

令和元年6月1日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2018

課題番号：26870507

研究課題名（和文）若い星の進化タイムスケールの解明

研究課題名（英文）Evolution timescale of young stars

研究代表者

高木 悠平（Takagi, Yuhei）

国立天文台・ハワイ観測所・RCUH職員

研究者番号：80648973

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：星や惑星の普遍的な形成過程を明らかにするためには、形成過程にある若い星の正確な年齢を決め、議論を行うことが重要である。本研究では、高分散分光観測による表面重力測定に基づいた独自の年齢決定法から、若い星の年齢を求め、原始惑星系円盤の進化過程について議論した。その結果、星形成領域によって原始惑星系円盤の寿命は異なり、分子雲が置かれている環境によって円盤の進化も異なる可能性が示唆された。

また、FU Ori型星V960 Monの分光モニター観測も行った。この結果、FU Ori型星の増光時の原始惑星系円盤の温度・重力変化を捉え、FU Ori型の増光時の円盤進化について理解を深めることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

星は分子雲と呼ばれるガスの塊から誕生し、生まれた星の周りを取り囲むように原始惑星系円盤で惑星が生まれる。太陽系も同様の過程で生まれたが、その詳しい様子はまだ未解明な点が多い。本研究では、若い星の年齢を分光観測による新しい手法で求め、原始惑星系円盤が進化するために必要な時間を調べた結果、星形成領域によりその時間が異なることがわかった。また、FU Ori型星と呼ばれる、原始惑星系円盤から中心星に向かってガスが大量に流れ込み増光する天体を3年に渡って分光観測を行った結果、増光中の円盤の進化の様子を捉えることに成功した。

研究成果の概要（英文）：Age determination of young stars is crucial for the understanding of the evolution of young stars and protoplanetary disks. An original age determination method based on high-resolution spectroscopy was used to discuss the evolution timescale of protoplanetary disks, and I found that the disk lifetime depends on the nature of the star-forming regions.

Spectroscopic monitoring observations of FU Ori type star V960 Mon was also conducted to understand the evolution of protoplanetary disks during the FU Ori outburst. The variation in obtained spectra shows the change of effective temperature and the surface gravity of the disk during the outburst, indicating the physical evolution of the protoplanetary disk.

研究分野：天文学

キーワード：星・惑星形成

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

すばる望遠鏡や ALMA を始めとした大型望遠鏡の観測から、若い星に付随する原始惑星系円盤の詳細な姿が明らかになってきた。このような、今まさに進化の過程にある前主系列星や原始惑星系円盤、原始惑星の観測結果から、種々の物理量に基づいた統計的な議論を深めることで、太陽系を始めとした星や惑星の普遍的な形成過程を解明することができる。特に、進化に関する議論を進める上で非常に重要な物理量が「年齢」である。若い星の年齢を正確に決定し、これを原始惑星系円盤の進化形態と比較することで、原始惑星系円盤や惑星の進化過程を詳しく調べることができる。しかし、星の光度を利用する従来の年齢決定方法では、原始惑星系円盤からの熱的再放射や距離による光度の不定性が原因で正確ではなく、そのため進化過程に関する議論を行うことが困難であった。

2. 研究の目的

本研究では、前主系列星の光球が進化とともに収縮し表面重力が増大することに着目し、前主系列星の表面重力から年齢を決定する手法を確立し、原始惑星系円盤の進化過程を統計的に議論することを目的とした。この方法を用い、近傍の星形成領域に属する太陽質量程度の前主系列星の年齢を決定した上で、天体の年齢と原始惑星系円盤の進化形態を比較することができれば、原始惑星系円盤や惑星の形成過程に必要な正確な時間が明らかになるだけでなく、分子雲固有の円盤進化形態や進化タイムスケールがあるかどうか、さらにはその進化形態の差異を生む要因について議論を深めることができる。

3. 研究の方法

一般的に恒星の表面重力は、高分散分光観測で得られる恒星大気スペクトル中の吸収線の等価幅から求められる。一方、前主系列星の高分散分光観測で得られるスペクトルは、原始惑星系円盤の降着や熱的再放射により吸収線の埋没が起こっている。そこで本研究では、吸収線の等価幅比を用い、この埋没量に依存しない独自の表面重力の決定指標を確立した。この手法を用いることで、前主系列星の距離や分子雲による減光、また原始惑星系円盤の降着や熱的再放射に依存することなく、年齢を正確に求められるようになる。

本研究では、可視光の I バンドにあるナトリウム (Na) の吸収線 (8183 Å, 8195 Å) と鉄 (Fe) の吸収線 (8025 Å) を用いた吸収線等価幅比を利用した。これは、長波長の光ほど分子雲などによる減光を受けにくいためである。また、より深く分子雲に埋もれた前主系列星の観測のため、赤外線 K バンドにある Na (22063 Å, 22090 Å) とスカンジウム (Sc, 22058 Å) の吸収線を使用し、近傍星形成領域であるおうし座分子雲やへびつかい座分子雲に属する前主系列星を観測した。

4. 研究成果

本研究で確立した等価幅比による年齢決定手法を、おうし座分子雲に属する太陽質量程度の古典的 T タウリ型星 (CTTS)、Transitional disk 天体、弱輝線 T タウリ型星 (WTTS) に適用するため、すばる望遠鏡に搭載された可視高分散分光観測装置 HDS を用いスペクトルを取得し、これらの星の年齢を決定した。この年齢を原始惑星系円盤からの赤外超過量と比較した結果、おうし座分子雲における原始惑星系円盤の進化タイムスケール (円盤内縁部が散逸するまでに必要な時間) がおよそ 240 万年であることが判明した (Fig 1、雑誌論文③)。

また、同様の観測をへびつかい座分子雲に属する前主系列星に対して行ったところ、この星形成領域では原始惑星系円盤の進化タイムスケールが 120 万年程度であることがわかった (Fig 2)。分子雲の環境が異なれば、原始惑星系円盤の進化過程が大きく異なるということを観測的に初めて示した。(雑誌論文②)。

おうし座分子雲とへびつかい座分子雲とで原始惑星系円盤の進化タイムスケールが異なる原因として考えられることの一つに外的環境の違いがある。おうし座分子雲に比べ原始惑星系円盤が半分の時間で散逸するへびつかい座分子雲は、周囲に大質量星がある。この大質量星からの放射により、分子雲の外層が剥ぎ取られているということが過去の研究で示唆されており、さらに本研究で観測したへびつかい座の前主系列星はいずれも分子雲の表層部分に位置していることから、大質量星からの放射で原始惑星系円盤の剥ぎ取りが起こっている可能性がある。そこで、へびつかい座分子雲に深く埋もれた前主系列星をすばる望遠鏡の近赤外撮像分光装置 IRCS で観測し年齢を求め、原始惑星系円盤の進化タイムスケールを導いた結果、分子雲に深く埋もれた前主系列星の円盤は、120 万年より有意に長い時間をかけて散逸する可能性があることがわかった。しかし一方で分子雲に深く埋もれた天体は、有効温度などの物理量に未だ不定

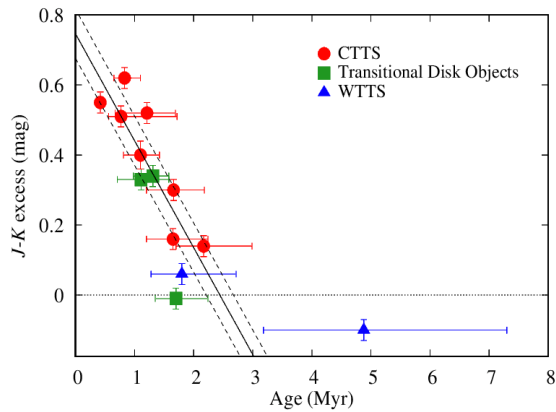


Fig 1: おうし座分子雲の前主系列星の年齢 (単位: 百万年) と赤外超過量 (赤外線 J , K バンドを用いたカラーから算出) の関係。実線は、 $J-K > 0$ のプロットから導いた近似直線。破線は $J-K = 0$ の近似曲線の誤差を元に引いた。

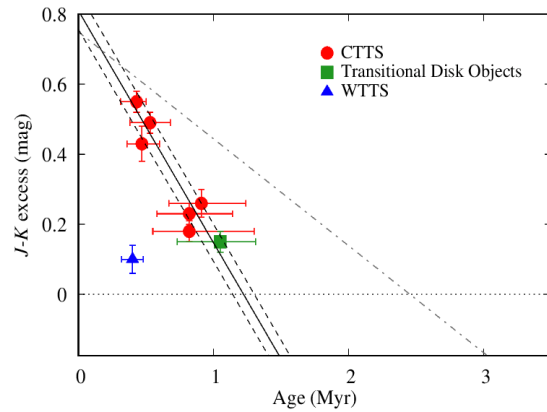


Fig 2: へびつかい座分子雲の前主系列星の年齢と、赤外超過量の関係。実線、破線は Fig 1 と同様である。一点鎖線は Fig 1 で求められたおうし座分子雲の進化タイムスケールを示す。

性があるため、今後の研究でこれらの物理量をより詳細に決める方法を検討し、分子雲の環境と原始惑星系円盤の進化過程の関係性を明らかにする。

前主系列星の年齢決定を元にした原始惑星系円盤の進化過程の研究と並行して、FU Ori 型星と呼ばれる、一時的に 5 等級程度の増光を示す若い天体の分光モニター観測も行った。分子雲で誕生した若い星は、前主系列段階に達し光球が比較的成長した後も、原始惑星系円盤からの質量降着により継続的に成長するが、稀に質量降着率が著しく増大し、増光を示す。このような星が FU Ori 型星と呼ばれ、前主系列段階の質量降着の大部分がこのフェーズで起こることから、そのメカニズムを明らかにすることは重要である。しかし、これまでに発見された FU Ori 型星の数は 10 天体程度と少なく、まだ理解が乏しい。

原始惑星系円盤の進化過程の理解を目的とする本研究の一環として、2014 年 11 月に増光した FU Ori 型星 V960 Mon の中分散モニター観測を、西はりま天文台なゆた望遠鏡と中分散分光器 MALLS にて、増光直後から約 3 年にわたり、延べ 72 夜実施した。その結果、これまでの FU Ori 型星の観測では検出された例がなかった、有効温度の低下と表面重力の増大に相当する吸収線等価幅の変動を検出した (Fig 3)。増光源である V960 Mon の原始惑星系円盤での質量降着が時間とともに低下するとともに、原始惑星系円盤が鉛直方向に徐々に圧縮される様子を観測的に捉えたことが示唆された (雑誌論文①)。

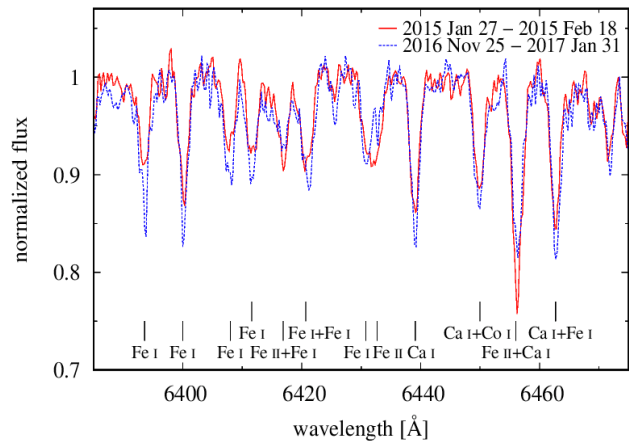


Fig 3: FU Ori 型星 V960 Mon のスペクトル。モニター観測前期 (赤線) と比較すると、観測後期のスペクトル (青線) では Fe I、Ca I の吸収線が深くなる一方で、Fe II の吸収線は浅くなる様子が捉えられた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Takagi, Yuhei; Honda, Satoshi; Arai, Akira; Morihana, Kumiko; Takahashi, Jun; Oasa, Yumiko; Itoh, Yoichi
The Spectroscopic Variations of the FU Orionis Object V960 Mon, The Astronomical Journal, 2018, 155, 101-108, 査読有
DOI : 10.3847/1538-3881/aaa545

- ② Takagi, Yuhei; Itoh, Yoichi; Arai, Akira; Sai, Shoko; Oasa, Yumiko
Rapid dissipation of protoplanetary disks in Ophiuchus, Publication of the
Astronomical Society of Japan, 2015, 86, 87-92, 査読有
DOI: 10.1093/pasj/psv062
- ③ Takagi, Yuhei; Itoh, Yoichi; Oasa, Yumiko
Disk Dissipation timescale of pre-main sequence stars in Taurus, Publication of
the Astronomical Society of Japan, 2014, 66, 88-95, 査読有
DOI: 10.1093/pasj/psu062

[学会発表] (計 12件)

- ① 高木悠平、FU Ori 型星 V960Mon の中分散分光モニター観測 II、日本天文学会 2018 秋季年
会、2018
- ② Takagi Yuhei, Revealing the Evolution Timescale of Protoplanetary Disks with
High-resolution Spectroscopy, Future Exploration of Star and Planet Formation
with Subaru, 2017
- ③ 高木悠平、FU Ori 型星 V960Mon の中分散分光モニター観測、日本天文学会 2017 春季年会、
2017
- ④ Takagi Yuhei, Estimating the evolution timescale of pre-main sequence stars and
protoplanetary disks with high-resolution NIR spectroscopy, The impact of near-
infrared high-resolution spectroscopy on stellar physics, 2016
- ⑤ Takagi Yuhei, Evolution timescale of circumstellar disks in nearby star forming
region, Star Formation 2016, 2016
- ⑥ 高木悠平、おうし座分子雲に属する原始惑星系円盤の散逸過程、日本天文学会 2016 春季
年会、2016
- ⑦ 高木悠平、高分散分光からせまる前主系列星と原始惑星系円盤の進化タイムスケール、近
赤外高分散分光研究会:地球型惑星探索と広がるサイエンス、2015
- ⑧ Takagi Yuhei, Disk Dissipation Timescale of Pre-main Sequence Stars,
Protoplanetary Disk Dynamics and Planet Formation, 2015
- ⑨ Takagi Yuhei, Disk Dissipation Timescale of Pre-main Sequence Stars, Subaru
Users' Meeting FY2014, 2015
- ⑩ Takagi Yuhei, Disk Dissipation Timescale of Pre-main Sequence Stars, Star
Formation Across Space and Time, 2014
- ⑪ 高木悠平、近傍星形成領域における原始惑星系円盤の進化タイムスケール、第一回 DTA シ
ンポジウム 星形成領域および星団環境での惑星の形成と進化、2014 年
- ⑫ 高木悠平、へびつかい座分子雲に属する前主系列星の円盤進化タイムスケール、日本天文
学会 2014 秋季年会、2014 年

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0件)
- 取得状況 (計 0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 伊藤 洋一

ローマ字氏名: Itoh Yoichi

研究協力者氏名: 大朝 由美子

ローマ字氏名: Oasa Yumiko

研究協力者氏名: 本田 敏志

ローマ字氏名: Honda Satoshi

研究協力者氏名：新井 彰
ローマ字氏名：Arai、Akira

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。