

領域略称名：星惑星形成

領域番号：6002

令和2年度科学研究費助成事業
「新学術領域研究（研究領域提案型）」
に係る中間評価報告書

「新しい星形成論によるパラダイムシフト：銀河系におけるハ
ビタブル惑星系の開拓史解明」

領域設定期間

平成30年度～令和4年度

令和2年6月

領域代表者 名古屋大学・理学部・教授・犬塚 修一郎

目 次

研究組織

1 総括班・総括班以外の計画研究	2
2 公募研究	3

研究領域全体に係る事項

3 研究領域の目的及び概要	5
4 審査結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況	7
5 研究の進展状況及び主な成果	9
6 研究発表の状況	14
7 研究組織の連携体制	19
8 若手研究者の育成に関する取組状況	20
9 研究費の使用状況・計画	21
10 今後の研究領域の推進方策	22
11 総括班評価者による評価	24

研究組織

(令和2年6月末現在。ただし終了した研究課題は終了時現在、補助事業廃止の研究課題は廃止時現在。)

1 総括班・総括班以外の計画研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
X00 総	18H05436 新しい星形成論によるパラダイム シフト：銀河系におけるハビタブル 惑星系の開拓史解明	平成30年度 ～ 令和4年度	犬塚 修一郎	名古屋大学・理学系・教授	3
A01 計	18H05437 星団形成論の確立と銀河系進化の 理論的解明	平成30年度 ～ 令和4年度	犬塚 修一郎	名古屋大学・理学系・教授	6
A02 計	18H05438 多様な原始惑星系円盤における惑 星形成過程の理論的解明	平成30年度 ～ 令和4年度	小久保 英一郎	国立天文台・教授	6
A03 計	18H05439 惑星大気の形成・進化とその多様 性の解明	平成30年度 ～ 令和4年度	生駒 大洋	東京大学・理学系・准教授	4
B01 計	18H05440 巨大分子雲における星団形成機構 の観測的解明	平成30年度 ～ 令和4年度	大西 利和	大阪府立大学・理学系・教授	7
B02 計	18H05441 多様な環境下における原始惑星系 円盤進化の観測的解明	平成30年度 ～ 令和4年度	百瀬 宗武	茨城大学・理学野・教授	6
B03 計	18H05442 赤外線による若い惑星とハビタブル 惑星の観測の新機軸	平成30年度 ～ 令和4年度	田村 元秀	東京大学・理学系・教授	5
総括班・総括班以外の計画研究 計6件					

[1] 総：総括班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

2 公募研究

研究項目[1]	課題番号 研究課題名	研究期間	研究代表者 氏名	所属研究機関・部局・職	人数 [2]
A01 公	19H05075 超新星残骸に付随するフィラメント状分子雲の探究	令和元年度 ～ 令和2年度	佐野 栄俊	国立天文台・助教	1
A01 公	19H05076 銀河系ハビタブルゾーン： 化学進化からのアプローチ	令和元年度 ～ 令和2年度	竹内 努	名古屋大学・理学系・准教授	1
A01 公	19H05085 分子雲における星間ダスト進化モデルの構築	令和元年度 ～ 令和2年度	木村 宏	千葉工業大学・研究員	1
A02 公	19H05071 Water delivery, composition, and formation	令和元年度 ～ 令和2年度	ブラサー ラモン	東京工業大学・准教授	1
A02 公	19H05073 隕石から探る木星型惑星大移動説	令和元年度 ～ 令和2年度	癸生川 陽子	横浜国立大学・工学系研・准教授	1
A02 公	19H05077 乱流磁場を持つ原始惑星系円盤における宇宙線粒子の伝播とガスの電離	令和元年度 ～ 令和2年度	藤井 悠里	名古屋大学・助教	1
A02 公	19H05080 原始惑星系円盤の散逸機構：光蒸発と磁気駆動風の統一理解	令和元年度 ～ 令和2年度	田中 圭	国立天文台・研究員	1
A02 公	19H05086 原始惑星系円盤における珪酸塩微粒子の新しい衝突付着過程についての実証	令和元年度 ～ 令和2年度	門野 敏彦	産業医科大学・医学部・教授	1
A02 公	19H05087 最新の理論モデルを考慮した低質量星周りの惑星形成の解明と種族合成モデルの生成	令和元年度 ～ 令和2年度	荻原 正博	国立天文台・助教	1
A03 公	19H05072 大気化学・散逸計算によるハビタブル惑星の水量進化の解明	令和元年度 ～ 令和2年度	黒川 宏之	東京工業大学・研究員	1
B01 公	19H05067 電波および赤外線観測で切り拓く銀河系外縁部の星間化学	令和元年度 ～ 令和2年度	下西 隆	新潟大学・助教	1
B01 公	19H05070 ガイアによるガス・ダスト比の3次元計測と星・星団形成との関係	令和元年度 ～ 令和2年度	土橋 一仁	東京学芸大学・教育学部・教授	1

B01 公	19H05074 振動励起状態に着目した星間 有機分子ギ酸メチルのスペク トル線精密計測・解析	令和元年度 ～ 令和2年度	小林 かおり	富山大学・教授	1
B01 公	19H05082 俯瞰で見る大質量原始星円盤：円 盤内奥から電波光球へ	令和元年度 ～ 令和2年度	元木 業人	山口大学・自然科学研究科・ 講師	1
B01 公	19H05083 渦状腕の骨格構造を構成する分子 雲の磁場の研究	令和元年度 ～ 令和2年度	杉谷 光司	名古屋市立大学・教授	1
B01 公	19H05084 非磁化CO ₂ 大気地球型惑星/ 金星大気物質循環と中心星の活 動の影響評価	令和元年度 ～ 令和2年度	前澤 裕之	大阪府立大学・理学系・准教 授	1
B02 公	19H05068 微小ダストの磁場整列で解き明か す円盤のミリ波偏波の起源	令和元年度 ～ 令和2年度	田崎 亮	工学院大学・研究員	1
B02 公	19H05069 極めて若い原始星天体に付随した 円盤構造とその進化の観測的研究	令和元年度 ～ 令和2年度	大屋 瑤子	東京大学・理学系・助教	1
B02 公	19H05081 粉体流を用いたダスト集合体の衝 突進化の実験的研究	令和元年度 ～ 令和2年度	中村 昭子	神戸大学・理学系・准教授	1
B02 公	19H05088 偏波観測で探るダストの成長課程	令和元年度 ～ 令和2年度	片岡 章雅	国立天文台・助教	1
B02 公	19H05089 原始惑星系円盤における岩石型惑 星形成領域の高空間分解能観測	令和元年度 ～ 令和2年度	橋本 淳	アストロバイオロジーセン ター・助教	1
B02 公	19H05090 ALMA望遠鏡を用いたデブリ円 盤におけるガス探査	令和元年度 ～ 令和2年度	樋口 あや	国立天文台・研究員	1
公募研究 計 22 件 (廃止を含む)					

[1] 総：総括班、計：総括班以外の計画研究、公：公募研究

[2] 研究代表者及び研究分担者の人数（辞退又は削除した者を除く。）

研究領域全体に係る事項

3 研究領域の目的及び概要

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時の領域計画書を基に、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、どのような点が「革新的・創造的な学術研究の発展が期待される研究領域」であるか、研究の学術的背景や領域設定期間終了後に期待される成果等を明確にすること。

系外惑星科学の展開と現在の課題 1995年の太陽系外惑星の発見以降、系外惑星科学はその研究者人口の急激な増加と共に急速に発展している。これまでに五千個を超える系外惑星候補が発見され、太陽系とは異なる極めて多様な惑星系の存在が明らかになり、我々の世界観は大きく変わった。**系外惑星科学**は天文学における最重要分野の一つに位置付けられただけでなく、太陽系のみを対象としてきた惑星科学に大きな多様性の扉を開いた。近年は生命を育む環境を備えた**ハビタブル惑星**を天文学的手法で探索するという全く新しい領域の開拓にもつながっている。その結果、惑星形成論は天文学の枠に留まらず、周辺の関連分野を飲み込む規模で発展しており、**生命や惑星系の起源**という人類の根源的な問いに科学的にアプローチする分野を提供している。

惑星系のゆりかごである**原始惑星系円盤**の観測的研究では、すばる望遠鏡の戦略枠プロジェクト**SEEDS** (代表:田村)により、直接撮像法での系外惑星の発見やリング・渦状腕構造を示す原始惑星系円盤の発見など世界最先端の成果が挙げられた(図1)。SEEDSの観測に刺激され、永年重力不安定性により半径100AUで幅13 AUの**多重リング構造**が形成され、それが固体惑星や遠方ダスト円盤(デブリ円盤)に進化することを予言する理論が発表された(Takahashi & Inutsuka 2014)。その直後にALMAによりまさにその幅を持つ**多重リング構造**が若い星**HL-Tau**の円盤に発見された(図2f)。現在、HL-Tauの多数のリングの成因については論争が絶えないが、旧来の原始惑星系円盤の進化論から大きく異なる様相は衝撃的である。従来の惑星形成論を根底から覆す可能性を秘めているこれらの発見は惑星形成論の発展を激しく駆動している。

新しい星形成論 一方、赤外線衛星 IRAS による原始星(生まれたての星)の観測や電波望遠鏡による分子雲観測の成果が出てきた 1980 年代以降、星の形成過程の研究は脈々と続いていた。しかし、小質量星から大質量星に渡る多様な星形成過程の理解は順調ではなかった。状況が一変したのは、欧州のハーシェル宇宙望遠鏡による近傍の星形成領域のサーベイ観測結果が発表されたことである。その内容は「星形成は線密度が臨界値を超える**フィラメント状分子雲**で始まる」とまとめられる極めて簡潔な結論であった(音速 C_s 、重力定数 G を用いて臨界値は $2C_s^2/G$ であり、ほぼ定数)。実は、その内容は領域代表者らが過去に発表していた論文(Inutsuka & Miyama 1992,1997)で予言していたものであったため、それに続く理論的研究の複数の予言が直接検証されるという流れが生じた。実際、フィラメント状分子雲の線密度構造分布が**分子雲コアの質量関数**を決めるという領域代表者の論文(図 2d, Inutsuka 2001)の予言が定量的にハーシェルの観測データ解析から証明され(Roy, Andre, Arzoumanian et al. 2015)、**星の初期質量関数の起源**の研究が一気に進んだ。さらに ALMA 望遠鏡の登場により、分子ガスの空間・速度分布の超精密観測が可能となり、フィラメント状分子雲の形成過程の基本的理解が大きく進むものと期待される。また、様々な電波望遠鏡がその ALMA の最新技術を導入することにより、観測効率を劇的に向上させている。

本領域の計画研究 A01 メンバーらは基礎物理過程に基づき高密度分子雲コアから原始星・原始惑星系円盤が形成される過程を統一的に記述する計算をほぼ貫徹している(図 2e, レビューは Inutsuka 2012 等)。その結果に基づく新しい惑星形成論は今まさに展開されつつある(例えば Ogihara et al. 2013, 2014, 2015, 2016 等)。また、A02 班のメンバーらは物質科学的なアプローチを含む本格的なダスト粒子のミクロスケール・シミュレーションを実行し、現実的な微惑星形成過程の筋道を切り開きつつある

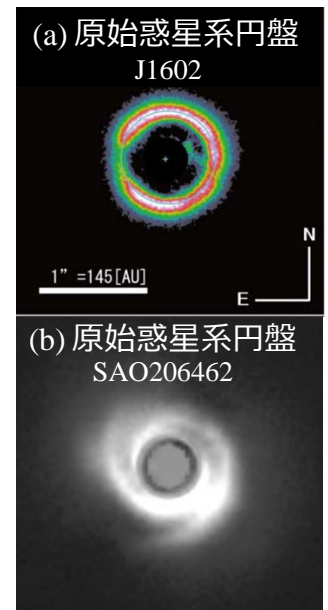


図 1: SEEDS プロジェクトにより観測された原始惑星系円盤

(Okuzumi et al. 2012 等). これら理論研究の展開はこれまでの分子雲・原始惑星系円盤・系外惑星の観測結果から刺激されてきたが、既存の観測データだけで急速な進展を見せる惑星形成論を検証することは、もはや不可能である。多様な惑星系の本質に迫るためには、斬新な理論に基づく新しい動機によって観測領域や手法を選択的に拡大する必要がある。

新しい星形成論に基づき、銀河スケールでの星惑星研究にパラダイムシフトをもたらし、銀河系におけるハビタブル惑星系の開拓史を解明する新領域 地球のような岩石惑星は重元素で構成されているため、重元素が存在しなかった宇宙初期の銀河形成期にはハビタブル惑星は形成不可能であった。星が生まれ、その中で重元素が合成されて星間空間にばらまかれることで、惑星形成可能な環境が整えられたのである。それは銀河中心領域より外側に広がっていくという進化をしたと考えられるため、銀河進化によりハビタブル惑星形成可能な環境が「開拓」されたことになる。従来の星形成や原始惑星系円盤の研究は数百万年程度の「つい最近」の現象を扱ってきた。この時間窓は銀河系の歴史において右端の僅かな時間間隔にしか過ぎない。一方、太陽系は銀河系の年齢の半分弱に相当する 46 億年程度前に形成されたと考えられているが、太陽の重元素量は現在の近傍ガスの平均値よりもむしろ大きい。太陽系が生まれた頃の重元素量は現在の半分強程度と推測されるため、太陽は近傍のガス雲の重元素量に比べてかなり高い重元素量を持つと言える。 さらに太陽系の構成物質には超新星爆発によってのみ作られる元素の同位体の崩壊核が含有されているため、超新星爆発を起こした星団の中で太陽系が作られたと推察される (Gounelle, Meibom, Hennebelle, & Inutsuka 2009 等)。従って、一つの仮説として、太陽系は銀河中心領域の重元素量の大きな星団内で生まれ、現在の位置まで外側に移動してきた可能性が浮上する。 実際、種々の金属量を持つ星の分布を記述する銀河系の化学進化に関する最新の計算によれば、かなりの星は長い時間をかけて外側に移動することが示唆されており、太陽系の誕生場所は銀河中心から 4.4~7.7kpc 程度の場所であろうと見積もられている (Minchev et al. 2013 等)。一方、化学進化の解釈から逆算された銀河系の星形成の歴史によれば、約 80 億年前に星形成は不活発なモードに移行したことが分かっており、これらが太陽系誕生の初期条件を示唆している。このように、現実の太陽系の誕生過程を探るには、宇宙そのものの年齢の時間スケールに匹敵する銀河系進化の中での多様な惑星形成を理解する、というパラダイムシフトが必要なのである。 そして、銀河進化から惑星形成までを正しく理解するための根本となる新しい星形成論を手にした今まさにその研究は可能になったと我々は強く実感している。**本新学術領域研究の目的**は、銀河スケールでの星形成活動を理解し、進化する銀河系の中で多様な惑星系の形成・進化を解明すること、特に太陽系がどのような場所・環境で生まれ、何を経験してきたのかを突き止め、真の太陽系の起源を理解することである。 さらに、太陽を生んだ星団の他の星、つまり**太陽の兄弟星**の分布や、太陽系のような**生命を育める惑星系**の形成領域分布についての描像を確立し、惑星系観測・探索の機軸を構築する。この新しい挑戦的研究テーマについて、対応する天文学・宇宙物理学のすべての分野の専門家が協力して組織された本研究領域の 6 つの計画研究により解明する。

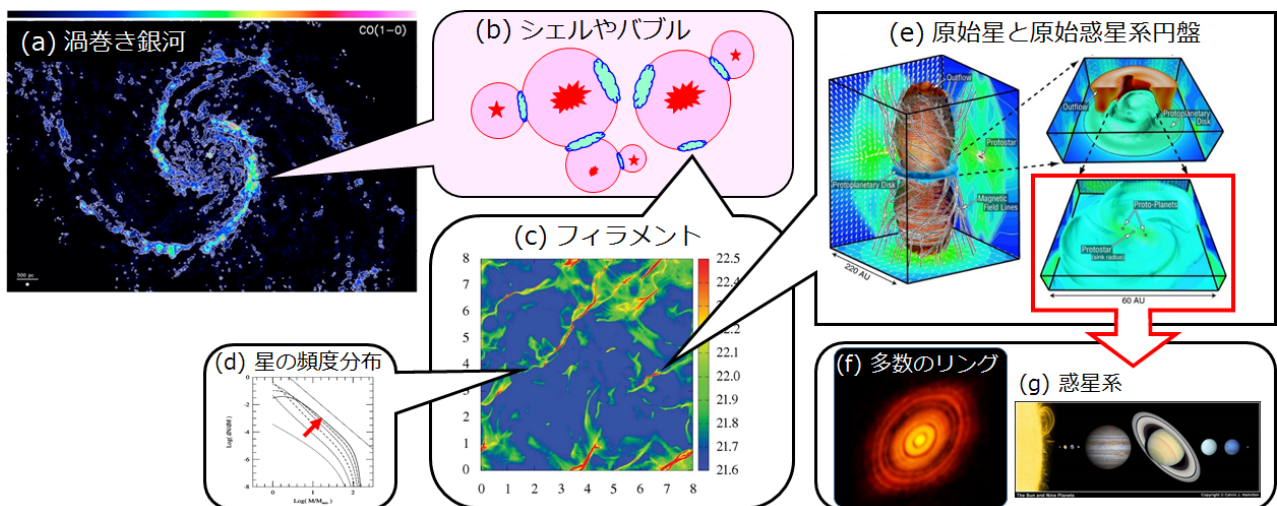


図 2：銀河スケールでの星と惑星の形成

4 審査結果の所見で指摘を受けた事項への対応状況

研究領域全体を通じ、審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該指摘及びその対応状況等について、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

審査結果の所見は以下である。

「本研究領域は、最先端のミリ波・サブミリ波望遠鏡や特色ある赤外線望遠鏡と観測装置を駆使して新しい観測データを得るとともに、星惑星形成や惑星大気形成の理論研究と密接に連携し、ハビタブル惑星系の起源を銀河系スケールで統合的に解明しようとする挑戦的な提案である。観測と理論の両面から星惑星系の形成と進化のシナリオを見直し、重元素に富む太陽系の形成史を銀河系規模で考えるという太陽系史研究のパラダイムシフトを目指す。特定領域研究「太陽系外惑星科学の展開」(平成 16-20 年度)や新学術領域研究「太陽系外惑星の新機軸」(平成 23-27 年度)の成果に立脚しており、着実な成果が期待できる。新たに大気形成論の研究者が参画することによって研究体制が強化されており、近年の発展が目覚ましく国際的な競争も激しい当該分野においても、世界をけん引する研究領域となることが期待される。

研究組織は三つの計画研究からなる観測組織と三つの計画研究からなる理論組織からなり、各計画研究の実施計画は十分に説得力がある。新たな装置開発についても現実的な計画が立てられており、十分に遂行できるものと期待される。一方で、本研究領域の推進のためには、個々の計画研究の核をなすプロジェクト間での密な連携が極めて重要である。研究領域内の有機的なつながりを一層促進するための工夫や、各計画研究間の連携の強化が望まれる。」

指摘を受けた領域内の有機的連携の強化を図るため、以下のような様々な対応・企画を行っている。

□ 領域大研究会（国内）

これは毎年開催を企画している。この研究会は、各計画研究・公募研究の進捗を領域内で共有しつつ、本研究領域の今後の方針を議論する上で最も重要なものと位置付けている。初年度は「キックオフミーティング」として2018年9月に名古屋大学で開催し約百人が参加した。

<http://www.ta.phys.nagoya-u.ac.jp/star/2018/09.html>

第2年度末は「領域研究会」として2020年3月に東京大学（コロナウイルス問題のため、リモート会議となった）で開催し、百人以上が参加した。2年間の研究の進捗について総括することができた。

<https://sites.google.com/elsi.jp/altsympo032720/home>

□ ラボ・ローテーション

ラボ・ローテーションとは、総括班の判断のもと、ポスドクレベルの若手研究者を別の計画研究・別の機関の研究室に短期または中期に滞在する経費を総括班から支出し、研究会・セミナーよりも遥かに密度の高い領域内連携や共同研究を実現することを目指している。この2019年だけでも4件の実績があり、ラボ・ローテーションを行った若手研究者からの評判も良い（違う環境・研究スタイルを経験する機会となった、等）。

- 高橋実道（国立天文台 A02 班）→名大(A01,A02 班)
- 柴田翔（東大 A03 班）→名大（A01 班,A02 班）2020 年 1 月 7-9 日
- 泉奈都子（茨城大 B02 班）→名大（A01 班,A02 班,B01 班）2020 年 1 月 14-17 日, 2 月 17-28 日
- 塚越 崇（国立天文台 B02 班）→茨城大（B02 班）2020 年 1 月 30-31 日

□ 計画研究ベースの国際シンポジウムの開催（3 件）

初年度は計画研究 A01 班が中心(SOC: 犬塚修一郎)となり、“Interstellar Filament Paradigm” という国際シンポジウムを2018年11月5日～9日の日程で名古屋にて開催した。参加者101名であり、海外からの参加者が国内よりも多かった。これはフィラメント状星間分子雲における星形成過程の研究の進展を総括した国際会議である。

第2年度は計画研究 A03 班が中心(SOC/LOC chair: 生駒大洋)となり、“From protoplanetary disks through planetary system architecture to planetary atmospheres and habitability” という題目の国際

シンポジウムを2019年10月14日～18日の日程で沖縄にて開催した。

さらに、第2年度は計画研究B03班が中心（SOC：田村元秀）となり、“In the Spirit of Lyot 2019”という国際シンポジウムを2019年10月21日～25日の日程で東京にて開催した。参加者は200名であった。

これらの国際会合を開催することにより、本新学術領域メンバーの発表と交流の機会を作り、海外への発信も促進した。

□ 当該分野にとって最大最重要の国際会議「Protostars and Planet VII」の開催準備

この会議はこれまで欧米にて6回開催されたものであり、当該分野にとっての最大最重要の国際会議である。領域発足後に本会議の誘致に成功し、2021年4月開催に向けた準備を進めている。進捗状況としては、レビュー・プロポーザルの提案書提出を締め切り、約90件のレビュー・プロポーザルを受け付け、現在はその審査を進行中である。開催直後にレビューをまとめた本を出版する。これは当該分野の重要な教科書となる予定である、本領域の国際的評価、若手育成の材料提供など様々な効果をもたらすことを期待している。

□ 国内合同研究会（3件）

A02-B02の共同キックオフミーティング、「星・惑星形成再検討会」、「円盤風による原始惑星進化と惑星形成研究」を開催し、複数の計画研究をまたがる共同研究を促進した。

□ 領域横断の月例セミナー

TV会議を利用した「星・惑星形成ゼミ」は毎月開催しており、毎回10拠点以上。参加者は毎回40名以上のセミナーである。領域間における科学的議論を継続的に振興し、若手を教育する役割を果たしている。

第131回 2018/05/31 参加41名、参加拠点12、第132回 2018/06/28 参加40名、参加拠点11
第133回 2018/07/26 参加32名、参加拠点9、第134回 2018/08/13-14 参加14名、参加拠点11
第135回 2018/10/11 参加34名、参加拠点9、第136回 2018/11/29 参加26名、参加拠点10
第137回 2019/01/24 参加66名、参加拠点18、第138回 2019/02/21 参加36名、参加拠点10
第139回 2019/04/04 参加43名、参加拠点12、第140回 2019/05/09 参加45名、参加拠点12
第141回 2019/06/06 参加50名、参加拠点14、第142回 2019/08/29 参加26名、参加拠点9
第143回 2019/10/30 参加26名、参加拠点7、第144回 2019/12/12 参加31名、参加拠点12
第145回 2020/02/06 参加33名、参加拠点11、第146回 2020/04/23 参加44名、参加拠点15
第147回 2020/05/14 参加45名、参加拠点15、第148回 2020/06/18 参加41名、参加拠点16
第149回 2020/06/30 参加42名、参加拠点16、が開催日と参加者数・拠点数のリストである。

なお、講演内容と全参加者は専用のウェブページを作成して公開している。

<https://sites.google.com/view/spfseminar/home>

また、以下のような留意事項も所見に添えられていた。

・既存の望遠鏡計画の足し合わせとにならないよう、それぞれの成果から理論を固めていくという連携を行った上で、領域全体として研究が進展するように総括班を運営することが重要である。

・総括班、計画研究「A01」「A02」の経費について、他のプロジェクト経費との重複や過度の集中との誤解を受けないよう、丁寧に説明していく必要がある。

最初の項目については、前述の「密な連携のために行なっている事業」は総括班が主体となつて行なっている。特に、毎月行われるTV会議「星・惑星形成ゼミ」や「ラボ・ローテーション」は総括班の労力は大きい。非常に有効に連携を推進している。

また、2番目の項目については、総括班・A01/A02班とも他の班と比べると予算ははるかに小さい。しかし、計画研究A01,A02は以下のページ「8 若手研究者の育成に係る取組状況」で記述しているように若手研究者の教育（博士号取得・助教や博士研究員の輩出・各種若手受賞者の輩出）に成功しており、分野中での活躍は目覚ましい。また、総括班は上記のように連携のために重要な役割をなしている。従って、経費の過度の集中という誤解を受けることはないと考えている。

5 研究の進展状況及び主な成果

(1) 領域設定期間内及び中間評価実施時までには何をどこまで明らかにしようとし、中間評価実施時までにはどこまで研究が進展しているのか、(2) 本研究領域により得られた成果について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。(1)は研究項目ごと、(2)は研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で記載すること。なお、本研究領域内の共同研究等による成果の場合はその旨を明確にすること。

(1) 領域設定期間内及び中間評価実施時の研究目標と中間評価実施時までの研究進展

本新学術領域には以下の3つのテーマについて6つの研究項目がある。

- ・銀河スケールでの星形成に関する理論(研究項目 A01)・観測(研究項目 B01)
- ・様々な環境下における円盤進化と惑星形成に関する理論(研究項目 A02)・観測(研究項目 B02)
- ・系外惑星やその大気に関する理論(研究項目 A03)・観測(研究項目 B03)

研究項目 A01 に関しては計画研究 A01 が研究を進めており、進捗状況は計画を上回っている。まず、近年太陽系近傍に関して提唱した最新の星形成理論を、高圧・高温の極端な環境である銀河中心領域に応用する研究を論文としてまとめ、今後の観測により理論的予言を検証する方法を示した。また、星形成活動により誕生する天体の角運動量の起源を解明した。種々の優れた磁気流体力学的数値計算法についても発展させることができた。Gaia データを利用した銀河系の進化史についての研究も進んでいる。さらに、本新学術領域の最大のテーマの一つである「太陽系の誕生場所を突き止める」という課題に関して、現在の地球上にも(寿命が百万年程度の放射性同位体である)原子量 60 の Fe が降り注いでおり、その観測量を再現するには超新星爆発の影響を強く受ける環境に長時間滞在する必要があることを見出した。この制限から太陽系は銀河系のもっと内側で生まれて外側に移動してきたことを定量的に推定する方法を考案した。この内容の論文を近々発表する。関連して、原子量 26 の Al の天球面での分布を示す観測結果が、実は近傍の超新星爆発による構造を反映していることを示す論文は既に投稿中である (Fujimoto, Krumholz & Inutsuka 2020, arXiv:2006.03057)。これにより、本領域が掲げるもっとも挑戦的な課題に対して解答を与える糸口を見つけたと言える。

研究項目 B01 に関しては計画研究 B01 が、銀河進化と共に変化する重元素量を鍵として星・星団形成の観測的理解を徹底的に推進している。計画研究で開発する望遠鏡も含め、大小様々な望遠鏡を駆使して、星団形成の母体となる分子雲の徹底的な詳細観測を実行し、それと比較すべき原始星・原始星団の分布・性質を明らかにしている。具体的には以下の3つである。(1) 1.85m 電波望遠鏡を南米チリの標高 2,500m サイトに移設し、広帯域電波分光システムを開発・搭載するための準備が完成した。これにより、重元素量が異なる銀河系の主要部と大小マゼラン雲の巨大分子雲の物理状態をはじめ詳細に明らかにし、宇宙の進化に伴う星団・星形成の初期条件を探ることが可能である。(2) TAO に搭載されるカメラ: MIMIZUKU の性能向上を進め、すばる望遠鏡でのファーストライトを達成し、カメラの性能向上の開発も予定通り順調である。分子雲の奥深くに埋もれた原始星団の高分解能観測を実現し、原始星団を構成するメンバーの年齢・質量等を導き出せるであろう。(3) 国内外の大小ミリ波・サブミリ波望遠鏡の新規・アーカイブデータも駆使し、分子ガスの詳細な性質を巨大分子雲から個々の星形成のスケールまで広範かつ連続的に調べ、理論研究との比較も実施している。計画研究でカバーできない星間化学や磁場、大質量原始星円盤などに関しては、公募研究により対応できている。

研究項目 A02 に関しては計画研究 A02 が、(i)微惑星形成の素過程、(ii)惑星形成の素過程、として原始惑星系円盤から惑星に至るまでの形成の重要素過程を明らかにし、(iii)汎惑星形成理論と太陽系の起源、としてそれらを総合し、新たな惑星形成理論を構築することを推進している。中間評価実施時までには主として(i)と(ii)の研究を推進しており、これまでに計画していた全ての項目について順調に成果を出している。研究(i)として、ダストの成長・移動モデルの構築、ダストの衝突合体・破壊とペブル生成モデルの構築、ダスト、微惑星、ペブルの統合モデルと円盤観測との比較のそれぞれについての成果を得ている。また、研究(ii)については、微惑星の衝突・破壊過程、微惑星の局所集積、ガス惑星の形成、近接スーパーアース系の形成のそれぞれについて成果が得られている。詳細は(2)にまとめる。

研究項目 B02 に関しては計画研究 B02 が、一般的な惑星形成とハビタブル惑星系の位置付けを観測的に理解するため、3つの目標を設定している。まず、多様な惑星形成過程を明らかにするため、幅広い進化段階の近傍天体に対して ALMA 高解像度観測を行い、惑星形成と密接に関わる構造を見出す。これまでに、原始星期の円盤において多様な構造が形成されうることを見出し、観測を解釈する土台を構築した。より進化が進んだ円盤では、周惑星円盤の兆候とみられる構造や著しいダスト集積領域を発見した(図 3)。第二に、ALMA による水蒸気サブミリ波放射と、Subaru による水氷フィーチャーの観測を連動させ、水の振る舞いの全容解明を目指す。これまでに円盤散乱光の波長 $3\mu\text{m}$ 帯偏光スペクトルを初めて取得して数 μm サイズの水氷を含むダストの存在を確かめた他、ALMA 観測で得た水蒸気輝線フラックスの上限値とモデルとの比較からスノーラインの位置に制限を与えた。第三に、環境の違いが惑星形成過程に及ぼす影響を解明するため、京大 3.8m 望遠鏡用に近赤外線偏光撮像装置を開発し、星団中の円盤の統計的性質や磁場構造を調べる。並行して、多波長観測により星団中に存在する円盤性質を統計的に導く。新装置の開発は順調に進み、当初の計画通り令和 2 年度から組み上げと試験観測に進む準備が整った。

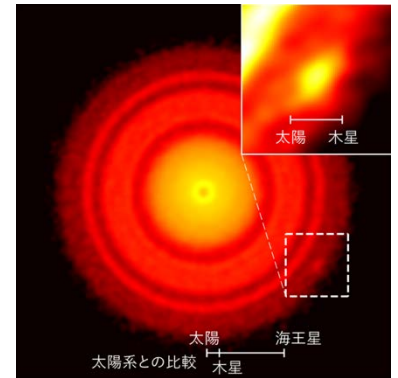


図 3:ALMA により観測された原始惑星系円盤中のダストの集積

研究項目 A03 に関しては計画研究 A03 が観測と理論の密な連携により取り組んでいる。観測面では、岡山とテネリフェ島に設置済の 2 台の多色撮像装置を用いて新たな系外惑星を発見した。また、それらの装置と連携して 24 時間連続観測体制を整えるため、マウイ島の望遠鏡に設置する新たに撮像装置を開発した。理論面では、原始惑星系円盤ガスを獲得して形成される大気と固体材料物質に含まれる揮発性成分の混合が与える物理的・化学的影響を精査し、それと惑星形成素過程の最新の理解を組み合わせた惑星形成統合モデルを開発した。これにより、TESS 惑星候補の集中的追観測によって得られる多くのデータと統計的な比較を行う準備が整った。

研究項目 B03 に関しては計画研究 B03 が領域設定期間内に、観測好適地に位置する南アフリカ天文台の望遠鏡に赤外線分光観測装置を製作し、若い恒星まわりの初めての大規模惑星探索を行う。さらに、すばる望遠鏡なども利用しつつ太陽近傍の赤色矮星まわりのハビタブル惑星も探索する。これらの開発および観測により、領域設定期間内に惑星の多様性の起源が形成か進化かを明らかにする計画である。さらに地球近傍の赤色矮星の観測により、太陽系とは異なる環境下でのアストロバイオロジーを推進することを目標としている。

中間評価時までとなる 2018 および 2019 年度には、すばる望遠鏡、K2 ミッションフォローアップ、TESS フォローアップ等による観測を推進し、並行して南アフリカ天文台に観測設備を準備する事業を推進した。観測装置としては、現在建設中の大阪大学の口径 1.8m 望遠鏡 PRIME と、稼働中の名古屋大学等の口径 1.4m 望遠鏡 IRSF にファイバーリンク可能な高分散分光器の詳細な設計を行った。

(2) 本研究領域により得られた成果

研究項目 A01 の計画研究 A01 班では、まず犬塚が、太陽系近傍の星形成理論を応用して、ガス質量の割に星形成活動が不活発な銀河中心領域での星形成活動を詳細に解析して論文としてまとめ、今後の観測により理論的予想を検証する方法を示した。また、銀河系内で生まれる天体の角運動量の起源は星が生まれる分子雲コアの角運動量にあるが、後者の起源はフィラメント状分子雲の亜音速の乱流成分(軸上のセントロイド速度擾乱)にあることを解明した。さらに上の(1)で述べたように、本新学術領域の最大のテーマの一つである「太陽系の誕生場所を突き止める」という課題に対しては糸口を見出している。その準備段階に相当する研究として、原子量 26 の Al の天球面での分布を示す観測結果が、実は近傍の超新星爆発による構造を反映していることを示した(論文投稿中)。

千葉らは、2年前に公開された恒星の位置天文学カタログ Gaia DR2 ならびにすばる望遠鏡の超広視野カメラ HSC などによる観測データの解析を実施し、銀河系円盤の新しい動力学構造(金属量が少ない厚い銀河系円盤と呼ばれる円盤構造)の発見に至った。さらに、そのような銀河系円盤内のダイナミクスと星形成過程に対して、外部からの力学相互作用によって大きな影響を与える銀河系衛星銀河の諸性質に関し重要な研究成果を得た。長島は銀河を宇宙論的な構造形成論の枠組みの中で捉えるため、自身が

構築してきた銀河形成モデルを用いて銀河の光度関数等の観測を再現するような星形成パラメータを調べると、銀河スケールで平均化した場合の星形成のタイムスケールについては、銀河系程度の銀河については約 140~220Myr 程度であることがわかった。これは近傍の星形成理論 (Inutsuka et al. 2015) と整合的である。諏訪は、超新星爆発の中心部の活動性と放射性同位体であるニッケル 56 の生成量に強い関係があることを明らかにした。松本は周連星円盤の数値シミュレーションを遂行し、周連星円盤に現れる特徴的な構造が周連星円盤と連星との重力相互作用の結果であることを明らかにし、近年 ALMA で観測されているギャップ・渦状腕・非対称な円盤などの構造は原始連星に共通の性質であることを示した。塚本は多様な星団形成環境下において原始星や原始惑星系円盤がどのように形成・進化するかを調査するため、多様な環境下におけるガスの電離状態を解明している。既存のコードでは、低金属量環境で安定に電離度を計算できないことを見出し、多様な星形成環境における電離状態を適切に計算するための化学計算コードを開発した。

A01 班公募研究は、分子雲と宇宙線加速・拡散 (佐野)、銀河系ダストの長期的進化 (木村)、銀河円盤におけるハビタブル領域の拡大 (竹内) の3つであり、本領域に関わる先駆的業績が出ている。

研究項目 B01 計画研究 B01

- 1.85m 望遠鏡移設の現状について

230GHz, 345GHz 帯の超伝導受信機、及びその周波数帯域をカバーしたホーンを用いて中間周波数 (IF)帯で 4-21GHz(当初予定より 3GHz 広い)をカバーする受信機システムを構築し、それぞれの周波数帯で 12CO, 13CO, C18O の合計 6 スペクトルの同時観測可能なシステムの実験室実験に成功した。現在、広い周波数帯にわたる性能の均一化を進めており、早ければ令和 2 年度 10 月頃には望遠鏡に搭載可能になる見込みである。また、望遠鏡のオーバーホール、リモート観測システムの刷新を行い、現在設置されている野辺山宇宙電波観測所での完全なリモート観測を実現している。

- MIMIZUKU の現状について

オートガイダー・シャックハルトマンセンサーに関しては、V-band から I-band 化に伴い光学系を再設計し、仕様を満たすシステム設計が完了した。なお、TAO 望遠鏡に関しては、望遠鏡本体は令和 2 年度中に完成予定、サイト・インフラ整備に関しては、2020/01 から基礎工事を開始している。

- 様々な望遠鏡を用いた分子雲における星形成研究、関連する理論研究

上記の研究・開発と平行して、様々な望遠鏡を用いた分子雲における星形成研究や、関連する理論研究を推進している。観測研究においては、ALMA を用いた大小質量星形成領域・超新星残骸の高分解能観測 (査読論文 12 本)、45m 鏡・ASTE 等を用いた銀河系・系外銀河の観測 (査読論文 12 本)、を通して、フィラメント構造を含む星形成につながる星間物質の多様性を明らかにしてきた。特に小質量星形成直前の分子雲の観測については、計画研究 A01 との共同研究で成果が出ている (Tokuda et al. 2018, 2019, 2020, Fujishiro et al. 2020 等)。また、理論研究においては、上記の多くの観測論文に理論的裏付けを与えるべく参加しており、また、星間ガスの相互作用等を通じた様々な構造形成の研究も推進している (査読論文 9 本)。

公募研究では、星間物質や星形成の多様性を様々な手法で明らかにする事を目標としており、ホットコア観測 (下西)、有機星間分子観測 (小林)、近赤外中分散分光計改良 (前澤)、分子雲でのダスト成長 (土橋)、大質量原始星の空間分解撮像 (元木)、フィラメント近赤外偏光観測 (杉谷) に関して進展があった。

研究項目 A02 計画研究 A02 では、(i)微惑星形成の素過程、(ii)惑星形成の素過程の研究、において、新しい微惑星形成モデル、惑星移動モデルを含む、多数の成果が得られた。以下に主な成果を紹介する。

(i-a)ダストの成長・移動モデルの構築: 雪線でのダストの分裂・リング形成を考慮したダスト進化モデルと、円盤の非理想磁気流体計算を組み合わせ、ダストリング付近でガスリングも形成されることを発見した (Hu et al. 2019)。

(i-b)ダストの衝突合体・破壊とペブル生成モデルの構築: 焼結したダスト集合体の衝突計算によって、接触点の多いダストで焼結の効果が効き、跳ね返りによる成長阻害が起こることを示した (投稿準備中)。

(i-c)雪線内側におけるダスト濃集と重力不安定による岩石微惑星形成のモデル構築: 有機物に覆われた岩石ダストの付着合体を調べ、特定の温度範囲では壊れずに合体成長し、微惑星まで成長可能であることを発見した (Homma et al. 2019)。岩石ダストを含む氷ペブルの移動を調べ、ペブル流入が多く乱流拡散が弱い円盤では、雪線付近での氷昇華による岩石ダストの堆積により、岩石微惑星が形成されることがわかった (Hyodo et al. 2019)。

(i-d)ダスト、微惑星、ペブルの統合モデルと円盤観測との比較: CO₂ 氷の低い付着力を考慮したモデルによって、ALMA による円盤のダスト熱放射の偏光観測の再現に成功した(Okuzumi & Tazaki 2019).

(ii-a)微惑星の衝突・破壊過程: 天王星の巨大衝突で、氷の大規模蒸発が起こり、その後の蒸気円盤の粘性進化と再凝結過程によって形成される衛星の分布が決まることを示した(Ida et al. 2020). また、衝突破片が小質量でも長時間かけて、惑星の軌道進化に影響を与えることを示した(Kobayashi et al. 2019).

(ii-b)微惑星の局所集積: 成長する木星からの重力摂動を考慮して、木星内側の微惑星の軌道進化を調べ、数 10 km 程度の大きさであれば、軌道移動は小さく微惑星は局所的な範囲に留まり、また衝突速度もあまり増大することがないため、局所集積が可能と判明した(Nagasawa et al. 2019).

(ii-c)材料物質の移動を考慮した集積: これまで提案されている円盤との相互作用による惑星軌道進化の公式を修正して統一し、亜音速から超音速まで使える一般的な公式を導出した(Ida et al. 2020).

(ii-d)ガス惑星の形成: 数値流体計算に基づいてガス惑星の新たな形成モデルを提唱した(Tanaka et al. 2020). ガス惑星は普遍的な進化経路をたどることを発見し、同時に従来問題であった巨大惑星の落下問題を解決した.

(ii-e)近接スーパーアース系の形成: 円盤風と粘性降着によって進化するガス円盤中では、円盤風のためにガス円盤の面密度分布がなだらかになり原始惑星の落下が抑制され、形成される惑星系は観測されている軌道分布をよく再現した(Ogihara et al. 2018).

公募研究では、原始惑星系円盤の磁気不安定性の探査(藤井)、円盤光蒸発のモデル構築(田中)や円盤進化中の惑星形成(荻原)、地球型惑星形成後期過程(ブラザー)の理論研究は、本計画との親和性も良く共同研究が進んでいる。また、天体衝突室内実験(門野)は本計画の衝突シミュレーションと比較研究できている。また、隕石の化学分析から得られた成果(癸生川)は本計画の理論構築に非常に役立っている。

研究項目 B02 計画研究 B02 では、若い星 TW Hya に付随する円盤中に周惑星円盤の可能性のあるダスト集積を発見した(Tsukagoshi+ 2019). 公募研究(片岡)との連携により、若い星 HD142527 の円盤内部のダスト粒子サイズの空間分布やガスダスト比の空間変化を ALMA 観測に基づき導出した(Ohashi+ 2019; Soon+ 2019). また、この結果を解釈する際に必要となるフラクタルダスト光学特性の理論解析で、計画研究との連携により公募研究(田崎)からも成果が上がった(Tazaki+ 2019). 円盤風を考慮することで原始星期に多様な内部構造が生じうることを明らかにした(Takahashi+ 2018). 公募研究(橋本)とも連携し、若い星 DM Tau で太陽系に似た二つのダストベルトを発見した(Kudo+ 2019). 公募研究(樋口)とも連携し、残骸円盤 49Cet で炭素原子を含む大量のガス成分を検出し、その起源を議論した(Higuchi+ 2019). HD163296 に対する ALMA 水輝線観測と独自に構築した化学モデル計算の比較から、スノーラインの位置を半径 20au 以内に制約した(Notsu+ 2019). 輻射流体シミュレーションに基づき、光蒸発による円盤からのガス散逸率が金属量に応じて変化することを議論した(Nakatani+ 2018). 牡牛座にある中質量星周囲の円盤 13 個に対し近赤外高分散分光観測を行い、円盤内のガス流構造が円盤の不透明度と密接な関係にあることを議論した(Yasui+ 2019).

研究項目 A03 計画研究 A03 では、これまでの MuSCAT3 の開発状況は以下の通りである。まず、複数の研究機関との交渉の末、ハワイ州マウイ島の口径 2m 望遠鏡に装置を搭載することを決定した。また、装置の設計・製作を進め、2019 年度までに装置本体の大部分が完成した。装置の制御ソフトウェアの開発も装置受け入れ先機関(ラスクンブルス天文台)と協力して進め、大部分が完成した。新型コロナ禍の影響で装置の輸送や試験観測のスケジュールに遅れが生じているが、国内で予定していた装置開発作業はほぼ予定通りに進んだ。一方、装置開発と並行して既存の撮像装置を用いて、以下のような科学成果を得た。

地上の赤外線視線速度観測による M 型星周りの惑星探索計画と連携して MuSCAT1,2 を用いた測光観測を行い、太陽系から 12.5 光年離れた M 型星(ティーガーデン星)の周りで、ハビタブルゾーンを公転するほぼ地球質量の惑星を 2 つ発見した(Zechmeister et al. 2019). この星は、これまでにハビタブル地球型惑星が発見された主星の中では 2 番目に太陽系の近い距離にあり、TMT 等の超大型地上望遠鏡による直接撮像観測で大気の特徴付けが可能と期待されている。

MuSCAT 2 (Narita et al. 2019)で TESS 惑星候補の追観測を行い、M 型星周りではこれまでにない公転周期(0.56 日)と半径(0.87 木星半径)を持つ巨大惑星 TOI-263b を発見した(Parviainen et al. 2020). これは、星惑星形成論的にも興味深い天体として注目されている。

一方、理論面では幾つかの科学的成果を得た。その主なものは以下である。原始惑星系円盤ガスの獲得を通じた大気形成過程を精査した。まず、従来モデルを M 型星 TRAPPIST-1 まわりの惑星系に応用し、単純な獲得過程だけでは観測される半径を説明できないことを示す(Hori & Ogihara 2020)一方、固体に含まれる酸化物との反応による大気中での水蒸気の生成を考慮すると、火星～地球程度の質量をもつ惑星でも十分な大気を形成することができることを示した(Kimura & Ikoma 2020)。また、そうしたプロセスを組み込んだ種族合成モデルを開発し、TESS 惑星データと比較する準備が整った。さらに、大気透過光スペクトルモデルの開発も行い、トランジット分光観測で大気の特性を読み取る理論的準備も整った(Kawashima & Ikoma 2019; Kawashima et al. 2019)。

火星～地球サイズの惑星の大気成分・量の進化を解明すべく、遅進流体力学的散逸を含む全ての熱的散逸過程を計算可能な大気 DSMC シミュレーションコードを開発した(Terada et al. 準備中)。また、多成分磁気流体力学モデルを用いて、強紫外線・恒星風環境下における大気散逸率に、惑星の固有磁場強度が果たす役割を明らかにした(Sakata et al. 2020)。さらに惑星大気大循環モデルを用いて、弱い可視光環境下における気温・降水の全球分布を明らかにし、火星の流水地形と比較してモデルの妥当性を検証した(Kamada et al. 2020)。

太陽系内外の巨大ガス惑星の重元素過剰の成因を解明すべく、水素エンベロープ獲得時および惑星移動時の微惑星獲得過程を N 体シミュレーションにより明らかにした(Shibata & Ikoma 2019; Shibata et al. 2020)。また、木星に関して、探査機 JUNO の重力場データと整合的な「溶けたコア」を説明できる説として、木星に対する原始惑星の巨大衝突説を提唱した(Liu et al. 2019)。

研究項目 B03 計画研究 B03 では、SAND と名付けた赤外線分光器の詳細仕様を以下のように決定した。近赤外線 of z および Y バンドを同時にカバーし、波長分解能最大 55,000 を達成する。波長校正にはファブリペローフィルターを用いる。分光器へは光ファイバーを使用して望遠鏡からの光を伝送する。天体光と波長校正用光源をそれぞれ別のファイバーに入射させ、分光器焦点では隣接した位置にスペクトルが結像されるような光学系とする。2019 年度までに、赤外線検出器としては当初計画通りテレダイン社の高感度 2048x2048 素子 HgCdTe と専用読出装置 SIDECAR を購入した。本分光器の特徴は望遠鏡を含めた効率が 20% と高いことである。これと並行して、IRSF 望遠鏡のリモート観測化のための制御系の更新も継続した。さらに、PRIME 望遠鏡の主焦点、IRSF 望遠鏡のカセグレン焦点でのファイバーの導入についての検討を進めた。

開発と並行してこの 2 年間に推進した観測的研究による具体的成果は以下のとおり。

(a) ケプラー衛星の第二運用期では、当初の観測対象である遠方 (100 光年以上) の恒星まわりの系外惑星ではなく、黄道面に沿った近傍の星形成領域や恒星が含まれる。そこで、K2 ミッションのデータに基づき系外惑星候補を選出しフォローアップ観測を様々な望遠鏡を用いて行った。その結果、本研究対象である若い惑星や近傍 M 型星を含む系外惑星を短期間で合計 100 個以上発見し、その結果を査読論文として出版した (Livingston et al. 2018a, b ; 引用合計 41 回, メディア引用国内外多数)。今後の観測対象となる近傍の明るい小型惑星を発見し、さらに周期が一日以下の超短周期惑星も多数発見した。超短周期惑星は、惑星形成論へのさらなる挑戦となっている。

(b) 若いトランジット惑星について詳細観測を推進した。K2 ミッションで発見されたプレセペ星団中の若い惑星のフォローアップ観測を行い、2-3 地球半径の小型惑星であることを初めて確認した (Livingston et al. 2019 ; 引用 19 回)。さらに、K2 ミッションで発見された若いトランジット惑星 V1298 Taub の質量上限をすばる IRD の短期観測で決定した (Beichman et al. 2019)。

(c) 7 つの地球型惑星を持つ低温・低質量の恒星 TRAPPIST-1 に対するすばる IRD を用いた観測によって、この地球型惑星系では星の自転軸と惑星の公転軸がほぼそろっていることを初めて解明した (図 4 ; Hirano et al. 2020)。地球型かつハビタブルゾーンにある惑星の軌道の傾きが調べられたのは今回が初めてである。地球型惑星の発見だけでなく、それらの性質に迫る上で、重要なステップと言える。

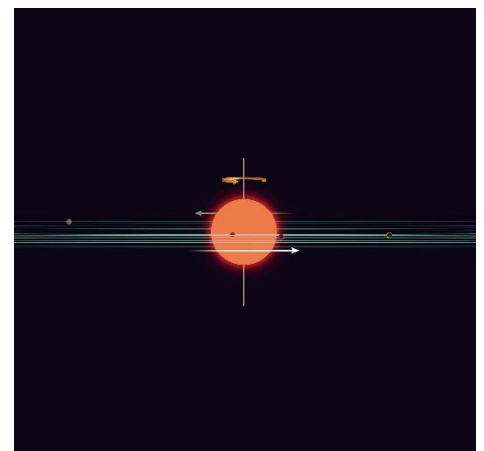


図 4 : IRD の観測から導かれた TRAPPIST-1 の軌道面と自転軸の関係。地球型あるいはハビタブル惑星における最初のロシター・マクローリン効果の測定である。

6 研究発表の状況

研究項目ごとに計画研究・公募研究の順で、本研究領域により得られた研究成果の発表の状況（主な雑誌論文、学会発表、書籍、産業財産権、ホームページ、主催シンポジウム、一般向けのアウトリーチ活動等の状況。令和2年6月末までに掲載等が確定しているものに限る。）について、具体的かつ簡潔に5頁以内で記述すること。なお、雑誌論文の記述に当たっては、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究代表者（発表当時、以下同様。）には二重下線、研究分担者には一重下線、corresponding author には左に*印を付すこと。

研究項目 A01：計画研究（査読付き欧文論文総数は77本）

- *Inutsuka, S. (2020) "Star Formation in The Galactic Disk and The Galactic Center" in Astronomical Society of the Pacific Conferences Series "New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond" in press
- *Stamer, T., & Inutsuka, S. (2019), "Constraints on the formation of brown dwarfs by turbulent compression", MNRAS, 488, 2644.
- *Misugi, Y., Inutsuka, S. & Arzoumanian, D. (2019), "An Origin for the Angular Momentum of Molecular Cloud Cores: A Prediction from Filament Fragmentation", ApJ, 881, 11.
- *Iwasaki, K., Tomida, K., Inoue, T., Inutsuka, S., 2019, "The Early Stage of Molecular Cloud Formation by Compression of Two-phase Atomic Gases", The Astrophysical Journal, 873, 6.
- *Hennebelle, P., Inutsuka, S., 2019, "The role of magnetic field in molecular cloud formation and evolution", Frontiers in Astronomy and Space Sciences, 6, 5.
- *Shadmehri, M., Khajenabi, F., Dib, S., Inutsuka, S., 2018, "Properties of an accretion disc with a power-law stress-pressure relationship", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 481, 5170.
- *Stamer, T., Inutsuka, S., 2018, "Radiation-hydrodynamic Simulations of Spherical Protostellar Collapse for Very Low-mass Objects", The Astrophysical Journal, 869, 179.
- *Tsukamoto, Y., Okuzumi, S., Iwasaki, K., Machida, M. N., Inutsuka, S., 2018, "Does Misalignment between Magnetic Field and Angular Momentum Enhance or Suppress Circumstellar Disk Formation?", The Astrophysical Journal, 868, 22.
- *Arzoumanian, D., Shimajiri, Y., Inutsuka, S., Inoue, T., Tachihara, K., 2018, "Molecular filament formation and filament-cloud interaction: Hints from Nobeyama 45 m telescope observations", Publications of the Astronomical Society of Japan, 70, 96.
- *Stamatellos, D., Inutsuka, S., 2018, "The diverse lives of massive protoplanets in self-gravitating discs", MNRAS, 477, 3110.
- *Stamer, T., Inutsuka, S., 2018, "A Fast and Accurate Method of Radiation Hydrodynamics Calculation in Spherical Symmetry", The Astronomical Journal, 155, 253.
- *Inoue, T., Hennebelle, P., Fukui, Y., Matsumoto, T., Iwasaki, K., Inutsuka, S., 2018, "The formation of massive molecular filaments and massive stars triggered by a magnetohydrodynamic shock wave", PASJ, 70, S53.
- *Kobayashi, M. I. N., Kobayashi, H., Inutsuka, S., Fukui, Y., 2018, "Star formation induced by cloud-cloud collisions and galactic giant molecular cloud evolution", Publications of the Astronomical Society of Japan, 70, S59.
- *Tominaga, R. T., Inutsuka, S., Takahashi, S. Z., 2018, "Non-linear development of secular gravitational instability in protoplanetary disks", Publications of the Astronomical Society of Japan, 70, 3.
- *Chan, H. Y. J., Chiba, M., Ishiyama, T. 2019, "Void formation: does the void-in-cloud process matter?", MNRAS, 490, 2405
- *Carollo, D., Chiba, M., et al. 2019, "Evidence for the Third Stellar Population in the Milky Way's Disk", ApJ, 887, 22
- *Niikura, H., Takada, M., ... Chiba, M. (全11名) 2019, "Microlensing constraints on primordial black holes with Subaru/HSC Andromeda observations", Nature Astronomy, 3, 524-534
- *Hamabata, A., Oogi, T., Oguri, M., Nishimichi, T., & Nagashima, M. 2019, "New constraints on red-spiral galaxies from their kinematics in clusters of galaxies", MNRAS, 488, 4117
- *Shirakata, H., Kawaguchi, T., Oogi, T., Okamoto, T., & Nagashima, M. 2019, "Slowing down of cosmic growth of supermassive black holes: theoretical prediction of the Eddington ratio distribution", MNRAS, 487, 409
- *Totani, T., Omiya, H., Sudoh, T., Kobayashi, M.A.R. & Nagashima, M. 2018, "Lethal Radiation from Nearby Supernovae Helps Explain the Small Cosmological Constant", Astrobiology, 19, 126

（主催した国際シンポジウム）

“Interstellar Filament Paradigm” (SOC: 犬塚修一郎) 2018年11月5日～9日, 名古屋, 日本（参加者101名）

研究項目 A01:公募研究 (主な査読付き雑誌論文)

- *Kimura H., Hilchenbach M., Merouane S., Paquette J., Oliver S., 2020 "The morphological, elastic, and electric properties of dust aggregates in comets: A close look at COSIMA/Rosetta's data on dust in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko", Planetary and Space Science 181, 104825
- *Sano H., G. Rowell G., Reynoso E.M., Jung-Richardt I., Yamane Y., Nagaya T., Yoshiike S., Hayashi K., Torii K., Maxted N., Mitsuishi I., Inoue T., Inutsuka S., Yamamoto H., Tachihara K., Fukui Y., 2019, "Possible Evidence for Cosmic-Ray Acceleration in the Type Ia SNR RCW 86: Spatial Correlation between TeV Gamma-Rays and Interstellar Atomic Protons", The Astrophysical Journal, 876, 37

研究項目 A02 : 計画研究 (査読付き欧文論文総数は 68 本)

- *Higuchi, A., & Kokubo, E., 2020, "Hyperbolic Orbits in the Solar System: Interstellar Origin or Perturbed Oort Cloud Comets?", MNRAS, 492, 268
- *Ida, S., Ueta, S., Sasaki, T., Ishizawa, Y., 2020, "Uranian Satellite Formation by Evolution of a Water Vapor Disk Generated by a Giant Impact", Nature Astronomy
- *Marzari, F., & Nagasawa, M., 2020, "Secular evolution of close-in planets: the effects of general relativity", MNRAS, 493, 427
- *Sugiura, K., Kobayashi, H., & Inutsuka, S., 2020, "High-resolution simulations of catastrophic disruptions: Resultant shape distributions", Planetary and Space Science, 181, 104807
- *Tanaka, H., Murase, K., & Tanigawa, T., 2020, "Final Masses of Giant Planets. III. Effect of Photoevaporation and a New Planetary Migration Model", ApJ, 891, 143
- *Homma, K. A., Okuzumi, S., Nakamoto, T., & Ueda, Y., 2019, "Rocky Planetesimal Formation Aided by Organics", ApJ, 877, 128
- *Hu, X., et al., 2019, "Nonideal MHD Simulation of HL Tau Disk: Formation of Rings", ApJ, 885, 36
- *Hyodo, R., Ida, S., & Charnoz, S., 2019, "Formation of rocky and icy planetesimals inside and outside the snow line: effects of diffusion, sublimation, and back-reaction", A&A, 629, A90
- *Ida, S., 2019, "The origin of Saturn's rings and moons", Science, 364, 1028
- *Ida, S., Yamamura, T., & Okuzumi, S., 2019, "Water delivery by pebble accretion to rocky planets in habitable zones in evolving disks", A&A, 624, A28
- *Kobayashi, H., Isoya, K., & Sato, Y., 2019, "Importance of Giant Impact Ejecta for Orbits of Planets Formed during the Giant Impact Era", ApJ, 887, 226
- *Mori, S., Bai, X.-N., & Okuzumi, S., 2019, "Temperature Structure in the Inner Regions of Protoplanetary Disks: Inefficient Accretion Heating Controlled by Nonideal Magnetohydrodynamics", ApJ, 872, 98
- *Nagasawa, M., et al., 2019, "Shock-generating Planetesimals Perturbed by a Giant Planet in a Gas Disk", ApJ, 871, 110
- *Okuzumi, S., Mori, S., & Inutsuka, S., 2019, "The Generalized Nonlinear Ohm's Law: How a Strong Electric Field Influences Nonideal MHD Effects in Dusty Protoplanetary Disks", ApJ, 878, 133
- *Okuzumi, S., & Tazaki, R., 2019, "Nonsticky Ice at the Origin of the Uniformly Polarized Submillimeter Emission from the HL Tau Disk", ApJ, 878, 132
- *Sugiura, K., Kobayashi, H., & Inutsuka, S., 2019, "Collisional elongation: Possible origin of extremely elongated shape of 1I/Oumuamua", Icarus, 328, 14
- *Wada, K., Tsukamoto, Y., & Kokubo, E., 2019, "Planet Formation around Supermassive Black Holes in the Active Galactic Nuclei", ApJ, 886, 107
- *Ida, S., Tanaka, H., Johansen, A., Kanagawa, K. D., & Tanigawa, T., 2018, "Slowing Down Type II Migration of Gas Giants to Match Observational Data", ApJ, 864, 77
- *Kobayashi, H., & Tanaka, H., 2018, "From Planetesimal to Planet in Turbulent Disks. II. Formation of Gas Giant Planets", ApJ, 862, 127
- *Ogihara, M., Kokubo, E., Suzuki, T. K., & Morbidelli, A., 2018, "Formation of close-in super-Earths in evolving protoplanetary disks due to disk winds", A&A, 615, A63,
- *Sugiura, K., Kobayashi, H., & Inutsuka, S., 2018, "Toward understanding the origin of asteroid geometries. Variety in shapes produced by equal-mass impacts", A&A, 620, A167
- ハビタブルな宇宙: 系外惑星が示す生命像の変容と転換 井田茂 春秋社 (2019年11月) 頁数: 242

研究項目 A02 : 公募研究 (主な査読付き雑誌論文)

- *M. Arakawa, T. Saiki, K. Wada, K. Ogawa, T. Kadono et al., (合計68人) 2020, "An Artificial Impact on the Asteroid 162173 Ryugu Formed a Crater in the Gravity-Dominated Regime" Science 368, 67
- *Brasser R., Mojzsis S.J., 2020, "The partitioning of the inner and outer Solar System by a structured protoplanetary disk", Nature Astronomy 4, 492
- *Fujii Y.I., Ogihara M., 2020 "Formation of Single-Moon Systems around Gas Giants", Astronomy & Astrophysics, 635, L4

研究項目 A03 : 計画研究 (査読付き欧文論文総数は 85 本)

- *Kimura, T. and Ikoma, M., 2020, "Formation of Aqua Planets with Water of Nebular Origin: Effects of Water Enrichment on the Structure and mass of Captured Atmospheres of Terrestrial planets", Monthly Notice of the Royal Astronomical Society, 受理済
- *Hori, Y. and Ogihara, M., 2020, "Do the TRAPPIST-1 Planets Have Hydrogen-rich Atmospheres?", The Astrophysical Journal, 889, id.77
- *Shibata, S., Helled, R., and Ikoma, M., 2020, "The Origin of the High Metallicity of Close-in Giant Exoplanets. Combined Effects of Resonant and Aerodynamic Shepherding", Astronomy & Astrophysics, 633, id.A33
- *Kamada, A., Kuroda, T., Kasaba, Y., Terada, N., Nakagawa, H., and Toriumi, K., 2020, "A Coupled Atmosphere-hydrosphere Global Climate Model of Early Mars: A 'Cool and Wet' Scenario for the Formation of Water Channels", Icarus 338, id.113567
- *Sakata, R., Seki, K., Sakai, S., Terada, N., Shinagawa, H., and Tanaka, T., 2020, "Effects of an Intrinsic Magnetic Field on Ion Loss from Ancient Mars Based on Multispecies MHD Simulations", Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, id.e26945
- *Parvianinen, H., Palle, E., Zapatero-Osorio, M. R. et al. 2020, "MuSCAT2 Multi-color Validation of TESS Candidates: An Ultra-short-period Substellar Object around an M dwarf", Astronomy & Astrophysics, 633, id.A28
- *Nakayama, A., Kodama, T., Ikoma, M., and Abe, Y., 2019, "Runaway Climate Cooling of Ocean Planets in the Habitable Zone: A Consequence of Seafloor Weathering Enhanced by Melting of High-pressure Ice", Monthly Notice of the Royal Astronomical Society, 488, 1580-1596
- *Liu, S.-F., Hori, Y., Muller, S. et al., 2019, "The Formation of Jupiter's Diluted Core by a Giant Impact", Nature, 572, 355-357
- *Kawashima, Y. and Ikoma, M., 2019, "Theoretical Transmission Spectra of Exoplanet Atmospheres with Hydrocarbon Haze: Effect of Creation, Growth, and Settling of Haze Particles. II. Dependence on UV Irradiation Intensity, Metallicity, C/O Ratio, Eddy Diffusion Coefficient, and Temperature", The Astrophysical Journal, 877
- *Kawashima, Y., Hu, R., and Ikoma, M., 2019, "Detectable Molecular Features above Hydrocarbon Haze via Transmission Spectroscopy with JWST: Case Studies of GJ 1214b-, GJ 436b-, HD 97658b-, and Kepler-51b-like Planets", The Astrophysical Journal Letters, 876, id.L5
- *Zechmeister, M., Dreizler, S., Ribas, I. et al., 2019, "The CARMENES Search for Exoplanets around M Dwarfs. Two Temperate Earth-mass Planet Candidates around Teegarden's Star", Astronomy & Astrophysics, 627, id.A49
- *Narita, N., Fukui, A., Kusakabe, N. et al., 2019, "MuSCAT2: Four-color Simultaneous Camera for the 1.52-m Telescope Carlos Sánchez", Journal of Astronomical Telescopes, Instrument, and Systems, 5, id.015001
- *Shibata, S. and Ikoma, M., 2019, "Capture of solids by growing proto-gas giants: effects of gap formation and supply limited growth", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 487, 4510-4524

(主催した国際シンポジウム)

"From protoplanetary disks through planetary system architecture to planetary atmospheres and habitability"
(SOC/LOC chair : 生駒大洋) 2019年10月14日~18日, 沖縄, 日本

研究項目 B01 : 計画研究 (査読付き欧文論文総数は 44 本)

- *Zhao, B., Tomida, K., ... (全 12 名), 2020, "Formation and Evolution of Disks Around Young Stellar Objects", Space Science Reviews, 216, 43
- *Muraoka, K., Sorai, K., ... (全 28 名), 2019, "CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). VI. Radial variations in star formation efficiency", PASJ, 71, S15
- *Tokuda, K., Fukui, Y., ..., Inoue, T. (6 番目), ..., Onishi, T. (21 番目; 全 21 名), 2019, "An ALMA View of Molecular Filaments in the Large Magellanic Cloud. II. An Early Stage of High-mass Star Formation Embedded at Colliding Clouds in N159W-South", ApJ, 886, 15
- *Wong, T., Hughes, A., Tokuda, K., ..., Onishi, T. (5 番目), ..., (全 15 名), 2019, "Relations between Molecular Cloud Structure Sizes and Line Widths in the Large Magellanic Cloud", ApJ, 885, 50

- *Tokuda, K., Tachihara, K., Saigo, ..., Tomida, K.(11 番目), ..., Onishi, T. (17 番目;全 17 名), 2019, "A centrally concentrated sub-solar-mass starless core in the Taurus L1495 filamentary complex", PASJ, 71, 73
 - *Harada, R., Onishi, T., Tokuda, K., ..., (全 17 名), 2019, "Formation of high-mass stars in an isolated environment in the Large Magellanic Cloud", PASJ, 71, 44,
 - *Iwasaki, K., Tomida, K., Inoue, T., & Inutsuka, S.-. ichiro ., 2019, "The Early Stage of Molecular Cloud Formation by Compression of Two-phase Atomic Gases", The Astrophysical Journal, 873, 6
 - *Inoue, T., 2019, "Bell-instability-mediated Spectral Modulation of Hadronic Gamma-Rays from a Supernova Remnant Interacting with a Molecular Cloud", The Astrophysical Journal, 872, 46
 - *Tsuge, K., Sano, H., Tachihara, K., ..., Onishi, T.(9 番目),..., (全 10 名) 2019, "Formation of the Active Star-forming Region LHA 120-N 44 Triggered by Tidally Driven Colliding H I Flows", ApJ, 871, 44
 - *Sano, H., Yamane, Y., Tokuda, ..., Onishi, T. (11 番目), ..., (計 21 名), 2018, "Molecular Clouds Associated with the Type Ia SNR N103B in the Large Magellanic Cloud", ApJ, 867, 7
(招待講演)
 - "Influences of Shock Propagation on Molecular Cloud Dynamics", Tsuyoshi Inoue, European Week of Astronomy & Space Science (Jun 24-28, 2019), Lyon, France
 - "Formation and Early Evolution of Protoplanetary Disks", K. Tomida, Workshop on Star Formation (May 20-24, 2019), International Space Science Institute, Bern, Switzerland
 - "TAO/MIMIZUKU", Miyata, T., The Next Generation of Thermal-IR Astronomy: How can we Reach the Noise Limit? (Nov 12-16, 2018), Leiden, Netherlands
 - "Physical properties and evolution of GMCs in the Galaxy and the Magellanic Clouds", T. Onishi, The Cosmic Cycle of Dust and Gas in the Galaxy: From Old to Young Stars (Jul. 9-13, 2018), Quy Nhon, Vietnam
(主催シンポジウム)
 - "Mid-infrared Astronomy, Past 20 years and Future 20 years" (SOC : T. Miyata) 2019/8/27~28, Mitaka, Tokyo
 - "Athena++ Workshop 2019" (Organizer: Kengo Tomida) 2019/3/18~22, Las Vegas, Nevada, USA
(プレスリリース)
 - 大マゼラン雲における大質量星形成をとらえたー アルマの見た「2羽の孔雀」分子雲が物語る2億年の宇宙史 (名古屋大学/大阪府立大学/国立天文台の合同発表): 中日新聞 11 月 15 日, NHK テレビおはよう日本 2019 年 11 月 15 日, ネットニュース国内 11 件, 海外 13 件
(テレビ出演)
 - コズミック フロント☆NEXT「スター誕生 宇宙に輝く奇跡の瞬間」 2020 年 4 月 02 日 (木) 午後 10 時 00 分~10 時 59 分 (BS プレミアム&BS-4K) : 井上剛志
(一般講演)
 - "暗黒の宇宙を電波で探る", 大西利和, 夢ナビライブ大阪 2019 年 7 月 24 日
 - "巨大望遠鏡アルマで迫る 宇宙の謎Ⅱ: ブラックホール, 惑星の形成, 銀河の進化", 大西利和 朝日カルチャーセンター・中之島教室 2019 年 7 月 13 日
 - "ALMA で探る星の誕生", 大西利和, 栄中日文化センター, 2018 年 12 月 28 日
- 研究項目 B01 : 公募研究 (主な査読付き雑誌論文)
- Shimonishi, T. et al. (全 8 名) 2020, "Chemistry and Physics of a Low-metallicity Hot Core in the Large Magellanic Cloud", The Astrophysical Journal, 891, 164
 - Motogi, K., et al. (全 7 名) 2019, "The First Bird's-eye View of a Gravitationally Unstable Accretion Disk in High-mass Star Formation", The Astrophysical Journal, 877, L25
 - Kobayashi, K. et al. (全 6 名) 2020 "Identification of a vibrationally excited level in methyl formate through microwave and far-infrared spectroscopy", Canadian Journal of Physics, accepted

研究項目 B02: 計画研究 B02 (査読付き欧文論文総数は 61 本)

- Ueda, T., Kataoka, A., Tsukagoshi, T., 2020, Scattering-induced Intensity Reduction: Large Mass Content with Small Grains in the Inner Region of the TW Hya disk, ApJ, 893, 125
- *Kim, S., ..., Nomura, H., Tsukagoshi, T., ..., Muto, T., ...Momose, M., ... (全 16 名), 2020, The Detection of Dust Gap-ring Structure in the Outer Region of the CR Cha Protoplanetary Disk, ApJ, 888, 72
- *Yasui, C., ...Izumi, N., ... (全 15 名), 2019, Possible Progression of Mass-flow Processes around Young Intermediate-mass Stars Based on High-resolution Near-infrared Spectroscopy. I. Taurus, ApJ, 886, 115
- Soon, K.-L., *Momose, M., Muto, T., Tsukagoshi, T., ...Fukagawa, M., ... (全 9 名), 2019, Investigating the gas-to-dust ratio in

the protoplanetary disk of HD 142527, PASJ, 71, 124

- *Tsukagoshi, T., Muto, T., Nomura, H., ... (全 13 名), 2019, Discovery of An au-scale Excess in Millimeter Emission from the Protoplanetary Disk around TW Hya, ApJL, 878, L8
 - *Notsu, S., ...Nomura, H., ...Honda, M., Tsukagoshi, T., ... (全 9 名), 2019, Dust Continuum Emission and the Upper Limit Fluxes of Submillimeter Water Lines of the Protoplanetary Disk around HD 163296 Observed by ALMA, ApJ, 875, 96
 - *Tsukagoshi, T., Momose, M., ... (全 11 名), 2019, The Flared Gas Structure of the Transitional Disk around Sz 91, ApJ, 871, 5
 - *Kudo, T., ..., Muto, T., ...Tsukagoshi, T., ... (全 8 名), 2018, A Spatially Resolved au-scale Inner Disk around DM Tau, ApJL, 868, L5
 - *Takahashi, S. Z., & Muto, T., 2018, Structure Formation in a Young Protoplanetary Disk by a Magnetic Disk Wind, ApJ, 865, 102
 - *Ohashi, S., ...Momose, M., Muto, T., ...Fukagawa, M., Tsukagoshi, T., ... (全 10 名), 2018, Two Different Grain Size Distributions within the Protoplanetary Disk around HD 142527 Revealed by ALMA Polarization Observation, ApJ, 864, 81
 - Nakatani, R., ...Nomura, H., ... (全 5 名), 2018, Radiation Hydrodynamics Simulations of Photoevaporation of Protoplanetary Disks. II. Metallicity Dependence of UV and X-Ray Photoevaporation, ApJ, 865, 75
- (国際会議等における招待講演)

- "Observations of exoplanets and their formation at high resolution –Recent progress and future prospects- ", Munetake Momose, ISAS Symposium 2020 (Jan. 9, 2020) Sagami-hara, Japan
- "Disk Structure Formation at the Earliest Stages of Disk Evolution", Takayuki Muto, ALMA Workshop 2019: Early Planet Formation in Embedded Disks (December 8-10, 2019) Tokyo, Japan
- "Introduction of Subaru/COMICS", Mitsuhiro Honda, The Next Generation of Thermal-IR Astronomy: How can we Reach the Photon Noise Limit? (November 12-16, 2018) Leiden, Netherlands

研究項目 B02: 公募研究 (主な査読付き雑誌論文)

- *Higuchi, A. E., Oya, Y., Yamamoto, S., 2019, First detection of submillimeter-wave [13C I] emission in a gaseous debris disk of 49Ceti, ApJL, 885, 39
- *Higuchi, A. E., ...Momose, M., ... (全 10 名), 2019, First Subarcsecond Submillimeter-wave [C I] Image of 49 Ceti with ALMA, ApJ, 883, 180
- *Hashimoto, J., ... (全 7 名), 2020, Accretion Properties of PDS 70b with MUSE, AJ, 159, 222

研究項目 B03: 計画研究 (査読付き欧文論文総数は 66 本)

- *Hirano, T., ...Kotani, T., Tamura, M., ... (全 21 名), 2020, Evidence for Spin-Orbit Alignment in the TRAPPIST-1 System, Astrophys. J. Letters, 890, L27
- *Uyama, T., ...Tamura, M., ... (全 22 名), 2020, Atmospheric Characterization and Further Orbital Modeling of κ Andromeda b, Astron. J., 159, id. 40
- *Crossfield, I. J. M., ...Tamura, M., ...Kotani, T., ... (全 60 名), A Super-Earth and Sub-Neptune Transiting the Late-type M Dwarf LP 791-18, Astrophys. J. Letters, 883, L16
- *Currie, T., ...Tamura, M., ... (全 33 名), 2019, No Clear, Direct Evidence for Multiple Protoplanets Orbiting LkCa 15: LkCa 15 bcd are Likely Inner Disk Signals, Astrophys. J. Letters, 877, L3 (Nature Astronomy でも紹介 - <https://www.nature.com/articles/s41550-019-0826-8>)
- *Livingston, J. H., ...Tamura, M., ... (全 34 名), 2019, K2-264: a transiting multiplanet system in the Praesepe open cluster, MNRAS, 484, p.8
- *Tamura, M., 2019, Extrasolar Planetary Systems, In Astrobiology, ISBN 978-981-13-3638-6. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- *Currie, T., ...Tamura, M., ... (全 33 名), 2018, SCExAO/CHARIS Near-infrared Direct Imaging, Spectroscopy, and Forward-Modeling of κ And b: A Likely Young, Low-gravity Superjovian Companion, Astron. J., 156, id. 291
- *Livingston, J. H., ...Tamura, M., ... (全 16 名), 2018, Sixty Validated Planets from K2 Campaigns 5-8, Astron. J., 156, id. 277
- *Livingston, J. H., ...Tamura, M., ... (全 34 名), 2018, 44 Validated Planets from K2 Campaign 10, Astron. J., 156, id. 78
- *Kotani, T., Tamura, M., ...Sato, B., ... (全 57 名), 2018, The infrared Doppler (IRD) instrument for the Subaru telescope: instrument description and commissioning results, Proc. SPIE, 10702, id. 1070211

(主催した国際シンポジウム)

“In the Spirit of Lyot 2019” (SOC : 田村元秀) 2019 年 10 月 21 日~25 日, 東京, 日本 (参加者 200 名)

7 研究組織の連携体制

研究領域全体を通じ、本研究領域内の研究項目間、計画研究及び公募研究間の連携体制について、図表などを用いて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本新学術領域は6つの計画研究からなる。それぞれ3つの理論研究手法(A01-A03)と天文観測研究手法(B01-B03)で、星形成(A01,B01)、惑星形成(A02,B02)、系外惑星(A03,B03)について研究を行っている。研究手法が異なり研究対象が重なっているため、図5のようにそれぞれの計画研究は密に結びついており、共同研究が有機的に生まれている。

総括班が研究企画を行ない研究計画間の連携を推進している。企画の中で「大研究会」、「星惑星ゼミ」、「ラボ・ローテーション」が特に効果的に連携を促進している。領域全体の「大研究会」は毎年行っている。また、毎月TV会議システムを利用して「星惑星形成ゼミ」を毎月開催している。これらの会議には公募研究の採択研究者も参加しており、研究計画間のみならず公募研究との共同研究も促進されている。そして、各研究計画班間で若手研究者を短中期派遣し合う「ラボ・ローテーション」を進めている。これらの活動により研究計画間や公募研究との共同研究が促進されている。そして、もちろん、若手育成にも非常に役立っている。

毎月オンラインで開催している「星・惑星形成ゼミ」では毎回10以上の大学・研究所から40名以上の参加者を得て開催している。その全参加者リストや会議の内容は以下のウェブで公開している。このセミナーのおかげで毎月最新の情報を共有できている。

<https://sites.google.com/view/spfseminar/home>

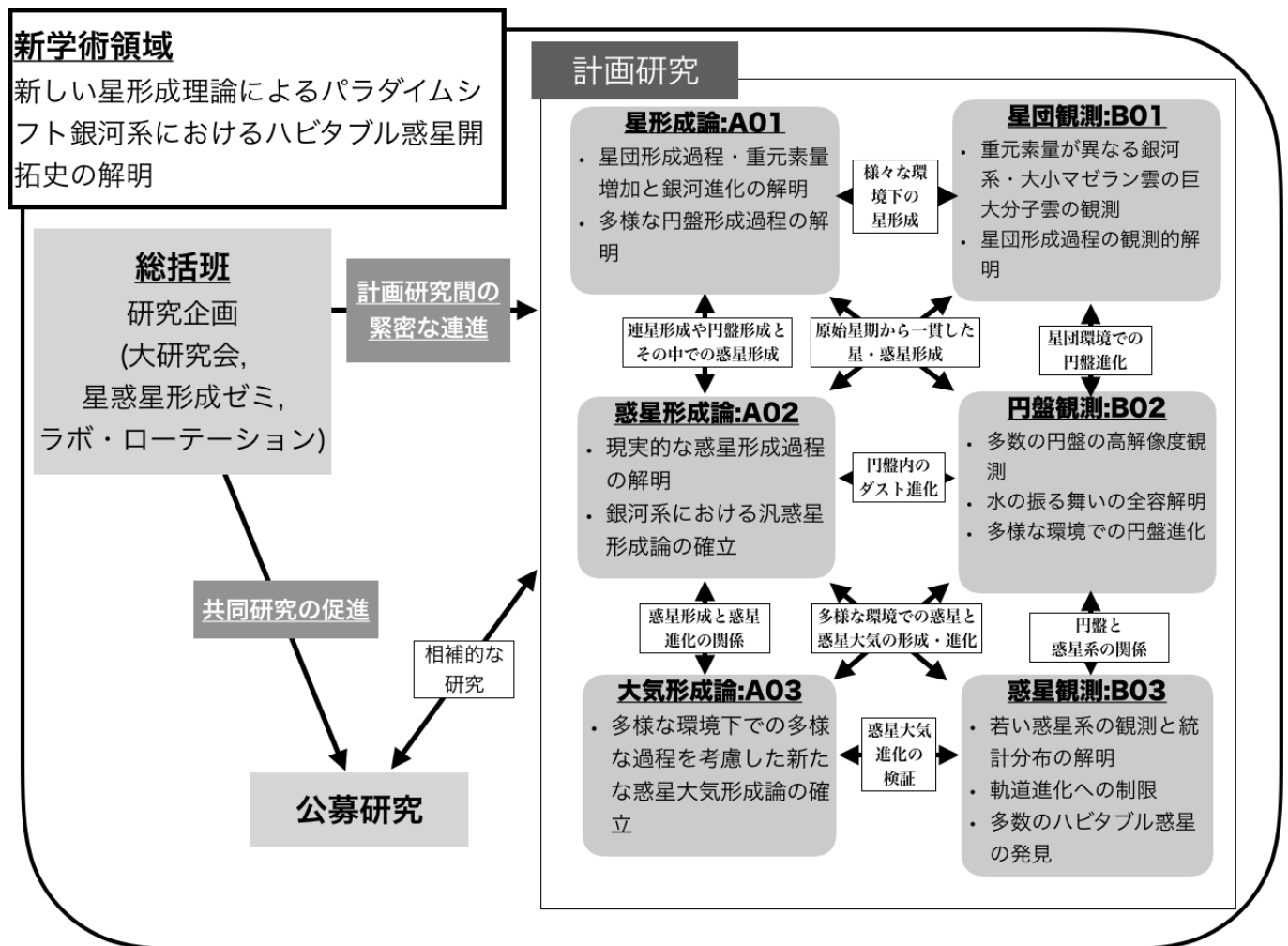


図5:本新学術領域の連携体制

8 若手研究者の育成に係る取組状況

研究領域全体を通じ、本研究領域の研究遂行に携わった若手研究者（令和2年3月末現在で39歳以下。研究協力者やポスドク、途中で追加・削除した者を含む。）の育成に係る取組状況について、具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

本研究領域は若手研究者の育成と輩出を強く意識している。各計画研究班分担者における39歳以下の若手比率は以下である。A01: 2/6 (2/6), A02: 1/6 (2/6), A03: 2/4 (2/4), B01: 3/6 (4/6), B02: 2/6 (3/6), B03: 0/5 (4/5)であり、()内の数値は45歳未満の場合である。このように、本領域全体の研究分担者の若手比率は極めて高い。領域全体ではポスドクが11人雇用されており、領域発足後だけでも2人が常勤職に移動した。また、ポスドク以上の若手研究者でも4人が異動等により昇級した。領域の若手分担者・ポスドク・学生による受賞も合計4件と多い。以下に、各計画研究の取り組みの詳細を示す。

計画研究 A01 犬塚が指導した杉浦圭祐が博士号を取得し、東京工業大学にて博士研究員となった（現在は学振PD）。また、その博士論文が世界から選ばれたトップレベルの大学院で極めて優秀と評価された博士論文を顕彰するプロジェクトである Springer Theses Award を受賞し、一冊の独立した本として出版された。犬塚が指導している富永遼佑（博士過程在学中）が2018年度の惑星科学会最優秀発表賞を受賞した。さらに犬塚が指導したドイツからの留学生 Torsten Stamer が博士（理学）の学位を取得した。東北大学大学院にて雇用していた博士研究員（石垣）が国立天文台の助教に就任した。名古屋大学大学院にて外国人の博士研究員を2人雇用した。その一人 Doris Arzoumanian は欧州の同様なテーマの研究職（有期雇用）に就職した。Torsten Stamer は本人の専門性（輻射輸送問題）を生かした仕事（X線蛍光の数値シミュレーション）を行う企業（独 FISCHER 社）に就職することができた。

計画研究 A02 特任助教として若手研究者2名（国立天文台：高橋実通、東北大学：田中佑希）を雇用している。また、分担者・奥住の指導によって、平成30年度には芝池諭人（東京工業大学）、植田高啓（東京工業大学）、森昇志（東京工業大学）が博士号を取得し、それぞれ Univ of Bern, 国立天文台(学振)、東京大学で研究員となった。令和元年度には柴田雄（東京大学）と大野和正（東京工業大学）が博士(理学)を取得し、後者は University of California Santa Cruz (海外学振)で研究を続けている。

計画研究 A03 計画研究 A03 では、若手の研究分担者の成田憲保が平成30年度に東京大学助教からアストロバイロロジーセンター特任准教授に就任し、令和元年度に東京大学教授に就任した。また、若手研究者（福井暁彦、東京大）と若手女性研究者（寺田香織、東北大学）を雇用している。また、平成30年度および令和元年度に1名ずつ博士（理学）を取得している（青山雄彦・中山陽史、東京大学）。

計画研究 B01 計画研究 B01 では、若手研究者2名（大阪府立大学：西村淳、藤田真司）を雇用している。若手の研究分担者の富田賢吾氏が、令和元年度に大阪大学助教から東北大学准教授に栄転した。また、大西の指導によって、平成30年度には原田遼平（大阪府立大学）、令和元年度には岡田望（大阪府立大学）が博士(理学)の学位を取得し、前者は一般企業、後者は研究職（任期有）に就職した。

計画研究 B02 若手女性研究者として、研究分担者の安井千香子（国立天文台助教）及び研究員として雇用している研究協力者の泉奈都子（茨城大学）の2名が活動している。百瀬宗武が指導教員であった田辺義浩、野村英子が指導教員であった野津翔太、Kim Seongjoong が、博士（理学）の学位を取得し、それぞれ研究職（任期有）に就職した。また、長田哲也が指導教員であった善光哲哉が博士（理学）の学位を取得し、一般企業（光学素子メーカー）に就職した。野村英子が指導教員であった野津翔太の博士論文「H₂O Snowline in Protoplanetary Disks」が、世界から選ばれたトップレベルの大学院で極めて優秀と評価された博士論文を顕彰し一冊の独立した本として出版するプロジェクトである Springer Theses Award を受賞した。若手の研究分担者の武藤恭之が、優れた若手天文学研究者に贈られる2018年度日本天文学会研究奨励賞を受賞した。

計画研究 B03 計画研究 B03 では、観測・解析に専念する開発に若手外国人研究者（John Livingston, 東京大学）と開発に専念する若手女性研究者（高橋葵, 自然科学研究機構アストロバイロロジーセンター）を雇用している。Livingston氏は、K2 ミッションのフォローアップ国際プロジェクトのコアメンバーとして活躍している。高橋氏は、これまでの真空低温技術を活かして装置開発のコアメンバーとして進めている。このように、本班では外国人や女性の若手育成という観点でも留意している。

9 研究費の使用状況・計画

研究領域全体を通じ、設備等（本研究領域内で共用する設備・装置の購入・開発・運用、実験資料・資材の提供など）の活用状況、研究費の使用状況や今後の使用計画、研究費の効果的使用の工夫について、総括班研究課題の活動状況と併せて具体的かつ簡潔に1頁以内で記述すること。

それぞれの研究計画では以下のように研究費を使用している。総括班では、それぞれの研究計画の情報共有や共同研究促進のため、毎年の「大研究会」や毎月のTV会議「星・惑星ゼミ」を開催や「ラボ・ローテーション」のために研究費を用いている。これらの企画の実行や研究成果の広報のために、研究補佐員を雇用している。

計画研究 A01 では、延べ4名の博士研究員を雇用した。一部の研究員は短期雇用だったにもかかわらず、それぞれが十分な成果を出したため効率的な費用使用となった。また、数値計算用のワークステーションの購入やスーパーコンピュータの占有的使用のための支払いにも研究費を用い、数値計算のコード開発や実行の効率を高めている。今後も当初の予定通り使用する予定である。

計画研究 A02 では、基本的に計画通り研究費を執行している。研究費の主たる内訳は博士研究員2名の人件費である。平成30年度は研究員を雇用しなかったため、その分は一部、分担者に割り振り、残りを繰越した。また、計画していたシミュレーションを加速するための科学計算用汎用グラフィックプロセッシングユニット(GPU)サーバを導入した。令和元年度は開催を予定していた国際研究会を新型コロナウイルスのために延期したためその予算を繰り越している。

計画研究 A03 では、マウイ島ハレアカラ山頂の2m望遠鏡用の多色同時撮像カメラ MuSCAT3 を開発している。当初予定では2020年4月に装置を完成させ、5月に装置をマウイ島に輸送して試験観測を実施する予定だったが、新型コロナウイルスによる国内の活動制限および外国への渡航制限のため、装置の完成を5月以降、試験観測の実施は2020年6月以降に延期した。これ以外に、本計画研究に専念する特任助教1名と特任研究員1名を平成30年10月より雇用している。

計画研究 B01 での経費の多くは、1.85m望遠鏡関連の受信機・システムコンポーネント、TAO/MIMIZUKUのオートガイダーのI-Band化、チリや国立天文台野辺山・三鷹への出張、研究員の雇用に使用された。開発は継続するが、今後、チリへの望遠鏡の移送費、設置費、運用費やチリへの旅費、運用、研究員の雇用に多くの経費を使用することになる。消耗品に関しては、現在の観測システムに使用されているマイクロ波部品等はできる限り再利用する。また、TAOの山麓施設をベースとして両望遠鏡のオペレーションを共通化し、旅費や物品費、人員の効率的な活用に努める。

計画研究 B02 のこれまでの支出項目で最も大きなものは、京都大学せいめい望遠鏡用の新装置を実現するための検出器他の経費である。当初予定から軽微な設計変更があったため、初年度予算のうち直接経費33,650千円を第2年度に繰り越した。ただし検出器の調達自体は繰越後の年度内に順調に完了したため、現状は、当初の予定通りの進捗が得られている。第2年度以降は、PDを各年度2-3名雇用するための人件費を計上しており、大量のデータを限られた時間で解析し成果に繋げていけるだけのスキルを持った人材を確保し、研究の推進に貢献している。雇用した研究者は、次のポストの内定や新たな外部研究資金を獲得しており、若手研究者の育成という観点からも成果を挙げていると判断される。

計画研究 B03 では、(A) 新型赤外線分光器の開発費、(B) 既存の施設である南アフリカのIRSF望遠鏡の改修費、および、(C) 各種望遠鏡で取得したデータ解析システムの構築が大きな割合を占め、かつ、時間を要するものとなっている。これまでの研究費のうち大型の物品費の件名とは以下の通りである（購入年度不順）。(1) 赤外線検出器および読み出し装置一式、(2) 赤外線回折格子、Richardson社製(53B22ZD02-182E)、(3) 冷却 CCD カメラ、ビットラン・G1 BK50NIR、(4) 望遠鏡制御用モータードライバー及び収納ラック、西村製作所製モータードライバー（特注品）、(5) コネクタ切替装置、有限会社伊藤工業・特注品、(6) 解析・表示用 PC、マイクロソフト・SURFACE STD2。これ以外の経費で大きなものは人件費である。研究分担を含め、合計2名の研究員を雇用し、本研究に専念している。それぞれ、若手外国人研究者と若手女性研究者であり、ダイバーシティを意識した若手人材育成を行っている。

今後の使用計画のうち物品費としては、真空冷却チャンバー、VPH光学素子、分光器光学系、ファイバーが新型分光器用として、望遠鏡制御系の更新継続を予定している。人件費は、現在の研究員の継続雇用と現地観測のための新規研究員雇用を計画している。

10 今後の研究領域の推進方策

研究領域全体を通じ、今後の本研究領域の推進方策について、「革新的・創造的な学術研究の発展」の観点から、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。なお、記述に当たっては、今後公募する公募研究の役割を明確にすること。また、研究推進上の問題点がある場合や、国際的なネットワークの構築等の取組を行う場合は、その対応策や計画についても記述すること。

銀河系の化学進化の解釈から逆算された銀河系の星形成の歴史によれば、約80億年前に星形成は不活発なモードに移行したことが分かってきた。つまり、現在我々が確立しつつある最新の星形成論により、現在までの約80億年間の銀河系の進化は記述することが可能になってきたのである。その理解に基づき、46億年前においても高い重元素量になっていたと考えられる銀河系の中心側領域で太陽系が形成され、外側に異動してきたという新しいパラダイムを打ち立てることを本領域は目指している。つまり、宇宙年齢(138億年)に匹敵する時間スケールで重元素量が少しずつ増大することで惑星形成可能な領域が銀河系の中心から外側に開拓されてきており、その環境の中で太陽系の起源や多様な惑星系の誕生を理解するというパラダイムシフトを目指す。

まず、本新学術領域の最大のテーマの一つである「太陽系の誕生場所を突き止める」という課題に対しては、現在の太陽系に残っている放射性同位体核種(及びそれが崩壊した残骸核種)の残存量から、太陽系が経験した環境の履歴について推定する手法を既に我々は見出している。具体的には、同位体観測量を再現するにはそれを提供する超新星爆発の影響を強く受ける環境に長時間滞在する必要があるのである。観測データの具体的な核種としては原子量60のFeや原子量26のAlが使えることが分かったが、さらにHfとWを使うなどの拡張についても追及する。その観測結果と銀河進化モデルを比較することにより、太陽系は現在よりも銀河系の内側で生まれて外側に移動してきたことを定量的に示すことを試みる。この研究はまったく新しいアプローチであり、本新学術領域で開拓するに相応しいものである。太陽系が経験した周辺環境の変化を考慮した太陽系科学を押し進めて、太陽系探査・隕石学などの宇宙科学のパラダイムシフトをもたらすことを目指す。幅広い分野の研究者の参画が必要なので、今年度募集する公募研究においても広い分野からの応募を呼び掛ける。特に以下のテーマを推奨する。

- Gaiaの観測データを駆使した銀河系円盤部の恒星の金属量分布の解析
- ハビタブルゾーン進化の鍵となる金属量の空間分布構造を記述する銀河進化の理論的研究
- 渦状腕などの活発な星形成領域から離れた領域や特異な星団環境など、惑星形成過程がまだ詳しく調べられていない領域での理論・観測的研究

また、昨年度末に予定していたコロナウィルス問題のために中止にした新学術領域「水惑星」とのジョイントミーティングを今年は開催し、他分野の研究者との相互作用も期待している。以下は、さらに計画研究ごとに今後の方策について記述する。

計画研究 A01

専門が異なる研究者が協力して、銀河系進化・星団形成・原始惑星系円盤の形成という空間スケールの大きく異なる現象をつないで統一的に星形成論を展開するためには、最新の星形成理論についての知識・理解を研究分担者やその共同研究者や学生と共有することが本質的に重要である。我々は毎月40名以上の参加者でゼミを開催しているが、さらに規模を大きくした研究会をなるべく数多く開催するつもりである。その結果、銀河系円盤部の種々の場所での星団形成論を研究し、銀河系円盤の進化を理論的に調べる。また、その結果をGaiaのデータと比較して銀河系の化学進化の理解を確立する。また、世界的に研究が発展していない「連星系における原始惑星系円盤の形成」についても取り組み、連星系における惑星形成についても研究する土台を与える。

計画研究 A02

本計画研究で目指すのは、最新の星・円盤形成の観測・理論を踏まえた、現実的(非一様かつ動的)な惑星系の形成シナリオを構築することである。これまで計画通りに、(1)微惑星形成の素過程、(2)惑星形成の素過程、の研究が進展している。これらに関しては今後もさらに研究を深めていく。そして、当初計画通り、今後(1)と(2)の成果を取り入れて、(3)汎惑星形成理論と太陽系の起源、の研究に本格的に取り組む予定である。素過程の新しい理解を惑星種族合成モデルに組み込み、それを様々な銀河系環境や中心星、原始惑星系円盤に応用することで可能な惑星系の多様性を理解する。合わせてダストから惑星まで

を一貫して扱える統計的計算，第一原理的な多体計算も実施する．そして理論モデルと観測を比較することで，理論の較正を行い，汎惑星形成理論を完成させる．このモデルを用いて，観測される惑星系の起源を説明し，新たな惑星系の予言を行い，ハビタブル惑星の形成条件を明らかにする．そして，太陽系の起源，すなわちどのような原始惑星系円盤からどのようにして太陽系が誕生したのかを明らかにする．

計画研究 A03

本計画研究では，計画研究 A01・A02 で得られた惑星系形成の新たな知見を境界条件として組み込む形で大気獲得理論を発展させ，また，惑星内部と大気間の物質交換および大気中での混合，大気散逸等の進化素過程の精査を行い，惑星大気の形成進化史と多様性を理論的に明らかにする．一方，ハワイ州マウイ島ラスクンブルス天文台に多色同時撮像カメラ MuSCAT3 を輸送・設置し，運用を開始する．国立天文台ハワイ観測所岡山分室とスペイン領テネリフェ島テイデ天文台で既に運用している同装置と合わせて 24 時間体制で TESS 惑星候補の集中的な追観測を行う．その観測によって得られた多くの系外惑星の分布と理論予測を比較し，理論モデルの不足点・問題点を洗い出し，A01・A02 へフィードバックすることで，ハビタブル惑星の形成条件および存在確率を明らかにする．

計画研究 B01

本計画研究で開発する望遠鏡や装置の開発・移設に関しては，令和 2-3 年度に完成・搭載し，本格的な天文観測をはじめめる予定である．1.85m 望遠鏡では，重元素量が異なる銀河系・大小マゼラン雲の巨大分子雲の物理状態をはじめて詳細に明らかにし，宇宙の進化に伴う星団・星形成の初期条件を探る．国内外の大小ミリ波・サブミリ波望遠鏡の新規・アーカイブデータも駆使し，分子ガスの詳細な性質を巨大分子雲から個々の星形成のスケールまで広範かつ連続的に調べ，関連した理論研究も精力的に継続する．また，TAO/MIMIZUKUにより，分子雲の奥深くに埋もれた原始星団の高分解能観測を実現し，原始星団を構成するメンバーの年齢・質量等を導き出し，星形成理論と比較する．

計画研究 B02

全体としては当初計画に沿って引き続き進める．円盤高解像観測ではこれまでの継続に加え，新たにスパースモデリングを応用した電波干渉計データの新しい画像作成手法による一層高い解像度での撮像の実現や，残骸円盤の統計的性質の解明を推進する．円盤内の水については，氷フィーチャー観測を様々な進化段階の円盤や星周構造で行い，水が低温の星間物質から円盤に持ち込まれる過程の情報を得る．水蒸気放射の ALMA 観測では，円盤モデルと比較してスノーラインに関してこれまで以上に厳しい制限を課す．星団観測では多波長観測を継続し，JWST による観測などを通じて惑星形成の金属量依存性に対する手がかりを得る．せいめい望遠鏡の新装置は令和 3 年度以降の科学観測開始を目指す．その他，領域の大目標と関連する新たな展開も適宜取り込む．例えばすでに我々は，TESS が取得したビックデータから不規則な光度変動を示す天体を抽出し，星形成領域に付随せず星団から放出されたとみられる新たな円盤候補天体を多数発見している(論文査読中)．その追研究により新しい研究対象の開拓を目指す．

計画研究 B03

開発中の赤外線分光器の設計・調達はおおむね順調である．その開発に専念する研究員および既存の装置を利用しつつ観測を推進する研究員も確保した．研究分担者も領域発足時からの変更は無い．当該分光器を取り付ける南アフリカの 2 つの望遠鏡のうち，現在稼働中の IRSF 望遠鏡のリモート化のための望遠鏡制御系整備は 2020 年度中に，現在建設中の PRIME 望遠鏡の完成も 2020 年度中となっている．これに伴い，分光器の搬入は 2021 年度を予定している．装置開発と並行して，すばる望遠鏡における高精度赤外線分光器 IRD による M 型星まわりの惑星探査を戦略枠観測として 2019 年度から開始しており，今後は有望天体に関する集中観測が開始される．若い惑星の短期探査も 2018 年度から共同利用観測で推進することができている．さらに，若い惑星の候補の検出が K2 ミッションで成功したので，そのフォローアップ観測も精力的に進める．これらを総合することにより系外惑星観測における革新的発展を実現する．

以上の各計画研究を発展させて，領域全体として，新しい学問である系外惑星科学・黎明期にある宇宙生物学に天文学・宇宙物理学的基盤を与え，基礎科学として定着させることで，我々のパラダイムシフトを完成させることを目指す．

11 総括班評価者による評価

研究領域全体を通じ、総括班評価者による評価体制（総括班評価者の氏名や所属等）や本研究領域に対する評価コメントについて、具体的かつ簡潔に2頁以内で記述すること。

本新学術領域は天文学から地球物理学まで幅広い分野に跨るため、専門分野が大きく異なる5名の総括班評価者が総合的に評価する体制になっている。以下、各評価者からの評価は以下である。なお、4人の評価は受け取った書面の内容を「」付きで直接転記する。

以本尚義（北海道大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門 教授 専門は宇宙化学・惑星科学）

「本研究課題は、代表者の犬塚修一郎さんの強力なリーダーシップのもと、着実かつ順調に当初計画に従い研究が進んでいる。特に理論分野は、当初計画を上回るペースである。観測分野は、機器開発を主にしているので、当初計画を上回る必要は全くなく、当初計画通りというのは、理論分野同様に極めて順調ということである。発足時に指摘されていた領域間の連携強化については、分野横断の研究集会・セミナーの開催とラボ・ローテーション企画により十分成果が上がり、若手育成活性化にも役立っている。その成果が、若手も学生からポスドク、ポスドクから就職のステップアップをしている数が多く、今後の科学成果へのフィードバックが期待される。来年度、代表者が中心になり組織して開催される国際会議 PP VII で、これらの成果が大いに国際発信され、本研究課題関係者の国際的評価が高まることが期待される。本研究課題の最大のテーマである「太陽系の誕生場所を突き止める」について、超新星が合成する短寿命核種を用いる新しいアプローチに大きな進展があった。現在の銀河における ^{26}Al の空間分布が、近傍の超新星爆発による構造と対応することを見出したからである。この成果を、 ^{60}Fe 、 ^{182}Hf のような他の短寿命核種において拡張し、太陽系初期に残る短寿命核種の量比と対応することにより、太陽系母分子雲の形成環境が特定できることが期待される。その結果、銀河進化の3次元化学モデルと対応することが可能になる。そして、太陽系の誕生場所が本研究期間内に決定できるのは確実である。今後は、この新しい太陽系の初期条件が、惑星形成・惑星大気形成にどのように波及するのかの展望を早急に総括班を中心に議論し、これから完成する新観測装置を用いた星団形成・系外惑星観測が、この新規の展望を加えた新しい方向性へと拡張できることを期待する。そして、本研究課題終了時に、銀河におけるハビタブル惑星系に対する一般則が導出され、太陽系が銀河史 138 億年に位置付けされていることを期待する。」

寺澤敏夫（東京大学 宇宙線研究所 名誉教授 専門は地球磁気圏とプラズマ宇宙物理学）

「各計画研究ともほぼ予定通りの成果を上げ、順調に研究が進展していると見られる。特に、研究代表者は、多岐にわたる研究細目を統合しつつ、自己の専門分野でも先進的な成果を上げるなど、その努力を多としたい。以下、A01-03 のそれぞれについて述べる。（B01-03 については、評価者の専門から遠いので評価を避ける。）

A01:論文 77 編と順調に成果を挙げている。この計画研究の中心テーマである星形成理論は、物理の第一原理に基づき原始星円盤、星形成の過程に迫ろうとするものであり、星の質量頻度分布や回転則について著しい成果を挙げている。

A02:論文 68 編と順調に成果を挙げている。特に、微惑星形成における有機物付着効果や、雪線附近での微小シリケート粒子の堆積効果について新しい知見を得ている。また、惑星-円盤相互作用理論の精密化に基づき、円盤内での惑星移動についての従来の知見を一新した。

A03:論文 94 編と順調に成果を挙げている。特に、原始大気の形成過程における円盤ガス獲得効果と脱ガス効果の非線形結合の重要性を指摘した。また、A02 との共同により、惑星種族合成モデルに大気形成過程を取り入れ、地球型惑星が獲得できる海水量について従来の常識を覆した。」

有本信雄（国立天文台 名誉教授 専門は銀河天文学）

「銀河系におけるハビタブル惑星系の開拓史を解明しようとする本研究は全体として順調に進展している。

（計画研究）A01 は太陽系起源を銀河系進化の中で捉えることを目指し、これまでに分子雲コアの角運動量の起源を明らかにしている。

A02 は微惑星形成に及ぼす有機物の影響、原始惑星円盤との相互作用による惑星移動などの素過程を明らかにし、研究の進展は順調である。

A03 は原始惑星が円盤ガスを獲得して大気を形成し、原始大気とマグマオーシャンが反応して水が生成することを明らかにしている。TESS 衛星との連携では大気観測候補惑星を多数発見しており、研究は順調に進展している。

B01 はチリへの移設準備や開発は順調である。一方、新型コロナが計画に与える影響を懸念している。

B02 は数 au スケールのダスト構造を発見し、惑星形成と直結する構造の解明に一步近づいている。原始惑星系円盤では氷-ダストを、原始星で水を検出して、水の振舞の新たな知見を得ている。研究は予定通りである。

B03 は K2 ミッションより 100 個以上の系外惑星を発見し、貴重なデータを提供した。また、7 つの地球型惑星を持つ恒星の惑星を観測し、星の自転軸と惑星の公転周期がほぼ揃っていることを発見した。これは地球型惑星の性質の解明への重要なステップである。研究は堅実に進展している。

本研究は銀河系における多様な惑星系の形成論を構築することを目的としているが、各研究計画班の全員が、銀河系の進化についての理解を共有することが必須である。太陽系が誕生した時の銀河系の姿を、主系列銀河の統計的描像の上で捉えておく必要がある。」

柴田一成 (京都大学 名誉教授 専門は太陽物理学・プラズマ宇宙物理学)

「本領域は、これまでほとんど交流のなかった銀河系スケールでの星形成研究分野と分子雲スケール以下における星形成・惑星形成・系外惑星分野を融合することによって新しいパラダイムを構築しようという意欲的な試みである。研究領域開始後 2 年間の間に、各研究計画ですでに多くの成果 (論文) が発表されており、順調に研究が進められていると評価できる。

以下では各計画研究に関する所見を述べる。

A01 (星形成理論) 班: 「太陽系の誕生場所を突き止める」という課題への一つの答えとして、太陽系が銀河系のもっと内側で生まれて外側に移動してきたことを定量的に推定する方法が考案された (論文を近く発表予定) のは大変興味深い。これは、領域全体の成果につながる成果として評価できる。

A02 (惑星形成理論) 班: 微惑星形成の素過程、惑星形成の素過程に関する理論研究に関して、多くの論文が出版された。成果は順調に挙げられている。全体の中での現在の成果の位置づけが見えてきた。大変興味深い成果であり、銀河環境にも依存した惑星形成論の新展開、今後の成果が楽しみである。

A03 (惑星大気論) 班: 観測 (MUSCAT 3 の装置開発を含む) と理論の連携により、惑星大気の形成と進化に関する研究が順調に進行中であると評価できる。

B01 (星団形成観測) 班: 現在野辺山に設置されている大阪府立大 1.85m 電波望遠鏡をチリに移設すべく、順調に進行中である。TAO/MIMIZUKU 装置も開発は順調に進んでおり、TAO は平成 2 年度中に完成予定とのことであるが、コロナ禍の影響が心配である。

B02 (円盤形成観測) 班: ALMA 観測から、原始惑星系円盤内に数 au スケールのミリ波超過放射を初検出したのは興味深い。せいめい望遠鏡 (京大 3.8m) 用の赤外偏光差分撮像装置は順調に開発中である。

B03 (惑星形成観測) 班: 若い恒星周りの惑星探査を赤外線で行うための、赤外分光器 (SAND) を開発中。順調に進められていると評価できる。」

長谷川哲夫 (国立天文台 アルマプロジェクト 特任教授 専門は電波天文学)

「領域全体として組織的かつ活発に研究が展開されており、各研究班によって創出された研究成果の質も量も極めて高い。引き続き研究を進めるとともに、研究機関の後半となる今後は各研究班の研究成果を総合・統合して本研究の大きな目標にアプローチするための取り組みが必要となる。目下の研究環境は、新型コロナウイルス感染症の蔓延により、大勢の研究者が直接顔を合わせて議論することができない困難な状況ではあるが、ネットワークを使ったオンライン会議等により実質的にはそのかなりの部分を克服できている。研究項目 B01 においては、さまざまな望遠鏡を用いた観測やアーカイブデータの活用により、精力的な研究が進められている。特に ALMA 望遠鏡を用いた大マゼラン雲内の巨大分子雲の顕著なフィラメント形状の発見、およびそれに対応する銀河系内の巨大分子雲との比較研究は画期的なものである。研究項目 B01 において計画されている 1.85m 電波望遠鏡のチリへの移設や中間赤外線カメラ MIMIZUKU の TAO 望遠鏡への搭載などの事業は、新型コロナウイルス感染症の蔓延等の影響を受けることは避けられないが、流行の終息と同時に直ちに進め研究へのインパクトを最小にするよう綿密な検討と準備がなされている。その中で例えば 1.85m 望遠鏡に搭載する超広帯域受信機の開発成功は大変大きな成果である。」