

アルマ望遠鏡とそれを利用したエキサイティングな研究への招待

Invitation to ALMA and exciting research with it

*長谷川 哲夫¹*Tetsuo Hasegawa¹

1.自然科学研究機構 国立天文台

1.National Astronomical Observatory of Japan, National Institutes of Natural Sciences

アルマ望遠鏡 (ALMA = Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) は、ヨーロッパ (ESO加盟の16カ国)、北アメリカ (アメリカ合衆国、カナダ)、東アジア (日本、台湾、韓国) がチリと協力して、チリ北部アンデス山中の標高5000mのアタカマ高地に建設・運用する国際的な観測施設で、波長約3.5mmから0.32mmのミリ波・サブミリ波を観測する極めて高い能力で天文学観測に革命をもたらしつつある。アルマは、口径12mのパラボラアンテナ54台と口径7mのパラボラアンテナ12台を組み合わせた開口合成型の電波望遠鏡 (写真) で、アンテナの配置を変えることで、得られる電波画像の分解能を変えることができる。

2014年に行われた、長基線観測試験キャンペーンでは、アンテナの間隔 (基線長) を最大15kmまで広げて観測波長0.87mmで0.025" (3.5AU) の空間分解能を達成し、若いT Tauri星HL Tauを取り巻く原始惑星系円盤に多数のリング/ギャップ構造があることを描き出して世界の研究者を驚かせた (ALMA Partnership et al. 2015, ApJL 808, L3)。アルマは様々な原始惑星系円盤で、成長の初期段階にあるダストからの熱放射を高い感度と分解能で観測し、予想もしなかったような円盤の構造を次々に描き出している。また、分光観測では円盤中のガス成分 (主成分はH₂) に含まれる様々な分子の分布や運動をとらえ、snow lineや、中心星に向かって落ちていくガス中の化学反応による組成の変化が見いだされた。糖やシアン基を持つ分子などの生命に関連する分子も検出されている。アルマの観測によって、惑星形成の初期段階に関する私たちの理解は大きく進もうとしている。

アルマは、2011年の初期科学観測開始以来、4期 (サイクル0-3) の観測プロポーザル公募による国際共同利用を行ってきた。最近1年に1サイクルのペースで観測プロポーザルの募集が行われ、毎年4月にプロポーザル切が設定されている。日本を中心とする東アジアは、建設・運用の4分の1に貢献し、それに見合う観測時間シェア (チリのシェア10%を除く90%の4分の1 = 全体の22.5%) を持っている。採用されたプロポーザルは、チリのアルマ観測所が提案者に代わり観測を行い、キャリブレーションを済ませたデータが提案者に届く。したがって、研究者はそれぞれ大学や研究所の研究室に居ながらにして、世界最先端の望遠鏡を使った研究を展開することができる。さらに、提案者のデータ占有期間 (データが届いてから1年) が過ぎた観測データは、アーカイブデータとして世界に公開されるので、その観測を提案したかどうかにかかわらず誰でも解析して論文を書くことができる。アーカイブ利用も含めると1件の観測データから数編の論文が書かれることも珍しくない。

アルマの科学運用において利用者とのインターフェイスとなるのが日米欧に作られたアルマ地域センター (ARC = ALMA Regional Center) である。日本では東京都三鷹市の国立天文台に東アジア・アルマ地域センター (EA-ARC = East Asian ARC) が設置され、観測プロポーザルの募集、採用されたプロポーザルの観測手順書準備、観測されたデータの品質確認と配達、アーカイブデータの公開などを行っている。またヘルプデスクや担当サポートサイエンティストを通じて、プロポーザル準備やデータ解析の相談に応じている。

このようにアルマは、惑星形成の研究に大きな変革とチャンスをもたらしている。1人でも多くの研究者が、アルマとそのデータを用いた研究に参加されることを期待している。

国立天文台 アルマ

<http://alma.mtk.nao.ac.jp>

東アジア・アルマ地域センター

<http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/forresearchers/ea-arc/>

アルマ観測所

<http://www.almaobservatory.org>

キーワード：惑星形成、原始惑星系円盤、電波天文学観測、ミリ波・サブミリ波

Keywords: Planet formation, Protoplanetary disks, Radio astronomy observations, Millimeter and submillimeter waves



アグリゲイトの焼結が引き起こす原始惑星系円盤のダストリング形成
Sintering-induced dust ring formation in protoplanetary disks

*奥住 聡¹、百瀬 宗武²、城野 信一³、小林 浩³、田中 秀和⁴

*Satoshi Okuzumi¹, Munetake Momose², Sin-iti Sirono³, Hiroshi Kobayashi³, Hidekazu Tanaka⁴

1.東京工業大学、2.茨城大学、3.名古屋大学、4.東北大学

1.Tokyo Institute of Technology, 2.Ibaraki University, 3.Nagoya University, 4.Tohoku University

The latest ALMA observation of HL Tau revealed spectacular concentric dust rings in its circumstellar disk. We propose the hypothesis that the multiple rings resulted from the sintering of icy aggregates in the disk. Sintering is the process that fuses particles consisting of an aggregate at temperatures slightly below the melting temperature of the particles. Sintering makes aggregates harder but less sticky (Sirono 1999; Sirono & Ueno 2008), thereby suppressing their growth through coagulation. In a protoplanetary disk, icy aggregates are thought to contain various volatiles such as CO and CH₄, each of which may cause the sintering of the aggregates in the vicinity of its snow line (Sirono 2011). We construct a simple model that takes into account sintering, coagulation, and radial drift (Adachi et al. 1976; Weidenschilling 1977) of composite ice aggregates in a protoplanetary disk. We find that the aggregates pile up in the sintering zones near the snow lines because smaller aggregates drift toward the central star more slowly. At millimeter wavelengths, the sintering zones are seen as bright, optically thick rings with a spectral slope of 2, whereas the non-sintering zones are seen as dark, optically thin rings of a spectral slope of 2.3-2.5. The observational features of the sintering and non-sintering zones are consistent with those of the major bright and dark rings found in the HL Tau disk, respectively. We also apply our model to the protoplanetary disk of TW Hya, for which latest ALMA observations suggest the presence of a pileup of dust near the CO snow line (Nomura et al. 2016).

キーワード：HL Tau、TW Hya、焼結、アルマ

Keywords: HL Tau, TW Hya, sintering, ALMA

HD 142527星周円盤からのダスト放射モデリング

Modeling of Dust Emission from Disk Surrounding HD 142527

*Soon KangLou¹、花輪 知幸²、武藤 恭之³、百瀬 宗武¹、塚越 崇¹

*KangLou Soon¹, Tomoyuki Hanawa², Takayuki Muto³, Munetake Momose¹, Takashi Tsukagoshi¹

1.茨城大学、2.千葉大学、3.工学院大学

1.Ibaraki University, 2.Chiba University, 3.Kogakuin University

We model the 870 μm dust continuum emission from the azimuthally-asymmetric disk around HD 142527 based on ALMA Cycle 0 observation. The disk is inflated, inclined by 27° to the line of sight, and its major axis is along PA = 341° . High resolution images in NIR scattered light (Fukagawa et al. (2006)) and MIR thermal radiation (Fujiwara et al. (2006)) indicate that the eastern side (PA = $341^\circ - 161^\circ$) of the disk is farther whereas the western side (PA = $161^\circ - 341^\circ$) is closer to us. In our model, we assume the radial surface density distribution of the dust disk to be gaussian, and the dust size distribution follows $a^{-3.5}$, where $a_{\text{max}} = 1 \text{ mm}$. At the observation wavelength, scattering opacity is 10 times larger than absorption opacity in our model (Aikawa & Nomura (2006)). Dust density, temperature, and radiative energy density of the disk are determined by M1 approximation method (Kanno, Harada, Hanawa (2013)).

The peak surface densities of dust, Σ_0 , at PA = 21° (the brightest region) and PA = 221° (the faintest region) are 0.8 g cm^{-2} and 0.008 g cm^{-2} , which are consistent with Muto et al. (2015). We cannot reproduce, however, the observed surface brightness in the northwestern region (PA = $291^\circ - 351^\circ$), i.e., the near side with about 80% brightness of PA = 21° , even with $\Sigma_0 = 1.25 \text{ g cm}^{-2}$. This is due to: (i) the heavy scattering; (ii) the dependence of the disk surface brightness on the viewing angle. We solve the problem by reducing the scattering opacity to 10% of its original value. Subsequently, the Σ_0 values for the brighter lopsided region (PA = $291^\circ - 71^\circ$) become about 50% lower than their original values, while for the remaining optically thin regions Σ_0 values do not change significantly. We will also discuss how such a scattering opacity can be realized.

キーワード：HD 142527、ダスト放射、モデリング

Keywords: HD 142527, Dust emission, Modeling

円盤・惑星相互作用によるギャップ生成の定量的モデル

Quantitative Modeling of the Gap Induced by a Planet in a Protoplanetary Disk

金川 和弘²、*武藤 恭之¹、田中 秀和³Kazuhiro Kanagawa², *Takayuki Muto¹, Hidekazu Tanaka³

1.工学院大学基礎・教養教育部門、2.シュチェチン大学、3.東北大学・天文

1.Division of Liberal Arts, Kogakuin University, 2.University of Szczecin, 3.Astronomical Institute, Tohoku University

Recent high resolution observations have revealed that protoplanetary disks are rich in structures. Especially, multiple ring-like structures are discovered in the disk around HL Tau by the long baseline campaign observations of ALMA.

Such structures may be connected to the dynamical processes that occur in the disks. One interesting processes that occur in protoplanetary disks is the gravitational interaction between a (already formed) planet and the disk. As a result of disk-planet interaction, planets induce gap and spirals in the disk. If such structures are found in real observations, they strongly indicate the existence of a planet embedded in the disk. The shape of the gaps and spirals can be used to infer the physical properties of the disk and the planet. The physical parameters of disks and planets that are derived based on the disk morphology are independent from those derived from other methods. It is therefore important to understand and model the disk-planet interaction quantitatively.

In this poster, we present a series of numerical simulations and analytical theory of the gap formation by a single planet embedded in a protoplanetary disk. We quantify the shape of the gap structures in terms of the planet mass, disk scale height and disk viscosity. We first present the depth and the width of the gap can be determined by these three quantities. We have found that the gap depth is determined by a single parameter $K = q^2 / (h^5 * \alpha)$, where q is the mass ratio between the planet and the central star, h is the disk aspect ratio, and α is the disk viscosity parameter. We have also found that the gap width is determined by $K' = q^2 / (h^3 * \alpha)$. We have derived a simple formula that describes the gap depth and width in terms of K and K' . We apply our results to the ALMA long baseline campaign observations of the disk around HL Tau, and suggest that the planet mass is $< \sim 1$ MJ, if the observed gap is induced by (unseen) planets in the disk. We also present the model for the detailed profiles of the gap induced by a planet, which can be compared to observations if detailed gas structures are revealed in the near future.

キーワード：原始惑星系円盤、円盤・惑星相互作用、円盤直接撮像

Keywords: Protoplanetary Disks, Disk-planet Interaction, Direct Imaging Observations of Disks

ALMA望遠鏡によるデブリ円盤のガス/ダスト観測
ALMA Observation of Gas and Dust in Debris Disks

*小林 浩¹、樋口 あや²、石原 大助¹、百瀬 宗武²

*Hiroshi Kobayashi¹, Aya Higuchi², Daisuke Ishihara¹, Munetake Momose²

1.名古屋大学理学研究科、2.茨城大学理学部

1.Department of Physics, Nagoya University, 2.Ibaraki University

ダストが非常に少なくなった原始惑星系円盤が見つけられており、デブリ円盤とも呼ばれている。原始惑星系円盤のガス成分の散逸は惑星形成において非常に重要だが、多くのデブリ円盤ではガス成分を検出することは難しかった。しかしALMA望遠鏡の高感度、高分解能観測から、デブリ円盤のガスは検出可能になってきた。本研究では、AKARI衛星などによる赤外観測の結果をもとに、ガス成分の存在を示唆するデブリ円盤のサンプルをALMAサイクル1のアーカイブデータの中から探し出した。さらに、CO分子輝線観測がされた10天体を解析した結果、5天体においてCOガスが検出された。この中の1天体である49Cetは過去の観測でCOガスは検出されていたが、ALMAの高分解能観測により、COガスとダストの空間分布に違いがあることがわかった。その他の天体でもダストとガスについての比較を行う。

キーワード：原始惑星系円盤、デブリ円盤、ガス/ダスト

Keywords: protoplanetary disk, debris disk, gas/dust

アルマ干渉計を用いた海王星成層圏HCN($J = 4-3$)観測

The Spatially-resolved HCN($J = 4-3$) Interferometric Observation on Neptune's Stratosphere with ALMA Array

*飯野 孝浩¹、平原 靖大²、仲本 悟²、中山 勇麻³、高橋 透⁴

*Takahiro IINO¹, Yasuhiro HIRAHARA², Satoru Nakamoto², Yuma Nakayama³, Toru Takahashi⁴

1.東京農工大学科学博物館、2.名古屋大学環境学研究科、3.名古屋大学理学部地球惑星科学科、4.電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター

1.Nature and Science Museum, Tokyo University of Agriculture and Technology, 2.Graduate School of Environment, Nagoya University, 3.Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Nagoya University, 4.Center for Space Science and Radio Engineering, The University of Electro-communications

ALMA array is a powerful tool to illustrate both the photochemistry and dynamics of gas giants' stratosphere thanks to its high spatial resolution and sensitivity. We have constructed the spatially-resolved HCN($J=4-3$) map of Neptune with archived ALMA data obtained during Cycle-0 season. From the doppler-shift analysis, stratospheric dynamics of Neptune's stratosphere showing the spatial difference is illustrated clearly. In this presentation, obtained result and possible driving mechanism of the dynamics will be discussed.

キーワード：ALMA干渉計、惑星大気、電波天文学

Keywords: ALMA array, Planetary atmosphere, Radio astronomy

