

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: Japanese
	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	http://hdl.handle.net/2309/107955

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λでの減光量を4k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, Ks等 の近赤外線のバンドで測定される減光量A_i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のには適している。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, Ks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Av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タウリ型星の分布 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_{Ks}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2a)。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_{Ks}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2d)。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)。¹²CO分子ガスの観測では、質量は170M。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Ay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_{Ks} 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 $J(1.25 \mu$ m), $H(1.65 \mu$ m), $K_S(2.17 \mu$ m) バンドに よる減光量データ A_J , A_H , A_{KS} 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 ² ($\lambda = J, H, Ks$)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 $A_{v^{D}} \geq A_{\lambda}$ 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_λ 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, $A_V^{D} \geq A_\lambda$ 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_λ 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_λ データの 角分解能が 6′より大きいところは A_λ 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_λ 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_{λ} 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_{λ} データをVバンド相当の減光量データ A_{V}^{λ} へ変換する。 まず、 $A_{V}^{D} \geq A_{\lambda}$ データの相関を以下の式でフィットして 求める。

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 a_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 $A_V^D \ge A_\lambda$ の関係をフィットした時に得られる a_0 の値を



図3 $A_{V^{D}} < A_{0}$ の範囲で $A_{V^{D}} \ge A_{\lambda}$ の関係をフィットした時に得られた α_{0} の値。

2

 A_0 の関数として調べたものである。Musca暗黒星雲の 場合, $A_0 = 3 \sim 3.5 \max \sigma a_0$ の値が落ち着いたので, $A_{V^D} < 3 \max \sigma$ 部分をフィットして a_0 を求めることに した。

図4に $A_V^D \ge A_\lambda$ の相関図及びフィットの結果を示す。 また、求めた係数 $a_0 \ge a_1$ を表1にまとめる。 a_1 はデー タ間のオフセットであり、 $A_V^D \bowtie A_\lambda \ge$ 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 $A_V^D \ge A_\lambda$ の真の比を与える。 $A_V^D \ge A_\lambda$ 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_λ/A_V 比を表1に示す。 最終的には、得られた $a_0 \ge a_1$ から、

という変換式を用いて A_{λ} データをVバンド相当の減光量 A_{V}^{λ} に変換した。

③ A_V^DとA_V^Aを合成する。

得られた A_V^D と A_V^λ 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_A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, -2.0mag ずらし て表示してある。

表1.	A ^D 対A	の変換係数
2	<i>NV N N</i>	*/ X IV W X

A_{λ}	α_0	α1	Cardelli [Rv=3.1] ^a
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2c, 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Av^DとAv^Jを合成することにする。

合成作業は、 $A_{V}^{D} \ge A_{V}^{J} \ge \Psi$ 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。

$$A_{V} = \begin{cases} A_{V}^{D} & (A_{V}^{D} < 1 \text{ mag}) \\ \beta_{D} A_{V}^{D} + \beta_{J} A_{V}^{J} & (1 \le A_{V}^{D} \le 2 \text{ mag}) \\ A_{V}^{J} & (A_{V}^{D} > 2 \text{ mag}) \end{cases} \vec{\mathfrak{R}} \ 3$$

ここで
$$\beta_D \ge \beta_J$$
は、
 $\beta_D = 2 - A_V^D$
武
4
 $\beta_J = A_V^D - 1$

である。つまり,減光量の低い領域は*Av^Dを*用い,高い 領域は*Av^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 *Av^DとAv^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、暗黒星雲周辺の希薄なダストから中心部の濃密な部分までが高い精度で描き出されている。



図5 Musca暗黒星雲の $A_V^D \ge A_V^J \ge A_V = 0$ プ。コントアの最小値は0.5mag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, SP1, 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