

近赤外Ca II 三重輝線を用いた前主系列星の彩層活動の調査



兵庫県立大学 光学赤外線天文学講座
 修士1年 山下 真依

彩層について(太陽の場合)

- 太陽と同程度の質量を持つ恒星は、内部に放射層と対流層を持つ。
- 恒星大気は内側から、光球・彩層・コロナに分けられる。



彩層 (©国立天文台/JAXA)

Ca IIなどの輝線が観測される、活発な領域。

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。
 恒星のダイナモ機構：

電離した恒星のガスにおいて、熱対流や自転によって磁場がねじ曲げられ、磁場の発生・増幅を促進させること。

前主系列星の進化と彩層活動

前主系列星の彩層が明るくなる要因は ①ダイナモ活動 のほかに ②原始惑星系円盤からの質量降着 が考えられる。



彩層輝線が明るくなる要因

円盤からの質量降着

どちらが優勢?

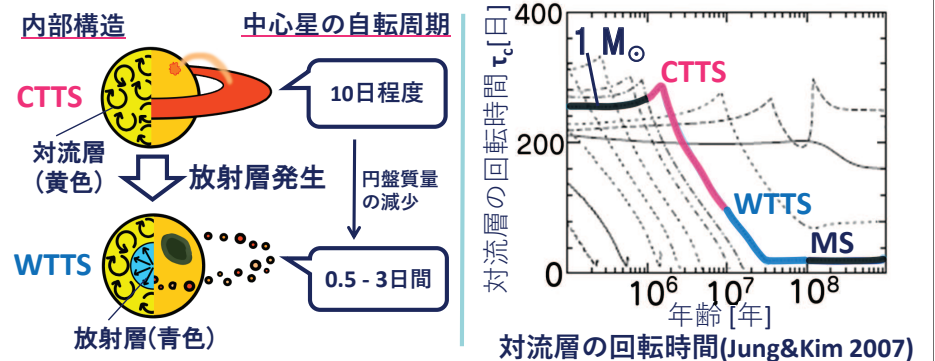
ダイナモ活動

質量降着率 ... 進化が進むにつれて減る
 彩層活動の原因は、単純に輝線の強さだけでは判別できない。

前主系列星のダイナモ活動

ダイナモ活動を特徴づける要因は5つある(Noyes+ 1984)。
 前主系列星の内部の進化によって、③-⑤が変化し続けている。

- ① 自転速度 ... 主系列星の3-60倍速い
 - ② 恒星の質量
 - ③ 表面温度
 - ④ 対流層の厚さ
 - ⑤ 対流層の回転時間(τ_c)
- 内部構造の進化に依存している



ZAMSの磁気活動と彩層輝線

- 横軸：ロスビー数 $N_R = \frac{2\pi R}{\tau_c v \sin i}$ R : 天体の半径, τ_c : 対流層の回転時間
- 縦軸：全放射光度に対するCa II 輝線の光度 $R'_{IRT} = F'_{IRT} / \sigma T_{eff}^4$

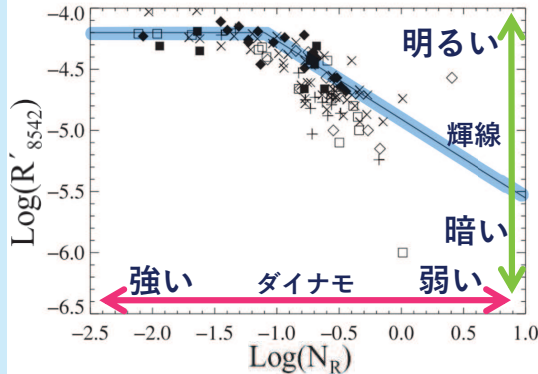


図 ZAMSのロスビー数 N_R と近赤外Ca II 輝線($\lambda 8542$)の光度 R' の関係(Marsden+ 2009)。

質量降着のない天体
=彩層活動が**ダイナモ活動のみ**に依存している天体
→左図のような活動度を示す。

質量降着の大きい前主系列星は、この天体たちよりも上に位置するはず

2. 目的

前主系列星の輝線が明るくなる要因はどちらなのか？

- ✓ダイナモ活動
- ✓原始惑星系円盤からの質量降着

本研究では、この2つの原因を区別することを目指した。

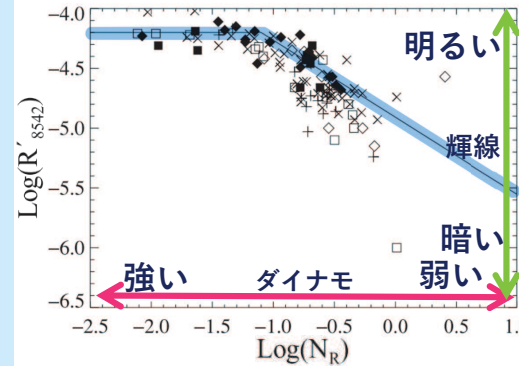


図 ZAMSのロスビー数 N_R と近赤外Ca II 輝線($\lambda 8542$)の光度 R' の関係(Marsden+ 2009)。

- 単純に輝線の強さだけでは判別できない。
- 本研究ではロスビー数を用い、さらにZAMSの輝線強度と比較する。

R'	原因
ZAMSより大きい	質量降着
ZAMS並み	ダイナモ活動のみ

3. 観測とアーカイブデータ取得, 解析

年齢 $10^5 - 10^8$ 年の数十天体の分光データを集めた(0.035-2.5 M_{\odot})。



観測
✓なゆた望遠鏡/MALLS

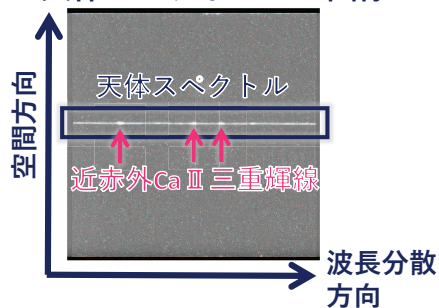


すばる望遠鏡/HDS

アーカイブ利用

- ✓Keck望遠鏡/HIRES
- ✓VLT/UVES
- ✓VLT/X-shooter

天体スペクトルの生画像



天体スペクトルの生画像

- ①Overscan領域の処理
 - ②ダーク処理
 - ③フラット処理
 - ④波長較正
 - ⑤スカイの除去
 - ⑥スペクトルの抽出
 - ⑦連続光の規格化
 - ⑧吸収成分の補正
- 一次元スペクトル

4. 結果 彩層活動と進化段階

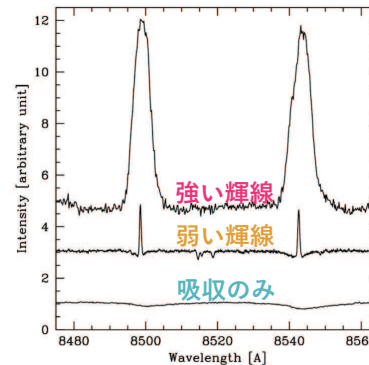


図 観測天体のCa II 三重輝線の例。

近赤外Ca II 三重輝線($\lambda = 8498, 8542, 8662 \text{ \AA}$)の等価幅を測定した。

	強い輝線	弱い輝線	吸収のみ
CTTS	3 天体	数十	0
WTTS	1	数天体	数天体

同じCTTSという進化段階でも、特に**強い輝線**を持つ天体があった。

→円盤からの**質量降着**が原因？

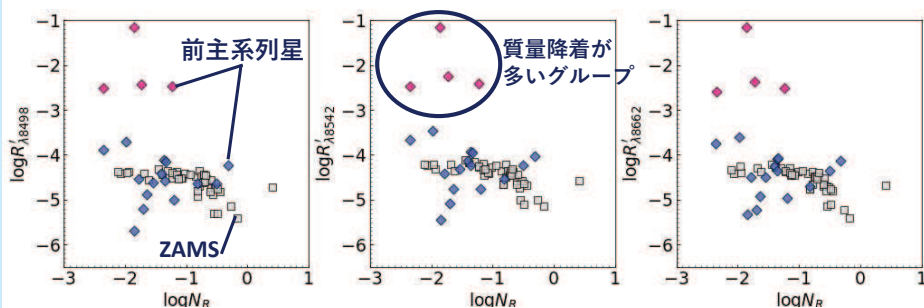
彩層活動がダイナモ活動に依存しているかどうかを区別した。

→天体の半径R、自転周期とJung&Kim(2007)のモデルから求めた対流層の回転時間 τ_c から**ロスビー数 N_R** を算出した。

→Ca II 輝線の等価幅から**全放射光度に対する輝線の光度 R'** を計算した。

5. 考察 彩層活動の原因

前主系列星(◆)とZAMS(■)のR'を比較した。どの輝線でも定性的には同じ傾向が見られた。R'が大きいグループと小さいグループがある？



	◆ R'が大きい	◆ R'が小さい
R'の大きさ	ZAMSの30-1400倍	ZAMS並み
輝線が明るい原因	質量降着？	ダイナモ活動のみ？

*多くの前主系列星(◆)の彩層活動はZAMSと同程度であった

質量降着と彩層活動の相関は弱い？

- Mohanty et al. (2005)では、CTTSの質量降着率が増えると、近赤外Ca II 三重輝線(λ 8662)のFluxも明るい。
- 本研究では、相関があるのではなく、質量降着率が小さい天体のFluxは同程度であるように見える

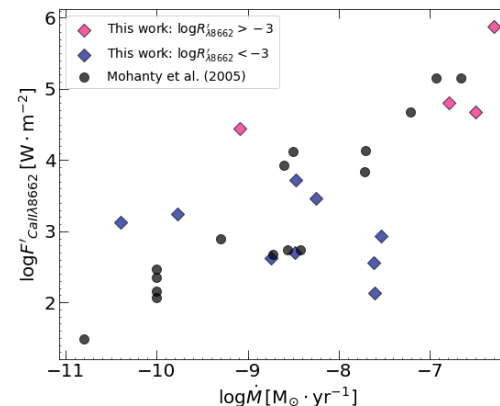
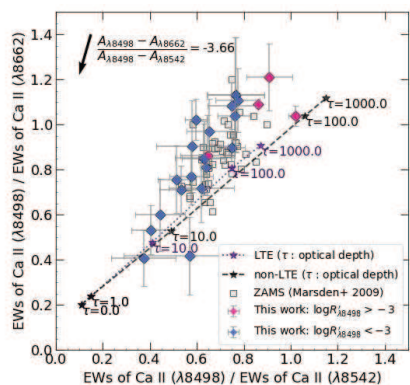


図 前主系列星の質量降着率と近赤外Ca II 三重輝線(λ 8662)のFluxの関係。質量降着率は引用したが、Hα線の等価幅やU bandの超過から求められていた。

等価幅の比から彩層活動の原因を考える



- 2つの恒星大気モデル
- LTE, 5000 K (Herbig & Soderblom 1980) : τ の変化 \approx 幾何学的厚みの変化
 - non-LTE (Avrett's 1968)

* ダイナモ依存
温度が高くなるとCa IIが電離し、輝線の大きさ及び輝線比($EW_{\lambda 8498} : EW_{\lambda 8542} : EW_{\lambda 8662}$)は小さくなる

* 質量降着が原因
ZAMSとは異なり「衝撃」により輝線が発生している。
大気モデルと比較すべきでない。

	◆ R'が大きい	◆ R'が小さい
$EW_{\lambda 8498} : EW_{\lambda 8542} : EW_{\lambda 8662}$	1:1:1に近い	ZAMSと同程度
光学的厚み τ	—	1 - 1000

- ◆ R'が大きい前主系列星は、質量降着により彩層が輝いている可能性
- ◆ ZAMS並みのR'を持つ前主系列星は、ZAMSと類似した彩層を持つ？

まとめ

- 前主系列星の彩層活動を①ダイナモ活動によるもの ②原始惑星系円盤からの質量降着によるものに区別することを目指した。
- 前主系列星とZAMSの近赤外Ca II 三重輝線(λ 8498・8542・8662 Å)のデータを集め、自転周期に対する対流の強さと輝線の強さを比較した。
- 多くの前主系列星はCa II線で輝く彩層に覆われていることが分かった。これは前主系列星の段階でダイナモ機構による彩層活動が優勢であることを示唆している。
- 一方で、若い主系列星の30-1400倍強い輝線を示す前主系列星も見つかった。このような天体では、原始惑星系円盤からの質量降着により彩層活動が活発になっていると考えられる。