

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540242

研究課題名（和文）

高精度ハイブリッドシミュレーションで探る銀河の発生学

研究課題名（英文）

Quest for embryology of galaxies by high-resolution hybrid-simulations

研究代表者

森 正夫 (MORI MASAO)

筑波大学・大学院数理工学物質科学研究科・准教授

研究者番号：10338585

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：理論天文学・宇宙物理学・銀河形成

1. 研究計画の概要

飛躍的な観測技術や検出装置の進歩により、それまでは全く知り得なかった宇宙の深遠部で、活発な星形成の兆候を示す莫大な数の銀河が観測されている。しかしながら、そういった天体が、我々の住む現在の宇宙に存在し、ハッブル系列などで分類され研究されてきた近傍銀河とどのように関連しあっているのか？これらは非常に基本的な問いかけにもかかわらず、明確な答えを我々はもっていない。本研究では、“高赤方偏移で発見されている天体が、近傍宇宙のハッブル系列を構成する銀河の進化経路の一側面を見ているに過ぎない”という仮説を掲げ、銀河の化学力学モデル（SCDモデル）という武器を駆使して、銀河の発生について詳細な理論モデルを構築する。このような問題を取り扱う際には計算分解能が重要となる。銀河全体の重元素汚染過程を正しく計算するためには、そのサブスケールである超新星爆発の影響を力学的・熱力学的及び化学的な側面から正確に計算することが必須である。そこで、本研究では、 $2048 \times 2048 \times 2048$ 点を用いた超高精度の大規模3次元流体シミュレーションを実行し、SCDモデルによる銀河形成の理論モデルを構築する。そして、可視光、近赤外線波長による観測や、中間・遠赤外線、サブミリ波、電波、X線観測など多波長観測データを活用し、理論と観測の相互のフィードバックサイクルを活発におこないながら、銀河形成・進化の標準モデルを完成させる。

2. 研究の進捗状況

本研究により、並列計算機上で効率的に動く

自己重力多体系と自己重力流体系が混在した系のハイブリッドシミュレーションコード AFD2 を開発した。そしてそのコードを使用して 10^8 – 10^{12} 太陽質量の銀河質量のシミュレーションを行った。

我々が一般に標準的パラダイムとして信じているコールドダークマターを基本とした宇宙における階層的構造形成のシナリオでは、宇宙の初期にビルディングブロックと呼ばれる矮小銀河スケールの小さな銀河ができ、それらの銀河が次第に合体を繰り返しながらやがて大きな銀河へと成長することを示唆している。このモデルは宇宙の大規模構造などの大きな構造や銀河の統計的性質を説明する上で重要な役割を果たしてきた。その一方で、最近のワイドフィールドサーベイの観測によると、赤方偏移が1までの宇宙に限っていえば、銀河形成過程は階層的構造形成が示唆するようなボトムアップ的な進化ではなく、むしろ先に大きな銀河が出来上がり、その後で、矮小銀河が出来始めるといったトップダウンもしくは、ダウンサイジングといった構造形成の兆候が明らかにされた。

本研究では低質量銀河でかつ低密度領域から誕生するような銀河の形成過程で、超新星爆発による銀河システムへの力学的・熱力学的影響が星形成史におよぼす影響を調べ、超新星爆発によるエネルギーインプットが重力ポテンシャルの浅い矮小銀河の形成をどの程度遅延させるのかを詳細に調べた。さらに、原始銀河でのダストの存在は銀河進化の見かけに大きな影響を与えることを検証するため、上記の研究で得られた系統的な銀河進化モデルで銀河のダストの寄与を考慮し

た場合の SED を計算した。

さらに、現在の標準的な宇宙構造形成論で示唆される階層的構造形成における最も基本的な力学過程である小質量銀河が大質量銀河に衝突合体していく過程を、これまでにない高精度シミュレーションにより調べた。近傍銀河ではこのような矮小銀河の衝突過程が詳細に観測でき、原始銀河の衝突合体過程を理解する上で有意義なものとなった。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している
(理由)

すでにシミュレーションによる数多くの研究成果が積みあがってきており、初期の計画を順調に達成してきたと考えている。その研究成果の一部として、ライマンアルファエミッターが数億年の時間尺度でライマンブレイク銀河へ進化し、最終的には近傍の楕円銀河へ進化する様子を理論的に示した。この初期成果をまとめた論文により、我々のモデルの有効性と本研究課題の重要性を客観的に証明した。今後は、理論と観測の詳細な比較を行う段階に移行し、理論と観測を融合して現実的な銀河発生学の体系を作り上げる必要がある。

4. 今後の研究の推進方策

研究計画を粛々と遂行していく過程で痛感したことは、そこで得られた理論モデルを検証するためにはより詳細な観測データが必要となることである。銀河形成・進化という複雑かつ多様な物理過程を内在する問題と対峙するには、理論計算を積み重ねていくだけでは到底不十分であり、観測データとの詳細な比較検討のみならず、さらに理論モデルを検証するための観測を行う必要性が明らかになってきた。観測データを説明する理論モデルの構築、その理論の観測的検証、さらには理論モデルの修正、といったフィードバックサイクルが非常に重要であることを確信したのである。すでにシミュレーションによる数多くの研究成果が積みあがってきた今、まさに、理論と観測とを密に連携させた融合研究を行うための機が熟したといえる。そこで、これまでの研究計画を再検討・再構築した上で、観測を主たる研究手段とする研究者で卓越した研究成果を上げてきた方々と手を取り共同研究チームを結成し、この問題にチャレンジすることを決意した。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Koch, A., Rich, R. M., Reitzel, D. B., Martin, N. F., Ibata, R. A., Chapman, S. C., Majewski, S. R., Mori, M., Loh, Y.-S., Ostheimer, J. C., Tanaka, M., Kinematic and Chemical Constraints on the Formation of M31's Inner and Outer Halo, *Astrophysical Journal*, 689, 958-982 (2008), 査読有
- ② Mori, M. and Rich, M. R., The Once and Future Andromeda Stream, *Astrophysical Journal*, Vol. 674, pp. L77-L80, 2008. 査読有
- ③ Mori, M. and Umemura M., Galactic Winds from Primeval galaxies, *Astrophysics and Space Science*, 311, 111-115 (2007), 査読有
- ④ Mori, M. and Umemura M., Chemodynamics of Lyman alpha emitters, Lyman break galaxies and elliptical galaxies, *EAS Publications Series*, 24, 221-226 (2007), 査読無
- ⑤ Mori, M. and Umemura, M., The Evolution of Galaxies from Primeval Irregulars to Present-day Ellipticals, *Nature*, 440, 644-647 (2006), 査読有

[学会発表] (計 11 件)

森正夫, ALMAへの期待: 銀河の形成, 日本天文学会, 2009年3月26日, 大阪府立大学

[その他]

- ① テレビ報道
The History Channel, "The Biggest Things in Space.", 2008年3月25日午後9時, アメリカ合衆国
- ② 新聞掲載
読売新聞夕刊 2008/3/25, 朝日新聞朝刊 2006/3/30, 日本工業新聞朝刊 2006/3/30, Berliner Zeitung 2006/3/30, 産経新聞朝刊 2006/4/3, 毎日新聞夕刊 2006/4/3, 科学新聞 2006/4/7, 東京新聞朝刊 2008/3/24, 2006/6/20, 神奈川新聞朝刊 2008/3/24, 神戸新聞 2008/3/24, US Front line 2008/3/23, 共同通信、時事通信、その他。
- ③ 雑誌掲載
日経サイエンス 2006/6月号, Newton (ニュートン) 2007/12月号
- ④ 展示
ロンドン科学博物館 Science Museum London (<http://www.sciencemuseum.org.uk/antenna/galaxyformation/>)