

# 長周期ミラ型変光星の周期光度関係で あかす天の川銀河のAGB星の進化

鹿児島大学 理工学研究科 博士後期過程  
浦郷 陸

# Contents

## Introduction

- ・光度周期関係(PLR)
- ・O-rich と C-richとは？

## 天体紹介

VERAと1m望遠鏡と広島望遠鏡

## 結果

## Discussion

## まとめ

# Introduction - 変光星 -

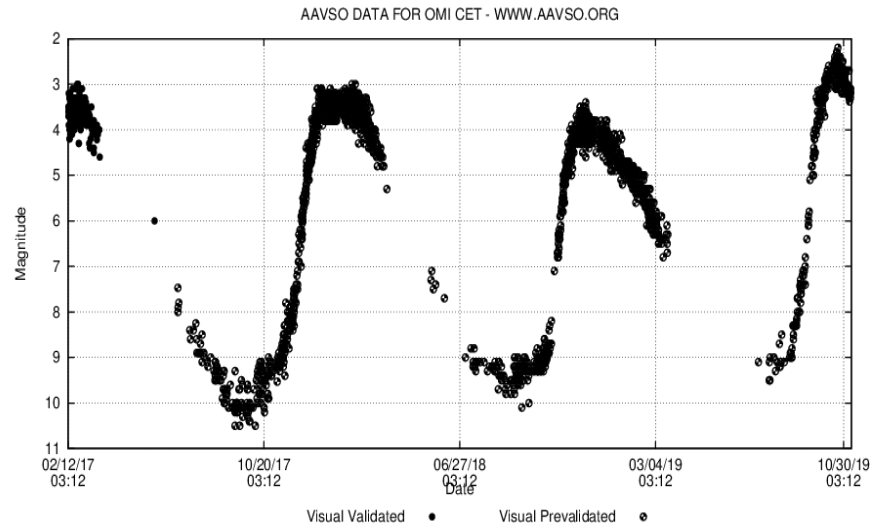
## 変光星という星

明るさが時間に対して変化する星

代表例;セファイド型変光星 ミラ型変光星

ミラ型変光星;LPV,AGB星とも

長周期(days > 100 day),長振幅( $\Delta V > 2.5\text{mag}$ )



周期と光度に相関関係を持つ;周期光度関係(Period Luminosity Relation:PLR)

## 重要性

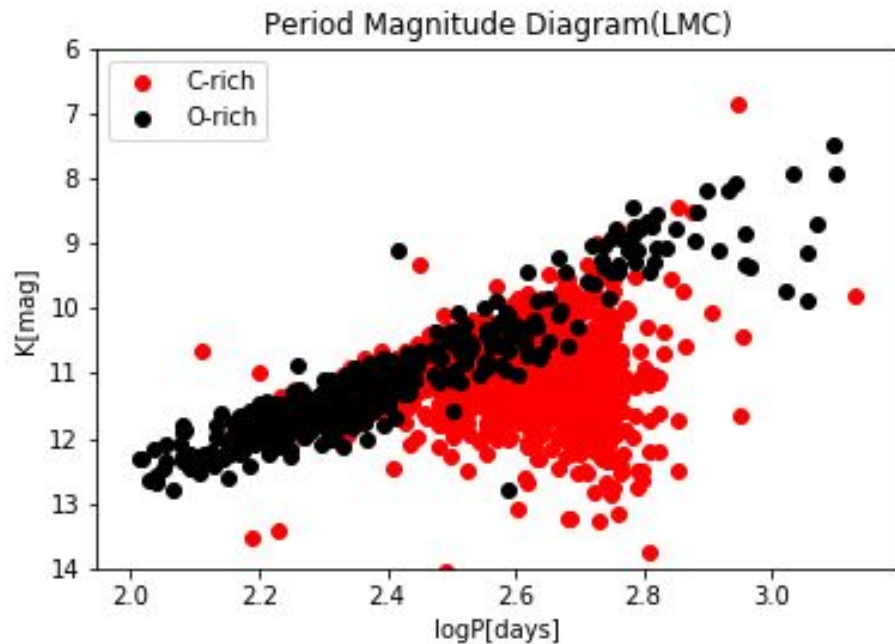
距離指標として最も強力なツールの一つ

マスロスがどのようにおこなわれているのか?(銀河への金属供給)

# Introduction - 光度周期関係(PLR) -

ミラ型変光星の光度周期関係はどうなっているのか？

星表面の化学組成により、示す特徴が違う



C-rich; 長周期側で減光を示す

星周ダストによる減光

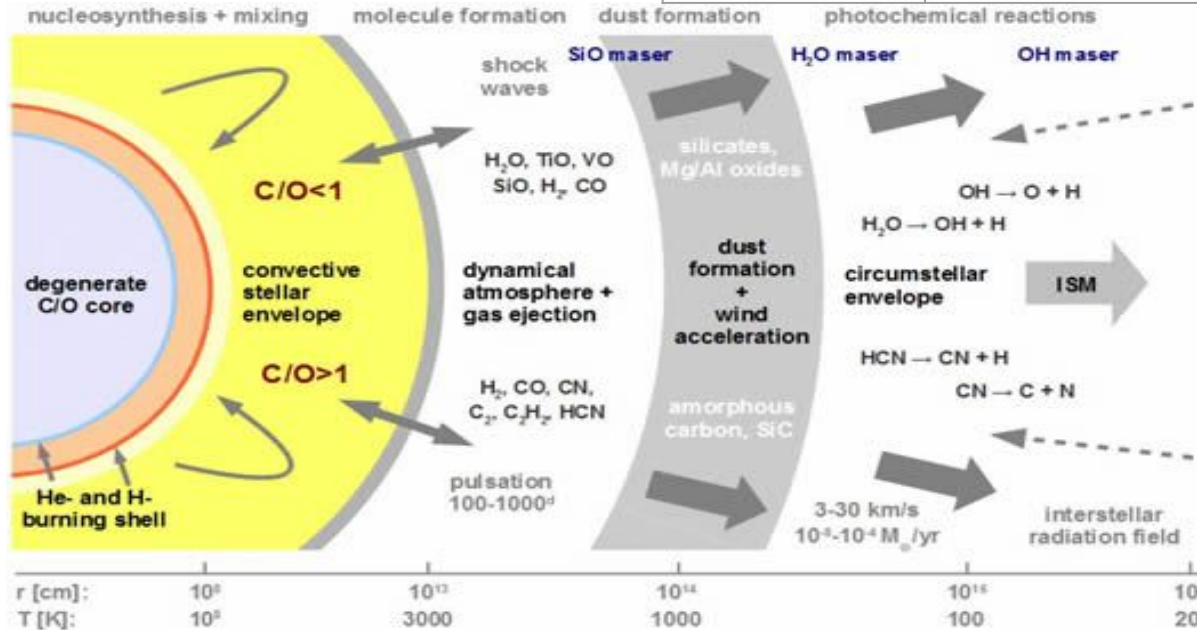
O-rich; 長周期側で増光、後に減光

増光; Hot Bottom Burning 現象

大マゼラン雲(LMC)のPLR  
sources: OGLEIII catalog  
Ks mag: 2MASS  
Ita & Matsunaga 2010

# Introduction - O-rich と C-richとは？ -

	O-rich	C-rich
ダスト	シリケート	アモルファスカーボン
吸収線	TiO, VO H2O etc	CN,C2,HCN etc
メーザー	H2O,OH,SiO	



(C)Hron

# Introduction - PLR Milky Way vs LMC -

天の川銀河では？ → 化学組成の分類 and 長周期側はほとんど解明されていない

理由; 距離決定、すべての星の分光が大変

はたして同じ光度周期関係を示すのか？ 金属依存性

[短周期側: LMCとMilky Wayでの金属依存性の差異は小さい Matsunaga 2012](#)

長周期側: ???

OH/IR星と呼ばれる星が多い in 天の川銀河

OH maserを放出し、赤外線で見える天体

長周期のミラ型変光星の特徴を示し、激しいマスロスを起こしている

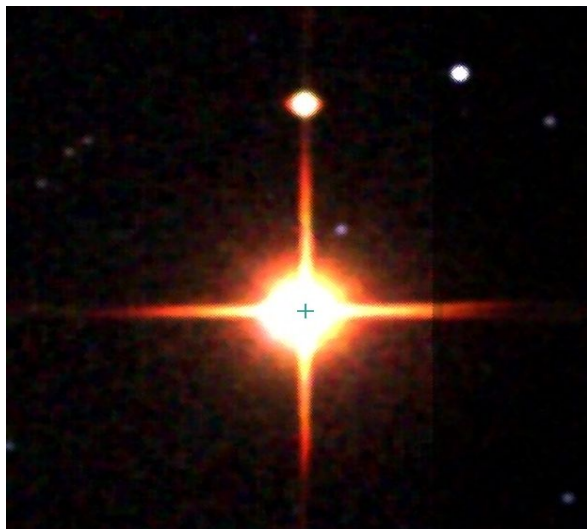
(LMCでは数がほとんどない)

# 天体紹介

天体名	OZ Gem
R.A. Dec.	07 33 57.7,+30 30 37.8

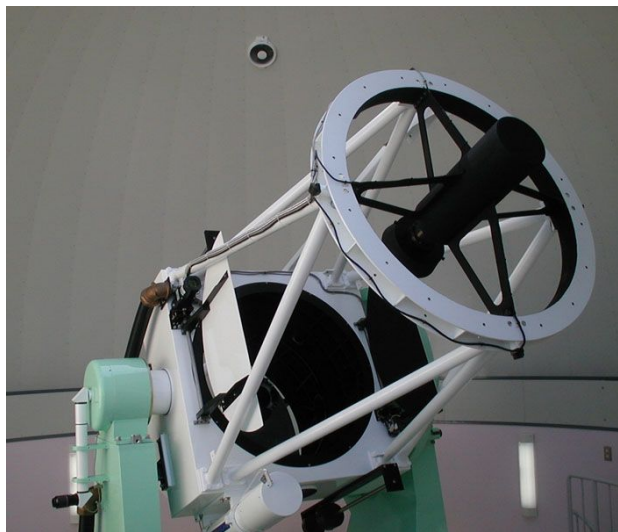
天体名	V837 Her
R.A. Dec.	18 43 36.4,+13 57 22.7

天体名	AP Lyn
R.A. Dec.	06 34 33.3,+60 56 27.7



# VERAと1m望遠鏡と広島望遠鏡

鹿児島1m望遠鏡  
近赤外線モニタリング



VERA  
年周視差測定

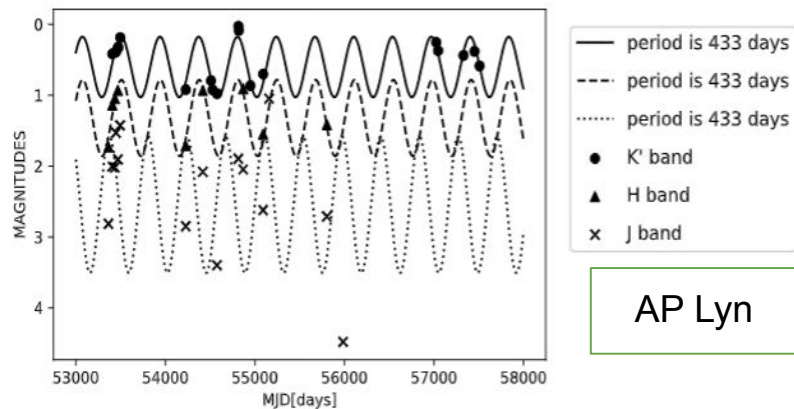
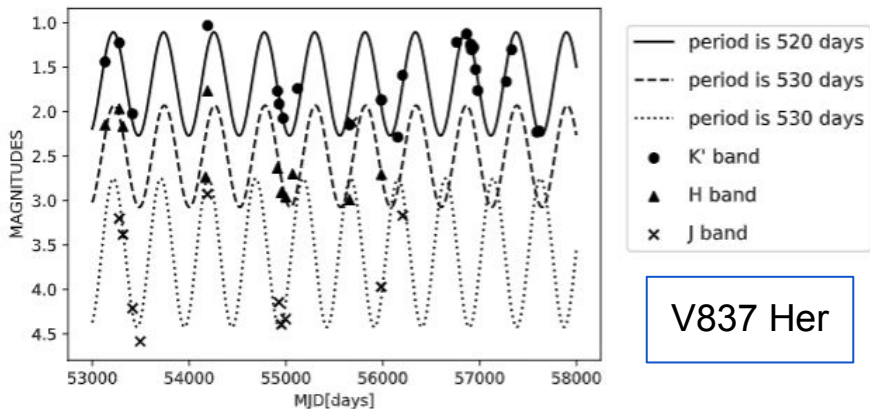
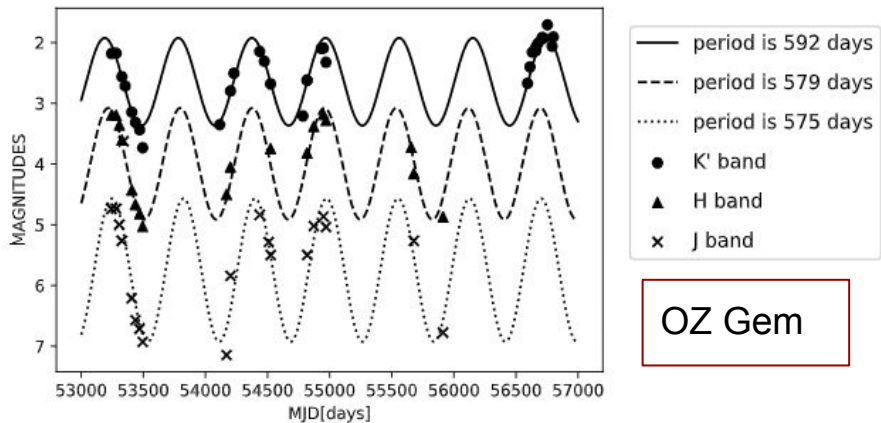


広島かなた望遠鏡  
可視光 低分散分光





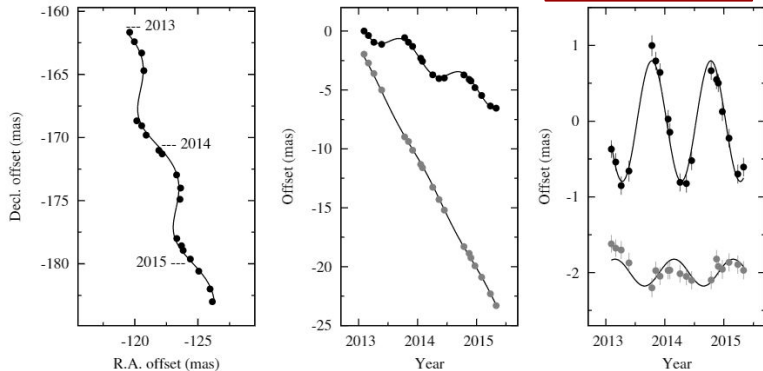
# 結果 - Lightcurve-



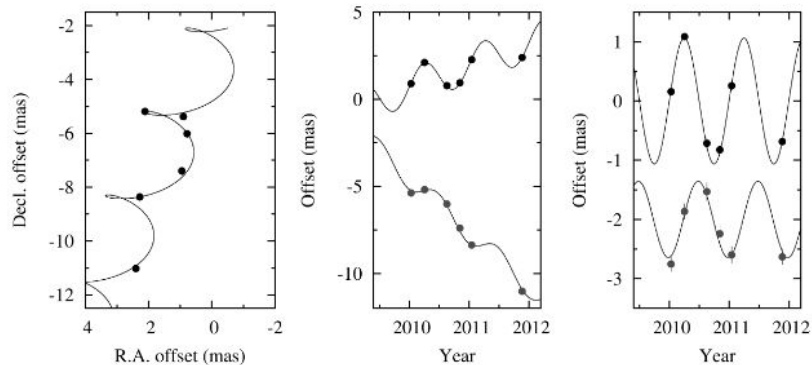
	OZ Gem	V837 Her	AP Lyn
Period[days]	592	520	433
mean K'mag [mag]	$2.65 \pm 0.16$	$1.68 \pm 0.03$	$0.60 \pm 0.01$

# 結果 - Parallax -

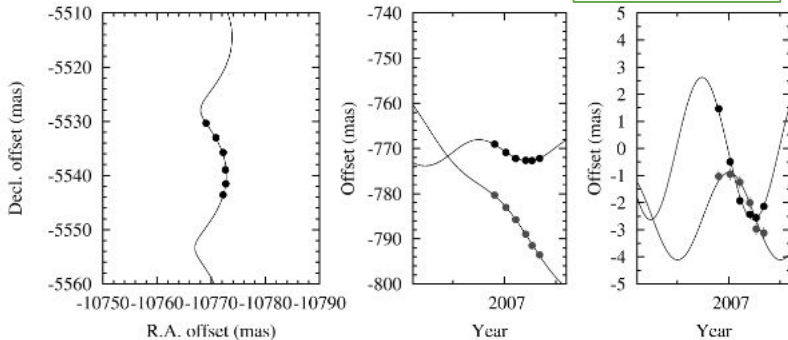
OZ Gem



V837 Her

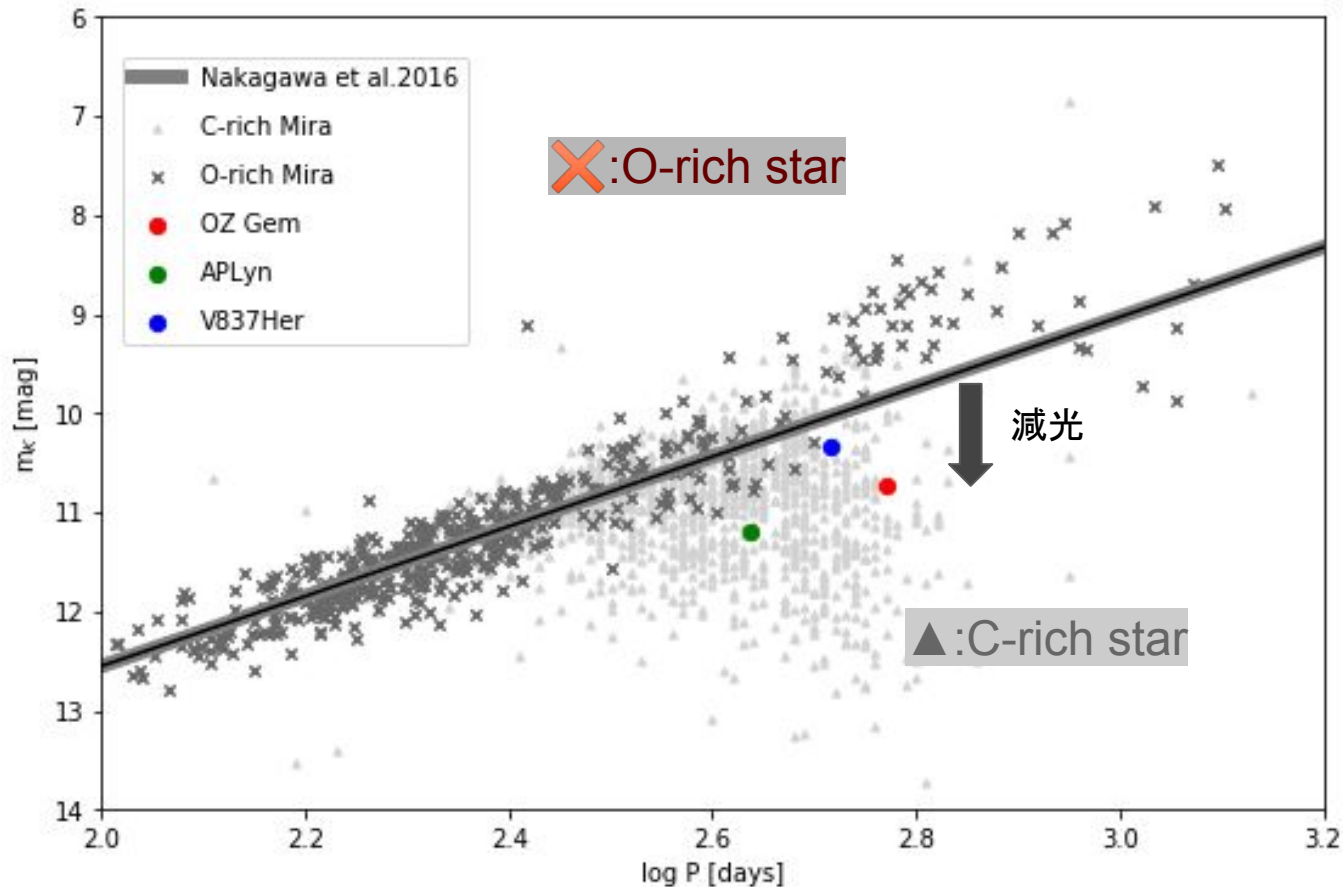


AP Lyn

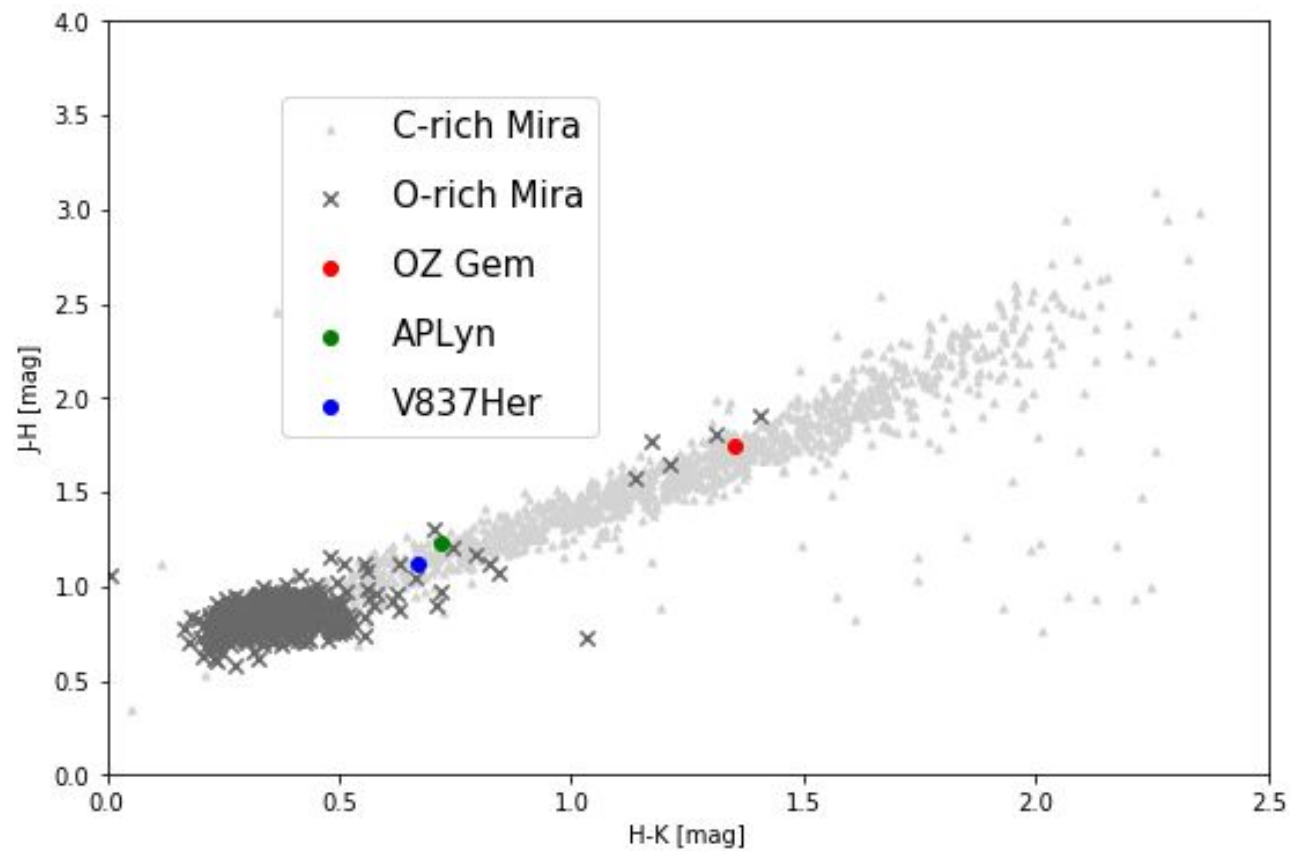


	OZ Gem	V837 Her	AP Lyn
Parallax[mas]	$0.806 \pm 0.03$	$1.06 \pm 0.04$	$2.63 \pm 0.22$
Distance[kpc]	$1.24 \pm 0.06$	$0.94 \pm 0.04$	$0.38 \pm 0.03$

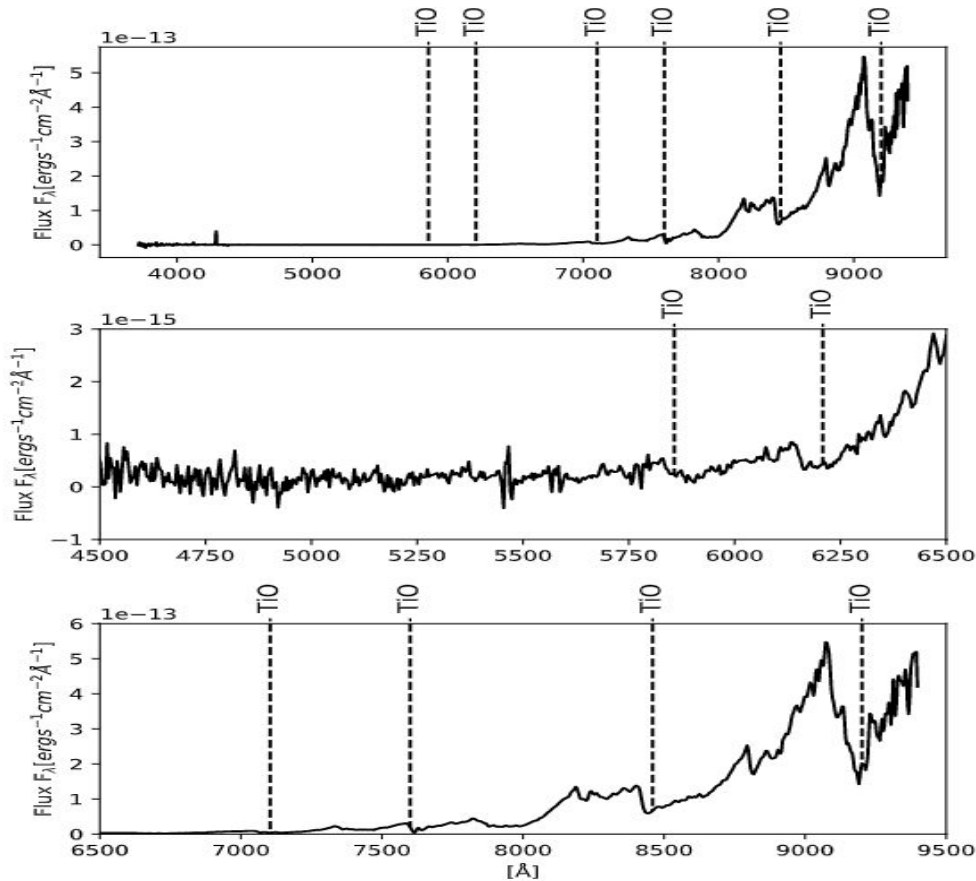
# 結果 - PLR -



# 結果 - color color diagram -



# 結果 - Spectroscopy-



OZ Gemのスペクトル  
TiOの吸収線が多く見える

# Discussion - metallicityの違い-

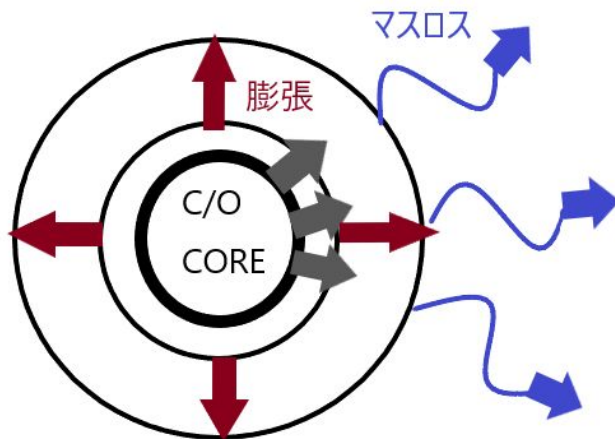
天の川銀河はLMCよりも2~3倍, metallicityが大きい(Luck et al. 1998)

metallicityが大きい影響を及ぼす

・LMCの星よりも星内部のOpacityが大きい→(内部からのradiationが出にくい)

星内部にたまったエネルギーで膨張し、振動の振幅と周期が大きくなる

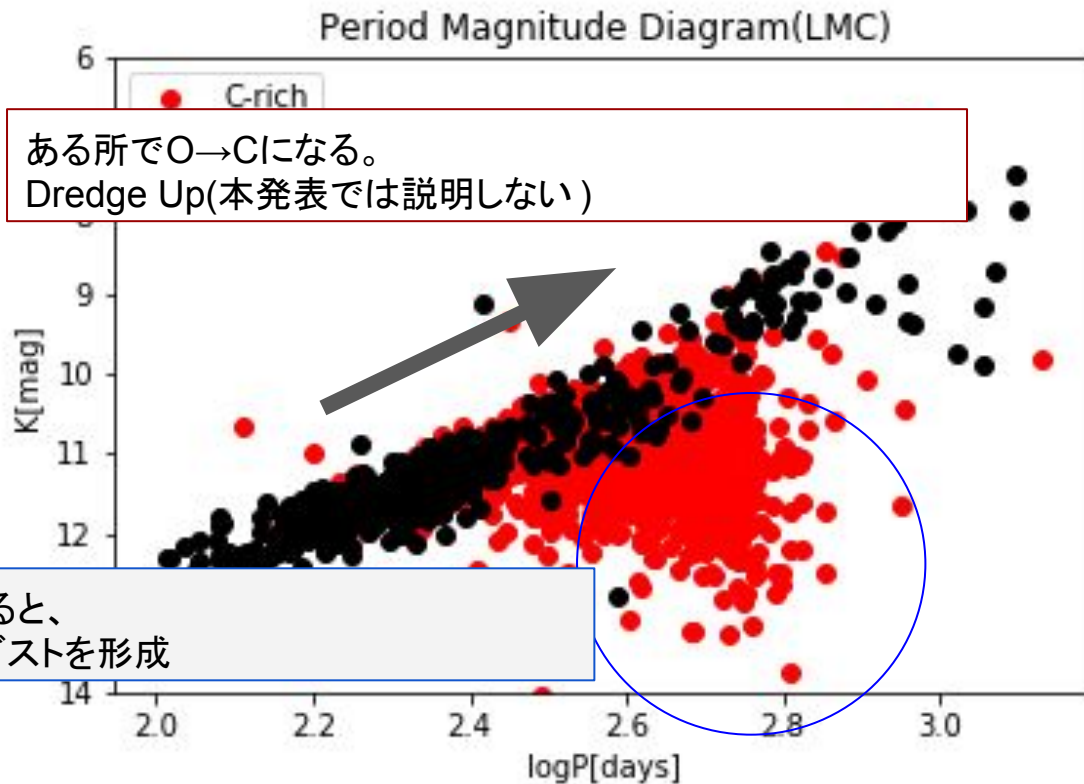
-外に質量を放出する力が大きくなる。



# Discussion -PLRの描像-

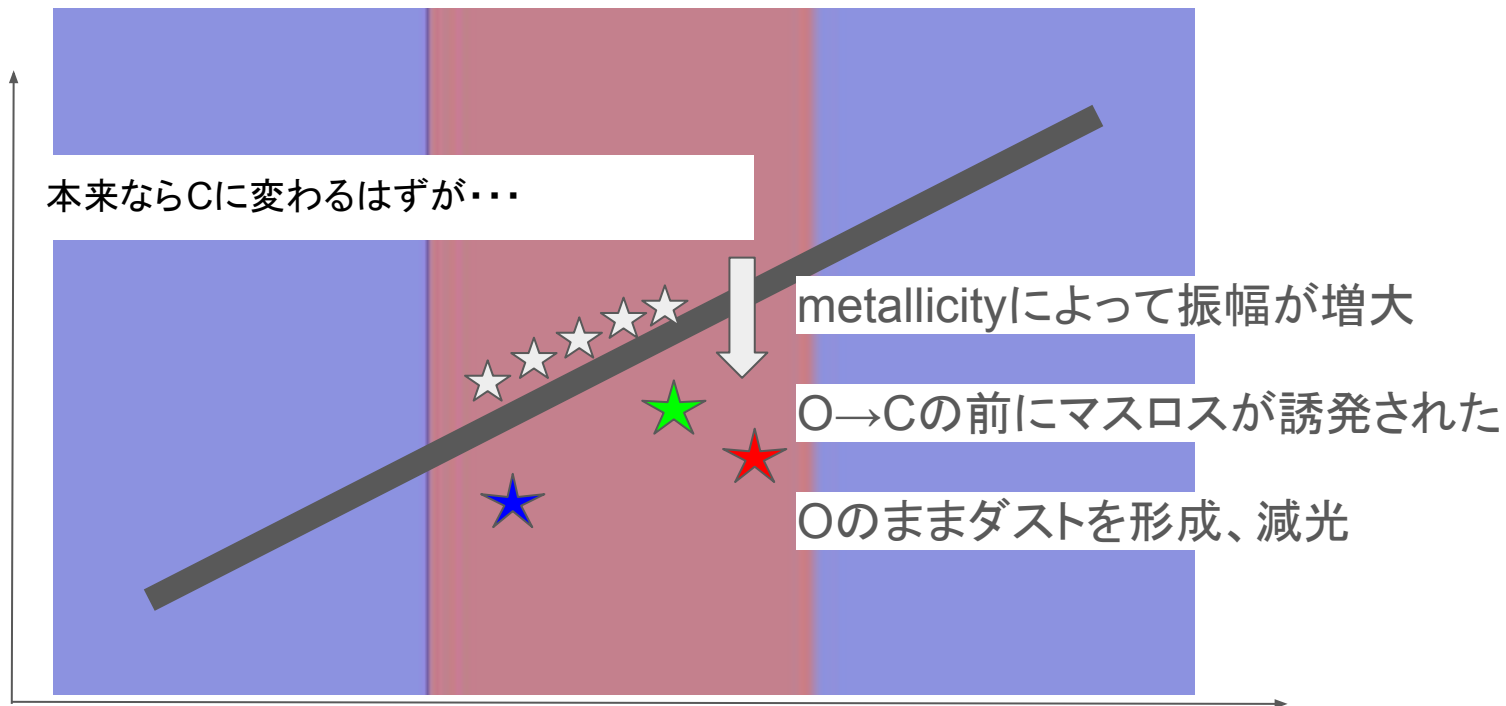
共通事項:AGB星の始まりは必ずO-rich(M型星;星の進化から)

マゼラン雲では・・・



# Discussion

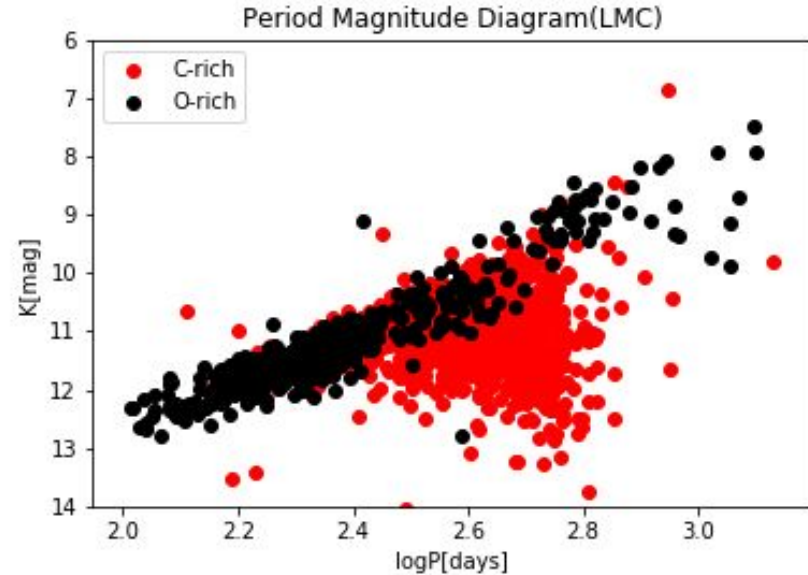
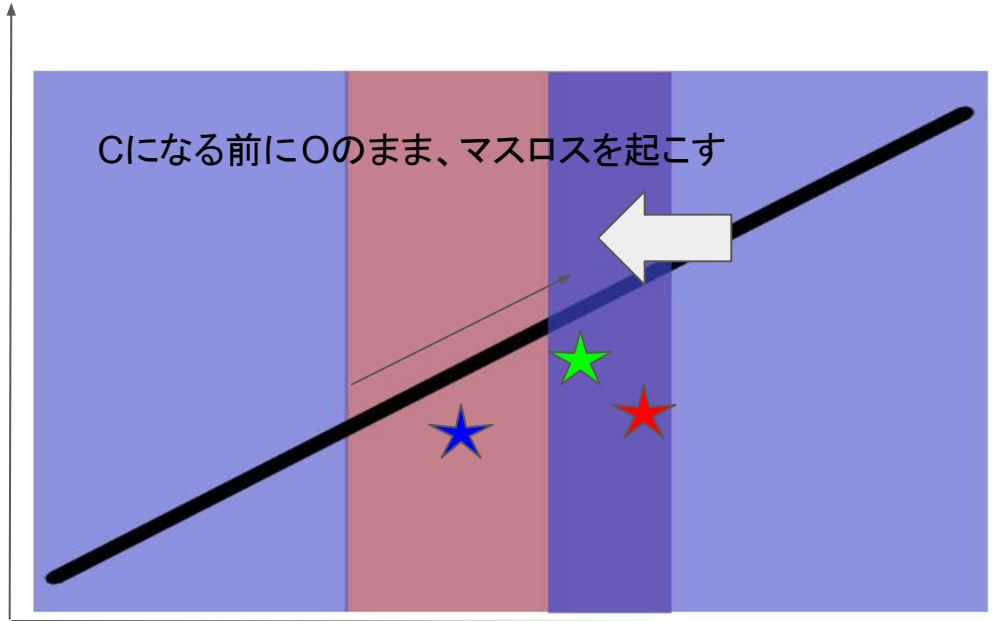
天の川銀河では・・・



**銀河間のmetallicityの違いがAGB星のマスロスの時期に影響を与える！**



# Discussion -PLRの解釈 in Milky Way-



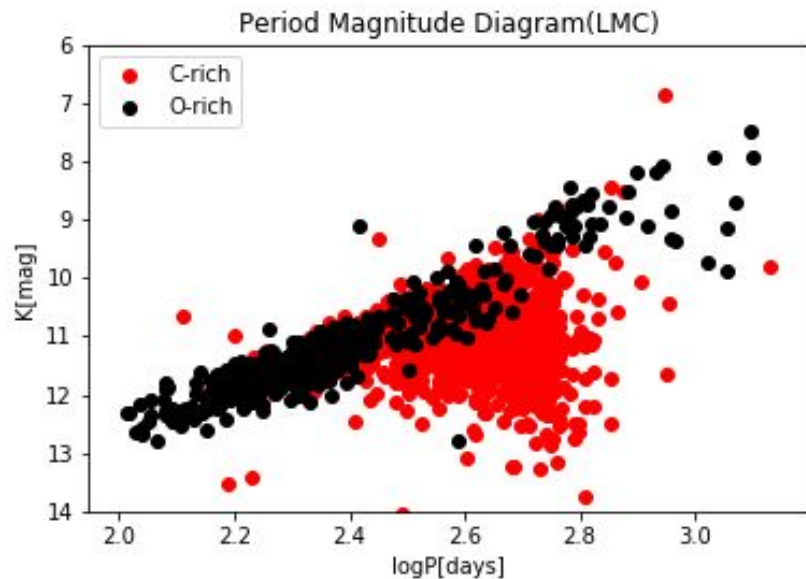
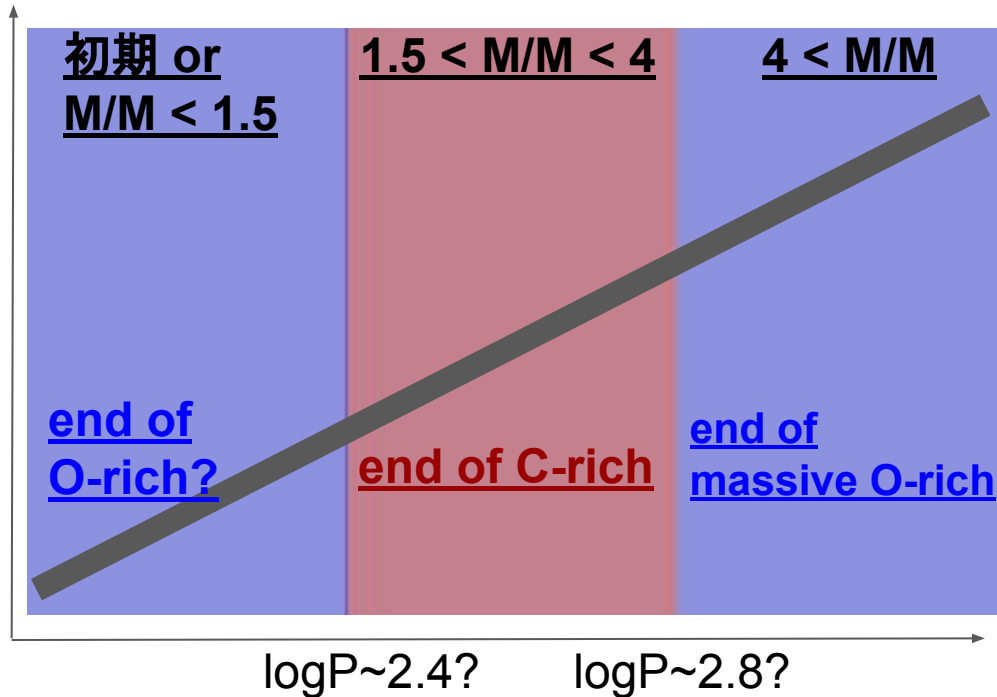
**天の川で多く確認されているOH/IR星も説明可能**

**銀河全体のC/O個数比もC/O $\sim$ 1/2 LMCではC/O $\sim$ 2 (AKARI Sakamoto et al.2013 )**

# まとめ and これから

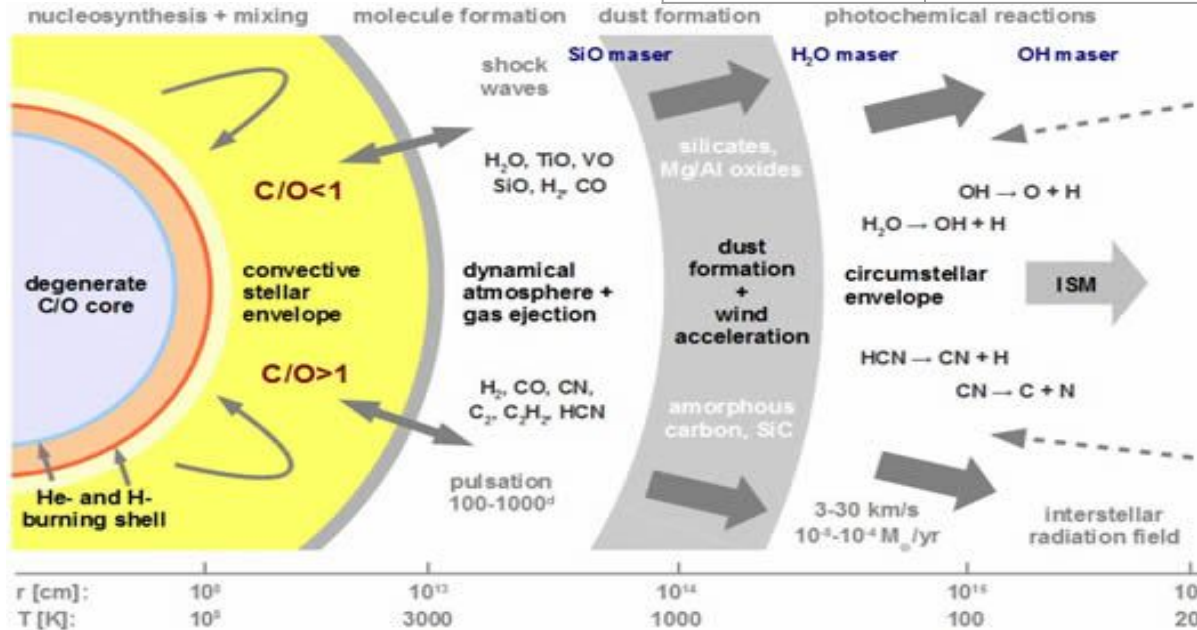
- ・論文投稿中(PASJ;VERA特集号)
  - 発表では触れなかった質量や光度をmodelと比較より詳細なAGB星の進化について議論をしている。
- ・質量を直接的に決めるため、VERAで2天体のbinaryの星を観測中距離のデータを用いて質量を正確に決定
  
- ・長周期のミラ型変光星(OZ Gem,V837 Her,AP Lyn)のモニタリング観測、年周視差測定、分光観測を行いPLR上にプロットした。
- ・O-richのミラ型変光星だが、LMCのPLRと比較するとC-richの傾向を示した。
- ・銀河間のmetallicityの違い(MW>LMC)を考慮すると、天の川ではOpacityが大きいいため脈動が大きくなる傾向があり、マスロスを誘発

# Discussion -PLRの解釈 in LMC-



# Introduction - O-rich と C-richとは？ -

	O-rich	C-rich
ダスト	シリケート	アモルファスカーボン
吸収線	TiO, VO H2O etc	CN,C2,HCN etc
メーザー	H2O,OH,SiO	



(C)Hron

## 結果 -まとめ-

・3天体はC-richの傾向が強い ColorとPLRの位置(特にOZGem)

- OZ Gem 以下3天体はなぜC-richの傾向を示すのか？

・O元素を含むメーザーを放射しているが、中身はC-richである ✕

・本来C-richであったがO-richになった？

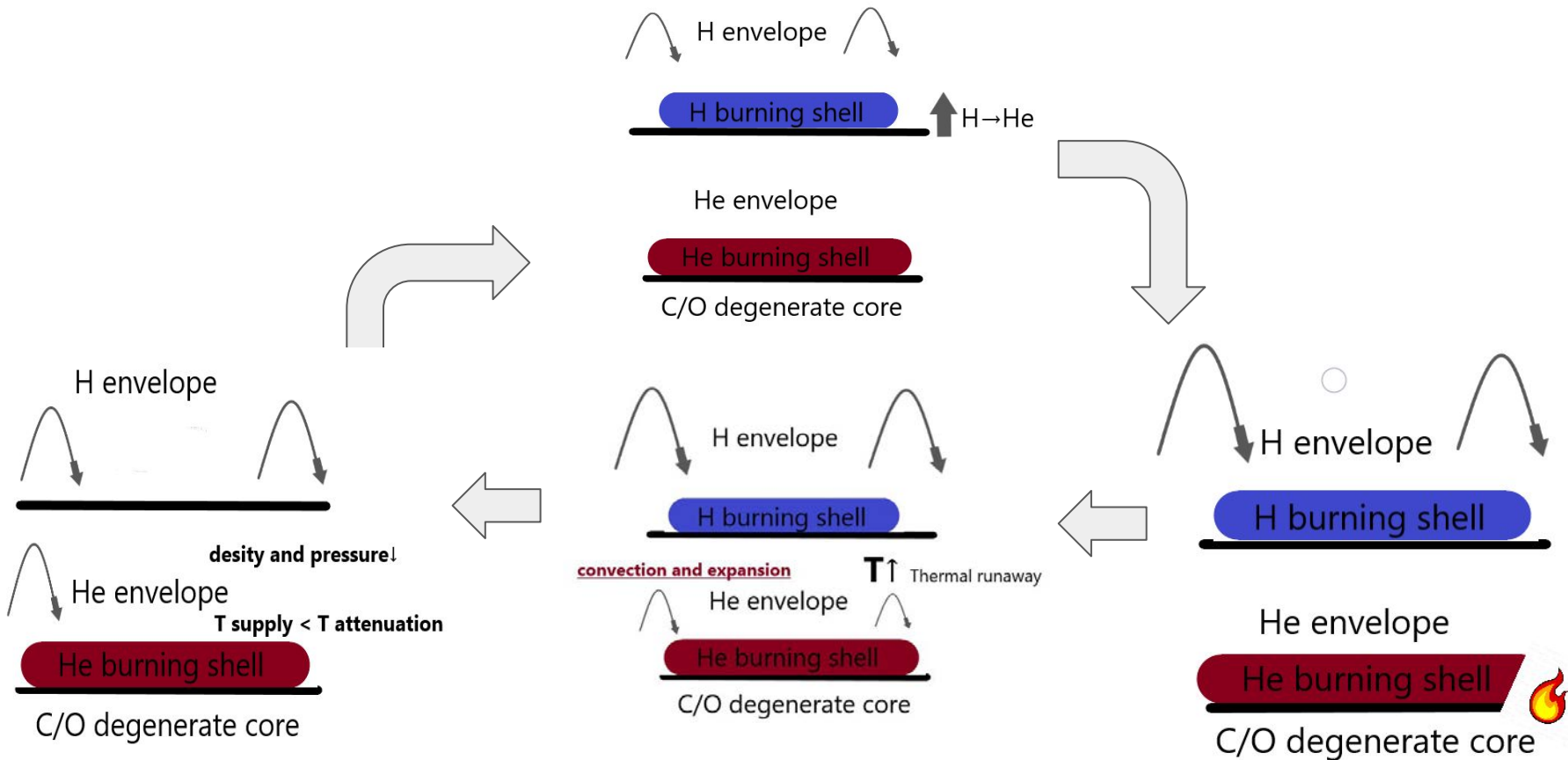
・天の川ではC-richが作りにくい？

重要なのは、AGB星の化学組成はどのようにして決まるのか？

**星表面の化学組成は初期質量の影響が強い。**

—初期質量によりおきる現象が変わる

# Discussion-サーマルパルス現象 -



# Discussion -AGB星の化学組成の変化-

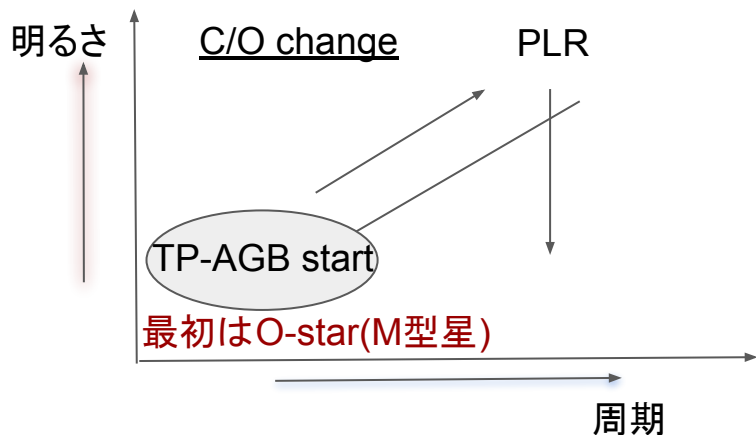
ミラ型変光星はサーマルパルス現象を起こして進化していく。

## ・中心のC/Oの縮退コアの成長

—Luminosityが増加

## ・Luminosity増加による輻射圧の増加やPulsationによるダスト放出

—マスのロスを起こすために重力におうじた振動が必要(reference)



質量に応じた大きさまで成長すると、  
Super Windで激しいMass Loss

# Discussion - O-rich と C-richはどう作られるか？ -

AGB星の表面組成は初期質量に大きく依存する。

忘れてはいけないのはスタートはO-rich(M型星)

初期質量	$M/M < 1.5$	$1.5 < M/M < 4$	$4 < M/M$
表面組成	O-rich	C-rich	O-rich
現象	NO	Third Dredge UP	Hot Bottom Burning Third Dredge UP

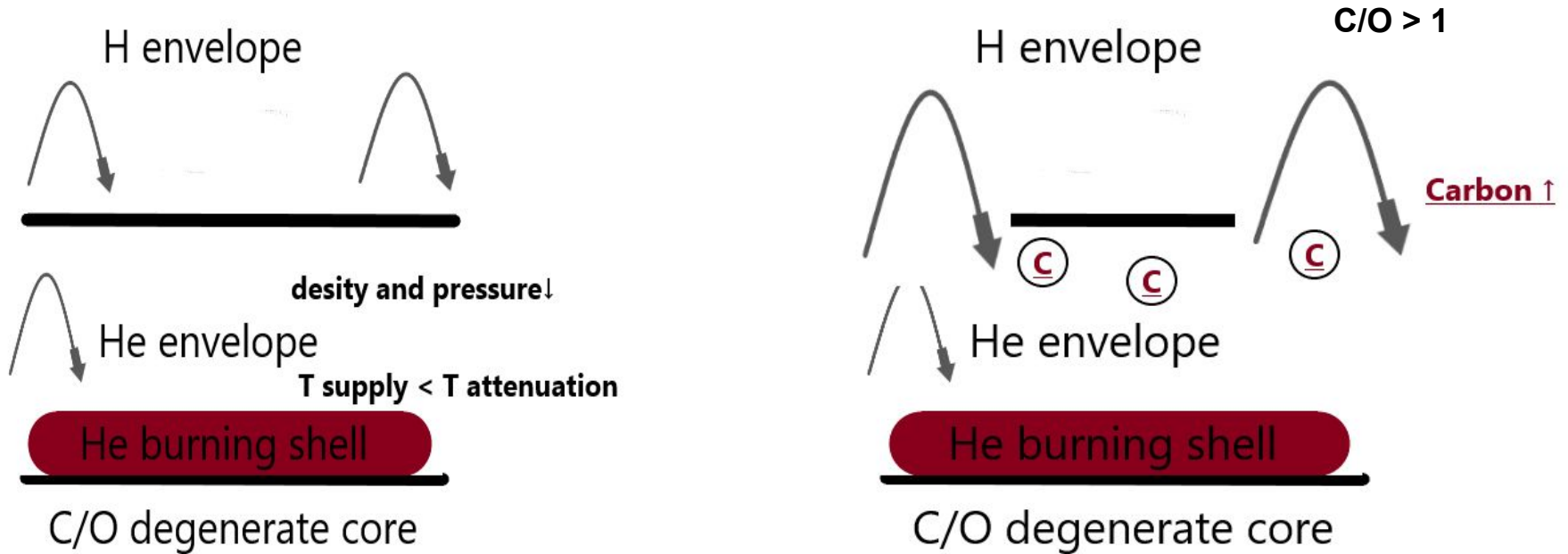
**これらの変化は星がサーマルパルスAGBフェーズに突入してから起こる**



# Discussion- Third Dredge UP -

Dredge UP現象とは対流の一時的な深化現象  
—それに伴う星表面への元素供給  $M/M_{\odot} > 1.5$

水素燃焼殻の消失に伴い、燃焼殻外の対流層が増加



# Discussion - Hot Bottom Burning -

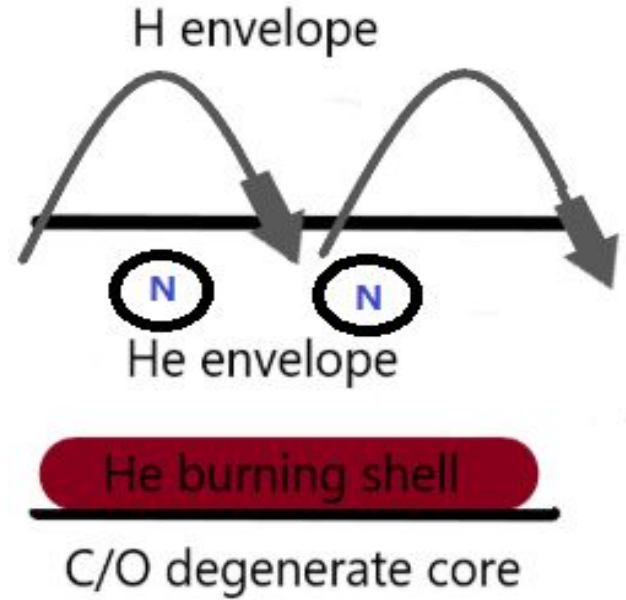
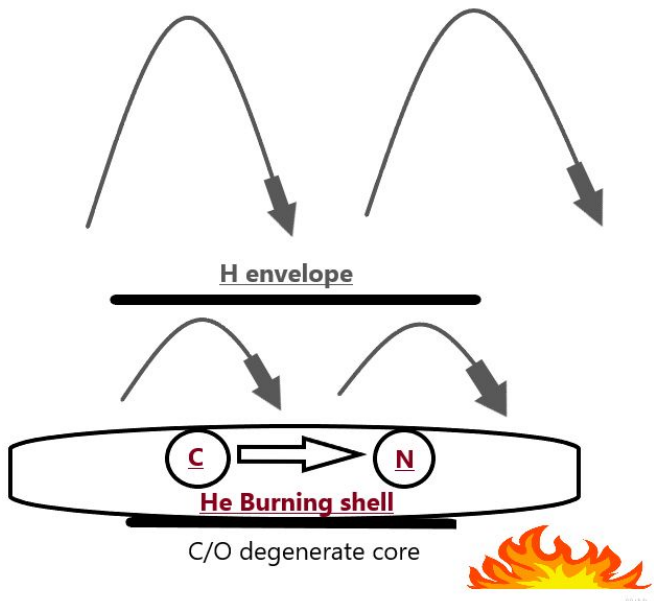
質量が重いことによる、He層の底の温度上昇

-Cを燃やし、Nを作る  $M/M_{\odot} > 4$

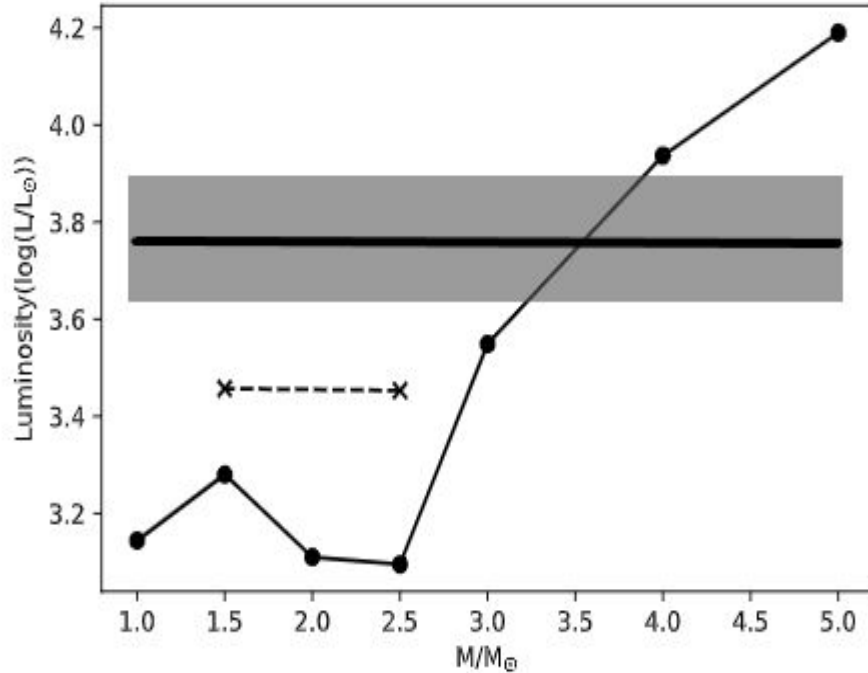
He層の温度がより高くなる

He層のCが全てNになる

Nが増加、C/O変化なし



# Discussion -天体の質量-

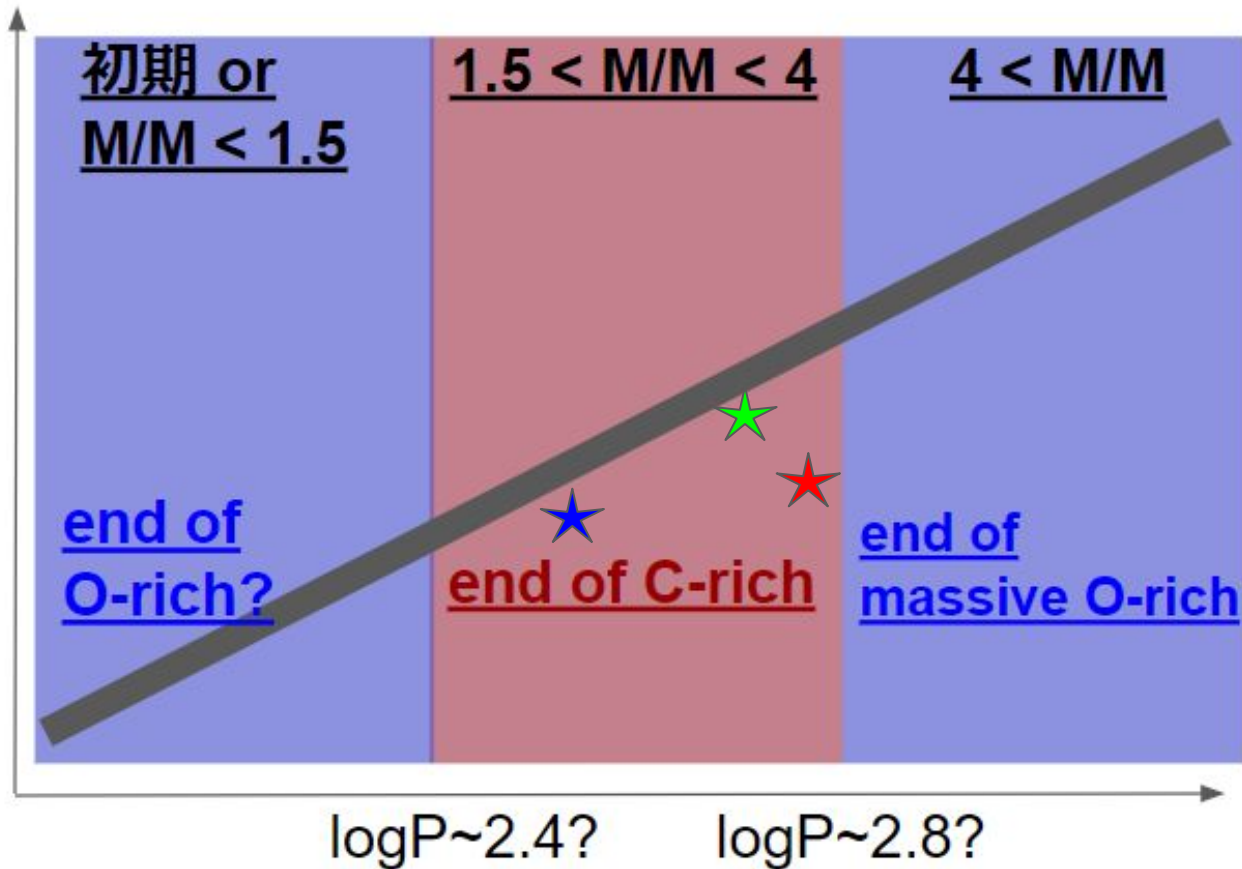


Bolometric collectionからLuminosityを見積もる  
(Buzzoni et al. 2010)

Mass - Luminosity Relation から天体の質量を決める  
(Lattanzio 1986)

	OZ Gem	V837 Her	APLyn
Luminosity	3.76±0.13	3.88±0.11	3.51±0.18
Mass	3.55±0.33	2.95±0.4	3.85±0.4

# Discussion -3天体の質量とPLRの比較-



質量から  
すべてC-richになるべき星  
↓  
何らかの理由によりCにならなかった

Third Dredge Up  
が起きなかった  
銀河の金属量?