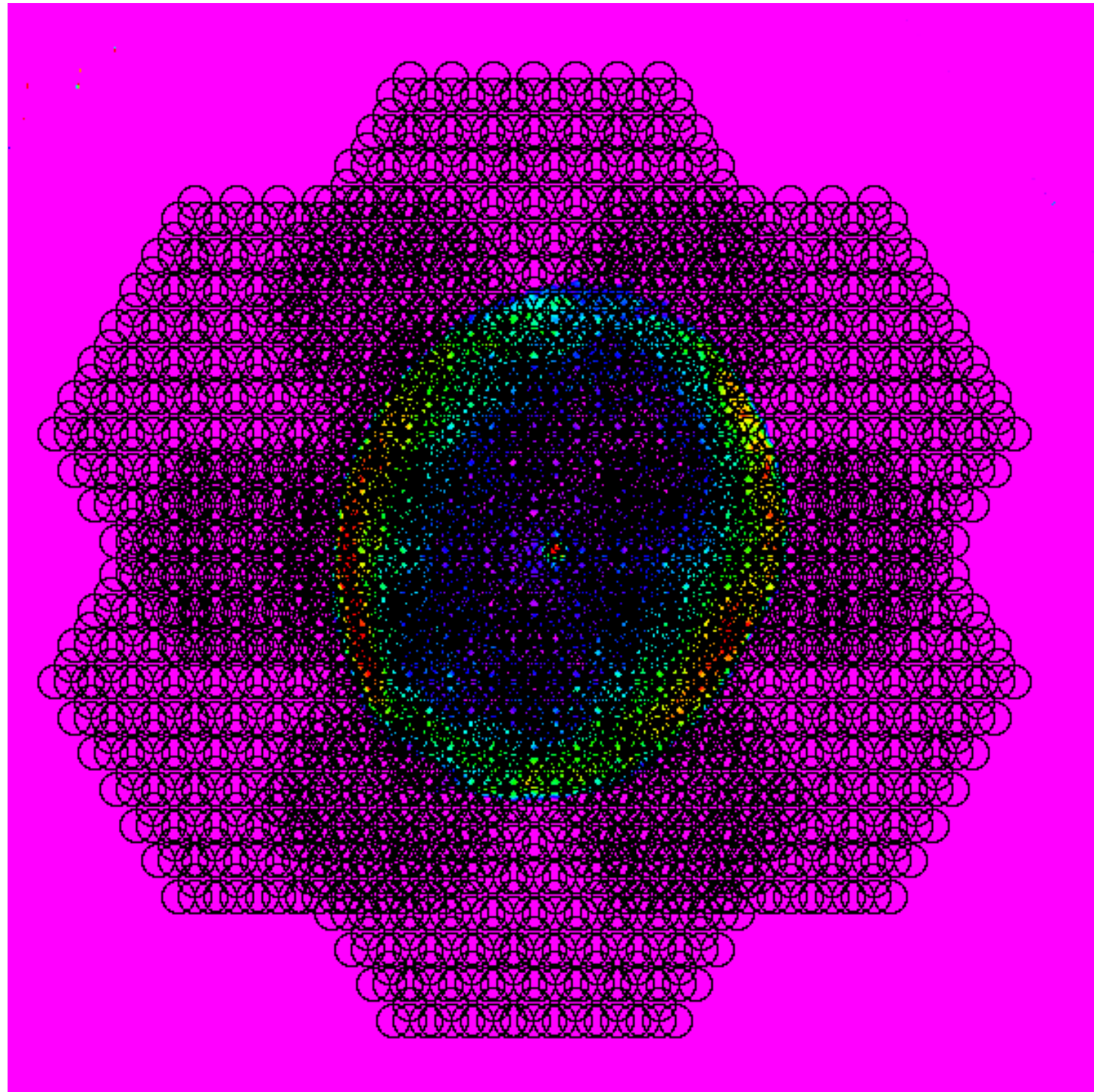
Mapping observation of the PN IC418

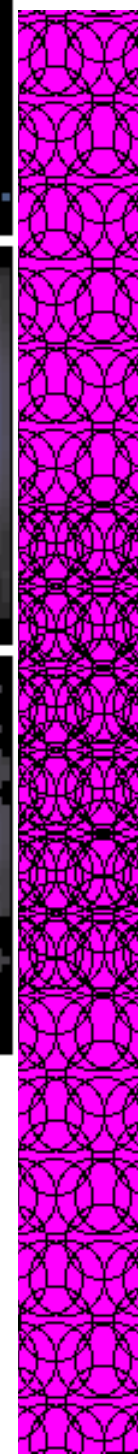
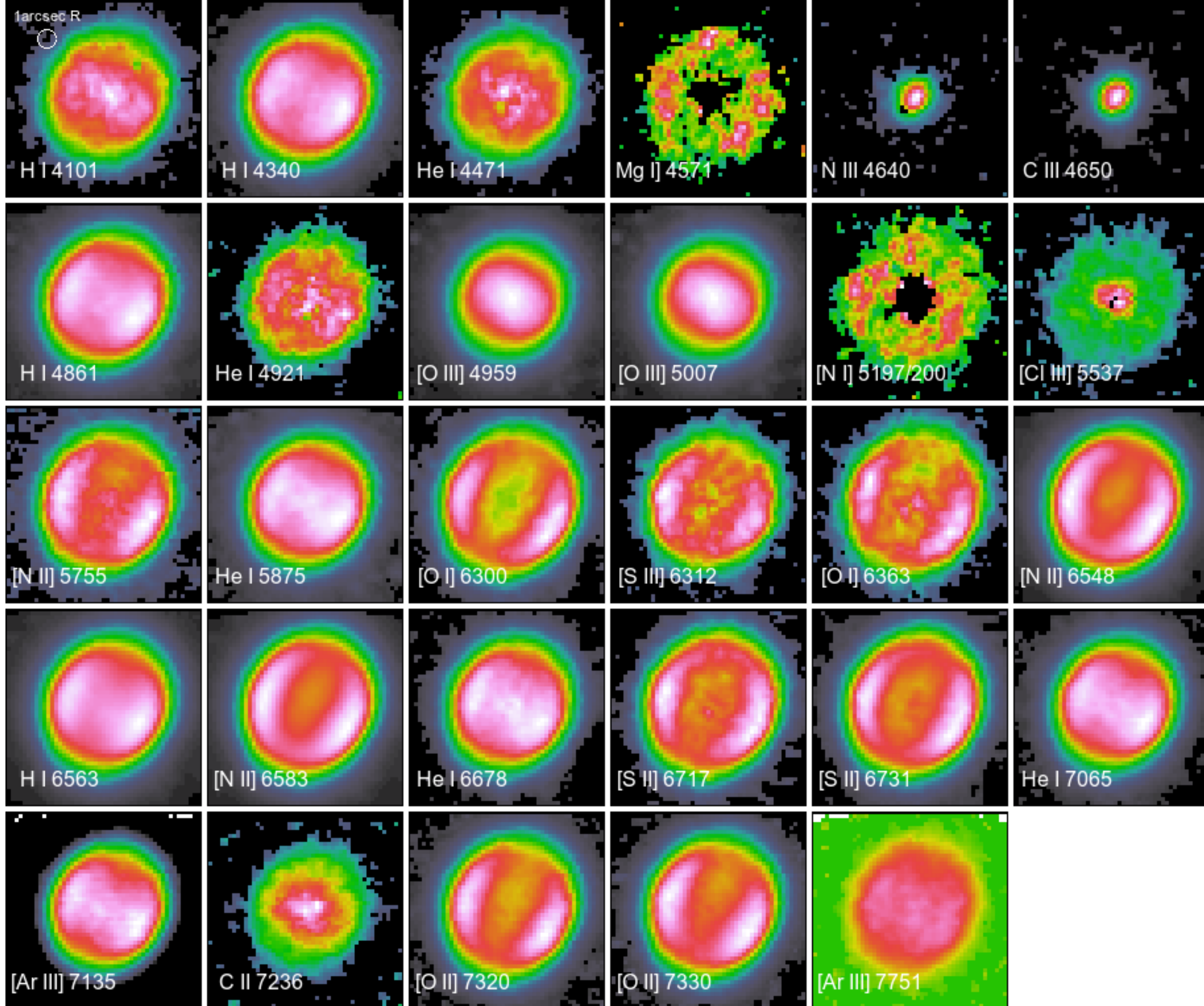
- Date: 16, Oct, 2019
- KOOLS-IFU VPH BLUE grating
- Single 30 sec exposure per a position



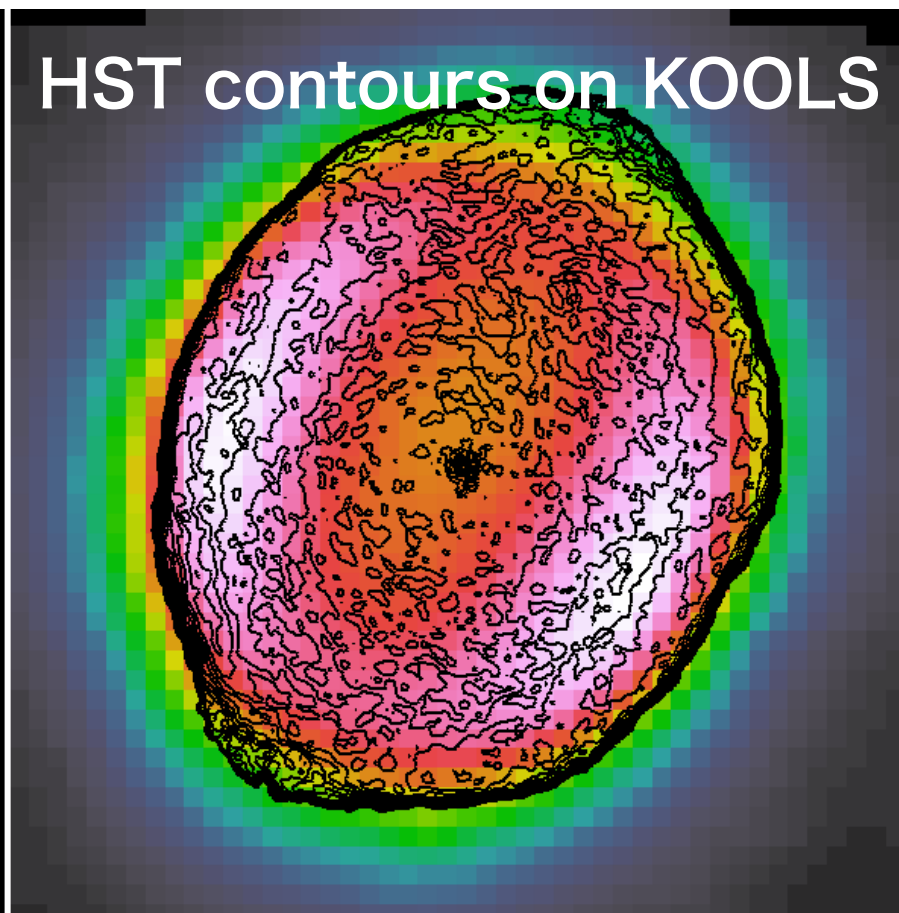
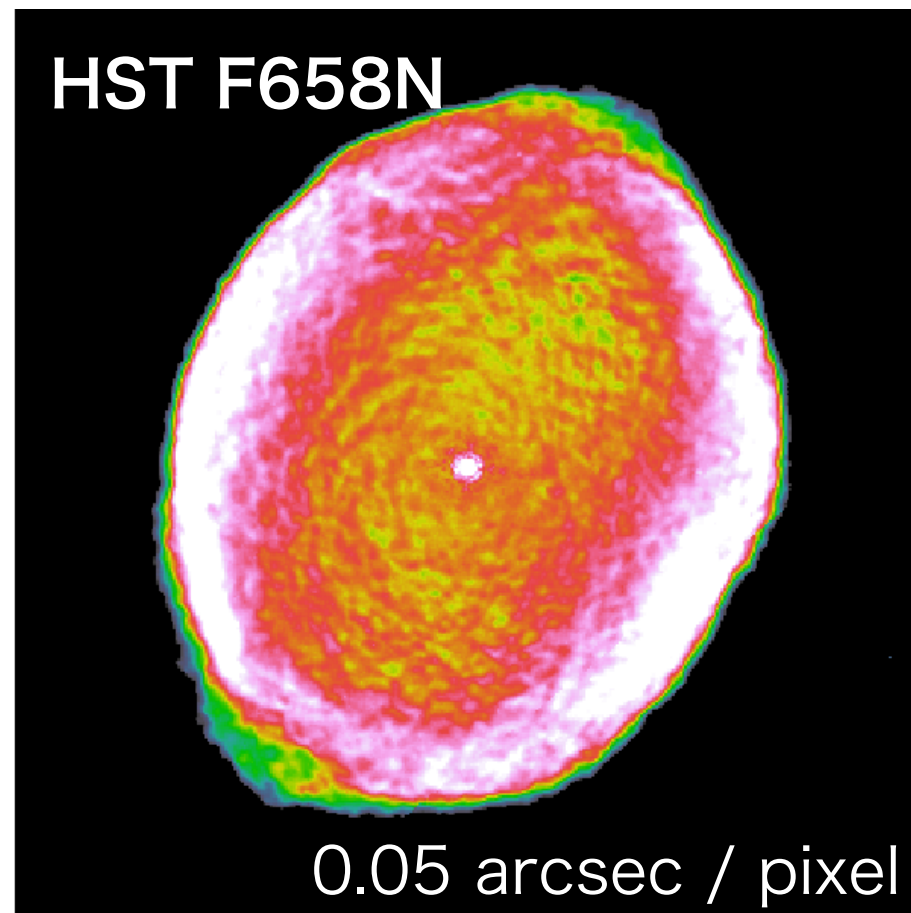
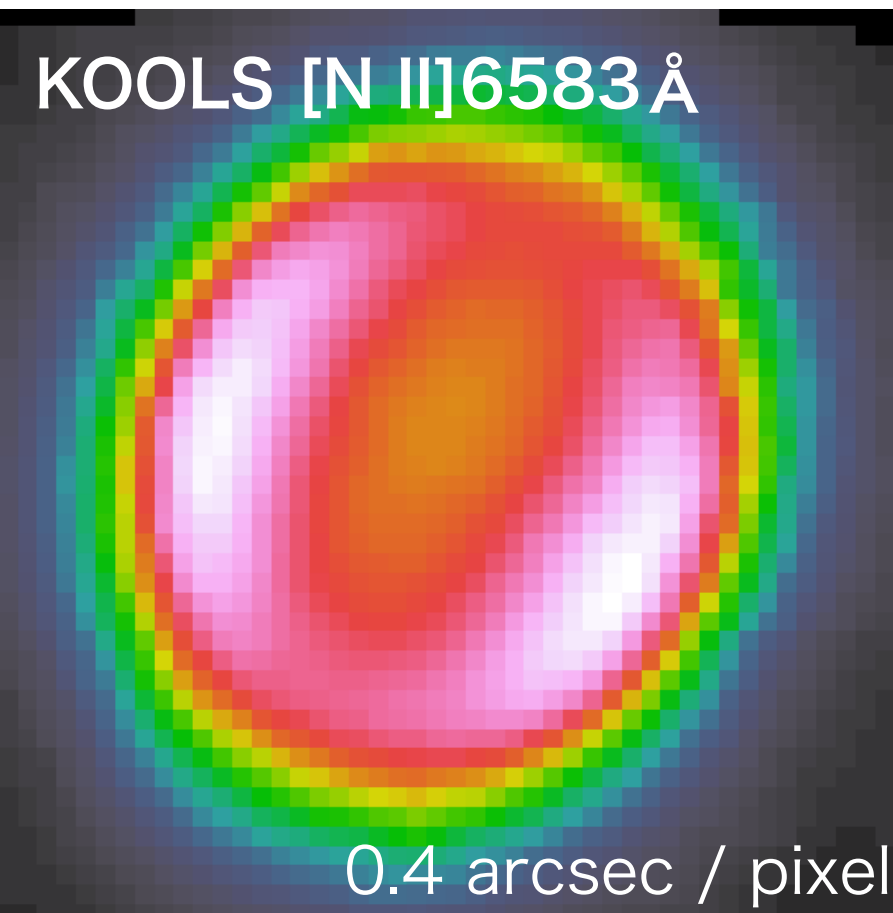
Mapping observation of the PN IC418

- Date: 16, Oct, 2019
- KOOLS-IFU VPH BLUE grating
- Single 30 sec exposure per a position





Comparison btw KOOLS *Pure* [N II]6583 Å line map and HST WFPC2 F658N image



Again, Lessons learned from our study with the Seimei/KOOLS-IFU

- 元素組成分布は一様ではない。天体のサイズに対してエントランスが狭いスリット分光でえられた物理量は対象天体の代表的値であることを保証しない。
- 一方、KOOLS-IFUなど面分光観測は物理量の空間的分布、代表的な値を得ることが可能。よって、面分光観測で得られる物理量マップは、
 1. 対象天体の理解、
 2. AGB元素合成モデルのカリブレーション、
 3. 銀河の化学進化（たとえば金属量勾配）、などに有用。
- 視線方向の縮退で決して見ることができない速度成分も面分光を使えば見ることができる。

About Seimei and KOOLS, Please drop by
<http://seimei.nao.ac.jp/openuse/um/um2019/>