

1. イントロ

2. 解析

3. 分類

3. 1. レベル1分類

- 1. 裸星 ダストの明らかな影響は見えない
- 2. ダスト星 短波長=光球、長波長=ダスト 赤色超巨星、AGB星
- 3. 温かいダスト天体 ピーク=5-20μ m 厚いAGBシェル、遷移星、PN
- 4. 冷たいダスト天体 ピーク>20μ m 大部分YSO+3. の天体
- 5. 非常に赤い天体 ピーク>45μ SFR, PN
- 6. 輝線のみ SNR, 新星
- 7. フラックスなし 間違いその他

3. 2. レベル2分類

Class	Description
SE.....	Silicate (or oxygen-rich) dust emission (10-12 and 18-20 μm)
SB.....	Silicate emission in self-absorption (10 μm)
SA.....	Silicate absorption (10-12 μm)
SC.....	Silicate emission from crystalline grains (33, 40, 43 μm)
SEC.....	Silicate emission from crystalline grains (11, 19, 23, 33 μm)
CE.....	Carbon-rich dust emission, primarily from SiC (11.5 μm)
CR.....	Carbon-rich dust emission in a reddened shell (with features at 11.5 and 26 μm, often 13.7 μm absorption)
CT.....	8, 11.5, 21, 26 μm, no 13.7 absorption
CN.....	Carbon-rich nebulae
C/SE.....	Carbon-rich, plus silicate emission (10-12 μm)
C/SC.....	Carbon-rich, plus crystalline silicate emission
U/SC.....	Crystalline silicate and UIR emission features
U.....	Prominent UIR emission features
PN.....	Many prominent atomic fine-structure lines typical of PNs
PU.....	As PN, but with strong UIR emission
W.....	Emission peaks 6-8 μm
F.....	Basically featureless
E.....	Strong emission lines
M.....	Miscellaneous

3. 3. グループ説明

3. 3. 1. グループ1

1.N: Engelke function(1992 何故か取れない) + atomic absorption で再現

O9V( $\zeta$  Oph)–K0Iab( $\alpha$  UMi)

1.NO: CO overtone(2.5 $\mu$ ), SiO overtone(4.2 $\mu$ )+CO fundamental(4.6 $\mu$ ),  
SiO fundamental(8 $\mu$ )

3-4 $\mu$  に細い吸収線のセットを持つK, M型星がある。

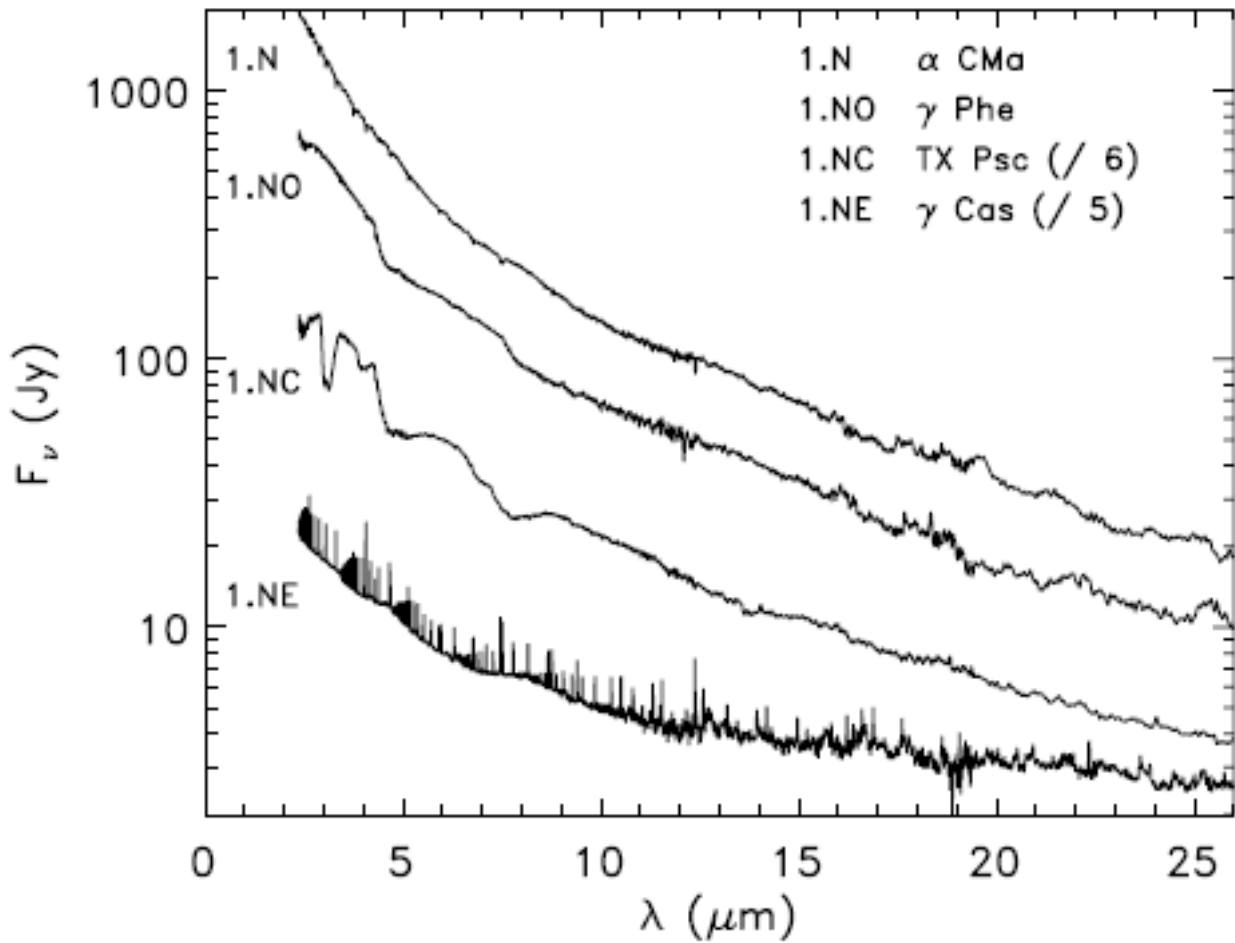
1.NC: CO,CN,C2(2.5 $\mu$ ), HCN+C2H2(3.1 $\mu$ ), C3,CO,CN(5 $\mu$ ),HCN,C2H2,Cs(7-8 $\mu$ )  
HCN,C2H2(14-15 $\mu$ )

1.NE: H,[FeII],[NiII], Humphreys jump 6- $\infty$  (3.4 $\mu$ )

レベル3分類 Heras et al 2002

1.N, 1.NO を(1)H線のみ、(2)CO吸収あり、SiOなし (3)CO, SiO

(4)CO, SiO, H2Oベンディングモード



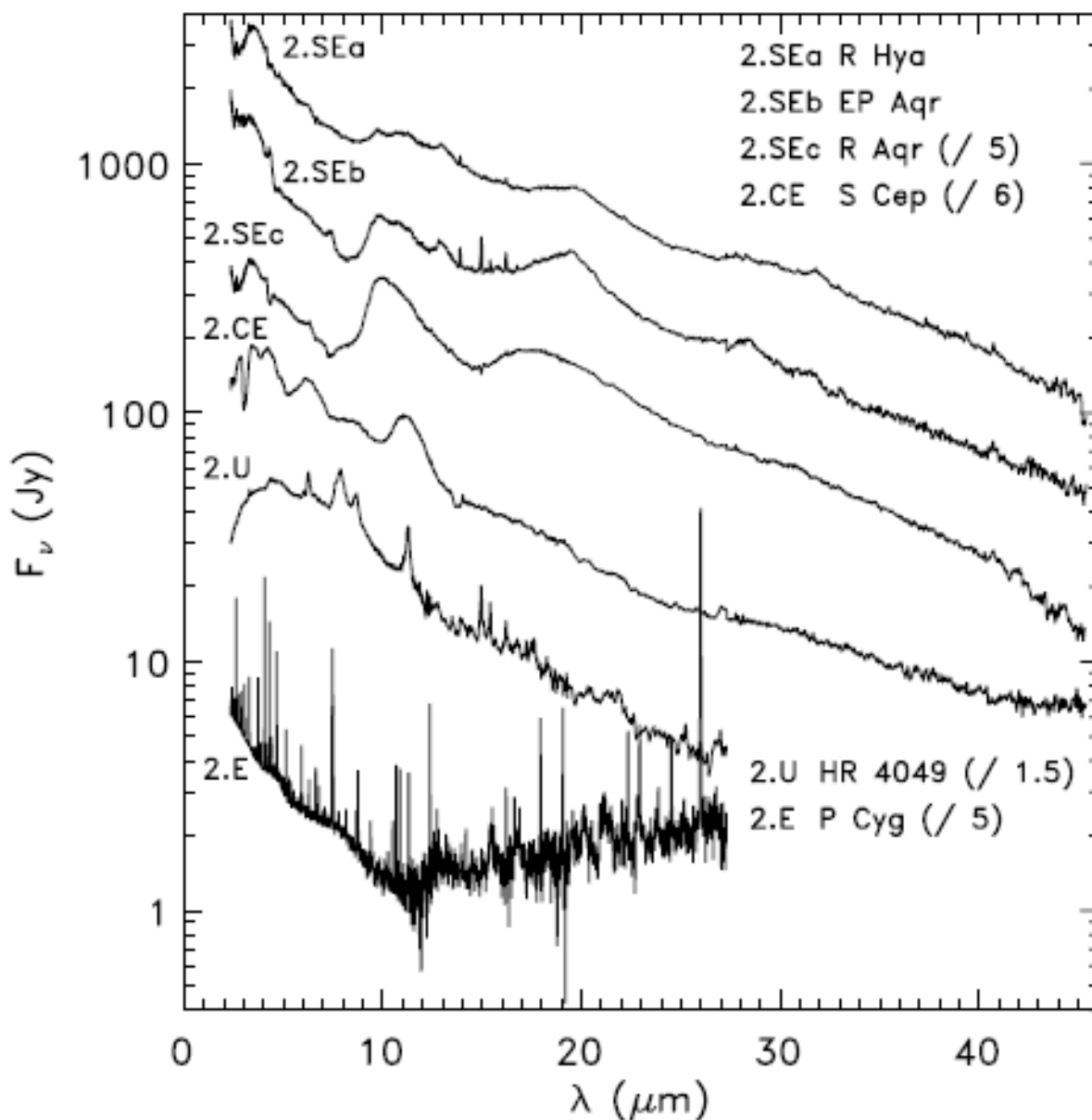
### 3. 3. 2. グループ2

- 2.SEa: ダスト放射弱い。12 $\mu$  の非晶質アルミナの幅広い放射帯。弱い 20 $\mu$  シリケート。  
 3 $\mu$  に水の振動回転遷移+OH。13 $\mu$  放射帯は CO<sub>2</sub> の 13.87,14.97,16.28 $\mu$
- 2.SEb: 10 $\mu$  非晶質シリケート。11,13 $\mu$  の放射はアルミナが混じったか、薄くて光学的に厚い  
 シェルの自己吸収? 18-20 $\mu$  は穏やか。2.SEa や 1.NO にあった 3 $\mu$  水蒸気吸収はある  
 がOHの影響は小さい。
- 2.SEc: 強い 10,18 $\mu$  放射帯。数天体で 13 $\mu$  放射帯。 $\lambda < 10\mu$  の光球スペクトル複雑。
- 2.CE: 強い 11.5 $\mu$  SiC 放射帯。光球の 2.5, 3.1 $\mu$  に HCN,C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 吸収帯。4.3-6 $\mu$  に CO,C<sub>3</sub> 吸

収

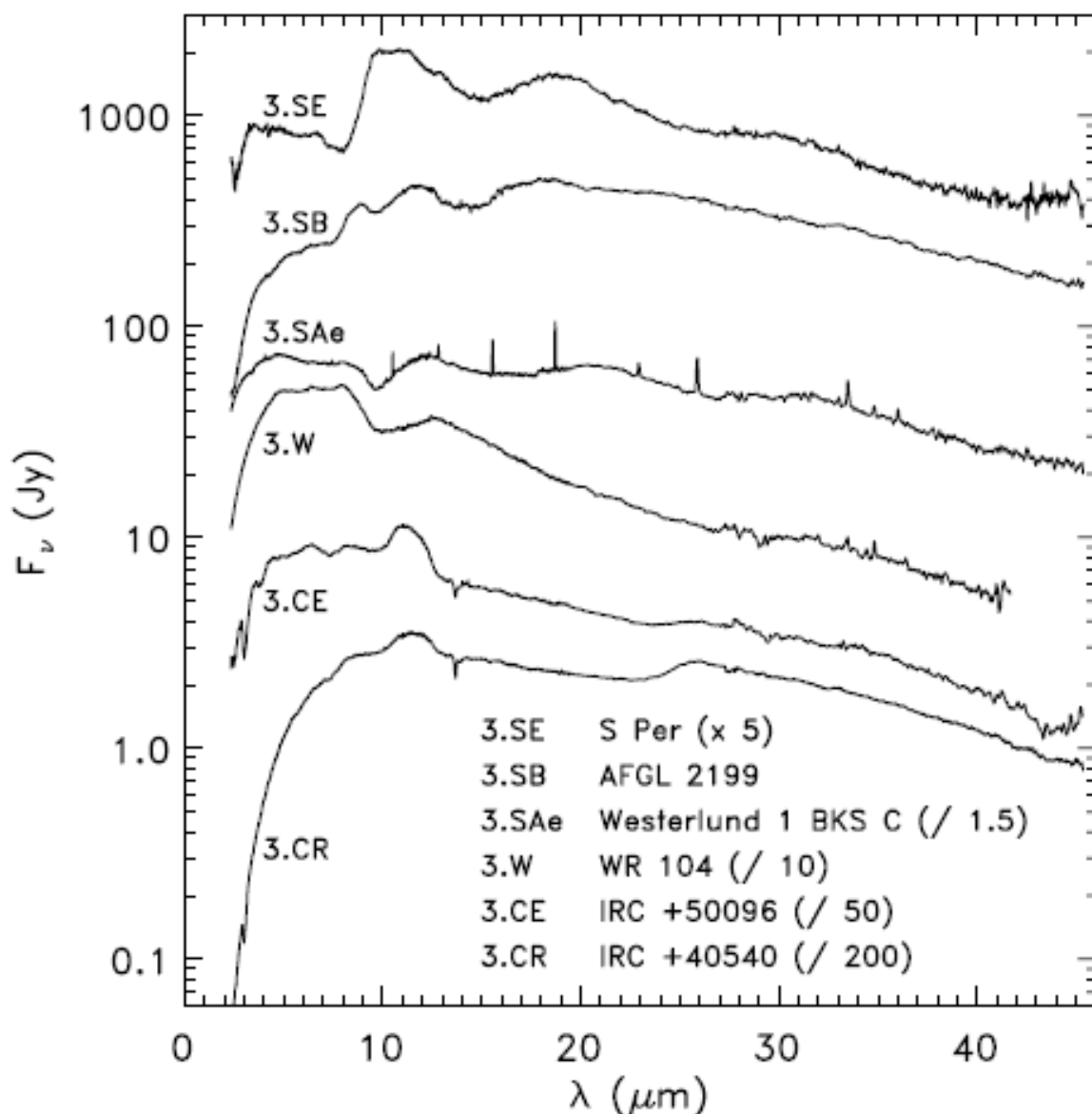
$\lambda < 10\mu$  スペクトルは複雑で連続光レベルの決定が困難。

- 2.C/SE: 可視炭素星+シリケート赤外 (V778Cyg)
- 2.U: 光球スペクトル+UIR (XX Oph, HR4049)
- 2.E: 光球スペクトル+輝線
- 2.M: S/N悪い



### 3. 3. 3. グループ3 ピーク=10-15 $\mu$

- 3.SE: ダスト放射+強い 10 $\mu$  。AGB, OH/IR星、Ae, Be 星
- 3.SB: 自己吸収でピークが 10 $\mu$  から 11 $\mu$  にシフト。 $\lambda > 30\mu$  で結晶シリケートの星もある。
- 3.SAe: 10 $\mu$  吸収。[SIV]10.5 $\mu$ 、[NeII]12.8 $\mu$ 、[SIII]15.6 $\mu$ 、[FeIII]22.9 $\mu$ 、[SIII]33.5 $\mu$   
YSO, pms Be
- 3.CE: SiC11.5 $\mu$  放射帯。光球NIRの分子吸収帯はダスト放射で見えない。  
C2H2 の 13.7 $\mu$  吸収帯
- 3.CR: 3.CE のもっと冷たい星。SiC11.5 $\mu$  放射帯、C2H2 の 13.7 $\mu$  吸収帯はあるが、加えて、  
26-30 $\mu$  に新しい放射帯。IRC+10216 のモデルでは非晶質炭素が SiCを上回り、90-95%  
ピークが 6-8 $\mu$ 。10 $\mu$  吸収帯以外特徴なし。WRか R CrB 星



### 3. 3. 4. グループ4 ピーク=20-40 $\mu$

炭素系列は似ているが、酸素系列は形態の幅が大きく分類は不完全。

- 4.SE: シリケート 10 $\mu$  放射帯。S/N 悪く分類困難。いくつかは禁止遷移輝線を示す。  
可視域(?)は Be,Ae,Fe 星かPN。半分以上は post-ms だが、いくつかは Be,Ae

- 4.SEC: 結晶シリケート 11,23,33 $\mu$  。11 サンプル中 pms と断定できるのは 3 つだけ。  
 他はPNはPPN、ミラ 1 星、hypergiantIRC+104200
- 4.SB: シリケート 10 $\mu$  自己吸収。結晶シリケート放射帯 33,40/43 $\mu$   
 PN, PPN+Ae,Be,AGB
- 4.SA: シリケート 10 $\mu$  吸収。結晶シリケート放射帯 33,40/43 $\mu$  .10 $\mu$  吸収強いと 33 $\mu$  放射強い  
 OH/IR, PN,PPN. サンプル中2つはYSOかも知れない。
- 4.SC: すべて結晶シリケート放射帯 33,43 $\mu$  . 多くは結晶シリケート放射帯 23,40 $\mu$   
 大多数は PN,PPN. 他は WR, OH/IR, pmsG 型星(DG Tau)
- 4.F: 特徴なし。PN, OH/IR. 一つはYSO(R CrA)
- 4.CR: ピーク=28 $\mu$  26-30 $\mu$  放射帯、13.7 $\mu$  C2H2 吸収以外SED特徴なし。  
 極端炭素星、PPN
- 4.CT: 階段状SED。8,11,5,21,26-30 $\mu$  に放射帯が原因。ピーク=30 $\mu$   
 他の炭素星と違い、13.7 $\mu$  C2H2 吸収がない。  
 F, G超巨星でたぶんPPN
- 4.CN: ピーク=40 $\mu$  13.7 $\mu$  C2H2 吸収, 11.5 $\mu$  SiC 放射帯。PPN  
 AFGL618, AFGL2688,
- 4.C/SC: IRAS09425-6040 NIR炭素星分子吸収、11.5 $\mu$  SiC 放射帯+33,40,43 結晶シリケート  
 将来もっとあつておかしくない。4.U/SC に進化？

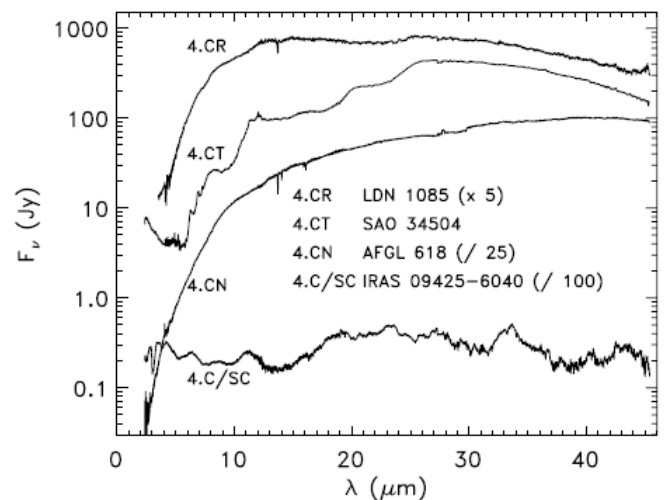
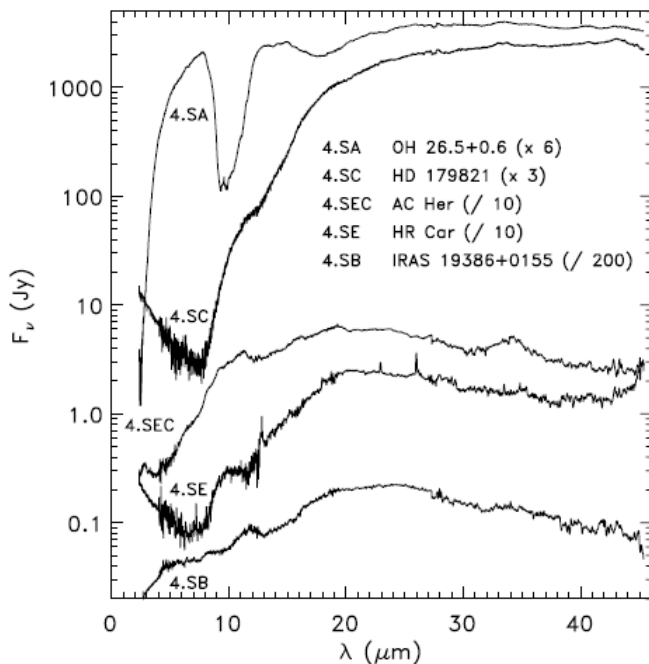
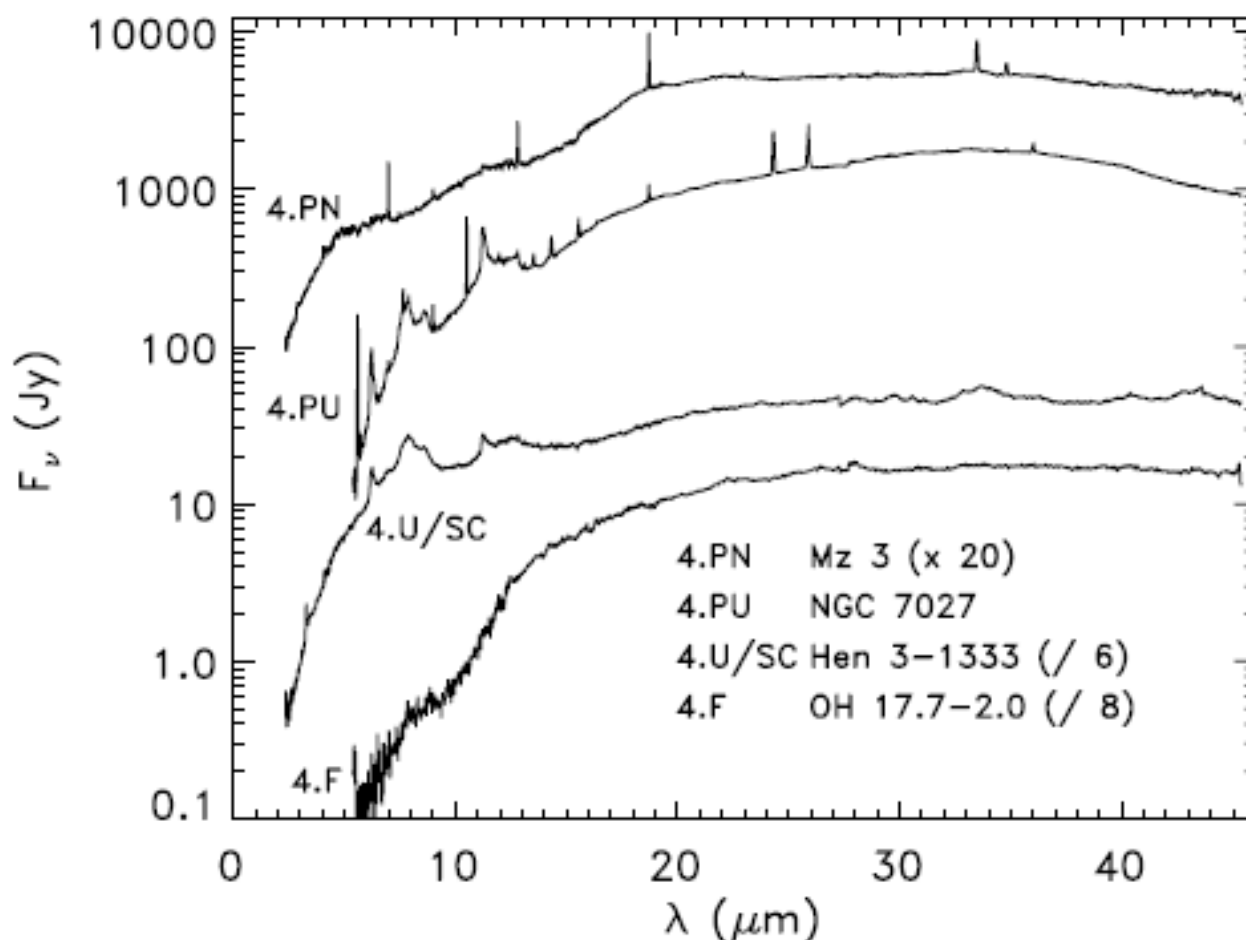


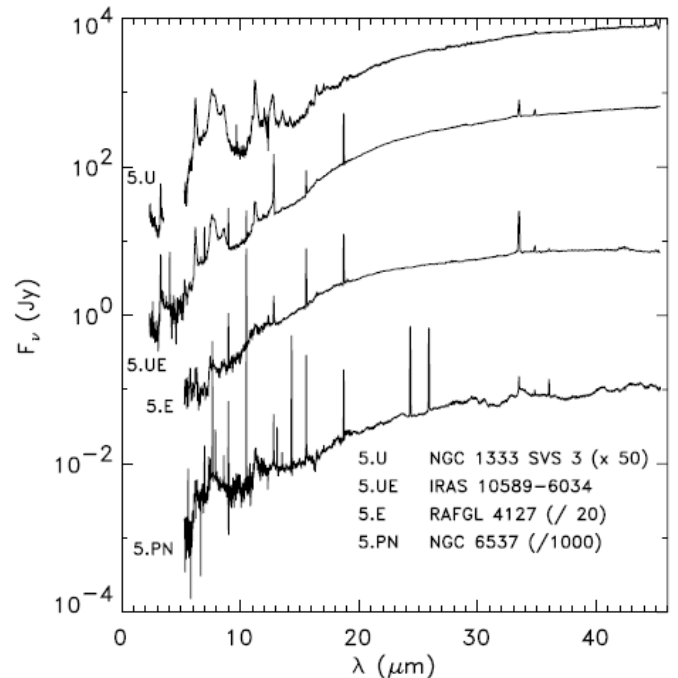
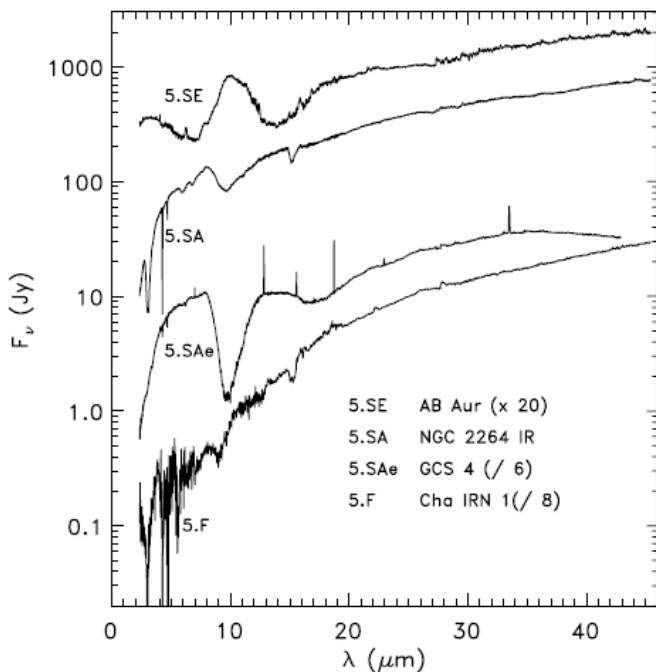
FIG. 4b

- 4.U/SC: UIR 6.2,7.7-7.9,8.6,11.2 $\mu$  + 結晶シリケート 30,40,43 $\mu$   
PPN, PN。例外は1つのAe HD100546
- 4.PN: 微細構造線、[NeII]12.8 $\mu$ 、[SIII]18.7,33.5 $\mu$ 。ピーク=30 $\mu$   
[ArII]6.99 $\mu$ 、[ArIII]8.99 $\mu$ 、[SIV]10.5 $\mu$ 、[NeIII]15.6,36.0 $\mu$ 、[SiII]34.8 $\mu$ 、  
Br $\alpha$ , Br $\beta$  が普通。他に多いのは[NeV]14.3,24.3 $\mu$ 、[NeVI]7.65 $\mu$ 、[ArV]7.90,13.1  
 $\mu$ 、  
[ArVI]4.53 $\mu$ 、[OIV]25.9 $\mu$ 、[MgIV]4.49 $\mu$ 、[MgV]5.61,13.5 $\mu$   
弱い結晶シリケート 33 $\mu$  の天体もある。  
PN, 例外=IRAS05431+0852 PPN
- 4.PU: 強いUIR+微細構造線、PN, PPN  
BD+303639 は結晶シリケート 33 $\mu$
- 4.M: 変なのばっか。 $\eta$  Car, IRAS21282+5050, Red Rectangle, AG Car



### 3. 3. 5. グループ5

- 5.SE: 9-11 $\mu$  幅広のシリケート放射帯。AB Aur は UIR あり。  
YSO. 例外は HD101584PPN
- 5.SA: 9-11 $\mu$  幅広のシリケート吸収帯。CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> 吸収  
SFR, YSO. 6/50 は多分 OH/IR 天体。4つは輝線があり、GC天体
- 5.F: 特徴なし。3つは evolved 星。他は YSO
- 5.U: UIR あり。微細構造線なし。YSO. 一つだけPPN
- 5.UE: UIR, 微細構造線あり。YSO
- 5.E: UIR なし, 微細構造線あり。YSO+数個のPN
- 5.PN: 強い微細構造線あり。結晶シリケート放射帯 30-45 $\mu$ 。2つに UIR  
PN
- 5.M: S/N 悪い



## 4. 議論

### 4. 1. キャリブレーション

### 4. 2. IRAS分類との比較

#### 4. 2. 2 LRSとISOの相違点

(1) LRSではUIRをシリケート吸収と見誤ることがあった。

—> 4.SA, 5.SA 天体の大部分(24/27)は LRS ではシリケート吸収とされ、

17天体=3n(見掛け上青い) (何が見誤りかよく分らん) だが、7nの方が適当。

ただ、 $\lambda < 7\mu$  データがなかったので3nにしてしまった。

(2) 5.UE 中 25 星は LRS で赤いとされているが、半分以下の 10 天体のみが 8n=UIR+輝線

(3) 炭素系は混乱がひどい。

AFGL2287=LRSでは炭素天体。しかし、SWSでは 3.SBp でシリケート自己吸収である。

他にも7天体がLRSでは炭素星とされたが、Kwok et al、SWSでは酸素系。

(4) 逆方向の間違い例は、SWS 4.CR 中1天体のみがLRSでは炭素系にされている。

8/11 は LRS 21-23 にされた。

SIMBAD が炭素星とし、SWS で観測した31天体中この論文では2星(FI Lyr, CIT 11)のみが酸素

系

に分類。さらに 4 星がグループ7. したがって $(31-2-4)/(31-4)=25/27$  は SIMBAD と一致。

一方、LRS では 16/24 が4n天体。

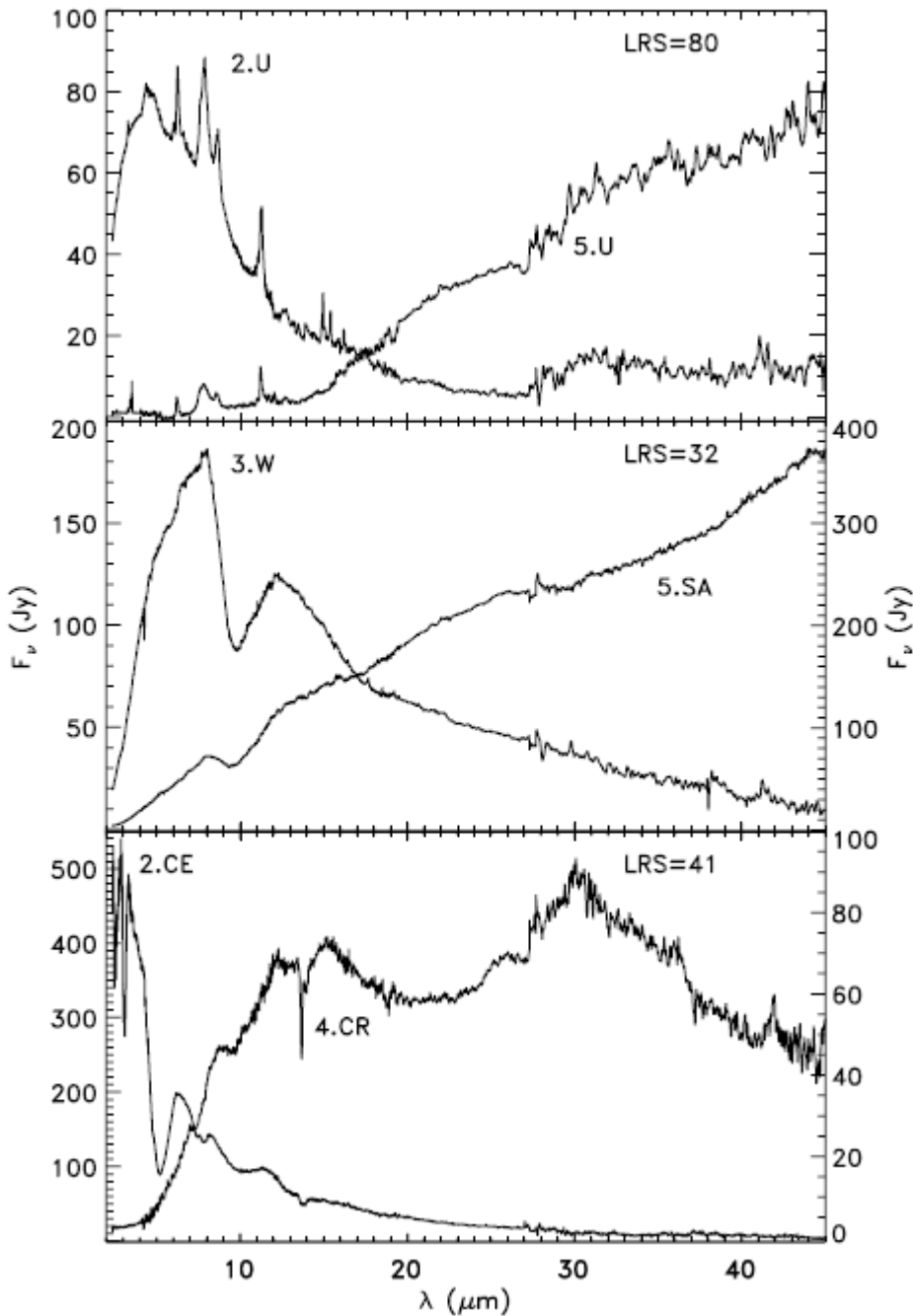
(5) LRS は4n天体は、連続光を配慮せず、SiC帯強度だけでサブ分類をしているので、RY Dra(2.CE) と IRAS22303+5950(4.CR)のように全く異なるスペクトルが同じ LRS=41 に入れられる。

同様に、W Ori(2.CE)と IRC+50096(3.CE)は同じ LRS=44 に入る。

(6) 裸星(1.NO,1.NC)を同じ LRS=1n に押し込めるのは貴重な情報を失っている。

(7) 2.E, 2.U, 2.C/SE, 4.SC, 4U/SC, 4.SEC, 6. には適当な LRS 分類がない。

(8) 他の LRS クラスも図に示すようにミスマッチがある。





下の表に LRS とこの論文の分類の比較をまとめた。

LRS	KSPW		
	OK	Information Lost	Mismatch
	“Blue”		
1n featureless .....	1.N	1.NC, 1.NO (1.NE)	2.CE, 2.M, 2.SEa, 2.SEb, 3.CR, 3.SA, 3.W, 4.CR, 4.SB, 4.U/SC, 6
2n 10 μm emission .....	2.SEa, 2.SEb, 2.SEc, 3.SB, 3.SE	2.C/SE	1.N, 2.CE, 4.CR, 4.SE, 4.SEC
3n 10 μm absorption ...	2.M, 3.SB, 3.W (3.SA)		1.NC, 2.SEb, 4.SA, 4.SB, 4.SC, 5.SA, 5.U, 6
4n carbon-rich .....	2.CE	3.CE, 3.CR, 4.CR (4.CN, 4.CT, 4.C/SC)	2.SEa, 3.SB, 4.SB
	“Red”		
5n featureless .....	4.F (5.F)	(4.SC)	2.SEa, 3.CR, 4.C/SC, 4.SB, 5.SA, 5.UE
6n 10 μm emission .....	3.SE, 4.SE, 5.SE (4.SB)	4.SEC	2.SEc, 4.CN, 4.SC
7n 10 μm absorption ...	4.SA, 5.SA (3.SA, 4.SB)	4.U/SC	4.F, 4.CN, 4.CT, 4.SC, 5.U, 5.UE
8n UIR + lines .....	4.M, 4.PU, 5.U, 5.UE	2.U, 4.PN	
9n lines only .....	4.PN, 5.E, 5.PN	4.PU, 4.SEC, 5.F, 5.SA, 5.UE	

NOTE.—KSPW classes in parentheses could reasonably have appeared in a given LRS class but did not.

### 4. 3. 進化パターン

#### 4. 3. 1. COパラダイム

#### 4. 3. 2. 酸素系ダスト

天体進化は、AGB→OH/IR→PPN→PN

この進化の初期は Jones et al 1990, Lloud Evans 1990

これを、SWSで追うと、

(1) 2.NO →2.SE の変化がM4—M5で起きる。

Sloan, Price 1995 スペクトル型、10μ放射帯、変光クラスに相関がないので、繰り返しマスロスが関係を覆い隠しているのではないかと？スペクトルはC/O比が影響していないか？

(2) 2.SE→3.SE→3.SB AGB, M sg, OH/IR

2.SB が一つもないのは、自己吸収がグループ3で起きることを示している。

(3) 3.SB→4.SA OH/IR, PPN

SA への遷移はグループ3では起きない。すべての 3.SA はYSOである。

4.SB はPPNである。だから、SBからSAへの遷移はグループ3→グループ4と一致。

(4) 4.SA の先はもっとあいまいになる。4.SB, 4.SE, 4.SEC, 4.SC にはどれにもPNが 58-60%含まれる。

しかし、4.SC, 4.SEC のみ OH/IR, AGB を含む。

だから、4.SC, 4.SEC は 4.SE, 4.SB の前に来るのではないかと？

Waters et al. 1996 SWSで星周ダストに結晶シリケートを発見。Tcolor<300K が必要。

Sylvester et al 1999 τ (10μ) が大きくないと結晶にならない。

だから、高いマスロスレートが必要。SAからSCに進化？

4.SC, 4.SEC, 4.SE, 4.SB はB, A, F, G型星で遷移の途中にある。

星質量の違い、YSO混入が問題。

#### 4. 3. 3. 炭素系系列

酸素系ダストと違い、炭素系ダストは晩期星でのみ生成。

炭素星の質量範囲は狭い。

→炭素系列は割とはっきりしてる。

1.NC→2.CE→3.CE→3.CR→4.CR→4.CN

4.CT の位置づけがやや難しい。