

## 2MASSを利用したケフェウス座領域の広域近赤外線減光量マップの作成

秋里 昂\*・土橋 一仁\*・井上 舞\*・大江 佑香\*・高木 知里\*

宇宙地球科学分野

(2008年5月26日受理)

AKISATO, K., DOBASHI, K., INOUE, M., OOE, Y. and TAKAGI, C.: A large-scale near-infrared extinction map of the Cepheus region using 2MASS. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Natur. Sci., **60**: 37-48. (2008) ISSN 1880-4330

### Abstract

We derived a large-scale near-infrared extinction map of the Cepheus region ( $90^\circ < l < 120^\circ$  and  $5^\circ < b < 25^\circ$ ) using the 2 Micron All Sky Survey Point Source Catalog (2MASS PSC). On the basis of the extinction map, we identified 110 dense cloud cores and measured their physical parameters such as the extinctions, color excesses, coordinates, and sizes. In this paper, we present a list of the dense cores identified in the Cepheus region.

**Key words:** 2MASS, interstellar extinction, interstellar molecular cloud

*Department of Astronomy and Earth Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan*

**要旨:** 本研究では、近赤外線のデータベースである 2MASS Point Source Catalogue を用いて、ケフェウス座領域の近赤外線減光量マップを作成した。近赤外線減光量マップが暗黒星雲の高密度領域をよく描き出すという特徴を利用して、分子雲コア探査を行った。その結果、110 個の分子雲コアを検出し、それらの物理量（座標・広がり・表面積・減光量・色超過）をリストにまとめた。また、個々の分子雲コアについて、すでに測定済みの可視光帯での減光量  $A_V$  と比較することにより、近赤外線減光量を  $V$  バンドでの減光量  $A_V$  に変換する係数を求めた。

### 1. はじめに

暗黒星雲は、星間分子雲の一種であり、背景光を吸収散乱する宇宙塵（ダスト）成分と低温の分子ガス成分によって構成されている。その視直径はさまざまで、直径  $1'$  角程度のグロビュールから、大きいものでは10度以上の広がりをもつ暗黒星雲複合体まである。質量の大部分は水素分子とヘリウムが占めており、減光に寄与するダストの質量は全体の1%程度である。暗黒星雲は、形成

される星以外に内部に熱源を持たず、外部からの光は高密度の宇宙塵に遮られてしまうため、極めて低温な天体である（典型的な温度は約10K）。このため、光の波長に電磁波を放射することができず、可視光では暗黒の減光領域として観測される。これが暗黒星雲と呼ばれる所以である。

暗黒星雲の中で特に密度の高い領域は分子雲コアと呼ばれ、恒星や惑星は分子雲コアが重力収縮して誕生すると考えられている。分子雲コアは暗黒星雲複合体中に点在

\* 東京学芸大学宇宙地球科学分野（184-8501 小金井市貫井北町4-1-1）

しているものが多いが、Bokグロービュールのように孤立して存在しているものもある。

東京学芸大学天文学研究室では、Digitized Sky Survey (以下DSS) を用いた暗黒星雲の全天カタログを完成させた (Dobashi et al. 2005)。DSSは可視光帯のデータである。この全天カタログにより、天の川における暗黒星雲の大局的な分布が明らかとなった。2007年現在、暗黒星雲探査の第2段階として Two Micron All Sky Survey (以下2MASS) を用いた暗黒星雲のカタログ作成が進められている。2MASSは近赤外線 (1~3 $\mu\text{m}$ ) のデータであり、可視光に比べて星間物質による吸収・散乱の影響を受けづらいという特徴がある。先にDSSによって得られた全天マップに比べて、可視光ではみることのできなかった暗黒星雲の濃密な領域の定量が可能となることが期待される。

本研究では、ケフェウス座領域の  $J$  (1.25 $\mu\text{m}$ )、 $H$  (1.65 $\mu\text{m}$ )、 $K_s$  (2.17 $\mu\text{m}$ ) バンドによる減光量マップを作成することにより、この領域での分子雲コア探査を行った。以下の第2章に減光量分布の測定原理を示し、第3章には減光量マップならびに色超過マップの作成手順を示す。そして第4章では、分子雲コア探査についてその方法と結果を述べる。

## 2. 減光量分布の測定原理

減光量分布の測定方法は、スターカウント法と平均赤化法に大別される。以下に、2つの方法についてそれぞれ説明する。

### 2. 1 減光量とスターカウント法

暗黒星雲の存在する領域では、高密度のダストにより背景の星の光が吸収・散乱されるため減光がおこる。暗黒星雲の減光量を定量する方法の一つにスターカウント法がある。この方法では、暗黒星雲およびその近傍星野の星数密度 (単位立体角あたりの星の数) を測定することにより、暗黒星雲の減光量  $A_\lambda$  ( $\lambda$  は観測波長) を描き出すことができる。Wolf (1923) はスターカウント法によって、暗黒星雲までの距離と減光量  $A_\lambda$  を測定するWolf図法を提案し、今日まで広く用いられている。

Wolf図とは図1aに示すように、横軸に星の等級、縦軸にその等級よりも明るい星の総数 (累積星数密度) を常用対数スケールで表示したものである。図に見られるように星の数は見かけの等級とともに増加する。恒星の絶対等級が全て一様であるとし、見かけの等級  $m_0$  に相当する距離に減光量  $A_\lambda$  の暗黒星雲があると、Wolf図の曲線は図中の破線で示したように、等級が増加する方

向に  $A_\lambda$  だけ平行移動する。ここで、写真乾板やCCDなどで検出される星のうち、一番暗いものの等級 (図中の  $m_{th}$ 、検出限界等級) での実際の累積星数密度を  $\log N_\lambda$ 、暗黒星雲がない場合の累積星数密度を  $\log N_{0\lambda}$ 、およびWolf図の傾きを  $b_\lambda$  とすると、減光量  $A_\lambda$  は次式で表すことができる。

$$A_\lambda = \frac{1}{b_\lambda} (\log N_{0\lambda} - \log N_\lambda) \quad (1)$$

実際のWolf図は、図1bに破線で示したような平行移動はせず、一点破線で示すような暗黒星雲のない場合の曲線から徐々にずれていく形をとる。これは、星には様々な絶対等級をもつものがあることや、暗黒星雲は視線方向に広がりを持つことなどによる。本研究では、上式に基づいて  $N_\lambda$ 、 $N_{0\lambda}$ 、および  $b_\lambda$  から減光量を算出した。

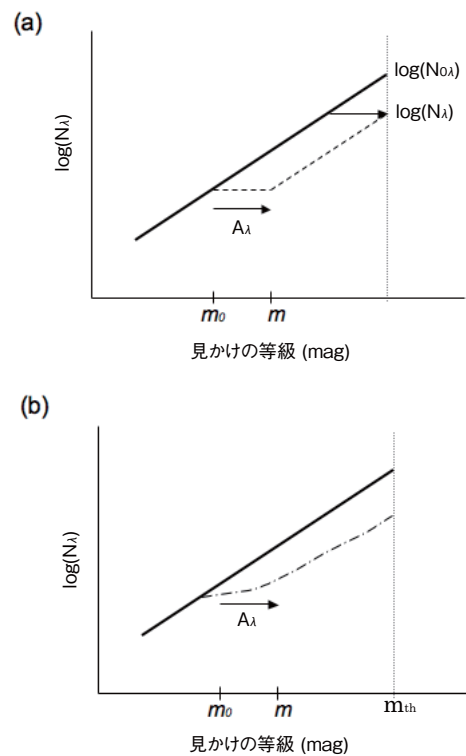


図1 Wolf図の説明。横軸は見かけの等級、縦軸は累積星数の対数を表す。減光量は図中の  $A_\lambda$  にあたる。実際のWolf図は、(a)に破線で示したような平行移動はせず、(b)に一点破線で示すような暗黒星雲のない場合の曲線から徐々にずれていく形をとる。これは、星には様々な絶対等級をもつものがあることや、暗黒星雲は視線方向に広がりを持つことなどによる。

### 2. 2 色超過と平均赤化法

減光量  $A_\lambda$  は観測波長  $\lambda$  に強く依存し、一般に  $\lambda$  が小さいほど減光量は大い。このため、星間塵を通してみた星の色は青い成分が吸収されてスペクトルが赤くなる。これを星間赤化という。観測波長  $\lambda, \lambda' (\lambda < \lambda')$  におけ

ある星の等級を  $m(\lambda)$ ,  $m(\lambda')$  とした場合,  $m(\lambda) - m(\lambda')$  で決まる量をその星の色指数という。暗黒星雲などによる減光を受けていない場合の色指数  $m_0(\lambda) - m_0(\lambda')$  と, 減光を受けている場合の色指数との差,

$$E(\lambda - \lambda') \equiv \{m(\lambda) - m(\lambda')\} - \{m_0(\lambda) - m_0(\lambda')\} \quad (2)$$

を色超過という。

平均赤化法は, 色超過を観測グリッドごとに平均して算出する方法である。決められた半径の円内 (ビーム) に入る星々の色指数から, 色指数の平均値を求める。暗黒星雲のない領域 (以下, 参照領域と呼ぶ) の平均色指数が減光を受けていない星の本来の色であると考え, その差をとることにより次式のように暗黒星雲による色超過を算出する。

$$E(\lambda - \lambda') = C(\lambda - \lambda') - C_0(\lambda - \lambda') \quad (3)$$

ここで,  $E(\lambda - \lambda')$  は色超過を表し,  $C(\lambda - \lambda')$  は色指数を,  $C_0(\lambda - \lambda')$  は参照領域での色指数を表す。 $A_\lambda = m(\lambda) - m_0(\lambda)$  であることに注意すれば, 減光量  $A$  を用いて,

$$E(\lambda - \lambda') = A_\lambda - A_{\lambda'} \quad (4)$$

となる。さらに,  $\frac{A_{\lambda'}}{A_\lambda} = a$  とすると,

$$E(\lambda - \lambda') = (1 - a)A_\lambda \quad (5)$$

となり, 色超過と減光量が比例することがわかる。

### 3. 減光量マップの作成

#### 3. 1 使用データ

減光量マップの作成には, 2MASS Point Source Catalogue を使用した。2MASSとは, アリゾナとチリに設置されている口径1.3m赤外線望遠鏡を用いた全天サーベイプロジェクトである。1997年から3年半にわたって撮像が続けられ, 得られた画像のデータはインターネット上に公開されている (アメリカ赤外線処理情報分析センター, Infrared Processing and Analysis Center: <http://www.ipac.caltech.edu/>)。Point Source Catalogueは全天の1つ1つの星について, 座標と近赤外線の  $J$  バンド ( $1.25\mu\text{m}$ ),  $H$  バンド ( $1.65\mu\text{m}$ ),  $K_s$  バンド ( $2.17\mu\text{m}$ ) の等級をまとめたものである。

本研究の研究対象は, 天球上では北極星やカシオペア座に近いケフェウス座にある「ケフェウスフレア」と呼ばれる領域である。ケフェウスフレアの地球からの距離は概ね300～500 pcである (Kun 2000)。図2にケフェウスフレアの位置を示す。銀経  $90^\circ \sim 120^\circ$ , 銀緯  $5^\circ \sim 25^\circ$  を本研究における分子雲コアの探査領域とし, 2MASSに収録されている400万個以上の星のデータを使用して減光量マップを作成した。

データの整約は以下の①～③の手順で行った。

- ① データの選定
- ② 検出限界等級の調査
- ③ YSOs候補天体の除外

まず, 減光量マップを作成する上で, 測光精度の悪い星や, 太陽系内天体を除外した (具体的には, Photometric quality flagがA, B, C, D。Read flagが1, 2, 3, 4。Minor planet flagが0である星を用いた)。

また, Luminosity Functionを作成することで検出限界等級を調査した。例として  $J$  バンドで作成したLuminosity

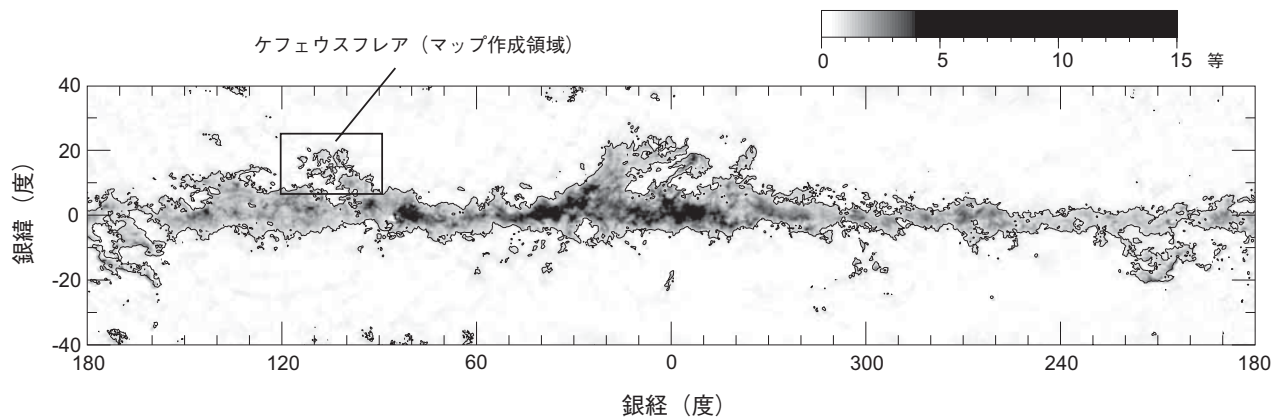


図2 暗黒星雲の全天マップ (Dobashi 2005)。コントラレベルは, 0.5等級である。図の中にケフェウスフレアの領域を示した。

Functionを図3に示す。このような図から、 $J$ バンドの検出限界等級を16.0等と決定した。同様にして、 $H$ バンド、 $K_s$ バンドでの検出限界等級をそれぞれ15.5等、15.0等と決定した。

次に、Young Stellar Objects (以下YSOs) 候補天体の除外を行った。YSOsは生まれたばかりの若い星の総称であり、この星の周りにはチリやダストでできた星周円盤がある。YSOsは色超過を過大評価する原因となるので除外する必要がある。 $H-K_s$ 対 $J-H$ のカラーカラーダイアグラムを暗黒星雲のある領域で作成すると、図4のようになる。コントアは、図中でのプロット密度を示しており、暗黒星雲による赤化をうけるため右上方向に伸びた分布になっている。いくつかの文献からYSOsであることが確認されている星の座標を用意し、2MASSでこれに対応する星を選び、その色を調べた(Kenyon & Scott 1995; Chen 1995; Kun 1993; Luhman 2006)。図4に+で示すのが同定されたYSOsである。カラーダイアグラム上でYSOsは他の星たちからずれた特徴的な分布を示す。これは、YSOsの星周円盤中のダストと通常の星間空間の暗黒星雲中のダストでは、異なる光学的性質(吸収率、反射率、屈折率など)を持つからであると考えられる。特にコントアから大きくはずれたYSOsは色超過マップを作成する際に過大評価する原因となる。本研究では、このようなYSOsを除外するための条件を以下のように決定した。

$$\textcircled{1} 0.95 \leq (H-K_s) \leq 1.40$$

$$\text{のとき } (J-H) \leq 2.78(H-K_s) - 1.64$$

$$\textcircled{2} 1.40 \leq (H-K_s) \text{ のとき } (J-H) \leq 1.64(H-K_s) - 0.10$$

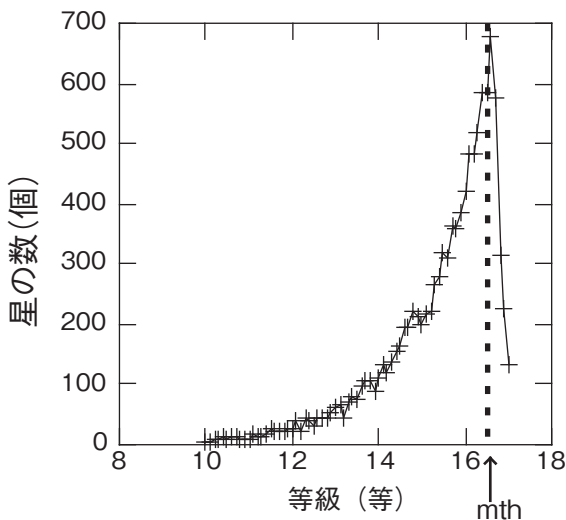


図3  $J$ バンドで作成したLuminosity Functionの例。このような図から、 $J$ バンドの検出限界等級を16.0等と決定した。

この条件を図4中に実線で示す。

### 3. 2 減光量マップおよび色超過マップの作成手順

減光量マップの作成にはスターカウント法を用いた。観測領域の星数密度分布と背景星数密度(バックグラウンド)を測定し、観測点ごとにWolf図の傾きを求めた(以下傾きマップ)。これら3つのマップを用いて、式1より減光量マップが得られた。色超過マップの作成には平均赤化法を用いた。色マップとバックグラウンドを作成し、式3より色超過マップが得られた。本研究では、近赤外線データベースである2MASSを用いたので、 $J$ バンド、 $H$ バンド、 $K_s$ バンドの減光量マップを作成した。また、色超過マップは、 $E(J-H)$ と $E(H-K_s)$ を作成した。

#### ① 星数密度分布図

本研究では観測グリッドを1'に設定した。次に観測ビームを設定する。本来は、全領域同じ大きさのビームで星を数えるが、本研究では、一律21個の星がはいるようにビームの大きさを変化させた。星の多いところは小さなビームになり、星の少ないところでは大きなビームになる。角分解能はほとんどのところで2.5'、星の少ないところではおよそ5'になった。ビームの大きさと星の数からその点での星数密度が決まる(星の数/ビームの立体角)。星数密度の測定を観測点ごとに行い、星数密度分布図を完成させた。 $J$ バンドで作成した星数密度分布

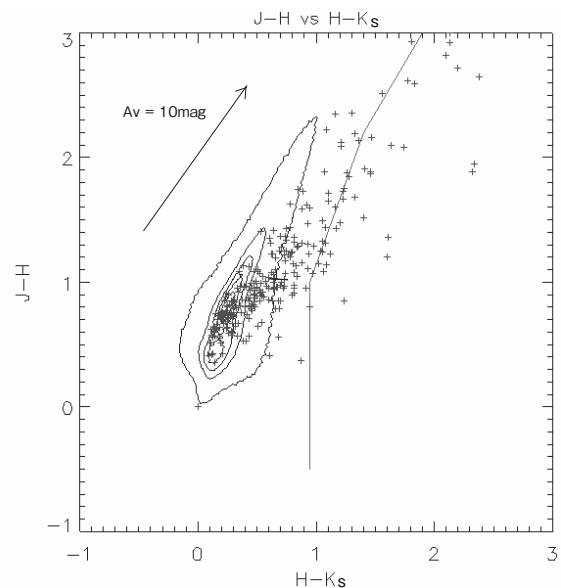


図4 暗黒星雲のある領域での星の $H-K_s$ 対 $J-H$ プロット図。コントアで示したのはプロット密度図である。暗黒星雲による赤化を受けるため右上方向に伸びた分布になる。このカラーダイアグラム上で、YSOs天体は+で示すような他の星とは違った分布になることが知られている。



図を図 5 に示す。 $H$ バンド,  $K_S$ バンドの星数密度分布図も同様に作成した。

## ② 背景星数密度分布図

背景星数密度は銀河座標によって値が異なる。銀河面では星数密度は大きく、高銀緯領域では星数密度は小さい。背景星数密度分布図の作成方法としては、星数密度分布図で暗黒星雲のあるところにマスクをかけ、それ以外のところを銀緯方向に指数関数フィットし、背景星数密度を決める方法が一般的である。しかし、本研究では、色超過マップを用いることにより背景星数密度分布図を作成する方法を用いた。式 1 で求めた減光量を、変換係数  $\alpha_i$  を用いて  $V$  バンドの減光量  $A_V^S$  に換算すると、

$$A_V^S = \frac{\alpha_i}{b_i} \log \frac{N_{0i}}{N_i} \quad (6)$$

となる。同じように式 3 で求めた色超過を、変換係数  $\beta_i$  を用いて  $V$  バンドの減光量  $A_V^E$  に換算すると、

$$A_V^E = \beta_i E(\lambda - \lambda') \quad (7)$$

となる。減光量と色超過はどちらもダストの量に比例する。式 6 と式 7 で換算された  $A_V$  からは同じ暗黒星雲の分布が描き出されるはずである。この 2 式を  $N_{0i}$  について解くと、

$$N_{0i} = N \cdot 10^{\frac{b}{\alpha_i E(\lambda - \lambda')}} \quad (8)$$

という関係が成り立つ。ここで、 $N_{0i}$  が背景星数密度を表す。 $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  は Cardelli et al. (1989) の値を用いた。式 8 により、色超過マップから観測点ごとに背景星数密度を推定し、その分布図を作成した。作成した分布図に  $2^\circ \times 2^\circ$  のガウシアンスムージングをかけることにより背景星数密度分布図を作成した。図 6 に  $J$  バンドで作成した背景星数密度分布図を示す。 $H$  バンド,  $K_S$  バンドでも同様に作成した。

## ③ Wolf 図と傾きマップ

銀経  $95^\circ$ , 銀緯  $20^\circ$  の点から半径  $20'$  以内の星を用いて作成した  $J$  バンドの Wolf 図を図 7 に示す。Wolf 図の傾きを求める際のフィッティングレンジは、 $J$  バンド 14.0 ~ 15.5 等,  $H$  バンド 13.5 ~ 15.0 等,  $K_S$  バンド 13.0 ~ 14.5 等である。

Wolf 図は、ビーム内に入る星の等級と数を見ているので、その傾きの値はそれぞれの観測点ごとに異なる。減光量マップに必要な傾きマップは、 $10'$  グリッドで半径  $20'$  のビーム内に入る星を用い、各バンドの Wolf 図の傾きを求め、傾きマップを作成した。 $J$  バンドの傾きマップを図 8 に示す。 $H$  バンド,  $K_S$  バンドでも同様に作成した。

## ④ 減光量マップ

①~③のマップを使用して各バンドでの減光量マップを作成した。減光量の算出には式 1 を用いた。観測グリッドは  $1'$ 。観測点から一律 21 個の星を見るので、マップの分解能はほとんどのところで  $2.5'$ 、星の少ないところ

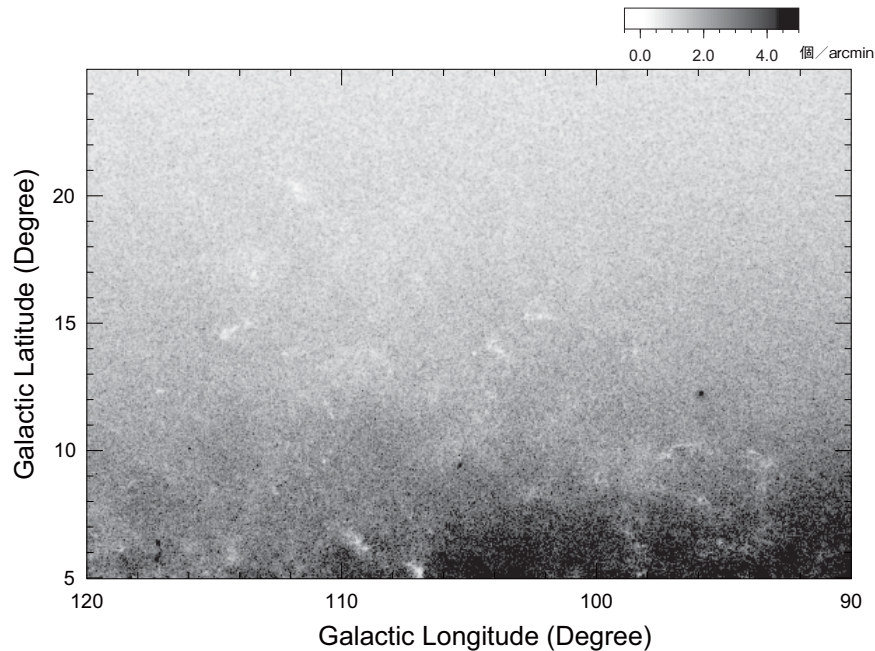


図 5  $J$  バンドの星数密度分布図。観測グリッドは  $1'$ 。角分解能はほとんどのところで  $2.5'$ 、星の少ないところではおよそ  $5'$  になっている。星数密度の測定を観測点ごとに行い、星数密度分布図を完成させた。

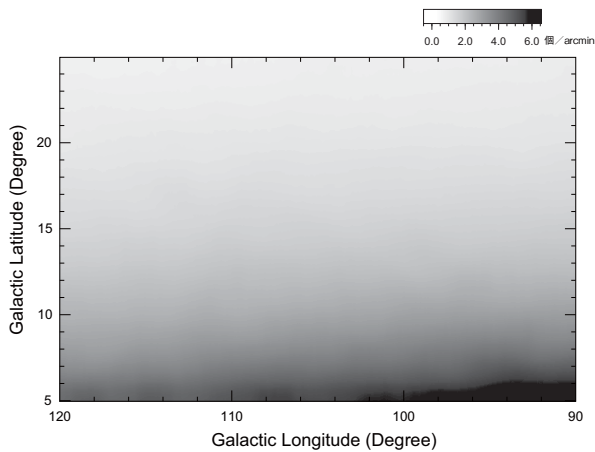


図6 Jバンドで作成した背景星数密度分布図。式8により、色超過マップから観測点ごとに背景星数密度を推定し、作成した分布図に  $2^\circ \times 2^\circ$  のガウシアンスムージングをかけることにより背景星数密度分布図を作成した。

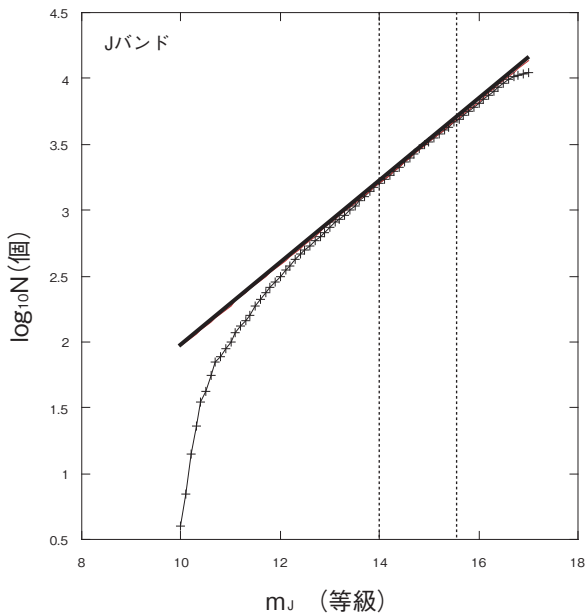


図7 銀経95°銀緯20°の点から半径20'以内の星を用いて作成したJバンドのWolf図。横軸は等級、縦軸は累積星数  $N$  に常用対数をとったもの。図中の太線は14.0～15.5等で直線フィットしたものである。

ろではおよそ5'となった。Jバンドで作成した減光量  $A_J$  マップを図9に示す。Hバンド、 $K_s$ バンドでも同様に作成した。減光量マップは星数密度のムラによるノイズを含む。典型的な  $1\sigma$  ノイズレベルはそれぞれ、 $A_J$  で0.26等、 $A_H$  で0.23等、 $A_{K_s}$  で0.24等である。

#### ⑤ 色マップ

観測グリッドは1', 角分解能は21個の星が入るように大きさを変化させ、それぞれの観測点ごとに星の平均色指数を測定した。減光量マップと同じグリッドと角分解

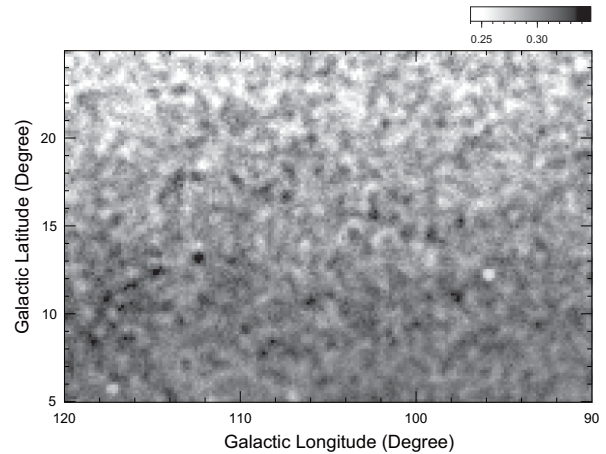


図8 Jバンドで作成したWolf図における傾きマップ。Wolf図は10'グリッドで半径20'のビームで観測点ごとに作成した。

能を用いたのは、減光量マップと色超過マップを直接比較するためである。色超過マップを得るためには、前述した式3の  $C_0(\lambda - \lambda')$  のようにバックグラウンドの値を決定することが必要である。色マップでは、暗黒星雲のない参照領域でも色(平均色指数)をもつことになる。星の本質的な色は変わらないと仮定し、銀経90～100°銀緯20～25°の領域を暗黒星雲のない“参照領域”とした。この参照領域の色が暗黒星雲による赤化を受けていない星の本来の色であると考え、この等級をバックグラウンドとして「色超過」を計算する。本研究では、バックグラウンドの値を  $E(J-H)$  においては0.44等を、 $E(H-K_s)$  においては0.10等とした。

#### ⑥ 色超過マップ

式3を用いて色超過マップ  $E(J-H)$ 、 $E(H-K_s)$  を作成した。色超過マップ  $E(J-H)$  を図11に示す。観測グリッドは1', 角分解能はほとんどのところで2.5', 星の少ないところではおよそ5' になっている。典型的な  $1\sigma$  ノイズレベルは両マップともおよそ0.03等である。

### 4. 分子雲コア探査

#### 4. 1 変換係数 $A_H/A_V$ の測定

暗黒星雲の研究では、 $V$ バンドに換算した減光量  $A_V$  をよく用いる。これは、 $A_V$  とガスやダストの柱密度との相関を多くの研究者が調査し、その変換係数が知られているからである(例えば、Bohlin 1978)。ガスやダストの柱密度が分かれば、そこから暗黒星雲の質量を算出することができる。そこで、本研究で作成した2MASSの近赤外線減光量マップと、DSSの可視光減光量マップの相関を調べた。可視光減光量マップはDobashi et al. (2005)



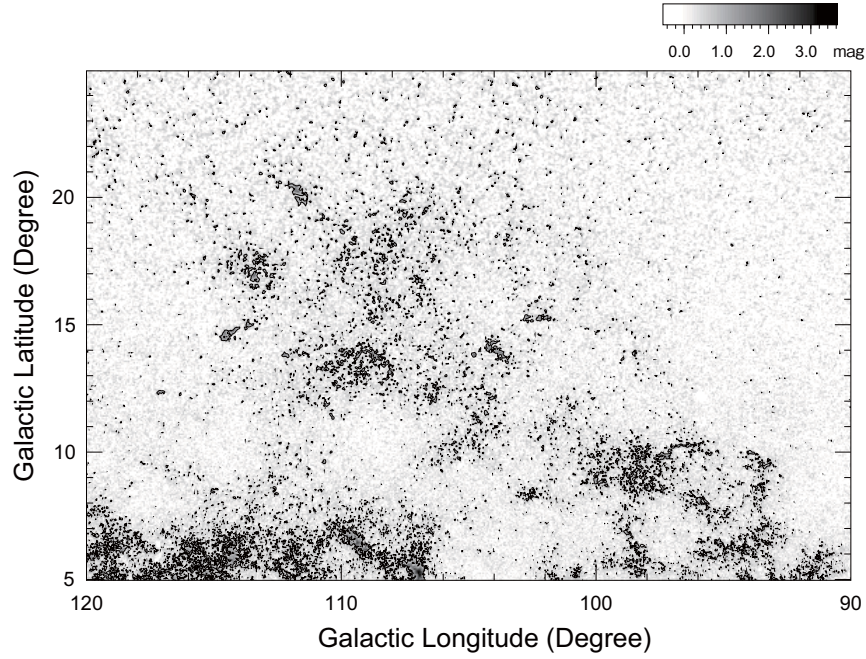


図9 Jバンドで作成した減光量マップ。観測グリッドは1'。観測点から一律21個の星を見るので、分解能はほとんどのところで2.5', 星の少ないところではおよそ5'になっている。典型的な1 $\sigma$ ノイズレベルは0.26等である。

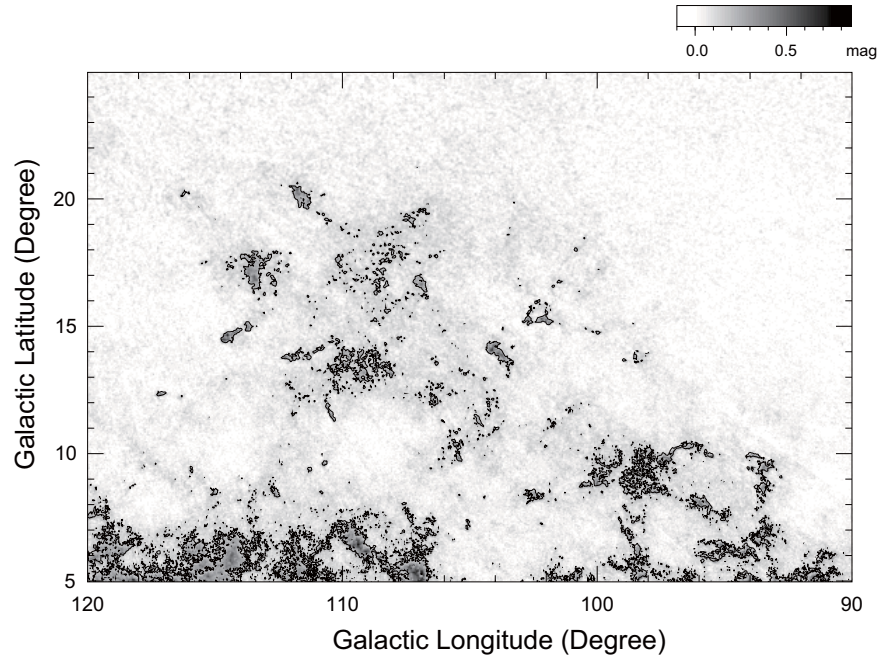


図10 色超過量 $E(J-H)$ マップ。観測グリッドは1'。観測点から一律21個の星を見るので、分解能はほとんどのところで2.5', 星の少ないところではおよそ5'になっている。典型的な1 $\sigma$ ノイズレベルは0.03等である。

の作成したものを使用した。横軸に $A_V$ , 縦軸に近赤外線  
の減光量を取り, 1次フィットを行うことにより変換係数  
(傾き)を求めた。直線フィットをする際のダイナミック  
レンジがなるべく得られるように, 調査は分子雲コアな  
どの減光量の大きい領域で行った。いくつかの分子雲  
コアで傾きを算出した。近赤外線減光量と可視減光量  
の相関がよく決まっているものだけを選択し, それらの  
値を平均することによって本研究での変換係数を決定し

た。結果を表1に示す。 $\alpha_\lambda$ ,  $\beta_\lambda$ はそれぞれ,  $\alpha_\lambda = \frac{A_\lambda}{A_V}$ ,  
 $\beta_\lambda = \frac{E(\lambda - \lambda')}{A_V}$ で算出された係数であり, その他の列は文  
献値を示す。この結果は, Cardelli et al. (1989) や Rieke  
& Lebofsky (1985) が求めた変換係数よりも有意に大き  
な値を示している。

#### 4. 2 分子雲コア探査

減光量マップは, 暗黒星雲の中でも特に密度の高い領

表1  $A_V(\text{DSS})$  対 近赤外線減光量(2MASS)の変換係数

$\lambda$	$\alpha_\lambda$ [2MASS]	Cardelli [ $R_V=3.1$ ] <sup>a</sup>	RL85 <sup>b</sup>
$J$	0.362	0.282	0.282
$H$	0.243	0.190	0.175
$K_s$	0.160	0.114	0.112

	$\beta_\lambda$ [2MASS]	Cardelli [ $R_V=3.1$ ] <sup>a</sup>	RL85 <sup>b</sup>
$E(J-H)$	0.122	0.092	0.107
$E(H-K_s)$	0.090	0.076	0.063

a: Cardelli et al. (1989)

b: Rieke &amp; Lebofsky (1985)

域 (つまり分子雲コア) の分布を捉えることが可能である。また、色超過マップはノイズレベルが減光量マップに比べて小さく、感度が高いため暗黒星雲の細かい構造まで捉えることが可能である。作成した減光量・色超過マップから、この領域での分子雲コアの探索を行う。本研究では、ある等級以上の一つながりのピクセルの集合を分子雲コアとしてピックアップし、リストにまとめた。

ここで、各天体の示す減光量と色超過の特徴を表2にまとめる。分子雲コアは減光量と色超過の両方で等級の大きい“山”として現れる。一方、星団は星が極めて密集した天体であるので、等級が負に大きい“穴”として現れる。そして、色超過の大きい天体の中には、分子雲コアだけではなく、YSOsの星団が含まれる。色超過マップだけを用いて分子雲コア探索を行うと、YSOsの星団を誤ってリストアップしてしまうことになる。この問題を解決するために、減光量・色超過の両マップを同時に使用して分子雲コア探索を行うことが望ましい。本研究では、Jバンドの減光量マップと色超過  $E(J-H)$  のマップを用いて探索を行った。

作成した減光量・色超過マップをそのまま用いるのでは、細かい構造やノイズを拾いすぎてしまう。そこで、本研究では分子雲コアの“探索マップ”を2種類作成した。これらの探索マップは、以下の式9の  $\Delta A_J$ 、式10の  $\Delta E(J-H)$  で表すことができる。

$$\Delta A_J \equiv A_J - (A_J)_\Delta \quad (9)$$

$$\Delta E(J-H) \equiv E(J-H) - [E(J-H)]_\Delta \quad (10)$$

ここで、 $(A_J)_\Delta$  と  $[E(J-H)]_\Delta$  はそれぞれ  $A_J$ 、 $E(J-H)$  マップに  $2^\circ \times 2^\circ$  のメディアンフィルターをかけたものであり、これらの式に従って画像処理を行った。メディアンフィルターをかけると、元のマップの細かい構造が消され、広がった構造が残ったマップを得ることができる。これを元のマップから引くことにより“探索マップ”が完成する (図11, 図12)。“探索マップ”には細かいコンパクトな構造が残り、減光の大きい高密度領域 (分子雲コア) が際立ったマップになっている。

次に、探索マップにおいて、高密度領域がうまくリストアップされる等級を調査した。色超過の条件等級と減光量の等級が、 $V$ バンドの減光量  $A_V$  に変換したときに同程度の等級であるように、表1から算出される

$$A_J \equiv 2.967E(J-H) \quad (11)$$

の関係式を用いた。留意点は、①目でマップを見たときに明らかにコアであるものは確実に拾えるようにすること (L1241など)、②近接し、なおかつ分裂しているコアは分かれてリストアップされること、が挙げられる。以上を踏まえて、 $\Delta A$  マップ上で0.77等以上であり、かつ  $\Delta E(J-H)$  マップ上で0.26等以上のひとまとまりのピクセルを「分子雲コア」と定義した。

分子雲コアの広がりなどは、 $\Delta E(J-H)$  のマップから

表2 各天体の示す減光量と色超過の特徴

天 体	減光量 $A_\lambda$	色超過 $E(J-H)$
①分子雲コア	山	山
②YSOsの星団	穴	山
③YSOsではない星団	穴	変化なし
④星のデータのない領域*	山	変化なし

\* 明るい星の周りなど星の検出が難しい領域



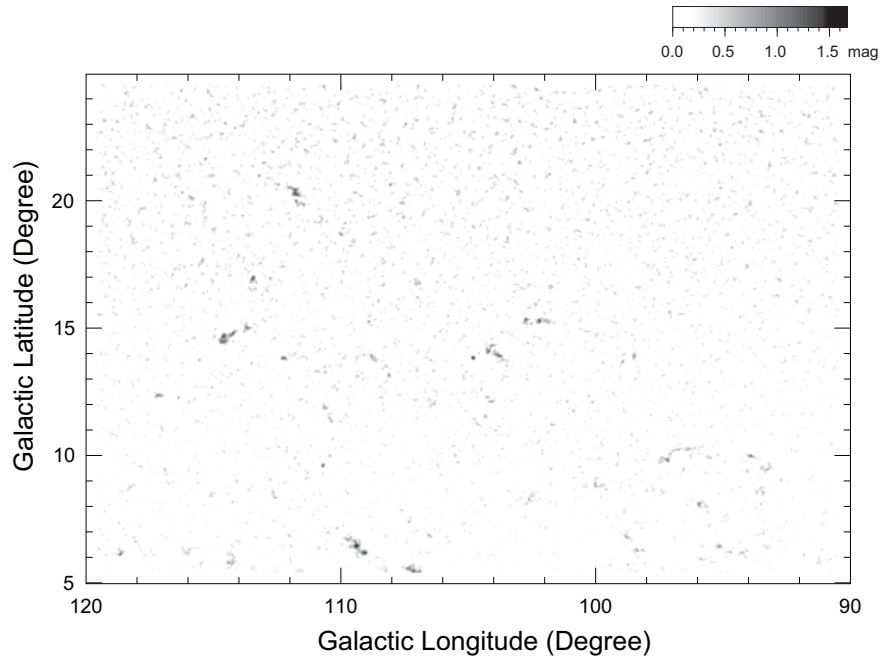


図11 Jバンドの減光量マップに  $2^\circ \times 2^\circ$  のメディアンフィルターをかけ、元のマップから引いた図。細かい構造がなく  
なり、分子雲コアが際立っている。

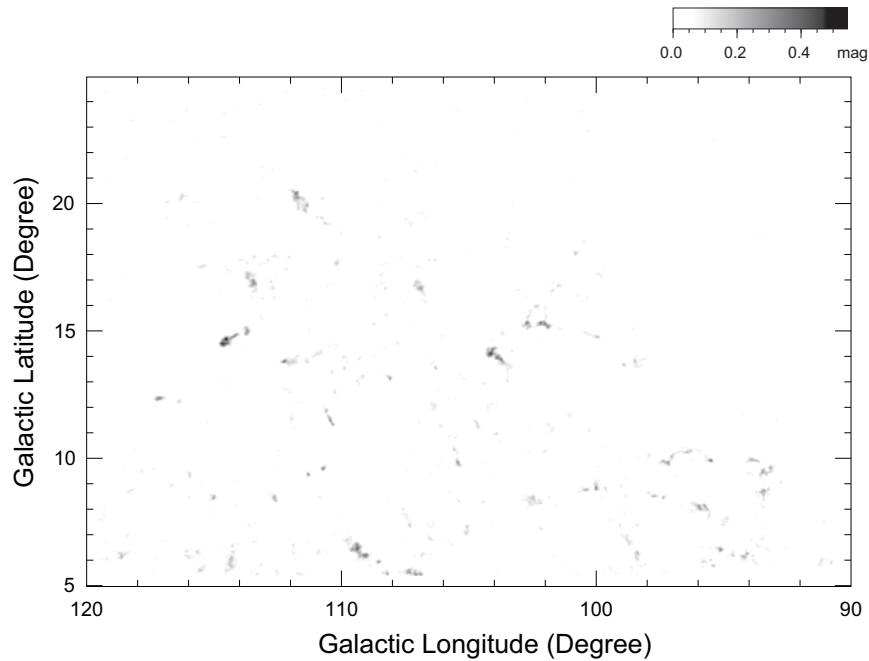


図12 色超過  $E(J-H)$  マップに  $2^\circ \times 2^\circ$  のメディアンフィルターをかけ、元のマップから引いた図。図11のマップと併用  
することにより、分子雲コアの探査を行った。

測定するようにした。これらの作業をプログラムにま  
とめ、分子雲コアのリストをテキストファイルで書き出せ  
るようにした。リストにはそれぞれの分子雲コアの座  
標、広がり、表面積（立体角）、減光量、色超過を載せ  
た。作成した分子雲コアのリストを表3に示す。本研  
究で、ケフェウス座領域中に110個の分子雲コアを検出  
した。座標や等級などのパラメータは、すべてコア内  
のピーク点での値になっている。また、分子雲コアの

広がりや表面積（立体角）は、分子雲コアの条件を満  
たすピクセル集団を数えた。分子雲コアの表面積  $S$  は、  
 $S = N \cdot s \cdot \cos(b)$  で算出した。 $N$  はピクセル数で、 $s$  は1ピ  
クセルあたりの表面積（立体角）、 $b$  はそのコアが位置す  
る銀緯である。

## 5. まとめ

本研究では、近赤外線のデータベースである 2MASS を利用して、ケフェウス座領域の広域減光量マップ、ならびに色超過マップを作成し、以下のような結果を得た。

- 2MASS Point Source Catalogue を用いて、ケフェウス座領域の広域近赤外線減光量マップを作成した。 $J \cdot H \cdot K_s$  バンドの減光量マップ (スターカウント法) と、色超過  $E(J-H)$ ,  $E(H-K_s)$  マップ (平均赤化法) の計 5 枚のマップを作成した。
- 減光量マップを作成する手順を体得し、一連の作業をコンピュータプログラムにまとめた。このプログラムを用いて、ケフェウス座領域以外の別の領域の減光量マップを描くことも可能である。
- 近赤外線減光量を可視光減光量に変換する係数を、

DSS で作成した減光量マップと比較することにより算出した (表 1)。

- 作成した減光量マップを用いて、分子雲コア探索を行った。分子雲コアの条件を調査・決定し、ケフェウス座領域に 110 個の分子雲コア天体を同定した。ケフェウス座領域の分子雲コアリストを作成し、座標、広がり、表面積 (立体角)、減光量、色超過の物理量を載せた (表 3)。

この研究は、筆頭著者の秋里昂の卒業研究として行いました。2MASS のデータ準備の一部には、西浦慎悟先生がご協力くださいました。また、本論文の原稿の推敲にも適切な助言を頂きました。ここに感謝します。本研究を進めるにあたり、科学研究費補助金 (課題番号 18026003) 及び伊藤科学財団 (H19) の資金的援助を受けました。ここに感謝します。

表 3 ケフェウス座領域の分子雲コア リスト

Core No.	Position [deg]		Size [arcmin]		Surface [arcmin <sup>2</sup> ]	Maximum Extinction [mag]			Maximum Color Excess [mag]	
	l	b	$\Delta l$	$\Delta b$		$A_J$	$A_H$	$A_{Ks}$	$E(J-H)$	$E(H-Ks)$
1	114.330	6.000	3	3	5.967	1.823	1.088	0.715	0.526	0.285
2	108.550	6.067	5	4	21.877	2.320	1.552	1.207	0.683	0.397
3	95.883	6.033	3	2	6.961	1.604	0.970	0.765	0.506	0.306
4	114.330	6.167	8	11	46.728	1.975	1.495	1.139	0.587	0.309
5	95.533	6.100	5	3	12.926	2.077	1.247	1.016	0.509	0.300
6	118.580	6.117	2	2	5.966	1.933	1.369	0.819	0.586	0.447
7	94.183	6.217	5	4	11.930	1.737	1.309	0.873	0.518	0.314
8	118.570	6.217	3	3	10.935	2.556	1.591	1.188	0.582	0.417
9	109.370	6.533	45	36	523.580	3.883	2.836	1.972	0.918	0.580
10	94.317	6.233	4	4	16.900	1.668	1.219	0.890	0.583	0.343
11	118.630	6.217	0	0	0.994	1.841	1.291	0.758	0.470	0.353
12	109.170	6.217	0	0	0.994	2.135	1.276	0.767	0.443	0.291
13	94.667	6.233	4	4	11.929	1.462	0.896	0.703	0.486	0.247
14	98.467	6.267	3	1	4.970	1.464	1.106	0.841	0.413	0.234
15	94.150	6.267	1	2	4.970	1.599	0.946	0.800	0.502	0.292
16	106.830	6.283	1	1	1.988	1.399	0.991	0.659	0.514	0.257
17	98.483	6.300	0	0	0.994	1.441	1.079	0.700	0.403	0.236
18	94.083	6.317	6	4	15.903	1.960	1.434	0.957	0.576	0.367
19	118.600	6.317	0	0	0.994	1.743	1.072	0.625	0.474	0.292
20	98.383	6.383	3	4	10.932	1.808	1.241	0.784	0.462	0.325
21	118.630	6.367	2	1	3.975	1.548	1.224	0.846	0.473	0.282
22	95.117	6.483	7	8	44.713	2.582	1.848	1.476	0.664	0.350
23	94.183	6.450	0	0	0.994	1.482	1.007	0.757	0.425	0.237
24	109.680	6.717	3	1	5.959	1.874	1.381	0.954	0.496	0.282
25	109.780	6.750	0	0	0.993	1.608	1.133	0.697	0.430	0.224
26	109.870	6.800	0	0	0.993	1.741	1.315	0.784	0.428	0.221
27	109.780	6.833	3	3	11.915	1.495	1.037	0.834	0.490	0.268
28	106.500	6.917	1	0	1.985	1.371	0.922	0.555	0.414	0.271
29	98.850	6.917	0	0	0.993	1.386	0.966	0.638	0.380	0.204
30	105.130	7.183	2	3	4.961	1.250	0.693	0.568	0.356	0.193

Core No.	Position [deg]		Size [arcmin]		Surface [arcmin <sup>2</sup> ]	Maximum Extinction [mag]			Maximum Color Excess [mag]	
	l	b	$\Delta l$	$\Delta b$		A <sub>J</sub>	A <sub>H</sub>	A <sub>Ks</sub>	E(J-H)	E(H-Ks)
31	107.300	7.433	1	3	5.950	1.776	1.030	0.732	0.408	0.291
32	99.067	7.400	0	0	0.992	1.360	0.938	0.646	0.367	0.179
33	99.100	7.433	0	1	1.983	1.206	0.953	0.462	0.369	0.215
34	95.600	7.833	2	2	4.953	1.304	0.771	0.464	0.440	0.215
35	95.850	8.017	0	0	0.990	1.294	0.966	0.834	0.389	0.206
36	95.933	8.100	8	13	58.412	1.812	1.396	1.016	0.587	0.313
37	95.717	8.133	12	11	46.528	1.929	1.419	0.988	0.631	0.377
38	96.067	8.133	1	2	3.960	1.533	0.943	0.637	0.423	0.252
39	102.620	8.350	0	1	1.979	1.662	0.974	0.908	0.356	0.188
40	112.500	8.383	0	0	0.989	1.316	0.815	0.558	0.371	0.243
41	112.580	8.400	1	0	1.979	1.252	0.989	0.720	0.392	0.205
42	102.480	8.583	3	8	15.821	1.474	1.024	0.792	0.385	0.219
43	115.000	8.483	4	4	18.792	1.423	1.083	0.483	0.557	0.295
44	97.383	8.533	3	3	10.878	1.271	0.611	0.302	0.591	0.487
45	112.630	8.517	3	3	12.857	1.381	1.000	0.665	0.495	0.265
46	97.850	8.567	3	3	7.911	1.438	0.836	0.428	0.541	0.362
47	97.767	8.617	4	3	11.865	1.962	1.304	0.957	0.608	0.379
48	112.600	8.617	1	1	3.955	1.492	0.841	0.681	0.417	0.249
49	93.467	8.617	4	2	9.887	1.511	0.891	0.805	0.421	0.189
50	93.567	8.700	3	4	12.851	1.470	1.094	0.797	0.402	0.205
51	93.500	8.800	8	5	31.624	1.676	1.113	0.787	0.536	0.266
52	100.380	8.850	6	3	16.798	1.838	1.198	0.778	0.575	0.443
53	100.020	8.833	5	10	48.419	2.181	1.402	1.022	0.610	0.386
54	93.300	8.833	2	0	2.964	1.301	0.733	0.504	0.400	0.242
55	92.783	9.117	0	0	0.987	1.087	0.637	0.450	0.362	0.201
56	111.300	9.400	7	4	26.638	1.449	0.990	0.680	0.501	0.455
57	93.533	9.567	12	13	56.208	1.771	1.345	1.035	0.549	0.311
58	115.920	9.450	0	0	0.986	1.403	0.813	0.621	0.332	0.197
59	93.383	9.483	2	2	5.918	1.346	0.860	0.680	0.384	0.207
60	115.950	9.500	1	0	1.973	1.135	0.848	0.507	0.344	0.201
61	93.267	9.517	3	3	10.849	1.624	1.006	0.823	0.479	0.278
62	110.670	9.633	7	6	30.563	2.351	1.838	1.325	0.537	0.347
63	93.217	9.733	6	7	29.569	1.365	0.958	0.717	0.493	0.218
64	110.630	9.683	1	1	1.972	1.640	1.207	0.939	0.346	0.219
65	105.450	9.900	8	11	38.420	2.139	1.679	1.278	0.590	0.410
66	97.217	9.883	10	10	45.318	2.442	1.642	1.105	0.625	0.355
67	97.333	9.833	1	2	2.956	1.523	0.706	0.546	0.411	0.249
68	95.517	9.950	9	7	49.249	1.934	1.424	0.977	0.626	0.393
69	93.683	9.950	3	4	8.865	1.676	1.210	0.865	0.423	0.226
70	97.417	9.967	6	3	17.729	1.739	1.263	0.923	0.561	0.318
71	93.950	10.017	14	6	42.345	2.004	1.396	1.085	0.464	0.322
72	93.750	9.983	0	0	0.985	1.241	0.878	0.553	0.341	0.093
73	97.083	10.117	4	2	9.845	1.680	1.155	0.872	0.423	0.262
74	96.400	10.267	8	3	16.728	1.618	1.149	0.922	0.471	0.295
75	96.567	10.283	2	1	3.936	1.701	1.105	0.759	0.405	0.263
76	96.333	10.333	1	0	1.968	1.506	1.334	0.909	0.376	0.193
77	105.570	10.400	3	3	12.787	1.686	1.330	0.782	0.467	0.343
78	103.950	11.017	0	0	0.982	1.161	0.815	0.473	0.376	0.232
79	103.920	11.017	0	0	0.982	1.180	0.826	0.543	0.382	0.201
80	110.320	11.367	3	5	19.608	1.861	1.278	0.832	0.586	0.367
81	110.400	11.517	6	13	46.055	1.924	1.454	1.103	0.591	0.353
82	110.580	11.867	5	5	12.722	1.493	1.068	0.790	0.392	0.234



Core No.	Position [deg]		Size [arcmin]		Surface [arcmin <sup>2</sup> ]	Maximum Extinction [mag]			Maximum Color Excess [mag]	
	l	b	$\Delta l$	$\Delta b$		A <sub>J</sub>	A <sub>H</sub>	A <sub>Ks</sub>	E(J-H)	E(H-Ks)
83	117.100	12.383	14	7	63.489	1.962	1.418	0.856	0.519	0.415
84	108.080	13.167	6	7	27.265	1.895	1.544	0.976	0.553	0.314
85	106.270	13.600	5	5	14.580	1.561	0.971	0.697	0.460	0.382
86	98.967	13.700	2	3	6.801	1.416	0.932	0.734	0.394	0.202
87	103.820	13.983	21	23	193.110	2.272	1.560	1.132	0.647	0.453
88	112.230	13.850	11	7	45.635	2.444	1.582	1.193	0.616	0.402
89	104.200	14.100	20	22	212.410	2.609	1.796	1.356	0.754	0.480
90	114.520	14.700	45	29	443.990	2.748	1.905	1.486	0.755	0.531
91	99.950	14.750	3	2	10.638	1.025	0.690	0.442	0.389	0.187
92	113.650	15.017	11	19	93.691	1.937	1.329	0.977	0.542	0.333
93	102.200	15.333	26	18	184.210	2.528	1.561	1.075	0.614	0.367
94	102.650	15.183	4	2	6.756	1.195	0.809	0.562	0.379	0.255
95	102.720	15.333	9	9	55.938	2.147	1.291	0.859	0.482	0.348
96	102.280	15.283	2	2	4.823	1.149	0.919	0.591	0.332	0.180
97	102.650	15.633	1	4	5.778	1.186	0.695	0.498	0.359	0.217
98	101.980	15.567	1	1	1.927	1.248	0.864	0.569	0.332	0.205
99	102.380	15.967	2	1	3.846	1.497	1.007	0.748	0.356	0.271
100	106.900	16.717	7	8	45.016	1.822	1.213	0.894	0.449	0.253
101	113.420	16.933	14	17	132.980	2.210	1.352	1.011	0.540	0.341
102	113.630	17.117	5	6	22.938	1.850	1.110	1.037	0.465	0.282
103	113.620	17.200	9	9	30.570	1.658	1.209	0.796	0.443	0.248
104	113.570	17.233	1	0	1.910	1.686	1.067	0.654	0.433	0.250
105	111.400	19.783	4	7	22.585	1.803	1.368	1.010	0.413	0.299
106	111.650	19.783	0	0	0.941	1.096	0.775	0.364	0.350	0.278
107	111.400	19.817	0	0	0.941	1.681	1.007	0.710	0.367	0.325
108	111.350	19.967	5	6	30.078	1.519	0.998	0.670	0.506	0.330
109	111.480	20.150	5	3	15.022	1.347	0.932	0.687	0.398	0.233
110	111.700	20.233	17	20	175.470	2.593	1.754	1.172	0.571	0.429

## 引用文献

- Bessell, M. S., & Brett, J. M. 1988, Publ. Astron. Soc. Pacific, vol. 100, pp. 1134–1151
- Bohlin, R. C., Savage, B. D., Drake, J. F. 1978, Astrop. J., vol. 224, pp. 132–142
- Cardelli, J. A., Clayton, G. C., Mathis, J. S. 1989, Astrop. J., vol. 345, pp. 245–256
- Chen, H. 1995, Astrop. J., vol. 445, pp. 377–392
- Dobashi, K., Uehara, H., Kandori, R., Sakurai, T., Kaiden, M., Umemoto, T., & Sato, F. 2005, Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 57, pp. S1–S386
- Rieke, G. H., & Lebofsky, M. J. 1985, Astrop. J., vol. 288, pp. 618–621
- Kenyon, S. J. 1995, Astrop. J. Suppl., vol. 101, pp. 117–171
- Kun, M., Vinko, J. 2000, Mon. Not. R. Astron. Soc., vol. 319, pp. 777–790
- Kun, M., & Prusti, T. 1993, Aston. & Astrop., vol. 272, pp. 235–242
- Luhman, K. L. 2006, Astrop. J., vol. 647, pp. 1180–1191
- Wolf, M., 1923, Astron. Nachr., vol. 219, pp. 109–116