

長いタイムスパンを持つオリオン・トラペジウムクラスターの赤外線撮像観測

伊藤 綾香 (法政大学大学院 理工学研究科)

Abstract

オリオン・トラペジウムクラスターは、地球に最も近い大質量星形成領域にある若い星団である。このクラスターは明るい星雲（オリオン大星雲）に埋もれており星間塵による吸収が大きいため、可視光では観測困難である。さらに若くても低質量の天体は低温であるため、年齢の若い（100 万年程度の）低質量恒星・褐色矮星・浮遊惑星の観測には赤外線波長が最も有効である。

本研究では南アフリカ天文台に設置された IRSF 望遠鏡で 2000 年・2005 年・2014 年に取得された赤外線画像（JHK バンド）を解析する。観測装置は、2000 年は SIRIUS、2005・2014 年は SIRPOL を使用している。約 15 年の長いタイムスパンによる取得画像の比較は、これらの装置を使用した観測において初めての試みである。

現在、各年のデータの処理を完了した段階である。測光誤差が 0.05 等以下の星を解析の対象とする。キャリアレーションは 2MASS のデータで行い、2000 年のデータの場合、41 星に対する等級差の標準偏差は J, H, K に対してそれぞれ、0.085, 0.048, 0.071 等であった。二色図上で塵によって赤化を受けた背景の星と、塵の円盤からの熱放射によって赤い色をしている若い星団の星を区別し、2000 年と 2014 年で百数十個同定できた。今後、各年のデータを比較することで得られる長いタイムスパンを利用して、色-等級図の解析から得られる明るさと変光の情報、さらに、固有運動のデータも合わせて、これらの星の性質を詳しく調べる。

1 Introduction

オリオン座の大星雲の中にあるオリオン・トラペジウムクラスターは地球に最も近い（約 1500 光年先の）大質量星形成領域である。このトラペジウムクラスターは銀河系に数ある星団の中でも若い星団であり、若い恒星・褐色矮星・浮遊惑星が主なクラスターメンバーである。このクラスターは明るい星雲（オリオン大星雲）に埋もれており星間塵による吸収が大きいため、可視光では観測困難で赤外線の観測が必要である。また、若い恒星であっても低質量な星は低温であるため、低質量星の観測には赤外線波長が最も有効である。この領域では太陽よりもずっと低質量で暗く、また近くに明るい恒星がない若い恒星・褐色矮星・浮遊惑星も観測できるはずである。これらの天体は深い赤外線画像を解析することで検出できると期待される。さらに、長いタイムスパン（約 15 年）における複数の画像を比較して、これらの天体の明るさ変化と固有運動を調べる。

2 研究の方法

2.1 用いるデータ

南アフリカ天文台に設置された IRSF (1.4m) 望遠鏡で撮像された赤外線波長の画像（JHK バンド）を解析する。観測装置（カメラ）は 2000 年は SIRIUS、2005・2014 年は SIRPOL で、それぞれ 1024 × 1024 素子検出器を使用している。SIRIUS とは 2000 年から運用された IRSF 望遠鏡専用の近赤外 3 色同時サーベイ用カメラである。視野は $7'.7 \times 7'.7$ ($0''.45$ /画素) である。SIRPOL とは 2005 年 12 月から運用されている近赤外線偏光撮像装置で SIRIUS に偏光器が付いたものである。視野は $7'.8 \times 7'.8$ である。観測波長帯は共に J バンド（中心波長 $1.25 \mu\text{m}$ ）、H バンド（ $1.63 \mu\text{m}$ ）および Ks バンド（ $2.14 \mu\text{m}$ ）である。

赤外線観測では空が明るく長時間の露出が出来ないため、短い積分時間で撮像した画像を足し合わせ長い露出時間を確保する。本研究では積分時間は 5-10

秒で露出時間は 2000 年は 50 秒, 2005 年・2014 年は 1600 秒である。また, 同じ位置で撮像すると画像がサチュレーションしたり, 観測装置へのダメージが大きいため, 少しずつ位置をズラしながら撮像するディザリングという方法が使用されている。

2.2 解析

2000 年の画像は IRAF を使用して手作業で処理を行った。2005 年・2014 年の画像には pyIRSF というパッケージを使用した。pyIRSF とは, 一橋大学の中島康先生が作成した IRSF 望遠鏡で撮像された画像を解析する Python スクリプトのパッケージである。2005 年および 2014 年の画像データはこのパッケージの処理が適用できる形式で観測が行われているのでこれを使用した。

観測画像を一次処理した後, 位置合わせと重ね合わせを行い測光観測を行う。その測光結果を 2MASS カタログを使ってキャリブレーション(補正)した後, 二色図と色等級図を作成する。

星は表面温度や塵の円盤の有無によって放射するスペクトル $f(\lambda)$ が異なるため, 色の情報(明るさの比)を使って星の種類を定めることが出来る。二色図上で, 星間塵によって赤化を受けた背景の星と, 元から赤い星団の星でかつ熱放射をしている(塵の円盤を持つ可能性のある)若い星の境界線を引くことによって, 目的とするトラペジウムクラスターのメンバーが求められる。その後, さらに色 - 等級図を作成することによって研究対象の星(今回だとトラペジウムクラスターのメンバー)の明るさの情報を得ることが出来る。これを各年のデータで作成し比較することによって変光や固有運動を調べる。

3 結果と議論

3.1 2000 年のデータについて

3.1.1 キャリブレーションと測光誤差

iraf の daofind を使用して画像中の天体の位置を検出した。その座標を ds9 上に表示した画像の上にプロットし, そこから視覚的にみて星雲に埋もれて

いる範囲と明らかに誤検出しているものを除いた後, 測光観測を行った。

キャリブレーションには IRAF の WCS(World Coordinate System) を使って画像に赤道座標を埋め込んだ後, 国立天文台の八木雅文先生が作成したカタログマッチングプログラムを使用した。2MASS カタログと測光結果の座標から位置を求め, 距離が ± 1 pix 以内の約 400 天体を同定した後, その中から 11 等より明るい天体を抜き出した。さらに同じ天体について 2 つ以上マッチングしてしまったものや視覚的にみて明らかにサチュレーションしている天体を除いた 41 天体をキャリブレーションに使用した。そのときのカタログに与えられている等級 (J_{2M}, H_{2M}, K_{2M}) と生の等級の差の平均値と標準偏差 は以下の値となった。

$$\begin{aligned} J_r &= M_J - 2.821 \quad (J_{,0} = 0.085) \\ H_r &= M_H - 2.649 \quad (H_{,0} = 0.048) \\ K_r &= M_K - 3.402 \quad (K_{,0} = 0.071) \end{aligned} \quad (1)$$

2MASS カタログ上の等級と観測等級の差と色の関係を JHK バンドそれぞれ最小自乗法を用いて係数は次のように求められた。

$$\begin{aligned} J_{2M} &= J_r + 0.0758(J_r - H_r) - 0.0716 \\ &\quad (J = 0.084) \\ H_{2M} &= H_r - 0.0393(H_r - K_r) + 0.0191 \\ &\quad (H = 0.048) \\ K_{2M} &= K_r - 0.1316(H_r - K_r) + 0.0631 \\ &\quad (K = 0.066) \end{aligned} \quad (2)$$

各バンドのキャリブレーション後の測光等級と観測等級の誤差の関係を図 1 に示す。等級の誤差は測光ソフト phot が出力する値である。グラフの X 軸は等級, Y 軸は観測等級の誤差を示している。従って, どのバンドにおいても暗い天体ほど測光する際の誤差が大きくなると言える。観測等級の誤差が 0.05 等以上あるものを除いた 398 天体を解析の対象とした。

3.1.2 二色図

これら 398 天体の二色図を図 2 に示す。二色図上の青点は論文 (J.Koornnef. et al. 1983) より引用

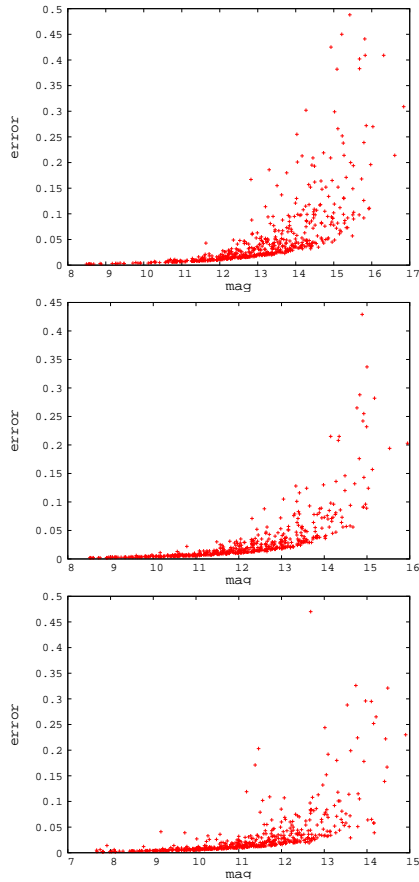


図 1: 観測等級とその誤差の関係 (上から JHK バンド)

したもので、左に枝分かれている部分が巨星、右に枝分かれている方が主系列星の色である。従って、青点の始点と終点を通る黒色の点線は塵によって赤化を受けた背景の星と元から赤い星団の星かを区別する境界線となり、右側の点線より右外側にある点が、熱放射をしている(塵の円盤を持つ可能性ある)若い星である。これより図 2 中の若い星の数は 196 天体であった。

3.2 2014 年のデータについて

3.2.1 キャリブレーションと測光誤差

2014 年 3 月 30 日に撮像された画像データにおいては pyIRSF パッケージを用いて各バンドに対して一次処理から測光までを行った。この観測に使用されて

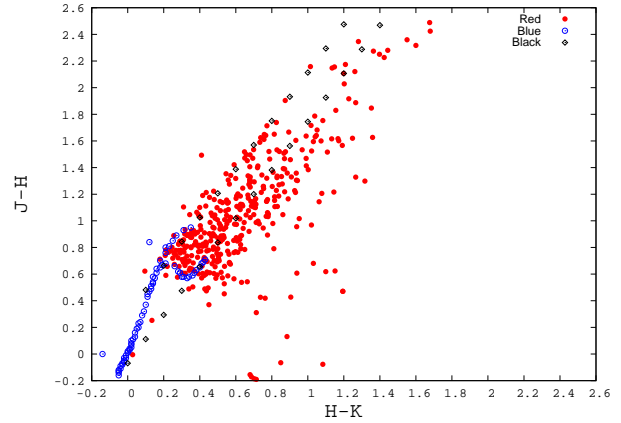


図 2: 2000 年データを用いた二色図

いる観測装置には偏光器が付いているため、偏光の情報を除くように足し合わされた Stokes parameter I の画像を使用する。

キャリブレーションにも一部 pyIRSF のパッケージを使用した。赤道座標を埋め込んだ後、同パッケージを使って座標が 1arcsec 以内の 527 天体を同定した。ここから J バンドで 13 等より明るいものを抜き出し、さらに同じ天体について 2 つ以上マッチングしてしまったものや視覚的にみて明らかにサチュレーションしている天体を除いた 51 天体をキャリブレーションに使用した。そのときのカタログに与えられている等級 (J_{2M}, H_{2M}, K_{2M}) と生の等級の差の平均値と標準偏差は以下の値となった。

$$\begin{aligned} J_r &= M_J - 1.501 \quad (J_{,0} = 0.125) \\ H_r &= M_H + 0.02 \quad (H_{,0} = 0.095) \\ K_r &= M_K - 1.496 \quad (K_{,0} = 0.087) \end{aligned} \quad (3)$$

2MASS カタログ上の等級と観測等級の差と色の関係を JHK バンドそれぞれ最小自乗法を用いて係数は次のように求められた。

$$\begin{aligned} J_{2M} &= J_r + 0.1567(J_r - H_r) - 0.1446 \\ &\quad (J = 0.124) \\ H_{2M} &= H_r + 0.0121(H_r - K_r) - 0.0054 \\ &\quad (H = 0.097) \\ K_{2M} &= K_r + 0.0093(H_r - K_r) - 0.0041 \\ &\quad (K = 0.088) \end{aligned} \quad (4)$$

各バンドのキャリブレーション後の測光等級と観測等級の誤差の関係を図 3 に示す。観測等級の誤差が 0.05 等以上あるものを除いた 406 天体を解析の対象とした。

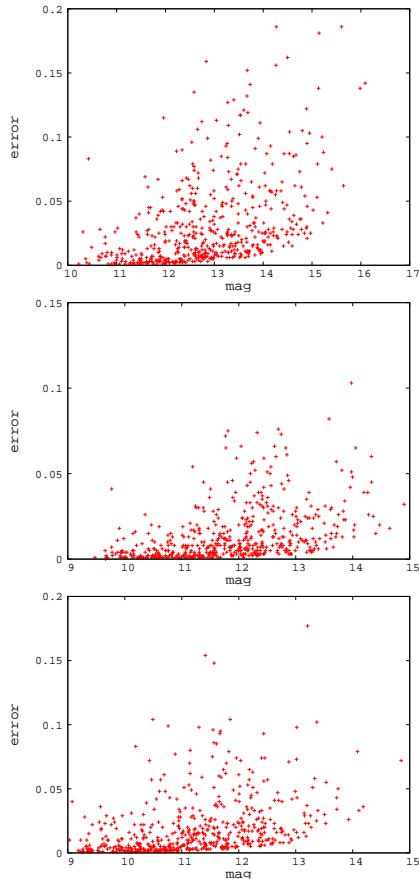


図 3: 観測等級とその誤差の関係 (上から JHK バンド)

3.2.2 二色図

これら 406 天体の二色図 (図 4) を示す。2000 年同様に、背景の星と星団メンバーである若い星を区別し、図 4 より 2014 年において若い星は 176 天体観測された。

4 結論

南アフリカ天文台に設置された IRSF 望遠鏡で 2000 年・2005 年・2014 年に取得されたオリオン・トラペ

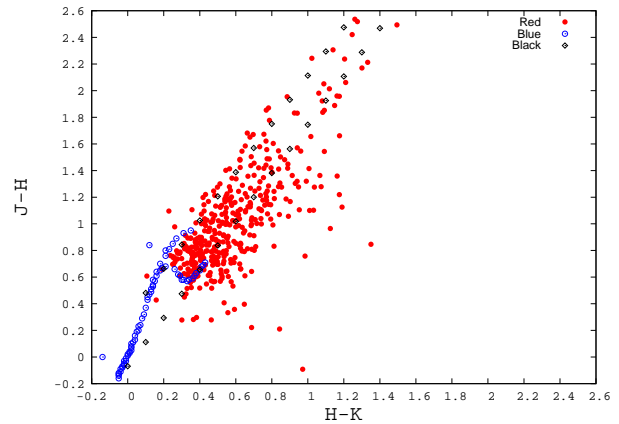


図 4: 2014 年データを用いた二色図

ジウムクラスターの赤外線画像 (JHK バンド) を解析した。測光誤差が 0.05 等以下の星を解析の対象とし、キャリブレーションは 2MASS のデータで行った。2000 年は、41 星に対する等級差の標準偏差は J, H, K に対してそれぞれ、0.085, 0.048, 0.071 等であった。2014 年は、51 星に対する等級差の標準偏差は J, H, K に対してそれぞれ、0.125, 0.095, 0.087 等であった。二色図上で塵によって赤化を受けた背景の星と、塵の円盤からの熱放射によって赤い色をしている若い星団の星を区別できる。これにより、2000 年では 196 天体、2014 年では 176 天体が若い星であると同定できた。さらに、ここから各天体を 1 つ 1 つ詳細に解析することによって、年齢が若い (100 万年程度の) 恒星・褐色矮星・浮遊惑星を含む多数の星団メンバーの性質を調べたり、とくに興味深い天体があればそれを個別に詳しく調べることができる。これらについては今後の課題とする。

謝辞

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

Reference

- J.Koornnef. et al, 1983, Astron,Astrophys.128,84-93
- John M.Carpenter et al, 2011, The Astronomical Journal,121:3160-3190