

2018.02.24-25
天体スペクトル研究会@ノートルダム清心女子大学

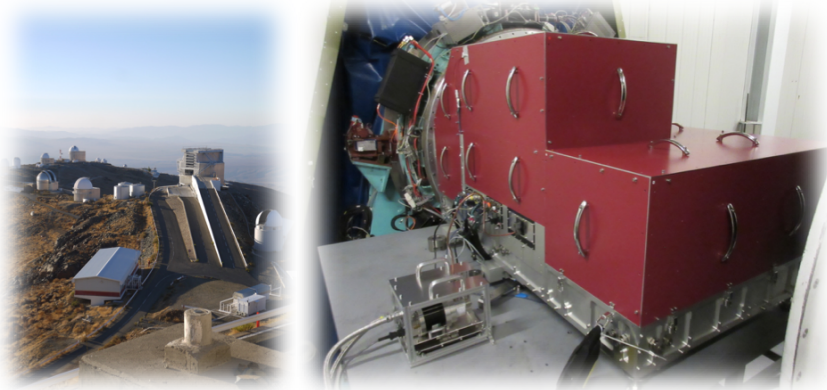
近赤外線高分散分光器 WINERED¹ を用いた z' , Y , J バンドにおける 晩期型星の化学組成解析



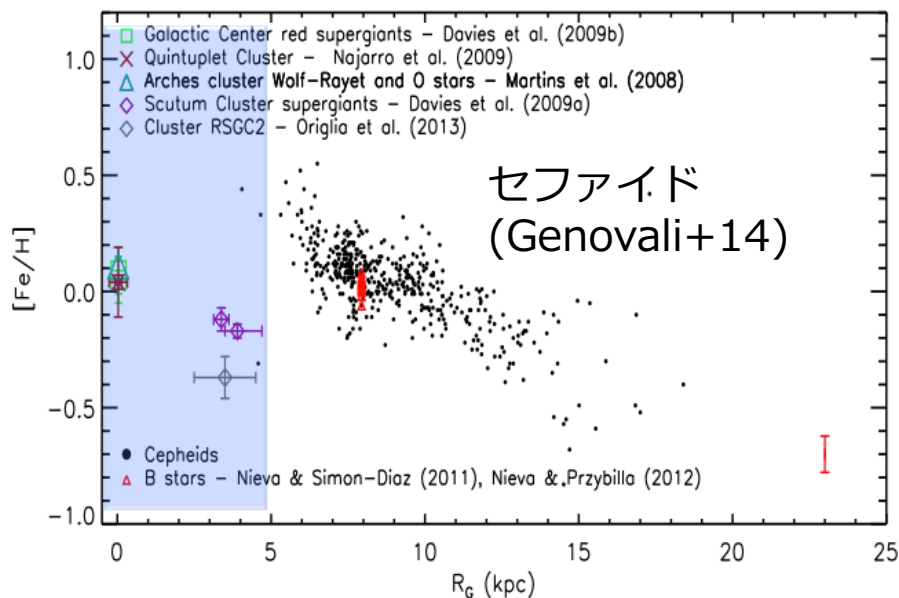
福江慧 (京都産業大学)

松永典之, 谷口大輔, 小林尚人 (東京大学),
近藤荘平, 鮫島寛明, 濱野哲史, 河北秀世 (京都産業大学),
池田優二 (京都産業大学/フォトコーティング),
辻本拓司, 安井千香子 (国立天文台),
G.Bono (ローマ大学), L.Inno (マックスプランク天文学研究所)
WINERED 開発チーム

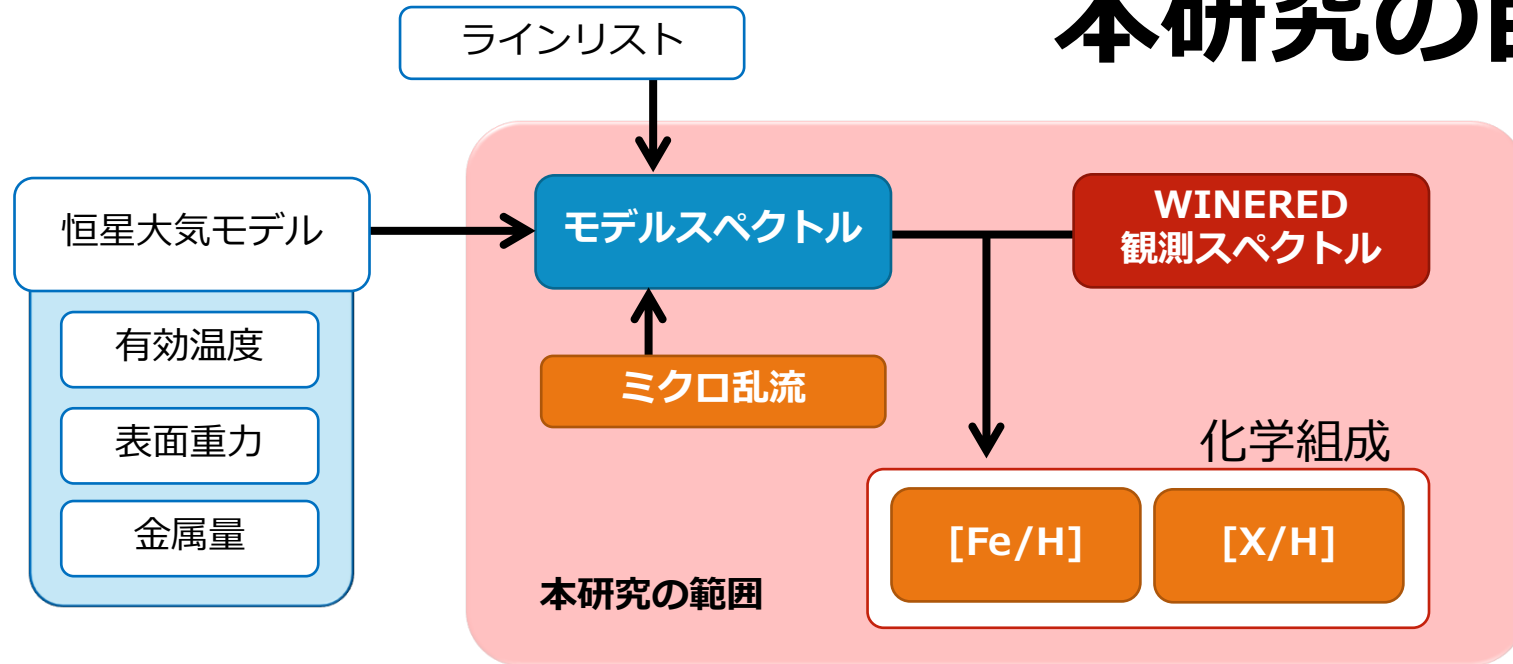
WINEREDによる銀河系の変光星分光サーベイ



- WINEREDは京都産業大学からチリのLaSilla観測所へ移設し、様々な天体の分光観測を行っている。
- 銀河系中心方向等に位置するセファイド型変光星も観測対象。
- 距離指標でもあるセファイドの組成解析結果は、銀河系の金属量勾配の調査に必要不可欠。
- 変光星の組成解析のために標準的な天体を用いて組成解析方法を確立する。



本研究の目的



• z',Y,Jバンドでの組成解析の妥当性の検証

- z',Y,J(0.9-1.35 μm)バンドは原子ラインが豊富で組成解析に最適
- モデルスペクトルのパラメータを最適化
 - ミクロ乱流は波長帯やツールで導出方法が様々 (e.g., Jofre+14)
 - →この波長帯での最適な方法を検証する
- 各組成が良く調べられている天体を解析し、他文献の組成と比較する

観測

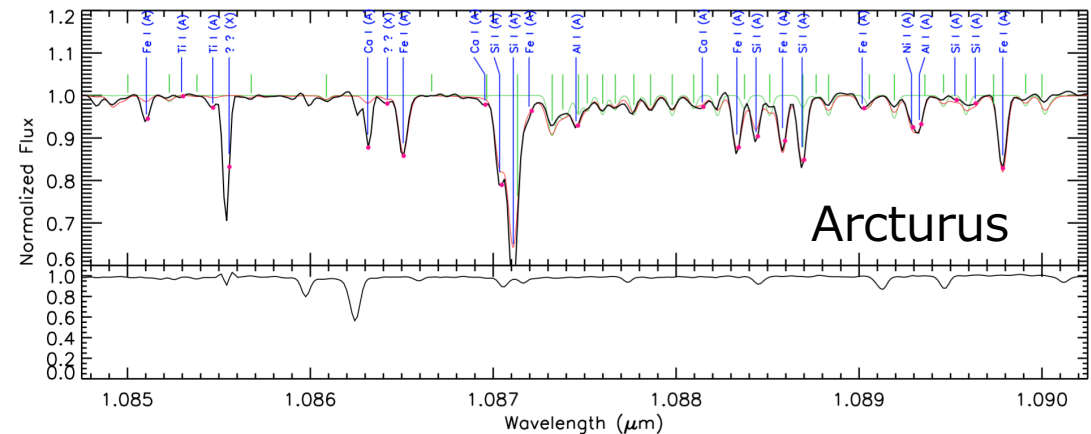
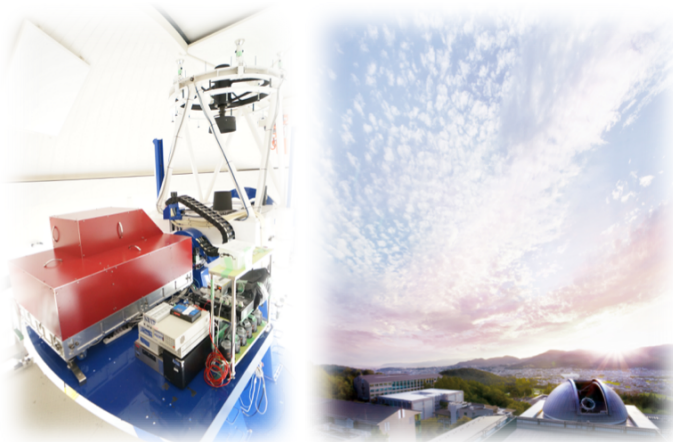
- 観測装置

望遠鏡(口径)	荒木望遠鏡(1.3m) @京都産業大学
分光装置	WINERED
観測波長	z, Y, J バンド (0.9-1.35 μ m)
波長分解能($\lambda/\Delta\lambda$)	28,000

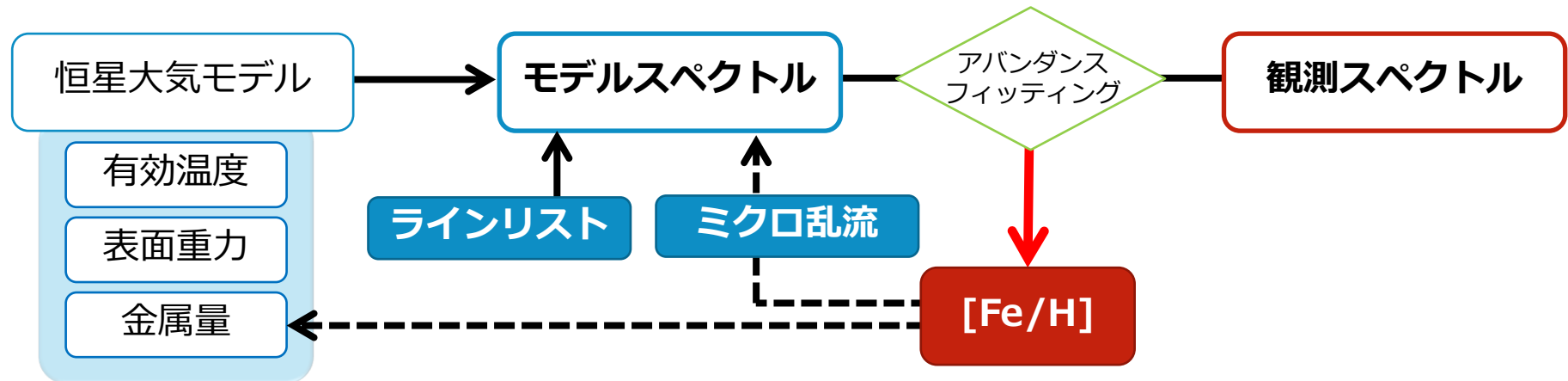
- 観測天体(化学組成が既知である天体を選択)

(*1)Smith+13, (*2)Prugniel+11

天体名	タイプ	T_{eff} (K)	$\log(g)$ (dex)	[Fe/H] (dex)	観測日	S/N
Arcturus* ¹	K1.5III	4275	1.7	-0.4	2013.02.23	~300
μ Leo* ¹	K2III	4550	2.1	0.3	2013.02.23	~200
ϵ Leo* ²	G1II	5398	2.02	-0.06	2014.01.23	~300



ミクロ乱流と鉄のアバんだンスの決定



- **恒星大気モデル作成 : SPTOOL (Y.Takeda)**
 - 有効温度、表面重力、金属量 : 文献値で固定
 - ATLAS9をベースにしたLTEモデル
- **モデルスペクトル作成とフィッティング : MPFIT (Takeda+95)**
 - **ミクロ乱流 : ライン強度指標Xから導出(後述)**
 - 原子ラインリスト : 以下の2つを比べる
 - **VALD3 : The Vienna Atomic Line Database (Ryabchikova+15)**
 - **MB99 : Melendez & Barbuy (1999)**
 - 分子ラインリスト : VALD3からCO,CN,OHを採用

ミクロ乱流と鉄のアバんだンスの決定

成長曲線の例(Gray)

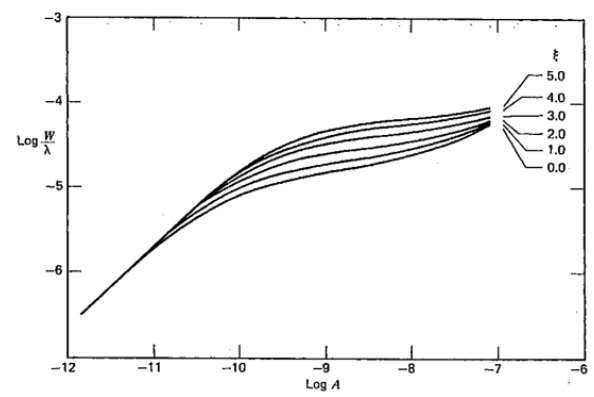
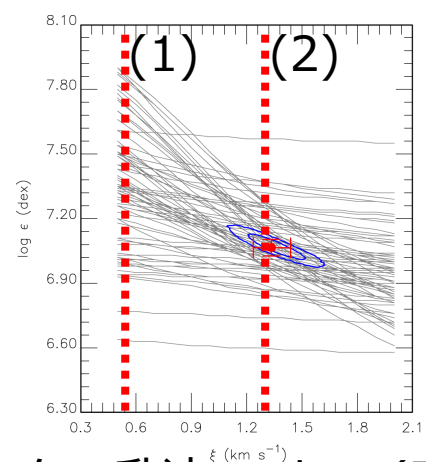
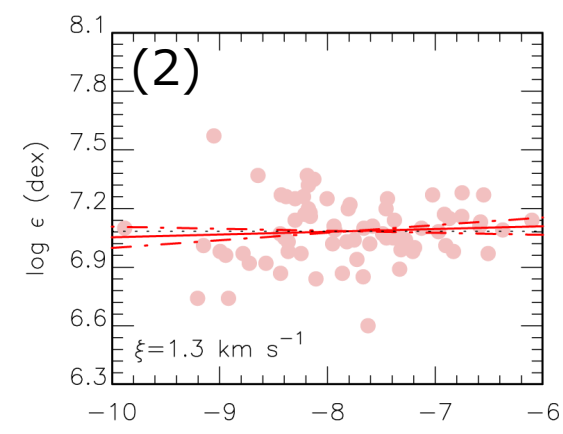
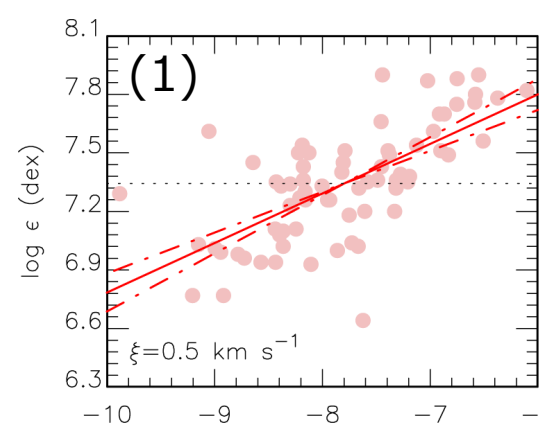


Fig. 14.4. Microturbulence delays saturation by spreading the absorption over a wider spectral band. Values of velocity dispersion, ξ , for an assumed Gaussian velocity distribution are in kilometers per second.

- 強い吸収線のほうが、ミクロ乱流 ξ による鉄のアバんだンス($\log \epsilon(\text{Fe})$) の変化が大きい。
- ライン強度指標 X (Gratton+06)
 - $X = \log(gf) - EP \times 5040 / (0.86 \times T_{\text{eff}})$
- Xに対してアバんだンスのトレンドがなくなるようなミクロ乱流を探す。



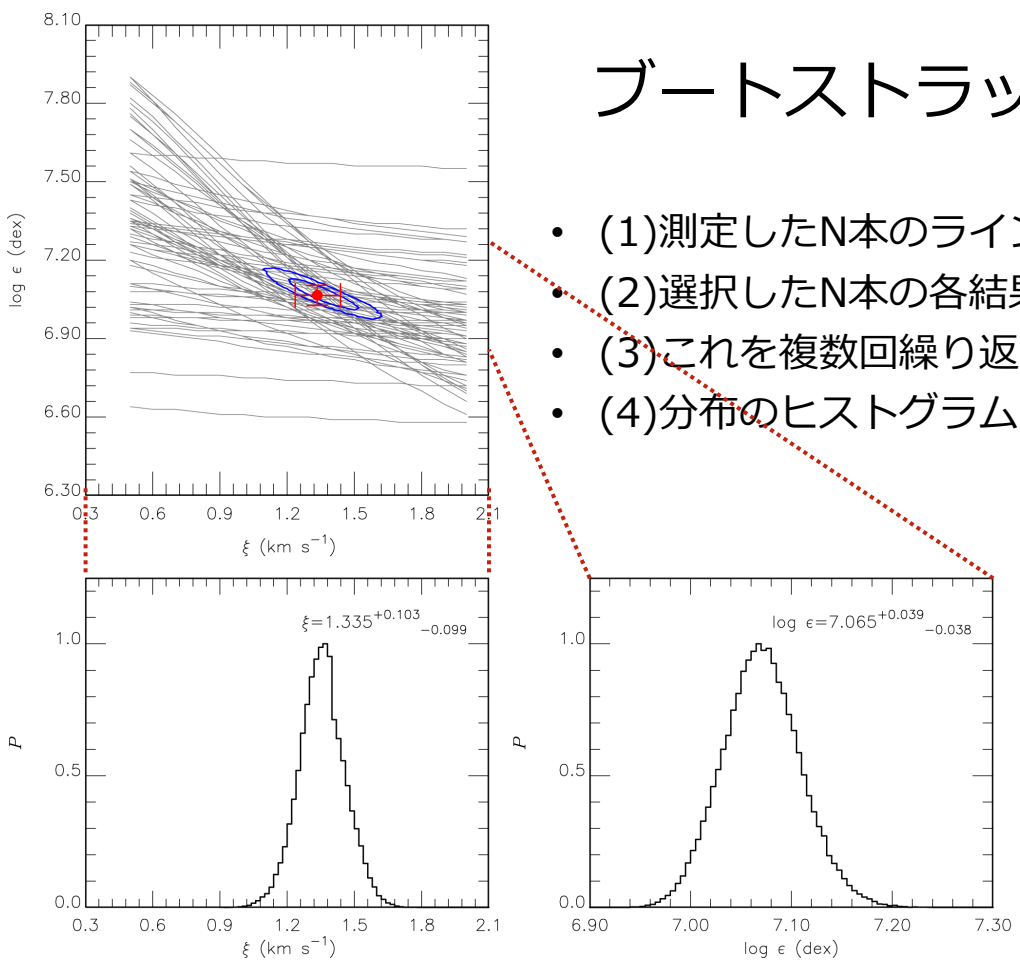
ミクロ乱流 vs $\log \epsilon(\text{Fe})$



ライン強度指標X vs $\log \epsilon(\text{Fe})$

ミクロ乱流と鉄のアバんだンスの決定

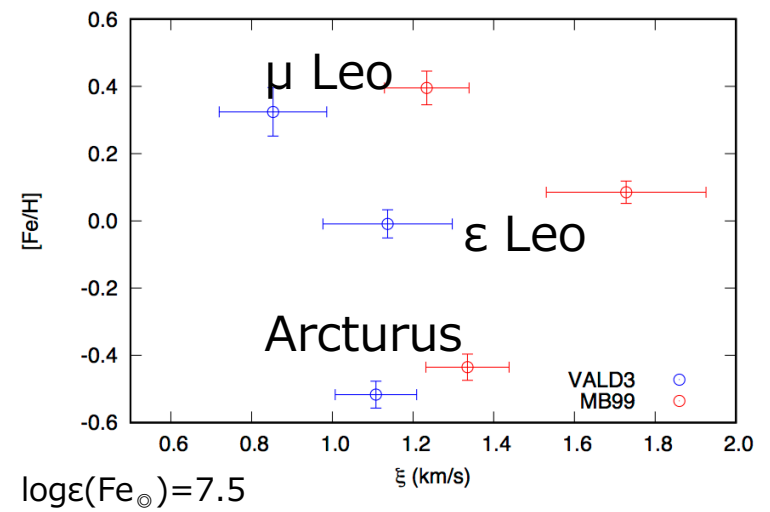
Arcturus



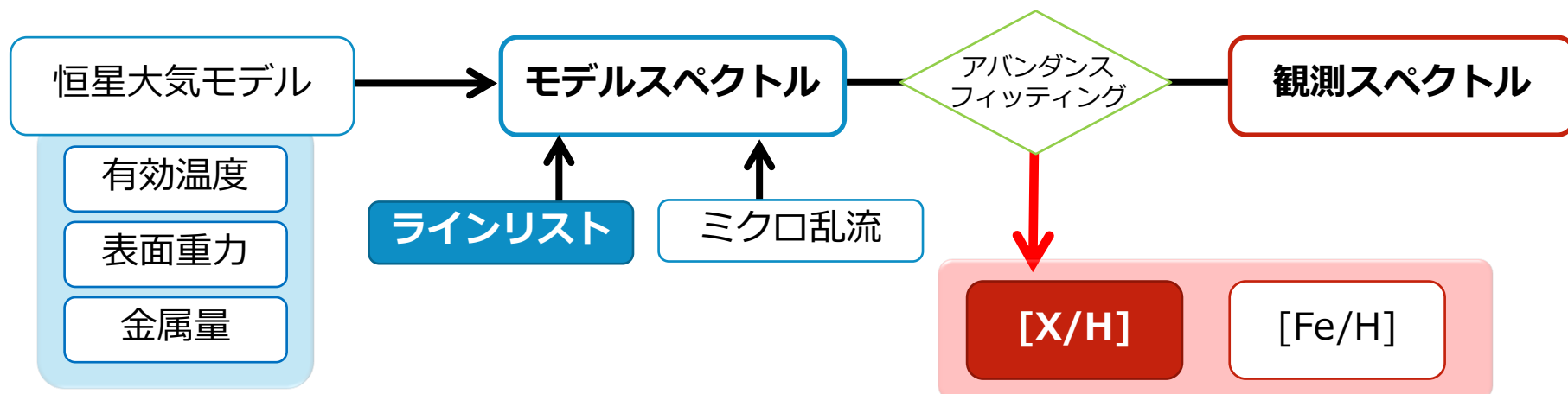
ブートストラップ法を用いたミクロ乱流の導出

モンテカルロ法的一种

- (1)測定したN本のラインから、重複を許してN本を選択。
- (2)選択したN本の各結果とライン強度Xから、 $(\xi, \log \epsilon(\text{Fe}))$ のペアが決まる。
- (3)これを複数回繰り返すことで、 ξ と $\log \epsilon(\text{Fe})$ の推定値の標本分布が求まる。
- (4)分布のヒストグラムから ξ と $\log \epsilon(\text{Fe})$ を決定する。



各組成解析手順



Target	Arcturus	μ Leo	ϵ Leo
T_{eff} (K)	4275	4550	5398
$\log(g)$ (dex)	1.7	2.1	2.02
[Fe/H] (dex)	-0.4	0.3	-0.06
ξ_{VALD3} (km/s)	1.1	0.9	1.1
ξ_{MB99} (km/s)	1.3	1.2	1.7

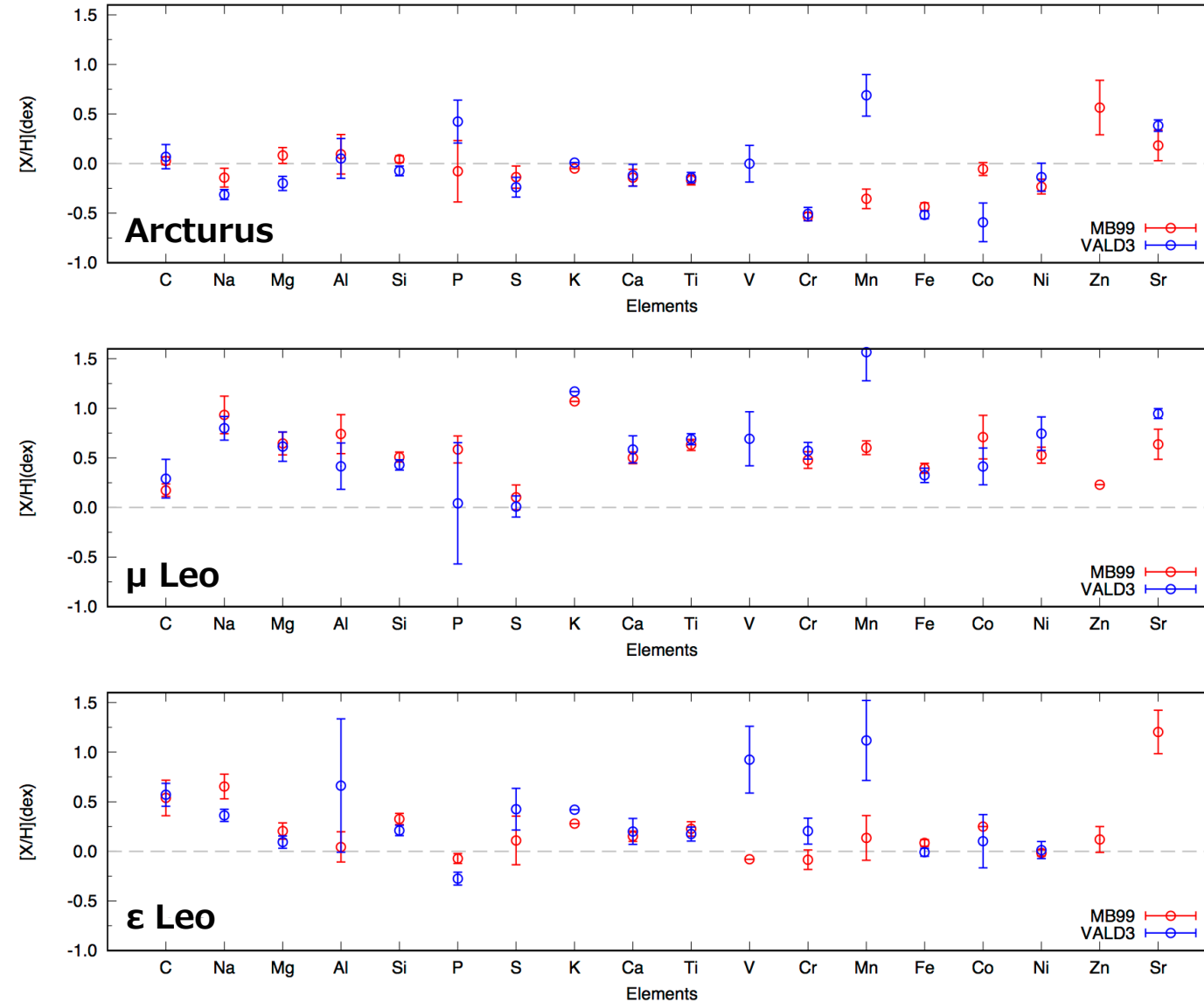
- **(1)モデルパラメータ**
 - 鉄から決定したマイクロ乱流を用いる
- **(2)測定する吸収線**
 - Arcturusのスペクトルを用いて、VALD3のリスト同定したライン(Ikeda+ in prep.)
 - 1%以上の深さの目視で同定できる吸収線。
- **(3)測定する原子：Feも含めて18種類**
 - C, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Sr
- **(4)用いるラインリスト**
 - VALD3とMB99の2つのラインリストで比較。

導出結果⁹

太陽組成はAsplund+09を仮定

フィット本数

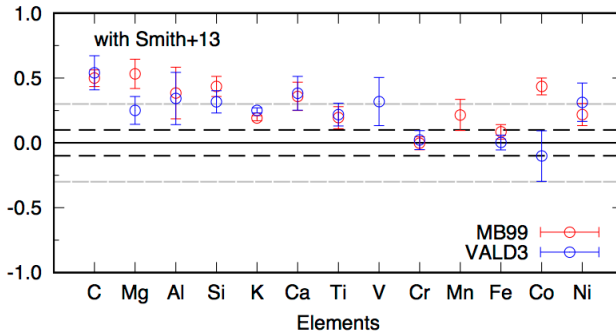
	Arcturus		μ Leo		ε Leo	
	MB99	VALD3	MB99	VALD3	MB99	VALD3
C	5	6	5	7	5	7
Na	5	8	5	8	5	8
Mg	21	26	18	22	21	27
Al	5	5	6	6	4	3
Si	58	68	56	62	52	60
P	4	5	4	5	5	2
S	3	6	3	6	3	6
K	1	1	1	1	1	1
Ca	18	24	18	23	14	20
Ti	37	87	36	85	25	57
V	0	12	0	9	1	7
Cr	16	24	15	26	13	22
Mn	4	6	4	6	2	3
Fe	71	101	71	99	69	94
Co	2	6	2	8	1	6
Ni	13	16	12	15	11	12
Zn	2	0	1	0	2	0
Sr	3	3	3	3	3	3



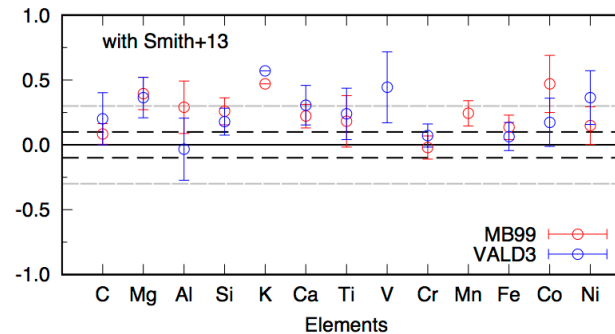
- Fe, Ti, Siは30~100本近いラインから導出。
- Al, P, S, K, Zn, Srは数本

文献値との比較

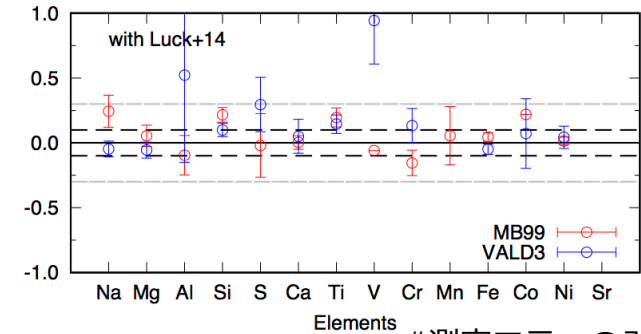
Arcturus (K型)



μ Leo (K型)



ϵ Leo (G型)



#測定エラーのみ

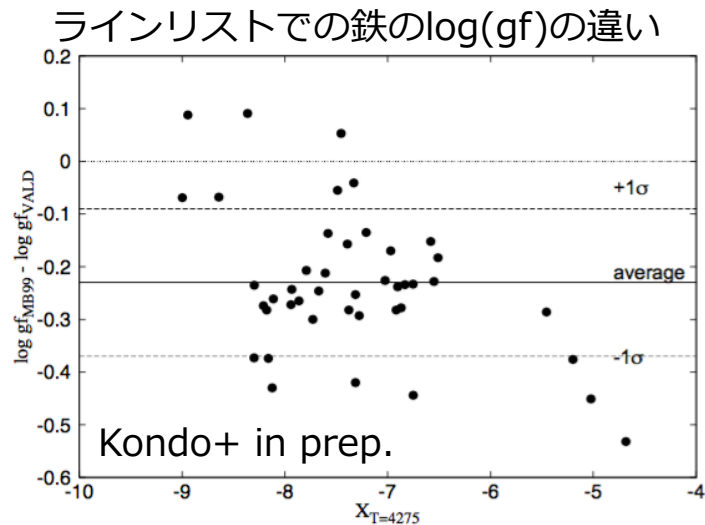
観測値 - 文献値 (dex)

観測値 - 文献値 (dex)

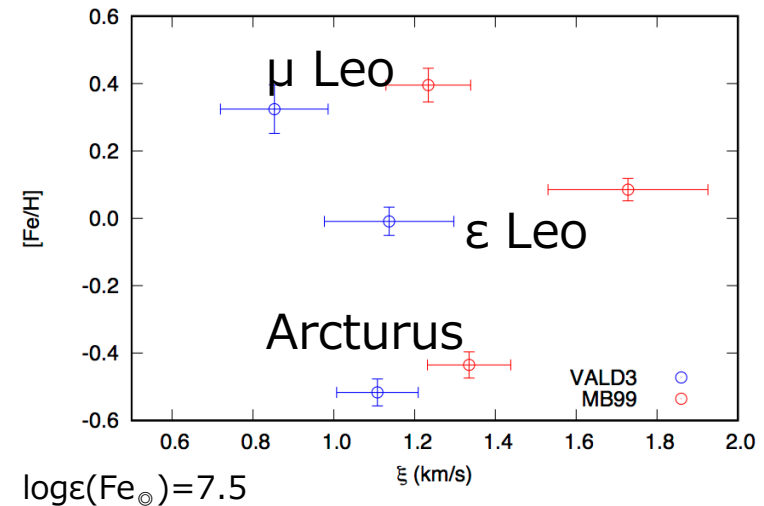
比較結果

- Fe, Crは文献値と0.1dex程度で合致。
- K型の2天体では、文献値よりも大きめの見積もりが多い。
 - MnはVALD3では1.0dex以上ずれているので範囲外。(原因は後述)
- G型の ϵ LeoはMB99での結果は0.1dex程度で合致する原子が多い。

ラインリストによる違い



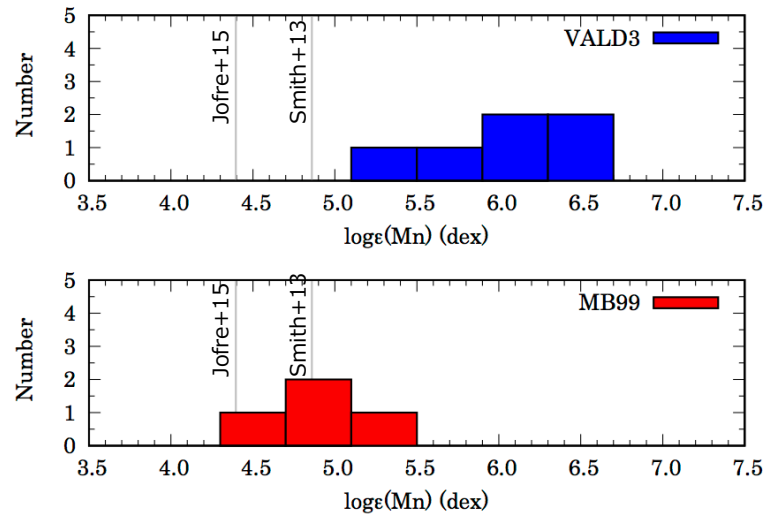
導出された ξ と鉄のアバundance



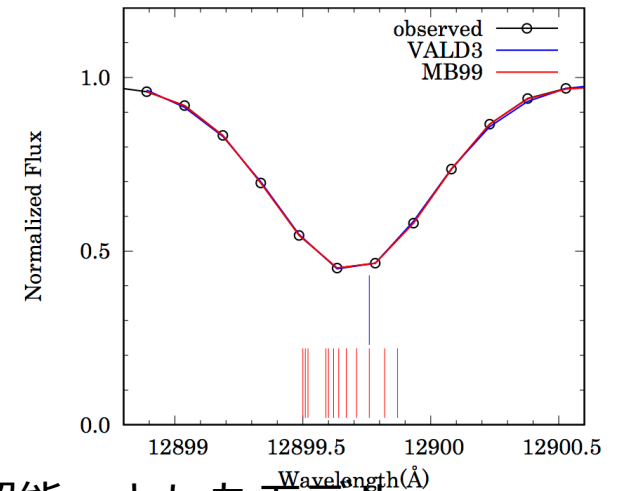
- MB99は太陽スペクトルから振動子強度 $\log(gf)$ を校正
 - 全体的にMB99を用いた結果の方が導出値の分散が小さい。
 - 太陽と同じG型の ε Leoは、MB99を用いて導出した組成が文献値に合致。
- →MB99から導出したミクロ乱流の信頼性が高い。
- →組成解析の精度向上には $\log(gf)$ の校正が重要。

マンガンの結果について

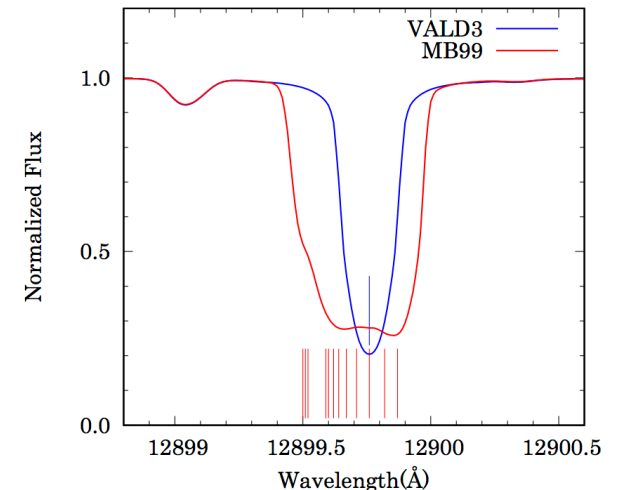
Mnの導出結果(Arcturus)



モデルスペクトルフィット結果



分解能 ∞ としたモデル



- Mnはラインリストによって、1dex近く差がある。
- フィッティングしたプロファイル
 - VALD3では1本のラインから形成
 - MB99は複数本のラインから形成
 - ハイパーファインストラクチャーを考慮(Melendez+99)
- →MnはMB99でのみ正しい組成が導出できる。

まとめ・今後の展開

- **標準的な3天体のz'YJバンドの組成解析**
 - 統計的な手法から、ミクロ乱流を導出することができた。
 - 18種類の元素の組成を導出した。
- **ラインの振動子強度の校正や微細構造などの考慮の重要度**
 - K型星は文献値よりもやや大きめに見積もった原子が多い。
 - G型星はMB99での結果は文献値に0.1dex程度で合致
 - Mnについては超微細構造を考慮したMB99でのみ組成が導出できる。
- **今後の展開**
 - 測定するラインの基準の見直し
 - 振動子強度の校正による組成解析の精度向上
 - 他のレア元素の探査と組成解析
 - 変光星などへの適用