

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05632

研究課題名（和文）固体微粒子から惑星まで直接合体成長による惑星形成理論モデルの構築

研究課題名（英文）Modeling of collisional growth from dust to planets

研究代表者

小林 浩（Kobayashi, Hiroshi）

名古屋大学・理学研究科・助教

研究者番号：40422761

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）：原始惑星系円盤の中で、0.1ミクロンサイズの固体微粒子が集積し数千キロサイズを超える惑星が形成される。これまでの惑星形成理論では固体微粒子の成長、中間体である微惑星の成長、微惑星から原始惑星の成長など、限られた質量レンジでの成長が主に調べられてきた。しかし、近年では原始惑星が数十センチサイズの小石を集積して成長するなど、広い質量レンジの惑星成長を調べることの重要性が指摘されてきた。本研究では、固体微粒子から惑星までの40桁以上に及ぶ衝突進化による成長を一貫して取り扱えるシミュレーションのコードを開発した。その結果、これまで困難であった巨大ガス惑星の短期形成(数十万年)が可能になることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、惑星形成過程を包括的に解釈するシミュレーションができるようになった。つまり、惑星形成の初期条件である原始惑星系円盤と太陽系や系外惑星系などの完成した惑星系との関係性の議論が可能になった。本研究で示唆される固体微粒子の合体成長により原始惑星系円盤に作られるリング状の構造から、原始惑星系円盤の中に見られる惑星形成の兆しを示す研究にも発展させた。

研究成果の概要（英文）：Planets are formed from submicron-sized dust grains in a protoplanetary disk. In previous studies, the collisional evolution in a limited mass range, such as only among dust grains or among planetesimals. However, the importance of the wide mass range interaction such as protoplanets and pebbles is argued. Therefore, we develop a simulation code to treat the collisional evolution from dust grains to planet, whose mass range is more than 40 orders of magnitude. As the result of the simulation, we show cores of gas giant planets are formed in several hundred thousand years.

研究分野：惑星科学

キーワード：惑星形成 原始惑星系円盤 固体微粒子 微惑星 原始惑星

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

太陽系の起源を解明するには惑星形成過程を理解する必要がある。惑星は固体微粒子(ダスト)が集まって形成されるが、微惑星(~km 大)も形成できないことが大問題であった。一方、仮に微惑星が形成されても、木星や土星の形成を引き起こす重い固体核を形成するのも困難であった。

木星や土星などの巨大ガス惑星は、十分重い固体核(10 倍地球質量程度)の重力に引き付けられた原始惑星円盤から大量のガス成分が暴走的に降着することにより形成される。つまり、円盤消失前(数百万年程度)に固体核は形成されなくてはならない。さらに、固体核は円盤との潮汐相互作用により短時間(数十万年程度)で内側に移動し失われてしまう。その結果、巨大ガス惑星形成は数十万年と言う短い時間で形成される必要がある。10km サイズの微惑星が形成されたと仮定して、その微惑星を集積して固体核を集積すると一千万年以上かかり、惑星同問題だけでなく、円盤の寿命よりも長い時間がかかってしまう。

これまでの研究ではダストはギッチリ詰まった球で近似されていたが、近年、衝突・合体して成長するダストは空隙が非常に多いことが示された。高空隙率ダストの合体成長は微惑星形成困難を回避し、微惑星になる途中の小さな天体が固体核成長を促進する。本研究では、微惑星形成の前後と分けて考えられてきた過去のモデルを脱却し、ダストから惑星まで一貫したモデルにより惑星形成の問題の解決を目指す。

### 2. 研究の目的

太陽系の起源に迫るため、惑星がどのように理解することは重要である。星形成過程でできる原始惑星系円盤の中で、ダストと呼ばれる固体微粒子が集まって惑星は形成される。これまでの惑星形成理論では簡単のため、大雑把に分けて(a)ダストから微惑星形成と(b)微惑星から岩石惑星またはガス惑星の固体核形成の2つのステージに分けて取り扱われてきた。

(a)のステージにおける微惑星形成は直接合体成長では難しいと言われてきたが、近年我々のグループの研究により衝突成長中のダストが空隙を多く含む効果により微惑星形成は可能であることが示された。一方、(b)のステージでは初期条件として与える微惑星のサイズや総質量に惑星の形成や成長は強く影響を受け、ガス惑星の固体核を円盤の寿命以内に作るには非常に厳しい条件が必要である。(a)のステージと(b)のステージの両方が原始惑星系円盤の中に存在するため切り離すことはできない。しかし、典型的なダストと地球のような惑星の質量比は40桁以上になるため、これまで同時に取り扱うことができなかった。つまり、一連の流れで(a)と(b)のステージをつないだ研究はこれまで存在しない。本研究では、この一連の流れで取り扱い惑星形成問題に挑戦する。

### 3. 研究の方法

質量比がついた系での天体衝突進化の計算法の開発を着々と進め、40桁の質量比のある系の天体の質量進化のシミュレーションが可能になっているため、このコードによりシミュレーションを行う。しかし、計算法の問題だけでなく、初期のダスト成長時(ステージ(a))にダスト同士の衝突により、どのような空隙を伴うアグリゲイトの空隙進化のモデル化が必要である。過去の研究結果をもとに過不足ないモデル化をした。また、ステージ(b)では、天体同士の非衝突の重力相互作用が衝突率に影響をもたらすため、これも考慮する。これらの双方を考慮することで、つまり、1m サイズ以下の天体の空隙率の進化や1km サイズ以上の天体で効く重力相互作用の効果を包括的に取り入れることで、40桁以上の質量空間にまたがる惑星形成は実現される。

まずは、十分整備されているステージ(b)を取り扱うコードに乱流によるランダム速度進化の効果を導入し、センチメートルサイズのダストまで取り扱えるコードに拡張していく。その後、空隙進化のモデルの導入、終端速度近似を用いた相対速度決定などをコードに組み込んでいく。その結果、0.1ミクロンサイズから惑星サイズの天体までを一貫して取り組めるようになる。

また、ステージ(a)と(b)を跨がる原始惑星と小石サイズの天体の衝突断面積を決めるモデルはこれまでも提唱されているが、不確定性が大きい。そのため、原始惑星重力下での原始惑星系円盤の構造を流体シミュレーションにより求め、その流体の中での原始惑星の小天体の集積率を求め直すことで改善を行う。衝突進化シミュレーションでは改善した集積率モデルを組み込めば精度の高いシミュレーションが可能になる。

そして、衝突破壊を考慮するとき、衝突モデルを用いていて衝突結果の天体の質量分布を取り扱う。衝突モデルはまだまだ調べきれていないパラメータも多くモデルの改善が必要である。様々な衝突パラメータでの衝突シミュレーションを行い、その結果をもとに衝突モデルの改善も並行して行う。改善された衝突モデルは、適宜衝突進化シミュレーションに組み込んでいく。

上記の40桁の質量変化を一貫して取り扱うシミュレーションでは、計算コストが高いため本研究費で購入した計算機を用いて計算を行なった。一方、使用モデル改善のための衝突シミュレーションや流体シミュレーションは国立天文台 CfCA のスーパーコンピュータを利用して実施した。

#### 4. 研究成果

一貫した衝突進化コードの開発は着々と進め、まずはセンチメートルサイズ以上の天体を取り扱い衝突破壊などの全ての効果を取り扱うシミュレーションを行いその結果をまとめた論文を執筆した(Kobayashi & Tanaka, 2018)。最終的には、0.1ミクロンサイズのダストから10倍地球質量程度のガス惑星の固体核までの成長を取り扱えるコードを開発した。このコードはDust-to-Planet Simulation (以下、DTPS)と名付けた。その結果を、2020年度日本惑星科学会、日本天文学会の秋季講演会等で発表した。また、結果について論文執筆中である。

図1は、最初0.1ミクロンのダストから開始したDTPSの結果である。左のパネルは約16万年後の天体の面密度を質量と中心星からの距離の関数として色で表した。パネルの右のカラーバーが面密度の値を表す。右の2つのパネルは天体の軌道離心率と傾斜角を同様に色で表している。円盤全体におけるダストから惑星までの質量進化を一つのシミュレーションの中で取り扱った結果、以下のことが分かってきた。ダストの成長は中心星から近いところから起こり、時間が経つにつれて遠方でダスト成長が起こるようになる。10<sup>9</sup>g程度の時に動径方向に移動が最も卓越するが、10AU(1AUはだいたい地球の太陽に対する平均軌道距離)よりも内側では衝突成長の方が卓越し動径移動よりも早く大きくなる。その結果、10AU以内の内側円盤では固体面密度が上昇し、非常に短い時間で木星型惑星の固体核を形成できる。この結果はこれまで見積もられていた固体核形成時間よりも100倍程度短く、円盤寿命よりも早いだけでなく、惑星移動問題の解決にもつながる。実際に、図のDTPSは(I型)惑星移動を考慮して行なったシミュレーション結果であり、惑星移動よりも前に固体核形成に成功していることがわかる。

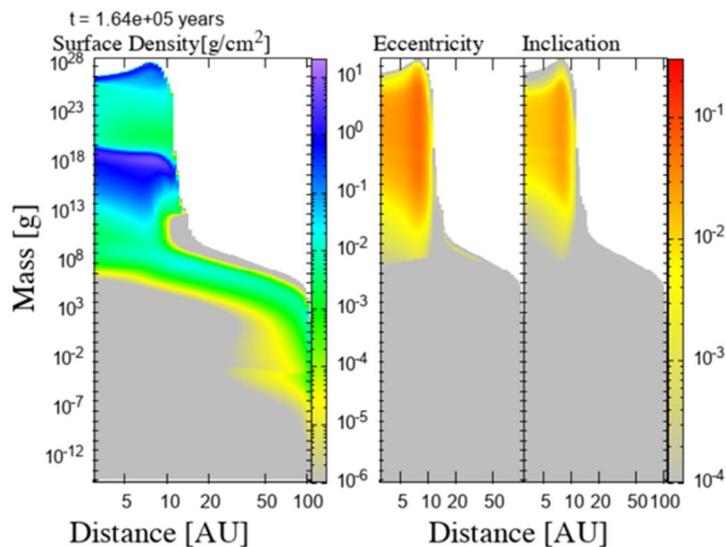


図1、本課題で開発したシミュレーションコードDTPSの結果

DTPSにより、ダストの成長が内側で起こり、だんだんと円盤外側に移動することが示され、これが惑星の急速成長に一役買うことが示された。この成長前線が円盤の中を移動していくことを原始惑星系円盤の観測と比較することで検証した。まず、ダスト成長が起こっている円盤の観測シミュレーションを行うと、電波観測では成長前線で非常に明るくなり、リング状に観測されることがわかった。近年、原始惑星系円盤で観測される惑星リングと成長前線リングを比較すると数十万年程度の若い原子星周りのリングは成長前線として説明できることを示した。以上の結果を執筆した論文がアストロフィジカルジャーナルに掲載された(Ohashi, Kobayashi, et al. 2021)。この研究内容は理研と名古屋大学でプレスリリースも行った。

これらの広い天体サイズ範囲の質量進化を取り扱うために、関連する物理を見直すこともした。衝突モデルの見直しのため、数々の衝突シミュレーションを行い、より現実的な衝突モデルの構築を行なった(Genda et al. 2017; Sugiura, Kobayashi, Inutsuka 2018, 2019, 2020; Suetsugu et al. 2018)。これらの結果はDTPSに組み込むだけでなく、衝突進化の中での破壊の効果を見直し、衝突進化を包括的に理解するためにも非常に役に立っている。

また、原始惑星重力により影響を受けたガス円盤に強く影響を受ける小天体の原始惑星への集積率はDTPSでも取り扱うが、これまでよく使われていたモデルの不確実性が大きいことが指摘されていた。そこで、流体シミュレーションにより詳細な流れ構造を求めて、その流れの中で粒子の軌道計算を行い集積率を求め直した。また、新たに解析解も導出した。この結果は、現在アメリカ天文学会関連雑誌に投稿し、掲載決定した(Okamura & Kobayashi 2021)。

これらの関連研究も含めて、DTPSの基本的な開発は終わり、この結果として短期間で木星のような巨大ガス惑星が形成できる新たな惑星形成モデル構築が可能になった。このように包括的に惑星形成を理解するシミュレーションは今後も理論研究の発展に大きく寄与するとともに、原始惑星系円盤と系外惑星を橋渡しするツールになるだろう。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Morota T., 他 Kobayashi H.	4. 巻 368
2. 論文標題 Sample collection from asteroid (162173) Ryugu by Hayabusa2: Implications for surface evolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 654 ~ 659
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aaz6306	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kimura Hiroshi, Wada Koji, Kobayashi Hiroshi, Senshu Hiroki, Hirai Takayuki, Yoshida Fumi, Kobayashi Masanori, Hong Peng K, Arai Tomoko, Ishibashi Ko, Yamada Manabu	4. 巻 498
2. 論文標題 Is water ice an efficient facilitator for dust coagulation?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1801 ~ 1813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2467	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ohashi Satoshi, Kobayashi Hiroshi, Nakatani Riouhei, Okuzumi Satoshi, Tanaka Hidekazu, Murakawa Koji, Zhang Yichen, Liu Hanyu Baobab, Sakai Nami	4. 巻 907
2. 論文標題 Ring Formation by Coagulation of Dust Aggregates in the Early Phase of Disk Evolution around a Protostar	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 80 ~ 80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd0fa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Taki Tetsuo, Kuwabara Koh, Kobayashi Hiroshi, Suzuki Takeru K.	4. 巻 909
2. 論文標題 New Growth Mechanism of Dust Grains in Protoplanetary Disks with Magnetically Driven Disk Winds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd79f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugiura Keisuke, Kobayashi Hiroshi, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 181
2. 論文標題 High-resolution simulations of catastrophic disruptions: Resultant shape distributions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Planetary and Space Science	6. 最初と最後の頁 104807 ~ 104807
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pss.2019.104807	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Hiroshi, Isoya Kazuhide, Sato Yutaro	4. 巻 887
2. 論文標題 Importance of Giant Impact Ejecta for Orbits of Planets Formed during the Giant Impact Era	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 226 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab5307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Higuchi Aya E., Saigo Kazuya, Kobayashi Hiroshi, Iwasaki Kazunari, Momose Munetake, Lou Soon Kang, Sakai Nami, Kunitomo Masanobu, Ishihara Daisuke, Yamamoto Satoshi	4. 巻 883
2. 論文標題 First Subarcsecond Submillimeter-wave [C i] Image of 49 Ceti with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 180 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3d26	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsuchikawa T., Kaneda H., Oyabu S., Kokusho T., Morihana K., Kobayashi H., Yamagishi M., Toba Y.	4. 巻 626
2. 論文標題 Near- to mid-infrared spectroscopy of the heavily obscured AGN LEDA 1712304 with AKARI/IRC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A130 ~ A130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201935483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Hiroshi、Tanaka Hidekazu	4. 巻 862
2. 論文標題 From Planetesimal to Planet in Turbulent Disks. II. Formation of Gas Giant Planets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 127 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aacdf5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suetsugu Ryo、Tanaka Hidekazu、Kobayashi Hiroshi、Genda Hidenori	4. 巻 314
2. 論文標題 Collisional disruption of planetesimals in the gravity regime with iSALE code: Comparison with SPH code for purely hydrodynamic bodies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 121 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2018.05.027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugiura K.、Kobayashi H.、Inutsuka S.	4. 巻 620
2. 論文標題 Toward understanding the origin of asteroid geometries	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A167 ~ A167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201833227	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugiura Keisuke、Kobayashi Hiroshi、Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 328
2. 論文標題 Collisional elongation: Possible origin of extremely elongated shape of 11/ ' Oumuamua	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 14 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2019.03.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Masato I N, Kobayashi Hiroshi, Inutsuka Shu-ichiro, Fukui Yasuo	4. 巻 70
2. 論文標題 Star formation induced by cloud?cloud collisions and galactic giant molecular cloud evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujii Yuri I., Kobayashi Hiroshi, Takahashi Sanemichi Z., Gressel Oliver	4. 巻 153
2. 論文標題 Orbital Evolution of Moons in Weakly Accreting Circumplanetary Disks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 194 ~ 194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa647d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ueda Takahiro, Kobayashi Hiroshi, Takeuchi Taku, Ishihara Daisuke, Kondo Toru, Kaneda Hidehiro	4. 巻 153
2. 論文標題 Size Dependence of Dust Distribution around the Earth Orbit	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 232 ~ 232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aa5ff3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Higuchi Aya E., Sato Aki, Tsukagoshi Takashi, Sakai Nami, Iwasaki Kazunari, Momose Munetake, Kobayashi Hiroshi, Ishihara Daisuke, Watanabe Sakae, Kaneda Hidehiro, Yamamoto Satoshi	4. 巻 839
2. 論文標題 Detection of Submillimeter-wave [C i] Emission in Gaseous Debris Disks of 49 Ceti and Pictoris	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L14 ~ L14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa67f4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishihara Daisuke, Takeuchi Nami, Kobayashi Hiroshi, Nagayama Takahiro, Kaneda Hidehiro, Inutsuka Shu-ichiro, Fujiwara Hideaki, Onaka Takashi	4. 巻 601
2. 論文標題 Faint warm debris disks around nearby bright stars explored by AKARI and IRSF	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A72 ~ A72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201526215	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Genda Hidenori, Fujita Tomoaki, Kobayashi Hiroshi, Tanaka Hidekazu, Suetsugu Ryo, Abe Yutaka	4. 巻 294
2. 論文標題 Impact erosion model for gravity-dominated planetesimals	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Icarus	6. 最初と最後の頁 234 ~ 246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.icarus.2017.03.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 小林浩、大橋聡
2. 発表標題 ダストから惑星への直接合体成長とALMAで観測される原始惑星系円盤の進化
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林浩、田中秀和
2. 発表標題 原始惑星系円盤中でのダストから惑星まで一貫した直接合体成長の理論的研究
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林浩、田中秀和
2. 発表標題 ダストから惑星まで直接合体成長を取り扱う統一シミュレーション
3. 学会等名 2020年度惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡村達弥、小林浩
2. 発表標題 原始惑星系円盤中でのダストから惑星まで一貫した直接合体成長の理論的研究
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi
2. 発表標題 Dust in Planet Formation
3. 学会等名 PERC Int'l Symposium on Dust & Parent Bodies 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 惑星形成の衝突史解明に向けた はやぶさ2のデータの重要性
3. 学会等名 「惑星形成過程とはやぶさ2探査」研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi and Hidekazu Tanaka
2. 発表標題 Collisional Growth From Dust to Planets in a Protoplanetary Disk
3. 学会等名 Cosmic Dust (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 浩、田中 秀和
2. 発表標題 ダストから直接合体成長による惑星形成の理論的研究
3. 学会等名 JpGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林 浩、岩崎 一成、樋口 あや
2. 発表標題 デブリ円盤のガス観測から、円盤散逸へ制約を与える理論的研究
3. 学会等名 JpGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi
2. 発表標題 Collisional Fragmentation in Giant Impact Stages
3. 学会等名 EPSC-DPS Joint Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林浩、磯谷和秀、佐藤雄太郎
2. 発表標題 巨大衝突起源の破片がもたらす地球型惑星の軌道進化
3. 学会等名 日本惑星科学会2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi
2. 発表標題 Collisional Evolution from Dust to Planets in a Protoplanetary Disk
3. 学会等名 Workshop on “ Planet formation in Protoplanetary disks with magnetized disk winds ’ ’ ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林浩，田中秀和
2. 発表標題 微惑星円盤中での微惑星から惑星への成長：破壊モデル依存性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi
2. 発表標題 Formation of Planets from Collisional Growth in Turbulent Disks
3. 学会等名 FROM RRETELLAR CORES TO SOLAR NEBULAE ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 強い乱流が作る巨大惑星 : 巨大ガス 惑星形成のための条件
3. 学会等名 天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Kobayashi
2. 発表標題 Formation of Planets from Collisional Growth in Turbulent Disks
3. 学会等名 Japanese-German meeting on Exoplanets and Planet Formation 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 衝突・破壊を考慮した惑星形成: 惑星成と乱流の強さ
3. 学会等名 2018年日本惑星科学会秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 デブリ円盤と惑星形成
3. 学会等名 ALMAワークショップ: 円盤から太陽系へ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 小惑星帯の衝突史
3. 学会等名 平山族発見から100年 太陽系における天体衝突・進化過程の理解の現状（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩、岩崎一成
2. 発表標題 デブリ円盤のガスの起源と炭素ガス観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 Collisional History in Main Belt
3. 学会等名 天体の衝突物理の解明(XIV)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 Gas in Debris Disks
3. 学会等名 Cosmic Dust X (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 Debris disc formation induced by planetary growth
3. 学会等名 Workshop on gaseous debris disks (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 From planetesimals to planets in a turbulent disk
3. 学会等名 Planet Formation and Evolution 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 From planetesimals to planets in a turbulent disk
3. 学会等名 10th RESCEU/Planet2 Symposium Planet Formation around Snowline (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 地球型惑星形成巨大衝突ステージにおける微惑星の衝突・破壊の重要性
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 惑星系と衝突の歴史
3. 学会等名 惑星科学フロンティアセミナー2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 微惑星から惑星への乱流円盤中での成長
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 デブリ円盤のガス
3. 学会等名 Workshop on star & planet formation
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林浩
2. 発表標題 衝突とデブリ円盤
3. 学会等名 天体の衝突物理の解明 (XIII) ~ 太陽系の進化過程におけるダストの役割 ~
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小林浩のホームページ：論文  
[http://www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~hkobayas/page\\_j/jp/lun\\_wen.html](http://www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~hkobayas/page_j/jp/lun_wen.html)  
Recent publications from TA-lab  
<http://www.ta.phys.nagoya-u.ac.jp/ta1ab/paper.html>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ドイツ	イエナ大学	キール大学	
デンマーク	ニールス・ボーア研究所		