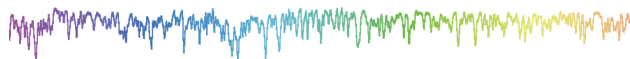


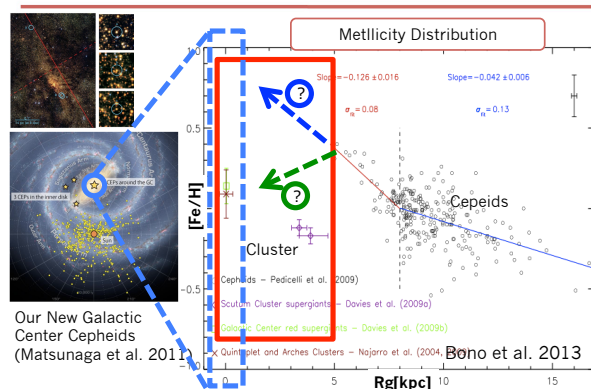
近赤外波長域における Line Depth Ratioを用いた 銀河系中心セファイドの有効温度の決定



福江慧 (東京大学)

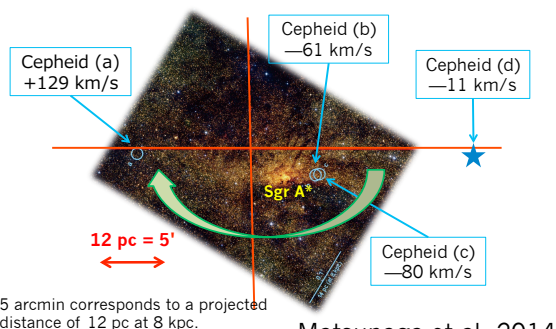
松永典之、山本遼、安井千香子、濱野哲史、小林尚人 (東京大学)
近藤壯平、池田優二 (京都産業大学)、辻本拓司 (国立天文台)
G.Bono(ローマ大学)、L.Inno(ESO)

研究内容



Velocities (V_{LSR}) of the Cepheids

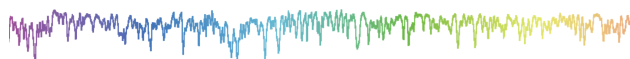
- Consistent with the rotation of the Nuclear Disk.



Matsunaga et al. 2014

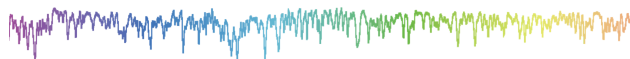
研究内容

- 銀河系の金属量分布
 - 銀河系中心の4つのセファイドの金属量
 - 恒星のアバundance解析
 - 有効温度、表面重力、金属量の決定
- 近赤外波長域での有効温度の決定方法
 - Line Depth Ratioを用いた方法
 - 10/13-17にドイツで行われた研究会で発表



近赤外波長域での有効温度の決定方法

LINE DEPTH RATIOを用いた 有効温度の決定

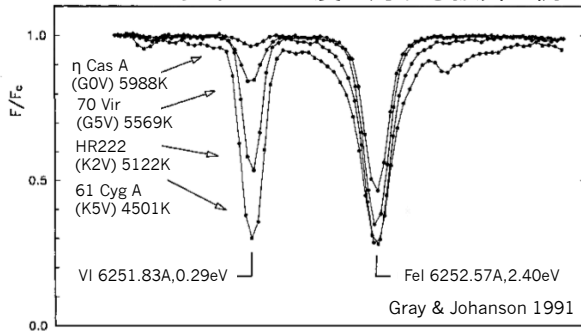


有効温度の導出方法

- Color-temperature
 - B-V, V-R, ...
- Excitation potential
 - (ex)FeIのアバundanceは全EPで合致
- Ionization balance
 - (ex)FeIとFeIIのアバundanceが合致
- Line-depth Ratios
 - 2本のラインの深さの比

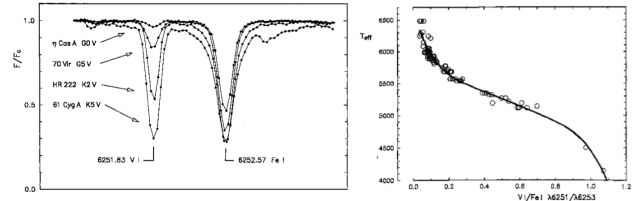
Line Depth Ratios

- VIとFeIのラインの温度に対する振舞の例



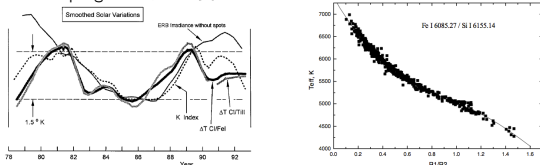
Line Depth Ratios

- 温度スケールの作成
 - 温度に敏感なラインのR1と、感度が小さいライン深さR2を測定し、比($r=R1/R2$)を取る。
 - 様々な温度の天体から「温度 vs r 」のplotを作成する。



先行研究

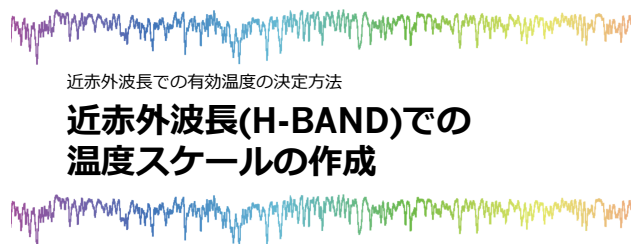
- Gray & Johanson 1991**
 - DwarfでVとFeのラインの比を見ている
- Sasselov & Lester 1990**
 - GiantでCとSiなどから温度スケールを作成
- Gray & Livingston 1997**
 - Cl, FeI, TiIIから太陽の1.5Kの変動を導出
- Kovtyukh+2000,2007**
 - セファイドなどのSupergiantで、30K程度の精度で温度決定
 - Supergiantで組成が変わらないラインでベアを組んでいる。



Line Depth Ratioの利点

- Color-temperature**
 - B-V, R-I, ...
 - reddeningの考慮が必要
- Excitation potential**
 - (ex)FeIのアバundanceは全EF
 - モデルスペクトルの影響がある。(log(gf)の不定性が大きい)
- Ionization balance**
 - (ex)FeIとFeIIのアバundanceが合致
- Line Depth Ratios**
 - 2本のラインの深さの比から作る経験則
 - reddeningやモデルの影響が無い。
 - セファイド等の変光する天体でもスペクトルだけから導出できる。

2014.11.29 - 12.01 連星・変光星・低温度星研究会



近赤外波長での有効温度の決定方法

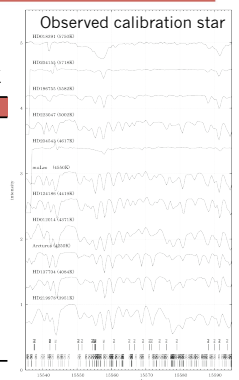
近赤外波長(H-BAND)での
温度スケールの作成

金属量標準星の観測

- Target
 - 12 calibration star
 - Temperature range : 4000 - 6000 K

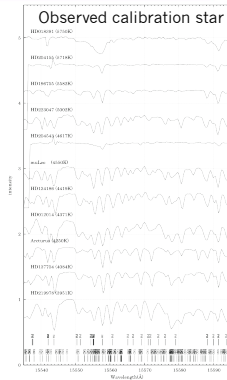
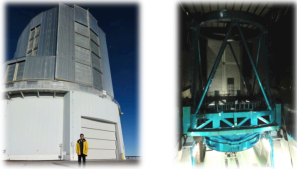
Object	Sp. Type	$T_{\text{eff}}[\text{K}]$	$\log(g)$	$[\text{Fe}/\text{H}]$
HD219978 ^{*2}	K4.5Ib	3951	0.57	0.22
HD137704 ^{*2}	K4III	4084	1.97	-0.32
Arcturus ^{*1}	K2III	4275	1.7	-0.47
HD012014 ^{*2}	K0Ib	4371	0.66	0.04
HD124186 ^{*2}	K4III	4419	2.66	0.3
μLeo ^{*1}	K2III	4550	2.1	0.3
HD204543 ^{*2}	G0	4617	1.31	-1.76
HD223047 ^{*2}	G5Ib	5002	1.26	0.04
HD196755 ^{*2}	G5IV+	5582	3.64	-0.02
HD204155 ^{*2}	G5	5718	3.93	-0.69
HD018391 ^{*2}	G0Ia	5750	1.2	-0.13
HD202447 ^{*2}	G0III+	6277	4.01	0.26

*1 Smith et al.2013, *2 Prugniel et al. 2011



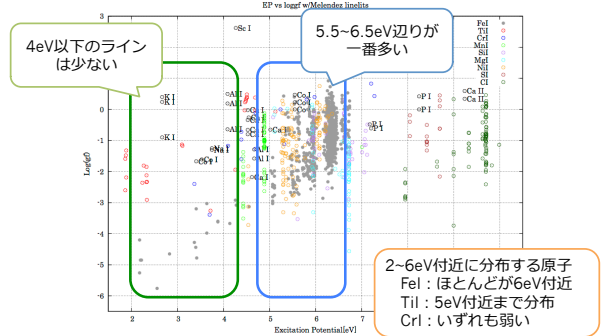
金属量標準星の観測

- Target
 - 12 calibration star
 - Temperature range : 4000 – 6000 K
- Instrument : SUBARU/IRCS
 - Wavelength : H-band (1.4-1.8 μ m)
 - Wavelength Resolution : R=20,000



Hバンドラインの励起ポテンシャル

- Melendez+1999で同定されているライン



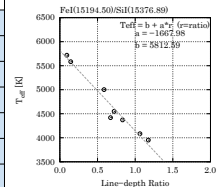
ラインセクション

- ラインの選択基準(Kovtyukh+1993)
 - 励起ポテンシャルが離れたライン同士のペア
 - 各ラインはできるだけ接近
 - 場所ごとのcontinuumの影響をなくす
 - 電離ラインは解析に含まない
 - 表面重量に敏感なので。
 - できるだけ同じ原子でペアを組む
 - アバundanceの温度依存性をなくす
 - 恒星進化や場所によって組成が同じなら別原子でも可
 - telluricラインが多い領域は解析範囲から除外
- 各ラインはMelendez+1999のHバンドラインリストから選択

ラインペアの調査

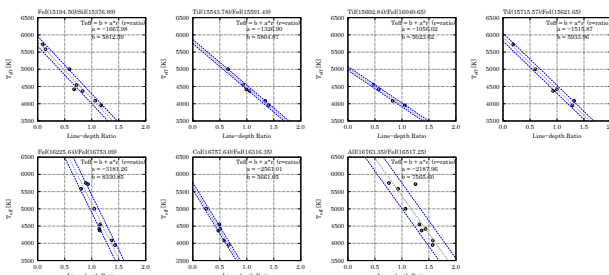
- ラインの深さはgaussian fitで測定
- 低励起ラインと高励起ラインの比を見る
 - 高励起ラインは30本程の候補 : FeI, SiI, MgI など
 - 低励起ラインは7本の候補 : FeI, TiI, CoI, AlI
- 温度はSmith et al.2013, Prugniel et al. 2011

λ [Å]	El.	E.P.[eV]	Log gf
15194.50	FeI	2.22	-4.85
15543.78	TiI	1.88	-1.48
15602.84	TiI	2.27	-1.81
15715.57	TiI	1.87	-1.59
16225.64	FeI	2.18	-5.26
16757.64	CoI	3.41	-1.67
16763.35	AlI	4.09	-0.64



温度スケールの作成

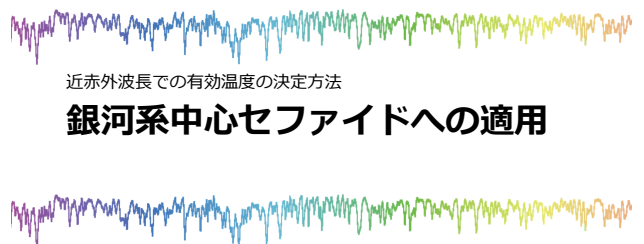
- 線形性が良い、近い範囲のラインでペアを組む
- 3500-6000Kに適應できる7つの線形関係



2014.11.29 – 12.01 連星・変光星・低温度星研究会

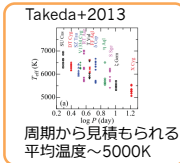
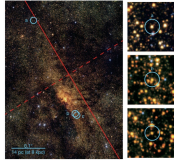
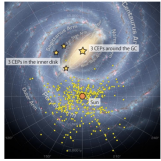
近赤外波長での有効温度の決定方法

銀河系中心セファイドへの適用



銀河系中心セファイドの分光観測

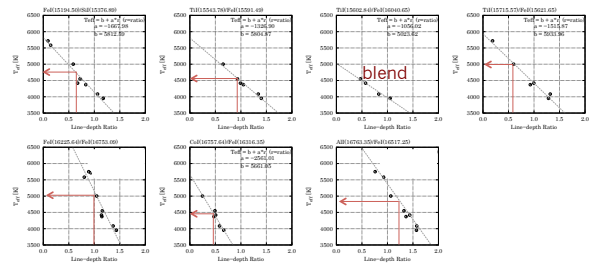
- 銀河系中心のセファイド4天体のIRCS分光
Matsunaga +2011



Object	RA(J2000.0)	Dec(J2000.0)	l(deg)	b(deg)	Period(days)
GCC-a	17:46:06.01	-28:46:55.1	0.186	-0.009	23.54
GCC-b	17:45:32.27	-29:02:55.2	-0.105	-0.043	19.96
GCC-c	17:45:30.89	-29:03:10.5	-0.112	-0.041	22.76
GCC-d	17:44:56.90	-29:13:33.7	-0.324	-0.026	18.84

First Application to Galactic Center Cepheids

- Target : cepheids in the Galactic Center
 - new discovered cepheids (Matsunaga et al. 2011)
 - highly reddening objects
- Derived temperature of GCC-c is ~4800K.



追加の温度スケール

- GCC-a,b,dはTiやCoが見えない
- 低励起側のラインを重複させ、高励起を追加

$r = R1 / R2$

Lambda1[Å]	EI	E.P[eV]	Lambda2[Å]	EI	E.P[eV]
15194.50FeI	2.22	15376.89SiI	6.22Teff = 5812.59 - 1667.98*r		
15543.78TiI	1.88	15591.49FeI	6.24Teff = 5804.87 - 1326.90*r		
15602.84TiI	2.27	16040.65FeI	5.87Teff = 5023.62 - 1056.02*r		
15715.57TiI	1.87	15621.65FeI	5.54Teff = 3933.96 - 1515.87*r		
16225.64FeI	2.18	16753.09FeI	6.38Teff = 8330.85 - 3181.26*r		
16757.64CoI	3.41	16316.35FeI	6.28Teff = 5661.05 - 2561.01*r		
16763.35AlI	4.09	16517.25FeI	6.29Teff = 7565.60 - 2187.96*r		

Lambda1[Å]	EI	E.P[eV]	Lambda2[Å]	EI	E.P[eV]
15194.50FeI	2.22	15207.54FeI	5.39Teff = 5889.09 - 2390.47*r		
16225.64FeI	2.18	15591.49FeI	6.24Teff = 6734.49 - 2664.74*r		
16225.64FeI	2.18	16517.25FeI	6.28Teff = 6606.87 - 2072.48*r		
16763.35AlI	4.09	16060.02SiI	5.95Teff = 6777.85 - 1964.10*r		

銀河系中心セファイドの温度

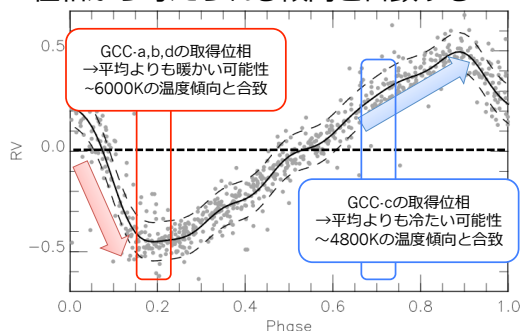
- 各位相の平均温度(Takeda+2013)
 - 周期から見積もられる平均温度：約5000K
- GCC-cの温度は6つの独立式から導出
- GCC-a,b,dの有効温度
 - 3つとも暖くなる位相でTiやCoは見えない。
 - 5000K以下/下限値以下になる場合はreject

	GCC-a	GCC-b	GCC-c	GCC-d
N (scales)	2*	5*	6	5*
Teff [K]	6100±140	6500±200	4800 ±100	6400±170

* 独立でない関係式も含む

位相と温度の関係

- 位相から考えられる傾向と合致する



まとめ

- Hバンドで初めてLine Depth Ratioを用いた温度スケールを作成。
 - 3500-6000Kで適用可能な7つの関係式を導出。
 - 7つ全てを用いると100K以下の決定精度。
- 銀河系中心セファイドの温度
 - GCC-cは6つの独立式から導出でき、100Kの精度。
 - 他はFeとAlのラインから温度を導出。
 - 位相から考えられる温度の傾向とは合っている。
- 今後の展開
 - 銀河系中心セファイドの金属量導出
 - 温度はline-depth ratio、表面重力は周期から。