

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月1日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340040

研究課題名（和文） 大規模クラスター・大質量星形成を引き起こす巨大分子雲コアの形成・進化過程の徹底解明

研究課題名（英文） Evolution of Cloud Cores Forming Massive Star and Star Clusters

研究代表者

土橋 一仁 (DOBASHI KAZUHITO)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：20237176

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、大質量星・クラスター形成を起こす分子雲コアの物理量を統計的に調査することである。我々はまず、近赤外線之星のデータベースである 2 Micron All Sky Survey の点源カタログ (2MASS PSC) を利用して分子雲コアの全天カタログを作成した。それを基にクラスター形成が起きている分子雲コアを選定し野辺山 45m 鏡等でミリ波分子分光観測を行い、そのような分子雲コアの平均的な質量・密度・温度等・速度分散等の特徴を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of our study is to investigate physical properties of molecular cloud cores forming massive stars and star clusters. We first produced an all-sky catalog of dense cloud cores utilizing the 2 Micron All Sky Survey Point Source Catalog (2MASS PSC). Based on the catalog, we carried out molecular line observations toward a number of dense cores accompanied by young infrared clusters to derive their typical molecular mass, hydrogen density, excitation temperature, and velocity dispersion.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2011年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2012年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	19,240,000

研究分野：天文学、星形成

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：星形成、星団形成、大質量星

1. 研究開始当初の背景

(1) 大質量星やクラスターを形成する分子雲コアの特徴

従来の星形成の研究は、近傍分子雲中での小質量星（太陽程度）を主な研究対象としていた。しかし近年、観測装置の進歩により、大質量星やクラスター（星団）を含む遠方の星形成領域や、マゼラン銀河など系外銀河での星形成に関する統計的研究も行われるようになった。また、銀河系の星

の大部分はクラスターとして形成されることも指摘されるようになり、クラスター形成に関する研究が観測・理論の両面から盛んに行われつつある。

研究開始当初、世界の星形成の研究者たちは、星間分子雲や星形成について、以下のような新たな認識を持ち始めていた。①乱流が支配的な分子雲の密度分布はログノーマルな分布則（密度の対数が正規分布になる）に従うが、星形成が進行している分子雲のそれはログノーマルな

分布からのズレが生じるらしいこと。②星の母体となる分子雲コアは、フィラメンタリーな構造をもつこと。③クラスタ形成や大質量星形成が起きている領域では、しばしば分子雲同士の衝突の痕跡が見つかること。

①のログノーマルからのズレは、乱流が散逸して分子雲内に自己重力による構造（即ち分子雲コア）が形成されはじめていることを反映している可能性が高い。②のフィラメンタリーな構造の形成には自己重力や磁場が関与していると考えられる。③はクラスタ形成や大質量星形成が分子雲衝突により誘発されている可能性を示唆するものである。これら一連の研究は示唆に富んだ興味深いものであるが、得られた研究結果は散発的で、サンプル数の乏しい特定の分子雲や分子雲コアに基づくものが多かった。その普遍性を確かめ研究を深化させるためには、豊富な分子雲コアのサンプルに基づく統計的な研究が不可欠であった。

(2) 分子雲コアのデータベースの必要性

研究開始当時存在していた分子雲のデータベースとしては、Lynds (1962) や Khavtassi (1995) によって編纂された伝統的な暗黒星雲カタログのほか、光学写真のデータベースである Digitized Sky Survey I (DSS) に基づいて我々自身が編纂した暗黒星雲カタログ (Dobashi et al. 2005) だけであった。DSS に基づくカタログは近代的かつ定量的であり、可視光減光量 (A_v) の詳細な分布がわかる。しかし、これは可視光のデータであるため、分子雲に深く埋もれた分子雲コアを定量することは困難であった。分子雲コアそのもののデータベースとしては、 NH_3 輝線に基づく Benson や Myers (1989) や、 CCS 輝線に基づく Hirota ら (2009) のものがあるが、サンプルのコンプリートネスという意味ではまったく不完全で、天空のごく一部しかカバーしておらず、しかもクラスタ形成や大質量星形成が起きているコアはほとんど含まれていない。研究開始当時、クラスタ形成・大質量星形成を理解するためには、その母体となる分子雲コアのまとまったデータベースの構築からはじめなければならない状況であった。

2. 研究の目的

以上を踏まえ、我々は次の (1) ~ (3) を主たる目的として研究を開始した。

(1) 全天を網羅する分子雲コアのデータベースの実現

まず、研究に用いるための分子雲コアのサンプルを入手するため、①全天を網羅し、②定量的（減光量や広がりなども記載）で、③クラスタ形成が起きているか否かも判別できる分子雲コアのデータベースを独自に作成する。

(2) クラスタ形成を起こす分子雲コアの観測的研究

上の (1) で作成した分子雲コアのデータベースより、クラスタ形成・大質量形成が起きて

いる分子雲コアをリストアップし、系統だったミリ波分子分光観測を行い、クラスタ形成時の分子雲コアの進化過程を追跡する。

(3) シミュレーションによる理解の深化

以上の研究からクラスタ形成を起こしている分子雲コアの典型的なパラメータ（密度・質量・乱流）を得て、それを基に自己重力と乱流を取り入れた Adaptive Mesh Refinement シミュレーション（以後、自己重力乱流 AMR シミュレーションと呼ぶ）を遂行する。特に、クラスタ形成が起きる分子雲コアの初期の物理状態の理解を深めたい。

3. 研究の方法

(1) 分子雲コアのデータベースの実現

全天を網羅する分子雲コアのデータベースを実現するために、近赤外線星のデータベースである 2 Micron All Sky Survey (2MASS) の点源カタログを利用した全天の近赤外線減光量マップを作成し、そこから分子雲に埋もれた分子雲コアをピックアップする。これを実現する方法としては、天球上での星数密度を計測する方法（スターカウント法）と、星の色の平均値を計測する方法（平均赤化法）の2つが考えられるが、本研究では両方の方法で全天の減光量マップを作成する。このような減光量マップの作成には膨大な計算が必要になるが、我々はこれまでも Digitized Sky Survey I (DSS) を利用した可視光減光量マップ (Dobashi et al. 2005) や、SIRIUS による近赤外線データを用いたマゼラン銀河の減光量マップ (Dobashi et al. 2008, 2009) を作成した経験があるので、1-2年の間に計算を完了することは十分可能であると考えた。近赤外線減光量マップの作成と分子雲コアのリスト化については、土橋が担当することにした。

(2) 野辺山 45m 鏡及び大阪府立大学 1.85m 鏡による観測

2MASS を利用して作成した分子雲コアのカタログよりクラスタや大質量星を形成しているものを選出し、野辺山 45m 鏡及び大阪府立大学 1.85m 鏡によるミリ波分子分光観測を行う。得られたデータを解析し、①分子雲コアの質量 M_c 、②分子ガスの速度分散 ΔV 、③クラスタの構成星数 N_s 、及び④クラスタの年齢 τ の関係を探る。特に、クラスタを形成する分子雲コアの星形成効率が、従来よく研究されてきた小質量星を形成しているコアのそれとどの程度違うか、定量的に調べる。また、クラスタ形成が起きる直前・直後の状態にある分子雲コアを選定し、その密度分布や速度分布を描き出し、クラスタ形成の初期条件を探りたい。

1.85m 鏡の開発・整備については、研究分担者の大西が担当し、45m 鏡による観測については土橋が遂行することにした。

(3) シミュレーション

上記の観測で得られる様々な分子雲コアのデ

ータより、クラスタ形成を起こす分子雲コアの初期状態のパラメータ（ガス密度や音速）を入力し、観測される現象や構造を説明できるか、またそのような初期状態を実現するには、どのような要因（超新星残骸との相互作用など）が必要か、検討する。自己重力乱流 AMR シミュレーションについては研究分担者の松本が担当し、その解釈については松本・中村が共同で検討することにした。

4. 研究成果

(1) 分子雲コアの巨大データベースの実現

研究開始後1年程度で、2MASSの点源カタログにスターカウント法と平均赤化法を適用して、3種類の近赤外線減光量 (A_J , A_H , A_{K_s}) と2種類の色超過 ($E[J-H]$, $E[H-K_s]$) の全天マップを作成した。また、その中から分子雲コアと考えられるものをピックアップし、分子雲コアの全天カタログを実現することができた。このカタログには全天で7,614個の分子雲コアの①広がり、②減光量、③座標が記録されている。また、減光量マップや色超過マップの特徴（減光量で「谷」、色超過で「山」となるコア）から、形成途上のクラスタが付随する可能性が高いもの（534個）をピックアップした。得られた一連のデータを、日本天文学会発行の学術雑誌 Publications of the Astronomical Society of Japan (PASJ) の特集号として発表した(Dobashi, K. 2011, PASJ, 2011, Vol. 63, S1-S382)。また、デジタルデータをホームページ上にまとめ（図1）、多くの天文学者が自由に利用できるデータベースとして整備した。このホームページでは以前に作成したDSSに基づく可視光減光量マップのデータも併せて公開しており、暗黒星雲及び分子雲コアの貴重なデータベースとして、今や世界各地から多くのアクセスがある。また、プランク衛星（欧州）の参照データとしても、大いに利用されている。以上の通り、2MASSを利用した分子雲コア探査は、学術的に大きな成果を挙げることができた。

(2) 分子雲コアの統計的研究とクラスタ形成領域の研究

2MASSを利用して作成した分子雲コアのデータベースより、1.85m鏡が設置されている野辺山（長野県）から観測可能なものを100個程度ピックアップし、同望遠鏡での ^{12}CO ・ ^{13}CO ・ C^{18}O 分子輝線（200GHz帯の $J=2-1$ 分子輝線による）を遂行した。分子雲コアの選定にあたっては、様々なコンタミネーションを避けるため、星間空間に比較的孤立して存在する分子雲コアを選んだ。これらの分子雲コアは、必ずしも星形成に直結する分子雲コアばかりではなく、遠方の巨大分子雲等も含まれる。

得られたデータを解析した結果、①分子雲コアの質量 M_c は、 $10 < M_c < 10^5$ 太陽質量の範囲で、半径 R の2乗に比例する ($M_c \propto R^2$) ことが分か

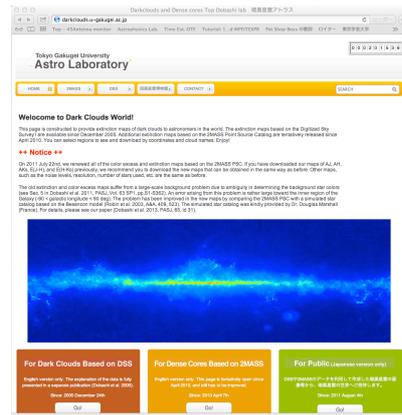


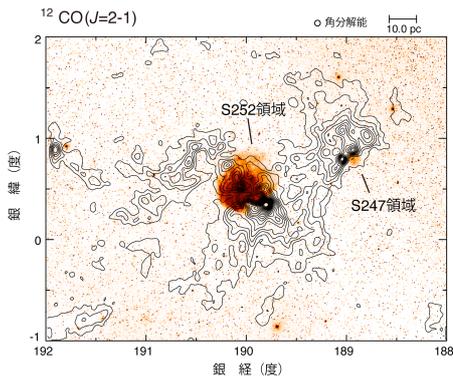
図1：2MASSに基づく分子雲コアのデータベース (<http://astro.u-gakugei.ac.jp/~tenmon/Atlas/index.html>)

った。以下で述べるように、より高い角分解能で観測すると、 M_c は R の3乗に比例することになることから、コアが進化（高密度化）する際、おそらく乱流より自己重力が優勢となる時点で、分子雲コアの中心部がシート状の形状から球形に近い形に変化するものと思われる。実際、次の(3)で述べるシミュレーションの結果からは、 C^{18}O ($J=2-1$)分子輝線等でトレースされる高密度領域は、乱流が卓越している時には球形というよりむしろシート状（またはフィラメント状）に広がっている部分が多いことが示唆される。この質量・半径の関係は分子雲コア及びその内部の構造を探る上で重要な鍵を握っているものと思われる。

1.85m鏡で観測した分子雲コアのうちクラスタ形成が起きているものをピックアップしたところ、モンキーヘッド星雲として知られる電離水素領域S252と、それに隣接する別の電離水素領域S247に10個ほどの若いクラスタ付きの分子雲コアが集中していることが分かった。これらのクラスタの年齢（文献値）は1~5Myr程度に分布しており、またクラスタを（おそらく）まだ形成していない分子雲コアも複数存在し、クラスタの形成過程を調査するには好都合な領域であることが分かった。そこで我々は、1.85m鏡でS247・S252領域全体のCO観測を遂行しつつ（図2）、野辺山45m鏡を用いて同領域の分子雲コアを100GHz帯域の6つの分子輝線 (^{13}CO , C^{18}O , SO, CS, C^{34}S , C_2S) でマッピングした。

観測の結果、45m鏡で検出した分子雲コアはほぼ例外なく力学平衡にあること、コアの質量 M_c は半径 R の3乗に比例し ($M_c \propto R^3$) その平均密度は $n(\text{H}_2) = 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 程度であること、コア内でのSOとCSの存在比を化学進化モデルと比較したところ物理的年齢の指標であるクラスタの有無と整合性があること、など、新しい知見が幾つか得られた。

一連の発見の中で特に興味深いのは、①クラスタの規模を表す構成星の数 N_s と母体分子雲



Shimoikura et al. 2013, ApJ, 203, 768, 72

図2：モンキーヘッド星雲の光学イメージ（赤, DSS）とCO(J=2-1)分子輝線の強度分布（コンター）。

コアの質量 M_c の間には負の相関があること（図3）、②クラスタの進化に伴い母体分子雲コアの乱流の大きさ（速度分散）に特徴的な変化が見られること（図4）、の2点である。

図3の横軸に示した N_s は、クラスタの構成星が主系列星になるまでは単調に増加するので、年齢の指標となる。よって、 N_s と M_c の負の相関は、クラスタの成長にとともに分子雲コアの質量が星に変換されたり星間空間へ散逸したりして減少していることを意味している。クラスタ形成以前のコアの質量（初期値）を M_g 、現在観測されるガスの質量を M_c 、散逸したガスの質量を M_d 、星の総質量を M_s とすると、これらのパラメータ間の関係は、

$$M_g = M_c + M_d + M_s \quad (\text{式1})$$

となる。ここで、Salpeterの星の初期質量関数を仮定すると、クラスタの星の平均質量は約1太陽質量なので、 $M_s = 1 \times N_s$ としてよい。単位時間当たりの星形成率の時間平均を α ($M_s = \alpha T$, T は時間)、ガスの散逸率の時間平均を β ($M_d =$

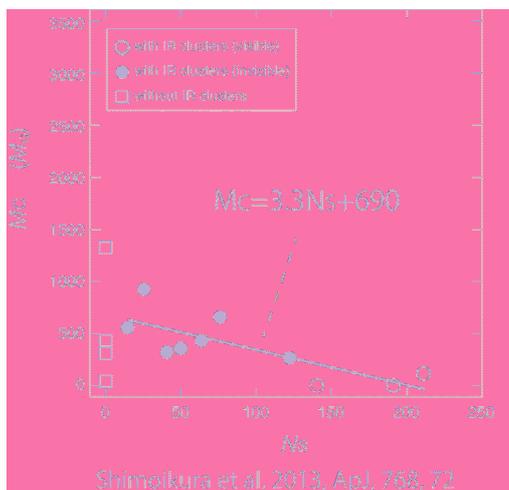


図3：母体分子雲質量対クラスタの構成星の数

βT) とすると、式1の関係は、

$$M_c = -(1 + \beta / \alpha) M_s + M_g \quad (\text{式2})$$

となるので、図3の測定点を1次フィットすれば、クラスタ形成を引き起こす母体分子雲コアの平均的な初期質量 M_g と、形成されるクラスタの平均的な星の総質量 M_s (または総数 N_s) が得られる。こうして得られた M_g は670太陽質量であり、 M_s は203太陽質量である。これらの数値から、クラスタの平均的な星形成効率 (M_s / M_g) は、30%程度であることが分かった。

図4のプロットをみると、クラスタ形成以前のコアの速度分散は $\Delta V \sim 2 \text{ km/s}$ 前後であるのに対し、クラスタが形成されると $3-4 \text{ km/s}$ に増大する。その後、周囲のガスが散逸しはじめると、また 2 km/s 前後に戻る。プロットは、クラスタと分子雲コアの特徴から Type I (可視光では見えない小さなクラスタ)、Type II (可視光では見えない大きなクラスタ、 $C^{18}O$ が検出される)、Type III (可視光で見える大きなクラスタ、 $C^{18}O$ が検出されない) に分類している。図の横軸がクラスタの進化時間を反映しているとすると、この図は、クラスタが形成される過程でコアの乱流運動が増大する時期があることを示している。我々は、いくつかのクラスタについて過去の分子流探査の結果（文献）を調査し、クラスタから発生する分子流がこの乱流の増大の原因である可能性が高いことを見いだした。

以上の結果より推測されるクラスタ形成を伴う分子雲コアの進化の様子を、図5にまとめる。

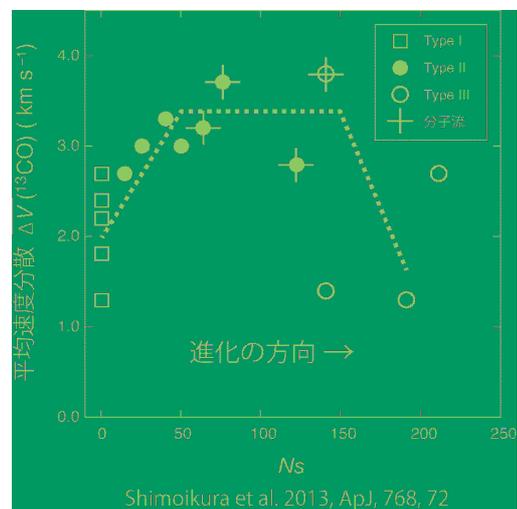


図4：速度分散対クラスタの構成星の数

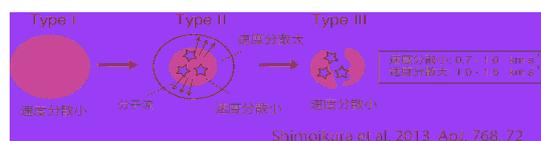


図5：クラスタを形成するコアの進化のイラスト

(3) 大質量星形成・クラスタ形成を起こす直前の分子雲コアの観測とシミュレーション

上の(1)の2MASSを利用した近赤外線減光量マップを利用した分子雲コアの探査では、巨大な質量を持ちながらほとんど星を形成していない希少な分子雲コアも見つかった。そのコアは、はくちょう座の7番目のOBアソシエーションの近くにある巨大分子雲の中にあり、可視光では確認できないが、Kバンドの減光量マップにははっきりとその姿が映し出されている。以後、これをL1004Eと呼ぶ。(2)の研究の分類では、L1004EはType Iか、それ以前のクラスタ・大質量星形成を引き起こす分子雲コアの原始の姿であると考えられる。

我々は、このコアに対して野辺山45m鏡を用いた $C^{18}O$ 分子輝線等の観測を遂行した。得られたデータを解析したところ、その質量は1万太陽質量もあり、平均密度は $n(H_2)=1\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ で、1本当たり数百~千太陽質量の10本程度のフィラメント群からなる構造をしていることが分かった(図6)。さらに、 $C^{18}O$ データのチャンネルマップ(視線速度毎の積分強度図)を作成すると、フィラメント同士が所々で衝突を繰り返

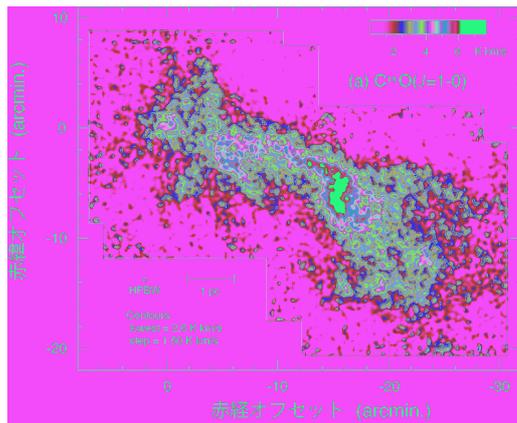


図6：巨大分子雲コアL1004Eの $C^{18}O$ 積分強度図

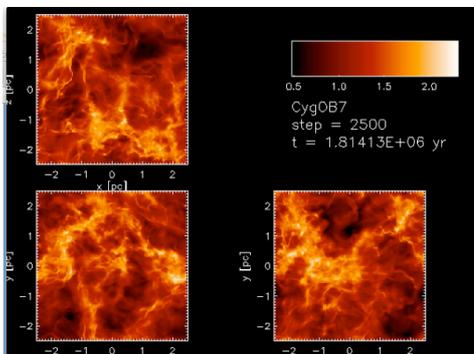


図7：シミュレーションの結果の一部

している描像が得られた。このような衝突は、チャンネルマップ上の「穴」と「山」として認識される。

最近のシミュレーションによると、球形のクランプ同士が衝突すれば、高い星形成効率(約30%)を伴って、クラスタが形成される可能性が高いことが示されている。フィラメント同士の衝突は、局所的にはクランプの正面衝突に近いので、衝突部分でクラスタ形成が誘発されるものと考えられる。問題は、そのようなフィラメント同士の衝突が起き得るか否かであるが、一般的なシミュレーションによると、そのような衝突はなかなか起きないことが知られている。

そこで我々は、L1004Eで得られた密度・質量・速度分散を基に、自己重力乱流AMRシミュレーションを遂行し、分子雲コアの形成初期から 3×10^6 年までを追跡した(図7)。その結果、分子雲コアが静的に進化した場合には目立った衝突はなかなか起きないが、衝突と考えられる(あるいはチャンネルマップ上の穴と山ができる)ケースが2つ観測された。一つは、自己重力により形成された構造が、大局的なシアーの中を移動する時に見られるもので、我々が期待するフィラメント同士の衝突とは言い難い。もう一つは、我々が期待する高密度フィラメント同士の衝突であるが、衝突頻度は低く、星形成直前に見られた。しかし、星形成開始後に衝突が起きることは無かった。ところが、超新星残骸や激しい星風を仮定して大局的なガスの流れを仮定すると、このような高密度フィラメント同士の衝突と星形成が同時に観測され得ることが分かった。衝突と星形成の前後関係までは追跡できなかったが、L1004Eの母体分子雲の近傍には実際に超新星残骸HB21があり、分子雲全体と相互作用をしている可能性が過去の研究で指摘されている(Tatematsu et al. 1990)。

また、このシミュレーションでは観測される柱密度の時間変化も追跡した。その結果、乱流が支配的な時期は従来の研究で指摘されてきた通り柱密度はログノーマルな分布になるが、自己重力による構造形成が進むと、高密度部分はログノーマルな分布からのズレとして観測された。また、そのズレは、星形成が起き始めてからより顕著に現れることも分かった。

以上をまとめると、L1004Eは大質量星・クラスタ形成を引き起こす分子雲コアの原始の姿であると考えられ、その密度は $n(H_2)=1\times 10^4\text{ cm}^{-3}$ で、質量は 1×10^4 太陽質量であり、1本が数百太陽質量の十数本のフィラメントから成る構造をしており、それらのフィラメントは互いに衝突していることが分かった。シミュレーションの結果からは、その衝突の原因は、近傍の超新星残骸からの分子雲圧縮であると考えられる。おそらく、これがトリガーとなって、大質量星形成やクラスタ形成が引き起こされるものと推察される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

- ① “Atlas and Catalog of Dark Clouds Based on the 2 Micron All Sky Survey. II. Correction of the Background Using the Besançon Galaxy Model”, K. Dobashi, D. J. Marshall, T. Shimoikura, and J.-Ph. Bernard, 2013, Publ. Astron. Soc. Japan, Vol. 65, article id. 31 (16pp), 査読有
- ② “Molecular Clumps and Infrared Clusters in the S247, S252, and BFS52 Regions”, T. Shimoikura, K. Dobashi, H. Saito, T. Matsumoto, F. Nakamura, A. Nishimura, K. Kimura, T. Onishi, and H. Ogawa, 2013, Astrop. Journal, Vol. 768, article id. 72 (27pp), 査読有
- ③ “Dark gas in the solar neighborhood from extinction data”, D. Paradis, K. Dobashi, T. Shimoikura, A. Kawamura, T. Onishi, Y. Fukui, and J. Ph. Beranrd, 2012, Astro. Astrop., Vol. 543, article id. A103 (9pp), 査読有
- ④ “Molecular Line Observations of MCLD 123.5+24.9 in the Polaris Cirrus”, TOMOMI SHIMOIKURA, KAZUHITO DOBASHI, TOHKO SAKURAI, SHURO TAKANO, SHINGO NISHIURA, AND TOMOYA HIROTA, 2012, Astrop. Journal, Vol. 731, article id. 195 (15pp), 査読有
- ⑤ “Planck early results. XXV. Thermal dust in nearby molecular clouds”, Planck Collaboration; Abergel, A. Ade, P. A. R. Aghanim, N. Arnaud, M. Ashdown, M. Aumont, J. Baccigalupi, C. Balbi, A. Banday, A. J. and 190 coauthors, 2011, Astron. Astrop., Vol. 536, article id. A25 (pp18), 査読有
- ⑥ “Planck early results. XXIII. The first all-sky survey of Galactic cold clumps”, Planck Collaboration; Ade, P. A. R. Aghanim, N. Arnaud, M. Ashdown, M. Aumont, J. Baccigalupi, C. Balbi, A. Banday, A. J. Barreiro, R. B. and 195 coauthors, 2011, Astron. Astrop., Vol. 536, article id. A23 (33pp), 査読有
- ⑦ “STAR FORMATION AND DISTRIBUTIONS OF GAS AND DUST IN THE CIRCINUS CLOUD”, TOMOMI SHIMOIKURA AND KAZUHITO DOBASHI, 2011, Astrop. Journal, Vol. 731, article id 23 (14pp), 査読有
- ⑧ “A Statistical Study of Dust Properties in Large Magellanic Cloud Molecular Clouds”, Paradis Deborah, Reach William T, Bernard Jean-Philippe, Madden Suzanne, Dobashi Kazuhito, Meixner Margaret, Onishi Toshikazu,

Kawamura Akiko, Fukui Yasuo, 2011, Astron. Journal, Vol. 141, article id 43 (16pp), 査読有

⑨ “Atlas and Catalog of Dark Clouds Based on the 2 Micron All Sky Survey”, Dobashi, K., 2011, Publ. Astron. Soc. Japan, Vol. 63, pp. S1-S362, 査読有

[学会発表] (計 38 件)

① “CygOB7分子雲の巨大分子雲コアと衝突するフィラメント群の発見”、土橋一仁、松本倫明、下井倉ともみ、日本天文学会春季年会、2013年03月20日～2013年03月20日、埼玉大学 (埼玉県)

② “Cluster formation in the Sh247/ Sh252/ BFS52 regions”, T. SHIMOIKURA, K. DOBASHI, T. ONISHI, H. OGAWA, K. KIMURA, A. NISHIMURA, T. MATSUMOTO, F. NAKAMURA, AND H. SAITO, held December 3 - 8, 2012, The New Trends in Radio Astronomy in the ALMA Era The 30th Anniversary of Nobeyama Radio Observatory, The Prince Hakone hotel (Kanagawa, Japan), ポスター発表

③ “Simultaneous ^{12}CO , ^{13}CO , and C^{18}O ($J=2-1$) Observations of the Monkey-Head Nebulae”, Shimoikura, T., and Dobashi, K., 2011, The 11th Asia-Pacific IAU Regional Meeting (APRIM 2011), held July 26 - 29, 2011, The Empress Hotel & Convention Centre (Chian Mai, Thailand), ポスター発表

④ “Atlas and Catalog of Dark Clouds Based on the 2 Micron All Sky Survey”, Dobashi, K., and Shimoikura, T., 2011, The 11th Asian-Pacific Regional IAU Meeting (APRIM 2011), held July 26 - 29, 2011, The Empress Hotel & Convention Centre (Chian Mai, Thailand), 口頭発表

[その他]

分子雲コアのデータ公開用のホームページ

<http://astro.u-gakugei.ac.jp/~tenmon/Atlas/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土橋 一仁 (DOBASHI KAZUHITO)
東京学芸大学・教育学部・准教授
研究者番号: 20237176

(2) 研究分担者

中村 文隆 (NAKAMURA FUMITAKA)
国立天文台・理論研究部・准教授
研究者番号: 20291354

(3) 研究分担者

大西 利和 (ONISHI TOSHIKAZU)
大阪府立大学・理学研究科・教授
研究者番号: 30314058

(4) 研究分担者

松本 倫理 (MATSUMOTO TOMOAKI)
法政大学・人間環境学部・教授
研究者番号: 60308004