

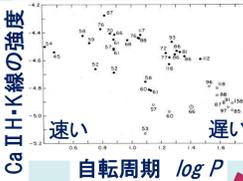
彩層輝線の起源はダイナモ活動にあり、彩層を観測すると対流層などの内部構造の情報が得られると考えられる。しかし前主系列星の場合、原始惑星系円盤からの質量降着も輝線の原因となる。そこで前主系列星の彩層起源のCa II 三重輝線を観測し、前主系列星60天体の彩層活動の要因を区別したところ、約50天体はダイナモ活動による彩層活動が優勢であることが判明した。前主系列星は自転が速く、光学的に厚いCa II の活動領域に覆われることが示唆された。今回は光学的に薄い彩層輝線の候補として、Mg I 輝線の強度とダイナモ活動の関係を調査した。

■太陽型星の彩層



彩層は緩やかな温度上昇を示す領域である。彩層の活動領域ではCa II, Mg I, Mg II などの輝線が形成される。彩層の活動現象の起源は、対流層のダイナモ活動にあると考えられている。

■彩層輝線から対流層の情報を得る



自転が速いF,G,K型主系列星ほど、明るい彩層輝線を示す(左図)。自転周期に対する対流の作用を補正したものがロスビー数 N_R (=自転周期 P /対流層の回転時間 τ_c)であり、ダイナモの活動度を示す。彩層輝線の強度はロスビー数 N_R への依存度が高い。 τ_c は混合距離パラメータ α (=混合距離/圧カスケールハイト h_p)に依存する。ロスビー数 N_R vs 輝線強度のバラツキが小さくなるような α を設定する。こうして α を観測的に求められる。

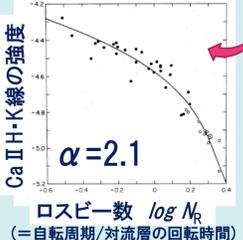


図 主系列星の自転活動関係(Noyes+ 1984)

α は理論計算から求められない量であり、対流層の構造(τ_c , 対流速度 v_c , 混合距離)を調べるために必要である。対流速度 v_c を $2\Omega \times v_c \sim J \times B/\rho$ (Ω : 自転角運動量, J : 電流, B : 磁束密度, ρ : プラズマ密度, Baliunas+ 1996)に代入すると磁場強度も得られる。

■前主系列星の進化(1 M_\odot)



前主系列星の混合距離パラメータ α は未計測である。 α は進化トラックの計算にも必要なので、前主系列星の年齢の不定性にもつながる。

■問題点1: 質量降着でも輝線が発生する

- ✓ 原始惑星系円盤からの質量降着
 - ✓ ダイナモ活動
- 進化につれて質量降着は小さくなる。どの進化段階でダイナモ活動が優勢になる?

■問題点2: 自転が速く α の測定が難しい

ZAMSは降着がないため、彩層活動の原因はダイナモ活動のみである。ただし、ロスビー数 N_R が小さいZAMSは一定の R' を示した。この状態をSaturationという。前主系列星は自転が速いため、Saturationしやすいと考えられる。

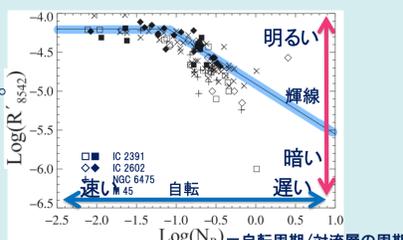


図 ZAMSのロスビー数 N_R と近赤外Ca II 輝線(λ 8542)の強度 R' の関係 (Marsden+ 2009)。

本研究では

- ・前主系列星の近赤外Ca II 三重輝線を観測し、彩層活動の原因の区別を目指した
- ・自転が速い前主系列星でもSaturationを起こさない輝線を観測することを目指し、光学的に薄い彩層輝線の候補を調べた

観測, アーカイブデータ取得

■彩層輝線の候補

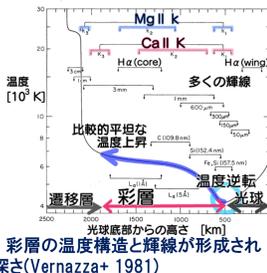


図 彩層の温度構造と輝線が形成される深さ(Vernazza+ 1981)

表 主な彩層輝線の例とそれぞれの特徴

輝線	特徴
H α 線	質量降着の寄与が大きい
Ca II H+K線	紫外域のため、原始惑星系円盤に散乱される
Ca II 三重輝線	ZAMSでの観測例があり、質量降着の有無の判定に使える。自転が速い前主系列星ではSaturationを起こす可能性が高い
Mg II k線	紫外域のため、原始惑星系円盤に散乱される
Mg I triplet	自転が速い前主系列星ではブレンドする
Mg I λ 8807 Å	観測例は太陽で1回のみ(Fleck et al. 1994)。光球から500 km上の彩層で形成されると示唆された
Fe I 線	光球の吸収線としてよく用いられるが、彩層輝線もある

* Mg I 輝線は光学的に薄く、自転が速い天体でもSaturationを起こしにくいのか?

■観測, アーカイブデータの取得



アーカイブ利用

- ✓ Keck 望遠鏡/HIRES
- ✓ VLT/UVES
- ✓ VLT/X-Shooter
- ✓ AAT/UCLES

4つの分子雲(Tau-Aur, Ori OB 1c, Upper Sco, Per)と5つの運動星団(TW Hyd, η Cha, Cha-Near, β Pic, AB Dor)に属する60天体(年齢 10^5 – 10^6 年, 0.035 – $2.5 M_\odot$)の前主系列星の近赤外Ca II 三重輝線(λ 8498, 8542, 8662 Å)の等価幅と半値幅を測定した。前主系列星7天体, 若い星団IC 2391, NGC 6475に属する主系列星13天体のMg I 輝線(λ 8807 Å)を解析した。

天体スペクトルの解析と結果

■全体の流れ

- 1 天体スペクトルの生画像
- 2 ①Overscan領域の処理
- 3 ②ダーク処理
- 4 ③フラット処理
- 5 ④波長校正
- 6 ⑤スカイの除去
- 7 ⑥スペクトルの抽出
- 8 ⑦連続光成分の規格化
- 9 ⑧吸収成分の補正
- 10 ⑨ベリングの補正
- 11 ⑩自転速度の補正
- 12 一次元スペクトル

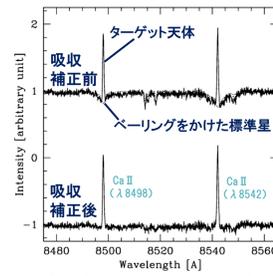


図 前主系列星AA TauのCa II 輝線の吸収成分の補正の例

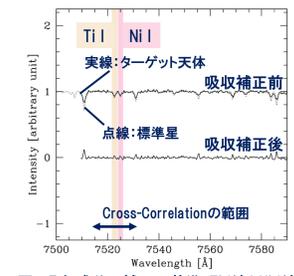


図 吸収成分の補正の基準・Ti I線とNi I線

■吸収成分の補正

(ターゲット天体のスペクトル) – (ガウス関数を畳み込んで自転速度を合わせた標準星のスペクトル)
標準星: ターゲット天体と類似したスペクトル型のinactive star (スペクトル型: F2 – M2 22天体)

[Ca II輝線の解析では...] スペクトル型と自転速度を一致させ、Fe Iなどの吸収線を基準とした。光球由来の吸収線(Ti I, Fe I, Cr I)を用いてベリング値を測定した。標準星(活動度の低い恒星)の連続光成分にVを加えた後、連続光成分を再び1に規格化し、標準星にもベリングをかけた。自転速度はCatalog of Stellar Rotational Velocitiesなどを参照した。
[Mg I輝線の解析では...] Ti I, Ni Iの吸収線が消えるかどうかを基準とした。Mg I輝線は弱いので、彩層輝線も出るFe Iを基準にすべきでない。自転速度はCross-Correlation法で測定した。

- [課題1] ターゲット天体が標準星より自転が遅い場合、うまく吸収成分を補正できない
- [課題2] Ti I, Ni Iの吸収線は強くないので、自転が速い天体ではよく見えないこと

考察1 Ca II 輝線の自転活動関係

横軸: ロスビー数 $N_R = \frac{2\pi R_p}{\tau_c v \sin i}$

半径 R_p : 円盤の赤外超過を含まない R_p と T_{eff} (Gaia DR2)をシュテファン-ボルツマンの法則に代入して求めた。 $\log \frac{R_p}{R_\odot} = \frac{1}{2} \log \frac{L_p}{L_\odot} - 2 \log \frac{T_{eff}}{T_\odot}$
 $v \sin i$: Catalog of Stellar Rotational Velocitiesなどから引用した。
 τ_c : 対流層の回転時間。Jung&Kim (2007)のモデルから求めた。主系列付近の天体の τ_c はJ&K07では範囲外なのでNoyes+ (1984)の近似式で $(B-V)_0$ から算出した。

縦軸: 全放射光度に対する輝線の強度 R'

- ① 単位面積当たりの光球からの連続光の放射量 F を求めた。
 $\log \frac{F}{F_\odot} = -2.5 \times (m_u - A_i) \quad F = f \times \left(\frac{d}{R_p}\right)^2$
距離 d : Gaia DR2より引用した
 i 等級: UCAC 4より等級を引用し、吸収係数 A_i を補正した
 $A_i = A_v \times 0.482$ (Rieke+ 1985)
- ② 輝線の等価幅に F をかけCa II 輝線のFlux, F'_{IRT} を求めた。
- ③ F'_{IRT} の T_{eff} への依存性を取り除いた R' を求めた。 $R'_{IRT} = F'_{IRT} / \sigma T_{eff}^4$

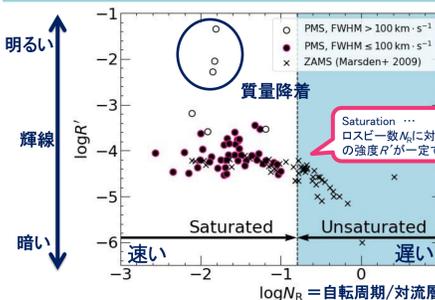


図 前主系列星の近赤外Ca II 輝線の自転活動関係とZAMSの比較。

表 前主系列星の彩層活動の原因

輝線強度 R'	主な原因
○ 3天体	ZAMSの100倍以上 質量降着
● 約50天体	ZAMS並み ダイナモ活動のみ

ZAMS (x, Marsden+ 2009)のSaturationの原因として「彩層の全体がプラージュのような活動領域に覆われ、活動領域の面積がこれ以上増えないこと」が挙げられる。

- ➔ 狭輝線を示す前主系列星(●)はZAMS並みに弱い彩層活動を示し、彩層は光学的に厚いCa II 輝線の活動領域に覆われている
- * ダイナモ活動による彩層輝線を示す前主系列星約50天体を得た。

考察2 Mg I 輝線の自転活動関係

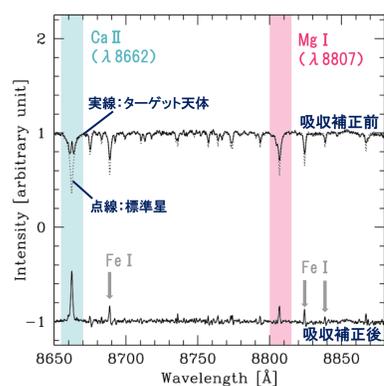


図 前主系列星RECX 11のMg I 輝線の例

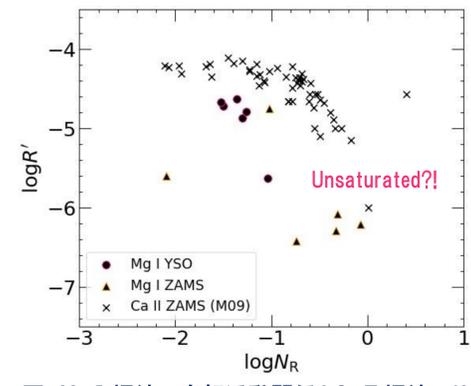


図 Mg I 輝線の自転活動関係とCa II 輝線の比較

ダイナモ活動による彩層輝線が優勢である天体(前主系列星53天体+若い星団の主系列星)のMg I輝線を調べた。20天体中12天体がMg I 狭輝線を示した。Ca II 三重輝線に比べてMg I輝線は弱い。Ti I, Ni Iを吸収成分の補正の基準とすると、Fe Iも輝線を示した。

- * Mg I 輝線の場合、 $10^{-1.2} < N_R \leq 10^{-0.8}$ の天体もSaturationを示さない?
- ➔ Mg I 輝線はCa II 輝線よりも光学的に薄いと考えられる!