

2004年度 修士論文

セファイド変光星を含む中質量星の進化と
その組成の分光学的研究

大阪教育大学大学院 教育学研究科
総合基礎科学専攻 自然研究コース
宇宙科学研究室 039613 大西 高司
2005年1月14日

概要

本研究は、インターネットで公開されているアーカイブデータの中から、F型晩期からG型にかけての巨星のスペクトルデータを取り寄せ、それらの組成解析を行ったものである。このような恒星は、赤色巨星分枝(RGB)からBlue-Loopと呼ばれる段階にいたる恒星で、中心でHeが燃焼している段階であると考えられる。これらは、その進化の過程でFirst-Dredge upと呼ばれる組成の変化を経験していると考えられている。C,N,Oは、このような進化の段階の恒星で起こると考えられる汲み上げ効果(Dredge up)の検証を行うために重要な元素である。具体的に汲み上げの効果によると思われる表面組成の変化には以下のようなものがある。

1. ^{14}N の増加
2. ^{12}C の減少
3. Na の増加

これらの組成の変化は、CNO反応による水素燃焼生成物が、表面の対流層の発達によって表面にくみ上げられたものであると考えられる。しかし恒星の進化には、Dredge-up, Extra-Mixing, CBP (Cool Bottom Processing) 等の不確定性が多くあり、理論による恒星進化の計算結果を検証するためにも、観測と理論の比較は重要である。よって本研究では、UVES、ELODIEなどの良質な公開データを用いて、F,G型巨星の組成解析を行い、理論との比較を行った。

また、恒星の組成解析は主に太陽との比較によって論じられる。しかし、本研究で扱うような超巨星・巨星はその大気構造が太陽とは著しく異なるために様々な不確定性が存在すると考えられる。そこで、巨星の組成解析を行う前に、古典的セファイド変光星である Cep の解析を行った。Cepは、その直径を変化させ周期的に光度、温度を変化させる恒星である。この各位相ごとに解析を行うことによって、各位相ごとの組成は一定であることから、大気パラメータを決定できると考えられる。この大気パラメータの決定法についての考察は第三章で詳しく述べる。

目次

1	Introduction	4
1.1	恒星の進化の概要	4
1.2	第一次汲み上げ (First Dredge-up) に関する恒星進化の理論 計算について	9
1.3	対流不安定性と恒星の進化への影響	9
1.4	これまでの分光学的手法による超巨星・巨星の組成解析結果	10
1.5	巨星・超巨星における大気パラメータの推定	12
1.6	本研究の問題意識と目的	13
2	Archive Data and Observation	14
2.1	UVESPOP について	14
2.2	ELODIE について	14
2.3	岡山天体物理観測所での観測について	15
3	Cep を用いた大気パラメータ決定法の考察	17
3.1	有効温度の決定について	17
3.1.1	Line Depth ratio	17
3.2	微視的乱流速度の決定について	17
3.2.1	Blackwell Diagram とその問題点	17
3.2.2	等価幅 - (Fe/H) から求めた微視的乱流速度	18
3.3	表面重力加速度について	18
3.3.1	等価幅 - (Fe/H) からの推定	18
3.3.2	MgI5172 の減衰翼からの推定	19
3.3.3	FeI6149 吸収線の深さからの推定	20
3.4	今回用いた大気パラメータ決定手法	20
4	巨星の組成解析	21
4.1	大気パラメータの決定	21
4.2	進化上の位置	24
4.3	C,N,O,Na の組成解析結果	24
5	解析結果の考察	26
6	まとめ	28

1 Introduction

恒星の進化の理論は、観測と比較することによって検証される。本研究では、赤色巨星分枝から Blue-Loop に至る段階の恒星について論じる。これらの恒星は、その表面組成が主系列時代と異なることが知られ、この変化は、内部で起こっている核反応による生成物が対流によって運ばれて表面に現われる「汲み上げ効果」によるものだと考えられている。しかし、この反応は理論計算に様々な不確定性があり、研究者によってその結果は異なる。それぞれの理論を検証するためには、C,N,O の組成変化を理論と観測で比較することが有効である。以下に、これまで行われてきた理論による結果と観測による結果を概説し、問題点を考察する。

1.1 恒星の進化の概要

恒星は、水素を安定的に核融合させてエネルギーを生成している主系列を終えると、中心にはヘリウムの核ができ、その周りに薄い水素の殻ができる。その水素殻が燃焼するにつれて恒星は次第に膨張していく。この様子は H - R 図上では、左から右に動いていくように見える。そして、木の禁止領域まで表面温度が下がると、中心のヘリウムが爆発的に燃焼し光度が急に上がる。このときに、表面の対流層が水素燃焼殻まで達し、水素燃焼物を表面に汲み上げると考えられている。(第一次汲み上げ)この水素燃焼物は、主系列星時代に恒星中心で行われた核反応の結果を反映していると考えられる。

ここで、表面組成の変化を論じる前に、具体的に 1 太陽質量の恒星と 5 太陽質量の進化の標準的な理論の概要を示す。また、Lattanzio(1997) から 1 太陽質量、5 太陽質量それぞれの恒星進化経路を図 1 , 2 に示す。また、図中の番号は進化のそれぞれの段階を示すので、以下の文中にその番号を適宜示す。

1 太陽質量程度の恒星 1 太陽質量程度の恒星は、主系列時代が非常に長く、その間水素を安定的に核融合させエネルギーを生成している。このときに内部で行われている核反応は、P-P Chain 反応とよばれる反応である。(1)

この反応がすすみ、中心付近で水素が枯渇すると、恒星は主系列を離れて進化することとなる。水素が枯渇した直後では、中心のヘリウム核は縮退しており、核融合反応はその周りを覆うように水素燃焼殻と呼ばれる殻の部分で起きている。(4)

この間に恒星は膨張し、外層では対流層が発達するようになる。これは、いままで輻射輸送だけで効果的に行われていた内部からのエネルギー伝達が有効でなくなり対流によってエネルギーを運ぶ方が効率的になったからである。そして恒星は、半径が膨張していき、表面温度は減少していくようになる。恒星は中心で水素が枯渇してから後は、HR 図上左から右へと、Hertzsprung Gap と呼ばれる部分を横切って「木の禁止領域」まで達する。ここまで温度が

低くなると、恒星はそれ以上温度を下げる事が出来ずに、光度を上げる方向に進化するようになる。これを、赤色巨星分枝 (RGB) とよぶ。(7) RGB まで達すると、対流層が恒星の内部まで侵入し、水素燃焼物を表面に汲み上げるようになる。この段階で表面に現われる物質はほとんどが水素であるが、中には水素核融合反応によって生じたヘリウムや、CN - 反応によって生じた同位体 ^{13}C や ^{14}N もある。これを「第一次汲み上げ」と呼ぶ。(8) また、CN - 反応では、 ^{12}C の同位体である ^{13}C が生成されるので、主系列星に比べて $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が小さくなると予想される。具体的には、 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が太陽で 90 程度であるのに対して、18 から 26 まで減少する。

赤色巨星分枝を上昇して進化する恒星内部では、中心のヘリウム核の温度が上昇していく。しばらくは、ニュートリノによって内部のエネルギーが外部に逃げ出していったバランスを取っているが、ヘリウム核で Triple-alpha 反応が始まると、状況が変化する。この段階のヘリウム中心核は密度が非常に高く縮退している。この状態で Triple-alpha 反応が生じると、温度が急激に増加し、ヘリウム核の縮退が解け、核反応が暴走する。これを Core Helium Flush と呼ぶ。(9)

これを過ぎると、恒星は水平分枝に移行する。(10) ここでは、中心ヘリウム核の縮退は解けており対流核となっている。また、その周りの水素燃焼殻でも核融合反応が起き、恒星のエネルギーを供給している。ヘリウムは安定的に燃焼し、 ^{12}C や ^{16}O を生成している。その周りの対流層は、比較的安定であるが、Ledoux の不安定性などにより「semiconvection」と呼ばれる対流が起こることがある。

その後、中心のヘリウムが消費されるにつれて、恒星がまた温度が下がり始め、二度目の巨星分枝へと移行する。これを「漸近的巨星分枝」(AGB) と呼ぶ。(14) ここでは、中心核はヘリウムが燃焼してできた C と O からなっており縮退している。そして恒星のエネルギーはそれを取り巻くヘリウム殻で生成されている。このヘリウム殻は熱的に不安定であり、脈動を起こすようになる。この脈動を起こす前の段階を Early-AGB と呼び、脈動し始めると TP-AGB と呼ぶ。(15) そして最終的には、ガスを星間空間に放出して、惑星状星雲と白色矮星となる。

5 太陽質量程度の恒星 5 太陽質量程度の恒星の進化とそれ以下の質量の恒星の進化とは、大筋は同じである。但し、大きな違いはその主系列における水素核融合が CNO 反応によって生じているという点である。この反応は、温度依存性が非常に高いので中心核は対流核となっている。この対流は水素が少なくなるにつれてなくなっていくこととなる。

中心付近の水素が枯渇する (4) と、中心核の周りの殻で核反応が生じる「Shell-burning」(殻燃焼) 段階に入り、Hertzsprung Gap を左から右へと進んでいく (5,6,7)。そして、「林の禁止領域」まで到達すると、赤色巨星分枝を上昇していく。このとき、外部の対流層が水素燃焼生成物の一部まで到

達し、 ^{13}C 、 ^{14}N などをかき混ぜる。これを、「第一次汲み上げ」と呼ぶ。(8)

このような大質量の恒星では、中心のヘリウムは縮退しておらずヘリウムの対流殻の中で核融合反応が進行しエネルギーを生成する。また、ヘリウム核のまわりにも水素燃焼殻が存在し、エネルギーを生成している。つまり、この段階の恒星では、二つの方法でエネルギーを生成しているということになる。そして、HR 図を温度が高くなる方向(青くなる方向)に進化する。(10,11,12) この恒星が、HR 図上で言われる「セファイド不安定領域」を通過するときセファイド変光星として観測されることになる。

その後、中心のヘリウムが枯渇すると(14)、ヘリウム殻で核融合反応が始まり、急激に膨張する。そして漸近的巨星分枝(AGB)に至るころにはヘリウム殻のヘリウムも枯渇することとなる。そのとき、再び対流層が深く入り込み、水素燃焼物を恒星表面に汲み上げることとなる。これを第二次汲み上げと呼ぶ。(15) この時に表面は再び ^4He 、 ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}N によって覆われ、水素が再び内部に入り込む。この第二次汲み上げは4太陽質量以上の恒星でおこると考えられている。この第二次汲み上げが終わったあと、水素燃焼殻が再び核融合反応をはじめ、TP-AGBへと進化していく。

図 1: Lattanzio et al(1997) による 1 太陽質量程度の恒星の進化経路

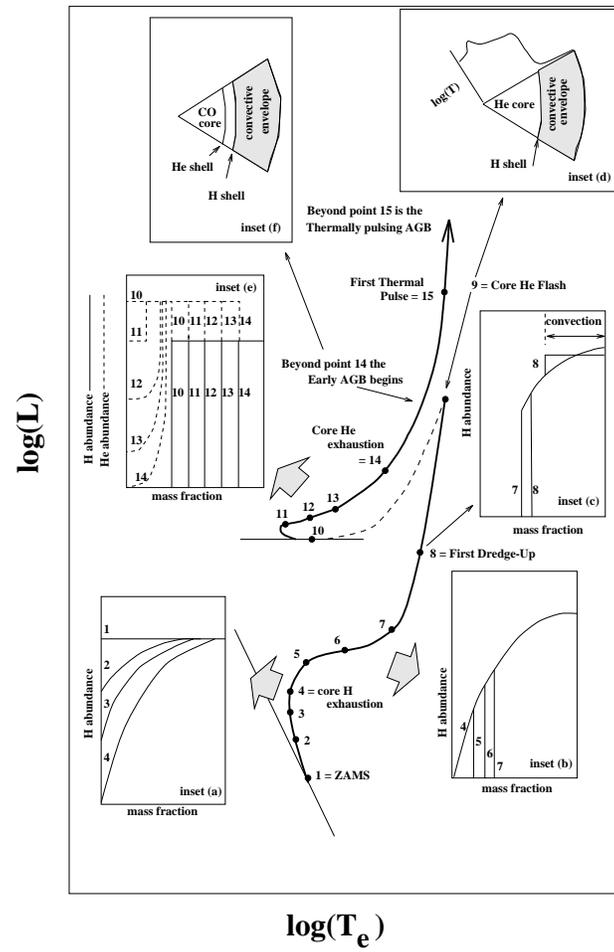
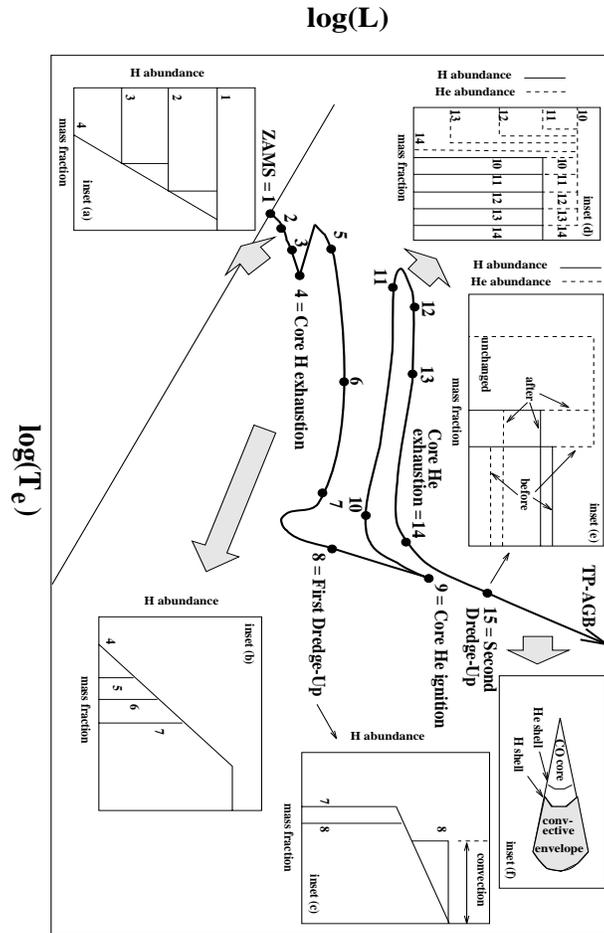


図 2: Lattanzio et al(1997) による 5 太陽質量程度の恒星の進化経路



1.2 第一次汲み上げ (First Dredge-up) に関する恒星進化の理論計算について

これまで述べてきたように、恒星の進化において最初に表面組成の変化が観測されるのが第一次汲み上げの段階であると考えられている。このとき、表面から質量比にして 80 % のところまで対流層が入り込み、物質をかき混ぜるために表面組成が水素燃焼生成物によって汚染される。このとき観測されるのは ^{14}N の増加と ^{12}C 、 ^{16}O の減少である。このことをはじめて指摘したのは Iben(1964,1967b) であった。また、彼はこのときの表面汚染は外層が比較的小さい質量が小さな恒星で効果的に行われ、5 太陽質量程度の恒星で最小になることも述べている。Schaller (1992) は、より詳しい理論計算の中で、 ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}N 、 ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O 、 ^{20}Ne 、 ^{22}Ne の表面組成を計算している。この中で 2.5 太陽質量以上の恒星は、第一次汲み上げ時に恒星表面における組成は、 ^{12}C は -0.18dex、 ^{14}N は + 0.44dex 変化するとしている。

その後、多くの理論計算がなされている。(e.g., Iben 1965, 1966a, 1966b, 1967; Dearborn, Tinsley, & Schramm 1978; Becker & Cox 1982; Vandenberg & Smith 1988; Landre et al. 1990; Dearborn 1992; Bressan et al. 1993; El Eid 1994; Boothroyd, Sackmann, & Wasserburg 1994) その中で、Becker & Iben(1979) は、第一次汲み上げと第二次汲み上げ両方における組成の変化を報告している。彼らは、3 太陽質量以上の恒星のみではあるが、 $Z=0.001, 0.01, 0.02$ の恒星において、 $^{12}\text{C}, ^{14}\text{N}, ^{16}\text{O}, ^{18}\text{O}, ^{22}\text{Ne}$ の組成の変化を計算した。また、Sweigart, Greggio, & Renzini (1989) は、 $Z=0.004, 0.01, 0.04$ の 1.4 ~ 2.0 太陽質量の恒星について $^{12}\text{C}, ^{14}\text{N}, ^{16}\text{O}, ^{12}\text{C}/^{13}\text{C}, ^{12}\text{C}/^{14}\text{N}, ^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$ を計算している。最近では、The Geneva group (Schaller et al. 1992; Schaerer et al. 1993a, 1993b; Charbonnel et al. 1993, 1996; Meynet et al. 1994) により $Z=0.001, 0.004, 0.008, 0.02, 0.04$ の 0.9 から 120 太陽質量の恒星について、 $^{12}\text{C}, ^{13}\text{C}, ^{14}\text{N}, ^{16}\text{O}, ^{17}\text{O}, ^{18}\text{O}, ^{20}\text{Ne}, ^{22}\text{Ne}$ の組成が計算されている。また、The Geneva group によって計算された、 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ と $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ については、Charbonnel (1994) によって報告されている。

1.3 対流不安定性と恒星の進化への影響

HR 図上で、多くの恒星は主系列か赤色巨星分枝にある。そしてその間は Hertzsprung Gap と呼ばれている。恒星は主系列を終えたあと、急速に膨張し Hertzsprung Gap を右に横切っていく。この進化は非常に早いため、観測にかかることは少ない。しかし、赤色巨星分枝を経験したある質量以上の恒星は、「Blue - Loop」と呼ばれる段階に入る。この段階での進化は、核、外層、水素燃焼核など様々な要因が組み合わさって起こるものであり非常に複雑である。El Eid(1995) は、このときの進化について、Schwarzschild の対

流条件

$$\nabla_{rad} > \nabla_{ad} \quad (1)$$

に、恒星内部の mean molecular gradient を取り入れた Ledoux の条件

$$\nabla_{ad} < \nabla_{rad} < \nabla_L \quad (2)$$

$$\nabla_L = \nabla_{ad} + (\Phi/\delta)\nabla_\mu \quad (3)$$

を用いて、恒星進化の理論計算を行った。この条件下での対流は、大局的には安定であるが、部分的に不安定な対流を繰り返す。これを Semi-convection と呼ぶ。これは、対流が Ledoux の条件によると考えるため、その範囲内で、Schwarzschild の対流条件が満たされれば対流が起こる。よって比較的ゆっくりとかき混ぜられることとなるが、この過程はよく分かっていない。しかし、El Eid(1995) はそれぞれの条件下の理論計算で、Schwarzschild の対流条件のみを考慮した場合には 13.5 太陽質量以上の恒星は Blue-Loop を形成することは出来ず、Semi-convection の効果が重要であることを示した。

また、1 ~ 3 太陽質量の小質量星においては、核燃焼生成物である ^{13}C の値が理論から予測されるよりも多く、そのため $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比が予測よりも小さく観測されるという矛盾が生じている。これは、Gilroy(1989) による散開星団の観測によっても明らかにされている。この理論と観測の矛盾を解決するために、Boothroyd, Sackmann, & Wasserburg(1996) は対流による余分なかき混ぜの効果を考えることによってその組成の変化を説明しようとした。これは、対流層からの物質が核反応に十分な温度に達している領域に運ばれ、核反応を起こし、また表面に汲み上げられるという現象であり、"Cool bottom processing" (CBP) と呼ばれている。

1.4 これまでの分光学的手法による超巨星・巨星の組成解析結果

C,N,O について 恒星の組成の中で、C,N,O は恒星の進化から予言される質量放出やくみ上げなどの効果を検証するのに有用な元素である。中質量星から大質量星にかけては、その中心部分で CN - 反応、ON - 反応が起こっていた時期があり、その生成物による影響が表面に現われると考えられるからである。CNO 反応の中で、CN - 反応は、その核反応過程で O は変化しないが、ON - 反応では、O が減少する。しかし、ON-反応は、CN - 反応に比べて高い温度が必要であり、恒星のより内部で起こっている反応であると考えられる。

Luck and Lambert(1981) は、セファイド変光星について、RGB に至った際に恒星内部で生成された CNO 反応による生成物が星の進化の理論とどの程度あっているかを観測的に検証しようとした。彼らは、14 個のセファイド変

光星、5つの超巨星について組成解析を行った。その結果、セファイド変光星については、その組成は ^{12}C が減少し、 ^{14}N が増加するというCNOサイクルによる結果を反映したものとなっていた。しかし、変化しないはずのOが減少していることも観測され、それがON-反応によるOの減少ではないかと論じている。しかし、Luck and Lambert(1985)では、セファイド変光星のほかに、F型の超巨星についてC,N,Oの組成解析を行い、ON反応によるOの減少は非常に小さいために観測できず、また、恒星の質量に対する依存性がなかったため、Oの減少のように思われたのは、初期組成からOが太陽に比べて0.2dex程少なかったためであろうと論じている。この $[\text{O}/\text{Fe}]=0.2$ 程度の減少は、銀河系内のHII領域の観測(Shaver et al 1983)やB型主系列星の観測(Kilian1994)、惑星状星雲の観測(Freitas Pacheco 1993)からも示唆されている。このOの減少については、Takeda and Takada - Hidai(1998)もB型晩期からF型超巨星の解析を行っている。彼らは、温度や(N/H)に対する(O/H)の依存性は見られず、A・B型超巨星においてもOは減少しているが、その減少は一様であり、初期から存在したものでであろうと論じている。

また、C、Nの組成変化については $[\text{C}/\text{N}]$ の比較を行って理論との比較が行われている。Schaller(1992)によれば、First Dredge upで予測される値は $[\text{C}/\text{N}] = -0.62$ 程度であるが、Luck and Lambert(1985)は $[\text{C}/\text{N}] = -0.91 \pm 0.17$ を求めている。彼らは、この値が理論から予測されるよりも大きいことから、自転によるmeridional currentによるものではないかと論じている。しかし、Barbuy(1996)によって行われたYellow Supergiantの観測では、理論から予測される程度の $[\text{C}/\text{N}]$ が測定され、Luck and Lambert(1985)よりも小さな値を示している。Barbuy(1996)が測定した恒星は、比較的V sin iが小さなものでありそれによる影響も考えられ、より早い自転速度のYellow Supergiantの測定が必要であろうと述べている。

Naについて 超巨星において、系統的にNaが増加していることを最初に指摘したのは、Saslov(1986)である。彼らは、Ne-Na反応によって生成されるNaが、表面にあらわれており、それは質量に依存しているのではないかと論じた。しかし、NaIの吸収線は、NLTEの影響が大きいため、実際より多く見積もっている可能性もあった。Boyarchuk et al(1988)、Takeda-Takada Hidai(1994)は、NLTEを考慮したNaの組成解析を行い、その解析結果は、F型超巨星においては理論との差が小さくなった。しかし同時に、A型超巨星においては、 $[\text{Na}/\text{H}]$ が著しく大きく問題となっている。この傾向はVenn(1993)によっても報告されており、この問題については今後の課題である。また、質量に対する $[\text{Na}/\text{Fe}]$ の依存性について、Andreivsky(2002)は48個の超巨星の解析を行った。その結果、 $[\text{Na}/\text{Fe}]$ の表面重力加速度に対する依存性が見られ、質量が大きくなるにつれて $[\text{Na}/\text{Fe}]$ が大きくなる傾向が見られた。しかし、Andreivsky(2003)は98個のセファイド変光星において $[\text{Na}/\text{H}]$ の解

析を行い、質量に対する依存性はないと述べている。この Andreivsky(2003)の結果では、5 ~ 6 太陽質量において $[\text{Na}/\text{Fe}]$ の分散が大きい、平均して $[\text{Na}/\text{H}] = 0.2$ 程度であった。超巨星から求められる $[\text{Na}/\text{Fe}]$ にはその表面重力加速度との間に依存性があるにも関わらず、セファイド変光星の P-M 関係から求められた質量と $[\text{Na}/\text{Fe}]$ の間には依存性がないことは大きな矛盾である。

1.5 巨星・超巨星における大気パラメータの推定

巨星における大気パラメータの決定には、以下のような問題点が有ることが知られている。

1. FeI と FeII のイオン平衡から分光学的に求めた表面重力加速度 $\log g$ が、その質量と半径から求めたものより小さい値をとる。
2. FeI と FeII とからもとめた表面重力加速度において、ほとんどの元素がイオン平衡に達しない。

吸収線から組成を求める場合には、NLTE による効果を考慮に入れなければならない。LTE とは局所熱平衡という意味であるが、超巨星・巨星のような希薄な大気のもとでは恒星大気の各点は熱平衡状態になく、光電離等の影響があると考えられるからである。Rentzsch-Holm(1996) は、FeI、FeII の吸収線について NLTE による効果を検証し、FeI より FeII にの方が NLTE による効果が少ないことを示した。これは、FeI の吸収線が形成される光学的深さがそれぞれ異なるのに対して、FeII の吸収線が形成される領域はより外側(光学的深さは浅い)の領域で形成されるためであると考えられる。そのため、光電離等の NLTE 効果によって生じる線吸収係数の変化が少なく、LTE の恒星大気モデルを使用しても NLTE によるものとの違いは非常に小さなものとなると考えられる。

Kovtyukh & Andrievsky(1999) は、巨星の大気パラメータを正確に求める方法を検証するために Cep を用いた解析を行った。彼らは、FeI から求めた微視的乱流速度が NLTE の効果を受けているために過小評価しているとし、FeII から求めた微視的乱流速度を採用した。また、イオン平衡は、等価幅 - EW 図上で、FeI の切片(つまり、FeI の EW がゼロとなる点)が FeII から求めた(Fe/H) と重なる点をイオン平衡に達したとし、表面重力加速度を求めた。その結果、Cep の P-L 関係から求められる表面重力加速度と一致するとしている。

また、大気パラメータ決定の際には、そのスペクトルデータの質(分解能、S/N)が問題となる。今回測定に用いたスペクトルデータは、HIDES と ELODIE、UVES によるものであり、それぞれの S/N 値を表 3 に示す。組成解析には、スペクトルデータを用いて各吸収線の等価幅を測定するのである

が、その誤差はデータの S/N と continuum の決定に起因する。今回用いたデータは、概ね高 S/N であるので等価幅の測定誤差は少ないと考えられる。

また、吸収線の物理量が正確であるかどうか組成解析に大きな影響を与える。Takeda et al(2002) は、 $T_{\text{eff}}=5777\text{K}$, $\log g=4.437$, $A(\text{Fe})=7.50$, $v_t=1.0$ km/s の太陽恒星大気モデルの中で、Meylan et al(1993) によって測定された、ブレンドしていない FeI、FeII の吸収線の等価幅を再現するように gf 値を求めた。今回は、Takeda et al(2002) によって決定された Solar gf 値を用いた。

1.6 本研究の問題意識と目的

これまで述べてきたように、RGB を過ぎた恒星は、表面組成が主系列時とは変化していると考えられる。また、Extra-mixing, CBP などにより理論から予測される恒星の組成とは変化している可能性もある。本研究では、UVES, ELODIE, HIDES などの高分散分光器から得られた良質の分光データを用いて、C, N, O, Na などの組成を解析し、以下のような問題に答えることを目標とした。

1. セファイド変光星を含む中質量星では、第一次汲み上げによって $[C/Fe]$ 、どのように変化するのか。それらは理論的予測と一致するのか？また、表面重力加速度に対する依存性はどうか。
2. 観測される $[O/Fe]$ の値は、太陽組成と比べて少ない値をしめすのか？また、表面重力加速度に対する依存性はあるのか？
3. 観測される $[Na/Fe]$ は、過剰であるのか。また、第一次汲み上げから予測される質量と $[Na/H]$ の相関は見られるのか？
4. Kovtyukh & Andrievsky(1999) の方法は、Cep 以外のセファイド変光星でも有効なのか？また、セファイドでないその他の超巨星に対して、その質量と半径から求められる表面重力加速度を再現しうるのか？

2 Archive Data and Observation

本研究では、インターネットで公開されているアーカイブデータを主に用いた。以下にそれぞれのアーカイブデータの特徴を述べる。これらのアーカイブデータは、インターネットで自由に取得することができ、恒星の研究に非常に有用である。また本研究では、岡山天体物理観測所で取得されたデータも使用しており、これについても後述する。

2.1 UVESPOP について

ヨーロッパ南天天文台は、チリにサンチアゴに位置し、4つの8メートル級望遠鏡を備えた世界有数の天文台である。この天文台の望遠鏡の一つ「VLT-Kueyen」望遠鏡に「UVES (The VLT UV-Visual Echelle Spectrograph)」という高分散分光器が備えられている。この分光器を用いて「A Library of High-Resolution Spectra of Stars across the Hertzsprung-Russell Diagram」というプロジェクトが行われている。(Bagnulo et al. 2003)これは、HR 図上の広い範囲の恒星の分光データを、望遠鏡の空き時間を用いて網羅的に取得しようという試みである。これにより取得されたデータが FITS 形式、TEXT 形式の二種類で公開されている (<http://www.sc.eso.org/santiago/uvespop/>) 取得されているデータには以下のような特徴がある。

1. 7.5 等級より明るい天体を観測し、HR 図全体を覆う。
2. 波長分解能 約 80000
3. 波長域 300 to 1000 nm

これらのデータは、7 等級の恒星で S/N が 1500 以上と、現在得られている分光データとしては最良のものである。公開されているデータは、コンテニュームが規格化されていなかったため、IRAF の continuum コマンドを用いて規格化を行った。

2.2 ELODIE について

フランスの Haute Provence 天文台の口径 1.93 メートル (f /15) の望遠鏡に設置されている ELODIE という高分散エッセル分光器によって取得された分光データが公開されている。(Moultaka et al 2004) この分光器は、波長分解能 約 42000、波長域 385-680 nm であり、8 等級の恒星から S/N100 程度の分光データを取得することが出来る。(<http://atlas.obs-hp.fr/elodie/>)

これらのデータは既に規格化されているが、コンテニュームの位置が不自然であるところがいくつか見られた。

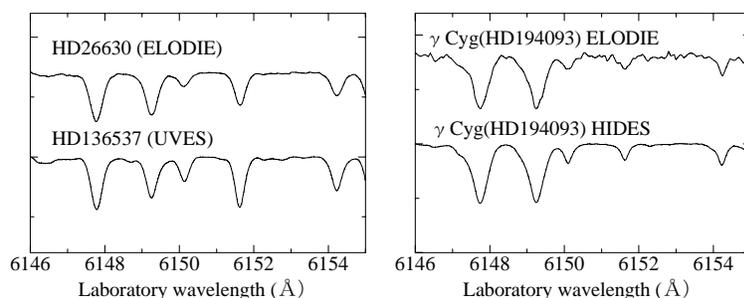


図 3: 本研究で用いた UVES、ELODIE データの比較

2.3 岡山天体物理観測所での観測について

岡山天体物理観測所は大型で汎用の 188cm 望遠鏡を主力装置とし、他にも 91cm 望遠鏡、65 センチ太陽望遠鏡などを備えている。この中で、188 センチ望遠鏡には、HIDES(Izumiura 2003) という高分散エッセル分光器が設置され稼働している。この分光器は、最大波長分解能 110000、波長域は 360 ~ 900nm である。この分光器を用いて竹田・神戸他は Cep の連続観測を行った。一次処理は竹田によって行われそのデータを本研究に使用した。

また、Cyg (HD194093) については 2003 年 12 月に PI 大久保美智子により行われた Vega 型星の分光観測の際、夕方の 10 分を利用して取得した。このデータの一次処理は以下の手順で行った。

データの一次処理には、NOAO (National Optical Astronomy Observatory) で開発された IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) というソフトを用いた。

1. Flat frame の規格化

Flat イメージの規格化は、取得したイメージの一番低いカウントで全体を割る方法を用いた。その後 aperture 間の値を 1 に置き換えた。

2. バックグラウンドの除去

OBJECT frame や FLAT frame には星の散乱光やスカイの光が混ざっているために、オーダー間のカウントが 0 になっていない。これを取り除くために、aperture をマスクし、それ以外の部分を背景光として曲面近似を行い全体からそれを引いた。IRAF では、apscatter を用いた。

3. Object frame を規格化した Flat frame で割る

それぞれの OBJECT frame を規格化した Flat frame で割った後、複数の OBJECT frame をタスク imcombine で足し合わせた。

4. Object の一次元化

OBJECT frame のオーダートレースを行って、aperture 内のシグナル

をスリット方向について足し合わせる。これには IRAF のコマンド `apall` を用いた。

5. 波長較正

Th-Ar ランプの輝線をつかって波長同定を行い、エッセルの各オーダーのピクセル番号と波長との関係式を導き、天体のスペクトルを波長スケールに変換する。そのために、まず IRAF の `ecidentify` を用いて、Th-Ar の波長を同定する。そして、タスク `refspec` を用いてそれぞれのオーダーごとに天体のスペクトルと Th-Ar ランプのスペクトルを参照し、`dispcor` で天体のスペクトルを波長スケールに変換した。

6. コンテニュームの決定

観測された生データは、連続スペクトル成分をもっている。そのため等価幅を測定するためにはこの連続スペクトルの成分を規格化しなければならない。そのために、連続スペクトル成分を高次元関数でフィッティングし、それを用いて天体スペクトルを割った。IRAF のタスクでは `continuum` を持ちいた。

7. ドップラーシフトの補正

天体スペクトルは一般に視線速度を持っている。よって、その波長はドップラーシフトにより実験室系からずれて観測される。星のスペクトルと実験室系の波長との補正のために、複数の吸収線の波長を IRAF の `splot` で計測し、実験室系とのずれを測定し、それを速度に変換した。それらの値を平均したものをその星におけるドップラーシフトの補正值とした。IRAF では `dopcor` を用いた。

3 Cepを用いた大気パラメータ決定法の考察

3.1 有効温度の決定について

3.1.1 Line Depth ratio

有効温度の推定は、恒星の大気パラメータ決定において基本的な観測の一つである。有効温度は、恒星の色指数から推定することができるが、超巨星、巨星などは、非常に遠くにあるために、星間赤化の影響を強く受けると考えられ、温度を低く見積もってしまう可能性がある。しかし、分光学的な手法を用いれば、星間赤化を考慮に入れる必要はなく、正確な有効温度の推定が出来ると考えられる。Gray (1989, 1994) は、巨星とわい星について、Fe や V、Ti などの多数の元素の吸収線を計測し、吸収線の強さが温度に非常に敏感であることを示した。しかし、吸収線の等価幅そのものは、その組成に大きく左右されるので、温度の指標とはならない。そのため代わりに、同じ元素が似たような元素の組を用いて吸収線の強さの比を温度の指標として使用した。また、Gray (1994) は、line broadening の効果が少ない弱い吸収線を用いて、温度の推定を行い、1 - 10K の精度で温度が決定できるとした。

本研究では、Kovtyukh (2000) による吸収線の組を用いた。彼らは、独自の吸収線の組を用いて古典的セファイドの温度を決定し、70 ~ 100K の精度で温度を決定できるとしている。用いた吸収線の組の数と有効温度を表に示した。本研究では、波長域が 5000 ~ 6200 オングストロームであるので用いることの出来た吸収線の組は少ないが 100K 程度の精度で温度を決定することが出来た。その結果と Kovtyukh (2000) での結果、そして色指数からもとめた有効温度を図 4 に示す。また、太陽中心に直した視線速度の変化も同じ図に示した。この二つの図から位相ごとの有効温度の変化を見ることが出来る。この図から、色指数から求めた有効温度より 200 K ほど高い値を示すことが見られる。しかし、Line Depth-ratio でもとめた有効温度において、FeI の吸収線から求めた (Fe/H) が励起エネルギーに対して有意な依存性が見られないことから、ここで求めた有効温度は妥当であると考えられる。

3.2 微視的乱流速度の決定について

3.2.1 Blackwell Diagram とその問題点

恒星大気の組成を決定する際には、微視的乱流速度を考慮に入れなければならない。これは、各吸収線から推定される組成が、有効温度と表面重力加速度からでは説明できないために導入されたものである。恒星大気の内層は、乱流となっており各元素はある速度分散をもって運動している。その運動が見かけでは有効温度の上昇と同じ効果をもっておりそれを考慮にいれなけれ

ば、正確な組成の決定はできない。

そのために、微視的乱流速度を仮定しそれぞれの速度ごとに各吸収線から求められる組成をグラフにしたものが Blackwell Diagram である。温度、表面重力加速度をそれぞれ変化させた場合の Blackwell Diagram (FeI、FeII) と各吸収線から求められた組成の標準偏差 (STD) と微視的乱流速度の関係を図 7, 8, 9, 10 に示す。この標準偏差が最小の時の微視的乱流速度の値が、推定される微視的乱流速度である。このことから、Blackwell Diagram から推定される微視的乱流速度は温度や表面重力加速度の影響を受けにくいことが分かる。

3.2.2 等価幅 - (Fe/H) から求めた微視的乱流速度

微視的乱流速度の推定には、各吸収線からもとめた組成 (Fe/H) がその等価幅に影響されないことから求める方法もある。図 13 ~ 45 に各位相のスペクトルデータから得られた、Blackwell Diagram と等価幅 - (Fe/H) 図を示す。Blackwell Diagram は各吸収線から求めた組成がもっとも一致する点を探すものであり、等価幅 - (Fe/H) はその傾きが最も小さい点を探すものである。ここでは、中性鉄と一回電離鉄の両方から求められた値が良い一致を示している。

等価幅 - (Fe/H) の方法で微視的乱流速度を推定したので、図 5 にこの結果を示す。この図からは、中性鉄から求めた微視的乱流速度と一回電離鉄から求めた微視的乱流速度とは値が異なり、一回電離鉄から求めたものの方が大きいということがわかる。これは、どの位相に対しても同じことが言える。また、図からは、微視的乱流速度の値が、位相によって異なることが分かる。これらのことは、Luck and Andrievsky(2004) でも報告されている。彼らは、周期が 6 ~ 10 日のセファイド変光星を対象にして、今回用いたのと同じ方法で大気パラメータを推定し、位相によって微視的乱流速度が変化することが示した。また、Gillet (1999) は、Cep を対象として、3 年間で 288 点の分光観測を行い、中性鉄 5576.0883 の半値幅から微視的乱流速度の変化を測定している。今回求めた結果は、これらの結果と同様の傾向を示している。これは、セファイド変光星の収縮時に生じる内部からの衝撃波が恒星表面のガスの状態が変化させるためであるとも考えられているが、詳しいことは分かっていない。

3.3 表面重力加速度について

3.3.1 等価幅 - (Fe/H) からの推定

表面重力加速度を推定するためには、恒星大気中での電離平衡が達成される点を探す。今回は、微視的乱流速度を推定する際に、等価幅 - (Fe/H) 図

を用いたが、これを使用して表面重力加速度を推定も可能である。

Kovtyukh(1999)は Cep を用いて大気パラメータ決定法を論じている。彼は、分光学的に求められる値と測光的に求められる値との間にずれが生じるという問題を解決しようとした

中性鉄の等価幅から推定された微視的乱流速度を用いて電離平衡から表面重力加速度を求めると表面重力加速度が $\log g=1.5$ 程度であるのに対して、周期 - 光度関係から求められる表面重力加速度は $\log g=2.0$ 程度であるからである。彼は一回電離鉄から求められる微視的乱流速度を採用した。これは、中性鉄が NLTE 効果を受けやすいためであり、このことは Rentzsch-Holm(1996)からも示している。このために、Kovtyukh(1999)は一回電離鉄から推定された微視的乱流速度を用いて、等価幅 - (Fe/H) 上を描き、中性鉄が $EW=0$ となる点と交わる点と表面重力加速度の値とした。この際に求められた表面重力加速度は $2.0 \sim 2.1$ 程度であり、その質量と半径から求められる表面重力加速度と良い一致を示した。

本研究では、Kovtyukh(1999)が用いたものより多い11点の観測点を用いて、この検証をより詳しく行った。その結果を図6に示す。この結果からは、Kovtyukh(1999)の結果とは異なり、位相 $0.8 \sim 0.9$ の点で表面重力加速度が小さくなるのが分かる。この結果は、Luck and Andrievsky(2004)による結果とは一致しており、恒星が最も収縮する点に近づくにつれ表面重力速度は小さくなり、微視的乱流速度は大きくなる傾向がある。

恒星表面の重力加速度は、

$$GM/R^2 + \gamma(dV/dt) \quad (4)$$

で示されると考えられる。第一項は恒星の質量と半径から求められる物理的な重力加速度であり、第二項は恒星の動径方向の振幅速度にある係数をかけたものである。また、分光的に求められる表面重力加速度の値は、あくまで恒星大気中の気体中で原子の運動や恒星の重力その他の影響が合わさったものであり、恒星の物理的な表面重力加速度とは異なることに注意する必要がある。 Cep の半径の変化から得られる表面重力加速度の差は 0.05 程度、恒星大気中の吸収線から得られる視線加速度から得られる加速度は 0.1 程度しかない。これらだけから、今回の表面重力加速度の変化を説明することは難しい。よって、今回得られた表面重力加速度の変化は、LTE を仮定した恒星大気モデルの中で近似的に求められたものであり、実際の表面重力加速度とは異なる可能性も考えられる。

3.3.2 MgI5172 の減衰翼からの推定

表面重力加速度を推定するには、非常に強い吸収線の減衰翼のフィッティングからも推定することが出来る。MgI5172 から表面重力加速度を推定した。しかし、超巨星、巨星のような表面重力加速度の弱い領域では MgI5172 の減

衰翼は敏感ではなく、表面重力加速度の小さい星では上限値しか求めることが出来ない。また、 (Mg/H) の影響も強く受けるため、この方法を用いるためには他の弱い吸収線から (Mg/H) を決定しなければならないため、この方法は用いなかった。

3.3.3 FeI6149 吸収線の深さからの推定

表面重力加速度をもとめるもう一つの方法は、一回電離鉄の吸収線の深さから求める方法である。この方法で使う一回電離鉄の吸収線はそれほど強いものであってはならず、等価幅が 100mA 程度のものを使用する。今回は FeII5149 を使用した FeII5149 が存在する 5140 から 5160 付近のスペクトルと、恒星大気から求められたスペクトルとを比較することで表面重力加速度を推定した結果を図 11 に示す。このことから、二つの方法が良い一致を示すことが分かる。しかし、本研究では多数の FeII 吸収線を用いることができたので、この方法は補助的に使用するにとどめた。

3.4 今回用いた大気パラメータ決定手法

これまで、Cep を用いて大気パラメータの決定法の検証を行ってきた。このことから、大気パラメータの決定法は以下のとおりとした。

1. 有効温度の決定 … Line depth ratio
2. 微視的乱流速度 … 一回電離鉄の等価幅 - (Fe/H) 図から
3. 表面重力加速度の推定 … 中性鉄と一回電離鉄の等価幅 - (Fe/H) 図から

最後に確認のために CI5380 から求めた組成が、各位相ごとに変化しないかどうかを確かめた。その結果を図 12 に示す。この図 12 からは、C の組成の変化が $(C/H)=0.2$ 程度であることが分かる。また、一回電離鉄から求めた (Fe/H) の変化も $(Fe/H) = 0.05$ 程度であり、良い一致を示す。

4 巨星の組成解析

4.1 大気パラメータの決定

大気パラメータの決定には、前章で考察した方法を用いた。表1に求めた大気パラメータを示す。決定精度は $\log T = \pm 0.08$ 、 $\log g = \pm 0.2$ 程度であった。また、大気パラメータの決定精度を確認するために、以下のような方法で恒星の質量と半径を推定し表面重力加速度を推定した。図46～59に、表面重力加速度の推定に用いた (Fe/H)-等価幅の図を示す。

- セファイド変光星について …… Tammann et al(2003) によって改良された P-L 関係を用いて絶対等級を推定し、有効温度から実半径を推定した。また、求めた有効温度と絶対等級から、Schaller et al(1992) による進化トラック上で質量を推定した。
- セファイド変光星以外について… Mozurkewich et al(2003) で干渉計から求められた実視半径と Hipparcos catalog (Perryman et al(1997)) による年周視差から恒星の半径を求め、恒星の半径と有効温度から絶対等級を推定し、Schaller et al(1992) による進化トラック上で質量を推定した。また、Mozurkewich et al(2003) で実視半径が発表されていない HD26630 については、IRFM を使って恒星の半径を求めた Blackwell(1990) の値を採用し、HD204867 については Ochsenbein et al(1982) の値を採用した。

表 1: 本研究で求めた大気パラメータ

Star	Teff	Vt (FeI)	Vt (FeII)	logg	
HD26630	5329 ± 69K	2.9km/s	4.3km/s	2.2	-
HD50819	5154 ± 115K	1.9km/s	2.4km/s	1.9	-
HD53003	5609 ± 143K	3.2km/s	4.2km/s	2.6	-
HD97082	5620 ± 49K	3.1km/s	4.6km/s	1.8	0.189
HD125809	4817 ± 100K	2.8km/s	4.6km/s	1.9	-
HD136537	4923 ± 88K	2.6km/s	4.5km/s	1.8	-
HD154365	5558 ± 56K	3.4km/s	4.5km/s	1.9	0.854
HD174383	5823 ± 82K	4.1km/s	5.6km/s	2.0	0.656
HD159181	5165 ± 76K	2.5km/s	5.4km/s	2.6	-
HD178287	5669 ± 155K	3.0km/s	5.0km/s	2.4	0.251
HD178359	5215 ± 115K	2.9km/s	3.4km/s	1.2	0.399
HD189511	4939 ± 104K	2.0km/s	2.4km/s	2.5	-
HD194093	6166 ± 106K	3.5km/s	7.5km/s	1.8	-
HD204867	5415 ± 81K	3.4km/s	5.2km/s	1.8	-
HD209750	5167 ± 67K	3.0km/s	5.1km/s	1.9	-

表 2: 推定された表面重力加速度の比較 (*は干渉計によらないもの、n が付いている Pallax は使用しなかった。)

name	Diameter(10^{-3} mas)	Pallax(mas)	Mass(Msun)	log g(ph)	log g(sp)
Non-Cepheid					
HD26630	1.900*	4.51	5.5	1.87	2.2
HD159181	3.225	9.02	5.0	1.97	2.6
HD194093	3.017	2.14	9.0	1.03	1.8
HD204867	2.600*	5.33	6.0	1.78	1.8
HD209750	3.237	4.30	7.0	1.47	1.9
Cepheid					
HD97082	-	1.36 _n	6.0	1.78	1.8
HD154365	-	1.17 _n	5.0	2.03	1.9
HD174383	-	0.61 _n	6.0	1.92	2
HD178287	-	-3.81 _n	6.0	1.86	2.4
HD178359	-	0.41 _n	7.0	1.4	1.2

これらの方法をもちいて求めた表面重力加速度の値を表 2 に示す。また、それぞれの値を図 60 にプロットした。このなかで HD2048567 と HD97082 は偶然に同じ値をとっている。図 60 からは、HD178287 を除いたセファイド変光星については、物理的な表面重力加速度と分光学的な表面重力加速度が良い一致を示している。しかし、その他のセファイドでない恒星については、分光学的に求めた値の方が大きい値をとる傾向が見て取れる。特に HD194093 (Cyg) についてはその傾向は顕著である。HD194093 についての以前の研究結果を表 2 に示す。Andrievsky et al (2002) は、FeI の吸収線を用いて微視的乱流速度を推定し、その後 FeI と FeII とが同じ組成を示す点で表面重力加速度を決め、 $T_{\text{eff}} = 6000$ 、 $\log g = 0.6$ 、 $V_t = 3.5 \text{ km/s}$ としている。(FeII の吸収線が少なかったためにこの方法を用いたとしている。)しかし、本研究では FeI は NLTE 効果による影響が大きいので、FeII から微視的乱流速度を推定し、 $V_t = 7.5 \text{ km/s}$ とした。しかし、FeI から求めた微視的乱流速度と FeII から求めたそれは、2 倍以上異なっている。また、FeI の等価幅がゼロとなる点が FeII の組成と一致する場所で表面重力加速度を求めると、 $\log g = 1.8$ 程度と過剰に見積もってしまう。しかし、恒星の半径と質量から求められた表面重力加速度は $\log g(\text{ph}) = 1.03$ である。この違いは、距離の推定誤差や半径の測定誤差を含めても非常に大きい。この違いは何によるものであろうか？

図 61 に、分光学的に求められた表面重力加速度と質量 - 半径から求められた表面重力加速度との差 ($\log g(\text{sp}) - \log g(\text{ph})$) と FeI、FeII それぞれから求められた微視的乱流速度の差の関係を示す。この図から、微視的乱流速度の差が大きくなるにつれて、表面重力加速度の差も大きくなる事が分かる。微視的乱流速度の差が大きい恒星は、FeI、FeII それぞれの吸収線形成領域が異なると考えられる。つまり、FeI と FeII とで吸収線形成領

表 3: これまでの発表されている研究で用いられている大気パラメータ

HD	Teff	logg		Reference
26630	5331K	1.5	-	S. M. Andrievsky(2004)
	5840K	2.37	-	GRAY R.O. et al(2001)
	5250K	1.5	-	M McWilliam A.(1990)
	5478K	1.5	-	L Luck, R.E.(1982)
	5419K	1.2	-	F Foy.R.(1981)
97082	6000K	1.25	0.94,0.20	Luck R.E.(1994)
159181	5400K	2.0	-	S. M. Andrievsky et al(2002)
	5250K	1.6	-	Luck, R.E.(1982)
	5362K	1.6	-	Foy.R.(1981)
	5362K	1.35	-	Luck, R.E., Lambert, D.L.(1981)
178287	5822K	1.7	0.910	S. M. Andrievsky et al (2002)
	5841K	1.7	0.043	S. M. Andrievsky et al (2002)
178359	5630K	1.65	0.895	S. M. Andrievsky et al (2002)
	5080K	1.1	0.432	S. M. Andrievsky et al (2002)
194093	6000K	0.6	-	S. M. Andrievsky et al (2002)
	6100K	0.55	-	Takeda Y., Takada-Hidai(1998)
	5793K	1	-	Thevenin, F., Foy, R.(1986)
	5754K	0.55	-	Luck, R.E., Lambert, D.L.(1981)
	5929K	1.2	-	Boyarchuk, A.A., Lyubimkov, L.S.(1984)
204867	5362K	1.15	-	Luck, R.E.(1982)
	5478K	1.6	-	Foy.R.(1981)
209750	5250K	1.1	-	L Luck, R.E.(1982)
	5305K	1.4	-	Foy.R.(1981)
	5305K	1.4	-	Luck, R.E., Lambert, D.L.(1981)

域が大きくことなるような Cyg などでは、FeII を用いて微視的乱流速度を求めると光学的に浅い部分のみを使うことになり、表面重力加速度的見積もりが、質量 - 半径から求めたものと異なると考えられる。

セファイド変光星においては、今回の分光解析による表面重力加速度的推定は、質量 - 半径から求めたものと概ねよく一致している。FeI から、微視的乱流速度を求めた方法で解析された従来の結果では、HD97082 の表面重力加速度は $\log g=1.25$ (Luck R.E.(1994)) であったが、本研究で得た $\log g=1.8$ という値は $\log g(\text{ph})=1.78$ と非常によく一致している。しかし、HD178287 については、分光的に得た表面重力加速度は質量 - 半径から求めたものより 0.5 も大きく、FeI と FeII それぞれから得た微視的乱流速度は 2km/s 異なっている。この傾向は、図 61 に傾向と一致しており、本研究で使用した表面重力加速度的推定方法はセファイド変光星でも成り立たない場合があることが分かる。

以上から、セファイド変光星や巨星の解析において、表面重力加速度を推定する場合には、以下の二種類の方法を使い分けるべきであると考えられる。

1. FeI、FeII それぞれから求められた微視的乱流速度が大きく異なる場

合には、FeI から求めら微視的乱流速度を採用し、FeI と FeII の組成が等しくなるように表面重力加速度を推定する。

2. FeI、FeII それぞれから求められた微視的乱流速度がそれほど変わらない場合には、FeII から微視的乱流速度を推定し、FeI の等価幅がゼロとなる点と FeII から求めた組成が等しくなるような表面重力加速度を求める。

しかし、今回の組成解析では、統一的な方法として2の方法を用いて大気パラメータ ξ を決定した。これは、組成解析に使用する吸収線の等価幅が十分小さい場合には、組成を推定できると考えられるからである。しかし、組成の解析結果の考察において、HD194093 (β Cyg) で見られたような影響がある場合には、単純に表面重力加速度に対する依存性がそのまま質量に対する依存性になるとは限らないので注意を要する。

4.2 進化上の位置

それぞれの恒星の進化上の位置を図 62 に示した。ここで実線と点線はそれぞれ進化トラックを示したものである。この図からは、それぞれの恒星が 3 から 7 太陽質量程度であると考えられる。しかし、ここで示した表面重力加速度は、質量と半径から求められた表面重力加速度とは異なる可能性があるため、前節で絶対等級が求められた 11 個の恒星と α Cep を CMD 図上に示す。(図 63) この図からは、サンプルとした恒星が 5 太陽質量から 11 太陽質量程度までの質量を持つことが分かる。

4.3 C,N,O,Na の組成解析結果

組成解析に使用した吸収線のリストを表 7 に示す。これらは Kitt Peak 天文台で得られた Solar Flux Atlas from 296 to 1300nm (Kurcz et al.1984) を用いて、 $T_{\text{eff}}=5777\text{K}$, $\log g=4.437$, $A(\text{Fe})=7.50$, $v_t=1.0\text{ km/s}$ の太陽恒星大気モデルの中で太陽組成を再現するように $\log gf$ 値を求めた。このスペクトルは、波長分解能 30 万以上、S/N 比は、2600 以上である。以下に、今回測定した組成解析結果の概略を元素ごとに示す。また、4.1 節でもとめた $\log(L/L_{\text{sun}})$ に対するそれぞれの元素の依存性を図 64 ~ 66 に示した。これは、前述したように、 $\log(L/L_{\text{sun}})$ の方が表面重力加速度よりもよい質量の指標になると考えられるためである。

C の組成 C の組成は、 $[\text{C}/\text{Fe}]=-0.2 \sim 0.3$ 程度を示した。図 64 からは、光度が上がるにつれて $[\text{C}/\text{Fe}]$ が小さくなっていくように見える。また、HD159181 のみは、 $[\text{C}/\text{Fe}]=-0.925$ と非常に低い値を示した。この恒星は、その表面重力加速度から、3 太陽質量

表 4: 解析結果 ([O/Fe] は [OI]6300 による。N は測定に使用した吸収線の数)

HD	[C/Fe]	N_c	[N/Fe]	[O/Fe]	[Na/Fe]	N_{Na}
26630	-0.247 ± 0.047	2	-	-0.239	0.044 ± 0.060	3
50819	-0.090 ± 0.054	2	-	-0.273	0.004 ± 0.060	3
53003	-0.381 ± 0.001	2	-	-	0.175 ± 0.042	3
97082	-0.230 ± 0.087	8	0.377	-0.135	0.178 ± 0.025	3
125809	0.082 ± 0.232	3	-	-0.173	-0.051 ± 0.167	4
136537	-0.154 ± 0.196	2	-	-	-0.099 ± 0.084	4
154365	-0.244 ± 0.145	6	0.612	-0.151	0.245 ± 0.089	3
159181	-0.151 ± 0.119	2	-	-0.059	-0.169 ± 0.109	3
174383	-0.311 ± 0.119	6	0.565	-0.219	0.284 ± 0.123	3
178287	-0.166 ± 0.045	2	-	-0.12	-0.004 ± 0.052	3
178359	-0.283 ± 0.003	2	-	-0.226	0.160 ± 0.089	3
189511	-0.925	1	-	-0.189	0.114 ± 0.084	3
194093	-0.443 ± 0.002	2	-	-	0.142 ± 0.108	3
204867	-0.308 ± 0.098	2	-	-0.177	0.112 ± 0.030	3
209750	-0.244	1	-	-0.126	-0.030 ± 0.028	3

程度であると考えられる。この天体は年周視差の誤差が大きいため絶対等級は求めていないが、FeI と FeII から求められた微視的乱流速度の差が小さいことから、この表面重力加速度が妥当であることが推測できる。このような低質量星における汲み上げの効果は、CBP などの影響を受けているとも考えられる。

N の組成 NI の吸収線は近赤外域に存在し、ELODIE のデータからは測定することが出来なかった。また、UVES のデータでも HD125809, HD136537 については、ブレンドが強く測定できなかった。その結果、HD97082、HD154365、HD174383 のにおいてのみ [N/Fe] を測定することが出来た。その結果は、HD97082 については、[C/N] = - 0.602 と Schaller (1992) の予測と近い値を示したが、HD154365 は [C/H] = -0.856、HD174383 は [C/H] = -0.856 と予測よりかなり小さい値を示した。

O の組成 O の組成は、[OI]6300 から求めた。この吸収線の近くには ScII の吸収線があり重なり合っている。そのため、まず他の吸収線を用いて ScII の組成を決定し、その後、線輪郭のフィッティングから組成を求めた。また、HD136537 と HD53003 については、地球大気の吸収線のために測定できなかった。結果は、光度に関わらず [O/Fe] = -0.2 程度で一定であり、Luck and Lambert (1985) や Takeda and Takada-Hidai (1994) の結果を支持するものとなった。

Na の組成 Na の組成の光度に対する依存性を図 66 に示す。この図から、[Na/H] が光度に対して依存性を持つように見える。これは、質量に対する依存性でもあるので、質量が大きくなるにつれて [Na/Fe] は大きくなると考え

られる。しかし、Cyg(HD194093)では、 $[Na/H]$ が他の天体と同程度であることがわかる。

5 解析結果の考察

今回解析を行った、15個の恒星について検討する。まず、 $[C/Fe]$ については、Schaller(1992)に予測されているように、およそ $[C/Fe]=-0.2$ 程度の組成であった。しかし図64では $[C/Fe]$ の質量に対する依存性が見られ、質量が大きくなるにしたがって $[C/Fe]$ が減少しているように見える。これは、質量が大きい星ほど恒星内部まで対流が到達し、表面組成に変化を与えているためであると考えられる。このような効果について、Boothroyd(1999)は $Z=0.02$ の恒星が対流による汲み上げの効果を受けるのは、3太陽質量では質量比にして80%、8太陽質量では85%以上であるとしている。また、今回測定した中でHD189511は $[C/Fe]=-0.925$ と他の恒星に比べて明らかに低い組成である。この恒星は、その重力加速度と有効温度から3太陽質量程度の恒星であると考えられる。Gilroy(1989)による散開星団の観測によれば、 $^{12}C/^{13}C$ 比が1~3太陽質量の間で理論から予言される値より小さい値をとる。このような現象は、小質量星で考えられているCBP(Cool Bottom Processing)の効果が現われているためであると考えられる。今回測定を行ったHD189511も、Schaller(1992)の予測を上回る $[C/Fe]$ の減少が確認されたのでこれは、通常の汲み上げ効果に加えて、CBPによる核燃焼物が加わって表面に汲み上げられたためであると考えられる。

$[N/Fe]$ については、サンプル数が少なく質量に対する依存性は確認できなかった。しかし、 $[C/N]$ を計算するとHD97082は $[C/N]=-0.602$ とSchaller(1992)から予測される $[C/N]=-0.620$ に近い値を示すのに対し、HD154365、HD174383はそれぞれ $[C/N]=-0.856$ 、 $[C/N]=-0.876$ と非常に小さな値を示した。これは、理論から予測されるよりも大きな汲み上げの効果があつたためであると考えられる。このことについては、Luck and Lunbert(1985)もセファイドに対してC,N,Oの組成解析を行った結果同じように $[C/N]=-0.9$ 程度の値を求めている。Luck and Lunbert(1985)は、このような効果は巨星の大気の内転による子午線流によるものかもしれないと述べている。巨星の大気には、その他にも質量放出や、角運動量分配の問題等様々な問題があり、今回の計測結果はそのような問題を反映して、理論から予測されるよりも大きな汲み上げ効果を示していると考えられる。

次に、 $[O/Fe]$ については、図65に $\log(L/L_{\text{solar}}) - [O/Fe]$ を示す。この図から、 $[O/Fe]$ は質量に対する依存性がないことが分かる。また、組成も一様に $[O/Fe]=-0.2$ 程度を示し、Luck and Lunbert(1985)やTakeda, Takada-Hidai(1998)の結果を支持している。 $[O/Fe]$ が減少する原因としてはON-反応による核燃焼生成物による影響がかんがえられる。しかし、質量に依存

せず一様に $[O/Fe]$ が低い原因は、説明できない。よって、これらは初期組成の影響であろうと考えられる。このことは、Luck and Lumbert(1985) や Takeda, Takada-Hidai(1998) によって指摘されている。

最後に $[Na/Fe]$ については、図 66 に $\text{Log}(L/L_{\text{solar}}) - [Na/Fe]$ を示す。この図からは、質量が増加するにしたがって明らかに $[Na/Fe]$ が増加している様子がわかる。しかし、Andrievsky(2002) によれば 5 ~ 7 太陽質量程度の恒星における $[Na/Fe]$ はばらつきが多く、全体としてはほぼ一定だとしている。また、Cyg (HD194093) においては、その組成が全体の傾きからは外れた位置にある。しかし、El Eid (1995) によると、9 太陽質量程度の恒星では $[Na/H]=0.227$ であるので、誤差の範囲内で一致していると思われる。

6 まとめ

- 超巨星・巨星の大気パラメータ決定において、Kovtyukh & Andrievsky(1999) による方法によって求められた表面重力加速度は、FeI と FeII それぞれから求められた微視的乱流速度の差が大きい場合には、実際より過剰に評価してしまう可能性がある。この方法によって分光学的に求められた表面重力加速度の使用には注意を要する。
- 今回測定を行った 15 個の巨星において、 $[C/Fe]$ は質量が増加するにつれて減少する傾向が見られた。これは、質量が大きくなるにしたがって、汲み上げの効果が高まるためであると考えられる。
- N I の組成が求められた 3 つの恒星の内、2 つは理論よりも $[C/N]$ の値が小さかった。これは、自転による子午線流、角運動量の再分配などによって生じる Mixing の影響だと考えられる。
- $[O/Fe]$ の値は、質量に依存性はなく、一様であった。このことから、 $[O/Fe]$ が少ないのは初期組成によるものであると考えられる。
- 今回の結果からは、 $[Na/Fe]$ は質量に対して依存性があるように見える。しかし、サンプル数が少ないため、今回は偶然の結果である可能性もあり、Andrievsky(2002) の結果を覆すまでには至らない。

参考文献

- Andrievsky, S. M., Egorova, I. A., Korotin, S. A., Kovtyukh, V. V., 2003AN, 324, 532A
- Andrievsky, S. M., Egorova, I. A., Korotin, S. A., Burnage, R., 2002, A&A, 389, 519
- Bagnulo, S., Jehin, E., Ledoux, C., Cabanac, R., Melo, C., Gilmozzi, R., The ESO Paranal Science Operations Team., 2003, Msngr, 114, 10
- Barbuy, B., de Medeiros, J. R., Maeder, A., 1996, A&A, 305, 911
- Becker, S. A., Cox, A. N., 1982, ApJ, 260, 707
- Becker, S. A., Iben, I., Jr., 1979, ApJ, 232, 831
- Blackwell, D. E., Petford, A. D., Arribas, S., Haddock, D. J., Selby, M. J., 1990, A&A, 232, 396
- Boothroyd, Arnold I., Sackmann, I.-Juliana., 1999, ApJ, 510, 232
- Boothroyd, Arnold I., Sackmann, I.-Juliana, Wasserburg, G. J., 1994, ApJ, 430, 77
- Boyarchuk, A. A., Hubeny, I., Kubat, J., Lyubimkov, L. S., Sakhibullin, N. A., 1988, Afz, 28, 335
- Boyarchuk, A. A., Lyubimkov, L. S., 1984, Ap, 20, 57
- Boyarchuk, A., Hubeny, I., Kubat, J., Lyubimkov, L. S., Sakhibullin, N. A., 1988, Afz, 28, 343
- Bressan, A., Fagotto, F., Bertelli, G., Chiosi, C., 1993, A&AS, 100, 647
- Charbonnel, C., 1994, A&A, 282, 811
- Charbonnel, C., Meynet, G., Maeder, A., Schaerer, D., 1996, A&AS, 115, 339
- Charbonnel, C., Meynet, G., Maeder, A., Schaller, G., Schaerer, D., 1993, A&AS, 101, 415
- de Freitas Pacheco, J. A., 1993, ApJ, 403, 673
- Dearborn, D., Schramm, D. N., Tinsley, B. M., 1978, ApJ, 223, 557
- Dearborn, David S. P., 1992, PhR, 210, 367
- El Eid, M. F., 1994, A&A, 285, 915
- El Eid, Mounib F., 1995, MNRAS, 275, 983
- Foy, R., 1981, A &A, 93, 315
- Gillet, D., Fokin, A. B., Breitfellner, M. G., Mazaauric, S., Nicolas, A., 1999, A &A, 344, 935
- Gilroy, Kalpana Krishnaswamy, 1989, ApJ, 347, 835
- GRAY R.O., GRAHAM P.W., HOYT S.R., 2001, AJ, 121, 2159
- Gray, David F., 1989, ApJ, 347, 1021
- Gray, David F., 1994, PASP, 106, 1248
- Iben, Icko, Jr., 1964, ApJ, 140, 1631

Iben, Icko, Jr., 1965, ApJ, 142, 1447
 Iben, Icko, Jr., 1966, ApJ, 143, 483
 Iben, Icko, Jr., 1966, ApJ, 143, 505
 Iben, Icko, Jr., 1967, ApJ, 147, 624
 Iben, Icko, Jr., 1967, ApJ, 147, 650
 Izumiura, Hideyuki, 2003, 天文月報, 96, 291
 Kilian, J., 1994, A&A, 282, 867
 Kovtyukh, V. V., Andrievsky, S. M., 1999, A&A, 351, 597
 Kovtyukh, V. V., Gorlova, N. I., 2000, A&A, 358, 587
 Kurucz, Robert L., Furenlid, Ingemar, Brault, James Testerman, Larry.
 1984, Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm (Sunspot, New Mexico: National Solar Observatory)
 Landre, V., Prantzos, N., Aguer, P., Bogaert, G., Lefebvre, A., Thibaud, J. P., 1990, A&A, 240, 85
 Lattanzio, J. C., Boothroyd, A. I., 1997, AIPC, 402, 85
 Luck R. E., 1982, ApJ, 256, 177
 Luck R. E., 1994, ApJS, 91, 309
 Luck, R. E., Andrievsky, S. M., 2004, AJ, 128, 343
 Luck, R. E., Lambert, D. L., 1981, ApJ, 245, 1018
 Luck, R. E., Lambert, D. L., 1985, ApJ, 298, 782
 McWilliam A., 1990, ApJS, 74, 1075
 Meylan, Thomas, Furenlid, Ingemar, Wiggs, Michael S., Kurucz, R. L., 1993, ApJS, 85, 163
 Meynet, G., Maeder, A., Schaller, G., Schaerer, D., Charbonnel, C., 1994, A&AS, 103, 97
 Moultaqa, J., Ilovaisky, S. A., Prugniel, P., Soubiran, C., 2004, PASP, 116, 693
 Mozurkewich, D., Armstrong, J. T., Hindsley, R. B., Quirrenbach, A., Hummel, C. A., Hutter, D. J., Johnston, K. J., Hajian, A. R., Elias, Nicholas M., II, Buscher, D. F., Simon, R. S., 2003, AJ, 126, 2502
 Ochsenbein, F., Halbwachs, J. L., 1982, A&AS, 47, 523O
 Rentzsch-Holm, I., 1996, A&A, 312, 966
 Saselov, D. D., 1986PASP, 98, 561
 Schaerer, D., Charbonnel, C., Meynet, G., Maeder, A., Schaller, G., 1993, A&AS, 102, 339
 Schaerer, D., Meynet, G., Maeder, A., Schaller, G., 1993, A&AS, 98, 523
 Schaller, G., Schaerer, D., Meynet, G., Maeder, A., 1992, A&AS, 96, 269
 Shaver, P. A., McGee, R. X., Newton, L. M., Danks, A. C., Pottasch, S. R., 1983, MNRAS, 204, 53

Sweigart, A. V., Greggio, L., Renzini, A., 1989, BAAS, 21, 789
Takeda, Yoichi, Sato, Bun'ei, Kambe, Eiji, Sadakane, Kozo, Ohkubo,
Michiko, 2002, PASJ, 54, 1041
Takeda, Yoichi, Takada-Hidai, Masahide, 1994, PASJ, 46, 395
Takeda, Yoichi, Takada-Hidai, Masahide, 1998, PASJ, 50, 629
Tammann, G. A., Sandage, A., Reindl, B., 2003, A&A, 404, 23
Thevenin, F., Foy, R., 1986, A&A, 155, 145
van Leeuwen, F., Evans, D. W., Grenon, M., Grossmann, V., Mignard,
F., Perryman, M. A. C., 1997, A&A, 323, 61
Vandenbergh, Don A., Smith, Graeme H., 1988, PASP, 100, 314
Venn, Kim A., 1995, ApJS, 99, 659
Venn, Kim A., 1996, PASP, 108, 309
Wasserburg, G. J., Boothroyd, Arnold I., Sackmann, I.-Juliana, 1995,
ApJ, 447, 37

表 5: 本研究で用いた分光データ

Star	ObsDate	SN(550nm)	dataset		
HD213306	2002-12-17	216	OA0	0.156	
	2002-12-18	143	OA0	0.341	
	2002-12-22	335	OA0	0.087	
	2002-12-23	323	OA0	0.271	
	2002-12-24	194	OA0	0.464	
	2002-12-25	70	OA0	0.649	
	2002-12-26	98	OA0	0.832	
	2002-12-27	391	OA0	0.017	
	2002-12-28	293	OA0	0.215	
	2002-12-29	216	OA0	0.387	
	2002-12-31	178	OA0	0.761	
	HD26630	1997-08-24	251.8	ELODIE	-
	HD50819	2000-12-19	140.4	ELODIE	-
	HD53003	2001-11-29	100.3	ELODIE	-
HD97082	2003-02-05	900	UVES	0.189	
HD125809	2001-07-28	1200	UVES	-	
HD136537	2003-03-11	1500	UVES	-	
HD154365	2001-06-20	550	UVES	0.854	
HD174383	2001-06-20	640	UVES	0.656	
HD159181	1997-08-27	170.6	ELODIE	-	
HD178287	2001-07-06	61.1	ELODIE	0.251	
HD178359	2001-07-06	82.9	ELODIE	0.399	
HD189511	1999-07-25	125.9	ELODIE	-	
HD194093	2003-12-07	900	OA0	-	
HD204867	1997-08-23	195	ELODIE	-	
HD209750	1997-08-23	187.9	ELODIE	-	
HD213306	2002-12-17	216	OA0	-	

表 6: Line Depth Ratio(Kovtyukh(2000) の方法による有効温度

Star	Teff(K)	(K)	N		
HD213306	6177K	57K	13	0.156	
	5756K	121K	13	0.341	
	6334K	45K	13	0.087	
	5846K	76K	13	0.271	
	5607K	72K	13	0.464	
	5489K	42K	13	0.649	
	5997K	130K	13	0.832	
	6517K	83K	13	0.017	
	5971K	34K	13	0.215	
	5662K	97K	13	0.387	
	5598K	75K	13	0.761	
	HD26630	5329K	69K	27	-
	HD50819	5154K	115K	28	-
	HD53003	5609K	143K	28	-
HD97082	5620K	49K	28	0.189	
HD125809	4817K	100K	28	-	
HD136537	4923K	88K	28	-	
HD154365	5558K	56K	28	0.854	
HD174383	5823K	82K	28	0.656	
HD159181	5165K	76K	28	-	
HD178287	5669K	155K	26	0.251	
HD178359	5215K	115K	26	-	
HD189511	4939K	104K	25	-	
HD194093	6166K	106K	22	-	
HD204867	5451K	81K	28	-	
HD209750	5167K	67K	28	-	

表 7: 組成解析に用いた吸収線リスト (*は Spite et al(1989) による)

Atomic number	Wavelength(A)	(eV)	log gf
6	5052.167	7.685	-1.378
6	5380.337	7.685	-1.683
6	6655.517	8.537	-1.902
6	6688.794	8.850	-2.130
6	7111.472	8.640	-1.149
6	7113.178	8.647	-0.790
6	7113.172	8.643	-0.842
6	7116.991	8.647	-0.907
6	7119.656	8.643	-1.013
7	8683.403	10.330	0.074
7	8711.703	10.330	-0.215
8	6300.311*	0.00	-9.760
11	5148.839	2.102	-2.092
11	5153.402	2.104	-1.574
11	5682.633	2.102	-0.686
11	5688.205	2.104	-0.389
11	6154.226	2.102	-1.589
11	6160.747	2.104	-1.282

表 8: 等価幅の測定値

wavelength	log gf	HD26630	HD50819	HD53003	
FeI					
4365.895	2.990	-2.234	97.6	86.7	71.2
4389.245	0.052	-4.581	124.6	119.4	121.1
4432.566	3.573	-1.658	70.7	75.7	54.0
4445.471	0.087	-5.411	87.2	94.4	65.0
4489.739	0.121	-3.901	-	-	204.0
4551.649	3.943	-1.893	38.1	60.2	20.9
4574.215	3.211	-2.320	80.4	-	-
4602.000	1.608	-3.140	140.7	125.0	134.1
4607.647	3.266	-1.545	-	-	-
4630.121	2.279	-2.462	-	138.6	145.1
4631.486	4.548	-1.859	23.4	-	-
4635.846	2.845	-2.349	113.2	90.7	56.8
4661.534	4.558	-1.101	72.1	-	-
4741.529	2.832	-1.923	143.1	-	117.0
4779.443	3.415	-2.115	79.4	74.2	60.8
4780.811	3.251	-3.205	20.6	-	16.3
4807.708	3.368	-1.947	99.7	99.9	67.1
4808.147	3.251	-2.605	-	48.1	34.5
4813.116	3.274	-2.688	57.7	-	-
4835.869	4.103	-1.262	-	-	-
4882.144	3.417	-1.375	141.9	109.2	114.5
4907.733	3.430	-1.639	121.8	97.0	-
4950.104	3.417	-1.342	148.8	120.0	116.1
4961.915	3.634	-2.259	-	57.4	41.4
4962.565	4.178	-1.103	104.5	87.3	-
4969.916	4.217	-0.585	137.2	112.6	118.1
5197.929	4.301	-1.438	-	77.8	-
5223.187	3.635	-2.231	43.4	56.6	32.3
5225.525	0.110	-4.471	-	140.3	112.5
5242.491	3.634	-0.906	149.9	123.5	142.8
5247.049	0.087	-4.942	-	142.8	-
5250.208	0.121	-4.859	-	131.6	-
5253.023	2.279	-3.819	3.8	-	-
5253.461	3.283	-1.670	-	-	-
5285.118	4.434	-1.465	61.5	58.2	53.8
5288.528	3.695	-1.525	109.1	95.9	86.1
5321.109	4.434	-1.198	68.9	65.7	-
5326.140	3.570	-2.153	66.6	-	-
5365.396	3.573	-1.202	149.4	119.5	136.3
5376.826	4.294	-1.983	-	35.2	-
5379.574	3.695	-1.447	107.7	96.2	77.9
5385.579	3.695	-3.008	-	-	-
5386.335	4.154	-1.770	-	-	-
5389.479	4.415	-0.285	149.8	-	140.1
5395.215	4.446	-1.682	33.6	40.6	25.7
5398.277	4.446	-0.483	122.6	101.8	111.2
5401.264	4.320	-1.666	37.4	50.7	32.4
5406.770	4.371	-1.394	47.2	58.1	37.0
5409.133	4.371	-0.934	116.7	97.5	105.0
5412.798	4.440	-1.727	-	39.0	-
5417.039	4.415	-1.347	-	-	-
5434.523	1.011	-2.158	-	-	287.0
5436.297	4.386	-1.250	-	69.4	-
5436.587	2.279	-3.264	-	83.4	-
5441.354	4.312	-1.511	56.4	55.2	43.5
5464.278	4.143	-1.545	-	61.1	-
5470.092	4.446	-1.522	-	-	-
5473.900	4.154	-0.634	-	119.0	129.5
5491.840	4.190	-2.139	-	27.8	-
5517.069	4.209	-1.979	-	-	-
5522.447	4.209	-1.373	75.6	71.3	52.6
5546.500	4.371	-1.018	94.2	84.2	67.1
5549.948	3.695	-2.762	-	-	-
5552.691	4.956	-1.704	-	16.4	-
5559.638	4.988	-1.614	-	12.0	-
5568.867	3.635	-2.817	27.2	-	-
5577.031	5.033	-1.446	-	21.8	-
5586.756	3.368	-0.210	-	-	-

表 8: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD26630	HD50819	HD53003
5587.573	4.143	-1.593	-	68.3	-
5595.075	5.064	-1.633	-	-	-
5608.974	4.209	-2.287	-	-	-
5617.186	3.251	-2.880	-	-	-
5618.631	4.209	-1.233	83.9	74.3	-
5619.587	4.386	-1.409	53.4	53.0	38.7
5636.696	3.640	-2.495	33.1	40.3	-
5638.262	4.220	-0.663	126.1	109.4	115.6
5650.02	5.099	-0.749	-	-	-
5650.704	5.085	-0.672	60.3	59.7	43.8
5651.470	4.473	-1.747	33.6	38.7	26.5
5652.320	4.260	-1.731	43.9	48.3	29.1
5653.889	4.386	-1.334	66.5	-	54.3
5661.348	4.280	-1.790	34.3	47.7	-
5679.025	4.652	-0.626	91.1	85.0	75.2
5680.241	4.186	-2.306	-	31.9	-
5696.102	4.550	-1.847	-	38.2	-
5701.545	2.560	-2.087	-	142.1	-
5705.466	4.300	-1.433	63.1	62.7	-
5731.762	4.256	-1.050	97.5	86.5	79.6
5732.275	4.991	-1.400	-	25.4	-
5752.023	4.548	-0.846	-	-	-
5753.121	4.260	-0.594	142.2	119.1	123.4
5760.345	3.642	-2.438	46.0	43.5	-
5775.080	4.220	-1.059	98.0	87.4	77.6
5778.455	2.590	-3.468	40.5	52.8	24.6
5784.657	3.340	-2.615	-	59.2	-
5793.913	4.220	-1.578	-	63.1	42.0
5814.805	4.283	-1.797	36.4	38.2	-
5827.875	3.283	-3.165	26.6	31.1	-
5835.098	4.256	-2.113	-	27.2	-
5837.700	4.294	-2.255	-	20.7	-
5845.266	5.033	-1.673	-	15.0	-
5849.682	3.695	-2.885	12.7	16.3	-
5852.217	4.548	-1.127	64.5	66.0	47.1
5853.149	1.485	-5.089	-	31.0	-
5855.091	4.607	-1.493	36.4	42.3	27.3
5856.083	4.294	-1.513	60.6	62.5	45.8
5858.779	4.220	-2.156	24.3	26.5	-
5859.578	4.548	-0.489	130.2	107.6	101.4
5861.107	4.283	-2.327	14.3	20.6	-
5880.029	4.558	-1.877	-	-	-
5881.279	4.607	-1.741	-	-	-
5902.485	4.593	-1.783	-	-	-
5905.689	4.652	-0.650	-	-	-
5909.970	3.210	-2.579	-	-	-
5916.249	2.453	-2.882	-	-	-
5927.786	4.652	-0.987	-	65.8	45.9
5929.667	4.548	-1.140	81.4	60.2	59.7
5934.653	3.929	-1.015	127.5	108.7	109.0
5956.692	0.859	-4.537	-	-	-
5976.775	3.943	-1.31	-	-	-
5984.814	4.733	-0.129	-	111.4	121.5
5987.066	4.795	-0.307	122.0	95.9	100.2
6003.010	3.882	-0.903	134.5	120.9	122.3
6027.050	4.076	-1.065	118.0	99.8	110.7
6082.708	2.223	-3.555	81.0	78.5	56.5
6093.666	4.607	-1.297	49.8	51.0	37.6
6094.364	4.652	-1.557	33.6	39.0	19.1
6096.662	3.984	-1.758	66.3	65.7	-
6105.152	4.548	-1.916	16.1	21.4	-
6120.244	0.910	-5.906	17.5	24.1	-
6127.909	4.143	-1.352	85.3	82.5	69.8
6136.615	2.453	-1.400	-	-	-
6151.617	2.176	-3.296	99.4	92.2	71.8
6165.361	4.143	-1.434	75.7	74.6	55.2
6173.341	2.223	-2.888	142.4	119.6	121.8
6180.203	2.730	-2.615	111.6	107.1	83.3
6187.398	2.832	-4.094	-	-	-
6187.987	3.943	-1.587	80.3	74.9	54.0

表 8: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD26630	HD50819	HD53003
6200.314	2.609	-2.360	137.5	121.6	121.0
6213.429	2.223	-2.562	-	143.7	152.0
6219.279	2.198	-2.458	-	151.5	170.3
6220.776	3.882	-2.322	-	-	-
6221.367	3.929	-2.488	-	-	-
6226.730	3.883	-2.055	50.6	54.7	-
6229.225	2.845	-2.877	95.1	89.0	72.9
6232.639	3.650	-1.197	-	126.1	131.6
6240.645	2.220	-3.269	105.0	96.0	75.1
6265.131	2.176	-2.578	-	145.5	150.5
6271.276	3.330	-2.751	53.7	54.1	-
6280.616	0.859	-4.363	-	-	-
6297.792	2.223	-2.761	147.9	-	-
6311.500	2.832	-3.230	-	-	-
6322.690	2.588	-2.326	149.4	123.8	119.6
6330.838	4.733	-1.152	52.0	-	40.4
6335.328	2.198	-2.349	-	154.1	168.6
6392.538	2.279	-3.939	37.4	44.8	-
6436.411	4.186	-2.337	18.8	22.5	-
6481.869	2.279	-2.933	-	122.3	117.6
6494.980	2.404	-1.301	-	-	238.8
6496.469	4.795	-0.483	-	-	-
6498.937	0.958	-4.632	-	-	-
6518.365	2.830	-2.564	-	-	-
6574.225	0.990	-4.980	66.8	78.2	47.6
6581.207	1.480	-4.751	62.6	80.3	41.1
6591.325	4.593	-1.957	-	27.0	-
6593.871	2.433	-2.359	-	147.3	156.8
6608.024	2.279	-3.952	41.2	49.5	22.3
6609.110	2.559	-2.616	132.6	120.5	104.7
6625.021	1.010	-5.307	44.1	56.3	20.4
6627.540	4.548	-1.452	46.6	51.5	28.6
6646.932	2.608	-3.931	28.2	34.1	-
6699.162	4.590	-2.081	-	20.8	-
6703.568	2.759	-3.008	77.6	-	46.4
6710.316	1.485	-4.813	42.7	50.2	-
6725.353	4.103	-2.178	31.1	37.7	16.9
6726.661	4.607	-1.003	72.7	66.9	50.6
6732.070	4.584	-2.111	-	-	-
6733.151	4.638	-1.403	44.2	45.7	19.1
6739.520	1.557	-4.790	-	34.4	-
6745.090	4.580	-2.065	-	-	-
6745.955	4.076	-2.632	-	-	-
6746.953	2.608	-4.337	-	17.7	-
6750.150	2.424	-2.570	-	131.6	-
6752.705	4.640	-1.186	65.1	72.4	-
6783.707	2.588	-3.980	-	24.8	-
FeII					
4508.288	2.855	-2.210	282.3	170.0	302.7
4576.340	2.844	-3.040	206.2	134.8	228.7
4620.521	2.828	-3.280	173.1	103.9	186.1
4656.981	2.891	-3.630	86.5	-	-
5234.625	3.221	-2.271	281.4	153.9	303.6
5264.812	3.230	-3.108	164.6	90.5	187.5
5325.553	3.221	-3.210	161.8	89.8	177.3
5414.073	3.221	-3.568	-	71.4	119.0
5425.257	3.199	-3.221	146.3	90.5	175.8
5427.826	6.724	-1.487	20.4	13.5	-
5525.125	3.267	-4.007	76.6	45.7	80.2
5991.376	3.153	-3.540	133.3	51.1	-
6084.111	3.199	-3.791	113.0	62.8	113.0
6149.258	3.889	-2.720	141.5	79.0	141.0
6238.392	3.889	-2.630	-	161.1	-
6239.366	2.807	-4.538	44.3	28.5	92.2
6247.557	3.892	-2.336	198.0	113.2	212.6
6432.680	2.891	-3.579	149.5	93.8	147.8
6446.410	6.222	-1.938	18.7	-	28.8
6456.383	3.903	-2.142	227.4	131.9	256.9

表 8: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD26630	HD50819	HD53003
C I					
5052.167	7.685	-1.378	62.8	45.7	64.6
5380.337	7.685	-1.683	36.1	26.3	40.7
Na I					
5682.633	2.102	-0.686	174.1	141.3	157.8
6154.226	2.102	-1.589	76.4	65.5	49.9
6160.747	2.104	-1.282	99	86.6	87.2

表 9: 等価幅の測定値

wavelength	log gf	HD159181	HD178287	HD178359
FeI				
4365.895	2.990	-2.234	98.3	88.2
4389.245	0.052	-4.581	149.6	113.6
4432.566	3.573	-1.638	91.9	68.9
4445.471	0.087	-5.411	104.3	49.1
4489.739	0.121	-3.901	-	-
4551.649	3.943	-1.893	46.8	-
4574.215	3.211	-2.320	79.9	-
4602.000	1.608	-3.140	144.6	121.4
4607.647	3.266	-1.545	-	-
4630.121	2.279	-2.462	-	133.1
4631.486	4.548	-1.859	-	-
4635.846	2.845	-2.349	-	-
4661.534	4.558	-1.101	60.3	-
4741.529	2.832	-1.923	148.7	136.8
4779.443	3.415	-2.115	87.1	67.8
4780.811	3.251	-3.205	25.7	-
4807.708	3.368	-1.947	117.9	76.7
4808.147	3.251	-2.605	-	-
4813.116	3.274	-2.688	-	-
4835.869	4.103	-1.262	-	-
4882.144	3.417	-1.375	-	126.0
4907.733	3.430	-1.639	-	96.4
4950.104	3.417	-1.342	-	120.2
4961.915	3.634	-2.259	72.5	-
4962.565	4.178	-1.103	-	-
4969.916	4.217	-0.585	131.9	128.0
5197.929	4.301	-1.438	-	-
5223.187	3.635	-2.231	56.3	-
5225.525	0.110	-4.471	-	133.4
5242.491	3.634	-0.906	-	154.7
5247.049	0.087	-4.942	-	-
5250.208	0.121	-4.859	-	217.7
5253.023	2.279	-3.819	-	-
5253.461	3.283	-1.670	-	121.9
5285.118	4.434	-1.465	65.4	71.0
5288.528	3.695	-1.525	109.8	92.5
5321.109	4.434	-1.198	71.3	-
5326.140	3.570	-2.153	74.5	13.1
5365.396	3.573	-1.202	-	-
5376.826	4.294	-1.983	-	157.5
5379.574	3.695	-1.447	111.2	92.6
5385.579	3.695	-3.008	-	-
5386.335	4.154	-1.770	-	-
5389.479	4.415	-0.285	-	137.0
5395.215	4.446	-1.682	42.3	24.2
5398.277	4.446	-0.483	120.1	104.0
5401.264	4.320	-1.666	45.4	27.6
5406.770	4.371	-1.394	57.2	46.3
5409.133	4.371	-0.934	127.8	107.0
5412.798	4.440	-1.727	-	-
5417.039	4.415	-1.347	-	47.3
5434.523	1.011	-2.158	-	301.8
5436.297	4.386	-1.250	-	-
5436.587	2.279	-3.264	-	-
5441.354	4.312	-1.511	-	68.2
5464.278	4.143	-1.545	87.4	62.9
5470.092	4.446	-1.522	-	38.4
5473.900	4.154	-0.634	-	-
5491.840	4.190	-2.139	-	-
5517.069	4.209	-1.979	-	-
5522.447	4.209	-1.373	81.4	49.7
5546.500	4.371	-1.018	96.3	74.7
5549.948	3.695	-2.762	-	-
5552.691	4.956	-1.704	-	-
5559.638	4.988	-1.614	-	-
5568.867	3.635	-2.817	30.7	-
5577.031	5.033	-1.446	-	-
5586.756	3.368	-0.210	-	265.8
				266.3

表 9: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD159181	HD178287	HD178359
5587.573	4.143	-1.593	-	-	-
5595.075	5.064	-1.633	-	-	-
5608.974	4.209	-2.287	-	-	39.7
5617.186	3.251	-2.880	-	-	64.6
5618.631	4.209	-1.233	84.8	74.5	95.3
5619.587	4.386	-1.409	52.5	-	-
5636.696	3.640	-2.495	-	-	45.5
5638.262	4.220	-0.663	120.7	112.5	142.8
5650.02	5.099	-0.749	-	-	-
5650.704	5.085	-0.672	67.7	-	77.7
5651.470	4.473	-1.747	41.4	24.3	43.8
5652.320	4.260	-1.731	58.2	33.5	55.4
5653.889	4.386	-1.334	68.6	65.1	75.1
5661.348	4.280	-1.790	48.0	23.5	51.8
5679.025	4.652	-0.626	91.9	73.6	95.6
5680.241	4.186	-2.306	-	-	-
5696.102	4.550	-1.847	50.6	-	-
5701.545	2.560	-2.087	148.3	128.4	182.1
5705.466	4.300	-1.433	72.3	50.9	76.0
5731.762	4.256	-1.050	103.6	85.0	101.8
5732.275	4.991	-1.400	-	-	30.6
5752.023	4.548	-0.846	-	-	-
5753.121	4.260	-0.594	141.8	-	158.0
5760.345	3.642	-2.438	49.2	35.8	50.2
5775.080	4.220	-1.059	96.2	83.5	106.9
5778.452	2.590	-3.468	55.1	-	59.0
5784.657	3.340	-2.615	-	-	56.5
5793.913	4.220	-1.578	78.0	-	71.0
5814.805	4.283	-1.797	41.3	-	48.8
5827.875	3.283	-3.165	-	-	37.4
5835.098	4.256	-2.113	-	-	39.8
5837.700	4.294	-2.255	-	-	18.2
5845.266	5.033	-1.673	-	-	-
5849.682	3.695	-2.885	-	21.2	-
5852.217	4.548	-1.127	77.5	58.1	73.8
5853.149	1.485	-5.089	-	-	28.1
5855.091	4.607	-1.493	45.7	-	53.7
5856.083	4.294	-1.513	72.2	47.1	72.2
5858.779	4.220	-2.156	15.1	-	26.0
5859.578	4.548	-0.489	127.3	114.7	143.9
5861.107	4.283	-2.327	-	-	17.2
5880.029	4.558	-1.877	-	-	-
5881.279	4.607	-1.741	-	-	-
5902.485	4.593	-1.783	-	-	-
5905.689	4.652	-0.650	-	-	-
5909.970	3.210	-2.579	-	-	-
5916.249	2.453	-2.882	-	-	153.4
5927.786	4.652	-0.987	67.4	-	-
5929.667	4.548	-1.140	75.2	-	78.9
5934.653	3.929	-1.015	130.9	108.3	139.9
5956.692	0.859	-4.537	-	-	-
5976.775	3.943	-1.31	-	-	-
5984.814	4.733	-0.129	121.2	-	-
5987.066	4.795	-0.307	124.2	119.6	131.8
6003.010	3.882	-0.903	-	132.6	152.9
6027.050	4.076	-1.065	124.0	-	150.0
6082.708	2.223	-3.555	102.2	55.0	101.0
6093.666	4.607	-1.297	55.0	35.0	61.9
6094.364	4.652	-1.557	40.6	17.0	42.4
6096.662	3.984	-1.758	78.0	54.4	65.4
6105.152	4.548	-1.916	-	-	20.6
6120.244	0.910	-5.906	24.3	-	-
6127.909	4.143	-1.352	97.3	-	102.3
6136.615	2.453	-1.400	-	247.9	272.7
6151.617	2.176	-3.296	104.8	66.6	117.5
6165.361	4.143	-1.434	86.5	69.1	88.2
6173.341	2.223	-2.888	147.5	127.2	177.8
6180.203	2.730	-2.615	121.2	87.6	136.4
6187.398	2.832	-4.094	-	-	17.1
6187.987	3.943	-1.587	81.3	61.6	-

表 9: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD159181	HD178287	HD178359
6200.314	2.609	-2.360	139.5	-	-
6213.429	2.223	-2.562	-	145.7	191.8
6219.279	2.198	-2.458	-	180.6	229.0
6220.776	3.882	-2.322	-	-	51.6
6221.367	3.929	-2.488	-	-	-
6226.730	3.883	-2.055	58.8	48.5	58.7
6229.225	2.845	-2.877	96.3	83.5	120.9
6232.639	3.650	-1.197	146.2	131.3	160.9
6240.645	2.220	-3.269	-	-	127.1
6265.131	2.176	-2.578	-	181.7	203.5
6271.276	3.330	-2.751	51.2	34.4	71.0
6280.616	0.859	-4.363	-	-	-
6297.792	2.223	-2.761	-	-	-
6311.500	2.832	-3.230	-	55.7	93.7
6322.690	2.588	-2.326	-	125.6	164.1
6330.838	4.733	-1.152	55.1	47.7	65.8
6335.328	2.198	-2.349	-	181.1	208.4
6392.538	2.279	-3.939	-	28.2	53.7
6436.411	4.186	-2.337	28.2	22.6	35.3
6481.869	2.279	-2.933	-	160.9	169.0
6494.980	2.404	-1.301	-	267.9	272.4
6496.469	4.795	-0.483	-	-	-
6498.937	0.958	-4.632	-	-	126.8
6518.365	2.830	-2.564	-	-	-
6574.225	0.990	-4.980	-	43.8	101.9
6581.207	1.480	-4.751	92.5	-	90.7
6591.325	4.593	-1.957	-	-	-
6593.871	2.433	-2.359	-	-	-
6608.024	2.279	-3.952	53.7	19.5	51.8
6609.110	2.559	-2.616	142.3	102.9	149.6
6625.021	1.010	-5.307	62.5	25.7	64.6
6627.540	4.548	-1.452	55.0	43.6	60.9
6646.932	2.608	-3.931	37.9	-	41.5
6699.162	4.590	-2.081	-	-	27.4
6703.568	2.759	-3.008	83.2	48.6	94.5
6710.316	1.485	-4.813	58.0	26.2	54.0
6725.353	4.103	-2.178	40.3	21.7	43.9
6726.661	4.607	-1.003	79.3	61.5	85.0
6732.070	4.584	-2.111	-	-	-
6733.151	4.638	-1.403	52.9	40.9	51.1
6739.520	1.557	-4.790	-	-	-
6745.090	4.580	-2.065	-	-	-
6745.955	4.076	-2.632	-	-	21.0
6746.953	2.608	-4.337	-	-	21.6
6750.150	2.424	-2.570	147.6	130.4	175.1
6752.705	4.640	-1.186	69.4	42.0	78.1
6783.707	2.588	-3.980	-	-	-
6793.252	4.076	-2.366	-	-	-
6804.001	4.650	-1.522	-	-	-
6806.847	2.727	-3.098	-	-	-
6810.257	4.607	-0.927	-	-	-
6828.590	4.638	-0.790	-	-	-
6833.224	4.638	-1.988	-	-	-
6837.016	4.590	-1.750	-	-	-
6839.831	2.559	-3.362	-	-	-
6843.648	4.548	-0.764	-	-	-
6855.159	4.558	-0.575	-	-	-
FeII					
4508.288	2.855	-2.210	284.0	303.4	233.8
4576.340	2.844	-3.040	199.8	232.7	229.1
4620.521	2.828	-3.280	154.2	192.5	189.1
5234.625	3.221	-2.271	272.3	320.5	252.4
5264.812	3.230	-3.108	140.5	186.7	185.1
5325.553	3.221	-3.210	143.1	194.7	173.4
5414.073	3.221	-3.568	112.2	-	-
5425.257	3.199	-3.221	135.2	167.2	161.2
5427.826	6.724	-1.487	13.3	31.2	24.5
5525.125	3.267	-4.007	64.8	88.0	97.2
5991.376	3.153	-3.540	-	-	163.7

表 9: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD159181	HD178287	HD178359
6084.111	3.199	-3.791	101.8	125.0	142.4
6149.258	3.889	-2.720	132.0	162.0	160.7
6239.366	2.807	-4.538	39.7	99.8	128.6
6247.557	3.892	-2.336	181.3	220.8	205.7
6432.680	2.891	-3.579	133.2	194.9	176.6
6446.410	6.222	-1.938	11.2	28.5	32.4
6456.383	3.903	-2.142	218.2	259.4	227.0
C I					
5052.167	7.685	-1.378	42.2	95	75.6
5380.337	7.685	-1.683	32.3	58.6	52.2
Na I					
5682.633	2.102	-0.686	168.3	163	171
6154.226	2.102	-1.589	70.3	60	90.7
6160.747	2.104	-1.282	91	84	104.5

表 10: 等価幅の測定値

wavelength	log gf	HD189511	HD204867	HD209750	
FeI					
4365.895	2.990	-2.234	-	76.2	104.2
4389.245	0.052	-4.581	-	137.2	138.4
4432.566	3.573	-1.638	-	-	77.3
4445.471	0.087	-5.411	-	76.7	113.1
4489.739	0.121	-3.901	-	-	-
4551.649	3.943	-1.893	61.4	31.0	45.6
4574.215	3.211	-2.320	83.5	73.2	93.0
4602.000	1.608	-3.140	145.6	144.2	164.0
4607.647	3.266	-1.545	-	173.3	-
4630.121	2.279	-2.462	147.2	157.4	168.9
4631.486	4.548	-1.859	32.6	-	-
4635.846	2.845	-2.349	-	91.1	119.7
4661.534	4.558	-1.101	-	63.6	-
4741.529	2.832	-1.923	134.8	144.6	147.6
4779.443	3.415	-2.115	91.6	85.2	-
4780.811	3.251	-3.205	36.3	-	20.4
4807.708	3.368	-1.947	114.5	90.0	115.7
4808.147	3.251	-2.605	61.1	33.9	-
4813.116	3.274	-2.688	79.5	-	-
4835.869	4.103	-1.262	157.8	-	-
4882.144	3.417	-1.375	136.6	162.1	182.5
4907.733	3.430	-1.639	117.1	112.7	140.9
4950.104	3.417	-1.342	130.7	137.6	157.4
4961.915	3.634	-2.259	-	-	-
4962.565	4.178	-1.103	-	-	120.1
4969.916	4.217	-0.585	126.4	134.6	147.1
5197.929	4.301	-1.438	-	-	-
5223.187	3.635	-2.231	60.1	34.3	44.2
5225.525	0.110	-4.471	160.6	154.4	181.1
5242.491	3.634	-0.906	138.2	155.7	162.7
5247.049	0.087	-4.942	170.9	-	-
5250.208	0.121	-4.859	166.3	239.3	-
5253.023	2.279	-3.819	-	-	-
5253.461	3.283	-1.670	-	136.2	-
5285.118	4.434	-1.465	56.0	56.8	66.0
5288.528	3.695	-1.525	113.8	105.0	123.6
5321.109	4.434	-1.198	74.7	-	-
5326.140	3.570	-2.153	88.7	11.2	-
5365.396	3.573	-1.202	132.5	145.2	160.3
5376.826	4.294	-1.983	-	-	-
5379.574	3.695	-1.447	104.5	94.5	120.5
5385.579	3.695	-3.008	19.3	-	-
5386.335	4.154	-1.770	-	39.3	-
5389.479	4.415	-0.285	131.6	153.5	172.6
5395.215	4.446	-1.682	49.2	29.9	43.7
5398.277	4.446	-0.483	112.4	125.0	134.9
5401.264	4.320	-1.666	69.6	39.4	47.1
5406.770	4.371	-1.394	75.6	52.0	52.2
5409.133	4.371	-0.934	132.2	123.7	143.7
5412.798	4.440	-1.727	-	-	-
5417.039	4.415	-1.347	73.1	42.8	61.6
5434.523	1.011	-2.158	269.5	307.2	325.2
5436.297	4.386	-1.250	92.5	-	-
5436.587	2.279	-3.264	-	-	-
5441.354	4.312	-1.511	67.5	44.9	63.2
5464.278	4.143	-1.545	85.8	71.9	-
5470.092	4.446	-1.522	53.6	35.5	-
5473.900	4.154	-0.634	-	138.2	-
5491.840	4.190	-2.139	38.0	-	-
5517.069	4.209	-1.979	53.7	-	-
5522.447	4.209	-1.373	81.7	62.1	-
5546.500	4.371	-1.018	100.9	83.1	-
5549.948	3.695	-2.762	48.3	-	-
5552.691	4.956	-1.704	24.1	-	17.7
5559.638	4.988	-1.614	17.3	-	-
5568.867	3.635	-2.817	32.8	12.9	32.7
5577.031	5.033	-1.446	-	-	-
5586.756	3.368	-0.210	-	-	-

表 10: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD189511	HD204867	HD209750
5587.573	4.143	-1.593	88.7	-	-
5595.075	5.064	-1.633	16.9	-	-
5608.974	4.209	-2.287	39.3	-	25.9
5617.186	3.251	-2.880	-	-	-
5618.631	4.209	-1.233	88.6	77.2	95.1
5619.587	4.386	-1.409	60.9	40.6	60.4
5636.696	3.640	-2.495	56.3	-	-
5638.262	4.220	-0.663	123.0	129.5	142.1
5650.02	5.099	-0.749	-	-	-
5650.704	5.085	-0.672	75.3	50.8	66.6
5651.470	4.473	-1.747	48.6	26.4	36.4
5652.320	4.260	-1.731	59.7	31.2	52.3
5653.889	4.386	-1.334	74.0	52.5	75.1
5661.348	4.280	-1.790	59.3	31.5	47.6
5679.025	4.652	-0.626	88.7	83.1	95.8
5680.241	4.186	-2.306	40.7	-	-
5696.102	4.550	-1.847	35.9	-	-
5701.545	2.560	-2.087	151.5	-	183.1
5705.466	4.300	-1.433	70.4	54.3	67.5
5731.762	4.256	-1.050	95.8	86.0	113.0
5732.275	4.991	-1.400	35.2	-	44.2
5752.023	4.548	-0.846	94.8	-	-
5753.121	4.260	-0.594	121.6	-	165.6
5760.345	3.642	-2.438	60.8	-	53.8
5775.080	4.220	-1.059	100.3	86.3	108.7
5778.452	2.590	-3.468	77.5	-	62.6
5784.657	3.340	-2.615	67.4	-	-
5793.913	4.220	-1.578	73.5	-	69.5
5814.805	4.283	-1.797	56.9	32.1	42.6
5827.875	3.283	-3.165	43.6	-	-
5835.098	4.256	-2.113	-	-	-
5837.700	4.294	-2.255	20.2	-	-
5845.266	5.033	-1.673	19.7	-	-
5849.682	3.695	-2.885	28.3	9.8	22.8
5852.217	4.548	-1.127	80.0	55.7	80.0
5853.149	1.485	-5.089	48.3	-	-
5855.091	4.607	-1.493	50.6	33.3	37.5
5856.083	4.294	-1.513	73.4	51.5	68.0
5858.779	4.220	-2.156	33.3	-	23.9
5859.578	4.548	-0.489	-	140.3	141.2
5861.107	4.283	-2.327	31.0	-	-
5880.029	4.558	-1.877	-	-	-
5881.279	4.607	-1.741	-	-	-
5902.485	4.593	-1.783	-	-	-
5905.689	4.652	-0.650	92.2	87.5	93.5
5909.970	3.210	-2.579	-	-	-
5916.249	2.453	-2.882	131.2	116.2	152.3
5927.786	4.652	-0.987	-	-	-
5929.667	4.548	-1.140	76.3	62.6	70.3
5934.653	3.929	-1.015	129.7	133.4	142.2
5956.692	0.859	-4.537	135.1	-	-
5976.775	3.943	-1.31	-	-	-
5984.814	4.733	-0.129	-	-	-
5987.066	4.795	-0.307	108.8	122.2	139.1
6003.010	3.882	-0.903	124.8	138.4	158.3
6027.050	4.076	-1.065	113.3	111.6	136.8
6082.708	2.223	-3.555	104.9	65.2	115.3
6093.666	4.607	-1.297	61.6	42.3	60.0
6094.364	4.652	-1.557	44.8	23.4	39.6
6096.662	3.984	-1.758	75.9	51.3	72.1
6105.152	4.548	-1.916	29.4	-	-
6120.244	0.910	-5.906	41.7	-	25.3
6127.909	4.143	-1.352	97.9	79.4	103.0
6136.615	2.453	-1.400	-	-	-
6151.617	2.176	-3.296	113.4	94.9	124.3
6165.361	4.143	-1.434	91.0	65.6	85.7
6173.341	2.223	-2.888	145.6	139.2	173.9
6180.203	2.730	-2.615	128.7	107.0	136.3
6187.398	2.832	-4.094	22.0	-	-
6187.987	3.943	-1.587	-	63.4	89.2

表 10: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD189511	HD204867	HD209750
6200.314	2.609	-2.360	135.5	139.6	159.0
6213.429	2.223	-2.562	160.9	170.8	193.6
6219.279	2.198	-2.458	172.9	191.4	215.7
6220.776	3.882	-2.322	55.6	-	-
6221.367	3.929	-2.488	-	-	-
6226.730	3.883	-2.055	70.1	42.5	-
6229.225	2.845	-2.877	104.4	82.8	-
6232.639	3.650	-1.197	142.8	149.0	172.6
6240.645	2.220	-3.269	117.9	97.5	137.9
6265.131	2.176	-2.578	159.9	176.0	196.1
6271.276	3.330	-2.751	86.0	43.3	65.4
6280.616	0.859	-4.363	-	-	-
6297.792	2.223	-2.761	-	-	-
6311.500	2.832	-3.230	-	-	-
6322.690	2.588	-2.326	135.6	134.4	166.2
6330.838	4.733	-1.152	60.5	37.2	60.1
6335.328	2.198	-2.349	183.6	198.1	215.8
6392.538	2.279	-3.939	67.0	31.1	57.5
6436.411	4.186	-2.337	30.4	-	37.7
6481.869	2.279	-2.933	134.5	129.0	188.4
6494.980	2.404	-1.301	-	-	291.0
6496.469	4.795	-0.483	112.1	-	-
6498.937	0.958	-4.632	-	-	-
6518.365	2.830	-2.564	-	-	-
6574.225	0.990	-4.980	-	-	-
6581.207	1.480	-4.751	93.5	47.5	80.0
6591.325	4.593	-1.957	36.1	26.0	38.3
6593.871	2.433	-2.359	174.1	187.2	-
6608.024	2.279	-3.952	67.9	27.2	44.6
6609.110	2.559	-2.616	147.3	134.9	154.6
6625.021	1.010	-5.307	92.4	28.3	62.9
6627.540	4.548	-1.452	64.4	-	55.7
6646.932	2.608	-3.931	-	21.7	32.5
6699.162	4.590	-2.081	19.7	-	-
6703.568	2.759	-3.008	93.1	57.4	92.8
6710.316	1.485	-4.813	75.8	25.2	58.9
6725.353	4.103	-2.178	47.8	26.2	45.2
6726.661	4.607	-1.003	77.4	60.4	89.2
6732.070	4.584	-2.111	33.4	-	-
6733.151	4.638	-1.403	52.3	34.4	46.8
6739.520	1.557	-4.790	61.2	-	-
6745.090	4.580	-2.065	27.4	-	-
6745.955	4.076	-2.632	19.0	-	-
6746.953	2.608	-4.337	22.4	-	-
6750.150	2.424	-2.570	148.6	138.8	167.1
6752.705	4.640	-1.186	86.4	49.7	80.9
6783.707	2.588	-3.980	-	31.4	-
6793.252	4.076	-2.366	44.1	-	-
FeI					
4508.288	2.855	-2.210	159.1	324.5	-
4576.340	2.844	-3.040	139.8	247.3	226.6
4620.521	2.828	-3.280	106.3	204.3	190.8
5234.625	3.221	-2.271	150.1	325.8	318.5
5264.812	3.230	-3.108	81.4	217.8	195.4
5325.553	3.221	-3.210	91.3	198.8	184.3
5425.257	3.199	-3.221	81.3	181.1	162.6
5427.826	6.724	-1.487	7.5	23.9	15.2
5525.125	3.267	-4.007	50.3	87.2	-
5991.376	3.153	-3.540	-	-	144.2
6084.111	3.199	-3.791	62.7	136.0	130.0
6149.258	3.889	-2.720	81.7	167.6	156.1
6239.366	2.807	-4.538	65.7	61.3	78.0
6247.557	3.892	-2.336	104.4	219.2	212.2
6432.680	2.891	-3.579	85.5	176.2	-
6446.410	6.222	-1.938	-	31.5	25.6
6456.383	3.903	-2.142	119.8	274.2	248.4
C I					
5052.167	7.685	-1.378	-	75	-

表 10: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD189511	HD204867	HD209750
5380.337	7.685	-1.683	5.2	38.3	35.6
Na I					
5682.633	2.102	-0.686	160.3	173.4	185.5
6154.226	2.102	-1.589	95.2	61.1	69.1
6160.747	2.104	-1.282	107.3	92.3	107.3

表 11: 等価幅の測定値

wavelength	log gf	HD97082	HD125809	HD136537
FeI				
5223.187	3.635	-2.231	37.0	-
5225.525	0.110	-4.471	-	71.6
5242.491	3.634	-0.906	153.1	232.0
5247.049	0.087	-4.942	-	-
5250.208	0.121	-4.859	-	-
5253.023	2.279	-3.819	-	-
5253.461	3.283	-1.670	-	-
5285.118	4.434	-1.465	-	-
5288.528	3.695	-1.525	-	-
5321.109	4.434	-1.198	62.6	86.7
5326.140	3.570	-2.153	49.2	-
5365.396	3.573	-1.202	141.0	167.9
5376.826	4.294	-1.983	-	-
5379.574	3.695	-1.447	-	-
5385.579	3.695	-3.008	-	-
5386.335	4.154	-1.770	-	-
5389.479	4.415	-0.285	149.6	-
5395.215	4.446	-1.682	-	64.5
5398.277	4.446	-0.483	-	47.9
5401.264	4.320	-1.666	31.3	73.9
5406.770	4.371	-1.394	-	56.9
5409.133	4.371	-0.934	-	70.5
5412.798	4.440	-1.727	-	-
5417.039	4.415	-1.347	-	-
5434.523	1.011	-2.158	-	-
5436.297	4.386	-1.250	-	-
5436.587	2.279	-3.264	-	-
5441.354	4.312	-1.511	44.7	-
5464.278	4.143	-1.545	-	-
5470.092	4.446	-1.522	-	-
5473.900	4.154	-0.634	-	167.5
5491.840	4.190	-2.139	-	-
5517.069	4.209	-1.979	-	-
5522.447	4.209	-1.373	-	117.1
5546.500	4.371	-1.018	82.5	129.8
5549.948	3.695	-2.762	-	-
5552.691	4.956	-1.704	-	-
5559.638	4.988	-1.614	-	-
5568.867	3.635	-2.817	-	-
5577.031	5.033	-1.446	-	30.1
5586.756	3.368	-0.210	-	22.2
5587.573	4.143	-1.593	-	-
5595.075	5.064	-1.633	-	-
5608.974	4.209	-2.287	-	-
5617.186	3.251	-2.880	-	-
5618.631	4.209	-1.233	-	-
5619.587	4.386	-1.409	-	75.2
5636.696	3.640	-2.495	-	53.1
5638.262	4.220	-0.663	124.5	-
5650.02	5.099	-0.749	-	-
5650.704	5.085	-0.672	49.3	88.2
5651.470	4.473	-1.747	22.4	-
5652.320	4.260	-1.731	33.5	60.7
5653.889	4.386	-1.334	52.1	-
5661.348	4.280	-1.790	27.7	70.7
5679.025	4.652	-0.626	-	57.4
5680.241	4.186	-2.306	-	-
5696.102	4.550	-1.847	-	-
5701.545	2.560	-2.087	152.1	198.5
5705.466	4.300	-1.433	57.5	84.3
5731.762	4.256	-1.050	88.5	116.9
5732.275	4.991	-1.400	-	32.6
5752.023	4.548	-0.846	-	-
5753.121	4.260	-0.594	-	-
5760.345	3.642	-2.438	-	81.2
5775.080	4.220	-1.059	-	-
5778.455	2.590	-3.468	-	-
5784.657	3.340	-2.615	-	-

表 11: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD97082	HD125809	HD136537
5793.913	4.220	-1.578	-	-	-
5814.805	4.283	-1.797	-	-	-
5827.875	3.283	-3.165	-	-	-
5835.098	4.256	-2.113	-	-	-
5837.700	4.294	-2.255	-	-	-
5845.266	5.033	-1.673	-	-	-
5849.682	3.695	-2.885	-	-	-
5852.217	4.548	-1.127	-	102.3	84.9
5853.149	1.485	-5.089	-	-	45.5
5855.091	4.607	-1.493	28.8	-	48.3
5856.083	4.294	-1.513	43.9	95.9	81.9
5858.779	4.220	-2.156	-	-	-
5859.578	4.548	-0.489	116.3	-	140.6
5861.107	4.283	-2.327	8.5	31.6	22.8
5880.029	4.558	-1.877	-	-	-
5881.279	4.607	-1.741	20.4	-	-
5902.485	4.593	-1.783	-	43.0	-
5905.689	4.652	-0.650	-	-	-
5909.970	3.210	-2.579	-	133.4	-
5916.249	2.453	-2.882	99.6	188.0	-
5927.786	4.652	-0.987	57.7	-	-
5929.667	4.548	-1.140	-	-	78.7
5934.653	3.929	-1.015	123.5	177.3	-
5956.692	0.859	-4.537	82.2	-	-
5976.775	3.943	-1.31	-	-	-
5984.814	4.733	-0.129	-	-	158.3
5987.066	4.795	-0.307	-	149.2	-
6003.010	3.882	-0.903	136.6	-	-
6027.050	4.076	-1.065	116.6	-	134.8
6082.708	2.223	-3.555	-	146.9	122.4
6093.666	4.607	-1.297	36.3	-	-
6094.364	4.652	-1.557	22.6	55.1	41.5
6096.662	3.984	-1.758	49.0	-	-
6105.152	4.548	-1.916	-	-	-
6120.244	0.910	-5.906	-	-	42.1
6127.909	4.143	-1.352	70.1	-	113.8
6136.615	2.453	-1.400	-	-	-
6151.617	2.176	-3.296	79.8	-	-
6165.361	4.143	-1.434	-	-	-
6173.341	2.223	-2.888	-	-	178.8
6180.203	2.730	-2.615	92.5	179.5	147.3
6187.398	2.832	-4.094	-	-	-
6187.987	3.943	-1.587	-	-	-
6200.314	2.609	-2.360	126.6	-	-
6213.429	2.223	-2.562	-	245.7	210.9
6219.279	2.198	-2.458	-	260.3	223.1
6220.776	3.882	-2.322	-	-	-
6221.367	3.929	-2.488	-	-	-
6226.730	3.883	-2.055	41.6	-	67.7
6229.225	2.845	-2.877	-	143.5	-
6232.639	3.650	-1.197	134.2	200.6	173.0
6240.645	2.220	-3.269	82.1	178.4	148.9
6265.131	2.176	-2.578	-	256.5	215.4
6271.276	3.330	-2.751	-	-	71.2
6280.616	0.859	-4.363	-	-	203.2
6297.792	2.223	-2.761	141.8	-	-
6311.500	2.832	-3.230	-	-	-
6322.690	2.588	-2.326	131.9	-	-
6330.838	4.733	-1.152	-	-	64.6
6335.328	2.198	-2.349	-	-	229.8
6392.538	2.279	-3.939	25.1	-	73.4
6436.411	4.186	-2.337	11.7	-	-
6481.869	2.279	-2.933	118.1	-	169.7
6494.980	2.404	-1.301	254.1	-	-
6496.469	4.795	-0.483	-	-	-
6498.937	0.958	-4.632	70.3	-	-
6518.365	2.830	-2.564	92.9	-	151.8
6574.225	0.990	-4.980	-	-	122.8
6581.207	1.480	-4.751	-	-	-
6591.325	4.593	-1.957	-	-	-

表 11: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD97082	HD125809	HD136537
6593.871	2.433	-2.359	149.7	248.6	207.7
6608.024	2.279	-3.952	23.9	-	65.2
6609.110	2.559	-2.616	111.0	-	167.4
6625.021	1.010	-5.307	24.1	145.0	-
6627.540	4.548	-1.452	37.0	83.2	63.9
6646.932	2.608	-3.931	-	-	-
6699.162	4.590	-2.081	-	-	21.3
6703.568	2.759	-3.008	52.7	143.3	111.3
6710.316	1.485	-4.813	-	136.4	89.3
6725.353	4.103	-2.178	22.3	60.1	47.4
6726.661	4.607	-1.003	-	-	-
6732.070	4.584	-2.111	-	-	-
6733.151	4.638	-1.403	31.1	-	57.6
6739.520	1.557	-4.790	-	-	51.0
6745.090	4.580	-2.065	9.3	-	18.8
6745.955	4.076	-2.632	8.5	-	-
6746.953	2.608	-4.337	-	-	-
6750.150	2.424	-2.570	131.9	214.2	184.7
6752.705	4.640	-1.186	46.3	-	-
6783.707	2.588	-3.980	-	-	-
6793.252	4.076	-2.366	-	45.2	39.0
6804.001	4.650	-1.522	-	-	-
6806.847	2.727	-3.098	49.9	-	104.1
6810.257	4.607	-0.927	69.0	-	-
6828.590	4.638	-0.790	79.8	-	110.7
6833.224	4.638	-1.988	-	-	-
6837.016	4.590	-1.750	-	-	-
6839.831	2.559	-3.362	46.3	-	111.0
6843.648	4.548	-0.764	-	-	121.7
6855.159	4.558	-0.575	124.8	-	151.2
6857.243	4.076	-2.053	26.3	-	56.4
6862.492	4.558	-1.405	47.8	84.6	-
6898.289	4.220	-2.108	-	-	-
6916.678	4.154	-1.197	-	-	-
6945.203	2.424	-2.482	-	-	-
6971.933	3.018	-3.49	-	-	-
6978.850	2.484	-2.461	-	-	-
6988.523	2.404	-3.442	50.2	-	-
6999.878	4.103	-1.351	-	-	133.0
7000.618	4.143	-2.106	-	-	-
7007.963	4.178	-1.830	37.6	93.4	76.4
7010.333	4.58	-2.01	-	-	-
7022.953	4.191	-1.25	-	-	-
7038.222	4.217	-1.115	-	-	-
7069.533	2.559	-4.296	-	42.1	26.0
7086.722	3.602	-2.507	-	89.4	73.7
7090.378	4.230	-0.992	-	162.2	152.2
7107.460	4.186	-2.04	-	-	-
7112.168	2.990	-2.906	45.1	-	90.1
7132.979	4.076	-1.595	-	122.8	-
7151.470	2.484	-3.563	35.1	132.2	97.2
7158.474	3.654	-2.89	-	-	-
7219.678	4.076	-1.519	69.4	-	107.8
7351.545	4.956	-0.699	-	105.5	-
7401.688	4.190	-1.549	59.6	116.8	92.0
7418.668	4.143	-1.590	-	117.0	107.8
7440.952	4.913	-0.607	77.4	125.6	103.2
7454.001	4.186	-2.41	-	-	-
7461.521	2.559	-3.458	35.4	-	94.6
7491.649	4.301	-0.966	-	-	-
7495.060	4.22	-0.083	-	-	-
7507.261	4.415	-0.927	-	155.1	-
7551.102	5.085	-1.63	-	-	-
7568.894	4.283	-0.809	119.8	186.1	157.5
7583.787	3.018	-1.886	-	-	198.0
7586.014	4.312	-0.017	-	251.6	-
7588.309	5.033	-1.035	37.1	-	-
7710.360	4.220	-1.062	100.4	-	141.1
7723.205	2.280	-3.469	59.9	-	127.3
7748.274	2.949	-1.662	-	-	233.0

表 11: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD97082	HD125809	HD136537
7751.137	4.991	-0.719	68.7	-	-
7802.473	5.085	-1.333	22.8	38.0	34.0
7807.952	4.991	-0.497	81.8	-	113.6
7844.555	4.835	-1.674	-	39.0	-
7912.864	0.859	-4.784	-	251.8	-
7941.094	3.274	-2.58	-	-	-
7955.755	5.033	-1.148	-	59.4	-
8075.146	0.915	-5.062	-	-	-
8365.633	3.250	-2.023	-	204.2	174.8
FeII					
5234.625	3.221	-2.271	334.7	259.6	275.7
5325.553	3.221	-3.210	-	150.6	145.8
5414.073	3.221	-3.568	141.2	103.0	-
5425.257	3.199	-3.221	194.4	132.3	-
5427.826	6.724	-1.487	27.6	15.5	-
5525.125	3.267	-4.007	94.5	75.0	-
5991.376	3.153	-3.540	176.5	115.5	118.7
6084.111	3.199	-3.791	-	105.7	102.5
6149.258	3.889	-2.720	183.4	120.8	127.7
6238.392	3.889	-2.630	194.7	48.9	48.8
6247.557	3.892	-2.336	230.6	179.7	181.4
6432.680	2.891	-3.579	199.6	129.3	131.7
6446.410	6.222	-1.938	-	33.0	-
6456.383	3.903	-2.142	301.0	209.6	218.0
6516.080	2.891	-3.302	232.5	189.9	188.2
7222.394	3.889	-3.175	117.7	137.4	111.5
7224.487	3.889	-3.196	-	135.1	120.5
7479.693	3.892	-3.656	77.0	88.1	72.2
7515.831	3.903	-3.432	100.2	-	-
7711.723	3.903	-2.577	220.4	148.8	156.6
C I					
5052.167	7.685	-1.378	81.9	-	-
5380.332	7.685	-1.683	57.6	25.8	27
6655.517	8.537	-1.902	10.9	7	-
6688.794	8.85	-2.13	4.8	-	-
7111.472	8.64	-1.149	33.2	20.2	18.4
7115.172	8.643	-0.845	58.6	-	-
7116.991	8.647	-0.907	51.9	-	-
7119.656	8.643	-1.013	35.8	-	-
N I					
8711.703	10.33	-0.215	35	-	-
Na I					
5682.633	2.102	-0.686	167.1	219	195.9
5688.205	2.104	-0.389	-	225.9	220.2
6154.226	2.102	-1.589	60.2	120.9	90.5
6160.747	2.104	-1.282	99.8	150	129.8

表 12: 等価幅の測定値

wavelength	log gf	HD154365	HD174383	HD194093
FeI				
4365.895	2.990	-2.234	-	-
4389.245	0.052	-4.581	-	-
4432.566	3.573	-1.638	-	120.3
4445.471	0.087	-5.411	-	-
4489.739	0.121	-3.901	-	-
4551.649	3.943	-1.893	-	-
4574.215	3.211	-2.320	-	-
4602.000	1.608	-3.140	-	-
4607.647	3.266	-1.545	-	-
4630.121	2.279	-2.462	-	-
4631.486	4.548	-1.859	-	-
4635.846	2.845	-2.349	-	-
4661.534	4.558	-1.101	-	-
4741.529	2.832	-1.923	-	-
4779.443	3.415	-2.115	-	-
4780.811	3.251	-3.205	-	-
4807.708	3.368	-1.947	-	-
4808.147	3.251	-2.605	-	-
4813.116	3.274	-2.688	-	-
4835.869	4.103	-1.262	-	-
4882.144	3.417	-1.375	-	-
4907.733	3.430	-1.639	-	-
4950.104	3.417	-1.342	-	-
4961.915	3.634	-2.259	-	-
4962.565	4.178	-1.103	-	-
4969.916	4.217	-0.585	-	153.0
5197.929	4.301	-1.438	-	-
5223.187	3.635	-2.231	44.1	27.4
5225.525	0.110	-4.471	159.3	133.7
5242.491	3.634	-0.906	-	181.8
5247.049	0.087	-4.942	-	-
5250.208	0.121	-4.859	-	-
5253.023	2.279	-3.819	-	-
5253.461	3.283	-1.670	-	-
5285.118	4.434	-1.465	-	-
5288.528	3.695	-1.525	-	-
5321.109	4.434	-1.198	-	-
5326.140	3.570	-2.153	-	-
5365.396	3.573	-1.202	144.6	-
5376.826	4.294	-1.983	-	-
5379.574	3.695	-1.447	109.6	-
5385.579	3.695	-3.008	-	-
5386.335	4.154	-1.770	-	-
5389.479	4.415	-0.285	-	164.0
5395.215	4.446	-1.682	-	-
5398.277	4.446	-0.483	124.4	125.8
5401.264	4.320	-1.666	30.1	25.2
5406.770	4.371	-1.394	-	-
5409.133	4.371	-0.934	-	-
5412.798	4.440	-1.727	-	-
5417.039	4.415	-1.347	-	-
5434.523	1.011	-2.158	-	341.6
5436.297	4.386	-1.250	-	-
5436.587	2.279	-3.264	-	-
5441.354	4.312	-1.511	47.9	36.5
5464.278	4.143	-1.545	-	-
5470.092	4.446	-1.522	-	33.2
5473.900	4.154	-0.634	-	-
5491.840	4.190	-2.139	-	-
5517.069	4.209	-1.979	-	-
5522.447	4.209	-1.373	64.1	52.5
5546.500	4.371	-1.018	-	-
5549.948	3.695	-2.762	-	-
5552.691	4.956	-1.704	-	-
5559.638	4.988	-1.614	-	-
5568.867	3.635	-2.817	-	-
5577.031	5.033	-1.446	-	-
5586.756	3.368	-0.210	-	-

表 12: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD154365	HD174383	HD194093
5587.573	4.143	-1.593	-	-	-
5595.075	5.064	-1.633	-	-	-
5608.974	4.209	-2.287	-	-	-
5617.186	3.251	-2.880	-	-	-
5618.631	4.209	-1.233	78.8	72.0	-
5619.587	4.386	-1.409	47.6	40.6	-
5636.696	3.640	-2.495	-	-	-
5638.262	4.220	-0.663	134.9	135.5	-
5650.02	5.099	-0.749	-	-	-
5650.704	5.085	-0.672	54.3	50.4	-
5651.470	4.473	-1.747	24.6	27.9	-
5652.320	4.260	-1.731	33.4	34.6	-
5653.889	4.386	-1.334	-	62.3	-
5661.348	4.280	-1.790	28.1	-	-
5679.025	4.652	-0.626	91.3	84.6	-
5680.241	4.186	-2.306	-	-	-
5696.102	4.550	-1.847	-	-	-
5701.545	2.560	-2.087	-	159.9	-
5705.466	4.300	-1.433	-	-	-
5731.762	4.256	-1.050	-	96.9	-
5732.275	4.991	-1.400	-	-	-
5752.023	4.548	-0.846	-	80.1	-
5753.121	4.260	-0.594	-	152.9	-
5760.345	3.642	-2.438	-	-	-
5775.080	4.220	-1.059	-	-	-
5778.452	2.590	-3.468	-	-	-
5784.657	3.340	-2.615	-	-	-
5793.913	4.220	-1.578	-	-	-
5814.805	4.283	-1.797	-	-	-
5827.875	3.283	-3.165	-	-	-
5835.098	4.256	-2.113	-	-	-
5837.700	4.294	-2.255	-	-	-
5845.266	5.033	-1.673	-	-	-
5849.682	3.695	-2.885	-	-	-
5852.217	4.548	-1.127	52.5	47.3	-
5853.149	1.485	-5.089	-	-	-
5855.091	4.607	-1.493	-	-	-
5856.083	4.294	-1.513	51.5	33.0	-
5858.779	4.220	-2.156	-	-	-
5859.578	4.548	-0.489	-	120.5	-
5861.107	4.283	-2.327	-	-	-
5880.029	4.558	-1.877	-	-	-
5881.279	4.607	-1.741	25.2	-	-
5902.485	4.593	-1.783	18.8	13.5	-
5905.689	4.652	-0.650	-	77.0	55.6
5909.970	3.210	-2.579	-	-	-
5916.249	2.453	-2.882	107.2	-	66.0
5927.786	4.652	-0.987	64.3	-	43.7
5929.667	4.548	-1.140	-	63.3	43.1
5934.653	3.929	-1.015	127.9	-	90.2
5956.692	0.859	-4.537	95.5	65.7	43.5
5976.775	3.943	-1.31	-	-	-
5984.814	4.733	-0.129	140.7	141.1	120.4
5987.066	4.795	-0.307	113.2	104.9	86.4
6003.010	3.882	-0.903	144.9	-	104.3
6027.050	4.076	-1.065	124.2	119.1	87.9
6082.708	2.223	-3.555	71.7	49.6	23.3
6093.666	4.607	-1.297	39.9	32.5	21.8
6094.364	4.652	-1.557	-	-	13.5
6096.662	3.984	-1.758	56.7	-	27.6
6105.152	4.548	-1.916	-	-	-
6120.244	0.910	-5.906	-	-	-
6127.909	4.143	-1.352	-	71.5	45.6
6136.615	2.453	-1.400	-	-	-
6151.617	2.176	-3.296	-	58.0	40.4
6165.361	4.143	-1.434	67.9	60.1	37.5
6173.341	2.223	-2.888	141.8	133.3	87.7
6180.203	2.730	-2.615	-	85.9	49.8
6187.398	2.832	-4.094	-	-	-
6187.987	3.943	-1.587	74.2	-	-

表 12: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD154365	HD174383	HD194093
6200.314	2.609	-2.360	134.6	122.0	81.3
6213.429	2.223	-2.562	-	-	114.1
6219.279	2.198	-2.458	192.9	195.6	146.7
6220.776	3.882	-2.322	-	-	-
6221.367	3.929	-2.488	-	-	-
6226.730	3.883	-2.055	40.3	-	-
6229.225	2.845	-2.877	-	-	-
6232.639	3.650	-1.197	151.6	150.2	108.5
6240.645	2.220	-3.269	-	-	-
6265.131	2.176	-2.578	172.4	162.2	124.3
6271.276	3.330	-2.751	-	24.8	-
6280.616	0.859	-4.363	-	-	-
6297.792	2.223	-2.761	154.2	-	90.5
6311.500	2.832	-3.230	-	-	-
6322.690	2.588	-2.326	142.3	-	89.1
6330.838	4.733	-1.152	-	33.4	-
6335.328	2.198	-2.349	201.5	-	-
6392.538	2.279	-3.939	24.5	-	10.1
6436.411	4.186	-2.337	15.6	10.8	5.2
6481.869	2.279	-2.933	-	-	84.0
6494.980	2.404	-1.301	275.0	-	-
6496.469	4.795	-0.483	-	-	-
6498.937	0.958	-4.632	80.0	75.3	-
6518.365	2.830	-2.564	-	-	51.6
6574.225	0.990	-4.980	53.2	-	-
6581.207	1.480	-4.751	-	-	-
6591.325	4.593	-1.957	18.1	12.2	9.3
6593.871	2.433	-2.359	-	154.6	109.3
6608.024	2.279	-3.952	25.4	-	8.3
6609.110	2.559	-2.616	122.5	101.5	64.5
6625.021	1.010	-5.307	27.1	17.3	6.3
6627.540	4.548	-1.452	41.7	-	21.4
6646.932	2.608	-3.931	-	-	-
6699.162	4.590	-2.081	-	-	7.3
6703.568	2.759	-3.008	59.0	-	23.9
6710.316	1.485	-4.813	26.9	-	6.7
6725.353	4.103	-2.178	23.4	17.4	12.3
6726.661	4.607	-1.003	-	57.6	38.5
6732.070	4.584	-2.111	-	-	-
6733.151	4.638	-1.403	37.8	27.1	19.5
6739.520	1.557	-4.790	-	-	-
6745.090	4.580	-2.065	-	-	4.7
6745.955	4.076	-2.632	-	-	-
6746.953	2.608	-4.337	-	-	-
6750.150	2.424	-2.570	143.8	128.1	91.8
6752.705	4.640	-1.186	52.9	42.1	32.8
6783.707	2.588	-3.980	-	-	-
6793.252	4.076	-2.366	-	-	7.7
6804.001	4.650	-1.522	-	-	29.6
6806.847	2.727	-3.098	55.8	-	20.0
6810.257	4.607	-0.927	-	71.2	42.9
6828.590	4.638	-0.790	-	-	55.8
6833.224	4.638	-1.988	-	-	8.8
6837.016	4.590	-1.750	-	26.1	18.0
6839.831	2.559	-3.362	46.3	-	16.6
6843.648	4.548	-0.764	95.8	82.4	63.6
6855.159	4.558	-0.575	142.4	-	98.3
6857.243	4.076	-2.053	29.4	20.9	15.0
6862.492	4.558	-1.405	-	37.5	29.1
6898.289	4.220	-2.108	22.2	12.5	11.4
6916.678	4.154	-1.197	-	93.2	-
6945.203	2.424	-2.482	167.9	146.0	-
6971.933	3.018	-3.49	21.5	-	-
6978.850	2.484	-2.461	-	-	113.5
6988.523	2.404	-3.442	49.1	-	-
6999.878	4.103	-1.351	82.3	77.9	-
7000.618	4.143	-2.106	24.7	-	13.8
7007.963	4.178	-1.830	37.3	-	25.0
7010.333	4.58	-2.01	17.3	-	-
7022.953	4.191	-1.25	100.4	-	-

表 12: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD154365	HD174383	HD194093
7038.222	4.217	-1.115	-	102.7	-
7069.533	2.559	-4.296	-	-	-
7086.722	3.602	-2.507	-	-	-
7090.378	4.230	-0.992	105.1	98.7	-
7107.460	4.186	-2.04	32.4	27.5	-
7112.168	2.990	-2.906	44.2	35.5	-
7132.979	4.076	-1.595	-	55.1	-
7151.470	2.484	-3.563	37.9	-	-
7158.474	3.654	-2.89	20.8	-	-
7219.678	4.076	-1.519	72.2	51.8	-
7351.545	4.956	-0.699	-	-	-
7401.688	4.190	-1.549	64.2	66.6	-
7418.668	4.143	-1.590	82.1	-	-
7440.952	4.913	-0.607	-	80.3	-
7454.001	4.186	-2.41	15.8	10.1	-
7461.521	2.559	-3.458	50.0	-	-
7491.649	4.301	-0.966	-	97.5	-
7495.060	4.22	-0.083	-	243.2	-
7507.261	4.415	-0.927	-	-	-
7511.102	5.085	-1.63	16.6	9.3	-
7568.894	4.283	-0.809	-	117.8	-
7583.787	3.018	-1.886	152.8	-	-
7586.014	4.312	-0.017	-	203.9	-
7588.309	5.033	-1.035	-	31.2	-
7710.360	4.220	-1.062	-	-	-
7723.205	2.280	-3.469	-	-	-
7748.274	2.949	-1.662	-	-	-
7751.137	4.991	-0.719	66.9	61.5	-
7802.473	5.085	-1.333	17.3	14.1	-
7807.952	4.991	-0.497	87.0	85.4	-
7844.555	4.835	-1.674	19.9	-	-
7912.864	0.859	-4.784	-	79.4	-
7941.094	3.274	-2.58	68.4	-	-
7955.755	5.033	-1.148	-	-	-
8075.146	0.915	-5.062	65.8	-	-
8365.633	3.250	-2.023	-	-	-
FeII					
5234.625	3.221	-2.271	-	461.7	-
5325.553	3.221	-3.21	201.3	234.3	-
5414.073	3.221	-3.568	124.4	187.1	-
5425.257	3.199	-3.221	178.6	217.5	-
5427.826	6.724	-1.487	26.4	-	-
5525.125	3.267	-4.007	104.6	-	-
5991.376	3.153	-3.54	161.1	188.5	235
6084.111	3.199	-3.791	141.3	-	180.6
6149.258	3.889	-2.72	166.2	202.3	-
6238.392	3.889	-2.63	-	-	275.4
6239.366	2.807	-4.538	-	-	80.8
6247.557	3.892	-2.336	224	266.9	378.2
6432.68	2.891	-3.579	184.4	209.4	-
6432.68	2.891	-3.579	-	-	289.1
6446.41	6.222	-1.938	30.7	32.8	48.7
6456.383	3.903	-2.142	277.7	-	-
6516.08	2.891	-3.302	212.2	246.2	-
7222.394	3.889	-3.175	110.4	124.5	-
7224.487	3.889	-3.196	147.2	135.5	-
7479.693	3.892	-3.656	66.4	75.7	-
7515.831	3.903	-3.432	95	105.6	-
7711.723	3.903	-2.577	190.6	235.9	-
C I					
5052.167	7.685	-1.378	59.8	68.9	-
5380.337	7.685	-1.683	57.9	72.4	-
6655.517	8.537	-1.902	-	10.1	-
6688.794	8.85	-2.13	-	3.6	-
7111.472	8.64	-1.149	25.7	-	-
7113.178	8.647	-0.79	-	59.2	-
7115.172	8.643	-0.845	54.7	-	-
7116.991	8.647	-0.907	52	57.8	-

表 12: 等価幅の測定値

wavelength		log gf	HD154365	HD174383	HD194093
7119.656	8.643	-1.013	41.4	47.9	-
N I					
8711.703	10.33	-0.215	41.8	58	-
Na I					
5682.633	2.102	-0.686	172.7	179.9	-
6154.226	2.102	-1.589	69	58.7	61.7
6160.747	2.104	-1.282	122.6	126.3	95.3

表 13: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength	log gf	=0.156	=0.341	=0.087	
FeI					
5223.187	3.635	-2.231	19.1	32.9	13.0
5242.491	3.634	-0.906	112.4	125.5	104.7
5250.208	0.121	-4.859	-	93.0	-
5253.023	2.279	-3.819	-	16.9	-
5288.528	3.695	-1.525	64.7	77.2	54.1
5321.109	4.434	-1.198	45.5	51.3	-
5326.140	3.570	-2.153	32.3	44.9	-
5365.396	3.573	-1.202	97.7	-	94.4
5379.574	3.695	-1.447	55.6	-	52.7
5389.479	4.415	-0.285	109.1	121.3	104.5
5395.215	4.446	-1.682	13.9	25.2	-
5398.277	4.446	-0.483	86.2	101.0	85.4
5401.264	4.320	-1.666	19.9	30.8	-
5406.770	4.371	-1.394	24.5	42.7	19.8
5409.133	4.371	-0.934	79.2	-	-
5436.297	4.386	-1.250	-	44.2	-
5436.587	2.279	-3.264	-	49.5	-
5441.354	4.312	-1.511	25.6	41.0	24.8
5464.278	4.143	-1.545	45.0	62.6	35.1
5470.092	4.446	-1.522	17.7	27.8	15.5
5473.900	4.154	-0.634	99.6	117.1	-
5522.447	4.209	-1.373	40.5	51.6	31.6
5546.500	4.371	-1.018	55.2	67.4	-
5577.031	5.033	-1.446	-	13.7	-
5608.974	4.209	-2.287	-	12.7	-
5618.631	4.209	-1.233	49.4	62.0	40.8
5619.587	4.386	-1.409	22.5	33.4	19.5
5636.696	3.640	-2.495	-	19.4	-
5638.262	4.220	-0.663	84.0	107.3	80.9
5650.704	5.085	-0.672	41.8	46.8	35.4
5651.470	4.473	-1.747	18.3	21.5	10.1
5652.320	4.260	-1.731	-	27.7	15.4
5653.889	4.386	-1.334	35.1	45.0	28.8
5661.348	4.280	-1.790	15.1	25.8	11.8
5679.025	4.652	-0.626	63.6	74.8	56.9
5701.545	2.560	-2.087	96.0	122.0	87.4
5705.466	4.300	-1.433	34.1	49.6	24.1
5731.762	4.256	-1.050	57.3	77.5	52.2
5752.023	4.548	-0.846	58.7	71.1	54.3
5753.121	4.260	-0.594	94.9	110.7	87.0
5760.345	3.642	-2.438	-	25.6	10.8
5775.080	4.220	-1.059	62.3	76.4	52.5
5778.455	2.590	-3.468	-	22.5	-
5784.657	3.340	-2.615	-	31.2	-
5793.913	4.220	-1.578	30.6	40.8	22.9
5814.805	4.283	-1.797	17.8	22.4	-
5827.875	3.283	-3.165	-	12.8	-
5835.098	4.256	-2.113	-	16.7	-
5837.700	4.294	-2.255	-	9.9	-
5849.682	3.695	-2.885	-	7.9	-
5852.217	4.548	-1.127	33.1	47.9	31.5
5855.091	4.607	-1.493	19.2	26.5	16.6
5856.083	4.294	-1.513	28.1	38.7	22.5
5859.578	4.548	-0.489	87.1	100.4	76.7
5861.107	4.283	-2.327	-	8.4	-
5902.485	4.593	-1.783	-	13.9	-
5905.689	4.652	-0.650	65.6	72.2	66.2
5916.249	2.453	-2.882	52.2	82.5	-
5927.786	4.652	-0.987	43.7	54.2	36.0
5929.667	4.548	-1.140	38.9	47.8	-
5934.653	3.929	-1.015	82.8	102.6	77.8
5956.692	0.859	-4.537	38.5	38703.0	-
5984.814	4.733	-0.129	96.7	100.3	85.8
5987.066	4.795	-0.307	78.2	94.9	-
6003.010	3.882	-0.903	97.6	108.9	88.3
6027.050	4.076	-1.065	86.1	105.8	77.6
6082.708	2.223	-3.555	27.5	43.7	-
6093.666	4.607	-1.297	21.9	33.4	19.5

表 13: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength		log gf	=0.156	=0.341	=0.087
6094.364	4.652	-1.557	16.2	22.7	10.9
6096.662	3.984	-1.758	27.6	42.0	22.8
6105.152	4.548	-1.916	-	10.6	-
6127.909	4.143	-1.352	45.9	62.9	39.8
6136.993	2.198	-2.910	-	109.0	-
6151.617	2.176	-3.296	39.8	65.8	30.9
6165.361	4.143	-1.434	39.2	54.3	32.7
6173.341	2.223	-2.888	80.7	102.4	-
6180.203	2.730	-2.615	56.0	80.0	44.0
6187.987	3.943	-1.587	40.3	59.3	34.1
6200.314	2.609	-2.360	78.8	102.6	64.8
6213.429	2.223	-2.562	100.7	128.2	91.1
6219.279	2.198	-2.458	122.7	148.4	109.4
6220.776	3.882	-2.322	-	22.5	-
6226.730	3.883	-2.055	-	36.9	-
FeII					
5234.625	3.221	-2.271	286.4	264.2	302.3
5264.812	3.230	-3.108	203.7	179.2	197.0
5325.553	3.221	-3.210	176.2	166.8	183.1
5414.073	3.221	-3.568	132.8	126.4	136.7
5425.257	3.199	-3.221	169.2	163.7	174.5
5427.826	6.724	-1.487	36.6	31.3	-
5525.125	3.267	-4.007	84.7	82.9	86.6
5991.376	3.153	-3.540	149.3	140.9	158.4
6084.111	3.199	-3.791	-	116.3	123.6
6141.033	3.230	-4.872	-	17.7	-
6149.258	3.889	-2.720	167.2	156.1	165.6

表 14: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength	log gf	=0.271	=0.464	=0.649
FeI				
5223.187	3.635	-2.231	28.1	36.4
5242.491	3.634	-0.906	124.8	141.8
5250.208	0.121	-4.859	93.6	-
5285.118	4.434	-1.465	-	58.3
5288.528	3.695	-1.525	69.3	87.7
5321.109	4.434	-1.198	-	55.8
5326.140	3.570	-2.153	39.3	53.7
5365.396	3.573	-1.202	107.9	131.8
5379.574	3.695	-1.447	-	92.1
5389.479	4.415	-0.285	113.5	137.1
5395.215	4.446	-1.682	20.9	22.7
5398.277	4.446	-0.483	94.8	109.0
5401.264	4.320	-1.666	28.0	34.1
5406.770	4.371	-1.394	35.9	46.9
5409.133	4.371	-0.934	92.5	-
5434.523	1.011	-2.158	-	301.1
5436.297	4.386	-1.250	45.4	56.2
5436.587	2.279	-3.264	-	62.1
5441.354	4.312	-1.511	34.7	43.6
5464.278	4.143	-1.545	53.3	71.4
5470.092	4.446	-1.522	24.1	29.5
5473.900	4.154	-0.634	110.1	121.5
5522.447	4.209	-1.373	45.3	57.8
5546.500	4.371	-1.018	61.9	76.6
5552.691	4.956	-1.704	-	8.0
5568.867	3.635	-2.917	-	12.1
5577.031	5.033	-1.446	11.4	14.2
5608.974	4.209	-2.287	-	15.0
5618.631	4.209	-1.233	57.2	66.6
5619.587	4.386	-1.409	30.3	37.0
5636.696	3.640	-2.495	19.2	24.6
5638.262	4.220	-0.663	101.2	-
5650.704	5.085	-0.672	-	53.7
5651.470	4.473	-1.747	20.3	28.1
5652.320	4.260	-1.731	23.9	34.5
5653.889	4.386	-1.334	42.1	54.4
5661.348	4.280	-1.790	20.8	31.6
5679.025	4.652	-0.626	69.9	81.4
5680.241	4.186	-2.306	-	19.5
5701.545	2.560	-2.087	114.6	135.0
5705.466	4.300	-1.433	42.4	51.7
5731.762	4.256	-1.050	70.7	80.7
5732.275	4.991	-1.400	16.2	18.9
5752.023	4.548	-0.846	64.9	75.7
5753.121	4.260	-0.594	104.4	125.1
5760.345	3.642	-2.438	21.8	28.6
5775.080	4.220	-1.059	70.0	87.3
5778.455	2.590	-3.468	-	-
5784.657	3.340	-2.615	-	40.7
5793.913	4.220	-1.578	36.5	44.3
5814.805	4.283	-1.797	21.4	29.3
5827.875	3.283	-3.165	9.0	14.8
5845.266	5.033	-1.673	-	8.5
5849.682	3.695	-2.885	6.9	38709.0
5852.217	4.548	-1.127	42.7	52.5
5855.091	4.607	-1.493	22.8	28.1
5856.083	4.294	-1.513	33.2	43.8
5859.578	4.548	-0.489	98.5	-
5861.107	4.283	-2.327	6.9	-
5880.029	4.558	-1.877	-	16.2
5881.279	4.607	-1.741	-	19.7
5902.485	4.593	-1.783	-	17.7
5905.689	4.652	-0.650	70.0	78.1
5916.249	2.453	-2.882	73.5	93.8
5927.786	4.652	-0.987	47.7	60.8
5929.667	4.548	-1.140	45.3	56.9
5934.653	3.929	-1.015	96.6	114.5
5956.692	0.859	-4.537	-	83.4

表 14: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength		log gf	=-0.271	=0.464	=0.649
5984.814	4.733	-0.129	92.5	120.4	152.7
5987.066	4.795	-0.307	89.6	105.5	121.7
6003.010	3.882	-0.903	105.2	127.6	152.5
6027.050	4.076	-1.065	103.6	111.2	133.3
6082.708	2.223	-3.555	38.6	55.2	80.7
6093.666	4.607	-1.297	31.4	41.5	45.1
6094.364	4.652	-1.557	18.9	22.0	27.4
6096.662	3.984	-1.758	36.8	47.9	54.8
6105.152	4.548	-1.916	9.2	12.6	14.7
6127.909	4.143	-1.352	54.2	68.2	93.0
6151.617	2.176	-3.296	57.8	78.9	93.8
6165.361	4.143	-1.434	51.3	62.0	71.2
6173.341	2.223	-2.888	100.9	122.8	149.7
6180.203	2.730	-2.615	75.4	95.9	114.4
6187.987	3.943	-1.587	52.1	66.0	78.4
6200.314	2.609	-2.360	97.4	117.6	144.3
6213.429	2.223	-2.562	117.6	147.1	181.1
6219.279	2.198	-2.458	142.0	-	-
6220.776	3.882	-2.322	16.0	24.1	-
6226.730	3.883	-2.055	36.2	47.0	52.7
FeII					
5234.625	3.221	-2.271	268.2	262.4	295.4
5264.812	3.230	-3.108	182.9	178.8	193.6
5325.553	3.221	-3.210	167.6	174.7	202.0
5414.073	3.221	-3.568	127.0	135.2	149.1
5425.257	3.199	-3.221	165.2	165.7	181.6
5427.826	6.724	-1.487	32.9	25.7	31.1
5525.125	3.267	-4.007	85.6	86.7	104.4
5991.376	3.153	-3.540	133.1	149.4	164.9
6084.111	3.199	-3.791	116.4	117.2	139.1
6141.033	3.230	-4.872	-	16.8	-
6149.258	3.889	-2.720	156.7	150.5	174.8

表 15: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength	log gf	=0.832	=0.017	=0.215	
FeI					
5223.187	3.635	-2.231	-	8.7	25.3
5242.491	3.634	-0.906	135.0	92.1	116.6
5250.208	0.121	-4.859	-	-	72.6
5288.528	3.695	-1.525	89.3	44.4	64.4
5321.109	4.434	-1.198	-	29.7	47.6
5326.140	3.570	-2.153	-	-	34.3
5365.396	3.573	-1.202	126.9	85.0	104.9
5379.574	3.695	-1.447	86.4	41.9	70.3
5389.479	4.415	-0.285	149.9	94.3	112.4
5395.215	4.446	-1.682	-	-	18.7
5398.277	4.446	-0.483	116.3	72.6	91.9
5401.264	4.320	-1.666	19.3	-	25.8
5406.770	4.371	-1.394	-	15.5	31.7
5409.133	4.371	-0.934	-	-	87.5
5434.523	1.011	-2.158	298.5	-	-
5441.354	4.312	-1.511	34.5	20.6	31.8
5464.278	4.143	-1.545	53.4	30.2	52.3
5470.092	4.446	-1.522	-	11.2	21.3
5473.900	4.154	-0.634	125.3	86.9	105.7
5522.447	4.209	-1.373	-	23.7	42.9
5546.500	4.371	-1.018	-	38.4	55.2
5552.691	4.956	-1.704	-	-	6.2
5559.638	4.988	-1.614	-	-	5.0
5608.974	4.209	-2.287	12.2	-	-
5618.631	4.209	-1.233	65.5	33.5	54.8
5619.587	4.386	-1.409	38.0	14.0	27.4
5636.696	3.640	-2.495	-	-	14.1
5638.262	4.220	-0.663	120.9	67.9	91.7
5650.704	5.085	-0.672	42.9	28.9	45.3
5651.470	4.473	-1.747	15.2	6.8	18.8
5652.320	4.260	-1.731	27.7	9.9	22.2
5653.889	4.386	-1.334	56.4	22.4	39.1
5661.348	4.280	-1.790	19.3	10.0	19.0
5679.025	4.652	-0.626	80.9	45.9	65.7
5701.545	2.560	-2.087	-	75.5	106.2
5705.466	4.300	-1.433	-	18.5	38.6
5731.762	4.256	-1.050	91.8	42.9	63.7
5732.275	4.991	-1.400	-	-	15.8
5752.023	4.548	-0.846	74.2	42.2	62.3
5753.121	4.260	-0.594	153.9	72.9	99.3
5760.345	3.642	-2.438	-	-	18.8
5775.080	4.220	-1.059	79.7	45.3	64.7
5784.657	3.340	-2.615	-	-	24.4
5793.913	4.220	-1.578	37.0	17.4	32.2
5814.805	4.283	-1.797	-	-	23.4
5835.098	4.256	-2.113	-	-	13.2
5849.682	3.695	-2.885	-	-	4.8
5852.217	4.548	-1.127	45.4	26.8	-
5855.091	4.607	-1.493	20.7	13.8	21.5
5856.083	4.294	-1.513	36.0	17.3	31.6
5858.779	4.220	-2.156	-	4.2	-
5859.578	4.548	-0.489	116.3	66.0	92.0
5861.107	4.283	-2.327	-	-	6.3
5881.279	4.607	-1.741	-	-	18.2
5905.689	4.652	-0.650	-	50.2	72.5
5916.249	2.453	-2.882	75.7	-	62.2
5927.786	4.652	-0.987	71.3	31.8	46.9
5929.667	4.548	-1.140	-	-	44.0
5934.653	3.929	-1.015	110.2	61.4	91.7
5956.692	0.859	-4.537	58.2	-	52.2
5984.814	4.733	-0.129	135.5	72.1	99.6
5987.066	4.795	-0.307	104.1	61.4	86.3
6003.010	3.882	-0.903	128.8	73.9	99.4
6027.050	4.076	-1.065	114.1	63.9	92.2
6082.708	2.223	-3.555	45.3	-	-
6093.666	4.607	-1.297	29.1	16.0	29.3
6094.364	4.652	-1.557	16.0	9.2	17.3
6096.662	3.984	-1.758	39.9	16.5	35.0

表 15: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength		log gf	=0.832	=0.017	=0.215
6105.152	4.548	-1.916	-	-	7.2
6127.909	4.143	-1.352	67.4	32.8	51.1
6151.617	2.176	-3.296	57.6	24.3	48.8
6165.361	4.143	-1.434	54.7	26.5	46.5
6173.341	2.223	-2.888	113.3	-	95.9
6180.203	2.730	-2.615	77.7	31.1	64.5
6187.987	3.943	-1.587	56.4	26.0	46.8
6200.314	2.609	-2.360	110.2	52.4	86.7
6213.429	2.223	-2.562	142.2	72.9	108.1
6219.279	2.198	-2.458	182.9	91.6	134.3
6220.776	3.882	-2.322	-	-	14.0
6221.367	3.929	-2.488	-	-	13.1
6226.730	3.883	-2.055	-	-	33.6
FeII					
5234.625	3.221	-2.271	-	311.6	278.6
5264.812	3.230	-3.108	220.7	210.1	188.4
5325.553	3.221	-3.210	225.7	187.7	176.9
5414.073	3.221	-3.568	166.8	138.4	129.9
5425.257	3.199	-3.221	209.9	180.2	168.0
5427.826	6.724	-1.487	30.5	43.7	33.7
5525.125	3.267	-4.007	115.8	77.5	81.9
5991.376	3.153	-3.540	181.1	150.6	136.1
6084.111	3.199	-3.791	142.3	123.5	125.9
6141.033	3.230	-4.872	-	-	18.8
6149.258	3.889	-2.720	194.0	172.0	159.5

表 16: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength	log gf	=0.387	=0.761
FeI			
5223.187	3.635	-2.231	35.1
5242.491	3.634	-0.906	134.7
5247.049	0.087	-4.942	114.6
5250.208	0.121	-4.859	118.7
5288.528	3.695	-1.525	82.1
5321.109	4.434	-1.198	59.0
5326.140	3.570	-2.153	48.3
5365.396	3.573	-1.202	121.1
5379.574	3.695	-1.447	91.8
5389.479	4.415	-0.285	130.4
5395.215	4.446	-1.682	25.8
5398.277	4.446	-0.483	106.8
5401.264	4.320	-1.666	33.9
5406.770	4.371	-1.394	46.3
5409.133	4.371	-0.934	106.1
5434.523	1.011	-2.158	-
5436.297	4.386	-1.250	54.3
5441.354	4.312	-1.511	42.4
5464.278	4.143	-1.545	67.2
5470.092	4.446	-1.522	30.1
5473.900	4.154	-0.634	116.7
5491.840	4.190	-2.139	11.6
5517.069	4.209	-1.979	22.7
5522.447	4.209	-1.373	54.3
5546.500	4.371	-1.018	57.6
5559.638	4.988	-1.614	8.2
5577.031	5.033	-1.446	15.0
5587.573	4.143	-1.593	47.1
5595.075	5.064	-1.633	8.5
5608.974	4.209	-2.287	14.7
5618.631	4.209	-1.233	63.9
5619.587	4.386	-1.409	36.1
5636.696	3.640	-2.495	23.5
5638.262	4.220	-0.663	112.1
5650.020	5.099	-0.749	41.4
5650.704	5.085	-0.672	52.5
5651.470	4.473	-1.747	23.5
5652.320	4.260	-1.731	33.1
5653.889	4.386	-1.334	47.0
5661.348	4.280	-1.790	28.6
5679.025	4.652	-0.626	78.7
5680.241	4.186	-2.306	19.2
5701.545	2.560	-2.087	129.3
5705.466	4.300	-1.433	50.8
5731.762	4.256	-1.050	80.2
5732.275	4.991	-1.400	19.3
5752.023	4.548	-0.846	73.0
5753.121	4.260	-0.594	112.9
5760.345	3.642	-2.438	29.8
5775.080	4.220	-1.059	79.8
5778.455	2.590	-3.468	26.3
5784.657	3.340	-2.615	36.8
5793.913	4.220	-1.578	44.8
5814.805	4.283	-1.797	28.3
5827.875	3.283	-3.165	14.1
5835.098	4.256	-2.113	20.9
5837.700	4.294	-2.255	11.2
5849.682	3.695	-2.885	8.8
5852.217	4.548	-1.127	50.5
5855.091	4.607	-1.493	28.4
5856.083	4.294	-1.513	41.0
5858.779	4.220	-2.156	15.3
5859.578	4.548	-0.489	102.7
5861.107	4.283	-2.327	9.4
5880.029	4.558	-1.877	16.8
5881.279	4.607	-1.741	20.7
5902.485	4.593	-1.783	14.9
5905.689	4.652	-0.650	75.7

表 16: HD213306 (Cep) の等価幅測定値

wavelength		log gf	=0.387	=0.761
5916.249	2.453	-2.882	84.2	110.6
5927.786	4.652	-0.987	56.3	-
5934.653	3.929	-1.015	110.1	135.8
5956.692	0.859	-4.537	79.6	-
5984.814	4.733	-0.129	114.7	156.1
5987.066	4.795	-0.307	99.5	120.9
6003.010	3.882	-0.903	120.1	150.6
6027.050	4.076	-1.065	106.5	131.3
6082.708	2.223	-3.555	50.5	78.4
6093.666	4.607	-1.297	40.6	40.3
6094.364	4.652	-1.557	21.8	26.4
6096.662	3.984	-1.758	45.8	52.5
6105.152	4.548	-1.916	11.7	-
6127.909	4.143	-1.352	67.5	84.9
6136.993	2.198	-2.910	124.6	-
6151.617	2.176	-3.296	75.0	89.4
6165.361	4.143	-1.434	60.7	72.8
6173.341	2.223	-2.888	114.1	153.1
6180.203	2.730	-2.615	90.9	113.1
6187.398	2.832	-4.094	5.3	-
6187.987	3.943	-1.587	64.1	76.0
6200.314	2.609	-2.360	111.3	140.0
6213.429	2.223	-2.562	135.4	173.2
6219.279	2.198	-2.458	159.0	-
6220.776	3.882	-2.322	24.1	-
6226.730	3.883	-2.055	44.9	-
FeII				
5234.625	3.221	-2.271	259.7	307.2
5264.812	3.230	-3.108	180.1	209.1
5325.553	3.221	-3.210	158.2	224.7
5414.073	3.221	-3.568	132.9	154.7
5425.257	3.199	-3.221	165.4	196.1
5427.826	6.724	-1.487	28.8	30.9
5525.125	3.267	-4.007	85.0	127.4
5991.376	3.153	-3.540	142.3	181.6
6084.111	3.199	-3.791	113.9	147.1
6141.033	3.230	-4.872	19.9	-
6149.258	3.889	-2.720	156.8	191.6

図 4: Cep の有効温度と視線速度

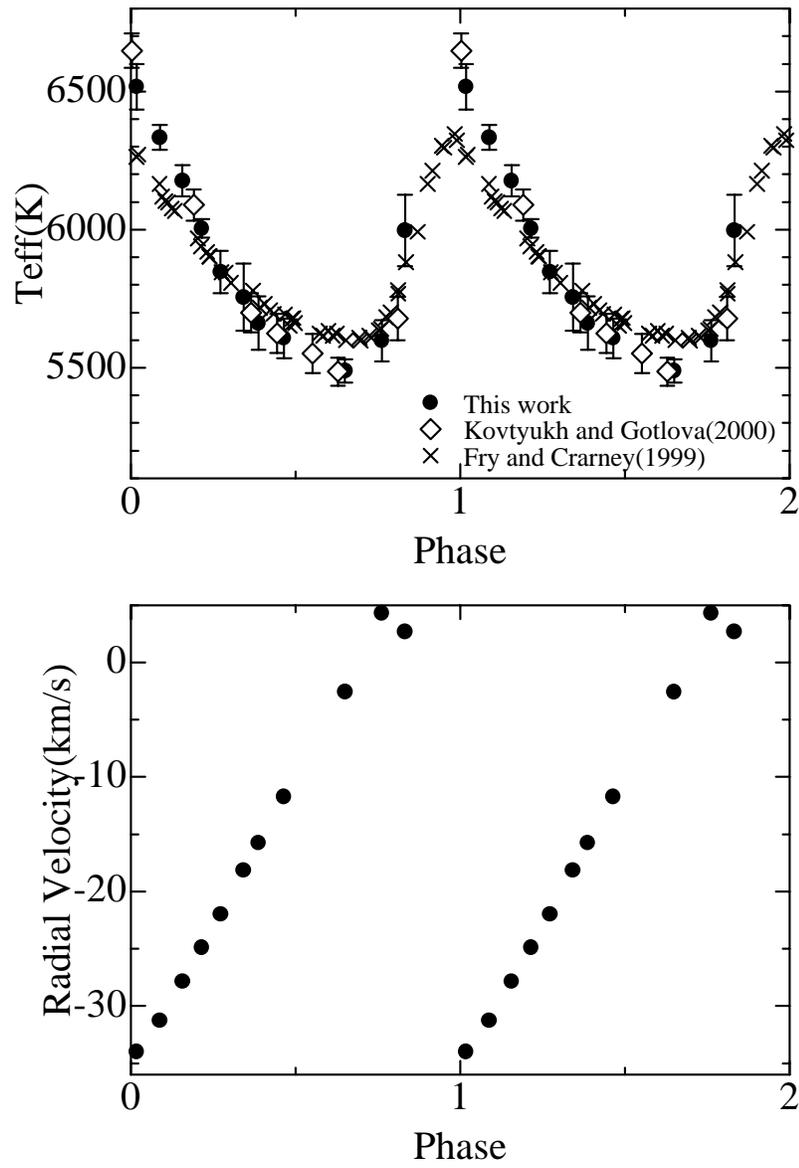


図 5: Cep の有効温度と視線速度

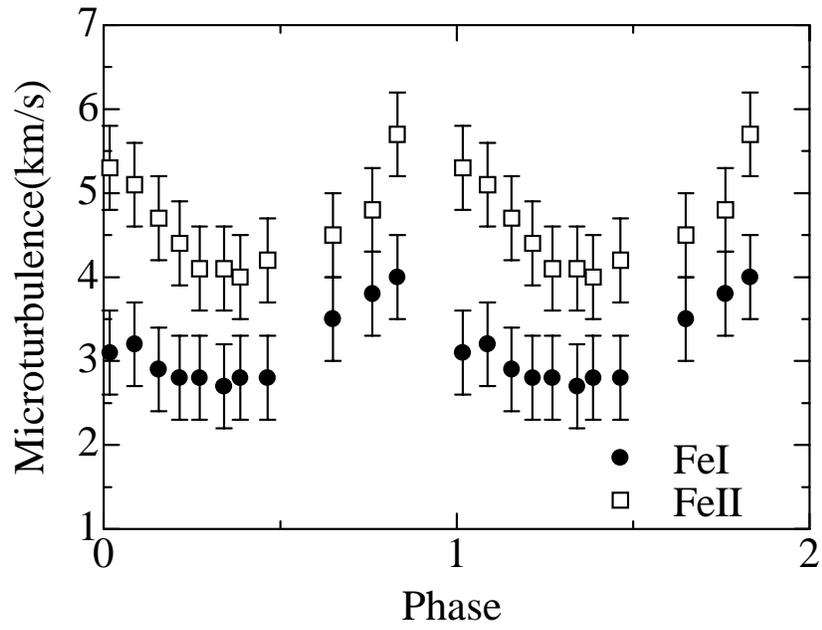


図 6: Cep の表面重力加速度

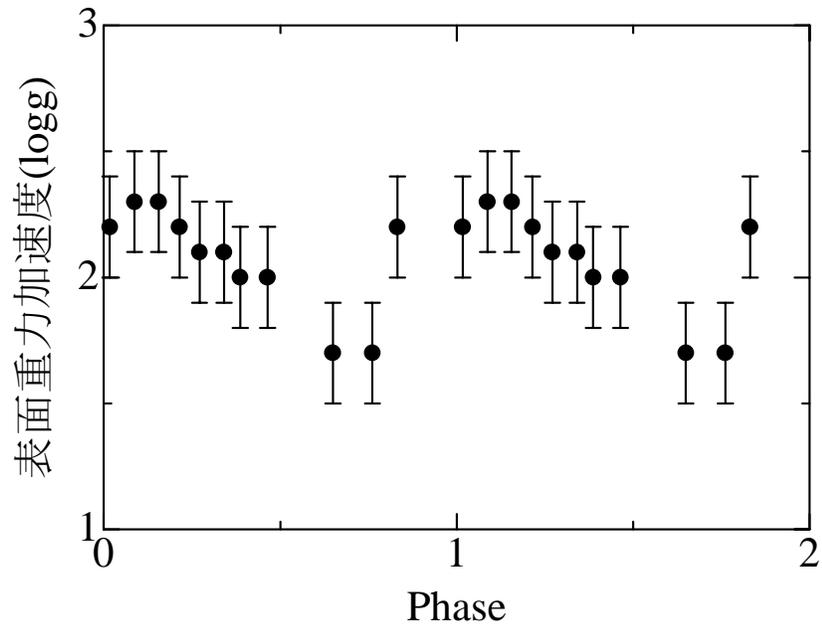


図 7: FeI から求めた微視的乱流速度の温度依存性 ($\xi_{\text{cep}} = 0.156$)

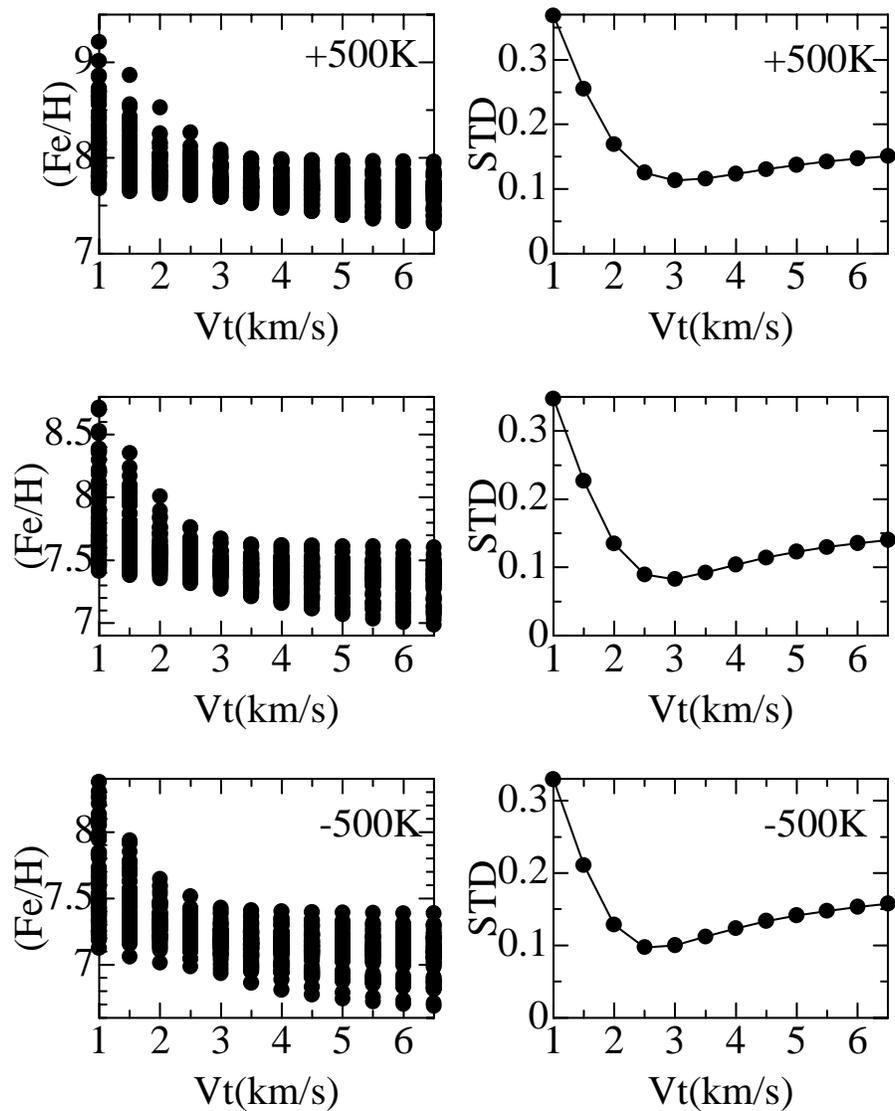


図 8: FeII から求めた微視的乱流速度の温度依存性 ($\xi_{\text{ep}} = 0.156$)

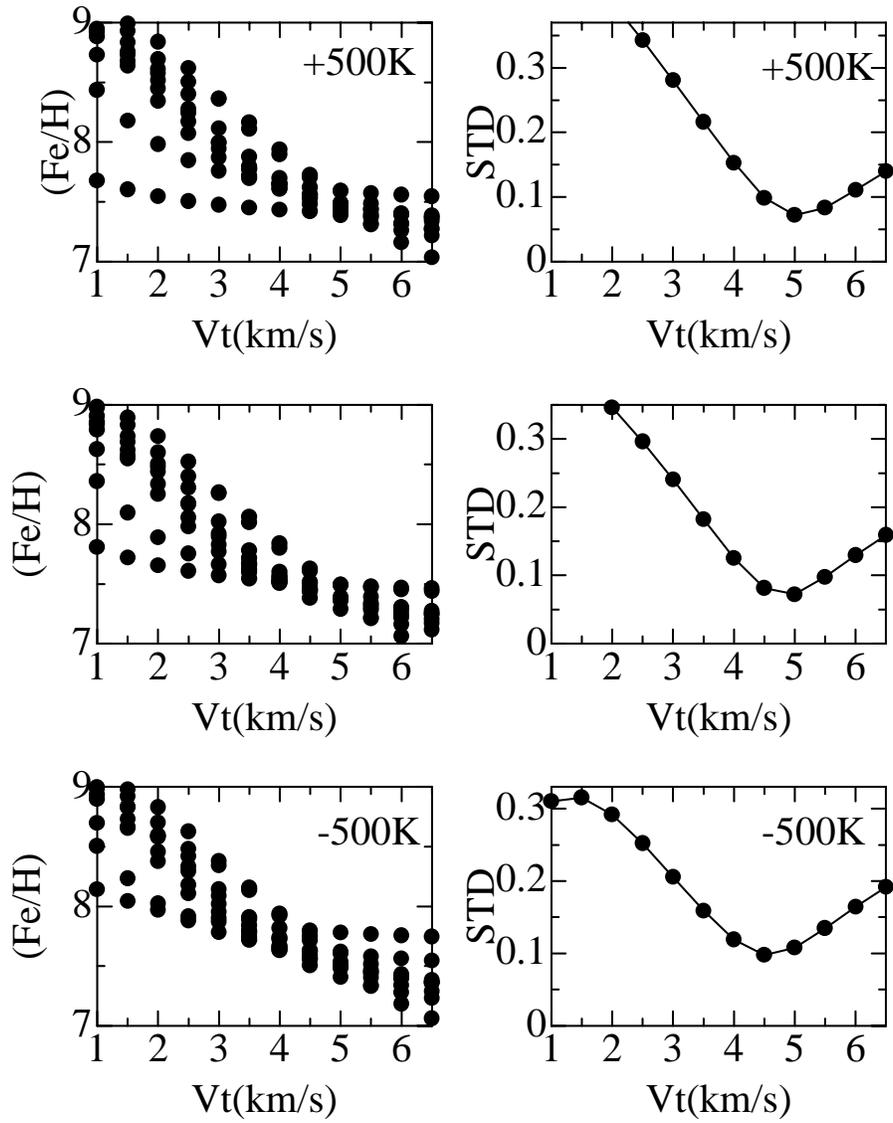


図 9: FeI から求めた微視的乱流速度の表面重力加速度依存性 ($\xi_{\text{Cep}} = 0.156$)

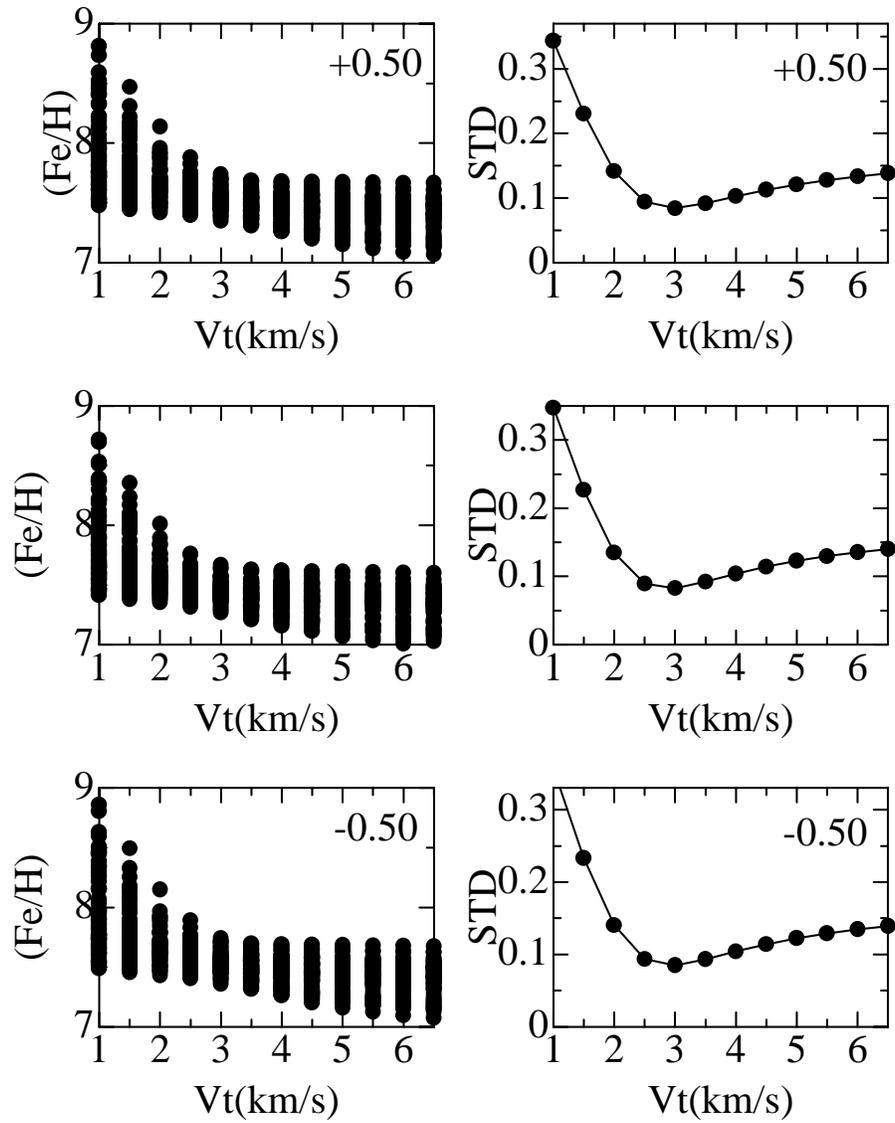


図 10: FeII から求めた微視的乱流速度の表面重力加速度依存性 ($C_{ep} = 0.156$)

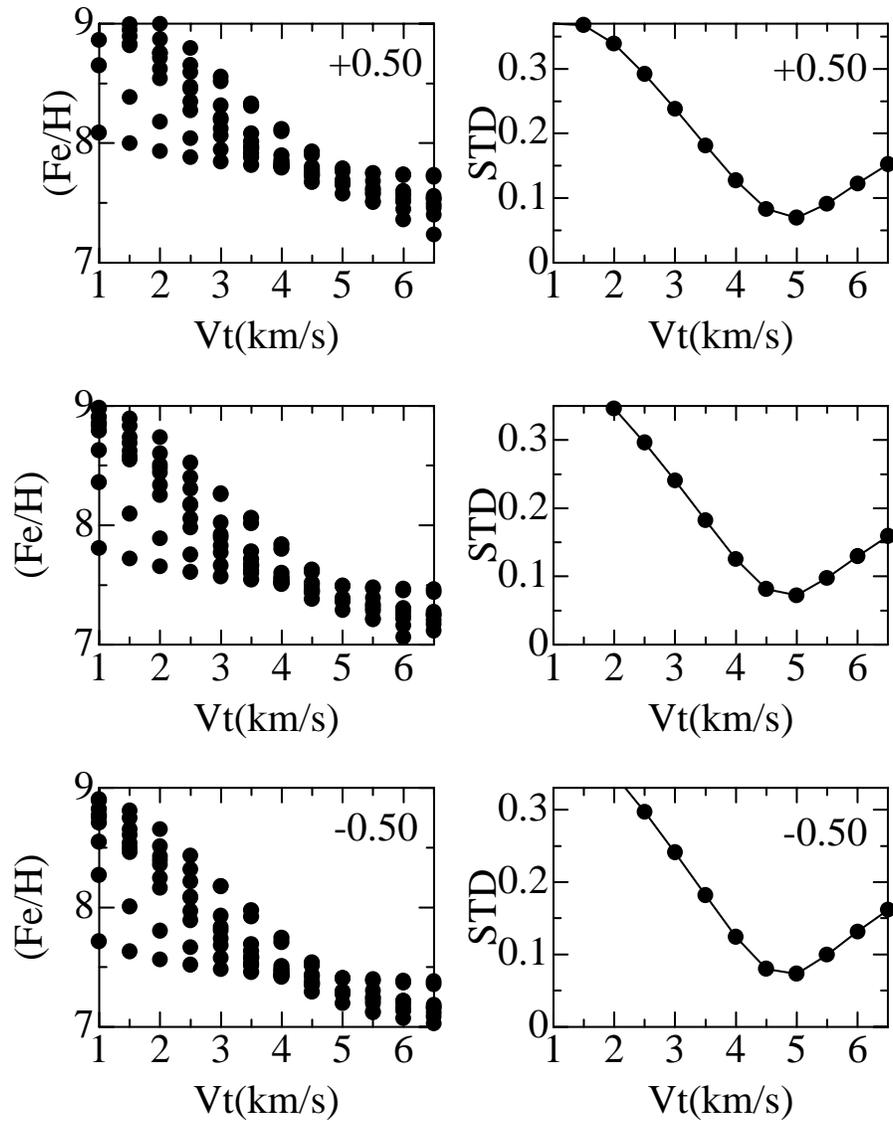


図 11: FeII6149 のフィッティング ($T_{\text{eff}}=6177\text{K}$ $V_t=4.6\text{km/s}$)

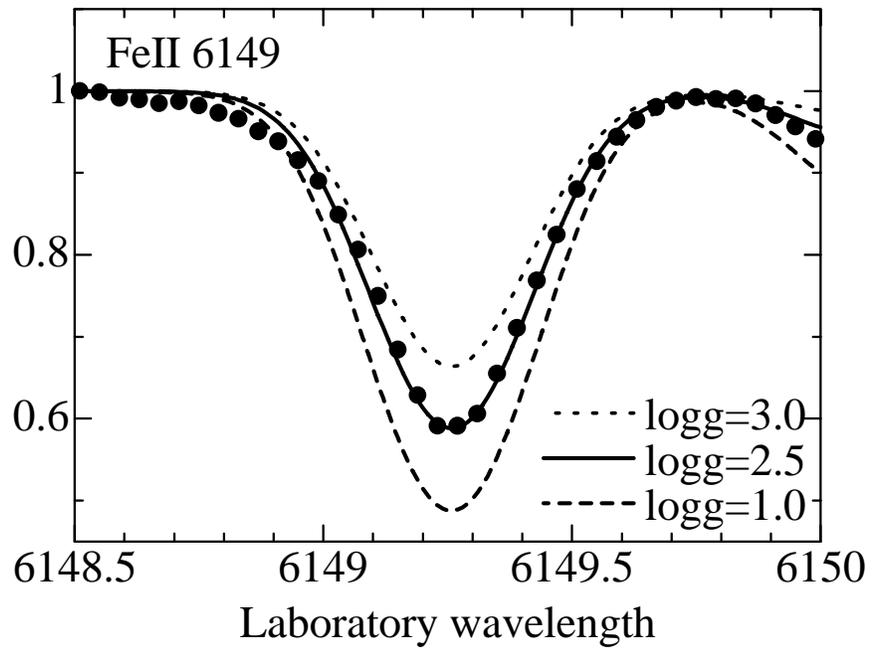


図 12: Cep 位相ごとの [C/H] と [Fe/H]

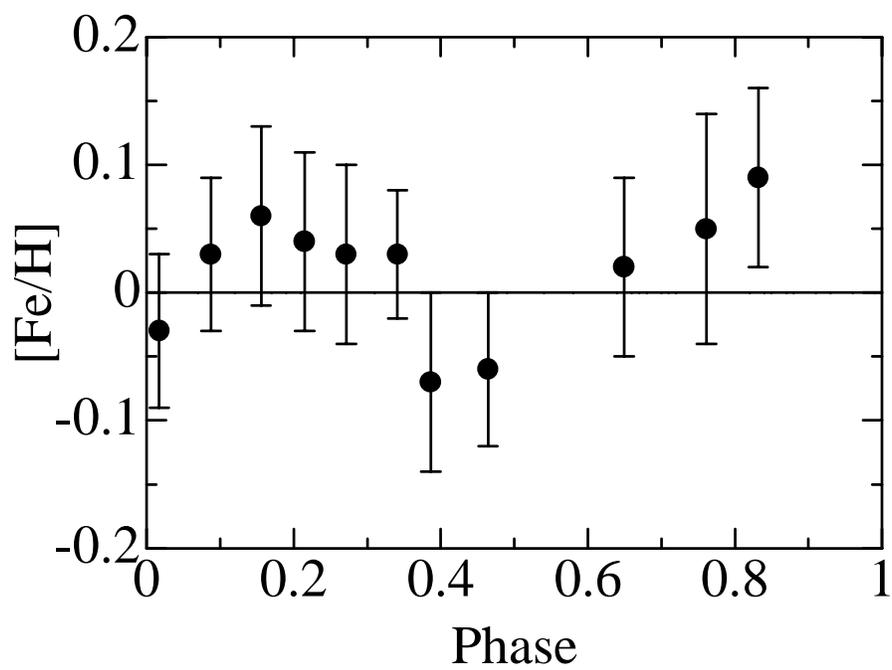
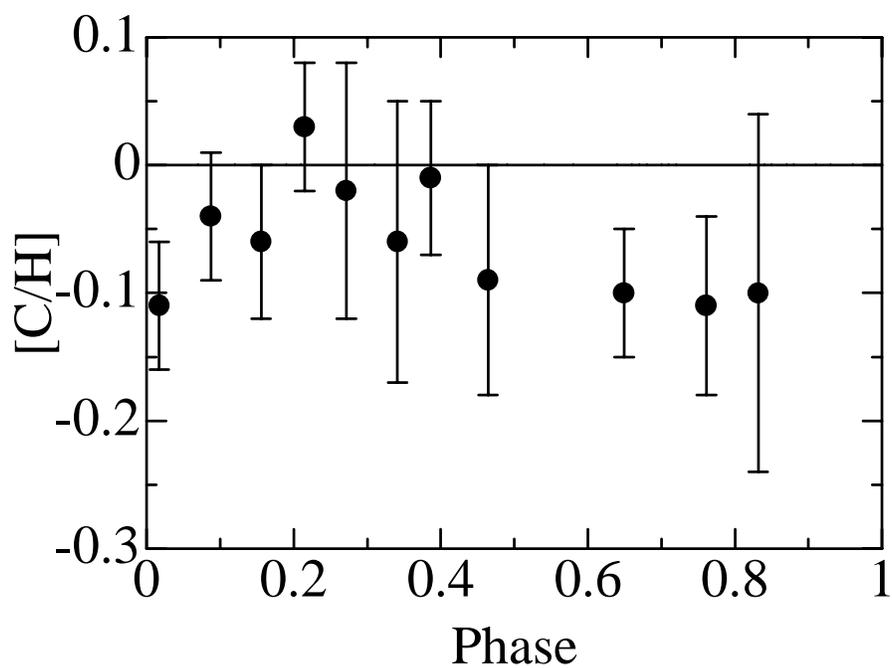
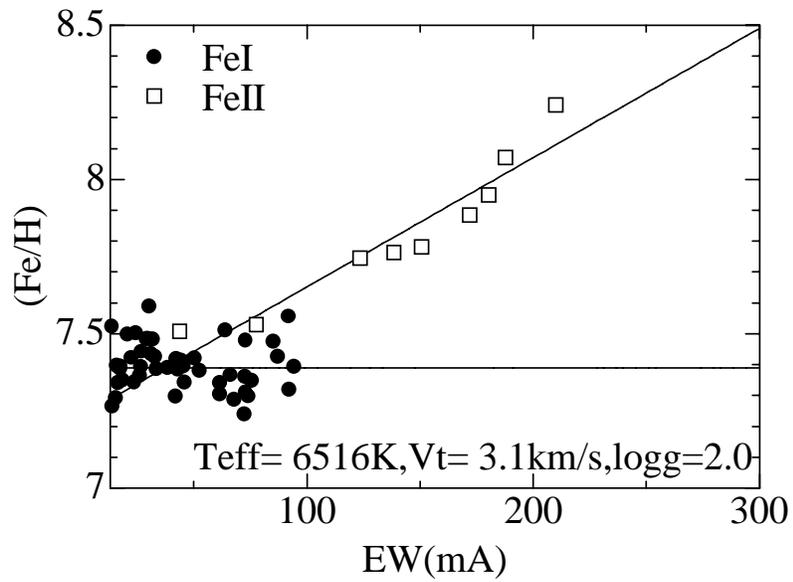
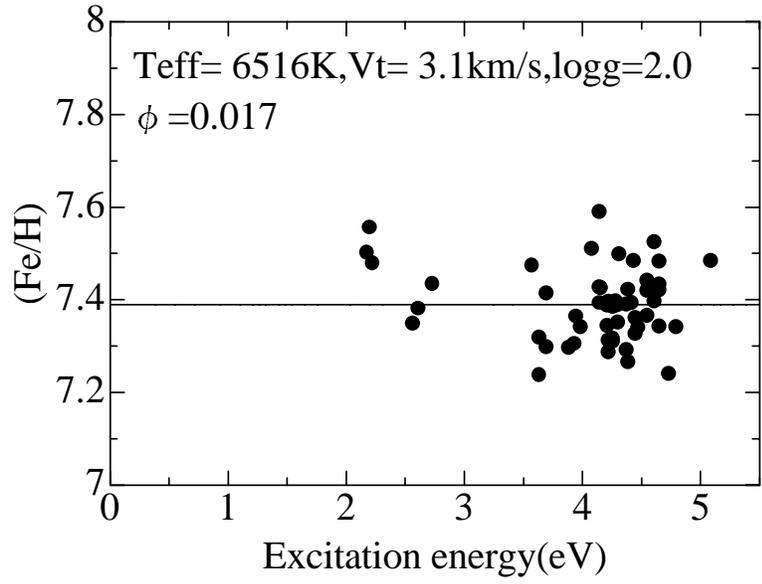


Figure 13: Cep $\phi=0.017$ (2002 12/27)



☒ 14: Cep $\phi=0.017$ (2002 12/27)

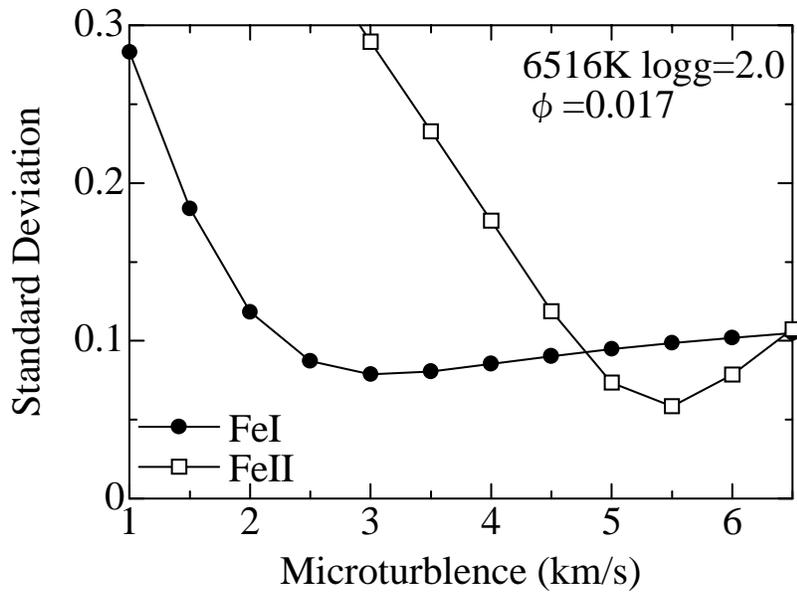
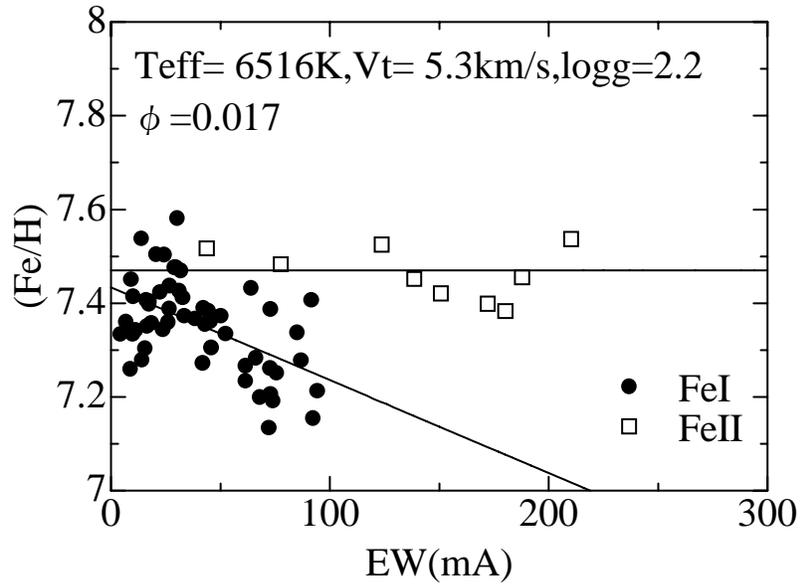


Fig 15: Cep $\phi=0.017$ (2002 12/27)

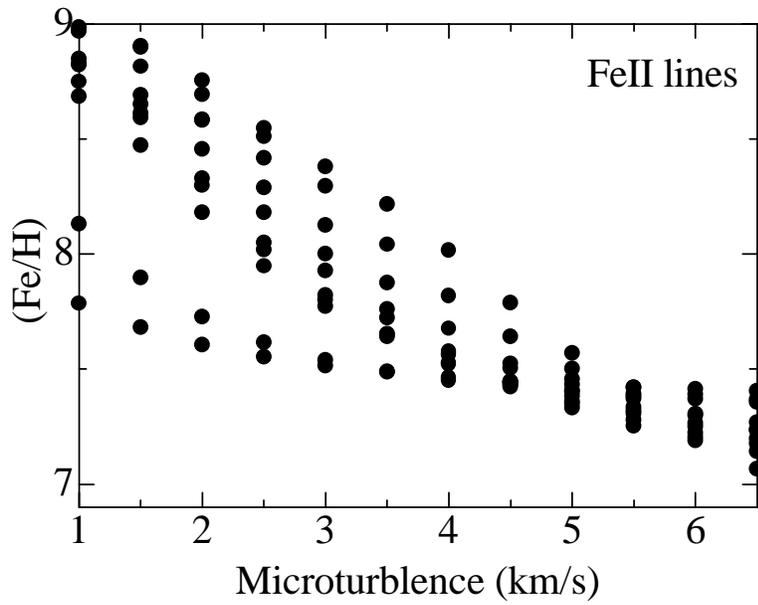
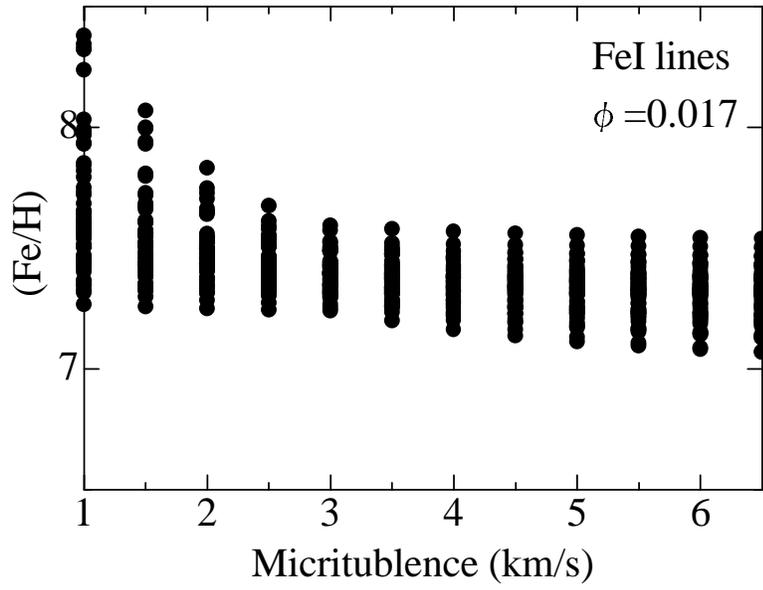
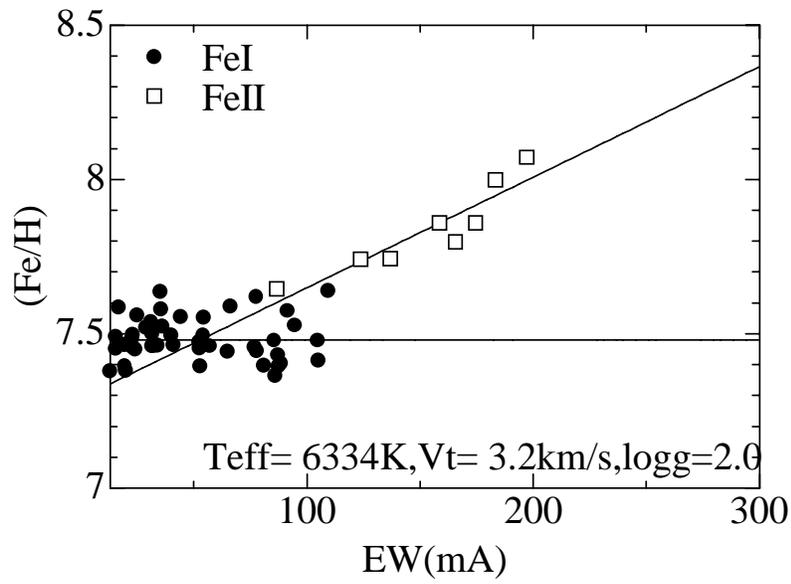
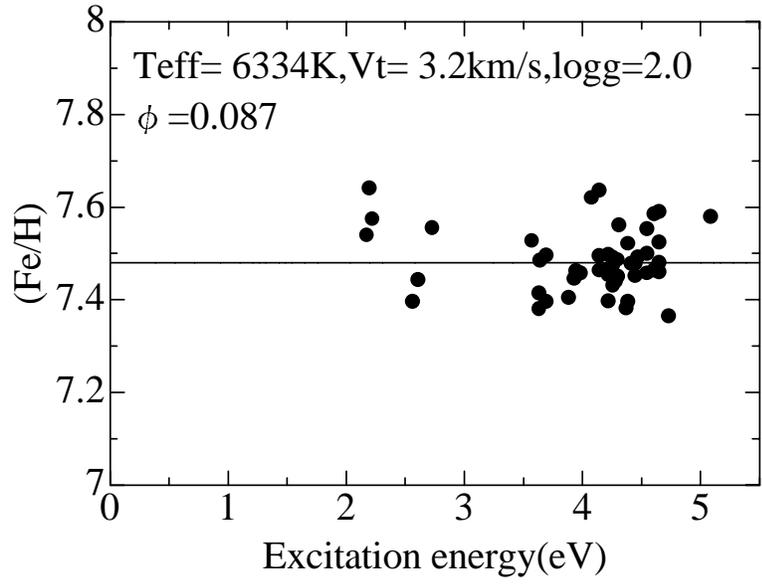
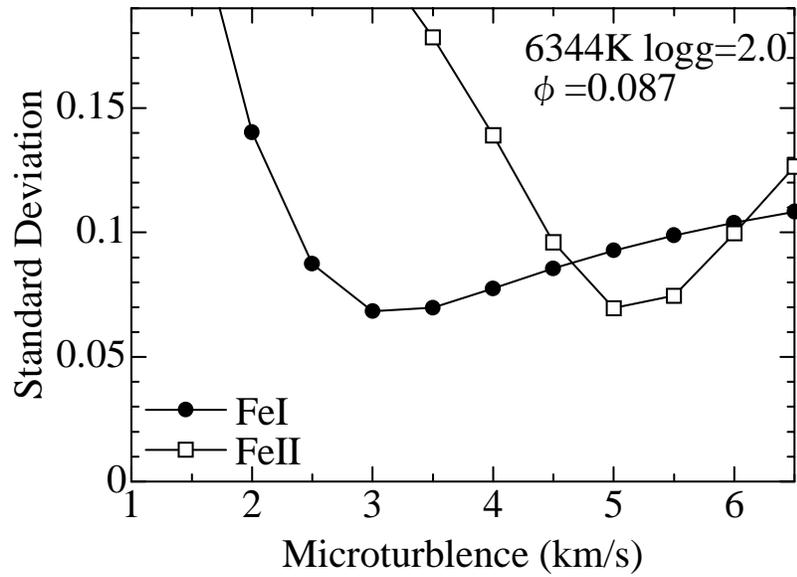
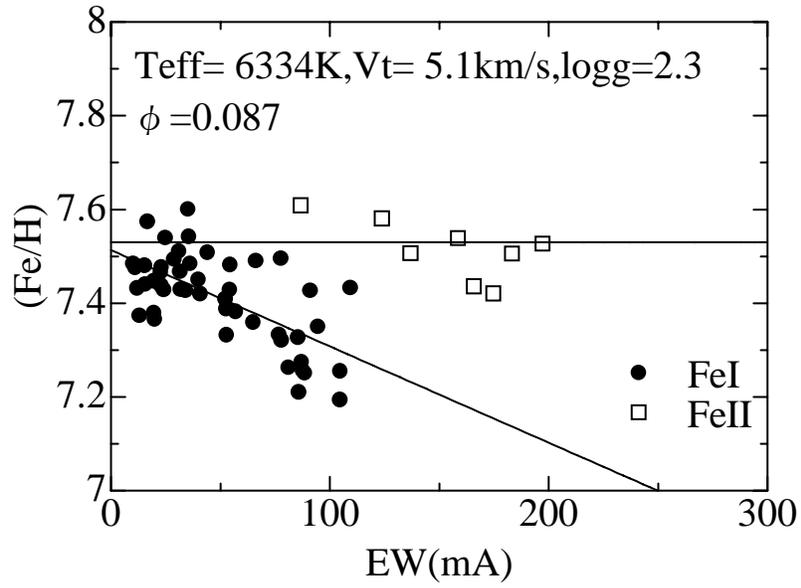


Figure 16: Cep = 0.087 (2002 12/22)



☒ 17: Cep $\phi=0.087$ (2002 12/22)



☒ 18: Cep $\phi=0.087(2002\ 12/22)$

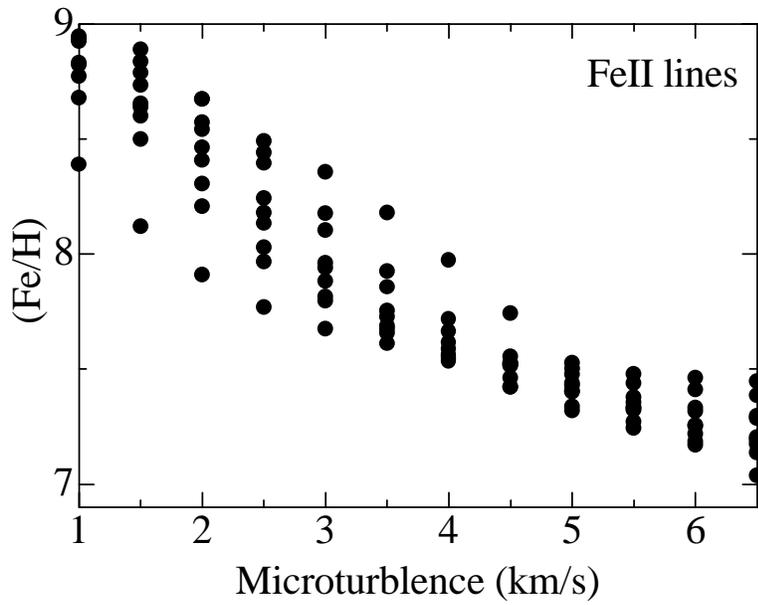
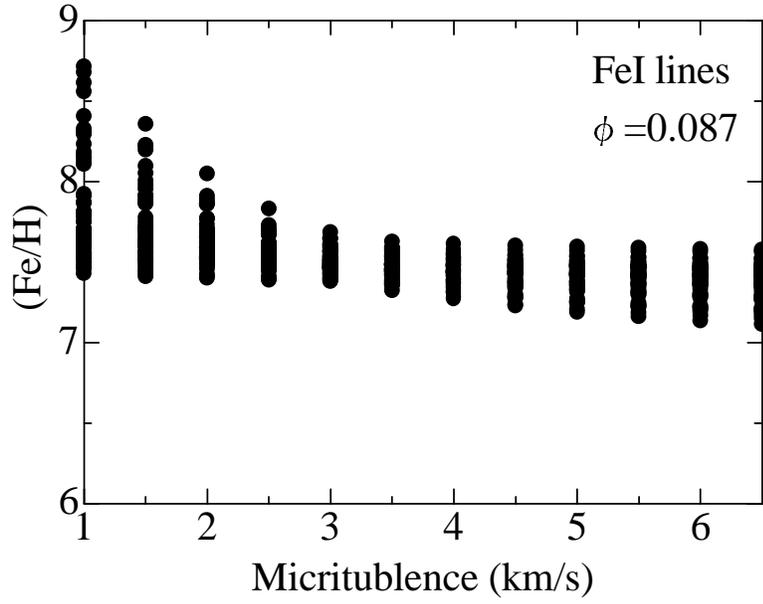
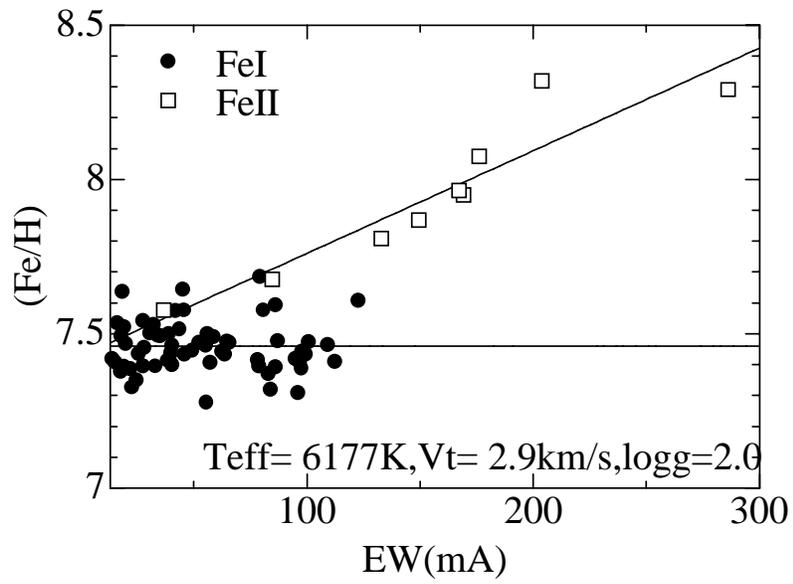
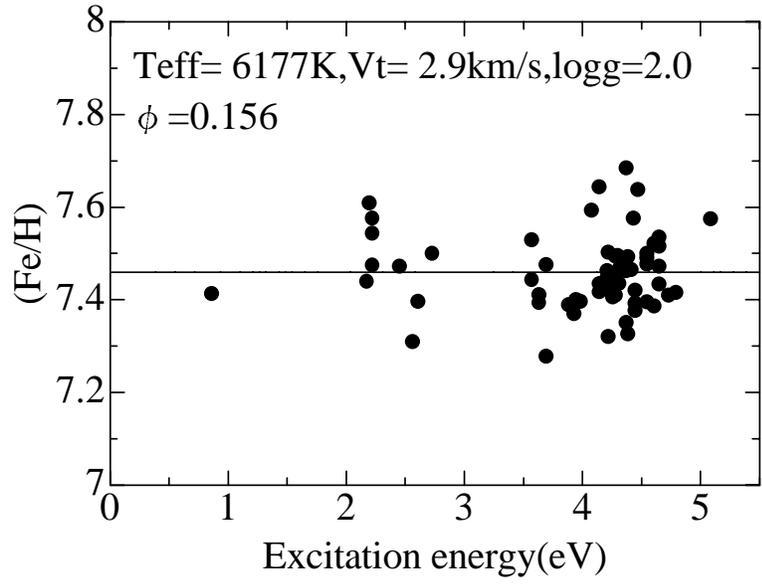
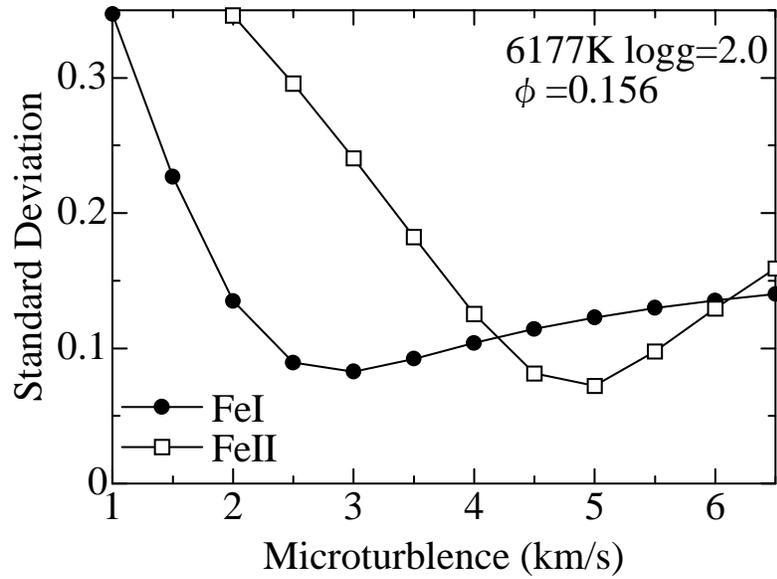
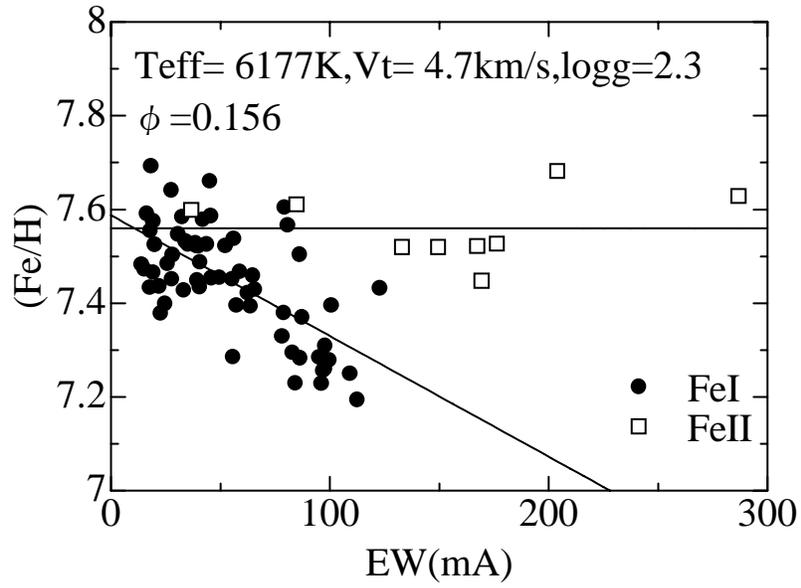


Figure 19: Cep $\phi=0.156$ (2002 12/17)



☒ 20: Cep $\phi=0.156$ (2002 12/17)



☒ 21: Cep $\phi=0.156(2002\ 12/17)$

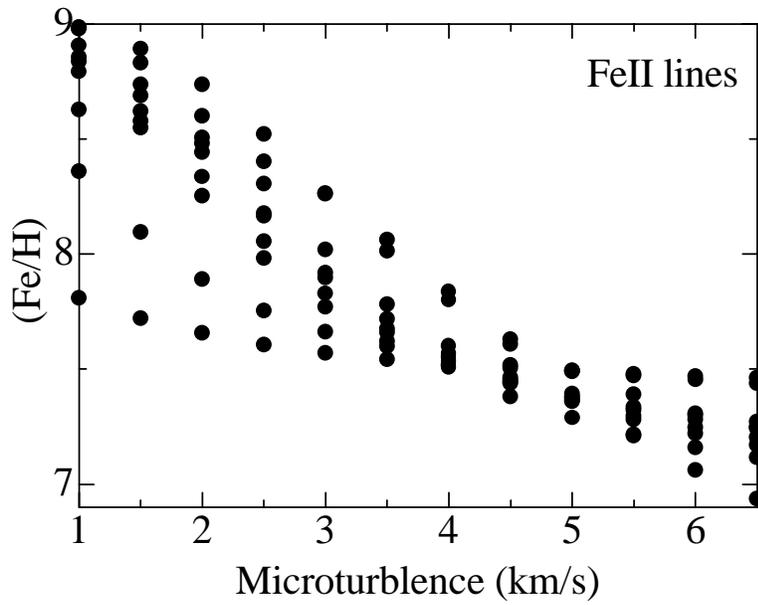
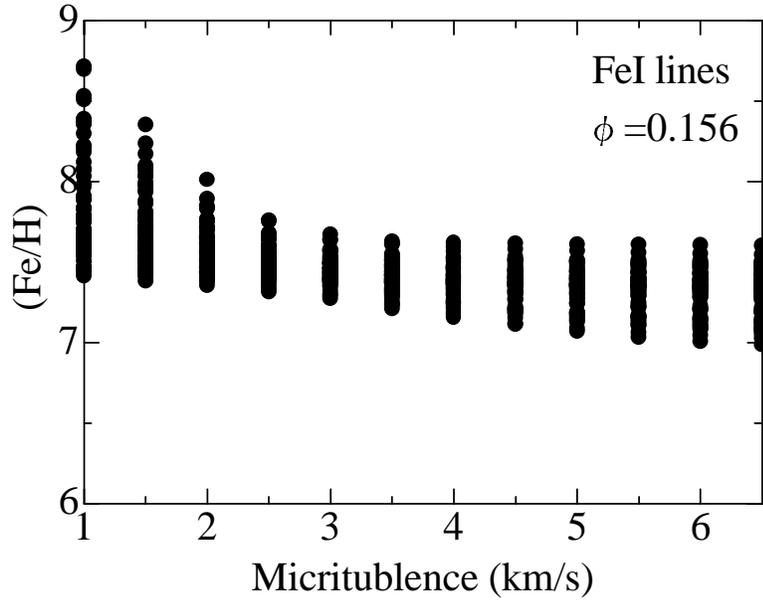
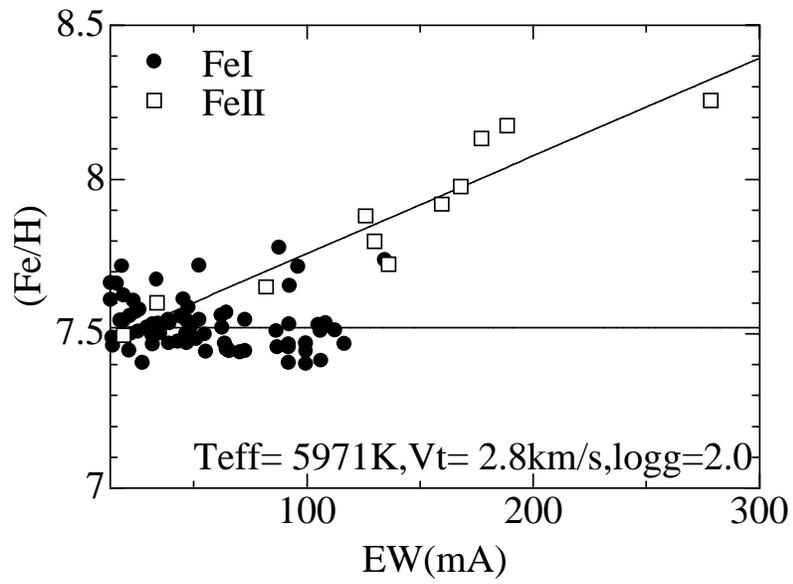
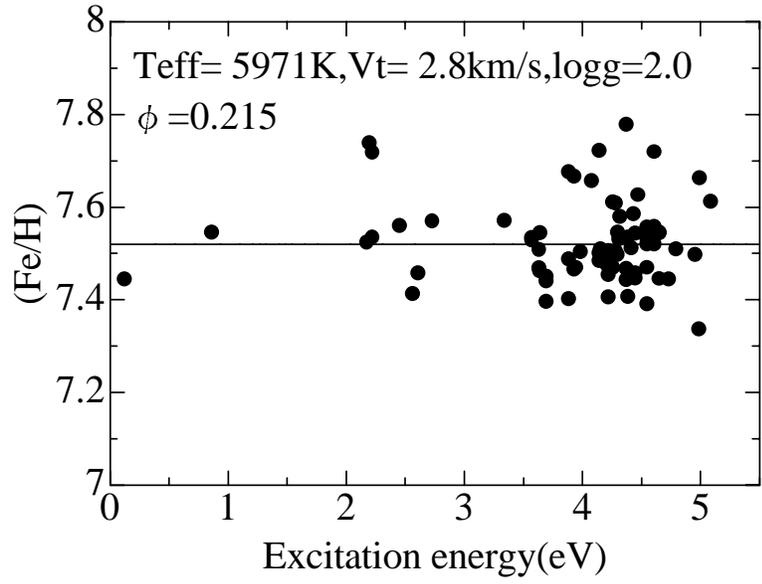
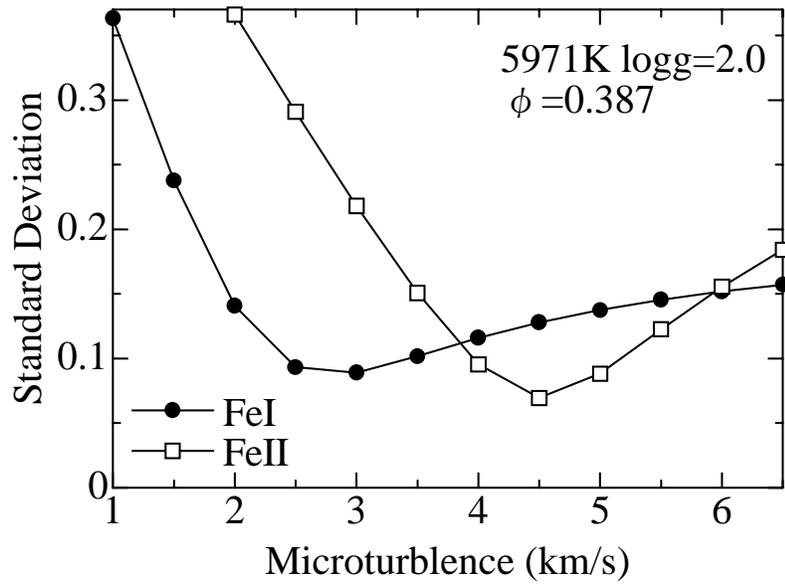
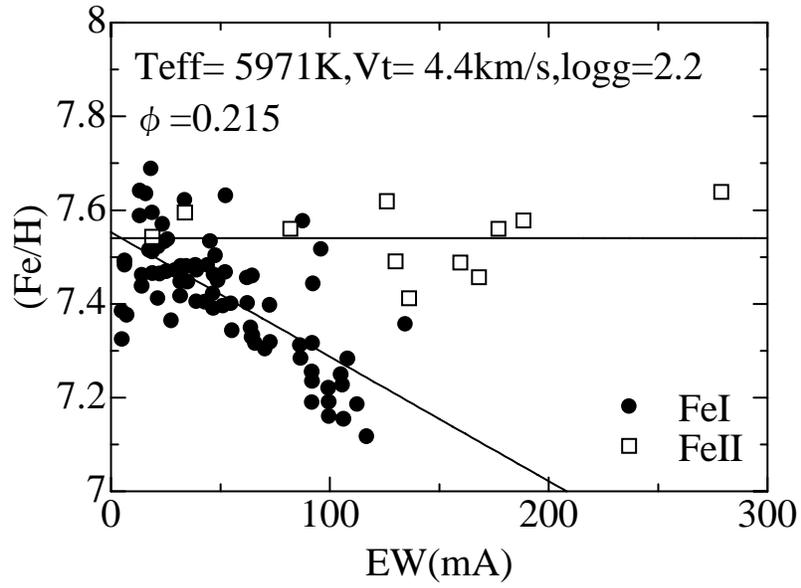


Figure 22: Cep = 0.215 (2002 12/28)



☒ 23: Cep $\phi=0.215(2002\ 12/28)$



☒ 24: Cep $\phi=0.215$ (2002 12/28)

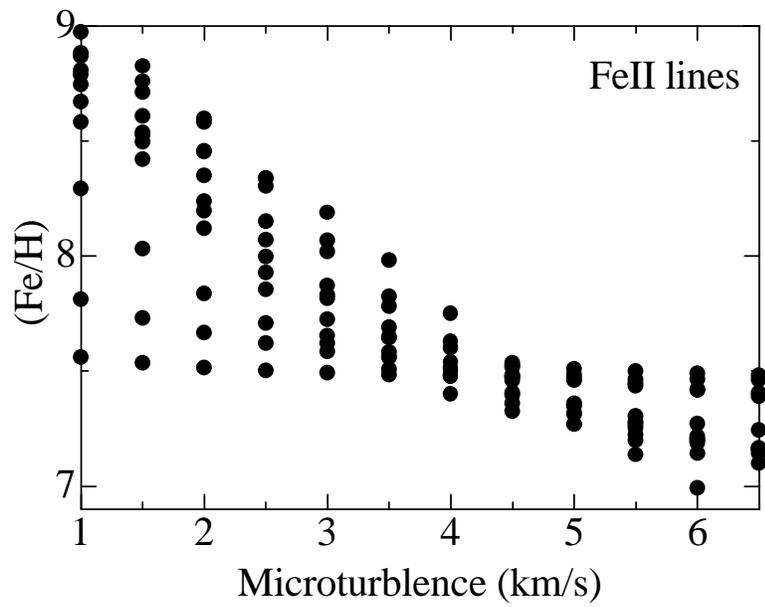
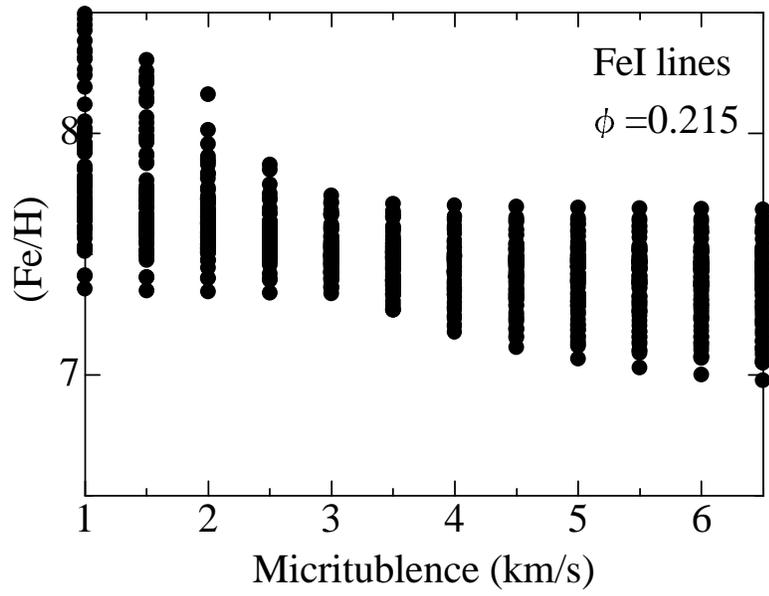
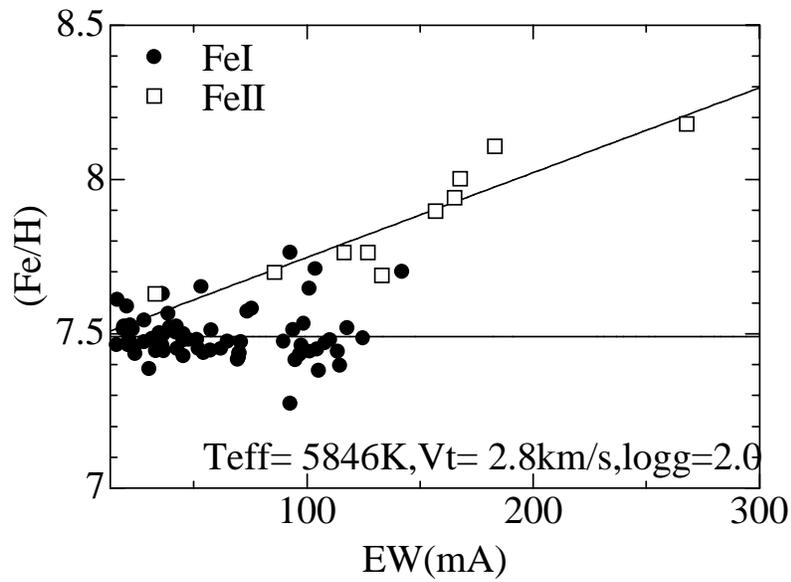
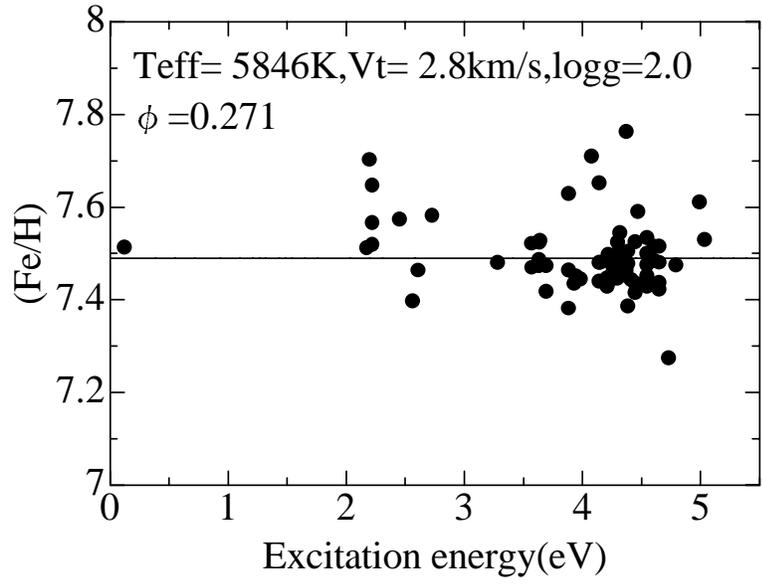
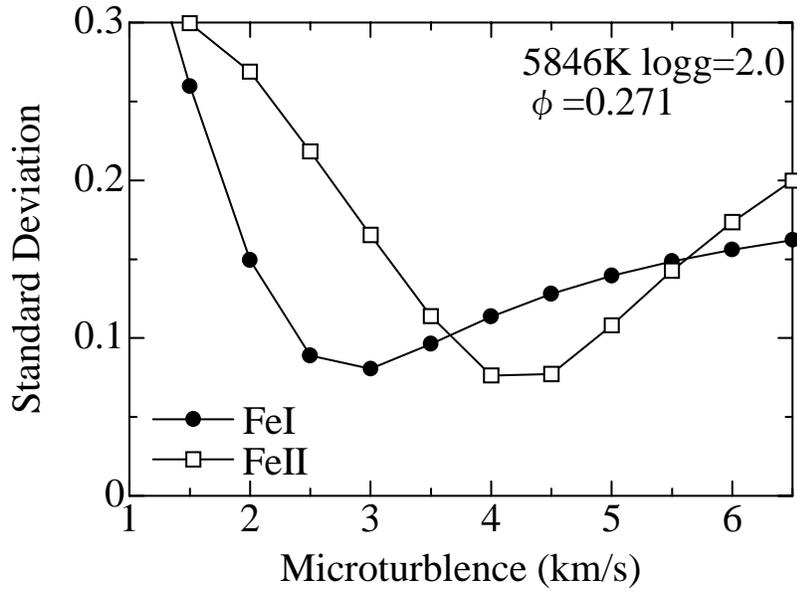
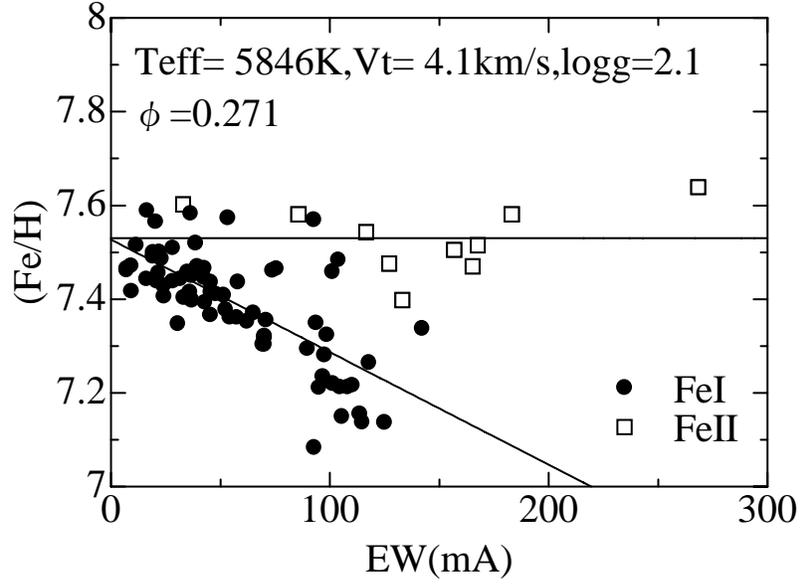


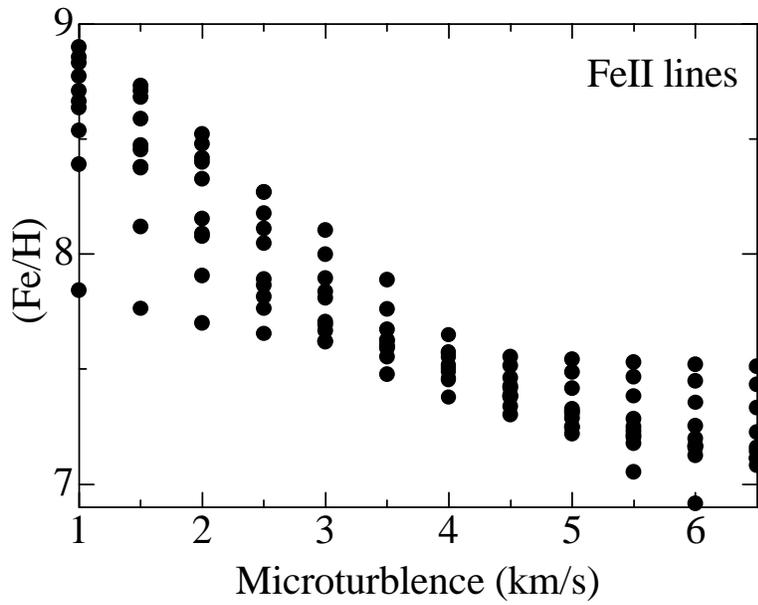
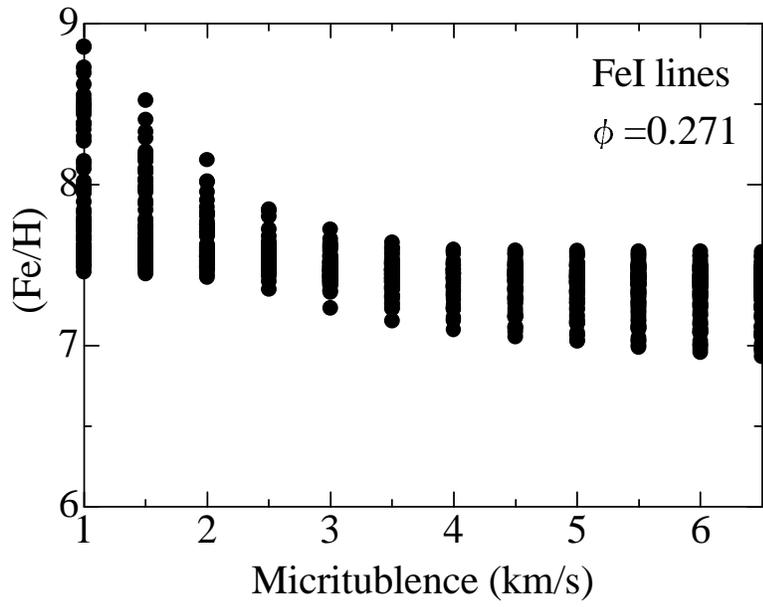
Figure 25: Cep $\phi=0.271$ (2002 12/23)



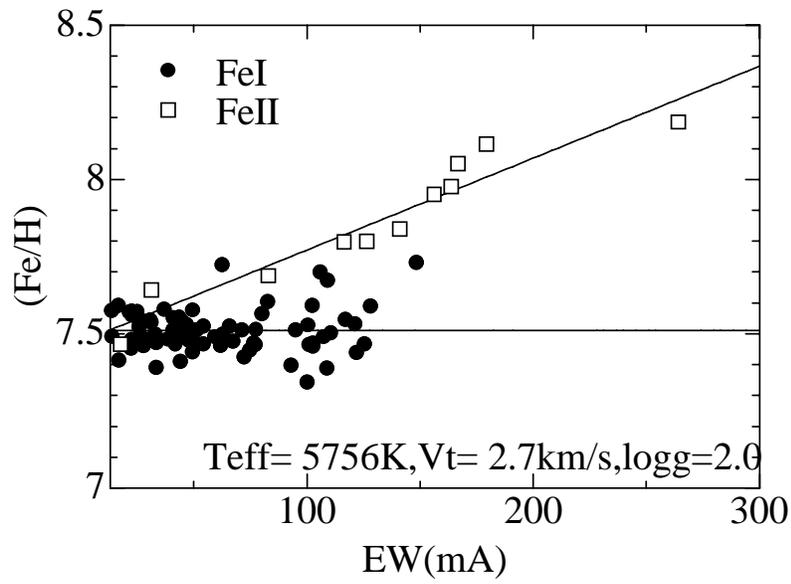
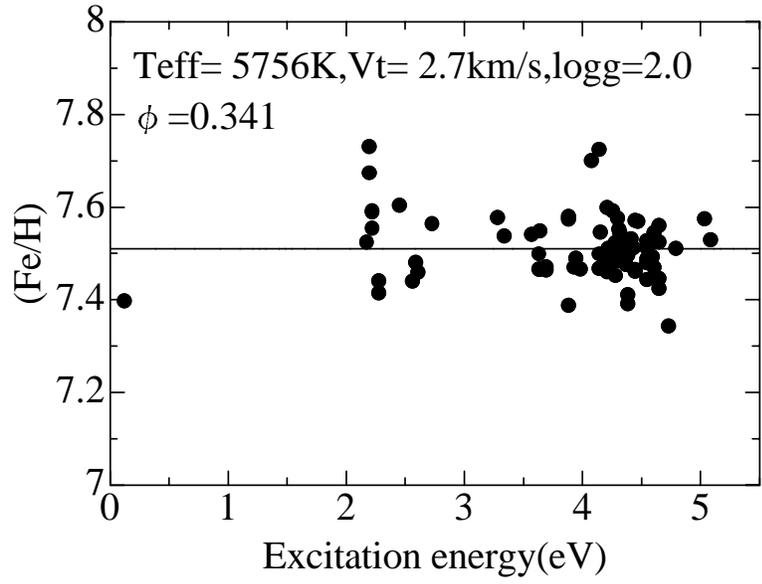
☒ 26: Cep $\phi=0.271$ (2002 12/23)



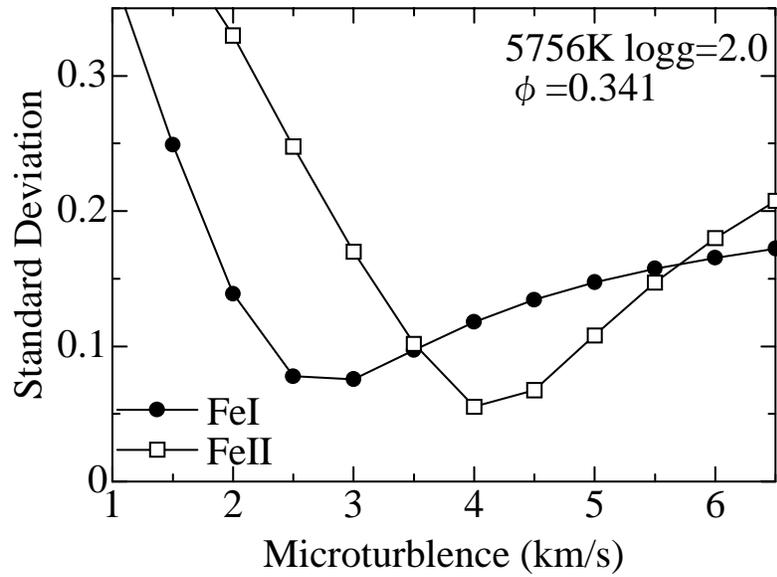
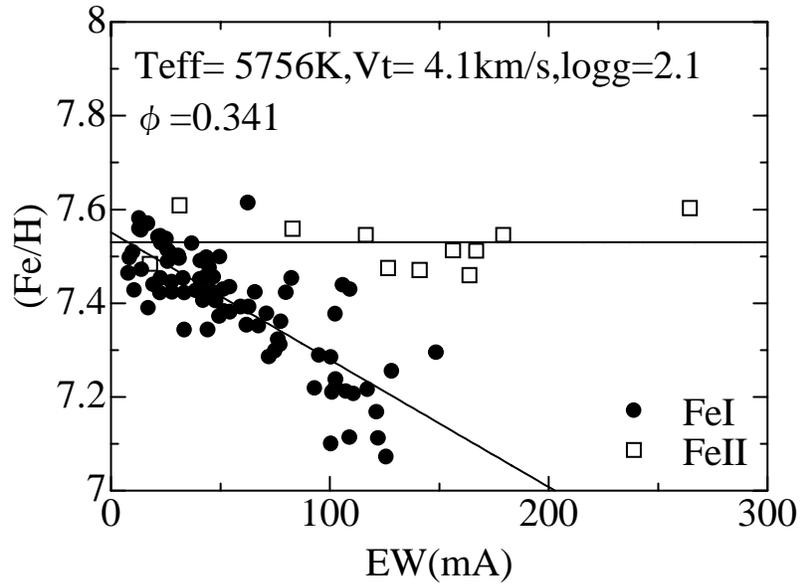
☒ 27: Cep $\tau=0.215(2002\ 12/28)$



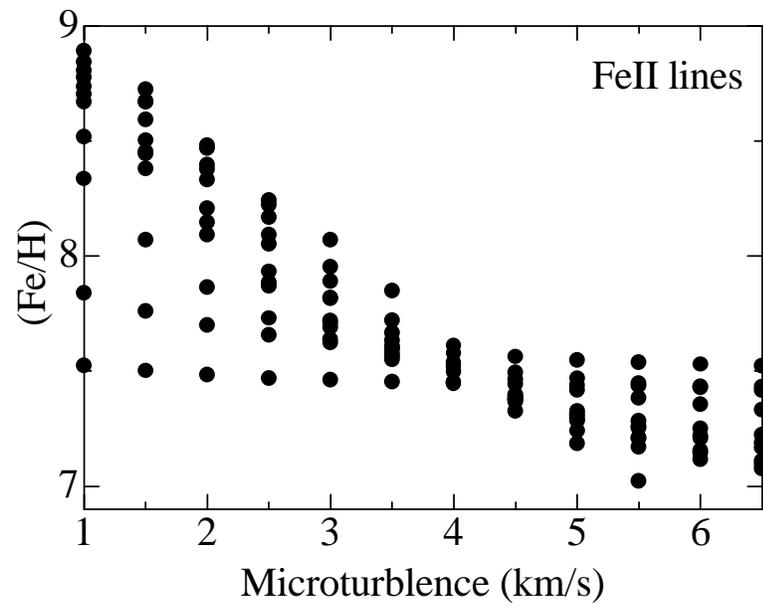
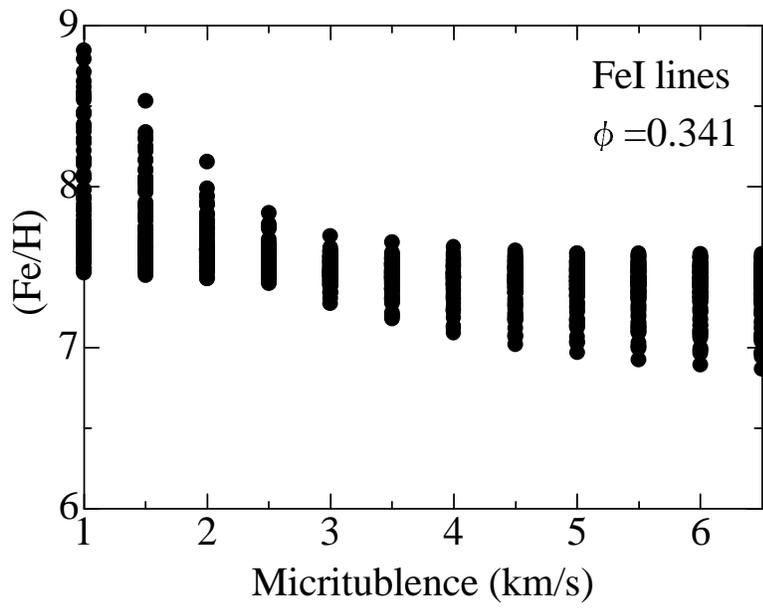
☒ 28: Cep $\phi=0.341$ (2002 12/18)



☒ 29: Cep $\phi=0.341$ (2002 12/18)



☒ 30: Cep =0.215(2002 12/28)



☒ 31: Cep $\phi=0.387(2002\ 12/29)$

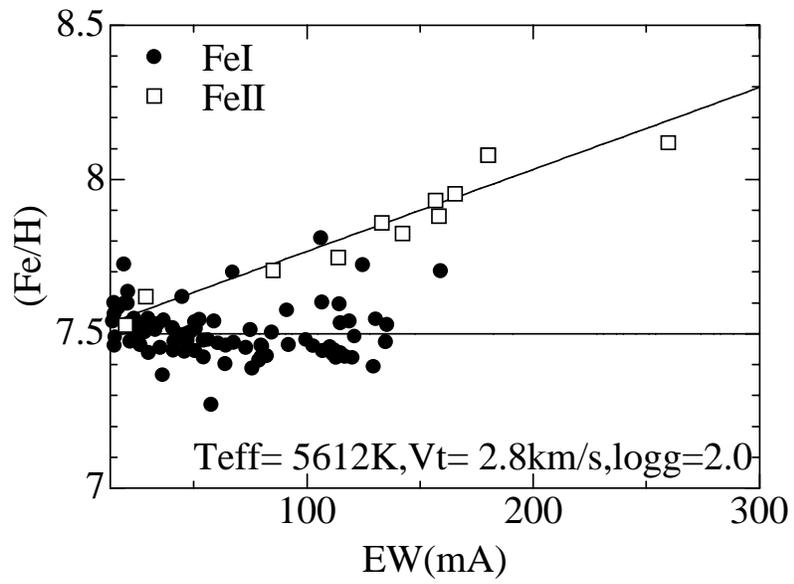
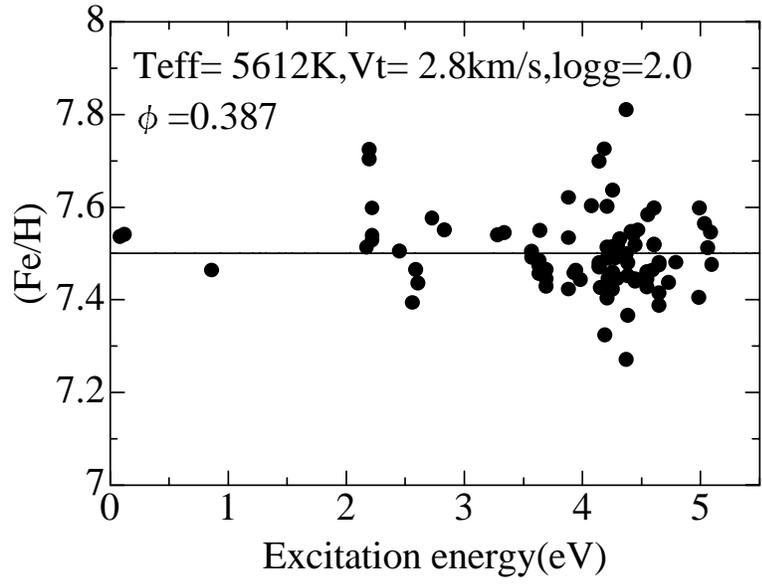
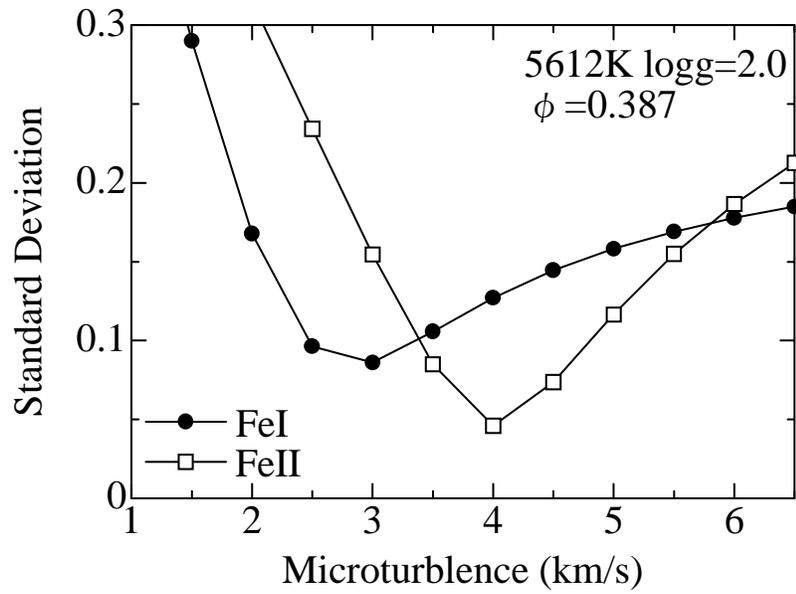
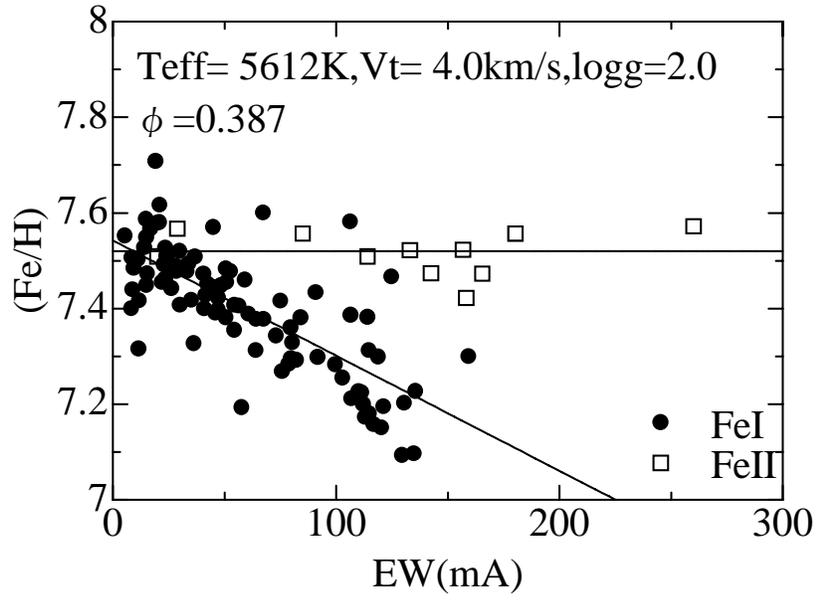
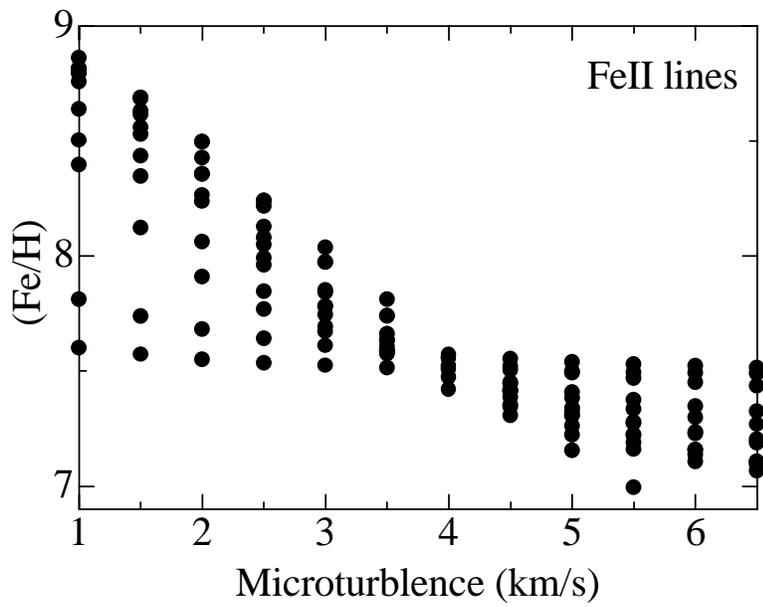
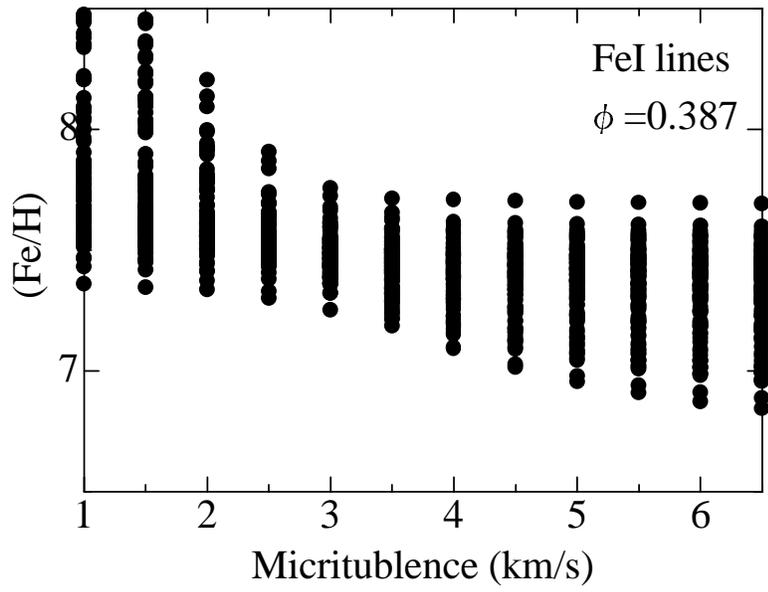


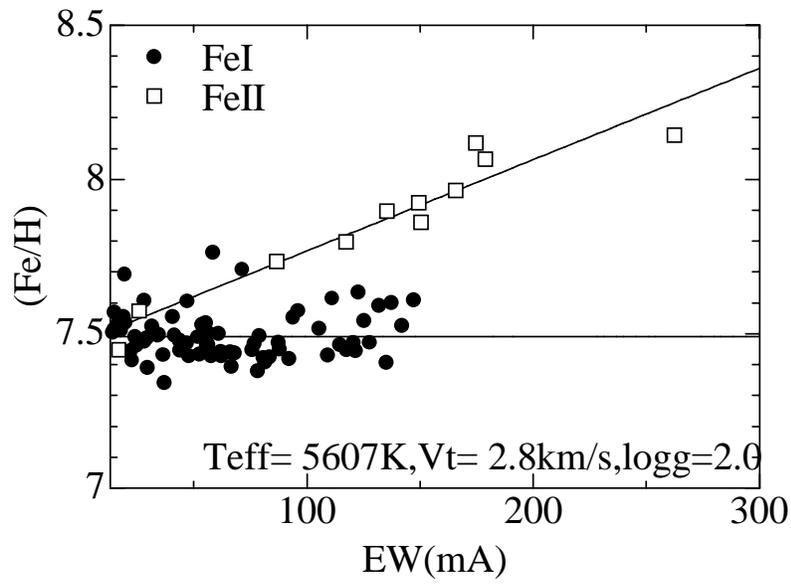
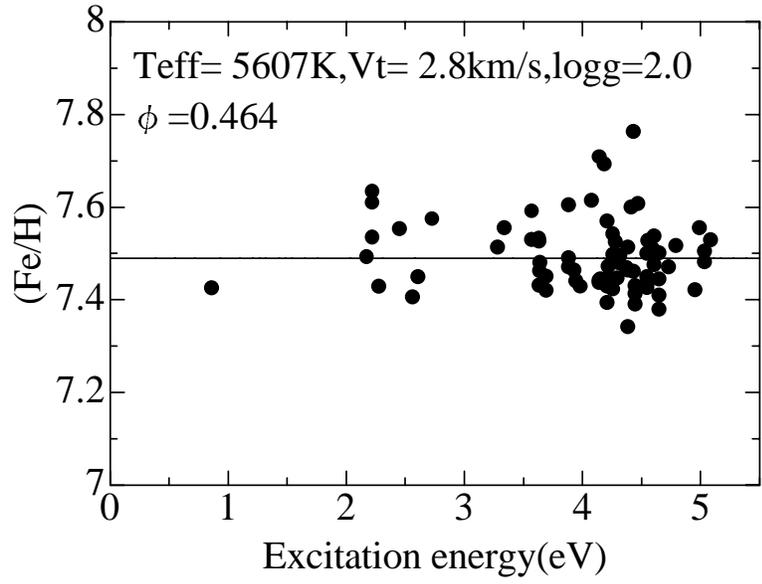
Fig 32: Cep $\phi=0.387$ (2002 12/29)



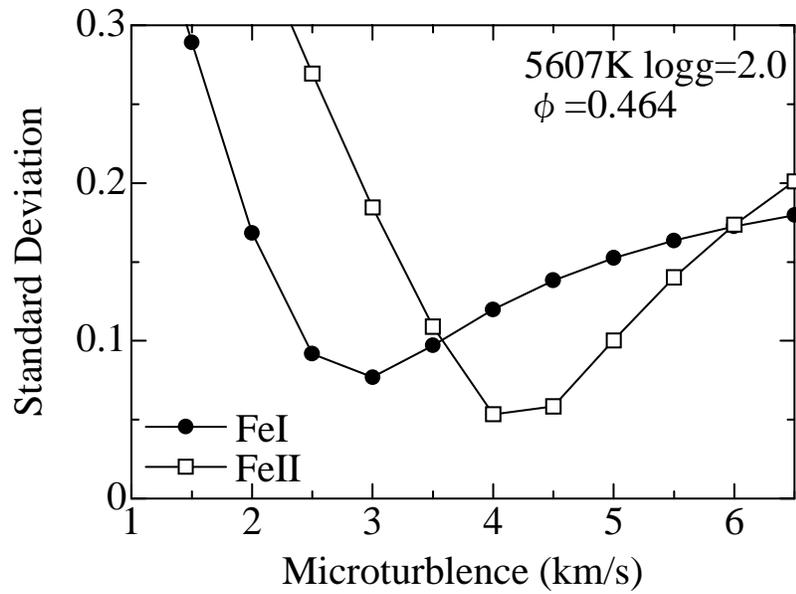
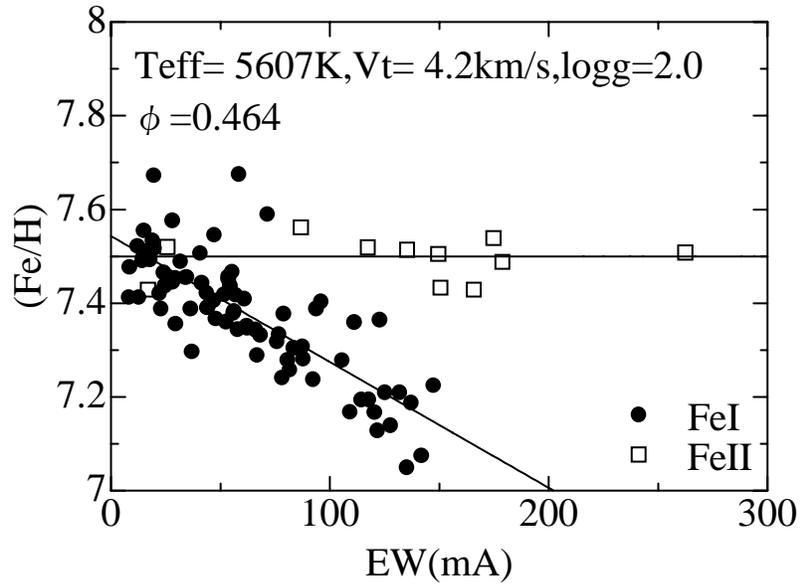
☒ 33: Cep $\phi=0.387(2002\ 12/29)$



☒ 34: Cep =0.464(2002 12/24)



☒ 35: Cep $\phi=0.464$ (2002 12/24)



☒ 36: Cep $\phi=0.464$ (2002 12/24)

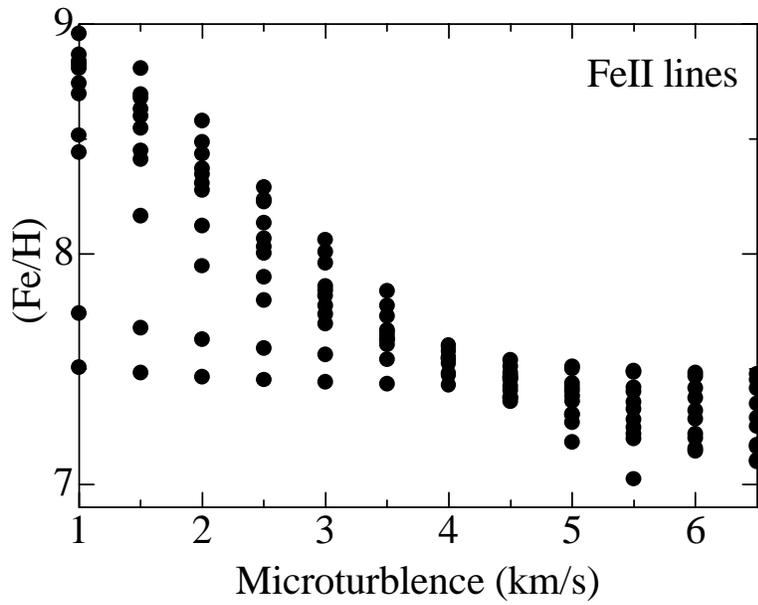
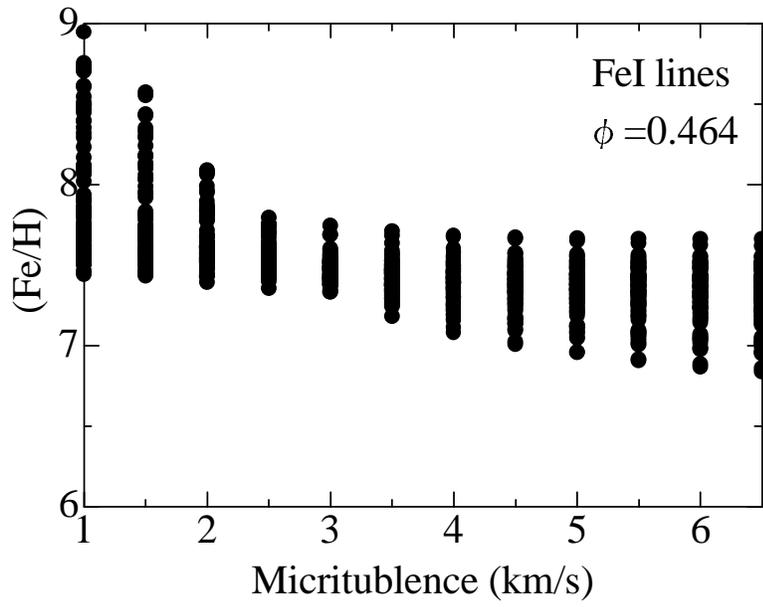
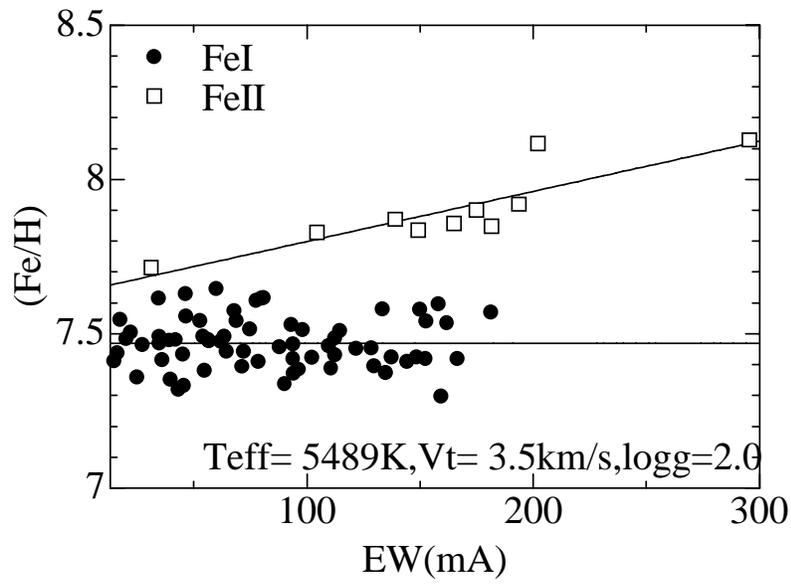
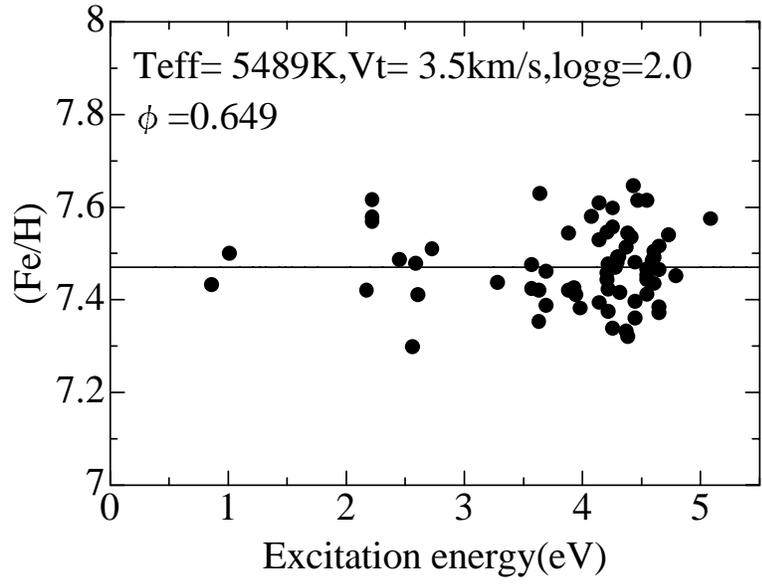
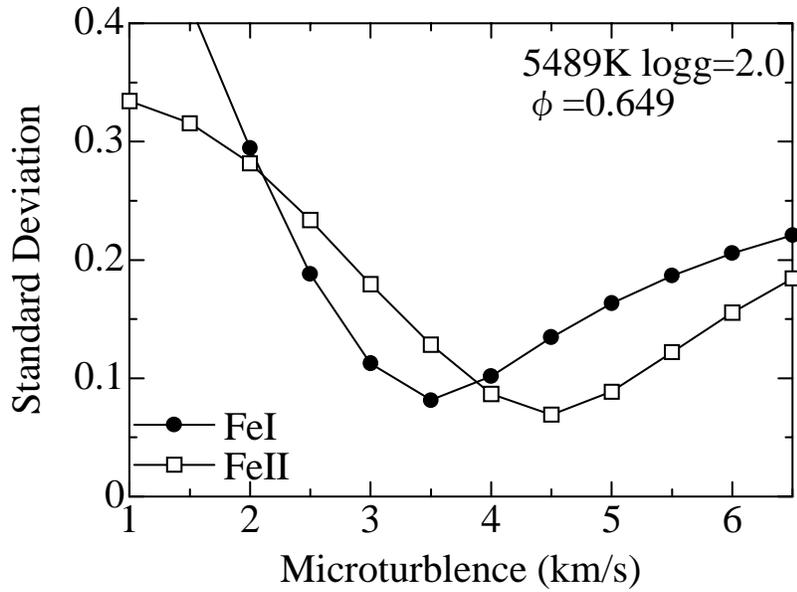
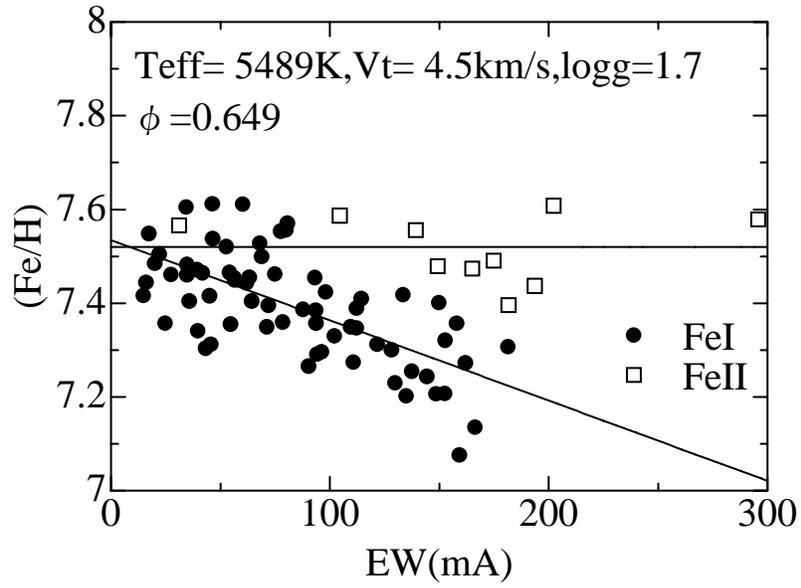


Figure 37: Cep = 0.649(2002 12/25)



☒ 38: Cep $\phi=0.649$ (2002 12/25)



☒ 39: Cep $\phi=0.649(2002\ 12/25)$

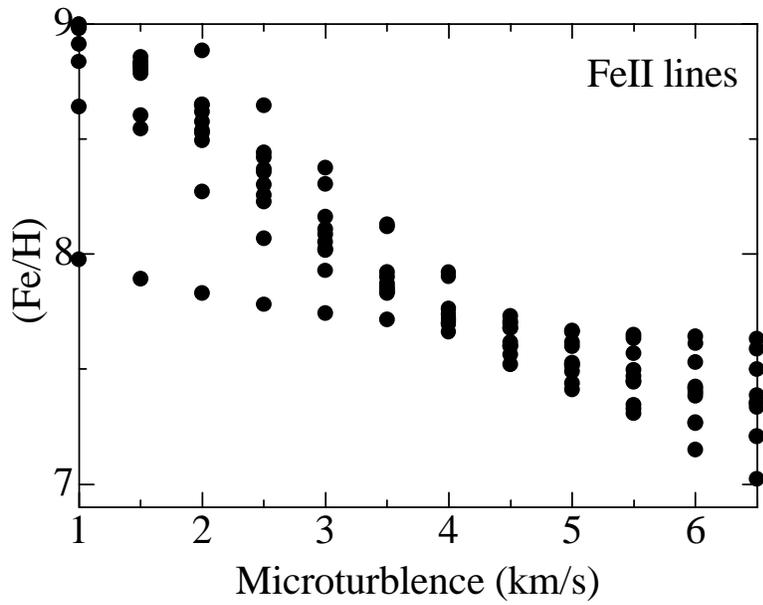
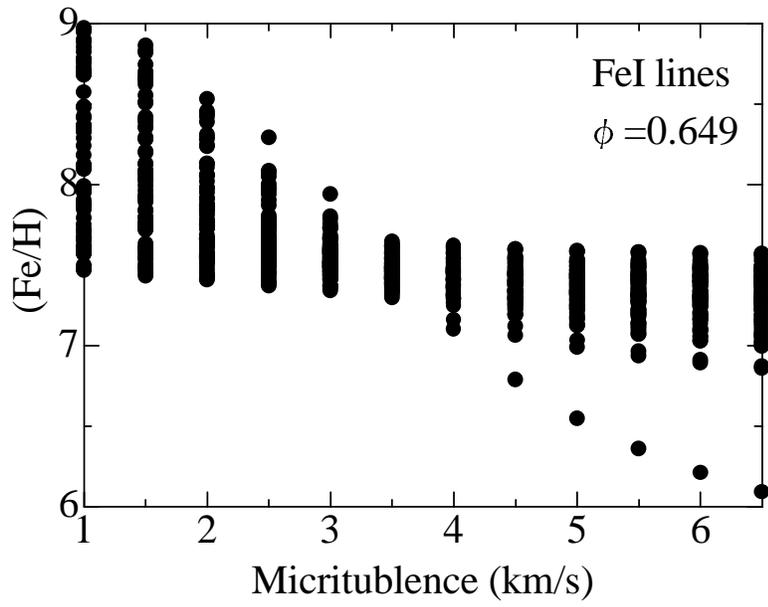
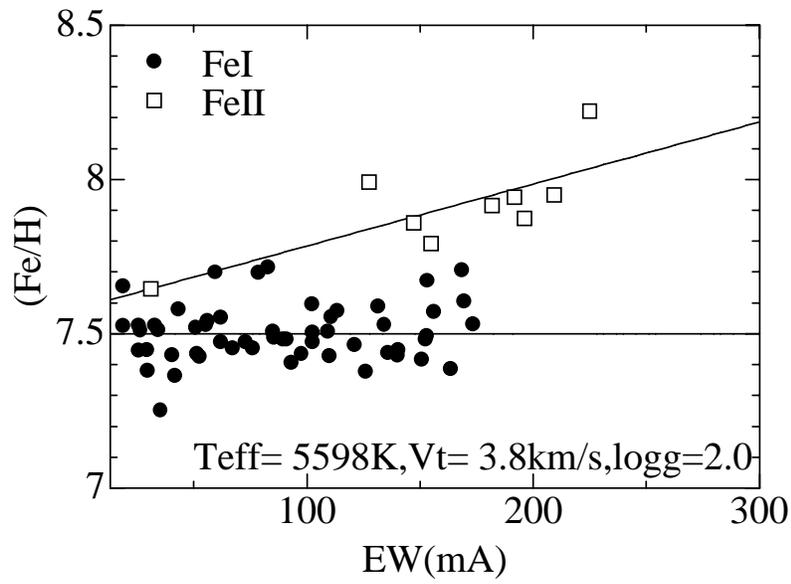
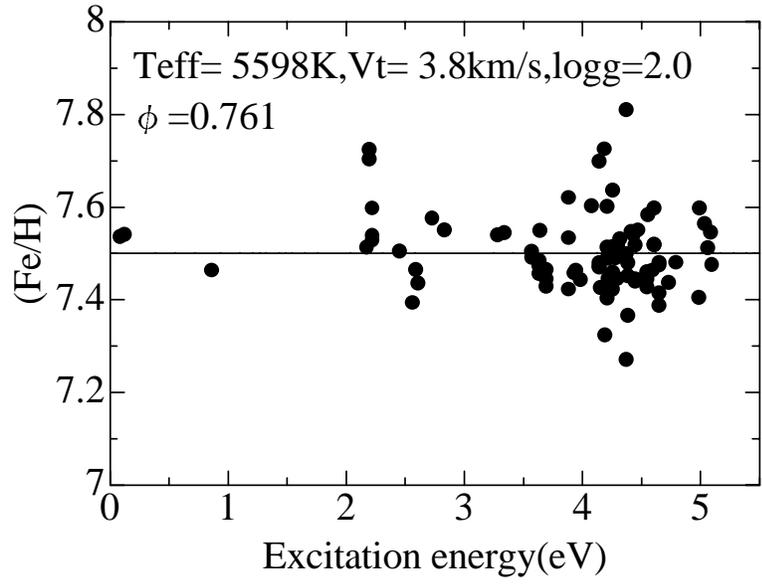
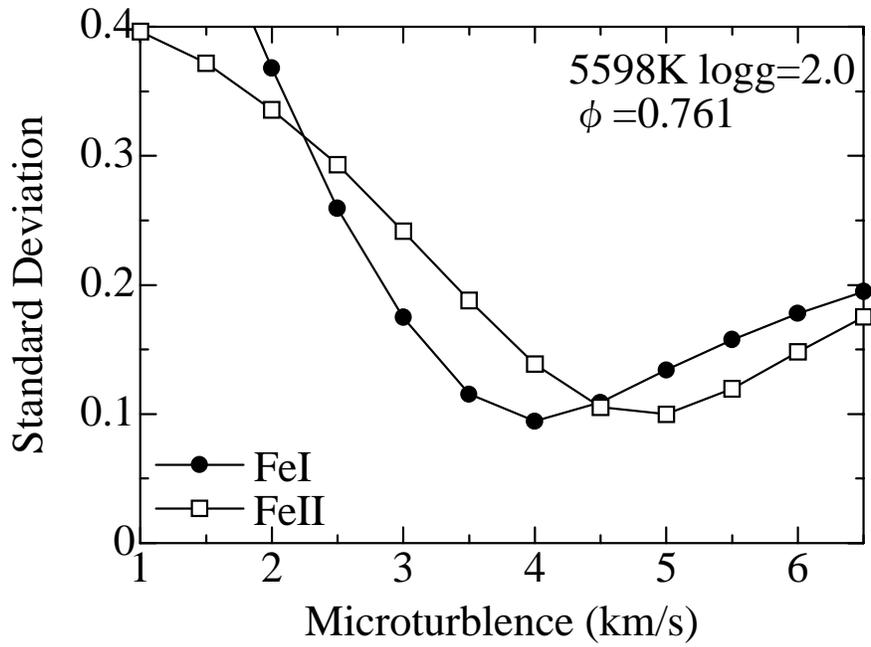
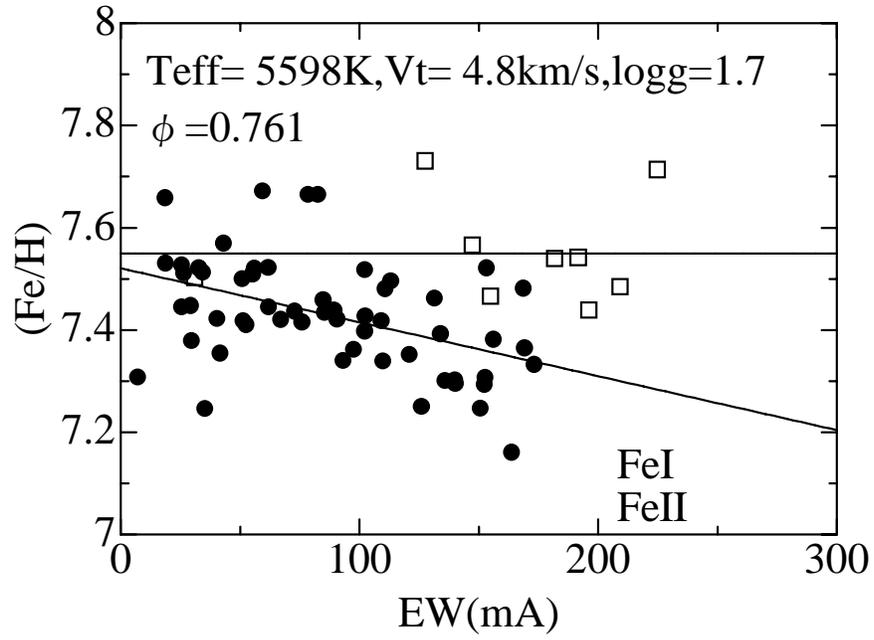


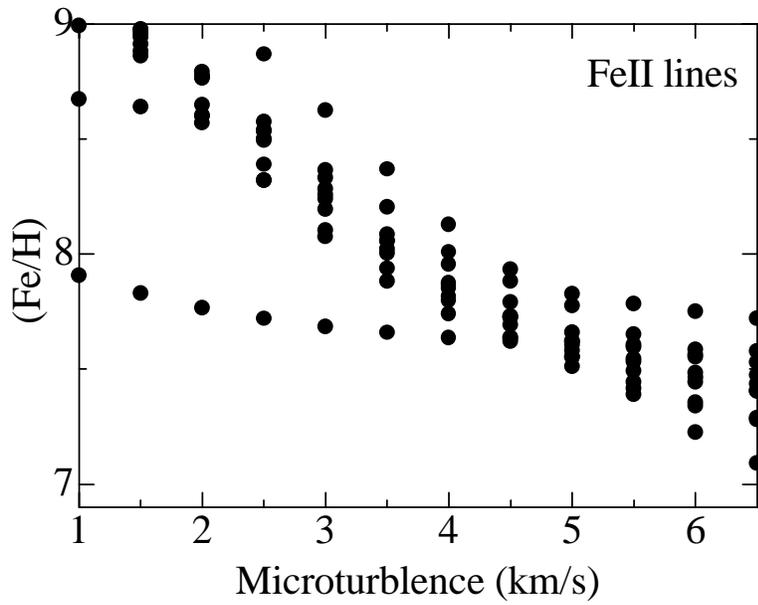
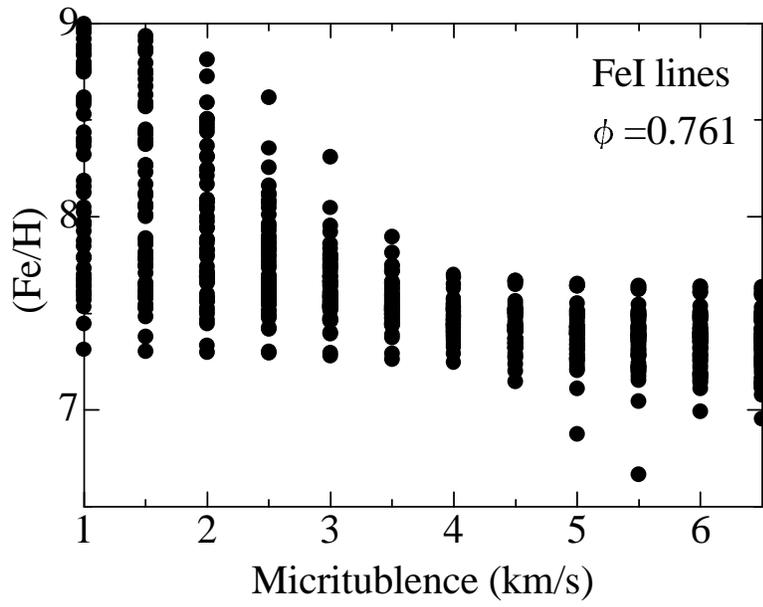
Figure 40: Cep = 0.761 (2002 12/31)



☒ 41: Cep $\phi=0.761$ (2002 12/31)



☒ 42: Cep $\phi=0.761$ (2002 12/31)



☒ 43: Cep =0.832(2002 12/26)

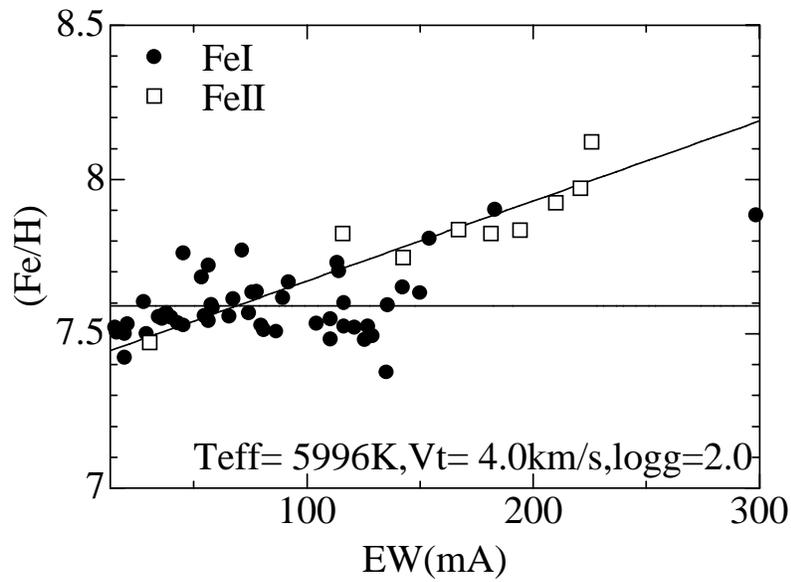
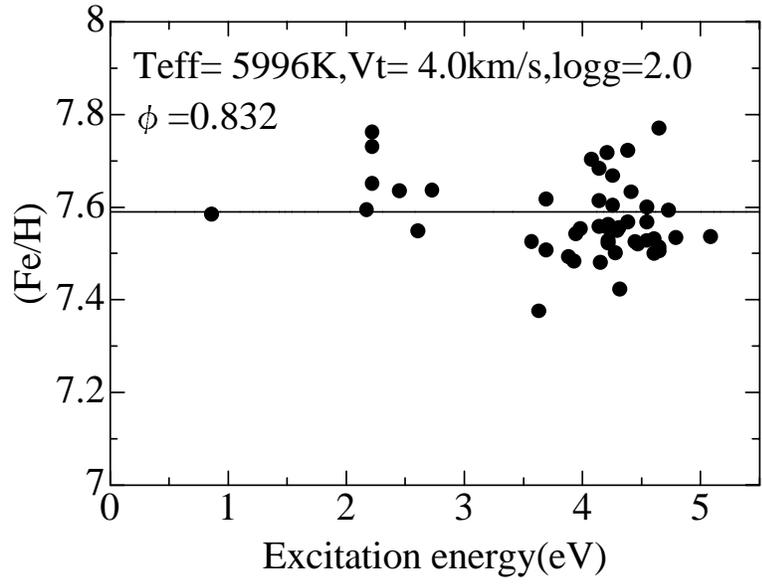
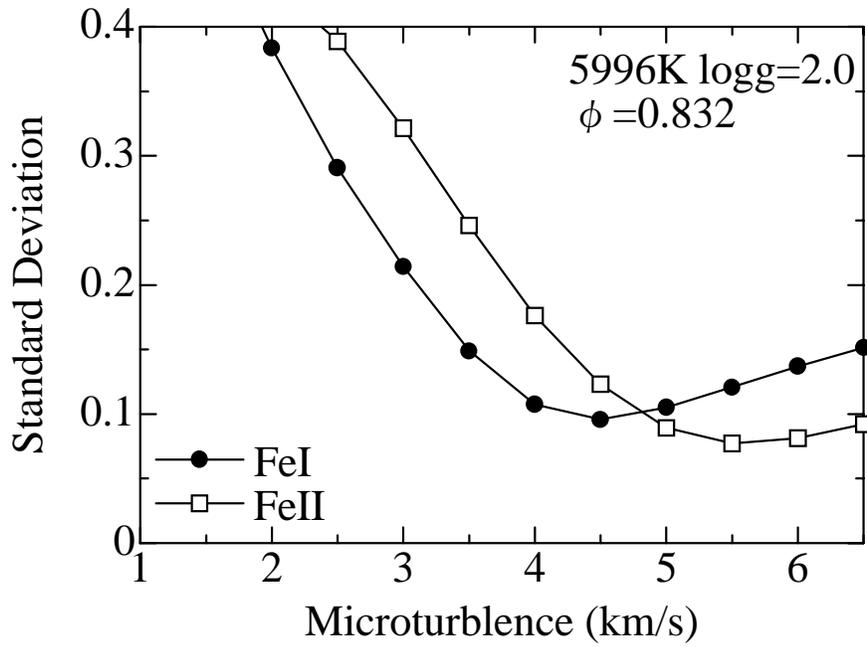
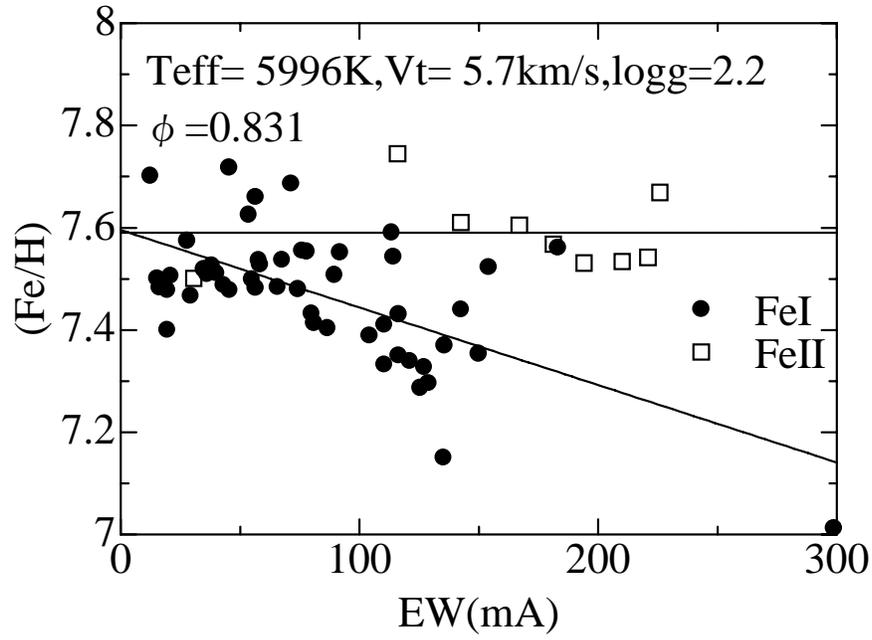
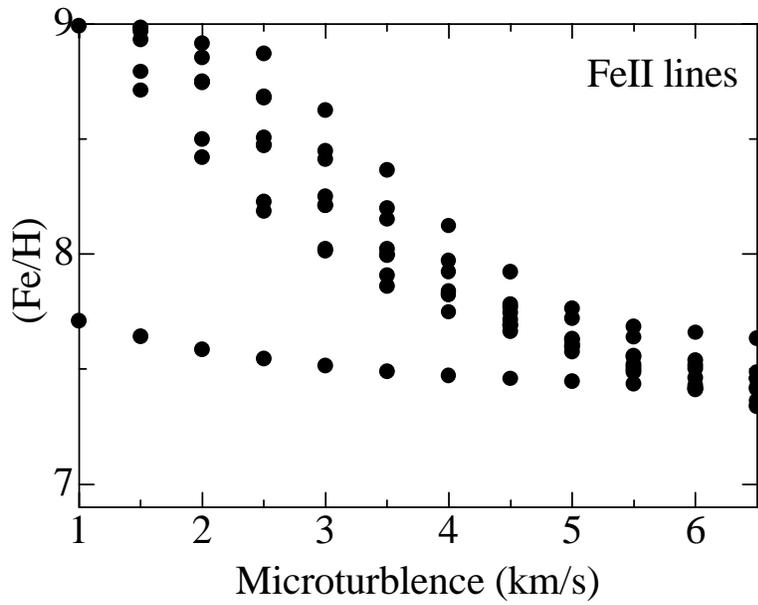
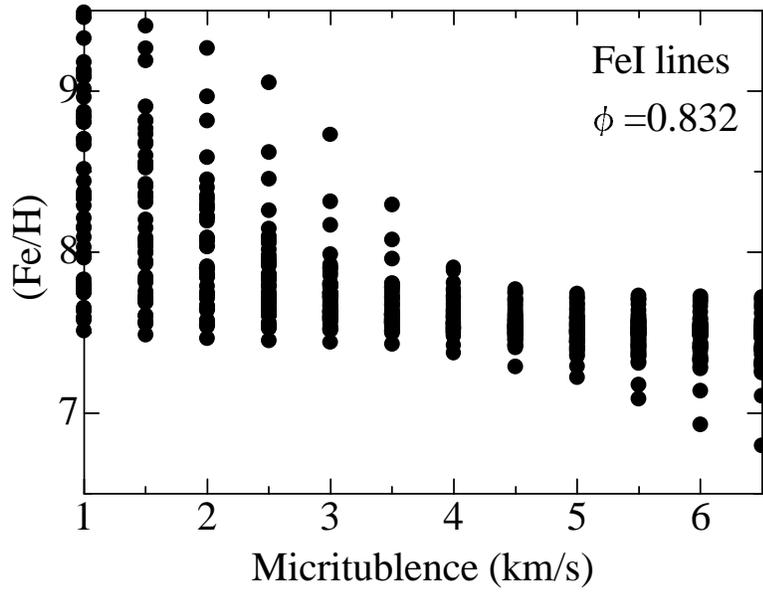


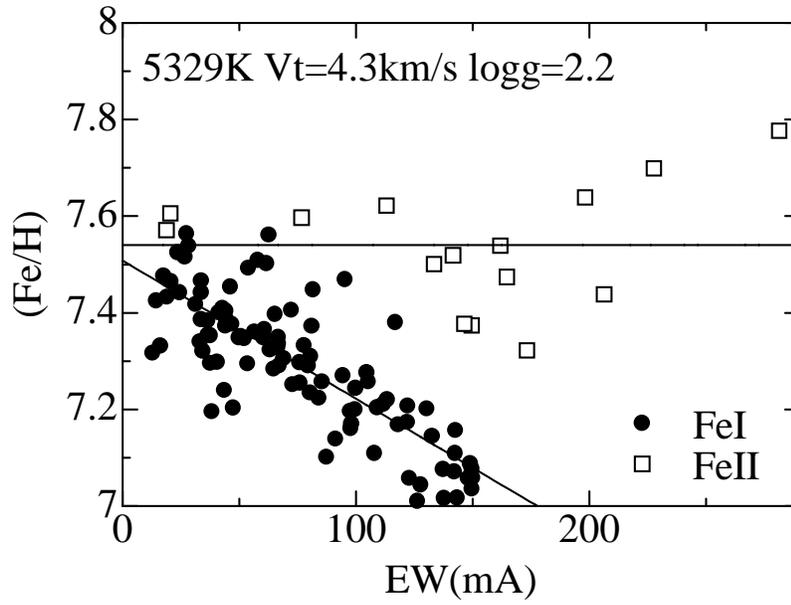
Fig 44: Cep $\phi=0.832$ (2002 12/26)



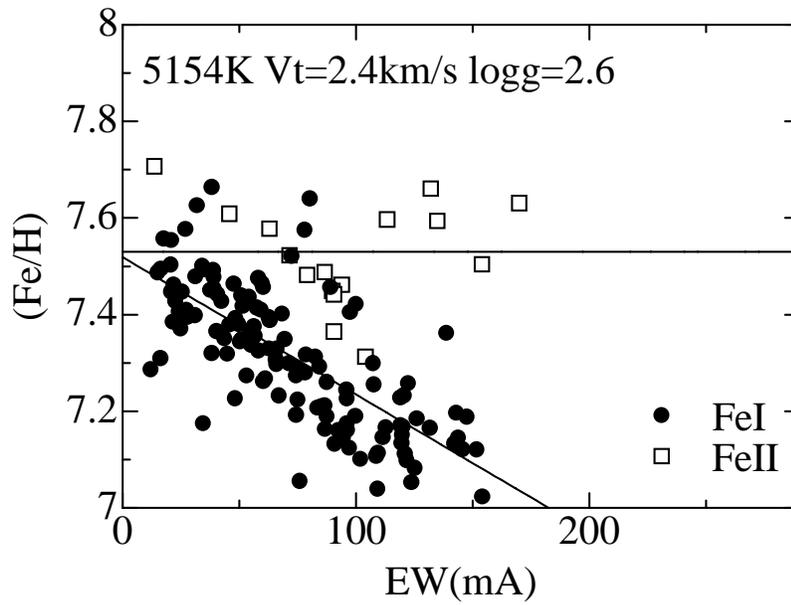
☒ 45: Cep $\phi=0.832$ (2002 12/26)



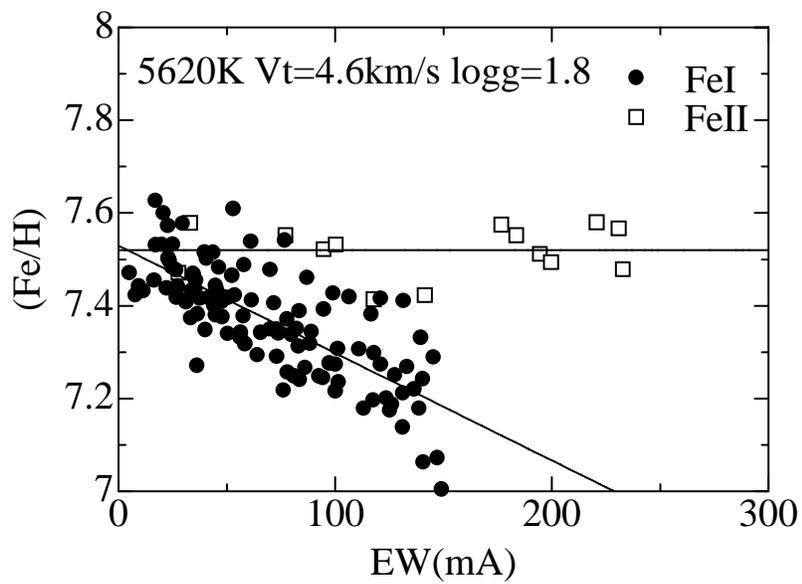
☒ 46: HD26630



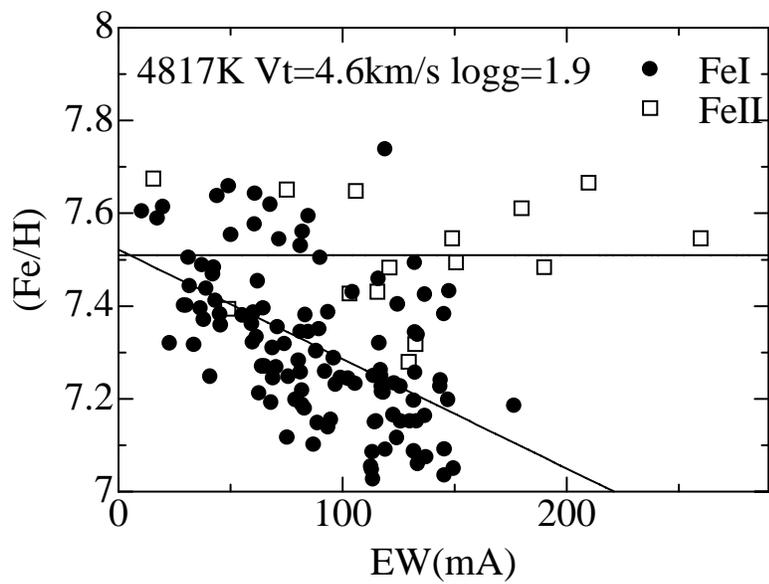
☒ 47: HD50819



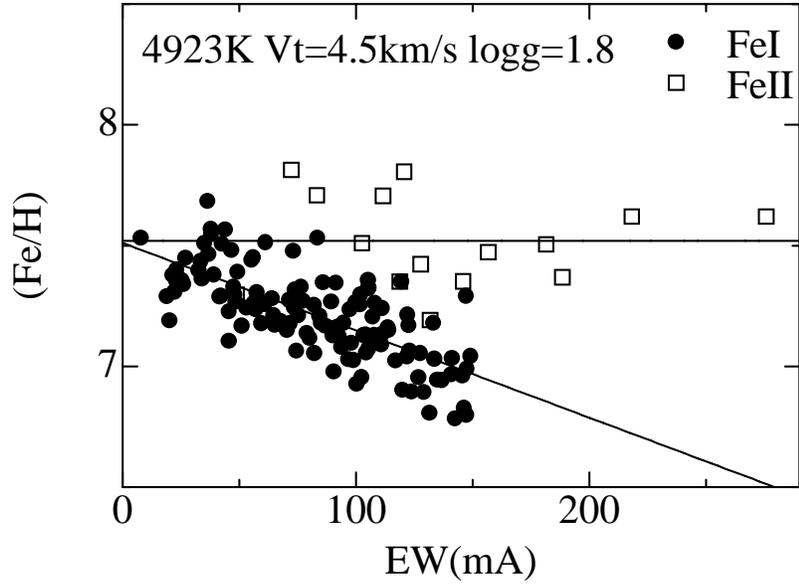
☒ 48: HD97082



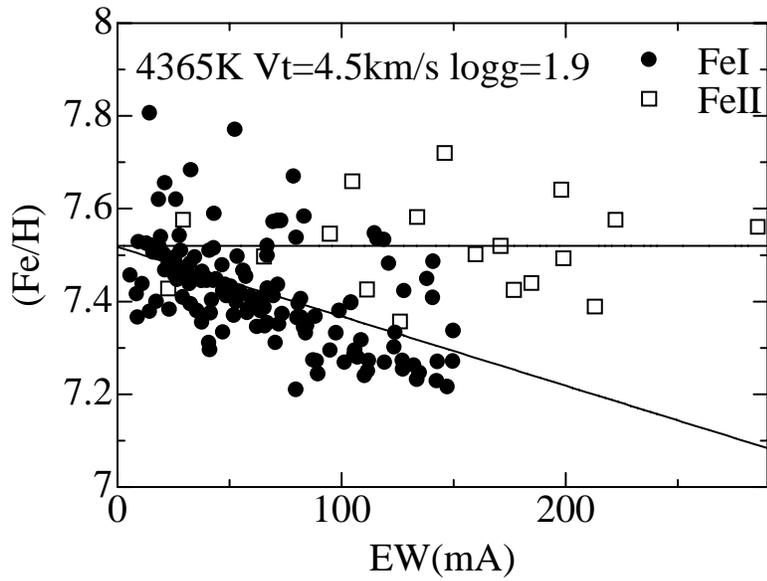
☒ 49: HD125809



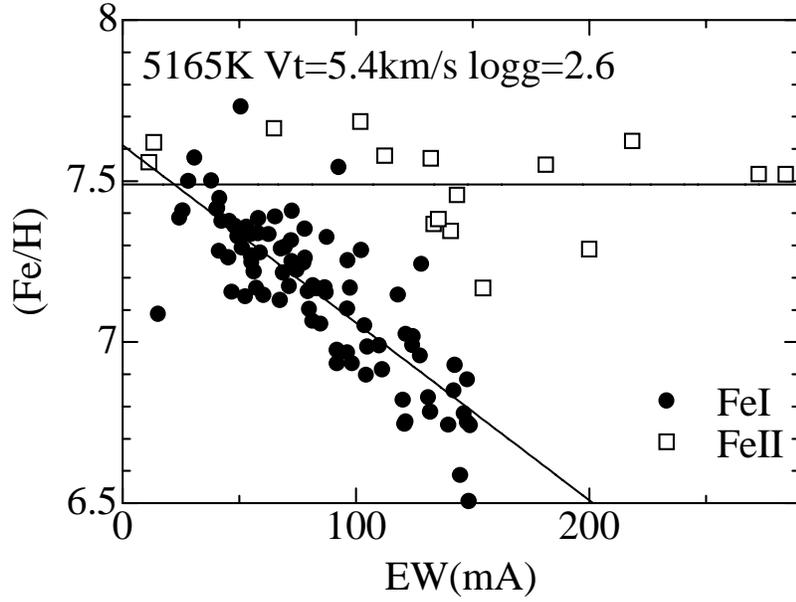
☒ 50: HD136537



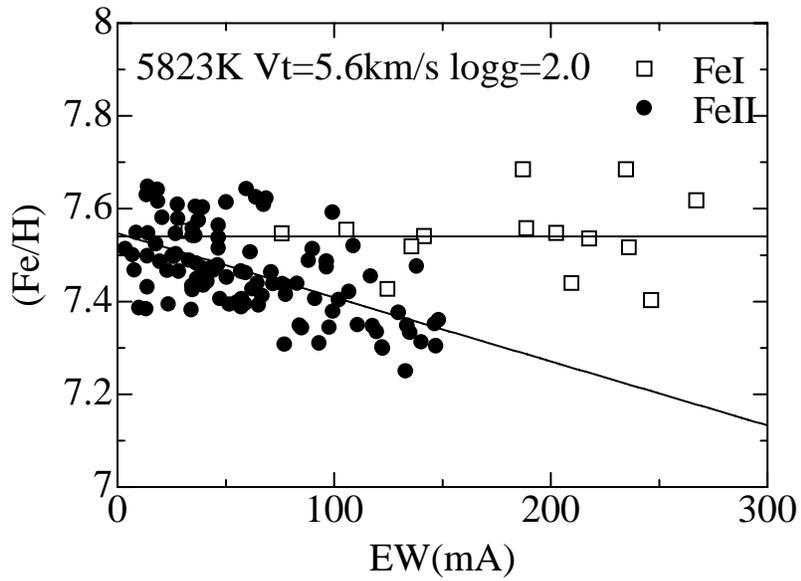
☒ 51: HD154365



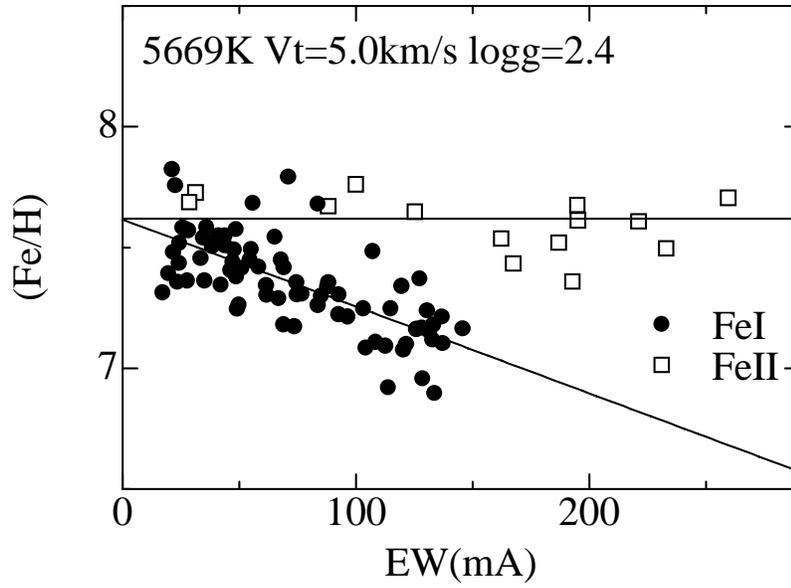
☒ 52: HD159181



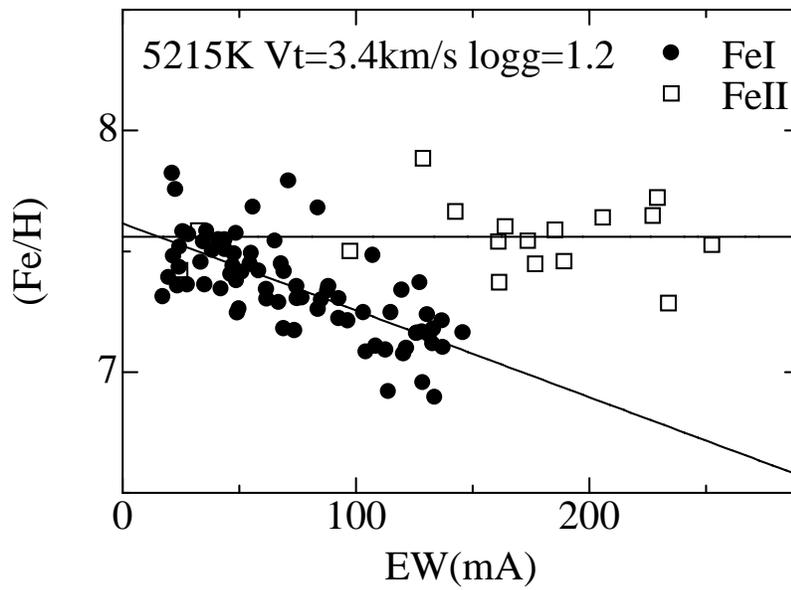
☒ 53: HD174383



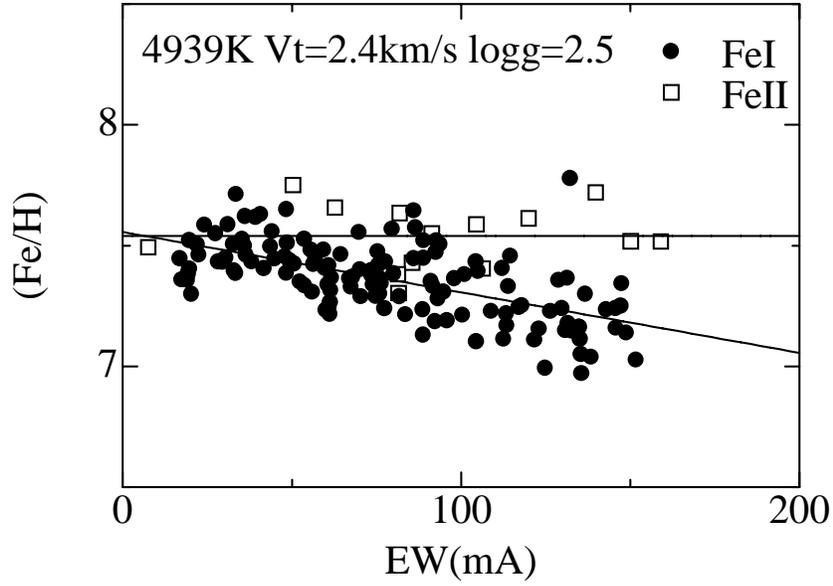
☒ 54: HD178287



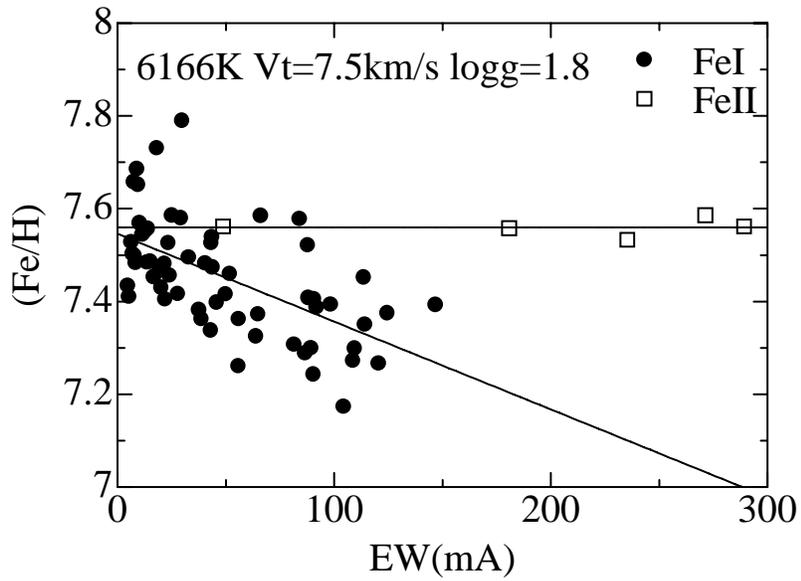
☒ 55: HD178359



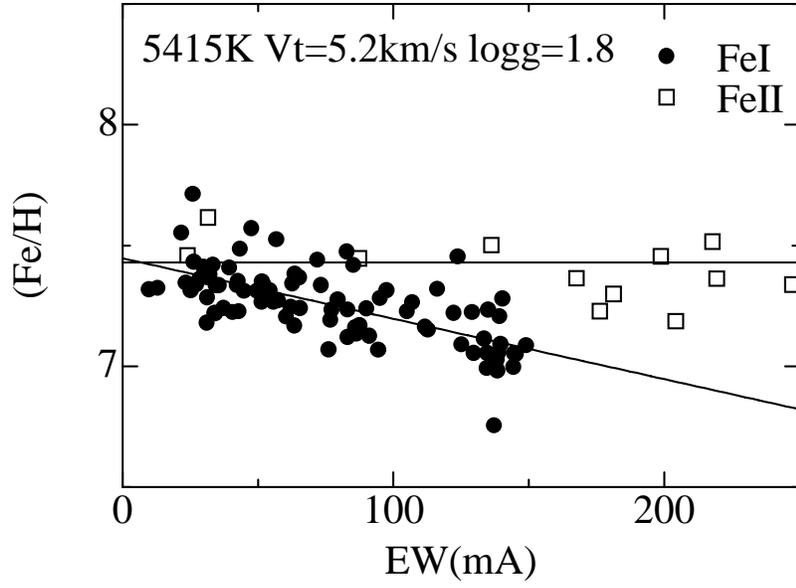
☒ 56: HD189511



☒ 57: HD194093



☒ 58: HD204867



☒ 59: HD209750

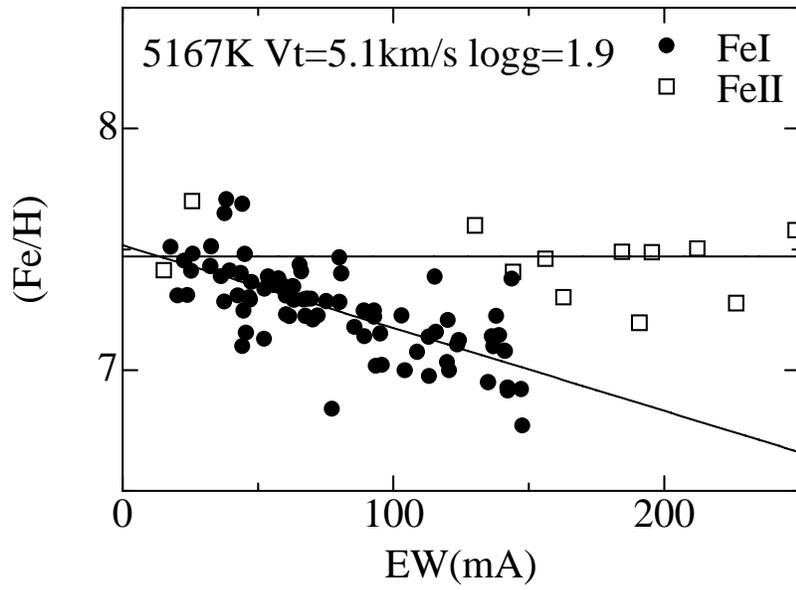


図 60: 分光学的に求めた表面重力加速度との比較

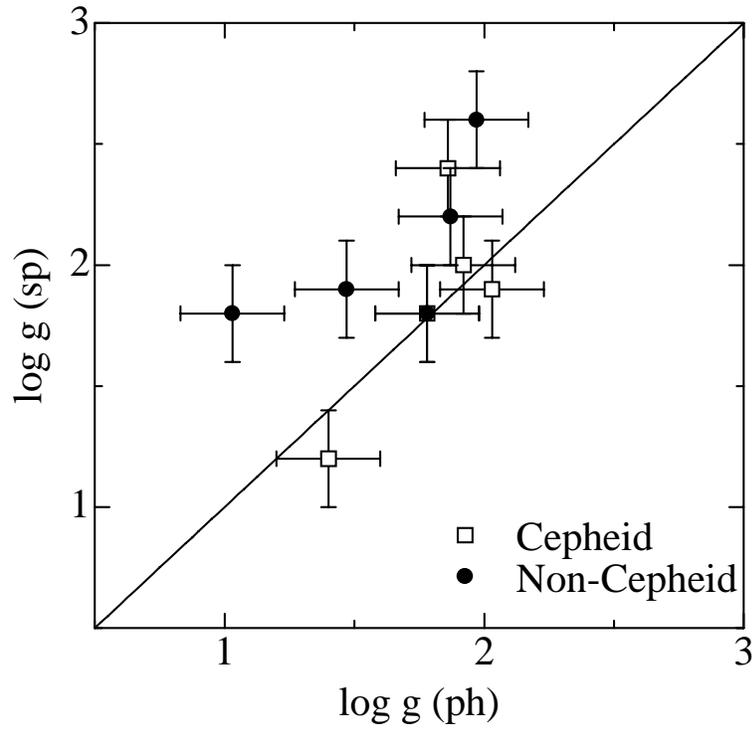


図 61: 分光学的に求めた表面重力加速度と質量 - 半径から求めた表面重力加速度の差と FeI から求められた微視的乱流速度と FeII から求められた微視的乱流速度の差

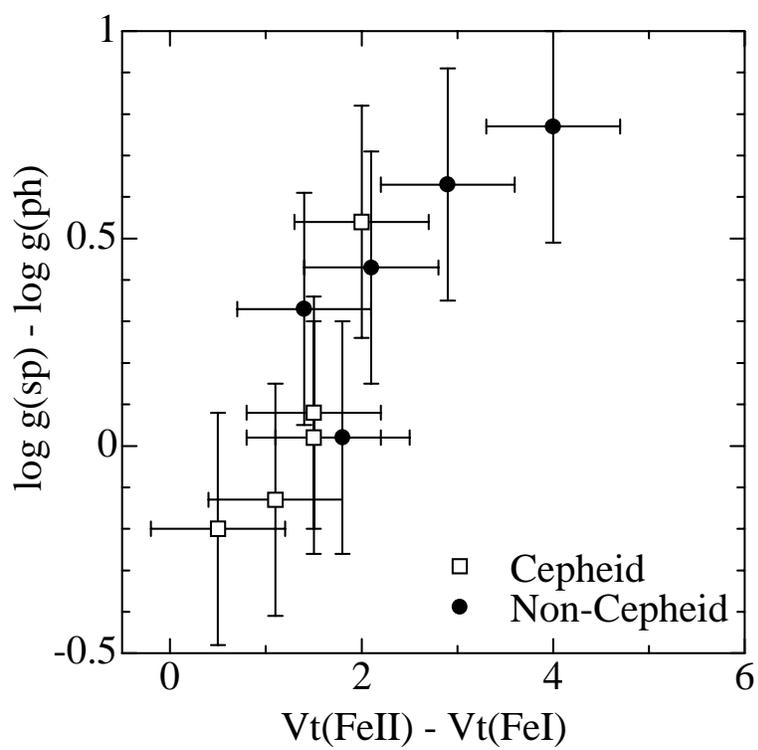


図 62: 有効温度 - 表面重力加速度 実線は Schaller(1992) によるもので 2,3,4,5,6,7 太陽質量、点線は Girardi(2000) によるもので 2,3,4,5,7,9 太陽質量のものを示す。

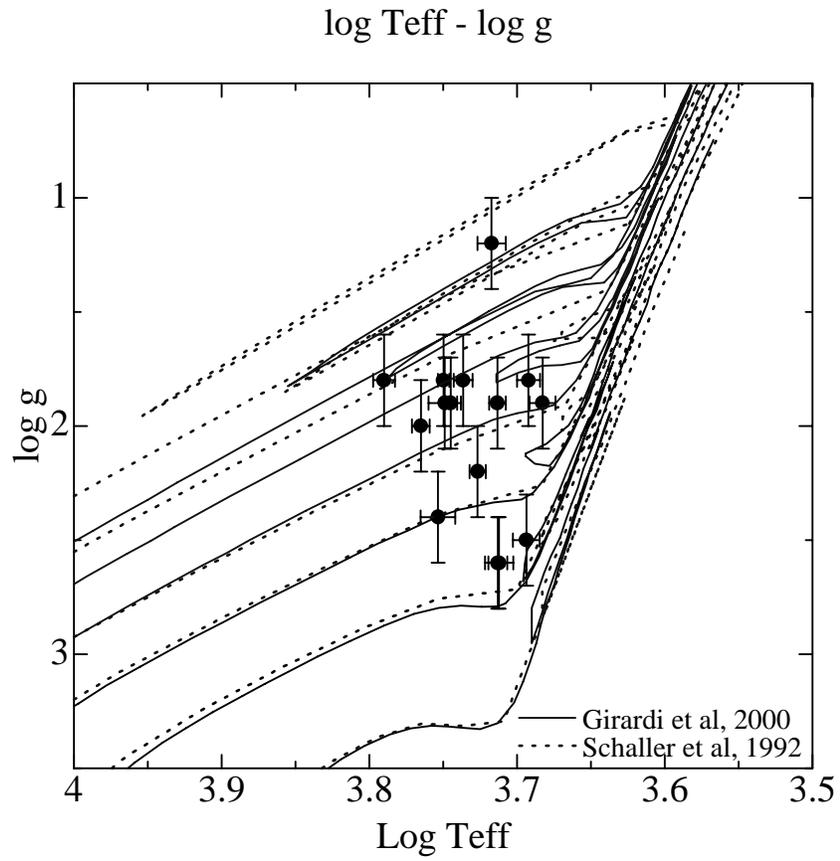


図 63: 絶対等級をもとめた恒星の CMD 図上での位置 実線は Schaller(1992) によるもので下から 2,2.5,3,4,5,7,9,12 太陽質量の進化トラック。

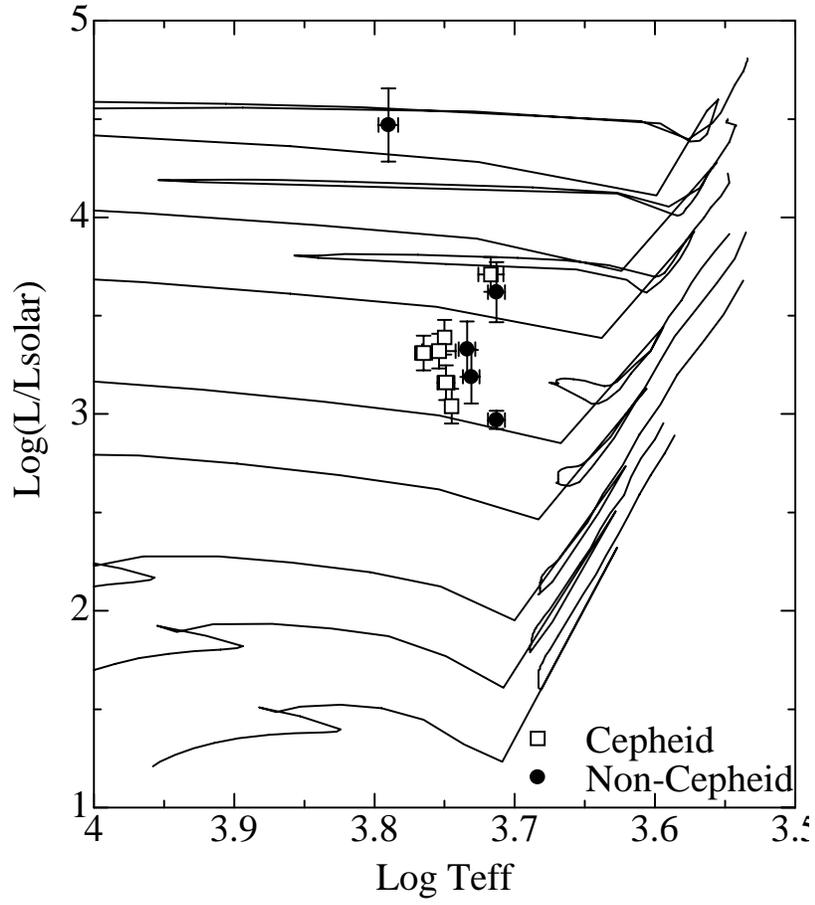


図 64: C の組成と $\text{Log} (L/L_{\text{solar}})$

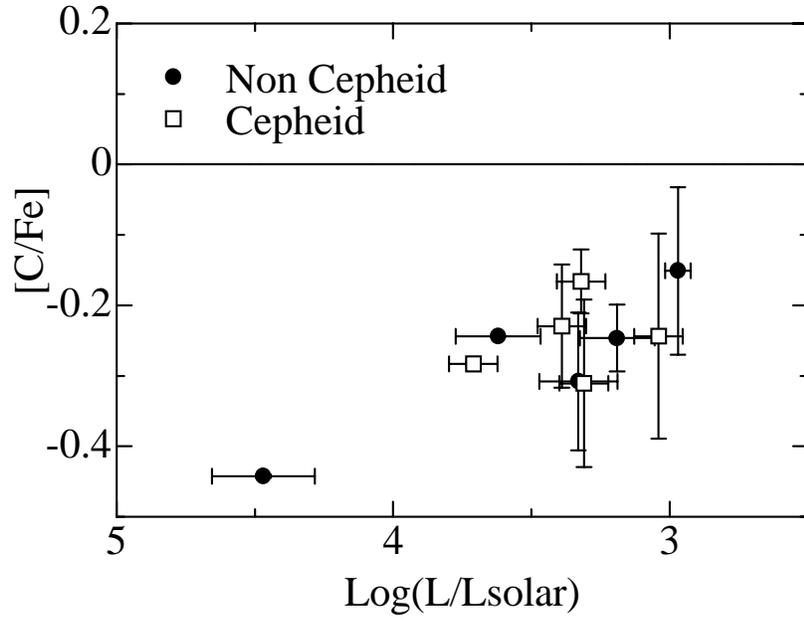


図 65: O の組成と $\text{Log} (L/L_{\text{solar}})$

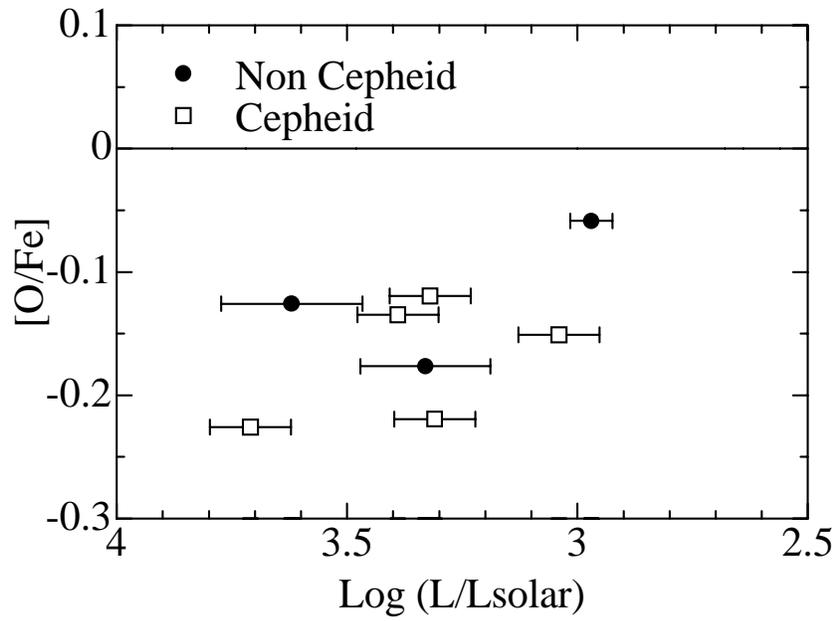


図 66: Na の組成と $\text{Log}(L/L_{\text{solar}})$

