

指導教員

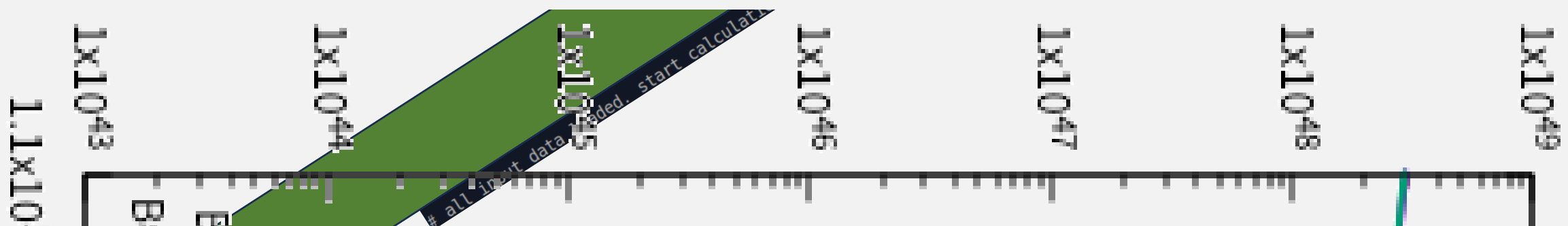
国立天文台科学研究部 助教 高橋 亘

# 白色矮星になる星のまわる速度の違い

東北大学理学部宇宙地球物理学科天文学コース3年

辻 勇吹樹

J [erg s]



# 目次



白色矮星ってなんだろう



ここ最近何してたの



白色矮星になる星はどうまわっているんだろう

# 目次



白色矮星ってなんだろう



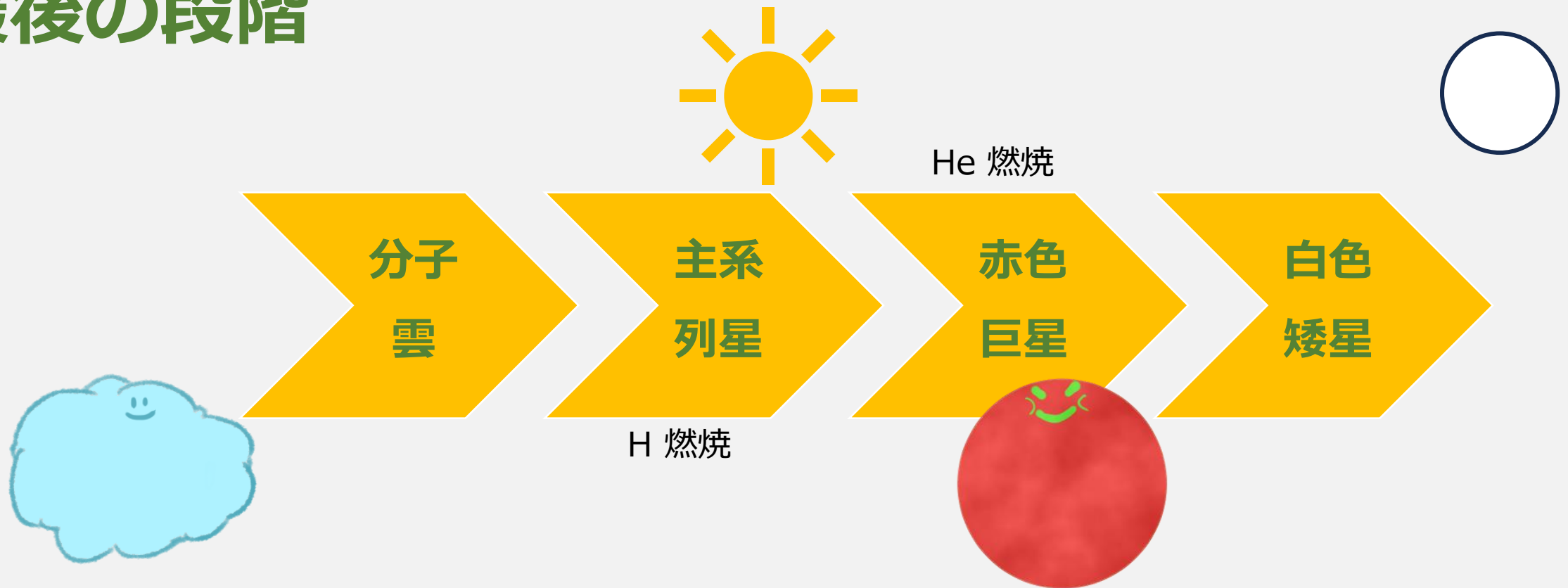
ここ最近何してたの



白色矮星になる星はどうまわっているんだろう

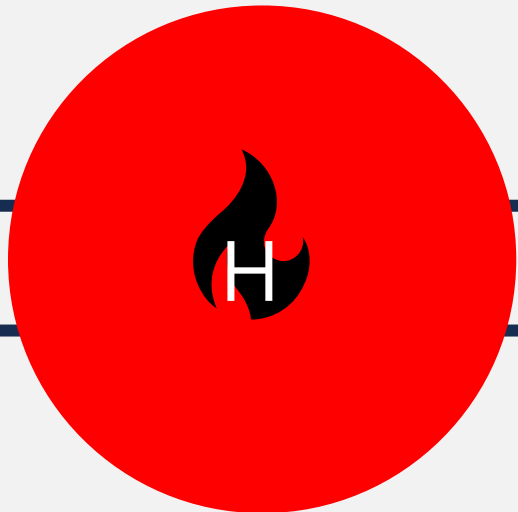
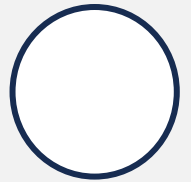
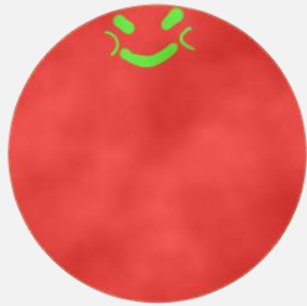
# 白色矮星ってなんだろう

$8M_{sun}$ より小さい星の（ほぼ）  
最後の段階



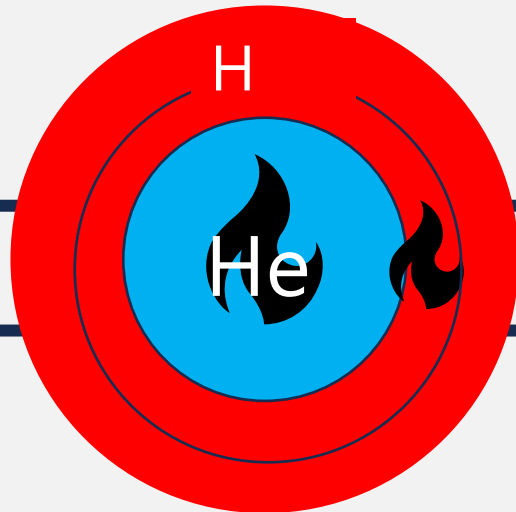
# 白色矮星ってなんだろう

## 星の構造



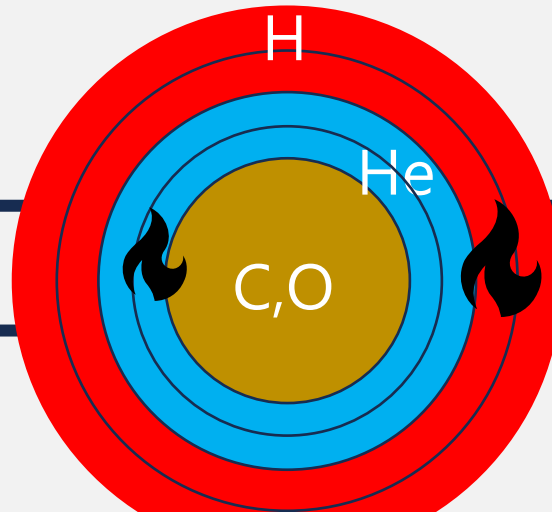
H燃焼

コアでHなくなる



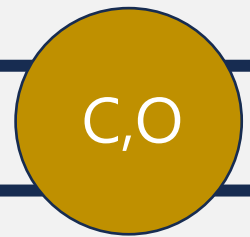
H殻燃焼

He燃焼



コアでHeなくなる

He殻燃焼



外層失う

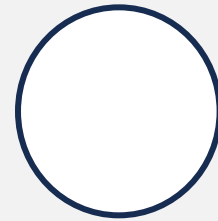
# 白色矮星ってなんだろう

小さくて密度が高い！



太陽

$$R_{sun} = 7 * 10^{10} [\text{cm}]$$
$$M_{sun} = 2 * 10^{33} [\text{g}]$$



白色矮星

$$R \sim 10^{-2} R_{sun}$$
$$M \sim 0.6 M_{sun}$$

縮退圧

# 白色矮星ってなんだろう

速くまわっている..はず。

角運動量保存の法則

$$J = MR^2\omega = \text{一定}$$

$$\begin{aligned}\omega_{\text{white dwarf}} &= \frac{M_{\text{sun}} R_{\text{sun}}^2}{M_{\text{wd}} R_{\text{wd}}^2} \omega_{\text{sun}} \\ &\sim 2 * 10^4 \omega_{\text{sun}} \\ &\sim 0.05 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$v_{\text{wd}} \sim 300 \text{ km/s}$$

外へ角運動量を運ぶ仕組みが必要！

C.A.Karl et al. (2005)

WD	White dwarf	$T_{\text{eff}}$ [K]	$\log g$ [ $\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ ]	$M$ [ $M_{\odot}$ ]	$R$ [ $R_{\odot}$ ]	Ref.	$v \sin i$ [km s <sup>-1</sup> ] 1 $\sigma$	$v \sin i$ [km s <sup>-1</sup> ] 3 $\sigma$
Parameters from spectral analyses:								
0220+222	G 94 - B5B	15 840 $\pm$ 364	7.95 $\pm$ 0.07	0.561	0.0131	1	<9	<20
0251-008	LP 591 - 117	7700 $\pm$ 178	8.05 $\pm$ 0.07	0.624	0.0124	8	24 <sup>+4</sup> <sub>-5</sub>	24 <sup>+10</sup> <sub>-12</sub>

# 目次



白色矮星ってなんだろう



ここ最近何してたの



白色矮星になる星はどうまわっているんだろう



# ここ最近何してたの

## HOSHIコード

K. Takahashi, et al. (2021)

### 恒星内部の基礎方程式 (⇒)

を球座標1次元（ヘニエイ法）で解くコード  
さらに**回転**や**磁場**の影響や元素組成の分布  
の時間発展なども解くことができる。

[仮定(一部)]

$\alpha$ 効果( $B_\phi \rightarrow B_{r\theta}$ を作る効果)を考えない

Shellular回転

$B_{r\theta}$ が双極子近似される

$$\frac{dP}{dM_r} = - \frac{GM_r}{4\pi r^4} \frac{1}{dr}$$

静水圧平衡

$$\frac{dM_r}{dr} = 4\pi r^2 \rho$$

半径と質量の関係

エネルギー保存の式

エネルギー輸送の式

# ここ最近何してたの

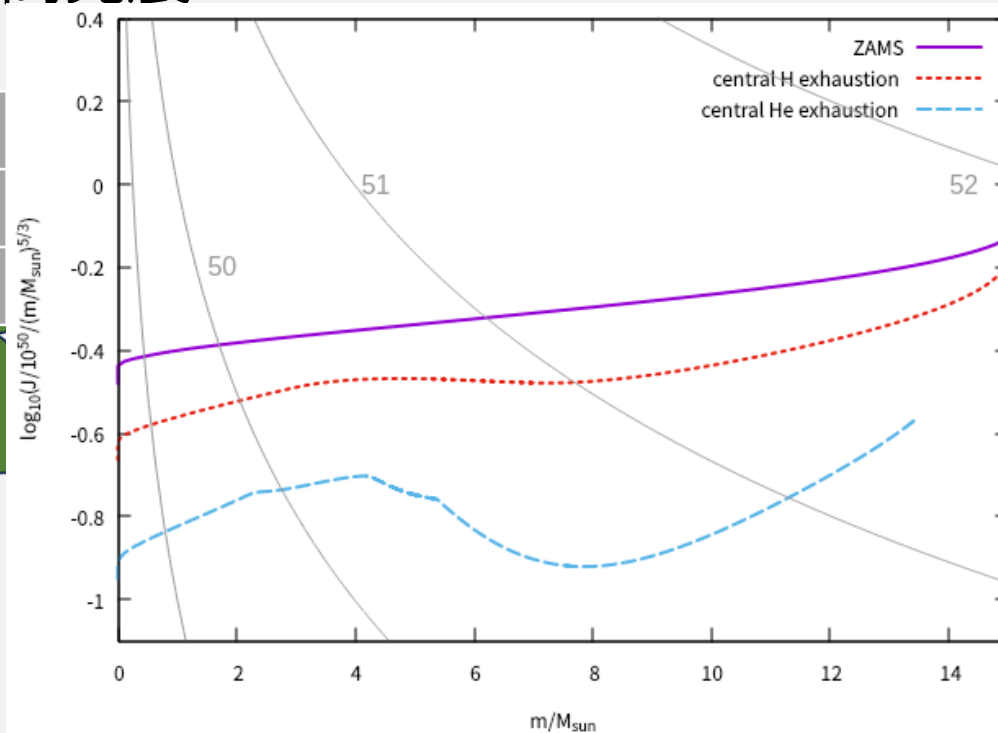
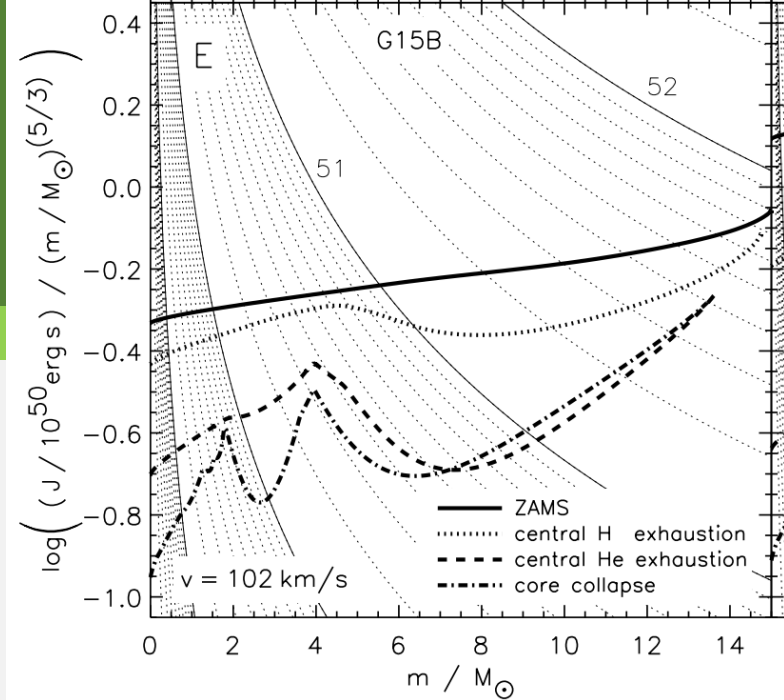
## ①コードの確認

論文との比較---

$15M_{\text{sun}}$ における角運動量分布の時間発展

T=0	剛体回転
主系列星	剛体回転
赤色巨星	外層⇒コアへと輸送

同じ（ような）形が再現できた！



↑ 論文データ  
A. Heger, et al. (2000)

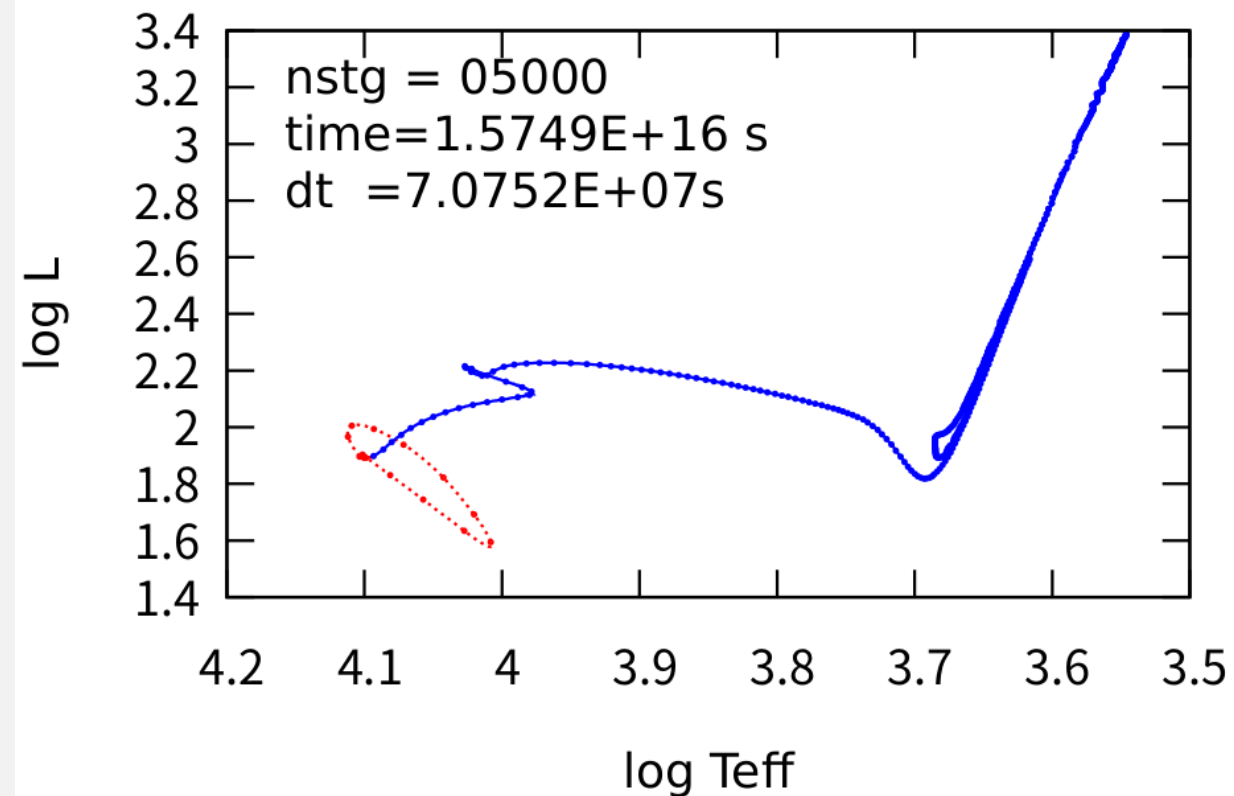
← HOSHIコード

# ここ最近何してたの

## ② $3M_{sun}$ の角運動量変化

主系列星～漸近巨星分枝（白色矮星の  
ちょっと手前）での

- **磁場（あり/なし）**での角運動量の変化
- （対流層の角速度の変化）
- （磁場の大きさを変えた時の角運動量・  
角速度・磁場分布の変化）



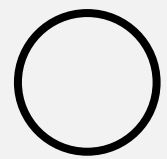
# 目次



白色矮星ってなんだろう



ここ最近何してたの



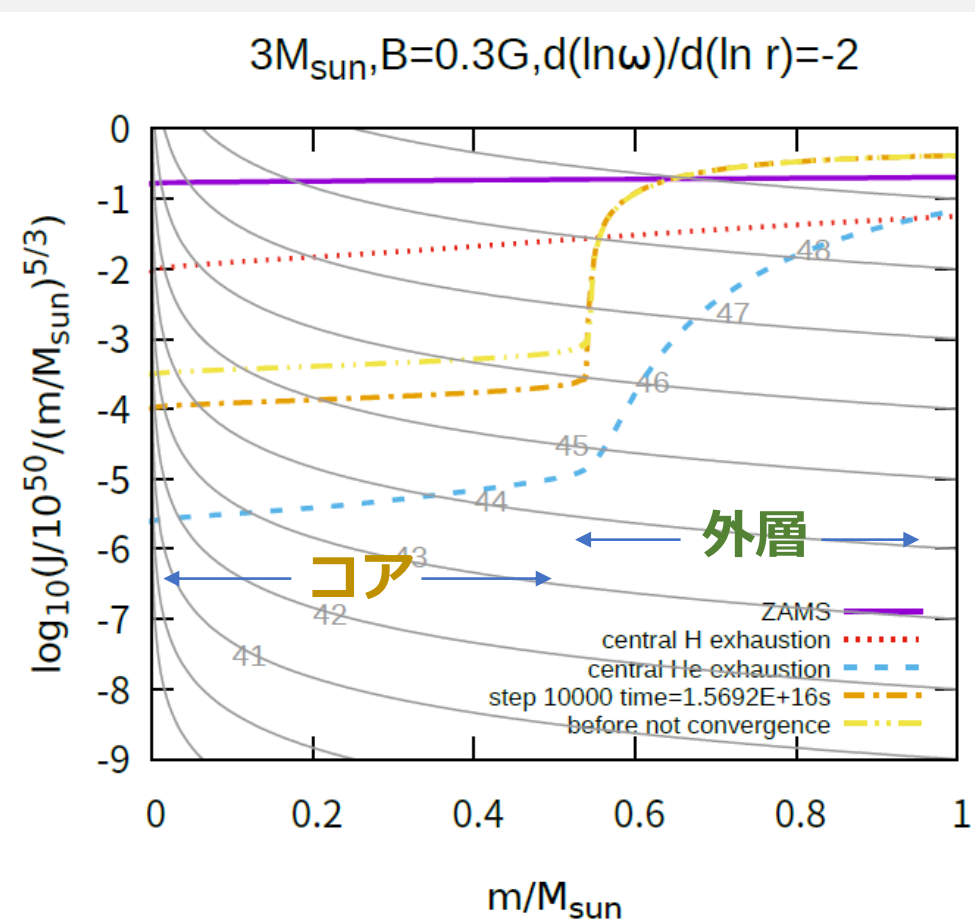
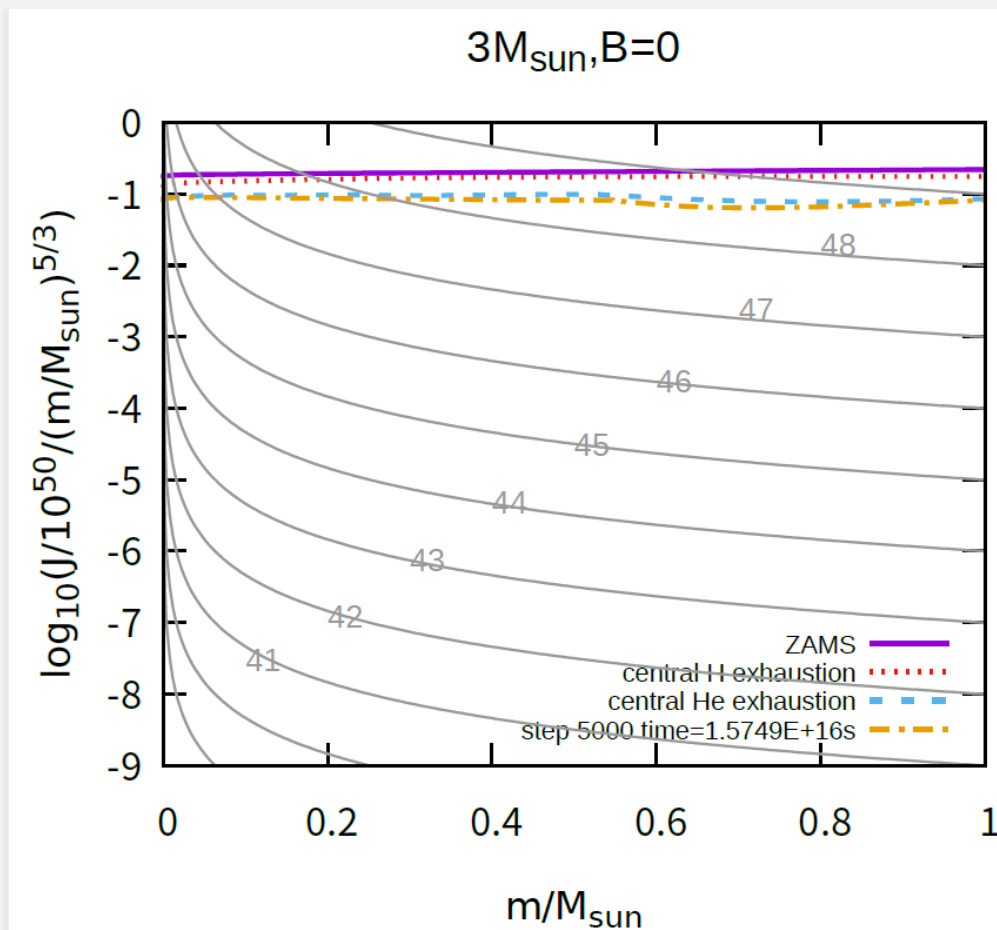
白色矮星になる星はどうまわっているんだろう

# 白色矮星になる星のまわり方

磁場のあるなしで角運動量分布の違い( $J = \int j_{specific} dm$ )

横軸：  
質量座標

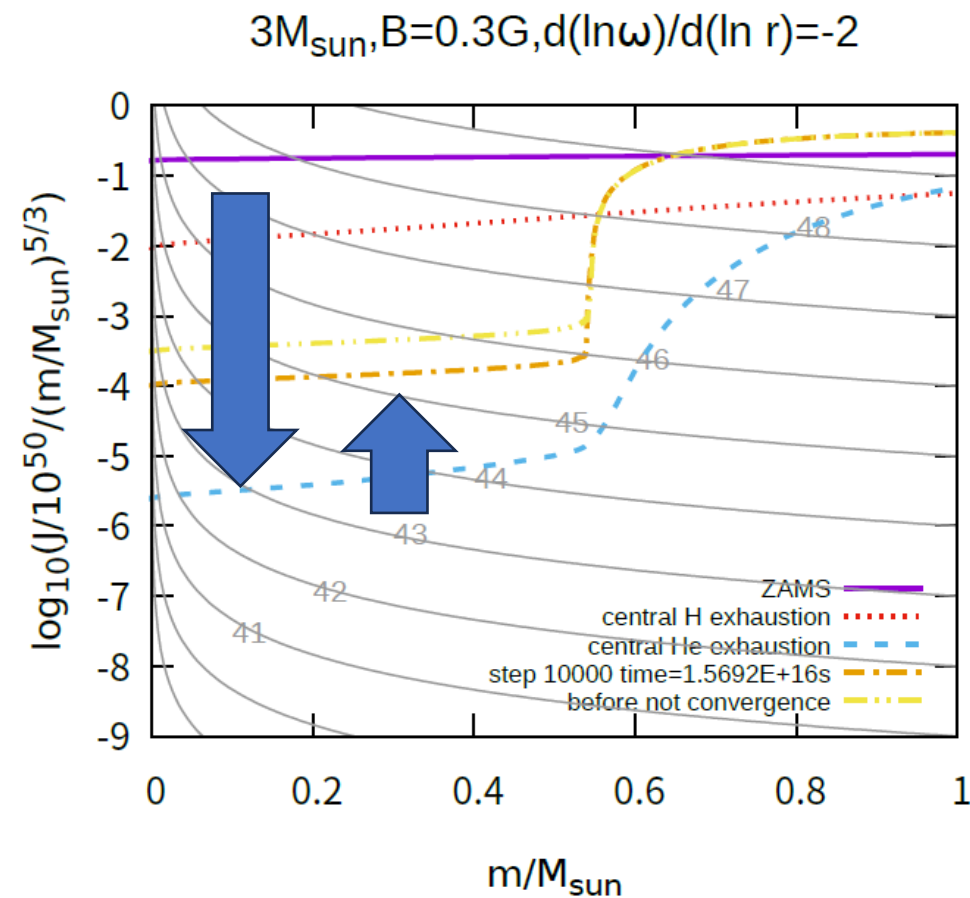
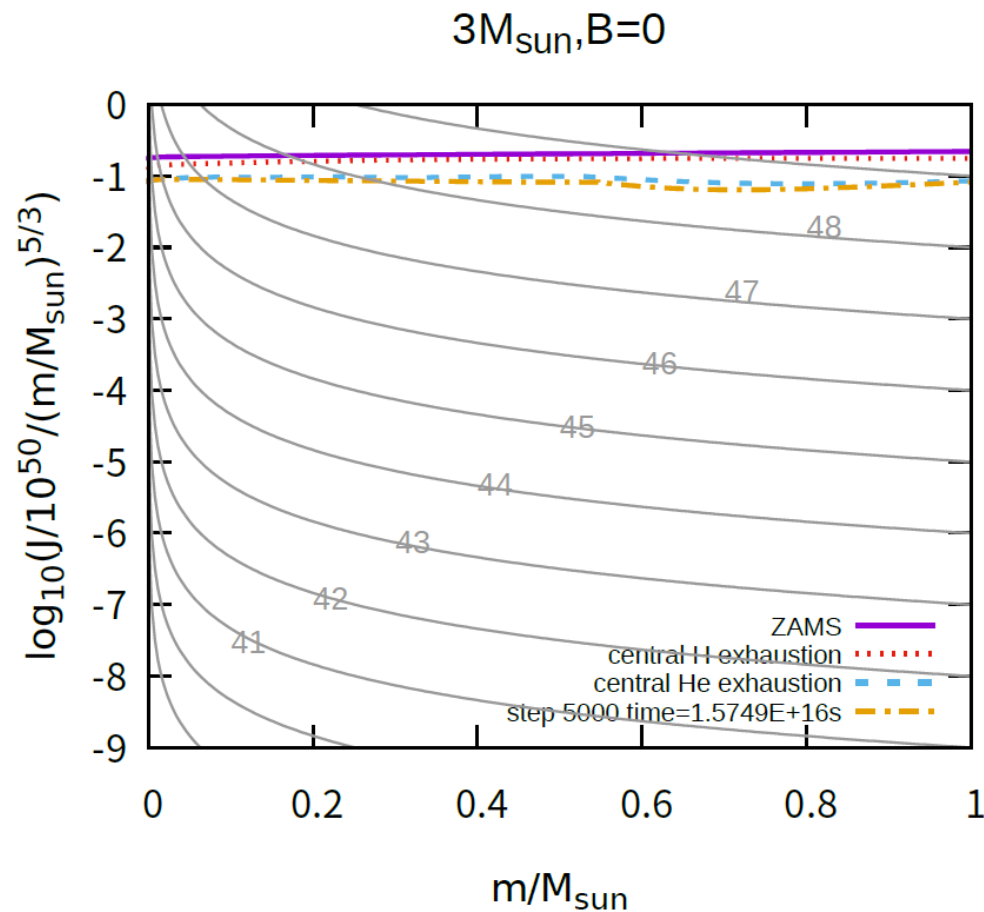
縦軸：  
角運動量  
( $/m^{5/3}$ )



# 白色矮星になる星のまわり方

磁場のあるなしで角運動量分布の違い

磁場が無い  
と角運動量  
がほとんど  
輸送されな  
い!!!



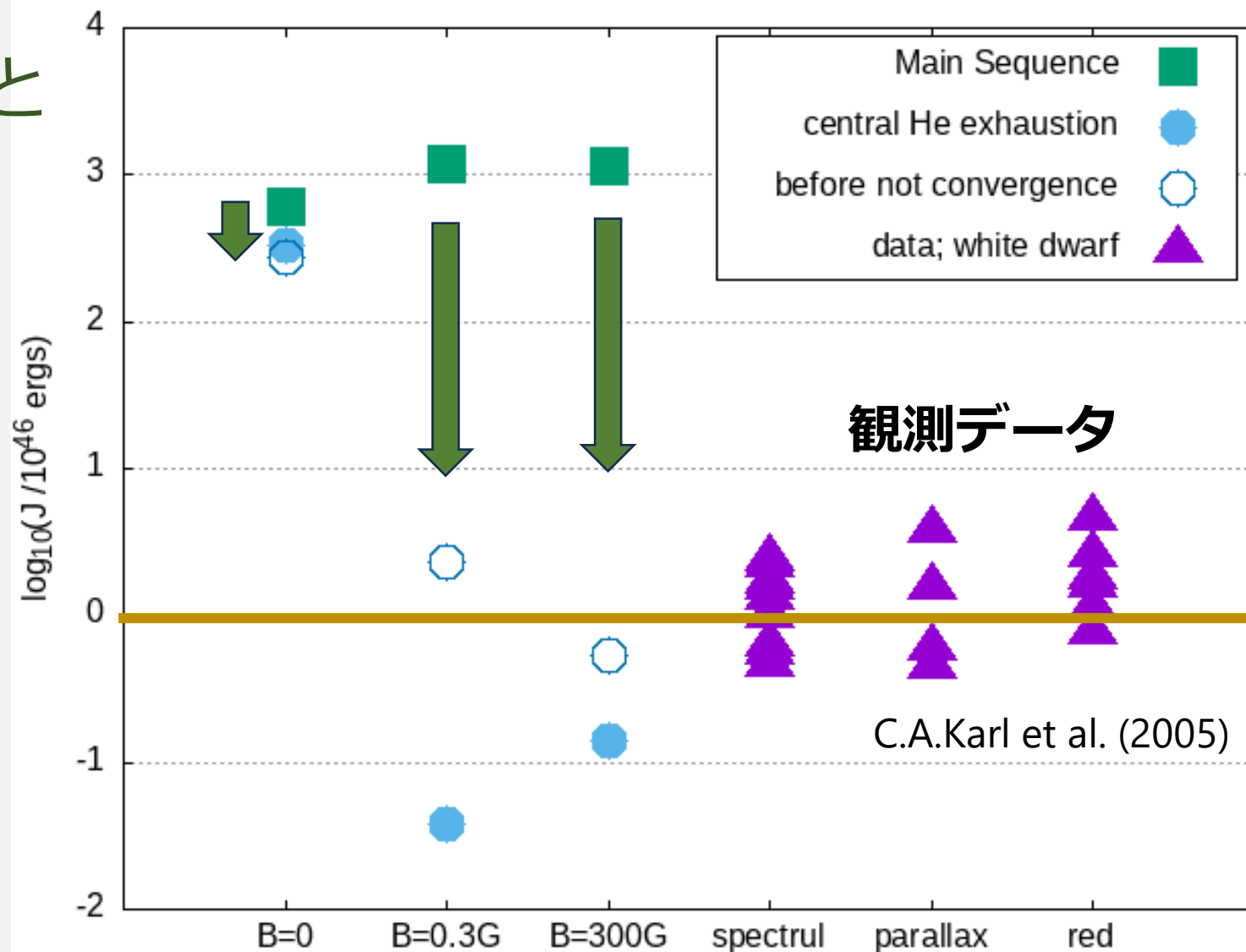
# 白色矮星になる星のまわり方

角運動量が輸送されないと  
観測データと合わない！

観測データ：  
H $\alpha$ 線のドップラー効果  
を測定。

地磁気：0.5G

ネオジウム磁石： $5 * 10^4$  G



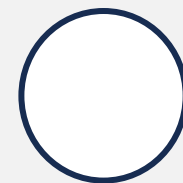
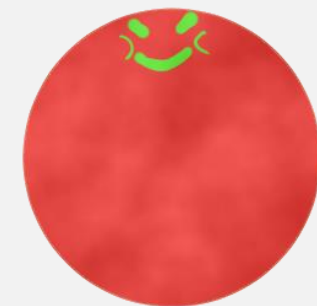
# まとめ

HOSHIコードで

白色矮星になる星の角運動量分布の時間発展を解析

磁場が**ない**と角運動量が外へとほぼ輸送されない！

磁場が**ある**と角運動量がコア⇒外層へと輸送される。そして  
観測データに近づく！



磁場は角運動量輸送に重要な働きをしていることが確かめられた。**白色矮星になる星は磁場の効果で外へと角運動量を輸送している。**

磁場がどのような働きをしている？磁場の大きさを変えると？



# 参考文献

- Karl, C. A., Napiwotzki, R., Heber, U., et al. 2005, A&A, 434, 637
- Takahashi, K., Langer, N. 2021, A&A, 646, A19
- Heger, A., Langer, N., Woosley, S. E. 2000, ApJ, 528, 368