

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21540240

研究課題名（和文） 近赤外星間偏光の波長依存性の決定

研究課題名（英文） Determination of the wavelength dependence of interstellar polarization in the near-infrared

研究代表者

長田哲也 (NAGATA TETSUYA)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：80208016

研究成果の概要（和文）：近赤外波長域における偏光を、精度良く、また、多様な領域（銀河系の中心方向・銀河面・星形成領域）の観測によって、求めることができた。これにより、星間物質のうちの固体微粒子成分（星間ダスト）の性質に、強い制限をつけることができる。また、これらの観測を通して、偏光をもたらす星形成領域での磁場の性質や、それぞれの領域の標準光源となりうる天体に関して空間分布・エックス線での放射・変光星の性質やその年齢などについてもさまざまな新しい知見を得た。

研究成果の概要（英文）：In the near-infrared wavelengths, polarization measurements with high accuracies have been achieved for astronomical objects in a variety of regions (toward the Galactic center, Galactic plane, and star forming regions), which in turn constrains the dust components in the interstellar medium quite strongly. Also, we have made new findings about the magnetic field in the star forming regions, plus new findings about the spatial distributions, x-ray emission, variable star properties and their ages, in these observations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：赤外線天文学

科研費の分科・細目：天文学、天文学

キーワード：光学赤外線天文学、星間偏光、星間減光、星間物質、銀河系、星間磁場、星間塵、波長依存性

1. 研究開始当初の背景

(1) 星間ダストの性質を求める際に、ダストからの放射だけでなく、その背後にある光源が受ける吸収散乱の波長依存性を用いるこ

とがなされてきた。しかしながら、天文学では距離を正確に求めることが困難で、そのために星間減光の量を正確に決定することは一般にきわめて難しい。歴史的には、

Trumpler が 1930 年に、散開星団の見かけの大きさから求めた距離と、星団メンバーのスペクトル型および見かけの等級から求めた距離とを比べて星間減光の存在を決定づけたが、現代でも、かなり大きな不定性が距離にいつまでも残るのが実情である。とは言うものの、減光には波長依存性があり、星間赤化の量は比較的容易に正確な決定ができるため、赤化量から減光量を推定することはできる。

(2) そこで、星間減光の研究で重要な量「選択減光比」 R が求められてきた。なぜこれが重要かと言うと、この比さえ求めれば星間赤化だけではなく星間減光の量が計算できて、星間減光の波長依存性がはじめて求められるからである。別の言い方をすると、教科書にも載っているグラフ ($E(\lambda-V)/E(B-V)$ を波長 λ またはその逆数の関数として表わした曲線) での星間減光のゼロ点を縦軸に打つことができはじめて、このグラフがダストの吸収・散乱の光学特性計算値や実験値と比較できるようになるわけである。

(3) われわれは、「銀河系中心の巨星の空間分布が、狭い視線方向では一定であり、銀河系中心を中心としている」という(合理的な)仮定のみから、色等級図上での傾きで直接 $A(K)/E(J-K)$ を求め、0.5 程度の値を出したが、これをさらに進めて、銀河系中心以外の視線方向での減光則(減光の波長依存性)を決定することを、星間偏光を使って行ないたいと考えた。すなわち、通常赤化を使った減光決定は波長間の減光の差を使うのに対し、偏光は直交した 2 つの偏光成分の差を使うため、偏光の波長依存性を用いれば、絶対的な減光則も推定することができるのである。

2. 研究の目的

(1) 星間物質のうちガス成分に関しては、電波による中性水素や分子スペクトルの観測が研究に飛躍をもたらした。同様に、ダスト成分に関しては、放射の観測が「あかり」衛星のめざましい成果など遠赤外線波長域を中心として進んで来てはいるが、ガスの線スペクトルが持つ情報量に比べてダストの連続スペクトルからは物理状態や運動が詳しくわからないという問題点がある。ダストの性質を、近赤外波長域での偏光を観測することによって精度良く求めることをねらう。

(2) そのために、近赤外域 J、H、K バンドでの星間偏光を、銀河系の中心方向・銀河面のさまざまな方向・星形成領域で測定し、その波長依存性等の性質を精密に決定する。広視野の近赤外偏光撮像観測からきわめて多くの星を背景光源として用いることにより、統計誤差を小さくすることができると期待で

きる。これまで、星形成領域では、多くの星を背景光源とした NICE 法・NICER 法といった赤化の測定によって星間物質の柱密度が求められるようになってきているが、その基礎となるダストの性質に踏み込む観測を行なうことが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 南アフリカ天文台サザーランド観測所にわが国が設置した赤外線望遠鏡 IRSF と 3 色同時撮像装置 SIRIUS に偏光測定ユニット SIRPOL (図 1) を搭載し、銀河系の中心部と銀河面に沿った領域および星形成領域の J、H、Ks バンド偏光観測を行なった。

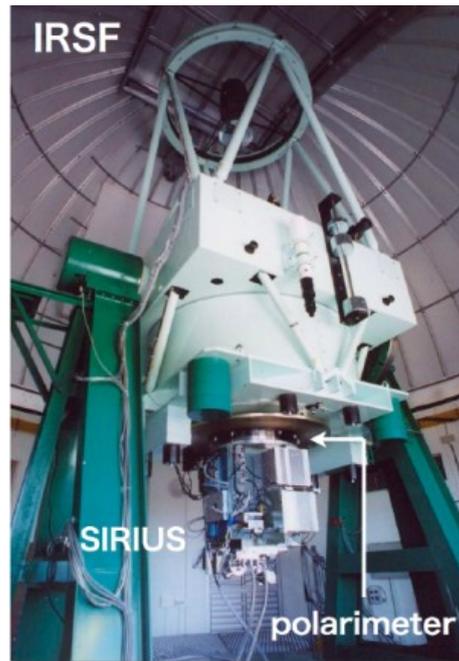


図 1 南アフリカ天文台の、口径 1.4m IRSF 望遠鏡と偏光観測装置

(2) また、すばる望遠鏡に搭載した観測装置 CIAO と偏光計を使った銀河系中心部の巨大ブラックホール天体候補 SgrA* の偏光観測のデータから、フレアにともなう偏光の変化をとらえた。

4. 研究成果

(1) まず、SgrA* の偏光観測では、220 分にわたる連続観測から 3 度の増光現象をとらえ、その間に明らかな偏光の変化を観測した。偏光度は K バンドで 20% の増加を示し、シンクロトロン放射起源とするモデルと整合する。さらにこのモデルとの比較を進めると、ガスがディスク状に落ち込むというモデルの場合、このディスク面は視線方向とかなり傾いている(エッジオンに近い)ことが明らかになった。

(2) また、銀河系中心部 2 平方度の 9000 あまりの X 線源のうち、5184 個について近赤外線との同定を行なった。これらのうちいくつかは、星間減光を求める際の標準光源として使える可能性がある。

(3) 銀河中心部の天体について、変光星の同定を行なった。これらもまた標準光源として使える可能性がある。

① ミラ型星については、1/6 平方度で 1364 個の長周期変光星を同定したのち、視線方向毎にきわめてムラのある減光をつぶさに求めることができた。スピッツァー宇宙望遠鏡で検出された中間赤外線源との同定も行なった。

② IRSF と SIRIUS による銀河系中心部の繰り返し観測のデータを使って、セファイド変光星を求め、星形成の歴史を求めた。従来の方法よりも時間精度がきわめて高い導出と考えており、セファイド変光星は銀河系中心部の標準光源となり得るものである。その結果、7000 万年前から 3000 万年前にはあまり星が作られず、今から 2500 万年前あたりで活発に星が作られたことがわかった。銀河の中心で起こる星形成の歴史に新たな視点で迫るものであると同時に、なぜ星の作られるペースが変化するのか、星を作る原料となる星間物質がどのように銀河系中心に供給されるかなど、多くの謎を投げかけるものであり、Nature 誌に掲載された。

(4) 銀河系中心部のわれわれ自身の IRSF での観測とスピッツァー宇宙望遠鏡の観測結果を組み合わせ、近赤外線領域から波長 $8 \mu\text{m}$ にわたる星間減光の波長依存性を導出した。研究開始時と同様に、単純な仮定のもとに、

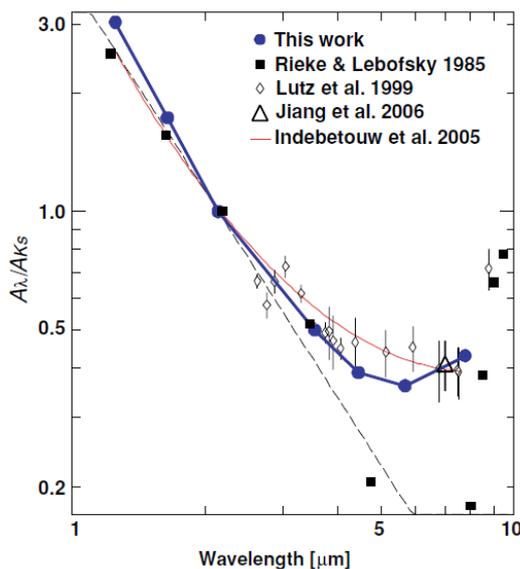


図 2 赤外域の星間減光波長依存性

レッドクランプ星での色等級図での傾きの決定をこれらの波長にまで広げ、J バンドから中間赤外域までにわたって図 2 のような減光の波長依存性を得た。1985 年以來のべき乗則の延長ではなく、最近他の方法で求められた減光の平坦化が見てとれる。また、近赤外 JHK 波長域では銀河系中心部に対しては波長の -2.0 乗で落ちる減光則を確立することもできた。

(5) 銀河系中心部の広い領域の偏光観測では、減光を多く受けた点源とやや減光の少ない点源の差を利用して、中心部数百パーセクでの磁場によって向きがそろえられた星間ダストに起因する偏光成分を導き出した。銀河面から 0.4 度(投影した距離で 60 パーセク)以内では磁場が銀河面に平行に走り、それ以遠では磁場が銀河面に垂直方向へと向きを変えている(図 3)。従来、電波や遠赤外線による観測で個別の領域で磁場の方向が決定され、その非一様性が指摘されてきたが、広い領域を観測してこのようなスムーズな磁場方向の変化をとらえることができたのは初めてである。

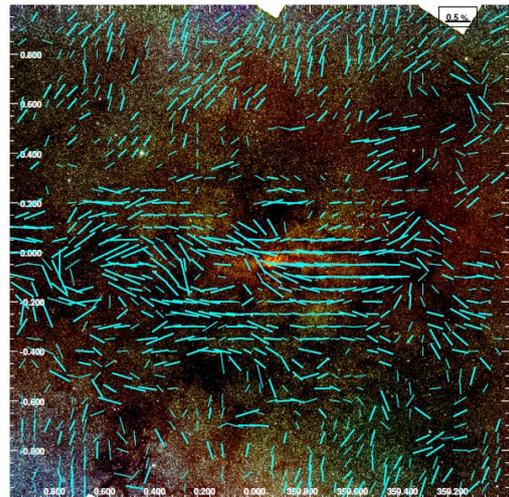


図 3 銀河系中心部の偏光ベクトル

(6) 銀河系中心部の高解像度データからは、Herbig Be 星クラスの、年齢 10^6 年程度で周囲にダスト円盤を持つと考えられる天体の候補を選び出し、日本天文学会で発表した。これらの星は、銀河系中心部の若い星の起源の議論に重要なカギとなると考えられる。

(7) 近傍の活発な星形成領域の偏光観測を行なった。

① ヘビ座の分子雲コア領域の近赤外線偏光観測から、波長依存性を用いて点源の偏光が磁場によるものと決定した。偏光の方向から磁場構造が砂時計型をしていることを見出

し、磁場によって分子雲の収縮を支える力のつり合いの議論からその強さを推定し、 $100 \mu\text{G}$ 程度であると見積もった。これは、磁気的には星形成に対して不安定であることを示唆する値であり、活発な星形成活動と整合する結果である。

② さらに、その近傍の星形成領域、へび座南領域の近赤外線偏光観測から、HバンドとKsバンドの点源の偏光を用いて磁場の方向を決定した。へび座南領域では、大局的な磁場がメインフィラメントと直交しており、さらに、メインフィラメントに直交するサブフィラメントとこの磁場とは平行であることを見出した。もともとあった大局的な磁場がメインフィラメントの重力収縮のプロセスをかなりコントロールしていること、そしてChandrasekhar-Fermi法を適用すると磁場強度は数 $100 \mu\text{G}$ であると見積もった。

③ NGC2264 領域でも近赤外線偏光観測を行ない、星間偏光を求める際に問題となる赤外線反射星雲での散乱による偏光を注意深く選り分け、314個にのぼる点状の赤外線源を近赤外線の2色図で分類した。そして得られた星間偏光から、中心部と周辺部とで磁場の方向がやや異なること、C-F法から磁場強度がおおよそ $100 \mu\text{G}$ であることを求め、ApJ誌に発表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

① Kwon, Jungmi; Nagata, Tetsuya (9 番目) ほか全 12 名 Complex Scattered Radiation Fields and Multiple Magnetic Fields in the Protostellar Cluster in NGC 2264
The Astrophysical Journal, Volume 741, Issue 1, article id. 35 (2011). 査読有
DOI:10.1088/0004-637X/741/1/35

② Matsunaga, Noriyuki; Nagata, Tetsuya (9 番目) ほか全 9 名 Three classical Cepheid variable stars in the nuclear bulge of the Milky Way
Nature, Volume 477, Issue 7363, pp. 188-190 (2011). 査読有
DOI:10.1038/nature10359

③ Nishiyama, Shogo; Nagata, Tetsuya (11 番目) ほか全 11 名 Magnetic Field Configuration at the Galactic Center Investigated by Wide-field Near-infrared Polarimetry: Transition from a Toroidal to a Poloidal Magnetic Field

The Astrophysical Journal Letters, Volume 722, Issue 1, pp. L23-L27 (2010). 査読有
DOI: 10.1088/2041-8205/722/1/L23

④ Nishiyama, Shogo; Nagata, Tetsuya (7 番目) ほか全 7 名 Interstellar Extinction Law Toward the Galactic Center III: J, H, Ks Bands in the 2MASS and the MKO Systems, and 3.6, 4.5, 5.8, 8.0 μm in the Spitzer/IRAC System
The Astrophysical Journal, Volume 696, Issue 2, pp. 1407-1417 (2009). 査読有
DOI:10.1088/0004-637X/696/2/1407

[学会発表] (計 5 件)

① 義川達人ほか「偏光観測を用いた銀河系中心におけるYSO探査」
日本天文学会 2011 年春季年会、2011 年 3 月 17 日 (認定)、筑波大学

② 西山正吾ほか「近赤外線偏光観測による銀河系中心部の磁場構造の研究」
日本天文学会 2009 年秋季年会、2009 年 9 月 14 日、山口大学

[その他]

報道関連

銀河系中心部での近赤外線によるセファイド変光星の発見は、京都新聞 (2011 年 8 月 25 日 26 面)、日本経済新聞 (8 月 25 日夕刊 14 面) および毎日新聞 (8 月 29 日 4 面) に掲載されるとともに、フジテレビ、さまざまなウェブサイトでも取り上げられた。

ホームページ

http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~nagata/Gcpol_lambda/index.htm

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長田 哲也 (NAGATA TETSUYA)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 80208016