

機関番号：32702

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21740141

研究課題名（和文） 原始惑星系円盤のスノーラインの観測

研究課題名（英文） Observations of the snow line in the protoplanetary disks

研究代表者

本田 充彦（HONDA MITSUHIKO）

神奈川大学・理学部・特別助教

研究者番号：40449369

研究成果の概要（和文）：

氷ダストは惑星形成過程において重要な役割を担うと考えられているが、観測的にはよく分かっていない。そこで我々は原始惑星系円盤での氷分布を探る新しい観測手法を考案し、実際に HD142527 の原始惑星系円盤～140AU 以遠に氷ダストが存在していることを示した。しかし、すばる望遠鏡の補償光学 AO36 の運用が終了し観測研究の継続が困難となったため、我々は Gemini South 望遠鏡の近赤外コロナグラフ装置 NICI に、新たに狭帯域フィルタを作成し搭載した。今後はこの装置を用いて観測を継続し、スノーラインの位置に制限を与えたいと考えている。

研究成果の概要（英文）：

Though water ice grains are supposed to play many important roles in planet formation processes, observations of water ice in the protoplanetary disk are quite limited so far. We proposed a new observing technique to trace the water ice distribution in the disk and have demonstrated that the water ice grains are present in the disk around HD142527 beyond ~140AU. Unfortunately, we could not continue our observation at Subaru Telescope due to the decommissioning of the adaptive optics system AO36. To proceed with our observations, we made a narrow band filter and installed it to near infrared coronagraphic imager NICI on the Gemini South telescope. We plan to continue observations with this facility to constrain the position of snow line in the protoplanetary disk.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：光学赤外線天文学・星惑星形成・星周円盤・ダスト

1. 研究開始当初の背景

惑星系形成過程において原始惑星系円盤の

氷ダストは様々な重要な役割を担うと理論的に考えられている。たとえば、円盤外側の低温領域では、氷の凝結により固体物質の面

密度が増すため、内側では形成の難しい10地球質量程度と言われるガス惑星固体コアの形成が可能となると考えられている。これにより、巨大ガス惑星が太陽系においては外側に存在していると考えられており、氷の凝結できる境界領域をスノーラインと呼び、ガス惑星はスノーライン以遠で形成すると考えられている。また、氷の円盤内側での蒸発により、隕石に見られる酸素同位体異常が生じたとの説もある。さらに、氷微惑星や彗星が地球に水を運んだという説もあり、惑星における水の起源を理解する上でも氷ダストの円盤における分布の理解は重要である。

しかし、このような様々な理論的な議論・考察がなされているにも関わらず、氷ダストが実際の原始惑星系円盤においてどのように分布しているかという基本的な問いにさえ、観測的な研究がほとんど成されていないのが現状である。分布だけでなく、そもそも円盤における氷ダストについては、明確な観測的証拠も実はあまりない。にも関わらず円盤に氷ダストが存在していると考えられているのは、円盤物質の前駆母体である分子雲等において氷ダストの存在が観測されているという観測事実と、いくつかの円盤における検出例をベースとしている。

これまで円盤の氷ダストの観測的研究があまり進まなかった理由は様々な複合要因があるが、その一つに空間分解能の不足が挙げられる。ここ10年の大口径光赤外線望遠鏡によりもたらされた高空間分解能観測により、多くの原始惑星系円盤からの散乱光や熱放射が空間分解されている。そこで、我々は近赤外線域において、円盤散乱光スペクトルから氷ダストの検出とスノーラインの位置に制限を与える新しい観測手法を2007~2008年に考案した(Inoue, Honda, et al. 2008, PASJ)。同時にその観測手法の実際の観測での有効性の確認も、すばる望遠鏡とコロナグラフ撮像装置 CIAO、および補償光学 AO36 を用いて進めつつあった。

2. 研究の目的

そこで、平成20~21年度における本研究では、上記の研究背景・経緯を踏まえ、次のような具体的な課題に取り組んだ。

(1) 提唱した円盤氷分布を探る新観測手法の観測的実証。

(2) 新観測手法を多くの円盤に適用し、究極的にスノーラインの位置に制限を与える。

しかしながら、研究遂行中に観測装置の利用状況に変化が生じたため、次の目的も追加し、研究を遂行した。

(3) 新観測手法に必要なフィルタの開発・作成、および新たな観測装置への搭載。

3. 研究の方法

本研究ではそれぞれの目的に異なるアプローチを用いた。まず、上記(1)に関しては研究開始時点で観測実証に必要なデータセット (HD142527 原始惑星系円盤散乱光の K-band(2.2 μ m), H2O ice (3.1 μ m), L'-band(3.8 μ m)の撮像データ)が、すばる望遠鏡とコロナグラフ撮像装置 CIAO および補償光学 AO36 を用いて取得されており、これらのデータ解析を進めることで観測的実証を行った。また、(2)に対しては、(1)と同じ観測装置を用いて継続しようと考えたが、補償光学 AO36 が2009年から利用できなくなったことから、コロナグラフ装置ではないがすばる望遠鏡の近赤外撮像分光装置 IRCS および補償光学 AO188 を用いて進めることを試みた。また、(3)については、日本真空光学株式会社と共同で H2O ice 狭帯域フィルタの開発・作成・評価をすすめた。作成したフィルタを Gemini South Telescope に搭載されている近赤外コロナグラフ撮像装置 NICI へ搭載することで、我々の新手法を用いた観測を他観測施設でもできることとなる。この件に関しては、NICI チームの研究者の協力も依頼した。

4. 研究成果

(1) 若い中質量星 HD142527 の周りの原始惑星系円盤の K/H2O/L' 各バンドでのコロナグラフ撮像データを解析し、原始惑星系円盤からの散乱光面輝度が H2O バンドにおいて暗いことを見出した。これは、水氷の OH 伸縮モードに由来した吸収・アルベドの低下によると考えられ、3波長での多色撮像により、原始惑星系円盤での水氷の存在・分布を観測的に明らかにできるという我々の新観測手法が有効であることを実証することができた (Honda et al. 2009, ApJ, 690, 110)。(表層) スノーラインの位置については、約140AUより内側にあるという制限をつけることができた。これは140AU(半径 $\sim 1^\circ$)以内は、測光精度が非常に悪いため、データとしてほぼ使えないためである。理論的な予想ではこの天体の表層スノーラインは数10AU程度にあると予想されるため、今後より内側まで原始惑星系円盤の様子を描き出すことで、直接検出につなげることができると期待される。

(2) 我々の新観測手法の有効性が1天体において観測的に検証できたため、その他の原始惑星系円盤においても同様に水氷ダスト分布を明らかにすることを考えた。しかしながら、すばる望遠鏡において CIAO+AO36 という組み合わせで観測できなくなったため、コロ

ナグラフ撮像装置ではないが IRCS+A0188 を用いて観測を継続しようとした。ターゲットとしては、別の中質量前主系列星 AB Aur 周りの原始惑星系円盤である。観測にはコロナグラフマスクの代わりに、明るい中心星を隠すために長スリットを用いた。しかしながら中心星近傍の星周円盤からの散乱光を K バンドでは検出したものの、H₂O ice, Lバンドでは検出することができなかつた。これはやはりコロナグラフ装置ではないため、明るい中心星からのハロー成分の低減が十分ではなく、中心星近傍の原始惑星系円盤散乱光の検出が難しいためと考えられる。そこで、すばる望遠鏡の現在の観測装置を用いての本観測研究の継続は難しいと判断した。

(3) そこで我々は、世界の 8 m クラス望遠鏡の現在稼働中の観測装置群の中から、補償光学が利用でき、1.5 μ m でコロナグラフ撮像観測が可能な装置を改めて探した。その結果、南米チリにある Gemini South Telescope で観測を開始した近赤外コロナグラフ撮像装置 NICI が存在することが分かった。ただし、NICI は K, L バンドフィルタを搭載しているが、H₂O ice 狭帯域フィルタ (中心波長 3.05 μ m) は搭載されていないため、新規にフィルタを製作する必要が生じた。そのため、2010 年度に日本真空光学株式会社に依頼し H₂O ice 狭帯域フィルタを作成した。出来上がったフィルタの性能評価にあたり、東京大学理学部天文学専攻の左近樹 助教のご協力および尾中研究室の FTIR 分光器を使用させていただき、評価を行った。また、評価を行ったフィルタは 2011 年 3 月に NICI に搭載された。作業にあたり NICI チームの Tom Hayward 氏にご協力いただいた。これから、性能試験観測を行い、Subaru-Gemini 時間交換枠への共同利用観測提案を通じて、当初の近赤外多色撮像観測による円盤氷ダスト分布の解明を進め、スノーラインの位置に観測的制限を与えていく予定である。

本研究成果の意義を以下に挙げる。

(A) 円盤氷分布を探る新しい観測手法の有効性を観測的に実証した。これはこれまで理論的にしか議論されてこなかったスノーラインを、初めて観測的に研究できる可能性を切り開いたという意義がある。また、そもそも観測的に難しい円盤での氷の存在を検証できるというもっと基本的な意義もある。

(B) H₂O ice フィルタを自ら作成・搭載することで、その他の近赤外コロナグラフ撮像装置を用いて本観測手法による観測を可能とすることができ、研究の進展を早めることができること。また、南天の Gemini South Telescope の装置に搭載することで、南北全天のターゲットをカバーすることができた。

さらには、今後より高性能化する補償光学やコロナグラフ装置に搭載することで、より円盤の中心星近傍領域に迫ることができる。これはスノーラインの直接検出を目指すうえで、重要である。

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 12 件)

① Verhoeff, A. P., Min, M., Pantin, E., Waters, L. B. F. M., Tielens, A. G. G. M., Honda, M., Fujiwara, H., Bouwman, J., van Boekel, R., Dougherty, S. M., de Koter, A., Dominik, C., Mulders, G. D.

“The complex circumstellar environment of HD 142527”, *Astronomy & Astrophysics*, 528, A91 (2011), 査読有

② Hashimoto, J., Tamura, M., Muto, T., Kudo, T., Fukagawa, M., Fukue, T., Goto, M., Grady, C. A., Henning, T., Hodapp, K., Honda, M., et al. (52 coauthors; 本田①)

“Direct Imaging of Fine Structures in Giant Planet-forming Regions of the Protoplanetary Disk Around AB Aurigae”, *The Astrophysical Journal Letters*, 729, L17 (2011), 査読有

③ Kasuya, S., Honda, M., Mishima, R.

“New observable for gravitational lensing effects during transits”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411, 1863-1868 (2011), 査読有

④ Honda, M., Inoue, A. K., Y. K. Okamoto, et al. (15 coauthors; 本田①)

“Pre-transitional disk nature of the AB Aur disk”, *The Astrophysical Journal Letters*, 718, L199-L203 (2010), 査読有

⑤ Ishiguro, M., Watanabe, J., Sarugaku, Y., Ootsubo, T., Kuroda, D., Honda, M., et al. (14 coauthors; 本田②)

“2007 Outburst of 17P/Holmes: The Albedo and the Temperature of the Dust Grains”, *The Astrophysical Journal*, 714, 1324-1333 (2010), 査読有

⑥ Thalmann, C., Grady, C. A., Goto, M., Wisniewski, J. P., Janson, M., Henning, T.,

Fukagawa, M., Honda, M., et al. (50 coauthors; 本田⑧)

“Imaging of a Transitional Disk Gap in Reflected Light: Indications of Planet Formation Around the Young Solar Analog LkCa 15”, *The Astrophysical Journal*, V718, L87-L91 (2010), 査読有

⑦ Takami, M, Tamura, M, Enya, K, Ootsubo, T, Fukagawa, M, Honda, M., et al. (16 coauthor; 本田⑥)

“Studies of exoplanets and solar systems with SPICA”, *Advances in Space Research*, 45, 1000-1006 (2010), 査読有

⑧ Kadono, T., Sugita, S., Ootsubo, T., Sako, S., Miyata, T., Furusho, R., Honda, M., Kawakita, H., Watanabe, J.

“Interpretation on Deep Impact results: Radial distribution of ejecta and the size distribution of large-sized grains”, *Earth Planets Space*, 62, 13(2010), 査読有

⑨ Honda, M., Inoue, A. K., et al. (14 coauthors; 本田①)

“Detection of Water Ice Grains on the Surface of the Circumstellar Disk Around HD 142527”, *The Astrophysical Journal Letters*, 690, L110-L113 (2009), 査読有

⑩ Watanabe, J., Honda, M., et al. (10 coauthors; 本田②)

“Subaru/COMICS Mid-Infrared Observation of Near-Nucleus Region of Comet 17P/Holmes at the Early Phase of the Outburst”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 61, 679-685 (2009), 査読有

⑪ Okamoto, Y. K., Kataza, H., Honda, M., et al. (12 coauthors; 本田③)

“Direct Detection of a Flared Disk Around a Young Massive Star HD200775 and its 10 to 1000 AU Scale Properties”, *Astrophysical Journal*, 706, 665-675 (2009), 査読有

⑫ de Wit, W. J., Hoare, M. G., Fujiyoshi, T., Oudmaijer, R. D., Honda, M., et al. (11 coauthors; 本田⑤)

“Resolved 24.5 micron emission from massive young stellar objects”, *Astronomy and Astrophysics*, 494, 157-178 (2009), 査読有

[学会発表] (計 11 件)

① M. Honda, Y. K. Okamoto, C. Packham, A.

Tokunaga, & MICHl team

” MICHl: Mid-Infrared Camera, High-disperser, & IFU spectrograph”, TMT Science and Instrumentation Workshop 2011, 2011 Mar. 28th-30th, Victoria, Canada,

② 本田充彦、

「星周円盤の氷ダスト観測」、SPICA Workshop、2010年12月16-17日、国立天文台

③ M. Honda,

“Pre-transitional disk nature of the AB Aur disk”, In the Spirit of Lyot 2010, 2010 Oct. 25th-29th, Paris, France,

④ 本田充彦、” AB Aur 原始惑星系円盤の pre-transitional disk 的性質”、日本惑星科学会、2010年10月6-8日、名古屋大学

⑤ 本田充彦、” AB Aur 原始惑星系円盤の pre-transitional disk 的性質”、日本天文学会、2010年9月22-24日、金沢大学

⑥ M. Honda,

“Pre-transitional disk nature of the AB Aur disk”, Herschel and the formation of stars and planetary systems, 2010 Sep. 6th-9th, Goteborg, Sweden,

⑦ M. Honda, “Water ice on the surface of circumstellar disk around HD142527”, IAU General Assmby Special Session 7, 2009 Aug. 11th-14th, Rio de Janeiro, Brazil

⑧ M. Honda, “Water ice on the surface of circumstellar disk around HD142527”, The dynamics of discs and planets, 2009 Aug. 17th-21st, Cambridge University, UK

⑨ 本田充彦、” 星周円盤の H2O 氷ダスト観測”、SPICA サイエンスワークショップ、2009年6月1-2日、東京大学

⑩ M. Honda, “Water ice on the surface of protoplanetary disks around HD142527”, Subaru Gemini Science Conference, 2009 May 18th-21st, Kyoto University

⑪ 本田充彦、” 星周円盤の H2O 氷ダスト観測～snow line の検出を目指して”、第1回 SPICA コロナグラフ全体ミーティング、2009年2月13日、宇宙科学研究本部

[その他]

ホームページ等

http://www.naoj.org/Pressrelease/2009/02/17/j_in dex.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 充彦 (HONDA MITSUHIKO)

神奈川大学・理学部・特別助教

研究者番号：40449369

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし