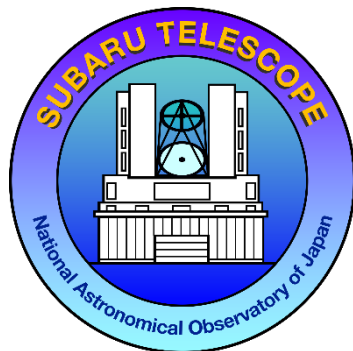


# 大質量星周囲における ダスト形成のモニタ観測

中村 友彦

(東京大学理学系研究科天文学教室)



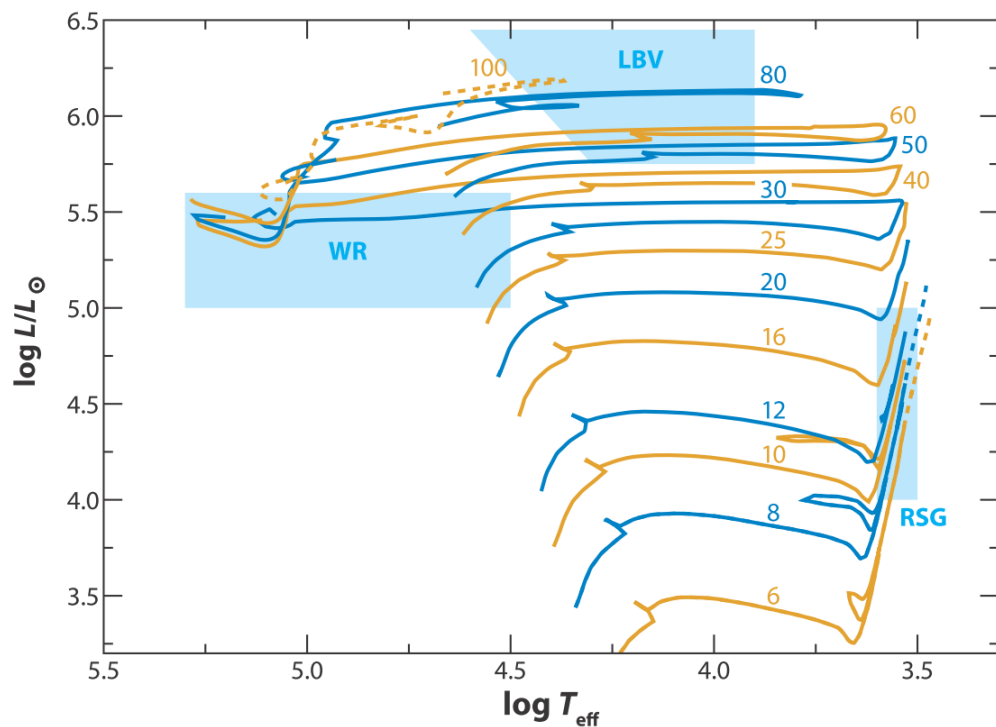
# Dust formation on massive stars

- 質量放出期の大質量星におけるダスト形成過程は、重いものほど観測例が少なく不定性が大きい
  - Luminous Blue Variablesなどの大質量星の新たな分類
  - 一部の超新星の観測から、質量放出期の多量なダスト形成を示唆する結果が得られている(e.g. SN2006jc, SN1995N)
- 近傍の大質量星の観測でより良い理解を目指す

Source	$\dot{M}_c$ ( $M_{\odot} \text{ kpc}^{-2} \text{ Myr}^{-1}$ )	$\dot{M}_{sil}$ ( $M_{\odot} \text{ kpc}^{-2} \text{ Myr}^{-1}$ )	
C-rich giants	3.0	—	Interstellar dust budget (Tielens+05)
O-rich giants	—	5.0	
Novae	0.3	0.03	
SN type Ia	0.3	0.03	
OB stars	—	—	
Red supergiants	—	0.2	
Wolf-Rayet	0.06	—	
SN type II	2	10	

# Evolved Massive Stars

- $> 30\text{-}40 M_{\text{sun}}$ 
  - Wolf-Rayet stars
    - 輝線に基づく subclass:  
WC, WN, WO
  - Luminous Blue Variables
- $\sim 10 - 30 M_{\text{sun}}$ 
  - Red Supergiant
- High mass-loss rate
  - WR stars:  $10^{-5} \sim 10^{-4} M_{\text{sun}}$
  - LBV eruption:  $10^{-3} \sim 10^{-1} M_{\text{sun}}$



(Smartt+09)

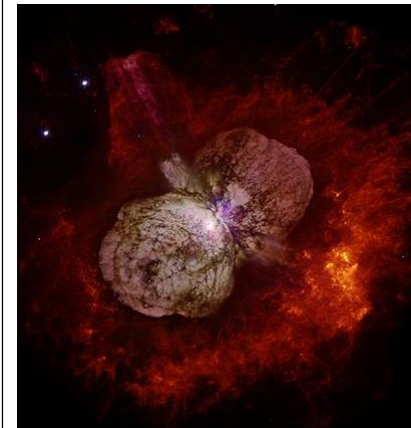
# Dust formation on LBV binary

## ■ eta Carinae

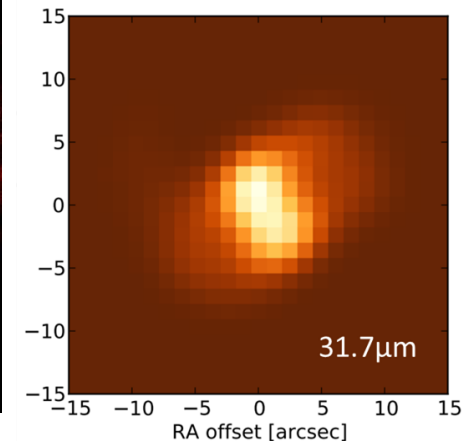
- LBV+O binary
- $0.12M_{\text{sun}}$  のダストを含む  
“Homunculus Nebula”

## ■ miniTAO/MAX38観測

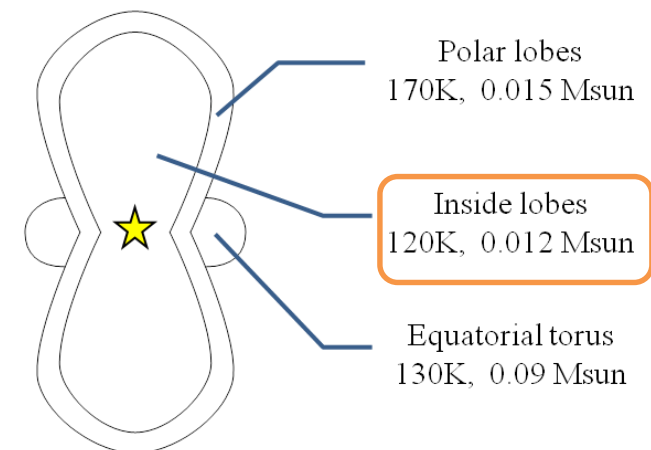
- bipolar lobes内部の低温ダストの存在を発見
- 連星系による  $7 \times 10^{-5} M_{\text{sun}}/\text{yr}$  の活発なダスト形成
  - K-bandモニタによる見積りより大きく、ダストの成長を示唆



(HST/WFPC3)



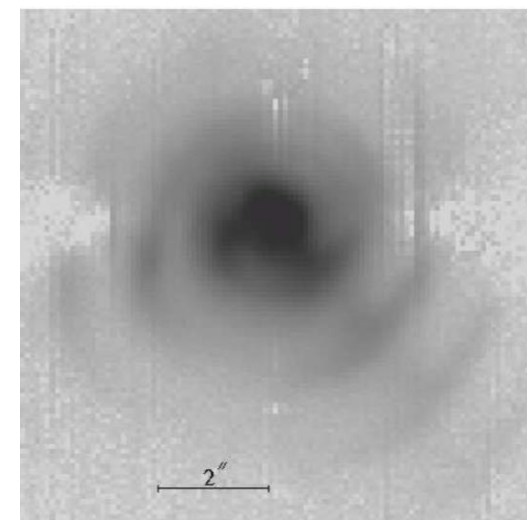
(MiniTAO/MAX38)



(Nakamura, Ph.D Thesis)

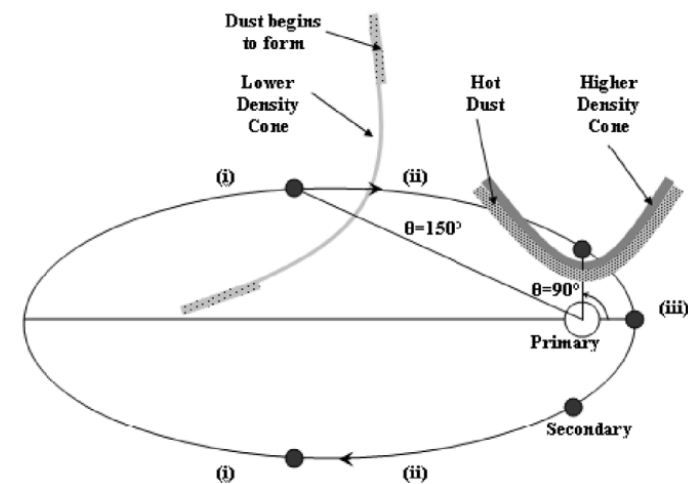
# WR 'dustar'

- ダスト形成が見られるWR星
  - WC型の晩期星 (WC8-10)に集中
  - 数は少ないがdusty WNも観測されている(e.g. WR102ka; Barniske+08)



(WR112; Marchenko+06)

- 連星系：周期的ダスト星
  - 恒星風がぶつかる面が高密度になり、ダストが形成される



(Kashi+08)

# Infrared variability

- WR137 (Williams+01)
  - 周期13年 (次回は2023年)
  - $M_{\text{dust}} = 5 \times 10^{-8} M_{\text{sun}}/\text{yr}$ 
    - N-bandより長い波長で観測できていないので、低温成分は見積もれていない
  - mini-eruption?
  
- WR140 (Williams+08)
  
- ライトカーブの形状は連星系の離心率の違いとして説明できる

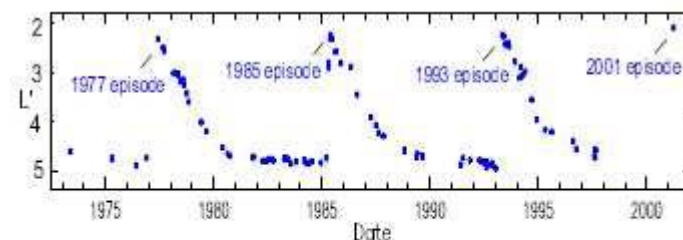
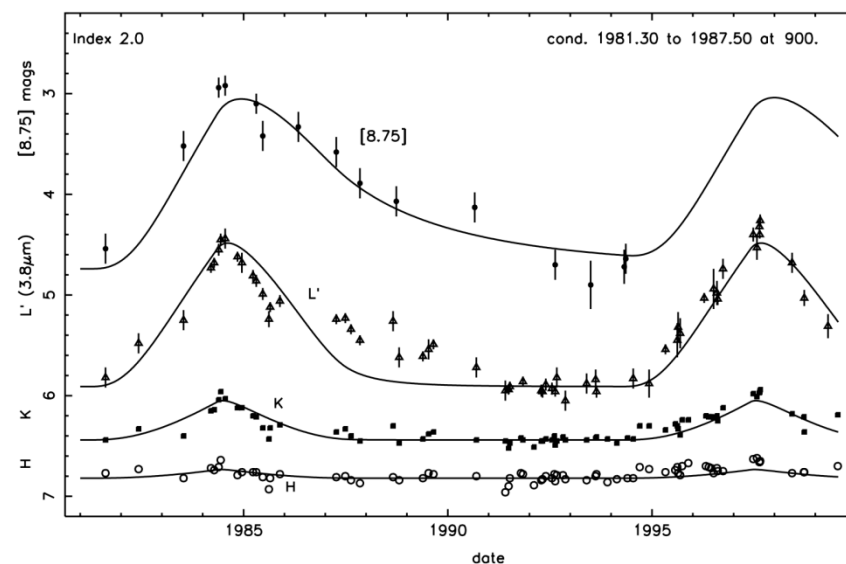
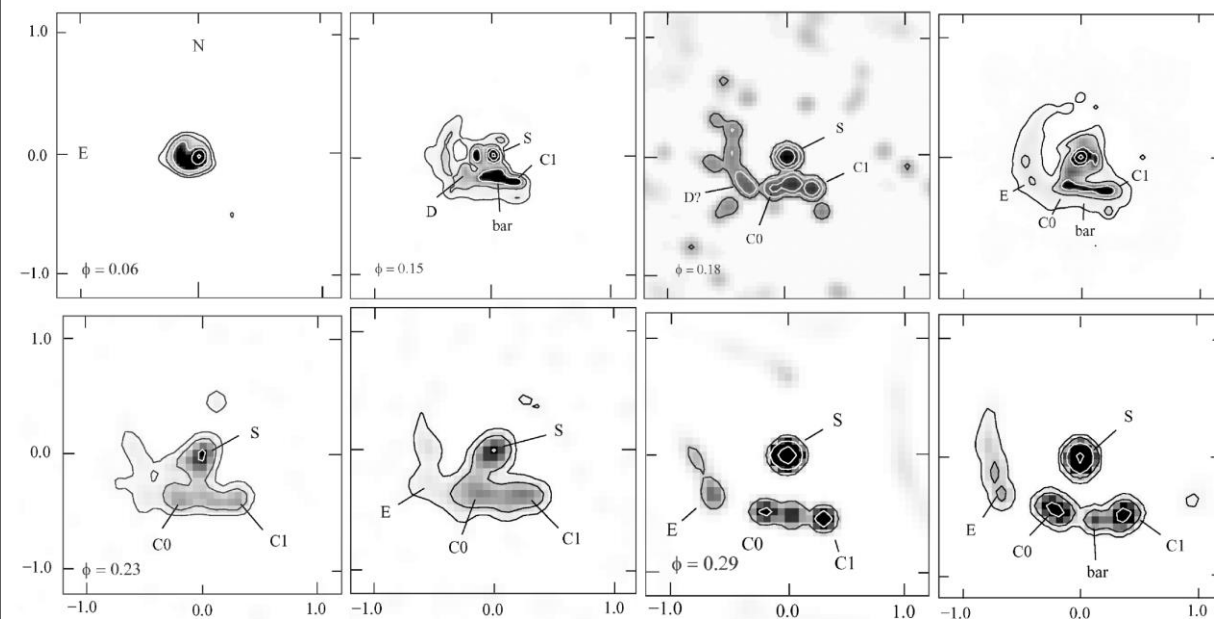


Fig. 2.  $L'$  ( $3.8 \mu\text{m}$ ) light curve of WR 140 showing dust-formation episodes recurring with a period of 7.94 y.

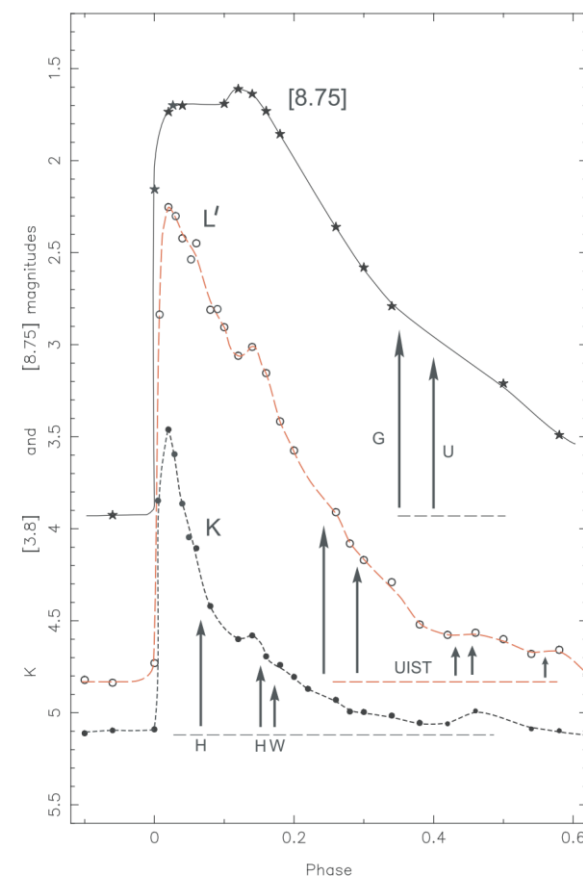
# Monitoring dust expansion

## ■ WR140の撮像モニタ観測

□ 拡散し温度が下がりつつあるダストを空間的にとらえる

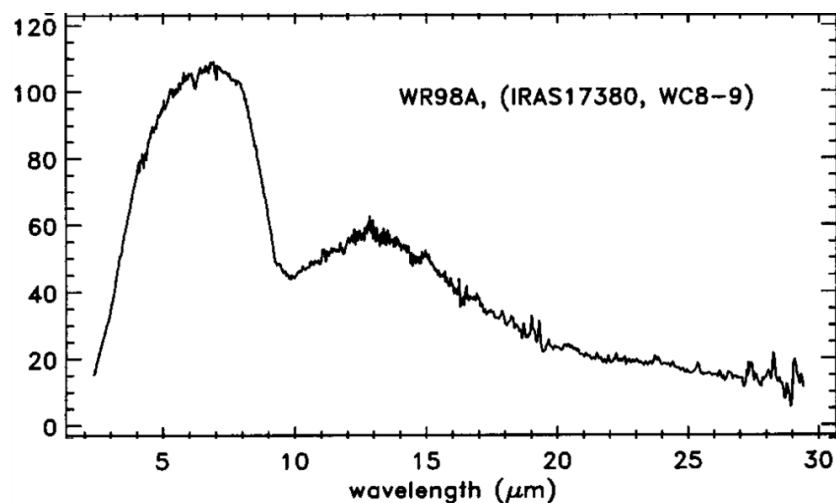


(Williams+09)

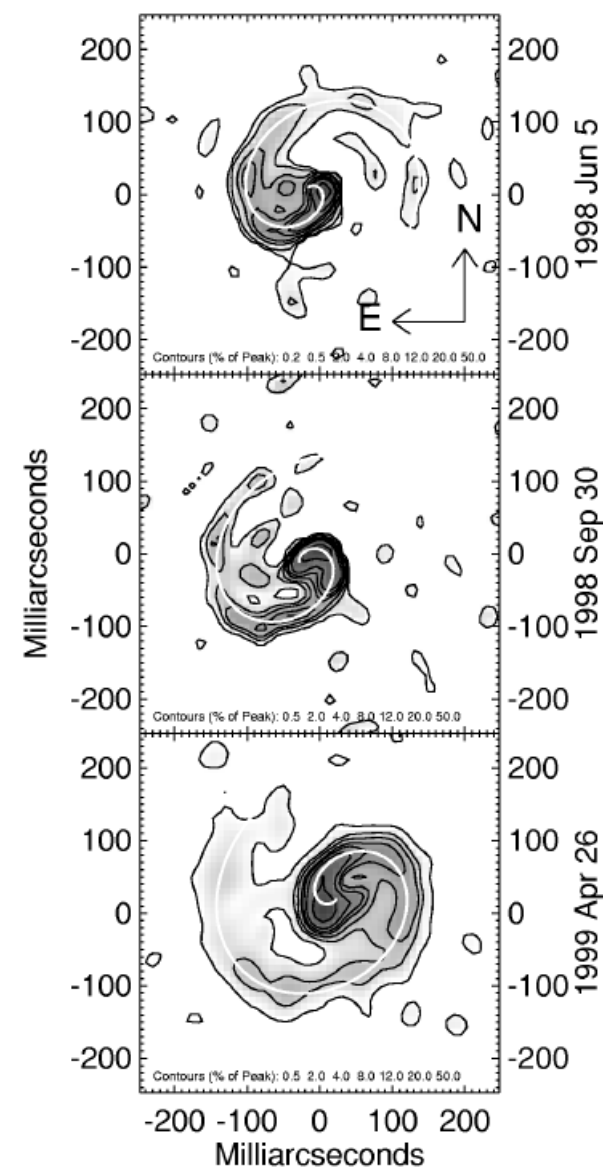


# Pinwheel nebula

- WR98a @  $2.2\mu\text{m}$  (Monnier+99)
  - WR+O binary
  - 周期~588日：周期が短いのでほぼ定常的なダスト形成が起きている
- ISO/SWS spectrum
  - carbonaceous dust + (interstellar) silicate absorption



(van der Hucht+96)





# Known WR dustars

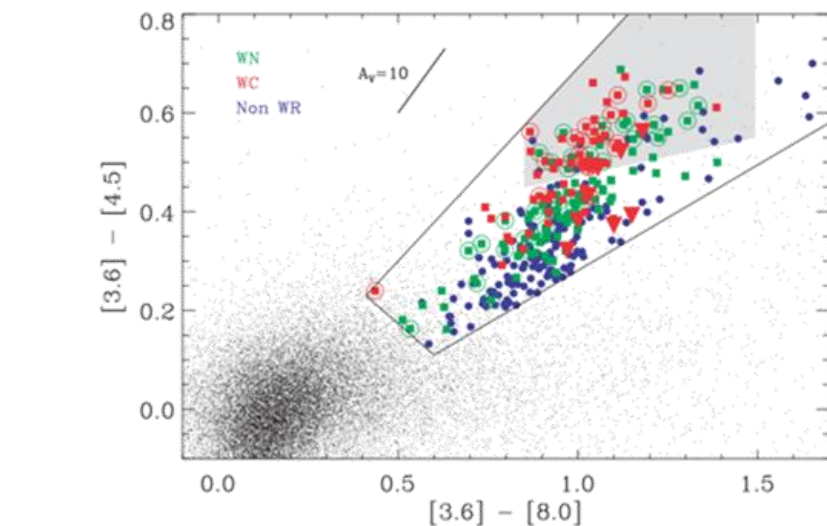
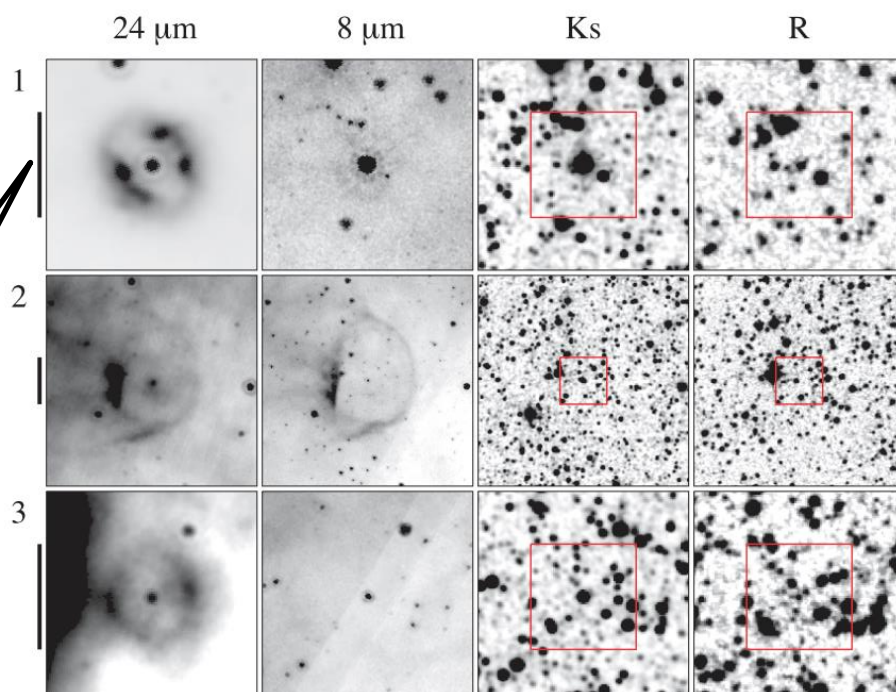
- 数年にも1個程度の割合で近星点イベントを迎える天体がある
- N,Q-bandでの継続的な観測例は非常に少なく、サンプルを増やすことが重要と思われる

Name	Spectral type	P (year)	Next max
WR 140	WC7 + O5	7.94	2017
WR 137	WC7 + O9	13.05	2023
WR 125	WC7 + O9	>22	2013+?
WR 19	WC5 + O9	10.1	2017
WR 48a	WC8 + Oe	~ 32.5	2044.2
WR 98a	WC8-9	1.54	2014.3
HD 36402	WC4(+O) +O8I:	4.7	2015.7
GC IRS 29N	WC9	>6	?

(Williams+13)

# New candidates of dusty WR/LBVs

- 現在同定されているgalactic WRは予想される数の2割以下
- 2MASS+Spitzer/GLIMPSE, MIPS GALを用いて、これまで発見できなかったdusty WR/LBVの探査が行われている
- 新たなdusty WRのうち明るいものは地上8mで観測可能

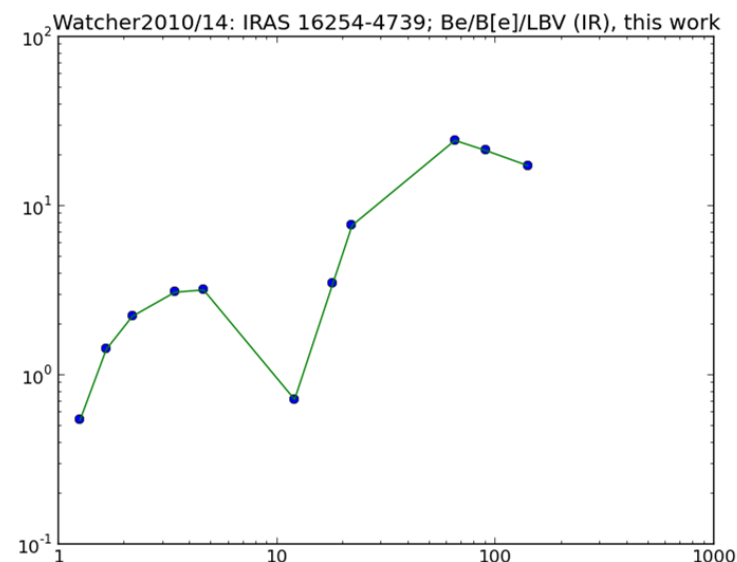
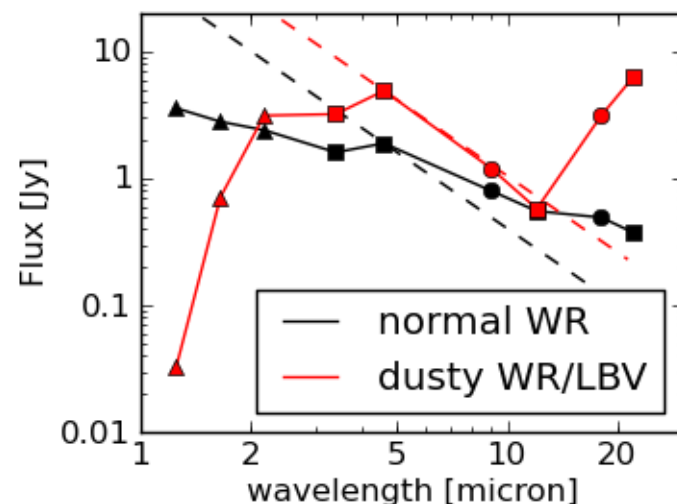


(Wachter+10)

(Mauerhan+11)

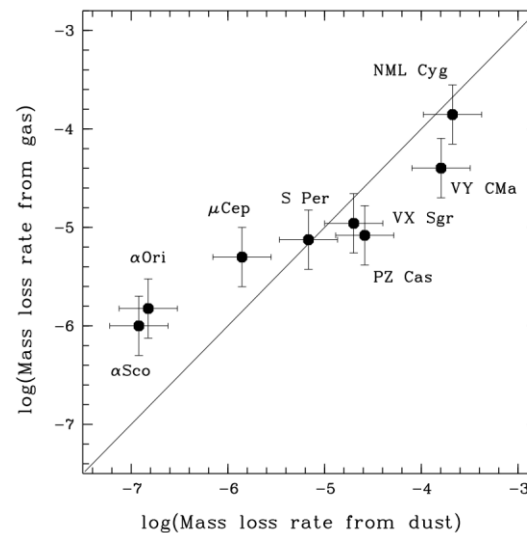
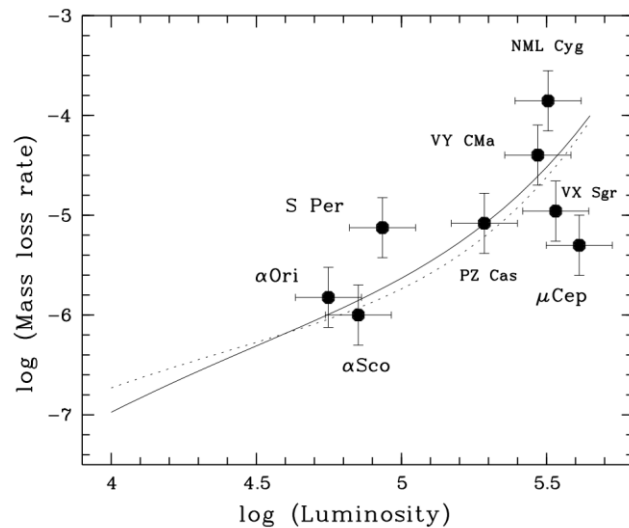
# dusty massive starの観測

- dusty WR/LBVは $>10\ \mu\text{m}$ でも明るい
- known galactic WRのうち  
 $>1\text{Jy}@20\ \mu\text{m}$ のもの： $\sim 10$ 個
- Spitzer/AKARI/WISEを利用して候補天体を増やし、MIMIZUKUで観測
  - 高空間分解能観測でダストシエルの様子が詳細にわかる
  - モニタリング観測によりbinary interactionに起因するダストの形成・成長が捉えられるはず



# Dust formation on red supergiants

- $> 1-2 \times 10^3 L_{\text{sun}}$  のRSGはdustyに見える (McDonald+09)
- M33中のH II regionの観測では、RSGsはWRsより減光して見えている→ダストに覆われている (Eldridge+06)
- Mauron+11: 明るいRSGほど多くダストが形成されている
  - ダスト量はIRAS 60 $\mu\text{m}$ で見積もり
  - N, Q-band観測で星周のsilicateの情報を得られる



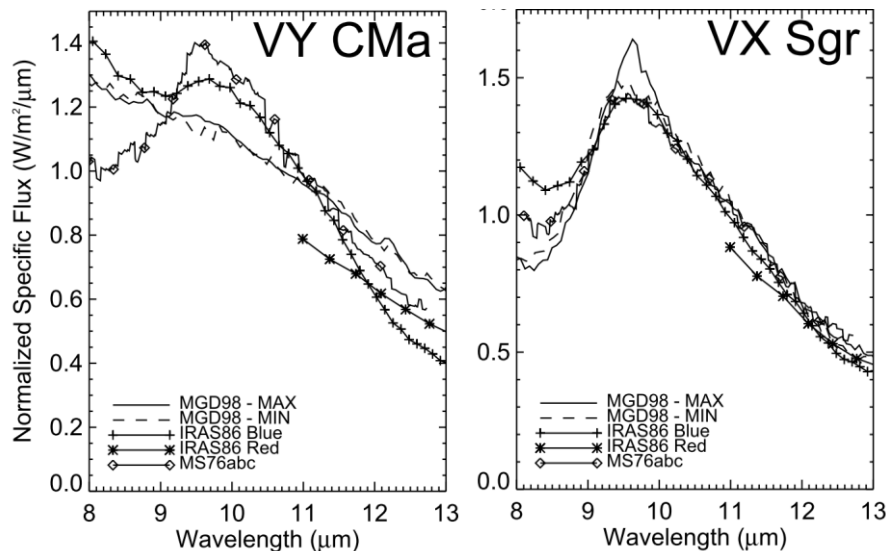
(Mauron+11)

# MIR variability of RSGs

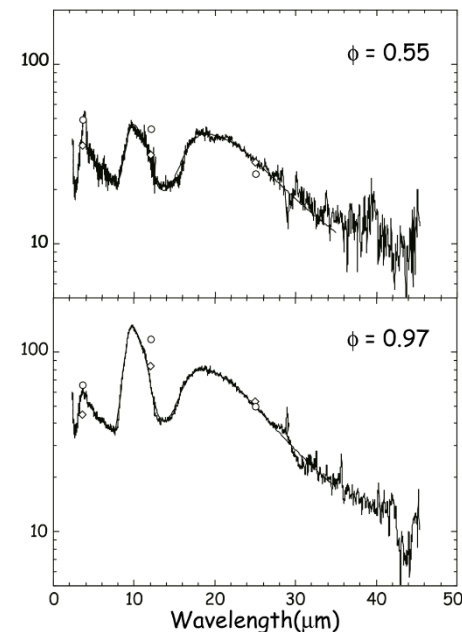
## ■ Silicate featureの変光

- 9 $\mu$ m featureの観測例はあるが、18 $\mu$ m featureの観測例は少ない
- 両方を抑えると、Silicateの温度と量の成分を切り分けられる  
→ MIMIZUKUでのQ-bandモニタ観測が有効

Mid-infrared spectra of RSGs  
(Monnier+99)



(参考)  
M-type Mira  
spectrum  
variation  
(Onaka+02)



# まとめ

## ■ Dusty WR/LBV

□ モニタリング観測でダストの形成・成長を追跡することが可能

- 撮像モニタ：  
ダストの拡散を空間的にとらえる
- 分光モニタ：  
ダストの性質の変化を捉える

□ 観測例を増やすことが重要

## ■ Red supergiant

□ モニタリング観測でsilicate featureの変光特性を調べる

□ 質量・光度とダスト形成の関係

