

銀河と銀河中心超大質量ブラックホールの共進化の宇宙論的シミュレーション

Cosmological simulations of coevolution between galaxies and their central supermassive black holes

岡本 崇

北海道大学大学院理学研究院

1. 研究目的

ほぼ全ての銀河の中心には超大質量ブラックホール (SMBH) が存在している。SMBH の中には太陽の 10^9 倍以上の質量をもつものもあり、どのようにしてこのような大質量のブラックホールが形成されたのかは宇宙物理学における大きな謎となっている。また SMBH の質量はその母銀河のバルジの星質量・速度分散と強い相関があることが知られており、(1) バルジ形成と SMBH への質量供給機構に関係がある、(2) SMBH へガスが降着する際にその重力エネルギーを輻射やジェットとして放出する現象が活動銀河核 (AGN) として知られているが、このエネルギー放出現象 (AGN フィードバック) がバルジでの星形成を終了させているという主に 2 つの共進化シナリオが提唱されている。また、AGN フィードバックは大質量銀河の星形成を終焉させるメカニズムとしても有望視されており、銀河形成を理解する上でも共進化を理解することは重要である。本研究では SMBH の進化と AGN フィードバックを *self-consistent* に取り入れた宇宙論的銀河形成シミュレーションを行い、SMBH 成長と銀河形成どのように相互作用して現在の宇宙の姿が出来上がったのかを明らかにする。

2. 研究成果の内容

超新星残骸の 1 次元シミュレーションの結果にもとづいた超新星爆発のモデルを導入することにより、この超新星残骸を分解できていなくても、その効果を物理的に取り入れられるようにした。また、SMBH へのガス降着も高分解能シミュレーションの結果をモデル化して実装した。AGN フィードバックにはエディントン比が ≥ 0.01 と比較的大きい場合に標準円盤となった降着円盤からの輻射によるもの (quasar-mode) とエディントン比が小さい場合に *radiatively-inefficient accretion disk (RIAF)* と呼ばれる降着円盤から生成されるジェットやアウトフローによるもの (radio-mode) の 2 つが考えられているが、今回は前者に制限をつけるために quasar-mode フィードバックだけを考えた。ターゲットとして天の川銀河質量の銀河を選び、AGN 光度の 0.2% (降着質量エネルギーの 0.02%) を AGN フィードバックのエ

エネルギーとして用いたものと、AGN フィードバックを無視した 2 つのシミュレーションを行った。シミュレーションで得られた銀河をバルジと円盤に分解し、バルジの星質量と速度分散と、中心ブラックホールの質量の間の関係を調べた。その結果、この程度の質量の銀河においては **quasar-mode** フィードバックは **SMBH** の成長を強く抑制する一方、バルジの性質には強い影響を与えないため、**quasar-mode** フィードバックの効率を制限するのに有用であることが分かった。また、バルジの速度分散と **SMBH** 質量の間のいわゆる **M- σ** 関係の方がバルジ質量との関係よりも強い制限を与えることも明らかになった。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

共進化をシミュレーションするために銀河が形成される領域を含む大きな宇宙論的な体積と、銀河よりも空間的に 10 桁以上小さい **SMBH** を同時に扱わねばならない。このようなダイナミックレンジの大きなシミュレーションを複数モデル行うには学際共同利用による大規模計算が必要不可欠であった。

4. 今後の展望

銀河の進化において **AGN** フィードバックがより本質的な役割を果たす大質量銀河のシミュレーションを行う。大質量銀河の星形成を終焉させて、観測から得られているダークマターハローと中心銀河の星質量の関係を、今回制限をつけた **quasar-mode** の **AGN** フィードバックだけで説明できるのか、それともさらに **radio-mode** **AGN** フィードバックを考慮する必要があるのかを明らかにする。**Radio-mode** が必要であれば、その効率にハロー質量 - 星質量関係を用いて制限をつける。

5. 成果発表

(1) 学術論文

(2) 学会発表

- ① 岡本崇、「銀河形成シミュレーションで探る化学進化」、星の錬金術から銀河考古学へ、2020/10/26-29、国立天文台三鷹（オンライン）
- ② 岡本崇、「バルジ形成に対する **AGN** フィードバックの影響」、日本天文学会 2020 秋季年会、2020/9/8-10、弘前大学（オンライン）

(3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース*	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	550,000	0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			