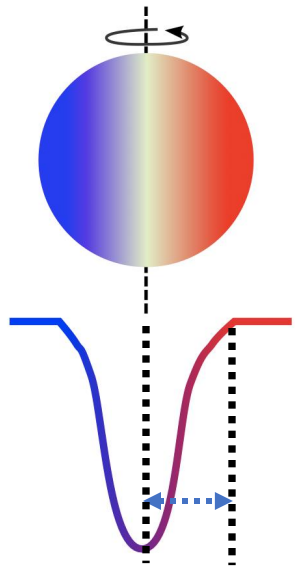


2025年度せいめいユーズズミーティング

射影自転速度を用いた 太陽型高年齢星の自転進化則の検証

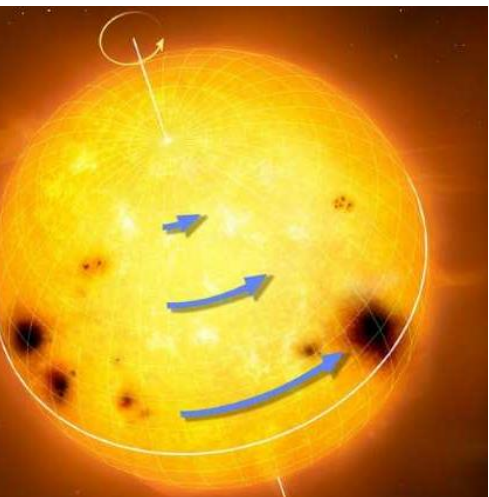


小川涼（大阪大学M1）

増田賢人（大阪大学）, 佐藤文衛（東京科学大学）,
田實晃人（国立天文台）, 泉浦秀行（国立天文台）,
大宮正士（ABC/国立天文台）

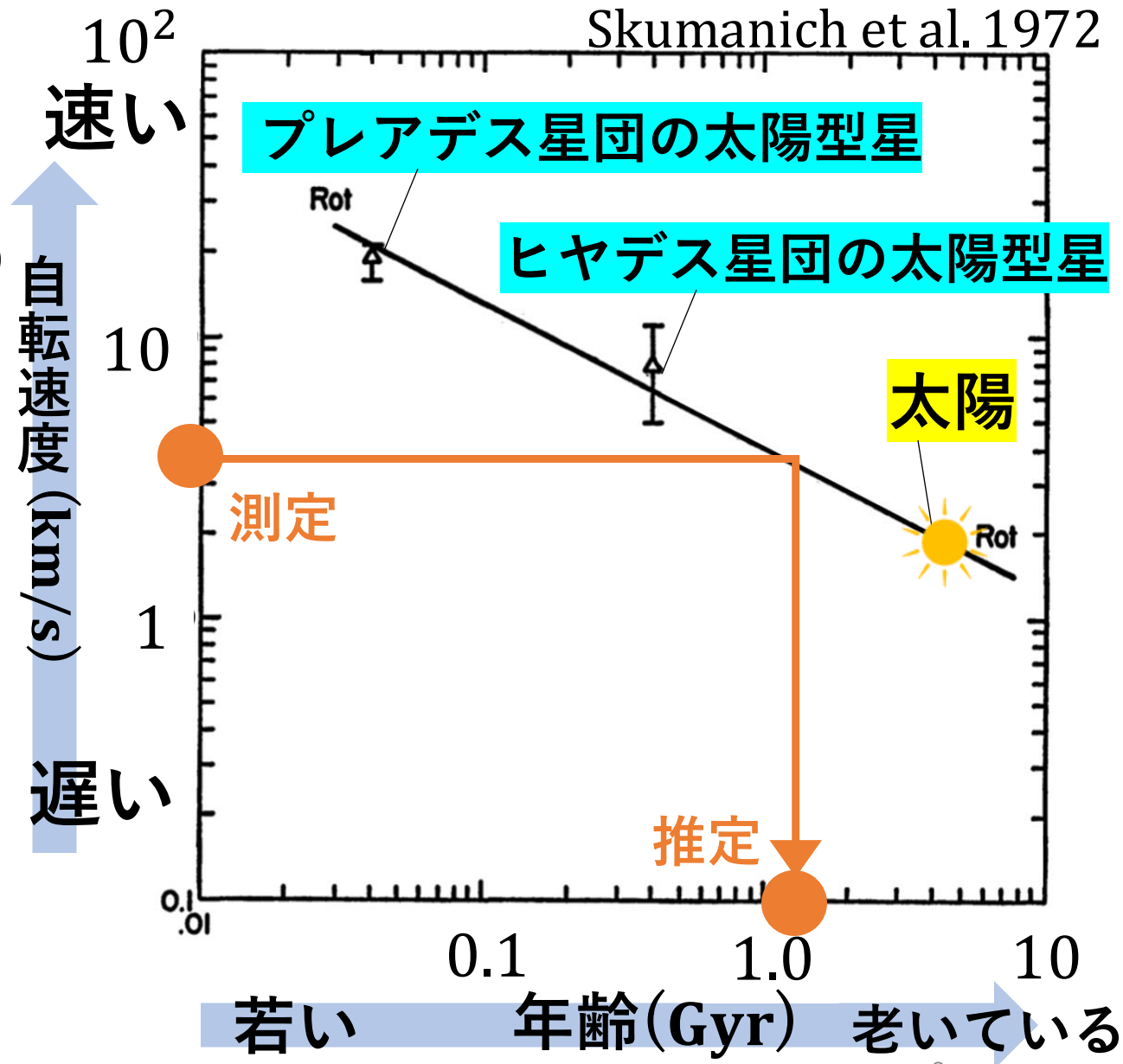
恒星の自転と年齢の関係とその有用性

- 恒星の自転速度は年齢とともに減少
原因：磁気ブレーキ(Magnetic Braking)
- 自転から年齢を調べられるので
この関係は有用 (gyrochronology)



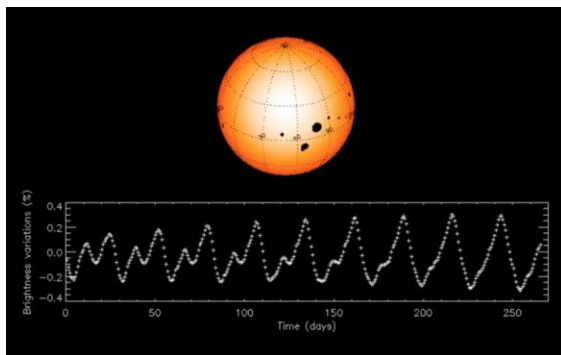
Skumanich則

$$\text{自転速度} \propto (\text{年齢})^{-\frac{1}{2}}$$



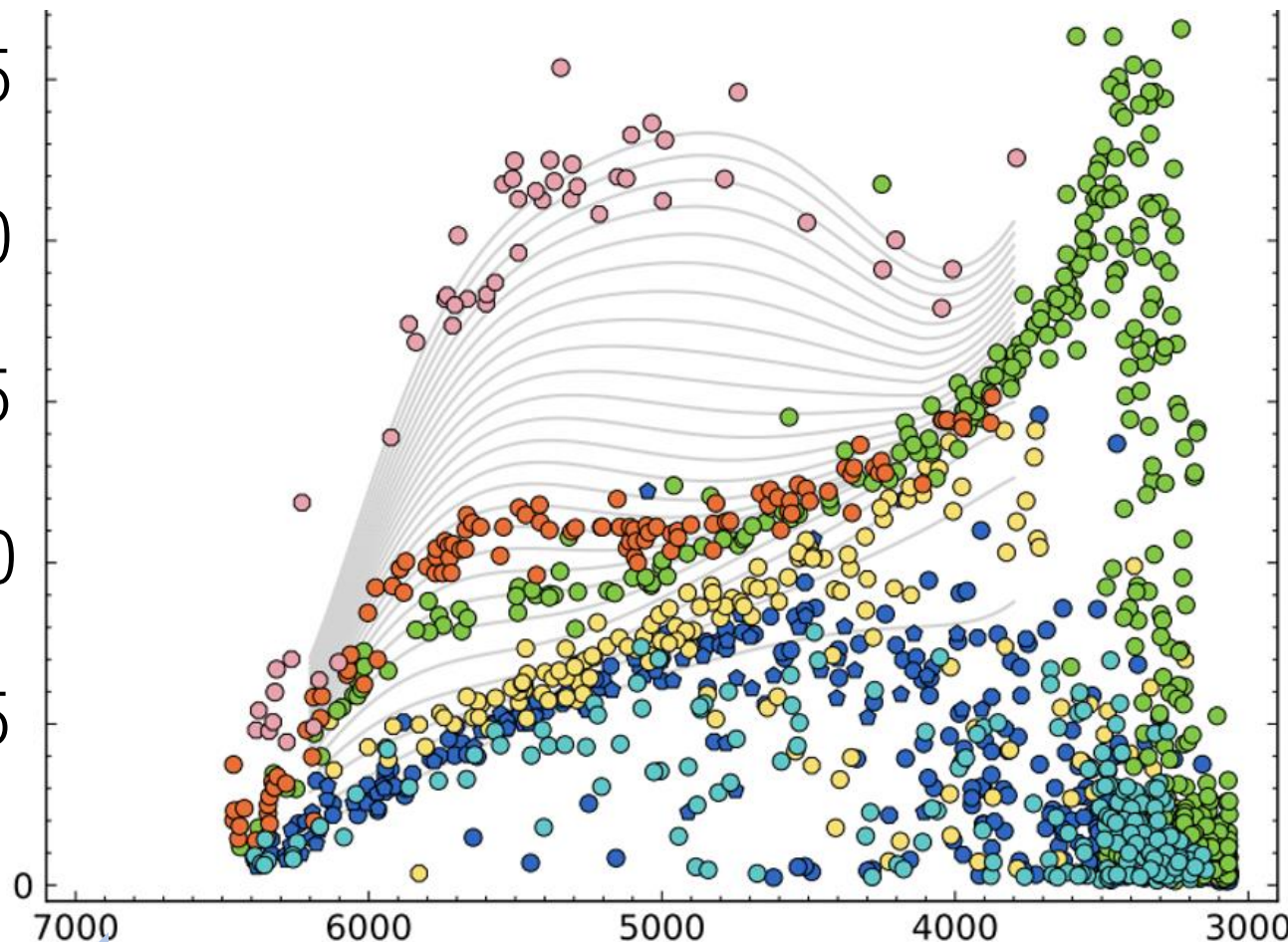
散開星団から得られた自転-年齢関係

老いている



自
転
周
期
[
日
]

若い



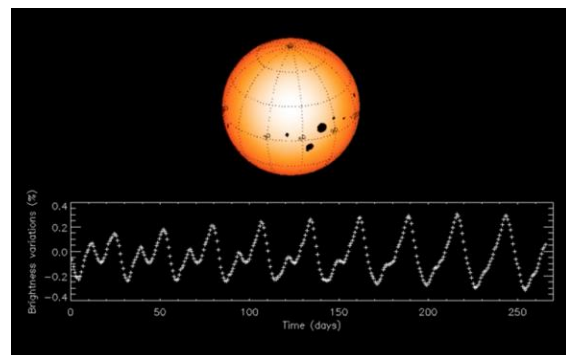
星団はCMDから
年齢がわかる！

- 2.7 Gyr
- 1 Gyr
- 670 Myr
- 300 Myr
- 120 Myr
- 80 Myr

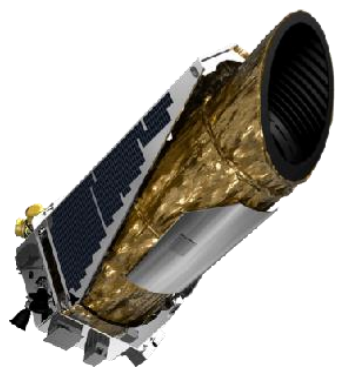
有効温度[K] (質量に対応)

Kepler

課題： 老いた星の自転進化則は確立されていない



Credit: MPS (T. Reinhold) / IAG (A. Reiners)

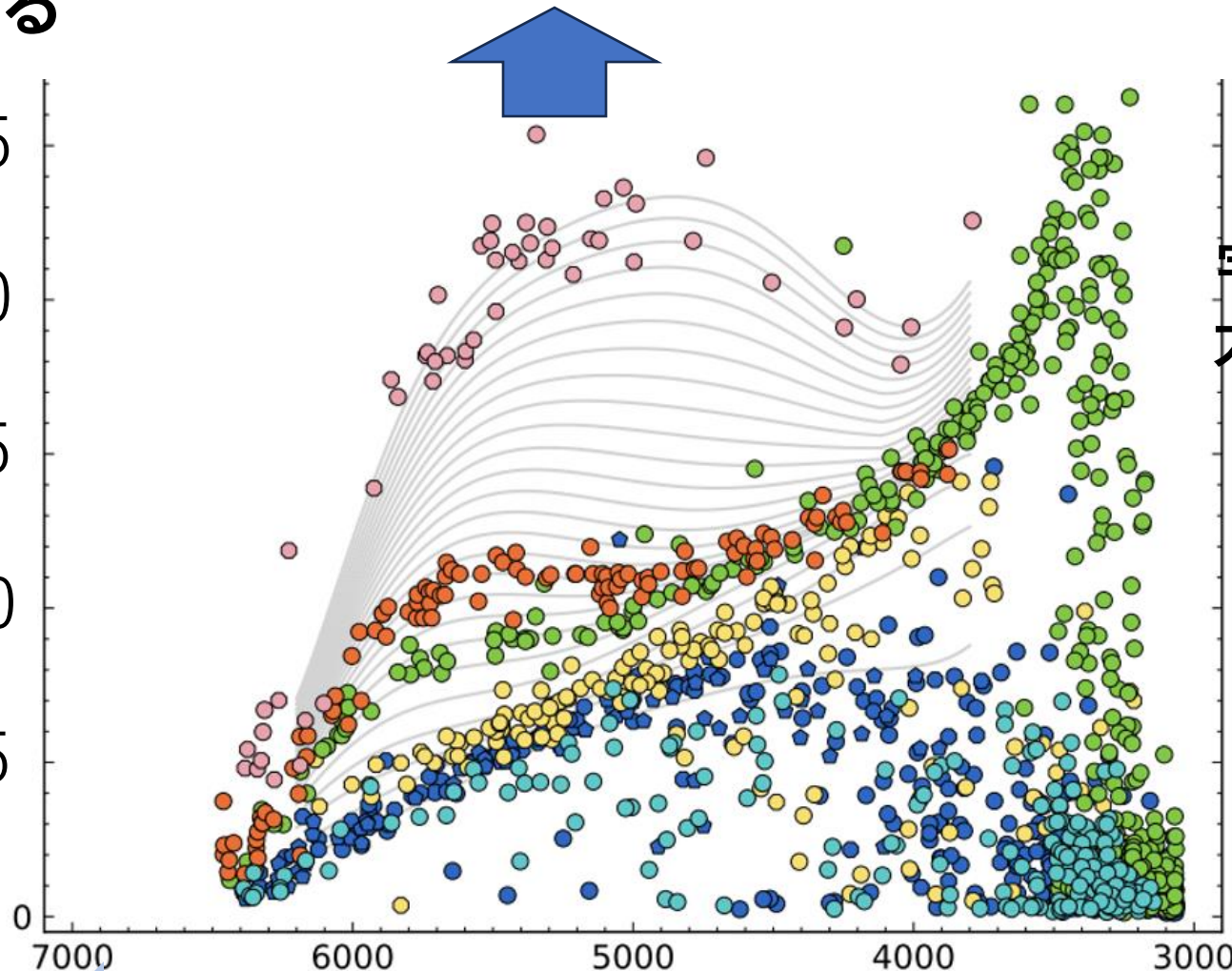


Kepler

老いている

自
転
周
期
[
日
]

若い



宇宙: 13.8Gyr
太陽: 4.6Gyr

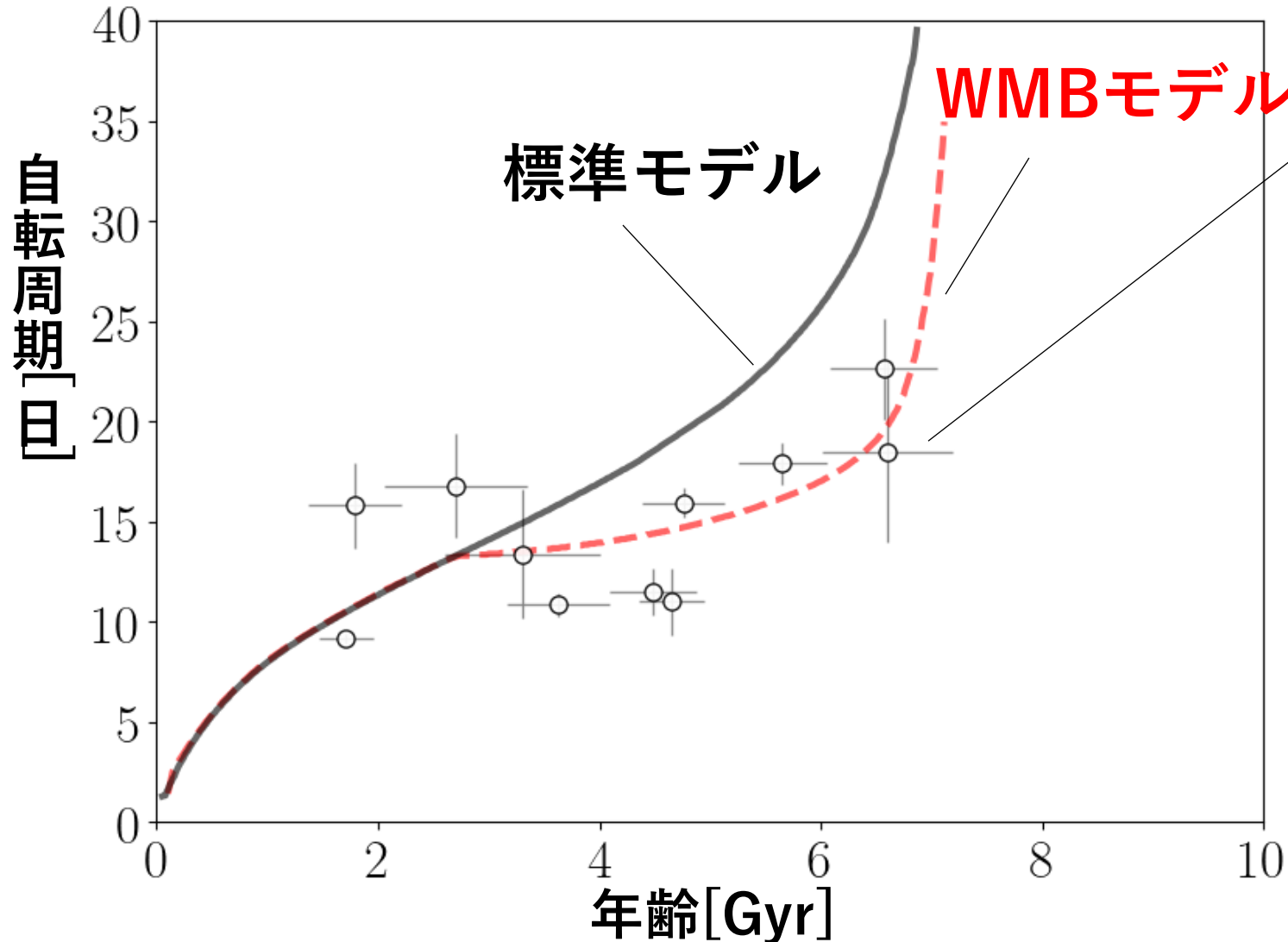
- 2.7 Gyr
- 1 Gyr
- 670 Myr
- 300 Myr
- 120 Myr
- 80 Myr

有効温度[K] (質量に対応)

Bouma, Palumbo, & Hillenbrand et al. 2023

老いた領域での自転年齢関係

$$5900 < T_{\text{eff}} < 6200\text{K}$$



Keplerフィールドの星を
星震学で測定 (Hall et al. 2021)

星団から外挿される関係より
自転周期が短い



**高齢星で
磁気ブレーキが弱くなる？
(Weakened Magnetic Braking)**

Saunders et al. (2023)
van Saders et al. (2016)

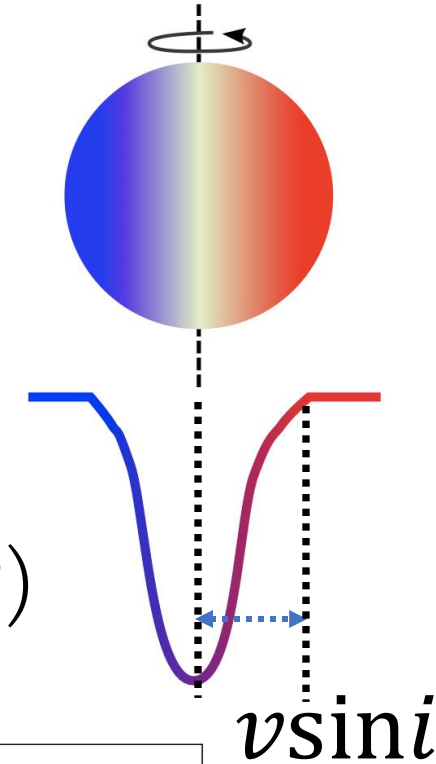
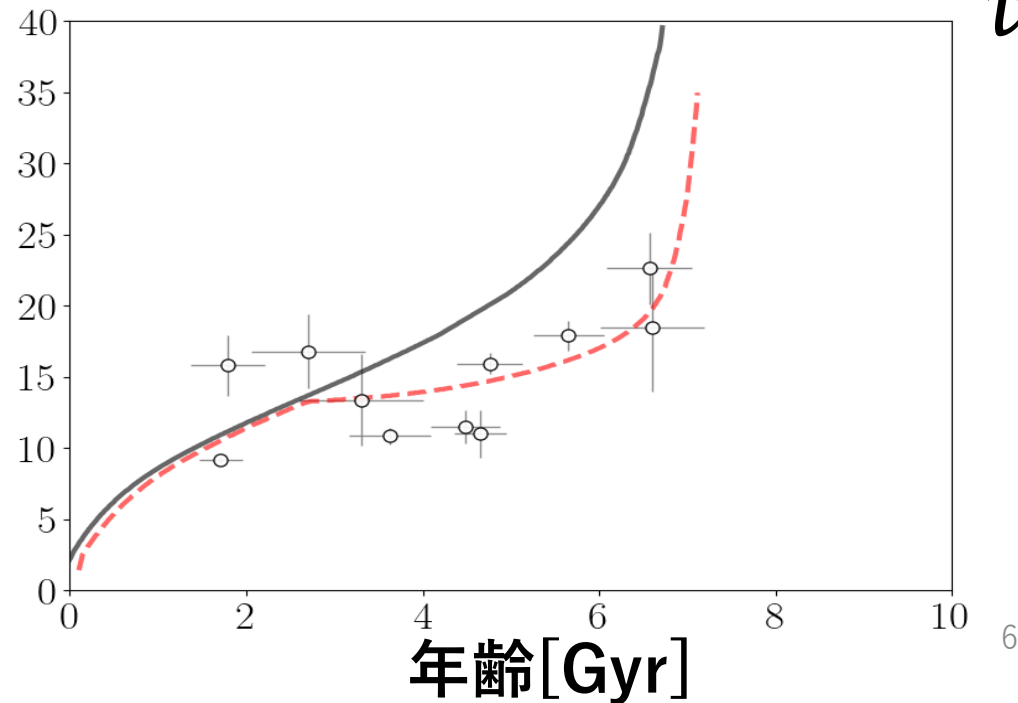
本研究の目的: 射影自転速度から 老いた恒星の自転進化を調べる

① 自転-年齢関係はそもそも存在するか？
(自転は年齢・質量の関数として一意に決まるか?)

② 星団の関係と比べて
どうか？ (**WMB**あるか?)

を星震学とは独立に検証

自
転
周
期
[
日
]



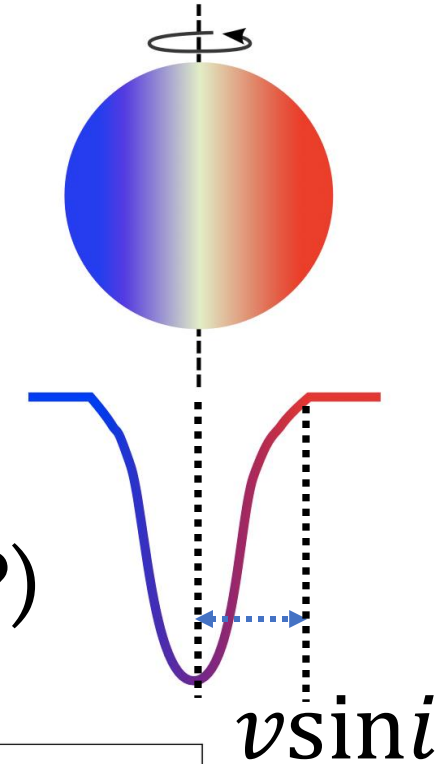
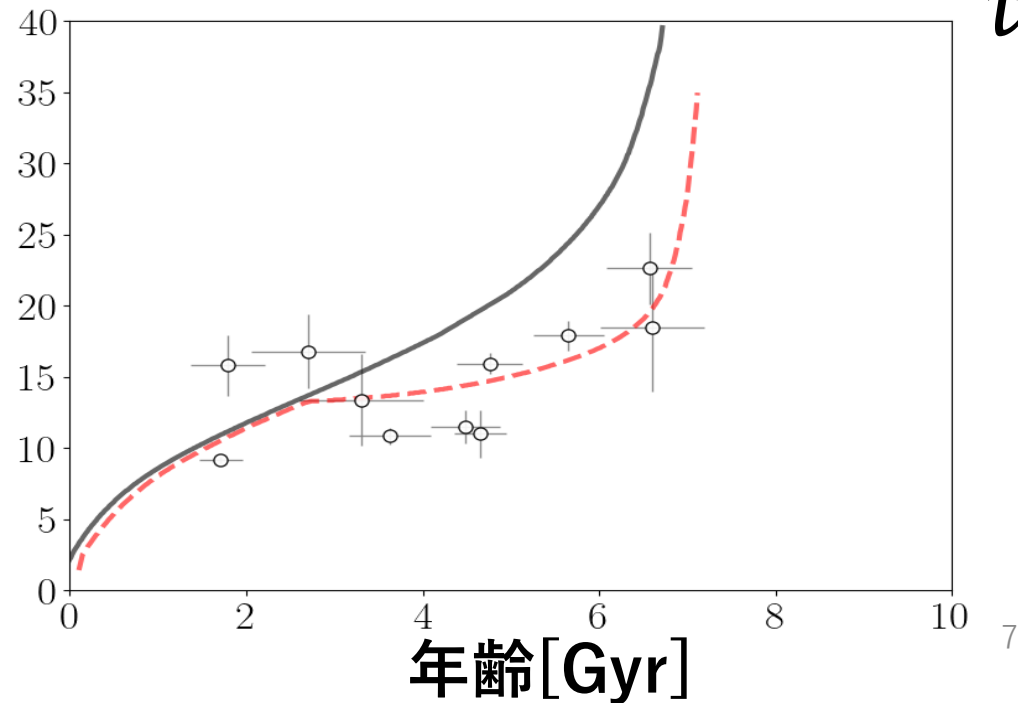
本研究の目的: 射影自転速度から 老いた恒星の自転進化を調べる

① 自転-年齢関係はそもそも存在するか？
(自転は年齢・質量の関数として一意に決まるか?)

② 星団の関係と比べて
どうか？ (**WMB**あるか?)

を星震学とは独立に検証

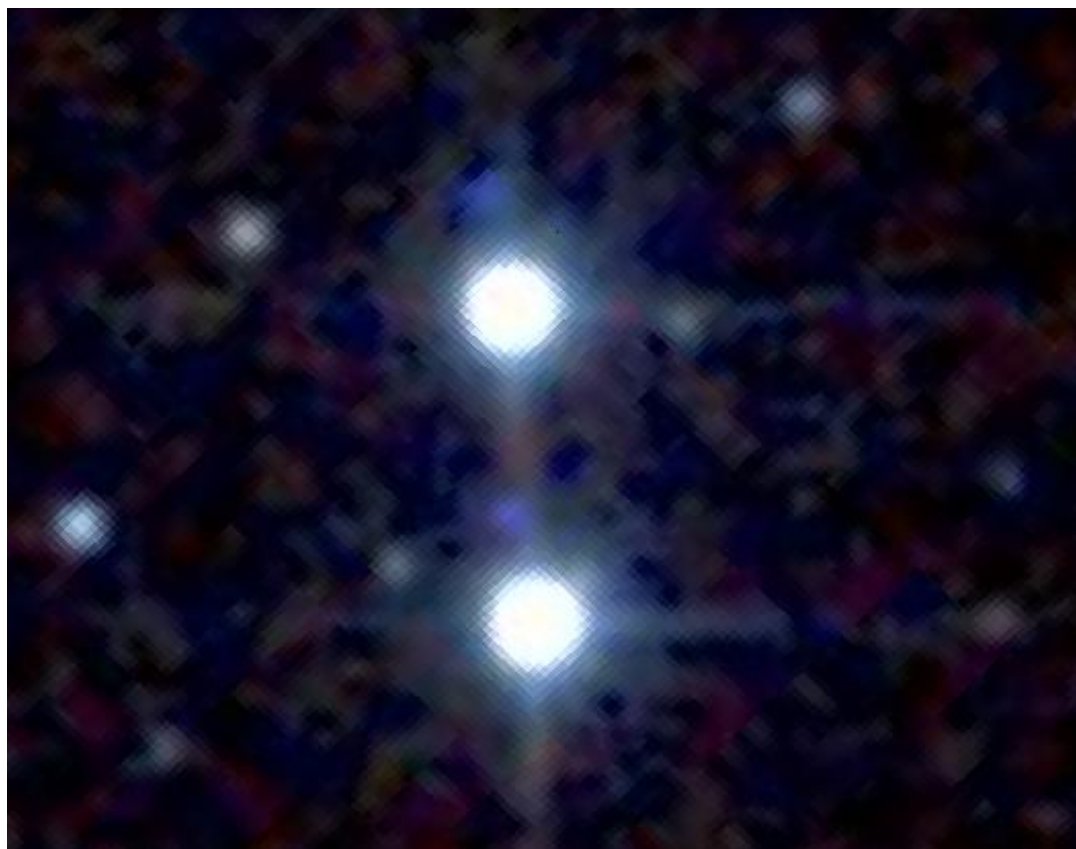
自
転
周
期
[
日
]



フィールドのTwin binaryを用いた検証

等級と色がほぼ等しい (=質量が等しい)

実視連星が多数発見 from **Gaia DR3** (El-Badry et al. 2021)



Twin binaryの画像(*Aladin*)

- 年齢と質量が同じ
→ 自転速度が一意に決まるか検証できる
- フィールドの星
→ 散開星団より老いた星も調べられる

せいめい望遠鏡/GAOES-RVによる 高分散分光観測

- 波長域 5160 – 5930 Å,
R~65000, S/N~100
- 離角 3"- 120" (200 – 30000 AU)
BP-RP=0.5-0.8

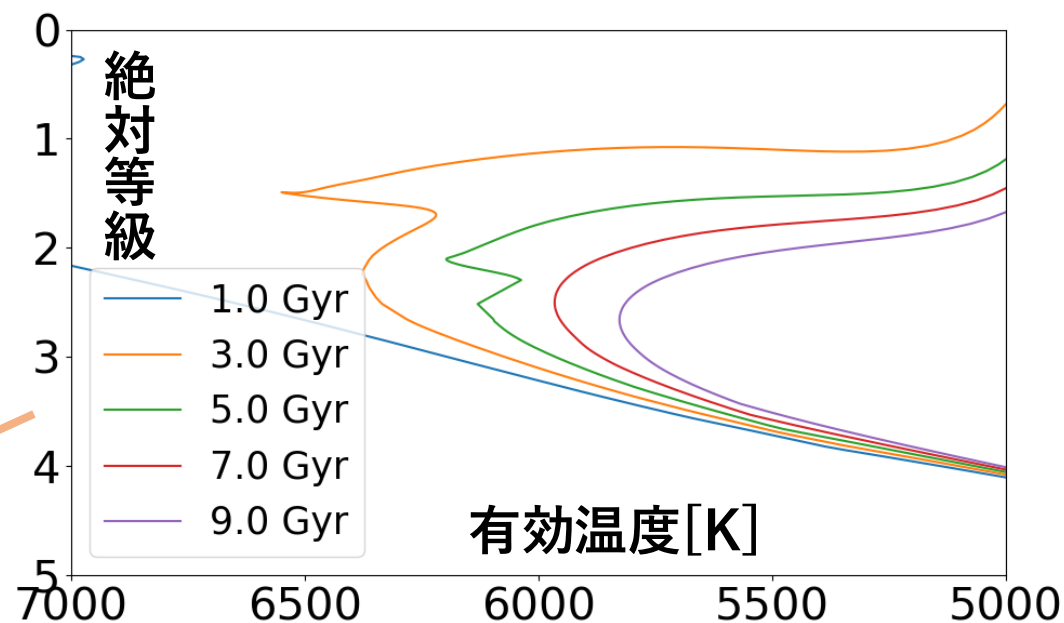
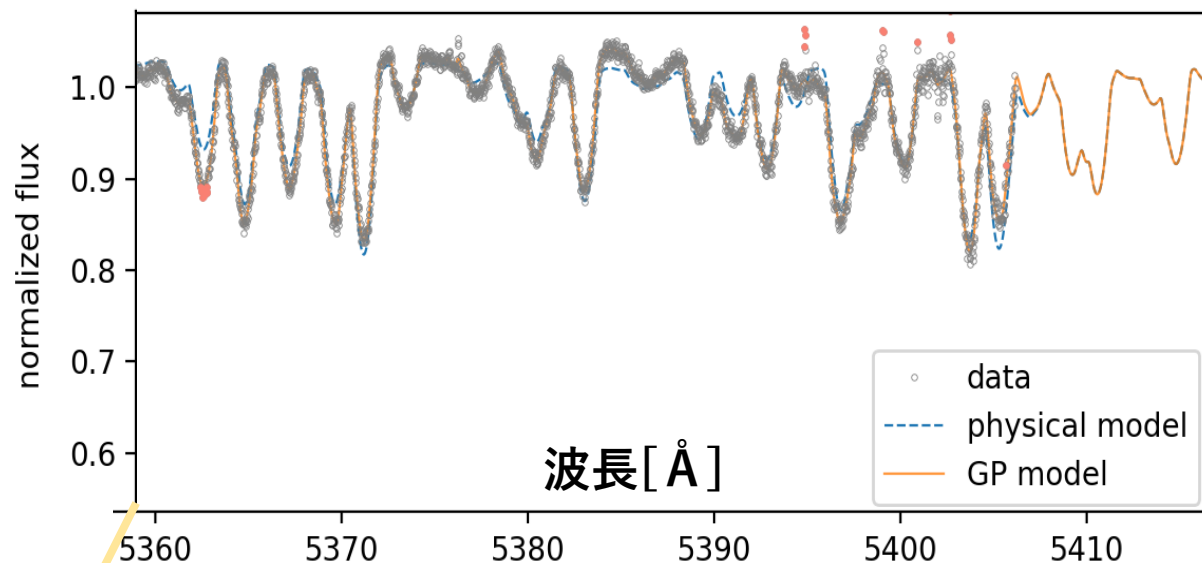
のtwin 21組42個を分光観測
(23B-N-CN09, PI: Masuda)

スペクトルフィット

(Tomoyoshi et al. 2024)

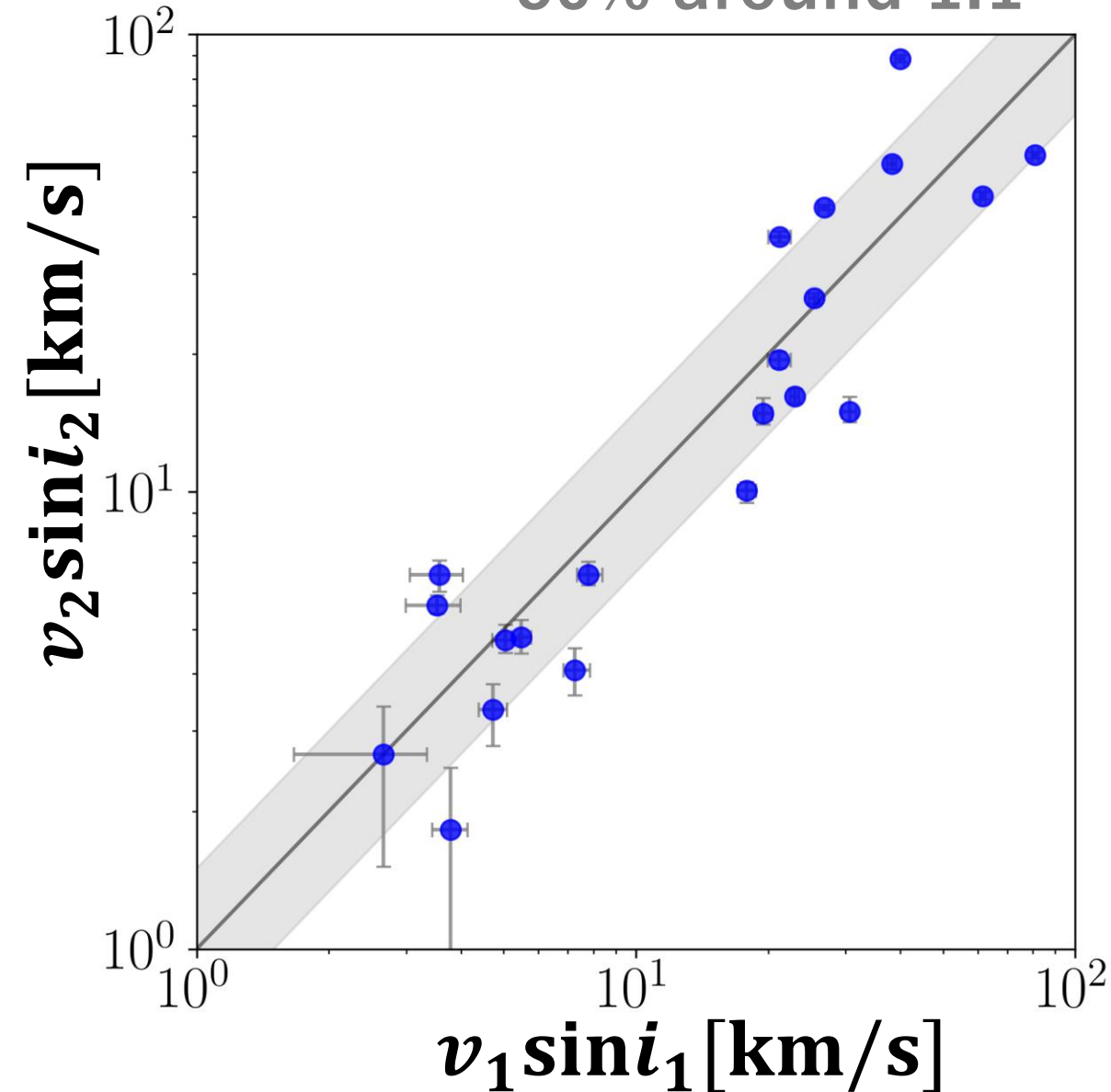
Coelho et al. (2005)の理論テンプレート
→ ***vsini***, ***Teff***, **[Fe/H]**を導出

isochrone fitting MIST (Dotter 2016)
質量・**年齢**・半径を推定(Masuda 2022)
: 2-9 Gyr



結果 1 : 双子連星21組の $v \sin i$ の比較

50% around 1:1



- Twin binaryの $v \sin i$ は相関
→ 自転速度 v も相関
- $v \sin i$ のばらつきは~50% :
 v のばらつきの上限
- 自転軸の等方性を仮定すると
 v のばらつきは~30%以下

自転は質量・年齢で
ある程度決まっている

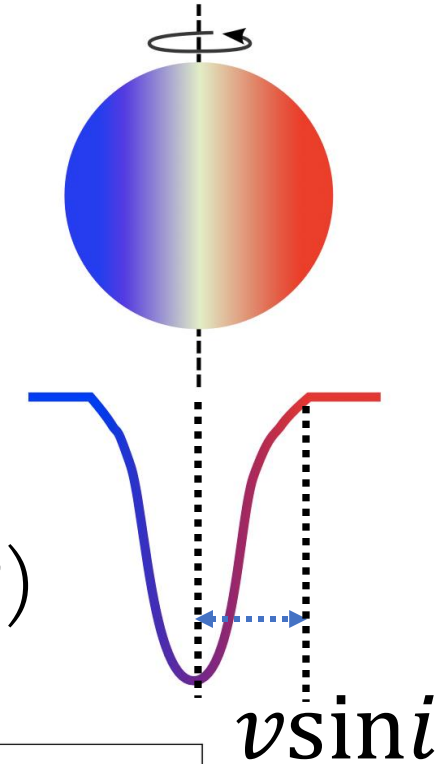
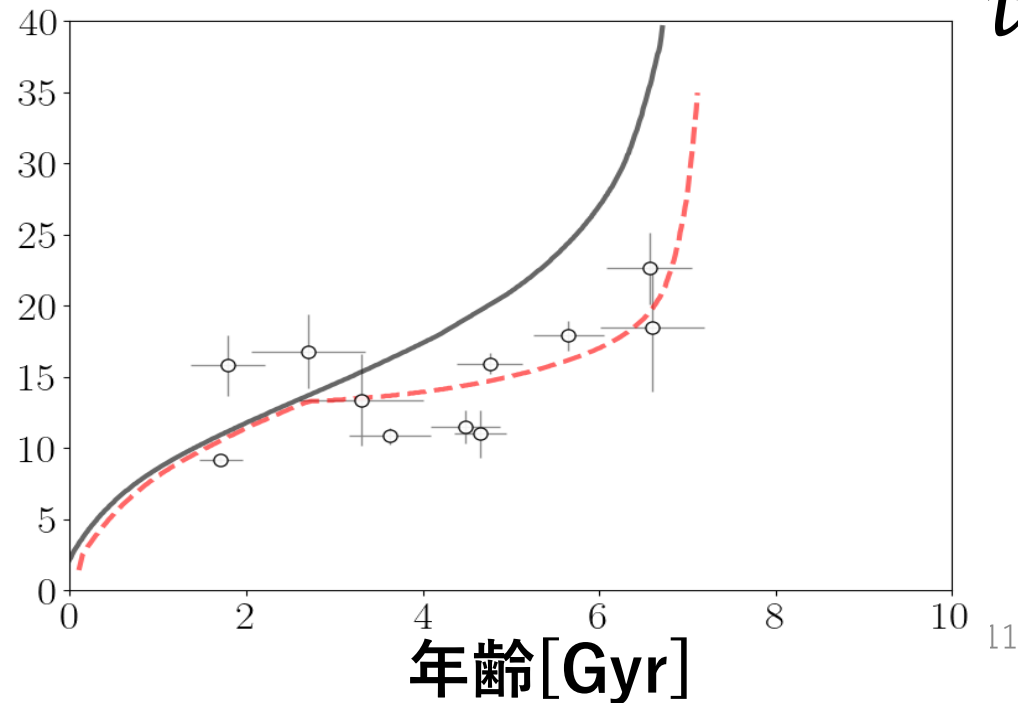
本研究の目的: (星震学とは独立に) 老いた恒星の自転進化を調べる

- ① 自転-年齢関係はそもそも存在するか？
(自転は年齢・質量の関数として一意に決まるか?)

- ② 星団の関係と比べて
どうか？ (**WMB**あるか?)

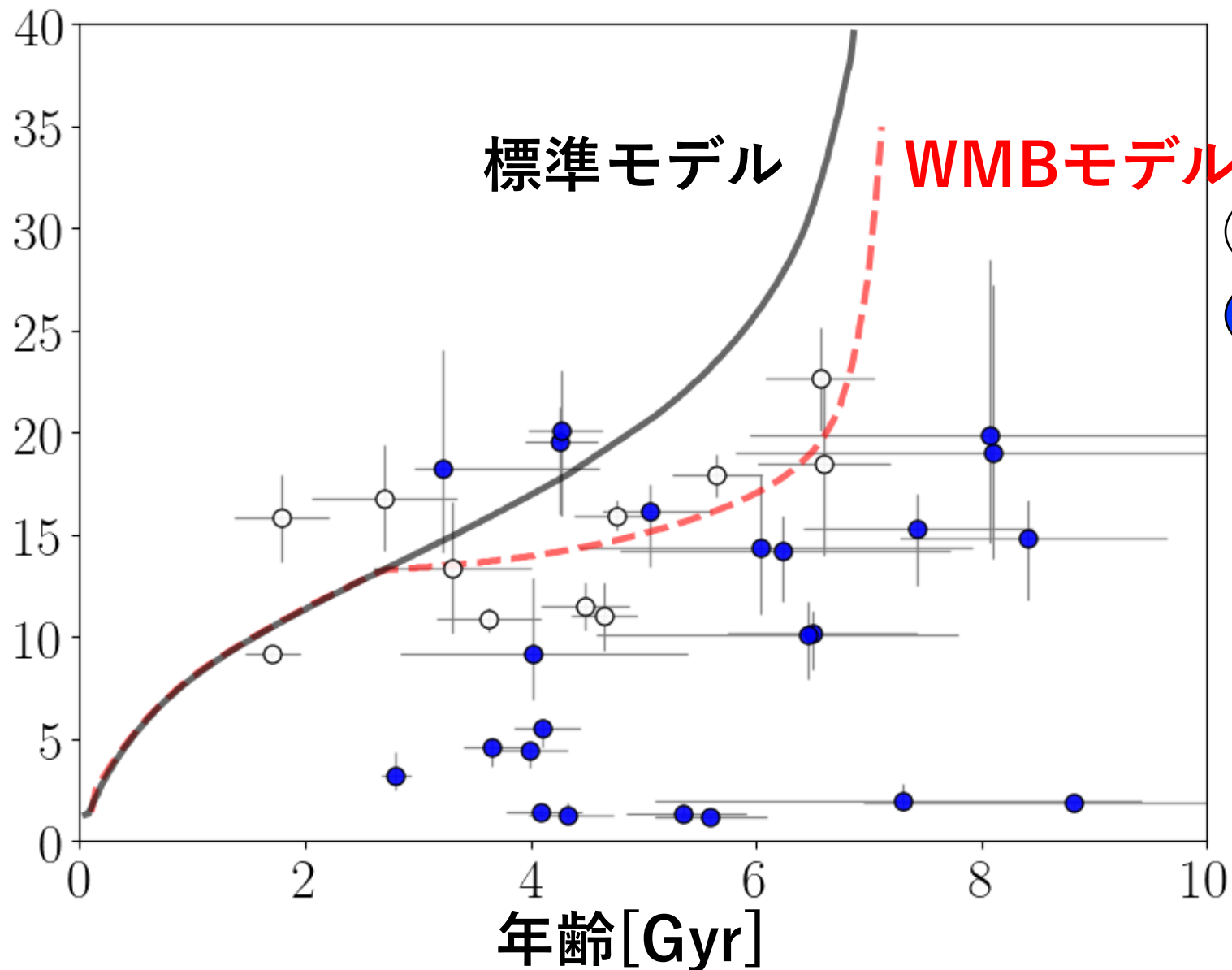
を星震学とは独立に検証

自
転
周
期
[
日
]



結果 2 : 自転と年齢の関係 ($5900K < T_{\text{eff}} < 6200K$)

自
転
周
期
[
日
]



WMBモデル

標準モデル

- 星震学(Saunders2023)
- $v \sin i$ (本研究)

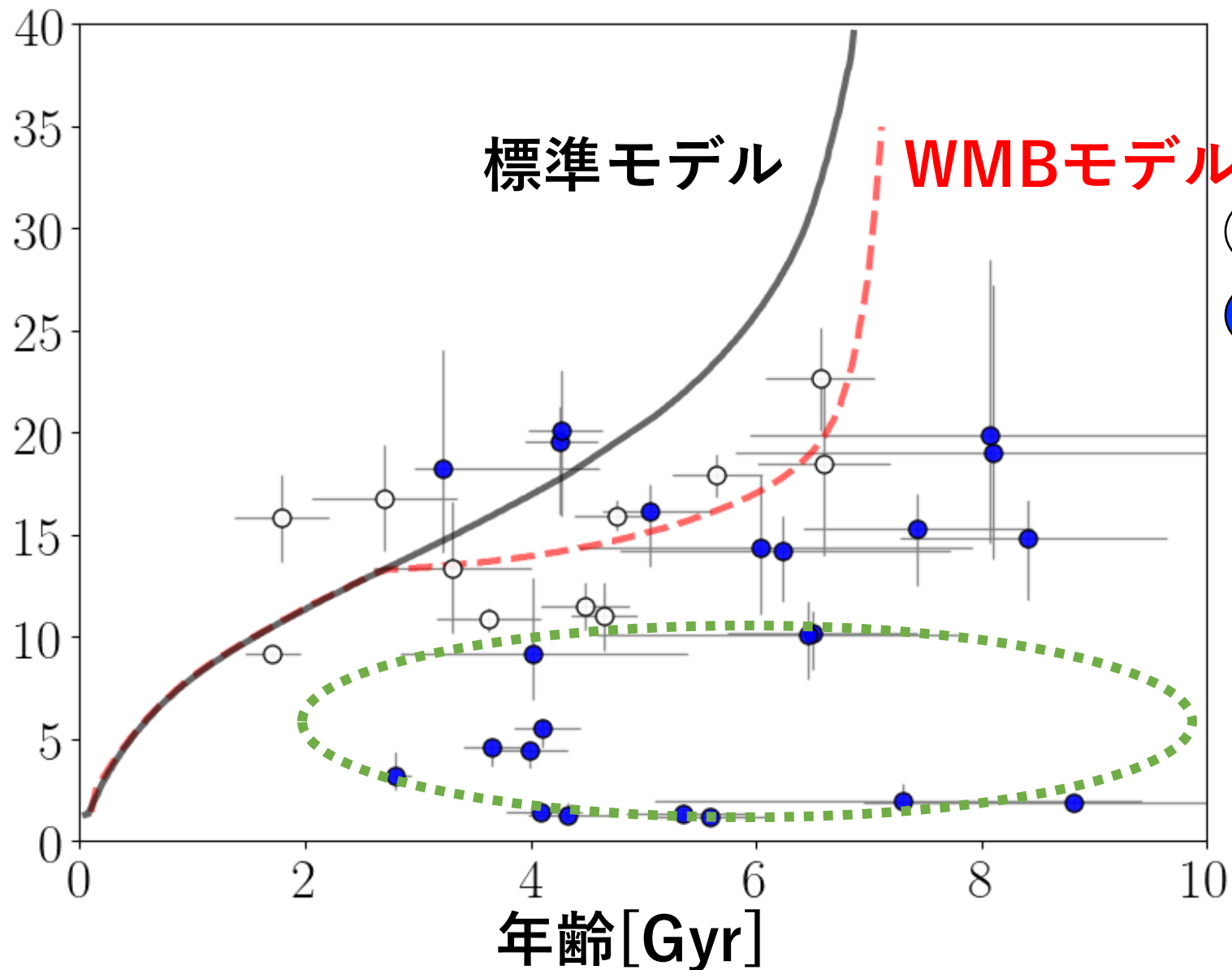
星震学と同様あまり
スピンドアウンしていない



WMB仮説と一致

結果 2 : 自転と年齢の関係 ($5900K < T_{\text{eff}} < 6200K$)

自
転
周
期
[
日
]



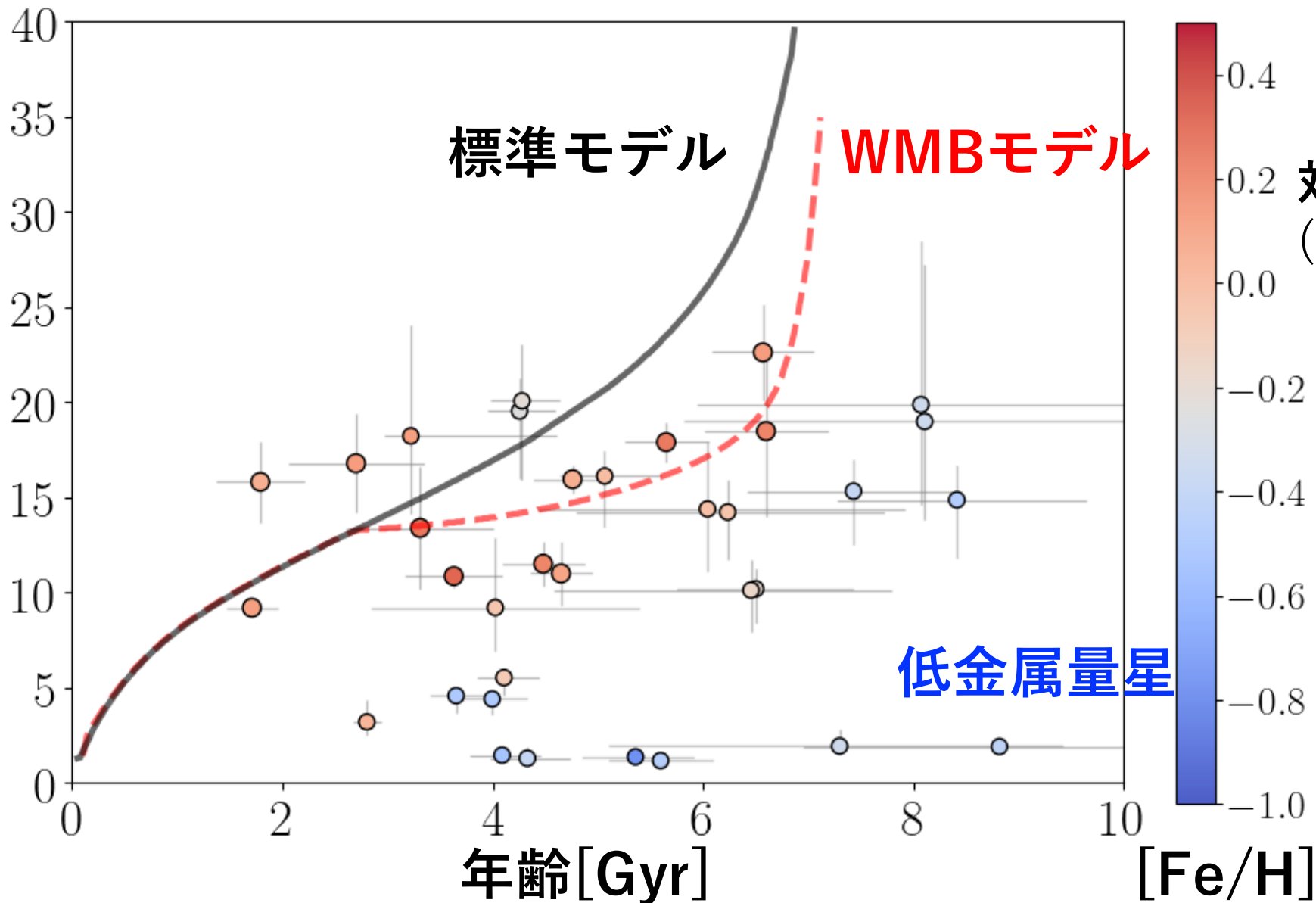
WMBモデル

- 星震学 (Saunders 2023)
- $v \sin i$ (本研究)

WMBモデルよりさらに
自転が速い星も存在

低金属量星はスピンドアウンが弱い？

自
転
周
期
[
日
]



対流層の厚みが関係？
(cf. Amard & Matt 2020)

もっとサンプルがあれば検証可能！

24A-N-CN10
GAOES-RVでスペクトルを200個取得済み

まとめ

老いた恒星の自転と年齢の関係をせいめい/GAOES-RVで調査

- Twinの比較で高齢星でも自転が質量と年齢で決まっていることがわかった(結果1)
- 星震学と同様、高齢星の自転速度は星団から外挿されるモデルより速い: **WMB仮説**を支持(結果2)
- 恒星の自転進化は**金属量**にも依存する可能性