

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2017

課題番号：25870124

研究課題名(和文)多波長観測による惑星質量天体(浮遊惑星)の研究:その形成と多様性の解明に向けて

研究課題名(英文)Observational study of planetary-mass objects ("free-floating planets")

研究代表者

大朝 由美子(OASA, Yumiko)

埼玉大学・教育学部・准教授

研究者番号：10397820

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文): 惑星質量を持つが、従来の惑星のように恒星を周回せず、単独で存在する天体(単独惑星質量天体)や、褐色矮星等の超低質量天体に着目し、前主系列星と比べて、形成や存在の度合い、空間分布等が、環境によって異なるかについて、観測的手法で探った。(1) 活発な星形成が行われている近傍の高密度分子雲、及び、(2) 星形成の兆候が未だ明らかでない銀河面/高銀緯の低密度分子雲について、すばる望遠鏡など国内外の大型望遠鏡による多波長測光探査観測や分光探査観測を行うと同時に、アーカイブデータを活用してそれらの特徴を調べた。結果、超低質量天体の質量頻度分布や空間分布には差異が見られ、環境による形成の違いが示唆された。

研究成果の概要(英文): The very low-mass objects such as brown dwarfs (BDs) and extrasolar planets that are impossible to generate energy by Hydrogen burning are so faint and cool. Isolated planetary-mass objects (PMOs), also called as "free-floating planets", that are characterized by the masses below the Deuterium burning threshold but do not rotate the star have been recently discovered. It is unclear how they form and have contributed to the initial mass function (IMF). In order to characterize YBDs, PMOs, and their IMFs, we have carried out sufficiently deep NIR photometry and multi-object deep spectroscopy with large telescope such as Subaru, UKIRT for various clusters and molecular clouds. A few thousands of YBD/PMO candidates have been newly revealed in all regions. It appears that their spatial distributions and derived IMFs at very low-mass side would be dependent on the forming environment.

研究分野：天文学

キーワード：星惑星形成 褐色矮星 惑星質量天体 光赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

星を輝き方で分けると、恒星・褐色矮星・惑星の三つに分類される。水素の核融合反応が起こる恒星、重水素の核融合が起こる褐色矮星に対し、惑星は核融合が全く起こらない。この違いは誕生時の質量に起因する。近年の観測技術の向上により、恒星の形成については理解が進んだ。すなわち、分子雲の重力収縮から形成されるが、その過程としては、低質量星のみの形成や、大質量星から低質量星まで多様な質量をもつ星の集団的形成、外力等による誘発的及び連鎖的な形成、など様々な描像が明らかになってきた。

一方、低温で低質量の褐色矮星や太陽以外の恒星を公転する太陽系外惑星は、1990年代後半以降、相次いで発見された。太陽系が特殊な存在ではない一方、系外惑星の多くは質量や軌道半径、密度等の特徴が太陽系惑星と異なること(e.g. Marcy & Butler 2000, PASP, 112, 137)が判明した。加えて、惑星質量を持つが、恒星を周回せず単独で存在する天体(単独惑星質量天体:浮遊惑星)が存在すること(e.g. Oasa et al. 1999, ApJ, 526, 336)が明らかになってきた。

単独惑星質量天体は、研究代表者らが世界で初めて発見した新しい種類の天体である。従来の分類では褐色矮星にも惑星にも該当せず、「惑星は恒星の周りを回る」という定義や惑星形成進化論に一石が投げられ、単独惑星質量天体を含む太陽系外惑星系の多様性は、一様でない形成進化過程を反映していると考えられた。その後の多様な観測から、百個以上の若い惑星質量天体が見つかり(Oasa et al. 2006, AJ, 131, 1068)。最近では、重力マイクロレンズを利用して惑星質量天体が十例ほど検出され、恒星より多く存在する可能性が報告されている(e.g. Sumi et al. 2011, Nature, 473, 349)。しかしこれら惑星質量天体は非常に暗いため、詳細な観測例が少なく、加えてマイクロレンズ天体については追観測から詳細な物理量を求めることができないため、未解明の点が多い。

これら数少ない観測例からの示唆をもとに、惑星を含む超低質量天体の形成理論モデルが乱立する状況にある。すばる望遠鏡やALMAなどの大型望遠鏡から連星型の惑星形成が明らかにされつつある今、単独惑星質量天体の観測的解明が急務であった。

2. 研究の目的

単独惑星質量天体や褐色矮星などの超低質量天体は、より重い低質量星よりも数多く存在するのだろうか?環境によらず、普遍的に形成されているのだろうか?大質量星周囲における超低質量天体の数は、低質量星形成領域と比べて多いだろうか、少ないだろうか?外力による連鎖的及び誘発的形成は見

られるだろうか?そして、これまで若い天体が検出されていない、つまり星形成が確認されていない、いわゆる星なし分子雲において、超低質量天体は形成されないのだろうか?

そこで、多種多様な環境において、超低質量天体を観測的に調べ、これまでの観測とあわせて惑星質量天体の統計的性質を確立し、前主系列星と比べて、形成や存在の度合い、空間分布等が、環境によって異なるか、と問いに答える。本研究は、様々な分子雲における、若い単独惑星質量天体/褐色矮星の観測を通して、惑星形成進化過程の解明への一助を得ることを目指す。

3. 研究の方法

本研究は、惑星系の多様性の一因をになう惑星系形成と進化を明らかにすべく、単独惑星質量天体や褐色矮星などの超低質量天体に着目し、すばる望遠鏡などを用いた観測的手法により、物理的特徴や形成環境を探る。ここでは、質量の違い(惑星質量天体・褐色矮星・恒星)の観点から、以下の二つのアプローチで迫り、比較を行い、相違を調べた。

() 個々の惑星質量天体についての多波長測光・分光観測

() 様々な環境における惑星質量天体の広域可視・近赤外測光/分光探査観測

加えて、本研究のオリジナリティは、様々な領域に着目することである。先行研究では、太陽近傍に存在する、活発な星形成領域のみで観測が進められていた。そこで、

周囲に存在する大質量星などによる紫外線量や同時に形成される若い星の数密度、母体となる分子雲の質量や密度、

これまで星なし分子雲と呼ばれ星形成が起こっていないと考えられていた低密度分子雲

等、多種多様な環境における、超低質量天体の頻度分布(質量関数)や形成率の相違や多様性、星形成過程の差異について探った。

4. 研究成果

研究成果を実施年度順にまとめた。

(1)平成25年度は、惑星質量天体や褐色矮星などの超低質量天体について、詳細な物理量を求めると共に、頻度分布を探るべく、大型望遠鏡を用いた、深い近赤外分光観測、それらのデータ解析を進めた。

研究代表者らが先行研究で見つけた、はくちょう座分子雲における、数百の惑星質量天体・褐色矮星の候補を対象に、すばる望遠鏡を用いて行った近赤外分光観測のデータ解析を進めた。まず、データ解析方法及び温度導出法の確立を焦点とした。結果、低温度の若い惑星質量天体が多数見つかった。加えて

Hバンドにおける水吸収は、メタン吸収と近い波長域にあるため、T型矮星については温度導出が困難であることがわかった。一方、M-L型矮星には水の吸収量比と有効温度の関係が有効であることがわかり、この手法を用いて103天体の有効温度を導出した。すばる望遠鏡による分光観測の水の吸収量比から有効温度が求められた先行研究(Oasa *et al.* 2007)と合わせて、測光観測で得られた光度(Oasa *et al.* 2006)、超低質量天体の理論進化モデルをもとに、各天体の質量と年齢を114天体の質量、年齢を求めた。得られた初期質量関数からは、質量が軽くなるほど天体の数が増加し、褐色矮星質量の境界付近である0.1太陽質量で一度減少する傾向がみられた。これは、オリオン座分子雲と同じ傾向である(Hillenbrand *et al.* 2000)。加えて空間分布からは、O型星(大質量星)の周囲には超低質量天体が少なく、形成しにくい可能性が示唆された。さらに、分子雲密度の低い領域では質量によらず比較的進化が進んだ天体の割合が多く、高密度領域で非常に若い天体の割合が多いことがわかった。これは段階的星形成の可能性があり、本研究で初めて明らかになった。

(2)平成26年度は、環境の異なる複数の星形成領域において、単独惑星質量天体や褐色矮星など超低質量天体の頻度分布/空間分布等を調べるべく、深い近赤外測光観測、及びそのデータ解析を進めた。

(A)太陽の約3倍重の中質量星が形成されているへび座分子雲のメインコア約8分四方について、すばる8.2m望遠鏡と多天体近赤外撮像分光装置(MOIRCS)を用いた詳細な近赤外測光観測を実施し、データの精密な解析を行なった。検出された約10000天体のうち、光度や輻射比などをもとに、約1700の超低質量天体が同定された。電波観測結果と比較すると、その多くが分子雲の低密度領域に存在することがわかった。同領域における電波観測から得られた分子雲密度や若い天体数の比率など環境の異なるグループに分類したところ、星の初期質量関数が環境によって異なる傾向が見られた。

(B)太陽程度の低質量星が形成されているへびつかい座分子雲のL1709とL1689を含む約0.9°四方について、イギリス3.8m赤外線望遠鏡(UKIRT)と近赤外広視野撮像装置(WFCAM)を用いて近赤外測光観測及びそのデータ解析を行った。結果、約98000天体が検出され、約2000の超低質量天体候補が同定された。惑星質量天体は分子雲密度によらず一様に分布する一方、褐色矮星は分子雲密度が高い領域に集中していることがわかった。また、その質量関数は低質量側に増加関数で表されることがわかった。

(C)太陽程度の低質量星が形成されているおおかみ座分子雲Lupusを含む約0.9°四方について、UKIRT/WFCAMを用いて近赤外測

光観測及びそのデータ解析を行った。結果、約95000天体が検出され、約1000の超低質量天体が同定された。(2)同様に、惑星質量天体は一様に分布するのに比べ、褐色矮星は分子雲密度が高く、Tタウリ型星(低質量星)の近傍に存在することがわかった。

(3)平成27年度は、これまでよりも多様な分子雲に着目し、大型望遠鏡を用いた光赤外測光/分光探査観測を実施した。

(A)銀河面付近にあり、太陽の約20倍重い大質量星が形成されているはくちょう座分子雲について、UKIRT/WFCAMを用いて深い近赤外測光探査観測、及び、データ解析を行った。はくちょう座分子雲では研究代表者らが以前に褐色矮星・惑星質量天体を発見し、(1)で示したように一部の天体は分光観測でより詳しい物理量を調べたが、本研究では同領域に加えて、より低密度分子ガス領域の観測を行い、新たに数百の褐色矮星・惑星質量天体候補が同定された。電波観測結果との比較から、ガス/ダストの比較的密度の高い場所に褐色矮星が存在するのに対し、惑星質量天体は分子ガス密度によらず一様に存在していること、低質量ほど数が多くなるが、その増加傾向は同一分子雲中でも、ガス・ダスト密度によって異なる傾向が見られた。

(B)銀緯が高い場所に位置する高銀緯分子雲についてハワイ大学2.2m望遠鏡(UH88)を用いた可視分光探査観測、及びデータ解析を行った。高銀緯分子雲は分子ガス・ダストの密度が低く、その多くが、星形成が行われていない星なし分子雲であると考えられている。本研究では、先行研究の電波観測から多数の高銀緯及び中銀緯、銀河面付近の分子雲を選択した。現在までに3つの分子雲領域について解析を進め、それぞれについて数個のTタウリ型星候補を同定し、スペクトル型と光度を求め、質量を導出した。誕生したばかりの低質量星が存在していると考えられる。

(4)平成28年度は、(A)活発な星形成が行われている高密度分子雲(星形成領域)の多波長測光探査観測、及び、(B)星形成が明らかでない低密度分子雲の分光探査観測の二通りのアプローチにより迫った。

(A)銀河系の渦状腕にある星形成領域オリオン座B分子雲について、UKIRT/WFCAMを用いた深い近赤外測光探査観測、及び、多波長測光観測データとあわせて解析を行った。オリオン座分子雲はガス・ダスト共に密度が高く、太陽の10倍以上の重さを持つ若い大質量星や近年急増光したFUOri型原始星が存在することがわかっている。本研究で、オリオン座B分子雲に、誕生したばかりと考えられる低質量星・褐色矮星・惑星質量天体候補が数百個同定された。大半が新しく同定された天体である。CO分子輝線や遠赤外観測との比較から、ガス・ダストの比較的密度の高い場所に褐色矮星が存在するのに対し、惑星質量

天体は分子ガス密度によらず一様に存在していること、惑星質量天体は低質量天体に対して有意に多いのに対し、褐色矮星の存在頻度は大質量星や分子雲ガス・ダスト密度によって異なる傾向が示された。同一分子雲中でも場所によってその質量頻度分布が異なることから、形成メカニズムの違いを示唆する可能性がある。

(B) 銀河系内の渦状腕からやや離れた銀緯が高い場所に位置する高銀緯分子雲について UH88 による可視分光探査観測、及びデータ解析を進めた。新たに3つの分子雲領域の解析を進め、十数個の若い天体を同定した。スペクトル型を求め、測光観測データから求めた光度とあわせて、質量を導出した結果、若い褐色矮星と考えられる天体も存在した。さらに電波観測から求めた分子雲質量とあわせると星形成率はそれぞれ 1 - 3%と見積もられた。加えて分子ガスの分布と比較すると、質量が重い及び年齢の若い天体ほどガス密度が高い場所に存在する傾向が見られた。

(5) 平成29年度は、(A) 活発な星形成が行われているへび座分子雲(高密度分子雲)、及び、(B) 星形成の兆候が明らかでない低密度分子雲について多波長測光探査観測や分光探査観測により、それらの特徴を調べた。(A) 高密度分子雲であるへび座分子雲について、UKIRT 及びすばる望遠鏡を用いた深い近赤外測光探査観測、及び、可視から電波までの多波長観測アーカイブデータの解析を行った。へび座分子雲には、星雲を伴う中質量星やサブミリ波でしかみえない非常に若い原始星のほか、ガス・ダスト比の異なる高密度領域を含む3つのクラスターが存在する。本研究では、誕生したばかりの低質量星・褐色矮星・惑星質量天体候補が新たに約四千天体同定された。全クラスターにおいて、質量が軽くなるほど、誕生する天体数が多い(惑星質量天体を含む初期質量関数が増加関数で表される)一方、ダスト密度が大きい領域では、その増加の傾きが小さくなることが明らかになった。即ち、ダスト密度により、超低質量天体の形成は異なる可能性がある。

(B) 銀河系内の渦状腕にある低密度分子雲、及び銀河面から離れた場所に位置する高銀緯分子雲について可視分光探査観測と多波長測光観測アーカイブデータの解析を行った。高銀緯分子雲は分子ガス・ダストの密度が低い。本年度は、銀河面も含めて、星形成の証拠が見つからない低密度分子雲の解析を進め、数十天体の前主系列星や若い褐色矮星を新たに同定した。これらの空間分布と電波観測から求めたガス・ダスト分布の比較から、周囲より低温でガス・ダスト密度が高い領域に存在することがわかった。さらに、星の数密度や星形成効率、紫外/赤外超過(円盤保有)率などから、星形成の描像としては孤立的星形成に近く、星形成の段階が進んでいる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 30 件)

査読有り(計 24 件)

1. Takagi, Y., Honda, S., Arai, A., Morihana, K., Takahashi, J., Oasa, Y., Itoh, Y., "The Spectroscopic Variations of the FU Orionis Object V960 Mon", *The Astronomical Journal*, 2018, 155, 101-108
2. Umemoto, T., Minamidani, ..., Oasa, Y. et al., "FOREST unbiased Galactic plane imaging survey with the Nobeyama 45m telescope", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 2017, 69, 78-96
3. Terai, T., Itoh, Y., Oasa, Y., Furusho, R., Watanabe, J., "Photometric Measurements of H₂O Ice Crystallinity on Trans-Neptunian Objects", *The Astrophysical Journal*, 2016, 827, 65-74
4. 大朝由美子, 高橋隼, "光・赤外線天文学大学間連携における若手教育プログラム", *天文月報*, 2016, 109, 107-112
5. Takagi, Y., Itoh, Y., Arai, A., Sai, S., Oasa, Y., "Rapid dissipation of protoplanetary disks in Ophiuchus", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 2015, 67, 87-92
6. Itoh, Y., Oasa, Y., et al., "Near-infrared polarimetry of the GG Tauri A binary system", *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2014, 14, 1438-1446
7. Takagi, Y., Itoh, Y., Oasa, Y., "Disk dissipation timescale of pre-main sequence stars in Taurus", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 2014, 66, 88-95
8. Errman, R., Torres, G.... Oasa, Y. et al., "Investigation of a transiting planet candidate in Trumpler 37: An astrophysical false positive eclipsing spectroscopic binary star", *Astronomische Nachrichten*, 2014, 335, 345-356
9. Terai, T., Urakawa, S.,... Oasa, Y., "Time-series photometry of Earth flyby asteroid 2012 DA14", *Astronomy & Astrophysics*, 2013, 559, 106-109
10. Takahashi, J., Itoh, Y., Akitaya, H., Okazaki, A., Kawabata, K., Oasa, Y., Isogai, M., "Phase Variation of Earthshine Polarization Spectra", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 2013,

65, 38-46

査読無し(計 6 件)

11. 大朝由美子, “ はるかなる第二の地球 ”
大日本図書発行 中学校教育フォーラム,
2017, 45, 22-23

12. 大朝由美子, “ 宇宙への扉を開く : さま
ざまな科学技術の発展とともに歩む天文学 ”
大日本図書発行 中学校教育フォーラム,
2016, 44, 22-23

13. 大朝由美子, “ なぜなぜどうして? : ど
うやって惑星の内部を調べているの? ” 誠
文堂新光社発行 月刊子供科学, 2013, 9,
46-47

[学会発表](計 121 件)

<国際会議> (計 13 件)

1. Y. Oasa, “ Near-Infrared Observations
of Young Brown Dwarfs and Planetary-Mass
Objects: Is their initial mass functions
universal? ”, Star Formation in Different
Environments, 2016

2. Y. Oasa, “ Investigation of the Initial
Masss Functions at Low-Mass End: Is it
uniform? ”, ULTIMATE-SUBARU Science
Workshop, 2016

3. Y. Oasa, “ The Initial Masss Functions
at Low Masses: Is it Universal? ”, Star
Formation 2015: From Clouds to Cores, 2015,
Invited

4. Y. Oasa, “ Free Floating Planets and
Initial Masss Functions ”, 12th
Asia-Pacific Regional IAU Meeting
(APRIM2014), 2014, Invited

5. Y. Oasa, “ Is the Initial Mass Function
Universal? ”, WISH Science International
Workshop "Exploring the Darkness", 2013

6. Y. Oasa, “ Diversity of Star/Planet
Formation with Subaru/GLAO ”, Subaru
Ground Layer AO Science International
Workshop, 2013, Invited

7. Y. Oasa, “ NIR observations of young
brown dwarfs and planetary mass objects ”,
TMT Science and Instrumentation
International Workshop "Astronomy in the
TMT era" 2013

<国内会議> (計 108 件)

8. 大朝由美子, 木内穂貴, 平塚雄一郎ほか
“ 銀河面における T タウリ型星の広域探
査 ”, 日本天文学会春季年会, 2018

9. 平塚雄一郎, 大朝由美子, 木内穂貴, 伊
藤洋一ほか “ 高銀緯分子雲における星形成
の分光探査観測 (2) ”, 日本天文学会春季
年会, 2018

10. 小田達功, 大朝由美子, 佐藤太基, “ 近
赤外観測から探るへび座分子雲における超
低質量天体形成 ”, 日本天文学会春季年会,
2018

11. 大朝由美子, 清野玄太ほか “ 3 波長同時
偏光撮像装置 “ MuSaSHI ” 偏光観測ユニット
の開発及び試験観測の状況 ”, 第7回可視赤
外線観測装置技術ワークショップ, 2017

12. 大朝由美子, 伊藤茉由, 柳澤顕史, “ 岡
山 91cm 望遠鏡を用いた銀河円盤部における
前主系列星の近赤外変光探査観測 ”, 2017年
度岡山天体物理観測所・第28回光赤外ユ
ーズミーティング, 2017

13. 平塚雄一郎, 大朝由美子, 木内穂貴ほか
“ 高銀緯分子雲における星形成の分光探査
観測 ”, 日本天文学会秋季年会, 2017

14. 大朝由美子, “ 光赤外観測による銀河面/
高銀緯分子雲の星形成探査 ”, FUGIN
WORKSHOP 2016, 2017

15. 大朝由美子, 北島隆太郎, “ OrionB 分
子雲における超低質量天体の近赤外広域測
光探査観測 ”, 日本天文学会春季年会, 2017

16. 小田達功, 大朝由美子, “ へび座分子雲
における超低質量天体の観測的研究 ”, 日
本天文学会春季年会, 2017

17. 平塚雄一郎, 大朝由美子, 伊藤洋一, 山
本宏昭, “ 高銀緯分子雲 における星形成の
探査観測 ”, 日本天文学会春季年会, 2017

18. 平塚雄一郎, 大朝由美子, “ 高銀緯分子
雲における星形成の探査観測 ”, 星・銀河形
成の研究に新しい視点を加える「あかり」サ
イエンスワークショップ, 2016,

19. 大朝由美子, 小田達功, 馬場優芽乃,
“ S106 領域の近赤外広域測光探査観測 ”,
日本天文学会秋季年会, 2016

20. 高木悠平, 伊藤洋一, 大朝由美子, “ お
うし座分子雲に属する原始惑星系円盤の散
逸過程 ”, 日本天文学会春季年会, 2016

21. 大朝由美子, 窪田悠ほか “ 小型エシエル
分光器の開発 ”, 日本天文学会春季年会,
2016

15. 潮田和俊, 大朝由美子ほか “ 3 波長同
時偏光撮像装置 (MuSaSHI) の開発 ”, 日本

天文学会春季年会，2016

23. 大朝由美子，“光赤外観測から探る星形成”，FUGIN WORKSHOP 2015. 2015

24. 大朝由美子，“超低質量天体形成の赤外線観測”，国立天文台星形成ミニワークショップ，2015

25. 大朝由美子，平塚雄一郎，源川貴大，“高銀緯分子雲における星形成探査，日本天文学会秋季年会，2015

26. 伊藤洋一，富田堅太郎，松永典之，大朝由美子，“変光に基づく前主系列星の探査”，日本天文学会秋季年会，2015

27. 大朝由美子，前原雄太，星久樹，佐藤太基，“おおかみ座分子雲 I における超低質量天体形成”，日本天文学会春季年会，2015

28. 大朝由美子，星久樹，伊藤洋一，“へびつかい座分子雲における若い惑星質量天体の探査観測”，日本天文学会春季年会，2015

29. 大朝由美子，潮田和俊，石橋遥子，居倉聖，木野勝，“可視三色同時偏光撮像装置の開発”，日本天文学会春季年会，2015

30. 石橋遥子，大朝由美子ほか“埼玉大学 55cm 望遠鏡観測システムの自動化と基本特性調査”，日本天文学会春季年会，2015

31. 大朝由美子，高原佑典，“すばる望遠鏡を用いた S106 における若い褐色矮星・惑星質量天体の分光観測”，第 1 回 DTA シンポジウム「星形成領域および星団環境での惑星の形成と進化」，2014

32. 石橋遥子，大朝由美子ほか“埼玉大学 55cm 望遠鏡観測システムの自動化と性能評価試験”，日本天文学会秋季年会，2014

33. 星久樹，大朝由美子ほか“へびつかい座分子雲における若い惑星質量天体の探査観測”，日本天文学会春季年会，2014

34. 高原 佑典，大朝由美子，伊藤洋一，“すばる望遠鏡を用いた S106 における若い超低光度天体の分光観測”，日本天文学会春季年会，2014

35. 佐藤太基，大朝由美子，“すばる 8.2m 望遠鏡/MOIRCS を用いたへび座分子雲における若い超低質量天体の探査観測”，日本天文学会春季年会，2014

36. 大朝由美子，榎本藍子，中里佳織，“おおかみ座分子雲における超低質量天体探査観測”，日本天文学会秋季年会，2013

36. 大朝由美子，“UH88 望遠鏡を用いた高銀緯分子雲 HLCG92-35 における T タウリ型星探査”，2013 年度岡山天体物理観測所・第 24 回光赤外ユースミミーティング，2013

〔図書〕(計 18 件)

1. 大朝由美子，“14 ばんめの月”，月刊天文ガイド，誠文堂新光社，2013-2018，毎月 1 回連載 計 60p

2. 大朝由美子，富田晃彦，富田良雄，仲野誠，成田直，福江純ほか天文宇宙検定編集委員会，天文宇宙検定公式テキスト 3 級星空博士 2017 - 2018，恒星社厚生閣，2017 年

3. 大朝由美子，沢武史，富田晃彦，富田良雄，福江純ほか天文宇宙検定編集委員会，天文宇宙検定公式テキスト 2 級銀河博士 2017-2018，恒星社厚生閣，2017 年

4. 有馬朗人，小林誠，大朝由美子ほか全 64 名，中学校理科教科書 新版 理科の世界，大日本図書，2015 年発刊

5. 福江純，沢武文，大朝由美子，高橋真聡，瀧崎智佳，松本桂，超・宇宙を解く 現代天文学演習，恒星社厚生閣，2014 年発刊

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.astron.sci.edu.saitama-u.ac.jp/>

科学ライブショー「ユニバース」

<http://universe.chimons.org/index-ja.html>

本研究で得られた観測成果などを紹介

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大朝 由美子 (OASA, Yumiko)

埼玉大学・教育学部・准教授

研究者番号：10397820

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし