

氏 名 權 靜美 (KWON Jungmi)

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1578 号

学位授与の日付 平成25年3月22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 Near-Infrared Linear and Circular Polarimetry in Star Forming  
Regions

論文審査委員 主 査 准教授 臼田 知史  
教授 富阪 幸治  
教授 関口 和寛  
教授 山本 哲生 北海道大学  
准教授 川端 弘治 広島大学

## 論文内容の要旨

本学位論文の目的は、低質量星形成領域に比較して形成メカニズムが未確立である大質量星形成について、集団（クラスター）形成における星周構造、磁場の役割、星周構造と磁場との関係を解明することであり、そのために赤外線波長における直線および円偏光の系統的観測を行った。また、同じ目的のために、さまざまな質量の星形成領域の赤外円偏光サーベイを初めて行い、円偏光と生まれる星の質量との相関を調べた。

論文構成は 5 部からなる。第一部では、本研究の背景と位置づけから観測まで、第二部では、原始星クラスターの観測的成果、そして、第三～五部では、さまざまな星形成領域の赤外線円・直線偏光サーベイの結果、考察をまとめるとともに、今後の課題が示されている。

### (1) 第一部：本研究の背景と位置づけから観測まで

Chapter 1 では、近年著しく理解が進んだ単独星における星形成の母体とその星周構造からスタートし、銀河系規模で中心となるクラスター・大質量星形成のレビューを行った。後者は分子雲に埋もれていて複雑な構造をしているため、その理解にはまだ程遠い。また、星周構造の研究のための、赤外線観測の特徴をまとめた。引き続き、Chapter 2 では、本研究でユニークな手法として使われた直線偏光および円偏光の原理とその起源に関して記述した。直線偏光に関しては、様々な研究結果やその起源について理論が提案されている一方、未開拓の分野である円偏光に関しては、本研究の観測結果とモデルとの比較から考案された円偏光の起源を考察した。Chapter 3 では、星形成領域における偏光観測の先行研究を紹介した。Chapter 4 では、本研究のために用いた IRSF 1.4 m 望遠鏡と近赤外線偏光観測装置 SIRPOL について概説し、本論文で共通となるデータ解析を詳述した。

### (2) 第二部：原始星クラスターの観測的成果

撮像・分光観測に比べ偏光観測の進展は遅れていた。しかしながら、可視光に比べ分子雲の吸収の影響を受けにくい赤外線偏光観測では、クラスターの個々のメンバーの星周構造を赤外線の散乱場として描くことができ、かつ、分子雲の中を見通した磁場構造を描くことができるというユニークな利点がある。さらに、大質量星形成領域は小質量星形成領域に比べて観測が遅れており、北天に比べて南天には観測所の数が少なく、数多くの南天にある領域に対して過去の赤外線偏光観測はほとんどないことに着目した。つまり、南天の大質量星形成領域の赤外線偏光観測は全く新しい情報となる。とりわけ、大質量星形成領域では、個々の星周構造が周辺の影響を受けつつどのように進化するのか、磁場が揃っているのか乱流が卓越するのか、また、オリオン領域で知られているような砂時計状の磁場構造が普遍的かどうかを調べるために、統計的に有意な議論を行えるよう、数多くの星形成領域を観測することが重要である。このために近赤外線偏光観測装置 SIRPOL を用いた。

本研究の成果として、Chapter 5 では、Monoceros OB1 Cloud の中にある NGC 2264 領域の観測結果を記述した。原始星がクラスターを成している本領域において、赤外星周構造（赤外反射星雲）を持つクラスターが少なくとも3つと、8つの局所的赤外反射星雲が存在することが初めて確認された。そして、近赤外線偏光観測から予想される星周構造の照射源の同定と、中間赤外線源との比較のため Spitzer 望遠鏡、さらに、サブミリ波のデータを利用し、星周構造の照射源についての議論を行った。さらに、クラスター形成における磁場の役割を議論するための統計的解析、数値シミュレーションとの比較、チャンドラセカール・フェルミの方法を用いた磁場強度の推定、磁場とアウトフローの関係、可視光の星間偏光との比較を行った。その結果、複雑な原始星クラスターの3次元構造を初めて解明し、クラスター形成における磁場の役割の重要性を示した。

### (3) 第三部：大質量星形成領域の円・直線偏光

Chapter 6 では、直線偏光だけではなく、円偏光にも着目し、世界で類を見ない広視野観測によって大質量星を形成する NGC 6334V 領域の円・直線偏光観測を行った。検出された円偏光度は最大 22% であり、その広がりも 0.65 pc であることが初めて示された。この観測結果は、太陽系の大きさのおよそ 400 倍以上に相当する。今まで報告された円偏光の最大値であるオリオン大星雲の 17% を超えるものであり、その広がりもより大きい。右回転と左回転の円偏光がこの領域を取り巻くように交互に表れている点が特徴的であるが、NGC6334V 領域では、従来の観測やモデルにない非軸対称的な円偏光パターンが明確に確認された。この円偏光パターンは、整列を受けたダストの散乱および吸収を用いたモデルで再現できることを示した。また、オリオン領域で示唆されたような大規模な円偏光領域の2例目が示されたことは、生命のキラリティーの原始星反射星雲起源、すなわち、円偏光領域に原始太陽系が生まれ、円偏光に照射を受けた結果、アミノ酸(先駆体)に鏡像異性体異常が引き起こされ、選択的にアミノ酸に偏りが生じ、それらが地球上に隕石等と共に持ち込まれたという説をサポートするものと考えられる。

### (4) 第四部：大規模赤外線円偏光サーベイ

Chapter 7 では、大質量星形成領域から低質量星形成領域に至るまで初めて一様なサーベイを行った結果を記述した。そのために、SIRPOL を用いて合計 6 領域の星形成領域の赤外線直

線・円偏光観測を行い、9 個の赤外反射星雲について円偏光の情報を得た。これと 3 例の先行研究を併せることにより、合計 12 個の赤外反射星雲における円偏光について統計的議論を行うことができた。その結果、円偏光度およびその空間的広がり、中心星光度との間には極めて良い相関が見られた。これは、低質量星形成領域より大質量星形成領域ほど大きくかつ広がった円偏光が検出されることを意味する。このような大円偏光度を起こすためには、多重散乱だけでなく、整列を受けたダストによる吸収が要求される。さらに、さ

さまざまな質量の若い星のまわりに円偏光が検出されること、そして、大質量星のまわりで円偏光領域が卓越することは、生命のキラリティーの星形成領域の円偏光起源をさらにサポートするものと考えられる。

(5) 第五部：まとめ、および、今後の課題

Chapter 8 では、本研究のまとめと星惑星形成領域における今後の偏光観測の課題を示した。

以上のように、本研究は、赤外線直線偏光観測によって大質量星形成領域 NGC2264 の複雑な原始星クラスターの 3 次元構造を初めて解明し、クラスター形成における磁場の役割の重要性を示した。次に、直線偏光だけではなく、円偏光にも着目し、大質量星形成領域 NGC 6334V の円偏光が、これまでにない大きい円偏光度を持つこと、および、その大規模な円偏光の広がりを初めて明らかにし、大質量原始星周辺の磁場構造への制限を与えると共に、太陽系の生命の起源についても言及した。さらに、円偏光と直線偏光での大規模赤外線サーベイの結果から、形成される恒星の質量の違いによる系統的な偏光の振る舞いの違いを初めて一様な観測により示すことができた。

## 博士論文の審査結果の要旨

大質量星形成領域で一般的に見られる集団（クラスター）形成における星周構造、磁場の役割、星周構造と磁場との関係を明らかにすることは、太陽のような低質量星に比べて、観測的にも理論的にも研究が遅れている大質量星の形成メカニズムの解明についての理解にとって重要である。近年の赤外線による観測技術の向上により、若い恒星の星周円盤の撮像や分光観測によるガスの運動や組成の解明など様々な発見が報告されている。しかし、星周構造の探査に威力を発揮する近赤外線の偏光観測結果は極めて少ない。このような背景のもと、出願者は近赤外線の偏光装置を用いて、大質量星形成領域の系統的サーベイとしては初めて、そして様々な質量の星形成領域について偏光観測サーベイを行い、個々の天体についての観測成果とその解釈に加え、統計的に有意な議論について博士論文としてまとめた。主な内容は以下の通りである：

- 1) 大質量星形成領域 Monoceros OB1 Cloud の中にある NGC2264 について南アフリカにある名古屋大学 1.4m 望遠鏡と近赤外線偏光装置 SIRPOL を用いた観測を行い、原始星が集団で分布している領域において、赤外反射星雲を持つクラスター3個と、局所的赤外反射星雲8個を発見した。近赤外線・可視光の偏光ベクトルの解析および Spitzer 宇宙望遠鏡（中間赤外線）やサブミリ波のデータを利用し、星周構造の照射源の同定や、チャンドラセカール・フェルミ法を用いた磁場強度の推定、星間偏光との比較などを行った。その結果、複雑な原始星クラスターの三次元構造を初めて解明し、クラスター形成における磁場の役割の重要性を示した。
- 2) 直線偏光だけではなく、円偏光に着目し、代表的な大質量星形成領域 NGC6334V の観測を行った。検出された円偏光度の最大値と広がり（22%および 0.65pc）は、オリオン大星雲の円偏光度および広がり（17%および 0.45pc）を超える結果であることを示すと共に、その円偏光パターンと大きさは、星周構造による中心星からの散乱光が、前景分子雲中の磁場により整列したダストの吸収を受けるモデルで再現できることを示した。
- 3) SIRPOL を用いて、世界で初めて星形成領域の系統的な広視野直線・円偏光サーベイ観測を行い、出願者が新たに観測した6領域で発見された9個の赤外反射星雲の結果と過去の3個の赤外反射星雲を用いて統計的議論を行った。その結果、円偏光度およびその空間的な広がりを中心星光度との間には良い相関があることを発見した。つまり、低質量星形成領域より大質量星形成領域ほど、偏光度が大きくかつ空間的に広がった円偏光が観測されることを明らかにした。この相関は、偏光の原因が、上記の散乱光の整列ダストによる吸収であることと合致している。

出願者の博士論文に示された以上の結果は、近赤外線の偏光装置を用いた観測によって赤外反射星雲を新たに発見し、原始星クラスターの空間三次元構造を初めて明らかにして

いる。また、直線偏光だけでなく円偏光に着目した系統的サーベイ観測の結果から、中心星の光度と円偏光度に相関があることを初めて解明したものであり、星形成の分野の研究にとって十分意義のある成果と判定された。また、観測・データ制約から解析、結果のとりまとめ・議論、論文作成の一連の過程において、出願者が主体的におこなっていることが認められた。これにより審査委員会は、全員一致で本論文が博士論文として十分な価値を有し、合格であると判定した。