

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 4 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21740142

研究課題名（和文）宇宙望遠鏡の赤外データを用いた、可視域では見えない赤外線星の研究

研究課題名（英文）An observational study on infrared stars using space telescope data

研究代表者

板 由房 (ITA YOSHIFUSA)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：30392814

研究成果の概要（和文）：日本の赤外線天文衛星「あかり」と、NASA が打ち上げた Spitzer 宇宙望遠鏡のデータを使い、大小マゼラン雲中の赤色巨星に関して主に次のような事柄を明らかにした。1. 大マゼラン雲中のミラ型星の周期光度関係には、周期 450 日程度の所で折れ曲がりがある。2. ミラ型星の星周減光則について初めて定量的な議論を行い、短周期ミラと長周期ミラでは星周減光則が異なる事、そして長周期ミラの星周減光則が、星間減光則に近づいてゆく事。前者の発見は天体の距離をより精度良く求める事に役立つ。また、後者の発見は赤色巨星が銀河の中の物質循環にどのような形で貢献しているかを知る手がかりとなる。

研究成果の概要（英文）：Using data obtained by Japanese Infrared Satellite AKARI, and Spitzer space telescope launched by NASA, we studied the period-luminosity (PL) relations and circumstellar extinction law of the Mira-like variables in the Large Magellanic Cloud. We discovered following things: (1) the PL relations have a kink, and the period at which the break occurs is about 450 days, (2) circumstellar extinction law of short period Mira-like variables differs very much from that of interstellar extinction law and the circumstellar extinction law gets similar to the interstellar extinction law with increasing pulsation periods.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：光学赤外線天文学、恒星物理学

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、地上の赤外観測装置を用いて星の明るさの時間変動(脈動)を調べ、脈動の周期や振幅といった脈動パラメータ別に天体を分類するという手法を用いて、星の進化と脈動の関係を初めて系統的に明らかにす

る等の成果をこれまでに挙げてきた(Ita et al., 2004, MNRAS, 347, 720)。この研究の結果、可視域では見えずに赤外で明るく輝く赤外線星を数百天体新しく発見し、その脈動の様子を世界で初めて大規模にデータベース化する事に成功した。貴重な赤外観測装置を

用いて時間変動を調べた研究は観測時間の制約から世界に類が無く(申請者は過去、のべ1.5年間に渡って南アフリカ天文台に滞在し赤外観測装置を占有的に使用して観測を行った)、非常にユニークなデータベースとなっている。

2. 研究の目的

赤外線星は、太陽程度または太陽の数倍程度の質量を持った星(以下、中小質量星)が死ぬ直前の姿である。中小質量星が進化の末期段階に入ると、その外層大気が膨れあがって表面温度が下がり、脈動による力学的エネルギーで外層大気中の物質を星間空間に吹き飛ばす。これを質量放出と言う。放出された物質(=ダスト)により星の周りにダストシェルが形成される。この星周ダストシェルが、星が輻射する可視光を吸収・散乱する一方で、自身は赤外域に輻射を出すために赤外線星として観測されるのである。だが、地上からの観測では、地球大気が邪魔をするため、赤外線星の周りに形成されたダストシェルが、いったいどのような物質から成り、どれだけの量の物質があるかを知るデータを得る事は出来なかった。

そこで本研究では、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部が主体となって2006年2月に打ち上げた日本初の本格赤外線観測衛星「あかり」と、NASAが「あかり」に先んじて2004年に打ち上げたSpitzer宇宙望遠鏡によるスペースからの赤外線観測データを、これまで申請者が取得してきた地上観測データに足す事によって、ダストの種類を明らかにし、その量を定量的に計算する事が目的とする。その理由は、星が進化する過程で、どのような物質を内部でプロセスするかを知る事ができるだけでなく、星間空間の物質循環と、宇宙の物質進化における赤外線星の役割を知る上で重要であり、最終的には、私達の体を形成する炭素や窒素、及び身の回りの物質はいったいどのように生成されてどこから来たのか、という根本的な問いに答える事につながるからである。

3. 研究の方法

「あかり」衛星及びSpitzer宇宙望遠鏡によって大マゼラン銀河の広い領域が、地上からは観測出来ない近～中間赤外域(3-25 μ m)で、かつてなかった高感度と空間分解能で撮像観測された。これらの貴重な宇宙からの観測データを用いて、進化末期の赤外線星からの質量放出のメカニズム、過程を調べる研究を行う。

撮像データのみでは赤外線星の星周物質が何か解らず、光学的&化学的性質が未知なためにその量を計算する事ができない。そこで、あかりの分光データが生きてくる。星周ダス

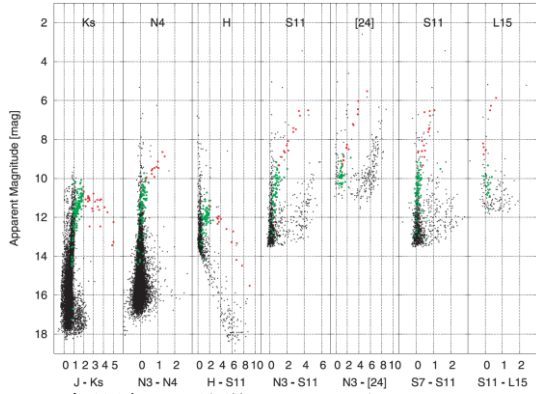
トには大きく分けて、星の外層大気が酸素過多の環境で形成される酸化アルミ系及び珪酸塩(シリケート)系ダストと、炭素過多の環境で形成されるグラファイト、シリコンカーバイド等の炭素系ダストがあり、それぞれが特徴的なスペクトルを示す。あかりの2.5-5 μ mのスペクトルデータを丹念に解析し、一つ一つの赤外線星について、その星周化学環境を調べる。また、上記のスペクトルを見ることで星周化学環境を知ると、ダストの光学的&化学的性質(Q)も解るので、その情報を用いて、今度は物質の「量」を計算する。これには前述の、申請者の地上観測データとSpitzer衛星のデータが生きてくる。星周物質の量(M)と、星の明るさ(L)の間には、上記のQを使用して簡単な計算から、 $M \propto Q \cdot L^{(3/4)}$ という関係がある事が予想されている。これまでは、よしんば何らかの方法でQが解ったとしても、Lが不明である事が問題であった。過去の観測装置では感度が足りずに、赤外線星の研究は我々の銀河系中の天体に限られていたが、それらまでの距離の推定に非常に大きな誤差が含まれており、Lが不明だったのである。この点、あかりとSpitzer望遠鏡の登場により、距離が解っている大マゼラン銀河中の赤外線星が観測され、本当のLを知った上で議論ができるようになった。更に、代表者自身の研究で赤外線星のほぼ全てが脈動しており、その周期は約300から1000日程度である事が解っている。驚くべき事に、その多くは脈動の1周期の間に星の半径と温度が大きく変化し、その結果、星の明るさがLの最暗時と最明時で1000倍近くも変化する。この脈動によるLの時間変化も、星周物質の量を正確に計算する事を難しくしていた。一度観測しただけでは時間変化するLの何処を観測したか解らなかったのである。そこで、自身の地上観測データ、及びSpitzer衛星による観測データを利用して「時間平均された明るさ」を計算し、その平均的な明るさ<L>を用いる事によって、初めて正確に星周物質の量を計算できる。

4. 研究成果

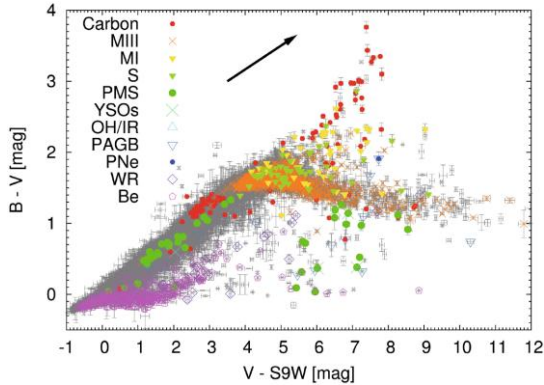
「あかり」衛星を用いて、地上からでは観測出来ない中間赤外域で大小マゼラン雲の広い領域を撮像及び分光観測した。宇宙からの貴重な中間赤外データは、星が進化する過程でどのような物質をどれだけ放出するかを調べる上で重要なデータである。この観測データを使用して、まずは小マゼラン雲の撮像データを解析して点源カタログを作成し、論文の発表と同時にカタログを公開した。この点源カタログは本研究のみの利用にとどまらず、広い分野の様々な研究者に使用されている。大マゼラン雲の観測データ

も解析を行い、同様に点源カタログの作成を行った。このカタログは現在準備中の論文発表と同時に公開予定である。カタログを用いて下図のような色等級図を書くことにより、多くの質量放出星を検出することができた。赤い点が小マゼラン雲中の質量放出星を示す。

次に、「あかり」衛星の中間赤外全天サーベイカタログを用いて、銀河系内にある赤外線



星の赤外域での特徴を調べ、論文にまとめて発表した。下図のように、宇宙望遠鏡で得た



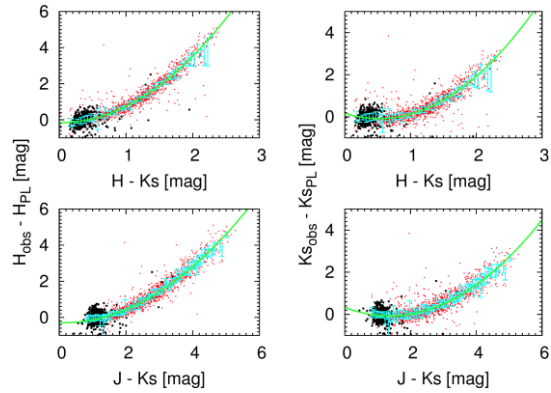
赤外データを足した二色図を作ることにより、天体の分類が有効にできることがわかった。このため、我々の銀河中に存在する赤外線星とマゼラン雲中の赤外線星を比較する事によって、星の進化や質量放出における環境効果を調べる事が可能となった。

次に、南アフリカ天文台の赤外線観測装置を用いて2000年12月より現在まで観測を続けてきた星の明るさの時間変動を調べた観測の膨大なデータをデータベース化した。このデータベースも2012年中に発表予定の論文と共に全世界に公開する。

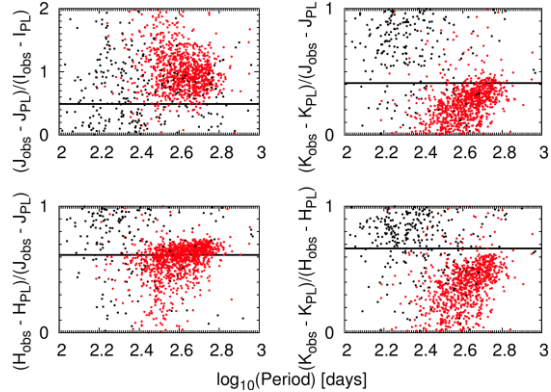
次に、赤外領域でのミラ型星の周期光度関係を調べた。その結果周期が450日程度の所で周期光度関係に折れ曲がりがあることを発見した。この折れ曲がり、ミラ型星のうち中程度の質量を持った物がコアの周りで炭素燃焼を始める Hot bottom burning によって光度が上がるからだと考えられる。

次に質量放出について調べた。ミラ型星が質量放出を起こした結果、星周にダストシェルが形成される。星から出た光はそのダストシ

ェルで減光を受けるので、我々はその減光を受けた光を観測することになる。この星周減光をどれだけ受けているかというのはこれまで見積もる方法が無かったが、星周減光の強さと天体の近赤外の色との関係性を調べた結果、下図のように強い相関が見られたので



定式化し、はじめて定量的に見積もることができるようにした。今後は、導出した式を使う事によって、近赤外の色から星周減光の強さを見積もることができる。これらの結果は、国立天文台主導の VERA 計画によるミラ型星



の周期光度関係校正にも大きな影響を与える。

最後に、星周減光則について研究を行った。星間空間に存在するダストの大きさや種類によって、星間減光則が天域によって異なる事はよく知られている。この星間減光則と同じように、星周減光則はどのようになっているのだろうか？というのが疑問の発端である。もし両者が同じような関係にあるならば、星間空間に存在するダストと星周空間にあるダストは似たような性質を持っているという事になる。下図のように、ミラ型星の変光周期と、星周減光量の関係をプロットしてみると、周期が短い所では星周減光則は星間減光則(図で黒い太線でかかっているのが星間減光則で期待される量)とはかけ離れている事がわかった。更に興味深い事に周期が長くなるにつれ、星周減光則が星間減光則に近づいて行く事も初めて明らかになった。質量放出される物質が星の進化と共に変化するのか？変化するとすれば、どう変化していくのか？は謎であったが、多波長で星周減光の

様子を調べる事によって、星が進化すると共に、放出されるダストの性質(種類、大きさ等)が変化していく事が初めてわかった。これらの発見を論文としてまとめ、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 5 件)

1. Ita Yoshifusa, Matsunaga Noriyuki, "Period-magnitude relation of Mira-like variables in the Large Magellanic Cloud as a tool to understanding circumstellar extinction", 査読有, MNRAS, 412 巻, 2011 年, 2345 頁-

2. Ita Yoshifusa et al., "AKARI's infrared view on nearby stars. Using AKARI infrared camera all-sky survey, 2MASS, and Hipparcos catalogs", 査読有, A&A, 514 巻, 2010 年, 2 頁-

3. Ita Yoshifusa et al., "AKARI Near- to Mid-Infrared Imaging and Spectroscopic Observations of the Small Magellanic Cloud. I Bright Point Source List", 査読有, PASJ, 62 巻, 2010 年, 273 頁-

4. Ita Yoshifusa et al., "IRSF/SIRIUS JHK Near-Infrared Variable Star Survey in the Magellanic Clouds", 査読無, AIPC, 1170 巻, 2009 年, 321 頁-

5. Ita Yoshifusa et al., "AKARI IRC survey of the Large Magellanic Cloud: A new feature in the infrared color-magnitude diagram", 査読無, IAUS, 256 巻, 2009 年, 9 頁-

[学会発表] (計 6 件)

1. Yoshifusa Ita, "IRSF/SIRIUS near-infrared survey of variable stars in the Magellanic Clouds", 国際研究会 The Mass Loss Return from Stars to Galaxies, 2012 年 3 月 28 日, Baltimore, USA

2. Yoshifusa Ita, "AKARI IRC survey of the Large Magellanic Cloud:

A brief description of the AKARI Large Magellanic Cloud Point Source Catalog", 国際研究会 The Second AKARI Conference:

Legacy of AKARI: A Panoramic View of the Dusty Universe, 招待講演, 2012 年 2 月 27 日, Jeju, South Korea

3. 板由房, "非常に明るい星のモニター観測の勧め", 研究会日本の新たな広視野カメラを用いた銀河系探査の展望, 2011年12月5日, 日本、東京

4. Yoshifusa Ita, "Light Curve Analyses of Galactic Mira-like Variables with Fourier Decomposition Technique", 国際研究会 The Hong Kong Workshop on Evolved Stars and Astroph

ysical Masers, 2011年11月7日, Hong Kong, China

5. Yoshifusa Ita, "IRSF/SIRIUS near-infrared variable star survey in the Magellanic Clouds", 国際研究会 Physical and chemical aspects of late stages of stellar evolution, 2011年8月29日, Warsaw, Poland

6. 板由房, "KWFCによるバイナリ RR Lyr型星探索", 研究会木曾シュミットシンポジウム, 2011年7月13日, 長野県、日本

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板由房 (ITA YOSHIFUSA)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号 : 30392814

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :