

受付ID	15a-41
分野	宇宙

輻射流体シミュレーションによる天体形成の研究

Structure Formation using Radiation-Hydrodynamics Simulations

梅村 雅之

筑波大学 計算科学研究センター

1. 研究目的

本プロジェクトは、SPH法に基づく輻射流体力学シミュレーションを用いて、宇宙再電離・銀河形成・活動銀河核(AGN)などの輻射輸送が重要な役割を果たす天体現象を解明することが目的である。

2. 研究成果の内容

1) 活動銀河核トラス内縁部の輻射流体計算

活動銀河核(AGN)は銀河の形成・進化に多大な影響を与えてきたと目され、AGNの活動性の理解は銀河形成論において重要な課題の1つである。活動性を理解するためには、AGN降着円盤と降着円盤へのガス供給過程に関する詳細な理解が必要不可欠である。後者においては、まさに降着円盤へのガス供給を起こすAGNトラス内縁部の構造・物理状態を明らかにすることが重要である。とりわけ、トラスからのアウトフロー率とガスの垂直構造は、ガス供給率との関係や観測との比較という点で重要である。我々は輻射流体計算によって可能な限り第一原理的にAGNトラス内縁部のダイナミクスを解明することを目指している。この目的のため、我々はトラス内縁部を扱う上で重要な物理過程、(1) ガスの自己重力、(2) ガスの光電離・光解離反応、(3) ダストからの赤外線再放射、(4) ガスとダストへの輻射圧、を考慮した化学反応・輻射流体計算コードを開発した。この計算によって、(i) Krolik(2007)で提唱されているダスト再放射のみで厚みのあるトラス構造を作るのは難しいこと、(ii) ダスト再放射による輻射圧はトラス内縁部をわずかに膨らませることでアウトフロー率の上昇に寄与すること、(iii) その結果、アウトフロー率はEddington質量降着率(エネルギー変換効率0.1を仮定)に匹敵しうることを明らかにした。

2) 外部紫外線輻射場によって制御される星団形成に関する3次元輻射流体力学による研究

非常に古い星団として知られる球状星団は、矮小楕円銀河といった他の低質量天体とともに階層的構造形成過程の初期段階に形成されたと考えられるが、球状星団は光度に対してより高い速度分散を持つコンパクトな天体である。最近の観測から、宇宙は赤方偏移 $z > 6$ で電離していることが分かっており、大部分の球状星団が形成された時期には強い電離光源が存在していたと考えることができる。紫外線は、光電離・光加熱過程によってガスの重力成長を妨げ、さらに初期宇宙で重要な冷却剤である水素分子の形成を阻害する。背景紫外線輻射場中の天体形成で重要となる自己遮蔽効果はガス密度の2乗平均に依存し、ガス雲の3次元的な非一様性に影響される。また背景輻射場が非等方的な場合は遮蔽領域も非等方的になる。我々は、非一様密度構造を持つ低質量ガス雲(10^6 太陽質量)を生成し、ガスの自己重力流体力学(SP法)、分子の非平衡化学反応、輻射輸送、ダークマターの重力を同時に解く3次元の輻射流体力学計算によって、等方輻射場・片側照射中でのガス雲の収縮過程、自己遮蔽に至る過程を正確に解いた。更に紫外線を遮蔽し十分冷却したガス粒子を星粒子とみなし、重力多体計算をすることで形成された星団のダイナミクスを評価した。その結果、等方輻

射場と違い日陰領域を伴った非等方性の強い自己遮蔽領域が形成されるものの、星形成の大半は輻射場の非等方性にあまりよらずに系の中心から ~ 10 pc程度のコンパクトな領域で行われることが分かった。また、星粒子の運動を追跡した結果、電離ガスの超音速落下によって形成される星団は、半質量半径、mass-to-light ratio、速度分散-光度関係それぞれが球状星団の観測と矛盾しないコンパクトな星団となることが示された。

3. 学際共同利用として実施した意義

我々は、輻射流体シミュレーションを用いて、球状星団形成過程、AGN トーラスの力学構造の研究を行ってきた。これらは、輻射輸送と流体力学を近似なく扱う計算であり、COMA を用いた学際共同利用によって、このような輻射流体力学計算が実現できた意義は大きい。

4. 今後の展望

今後は、宇宙暗黒時代から観測的に見つかっている原始銀河が形成される宇宙再電離後までの宇宙の天体形成史を明らかにすることを目指す。特に、再電離期の宇宙に置いて形成される初代銀河の形成過程を宇宙論的輻射流体シミュレーションを用いてシミュレーションすることで、初代銀河内の大質量星や大質量ブラックホールが放出する紫外線による輻射性フィードバックが宇宙再電離にどのような役割を果たしたのかを解明する。

5. 成果発表

(1) 学術論文(査読付)

1. Namekata, D., Umemura, M., “Subparsec-scale dynamics of a dusty gas disk exposed to anisotropic AGN radiation with frequency dependent radiative transfer”, accepted for publication in MNRAS
2. Tagawa, H., Umemura, M., Gouda, N., Yano, T., Yamai, Y., “Early Cosmic Merger of Multiple Black Holes”, 2015, MNRAS, 451, 2174-2184
3. Wagner, A. Y., Bicknell, G. V., Umemura, M., Sutherland, R. S., Silk, J., 2015, Galaxy-scale AGN Feedback - Theory, 2016, Astronomische Nachrichten, 335, 167
4. Tanaka, S., Yoshikawa, K., Okamoto, T., Hasegawa, K., “A new ray-tracing scheme for 3D diffuse radiation transfer on highly parallel architectures”, accepted for publication in PASJ
5. Miki, Y., Mori, M., Rich, R.M., “Collision tomography: Physical properties of possible progenitors of the Andromeda stellar stream”, submitted to ApJ
6. Igarashi, A., Mori, M., Nitta, S., “Polytropic transonic galactic outflows in a dark matter halo with a central black hole”, submitted to Monthly Notices of Royal Astronomical Society
7. Tagawa, H., Umemura, M., Gouda, N., 2016, Mergers of accreting stellar-mass black holes, submitted to MNRAS (arXiv:1602.08767)
8. Kirihara, T., Miki, Y., Mori, M., & Kawaguchi, T. “Formation of the Andromeda Giant Stream: Asymmetric Structure and Disc Progenitor”, submitted to MNRAS

(2) 学会発表

1. 梅村雅之, 「TAOによる銀河形成研究の新展開」, 企画セッション「東京大学アタカマ天文台のサイエンス戦略」, 日本天文学会春季年会(2016年3月14日~17日, 首都大学東京, 八王子)

2. 加藤一輝, 森正夫, 扇谷豪「CDM モデルにおける cusp-core 問題と too-big-to-fail 問題の関連性」, 研究会「第2回 銀河進化研究会」(2015年6月3日～6月5日, 名古屋大学, 名古屋)
3. 桐原崇亘, 「アンドロメダ銀河に衝突した矮小銀河の性質」, 銀河進化研究会 2015 (2015年6月3日～6月5日, 名古屋大学坂田・平田ホール, 名古屋)
4. 五十嵐朱夏, 「Sombrero 銀河に銀河風は存在するのか?」, 銀河進化研究会 2015 (2015年6月3日～6月5日, 名古屋大学坂田・平田ホール, 名古屋)
5. 行方大輔, 梅村雅之, 「活動銀河核トラス内縁部の輻射流体計算」, 日本天文学会秋季年会(2015年9月9日～11日, 甲南大学, 神戸)
6. 安部牧人, 梅村雅之, 長谷川賢二, 「3次元輻射流体計算による非等方背景輻射場中の球状星団形成過程の研究」, 日本天文学会秋季年会(2015年9月9日～11日, 甲南大学, 神戸)
7. 鈴木裕行, 長谷川賢二, 梅村雅之, Benoit Semelin, 「SPH-based Ly α 輻射輸送コードの開発」, 日本天文学会秋季年会(2015年9月9日～11日, 甲南大学, 神戸)
8. 三木洋平, 梅村雅之, 「銀河の多成分力学平衡分布生成コードの開発」, 日本天文学会 2015 年秋季年会(2015年9月9～11日, 甲南大学, 神戸)
9. 桐原崇亘, 三木洋平, 森正夫, 川口俊宏, 「M31 に衝突した矮小銀河の形態とダークマター分布の進化」, 日本天文学会 2015 年秋季年会 (2015年9月9日～11日, 甲南大学, 神戸)
10. 加藤一輝, 森正夫, 扇谷豪「Cold dark matter モデルにおける cusp-core 問題と too-big-to-fail 問題の関連性」, 研究会「日本天文学会 2015 年秋季年会」(2015年9月9～11日, 甲南大学, 神戸)
11. 行方大輔, 梅村雅之, 「輻射流体計算で探る活動銀河核トラスのダスト昇華半径付近の構造」, ALMA ワークショップ「AGN 銀河の中心 1kpc \rightarrow 1pc スケールでの質量降着機構の理解に向けて」, (2015年12月21日～22日, 国立天文台, 東京)
12. 桐原崇亘, 「M31 における矮小円盤銀河の衝突シミュレーション」, 第28回理論懇シンポジウム「宇宙における天体形成から生命まで」(2015年12月23-25日, 大阪大学, 大阪)
13. 田中賢, 吉川耕司, 吉田直紀, 「6次元位相空間上での Vlasov シミュレーションにおける高次精度化」, 日本天文学会春季年会(2016年3月14日～17日, 首都大学東京, 八王子)

(3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS		
HA-PACS/TCA		
COMA	○	2940 時間
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		