

氏 名 吳 大鉉

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1818 号

学位授与の日付 平成28年3月24日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Direct Imaging Analysis of the Circumstellar Disks and
Planetary-mass Companions on Wide Orbit Around a
Disk-host Star

論文審査委員 主 査 教授 立松 健一
教授 小林 行泰
教授 福島 登志夫
准教授 武藤 恭之 工学院大学
教授 中本 泰史 東京工業大学大学院

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

I embark on observational studies to reveal the cause of different disk cavities in typical disks, whether disk evolution or disk clearing mechanisms, by high-resolution near-infrared polarimetric imaging. I also embark on the property of planets inside and outside disks, because the presence of a planet is one of the major factors in disk evolution and disk clearing. I chose three typical objects from three disk categories; DoAr 25 from full disks, LkCa 15 from pre-transitional disks, and GM Aur for transitional.

I have found that each of disks has individual physical properties and that only DoAr 25 has a visible planetary-mass companion with wide separation over 1430 AU. For DoAr 25, I have found a flared surface and dust shell remnant which indicate the youth of the disk. Strong forward scattering of the disk surface also suggests that the disk is still in early stage of dust grain growth. The detected planetary-mass companion around DoAr 25 is called DoAr 25 b. I observationally confirmed that it is a co-moving 13 Jupiter-mass companion with possible circumplanetary disk, and its convincing origin is a molecular cloud core, not the disk around the star. For LkCa 15, I have found a large gap whose radius is consistent with the result of previous sub-mm imaging studies. I also have found that the inner disk is significantly tilted with the outer disk. This is the first direct detection of warped disk associated with young T Tauri star. These features indicate the presence of multiple planets <1 Jupiter-mass in the system. Furthermore, physical inconsistency, suggests that possible unknown physical mechanisms could be working on it. For GM Aur, I have found a large inner hole at near-infrared wavelengths for the first time, which has a significantly smaller radius than that of previous sub-mm interferometry images. This inconsistency may indicate the presence of a few-Jupiter-mass planet in the disk cavity.

I have searched a possible connections between resolved disk structures and disk evolution from comparative study of three disks, but there is no common chronological sense in physical parameters which could be interpreted as an evolutionary path. I also have discussed and supported an alternative scenario; the cause of diversity is different clearing conditions. Furthermore, the presence of planetary-mass companion outside the disk indicates that the range of planetary system is wider than previous understanding, and that there are still unrevealed fields in the disk-planet connection and the origin of planets.

Summary of the results of the doctoral thesis screening

系外惑星は、1995年の発見から、ケプラー衛星による大量検出を経て、現在では天文学研究の大きな柱となっている。その中で系外惑星の多様性が明らかになり、その形成過程にも大きな注目が集まっている。本研究は、惑星の誕生の場である原始惑星系円盤に対し近赤外高解像度高コントラスト観測により、惑星の誕生の謎に迫ろうとしたものである。原始惑星系円盤は、近赤外線や、ミリ波サブミリ波の電波干渉計などで撮像観測できる。現在急速に発展しているこの高解像度撮像観測から原始惑星系円盤には様々な形状が存在することが分かってきた。その中で、中心星付近の物質が消失している「遷移円盤」や、遷移円盤でも中心星のごく近傍には円盤が存在する「前遷移円盤」は、その形成過程と円盤進化、惑星形成とのつながりの可能性などから、世界的にも特に精力的に研究がされている天体である。

出願者は、原始惑星系円盤に対して、すばる望遠鏡に搭載された恒星コロナグラフ「HiCIAO」を用いて、世界最高レベルの高空間分解能（0.07 秒角）・高コントラストの1.6 μ m 偏光撮像観測を行った。観測対象は、先行研究で撮像観測のある20個程度の天体から、代表的な3種類の形状、すなわち、中心星近傍における空隙領域のない「フル・ディスク」、「前遷移円盤」、「遷移円盤」について、それぞれ代表的な天体を1つずつ、計3天体を選択した。それぞれの代表は、DoAr 25, LkCa 15, GM Aur である。3天体は比較研究をしやすいように、物理的性質の近い天体を選んだ。すべて太陽程度の質量を持つ前主系列星「おうし座 T 型星」（核融合が主なエネルギー源になる前の、準静的収縮による重力エネルギーの解放で光っている若い星）であり、太陽質量の0.2倍程度の原始惑星系円盤を持つ。

観測の結果、DoAr 25 においては、空隙のない円盤であることが再確認され、偏光強度の動径方向変化のべき指数からダスト円盤が周囲に向かって膨らんでいる「フレア円盤」であることが分かった。これは、ダストの赤道面への降着が十分進んでいないことを表し、円盤が進化の早期段階であることを示唆している。2番目の天体 LkCa 15 では、以前のサブミリ波干渉計観測で観測されたのと同程度の大きさの空隙が観測され、理論計算との比較の結果、木星質量程度以下の質量の惑星4つ以上による惑星-円盤間相互作用によってできた空隙であると結論付けた。3番目の天体 GM Aur では、すばるの観測とサブミリ波干渉計観測による空隙の大きさに違いが見いだされ、木星質量の2-3倍の惑星による空隙と結論付けた。

従来の研究では、「フル・ディスク」→「前遷移円盤」→「遷移円盤」は進化の順番を示していると単純に考えられていたが、本研究により、見かけの違いは、円盤降着率の違いや、円盤空隙の形成に働くメカニズムの違い（円盤ガスの動径方向密度傾斜によるミリメートルサイズの移動に伴う「ダストろ過作用」の有無）など、ほかの要素が効いている可能性が明らかになった。また、DoAr 25 においては、主星から大きく離れた位置に直接撮像により惑星質量伴星を発見し、円盤からの惑星誕生でなく、母体の分子雲の分裂により主星+惑星質量伴星が形成されるという可能性を指摘した。

惑星の形成プロセスの完全な解明のためにはさらなる研究の進展が必要ではあるが、本研究は、3つの天体に対し、世界最高レベルの高空間分解能・高コントラスト観測を行うことにより、また、電波ミリ波干渉計観測で得られたミリ・サイズのダスト分布と今回の研究で得られたミクロン・サイズのダスト分布を比較するなどして、その形成過程の考察

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

に一石を投じた研究といえよう。したがって、審査委員全員が博士論文として合格であると判断した。