

論文内容の要旨

論文題目 The Lifetime of Protoplanetary Disks in Low-metallicity Environments

(低金属量下における原始惑星系円盤の寿命)

氏名 安井千香子

古代からの長い天文学の歴史の中で、太陽系外の惑星（系外惑星）の形成についての研究の歴史は非常に短い。約 40 年前に惑星は非常に若い星を取り巻く原始惑星系円盤の中で生まれると初めて考えられるようになり、15 年前の 1995 年によく初めて系外惑星が発見された。その後、発見される惑星の数は急激に増加し、たった 10 数年の間に約 400 個もの惑星が発見され続けた。発見された惑星は我々の予想に反して極めて多様な性質を持つことが分ったが、現時点で知られている唯一の極めて明確な関係は、重元素の量、すなわち金属量が多い星ほど惑星が見つかる確率が急激に高くなる「惑星-金属量関係」である。これは、金属量こそが惑星形成を理解するためのキーパラメータである可能性を示唆している。

一方、赤外線天文学の発展に伴い、約 20 年前から原始惑星系円盤の研究が急速に進んできた。原始惑星系円盤とは、非常に若い星を取り巻くガスとダストから成る円盤で、その中で惑星が生成されるため、原始惑星系円盤の寿命は惑星形成率に直結する非常に重要なパラメータであると考えられている。その寿命を導出するために、ほとんどの星は集団（クラスター）中で同時に生まれるという性質を生かし、星生成クラスターの中での原始惑星系円盤による色超過を持つ星の割合 (disk fraction) の減少のタイムスケールを寿命とみなす、単純でありながら極めて有効な方法が広く使われている。この disk fraction が太陽近傍の年齢の異なる多数のクラスターに対して調べられた結果、原始惑星系円盤の寿命は約 500-1000 万年であることが明らかになった。しかし「惑星-金属量関係」というキーを解くためには、太陽と同程度の狭い金属量範囲だけではなく、大きく異なる金属量下での disk fraction を調べ、原始惑星系円盤の寿命の金属量依存性を明らかにすることが重要となる。

そこで我々は、「銀河系の外縁部」に着目した。銀河系は、中心からの距離が大きくなるにつれて金属量が低くなることが知られている。私達が住む地球は銀河中心から約8 kpc に位置するが、銀河系はそれよりも2倍以上の半径約20 kpc にわたって広がっており、銀河系外縁部 ($R_g \geq 15$ kpc) では太陽近傍と比較して金属量が約1/10に小さくなることが知られている。そのような遠方の領域の星生成クラスターであっても、8–10 m 級望遠鏡の登場により、太陽近傍と同様に低質量星まで個々の星を分解した詳細な観測が可能になってきた。星生成クラスターは、星がまだ生まれた場所に留まっておりその物理・化学環境を直接反映している点、また、まだ集団を成しているため星の同定が容易であり、統計的な議論も可能であるという点で、原始惑星系円盤について金属量という環境依存性を調べる対象として非常に適している。

本研究では、現存する最大級の「すばる」望遠鏡に取り付けられた広視野近赤外線撮像分光器 (MOIRCS) を用い、銀河中心から約15 kpc 以遠の銀河系外縁部における星生成領域の JHK_S バンドにおける近赤外線撮像観測を行った。その結果、低金属量下の星生成領域としては初めて $\lesssim 0.1$ 太陽質量以下の星の検出に成功し、太陽金属量下での星生成領域との直接比較を可能とした。観測した星生成領域は、これまでの研究により金属量が高い精度で求められている Digel Cloud 2, Sh 2-209, Sh 2-208, Sh 2-207 の4つの星生成領域で、合計6個の星生成クラスターについて年齢と disk fraction を調べた。

大きく環境や距離が異なる領域の比較には、観測的なバイアスが無いように十分気をつける必要がある。そこでまず、太陽近傍の星生成領域については各クラスターで同じフィルターシステムで得られたデータを用い、低金属量下の星生成クラスターと同じ方法で JHK の disk fraction を求め直した。その結果、中間赤外などの長い波長バンドを用いなくとも、JHK だけで十分 disk fraction の進化が捉えられることを示した。次に、disk fraction を求めるために最も重要なツールである2色図が低金属量下でどう変化しうるかを検討し、また、最近の高感度赤外線観測で使われるようになった MKO フィルターシステムでの2色図を、過去に用いられてきた主なフィルターシステムでの2色図と比較して、その違いを明確にした。最後に、各クラスターの K バンドでの光度関数を用いて星生成クラスターの年齢を求める方法が、遠方のクラスターの年齢を求めるのに有効であることを示した。

その結果、低金属量下の星生成クラスターの disk fraction が、同年齢の太陽近傍の領域と比較して極端に低いことが分かった。今回観測に用いた近赤外線 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ での色超過は、原始惑星系円盤の内側 $\lesssim 0.1$ AU からの放射で生じるものであるが、低金属量であるということから通常考えるメカニズムでは、円盤内側だけが空洞になることを説明することができない。よって、低金属量下では“円盤全体”が太陽近傍 (~ 5 Myr) と比べて非常に速いタイムスケール (~ 1 Myr) で消失することが示唆された。低金属量下において円盤消失が速くなる原因としては、円盤の質量降着率が増加する、または減光が少ないために光蒸発 (photoevaporation) が効率的に起こる可能性が第一に考えられる。その場合、まだ決着していない原始惑星系円盤の消失のメカニズムとして、通常考えられているガスが関係する極紫外線 (EUV) ではなく、ダストすなわち金属が関係する X 線もしくは遠紫外線 (FUV) が主に効くことを観測的に示唆したことになる。「惑星–金属量関係」の原因の探求には、主にコア・アクリション理論に基づく様々な理論的試みがあるものの、まだ決定的なものはない。低金属量下で原始惑星系円盤が消失するタイムスケールが短いことは、そのような環境下では惑星形成が困難になることを意味し、「惑星–金属量関係」を少なくとも部分的に説明する可能性がある。これは、理論的考察のみで進んできたこの関係の原因の探求において、原因の1つとなりうる事実を観測的に初めて提示したことになる。

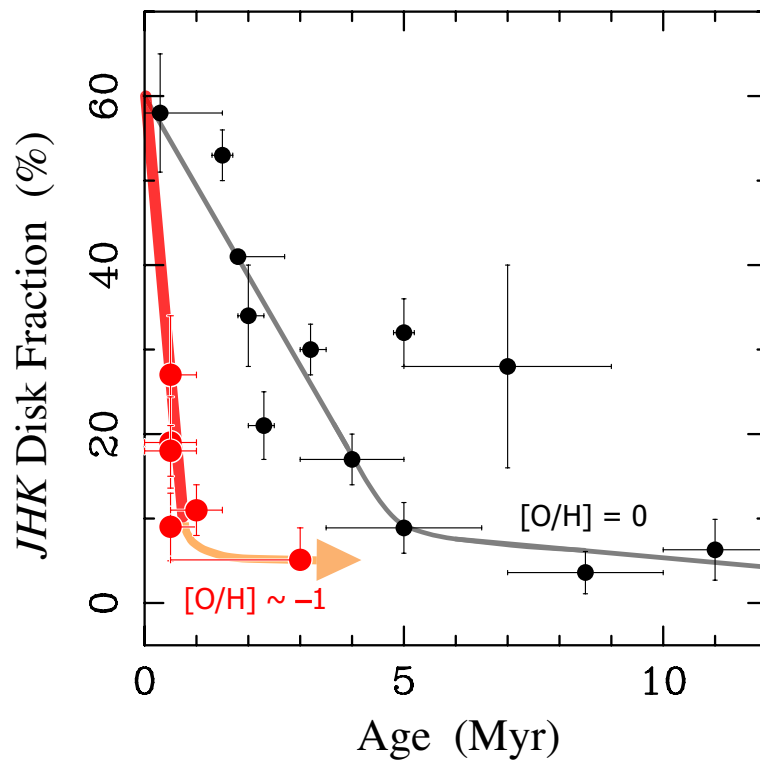


図 1: 星生成クラスターの JHK バンドでの disk fraction と年齢の関係。低金属量下における星生成クラスターの JHK での disk fraction を赤色の丸で、太陽金属量下におけるクラスターの JHK での disk fraction を黒色の丸で示す。黒線は太陽金属量下での disk fraction の進化を、赤線は本研究で低金属量下での disk fraction の進化を示した。これらの進化の線はともに、おおよそのフィットを行って導いた。