

氏名・(本籍)	はせがわ とし お 長谷川 俊 雄
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 第 608 号
学位授与年月日	昭和 54 年 11 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最終学歴	昭和 42 年 3 月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程)天文学専攻修了
学位論文題目	The Effect of Oscillator Strength on the Curve of Growth Analysis for F-type Stars (F型星の成長曲線解析に於ける振動子強度の影響)
論文審査委員	(主査) 教 授 高 窪 啓 弥    教 授 菊 池 定 衛 門 教 授 高 橋 真 一

## 論 文 目 次

要 約

第 1 章 緒 言

第 2 章 観測と分析

1) 分光資料

2) 絶対成長曲線

第 3 章 振動子強度の問題

第 4 章 化学組成と物理量についての結果

第 5 章 微小乱流速度の深さによる変化について

第 6 章 結 論

謝 辞

参 考 文 献

# 論文内容要旨

## 第1章 緒言

個々の恒星大気に於ける化学組成の違いは、恒星及び銀河の進化についての重要な指標の一つと考えられている。しかし、恒星大気の分光学的解析に必要な基礎データの精度は、精密な理論を裏付けるには、必ずしも十分とは言えない状態にある。特に吸収線の等価幅、振動子強度 ( $f$ -値) の測定精度は個人差も大きく、恒星大気の諸量の決定に、いくつかのあいまいさを残して来た。しかし、ここ10年来、改良された装置・方法によって、いくつかの元素 (特に  $3d$ -元素) について、遷移確率の測定が次々に行われ、 $f$ -値の改良がはかられている。その中でも特に鉄原子の遷移確率は、旧来のものの約10分の1に減じ、そのため太陽大気に於ける鉄の存在比が10倍に増加して、コロナの輝線や隕石による値に近づくという結果をもたらした。鉄の存在比は、恒星進化の指標 ( $C/Fe$ ,  $O/Fe$ ,  $Fe/H$  等) に用いられているのでその変更は重大である。F型星のスペクトルに於て、鉄原子による吸収線は、その数が最も多く、多くの場合これによって、恒星大気の励起温度、電子圧、乱流速度等が決められているので、その  $f$ -値の変更は単に鉄の存在比の変更をもたらすばかりではなく、これらの物理量の変更をも意味する。改良された鉄原子の  $f$ -値は、旧来の  $f$ -値に、励起度に依存する誤差があることを示しているので、この事もスペクトルの解釈の変更を必要としている。この論文は、改良された  $f$ -値が恒星大気の諸量の決定に及ぼす影響を調べると同時に、それら諸量の改訂を目的としている。

## 第2章 観測と分析

$f$ -値や等価幅の測定誤差の影響を調べるため、絶対成長曲線法を用いてF型準巨星  $\alpha$  CMi (F5 IV-V) の高分散分光写真の分析を行った。多くの場合、この種の星に対しては、太陽を標準星とした差分的成長曲線法が用いられているが、それでは上記の影響を直接見ることはできない。またこの方法は、比較する星のスペクトル型、光度階級、観測装置・方法等が類似の場合にのみ信頼しうる結果を与えるのであって、太陽を標準星とするとこれらの条件は厳密には満たれないことになる。標準星の gridwork 作成のためにも多くの絶対解析が必要である。

分光写真は、東京天文台・岡山天体物理観測所の188 cm反射鏡のクーデ焦点で、エッセル分光器を用いて撮られたものを使用した。エッセル分光器は、高次の回折光を用いるため高分散が得られる他、副次分散系を用いて一枚の乾板上に広い波長域を同時に撮ることができるため、露出及び現像の条件を可視域全てに対して同一にすることができるという長所をもっている。分散は  $\lambda\lambda$  4000-6000 Å の波長域で  $1.2-2.1 \text{ \AA/mm}$  である。乾板濃度の測定は、東北大学天文学教室のマイクロフォトメーターと付属のディジタイザーを用いて行い、較正分光写真から得た特性曲線を多項式で近似したものの係数と共に、電算機を通して XY-PLOTTER に Direct Intensity Profile を画かせ、その

上で約 900 本の吸収線について等価幅の測定を行った。また乱流についてのこの分析の結果を再確認するため、同じスペクトル型の準巨星  $r$  Ser ( F 6 IV - V ) と超巨星  $r$  Cyg ( F 8 I b ) についての、他の著書による等価幅の測定値を用いて同様の分析を行った。理論曲線としては、太陽型の星に対して好んで用いられる、SSモデルで散乱機構のみを仮定した Wrubel の理論曲線を採用した。これは Chandrasekhar の精密解に基いて計算されたものである。

### 第 3 章 振動子強度の問題

振動子強度は種々の方法で測定されているが、いずれも弱い線に対しては精度が悪く、現在のところファクター 1.5 ~ 2 の精度で与えられているにすぎない。化学組成の研究には、乱流や減衰等、吸収線を広げる複雑な機構の影響を受けない弱い線が最適であるので、この精度の悪さは、特に少数の線のみを用いた解析では致命的である。S/N 比を高めることと、ダイナミックレンジを広げることが要求されている。また多くの異なる励起状態からの遷移によるものの測定には、ボルツマンの式が介在するので、LTE が装置中に成立していることが必要であるが、実際 LTE の成立は難しく、誤差の原因になっている。

鉄原子の  $f$ -値は、従来 Corliss 等 ( 1964, 1966 ) によるものが標準とされて来たが、これらには、normalization function と呼ばれる関数によって誤った修正がほどこされていたため、励起ポテンシャルと共に増加する誤差が含まれており、高い励起の線に対しては、 $f$ -値が約 10 倍になっており、そのまま使用することはできない。一方低い励起の線や、1 回電離のイオンの線に対する改訂された  $f$ -値と旧来のものとの間にはほとんど差がない。他の元素については、鉄原子ほどではないが、改訂された値が数多く出版されている。

### 第 4 章 化学組成と物理量についての結果

測定された吸収線のうち、改訂された  $f$ -値の入手できた Ti I, Ti II, Cr I, Fe I, Fe II, Ni I について分析を行った結果、これらの元素の存在比として、いずれも太陽に比べていくらか小さい値を得た。鉄の存在比は、旧来の解析に比べて増加しているものの、太陽に於けるほどの変更は見られなかった。これは、この星の分析に、低い励起度の線がかなり含まれていることによると思われる。また従来の解析に於て、励起度や電離度の違いによってしばしば現われた、存在比、温度、乱流速度等のくいちがひも、新しい  $f$ -値を用いたこの分析では現われず、単一の物理量が吸収線形成層を支配していることを示していると思われる。チタンと鉄については、中性原子とイオンから出た存在比から電子圧を出すことが出来るが、いずれの場合も、大気モデルから初期値として採用したものに非常に近い値が得られ、存在比についての結果を保証している。Ti II, Cr I, Fe I から得られた励起温度も、互に近い値を示し、大気モデルからの初期値とも一致する。この様に、この解析に於ては、旧来の解析に於てしばしば現れた矛盾は現れず、結果は信頼しうるものと考ええる。

## 第5章 微小乱流速度の深さによる変化について

恒星大気中の微小乱流は、本来ドップラー効果による吸収線の広がりのうち、熱運動のみでは説明できない部分を補うために導入された概念であるが、その成因、機構については、諸説あって未だに確立した理論はなく、その存在を否定する者もある。従ってその速度場のモデルや進化との相関等も説明が試みられているものの、未だ確立していない。

成長曲線解析に於ては、微小乱流速度は、自由パラメタになっており、従来の解析に於ては、等価幅や  $f$ -値等の測定誤差がこの中に吸収されている例も多いと思われる。特に旧来の鉄原子の  $f$ -値に含まれていた、励起度による系統誤差は、微小乱流速度を励起度と共に変えていくことによって、すなわち、深さによって変化する速度場を導入することによって、その大半が打ち消されて来たと思われる。これは次の様なモデルによる。高い励起から生じる吸収線は、LTEの成立している高温高圧の深い層で作られていて、それから得られる乱流速度は小さい。一方低い励起からの線は、LTEからのずれの大きい低温低圧の浅い層に於て作られ、それから得られる乱流速度は大きい。また電離原子も低圧の浅い層で作られるので、電離原子の線から得られる乱流速度も大きい。この様にして、深さと共に減少する速度を与えることによって説明されて来た。しかし、先に述べた様に、旧来の鉄の  $f$ -値は、低い励起および1回電離原子についてはほぼ正しいが、高い励起の線については、その値が大きすぎたので、改訂された  $f$ -値を用いると、高励起の線に対して吸収線を広げる要素を大きく採らなければならず、従ってより大きな乱流速度が必要となる。その結果、励起や電離による速度の差は小さくなり、深さによる変化は、ほとんど見られなくなった。 $\alpha$  CMi に対するこの分析では、 $2.5 \text{ km/sec}$  で十分全ての吸収線を説明することができた。

以上の事を他の星で確認するために行った  $r$  Ser (F6 IV-V) と  $r$  Cyg (F8 Ib) での分析でも、それぞれ  $3.0 \text{ km/sec}$ 、 $6.0 \text{ km/sec}$  という単一の速度で解釈できた。 $r$  Cyg に対しては Zeinalov (1970) が  $3.5 \sim 8.3 \text{ km/sec}$  という変化する速度を与えているが、彼のデータは  $f$ -値の誤差の他に、Continuum を高くとりすぎたことによる等価幅の系統誤差も含まれていると思われる。

## 第6章 結 論

上に述べた様に、この分析によって、従来、恒星大気の深さによる変化に帰せられて来た微小乱流速度の励起度依存を、 $f$ -値の測定誤差に帰することができた。成長曲線に於て、化学組成、温度、微小乱流速度、等価幅、 $f$ -値等は、互にからみ合っていて、相互依存の関係にあるので、一方が確定しないと他方が確定できないといった関係にある。今後も  $f$ -値の改良は一層望まれるところである。

## 論文審査の結果の要旨

恒星大気の化学組成の決定には、主として成長曲線を利用した解析法が古くから行なわれている。この曲線は、恒星スペクトル中の吸収線の強さと吸収線を生ずる原子の有効数との関係をあらわすもので、観測曲線との比較から、元素の存在比ならびに恒星大気の諸物理量が決定される。しかし、観測から成長曲線を得るには、各吸収線の遷移確率、あるいは振動子強度の値が必要であり、この値は必ずしも精度よく知られていたとは限らない。しかし、それにもかかわらず、かなり細部にわたる議論が、成長曲線に基いてなされて来た。

この論文は、過去約10年間に各種の最新技術に基いて実験室で得られた振動子強度が、以前に用いられていたものと較べて、場合によっては一桁以上も違い、かつ、その違いが無秩序でなく、吸収線の励起準位等によって系統的であることに注目し、これが成長曲線解析に与える影響を論じ、従来、ともすれば定説とさえ考えられていた解釈が誤りである場合もあることを指摘したものである。

これを明らかにするために、この論文ではF型準巨星 $\alpha$  CMiを例にとり、広い波長域にわたる高分散スペクトルを測定し、約900本の吸収線の等価幅を決定して、成長曲線法による解析を行なうとともに、同じスペクトル型の準巨星 $r$  Serならびに超巨星 $r$  Cygについても同様の解析を行なっている。

この結果のうち、特に注目されるのは、従来の解析では、化学組成が大気を通じて一定であるとすると、吸収線が形成される大気層中で、励起温度・電子圧・微視的乱流速度等の物理量が深さによって変化するという、いわゆる「成層大気」を仮定せざるを得なかったのに対し、これを仮定することなく、化学組成および諸物理量が一意的に決定されることである。しかも、励起エネルギーが異なる吸収線群でも、電離が異なる原子でも（たとえばFeとFe<sup>+</sup>）、種類が異なる元素でも（たとえばFeとTi）、同一の化学組成あるいは物理量が得られる。これは、恒星スペクトル解析に於いて極めて重要な結果であり、従来の「成層大気」を仮定した種々の多数の議論の再検討を促すという点で画期的な主張と言えよう。

以上、本論文は、振動子強度に関する詳しい吟味に基いて、F型恒星大気に関する諸量を明確に決定するとともに、成長曲線法を用いた恒星スペクトル解析及びその解釈に新しい指針を加えたものであって、この分野の研究に寄与する所は大きく、かつ、著者が自立して研究活動を行なうのに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって長谷川俊雄提出の論文は理学博士の論文として合格と認める。