

### III. 宇宙物理グループ

助教授 梅村 雅之

助手 中本 泰史

大学院生 (4名)

本年度、当グループスタッフは、宇宙論的降着円盤形成と巨大ブラックホールへの進化、並びに星・惑星系の形成論を中心に研究を展開した。前者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がスタートした。

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た。これは、計算物理学研究センター推進中の超並列計算機 CP-PACS による実現を念頭に置いたものである。

#### 【1】 宇宙論的降着円盤の形成 (梅村 雅之)

宇宙晴れ上がり直後における宇宙背景放射とプラズマのトムソン散乱によるエネルギー、運動量輸送過程を伴った質量降着について解析を行なった。

まず、等方降着、円盤降着各々の場合において定常解についての解析を行なった。重力場は、ダークマター重力場、自己重力場、中心重力場のそれぞれを扱った。この3つは質量降着の前期段階、中期段階、後期段階に対応するものと考えられる。そして、それぞれの重力場について質量降着の解析解を求めることができた。この解から分かったことは、トムソン散乱の効果が、等方降着では、質量降着率の減少に働き、円盤降着においては、降着率増加に働くという大きな違いである。後者の増加率は中心天体近傍では輻射抵抗係数に比例する。

さらにこの研究は、自己相似法を用いた非定常解の解析に発展させられた。この解析では、輻射摩擦が、乱流粘性による角運動量輸送を助け、ガスをより早く中心天体へ降着させることを明らかにした。

また、宇宙論的降着円盤における波動の伝播、並びに安定性についても解析を行なった。これらは、宇宙背景輻射場と降着ガスの相互作用を扱ったものであるが、ブラックホールなどの中心天体からの放射との相互作用についても解析を行い、中心近傍で回転速度は指数関数的に減少し、落下速度は輻射抵抗係数に逆比例して小さくなることを見出した。

#### 【2】 宇宙初期のブラックホールによる宇宙再電離の可能性 (梅村 雅之)

宇宙論的降着円盤の進化が進むと中心には大質量のブラックホールが形成されると考えられる。このブラックホールに降着するガスは、極めて高いエネルギー変換効率で紫外線、X線、ガンマ線などの高エネルギー光子を放射する。高エネルギー光子が大量に放出されると、宇宙の「晴れ上がり」で、一旦中性化した宇宙が、再び電離される可能性があり、これは宇宙の熱史に甚大な変化をもたらすことになる。

我々は、ブラックホール形成過程をモデル化し宇宙全体の再電離化の可能性を様々な宇宙モデルで調べた。そして、キューサースペクトルで観測されている遠宇宙の電離状態や、X線背景放射の観測と矛盾しない再電離のシナリオが可能かどうかを解析した。結果として、宇宙初期の密度ゆらぎのフーリエスペクトルが、ある範囲内にあれば、ブラックホールからの放射は早い時期に宇宙を再電離化し、同時にキューサーで観測されている銀河間物質吸収率を説明できることがわかった。

### 【3】 輻射流体力学計算法の開発 (梅村 雅之、中本 泰史)

輻射を含む流体の場合にはその取り扱いが難しいため、これまでのところはまだ十分な数値計算法が開発されていない。従来行なわれてきた輻射を含む流体計算は、(i) 高い配位空間対称性 (1次元平行平板、1次元球対称) を持つ場合、(ii) 光学的に厚い状況 (局所的平衡がなりたっている)、などの特殊な場合に限られていた。しかし、宇宙物理学的な状況においてはこれらの特殊な条件を満たさない場合の方がはるかに多い。そこで我々は、より一般的な状況を扱えるような数値計算法の開発を試みている。

輻射流体力学における困難はその高次元性に依る。これを克服するためには、大容量のメモリと高速の演算処理が必要となる。そこで我々は、筑波大学計算物理学研究センター推進中の超並列計算機 CP-PACS の開発に協力するとともに、この利用を念頭においた並列型輻射流体力学計算法の開発に取り組んでいる。これまでの基礎的研究により、短特性線法と Variable Eddington Factor 法の組み合わせが、並列計算には最も適しているということがわかった。その一方で、関連する輻射輸送計算法の基礎的検討も進めた。

### 【4】 星・惑星系の形成論 (中本 泰史)

#### (1) 原始惑星系円盤の非線型成長

星間雲の重力収縮によって形成される原始惑星系円盤の成長過程を調べた。特に、形成中の原始惑星系円盤の重力安定性、円盤の最終状態の初期条件に対する依存性などを明らかにし、また、複数の観測量と理論モデルの結果を比較することにより理論に含まれる不定パラメータのもっともらしい値を決定した。さらに、決定された値のパラメータを用いて計算を行なった結果、原始惑星系円盤の質量増加は時間に対し約2乗の依存性を持つことがわかった。この原始惑星系円盤の非線型成長は、別の観測からの示唆とも調和的である。

#### (2) T Tauri 型星のフラットスペクトルの成因

成長中の原始惑星系円盤の周囲にはまだ収縮しきっていない星間雲のガスが残存している。この残存ガスにより中心星および原始惑星系円盤からの輻射スペクトルは変形されるが、このことから、観測されている特異なスペクトルである T Tauri 型星のフラットスペクトルの成因を説明できる可能性があることがわかった。詳細な研究を引き続き行う予定である。

#### <論文>

1. J. Fukue and M. Umemura, Cosmological Accretion Disks via External Radiation Drag, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **46**, 87-95 (1994).
2. M. Umemura and J. Fukue, Cosmological Spherical Accretion via External Radiation Drag, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **46**, 567-574 (1994).
3. T. Tsuribe, J. Fukue, and M. Umemura, Unsteady Disk Accretion via External Radiation Drag, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **46**, 579-603 (1994).
4. J. Fukue and M. Umemura, Accretion Disks driven by External Radiation Drag -  $\beta$  Disks, *The New Horizon of X-Ray Astronomy*, 1994, pp.617-618.
5. S. Sasaki and M. Umemura, Reionization of the Universe due to Early-Formed Massive Black Holes, *Astrophysical Journal*, in press (1995).

6. T. Tsuribe, M. Umemura, and J. Fukue, Self-Similar Spherical Accretion via External Radiation Drag, *Publ. Astron. Soc. Japan*, **47**, 73-79 (1995).
7. J. Fukue and M. Umemura, Accretion Disks driven by External Radiation Drag around Central Luminous Sources, *Publ. Astron. Soc. Japan*, in press (1995).
8. A. Takahashi, J. Fukue, K. Sanbuichi, and M. Umemura, Dynamical Stability of Cosmological Accretion Disks Embedded in External Radiation Fields, *Publ. Astron. Soc. Japan*, in press (1995).
9. T. Nakamoto and Y. Nakagawa, Formation, Early Evolution, and Gravitational Stability of Protoplanetary Disks, *Astrophysical Journal*, **421**, 640-650 (1994).
10. S.M. Miyama, T. Nakamoto, N. Kikuchi, S. Inutsuka, K. Kobayashi, and T. Takeuchi, Stability of Circumstellar Disks, in *Numerical Simulations in Astrophysics*, ed. P. Franco, Cambridge Univ. Press (1994).
11. T. Nakamoto, Growth of Protoplanetary Disks around Young Stellar Objects, *Proc. of the 27th ISAS Lunar and Planetary Symposium*, pp.91-94, 1994.
12. T. Nakamoto and Y. Nakagawa, Growth of Protoplanetary Disks around Young Stellar Objects, *Astrophysical Journal*, in press (1995).

<講演>

1. 梅村雅之, E.L.Turner 「Extreme Microlensing due to Cosmic Massive Black Holes」  
日本天文学会 (1994年5月)
2. 釣部通、梅村雅之、福江純 「Non-Steady Gas Accretion due to Compton Drag」  
日本天文学会 (1994年5月)
3. 三分一清隆、福江純、嶺重慎、梅村雅之 「中心天体の輻射場中の降着円盤の時間変化」  
日本天文学会 (1994年5月)
4. 高橋敦、三分一清隆、福江純、梅村雅之 「外部輻射抵抗を受けた降着円盤の安定性」  
日本天文学会 (1994年5月)
5. 梅村雅之 「宇宙論的流体力学と輻射輸送問題」  
天文・天体物理若手夏の学校 (1994年7月)
6. 梅村雅之 「論文雑誌受理のシステム」  
天文・天体物理若手夏の学校 (1994年7月)
7. 釣部通、梅村雅之、中本泰史 「宇宙論的輻射輸送と大質量ブラックホールの形成」  
日本天文学会 (1994年10月)
8. 三分一清隆、福江純、嶺重慎、梅村雅之 「中心天体の輻射場中の降着円盤2」  
日本天文学会 (1994年10月)
9. 福江純、梅村雅之、釣部通 「ベータ降着円盤を伝わる波」  
日本天文学会 (1994年10月)

10. 釣部通、福江純、梅村雅之「外部輻射抵抗を考慮したガスの重力不安定性」  
日本天文学会（1994年10月）
11. 村上泉、梅村雅之「Dynamical Heating and Metallic Gas Supply by Elliptical Galaxies in Rich Clusters」  
日本天文学会（1994年10月）
12. 梅村雅之「宇宙流体力学」  
計算物理学研究センター研究会（1994年12月）
13. 梅村雅之「 $H_0$ と $\lambda$ , クェーサーとは何か」  
理論天文学懇談会シンポジウム（1994年12月）
14. 梅村雅之「筑波大 CP-PACS のアーキテクチャとサイエンス」  
理論天文学懇談会シンポジウム（1994年12月）
15. 梅村雅之「銀河形成論の方法論」  
計算物理学研究センターワークショップ（1995年3月）
16. 釣部通、梅村雅之、中本泰史「宇宙論的輻射輸送と天体の形成」  
日本天文学会（1995年3月）
17. 中本泰史「原始星周囲の円盤の質量増加について」  
日本天文学会（1994年5月）
18. 横野安則、中本泰史、観山正見、千葉博嗣「T Tauri 型星のフラットスペクトルを説明するモデル」  
日本天文学会（1994年5月）
19. 中本泰史「理論は天文観測と隕石研究の接着剤となれるか?— 原始惑星系円盤を中心とした星・惑星系形成の理論的研究 —」  
惑星科学夏の学校（1994年7月）
20. T. Nakamoto 「Growth of Protoplanetary Disks around Young Stellar Objects」  
宇宙科学研究所 第 27 回 Lunar and Planetary Symposium （1994年8月）
21. T. Nakamoto and Y. Nakagawa, 「Growth of Protoplanetary Disks around Young Stellar Objects」  
国際会議 "Disks and Outflows around Young Stars" in Heidelberg, Germany 1994年9月
22. 中本泰史「原始星周囲の原始惑星系円盤の非線型成長」  
日本惑星科学会（1994年10月）
23. 中本泰史、観山正見「T Tauri 型星のフラットスペクトルを説明するモデル (II)」  
日本天文学会（1994年10月）
24. 中本泰史「原始星周囲の物質分布」  
日本惑星科学会（1995年3月）