

III. 宇宙物理グループ

助教授 梅村 雅之

助手 中本 泰史

学振研究員 (PD) 中村 文隆

大学院生 (6名)

本年度、当グループスタッフは、初期宇宙に形成された巨大ブラックホールによる宇宙再電離と重力レンズ効果、銀河中心における爆発的星形成と活動銀河核の物理的関連、並びに星・惑星系の形成論を中心に研究を展開した。最初の2つのテーマに関しては、米国プリンストン大学、ハーバード大学との間で、学振日米科学協力事業を推進した。

また、輻射場と物質場の相互作用を自己矛盾なく扱う輻射流体力学計算法の開発も進め、計算物理学研究センターで製作された超並列計算機 CP-PACS 上で implementation を行った。

【1】 宇宙初期のブラックホールの宇宙論的効果

宇宙初期のブラックホールが及ぼす宇宙論的効果について、まずブラックホールによる宇宙再加熱をガン・ピーターソン効果との関連で調べた。この解析では、冷たいダークマター支配の宇宙で密度ゆらぎの階層的進化を Press-Schechter-formalism によって記述し、輻射摩擦によるブラックホール形成をモデル化し、これらが放出する輻射による宇宙の熱史の変化を数値計算で調べた。その結果、初期密度ゆらぎのフーリエ・パワースペクトルの冪乗指数が-1.7程度の際に、ガン・ピーターソンの中性水素の光学的厚さと無矛盾になり、宇宙紫外線背景輻射とも整合することが示された。

次に、残存ブラックホールに対する遠方銀河内の星の重力レンズ効果を調べた。ここでは、銀河内の星のポピュレーションとして太陽系近傍のものを仮定し、残存ブラックホールの宇宙における全質量密度をパラメータとして解析を行った。その結果、宇宙のバリオン物質の大部分がブラックホールとなり、銀河などのハローを構成しているとすると、見かけの等級23等で、1平方度当たり1つの事象が検出される確率になることがわかった。また、重力レンズ特有の光度変化が数カ月の時間スケールで起こりうることを示された。現在、アメリカと日本の共同プロジェクトとして進められているスローン・デジタル・スカイ・サーベイ計画では、およそ23等級までの天体を、1000平方度に亘って観測することが予定されており、この観測でこのような重力レンズ効果が検出されるか否かは、残存ブラックホールの宇宙における全質量密度に強い制限を与えることになる。

【2】 銀河中心核への質量降着の新しいメカニズム「輻射性なだれ」の提唱

ここ数年、HSTを含む観測の目覚ましい進展により、銀河内の活発な星形成過程とクェーサー/AGN現象に何らかの強い関連があるという証拠が急増してきた。昨今の

HST 観測では、近傍のかなりのクェーサーが明るい母銀河の中心にあることが示された。また、セイファート銀河の中心領域には、爆発的星形成領域が多く見つかってきている。さらに最近、遠方のクェーサーに見つかった大量の分子ガスとダストは、母銀河である原始銀河がかなり短い時間で爆発的星形成を行い、これが何らかの形でクェーサー活動性と結び付いていることを示唆している。

我々は、クェーサー/AGN と爆発的星形成の強い繋がりを説明する物理的メカニズムとして、星形成領域からの強力な輻射場による輻射摩擦によって、中心核を取り囲む回転ガス円盤から角運動量が効率よく抜き取られ、さながらなだれ的に中心に落ち込むという「輻射性なだれ」モデルを提唱した。この「輻射性なだれ」は、数 pc-100pc の領域では、通常の α 粘性による降着よりも速い。また、銀河中心のバー不安定による質量降着は、数 10pc 程度までが限界であることがわかってきており、「輻射性なだれ」は、バー不安定が効く数 10pc までと、 α 粘性が効く 1pc 以下の間を繋ぐ第 3 の質量降着メカニズムと見ることができるとしている。

【3】 星・惑星系形成の研究

星・惑星系形成の研究においても他の分野と同様に、近年の観測の進展に伴い、より精密な理論モデルが要求されるようになってきている。特にいくつかの局面では、輻射輸送を正確に考慮する必要が出てきている。我々は後に述べる輻射流体力学計算コードを用いて、星・惑星系形成において輻射輸送が関与する重要な諸問題への取り組みを開始した。

具体的な問題の一つは、星間雲の動的収縮過程である。自己重力による動的収縮過程は、温度上昇に伴う圧力上昇によって止められる。その結果、静水圧平衡の星が形成される。この過程はまさに、輻射輸送効率の大から小への遷移の過程であるので、輻射を正確に考慮して調べる必要があるのである。予備的結果では従来の見方とは異なり、複数個の静水圧平衡核が形成されやすい可能性が見いだされた。このことは単独星形成・連星系形成問題に関して重要な示唆を与える可能性があり、引き続きその詳細を調べている。いま一つの問題は、形成中の原始星とその周囲の状況の現象論的モデルの構築である。観測的にはより微細な構造が見えるようになってきているにもかかわらず、その精度に匹敵する現象論的モデルはまだ構築されていない。複雑な構造のガス中での輻射輸送を正確に計算できないためであったが、これも我々の計算コードで解決できる問題である。観測的研究者らと連絡を取り合い、多くの原始星天体に対する現象論的モデルを構築する計画を開始した。

【4】 輻射流体力学計算法の開発

宇宙物理学における重要な素過程の一つは、輻射輸送現象である。輻射により運動量・エネルギーの輸送が起こり、それによって天体の力学・熱力学・化学的構造の形成・変化などが起こるからであり、さらにはそれらの現象が輻射によって観測されるからである。しかし、輻射輸送現象は一般に解析が難しい。一般に輻射は、6次元位相空間の関数だからである。この困難のために従来の解析は、空間 1次元問題および輻射に対す

る簡単化が行える拡散近似が成り立つ状況のみに限られてきた。

我々は、1次元・2次元軸対称および3次元空間内の流体に対して適用できる輻射流体力学計算コードを開発し、それを CP-PACS はじめ実際の大型計算機に実装した。具体的な計算アルゴリズムには、1次元問題においてその有効性が実証されている Variable Eddington Factor 法、より単純な反復法、などを用いており、適用する問題の計算量と性質に応じて使い分けられるようにしている。今後これらのコードを、銀河形成や星・惑星系形成、その他多くの問題の解析に利用していく予定である。

<論文>

1. S. Sasaki and M. Umemura
Reionization of the Universe due to Early-Formed Massive Black Holes
Astrophysical Journal, **462**, 104-109 (1996)
2. S. Mineshige and M. Umemura
Self-Similar, Self-Gravitating Viscous Disk
Astrophysical Journal Letters, **469**, L49-L51 (1996)
3. M. Umemura, J. Fukue, and S. Mineshige
Radiative Avalanche: Starburst Induced Fuelling to AGNs
Astrophysical Journal Letters, **479**, in press (1997)
4. S. Mineshige and M. Umemura
Self-Similar Collapse of Self-Gravitating Viscous Disk
Astrophysical Journal, **480**, in press (1997)
5. E. L. Turner and M. Umemura
Very Strong Microlensing of Distant Luminous Stars by Relic Massive Black Holes
Astrophysical Journal, **483**, in press (1997)
6. T. Tsuribe and M. Umemura
Angular Momentum Transport in Early-formed Objects by Cosmic Background Radiation: Radiation-Hydrodynamical Approach
Astrophysical Journal, **486**, in press (1997)
7. I. Murakami and M. Umemura
Dynamical Heating and Metallic Gas Supply by Elliptical Galaxies in Rich Clusters
Astrophysical Journal, submitted
8. S. Mineshige, K. Nakayama, and M. Umemura
Self-Similar Viscous Collapse of a Self-Gravitating, Polytropic Gas Disk
Publ. Astron. Soc. Japan, submitted

9. M. Umemura, J. Fukue, and S. Mineshige
Radiative Avalanche onto Galactic Nuclei Induced by Circumnuclear Starbursts
Astrophysical Journal, submitted
10. J. Fukue, M. Umemura, and S. Mineshige
Radiative Avalanche Driven by Spherical Starbursts
Publ. Astron. Soc. Japan, submitted
11. A. Yonehara, S. Mineshige, J. Fukue, M. Umemura, and E. L. Turner
Microlens Mapping of Accretion Disks in Active Galactic Nuclei
Astrophysical Journal, submitted
12. K. Ohsuga, M. Umemura, J. Fukue, and S. Mineshige
Radiative Avalanche Driven by a Circumnuclear Starburst Torus
Astrophysical Journal, submitted
13. T. Tsuribe and M. Umemura
Radiation-Hydrodynamical Evolution of the Cosmological Accretion Disks
Cosmological Constant and the Evolution of the Universe, 307-308 (1996)
14. M. Umemura
Cosmological Accretion Disks driven by Radiation Drag
Basic Physics of Accretion Disk, 203-208 (1996)
15. T. Tsuribe and M. Umemura
Rapid Mass Accretion by Background Radiation Force
Basic Physics of Accretion Disk, 215-218 (1996)
16. M. Umemura
Radiation Hydrodynamics on a Massively Parallel Supercomputer
Numerical Astrophysics Using Supercomputers (ed. Kohji Tomisaka), 2-7 (1996)
17. T. Tsuribe and M. Umemura
Radiation-Hydrodynamical Evolution of the Cosmological Accretion Disks
Numerical Astrophysics Using Supercomputers (ed. Kohji Tomisaka), 8-10 (1996)
18. F. Nakamura and M. Umemura
Collapse and Fragmentation of Filamentary Primordial Gas Clouds due to H₂ Cooling
Numerical Astrophysics Using Supercomputers II (ed. Kohji Tomisaka), 80-84 (1997)
19. Y. Iwasaki, A. Ukawa, and M. Umemura
計算物理学と CP-PACS 計画
情報処理学会誌「情報処理」, Vol. 37, No. 1, 11-17 (1996)
20. M. Umemura and T. Nakamoto

輻射流体力学による宇宙物理

日本流体力学会誌「ながれ」, Vol. 15, No. 6, 457-461 (1997)

21. T. Nakamoto

Radiation Hydrodynamics for Star and Protoplanetary Disk Formation

Numerical Astrophysics Using Supercomputers (ed. Kohji Tomisaka), 11-13 (1996)

22. T. Matsumoto, T. Hanawa, and F. Nakamura

Gravitational Contraction of Rotating Clouds: Formation of Self-similarly Collapsing Disks

Astrophysical Journal, in press (1997)

23. F. Nakamura and T. Hanawa

Nonaxisymmetric Evolution of Dynamically Contracting Disks and Its Implication for Binary Formation

Astrophysical Journal, in press (1997)

24. F. Nakamura, T. Hanawa, and T. Matsumoto

Dynamical Collapse of Magnetized Molecular Cloud Cores: Formation of Self-similarly Contracting Disks

Low Mass Star Formation from Infall to Outflow (eds. F. Malbet and A. Castets), 232-234 (1996)

25. F. Nakamura and T. Hanawa

Nonaxisymmetric Evolution of Dynamically Contracting Disks and Formation of Binary Stars

Low Mass Star Formation from Infall to Outflow (eds. F. Malbet and A. Castets), 235-237 (1996)

26. T. Hanawa, T. Matsumoto, and F. Nakamura

Gravitational Collapse of a Rotating Cloud to form star and disk system

Low Mass Star Formation from Infall to Outflow (eds. F. Malbet and A. Castets), 212-214 (1996)

<講演>

1. 梅村雅之

「宇宙流体力学による可視化」

情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング研究会

(1996年5月)

2. 中村文隆, 梅村雅之

「原始銀河雲における星形成: H_2 冷却による円筒状ガス雲の動的収縮と分裂」

- 日本天文学会 (1996年10月)
3. 釣部通, 嶺重慎, 梅村雅之
「乱流粘性と輻射抵抗による角運動量輸送と宇宙論的 AGN 形成」
日本天文学会 (1996年10月)
 4. 中山薫二, 嶺重慎, 梅村雅之
「自己重力円盤の自己重力崩壊」
日本天文学会 (1996年10月)
 5. 大越智幸司, 中本泰史
「2次元軸対称の輻射流体力学」
日本天文学会 (1996年10月)
 6. 中本泰史
「差分法による3次元輻射流体力学計算」
日本天文学会 (1996年10月)
 7. 釣部通, 犬塚修一郎, 佐野孝好, 永井智哉, 増永浩彦
「Mesh 内部不連続点を考慮した新しい移流の計算法」
日本天文学会 (1996年10月)
 8. 佐野孝好, 犬塚修一郎, 釣部通, 永井智哉, 増永浩彦
「磁気流体力学的数値計算法について」
日本天文学会 (1996年10月)
 9. 梅村雅之
「LMSA による銀河/クェーサー形成の探究」
第9回理論天文学懇談会シンポジウム「大型観測装置時代における理論天文学の役割」(1996年12月)
 10. 中村文隆, 梅村雅之
「原始銀河雲における星形成: 水素分子の冷却によるフィラメント状ガス雲の動的収縮と分裂」
第9回理論天文学懇談会シンポジウム (1996年12月)
 11. 釣部通
「輻射粘性の数値計算」
第9回理論天文学懇談会シンポジウム「大型観測装置時代における理論天文学の役割」(1996年12月)
 12. 梅村雅之
「輻射流体力学の展望」
数値シミュレーションによる天文学シンポジウム II (1996年12月)

13. 大越智幸司
「2次元軸対称の輻射流体力学」
数値シミュレーションによる天文学シンポジウムII (1996年12月)
14. 中本泰史
「3次元輻射流体力学計算」
数値シミュレーションによる天文学シンポジウムII (1996年12月)
15. 釣部 通
「輻射粘性の数値計算」
数値シミュレーションによる天文学シンポジウムII (1996年12月)
16. 中村文隆, 梅村雅之
「水素分子の冷却によるフィラメント状ガス雲の動的収縮と分裂」
数値シミュレーションによる天文学シンポジウムII (1996年12月)
17. 梅村雅之
「活動銀河核とスターバーストの物理的関連: 輻射性なだれモデル」
京都大学基礎物理学研究所短期研究会「銀河形成の物理過程」
(1997年2月)
18. 釣部 通「粘性降着による原始活動銀河中心核種の成長過程」
京都大学基礎物理学研究所短期研究会「銀河形成の物理過程」
(1997年2月)
19. 梅村雅之
「銀河中心核への質量降着の新しいメカニズム: 輻射性なだれ」
筑波大学計算物理学研究センター研究会「クェーサー活動性と銀河形成の物理的関連」
(1997年3月)
20. 中本泰史
「ダストガス雲からの星形成」
筑波大学計算物理学研究センター研究会「クェーサー活動性と銀河形成の物理的関連」
(1997年3月)
21. 梅村雅之, 福江純, 嶺重慎
「Radiative Avalanche: 銀河中心核への質量降着の新しいメカニズム」
日本天文学会 (1997年3月)
22. 嶺重慎, 梅村雅之, 福江純
「Radiative Avalanche II: Induced Accretion Flow」
日本天文学会 (1997年3月)

23. 川口俊弘, 嶺重慎, 梅村雅之, E. L. Turner
「活動銀河核の可視光ゆらぎの起源」
日本天文学会 (1997年3月)
24. 米原厚憲, 嶺重慎, 福江純, 梅村雅之, E. L. Turner
「Microlens Mapping of AGN Disk」
日本天文学会 (1997年3月)
25. 福江純, 梅村雅之, 嶺重慎
「Radiative Avalanche Driven by Spherical Starbursts」
日本天文学会 (1997年3月)
26. 大越智幸司, 中本泰史
「多次元輻射流体力学計算コードの開発」
日本天文学会 (1997年3月)
27. 中村文隆
「動的に収縮するフィラメント状ガス雲の自己相似解」
日本天文学会 (1997年3月)
28. 中本泰史, 大越智幸司
「多次元輻射流体力学計算」
地球惑星科学関連学会合同大会 (1997年3月)
29. 釣部 通
「粘性降着による原始星成長と原紙惑星系円盤の形成」
日本天文学会 (1997年3月)
30. 釣部 通
「回転原始星の成長と星周円盤の形成を表す自己相似解」
NRO ワークショップ「星・惑星系形成研究の新展開」
(1997年3月)
31. 梅村雅之
「CP-PACS による計算物理学：輻射流体力学計算」
筑波大学計算物理学研究センター研究会「並列計算機による物理学」
(1997年3月)

<研究会主催>

「クエーサー活動性と銀河形成の物理的関連」ワークショップ
(1997年3月, 筑波大学計算物理学研究センター)