

### III. 宇宙物理理論グループ

教授	梅村 雅之
助手	中本 泰史
研究機関研究員	佐藤 潤一
PD学振研究員	米原 厚憲
大学院生	9名

本年度、当グループスタッフは、宇宙の電離史と銀河形成、銀河中心核の輻射流体力学的進化、並びに星・惑星系の形成論を中心に研究を展開した。特に、輻射場と物質場の相互作用を自己矛盾なく扱う輻射輸送、輻射流体力学による解析を行った。

#### 【1】 宇宙論・銀河形成

##### (1) 宇宙の早期再電離過程

マイクロ波背景放射のゆらぎを精密に測定した観測衛星 WMAP によって、宇宙背景放射は宇宙再電離後の電子による Thomson 散乱を受けており、その optical depth が  $\tau_e = 0.17 \pm 0.04$  であることが示された (Spergel et al. 2003)。この結果は赤方偏移  $z \sim 20$  において宇宙再電離が進行していたことを示唆する。一方、 $z \sim 6$  で観測されている高赤方偏移クェーサーの Ly $\alpha$  forest には、IGM の中性水素による強い吸収が存在することが知られており (Becker et al. 2001)、宇宙再電離過程はこれらの観測を満たさなければならない。我々は、宇宙再電離の 3 次元輻射輸送計算によって得られた電離構造を用いて、クェーサーの Ly $\alpha$  吸収線系を生成、および Thomson 散乱の optical depth の計算を行い、これらの結果を観測データと比較することにより、紫外線背景放射強度の赤方偏移変化について次のような結果を得た。(i) 赤方偏移  $4 < z < 6$  において強度は  $I_{21} \sim 0.25$  でほぼ変化せず、(ii) 赤方偏移  $z > 14$  においては  $I_{21} > 0.1$  の紫外線放射強度が必要であり、(iii)  $z > 20$  では  $I_{21} > 1$  が必要である。以上の計算結果から高赤方偏移クェーサーと Thomson 散乱の optical depth の観測結果を満たすときでも、 $6 < z < 14$  の赤方偏移範囲における紫外線放射強度に制限は付かず、 $z \sim 10$  において宇宙が中性化した可能性も残されることがわかった (Hiroi, Umemura, & Nakamoto 2004)。

##### (2) 早期再電離宇宙における矮小銀河形成

WMAP の結果によると、宇宙は比較的早期に再電離した可能性が示唆されている。再電離は銀河の形成、特にビリアル温度が 1 万度以下の小天体の形成を紫外背景放射の加熱によって著しく阻害する。一方、WMAP も支持する  $\Lambda$ CDM 宇宙論は、銀河スケール以下の小さな構造が観測されているよりも多くできすぎるという問題、いわゆるサブストラクチャー問題を抱えている。したがって早期再電離によるサブストラクチャーの形成の阻害が定量的にどの程度であるかを押さえることは非常に重要である。我々は、3 次元輻射流体コードを用いて、比較的小さな銀河 ( $\sim 10^8 M_\odot$  以下程度) の形成を電離光子の輸送を正しく取り扱うことによって系統的に調べた。星の形成は(電離の阻害効果以外は)考えられうる限りもっとも効率よく起きると仮定した。これは、早期再電離の効果のみで最低どれくらいの阻害効果があるかを見積もるためである。その結果、質量にして  $10^8 M_\odot$  以下、または回転速度にして約 20km/s 以下の天体になるバリオン密度ゆらぎの 9 割以上は、星がほとんど誕生せずに電離によって均されてしまい銀河状の天体には発展しないことがわかった。この計算により、回転速度が約 20km/s 以下のものに関しては、基本的に  $\Lambda$ CDM のサブストラクチャー問題は解消されているという結論が得られた (Susa

& Umemura 2004)。

### (3) 原始銀河中のHII領域の進化

赤方偏移1100で一度中性化した宇宙は、赤方偏移6から20程度の間に再電離されたことが、QSO吸収線系、宇宙マイクロ波背景放射の観測などから示唆されている。この再電離を引き起こす電離源としては、原始銀河中に形成された大質量星が有力であるが、宇宙全体が電離されるためには、放射された紫外線光子が原始銀河中で吸収されずに銀河間空間まで抜け出すことが必要となる。しかし、従来の理論モデルにおいては、大質量星の形成率や質量関数に加えて、光子が銀河から抜け出す割合 (escape fraction) が大きな不定性となっていた。そこで我々は、光子の輻射輸送を取り入れた流体計算によって、原始銀河中でのHII領域の進化を直接解き、紫外線光子の escape fraction を計算した。この結果、原始銀河の質量、形成時期、大質量星の質量、などに対する光子の escape fraction の依存性がはじめて明らかになった。例えば、赤方偏移20に現われた原始銀河中に $200M_{\odot}$ の星が形成された場合、 $10^6M_{\odot}$ 以下の銀河では escape fraction は80%を越えるが、それ以上の質量の銀河では急激に減少する。さらに、このような escape fraction の振舞いは、原始銀河中での電離波面の伝搬条件を用いて半解析的に記述できることを見出し、輻射流体計算の結果を再現する解析表式を得た。これらの結果は、宇宙の再電離を理論的に解明する上で重要な意義を持つと考えられる (Kitayama et al. 2004)。

### (4) 原始銀河における多重超新星と重元素混合過程

1990年代以降行われた大規模な掃天観測の結果、重元素量が太陽の数百分の1という重元素の非常に少ない星が多数見つかった。最近では、Cristlieb et al (2002) は鉄の組成が太陽の20万分の1という極端に小さい値の巨星を発見している。このような重元素の少ない星は、銀河形成初期の元素合成や構造形成の過程を知る手がかりとなる。このような重元素の極端に少ない星は、銀河形成初期の多重超新星爆発により発生した重元素の非一様分布が原因で誕生した可能性がある。Mori, Umemura & Ferrara (2004) では、初期宇宙に原始の銀河が誕生後5000万年という初期の段階での銀河の化学力学進化を、これまでにない高分解能のシミュレーションを行って解析した ( $1024 \times 1024 \times 1024$  格子流体計算)。この計算を発展させ、我々は宇宙項を考慮した平坦な宇宙で赤方偏移が7で誕生した矮小銀河が合体を繰り返しながら、大質量銀河へと進化していく様子をシミュレートした。原始銀河内で星が誕生し、やがて超新星爆発を起こすと、矮小銀河内のガスが激しくかき乱され、多数の泡状の構造が形成されている。また、超新星によって放出された重元素はガスの密度の小さい泡構造の内部に蓄積され、それを取り囲む高密度のガス殻では重元素の量は少なくなっている。それは、この部分はもともと重元素を含まない原始のガスが爆発によって掃き集められたものであるからである。銀河形成の極めて初期では、まだ銀河内の空間全体を均一に汚染するほどの超新星が発生していないために、星間ガスの化学進化の度合が異なる。

### (5) 重力レンズ・ガンマ線バーストによる第一世代星の検出法

最近の観測により、ガンマ線バースト (GRB) の少なくとも一部は大質量星の崩壊によって起こることが明らかになった。一方、第一世代星形成理論によって、第一世代星として、GRBを起こせるような大質量星が形成されることが予想されていることから、第一世代星の一部はGRBを起こしたことが期待される。宇宙で最も明るい現象であるGRBは、スペクトルの性質から高赤方偏移でもあまり暗くならないため、第一世代星を検出するためには最も都合の良い天体現象であると言えることができる。GRBの赤方偏移を決定する方法はこれまでもいくつか提案されてきたが、いずれも第一世代星形成期のような高赤方偏移に適用することについて

は、困難や疑問が残っている。そこで、我々は赤方偏移10以上で形成されたとされる第一世代星を検出する手段として、GRBが受ける重力レンズ効果を利用する方法を提案した。第一世代星がGRBを起こした時、別の第一世代星によって重力レンズ効果を受けたとすれば、そのGRBの光度変動曲線は1st imageの光度曲線と、それに対して遅れてやって来る2nd imageの光度曲線との重ねあわせとして観測されることになる。この2つの光度曲線の時間差を知ることができれば、レンズ天体の質量と赤方偏移とを推定することができる。実際のGRB光度曲線の時間分解能と継続時間を考えると、sourceが大質量の第一世代星であり、それが赤方偏移10以上にあった場合に、この時間差を検出できる可能性が高くなる。我々は、光度曲線の上でcross-correlationを計算することにより、この時間差を検出し、赤方偏移を推定することが可能であることを示した。また、この方法を公開されているBATSEの光度曲線データに対して実際に適用した。

## 【2】銀河中心核の進化

### (1) 円盤銀河中心の巨大ブラックホール形成

近年の高精度分光観測から銀河中心の巨大ブラックホール質量は銀河バルジ（楕円銀河）の質量に比例し、その0.2%程度であることが報告されている（e.g., Kormendy & Richstone 1995）。加えて、最近の観測から円盤銀河のブラックホール質量は楕円銀河のブラックホール質量よりかなり小さいことが示唆されている（Salucci et al. 2000; Sarzi et al. 2000）。この観測事実を説明する理由として、定性的には系の幾何学的効果が指摘されてきた（Umemura 2001）が、定量的にはまだ明らかになっていない。そこで我々は、これまで我々が提唱してきた輻射抵抗モデル（Umemura 2001; Kawakatu & Umemura 2002）に基づき、円盤銀河のブラックホール質量が小さくなっている物理的成因を解明することを目指した。そのために、輻射抵抗モデルを現実的な回転則、密度分布を持った銀河バルジと銀河円盤で構成される系に対して適応し、銀河形態と輻射抵抗による角運動量輸送効率との関係を調べた。その結果として、円盤銀河は楕円銀河よりも輻射抵抗の効率が1/10程度下がることが明らかになった。これは、次の2つの効果によるものである。1つは幾何学的効果のために大半の輻射が系外へ逃げる効果、もう1つは光学的に厚い円盤に系内の輻射が吸収される効果である。また、円盤銀河においてブラックホール質量とバルジ質量との比を調べたところ、質量比は0.1%程度となることも分かった。このことから、銀河中心のブラックホール形成に対し、円盤成分はほとんど寄与せず、基本的にバルジ成分だけで決まることが明らかになった（Kawakatu & Umemura 2004）。これは、観測で示唆される結果とも一致している。さらに、同じ理由から扁平度の大きいバルジ成分ほどブラックホール質量とバルジ質量との質量比は小さくなることが予想される。

### (2) 矮小銀河における巨大ブラックホール形成

銀河中心の巨大ブラックホール質量は銀河バルジ（楕円銀河）の質量に比例し、その0.2%程度になっているという関係が報告されているが、この比例関係が確かめられているのは、観測装置の制約から比較的質量の大きいバルジのみに限られている。したがって、矮小楕円銀河においてもこのブラックホール質量とバルジ質量との比例関係が成り立つかどうか明らかになっていない。加えて、矮小楕円銀河は普通の楕円銀河に比べて金属量の分散が大きい（ $\approx 0.01 - 0.5 Z_{\odot}$ ）ことが明らかになってきた。さらに、銀河団中の矮小楕円銀河は金属量と扁平度により強い相関があることが示唆されている（Barazza & Binggeli 2003）。そこで、我々は矮小銀河中での巨大ブラックホール形成に関して、「輻射抵抗モデル」に基づき、矮小楕円銀河の持つ性質の多様性がブラックホール質量に与える影響を調べた。これにより、矮小楕円銀河の質量スケールま

でこの比例関係が成り立つのかどうかを定量的に解析した。結果として矮小楕円銀河において、ブラックホールとバルジの質量比は母銀河の金属量が少ないほど小さく、その質量比は最大で普通の楕円銀河の場合の1/10程度になることが分かった。そのため、矮小楕円銀河においてこの比例関係は成り立たなくなり、かつその分散は大きくなることが分かった。これは、輻射抵抗の効率が銀河の光学的厚み、つまり銀河の持つ金属量に強く依存することが主な原因である。さらに、ブラックホールとバルジの質量比は、母銀河の扁平度と負の相関が強く現れることが期待される。

### (3) 爆発的星形成活動による Obscuring Clouds の形成

これまで活動銀河中心核 (AGN) のタイプの違いは、AGN 周囲にダストトールスを仮定し、これを見込む角度の違いによるとする AGN 統一モデルによって理解されてきた。ところが近年の観測によって、2型セイファートは選択的に爆発的星形成を伴う割合が多いなど、これまでの統一モデルの枠内では理解しきれない事実が分かってきた。そこで、我々は AGN 周囲の starburst-driven superbubbles から放出された dusty gas clouds の運動を計算し、clouds の AGN 遮蔽への寄与を解析した。特に AGN だけでなく爆発的星形成領域による輻射圧の効果に注目し、clouds の非弾性衝突によるサイズ変化および光学的厚みの変化を考慮に入れ、運動方程式を解いた。その結果、爆発的星形成活動が起こり始めてから  $10^7$  yr 程度の初期段階では、dusty gas clouds は輻射圧によって加速されることが分かった。 $\sim 2 \times 10^7$  yr になると衝突によって光学的厚みの高い clouds が形成され、輻射圧が弱まることから落下し始める。衝突によって成長した clouds の光学的厚みは数 10 となって遮蔽に寄与していることが分かった。このような clouds による AGN 遮蔽は、最大で 20% 程度になることがわかった (Watabe & Umemura 2004)。

## 【3】 星・惑星系形成過程の研究

### (1) 原始星と T Tauri 型星の構造の推定：スペクトルを用いた手法の開発と応用

太陽のような星は、分子雲コアと呼ばれる星間雲内の高密度部分が重力収縮することによって形成されると考えられている。中心に中心星、その周囲に原始惑星系円盤が形成されると考えられるが、母胎となった分子雲コアがまだ周囲に残っている段階の天体は原始星として観測され、周囲のガスがなくなった天体が T Tauri 型星として認識されると考えられている。これらの天体の進化過程を調べることは、星・惑星系形成過程の初期段階を調べることに相当する。原始星は厚いガスで覆われているため、一般にその構造を調べることは容易ではない。私たちは、スペクトルを用いてその構造を解明するための手法を開発した (Nakazato, Nakamoto, & Umemura 2003)。そしてこれまでに、約 10 個の天体の構造の推定を行った。その結果、原始星の周囲 (エンベロープ) の質量と原始星中心部 (原始惑星系円盤) の質量の比が、原始惑星系円盤の質量の増加と共に減少していることが見出された。これは、原始星の形成や進化の仕方と関連していると思われる。しかしその詳細はまだ不明であり、今後のさらなる検討が必要である。

### (2) コンドリュール形成過程の解明

中心星の周囲には原始惑星系円盤も同時に形成され、惑星形成に向けた過程が着々と進行していると考えられている。中でもコンドリュールと呼ばれる大きさ 1mm 程の球粒の形成過程は、原始惑星系円盤の段階で普遍的に起こっていると思われる過程でありながら不明な点の多い過程の一つである。私たちはこれまで、原始惑星系円盤中に生じた衝撃波によりコンドリュールが形成されたとする「衝撃波加熱コンドリュール形成モデル」を提案している。それによれば、適当な性質を持つ衝撃波が存在すれば、観測されているようなコンドリュールが形成され得る

ことがわかってきた。そこで私たちはモデルの精度をさらに向上させ、コンドリュールが持つ様々な性質が衝撃波加熱モデルによって説明出来るかどうかを調べた。コンドリュールは、数十ミクロンから1ミリ程度までの比較的狭い範囲のサイズを持つことが大きな特徴の一つである。私たちは、最小サイズが加熱時の蒸発によって決まる可能性について検討した。その結果、大きさの異なるダスト粒子では蒸発率が異なり、小さいものほど早く蒸発・消滅するため、残るものの最小サイズが決まると考えられることがわかった (Miura & Nakamoto 2004)。また一方、衝撃波後面においては部分熔融しているダストに対して高速気流が大きな動圧を及ぼすため、液体部のはぎ取りが起こることが考えられる。この過程に対して線型解を求めて調べた結果、あるサイズ以上のダストからは液体部のはぎ取りが起こると予想された。そして、もっともらしい衝撃波の強さを用いると、予想される最大サイズは実際のコンドリュールの最大サイズとほぼ一致することがわかった。さらには、コンドリュールを形成するのに適当な衝撃波があるかどうかという点についても検討を行い、衝撃波の発生機構や原始惑星系円盤の状態、ダスト量などについてもいくつかの推測を行った (Nakamoto & Miura 2004, Nakamoto et al. 2004)。

### (3) 星周ダストの結晶化機構

最近、様々な星周環境において、結晶化しているダストが発見されてきた。それらの環境には、post-AGB星、Herbig Ae/Be星、T Tauri型星、ベガ型星、そして、彗星などが含まれている。一般に星間雲中のダストはアモルファスであることが知られているので、これらの星周環境のダストは何らかの過程によってアモルファスダストが結晶化したものだと考えられる。しかし、その結晶化機構はまだ明らかになっていない。私たちは、星周ダスト内の衝撃波によるダスト加熱(衝撃波加熱)によって、アモルファスダストが結晶化される可能性について調べた。そして、適当な衝撃波が存在すれば、ダストの結晶化が可能であることを明らかにした。実際、いくつかの星周環境ではそのような衝撃波が存在し得ることもわかった (Nakamoto & Miura 2004)。

## 【4】 3次元輻射流体力学の推進

輻射は、宇宙現象の大部分においてエネルギー収支を司っていると同時に、ある場合には運動量輸送の担い手として重要な役割を演じる。輻射は3次元空間の各点において方向2次元、振動数1次元の自由度を持つため、輻射を正確に取り扱うためには6次元の自由度で光子の分布関数を求めなければならない。光子の分布関数の変化を記述する式はローレンツ変換された光子のボルツマン方程式であり、これは“輻射輸送方程式”と呼ばれる。宇宙現象の本質的な解明には、流体方程式、自己重力、輻射輸送方程式を組み合わせた宇宙輻射流体力学の計算が必要である。これまでは自己重力及び輻射輸送方程式の計算量の膨大さから、これらをすべて採り入れた計算は困難であった。我々は、素粒子物理学、計算機工学の研究者らと共に平成9年から14年にかけて計算物理学研究センターが推進した未来開拓推進事業の中で、異機種結合多重計算機システム (HMCS: Heterogeneous Multi-Computer System) を構築し、 $N^2$  ( $N$  は全粒子数または格子数) のコストのかかる自己重力計算を重力計算専用機 GRAPE-6によって高速に処理し、6次元問題である輻射輸送を汎用並列計算機 (e.g. CP-PACS) によって解き上げることを可能にした。そして、このHMCSの上で動く自己重力輻射SPHのスキームを開発し、銀河形成問題に適用した。

<科研費採択状況>

基盤研究(B)(2)：梅村 雅之(代表者)

第一世代天体形成の包括的研究 (170万円)

若手研究(B)：中本 泰史(代表者)

原始太陽系星雲中の衝撃波によるコンドリュール形成過程の研究 (80万円)

特別研究員奨励費：米原 厚憲(代表者)

重力レンズで探る銀河・クエーサーの宇宙論的進化 (120万円)

<非常勤講師>

梅村 雅之：千葉大学，平成15年12月18日-平成15年12月22日

<論文>

1. N. Kawakatu, M. Umemura, and M. Mori  
Proto-Quasars: Physical States and Observable Properties  
*Astrophysical Journal*, **583**, 85-91 (2003)
2. T. Nakazato, T. Nakamoto, and M. Umemura  
A Spectrophotometric Method to Determine the Inclination of Class I Objects  
*Astrophysical Journal*, **583**, 322-329 (2003)
3. S. S. Fujita, M. Ajiki, Y. Shioya, T. Nagao, T. Murayama, Y. Taniguchi, S. Okamura, M. Ouchi, K. Shimasaku, M. Doi, H. Furusawa, M. Hamabe, M. Kimura, Y. Komiyama, M. Miyazaki, S. Miyazaki, F. Nakata, M. Sekiguchi, M. Yagi, N. Yasuda, Y. Matsuda, H. Tamura, T. Hayashino, K. Kodaira, H. Karoji, T. Yamada, K. Ohta, and M. Umemura  
A Search for Lyman $\alpha$  Emitters at Redshift 3.7  
*Astronomical Journal*, **125**, 13-31 (2003)
4. K. Kodaira, Y. Taniguchi, N. Kashikawa, N. Kaifu, H. Ando, H. Karoji, M. Ajiki, M. Akiyama, K. Aoki, M. Doi, S. S. Fujita, H. Furusawa, T. Hayashino, M. Imanishi, F. Iwamuro, M. Iye, K. S. Kawabata, N. Kobayashi, T. Kodama, Y. Komiyama, G. Kosugi, Y. Matsuda, S. Miyazaki, Y. Mizumoto, K. Motohara, T. Murayama, T. Nagao, K. Nariai, K. Ohta, Y. Ohyama, S. Okamura, M. Ouchi, T. Sasaki, K. Sekiguchi, K. Shimasaku, Y. Shioya, T. Takata, H. Tamura, H. Terada, M. Umemura, T. Usuda, M. Yagi, T. Yamada, and N. Yasuda  
The Discovery of Two Lyman $\alpha$  Emitters Beyond Redshift 6 in the Subaru Deep Field  
*Publ. Astron. Soc. Japan Letters*, **55**, 17-21 (2003)
5. A. Yonehara, M. Umemura, and H. Susa  
QSO Microlensing — Direct Probe to Substructures around Galaxies —  
*Publ. Astron. Soc. Japan*, **55**, 1059-1078 (2003)
6. H. Susa and M. Umemura

- Formation of Dwarf Galaxies during the Cosmic Reionization  
*Astrophysical Journal*, **600**, 1-16 (2004)
7. N. Kawakatu and M. Umemura  
Why are Massive Black Holes Small in Disk Galaxies ?  
*Astrophysical Journal Letters*, **601**, L21-L24 (2004)
  8. M. Uesugi, M. Sekiya, and T. Nakamoto  
Deformation and Internal Flow of a Chondrule-Precursor Molten Sphere in a Shocked Nebular Gas  
*Earth, Planets and Space*, **55**, 493-507 (2003)
  9. M. Sekiya, M. Uesugi, and T. Nakamoto  
Flow in a Liquid Sphere Moving with a Hypersonic Velocity in a Rarefied Gas — An Analytic Solution of the Linearized Equations —  
*Progress of Theoretical Physics*, **109**, 717-728 (2003)
  10. A. Yonehara, S. Mineshige, Y. Takei, G. Chartas, and E.L. Turner  
A New Method to Map Flares in Quasars  
*The Astrophysical Journal*, **594**, 107-115 (2003)
  11. A. Yonehara, S. Mineshige, Y. Takei, G. Chartas, and E.L. Turner  
A method to map quasar flares via gravitational lensing  
*Astronomische Nachrichten*, **325**, 258-258 (2004)
  12. M. Mori, M. Umemura, and A. Ferrara  
Multiple SN Explosions in a Forming Galaxy  
*Publ. of the Astron. Society of Australia*, in press (2004)
  13. H. Susa and M. Umemura  
Effects of Early Cosmic Reionization on the Substructure Problem in Galactic Halos  
*Astrophysical Journal Letters*, in press (2004)
  14. T. Kitayama, N. Yoshida, H. Susa, and M. Umemura  
The Structure and Evolution of Early Cosmological HII Regions  
*Astrophysical Journal*, in press (2004)
  15. M. Mori, M. Umemura, and A. Ferrara  
An Origin of Ly $\alpha$  Blobs: Early Galaxy Evolution by Multiple Supernovae  
*Astrophysical Journal Letters*, submitted (2004)
  16. J. Sato, M. Umemura, K. Sawada and S. Matsuyama  
Gas Stripping by Radiation Drag from an Interstellar Cloud  
*Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, submitted (2004)
  17. H. Miura, and T. Nakamoto  
A Shock-Wave Heating Model for Chondrule Formation: Minimum Size of Chondrule Precursors Surviving Evaporation in Postshock Region

- Icarus*, submitted (2004)
18. K. Hiroi, M. Umemura, and T. Nakamoto  
Reionization History from  $z = 25$  to  $z = 4$   
*Astrophysical Journal Letters*, submitted (2004)
  19. Y. Watabe and M. Umemura  
Obscuration of Active Galactic Nuclei by Circumnuclear Starbursts  
*Astrophysical Journal*, submitted (2004)
  20. T. Nakamoto & H. Miura  
Crystallization of Silicates in Circumstellar Environments by Shock Waves  
*Astrophysical Journal Letters*, submitted (2003)
  21. 朴 泰祐, 佐藤 三久, 小沼 賢治, 牧野 淳一郎, 須佐 元, 高橋 大介, 梅村 雅之  
HMCS-G: グリッド環境における計算宇宙物理のためのハイブリッド計算システム”, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム, **44**, SIG11 (ACS 3), 1-13 (2003)
  22. H. Susa and M. Umemura  
A Simulation of Galaxy Formation by Radiation-SPH  
IAU Symposium No. 208, *Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations*, 323-330 (2003)
  23. T. Kitayama, H. Susa, M. Umemura, and S. Ikeuchi  
Radiation-Hydrodynamical Simulations of Primordial Galaxy Formation in the UV Background  
IAU Symposium No. 208, *Astrophysical Supercomputing using Particle Simulations*, 417-418 (2003)
  24. N. Kawakatu and M. Umemura  
Radiation-Hydrodynamic Formation of Massive Black Hole  
IAU Joint Discussion 11, *Dynamics and Evolution of Dense Stellar Systems*, 19 (2003)
  25. M. Umemura, and N. Kawakatu  
A New Picture of QSO Formation  
*The 8th IAU Asian-Pacific Regional Meeting*, 363-366 (2003)  
A. Yonehara, M. Umemura, and H. Susa  
Towards Direct Detection of Substructure around Galaxies – Quasar Mesolensing  
*The 8th IAU Asian-Pacific Regional Meeting*, 469-472 (2003)
  26. M. Mori, M. Umemura, and A. Ferrara  
Multiple Supernova Explosions in a Forming Galaxy  
IAU Symposium No. 217, *Recycling Intergalactic and Interstellar Matter*, 148-149 (2003)
  27. N. Kawakatu and M. Umemura  
Quasar Formation; Coevolution of Bulge to Nucleus  
IAU Symposium No. 216, *Maps of the Cosmos*, 55-56 (2003)



28. K. Hiroi, M. Umemura, and T. Nakamoto  
 Constraints on Cosmic Reionization from High-Z QSO Spectra  
 IAU Symposium No. 216, *Maps of the Cosmos*, 208-209 (2003)
29. A. Yonehara, M. Umemura, and H. Susa  
 Quasar Mesolensing as a Probe of CDM Substructures  
 IAU Symposium No. 220, *Dark Matter in Galaxies*, 106-107 (2003)
30. T. Boku, M. Sato, K. Onuma, J. Makino, H. Susa, D. Takahashi, M. Umemura, and A. Ukawa  
 HMCS-G : Grid Enabled Hybrid Computing System for Computational Astrophysics  
 Proceedings of Grid and Advanced Network (GAN'03) in CCGrid2003, 558-565 (2003)
31. M. Umemura, T. Nakamoto, and H. Susa  
 The Epoch of Cosmic Reionization  
*Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescopes*, Japan-German Seminar 2002, 77-82 (2004)
32. H. Susa and M. Umemura  
 Galaxy Formation in the Presence of Ultraviolet Background Radiation Field — A Simulation by Radiation-SPH —  
*Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescopes*, Japan-German Seminar 2002, 83-86 (2004)
33. K. Ohsuga and M. Umemura  
 Radiative Effects in the Circumnuclear Region of Active Galaxies  
*Studies of Galaxies in the Young Universe with New Generation Telescopes*, Japan-German Seminar 2002, 95-98 (2004)
34. M. Umemura, N. Kawakatu, J. Sato, and M. Mori  
 A Coevolution Scheme for Supermassive Black Holes and Galactic Bulges  
*Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes*, in press (2004)
35. N. Kawakatu and M. Umemura  
 Formation of Massive Black Holes in Globular Clusters  
*Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes*, in press (2004)
36. M. Umemura  
 Indicators for GRBs at  $z > 10$   
*New Horizon of Gamma-Ray Burst Astronomy*, in press (2004)
37. N. Kawakatu, M. Umemura, and M. Mori  
 QSO Formation under Coevolution of SMBH and Bulge  
 IAU Symposium No. 222, *The Interplay among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei* (Eds. Th. Storchi Bergmann, L.C. Ho & H.R. Schmitt), in press (2004)
38. Y. Watabe and M. Umemura

- Formation of Obscuring Clouds by Circumnuclear Starburst  
 IAU Symposium No. 222, *The Interplay among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei* (Eds. Th. Storchi Bergmann, L.C. Ho & H.R. Schmitt), in press (2004)
39. T. Nakamoto & H. Miura  
 Collisional Destruction of Chondrules in Shock Waves and Inferred Dust to Gas Mass Ratio  
*Lunar and Planetary Science Conference* **35**, 1847, (2004)
  40. T. Nakamoto, N. T. Kita, S. Tachibana, & M. R. Hayashi  
 X-Ray Flare Induced Shock Waves and Chondrule Formation in Upper Solar Nebula  
*Lunar and Planetary Science Conference* **35**, 1821, (2004)
  41. S. Tachibana, G. R. Huss, H. Miura, & T. Nakamoto  
 Evaporation and Accompanying Isotopic Fractionation of Sulfur from Fe-S Melt During Shock Wave Heating  
*Lunar and Planetary Science Conference* **35**, 1549, (2004)
  42. T. Nakamoto & H. Miura  
 Crystallization of Silicate Particles by Shock Waves  
*Highlights of Astronomy*, in press (2004)
  43. T. Nakamoto & H. Miura  
 Crystallization of Silicate Particles around AGB Stars by Shock Waves  
*Astrophysics of Dust* (Edited by Adolf N. Witt), in press (2004)
  44. T. Nakazato, T. Nakamoto, & M. Umemura  
 A New Method to Estimate the Inclination of Class I Objects  
*IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, ASP Conference Series* **289**, 185-186 (2003)
  45. T. Nakamoto, N. T. Kita, & S. Tachibana  
 History of Chondrule Forming Heating Events Inferred from Chondrule Age Distribution  
*ISAS Lunar and Planetary Symposium* **36**, 45-48, (2003)
  46. K. Hayashi, T. Nakamoto, & G. Igarashi  
 Radiative Equilibrium Calculations with Anisotropic Scattering for a Circumstellar Disk of a T Tauri Star  
*ISAS Lunar and Planetary Symposium* **36**, 9-12, (2003)
  47. H. Miura, and T. Nakamoto  
 A Shock-Wave Heating Model for Chondrule Formation: Peak Temperature of Precursor Particles and High Ambient Gas Pressure  
*IAU 8th Asian-Pacific Regional Meeting, ASP Conference Series*, **289**, 169-170 (2003)
  48. H. Miura, and T. Nakamoto  
 Chondrule Radius and Evaporate Fraction in Viewpoint of Shock-Wave Heating Model  
*Geochimica et Cosmochimica Acta*, **67**, 18S, A295 (2003)
  49. H. Miura, and T. Nakamoto

Minimum Radius of Chondrules Formed through the Shock-Wave Heating Events  
Astrophysics of Dust (Edited by Adolf N. Witt), in press (2004)

50. H. Miura, and T. Nakamoto

Explanation for Minimum Size of Chondrules by Shock-Wave Heating Model  
Proceedings of the 36th ISAS Lunar and Planetary Symposium, 41-44 (2003)

51. H. Miura, and T. Nakamoto

Crystallization of Silicates in Circumstellar Environments by Shock Waves  
Proceedings of The 23th Grain Formation Workshop, in press (2004)

52. H. Miura, and T. Nakamoto

Dust Size Distribution in Solar Nebula inferred from Shock-Wave Heating Model for Chondrule Formation  
35th Lunar and Planetary Science Conference, Abstract #1612 (2004)

<著書>

「天文の事典」磯部秀三他編集（朝倉書店），第IV章7節「太陽系の起源」，pp.384 - 399

<座長>

日本天文学会 春季年会 「星・惑星形成」セッション，2004年3月，名古屋大学

<依頼セミナー講演等>

1. 三浦均，中本泰史

「原始惑星系衝撃波によるダスト粒子の熱力学的進化」  
系外惑星系セミナー（2003年5月，宇宙科学研究所，神奈川）

2. 三浦均，中本泰史

「衝撃波加熱コンドリュール形成モデル：コンドリュールのサイズ分布」  
新潟大学セミナー（2003年7月，新潟大学，新潟）

3. 梅村雅之

「銀河形成問題の最前線と課題」  
天文・天体物理若手の会夏の学校（2003年8月，休暇村岩手，岩手）

4. 中本泰史

「輻射輸送計算によるYSOの研究：大規模シミュレーションはいかにして天文学に貢献できるか」  
天文・天体物理若手の会夏の学校（2003年8月，休暇村岩手，岩手）

5. 廣居久美子

「紫外線背景輻射の強度進化と宇宙再電離時期」  
立教大コロキウム（2003年10月，立教大，東京）

6. 川勝望

「銀河中心の超巨大ブラックホール形成」

早稲田大学前田研セミナー (2003年11月, 早稲田大, 東京)

7. 梅村雅之

「宇宙の構造形成」

第4回21世紀COEセミナー (2004年3月, 東北大学, 仙台)

8. 米原厚憲

「Gravitational lens study of galactic structures through multiple quasars」

北海道大学宇宙物理研究室コロキウム (2004年3月, 北海道大学, 札幌)

<講演>

1. T. Nakamoto & H. Miura

「Crystallization of Silicate Particles around AGB Stars by Shock Waves」

Astrophysics of Dust (2003年5月, Colorado, USA)

2. 三浦均, 中本泰史

「Minimum Radius of Chondrules Formed through the Shock-Wave Heating Events」

Astrophysics of Dust (2003年5月, Estes Park, Colorado, アメリカ)

3. 林和樹, 中本泰史, 五十嵐丈二

「原始星の輻射平衡計算における非等方散乱の影響」

地球惑星関連学会合同大会 (2003年5月, 幕張, 千葉)

4. 米原厚憲, 嶺重慎, 竹井洋, G. Chartas, E.L. Turner

「A Method to Map Flares in Quasar via Gravitational Lensing」

国際会議「IAU General Assembly, Joint Discussion 9: Astrotomography」(2003年7月, Sydney Convention and Exhibition Centre, シドニー, オーストラリア)

5. 米原厚憲, 梅村雅之, 須佐元

「Quasar Mesolensing as a Probe of CDM Substructures」

国際会議「IAU Symposium 220: Dark Matter in Galaxies」(2003年7月, Sydney Convention and Exhibition Centre, シドニー, オーストラリア)

6. 廣居久美子, 梅村雅之, 中本泰史

「Constraints on cosmic reionization from high-z QSO spectra」

国際会議「IAU Symposium 216: Maps of the Cosmos」(2003年7月, Sydney Convention and Exhibition Centre, シドニー, オーストラリア)

7. T. Nakamoto & H. Miura

「Crystallization of Silicate Particles by Shock Waves」

IAU General Assembly Joint Discussion 14 "Formation of Cometary Material" (2003年7月, Sydney, Australia)

8. 佐藤潤一, 澤田 恵介, 松山 新吾, 大西 直文

「近接連星系における降着円盤の輻射輸送を伴った3次元流体シミュレーション」

日本流体学会年会 (2003年7月, 工学院大学, 東京)

9. 中本泰史, 木多紀子, 橋省吾  
「年代分布から推定されるコンドリュール形成加熱史」  
第36回月・惑星シンポジウム (2003年8月, 宇宙科学研究所, 神奈川)
10. 林和樹, 中本泰史, 五十嵐丈二  
「非等方散乱を考慮したTタウリ型星ディスクの輻射平衡計算」  
第36回月・惑星シンポジウム (2003年8月, 宇宙科学研究所, 神奈川)
11. 三浦均, 中本泰史  
「衝撃波加熱コンドリュール形成モデル: サイズ分布下限値の解釈」  
第36回月・惑星シンポジウム (2003年8月, 宇宙科学研究所, 神奈川)
12. 梅村雅之  
「Strategy for Japan-Italy Seminar」  
第一世代銀河の形成 ミニワークショップ (2003年9月, 新潟大学, 新潟)
13. 中本泰史  
「Reionization of Universe: 3D Radiative Transfer Simulations」  
第一世代銀河の形成 ミニワークショップ (2003年9月, 新潟大学, 新潟)
14. 川勝望, 梅村雅之  
「Why are Massive Black Holes Small in Disk Galaxies?」  
第一世代銀河の形成 ミニワークショップ (2003年9月, 新潟大学, 新潟)
15. 中本泰史  
「原始惑星系円盤の進化: 微惑星形成までの道のり」  
NRO Workshop「ALMA時代のサイエンスと研究推進体制」(2003年9月, 国立天文台, 東京)
16. 佐藤 潤一, 澤田 恵介, 大西 直文  
「Radiation Hydrodynamic Calculation of an Accretion Disc」  
Japan-Russia Seminar on Turbulence and Instabilities (2003年9月, 東京工業大学, 東京)
17. S. Tachibana, T. Nakamoto, & N. T. Kita  
「Mg/Si fractionation of chondrules: heating energy input rate and physical separation rate」  
Goldschmidt Conference (2003年9月, Kurashiki, Japan)
18. T. Nakamoto, M. Umemura, H. Susa, & K. Hiroi  
「Multiple Wave Front Method for Parallelization on Massively Parallel Processors」  
Numerical methods for multidimensional radiative transfer problems (2003年9月, Heidelberg, Germany)
19. 中里剛, 中本泰史  
「おうし座分子雲中の原始星の性質1: First Results」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
20. 加藤貴昭, 中本泰史  
「高速気流中の液滴の安定性解析」

- 日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
21. 林和樹, 中本泰史, 五十嵐丈二  
「非等方散乱を考慮した星周円盤の輻射平衡計算: ダストサイズの推定を目指して」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  22. 三浦均, 中本泰史  
「コンドライト隕石中のコンドリュール含有割合と平均サイズの関係: 衝撃波加熱モデルによる解釈」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  23. 米原厚憲, 清水一紘, 川勝望  
「銀河中心のブラックホールは重力レンズ現象で検出できるか?」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  24. 米原厚憲, 嶺重慎, 竹井洋, G. Chartas, E.L. Turner  
「クェーサーの光度変動源を空間的にマッピングする方法」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  25. 川勝望, 梅村雅之  
「円盤銀河中の巨大ブラックホールはなぜ小さいのか?」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  26. 廣居久美子, 梅村雅之, 中本泰史  
「紫外線背景輻射の強度変化と宇宙再電離過程」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  27. 渡部靖之, 梅村雅之  
「爆発的星形成活動を伴うAGNを遮蔽するガス雲の力学」  
日本天文学会 (2003年9月, 愛媛大学, 松山)
  28. 三浦均, 中本泰史  
「Chondrule Radius and Evaporate Fraction in Viewpoint of Shock-Wave Heating Model」  
13th V. M. Goldschmidt Conference (2003年9月, 倉敷作陽大学, 岡山)
  29. 中本泰史, 三浦均  
「彗星内シリケートダストの結晶化: 原始太陽系星雲内の衝撃波による加熱結晶化」  
日本惑星科学会 (2003年10月, 大阪市立大学学術情報総合センター, 大阪)
  30. 林和樹, 中本泰史, 五十嵐丈二  
「非等方散乱を考慮した輻射平衡計算に基づく星周円盤内のダストサイズの推定」  
日本惑星科学会 (2003年10月, 大阪市立大学学術情報総合センター, 大阪)
  31. 佐藤潤一, 中本泰史, 三浦均  
「非圧縮SPHコードを用いた液滴の変形と分裂のシミュレーション」  
日本惑星科学会 (2003年10月, 大阪市立大学学術情報総合センター, 大阪)
  32. 三浦均, 中本泰史

「衝撃波によるコンドリュール形成効率とコンドリュール平均サイズの関係」  
日本惑星科学会（2003年10月，大阪市立大学学術情報総合センター，大阪）

33. 梅村雅之，川勝望，佐藤潤一，森正夫  
「A Coevolution Scheme for Supermassive Black Holes and Galactic Bulges」  
国際会議「Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes」（2003年10月，京都市国際交流会館，京都）
34. 川勝望，梅村雅之，  
「Formation of Massive Black Holes in Globular Clusters」  
国際会議「Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes」（2003年10月，京都市国際交流会館，京都）
35. 米原厚憲，清水一紘，川勝望  
「Can we detect massive black hole in galaxies via gravitational lensing ?」  
国際会議「Stellar-Mass, Intermediate-Mass, and Supermassive Black Holes」（2003年10月，京都市国際交流会館，京都）
36. 米原厚憲  
「Quasar Mesolensing as a Probe to Substructures around Galaxies」  
国際会議「East Asian Young Astronomers Meeting 2003」（2003年11月，Tienlai Spring Resort，台北，台湾）
37. 三浦均，中本泰史  
「星周環境における衝撃波によるシリケートダストの結晶化」  
Grain Formation Workshop（2003年11月，ぐんま天文台，群馬）
38. T. Nakazato & T. Nakamoto  
「Spectral Modeling of Protostars Associated with Taurus Molecular Cloud」  
East Asian Young Astronomers Meeting 2003（2003年11月，台湾）
39. 中里剛，中本泰史  
「おうし座領域に付随する原始星の構造推定」  
星の形成と進化に関する研究会（2003年12月，熱海，静岡）
40. M. Umemura  
「First Gamma Ray Bursts」  
日本学術振興会日伊セミナー「Formation of the First Generation of Galaxies; Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios」（2003年12月，新潟大学，新潟）
41. T. Nakamoto, M. Umemura, & K. Hiroi  
「Numerical Simulations for Reionization of the Universe」  
日本学術振興会日伊セミナー「Formation of the First Generation of Galaxies; Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios」（2003年12月，新潟大学，新潟）
42. 米原厚憲，平下博之，P. Richter  
「Chromatic Feature between Multiple Images of Lensed Quasars」

- 日本学術振興会日伊セミナー「Formation of the First Generation of Galaxies; Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios」(2003年12月, 新潟大学, 新潟)
43. 佐藤 潤一, 梅村 雅之  
「A Simulation on Gas Stripping via Radiation Drag from an Interstellar Cloud」  
日本学術振興会日伊セミナー「Formation of the First Generation of Galaxies; Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios」(2003年12月, 新潟大学, 新潟)
44. 川勝望, 梅村雅之  
「Why Massive Black Holes are Small in Disk Galaxies?」  
日本学術振興会日伊セミナー「Formation of the First Generation of Galaxies; Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios」(2003年12月, 新潟大学, 新潟)
45. 廣居久美子, 梅村雅之, 中本泰史  
「Constraint on Cosmic Reioniation from High-z QSO Spectra」  
日本学術振興会日伊セミナー「Formation of the First Generation of Galaxies; Strategy for the Observational Corroboration of Physical Scenarios」(2003年12月, 新潟大学, 新潟)
46. 中本泰史  
「原始惑星系円盤ダスト学」  
SPICA で狙うサイエンス研究会 (2003年12月, 国立天文台, 東京)
47. 中本泰史  
「原始惑星系ガス円盤の構造と進化」  
光赤外将来計画WG 惑星系班 検討会 (2003年12月, 国立天文台, 東京)
48. 梅村雅之  
「銀河形成」(招待講演)  
第16回理論天文学懇談会シンポジウム (2004年1月, 京都大学基礎物理学研究所, 京都)
49. 米原厚憲, 平下博之, P. Richter  
「重力レンズを受けたクエーサーの色の違いの起源は何か?」  
第16回理論天文学懇談会シンポジウム (2004年1月, 京都大学基礎物理学研究所, 京都)
50. 佐藤 潤一, 梅村 雅之, 澤田 恵介, 松山 新吾  
「銀河バルジ中心超巨大ブラックホールの起源-輻射抵抗による星間ガスからのガスの剥ぎ取りと角運動量損失のシミュレーション-」  
第16回理論天文学懇談会シンポジウム (2004年1月, 京都大学基礎物理学研究所, 京都)
51. 川勝望, 梅村雅之  
「超巨大ブラックホール形成-銀河バルジ質量比の起源」  
第16回理論天文学懇談会シンポジウム (2004年1月, 京都大学基礎物理学研究所, 京都)
52. 三浦均, 中本泰史  
「コンドリュールサイズ分布の起源: 衝撃波加熱モデルによる解釈」  
第16回理論天文学懇談会シンポジウム (2004年1月, 京都大学基礎物理学研究所, 京都)
53. 廣居久美子, 梅村雅之, 中本泰史



「宇宙再電離の起源」

第16回理論天文学懇談会シンポジウム (2004年1月, 京都大学基礎物理学研究所, 京都)

54. 川勝望, 梅村雅之

「原始クェーサーの探査: 巨大ブラックホール形成過程の解明」

ミリ波・サブミリ波で拓く深宇宙-ALMA時代の宇宙論- (2004年1月, 国立天文台, 東京)

55. 川勝望, 梅村雅之, 森正夫

「QSO Formation under Coevolution of SMBH and Bulge」

国際会議「IAU Symposium No.222, The Interplay Among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei」(2004年3月, グラマド, ブラジル)

56. 渡部靖之, 梅村雅之

「Formation of Obscuring Clouds by Circumnuclear Starburst」

国際会議「IAU Symposium No.222, The Interplay Among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei」(2004年3月, グラマド, ブラジル)

57. 中本泰史, 三浦均

「コンドリュール形成時の衝突破壊率とそれから推定されるダスト/ガス比」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

58. 中里剛, 中本泰史

「おうし座分子雲中の原始星の性質 2: 星周構造の進化と Class 0 天体の物理的意味」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

59. 川勝望, 梅村雅之

「矮小銀河における巨大ブラックホール形成」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

60. 三浦均, 中本泰史

「コンドリュールサイズ分布から推測される原始太陽系星雲内部のダストサイズ分布」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

61. 廣居久美子, 梅村雅之, 中本泰史

「Double Reionizationは可能か?」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

62. 広瀬意育, 梅村雅之, 佐藤潤一, 米原厚憲

「重力レンズ・ガンマ線バーストによる第一世代星の検出法」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

63. 渡部靖之, 梅村雅之

「爆発的星形成活動による Obscuring Clouds の形成」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

64. 加藤貴昭, 中本泰史

「高速気流中の液滴内部の固体コアの運動」

日本天文学会 (2004年3月, 名古屋大学, 名古屋)

65. 米原厚憲, 平下博之, P. Richter  
「多重像を持つクェーサーの色の違い：吸収か？マイクロレンズ効果か？」  
日本天文学会（2004年3月，名古屋大学，名古屋）
66. T. Nakamoto & H. Miura  
「Collisional Destruction of Chondrules in Shock Waves and Inferred Dust to Gas Mass Ratio」  
Lunar and Planetary Science Conference（2004年3月，ヒューストン，USA）
67. T. Nakamoto, N. T. Kita, S. Tachibana, & M. R. Hayashi  
「X-Ray Flare Induced Shock Waves and Chondrule Formation in Upper Solar Nebula」  
Lunar and Planetary Science Conference（2004年3月，ヒューストン，USA）
68. S. Tachibana, G. Huss, H. Miura, & T. Nakamoto  
「Evaporation and Accompanied Isotopic Fractionation of Sulfer from Fe-S Melt during Shock Wave Heating」  
Lunar and Planetary Science Conference（2004年3月，ヒューストン，USA）
69. 三浦均, 中本泰史  
「Dust Size Distribution in Solar Nebula Inferred from Shock-Wave Heating Model for Chondrule Formation」  
35th Lunar and Planetary Science Conference（2004年3月，South Shore Harbour Resort & Conference Center, League City TX, USA）