



Evolution Timescale of Pre-Main Sequence Stars with a New Age Determination Method by High-Resolution Spectroscopy

高木, 悠平

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2011-03-25

(Date of Publication)

2013-07-22

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲5178

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005178>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 高木 悠平
博士の専攻分野の名称 博士（理学）
学 位 記 番 号 博い第 5178 号
学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の日付 平成 23 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

Evolution Timescale of Pre-Main Sequence Stars with a New Age Determination Method by
High-Resolution Spectroscopy （高分散分光観測による新たな年齢決定方法を用いた前主系列星の進化タイムスケールの解明）

審 査 委 員

主 査 教 授 伊藤 洋一
教 授 中川 義次
教 授 乙藤 洋一郎

本研究では、高分散分光観測による前主系列星の新たな年齢決定方法を確立し、それを用いて前主系列星と原始惑星系円盤の進化タイムスケールを導出した。前主系列星とそれに付随する原始惑星系円盤の進化タイムスケールを決定することは、光球や原始惑星系円盤、原始惑星の形成と進化過程を導く上で非常に重要な役割を担う。また、木星型惑星や Hot Jupiter などの形成過程を解明するためにも、原始惑星系円盤中のガスの散逸タイムスケールを明らかにすることが重要になる。

これまで、前主系列星と原始惑星系円盤の進化タイムスケールに関する議論は測光観測から導かれた前主系列星の年齢を基に行われてきた。前主系列星はその進化過程で光度と有効温度が変化するため、これら 2 つのパラメータを決定することで年齢決定を行うことが可能である。しかし、測光観測によって導かれる前主系列星の光度は、距離・減光・ベールリングの 3 つの不定性を含んでいると考えられる。前主系列星の距離は、前主系列星そのものが分子雲に埋もれているため暗くなっていることが原因で年周視差の測定が困難になり、正確に導くことが難しい。前主系列星の減光量は、多波長測光観測の結果にスペクトルエネルギー分布(Spectral Energy Distribution, SED)をフィッティングする際に決定されるが、手法によって導かれる値が大きく異なる。ベールリングは、原始惑星系円盤から中心星へ質量降着する際に放出される紫外線域での増光と、原始惑星系円盤そのものの熱的再放射に起因する赤外域の放射の 2 種類の増光から成る。どちらの増光現象も吸収線・輝線を形成しない連続光成分であり、波長依存性がある。そのため、星本来の光度に加わっているベールリング量を正確に決定することが困難である。以上の 3 点から、前主系列星の光度から正確な年齢を決定することは難しい。

前主系列星の正確な年齢を決定するために、本研究では前主系列星の光度を用いない新たな年齢決定方法を確立した。前主系列星が進化とともに収縮することに着目し、表面重力を指標として年齢を決定する。前主系列星の表面重力は前主系列段階中に 1 桁増大する。表面重力の測定には高分散分光観測が適している。これは、星の大気スペクトルに現れる吸収線が星の金属量・有効温度・表面重力に依存しているためである。スペクトルの吸収線強度の測定には等価幅を用いる。吸収線の等価幅は吸収線強度を連続光で規格化したものであるため、距離・減光に依存しない。さらに、本研究では近接する吸収線の等価幅比を表面重力の指標とした。等価幅比を算出することで、等価幅のベールリング依存を除去することができる。また、星の元素存在比が一定である仮定することで、等価幅比は金属量にも依存しない量であると考えられる。従って等価幅比は、距離・減光・ベールリング依存性がない、前主系列星の有効温度と表面重力を示す指標になる。

本研究では、可視 I バンドの Fe (8186.7Å, 8204.9Å) と Na (8183.3Å, 8194.8Å) の比 (Fe/Na) と近赤外 K バンドの Sc (22057.8Å, 22071.3Å) と Na (22062.4Å, 22089.7Å) の比 (Sc/Na) を表面重力指標として確立した。それぞれの等価幅比の表面重力依存性を導くために、有効温度を一定に固定した巨星、主系列星、前主系列星のサンプルを観測した。

可視 I バンド Fe/Na では、巨星 25 天体、主系列星 4 天体、前主系列星 2 天体を岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES とすばる望遠鏡 HDS を用いて観測した。これらの天体の有効温度は、I バンドでの観測に適した 4200K 前後である。これらのスペクトルから算出された Fe/Na は、表面重力の増大とともに減少することが分かった。4200K の有効温度を持つ前主系列星の質量は約 $0.8 M_{\odot}$ である。このような質量の前主系列星の表面重力は、導かれた Fe/Na と表面重力の相関と、観測された前主系列星の等価幅比のエラーの比較から $\log g (g: \text{cm/s}^2)$ で $\pm 0.1 \sim 0.2$ の精度で決定できることが分かった。これを前主系列星の進化モデルと比較することで、前主系列星の年齢はファクター 1.5 の精度で決定することができる。

等価幅比による年齢決定方法の汎用性を高めるためには、他の有効温度を持つ天体での等価幅比と表面重力の相関を導く必要がある。近赤外 K バンドの Sc/Na の表面重力依存性を導くために、有効温度を 3800K に固定した巨星 10 天体、主系列星 10 天体、前主系列星 4 天体のスペクトルを United Kingdom Infrared Telescope CGS4、すばる望遠鏡 IRCS による観測および Kitt Peak 望遠鏡、Gemini South 望遠鏡のアーカイブデータより取得した。3800K の有効温度を持つ前主系列星の質量は $0.6 \sim 0.7 M_{\odot}$ に相当する。導かれた Sc/Na と表面重力の相関と前主系列星の等価幅比のエラーの比較から、前主系列星の表面重力を $\log g$ で ± 0.1 の精度で決定できることが分かった。この結果を前主系列星の進化モデルと比較することで、 $0.6 \sim 0.7 M_{\odot}$ の前主系列星の年齢をファクター 1.5 で決定することが可能になった。

Fe/Na と Sc/Na を用いて、古典的 T タウリ型星 4 天体、Transitional disk 天体 2 天体、弱輝線 T タウリ型星 3 天体の年齢を導出し、原始惑星系円盤の進化タイムスケールを議論した。古典的 T タウリ型星の原始惑星系円盤は光学的に厚く、逆に弱輝線 T タウリ型星の円盤は光学的に薄い。Transitional disk とは、古典的 T タウリ型星の円盤から弱輝線 T タウリ型星の円盤へ移り変わる段階にある円盤であると考えられており、円盤内部に空洞がある。これまでの測光的年齢決定方法では古典的 T タウリ型星、Transitional disk 天体、弱輝線 T タウリ型星の年齢に強い相関がみられなかったが、本研究によって確立された距離・減光・ベールリングに依存しない年齢決定方法から導かれた年齢を用いると、古典的 T タウリ型星が一番若く、Transitional disk 天体、弱輝線 T タウリ型星の順に年齢が大きくなることが分かった。本研究から導かれた原始惑星系円盤の進化タイムスケールは 4.0×10^6 年である。

氏名	高木 悠平		
論文題目	Evolution Timescale of Pre-Main Sequence Stars with a New Age Determination Method by High-Resolution Spectroscopy (高分散分光観測による新たな年齢決定法を用いた前主系列星の進化のタイムスケールの再評価)		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	准教授	伊藤 洋一
	副査	教授	中川 義次
	副査	教授	乙藤 洋一郎
	副査		

要 旨

本論文は、高分散分光観測に基づく前主系列星の新たな年齢決定法を確立し、それを用いて原始惑星系円盤の進化のタイムスケールを導出したものである。

第1章では、主系列に至るまでの星の進化過程を概観し、前主系列星を研究することの意義が提示されている。年齢が100万年程度、質量が太陽程度の恒星はTタウリ型星と呼ばれる。特に、古典的Tタウリ型星と呼ばれる星の周りにはガスや塵で形成される原始惑星系円盤と呼ばれる構造があり、この円盤内の物質の一部は惑星を形成すると考えられている。こうした前主系列星とそれに付随する原始惑星系円盤の進化のタイムスケールを決定することは、星本体や原始惑星系円盤、原始惑星の形成と進化過程を導く上で非常に重要な役割を担う。また、木星型惑星やホットジュピターなどの形成過程を解明するためにも、原始惑星系円盤のガス散逸のタイムスケールを明らかにすることは重要である。

これまで、前主系列星と原始惑星系円盤の進化に関する議論は、測光観測から導かれた前主系列星の年齢を基に行われてきた。前主系列星はその進化過程で光度と有効温度が変化するため、これら2つのパラメータを決定することで年齢決定を行うことが可能である。しかし、測光観測によって導かれる前主系列星の光度は、距離・減光・ベリングの3つの不定性を含んでいる。前主系列星は分子雲に埋もれており暗いため年周視差の測定は困難で、前主系列星の絶対等級を正確に求めることは難しい。前主系列星の減光量は、多波長測光観測を行いスペクトルエネルギー分布(Spectral Energy Distribution, SED)を作成して決定されるが、手法によって導かれる値が大きく異なる。ベリングは、原始惑星系円盤から中心星へ質量降着する際に放出される紫外線域での増光と、原始惑星系円盤そのものの熱的再放射に起因する赤外線域の放射の2種類の増光からなる。どちらの増光とも吸収線・輝線を形成しない連続光成分であり、波長依存性がある。そのため、星本来の光度に加わっているベリング量を正確に決定することは困難である。以上の3点から、前主系列星の光度を正確に決定することは難しい。

第2章では、表面重力を測定し前主系列星の年齢を正確に決定する、新たな年齢決定方法が提唱されている。前主系列星は進化とともに収縮し、その表面重力は前主系列段階で1桁増大する。表面重力の測定には高分散分光観測が適している。これは、星の大気スペクトルに現れる吸収線が星の金属量・有効温度・表面重力に依存しているためである。スペクトルの吸収線強度の測定には等価幅を用いる。吸収線の等価幅は吸収線強度を連続光で規格化したものであり、距離・減光に依存しない。さらに、近接する吸収線の等価幅比を表面重力の指標とした。等価幅比を算出することで、等価幅のベリング依存性を除去することができる。従って等価幅比は、距離・減光・ベリング依存性がない、前主系列星の有効温度と表面重力を示す指標である。本論文では、可視IバンドのFe(8186.7Å, 8204.9Å)とNa(8183.3Å, 8194.8Å)の比(Fe/Na)と、近赤外KバンドのSc(22057.8Å, 22071.3Å)とNa(22062.4Å, 22089.7Å)の比(Sc/Na)を表面重力の指標として用いた。それぞれの等価幅比の表面重力依存性を導くために、有効温度が同じ巨星、主系列星、前主系列星を観測した。

氏名	高木 悠平
<p>第3章では、可視Iバンドの観測とその結果について、記述がなされている。巨星25天体、主系列星4天体、前主系列星2天体を岡山天体物理観測所188cm望遠鏡と高分散分光器HIDESとすばる望遠鏡HDSを用いて観測した。これらの天体の有効温度は、Iバンドでの観測に適した4200K前後である。これらのスペクトルから算出したFe/Naは、表面重力の増大とともに減少することが分かった。4200Kの有効温度を持つ前主系列星の質量は約0.8太陽質量である。このような質量の前主系列星の表面重力は、導かれたFe/Naと表面重力の相関と、観測された前主系列星の等価幅比のエラーの比較からlog gで±0.1~0.2の精度で決定できることが分かった。これを前主系列星の進化モデルと比較することで、前主系列星の年齢はファクター1.5の精度で決定できる。</p> <p>第4章では、近赤外Kバンドの観測とその結果について、記述がなされている。有効温度を3800Kに固定した巨星10天体、主系列星10天体、前主系列星4天体のスペクトルをUnited Kingdom Infrared Telescope CGS4、すばる望遠鏡IRCSによる観測およびKitt Peak望遠鏡、Gemini South望遠鏡のアーカイブデータより取得した。3800Kの有効温度を持つ前主系列星の質量は0.6-0.7太陽質量に相当する。導かれたSc/Naと表面重力の相関と前主系列星の等価幅比のエラーの比較から、前主系列星の表面重力をlog gで±0.1の精度で決定できることが分かった。この結果を前主系列星の進化モデルと比較することで、0.6-0.7太陽質量の前主系列星の年齢をファクター1.5で決定することが可能になった。</p> <p>以降の章では、原始惑星系円盤の進化・消失過程について議論されている。まず第5章では、原始惑星系円盤の寿命について、先行研究の結果を提示している。</p> <p>第6章では高分散分光の観測が記述されている。第7章では、Fe/NaとSc/Naを用いて、古典的Tタウリ型星4天体、Transitional disk天体2天体、弱輝線Tタウリ型星3天体の年齢を導出し、原始惑星系円盤の進化タイムスケールを議論した。古典的Tタウリ型星の原始惑星系円盤は光学的に厚く、弱輝線Tタウリ型星の円盤は光学的に薄い。Transitional diskとは、古典的Tタウリ型星の円盤から弱輝線Tタウリ型星の円盤へ移り変わる段階にある円盤であると考えられており、円盤内部に空洞がある。これまでの測光的年齢決定方法では古典的Tタウリ型星、Transitional disk天体、弱輝線Tタウリ型星の年齢に強い相関がみられなかったが、本論文によって確立された距離・減光・ベリングに依存しない年齢決定方法から導かれた年齢を用いると、古典的Tタウリ型星が一番若く、Transitional disk天体、弱輝線Tタウリ型星の順に年齢が大きくなることが分かった。本論文から導かれた原始惑星系円盤の消失時間は4.0×10^6年である。</p> <p>以上のように本論文では、申請者によって行われてきた、高分散分光観測による前主系列星の年齢決定法の成果がまとめられている。金属の吸収線の等価幅比を用いて表面重力を測定し、前主系列星の年齢を決定するという手法は、全く独自のものであり、非常にユニークといえる。本論文は、さまざまな不定性を内在する総光度という観測量のかわりに、表面重力という新しい指標を用いて、前主系列星の年齢を決定したものであり、前主系列星及び原始惑星系円盤の形成進化について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって学位申請者の高木悠平は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。</p>	