

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03711

研究課題名(和文) 銀河系の大局的物質混合史の解明：何がいつどのように星の大移動を引き起したのか？

研究課題名(英文) Galactic-scale mixing of stars in the Milky Way galaxy

研究代表者

馬場 淳一 (Baba, Junichi)

国立天文台・JASMINEプロジェクト・特任助教

研究者番号：90569914

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、銀河円盤の形成進化過程において特に注目されているのが、棒状構造や渦状腕によって引き起こされる「大局的な物質混合」である。しかし、棒状構造や渦状腕の動力学的性質と物質混合の関係は十分に明らかになっていない。本研究ではN体/流体シミュレーションにより、渦状腕構造・棒状構造の動力学的性質と物質混合過程を調べた。その結果、渦状腕の動力学的性質により星の軌道移動過程が大きく異なることを明らかにした。また、棒状構造形成時期の新たな推定法を考案し、次期観測計画にも大きく貢献した。さらに最新のGaiaデータとの比較により、天の川銀河の大局的速度構造や、局所腕、棒状構造に関する新たな知見を得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では数値シミュレーションと最新のGaia衛星の観測データを用いて、われわれの太陽系が属する唯一の銀河である「天の川銀河」の動力学構造と形成進化史を明らかにすることを目指した。特に、天の川銀河の非軸対称構造である棒状構造と渦状腕構造は、太陽系を含む銀河系円盤の星々や星形成の材料となる星間ガスの大移動を引き起こす駆動源として本質的に重要である。そのため、本研究の成果である、棒状構造や渦状腕の動力学的性質や形成進化、そして星形成の母体となる巨大分子雲での物質混合過程の知見が、「太陽系の起源」を一段上位階層である「天の川銀河」で理解することに貢献したことに学術的・社会的意義があると言える。

研究成果の概要(英文)：In recent years, the formation and evolution of the Galactic disk has attracted attention due to the "global mixing process" induced by the Galactic bar and spiral arms. However, the relationship between the dynamics of the bar and spirals and the mixing processes has not been fully revealed. In this study, we investigated the dynamics and mixing process of the spiral arms and bar by N-body/hydrodynamics simulations. As a result, we found that the orbital migration of stars differs greatly depending on the dynamics of the spiral arms. We also proposed a new method to estimate the formation epoch of the Galactic bar structure, which will contribute greatly to the future observation plan. Furthermore, by comparing the results with the latest Gaia data, we have obtained new knowledge about the large-scale velocity structure, Local arms, and bar of the Milky Way.

研究分野：銀河物理学

キーワード：天の川銀河 位置天文学 シミュレーション天文学 化学動力学 渦状腕 棒状構造 分子雲

## 1. 研究開始当初の背景

近年、太陽近傍星の詳細な観測や銀河円盤広域に渡る分光観測が進み、銀河円盤の化学動力学進化の多くの新たな知見が得られつつある。星はその進化段階に応じて内部で合成した重元素を星間空間に還元し銀河の化学進化を促す。従って、もし星が銀河円盤内で生まれてから現在に至るまで「ほぼ同じ半径」を軌道運動しているとすれば、星の年齢と重元素量の間には明瞭な相関関係があるはずである。しかし、実際の太陽近傍星の観測データには星の年齢と重元素量の間には明瞭な相関は見られず、太陽近傍星が銀河内の他の半径で誕生した星と十分に混合した影響であると考えられるようになってきた。

力学法則に基づくと軸対称系では星の角運動量は保存されるため、その平均軌道半径は不変である。従って、星の動径移動を引き起こす主要因は渦状腕構造や棒状構造といった非軸対称構造や、矮小銀河降着に伴う外的摂動である。渦状腕による動径移動は、それ自体の動力学的性質に強く依存する。定説「密度波理論」は、渦状腕を剛体回転する安定構造とする線形解析に基づく仮説である。この場合、動径移動は共回転半径や Lindblad 共鳴点といった限られた共鳴点でのみ起こり得る。しかし近年の数値シミュレーションの発展により、渦状腕は 100Myr 程度の時間尺度で増幅・減衰を繰り返す非定常構造であり、その回転則は銀河円盤と同様の差動回転的であるとする「動的渦状腕理論」(Baba *et al.* 2013, *ApJ*, **763**, 46; Baba 2015, *MNRAS*, **454**, 2954) が台頭してきた。動的渦状腕理論では、銀河円盤の広域に渡り渦状腕が共回転的となり、大局スケールに亘り星を効率的に動径移動させる。従って、渦状腕による動径移動の理解には「渦状腕自体の動力学的性質の理解」が重要である。しかし渦状腕動力学に対する観測的制限は十分に得られていないのが現状である。一方、棒状構造は銀河円盤の力学的不安定性や外的摂動で励起され、その後は比較的安定的に存在する。棒状構造が安定的に存在する時には安定軌道 ( $x1/x2$  軌道群) が卓越し、効率的な動径移動は起こらない。従って、棒状構造による星の動径移動は「棒状構造の形成時期」が最も重要な因子である。力学的不安定性は円盤の成長段階やガス量に依存するため、棒状構造形成時期の理解には円盤形成過程を考慮する必要がある。また、矮小銀河降着にともなう外的摂動は銀河円盤の渦状腕構造や鉛直方向の湾曲を励起するが、その影響は矮小銀河の質量や軌道パラメーター、降着時期、銀河円盤の進化段階 (ガス量など) にも依存する。

このように近年の観測や理論研究により天の川銀河の化学進化のシナリオは「大局的な物質混合」を伴う動的シナリオへと修正を迫られているものの、何が (渦状腕/棒状構造/矮小銀河)、いつ (渦状腕の寿命/棒状構造形成時期/矮小銀河降着時期)、どのように (突発的/持続的/周期的)、天の川銀河の星に大移動を引き起こしたのかは十分に明らかになっていない。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究では「銀河円盤の物質混合過程」に着目した独自の  $N$  体/流体シミュレーション・テスト粒子シミュレーションを行い、(1) 渦状腕の動力学的性質 (密度波、動的渦状腕) の違いによる物質混合過程の違い、(2) 棒状構造の形成進化による物質混合過程、(3) 矮小銀河降着による銀河力学構造の変化と物質混合過程を調べ、Gaia などの最新観測データとの比較により、天の川銀河の化学動力学進化史を明らかにすることを目的とする。また、上述の銀河力学に関連した大局的な物質混合過程に加え、(4)  $N$  体/流体シミュレーションにより分子雲スケールの局所的な物質混合過程を明らかにする。

## 3. 研究の方法

銀河はダークマターと星、ガスからなる多成分系であり、星形成とその後の星の進化による重元素汚染 (化学進化) や星間ガスへのエネルギーのフィードバックを介して、複雑に進化する。したがって、銀河広域に亘る物質循環を理解するには、銀河の構成成分の自己重力相互作用と星形成・フィードバック・化学進化を考慮した数値シミュレーションを行う必要がある。本計画では、そのようなシミュレーションを行うために、分担者 (斎藤) が独自に開発した  $N$  体/SPH シミュレーションコードである「ASURA」(Saitoh *et al.* 2008, *PASJ*, **60**, 667; Saitoh & Makino 2009, *ApJ*, **697**, L99; Saitoh & Makino 2010, *PASJ*, **62**, 301; Saitoh & Makino, 2013, *ApJ*, **768**, 44) 利用した。大規模  $N$  体/流体シミュレーションの実行には国立天文台の共同利用計算機 CrayXC50 (通称 アテルイ II) を利用した。

一方で、このような自己無撞着なシミュレーションは銀河の動力学進化を自由に制御できないため、起きている物理現象 (本計画では軌道移動) の素過程を十分に理解するには不向きな面もある。そのため渦状腕や棒状構造などの銀河構造の動的変化を外場としてモデル化して、テスト粒子シミュレーションを用いて現象を探索することも有用である。そこで本研究では、代表者 (馬場) 独自の動的非軸対称銀河構造の知見 (e.g. Baba *et al.* 2013) を取り入れた動的銀河外場モデル生成ライブラリ「MWPotLib」を開発し、本経費で購入した並列計算機を利用してテスト粒子シミュレーションを行った。

さらに、海外協力者 (河田) らと一連のシミュレーション結果を最新の位置天文観測衛星「Gaia」データの解析結果と比較することで、天の川銀河における大局的物質混合の駆動源である渦状

腕・棒状構造の動力学構造の性質を探索した。

#### 4. 研究成果

##### (1) $N$ 体/SPHシミュレーションによる棒状構造の形成時期の新たな推定法の考案

棒状構造は、天の川銀河円盤の広域にわたり重力トルクの影響を及ぼすため、その形成進化過程の理解は、大局的な物質移動過程の理解に本質的に重要である。近年、Gaia データとシミュレーションデータの比較により、天の川銀河の棒状構造の現在のパターン速度に関しては制限が得られつつある (Kawata, Baba *et al.* arXiv:2012.05890, 投稿中; Asano, Fujii, Baba *et al.* 2020, MNRAS, 499, 2416) が、棒状構造がいつ形成され、どのように進化してきたのかに関してはまだ十分に研究が進んでいないのが現状である。そこで ASURA を用いた  $N$ 体/SPHシミュレーションを行い、棒状構造の形成進化過程を詳細に調べた。その結果、棒状構造の形成がバルジ領域へのガス流入と爆発的な星形成を励起するため、中心核バルジの星の年齢分布から天の川銀河の棒状構造形成時期の下限値に制限が与えられる可能性を指摘した (Baba & Kawata 2020, MNRAS, 492, 4500; 図 1)。さらに、棒状構造自体の 3次元動力学構造の進化と構成する星の年齢分布も解析し、棒状構造形成は自身の領域の星形成を急停止させるため、星の年齢分布が中心核バルジとは相補的になることを指摘した (Baba, Kawata & Schoenrich, arXiv:2104.09526, 投稿中)。これらの理論研究の結果は、日本独自の位置天文観測衛星計画「JASMINE」(JAXA 小型衛星 3 号機に選定済み)のキーサイエンスの一つになり、当初の研究計画の枠を超えて、国内の次期大型計画にも十分貢献したものとなったと言える。引き続き、2021 年度から採択された基盤研究 C (研究代表者)で、詳細な化学進化も考慮した研究へと発展させる予定である。

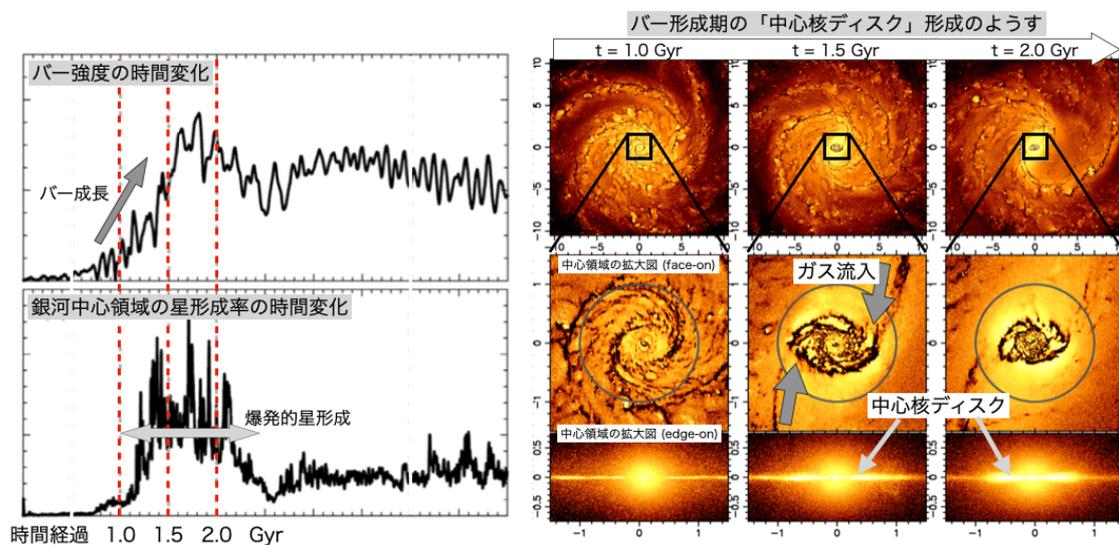


図 1: 本研究で得られたバー形成進化の  $N$ 体/SPHシミュレーション結果 (Baba & Kawata 2020 に掲載された図を改変)。バー強度の増加 (左上) と連動して銀河中心領域の星形成率が急上昇 (左下) していることがわかる。(右) 左パネルの 3 本の赤色の破線の時刻に対応する星の密度分布 (上: 全体 10kpc 分布、中: 中心 1kpc 分布、下: 中心 1kpc の edge-on 分布) を示

##### (2) Gaia との比較による渦状腕・棒状構造の研究

大局的な物質混合過程の理解のために、Gaia データと本研究のシミュレーション結果を比較することで、渦状腕と棒状構造の動力学の性質を多角的に調べた。

(a) 2018 年 4 月に公開された Gaia DR2 を用いて、天の川銀河円盤の子午線方向に分布する星の距離と接線速度 (固有運動) を解析することで、世界で初めて天の川銀河円盤広域に渡る速度構造の「リッジ構造」や「うねり」を捉えることに成功した (Kawata, Baba *et al.* 2018, MNRAS, 479, L108; 図 2)。この結果は国際的にも大きく注目を集め、速度場のリッジ構造やうねりの要因に関する渦状腕や棒状構造の新たな理論研究 (e.g. Hunt *et al.* 2018, 2019; Chiba & Schoenrich 2021) を誘発したと言える。なお、この研究では Gaia DR2 データが公開される前に本研究のシミュレーション結果と Gaia DR2 データを比較した。

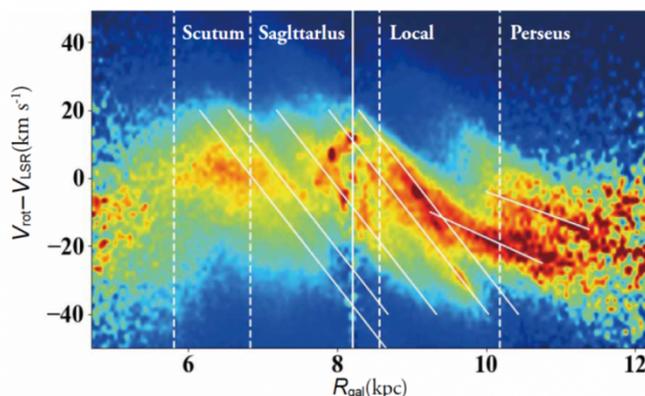


図 2: GaiaDR2 で得られた銀河円盤速度場構造 (Kawata, Baba *et al.* 2018)。銀河回転速度 (縦軸) vs. 銀河中心距離 (横軸) に星の個数密度表示。白色実線が今回発見した「リッジ構造」を表す。

ュレーションデータを解析することで理論的予測を行っていたため、データ公開後に 1 日で速やかに論文を投稿することができ、国際的に高い評価を得ることができた。

(b) GaiaDR2 データを用いて太陽近傍 1kpc 近傍の古い星の密度マップを作成した。これまで「局所腕」は、ガス・星形成領域からのみで構成され、主要な渦状腕の支流のような構造と考えられてきた。しかし、本研究により、局所腕に古い星の密度超過分布がある可能性を初めて指摘した (Miyachi, Sakai, Kawata, Baba *et al.* 2019, ApJ, **882**, 48)。さらに星形成領域の VLBI 位置天文観測データとの比較から、局所腕は「動的渦状腕」モデル (Baba *et al.* 2013) の成長段階にある可能性を指摘した。一方で、局所腕の外側に位置する「ペルセウス腕」は、Gaia DR1 とシミュレーション結果の比較により「動的渦状腕の減衰期」にあるとの示唆も得ている (Baba, Kawata, Matsunaga *et al.* 2018, ApJ, **853**, L23)。「動的渦状腕」は従来の「密度波」モデルに比べ、星の軌道移動の効率が圧倒的に高いと考えられるため (Baba, Kawata *et al.* 投稿準備中)、ペルセウス腕・局所腕が動的渦状腕であるとの観測的示唆から、天の川銀河内では現在でも効率的に星の軌道移動が起きていると予測される。

(c) 2020 年 12 月に公開された Gaia EDR3 データとシミュレーションの比較により、星の作用積分分布 (軌道パラメーター分布) を調べ、棒状構造により軌道共鳴半径の特定を試みた。その結果、現在のパターン速度は 34 or 42 km/s/kpc であると求めた (Kawata, Baba *et al.* arXiv:2012.05890, 投稿中)。この結果は、天の川銀河のディスク・バーの (準)解析的運動学モデルを Gaia/BRAVA/OGLE-III などの最新の観測データにフィットして得た値とも整合的である (Koshimoto, Baba & Bennett, arXiv:2104.03306, 投稿中)。このようなパターン速度の棒状構造の共回転半径は 6~7 kpc である。

### (3) テスト粒子計算による渦状腕・棒状構造の力学進化に伴う星の軌道移動

星の軌道移動過程は、渦状腕の動力学的性質や棒状構造の形成時期・減速過程などに依存すると期待される。そこで、これら渦状腕・棒状構造の動力学的性質と星の軌道移動の効率の関係を定量的に理解すべく、研究代表者らの Gaia データに基づく近年の研究成果に基づき (前述の研究成果(2))、テスト粒子シミュレーションを行った (Baba, Kawata *et al.* 投稿準備中)。従来のテスト粒子シミュレーションとは異なり、本研究では研究代表者ら独自の時間変化する渦状腕 (動的渦状腕モデル) や、棒状構造の形成と減速過程を「動的な外場」として構築するための重力ポテンシャル生成ライブラリ「MWPotLib」を開発して利用した。

その結果、渦状腕による星の軌道移動は、従来の密度波モデルより動的渦状腕モデルの方が、圧倒的に効率がよいことがわかった。さらに、棒状構造の存在が動的渦状腕による効率的な軌道移動を阻害する効果がある可能性を明らかにした。これらの一連の計算結果に基づき、太陽系が現在の位置よりも 4 kpc 程度内側の銀河円盤最内縁部で

誕生したとしても、46 億年の間に動的渦状腕や棒状構造の減速といった銀河構造の時間変化で現在の位置までたどり着くことができることを指摘した (Tsujiimoto & Baba 2020, ApJ, **904**, 137; Baba, Kawata *et al.* 投稿準備中、図 3)。今後、銀河系と太陽系を結びつける学際研究へと発展していくと期待される。これらの結果を発展させて、太陽系の母星団で誕生した太陽の兄弟星が、現在の天の川銀河のどこにどのように分布しているのかを理論予測するための研究へと発展させる予定であり、2021 年度からの新学術・公募研究 (研究代表者) に新たに採択されている。

なお、独自に開発した「MWPotLib」は、多重棒状構造における星の軌道論の研究や、銀河内の星団の破壊過程の  $N$  体シミュレーション、銀河スケールの分子雲形成進化の流体シミュレーションなど、当初の計画の枠を超えた新たな共同研究へも発展し、学術的に貢献していると言える。

### (4) $N$ 体/SPH シミュレーションによる分子雲衝突による化学組成の混合過程の研究

銀河円盤中において、恒星は星団として生まれ、円盤中に拡散していくと考えられている。銀河円盤が多様な金属量の恒星/ガスで構築される一方、観測的に星団は一様な金属量を持つことが知られている。このような一様な金属量を持つ星団がどのようにして形成されるのか、星団形成を誘発すると考えられている分子雲衝突をモデルとし、異なる金属量を持つガス雲同士が衝突したときの振る舞いを  $N$  体/SPH シミュレーションにより調べた。その結果、分子雲衝突によって星形成が誘発される様子が再現された。このとき、星は運動量を失い高密度になったガスから

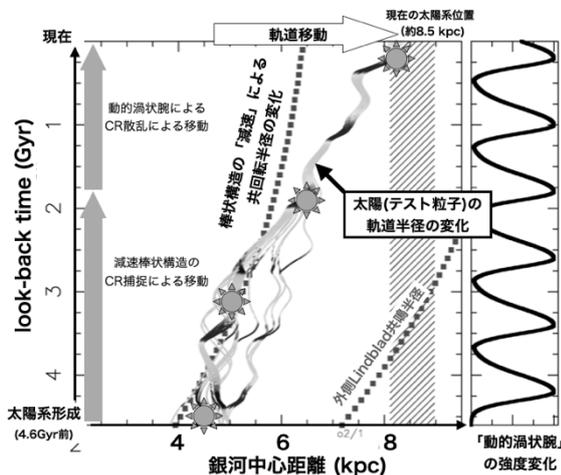


図 3: 動的非軸対称構造による太陽系の軌道移動の結果 (Baba, Kawata *et al.* 投稿準備中)。4.6Gyr 前に銀河中心距離約 4 kpc で誕生した太陽系が、減速棒状構造と動的渦状腕の影響で現在の位置 (8.5 kpc) にたどり着く様子。

生まれるため、必然的に良く混合したガスが母体となる。従って星団を構成する恒星のもつ金属量は非常に良く一致するということが分かった。標準的な拡散係数を用いた場合、得られた星団もつ金属量の揺らぎは観測的に知られている 0.01 dex 程度に収まることを明らかにした (Saitoh, Baba *et al.* 投稿準備中)。

(5) 化学進化シミュレーション用ライブラリ「CELlib」のアップデート

Gaia+RAVE 等による天の川銀河の恒星の 6 次元位相情報や、APOGEE/GALAH などによる恒星のもつ金属量の情報を組み合わせて天の川銀河の進化史を読み解く試みが、特にこの 10 年熱心に行われてきた。分担者が独自に開発した化学進化シミュレーション用ライブラリ「CELlib」(Saitoh 2017, AJ, **153**, 85; <https://bitbucket.org/tsaitoh/celib/src/master/>)も開発当初の状況と大きく異なり、より多くの金属種の情報とより多くの供給源を考慮する必要が出てきた。そこで、当初 13 種だった金属量を 18 種にまで拡張することに成功した。この拡張により 6 大生化学元素 (SPONCH)もカバーできるようになったため、今後は天の川銀河の化学動力学進化の観点から、惑星系形成、そして生命の起源等についてまでアプローチすることが可能となると期待される。また、よく知られているように、恒星の持つ金属量分布は年齢と関係しており、太陽組成とは一般に異なるため、様々な時代の銀河円盤の進化を論じるに当たって、太陽組成以外を用いる必要がある。そこで、恒星データベース SAGA および、APOGEE/GALAH のデータから、 $[X/Fe]$ - $[Fe/H]$  のフィッティング値を求め、それを元に任意の $[Fe/H]$ のときの各金属量を与えるプログラム「XFeFeH」([https://bitbucket.org/tsaitoh/xfe\\_feh/src/master/](https://bitbucket.org/tsaitoh/xfe_feh/src/master/))を開発した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tsujiimoto, Takuji; Baba, Junichi	4. 巻 878
2. 論文標題 Galactic r-process Abundance Feature Shaped by Radial Migration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 125, 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab22b3	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 Miyachi, Yusuke; Sakai, Nobuyuki; Kawata, Daisuke; Baba, Junichi; Honma, Mareki; Matsunaga, Noriyuki; Fujisawa, Kenta	4. 巻 882
2. 論文標題 Stellar Overdensity in the Local Arm in Gaia DR2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 48, 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2f86	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 Baba, Junichi; Kawata, Daisuke	4. 巻 492
2. 論文標題 Age dating the Galactic bar with the nuclear stellar disc	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 4500, 4511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa140	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 Kawata Daisuke, Baba Junichi, Ciuca Ioana, Cropper Mark, Grand Robert J J, Hunt Jason A S, Seabroke George	4. 巻 479
2. 論文標題 Radial distribution of stellar motions in Gaia DR2	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L108 ~ L112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly107	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 Kawata Daisuke, Bovy Jo, Matsunaga Noriyuki, Baba Junichi	4. 巻 482
2. 論文標題 Galactic rotation from Cepheids with Gaia DR2 and effects of non-axisymmetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 40 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2623	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 Baba Junichi, Kawata Daisuke, Matsunaga Noriyuki, Grand Robert J. J., Hunt Jason A. S.	4. 巻 853
2. 論文標題 Gaia DR1 Evidence of Disrupting the Perseus Arm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L23 ~ L23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aaa839	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 Asano Tetsuro, Fujii M S, Baba J, Bedorf J, Sellentin E, Portegies Zwart S	4. 巻 499
2. 論文標題 Trimodal structure of Hercules stream explained by originating from bar resonances	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 2416 ~ 2425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2849	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 Tsujimoto Takuji, Baba Junichi	4. 巻 904
2. 論文標題 Remarkable Migration of the Solar System from the Innermost Galactic Disk; a Wander, a Wobble, and a Climate Catastrophe on the Earth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 137 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc00a	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9件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 馬場淳一、河田大介
2. 発表標題 棒状構造形成にともなうバルジ進化
3. 学会等名 天の川銀河研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Baba, D. Kawata, N. Matsunaga, R. J. J. Grand, & J. A. S. Hunt
2. 発表標題 Gaia DR1 Evidence of Disrupting the Perseus Arm
3. 学会等名 IAUS 348: 21st Century Astrometry: crossing the Dark and Habitable frontiers (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. Baba
2. 発表標題 Spiral Dynamics with Gaia
3. 学会等名 Life and times of the Milky Way The symbiosis between Gaia and ground-based spectroscopic surveys (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 斎藤貴之、平居悠、藤井通子、牧野淳一郎、馬場淳一
2. 発表標題 分子雲衝突による一様金属量を持つ星団の形成シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斎藤貴之
2. 発表標題 ASURAによる3次元化学動力学シミュレーション
3. 学会等名 核データと重元素合成を中心とする宇宙核物理研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 馬場淳一
2. 発表標題 天の川銀河の動力学構造と位置天文観測
3. 学会等名 第9回 観測的宇宙論ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬場淳一
2. 発表標題 天の川銀河の動力学構造研究の進展 -- 位置天文観測の立場から --
3. 学会等名 CfCAユーザーズミーティング（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬場淳一、河田大介、 R. Schonrich
2. 発表標題 Age dating the Galactic Bar with the nuclear stellar disk and BPX bulge
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. R. Saitoh
2. 発表標題 Chemical evolution in the Universe
3. 学会等名 7th ELSI International Symposium: Comparative Emergence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本研究プロジェクトのホームページ  <a href="https://sites.google.com/site/milkywayspiral/research/chemdynamics-of-the-milky-way">https://sites.google.com/site/milkywayspiral/research/chemdynamics-of-the-milky-way</a></p>
--

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
研究分担者	齋藤 貴之  (Saitoh Takayuki)  (40399291)	神戸大学・理学研究科・准教授    (14501)	

	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
研究協力者	河田 大介  (Kawata Daisuke)		
研究協力者	辻本 拓司  (Tsujimoto Takuji)		

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		
英国	University College London	Mullard Space Science Laboratory	