

可視I-バンド高分散分光観測による前主系列星の年齢決定法

高木 悠平、伊藤 洋一（神戸大学）、大朝 由美子（埼玉大学）

概要

前主系列星は進化とともに収縮するため、表面重力から年齢を正確に決定できると考えられる。星の大気による金属吸収線の等価幅はその金属量、有効温度、表面重力に依存しているため、高分散分光観測を行い等価幅を測定すると表面重力が導出できる。しかし、前主系列星の観測に適している長波長域では、吸収線を用いた表面重力測定法は確立されていない。そこで、有効温度が等しく、表面重力の異なる天体の高分散分光観測を行い、分光観測から表面重力を導出する手法を考案した。前主系列星の特徴であるベーリング等の影響を除去するために、吸収線の等価幅比を用いた結果、I-バンドのFeとNaの等価幅比が表面重力の良い指標になることが分かった。Fe/Naを用いることで、前主系列星の年齢はファクター1.8の精度で求めることができる。

導入

年齢の重要性

前主系列星の進化過程において、解明されていない進化メカニズムは数多く存在する。ex) 原始星段階の進化、原始惑星・惑星系円盤、双極分子流、角運動量損失による自転速度の減少 etc.

➡ 観測からこれらの問題を解決するためには、**前主系列星の年齢を正確に決定する必要がある。**

一般的な年齢決定方法

前主系列星は、進化と共に有効温度と光度が変化する(Figure 1)。

➡ 多波長観測の結果と恒星の進化モデルとを比較することで、年齢を決定できる。

■しかし、従来の年齢決定方法には「**光度の不定性**」という問題がある。光度不定性の原因は、主に以下の3点である。

1. 距離の不定性

光度を求めるには正確な距離決定が不可欠だが、前主系列星は遠いor暗いため距離に大きな不定性が生じる。

2. 減光

減光量を正確に求められなければ、光度も正しく求めることができない。

3. ベーリング

原始惑星系円盤からの降着に起因するaccretion shockと、円盤が温められることによって起こる再放射により、紫外及び赤外にて増光する。

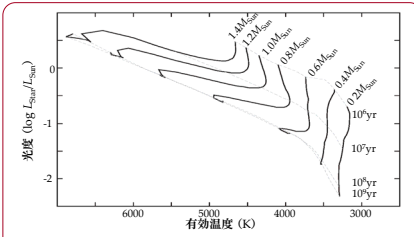


Fig 1. Baraffe et al (1998) による、0.2~1.4太陽質量の星の進化トラック(実践)を示したHR図。点線は等時曲線を示す。

研究手法

新たな年齢決定法

前主系列星の進化では、有効温度と光度の変化以外にも光球の収縮に伴って**表面重力が増大**する(Figure 2)。

つまり、不定性の大きい光度を用いなくとも、**表面重力を導くことで年齢を決定**することができる。

表面重力を求める手法 ー 高分散分光観測と等価幅比 ー

高分散分光観測で得られる原子スペクトルは、主に金属量、有効温度、表面重力に依存 ➡ スペクトル解析から表面重力を決定できる

<「**等価幅比**」の利用>

近接する吸収線の等価幅比を算出することで、個々の天体の金属量に依存しない量を導出する。また等価幅比は、ベーリングによる吸収線の埋没の影響を取り除くことができる(Meyer et al. 1998, Figure 3)。

➡ 等価幅比は天体の**表面重力と有効温度に依存**

○等価幅比を算出する吸収線の選定

前主系列星の観測は長波長域が有効

➡ **可視I-バンドのNa(8183.3Å, 8194.8Å)とFe(8186.7Å, 8204.9Å)を選択**

Na

限界深度に達している強い吸収線。表面重力の増大とともに、pressure broadeningによってwingが形成される。

Fe

限界深度に達していない吸収線。表面重力の増大すると、光球表面のopacity減少に伴い吸収強度が小さくなる。

Fe/Naは表面重力の増大と共に減少する。しかし、具体的な相関は未知である。

➡ 有効温度がほぼ等しく、表面重力が異なる天体を観測し、Fe/Naと表面重力の相関を導く

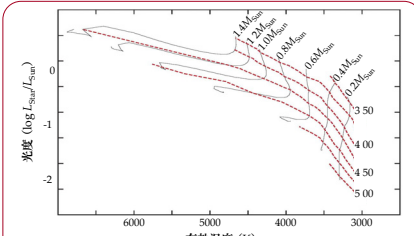


Fig 2. Baraffe et al (1998) による、0.2~1.4太陽質量の星の進化トラック(実践)を示したHR図。点線は等表面重力線を示す。点線の数値はlog g (gは重力加速度、単位:cm/s^2)。

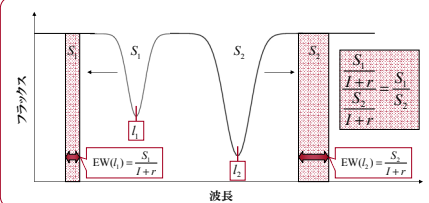


Fig 3. 近接する吸収線の等価幅比を算出することで、ベーリング量rに依らない量を算出できる。離れた吸収線を用いた場合、ベーリングの波長依存性を考慮しなくてはならないため、導出が困難になる(Doppmann et al. 2005)。

観測

岡山天体物理観測所188cm望遠鏡HIDES(R-60000)	すばる望遠鏡HDS(R-60000)
観測日:2007年1月17~24日及び2008年3月24~27日	観測日:2007年9月18日
観測天体:表面重力を算出した主系列星6天体と巨星30天体 [約4200Kの天体:巨星25天体、主系列星4天体 約4700Kの天体:巨星5天体、主系列星2天体]	観測天体:中~晩期K型で表面重力が既知のWTTS3天体 [約4100Kの天体:1天体 約4600Kの天体:2天体]
観測波長:I-バンド (8180~8210Å) S/N:80~270	観測波長:I-バンド (8180~8210Å) S/N:~70

*表面重力
以下の式にて算出。(M,Tはスペクトル型、Lは距離、みかけの等級より決定)

$$\log \frac{g}{g_{Sun}} = \log \frac{M}{M_{Sun}} + 4 \log \frac{T}{T_{Sun}} - \log \frac{L}{L_{Sun}}$$

結果

スペクトル

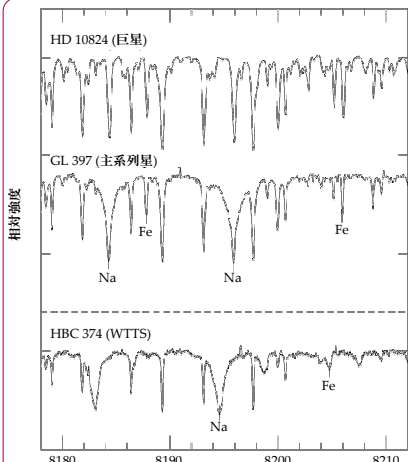


Fig 4. 得られたスペクトルの例。Na, Fe以外の吸収線のほとんどが、地球大気吸収線である。

等価幅比と表面重力

■ Fe, Naの等価幅を、Voigt functionを用いて測定した。地球大気吸収線とblendしているものは測定できなかったが、分離できるものはdeblendを施した。

■ 高温天体と低温天体を分けて近似曲線を導いた (figure 5)。

$\log g > 3.0$ (前主系列星の $\log g$ は3.5前後)では高温天体のほうが低温天体よりも等価幅比が大きい。

➡ 有効温度がほぼ一定の天体を用いて等価幅比と表面重力の相関を導くことが重要。

■ Fe(8204.9Å)/Na(8194.8Å)の低温天体の近似曲線から、年齢決定精度を見積もった。

近似曲線のフィッティング残差と、前主系列星の等価幅比のエラーから、前主系列星の表面重力決定精度を推定。

➡ $\log g$ が3.5~4.0の範囲で±0.15の精度

Baraffe et al.(1998)の進化モデルと比較し、年齢決定精度を算出。

➡ **ファクター1.8の精度で年齢決定が可能**

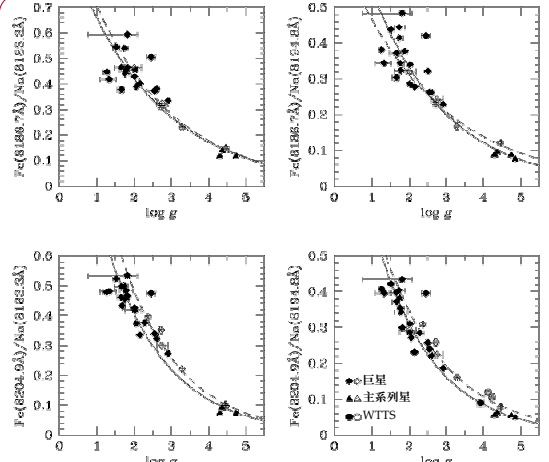


Fig 5. 等価幅比と表面重力の相関。プロットのうち、黒は低温天体(4200K程度)、白は高温天体(4700K程度)を示す。実線は低温天体の、点線は高温天体の近似曲線を表している。