

赤外線高分散分光器「WINERED」による 晩期型星の研究

近藤 荘平^a

Collaborators

池田優二^{b,a}, 松永典之^{c,a}, 小林尚人^{c,a}, 福江慧^{c,a},
京都産業大学&東京大学
赤外線高分散分光ラボWINERED 開発グループ

a.赤外線高分散分光ラボ, b.フォトコーティング, c.東京大学

1. Introduction

What is WINERED ?

WINERED : Warm INfrared Echelle spectrograph to Realize Extreme Dispersion
high quality spectra with high-resolution

Wavelength: 0.9-1.35 μ m
efficiency (optics&array)~50%

R=28,300
(developing R=100,000 High-Resolution Mode)

■Status

- First light on May 23 2012
- サイエンス観測を京都産業大学1.3m 荒木望遠鏡で実施
- 様々なタイプの天体観測を進めている
本発表 LBV:水本、DIB:濱野



1. Introduction

Science cases on various types stars

1) Late type stars

基本解析

- WINERED波長 (z'YJ-bands) によるアバundance解析の確立 (kondo+ in prep.)
- WINERED波長のline listの作成 (Ikeda+ in prep.)

サイエンスへの応用

- Galactic Inner Cluster
- RSG/YSG
- Cepheid etc

2) Early type stars

- LBV (Mizumoto's talk)
- HAeBe
- ApAm

3) Interstellar

- DIB survey in zYJ-bands (Hamano's talk; Hamano+2015)

1. Introduction

晩期型星のアバundance研究における NIR観測の利点

1) 明るさ

- K, M types stars は近赤外で明るい
Especially, flux is peak at 1 μ m for M type star
 $\lambda_{max} \cdot T \sim 3 \times 10^5$ [μ m · T]

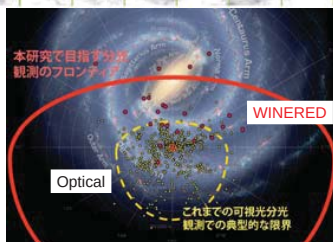
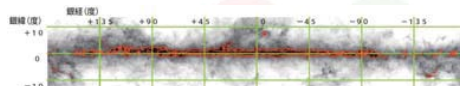
2) ダスト減光

- 可視光よりもダスト減光を受けにくい
- 銀河系の内縁部
- 星形成領域

1. Introduction

Sensitively of optical/NIR

- $A_v < 5$ optical halo&nearby disk (V=18)
- $5 < A_v < 15$ YJ-bands best for disk (WINEREDw/4m, J=16)
- $15 < A_v$ H-band bulge/Galactic Center (APOGEE, H=13)



1. Introduction

WINERED観測の利点

A) 高い感度

- J-band~13 mag w/1.3m Telescope (S/N=30, IT=8h)
高いThroughput, 低ノイズで実現

B) 広い波長領域域

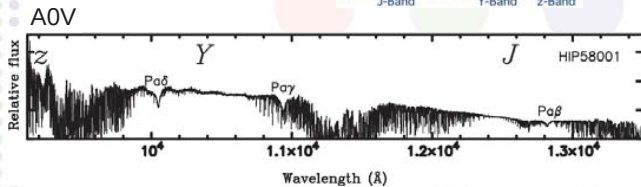
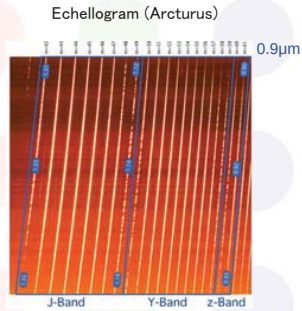
- ~4,500 Å を一度に取得 (z', Y, J-bands)
- 多くのラインを同時に安定的に取得
- 現在駆動中の近赤外高分散分光器として、
最も広い波長域をカバー (except for GIANO)

C) z'YJ-band波長

- 晩期型星で最も分子ラインに邪魔されない波長域

1. Introduction

- 0.9-1.35 μm (z', Y, J-bands) の 4,500 Å の波長を一回の露出でカバー



1. Introduction

WINERED観測の利点

A) 高い感度

J-band ~13 mag w/1.3m Telescope (S/N=30, IT=8h)
高いThroughput, 低ノイズで実現

B) 広い波長領域

- ~4,500 Å を一度に取得 (z', Y, J-bands)
- 多くのラインを同時に安定的に取得
- 現在駆動中の近赤外高分散分光器として、最も広い波長域をカバー (except for GIANO)

C) z'YJ-band波長

- 晩期型星で最も分子ラインに邪魔されない波長域

1. Introduction

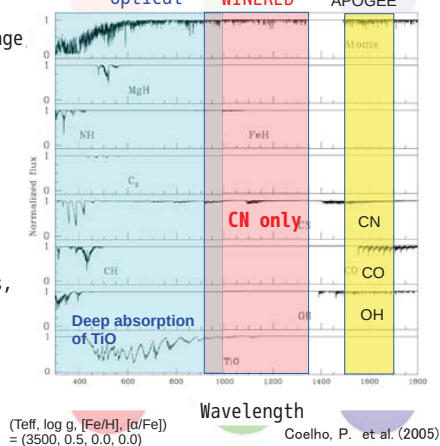
- Atomic & Molecule model absorption lines for M type stars

- Optical spectra range
- Deep TiO-bands

- WINERED:
- CN

- H-band (APOGEE):
- CN, CO, and OH

- For late type stars, there are less molecular lines in WINERED wavelength than other



(Teff, log g, [Fe/H], α [Fe]) = (3500, 0.5, 0.0, 0.0)

Coelho, P. et al. (2005)

1. Introduction

本研究の目的

- 利点があるにも関わらず、近赤外の高分散分光観測にもとづく、恒星アバUNDANSの研究は可視光に比べると非常に限られている

e.g., Carr+2000 (K-band), Origlia & Rich 2004, Smith+2013 (H-band), Gazak+2014 (J-band)
(but, many studies based on APOGEE SDSS will progress...)

原因として:

- ・ラインデータの不足、不正確さ
- ・恒星パラメータの決定方法の未確立

WINEREDを用いた恒星の化学組成研究を進めるため、

- ・アバUNDANS測定方法の確立
- ・ラインリストの整備 (and make/update line list)

→その後、すべてのスペクトルタイプへ拡張
→サイエンスの目的天体のアバUNDANSの導出へ

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

観測

Target : Arcturus (α Boo; HD 124897), μ Leo (HD 85503)
Date : 2013.02.23

観測天体の情報

	Arcturus	μ Leo	HIP76267
category	target	target	telluric standard
spectral type	K1.5III	K2III	A0V
RA(2000)	14:15:39.7	09:52:45.8	15:34:41.3
DEC(2000)	+19:10:56.7	+26:00:25.0	+26:32:52.9
J mag	-2.25	1.93	2.25
slit		1" .6 ($\lambda / \Delta \lambda = 28,300$)	
Airmass (sec z)	1.27-1.28	1.22-1.26	1.42-1.43
I.T.(sec)	20	240	200

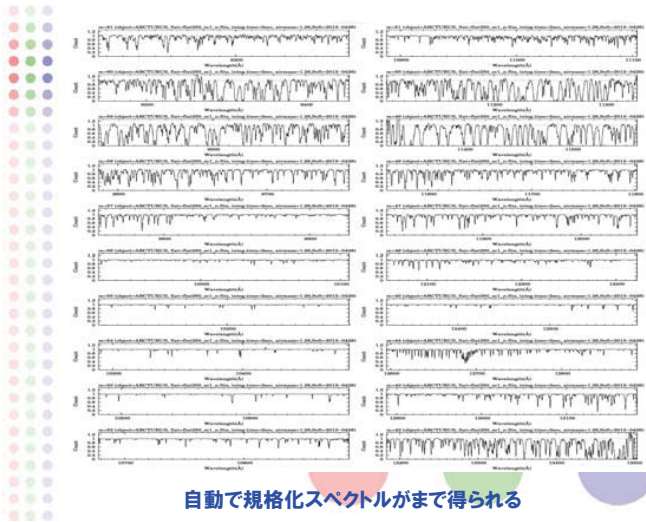
2. Fe abundance of K type stars with WINERED

Data reduction

- Raw data → 1次元スペクトル (IR standard procedures)
- PyRAFベースのpipelineを準備
- sky subtraction (subtraction of two frames)
- flat fielding
- aperture extraction
- wavelength calibration

■ 大気吸収線の除去

- telluric standard star spectra (HIP76267; A1IV)で割る (自動処理を目指している)



自動で規格化スペクトルがまで得られる

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

Stellar model

- Model atmosphere : ATLAS9(Kurucz 1993)
- Spectrum synthesis:SPT00L(Takeda+ 1995, 2001)

Model parameters

- Smith+(2013) (abundance analysis on H-band)

Object	log T _{eff}	log g	global metallicity
Arcturus	4275	1.70	-0.4
μLeo	4550	2.10	+0.3

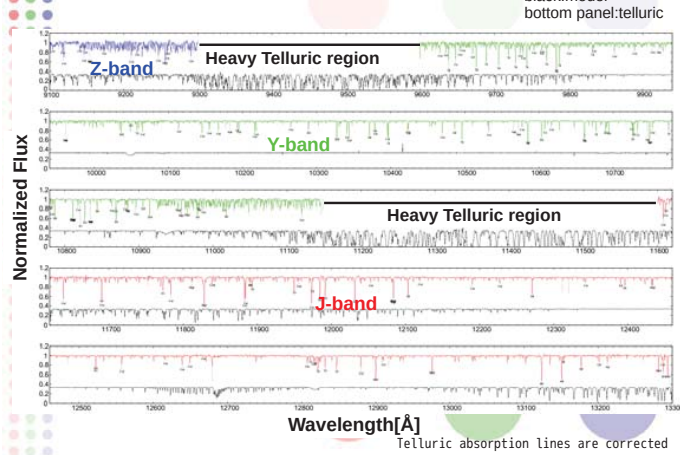
They estimate log T, log g from photometric data

Line list

- Atom:Melendez & Barbuy 1999 (>1μm)
太陽スペクトルで振動子強度 log gf を校正
- Molecule:Kurucz

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

Overall spectra (Arcturus)



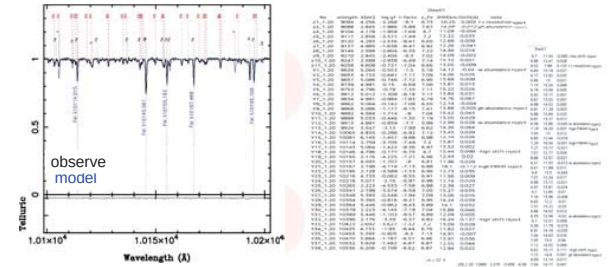
color:obs
black:model
bottom panel:telluric

Telluric absorption lines are corrected

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

FeI line selection

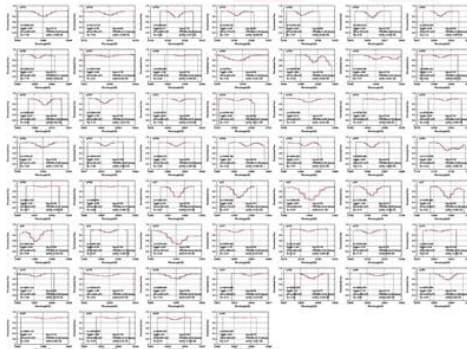
- 観測とモデルスペクトルを比較, 約50 FeI本のラインを選択



- マイクロ乱流 ξ をライン強度, $X = \log(gf) - E.P. * (5040/0.86 * T_{eff})$ に依存性が無いよう選択
log gf : 振動子強度, E.P. : 励起エネルギー (in eV)
- SPT00Lのmpfitを用い、各ラインの log ε (Fe)などを推定

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

Fitting Results

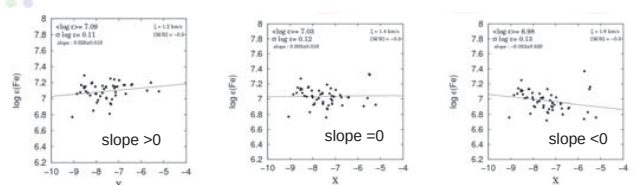


- 目で見て悪いフィットを除く (ブレンドが大きい、コンティニュームがズれている)

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

ξ & log ε (Fe) : Arcturus

- ξ = 1.2 km/s
- ξ = 1.4 km/s
- ξ = 1.6 km/s



- ライン強度 X に依存しない ξ = 1.4 km/s を選択
- 同時に log ε (Fe) = 7.03 ([Fe/H] = -0.47) と決定

2. Fe abundance of K type stars with WINERED

Consistency with estimated values

■ $\log \epsilon(\text{Fe})$ 過去の結果と誤差の範囲で一致
 $\log \epsilon(\text{Fe})$ of μLeo is estimated with the same way

	Arcturus	μLeo
This work	$7.03 \pm 0.02 \pm 0.04$	$7.74 \pm 0.02 \pm 0.07$
Smith+2013 (H-band)	$6.98 \pm 0.01 \pm 0.07$	$7.76 \pm 0.03 \pm 0.07$
Jofre+2014 (optical)	6.97 ± 0.01	7.76 ± 0.02
other literature	6.9-7.1	7.6-7.9

WINEREDスペクトルで可視光レベルの精度で $\log \epsilon(\text{Fe})$ を導出できる

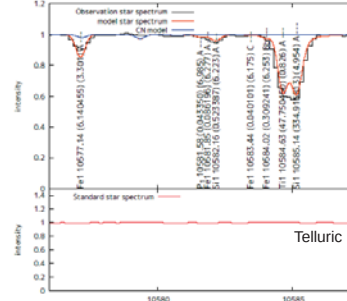
Kondo, Ikeda et al in prep.

3. Lines list of zYJ-bands with WINERED

Line list for WINERED

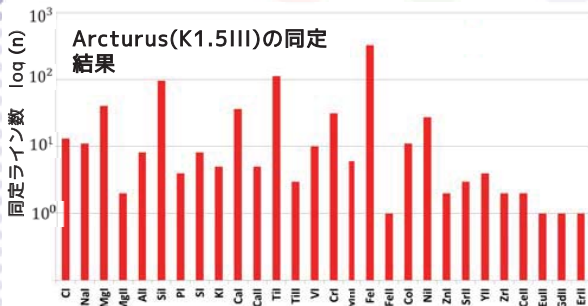
- 天体: G型 ϵLeo (G2II), K型 Arcturus(K2III)
- 方法: モデルスペクトルと観測スペクトルを直接比較し、同定
- ライン同定は終了。最終確認中。

Arcturusの例



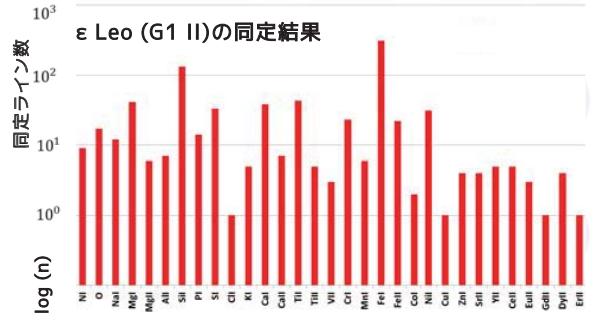
3. Lines list of zYJ-bands with WINERED

Line list of Arcturus



3. Lines list of zYJ-bands with WINERED

Line list of ϵLeo



3. Lines list of zYJ-bands with WINERED

他のラインリストとの比較

■ 0.91~1.33 μm の波長範囲において ARCTURUS 775本、 ϵLeo 900本のラインを同定

	This work	Hinkle+ (1995)
総本数	755	582
分解能(R)	28,300	100,000
装置	WINERED	フォーリエ分光器

	This work	Sharon+ (2010)
総本数 @9650-11150Å	447	175 (401)
分解能(R)	28,300	25,000
装置	ARAKI/WINERED	KECK/NIRSPEC

同じ波長域で他のラインリストよりも多くのラインを同定

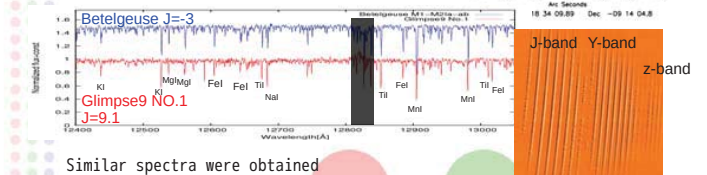
Ikeda et al in prep.

4. Inner Cluster observation with WINERED

Galactic Inner Cluster

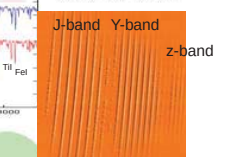
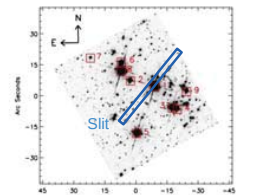
- Observation
 - Object: Glimpse9 No.1 M1Ia J=9.1 mag
 - AKs= 1.6 \pm 0.2 inner Galaxy Cluster (d=4.2kpc)
 - I.T.: 1200sec (=4 \times 300 sec)
 - Date 2014 8/20

■ Obtained spectrum
 We obtained high quality spectra (S/N \sim 100)



Similar spectra were obtained (both are M type Super Giants) アバダンス解析をこれから進める

HST NICMOS (H-band)



The sky bias was removed with the subtraction of a pair of A-B frames.

6. Summary and Future

Summary and Future

- WINEREDで可視光で暗い晩期型星の化学組成の研究を進めることに大きな利点がある
- K型の金属標準星でWINERED波長域でマイクロ乱流の値を上手く求め、FeのアバUNDANSを推定
 - ・ 推定した $\log \epsilon(\text{Fe})$ は可視光、H-bandの結果と一致
- ラインリストを作成中
 - ・ G型、K型はほぼ終了段階
 - ・ 他の過去の研究よりも多くのラインを同定できている
 - ・ 今後は他のスペクトルタイプへ
- サイエンス目的天体(e.g., 赤色超巨星, セファイド)の観測から多くの元素(α 元素、Fe族、s-process, r-processなど)のアバUNDANSから星の進化、銀河系の構造と進化の議論へ