



# 東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

## 可視光減光量マップと近赤外線減光量マップの合成法の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2011-06-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 下井倉,ともみ, 土橋,一仁 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2309/107955">http://hdl.handle.net/2309/107955</a>

## 可視光減光量マップと近赤外線減光量マップの合成法の開発

下井倉 ともみ\*・土橋 一 仁\*

宇宙地球科学分野

(2010年5月21日受理)

SHIMOIKURA, T. and DOBASHI, K.: Development of a procedure to combine the visual and near-infrared extinction maps. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **62**: 49-53. (2010) ISSN 1880-4330

### Abstract

This paper presents a new method to combine the visual and near-infrared extinction maps into one composite map. In general, a visual extinction map is sensitive and is suited to trace the diffuse dust distribution around dark clouds, while it can be easily saturated toward the most opaque regions. On the contrary, a near-infrared extinction map is noisier in diffuse regions, but it is useful to reveal the dust distribution in a dense cloud interior. A composite map of these two types of extinction is therefore powerful being capable of revealing the dust distribution in dark clouds over a wide range of density. In this paper, we demonstrate the method by applying it to a dark cloud in the Musca region.

**Key words:** dark clouds, dust, extinction, star formation, dense core

*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、可視光減光量と近赤外線減光量を合成して1つの減光量マップを作成する研究手法の開発を試みた。可視光減光量は暗黒星雲の低密度領域に感度があるが、ダストが濃密な部分ではすぐに飽和してしまう。反対に、近赤外線減光量は希薄な領域を検出することはできないが、濃密な部分を描き出すのに適している。両者を合成することで、暗黒星雲のダスト分布を広い密度範囲で描き出すことが可能になる。本研究では、はえ座領域の暗黒星雲を例にとり、開発した合成方法について紹介する。

---

\* 東京学芸大学 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

## 1. はじめに

暗黒星雲に含まれるダストの分布を定量する研究方法の一つに、スターカウント法による減光量の測定がある。減光量とはダストによって星の光が暗くなる度合のことで、観測波長 $\lambda$ での減光量を $A_\lambda$ と書く(単位は等級)。減光量はダストの量(柱密度)に比例するので、減光量が大きいほどダストの量も多いことになる。また、減光量は観測する波長に依存する。可視光から近赤外線の波長帯では、星の光は波長が長くなるほどダストによる減光を受けにくくなるので、減光量は波長が長くなるほど小さくなる。

ダスト量の指標としての減光量は、伝統的にVバンドでの減光量 $A_V$ を基準に測定することが多い。 $J, H, K_s$ 等の近赤外線のバンドで測定される減光量 $A_\lambda$ は $A_V$ に比例しており、一般に $A_V$ よりもかなり小さい。暗黒星雲中のダスト分布の調査には $A_V$ マップを作成することがしばしばあるが、可視光はダストによる著しい減光を受けるので、暗黒星雲の濃密な部分のダスト分布を $A_V$ マップとして描き出すことは困難である。一方、近赤外線の減光量は暗黒星雲周辺の希薄なダストには感度はないが、暗黒星雲の濃密な部分をトレースするには適している。このため、近年、近赤外線減光量は星の直接的な母体である暗黒星雲中の分子雲コアの探査や研究に頻繁に用いられている(例えば、Román-Zúñiga et al. 2009)。

可視光減光量(Vバンド)と近赤外線減光量( $J, H, K_s$ バンド)を合成して1つの減光量マップを作成すれば、暗黒星雲のダスト分布をその周辺部の希薄な領域から中心部の濃密な部分までの広い密度範囲で描き出すことが可能となるはずである。しかし、実際に波長の異なる減光量データを合成することは容易ではない。本研究では、南天の興味深い天体であるMusca(はえ座)領域の暗黒星雲を対象に、可視光減光量と近赤外線減光量を合成するための方法の開発を試みた。

## 2. 研究領域とデータ

## 2.1 はえ座領域の暗黒星雲

本研究で対象としたはえ座領域の暗黒星雲は、南天のカメレオン座( $l, b = (300^\circ, -15^\circ)$ )を中心とする暗黒星雲複合体(Chamaeleon-Musca dark cloud complex)の中に存在する。この暗黒星雲複合体の $A_V$ マップを図1に示す(Dobashi et al. 2005)。図1で確認できるように、Cham I, Cham II, Cham III, 及びMuscaと呼ばれる4つの暗黒星雲が存在している。距離は170pc程度と見積もられ(例えば、Whittet et al. 1997)、我々に近い星形成領域の一つとし

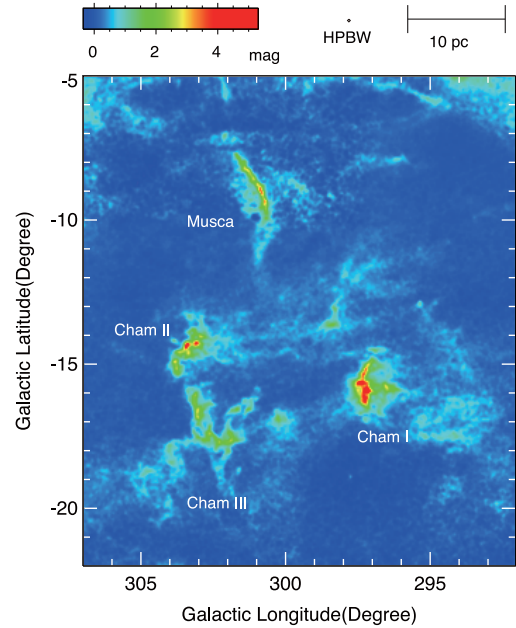


図1 Chamaeleon-Musca暗黒星雲複合体の $A_V$ マップ(Dobashi et al. 2005)。グリッドは2', 角分解能は6'である。Cham I, Cham II, Cham III及びMuscaの4つの暗黒星雲が存在する。

て数多くの研究が行われている。Cham I~IIIについては、赤外線観測により多数の若い星(Young Stellar Objects, 以後YSOs)の存在が明らかになっていることや(例えば、Prusti et al. 1992)、前主系列星であるTタウ型星の分布との関連(Mizuno et al. 1999)などから、低質量星が活発に形成されていると考えられている。星形成はCham I, II, IIIの順で盛んである(Whittet et al. 1997)。

Musca暗黒星雲の $A_V, A_J, A_H, A_{K_s}$ マップを図2に示す(Dobashi 2010)。Vバンドの減光量は、最大で5 mag程度である。 $A_V$ マップを見ると、縦に10pc、幅が0.5pcほどの細長い構造が特徴的である(図2 a)。このフィラメンタリーな構造は他の波長の減光量マップでも同様で、長波長側の $A_{K_s}$ マップではダストの濃密な領域が細長く描き出されている(図2 d)。また、この構造はミリ波分子分光観測による分子ガスの分布にも一致している(Mizuno et al. 2001)。 $^{12}\text{CO}$ 分子ガスの観測では、質量は170 $M_\odot$ 程度と見積もられている(Arnal et al. 1993)。偏光観測の結果からは、磁場の方向はこの暗黒星雲の長軸に垂直であることが示されている(Arnal et al. 1993; Pereyra et al. 2004)。Pereyra & Magalhães (2004)によると、磁場の偏光の度合や傾きのパターンは $A_V$ が高い部分で変化している。これらのことから、Musca暗黒星雲では磁場の影響下で自己重力による収縮が起きており、フィラメント状の構造は短軸に沿って分子雲が収縮している過程を示すのではないかと考えられている。しかし、Cham I~IIIとは異なり、

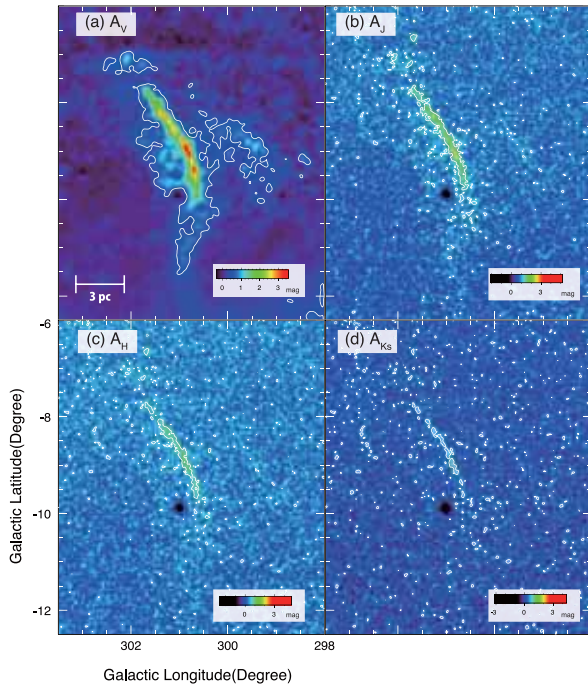


図2 Musca暗黒星雲の各バンドによる減光量マップ (Dobashi et al. 2005; Dobashi 2010)。パネル (a), (b), (c), (d) はこの順で  $A_V$ ,  $A_J$ ,  $A_H$ ,  $A_{K_s}$  マップである。各マップのノイズレベルはこの順で 0.5 mag, 1.2 mag, 0.7 mag, 0.6 mag である。

この星雲では星形成が起きている確証は得られていない。フィラメントの北端部分に、唯一 IRAS 点源 12322-7023 が付随しているが (Gregorio-Hetem et al. 1988), この点源が YSO であるかどうかは確認されていない。

## 2. 2 使用データ

東京学芸大学天文学研究室では暗黒星雲についての研究を進めている。これに関連して外部データアーカイブを用いた 2 種類の暗黒星雲の全天カタログを完成させている。1 つは、Digitized Sky Survey (DSS) による光学写真のデータベースを用いたカタログであり (Dobashi et al. 2005), もう 1 つは Two Micron All Sky Survey (2MASS) による近赤外線のデータベースを用いたカタログである (Dobashi 2010)。

本研究では、これらのカタログから取得したデータを用いて、Musca 暗黒星雲の可視光減光量と近赤外線減光量の合成を行った。この暗黒星雲について、DSS のカタログ (Dobashi et al. 2005) からは  $V$  バンドによる減光量データ  $A_V$  を、2MASS のカタログ (Dobashi 2010) からは  $J$  ( $1.25 \mu\text{m}$ ),  $H$  ( $1.65 \mu\text{m}$ ),  $K_s$  ( $2.17 \mu\text{m}$ ) バンドによる減光量データ  $A_J$ ,  $A_H$ ,  $A_{K_s}$  を取得した。最終的に求める  $A_V$  マップと区別するため、本論文は、以後 DSS に基づく  $A_V$  データを  $A_V^D$ , 2MASS に基づく  $A_V$  データを  $A_V^\lambda$  ( $\lambda = J, H, K_s$ ) と表記することにする。

## 3. 合成手法及び結果

合成を行うためのデータ解析には、IDL 言語を用いた。手順は、以下①～③の通りである。

①対象領域の  $A_V^D$  と  $A_\lambda$  データを用意し、データのグリッド (観測点) 及び角分解能を揃える。

DSS による  $A_V^D$  データのグリッドは  $2'$ , 角分解能は一律  $6'$  である。2MASS による  $A_\lambda$  データのグリッドは  $1'$ , 角分解能は一定ではなく場所によって変わる。そこで分解能の低い方に合わせた新しい角分解能マップを作成し、 $A_V^D$  と  $A_\lambda$  データに適用して両データのグリッド及び角分解能を揃える必要がある。本研究の対象領域では、 $A_\lambda$  データの角分解能は大部分が  $3'$  程度であり、星の少ない部分では  $9'$  程度である。本研究では、 $A_\lambda$  データの角分解能が  $6'$  より大きいところは  $A_\lambda$  データに、小さいところは  $6'$  に合わせた角分解能マップを作成し、これと同じ角分解能をもつように  $A_V^D$  データと  $A_\lambda$  データにスムージングをかけ、さらにグリッドを  $2'$  に揃えた。

②  $A_\lambda$  データを  $A_V$  スケールに変換する。

近赤外線減光量は可視光減光量に比例するので、 $A_\lambda$  データを  $V$  バンド相当の減光量データ  $A_V^\lambda$  へ変換する。まず、 $A_V^D$  と  $A_\lambda$  データの相関を以下の式でフィットして求める。

$$A_\lambda = \alpha_0 A_V^D + \alpha_1 \quad \text{式 1}$$

フィットの範囲 ( $A_V^D$  の範囲) を決めるにあたって、 $A_V^D$  の範囲を変化させた場合に係数  $\alpha_0$  の値がどのように変化するかを調べた。図 3 は、 $A_V^D < A_0$  の範囲で  $A_V^D$  と  $A_\lambda$  の関係をフィットした時に得られる  $\alpha_0$  の値を

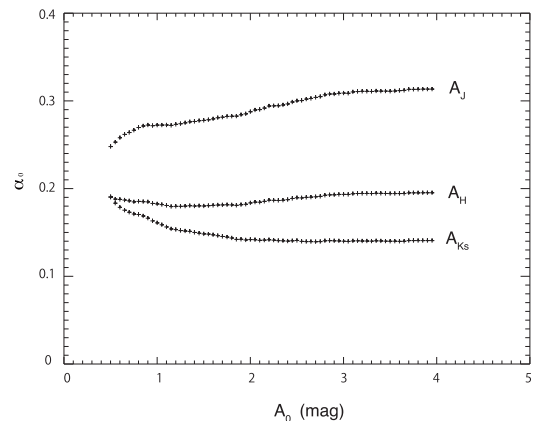


図3  $A_V^D < A_0$  の範囲で  $A_V^D$  と  $A_\lambda$  の関係をフィットした時に得られた  $\alpha_0$  の値。



$A_0$  の関数として調べたものである。Musca暗黒星雲の場合、 $A_0 = 3 \sim 3.5$  magで  $a_0$  の値が落ち着いたので、 $A_V^D < 3$  magの部分をフィットして  $a_0$  を求めることにした。

図4に  $A_V^D$  と  $A_\lambda$  の相関図及びフィットの結果を示す。また、求めた係数  $a_0$  と  $a_1$  を表1にまとめる。 $a_1$  はデータ間のオフセットであり、 $A_V^D$  や  $A_\lambda$  を測定する時のバックグラウンドの仮定の違いにより生じた人工的なものである。よって、 $a_0$  が  $A_V^D$  と  $A_\lambda$  の真の比を与える。 $A_V^D$  と  $A_\lambda$  の比は、ダストの光学的特性を反映する値としてよく研究されており、本研究での結果は過去の研究での値と比較して矛盾はなかった。参考のために、典型的な星間空間における赤化曲線の切片値  $R_V = 3.1$  の場合の、Cardelli et al. (1989) による  $A_\lambda/A_V$  比を表1に示す。最終的には、得られた  $a_0$  と  $a_1$  から、

$$A_V^\lambda = \frac{1}{a_0} A_\lambda - \frac{a_1}{a_0} \quad \text{式2}$$

という変換式を用いて  $A_\lambda$  データを  $V$  バンド相当の減光量  $A_V^\lambda$  に変換した。

③  $A_V^D$  と  $A_V^\lambda$  を合成する。

得られた  $A_V^D$  と  $A_V^\lambda$  を用いて、最終的な  $V$  バンド換算の減光量データ  $A_V$  を合成する。 $A_V^H$  と  $A_V^{Ks}$  のデータは十

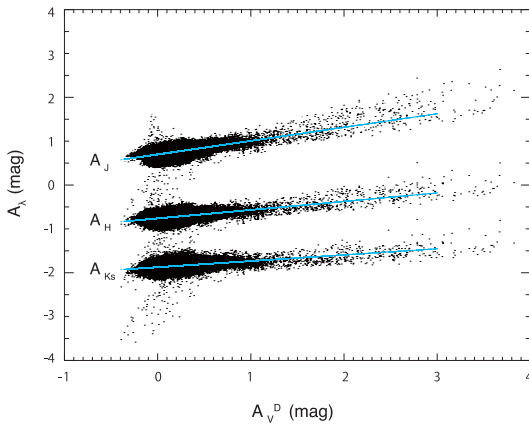


図4  $A_V^D$  と  $A_\lambda$  の相関図。青の直線はフィットの結果を表す。プロット点は、上から  $A_J$ ,  $A_H$ ,  $A_{Ks}$  であり、それぞれの縦軸の原点は 0.0, -1.0, -2.0 mag ずらして表示してある。

表1.  $A_V^D$  対  $A_\lambda$  の変換係数

$A_\lambda$	$a_0$	$a_1$	Cardelli [ $R_V=3.1$ ] <sup>a</sup>
$A_J$	0.315	0.70	0.282
$A_H$	0.193	0.24	0.190
$A_{Ks}$	0.132	0.13	0.114

a: Cardelli et al. (1989)

分な SN が得られておらず (図 2 c, d), また、はえ座の暗黒星雲はそれほど濃密ではないので、 $J$  バンドまでの減光量で十分にトレースできていると考えられる。よって、本研究では  $A_V^D$  と  $A_V^J$  を合成することにする。

合成作業は、 $A_V^D$  と  $A_V^J$  を単純に足し合わせるのではなく、以下のように  $A_V^D$  の範囲を考慮して合成した。

$$A_V = \begin{cases} A_V^D & (A_V^D < 1 \text{ mag}) \\ \beta_D A_V^D + \beta_J A_V^J & (1 \leq A_V^D \leq 2 \text{ mag}) \\ A_V^J & (A_V^D > 2 \text{ mag}) \end{cases} \quad \text{式3}$$

ここで  $\beta_D$  と  $\beta_J$  は、

$$\begin{aligned} \beta_D &= 2 - A_V^D \\ \beta_J &= A_V^D - 1 \end{aligned} \quad \text{式4}$$

である。つまり、減光量の低い領域は  $A_V^D$  を用い、高い領域は  $A_V^J$  を用い、中間的な領域は両者に重みを付けて合成したものをを用いるのである。中間的な領域に重みを付けることに物理的な意味は無いが、このようにすれば  $A_V^D$  と  $A_V^J$  の間の不連続性を消去することができる。

得られた合成マップを図5に示す。図から分かるように、合成マップでは、暗黒星雲周囲の希薄なダストから中心部の濃密な部分までが高精度で描き出されている。

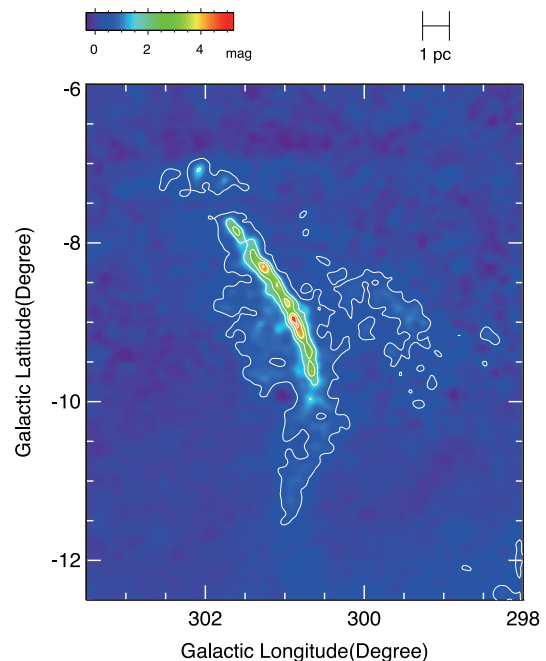


図5 Musca暗黒星雲の  $A_V^D$  と  $A_V^J$  を合成した  $A_V$  マップ。コントアの最小値は 0.5 mag であり、以降のコントアは 1 mag 毎に引いてある。

暗黒星雲の内部構造は、自己重力と乱流のバランスで決まる。最近の数値計算によると (Kritsuk et al. 2007), 乱流が支配的な場合、暗黒星雲の密度分布は対数正規分布に従うことが明らかになりつつある。このような密度構造を実際の暗黒星雲で調査するためには、広いダイナミックレンジで密度構造を調べなければならない。本研究で試みた多波長の減光量データの合成方法は、このような研究を遂行する上で、重要な研究手段となるものと期待される。

#### 4. 結論

本研究では、可視光減光量と近赤外線減光量を合成して1つの減光量マップを作成する研究手法の開発を試みた。両者を合成することで、暗黒星雲のダスト分布を広い密度範囲で描き出すことが可能となる。本研究では、はえ座領域の暗黒星雲に対して開発した方法を適用し、その実用性を確かめた。

#### 謝辞

本研究の一部は科学研究補助金 (Nos. 21650205, 22340040, 22700785) の資金的援助を受けて行いました。ここに感謝致します。

#### 引用文献

- Arnal, E., Morras, R., & Rizzo, J. 1993, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 265, 1
- Cardelli, J. A., Geoffrey, C. C., & John, S. M. 1989, *Astrophysical Journal*, 345, 245
- Dobashi, K., Uehara, H., Kandori, R., Sakurai, T., Kaiden, M., Umemoto, T., & Sato, F. 2005, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 57, SPI, S1
- Dobashi, K. 2010, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, submitted
- Gregorio-Hetem, J. C., Sanzovo, G. C., & Lepine, J. R. D. 1988, *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 76, 347
- Kritsuk, A. G., Norman, M. L., Padoan, P., & Wagner, R. 2007, *Astrophysical Journal*, 665, 416.
- Mizuno, A., Hayakawa, T., Tachihara, K., Onishi, T., Yonekura, Y., Yamaguchi, N., Kato, S., Hara, A., Mizuno, N., Kawamura, A., Abe, R., Saito, H., Yamaguchi, R., Ogawa, H., & Fukui, Y. 1999, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 51, 859
- Mizuno, A., Yamaguchi, R., Tachihara, K., Toyoda, S., Aoyama, H., Yamamoto, H., Onishi, T., & Fukui, Y. 2001, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 53, 1071
- Pereyra, A., & Magalhães, A. M. 2004, *Astrophysical Journal*, 603, 584
- Prusti, T., Whittet, D. C. B., Assendorp, R., & Wesselius, P. R. 1992, *Astronomy & Astrophysics*, 260, 151
- Román-Zúñiga, C. G., Lada, C. J., & Alves, J. F. 2009, *Astrophysical Journal*, 704, 183
- Whittet, D. C. B., Prusti, T., Franco, G. A. P., Gerakines, P. A., Kilkenny, D., Larson, K. A., & Wesselius, P. R. 1997, *Astronomy & Astrophysics*, 327, 119