科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２６　年　　６　月　１１　日現在

機関番号：　１２１０２
研究種目：　基盤研究(A)
研究期間：　2009～2013
課題番号：　２１２４４０１３

研究課題名（和文）理論と観測の融合による銀河発生学の探究

研究課題名（英文）Quest for galacxy embryology by linking theory and observation

研究代表者
森　正夫（MORI, Masao）

筑波大学・数理物質系・准教授

研究者番号：１０３３８５８５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　21,200,000円、（間接経費）　　6,360,000円

研究成果の概要（和文）：3次元の銀河の化学力学進化シミュレーションを駆使して、銀河の形成・進化過程を調べた。その結果、ライマンアルファ輝線天体は超新星爆発が大量に発生している原始銀河であることが分かり、しばらくすると銀河は星からの連続光が支配的となるライマンブレイク銀河へと変化することが分かった。そして、そこからのサブミリ波での表面輝度の進化過程を3次元輻射輸送シミュレーションにより調べた。観測との詳細な比較を行った。最終的に、これらの銀河の物理的特性を議論した。

研究成果の概要（英文）：Based on a three dimensional galacto chemodynamics simulation, we explore the formation and evolution of galaxies. We have suggested that Lyman alpha emitters can be identified with primordial galaxies catched in a supernova-dominated phase. After the early epoch, the simulated galaxy is dominated by stellar continuum radiation and transforms the Lyman break galaxies. Furthermore, we explore the evolution of the submillimetre brightness using the three dimensional radiative transfer in this model galaxy. We finally discuss physical relationship among these galaxies.

研究分野：　天文学

科研費の分科・細目：　天文学

キーワード：　理論天文学　銀河形成

１．研究開始当初の背景

我々人類は過去十数年の間で、我々の住む現在の宇宙とは全く異なった様相を呈する銀河誕生期の宇宙を垣間見ることが出来るようになった。宇宙望遠鏡や 8－10m クラスの地上望遠鏡等の観測機器の登場と観測技術や検出装置の飛躍的な進歩により、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。また観測分解能の向上とともに、遠方の銀河に対しても様々な物理量についてその平均化された量だけでなく、2 次元の空間分布についても多くの情報を得ることが可能になった。そしてハッブル宇宙望遠鏡によって行われたハッブル深宇宙探査をはじめとして、地上の高性能望遠鏡を用いた深宇宙の探査が精力的に行われ、現在では、赤方偏移が 7 を超える遠方原始銀河候補天体を捕らえることが出来るようになった。その結果、ライマンブレイク銀河(LBG)、ライマンアルファエミッター(LAE)やライマンアルファブロッブ(LAB)、そして、サブミリ銀河(SMG)と等々、大量の天体が発見され、銀河動物園と形容されるほどである。

それではこのような多様な特徴を持つ深宇宙の天体は、いったいどのようにお互いが関連しあっているのだろうか？あるいは関連していないのだろうか？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だろうか？これらは非常に基本的な問いかけにもかかわらず、現在までのところその明確な答えを我々はもっていない。それどころか、その理解を導くための理論的なガイドラインすら提出されてないのが現状であった。

２．研究の目的

本研究では、“高赤方偏移で発見されている様々な銀河天体が、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、本研究で開発した銀河のスペクトル・化学力学進化(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模型を構築することでこの仮説を検証する。いわば高赤方偏移天体を内包する銀河系統樹（Galactic Evolutional Tree）を作り上げることを目標とする。このような問題で物理過程を正しく扱うためには計算の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。現在、盛んに行われている SPH 法では超新星残骸のような低密度領域では計算精度を著しく喪失するため、超新星の影響を正確に計算することはできない。一方、メッシュ法ではその空間分解能が格子点数に限られてしまうため、数 10kpc の銀河を数 10pc の超新星残骸のスケールを分解しながら計算するには、少なくとも 1024^3 格子点が必要となり、大規模シミュレーションの実行が必要となる。我々は世界最大規模の高精度シミュレーションによる銀河形成の理論模型を構築し、観測データとの詳細な比較を行う。さらに観測から得られた理論の不具合を修正、理論模型の再検討を行うことにより、銀河進化模型の詳細なキャリブレーションを行う。

３．研究の方法

観測的宇宙論や銀河形成論の枠組みの中で高精度観測データを解釈する際の理論模型の多くが、1980 年台後半に確立された Arimoto & Yoshii 模型に代表される銀河の空間構造を無視し、系の一様等方性を常に仮定した伝統的１ゾーンモデルを使用してきたことにあった。銀河の化学・光学進化の 1 ゾーンモデルは、1980 年代後半から 1990 年代にかけて観測データの解釈に広く活用され、多くの有意義な研究成果を齎してきた。しかしながらハッブル宇宙望遠鏡、すばる望遠鏡等に代表される高分解能の観測機器及び検出器の進歩により、銀河の内部構造の進化の詳細について多くの情報を得ることが可能になった現在では、これまでの単純化された銀河進化模型ではせっかくの高精度観測データを活かしきれないばかりでなく、その理解には不適切となりつつある。

以上のような状況を打破するため、我々は銀河の化学・光学進化模型に力学進化を取り入れることによる理論模型の格段の精密化を実行する。その為に流体系と重力多体系が混在した系の力学的進化と、放射冷却、星形成、超新星爆発の物理過程を同時に計算し、さらに星やガスから放出される電磁波のスペクトルを計算する 3 次元のシミュレーションコードを完成させる。そして、理論と観測の融合研究へと発展させる。観測グループによって行われた HST、すばる望遠鏡等での観測データや将来の観測装置によって得られる高精度観測データと理論グループによる世界最大規模のシミュレーションによる高精度の銀河の SCD モデルを融合して、X 線、紫外線、可視光、赤外線、サブミリ波等の多波長特性を含む銀河進化の精密理論を構築する。そして、銀河形成・進化を解明する。

４．研究成果

本研究では、銀河の化学・光学進化模型に力学進化を取り入れるため、流体系と重力多体系が混在した系の力学的進化と、放射冷却、星形成、超新星爆発の物理過程を同時に計算し、さらに星やガスから放出される電磁波のスペクトルを計算する 3 次元のシミュレーションコードを作成した。これを用いて我々は銀河の理論的スペクトルエネルギーディストリビューション(SED)の時間的、空間的進化を計算する銀河のスペクトル・化学・力学進化(SCD モデル)法を完成させた。この手法

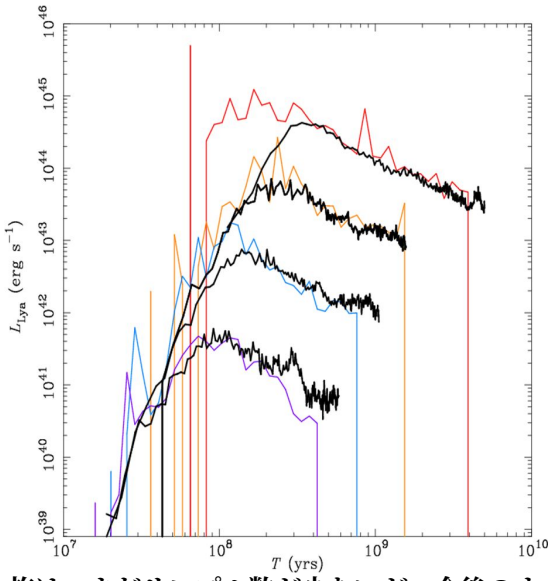
により、理論 SED と観測データとを直接比較したり、あるいは理論 SED を観測に対応する感度曲線を用いて積分することにより、等級やカラー等の情報に焼き直し、観測データと比較することを可能にした。本研究では、銀河標準進化模型を構築すべく理論シミュレーションを精力的に行った。

実際の計算は、これまでに開発してきた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 を使用する。ここでは、星やダークマターは自己重力多体系として取り扱う一方で、ガスなどの流体系に関しては AUSM-DV というメッシュ法の有限体積法をベースにしたスキームを採用している。計算コードは 3 次元流体力学に加えて、重元素量に依存した放射冷却の効果（Sutherland & Dopita 1993）とガス、星、ダークマターの自己重力、ガスから星への星形成、II 型超新星爆発及び Ia 型超新星爆発による熱エネルギーと重元素の放出の効果がインストールされている。星形成のアルゴリズムは、これまでの研究で採用されたものをそのまま使用する。超新星爆発を導入するに当たって、星の初期質量関数を仮定する必要があるが、本研究全体を通して Salpeter の初期質量関数を採用した。

超新星爆発による重元素ならびに熱エネルギーは対応する各流体格子点に源泉関数として与え、その後は流体力学及び熱力学の方程式にしたがって変化していくことになる。計算は、ダークマターの密度揺らぎが最大膨張半径に到達した赤方偏移からはじめ、そのなかで小さな密度揺らぎが成長し、やがて星を形成し、銀河を形成していく様子を調べる。このような計算により、ガスの密度分布や温度分布、重元素分布、あるいは星の質量や位相空間での分布、重元素分布などの時間変化を調べた。

また、以上のような計算で得られた結果と、実際の観測データを直接比較するため、ガスからの放射に関しては MAPPINGSIII コード (Sutherland & Dopita 1993)を使って、計算結果のガスの密度、温度、重元素量からの放射を計算し、その SED を求めた。

図はその一例で、理論的に予想されるライマンアルファ輝線放射強度の時間変化と星形成率から経験的に導いたライマンアルファ輝線放射強度の比較を示した。その結果、ラマンアルファ輝線と星形成率の間に、比例関係が成り立ち、その比例関係数が 4×10^{42} であらわせることを見出した。このライマンアルファ輝線を放出するメカニズムは衝突電離した水素原子が再結合する際に放出する光子が支配的であることが分かった。これは今までにない新しい知見であり、世界初の研究成果と言える。さらに、銀河風として原始銀河から流出する複雑なガスの流れが観測されるライマンアルファエミッターの形態をよく反映していることも示した。LAE の中でもサイズが大きく明るい LAB と呼ばれる種



族は、まだサンプル数が少ないが、今後のすばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam を駆使した広域サーベイが完成した際にはこのような天体が多数発見されるはずである。我々のモデルでは、LAE の内、質量の大きなものが LAB であり、それは大質量の楕円銀河が形成している現場であることを示唆しているが、将来の観測でその検証作業が行われるであろう。

さらに、超新星爆発によって放出された金属から生成されたダストが星形成領域からの紫外線・可視光線を吸収し赤外線を放出する過程を詳細な輻射輸送計算を行うことにより調べた。そして、高赤方偏移で多数見つかってきたサブミリ銀河とライマンアルファ輝線天体との関係性について詳細に解析した。その結果、銀河風過程の中で比較的強度の大きなダストによる赤外放射を放出する時期があり、それが赤方偏移してサブミリ波として観測されている可能性を見出した。さらに、今後の ALMA 等の観測により非常に暗い Faint SMG が大量に観測されることを理論的に予言した。

最近近傍宇宙で発見されている Local LAE(Type II LAE) と銀河と矮小銀河のマイナーマージャーとの関係性を調べた。また、ライマンアルファ輝線天体やライマンブレイク銀河、赤外銀河等の物理状態において銀河衝突が重要な役割を担っていることを担っていることから、N 体計算及び流体計算、さらにそれらのハイブリッド計算により銀河衝突過程の詳細な解析を精力的に行った。特にそれらの結果を、アンドロメダ銀河などで発見されている銀河衝突の痕跡の詳細な観測データとの比較を行い、その衝突時期や衝突過程等についての多数の知見を得ることができた。また、銀河と銀河中心超巨大ブラックホールの進化における銀河衝突の影響について詳細に調べた。

以上のようにして、理論と観測の相互のフィードバックをサイクルを徹底的に行いながら銀河進化の標準模型の構築を推し進めた。最終的に以下に示すように 30 編の学術論文および 84 回の学会報告により、広く全

世界に本研究の成果を発信してきた。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計　30 件）

[1] Shibuya, Takatoshi, Ouchi, Masami, Nakajima, Kimihiko, Hashimoto, Takuya, Ono, Yoshiaki, Rauch, Michael, Gauthier, Jean-Rene, Shimasaku, Kazuhiro, Goto, Ryosuke, Mori, Masao, and Umemura., Masayuki, What is the Physical Origin of Strong Lyα Emission? II. Gas Kinematics and Distribution of Lyα Emitters, The Astrophysical Journal, 788, 74- (2014) 10.1088/0004-637X/788/1/74 査読有

[2] Ogiya, Go, Mori, Masao, Ishiyama, Tomoaki, and Burkert, Andreas, The connection between the cusp-to-core transformation and observational universalities of DM haloes, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 440, L71-L75, (2014) 10.1093/mnrasl/slu023 査読有

[3] Kawaguchi, Toshihiro, Saito, Yuriko, Miki, Yohei, and Mori, Masao, Relics of Galaxy Merging: Observational Predictions for a Wandering Massive Black Hole and Accompanying Star Cluster in the Halo of M31, 2014, Astrophysical Journal Letters, 印刷中, 査読有

[4] Igarashi, Asuka, Mori, Masao, and Nitta, Shin-ya, A New Concept of Transonic Galactic Outflows in a Cold Dark Matter Halo with a Central Super-Massive Black Hole, 2014, JPS Conference Proceedings,印刷中,査読有

[5] Igarashi, Asuka, Mori, Masao, and Nitta, Shin-ya, Transonic galactic outflows and their influences to the chemical evolution of galaxies and intergalactic space, American Institute of Physics Conference Series, 1594, 82-87, (2014) 10.1063/1.4874049　査読有

[6] Shibuya, Takatoshi, Ouchi, Masami, Nakajima, Kimihiko, Yuma, Suraphong, Hashimoto, Takuya, Shimasaku, Kazuhiro, Mori, Masao, and Umemura, Masayuki, What is the Physical Origin of Strong Lyα Emission? I. Demographics of Lyα Emitter Structures, The Astrophysical Journal, 785, 64- (2014) 10.1088/0004-637X/785/1/64　査読有

[7] Momose, Rieko, Ouchi, Masami, Nakajima, Kimihiko, Ono, Yoshiaki, Shibuya, Takatoshi, Shimasaku, Kazuhiro, Yuma, Suraphong, Mori, Masao, and Umemura, Masayuki, Diffuse Lyman-alpha Halos around Galaxies at z=2.2-6.6: Implications for Galaxy Formation and Cosmic Reionization, 2014, Astrophysical Journal, 印刷中, 査読有

[8] Miki, Yohei, Mori, Masao, Kawaguchi, Toshihiro, and Saito, Yuriko, Hunting a Wandering Supermassive Black Hole in the M31 Halo Hermitage, The Astrophysical Journal, 783, 87- (2014) 10.1088/0004-637X/783/2/87 査読有

[9] Yuma, Suraphong, Ouchi, Masami, Drake, Alyssa B., Simpson, Chris, Shimasaku, Kazuhiro, Nakajima, Kimihiko, Ono, Yoshiaki, Momose, Rieko, Akiyama, Masayuki, Mori, Masao, and Umemura, Masayuki, First Systematic Search for Oxygen-line Blobs at High Redshift: Uncovering AGN Feedback and Star Formation Quenching, The Astrophysical Journal, 779, 53- (2013) 10.1088/0004-637X/779/1/53 査読有

[10] Kirihara, Takanobu, Miki, Yohei, and Mori, Masao, Resolving the outer density profile of dark matter halo in Andromeda galaxy, Journal of Physics Conference Series, 454, 012012- (2013) 査読有 10.1088/1742-6596/454/1/01201

[11] Tsuchiya, Masami, Mori, Masao, and Nitta, Shin-ya, Transonic solutions of isothermal galactic winds in a cold dark matter halo, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 432, 2837-2845, (2013) 査読有 10.1093/mnras/stt638

[12] Yajima, Hidenobu, Umemura, Masayuki, and Mori, Masao, Sub-millimetre brightness of early star-forming galaxies, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 420, 3381-3388, (2012)10.1111/j.1365-2966.2011.20261.x　査読有

[13] Matsuda, Y., Yamada, T., Hayashino, T., Yamauchi, R., Nakamura, Y., Morimoto, N., Ouchi, M., Ono, Y., Umemura, M., Mori, M., Diffuse Lyα haloes around Lyα emitters at z=3: do dark matter distributions determine the Lyα spatial extents?, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 425, 878-883, (2012) 査読有 10.1111/j.1365-2966.2012.21143.x

[14] Ogiya, Go and Mori, Masao, The Core-Cusp Problem in CDM Halos and Supernova Feedback, ASP Conference Proceedings, 458, 385- (2012) 査読有

[15] Miki, Y., Mori, M., Kawaguchi, T., Rich, R. M., Interaction between M31 and the Progenitor Dwarf Galaxy of the Andromeda Stellar Stream, ASP Conference Proceedings, 458, 335- (2012) 査読有
[16] Kawaguchi, Toshihiro and Mori, Masao, Near-infrared Reverberation by Dusty Clumpy Tori in Active Galactic Nuclei, The Astrophysical Journal, 737, 105- (2011) 10.1088/0004-637X/737/2/105 査読有
[17] Ogiya, Go and Mori, Masao, The Core-Cusp Problem in Cold Dark Matter Halos and Supernova Feedback: Effects of Mass Loss, The Astrophysical Journal, 736, L2- (2011) 10.1088/2041-8205/736/1/L2 査読有
[18] Matsuda, Y., Yamada, T., Hayashino, T., Yamauchi, R., Nakamura, Y., Morimoto, N., Ouchi, M., Ono, Y., Kousai, K., Nakamura, E., Horie, M., Fujii, T., Umemura, M., Mori, M., The Subaru Lya blob survey: a sample of 100 kpc Lya blobs at z= 3, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 410, L13-L17 (2011), 査読有 10.1111/j.1745-3933.2010.00969.x
[19] Kawaguchi, Toshihiro and Mori, Masao, Orientation Effects on the Inner Region of Dusty Torus of Active Galactic Nuclei, The Astrophysical Journal, 724, L183-L187, (2010) 10.1088/2041-8205/724/2/L183 査読有
[20] Yajima, Hidenobu, Umemura, Masayuki, and Mori, Masao, Ultraviolet and Infrared Radiation from Protogalaxies, American Institute of Physics Conference Series, 1294, 295-296, (2010) 10.1063/1.3518885 査読有
[21] Ogiya, Go and Mori, Masao, The core-cusp problem in Cold Dark Matter halos and supernova feedback, American Institute of Physics Conference Series, 1279, 403-405, (2010) 10.1063/1.3509326 査読有
[22] Miki, Yohei, Mori, Masao, and Michael Rich, R., Collision Tomography: the Progenitor of the Andromeda Stellar Stream and the Metallicity Gradient, American Institute of Physics Conference Series, 1279, 382-384, (2010) 10.1063/1.3509319 査読有
[23] Mori, Masao, Umemura, Masayuki, and Yajima, Hidenobu, Metal enrichment in supernova-dominated high-zgalaxies, American Institute of Physics Conference Series, 1279, 52-59, (2010) 10.1063/1.3509353 査読有
[24] Mori, Masao, Umemura, Masayuki, and Yajima, Hidenobu, A Supernova-driven Wind Model for High-z Galaxies, American Institute of Physics Conference Series, 1269, 430-432, (2010) 10.1063/1.3485191 査読有
[25] Ogiya, Go and Mori, Masao, The core-cusp problem in CDM halos and supernova feedback, American Institute of Physics Conference Series, 1269, 421-423, (2010) 10.1063/1.3485187 査読有
[26] Miki, Yohei, Mori, Masao, and Rich, R. Michael, Collision tomography: the progenitor of the Andromeda stellar stream and the metallicity gradient, American Institute of Physics Conference Series, 1269, 400-402, (2010) 10.1063/1.3485180 査読有
[27] Mori, Masao, A Supernova-driven wind model for Lyman alpha emitters, 38th COSPAR Scientific Assembly, 38, 2643- (2010) 査読無
[28] Mori, Masao, Chemical and dynamical evolution of high-z galaxies, 38th COSPAR Scientific Assembly, 38, 2381- (2010) 査読無
[29] Yajima, Hidenobu, Umemura, Masayuki, Mori, Masao, and Nakamoto, Taishi, The escape of ionizing photons from supernova-dominated primordial galaxies, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 398, 715-721, (2009) 査読有 10.1111/j.1365-2966.2009.15195.x
[30] Ohsuga, Ken, Mineshige, Shin, Mori, Masao, and Kato, Yoshiaki, Global Radiation-Magnetohydrodynamic Simulations of Black-Hole Accretion Flow and Outflow: Unified Model of Three States, Publications of the Astronomical Society of Japan, 61, L7- (2009) 10.1093/pasj/61.3.L7 査読有

〔学会発表〕(計 84 件)

[1] 澁谷隆俊, 他, "Lyα 輝線銀河の速度構造研究で探る Lyα の放射機構", 一般講演, 日本天文学会 2014 年春季年会, 国際基督教大学, 2014 年 3 月 19-22 日
[2] Igarashi A, Mori, M., Nitta S. Transonic Galactic Outflows and Their Influences to the Chemical Evolutions of Galaxies and Intergalactic Space, 12th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies. Tsukuba, Dec. 18-20, 2013
[3] Shibuya T. et al., A statistical study on galactic outflows of Lya emitters probed by velocity offsets between their Lya/UV absorption and nebular lines, Workshop on Lymann alpha as an

astrophysical tool, Stockholm, Sep. 9-13, 2013

[4] Igarashi, A., Mori, M., Nitta, S., A New Concept of Transonic Galactic Outflows in a Cold Dark Matter Halo with a Central Super-Massive Black Hole, The 12th Asia Pacific Physics Conference, Makuhari(Japan), July 14-19, 2013

[5] Ogiya, G., Mori, M., Surfing of dark matter on density waves of galactic gas -Landau resonance and the core-cusp problem in cold dark matter halos-, The Physical Link between Galaxies and their Halos, Garching by Munich (Germany), June 24-28, 2013

[6] Ogiya, G. and Mori, M., The Core-Cusp problem in Cold Dark Matter halos and Supernova feedback: Effects of Oscillation, IAP-Subaru Joint International Conference: Stellar populations across Cosmic Times, Paris, France, 25-29 June 2012

[7] Ogiya, G., and Mori, M., The Core-Cusp problem in CDM halos and supernova feedback, The 3rd Subaru International Conference, The 1st NAOJ Symposium "Galactic Archaeology - Near-Field Cosmology and the Formation of the Milky Way" (Nov 1-4, 2011, Shuzenji, Japan)

[8] Ogiya, G., and Mori, M., Dynamical response of CDM halo to mass-loss driven by supernova feedback, 4^th East Asia Numerical, Astrophysics Meeting (Nov 2-5, 2010, Taipei, Taiwan)

[9] Mori, M., Chemical and dynamical evolution of high-z galaxies, Probing the High Redshift Universe in COSPAR Scientific Assembly (18-25 July 2010, Bremen, Germany)

[10] Mori, M., Chemical and dynamical evolution of Lyman alpha emitters and Lyman break galaxies, 11th Symposium on Nuclei in the Cosmos (19-23 July 2010, Heidelberg, Germany)

[11] Mori, M., Metal Enrichment in a Supernova-dominated High-z Galaxies, Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts (19-23 April 2010, Kyoto, Japan) (Invited)

[12] Ogiya, G., and Mori, M., The Core-Cusp Problem in Cold Dark Matter Halos and Supernova Feedback, Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts (April 19-23, 2010, Kyoto)

[13] 矢島秀伸, Jun-Hwan Choi, 長峯健太郎, 梅村雅之, 森正夫「Damped Lyman Alpha Systems における星の紫外線輻射と背景輻射場の影響」日本天文学会春季年会（2010 年 3 月 24 日～27 日, 広島大学）

[14] Ogiya, G., and Mori, M., The core-cusp problem in CDM halos and supernova feedback, 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2010 (OMEG10), (Mar 8-10, 2010, Osaka, Japan)

[15] Mori, M., Yajima, H., Umemura, M., 2010, Theoretical study of dust emission from high-z starforming galaxies, Infrared Emission, ISM and Star Formation, (February 22-24, Heidelberg, Germany)

[16] 森正夫, 矢島秀伸, 梅村雅之「ライマンアルファエミッターの化学力学進化モデル II」日本天文学会秋季年会（2009 年 9 月 14 日～16 日, 山口大学, 山口）

[17] 矢島秀伸, Choi Jun-Hwan, 長峯健太郎, 梅村雅之, 森正夫「高赤方偏移銀河における電離光子脱出確率の質量依存性」日本天文学会秋季年会（2009 年 9 月 14 日～16 日, 山口大学, 山口）

[18] Mori, M., Yajima, H., Umemura, M., 2009, Formation and Evolution of Lyman-alpha Emitters, The Lyman alpha universe, (July 6-10, 2009, Paris, French)

[19] Yajima, H., Umemura, M., Mori, M., The escape of ionizing photons from high-z Lyman alpha emitters, The Lyman alpha universe, (July 6-10, 2009, Paris, French)

[20] Mori, M., Umemura, M., Evolution of Lyman-alpha Emitters, Lyman-break Galaxies and Elliptical Galaxies, OPEN PROBLEMS IN GALAXY FORMATION, (May 12-15, 2009, Potsdam, Germany)

〔その他〕
ホームページ等
http://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/Members/mmori/

６．研究組織

(1)研究代表者
森　正夫　　(MORI, Masao)
筑波大学・数理物質系・准教授
研究者番号：１０３３８５８５

(2)研究分担者
山田　亨　　(YAMADA, Toru)
東北大学・理学研究科・教授
研究者番号：９０２７１５１９

(3)研究協力者
大内　正巳　(OUCHI, Masami)
東京大学・宇宙線研究所・准教授
研究者番号：４０５９５７１６