

論文の内容の要旨

論文題目 : Variable stars in the Large and Small Magellanic Clouds
(大・小マゼラン銀河中の変光星)

氏名 : 板由房

本論文の目的は、大・小マゼラン銀河中の赤外線星探査及び、星の光度変化の観測を通して、星の変光現象を系列別に分類し、恒星進化の段階と結びつけて考える事である。

太陽の0.8から8倍程度の質量をもった中小質量星は全て赤色巨星へと進化し、その末期に大部分が脈動変光を伴った激しい質量放出を起こす。その後、あるものは惑星状星雲となり最終的には白色矮星となって一生を終える。本研究では特に、中小質量星の赤色巨星段階に注目した。この赤色巨星段階は、先に述べた脈動変光や質量放出以外にも、振動モードのスイッチ、レーザー放出、酸素過多から炭素過多への表面化学組成の変化等、様々な変化が直接観測される進化段階である。

この様な興味深い現象が観測されている反面、中小質量星の赤色巨星進化段階には依然として未解決の問題が多く残っている。例えば、上に挙げた全ての現象に対して、その機構や要因が不明のままである。特に、自身の進化に大きく影響する質量放出現象は難問である。過去から多くの研究がなされ、質量放出と星の脈動の間には強い因果関係がある事がわかってきた。そこで本研究では、星の変光現象を質量放出の指標として注目する事にした。

MACHO や OGLE、EROS 計画等に代表されるように、1990年代に豪州や欧米の各国が競うように重力レンズ天体探査を始め、その副産物として大・小マゼラン銀河中から数万星もの可視変光星が見つかった。これら可視の観測は、赤色巨星の中では進化がそれほど進んでいない低質量放出変光星を検出するには大変効率的である。しかし、これら可視の観測からは、更に進化の進んだ赤外変光星が抜け落ちている。赤色巨星は外層が膨れあがって表面温度が低い。加えて、進化が進むと、質量放出の結果、星周にダストシェルが形成され、星が放射する波長の短い光を吸収/散乱し、ダストは赤外域に輻射を出すようになる。このため可視域では観測困難となり、赤外装置を用いた観測が必要となる。

実際に、1983年のIRAS衛星、1995年のISO衛星、1996年のMSX衛星による中間・遠赤外観測の結果、星周ダストに覆われた赤外赤色巨星が数多く見つかった。更に、近年のDENISや2MASS等の近赤外掃天観測によっても赤外赤色巨星が大量に見つかっている。しかし、これらは全て1度きりの観測で、星の明るさの時間変化を観測できていない。赤外赤色巨星の90%近くは変光星であり、多くは明るさが最大/最小で500倍以上も変化する。このような変光星は、1度観測しただけでは平均的な明るさがわからないのと、そもそも変光周期を知る事ができない。星の平均的な明るさや変光周期は星の内部構造を如実に反映している物理量であり、星の進化を定量的に調べる上で重要な観測量であるが、このような赤外変光星の研究は、貴重な赤外装置を占有し更に膨大な望遠鏡時間を必要とする事からこれまであまり進んでいなかった。

そこで本研究では、これら過去の研究の欠落部分を埋めるべく、赤外観測装置を用いて大・小マゼラン銀河中の星の長期間モニターを実行した。観測は2000年12月に南アフリカ天文台サザランド観測所で開始し、著者はのべ1年以上にわたり現地に滞在して観測を行なった。この結果、重力レンズ計画で見つかった可視変光星の検出に留まらず、激しい質量放出をしている赤外赤色巨星からも変光を検出し、赤色巨星進化段階の初期から末期を全て網羅した変光星の完全サンプルを得た。星の進化を議論する上で、その絶対光度(=距離)の情報は必要不可欠である。その点で、大・小マゼラン銀河までの距離は既知であり、両銀河に属する星の絶対光度が正確に解る。そのため、それらの大規模なモニター観測を行なえば、大量のサンプルを使って絶対的かつ統計的に星の進化と変光を結びつけて考える事ができる。このようなユニークな観測が実現したのは、サザランド天文台に赤外サーベイ観測専用望遠鏡が設置され、モニター観測に必要な観測時間が確保できたためである。実際に、赤外でのこれほど大規模なモニター観測は他に例が無い。本論文では、上記の観測で得られたデータの解析に基づき、以下の新たな結果と知見を得た。

1. 現在公開されている近赤外データのどれよりも深く、かつ高解像度のデータを大・小マゼラン銀河で得た。また、2000年12月から現在までモニター観測を続けた結果、大・小マゼラン銀河から約2万星の変光星を検出した。特に、可視では観測困難な赤外変光星を約400星発見し、変光星の完全カタログを得た。
2. 中小質量星の巨星進化段階を細かく分類すると、赤色巨星(RGB)、漸近赤色巨星(AGB)の2段階に分けられ、RGBからAGBへと、明るさや質量放出の程度を増しながら進化する。先に述べた可視の変光星はAGBの初期から中期の進化段階にある。また、質量放出をしている赤外変光星はAGBの末期段階にある。一方で、最も進化が進んでいないRGB段階の星は変光も質量放出もしていないというのがこれまでの通説であった。しかし、得られた観測結果はこの通説に疑問を投げかけるものであったため、その考察に基づき、RGB段階の星が変光している可能性を初めて指摘した。
3. 天文学において最も重要な物理量は距離であるが、ある天体までの距離を求める事は一般に難しい。距離を求める方法は様々な物が考案されている。最も正確な物は三角視差を使った純幾何学的方法だが、適用可能範囲が近傍星に限られる。これに代わる、より遠くの天体までの距離を測る方法として変光星の周期光度関係がある。特にセファイド変光星の周期光度関係は宇宙の距離尺度として有名である。本研究では大・小マゼラン銀河中で見つけた大量の変光星を用いて、変光星の周期光度関係を詳しく調べた。図1に大マゼラン銀河中の変光星の周期光度関係を示す。この結果、これまで知られていなかった新しい周期光度関係(図1のC'がそれ)を発見した。この発見によって、今まで誤った周期光度関係を使用して測られ

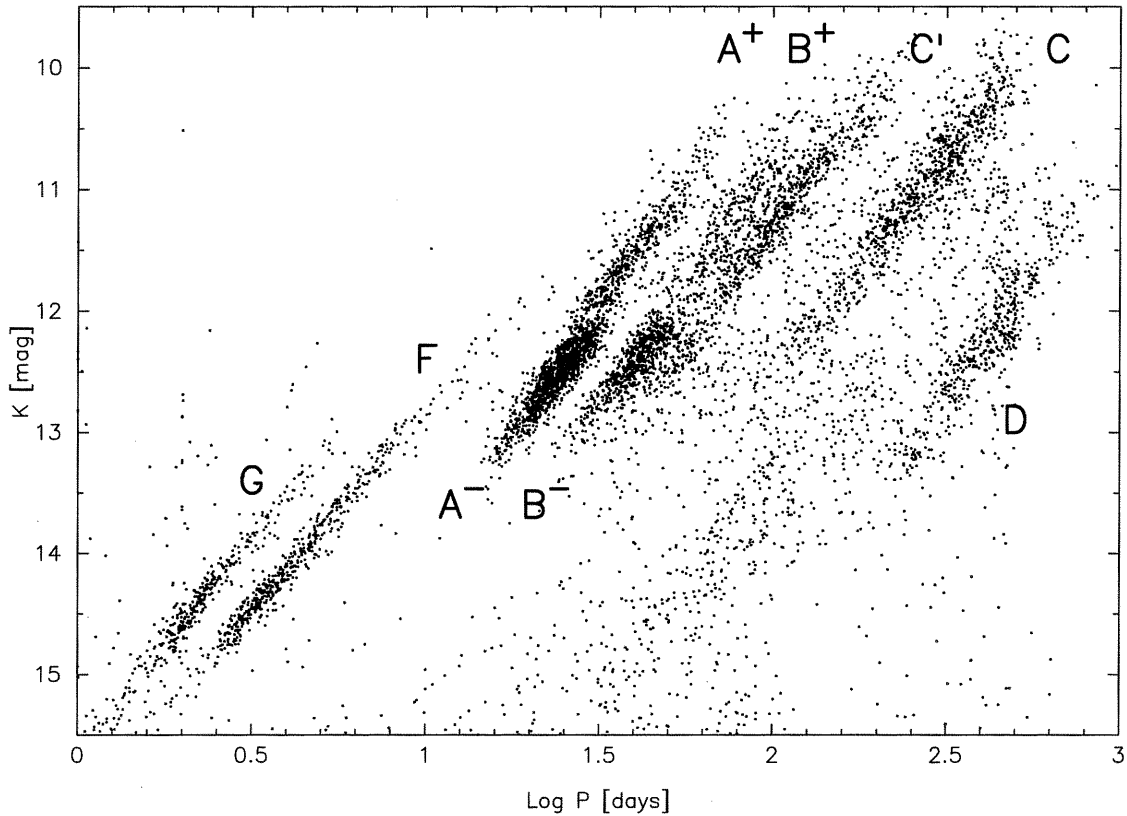


図 1: 大マゼラン銀河中の変光星の変光周期 P と K バンドでの明るさの関係図。 A^-, B^- は RGB 型変光星、 A^+, B^+ は半規則型変光星、 C, C' はミラ型変光星、 F, G はセファイド変光星がそれぞれ属している。D については正体が明らかになっていない。

ていた変光星までの距離を正しく測る事ができるようになった。また、大量のサンプルを活かして、これまでよりも統計的誤差の少ない周期光度関係を様々な進化段階/種類の変光星に対して導出した。

4. ミラ型変光星の振動モードについては、それが fundamental か 1st overtone mode かについて、観測的にも理論的にも数十年来議論が続けられてきた。筆者は、理論的な予測と得られた観測結果との比較を行い、図 1 の C と C' の周期光度関係にそれぞれ fundamental、1st overtone モードのミラ型星がのる事をつきとめた。この結果、どちらか一方のみではなく宇宙にはモードが違う少なくとも 2 種類のミラ型星が存在するという結論が観測的に得られ、長く続いていた議論に終止符を打った。
5. 変光星の振動モードの見極めは重要である。例えば、ハッブル望遠鏡を用いた観測によって遠方の銀河中にセファイド変光星を見つけ、その周期光度関係を利用して銀河までの距離を決めるケースでは、全てのセファイドが fundamental mode で振動していると仮定している。図 1 から明らかなように、セファイドには少なくとも fundamental (F 系列) と 1st overtone mode (G 系列) の 2 種類があり、その数の比は約 2 : 1 程度であるから、もしこの比が宇宙共通だとすれば上記の仮定は 30% 以上のケースで誤りである。この不定性は最終的にハッブル定数の決定精度に影響を及ぼしている。そこで、変光星を一つ見つけた時に、その正しい周

期光度関係を利用するため、変光星の種類や振動モードを見極める方法を確立する必要性が出てくる。本研究では、距離に依存しない様々な観測を、種類や振動モードが異なる変光星の間で比較した。その結果、周期-振幅図上でセファイドの振動モードを、そして、周期-色図上でミラ型星の振動モードを見分ける方法を確立した。

6. 現在、我々の銀河や遠方銀河に属する変光星の距離は、大マゼラン銀河で較正をした周期光度関係を使用して求められている。しかし、我々の銀河や遠方銀河と、大・小マゼラン銀河では平均メタル量に違いがあり(平均メタル量は、我々の銀河 > 大マゼラン銀河 > 小マゼラン銀河)である事がわかっている)、この違いが周期光度関係にどう影響するか未知であった。大・小マゼラン銀河の平均メタル量の違いを活かす事によってこの問題を調べる事ができる。本研究で得られた深い赤外データを利用する事によって、セファイド変光星とミラ型変光星の二つの種族の周期光度関係を一度に比較する事が初めて可能となり、周期光度関係には確かにメタル量依存性がある事を発見した。

本研究で得られた上記の結果に今後の Astro-F 衛星による中・遠赤外のデータが加われば、変光と質量放出の詳細な関係が明らかになる事が期待される。また、距離に依存しない観測を通じて変光星の種類、振動モードを見極める方法を確立したため、我々の銀河中の変光星の種類、振動モード別に分類する事が可能になった。我々の銀河中の星に対しては様々な観測手法と波長域でデータを取得できるため、今後観測が進むにつれて、変光を伴った赤色巨星進化段階の全容が明らかになってくるものと思われる。