

	研究代表者	名古屋大学・理学研究科・教授
		犬塚 修一郎（いぬつか しゅういちろう） 研究者番号：80270453
	研究課題情報	課題番号：25H00394 研究期間：2025年度～2029年度 キーワード：銀河系、銀河ハロー、銀河渦状腕、星間物質、星形成

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

銀河外縁部を含む銀河円盤部や銀河中心領域での星形成過程、銀河渦状腕の起源・進化、さらに銀河ハローを含む銀河全体の進化についての統一的研究を進め、宇宙年齢に匹敵する期間の銀河系の進化を解明する。銀河円盤部では、多数の古い超新星残骸が連なる泡（バブル）となってガスを掃き集める。バブルの連結点では巨大分子雲が生まれ、その構造は例外無くハブ・フィラメント状構造となり、そこが銀河系における大質量星や星団の形成場所となる。いずれも研究代表者らが提唱する星形成シナリオで統一的に説明可能であり、この研究を銀河全体スケールに広げる。一方、幾何学的に薄い銀河系円盤部に存在しているガスだけでは、宇宙年齢の割以下の期間しか星形成を継続できない。銀河ハローに大量にある電離ガスが冷えて落下することで銀河円盤部にガスが供給される。そこで、銀河円盤部と銀河ハローのガス循環過程を必須の要素として、星形成と銀河渦状腕の維持・進化の新しい描像を確立する。銀河系ハロー電離ガスと宇宙線のダイナミクス、及び円盤領域の局所的な星形成過程の詳細な理解に基づく研究で、最新のGaia・すばるによる観測結果と整合的な天文学研究の新しい潮流を導く。

（注：宇宙年齢≒138億年、太陽質量 $M_{\text{sun}} \approx 2 \times 10^{30} \text{kg}$ 、長さ1pc≒3光年≒ $3 \times 10^{13} \text{km}$ ）

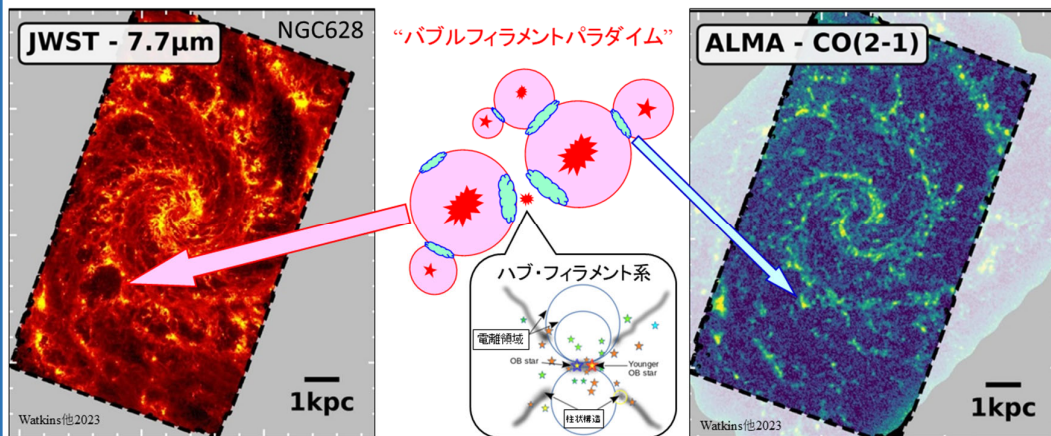


図1. 左図はJWST 7.7μmで観測された系外NGC628の多数のバブル構造（Watkins他2023）。この構造は、研究代表者らの分子雲形成シナリオ（中央図）と整合的である。その予言通り、バブルとバブルの衝突領域が分子雲の形成領域になっていることがALMAにより観測されたNGC628の巨大分子雲の分布（右図）で確認できる。一方、銀河系では巨大分子雲は例外なくハブ・フィラメント構造（中央図下のパネル）を持つことを研究代表者らは示した（Kumar他2020）。

●研究の背景と目的

図1は最新の宇宙望遠鏡JWSTにより明らかとなった系外円盤銀河の姿であり、研究代表者らが提唱している新しい星形成理論（Inutsuka他2015）が予言していた描像に酷似している。つまり、我々が手にした星形成論を用いて系外銀河を含む円盤銀河の進化を詳しく理解することが今まさに可能となったことを示唆している。研究代表者は、領域代表を務めた新学術領域「星惑星形成」研究の一環として、磁場により抑制された分子雲形成・星形成を進展させてきた。その成果の一つは、銀河系ハローのガスと銀河円盤部の星形成との相互作用の定量的な理解である。現在の銀河系には十億太陽質量（ $10^9 M_{\text{sun}}$ ）程度の

ガスが存在している。そのガスが現在の星形成率（約 $2M_{\text{sun}}/\text{年}$ ）で星に変換されると5億年程度でガスが無くなってしまふ。一方、銀河系に残っている小質量の古い星の観測から、銀河系は90億年間程度は現在の形成率程度の星形成活動を続けていることが分かっている。そのように長い期間星形成活動を続けるには銀河系円盤部にガスを継続的に供給する必要があるが、それは銀河ハローからの供給しかありえない。実際、近年の観測により、銀河系ハローには2百億太陽質量（ $2 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$ ）もの大量の電離ガスが存在していることがわかっている。そこから銀河円盤部に対して、現在の星形成率と同程度の質量が降着すれば、宇宙年齢規模の準定常的な星形成活動が矛盾なく説明可能である。しかし、銀河ハローのガスは始原的な水素・ヘリウムだけのガスではなく、重元素を含んでいる。つまり、銀河円盤部から重元素を銀河ハローに供給することが必要である。研究代表者らは、この銀河系ハローと銀河系円盤部の物質循環の鍵となる銀河円盤風を定量的に解析し、現在観測される超新星爆発頻度程度であっても十分な銀河円盤風を駆動することを世界で初めて示した（図2）。その過程では乱流磁場及び宇宙線の実効的圧力が決定的な役割を果たしており、幅広い宇宙物理学の道具立てを必須としている研究である。銀河風の理解に加えて、銀河ハローで冷えたガスが円盤領域に落下する過程（図3）を定量的に解明できれば、宇宙年齢の3分の2に匹敵する約90億年間の星形成過程を理解できるはずである。本研究は、銀河ハローに大量に存在するガスと銀河円盤部の磁場により抑制された分子雲形成・星形成過程との相互作用を理解して銀河進化を解明する試みである。

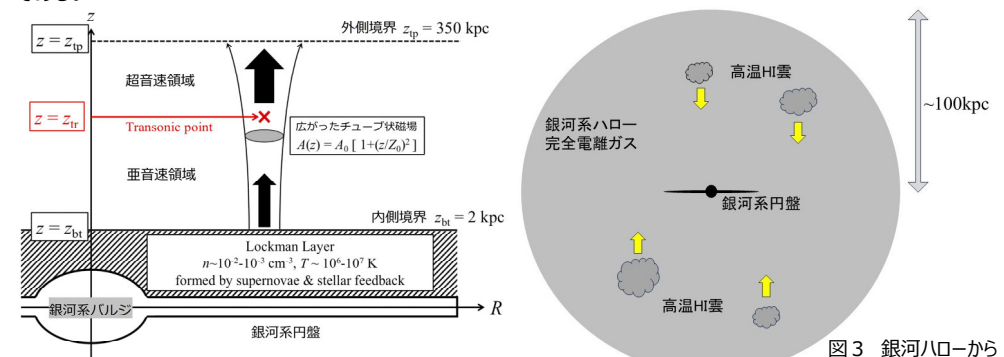


図2 銀河風モデルの模式図

図3 銀河ハローからのガスの落下の模式図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●ハブ・フィラメント系での星団形成の解明

銀河系において多くの星は銀河円盤内の星団で生まれることがわかっている。大きな星団では大質量星が生まれるため、母天体の分子雲は大質量星からの紫外線により破壊される。ハーシェル望遠鏡による分子雲の統計的研究により、太陽系から5kpc（銀河系サイズの半分程度）以内にある大質量星形成領域はすべてハブ・フィラメント系と呼ばれる形状をもつ分子雲であることがわかっている。銀河系の主要な星形成過程の理解につながるハブ・フィラメント分子雲の形成・進化について解明する。

●ガスの効果の考慮した銀河渦状腕の起源と維持過程の解明

銀河ハローからのガス供給過程を含めて、銀河系進化の数値シミュレーションを行う。ガスダイナミクスと星形成を含めた渦状腕構造についての統一的研究を進め、銀河円盤渦状腕の維持メカニズムを突き止める。

●銀河考古学による理論的シナリオの検証

上記の研究の集大成として、銀河系の進化を統一的に記述する。具体的には、星団・スーパーバブルの形成、銀河系渦状腕の起源と星の移動、重元素分布の進化、を定量的に記述する理論的枠組みを構築する。また、その理論をGaiaとすばるの観測データ（図3）を駆使した銀河考古学的解析により検証する。

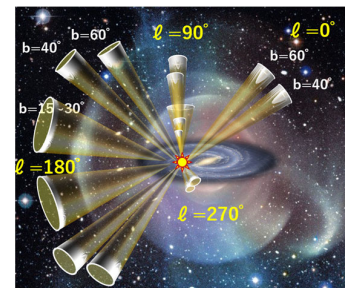


図3. すばる望遠鏡PFS装置で観測する方向