

岡山HIDESを用いた太陽類似恒星の統計的研究

竹田 洋¹、川野元聡¹、本田敏志²、安藤裕康¹、桜井隆¹ (¹ 国立天文台、² ぐんま天文台)

1. はじめに

我々の太陽類似星の研究は2005B期から2008B期までの3年強(総割り当て夜は46夜)を費やして岡山HIDESを用いて行われた観測課題である。これを企てるにあたっては、2004年にカナリア天体物理研究所のIsraelii達により報告された「太陽あたりの狭い範囲の有効温度の星においては惑星を持つ恒星の表面Li量は惑星を持たない星に比べて有意に低い」という重要な発見(文献1)が強い動機となった。つまり、改めて太陽類似の星におけるLi組成を眺めると基だ不可解なるまをを示している(図1)。なぜ見かけ上同じようなパラメーターの星でかくまでに大きな(2-3桁)Li量のちがいが生じるのか? その中で惑星を有する星の示す表面Liの欠乏にはいかなる機構が働いているのか? この問題の解明に向けて、サンプルとして選んだ118個の太陽に似通った星々(図2)について、恒星パラメータとリチウム組成を正確に決定し、「表面リチウム量をコントロールする最も重要な作用因子は何か」を突き止めたいというのが主たる研究目的であった。

①計画の動機並びに概要、②初期の段階の結果速報、については、すでに2005年と2006年の岡山ユーザーズミーティングで報告済みであるが、昨年末をもって観測が完了し、解析の結果もほぼまとまったので、ここに本プロジェクトの総括をする次第である。

2. 観測と解析

いずれも岡山観測所188cm鏡+HIDES分光器を用いて行われた。セッティングは赤クロスディスパーザでスリット幅は200 μ mの波長分解能R $\sim$ 70000である。

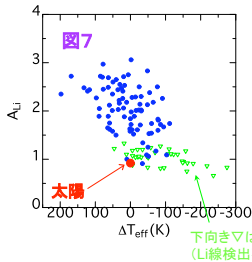
第一期: 2005B期(10夜)+2006A期(10夜)
(2005年9月, 11月, 2006年2月, 4月)
黄 $\sim$ 赤領域のスペクトルを用いた解析
◎ T_{eff} など大気の各種パラメータ(多数の鉄の線の等価幅から)
◎ 線幅パラメータ v_{turb} (6080-6089Å領域フィッティングから: 図3)
◎ リチウム組成 A_{Li} (Li 6708線から: 図4)

第二期: 2007A期(9夜)+2008A期(7夜)+2008B期(10夜)
(2007年2月, 4月, 2008年5月, 8月, 12月)
写真赤外領域のスペクトルを用いた解析
(第一期の結果から自転速度がリチウム量に重要な影響を与えるのではとの推察に至った。それでこれを確かめるべく、同じ自転速度に深く関連する恒星活動の程度を強いカルシウム三重線と調べることにした次第である。)
◎ Call 8542線(三重線中最強)中心比強度 r_0 (恒星活動の大きさの指標: 図5、図6)

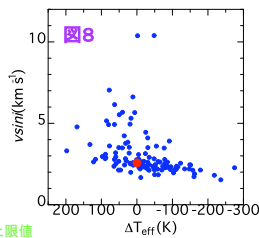
3. 結果

以下の意味深い特徴が明らかになった。(1)と(2)と(3)については第一期の観測に基づくもので詳細については文献2を参照されたい。(4)と(5)と(6)は第二期の観測の帰結であり今回が初めての報告である。なお文献2では線幅パラメータ v_{turb} のままで傾向を論じたが、ここではこれからマクロ乱流の効果を差し引いた射影自転速度 $v \sin i$ で議論している。

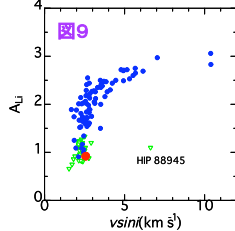
(1) 表面リチウム量と T_{eff} の関係



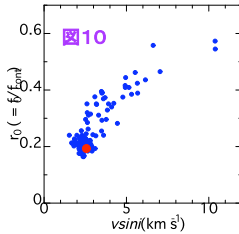
(2) 自転速度の T_{eff} 依存性



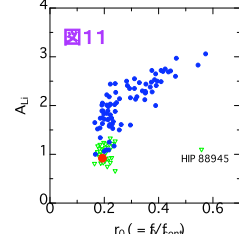
(3) 表面リチウム量と自転速度(正の相関)



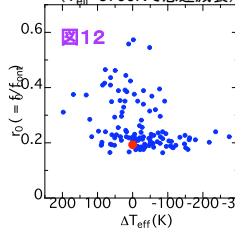
(4) 恒星活動と自転速度(正の相関)



(5) 表面リチウム量と恒星活動(正の相関)

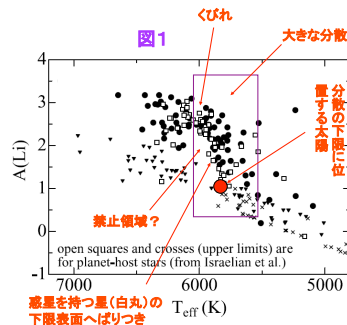


(6) 有効温度と恒星活動($T_{\text{eff}} < 5700$ Kで急速減衰)



5. 今後に向けて

本研究では岡山観測所で出来ることはほぼ行ったと考えているが、課題はまだ残る。たとえば自転がわりと速く結構活動も活発な星では自転-リチウム-活動のきれいな相関が見られるのであるが(図8、図9、図10)、自転がある程度以下に遅いグループではリチウム線が見えず(上限値のみ)Call 8542線の活動指標も一定値に停滞収縮して円子状で区別が出来なくなっている。リチウム線と写真赤外Ca線の適用限界を示している。我々の太陽のケース以上に混合が促進している星はあるのか? 我々の太陽よりも活動が停滞している星はどの程度あるのか? この問題に取り組むべく、我々は新たに3130ÅのBell二重線から決定できるベリリウム(リチウムよりも深い350万度以上で燃えるので更に促進された混合の指標となる)の組成とCall 3934/3968 H+K線(写真赤外の線よりもコア強度が活動に敏感と考えられる)の相関を移し、すばる望遠鏡HDSを用いた太陽類似星の紫外外観測計画を進めている。



ヒッパルコス星表の星々

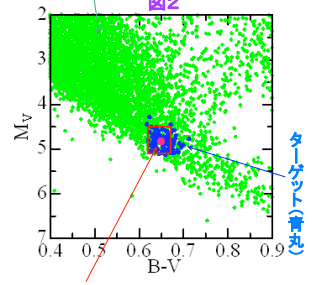


図3

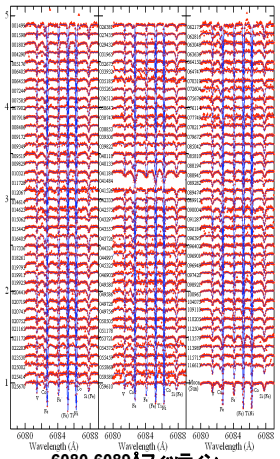


図4

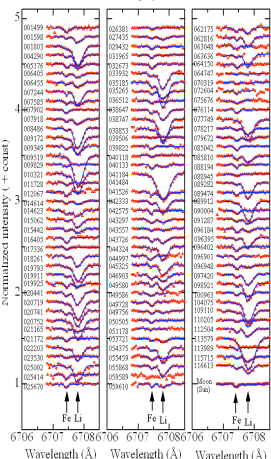
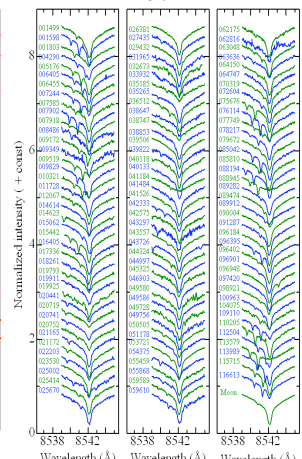


図5

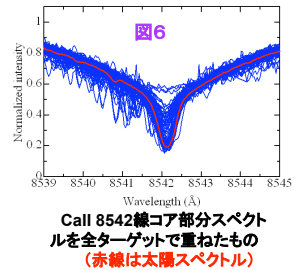


6080-6089Åフィッティング
グ(黒線:理論、色丸:
観測)

Li 6708線フィッティング
グ(黒線:理論、色丸:
観測)

Call 8542線
コア付近のスペク
トル

とりわけ重要な結論は以下の二点である:
[1]表面のリチウム組成は本質的に自転速度で決まっている:
つまり自転が遅いほど欠乏が進行している。
[2]自転速度と恒星活動は極めて密接な関係を示す:
従って活動が不活発であるほどリチウム欠乏が進行している。



4. 考察

[1] それでは(Li組成に直結する)自転速度を決める重要な因子は何か? これはB型などの早期型星で信じられていること(自転が遅いほど子午還流やシア乱流が発達して外層混合が促進される)とは全く逆に直観に反する。しかし、つい最近フランスのBouvierによって有望な理論が提唱された(文献3)。つまり彼のシミュレーションによれば太陽型星では自転が速いと外層は一緒に回って剛体的に回るのであるが、自転が遅いと対流層と輻射層の境界(タコライン)でズレが生じる微分回転となつてそのシアによってそこで混合が生じ、リチウム(250万度以上で燃える)が内部に運ばれて壊れることで表面での欠乏につながるそうである。

[2] しかし、なぜ自転速度が遅いと表面リチウムの欠乏が促進されるのか? これはB型などの早期型星で信じられていること(自転が遅いほど子午還流やシア乱流が発達して外層混合が促進される)とは全く逆に直観に反する。しかし、つい最近フランスのBouvierによって有望な理論が提唱された(文献3)。つまり彼のシミュレーションによれば太陽型星では自転が速いと外層は一緒に回って剛体的に回るのであるが、自転が遅いと対流層と輻射層の境界(タコライン)でズレが生じる微分回転となつてそのシアによってそこで混合が生じ、リチウム(250万度以上で燃える)が内部に運ばれて壊れることで表面での欠乏につながるそうである。

(参考文献)

- [1] Israelii, G., et al. 2004, A&A, 414, 601
"Lithium in stars with exoplanets"
- [2] Takeda, Y., et al. 2007, A&A, 468, 663
"Behavior of Li abundances in solar-analog stars"
- [3] Bouvier, J. 2008, A&A, 489, L53
"Lithium depletion and the rotational history of exoplanet host stars"