

有松亘、尾中敬、左近樹(東京大学)
金田英宏(名古屋大学)、あかりIRCチーム

近傍銀河の中間赤外域でのダスト輻射の性質

— 『あかり』による近傍銀河の赤外線撮像観測 —

Menu

- AKARI / IRC Image reconstruction method とその適用例
- 近傍渦巻銀河M81の近・中間赤外観測データの解析結果

Introduction

- Galaxy @mid-Infrared: Emission from PAHs, Very Small Grains and Classical Dust Grains

➡ 星間物質の銀河スケールでの分布、性質の空間的変化

中間赤外域で空間分解している近傍銀河の銀河中心、disk、星形成領域、arm / interarm や galactic haloの典型的なSEDを把握し、銀河進化の中でどのように星間物質が分布、進化していくかをとらえる。

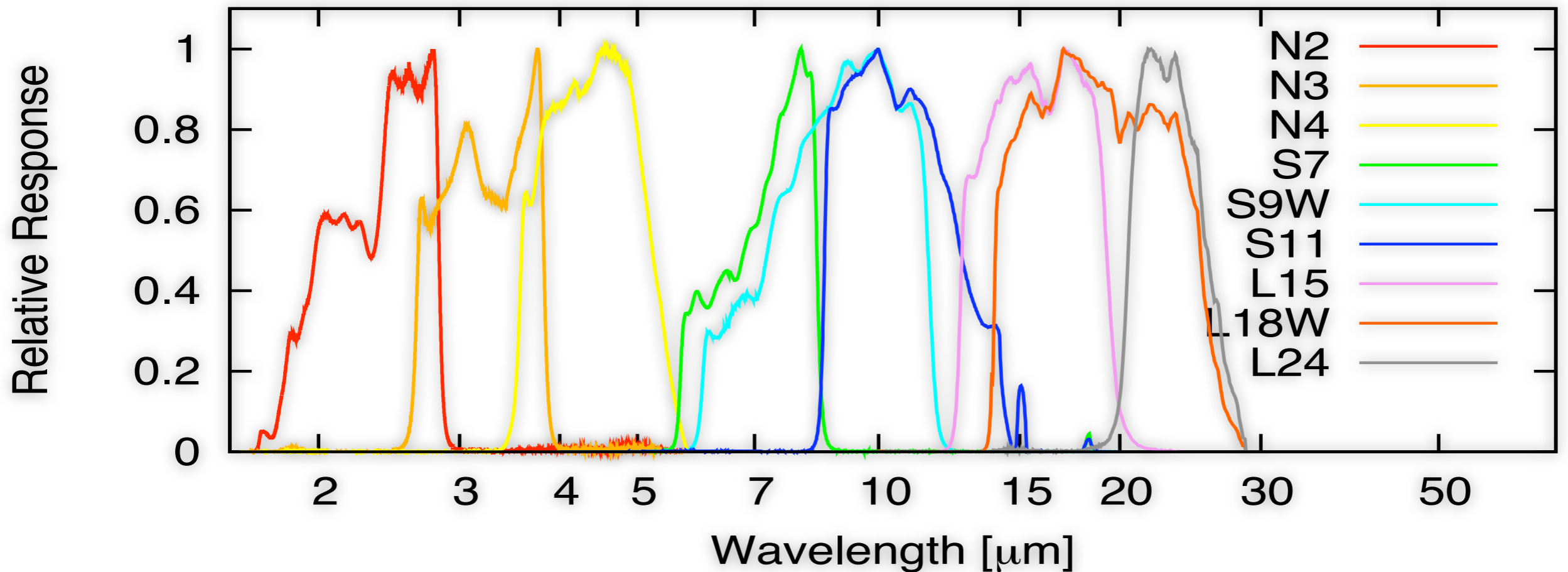
➡ 赤外輻射源の正確な把握

中間赤外域では、AGN, Star-forming regionからのダスト輻射, diffuse ISM からの輻射やLT-AGB starsなどからの輻射が縮退したものを観測している。

→星形成率などの見積もりの不確定性 (Kelson & Holden 2010)

→空間分解できている近傍銀河内の各 componentの典型的なcolor, SEDを導出して、これらのphotometricな縮退を解くことはできないか?

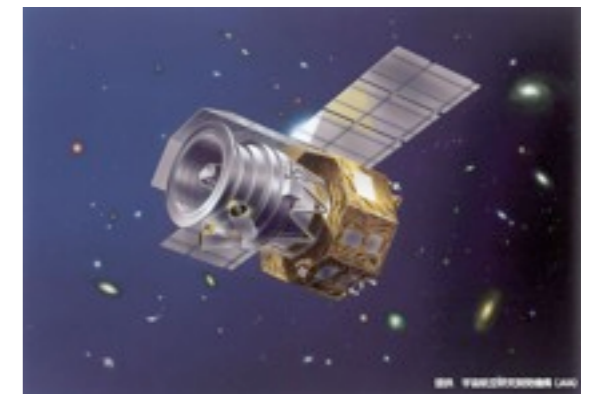
AKARI / IRC Response Curve



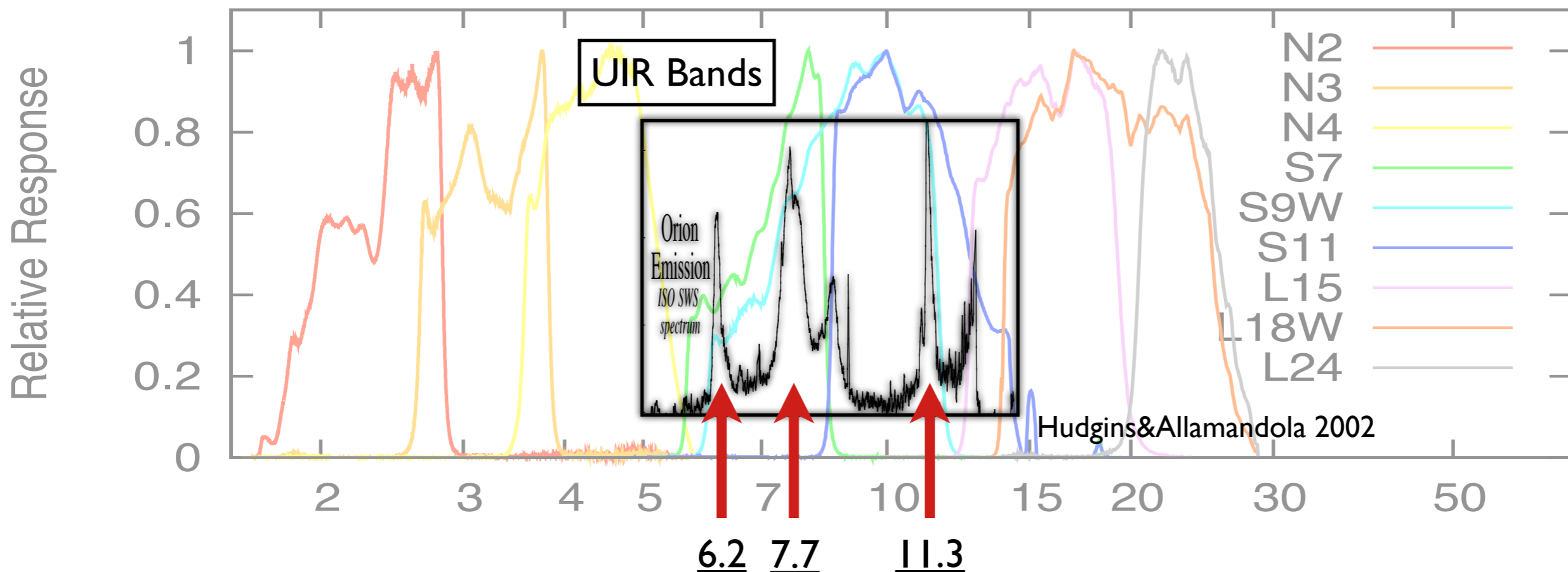
★ AKARI/IRC: 中間赤外域に多様なフィルターを備えている。

★ S7,S11,L15,L24の4 bands で7-30μmの波長域を隙間なくカバー。
(SpitzerはIRAC band4(8.0μm),MIPS 24μmのみ)

➡ UIR bands や ダストからの連続輻射(VSG, Classical Grain)の空間変化を、多バンドで捉えることで、ダスト、PAHの物理状態や性質を詳細に把握できる。



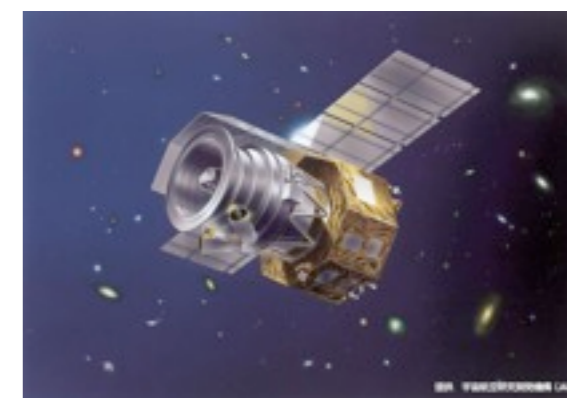
AKARI / IRC Response Curve



★ AKARI/IRC: 中間赤外域に多様なフィルターを備えている。

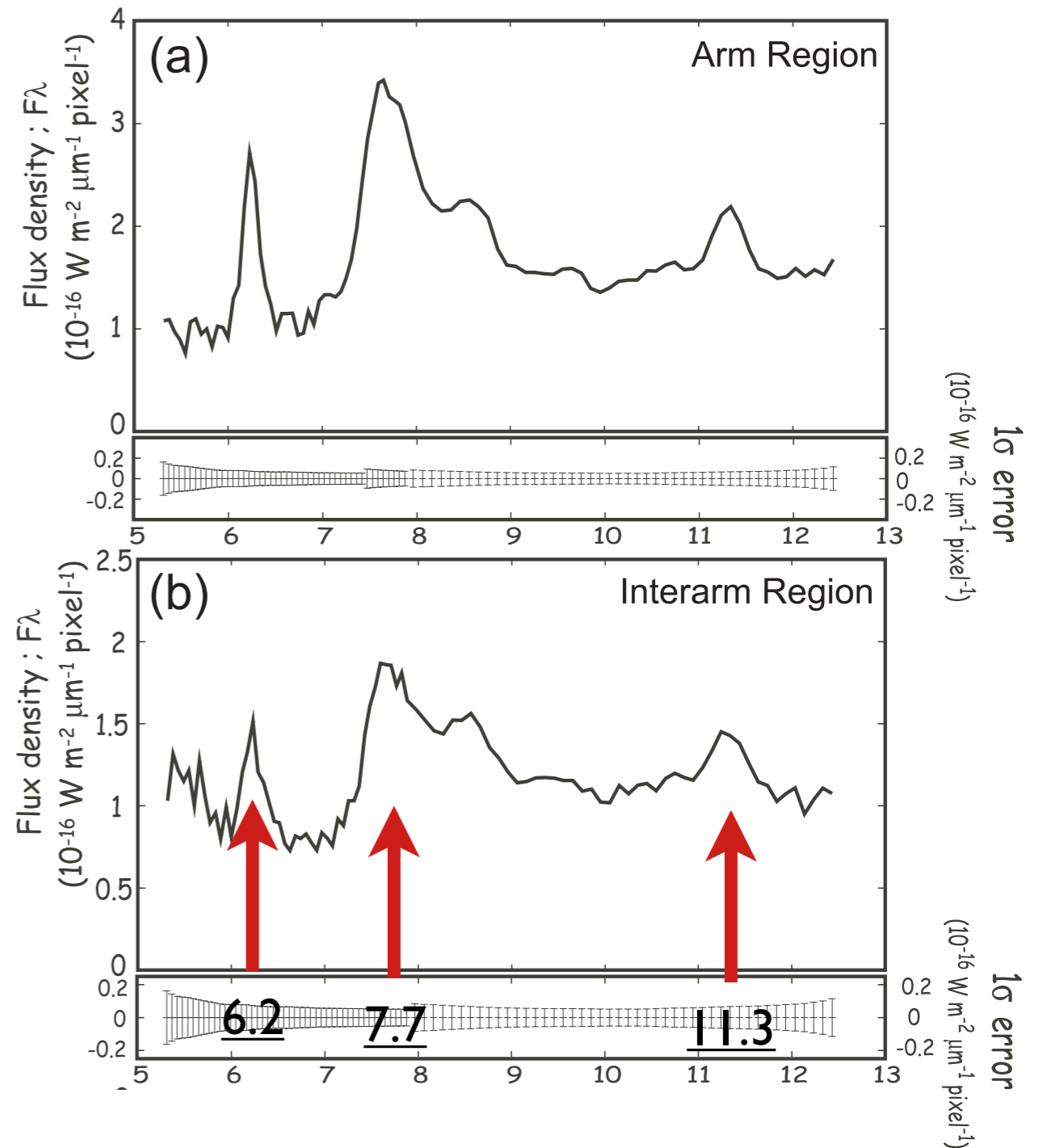
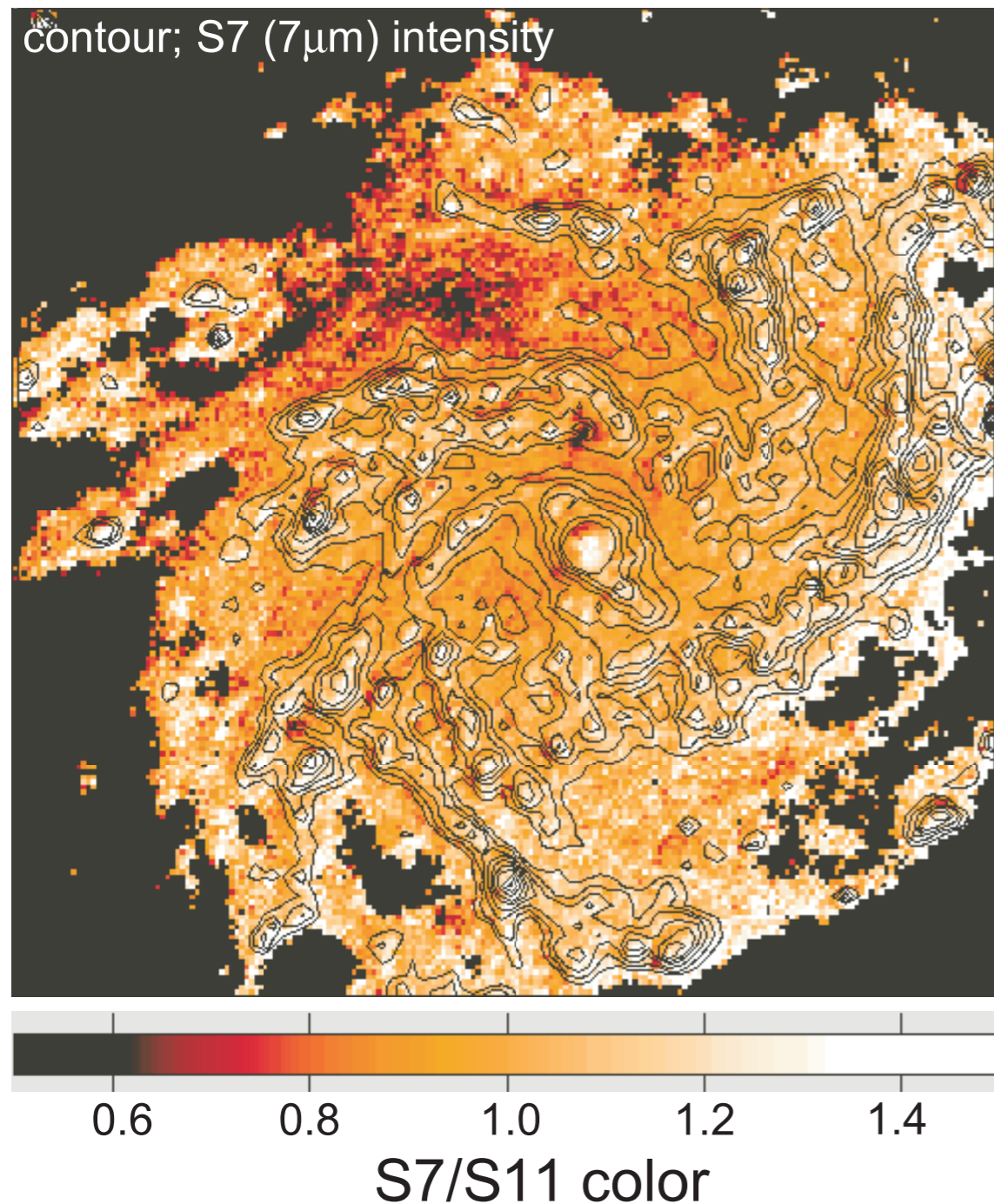
★ S7, S11, L15, L24の4 bands で7-30 μm の波長域を隙間なくカバー。
(SpitzerはIRAC band4(8.0 μm), MIPS 24 μm のみ)

➡ UIR bands や ダストからの連続輻射(VSG, Classical Grain)の空間変化を、多バンドで捉えることで、ダスト、PAHの物理状態や性質を詳細に把握できる。



UIR band ratio & PAH processing

Sakon et al. 2007 (NGC6946)

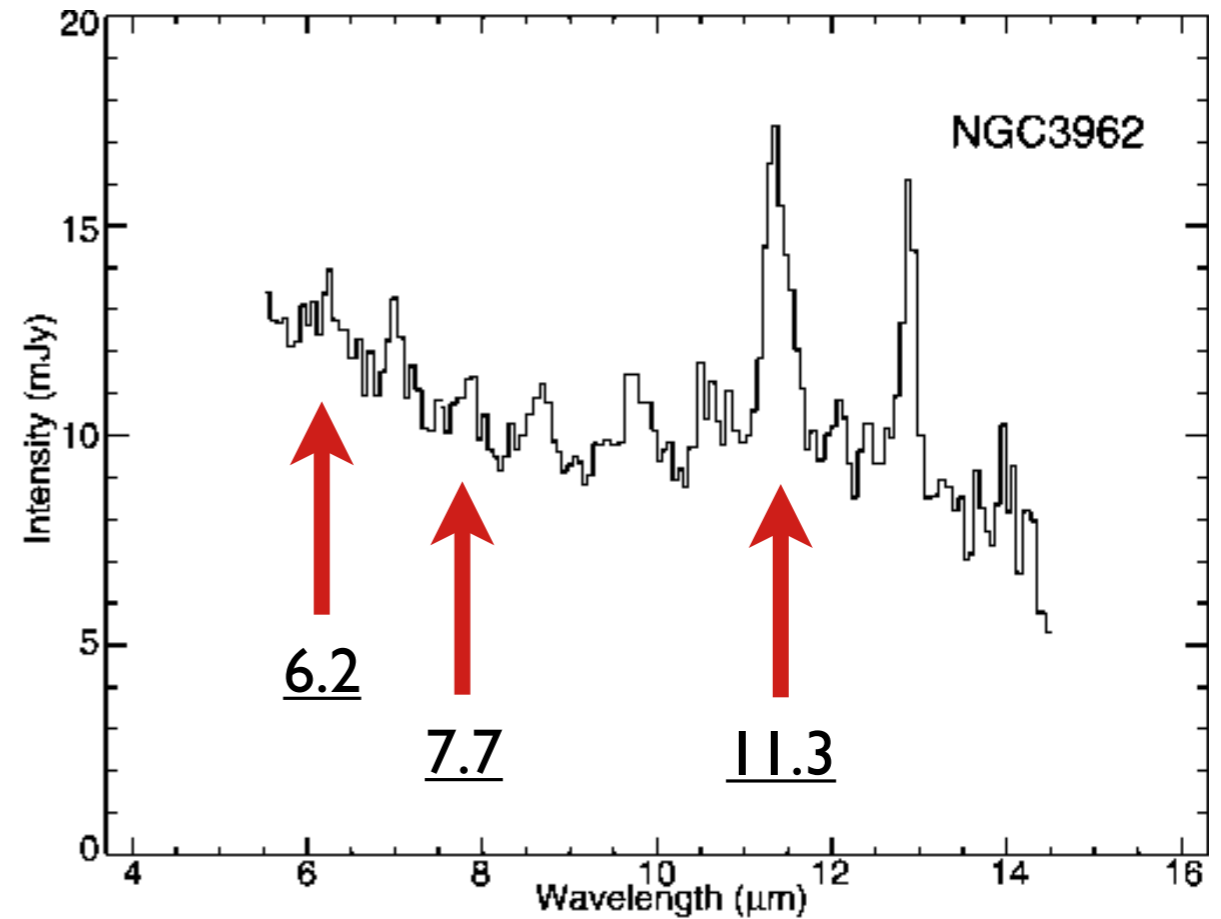
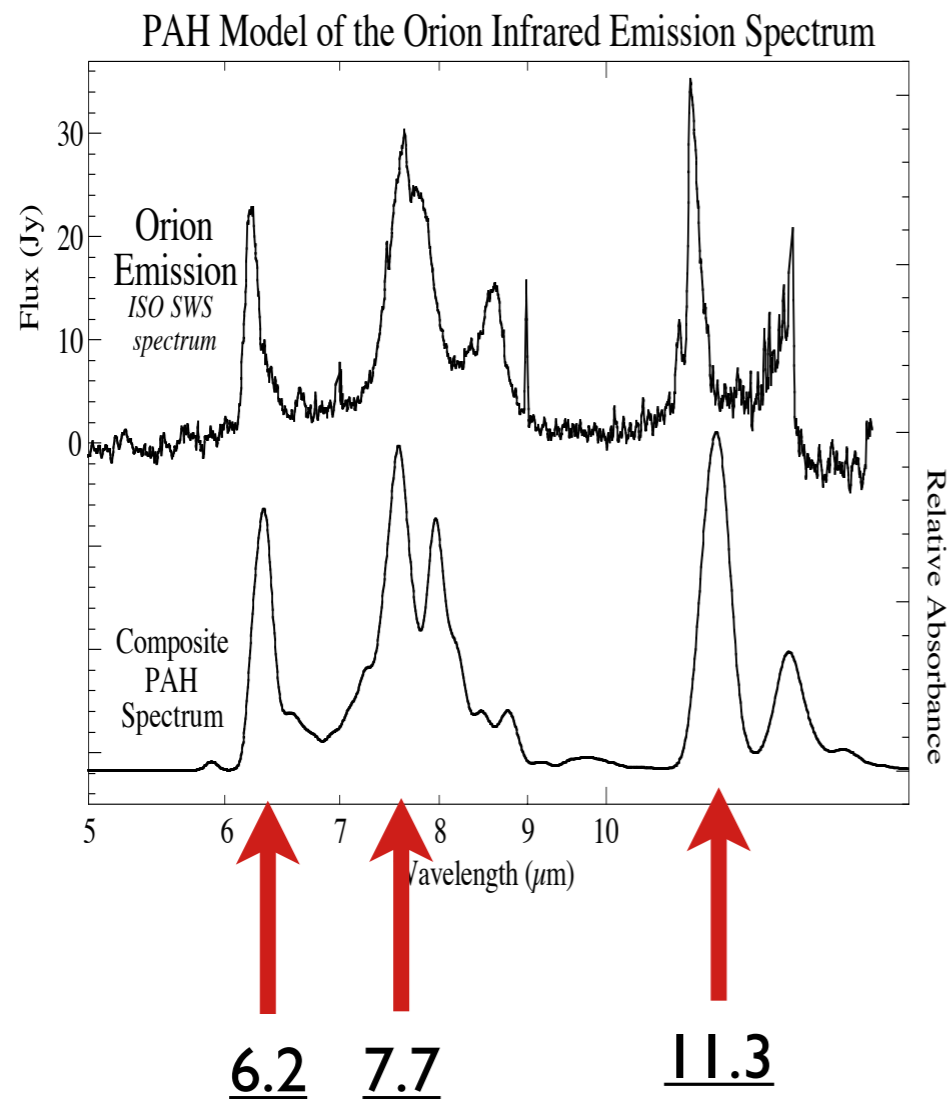


Increasing 7.7 / 11.3 μ m ratio \rightarrow ionized PAH dominant? (Galliano+ 2008a)

UIR band ratio & PAH processing

Kaneda et al. 2005, 2007 (Elliptical Galaxy)

Hudgins&Allamandola 2002



Weak 7.7 & 6.2 feature →

Neutral, larger PAHs are dominant? (Galliano+ 2008a)

Data Reduction

- To study point, clumpy and diffuse components in a galaxy, we have to.....

- ★ Subtract Ghosts & Scattering light effects

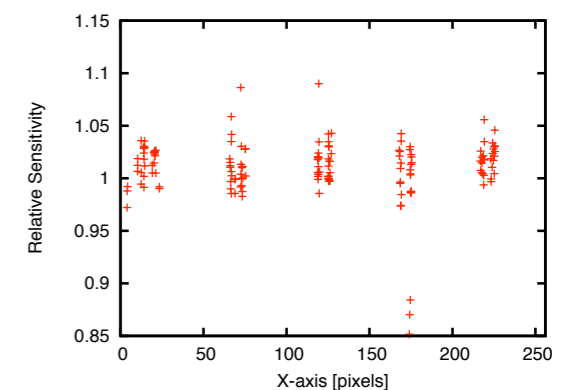
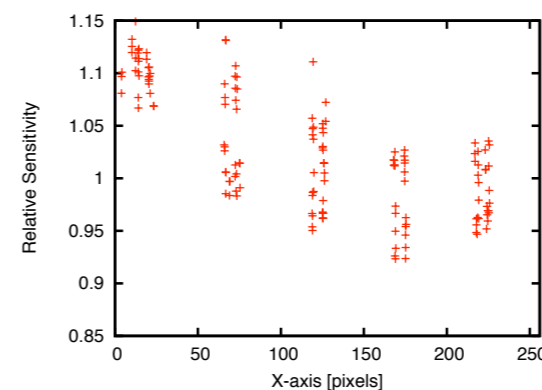
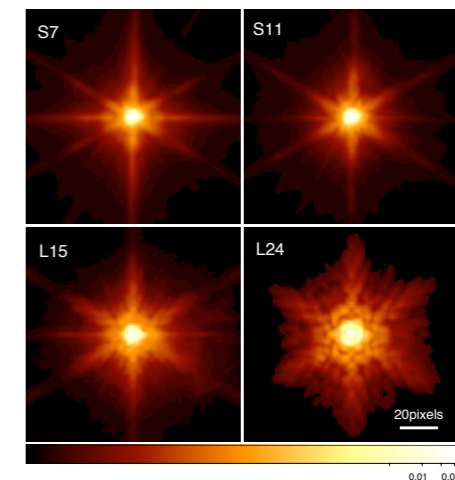
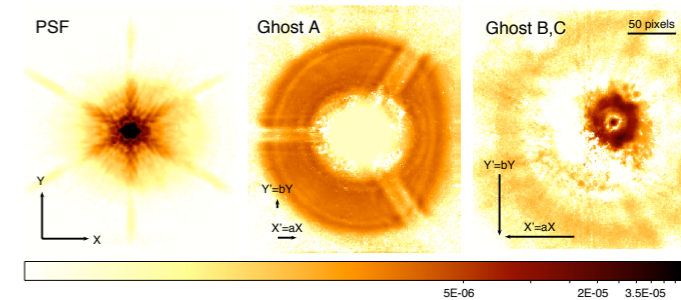
- Extract ghost patterns of MIR-S and MIR-L
- "Ghost Subtraction"

- ★ Correct Extended PSF effects

- Extract PSF patterns of IRC images and calculate Aperture Correction Factors
- "Re-Convolution"

- ★ Execute Accurate Flat Fielding

- Subtract Ghost Effects on Sky Flat frames and obtain Flat frames 5 times more accurate than ever



“Re-convolution” : Reconstruction of IRC imaginif data

- ★ Ghostsの寄与を差し引いた上で、各バンドごとにPSFのmodelを作成。
- ★ Fourier space 上で、元の画像に対して作成したPSF modelで逆畳み込みを行い、同時にGaussian PSF でconvolutionさせる。

$$K(x, y) = \text{DFT}^{-1} \left\{ \frac{\text{DFT}[\text{PSF}_{\text{model}}(x, y)]}{\text{DFT}[\text{PSF}_1(x, y)]} \right\}$$

- ★ Extendedで複雑な構造のあるPSFを持ったIRC撮像データから、diffuseな天体の正確な輝度分布やcolor mapの作成が可能に。
 - ★ 高輝度な成分がある場合、逆畳み込みの際に不安が残る？
- ➡ CLEANをもちいて、平滑化を行う前処理を挟む

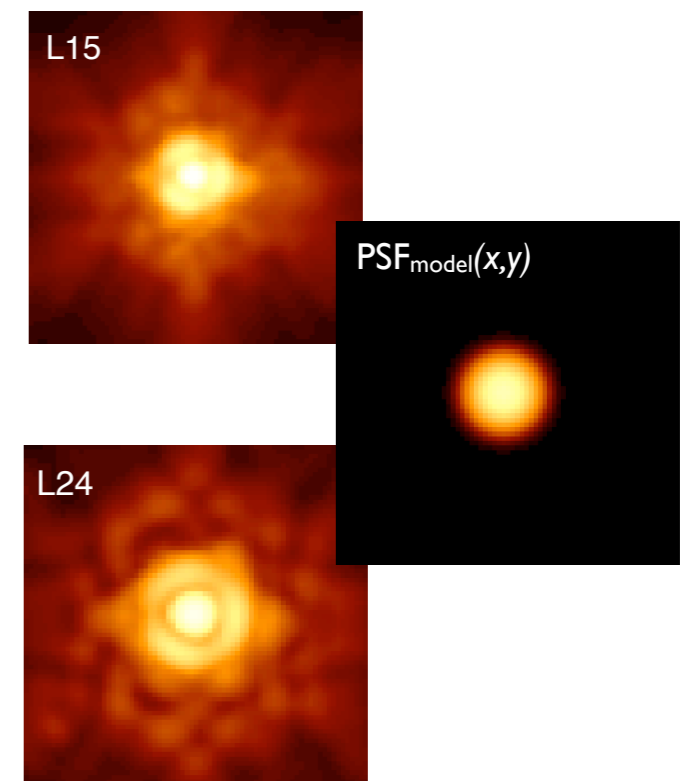
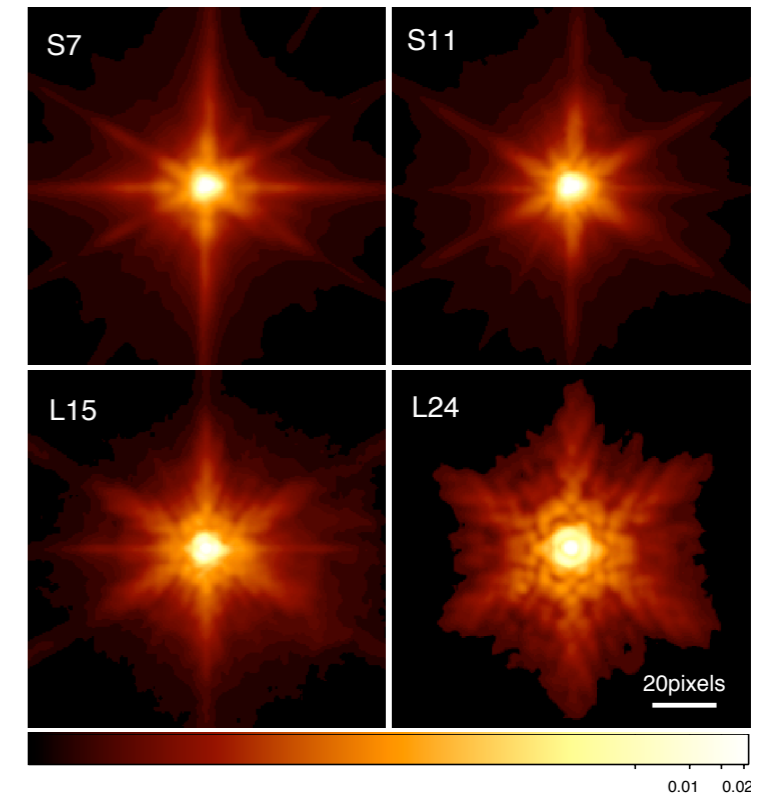


Image reconstructionの例

Before Image Reconstruction

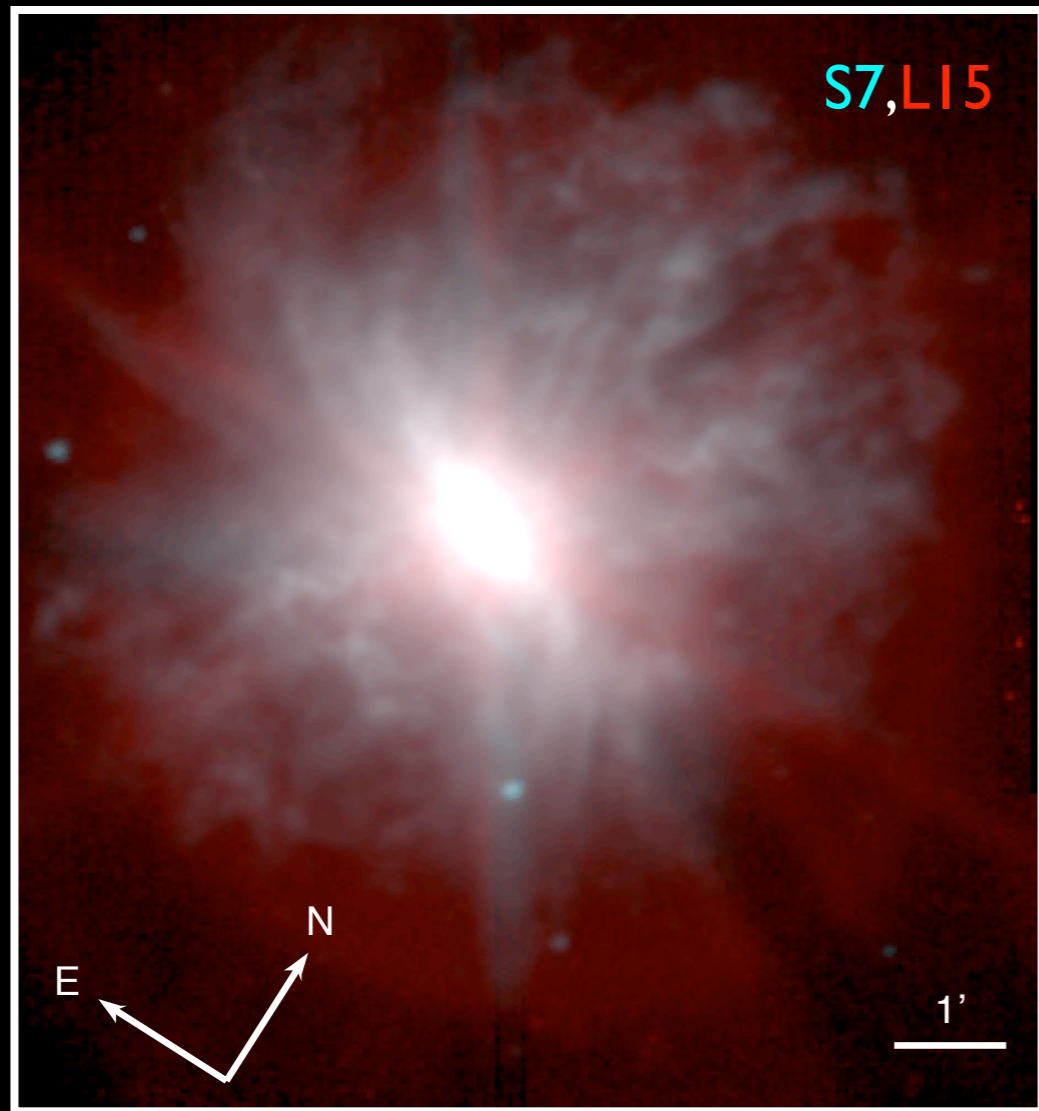
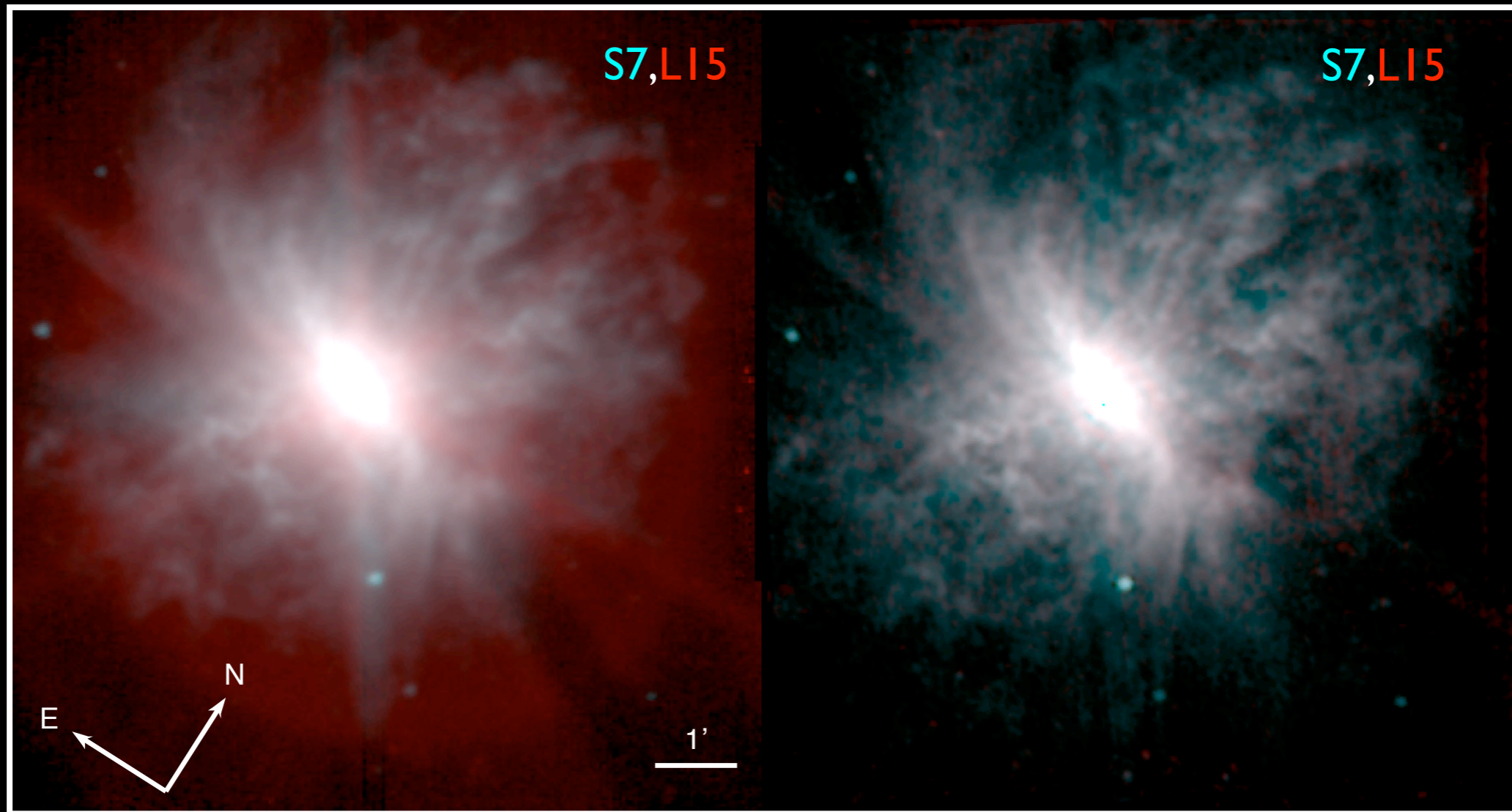


Image reconstruction

Before Image Reconstruction
FWHM: 5.1-6.8''

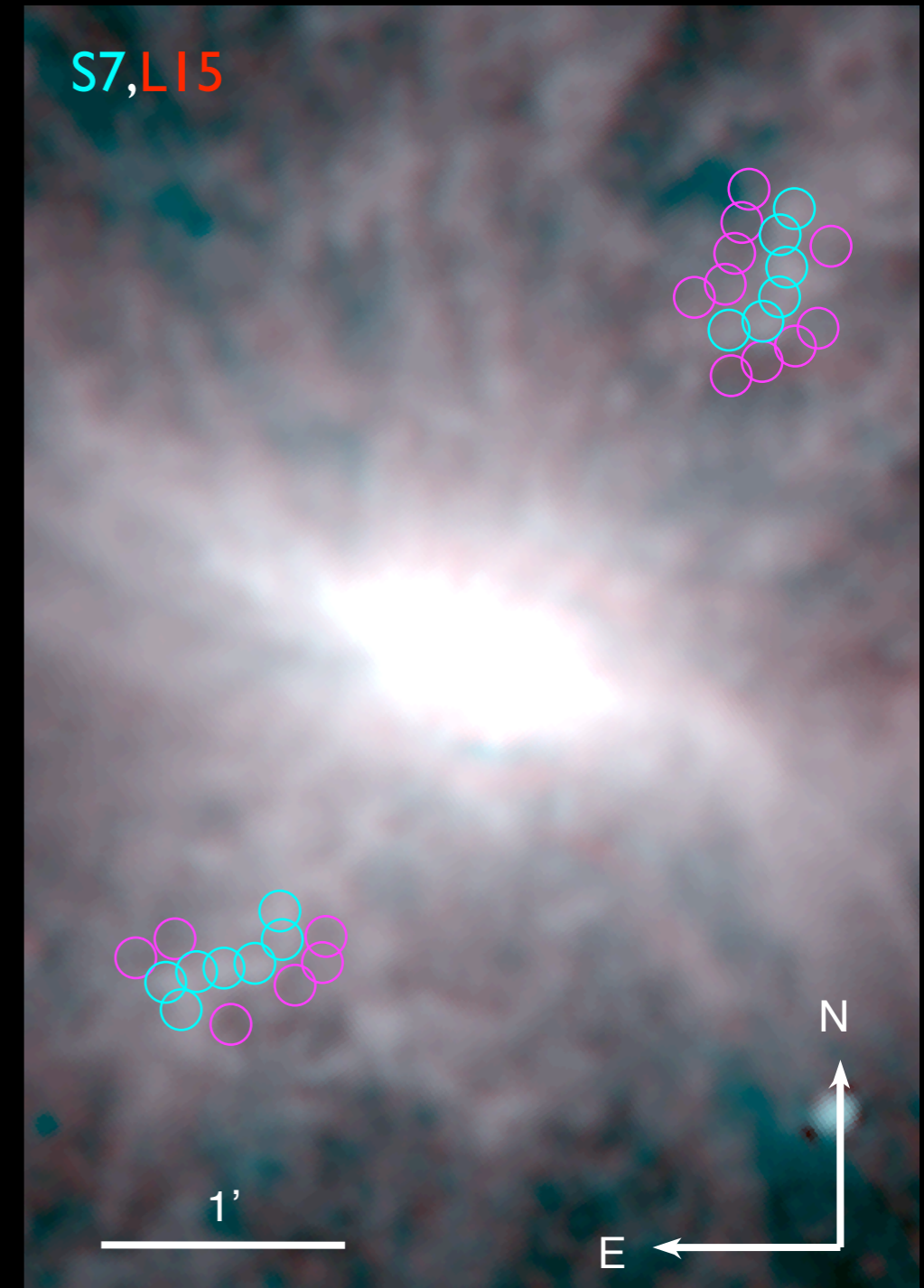
After Image Reconstruction
FWHM: 7.0''



CLEANing Bright Sources + "Re-Convolution"

Image reconstruction

- Filament構造:とカラーの関係
 - S7/S11
 - Filament : 1.05 ± 0.1
 - Inter filament : 0.95 ± 0.15
 - L15/S11
 - Filament : 0.9 ± 0.1
 - Inter Filament : 0.8 ± 0.2
- ➡ Filament & Inter Filament 間で有意な差はみられない。
- ➡ PAHの電離、サイズ分布などの変化は確認できなかった。
- ➡ shock がたっている領域でのPAHの共存: 金田先生の見解と一致



M81 : a Grand Design Spiral Galaxy

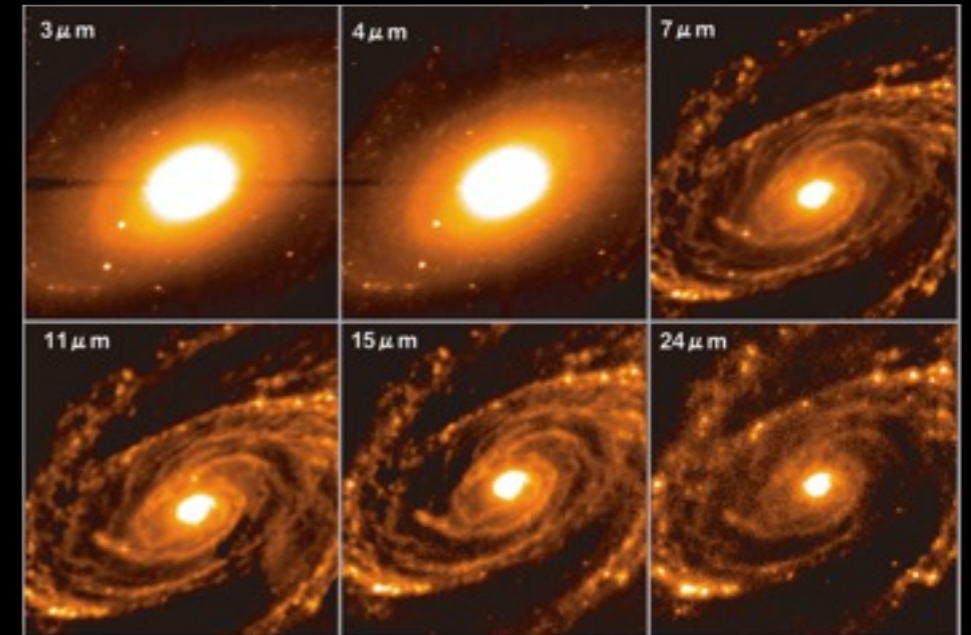
optical: HST ACS/WFC

2MASS

AKARI / IRC Press Release



渦巻き銀河M81の近・中間赤外線画像



「あかり」近・中間赤外線カメラ



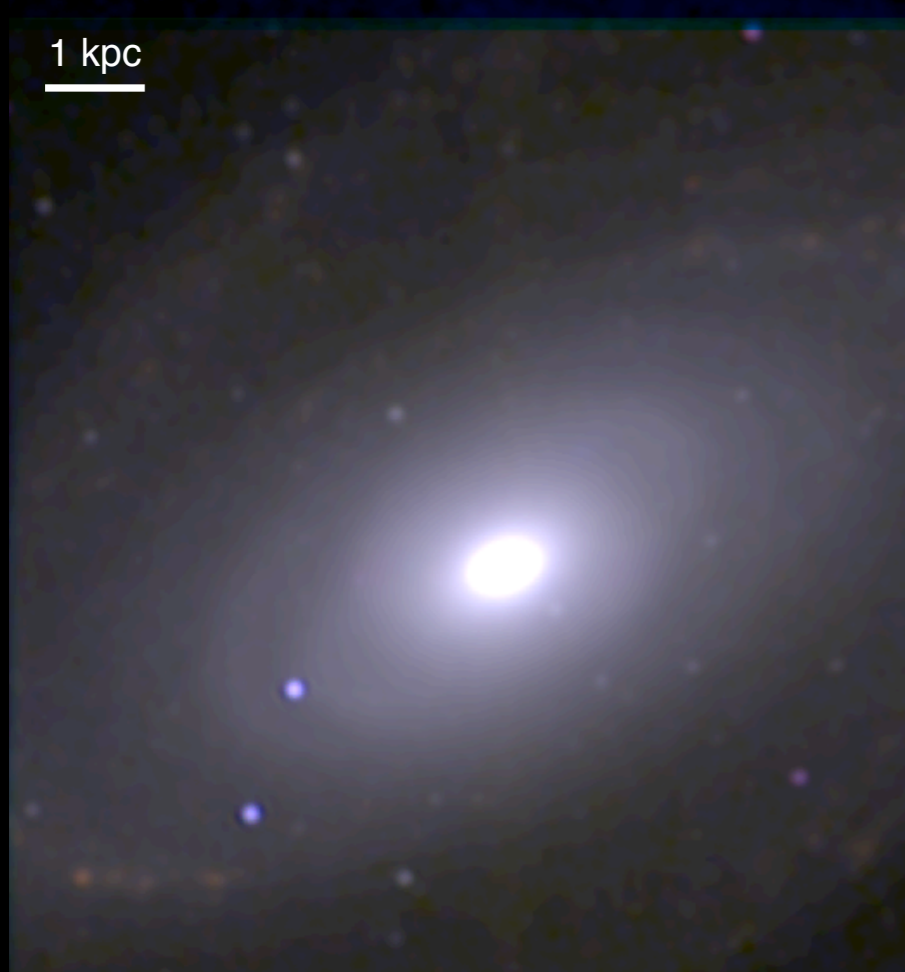
2006年5月22日

10 arcmin ~ 10kpc

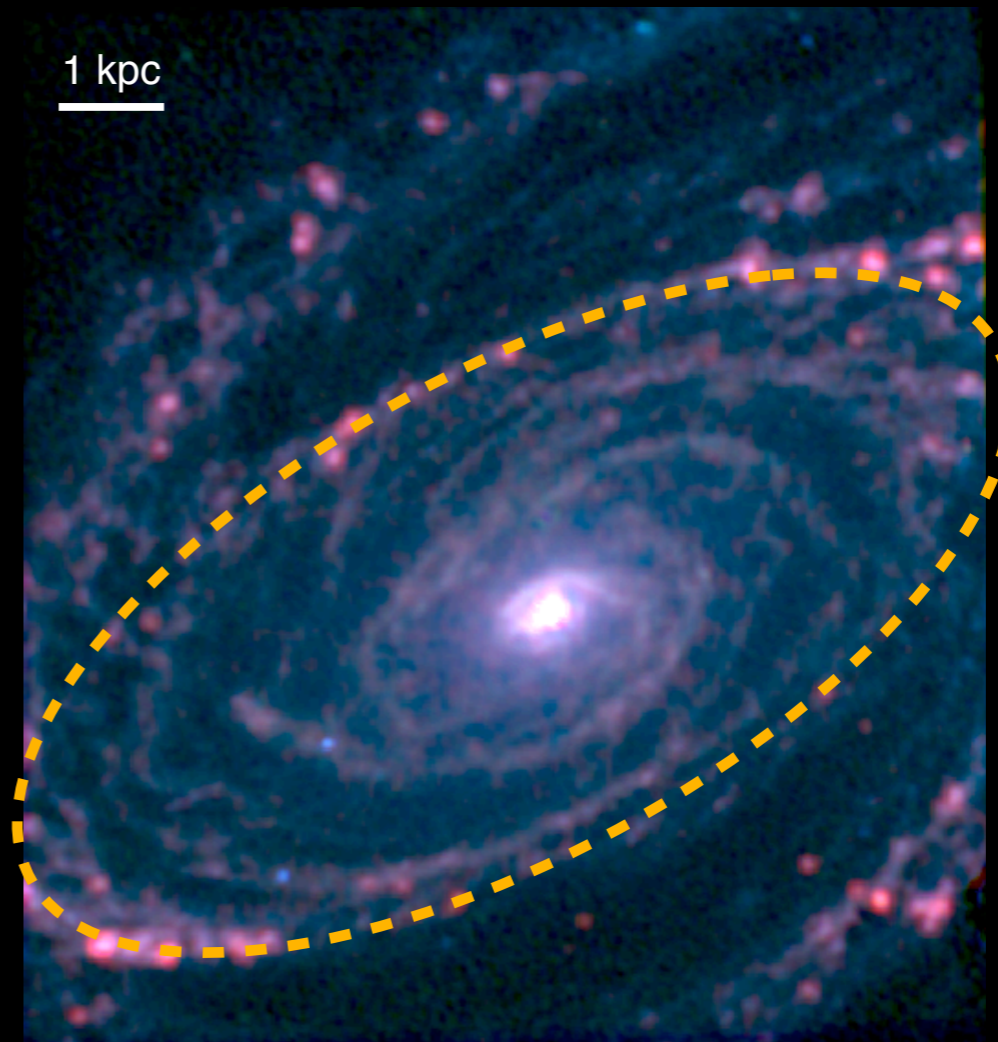
- M81: Nearby grand design spiral galaxy ($D=3.63\text{Mpc}$ Freedman et al. 1994)
- Tidal interaction with M82 (Yun+ 1994)
- Inner Lindblad Resonance (ILR: $R\sim 4.3\text{kpc}$ (Kendall))付近と spiral arm上にHII regionが点在
- バルジが卓越。 like E-type galaxy (Fisher+ 2010)
- ILR内側には中間赤外域でspiral likeな構造。

M81 : AKARI / IRC View

Near Infrared(2MASS K, N3, N4)



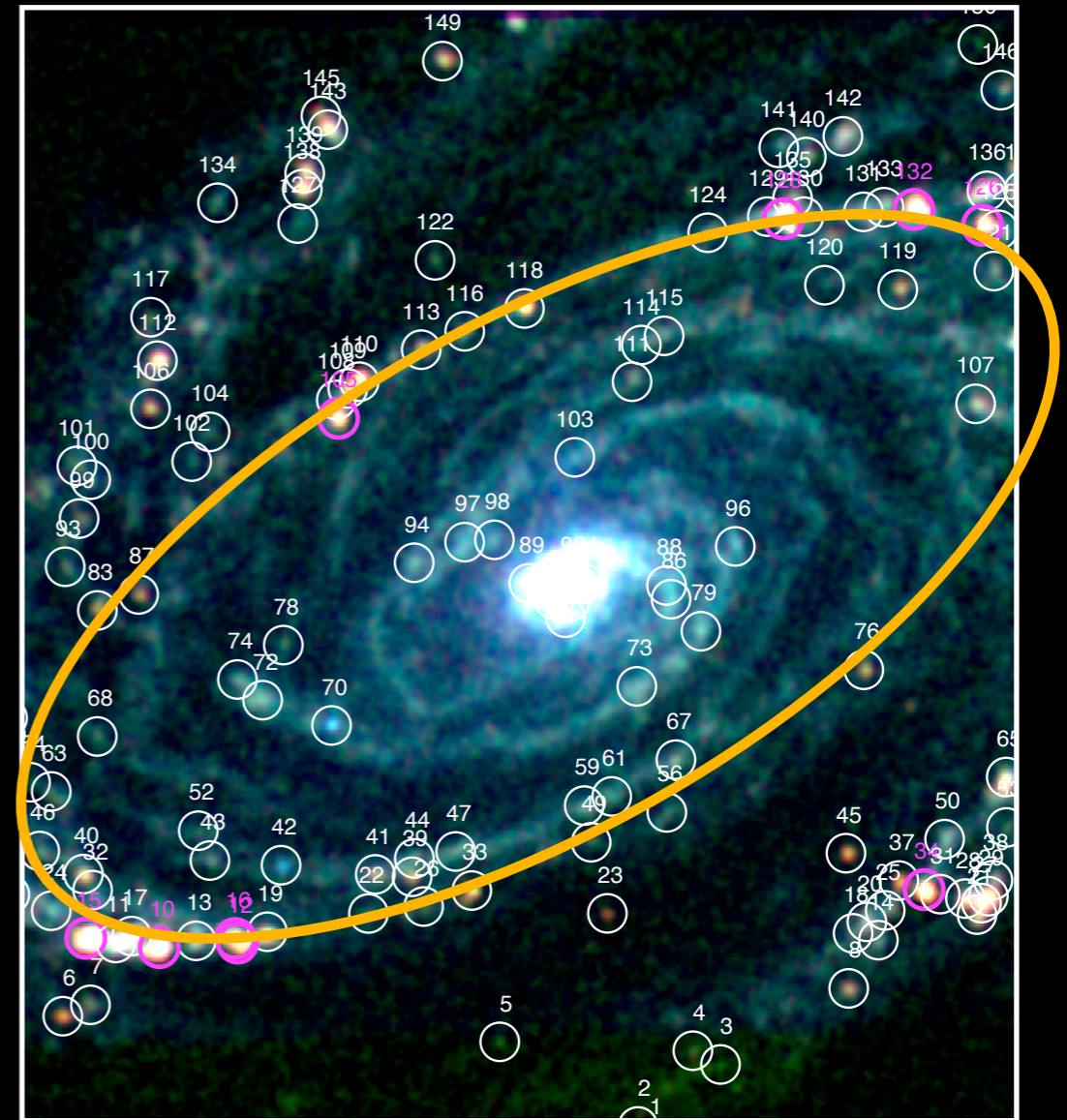
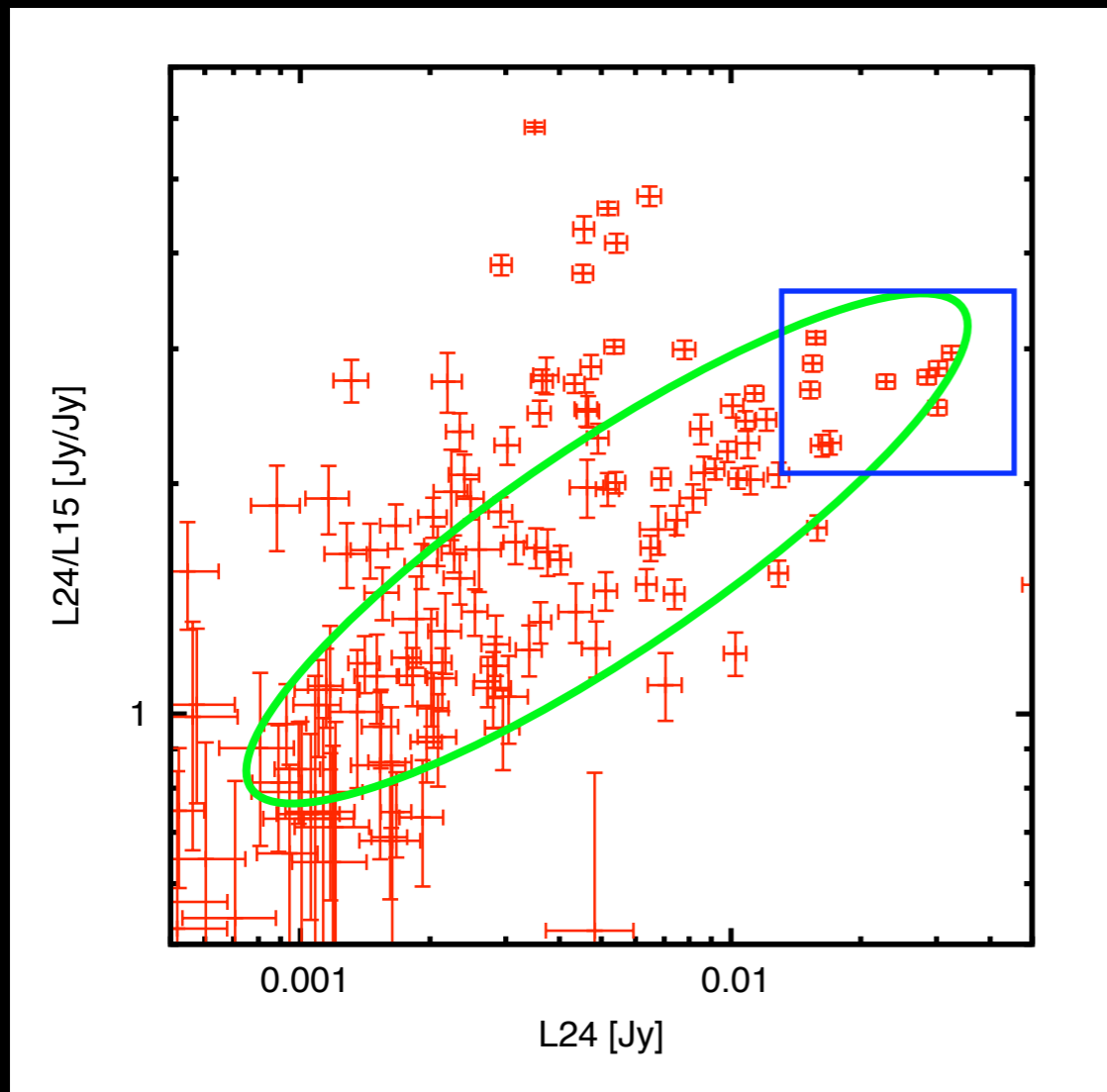
Mid Infrared(S7, S11, L24)



- M81: Nearby grand design spiral galaxy (D=3.63Mpc Freedman et al. 1994)
- NIRではバルジ領域ではstellarの輻射がしめる。
- MIRではバルジ付近でもspiral構造が見える。
- Inner Lindblad Resonance (ILR: $R \sim 4.3 \text{ kpc}$ ())付近とspiral arm上にHII regionが点在。L24が明るい。

Point source detection

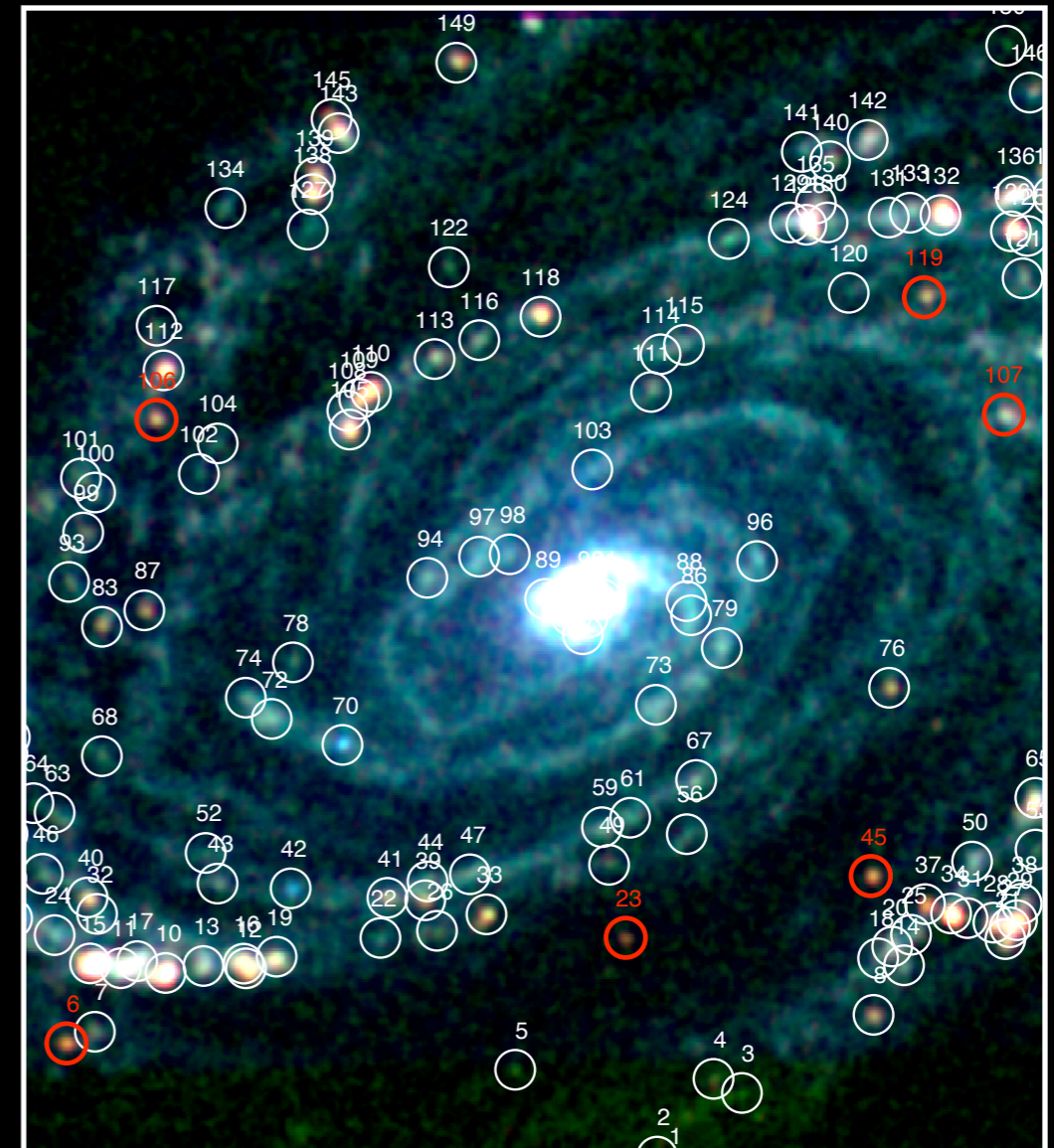
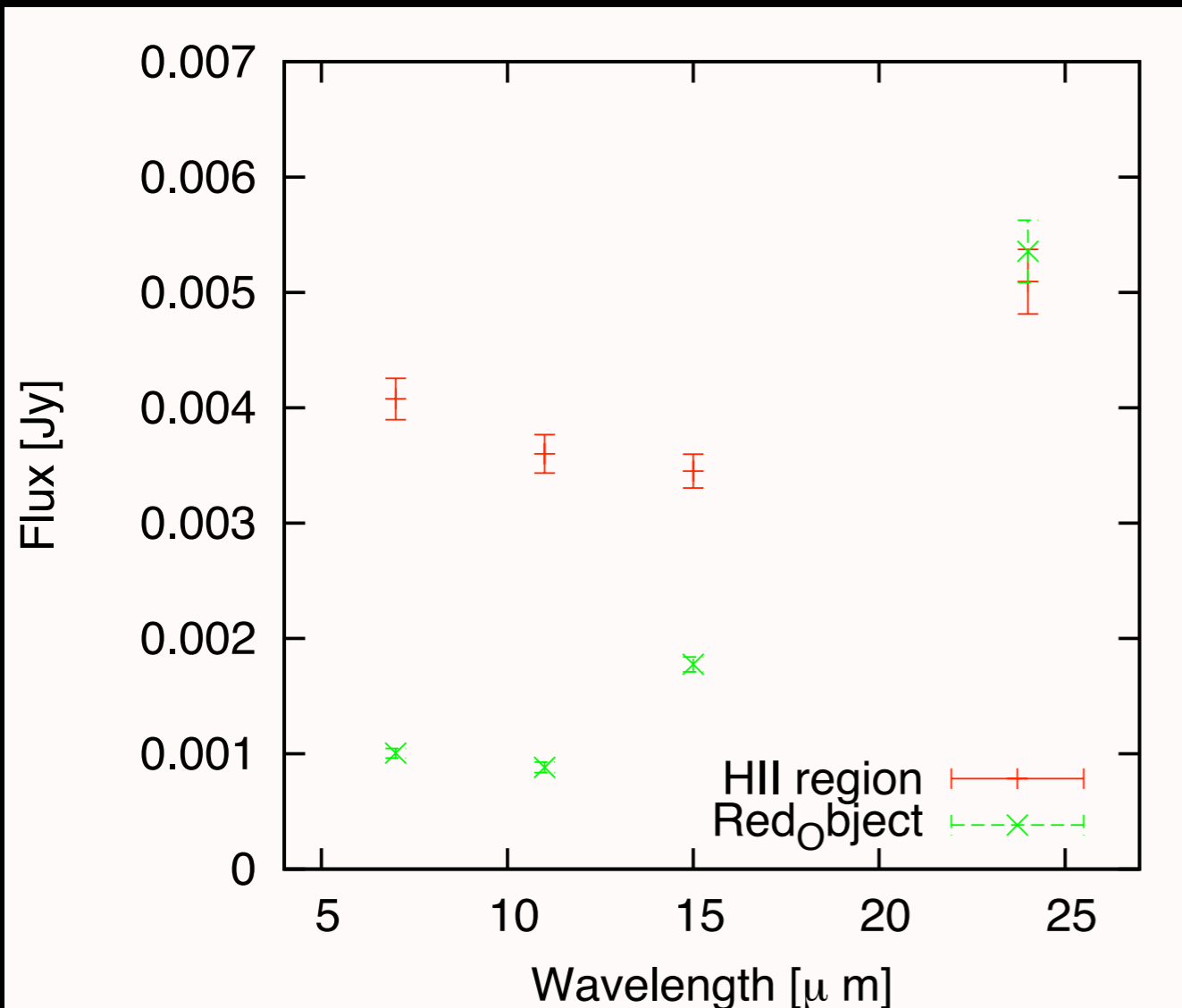
- L24 vs. L24 / L15 : 150個のpoint sourcesを検出



- ILR付近($R \sim 4.3 \text{ kpc}$)付近にL24が明るい領域が集中。
→ HII regionに付随するダストの平衡温度が高い。
- HII region では、L24で明るいほど赤い傾向
→ HII regionに付随するダストの平衡温度が高い。

Point source detection

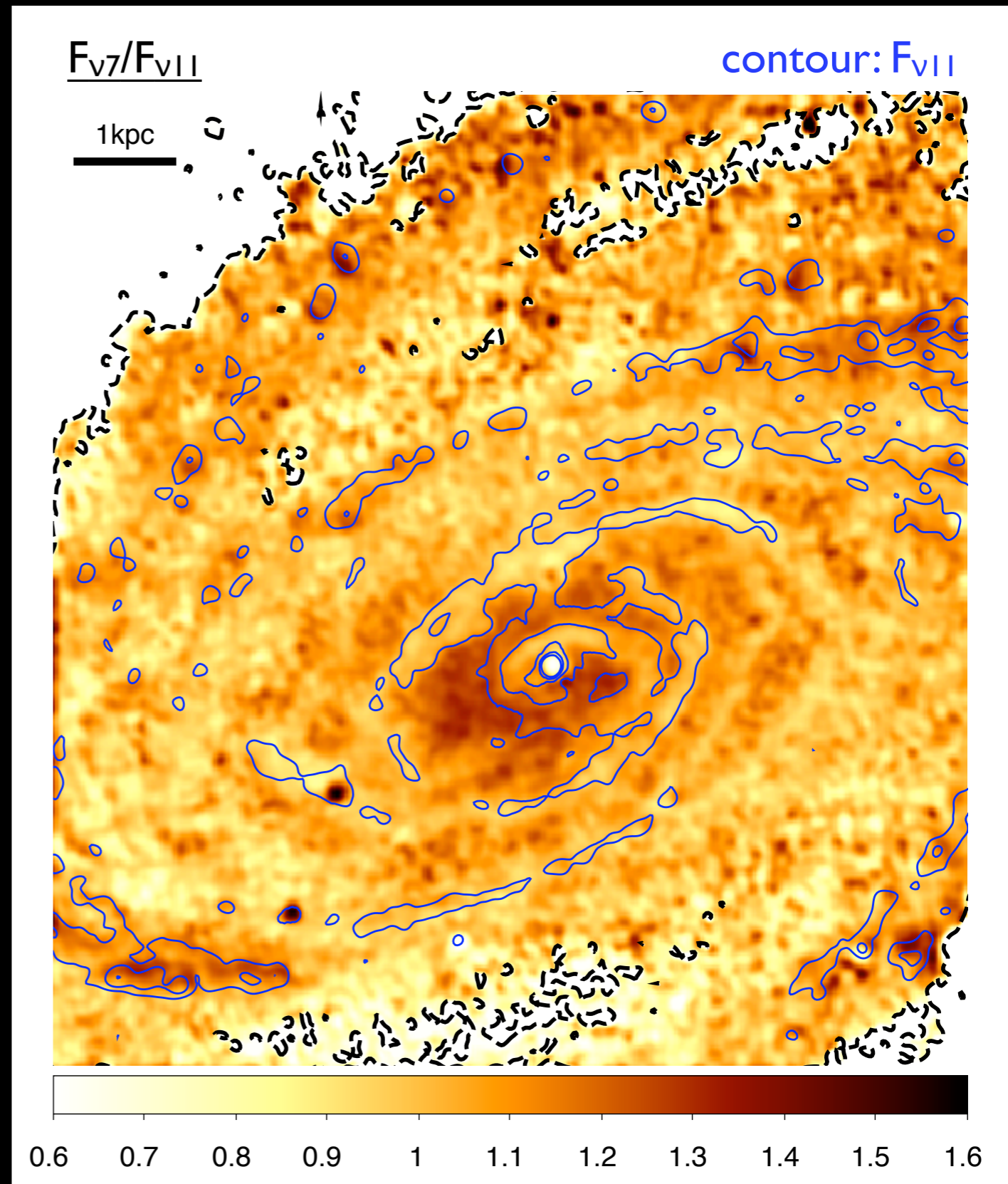
- L24 vs. L24 / L15



- Inter Arm 領域にかなり赤い(L24/L15 ~ 3-5) sourceがある(H alphaでも受かっている)
- 高温なdust componentが存在するHII regions
→dustと星形成領域のphaseとの関係性?
- Proto Planetary Nebulae? (compare with IRC LMC survey first results : Ita + 2007)

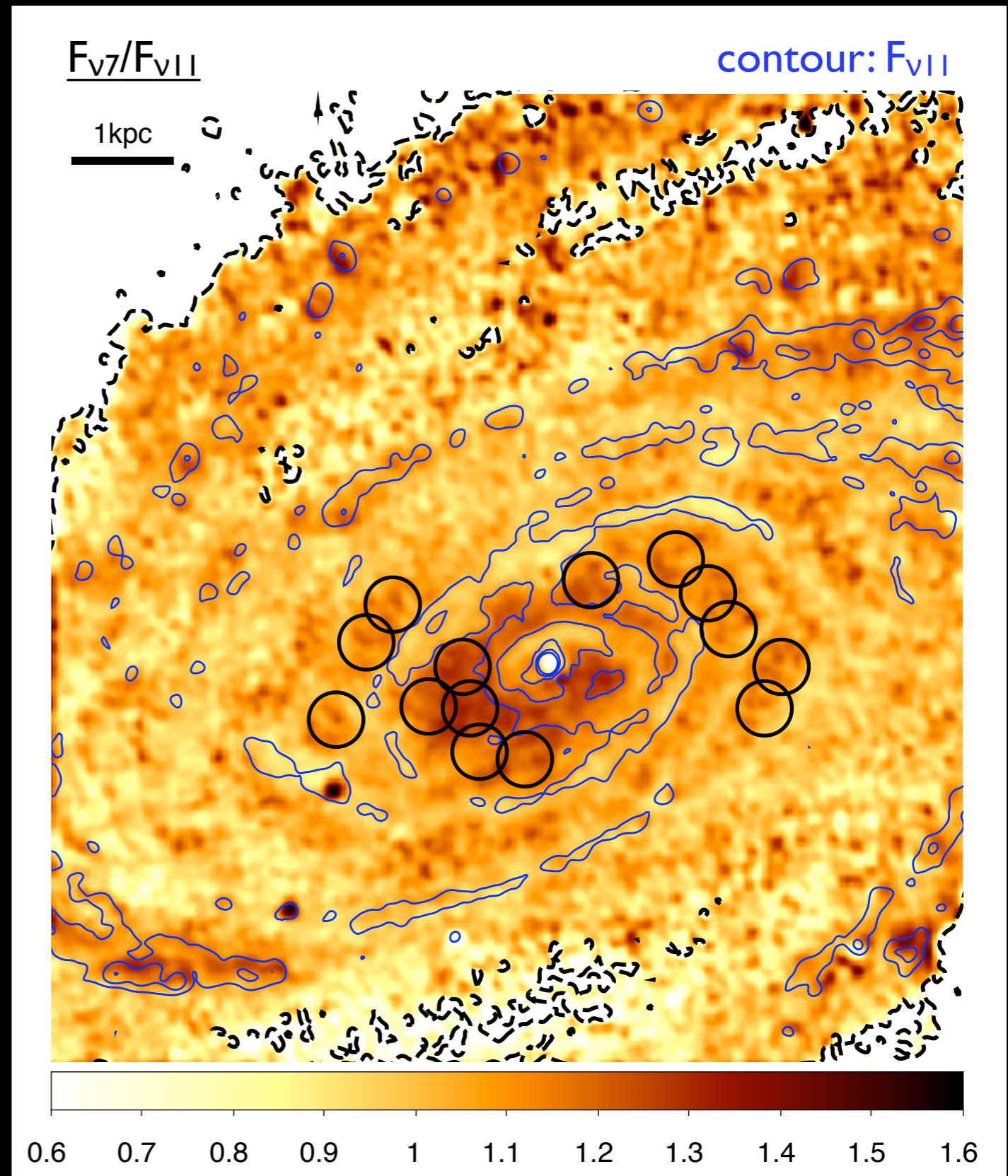
Naturalistic study of M81 at Mid-Infrared

- S7/S11
- Arm, ILR上で
 F_{V7}/F_{V11} : 1.2-1.5
- Sakon+ 2006でのNGC6943
Arm領域でのS7/S11の値と
一致。
- ➡ 強い星間輻射によりPAH
が電離。7.7/11.3が大きくな
っている傾向
(Sakon+ 2006)
- 中心部近傍でS7/S11が大き
くなっている。
- ➡ Bulgeのstellar 成分からの
寄与?



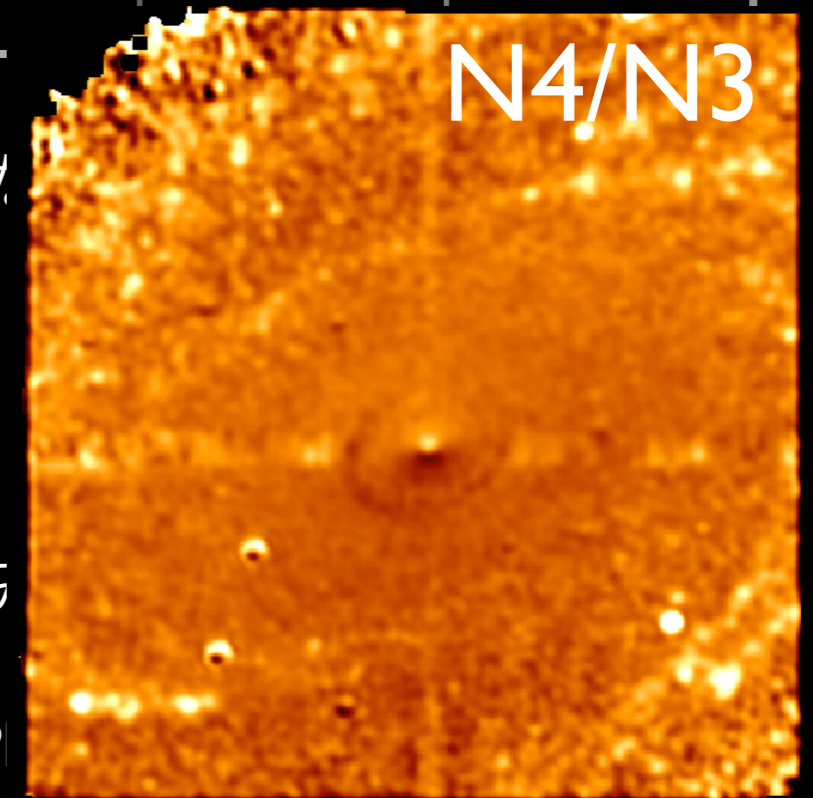
Naturalistic study of M81 at Mid-Infrared

- S7/S11
- Arm, ILR上で
 F_{V7}/F_{V11} : 1.2-1.5
- Sakon+ 2006でのNGC6943 Arm領域でのS7/S11の値と一致。
- ➡ 強い星間輻射によりPAHが電離。7.7/11.3が大きくなっている傾向 (Sakon+ 2006)
- 中心部近傍でS7/S11が大きくなっている。
- ➡ Bulgeのstellar 成分からの寄与?



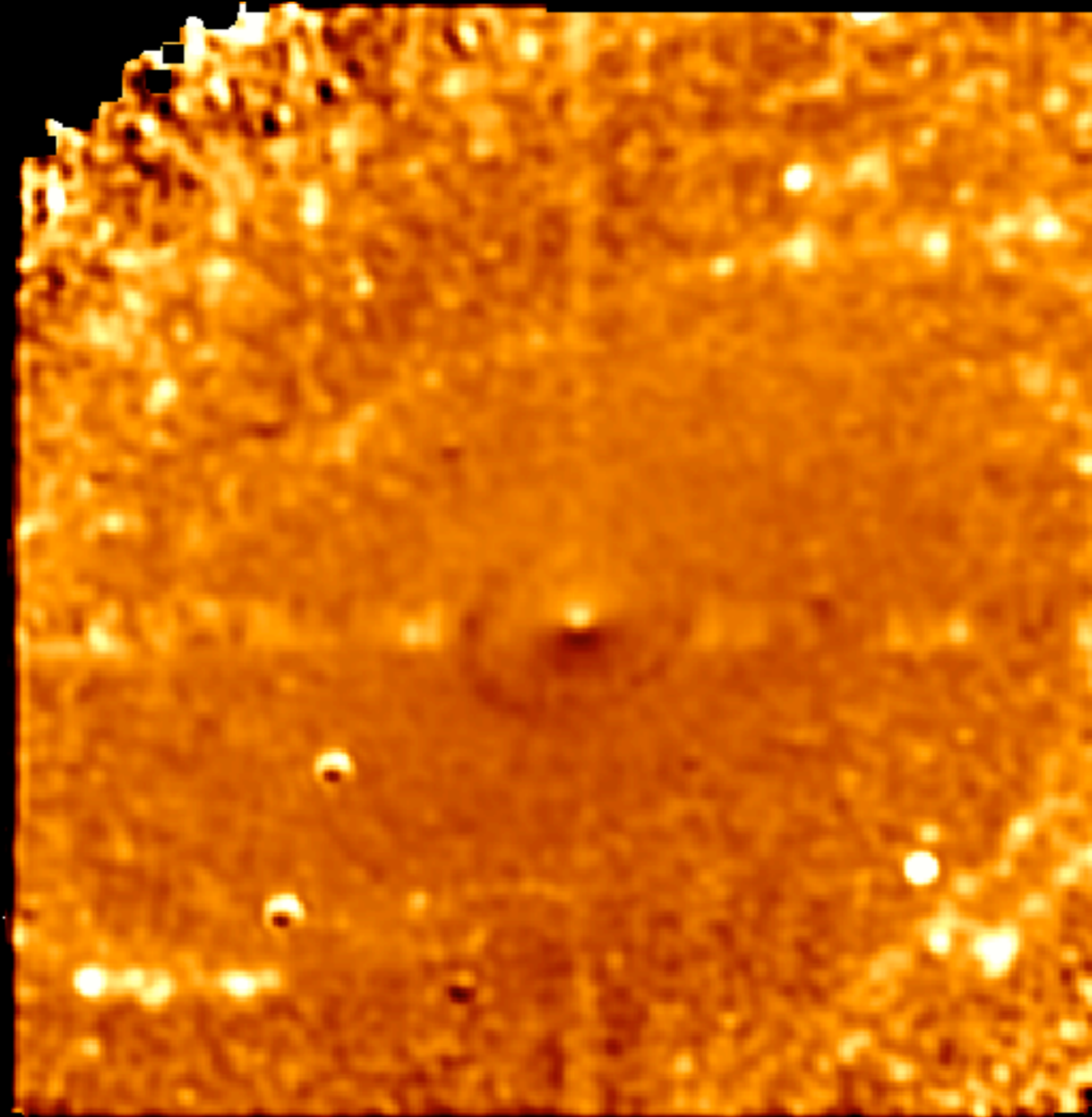
Infrared Colors of Galactic Bulge of M81

bandpass filter	N3	N4	S7	S11	L15	L24
Wavelength [μm]	3.2	4.1	7.0	11.0	15.0	24.0
M81 Galactic Bulge SB_{band}/SB_{N3}	1	0.597 ± 0.045	0.245 ± 0.027	0.1825 ± 0.023	0.116 ± 0.018	0.1023 ± 0.028
K-type star	1	0.530	0.221	0.167	0.0489	0.0246



- バルジ領域 ($1\text{kpc} < R_{\text{dp}} < 3.5\text{kpc}$) で、MIR-Excess の見られた type の標準星の観測データの平均値を比較
- N4, S7, S11 では、ほぼ K-type stars の color とほぼ一致。
- ➡ 7-11 μm では、輝度分布と相関のない成分は stellar 成分のみ
- ➡ L15、L24 で若干の Excess: Mid-IR Excess をもつ AGB star や P
- ✓ N4/N3, 2MASS K/N3 color など、Bulge 領域で有意な color の変化なし。

N4/N3

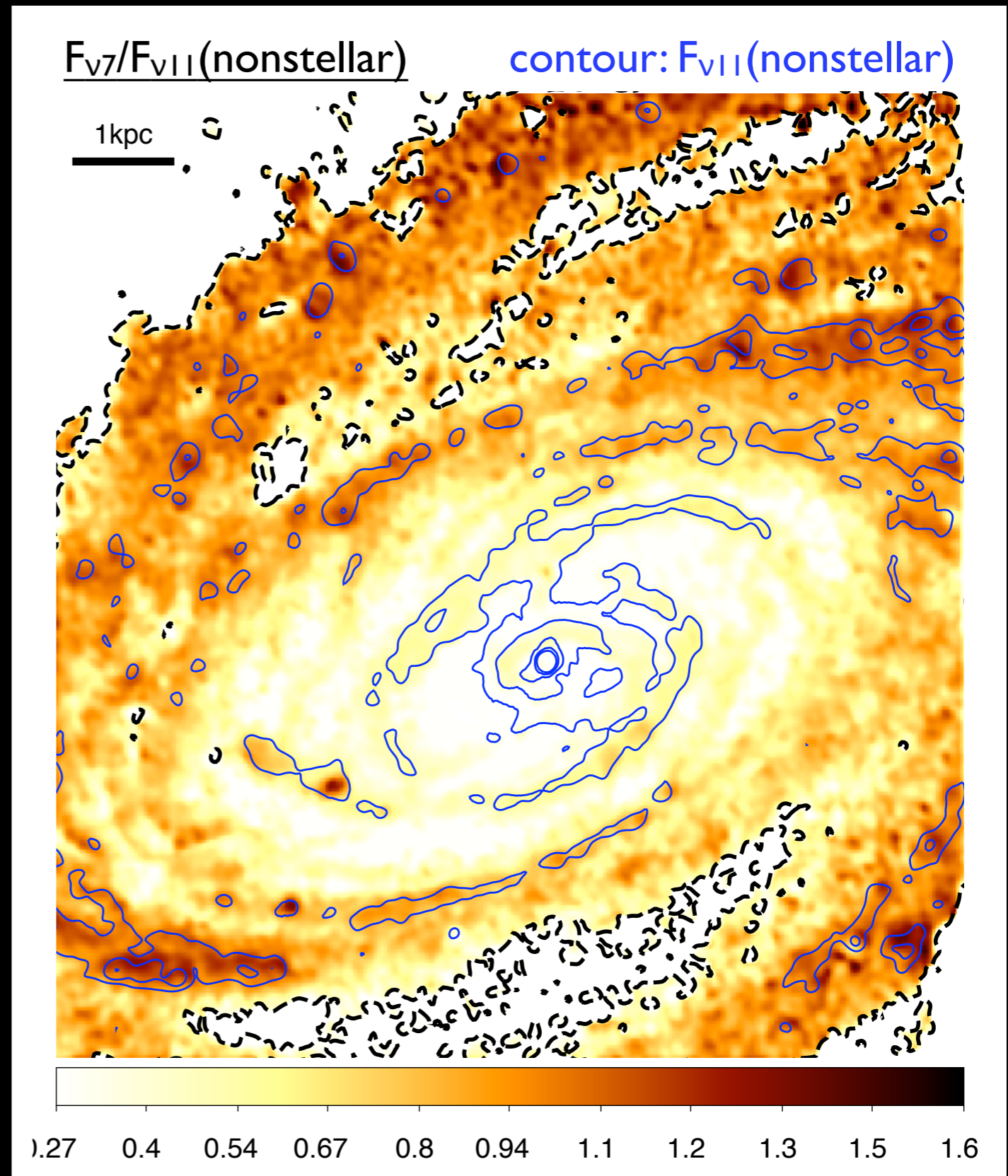


Naturalistic study of M81 at Mid-Infrared

- S7/S11 Nonstellar
- 2MASS K band を scaling。
stellar 成分を除去。
- flux ratio が銀河スケールで変化

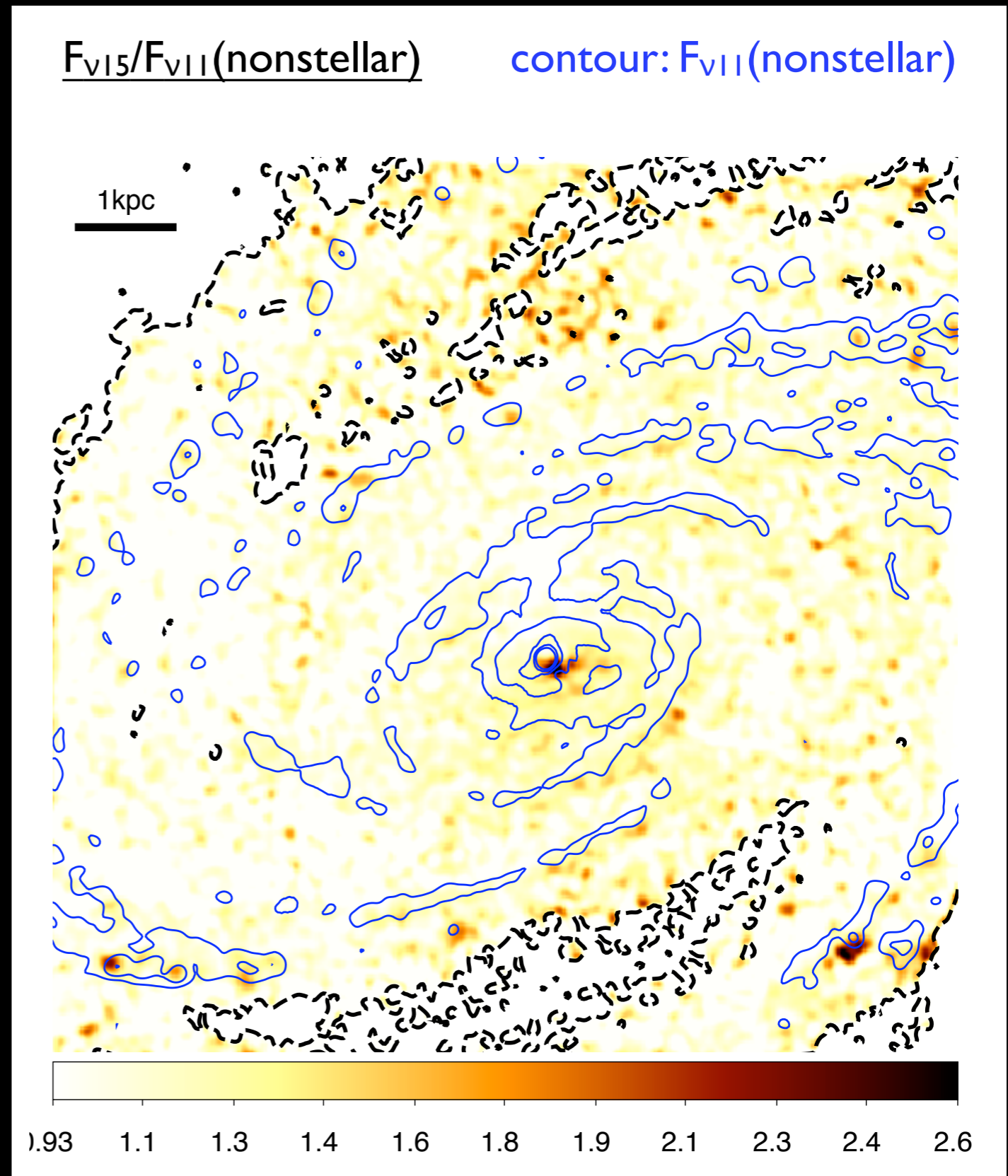
領域	F_{7}/F_{11}
ILR外側	0.8-1.4
ILR内側	0.25-0.5

- ILR の内側では $11\mu\text{m}$ からの輻射が dominant で、 $7\mu\text{m}$ からの輻射が小さい。



Naturalistic study of M81 at Mid-Infrared

- L15/S11 nonstellar
- Mid-Infrared での輝度分布とほとんど相関なし。
- ILR内外でもカラーの変化なし。
- PAH 17 / PAH 11.3 の輻射は ILRの内側、外側で一定:
- 7 / 11 colorの急激な変化の原因に、continuumは関与していない？

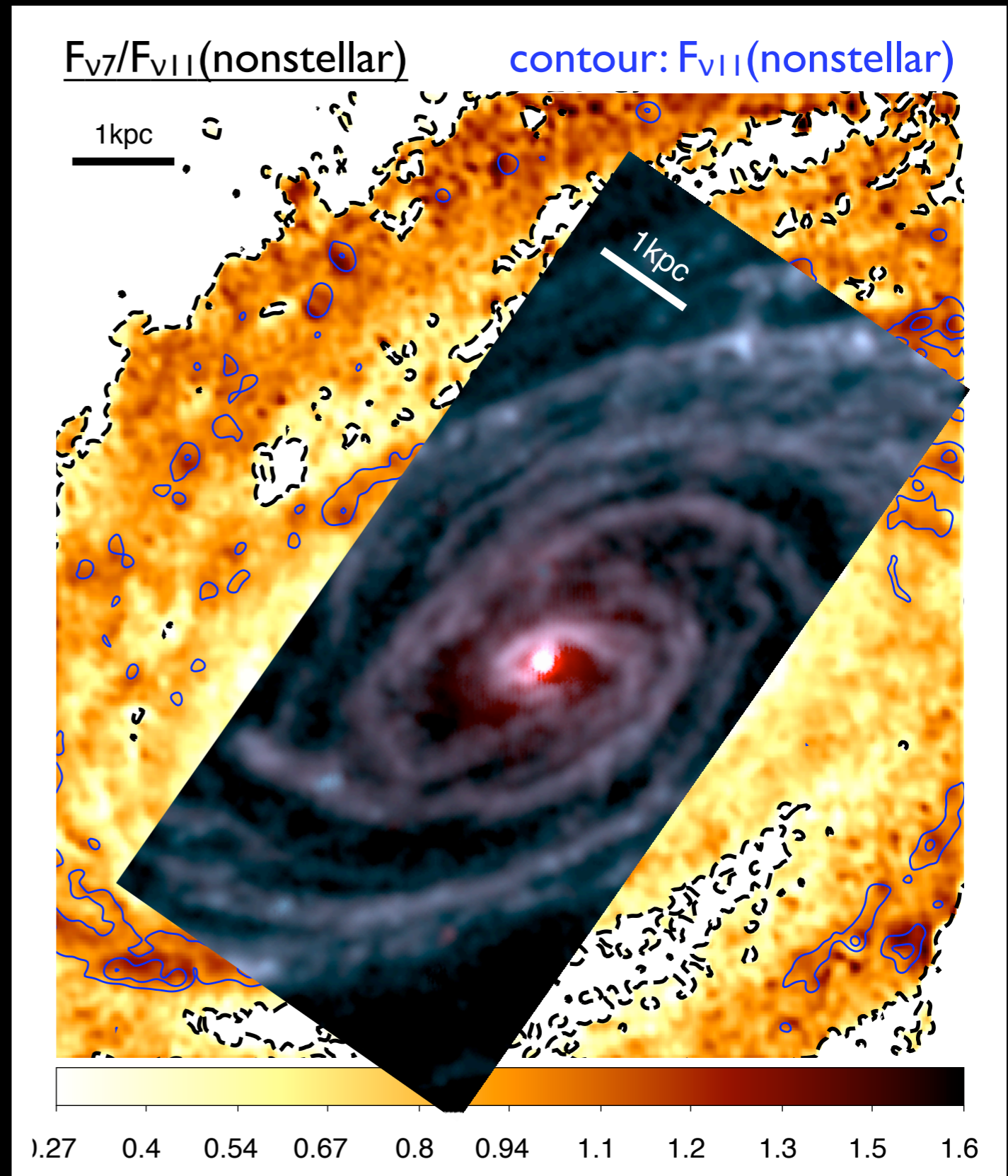


Naturalistic study of M81 at Mid-Infrared

- S7/S11 Nonstellar
- 2MASS K band を scaling。
stellar 成分を除去。
- flux ratio が銀河スケールで変化

領域	F_{v7}/F_{v11}
ILR外側	0.8-1.4
ILR内側	0.25-0.5

- ILR の内側では $11\mu\text{m}$ からの輻射が小さい。
- Smith+ 2010
(Spitzer/IRS nucleous region only)
→ Irregular PAH feature like Elliptical Galaxy (Kaneda+ 2007)



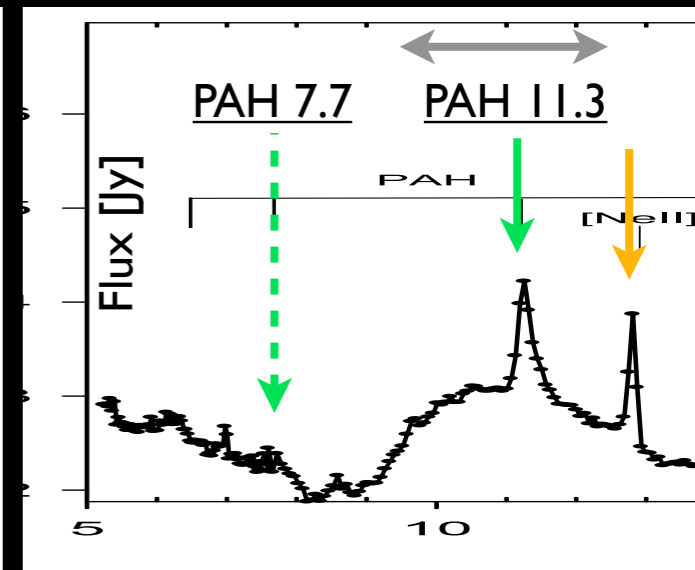
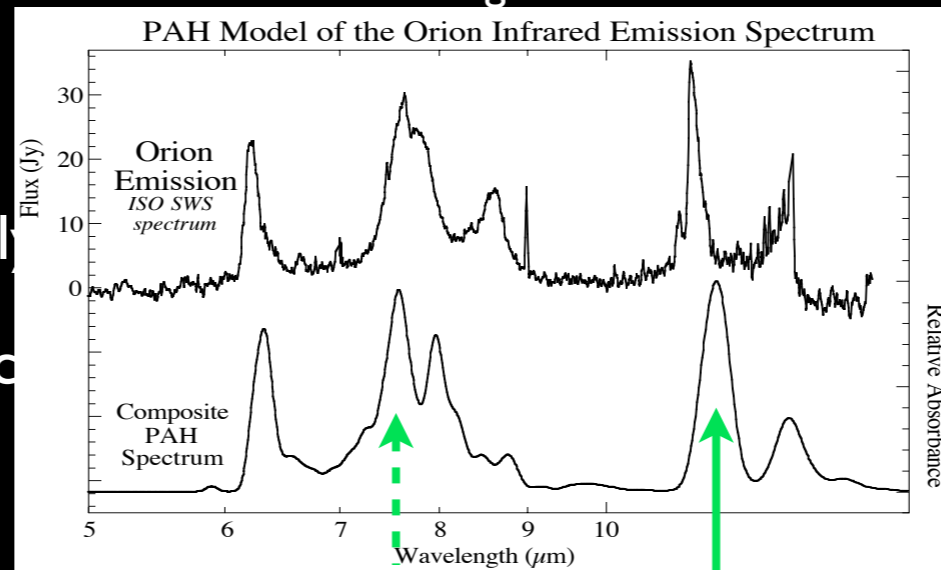
Naturalistic study of M81 at Mid-Infrared

- S7/S11 Nonstellar
- Smith+ 2010
(Spitzer/IRS nucleous region only)
- MIR Arm or Spiral-like structure in ILR:
PAH emission dominant

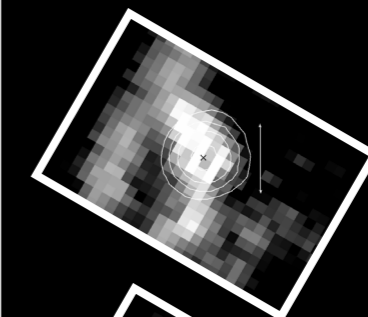
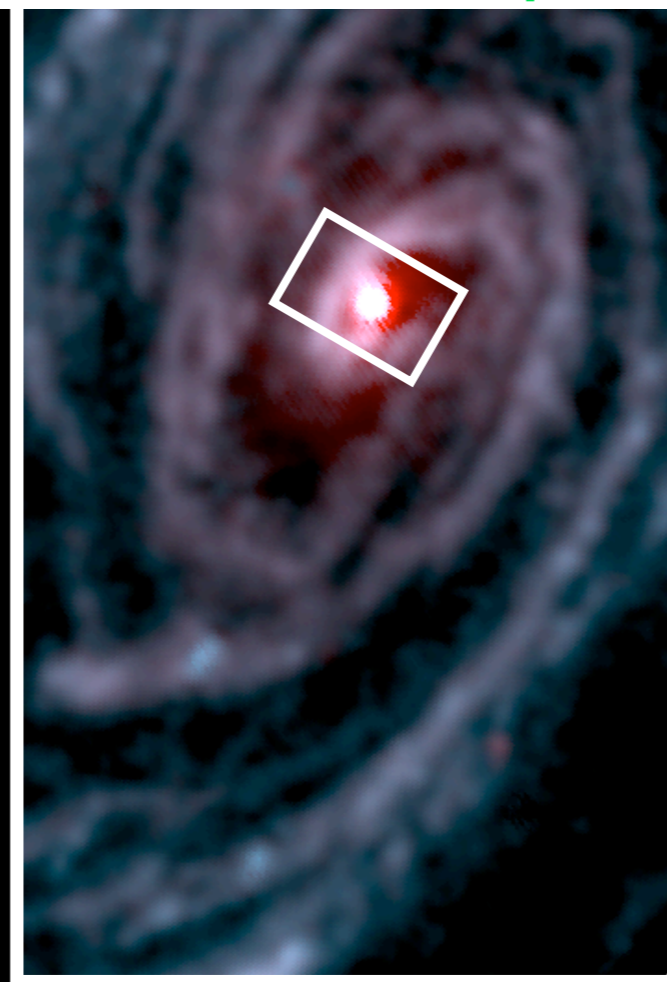
→ Irregular PAH feature weak 7.7 μm feature

- ILR 内側の S11 Excessは、PAH 11.3 μm / 7.7+6.2 の比が高いことに起因していると考えられる。
 - PAH cluster (>100 C atoms) の輻射?
(Kaneda+ 2007)
- ➡ 小さなPAHが破壊されている

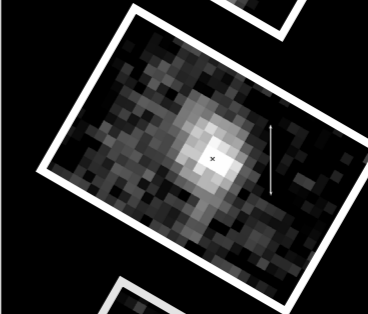
Hudgins&Allamandola 2002



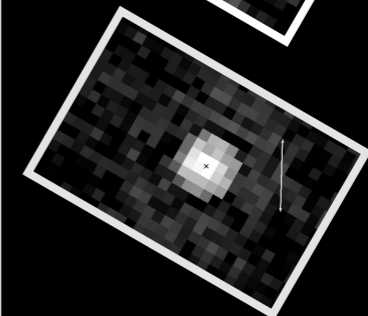
Smith+ 2010



PAH 11.3



[N III] 12.8



continuum 9-12

まとめ

- M81のnonstellar成分のS7/S11のカラーは、ガス運動の共鳴半径の内側と外側で大きく異なっている。
- ILR外側: 7 μ m付近の輻射が強い領域あり。渦巻銀河的な挙動
ILR内側: 11.3 μ mがdominantな領域がバルジ全体に広がっている
- ILR内側に落ち込む新鮮なPAHが、Bulge領域の高温プラズマに晒されながら破壊され、PAH Clustersのみが生き残って中心付近に流れ込む様子を見ている(?)。

まとめ & 目標

- 中間赤外域での近傍銀河のarm/interarm、galactic center や outflow region の輝度分布とカラーを、PSFや他の散乱光成分の影響を適切に処理した上で求めた。

これからの目標：

AKARI / IRC reconstructed imaging data と AKARI / FIS, Hershel PACS/SPIRE のデータから、近-遠赤外域の輻射分布を把握

銀河スケールでの星間環境の変化に応じたダストの生成、進化、破壊プロセスを解明する