

氏 名 日下部展彦

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1123 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 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 Imaging Polarimetry of the
Orion-Monoceros Star Forming Regions

論文審査委員 主 査 教授 小林 行泰
准教授 奥村 幸子
准教授 小久保英一郎
教授 尾中 敬（東京大学）
教授 長田 哲也（京都大学）

論文内容の要旨

天体からの光は、程度の差こそあれ、全て偏光していると言って過言ではない。偏光の原因は多様であるが、星間物質中や分子雲中のダストによる減光(吸収と散乱)や、天体の周りに分布しているダストによる散乱などがある。

ダストの吸収による偏光が「星間偏光」であり、磁場に整列された非球状のダストに偏光していない光が入射すると、ダストの長軸方向の電場ベクトルは吸収されやすいため、通り抜けてきた光はダストの短軸方向に直線偏光する。この性質を利用することにより、ある天体の直線偏光を測定すると、その天体から地球までの間にある星間物質中の「天球上に射影した磁場の方向」を求めることができる。HI ガス雲、分子雲、分子雲コアなどの磁場構造がこの星間偏光の手法で求められている。

天体の周りに分布したダスト散乱によっても大きな偏光が生じる。この性質を利用して星周物質の直線偏光を測定すると、その物質を照らす光源の位置や星周物質の幾何学を決定することができる。双極分子流、エンベロープ、原始惑星系円盤、残骸円盤などの幾何学構造が散乱偏光の手法で求められている。

理論的研究からも、星形成において磁場は重要な役割を果たしていると考えられ、現在も精力的な研究が進められている。しかしながら、星形成領域はダストによる吸収が大きく、領域内部の磁場構造を可視光の星間偏光で調べることは難しい。より波長の長い近赤外線における偏光観測は 1980 年代から行われている。しかし、2次元赤外検出器が主になった昨今でも、赤外偏光観測の視野は狭く、限られた領域もしくは空間解像度の悪い磁場構造の研究、あるいは、個々の天体の散乱偏光を見ることしかできずにいた。近赤外線の星間偏光をとらえることは、星が生まれている場所の磁場構造を解明する上で極めて重要なテーマである。さらに、天体の周囲の磁場構造と星周構造との関係を観測的に明らかにすることは、星形成を理解するうえで極めて重要である。

我々は、南アフリカにある名古屋大学 1.4m 望遠鏡 IRSF と近赤外三色同時撮像装置 SIRIUS を活用し、近赤外偏光観測において初めて、約 $8' \times 8'$ という広視野で J($1.2 \mu\text{m}$), H($1.6 \mu\text{m}$), Ks($2.1 \mu\text{m}$)での三色同時偏光撮像装置 SIRPOL を開発した (2005 年 12 月にファーストライト)。この装置により、これまでの近赤外線観測において約 20 倍もの視野を一度に観測することが可能になった。

主な星形成領域を一視野でカバーすることができるこの装置を用い、数多くの領域を観測することにより、様々な星形成領域の磁場構造や星周構造を統計的に研究することが可能となった。本研究では、代表的な星形成領域である M42, NGC2264, Mon R2 の 3 つの領域における偏光観測の結果を示す。

代表的なオリオン星形成領域 M42 においては、これまでの視野では確認できなかった、大質量(約 25 太陽質量)の若い星 IRc 2 に付随する大規模な双極赤外反射星雲と BN 天体(約 7 太陽質量以上)に付随する単極赤外反射星雲の散乱偏光のパターンを発見した。これは、大質量星の成因に直結するディスク・アウトフロー構造に対して、重要な情報となる。さらに、視野中の 313 個もの点状天体のアパーチャー偏光の測定を行い、IRc2 の周囲、約 0.5pc のスケールにおける砂時計状の磁場構造を検出することができた。得られた磁場構造は、過去のミリ波・サブミリ波のダスト熱放射による偏光から得られる磁場構造とよく一致する。

また、同領域におけるいくつかの天体については、散乱偏光のパターンから長波長でしか見えていない天体の散乱偏光を捉え、照射源を特定することに成功した。また、これまで知られていない中質量星のディスク・アウトフロー構造を少なくとも 13 天体検出することができた。

大質量星形成領域であり、強力なアウトフローを伴う Mon R2 星形成領域の分子雲コアにおける観測では、数パーセクスケールの大局的磁場と中心付近をつなぐ複雑な磁場構造を 321 天体のアパーチャー偏光から検出した。この中心部の磁場構造は、大質量星形成に伴い磁場がねじれた可能性を示唆した。これは M42 における砂時計構造とは異なる。また、全体的には IRS 2 による散乱偏光が支配的であるが、IRS 1,3,6 に付随する散乱偏光も検出した。

中心部に若い低質量のクラスターが存在する、いっかくじゅう座の NGC2264 IRS1 領域においては、256 天体のアパーチャー偏光から、約 1.8 pc のスケールの磁場構造を決定し、可視光から知られていた数 pc スケールの大局的磁場構造とは異なる星間偏光を検出した。この領域では、ローカルな磁場が入り組んだ構造を持っていることを初めて示唆した。さらに、これまでよりはるかに広い視野で赤外線散乱偏光を調べたことにより、IRS1 付近において近赤外線で新たに星周構造を持つと考えられる赤外反射星雲を 3 つも見出し、IRS 1 に付随する円盤構造を近赤外で初検出した。また、ミリ波でしか見えていない MMS3 に対応するディスク・アウトフロー構造を初めて検出することができた。

若い星に対するアパーチャー偏光は、磁場ではなく、その星に付随する分解できない小さな星周構造の情報を含んでいる。若い星に付随する赤外反射星雲は、アウトフローによって生じる cavity (空洞) に光が通りやすくなり、cavity とエンベロープとの壁において、星からの光が散乱したときに生じると考えられる。その結果、星間偏光より大きな偏光度が検出される。観測的に予想された星間偏光の上限値以上のポイントソースを、上記の 3 領域で多数検出した。その中には若い褐色矮星が含まれるが、とくに、M42 の領域内に存在する若い褐色矮星のうち、10 天体について偏光を検出し、褐色矮星のディスク・アウトフロー構造に対する幾何学的構造を初めて示唆することができた。その小さな重力エネルギーにより星周円盤がフレア状に広がり、そのため、大きな散乱偏光を持ちやすくなると示唆されている。今回の観測における偏光度の比較から、その予想と矛盾しない結論が得られた。

また、これら 3 領域において、H-Ks vs. 偏光度の傾きが、吸収の深い領域で飽和する傾向は見られなかった。このことから、深く埋もれた星形成領域内部ではダストはあまり整列されないという過去の指摘を覆すことができた。

論文の審査結果の要旨

星形成領域の観測的な研究を進めるうえで、赤外線での偏光観測は有用な観測手段である。これは、塵に埋もれた星生成での散乱を伴う星周構造の幾何学を研究するためのプローブや、星生成に重要な役割を果たす磁場構造について研究するためのプローブとなることが知られている。出願者は赤外線偏光観測を広視野で実現することの重要性に着目し、広視野撮像装置を備えた南アフリカ天文台に設置されたSIRIUS (Simultaneous Infrared Imager for Unbiased Survey)/IRSF (InfraRed Survey Facility)に取り付け広視野偏光観測を可能とするための偏光装置を開発した。偏光装置は $1 - 2.5 \mu\text{m}$ の波長域を持つ色消しの半波長板を回転させる形式のもので、運用のための工夫がこらされている。新たに開発された偏光観測装置により、 7.7×7.7 分のJHKバンドでの偏光観測が可能となった。これは従来の他の偏光観測装置に比べて約20倍の視野拡大となる。出願者はこの装置を用いて大質量星の形成領域であるオリオン星生成領域や一角獣座R2領域などに対し広視野赤外偏光観測を行った。

本論文は5章からなり、第一章は星形成過程と偏光観測に深く関連する磁場構造、星周構造の過去の観測についてレビューがされている。第二章は観測装置と観測について記述されている。第三章ではオリオン領域の観測について、第四章では別の星生成領域である一角獣座R2領域の観測とその結果についての考察が記述されている。なお、第五章はまとめと将来計画について充てられている。

出願者はオリオン星生成領域と一角獣座R2領域の2つの領域において広視野赤外偏光観測を行い、以下の知見を得た。

- 1) 点源の偏光の起源のほとんどは、星間偏光、つまり星間磁場によることが、偏光の波長依存性、広い領域で大局的な構造を持つことなどから示唆される。さらに、オリオン星生成領域では、大質量星の周りに 0.5 pc スケールの砂時計形状の磁場構造が、一角獣座R2領域では中心星を中心として、S字型に変形した磁場構造が見取れる。これらの構造は星間ガスが収縮して星が形成される、現在の星生成シナリオに合致するものである。

- 2) 散乱による偏光成分のみを抽出することで、星生成領域のまわりの反射星雲のみを抽出することが可能である。出願者はオリオン領域では、大質量星のIRC2の周囲とBN天体の周りの偏光反射星雲、一角獣座領域でも中心星周りの反射星雲を今までより高い精度で観測することに成功し、磁場、双極流、ディスクなどの幾何学に関する知見が得られた。

- 3) 大きな偏光を持つ天体は星間偏光では説明できない場合が多く、これにより、解像度が不足するため一般の撮像観測では検出できない星周構造を持つ天体を検出することができる。出願者はオリオン領域に13天体、一角獣座領域で60天体の高偏光天体を検出した。これらは中から小質量のディスク・双極流を伴った天体の可能性が高く、今後の詳細な観測のための有用な候補となる。

出願者の博士論文に示された以上の結果は、広視野赤外偏光観測が星形成領域の観測によって有効であることを、自ら装置の開発を行ない、これを使った自身の観測的研究によって示したもので、こ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。これにより審査委員会は、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。