

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

浦郷陸 鹿児島大学

面高俊宏, 永山貴宏, 中川亜紀治, 山口遼平(鹿児島大学)

James O. Chibueze(North-West University), 藤本 正行(北海道大学), 永山匠(国立天文台),

中岡竜也, 川端弘治(広島大学) 川端美穂, 山中雅之(京都大学)

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

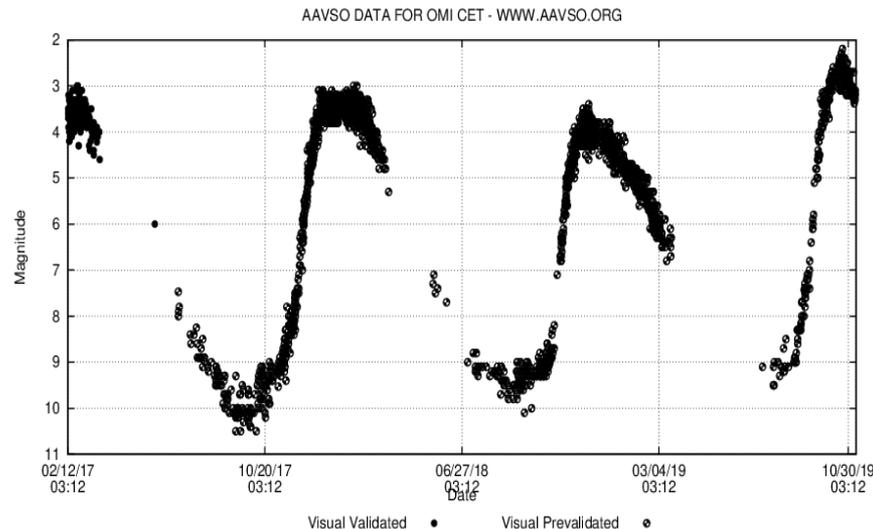
長周期(days > 100 day),長振幅($\Delta V > 2.5\text{mag}$)

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

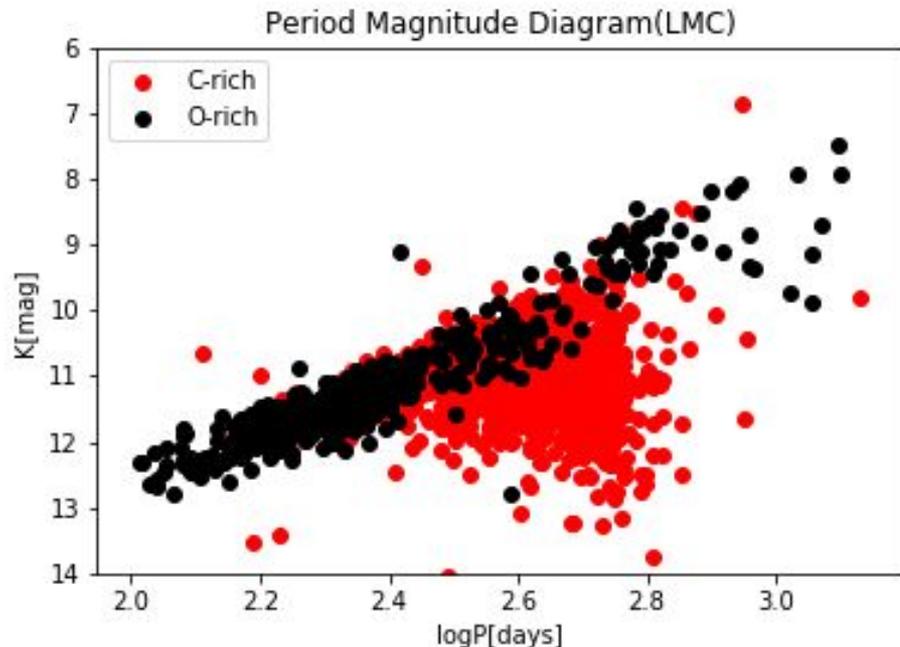
マスロスがどのようにおこなわれているのか?(銀河への金属供給)



Introduction - 周期光度関係(PLR) -

ミラ型変光星の周期光度関係はどうなっているのか？

星表面の化学組成で、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

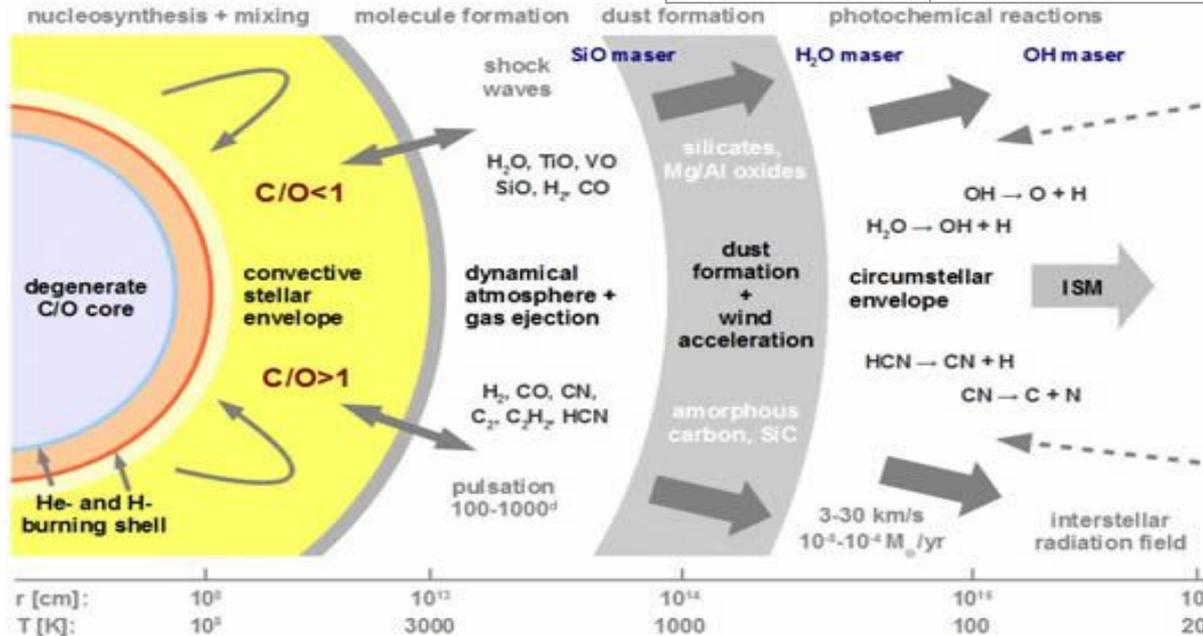
O-rich; 長周期側で増光、後に減光

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 H ₂ O etc	CN, C ₂ , HCN etc
メーザー	H ₂ O, 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、赤外線で明るい天体

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

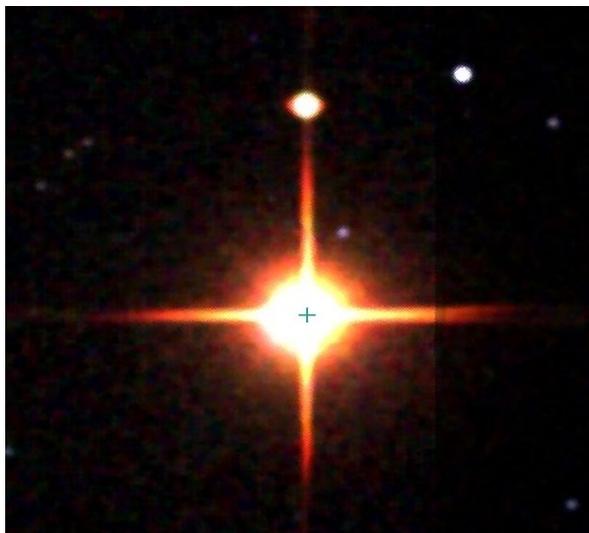
(LMCでは数がほとんどない)

天体紹介 - OH/IR 星-

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

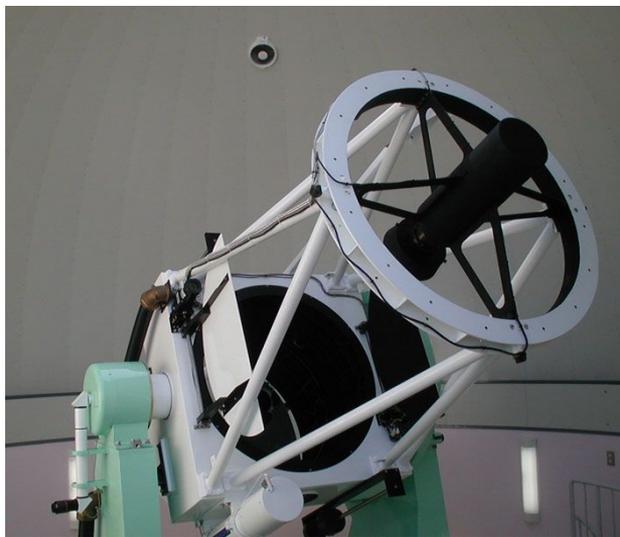
天体名	AP Lyn
R.A. Dec.	06 34 33.3,+60 56 27.7



画像:2MASS

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



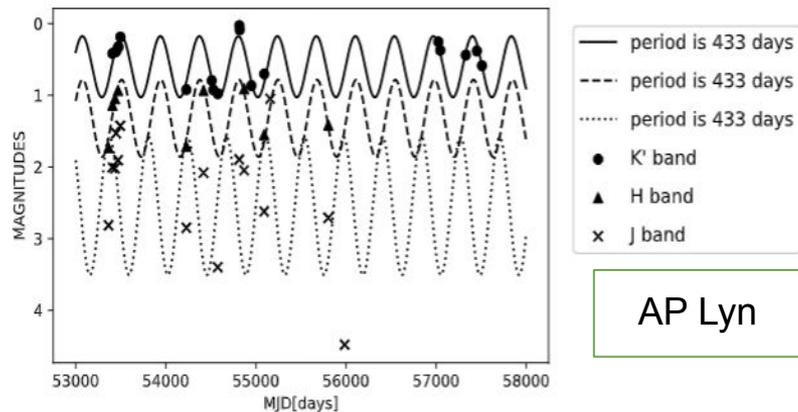
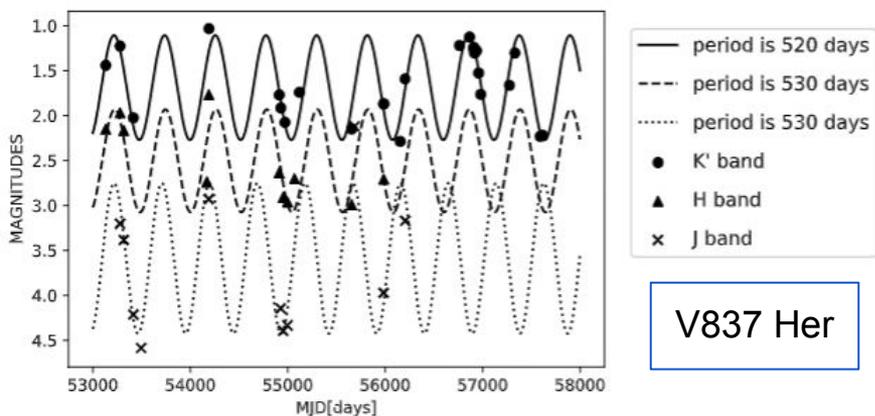
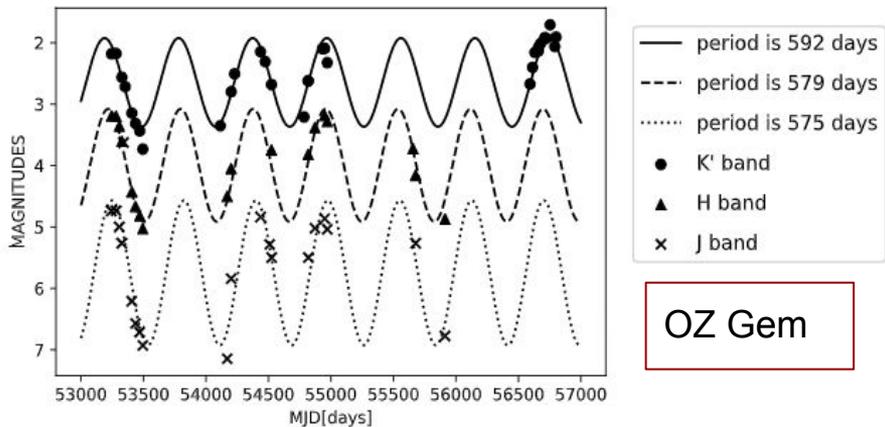
VERA
年周視差測定



広島かなた望遠鏡
可視光 低分散分光

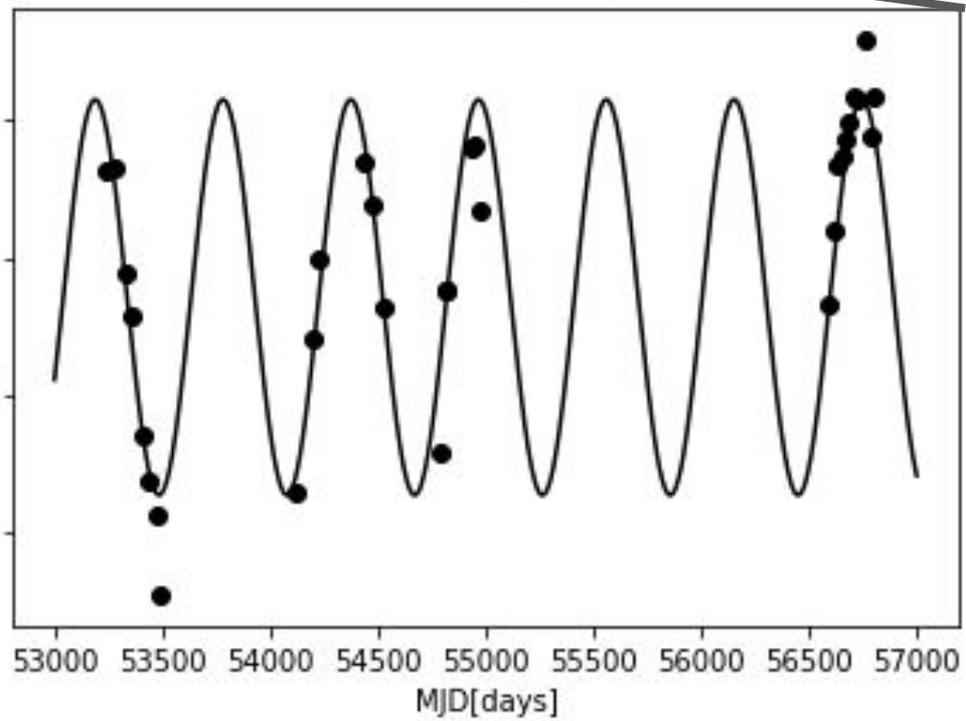
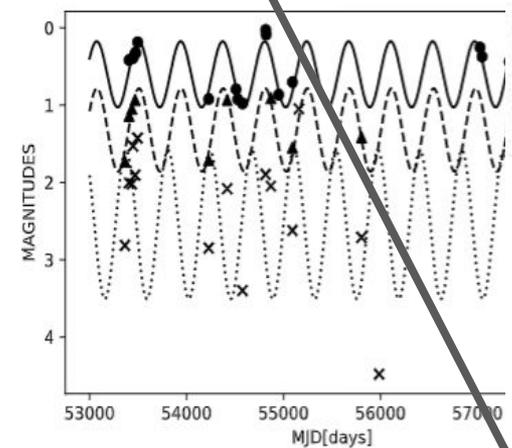
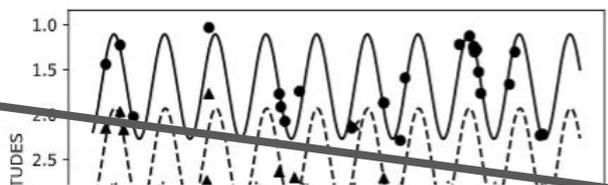
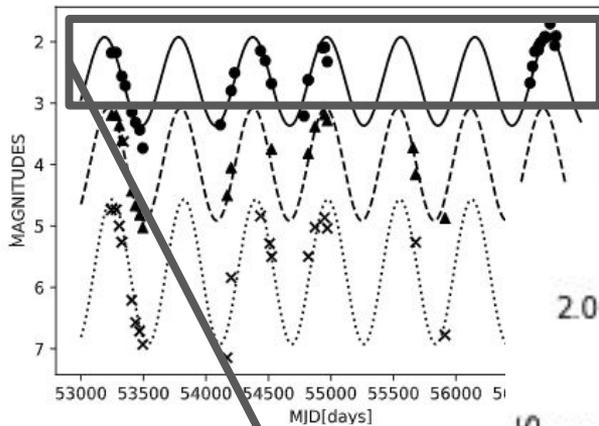


結果 - Lightcurve-



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

結果 - Lightcurve-

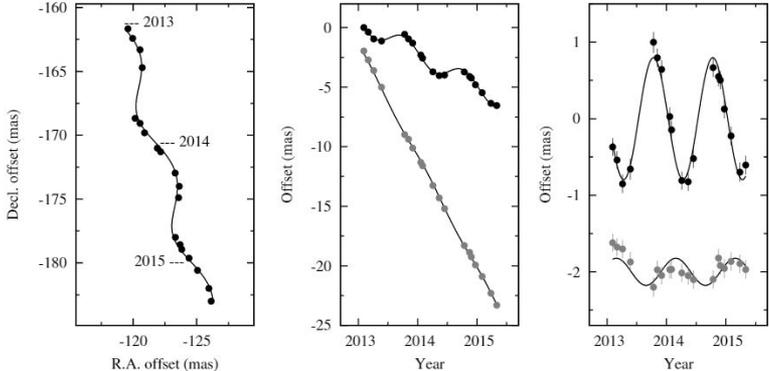


V837 Her

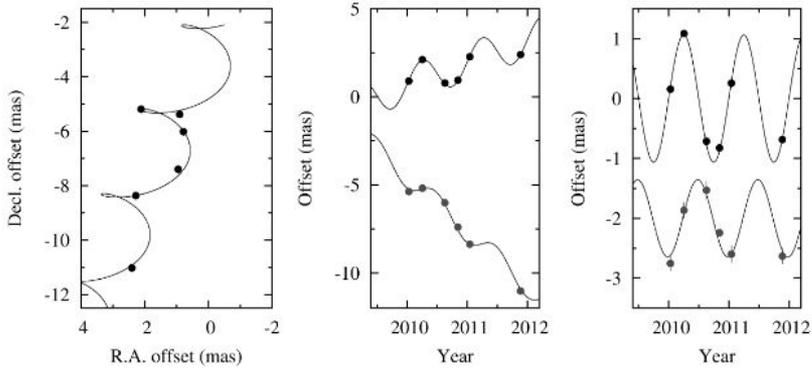
r	AP Lyn
	433
	0.60±0.01

結果 - Parallax -

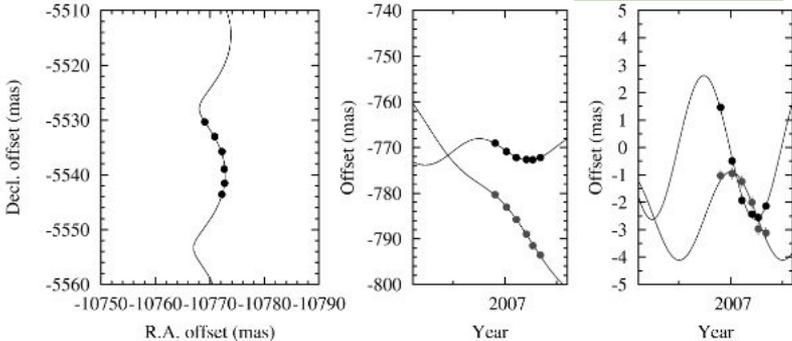
OZ Gem



V837 Her

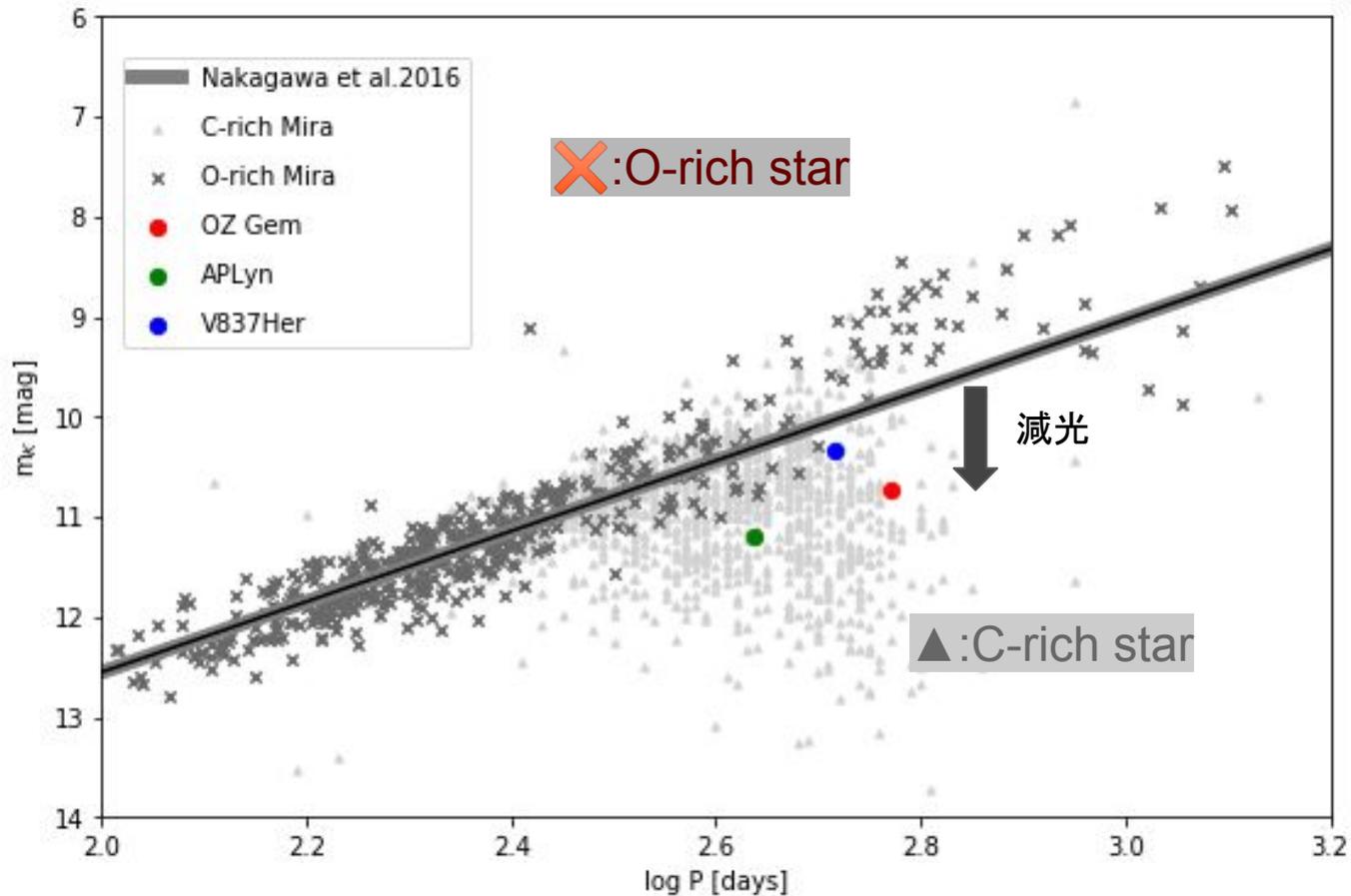


AP Lyn

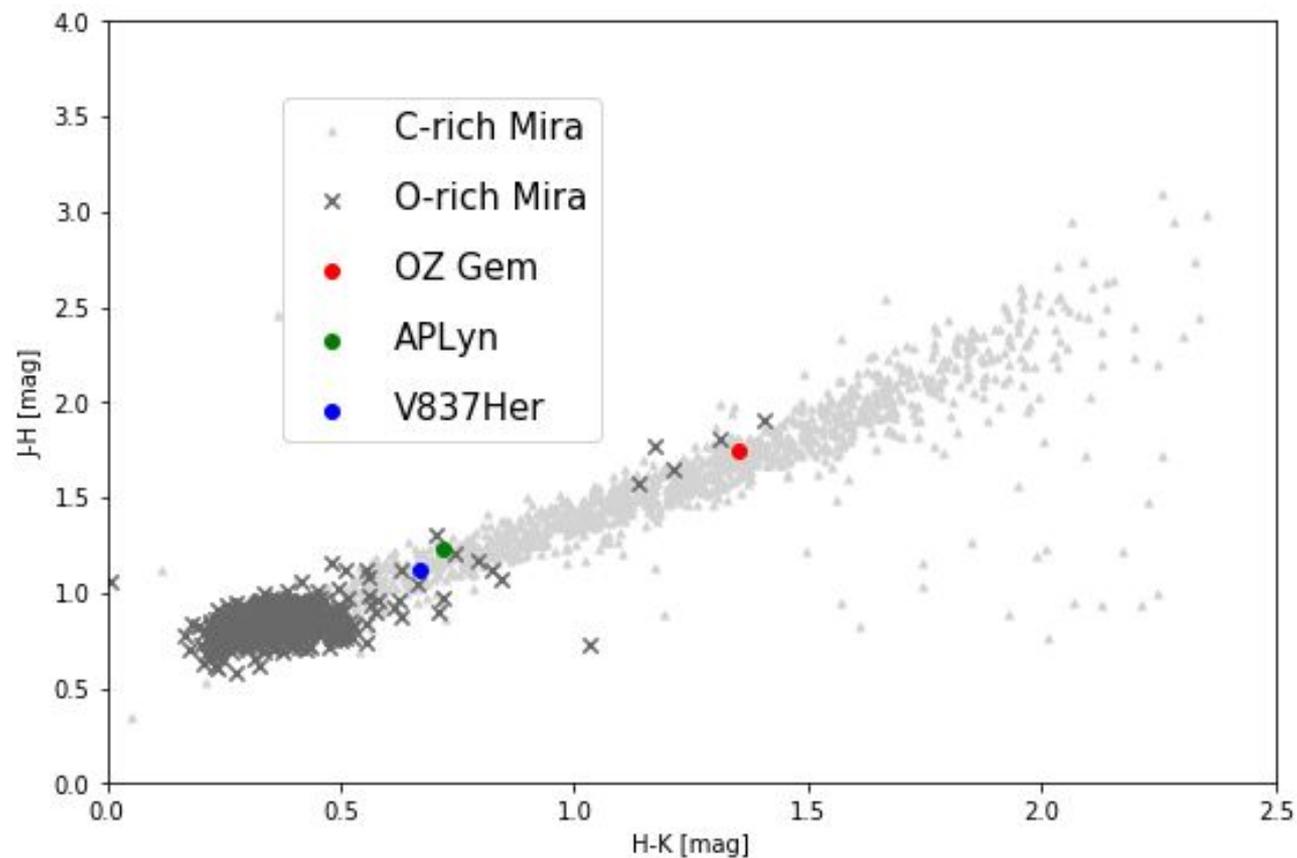


	OZ Gem	V837 Her	AP Lyn
Parallax[mas]	0.806 ± 0.03	1.06 ± 0.04	2.63 ± 0.22
Distance[kpc]	1.24 ± 0.06	0.94 ± 0.04	0.38 ± 0.03

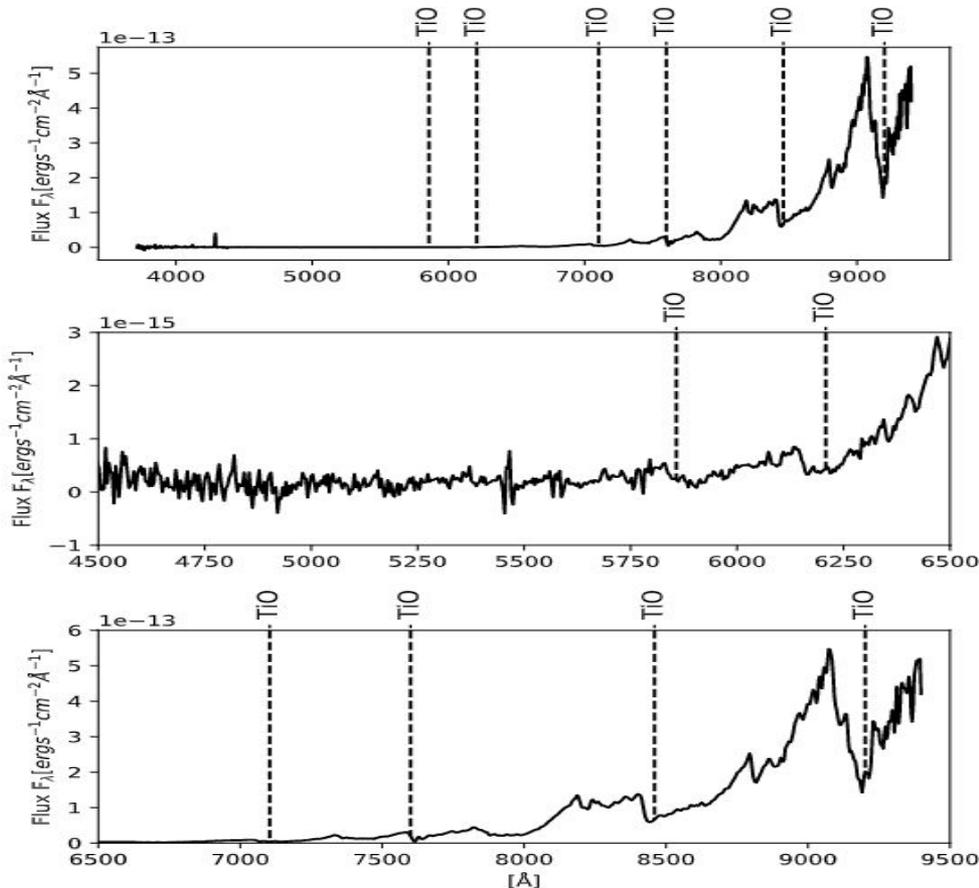
結果 - PLR -



結果 - color color diagram -



結果 - Spectroscopy(OZ Gemだけ)-



OZ Gemのスペクトル
TiOの吸収線が多く見える

星表面もO-richである

Discussion - metallicityの違い-

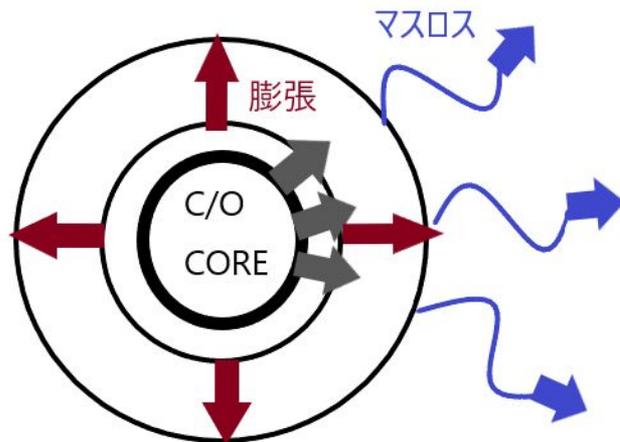
天の川銀河はLMCよりも2~3倍, metallicityが大きい(Luck et al. 1998)

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

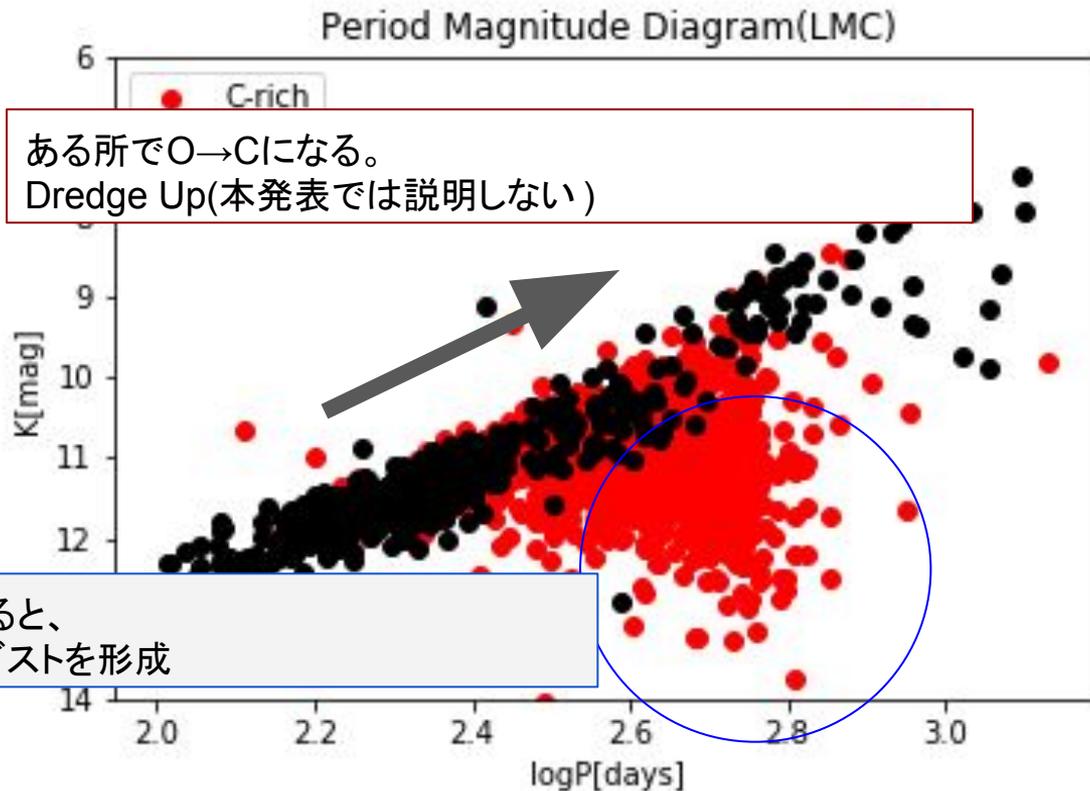
-外に質量を放出する力が大きくなる。



Discussion -PLRの描像-

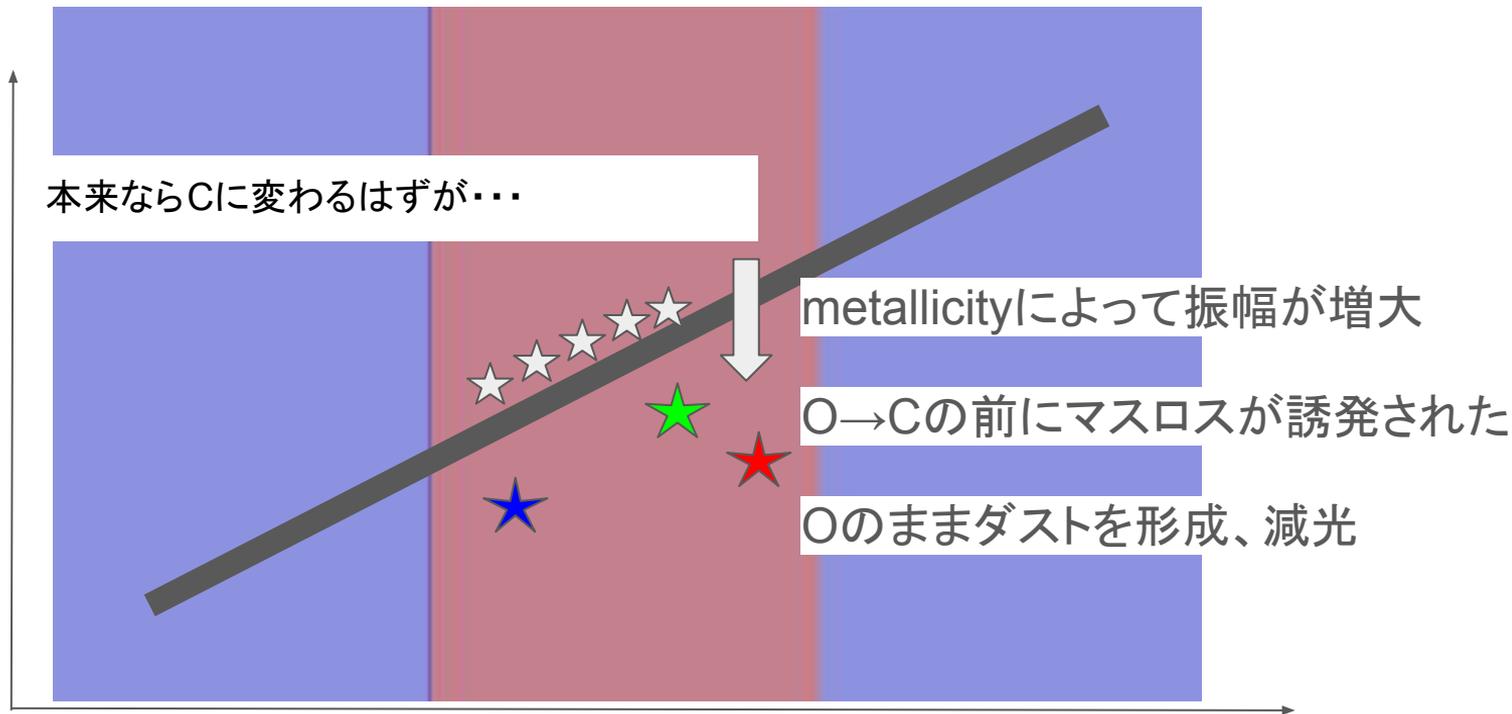
共通事項:AGB星の始まりは必ずO-rich(M型星;星の進化から)

マゼラン雲では...



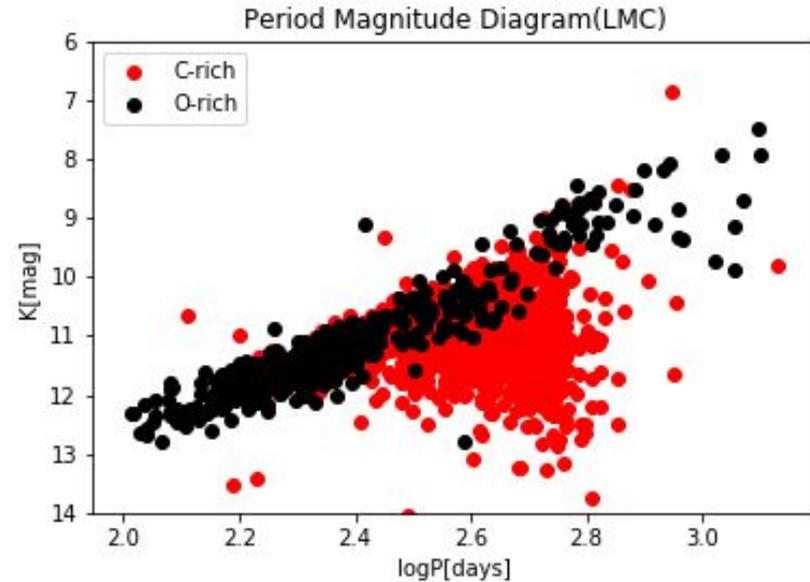
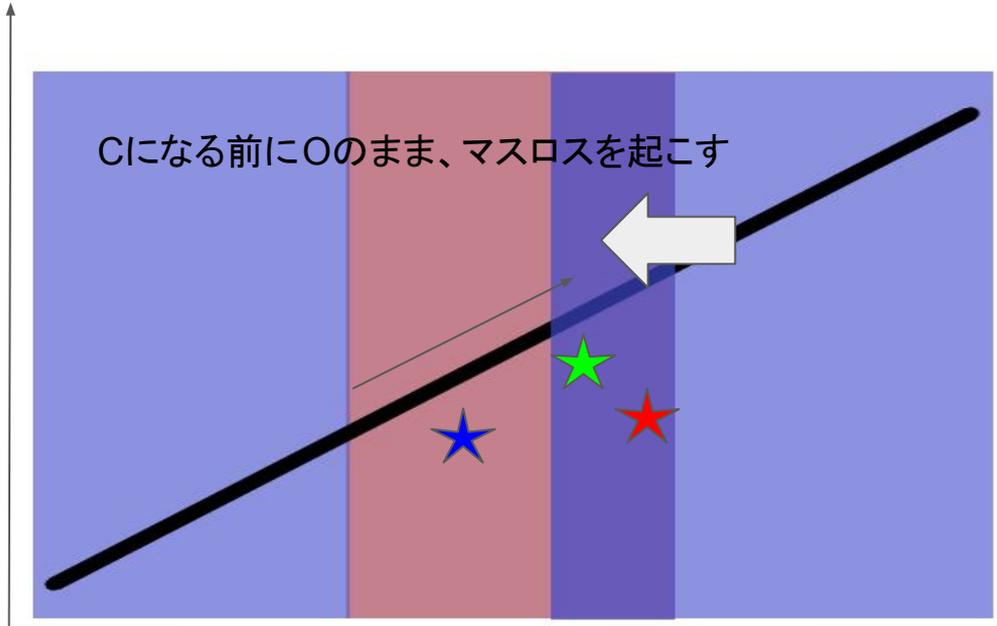
Discussion

天の川銀河では・・・



銀河間のmetallicityの違いがAGB星の進化を加速！

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

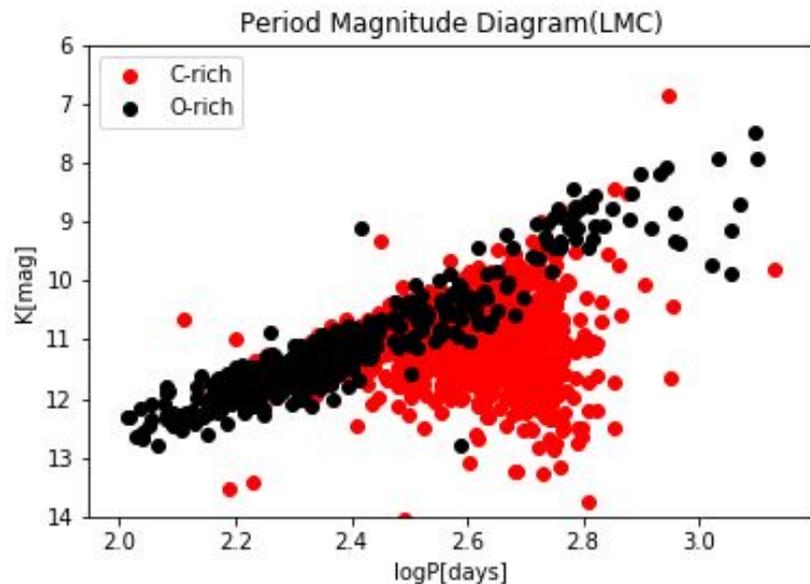
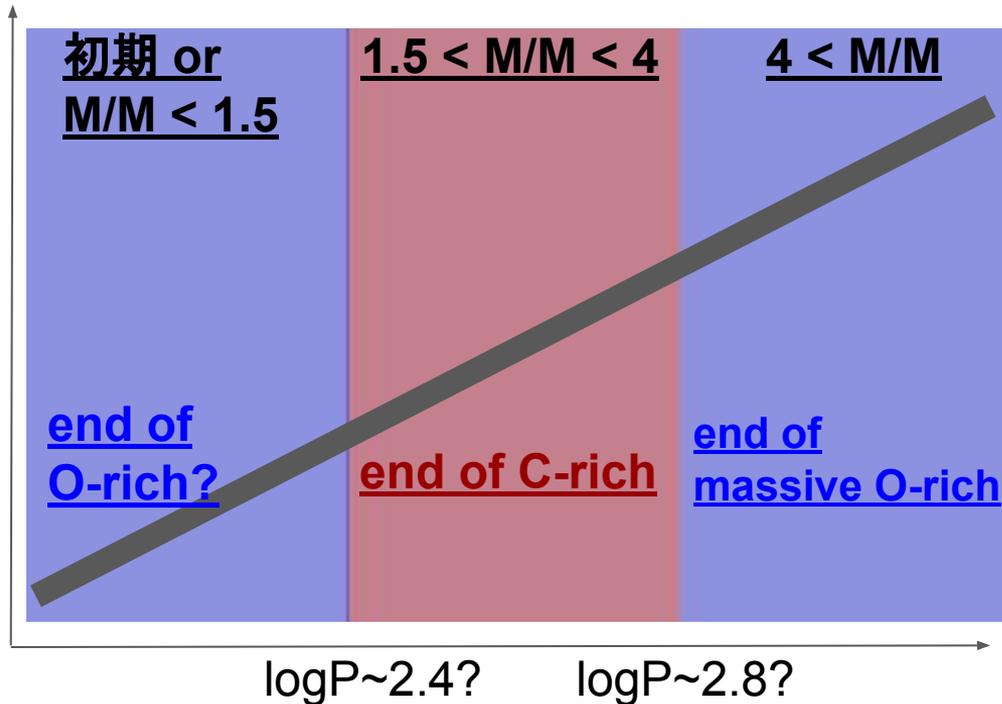
銀河全体のC/O個数比もC/O \sim 1/2 LMCではC/O \sim 2 (AKARI Sakamoto et al.2013)

これから and まとめ

- ・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。
- ・やりたいこと: 質量決定,ダストの凝結温度と星の半径
ゆくゆくは大きい他銀河(例えばアンドロメダ銀河とか)

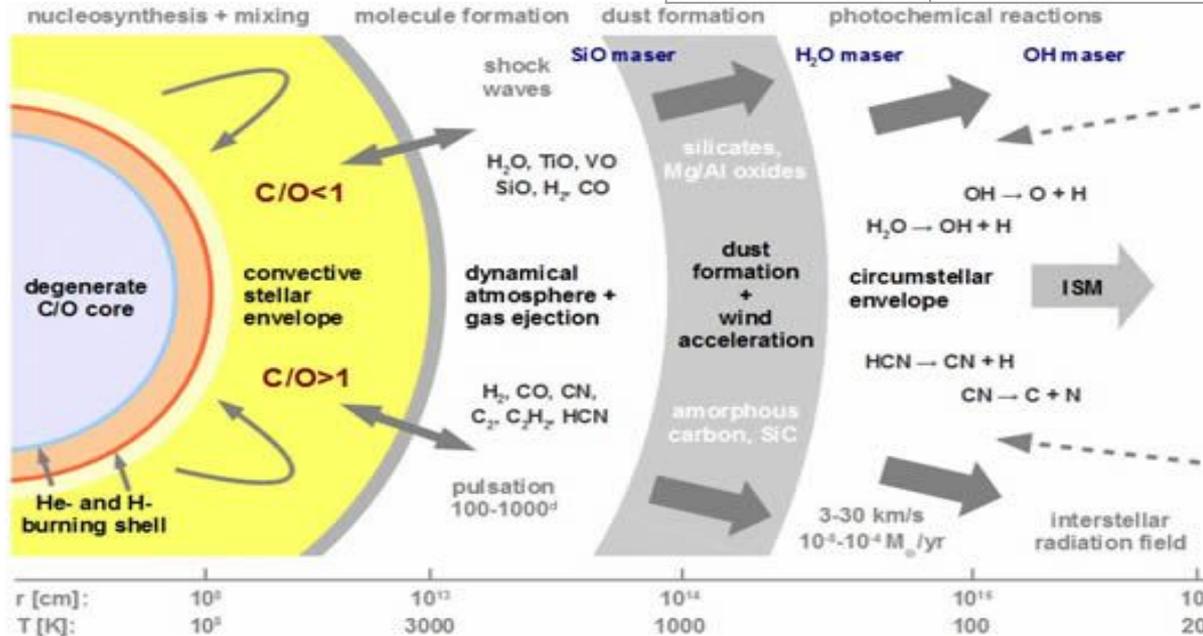
- ・長周期のミラ型変光星(OZ Gem,V837 Her,AP Lyn)のモニタリング観測、年周視差測定、分光観測(OZ Gemのみ)を行いPL図上にプロットした。
- ・O-richのミラ型変光星だが、LMCのPL図と比較するとC-richの傾向を示した。
- ・銀河間のmetallicityの違い(MW>LMC)を考慮すると、天の川ではOpacityが大きいいため脈動が大きくなる、そして、マスロスを誘発

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？

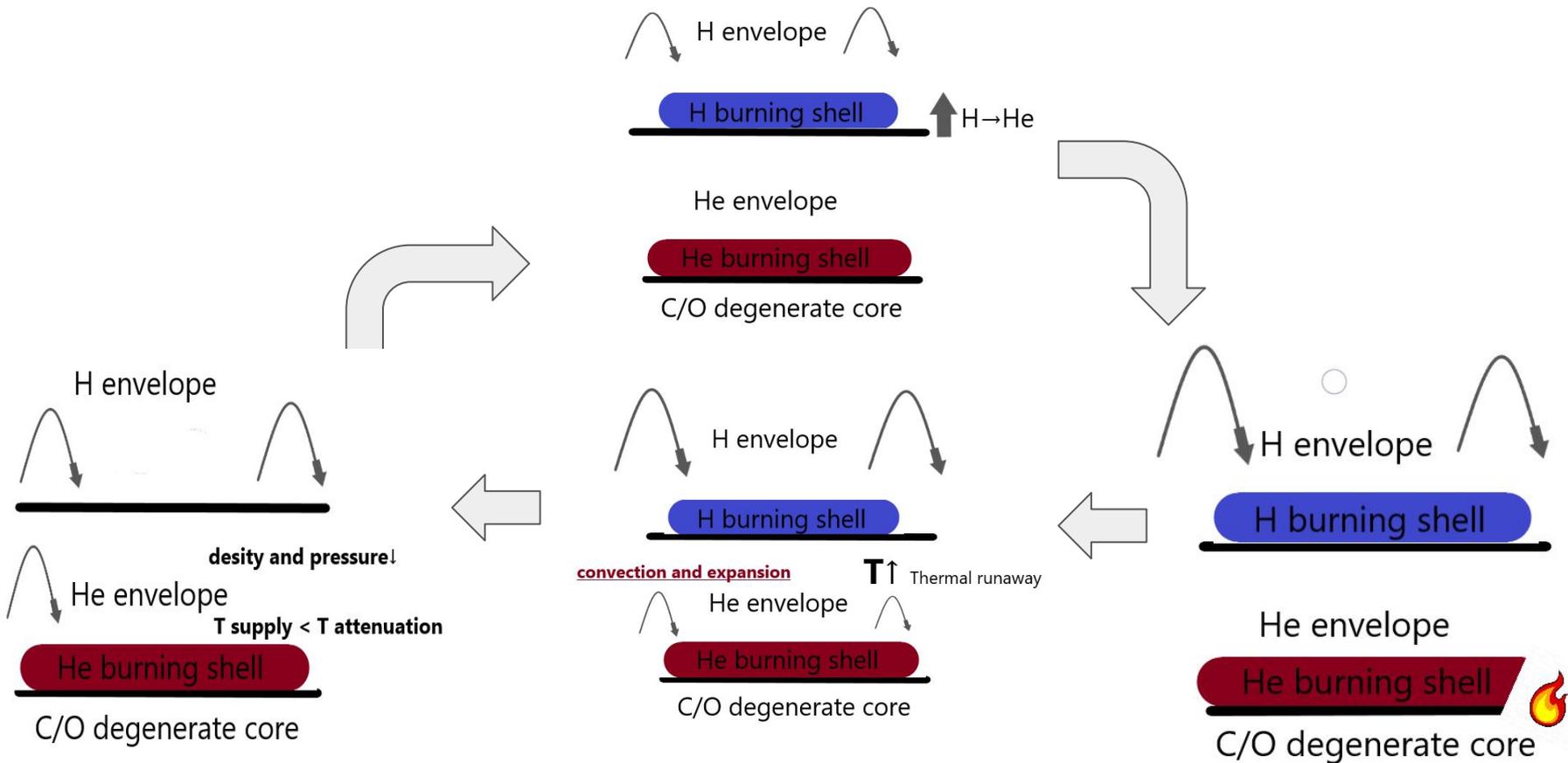
・天の川ではC-richが作りにくい？

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-

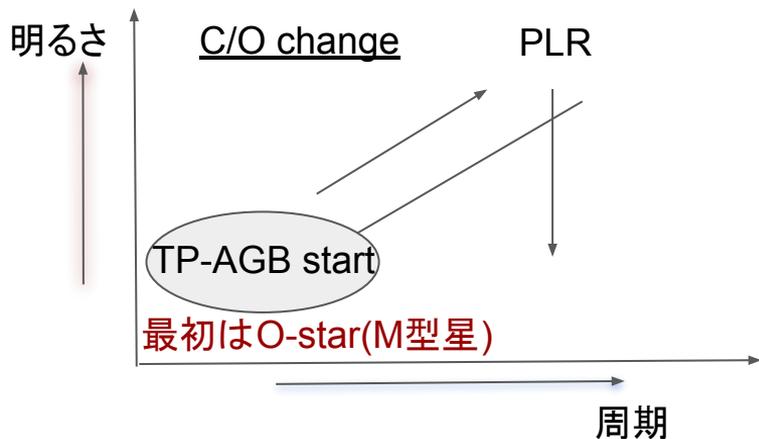
ミラ型変光星はサーマルパルス現象を起こして進化していく。

・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)

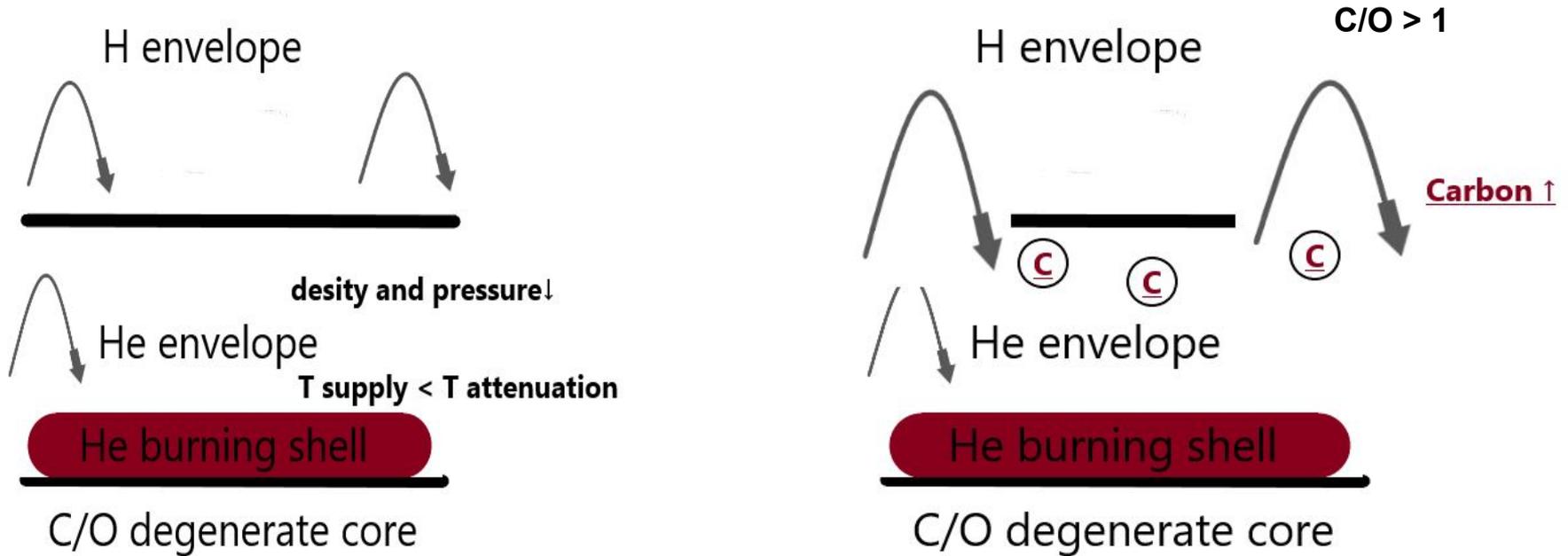
初期質量	$M/M < 1.5$	$1.5 < M/M < 4$	$4 < M/M$
表面組成	O-rich	C-rich	O-rich
現象	NO	Third Dredge UP	Hot Bottom Burning Third Dredge UP

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 -

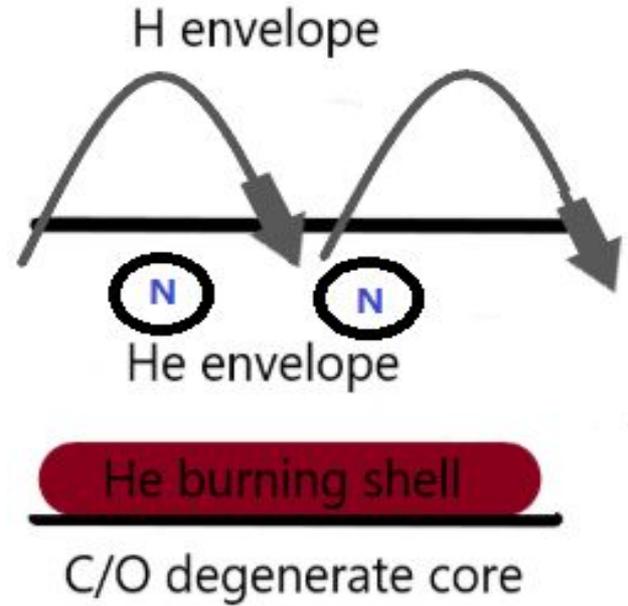
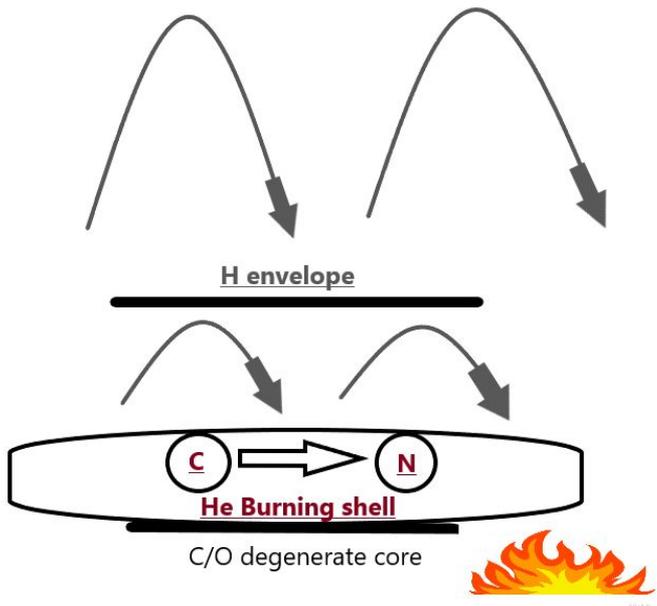
質量が重いことによる、He層の底の温度上昇

-Cを燃やし、Nを作る $M/M_{\odot} > 4$

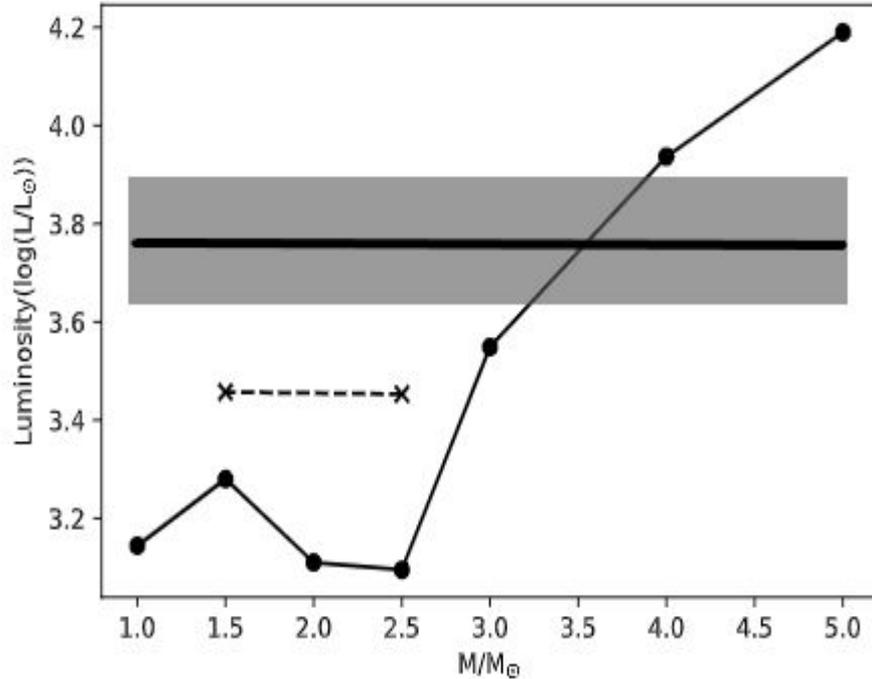
He層の温度がより高くなる

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-

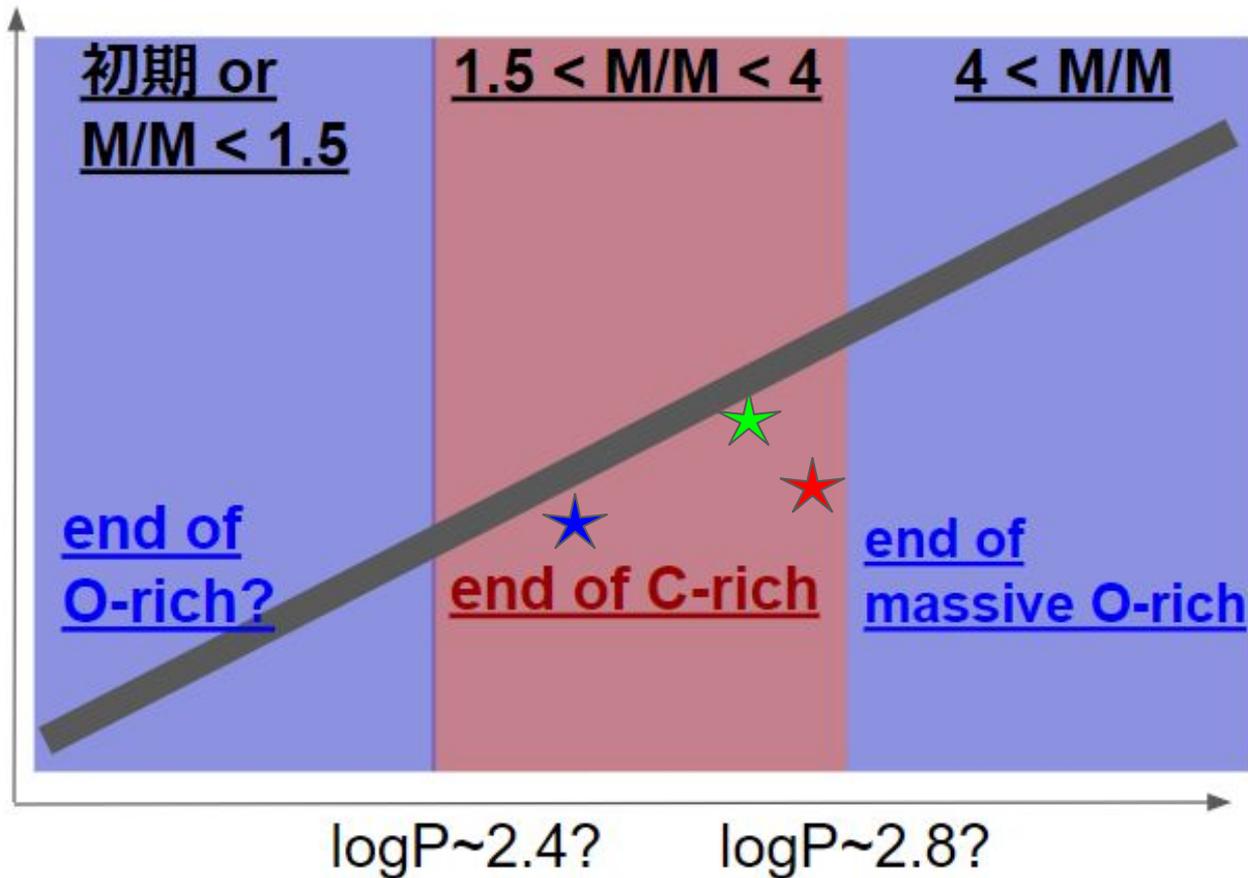


Bolometric collectionからLuminosityを見積もる
(Buzzoni et al. 2010)

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?