

## III-2. 宇宙・原子核物理研究部門

### III-2-1 宇宙分野

#### 1. 構成メンバ

教授	梅村 雅之
准教授	森 正夫
講師	吉川 耕司
准教授	岡本 崇 (HPCI 戦略プログラム)
助教	川勝 望 (理数学生応援プロジェクト)
研究員	谷川 衝 (科研費基盤 S)
	行方 大輔 (科研費基盤 S)
	川口 俊宏 (科研費基盤 A)
	石山 智明 (HPCI 戦略プログラム)
	長谷川 賢二 (HPCI 戦略プログラム)
	Alexander Wagner (センター)
大学院生	9 名
4 年生	7 名

#### 【1】 概要

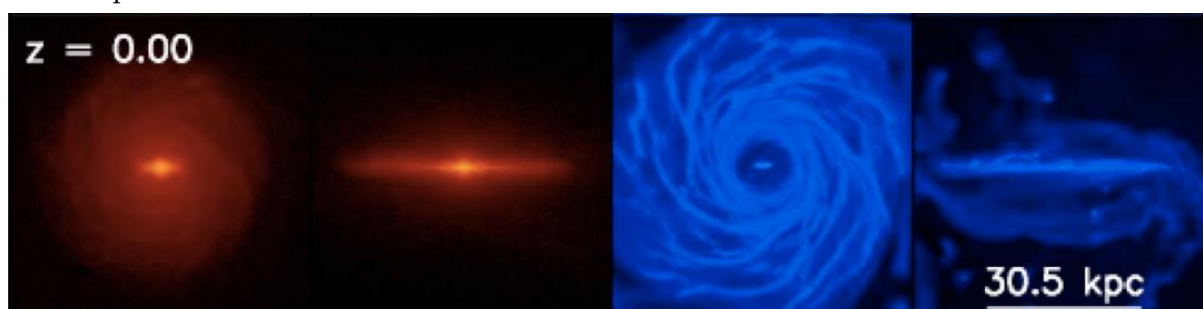
本年度、当グループスタッフは、FIRST プロジェクトを推し進めると共に、FIRST、T2K-Tsukuba を用いて、宇宙論的銀河形成シミュレーション、粒子法輻射流体による宇宙再電離シミュレーション、メッシュ流体用高速輻射輸送計算、大質量ブラックホール多体系におけるブラックホールの合体成長、ダークマターハローの内部構造：コアカusp問題、アンドロメダの涙とさざめき、銀河系中心領域の特異な物理環境が分子雲形成に与える影響、6 次元 Vlasov 方程式による自己重力系数値シミュレーションの研究を行った。さらに、AVX 命令版 Phantom-GRAPE の開発、HA-PACS に向けたアプリケーションの開発、「京」を用いた銀河形成シミュレーションを行った。また、宇宙・生命・物性・原子核分野連携で星間空間における光誘起 L 型アミノ酸過剰の理論的研究を行った。

また、プレ戦略イニシアティブ「アクセラレータによる銀河輻射流体力学の幕開け」（代表者森正夫）の継続が採択され、輻射流体力学実現のための演算加速器を搭載した並列計算機システム構築を開始し、プロトタイプ制作を行った。

## 【2】 研究成果

### (1) 宇宙論的銀河形成シミュレーション

ガスの冷却や星形成、超新星爆発等の物理過程を取り入れた宇宙論的銀河形成シミュレーションを用いて以下のような研究を行った (i) 遠方宇宙の星形成銀河であるライマンアルファエミッターやサブミリ波で明るく輝くサブミリ銀河の物理的性質を明らかにした (Shimizu et al. 2012ab). (ii) 銀河系サイズの銀河を高分解能な宇宙論的シミュレーションで形成し、衛星銀河の性質を調べた。その結果、光度関数を再現すると、シミュレーションで得られた力学的質量が実際のそれよりも大きくなることが明らかになった。これは CDM モデルそのものに問題があるか、現在のシミュレーションではバリオンがダークハローの構造に与える影響を適切に評価できていないことを示唆する (Parry et al. 2012). (iii) 同様のシミュレーションを用いて銀河系バルジの形成について調べ、擬バルジと呼ばれる構造が今まで考えられていたような円盤の永年進化ではなく高赤方偏移の爆発的星形成で形成されるという新しい描像を提案した (Okamoto 2012). また、様々なグループ間での銀河形成モデルを比較するプロジェクトにも参加した (Scannapieco et al. 2012).



### (2) 粒子法輻射流体による宇宙再電離シミュレーション

宇宙は赤方偏移  $z=1000$  程度で一度中性化し、その後形成された天体からの輻射によって再び電離したと考えられている。クエーサー吸収線系を利用した観測(e.g., Fan et al. 2006)では、 $z=6$  程度ではすでに宇宙は高度に電離している事が示されているが、この宇宙再電離過程がいつ始まり、どのように進んだかは未だ明らかではない。

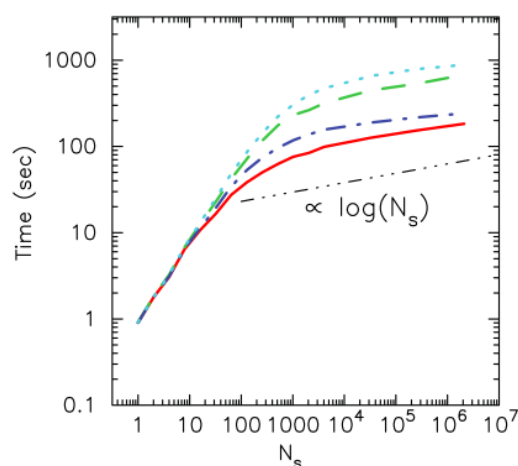
宇宙再電離史を解き明かすには、銀河間空間への電離光子供給源である天体の形成史とそれに伴う電離領域の進化過程を同時に計算する必要があるが、この天体形成史自体に輻射性フィードバックが影響を及ぼす為、輻射流体計算が必要となる。このような計算では、多くの放射源を取り扱う必要がある為、非常に膨大な計算コストが要求される。そこで、我々は独自に開発したツリー構造を用いて高速に輻射輸送計算を行えるスキーム START (SPH with Tree-based Accelerated Radiative Transfer) (Hasegawa & Umemura 2010)を宇宙論的輻射流体計算に対応できるように拡張し、これを用いて宇宙再電離シミュレーションを行った(Hasegawa & Semelin in prep.).

シミュレーションの結果、宇宙の星形成史は主に光加熱効果によって著しく阻害される事が分

かった。この星形成の阻害は、低質量ハロー内のみならず $\sim 10^{10}$  太陽質量の大質量ハロー内でさえも顕著に起こる。得られた結果は、 $z=6-7$  での中性水素割合を特異な仮定をする事なく再現するが、一方でトムソン散乱に対する光学的厚みは WMAP 衛星の観測結果よりも小さな値を示した。この結果は、今回のシミュレーションでは分解できていない第一世代天体からの紫外線やブラックホールからの X 線などの輻射が宇宙初期での再電離史に強く寄与した事を示唆する。

### (3) メッシュ流体用高速輻射輸送計算

メッシュ法を用いた輻射流体シミュレーションを高速に行うために、メッシュ上で効率良く輻射輸送を解くコード ARGOT (Okamoto et al. 2012) を開発した。粒子法用に開発された START と同様に Tree 構造を用いて遠方の光源を見込み角によってまとめることにより、光源数  $N_s$  を  $\log(N_s)$  に減らすことにより輻射輸送計算を高速化する。また問題によっては輻射輸送を解くメッシュも粗視化することによりさらなる並列化を行う。現在、京のような大規模並列計算機で効率良く動作するように並列化アルゴリズムの見直しを行なっている。



### (4) 大質量ブラックホール多体系におけるブラックホールの合体成長

銀河中心には  $10^6$  から  $10^9$  太陽質量の巨大ブラックホールが存在するが、その起源は明らかにされていない。冷たいダークマターモデルに基づく階層的銀河形成シナリオでは、銀河はより小さな銀河の合体によって形成されるため、合体後の銀河には複数の巨大ブラックホールが存在することになるが、これは銀河中心に巨大ブラックホールが一つ存在するという観測事実と合致しない。我々は1つの銀河の中に取り込まれた複数の巨大ブラックホールがどのように進化するかを、宇宙シミュレータ FIRST を用いた高精度N体計算によってシミュレートした。その結果、銀河に取り込まれた巨大ブラックホールは星との力学的摩擦によって銀河中心に落ちて行き、ブラックホール3体相互作用の効率が増し、結果としてブラックホールの連続的合体成長によって中心に一つの巨大ブラックホールが形成されることを明らかにした。これは、FIRST を1年近く占有して得られた成果である。

### (5) ダークマターハローの内部構造：コア-カスプ問題

宇宙の構造形成のパラダイム、コールドダークマター(CDM)シナリオは、N体シミュレーションによるとダークマター(DM)ハロー中心部で質量密度が発散する(カスプ)構造を予言する (Navarro, Frenk & White 1997; Fukushige & Makino 1997)。しかし、その観測結果によると、

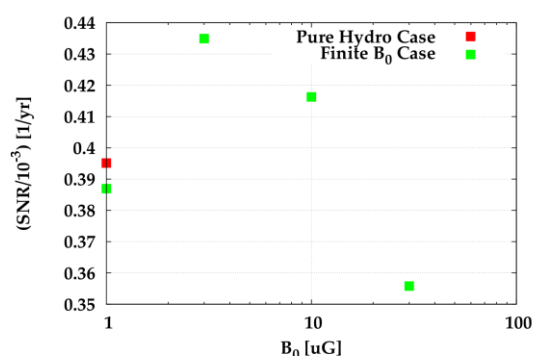
矮小銀河の密度は中心部で発散せず、一定となる(コア)ことが報告されている (Swaters et al. 2003; Spekkens et al. 2005; Oh et al. 2010)。この理論と観測の不一致は"コア-カスプ問題"と呼ばれ、CDM シナリオの未解決問題の一つである。今回我々は、"超新星爆発により矮小銀河内のガスが加熱・膨張し、やがて放射冷却・収縮が起こり再び星形成が起こる、という一連の過程の繰り返しの重力場変動によりカスプがコアへと遷移するか"を N 体シミュレーションを用いて調べた。ここでバリオンの重力場は周期的に時間変化する外場によって表現した。その結果バリオンの重力場変動の時間スケールに依存して DM ハローに形成されるコアの大きさや位置が大きく変化する事がわかった。また、DM ハローの粒子群と外場間で起こる共鳴的な現象に対する解析的なモデルを構築した。

### (6) アンドロメダの涙とさざめき

近年、ハッブル宇宙望遠鏡やすばる望遠鏡に代表される地上大型望遠鏡を最大限活用した近傍の深宇宙探査により、現在も続く銀河進化の過程を垣間見ることができるようになってきた。アンドロメダ銀河においては、SDSS 等の観測によって、おびただしい数の暗い矮小銀河が発見されるとともに、それら矮小銀河の衝突によるものと思われるステラーストリームやステラーシェルの痕跡が続々と明らかにされてきている。特にアンドロメダの涙(アンドロメダストリーム)に関しては、観測・理論の両面からの研究が進展してきており、銀河衝突の際の軌道運動やその時期、衝突した銀河の質量や化学組成等について理解が進んできている。我々は、N 体計算と 3 次元の流体力学計算を組み合わせたハイブリッドシミュレーションにより、アンドロメダ銀河の円盤ガスと矮小銀河に付随するガスの流体力学的な相互作用の詳細について調べた。に、銀河円盤ガスと矮小銀河ガスの相互作用により発生する銀河円盤ガスの流体力学的な挙動と、アンドロメダの円盤ガスで観測されているリング状構造の生成過程について議論した。

### (7) 銀河系中心領域の特異な物理環境が分子雲形成に与える影響

銀河系中心領域(ここでは、銀河系中心から半径で 600 光年以内とする)は、太陽系が存在する銀河系円盤部とはかなり異なった物理環境(星間磁場や星間輻射場の大きさ、宇宙線強度やシア率等)にあることが観測的に知られている。物理環境の違いが星形成サイトである分子雲の形成過程に与える影響を調べるため、本研究では特に磁場の役割に注目して、銀河系中心領域の分子雲形成の 3 次元磁気流体シミュレーションを行った。その結果、磁場によって超新星爆発によるガスの鉛直持ち上げ効果が抑制され、星形成率が磁場なしの場合に比べ大きくなるような磁場強度範囲があることがわかった。



図：超新星爆発率(星形成率の指標)の初期磁場強度への依存性。

#### (8) 6次元 Vlasov 方程式による自己重力系数値シミュレーション

6次元位相空間上での無衝突ボルツマン(Vlasov)方程式を直接数値的に解くことによって無衝突自己重力系の数値シミュレーションを行うことに世界で初めて成功した。また、この手法を宇宙論的な共動座標系に拡張することによって宇宙の大規模構造形成のシミュレーションにも適用することが可能になった。位相空間をモンテカルロ的にサンプリングする N 体計算による数値シミュレーションと異なり、位相空間上の物質分布を連続体として計算するため、(i)人工的な二体緩和の影響を受けない、(ii)物理量がショットノイズで汚染されない、などのメリットがある。特に、無衝突減衰などの従来の N 体シミュレーションが苦手としてきた速度空間の物質分布に強く依存する物理過程を正確に解くことができるため、宇宙大規模構造形成におけるニュートリノダンピングなどの計算に応用できると期待される。

#### (9) AVX 命令版 Phantom-GRAPE (吉川)

2011年にリリースされた Intel の新型プロセッサ Sandy-Bridge で新たに実装された SIMD (Single-Instruction-Multi-Datan)命令である Advanced Vector eXtension (AVX)命令セットを用いた、重力多体数値計算ライブラリ Phantom-GRAPE を開発し、これまでの SIMD 命令である Streaming SIMD Extension (SSE)命令セットを用いたものよりもより高速な演算を実現した。Phantom-GRAPE は、4次エルミート積分を軌道計算に用いる高精度な衝突系重力多体用と、銀河や銀河団などの無衝突系用の 2種類を開発し、Google Code で公開してある。

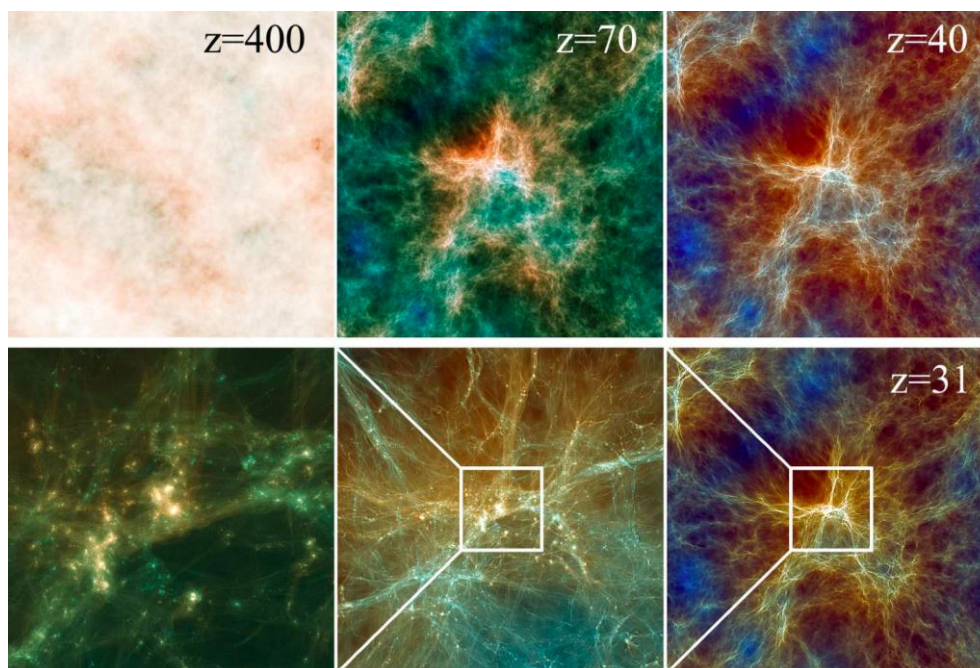
#### (10) HA-PACS に向けたアプリケーション開発

2012年から運用を開始した筑波大学計算科学研究センターの新型スーパーコンピュータ HA-PACS での実行を念頭に置いた宇宙物理分野での数値シミュレーションのアプリケーション開発を行った。HA-PACS は 8 コアの Sandy Bridge を 2 ソケットと 4 基の GPU (M2090) を一つの計算ノードに搭載しており、このようなシステムで高い性能を発揮できるアプリケーションとして、衝突系自己重力多体計算と輻射流体計算を選定した。前者については以前の GRAPE システムの役割を GPU に担わせることで、これまでの数値シミュレーションの延長線上でさらに粒子数を増やすことでより現実的な星団の数値シミュレーションを実行することが可能である。後者については、主に計算コストの大きな輻射輸送部分の計算を GPU で実行することで、輻射輸送計算と流体力学計算をカップルさせて計算することが可能になると期待される。これらのアプリケーションについて HA-PACS の試験運用期間を利用して、コード開発及び性能評価を行った。

#### (11) 「京」を用いた銀河形成シミュレーション

ダークマターの密度ゆらぎが重力崩壊してできるハローと呼ばれる構造は、合体を繰り返しよ

り大きなハローを形成し、その中で初代星や銀河などの天体を形成する。本研究の目的は大規模シミュレーションにより、このプロセスを最小のハローを正しく解いた上で追跡することで、その後の天体形成に多大な影響を及ぼす、ハローの構造形成メカニズムを理解することである。また太陽近傍のダークマターの微細構造を解明し、ダークマターの検出可能性について議論する。これは 2012 年度半ばに本運用が開始される「京」のグランドチャレンジの一つである。そのため 2011 年度は、まずシミュレーションコードの「京」上でのチューニングを進め、数万ノード上で 40~50%の実行効率を達成した。そして 2012 年度に行う予定の本ランに向けて粒子数  $2560^3$  のテストシミュレーションを行った



## (12) 星間空間における光誘起 L 型アミノ酸過剰の理論的研究 (宇宙・生命・物性・原子核分野連携)

生命体の基本分子にアミノ酸があるが、実験室でアミノ酸を作成すると、左巻き (L 型) と右巻き (D 型) が同量生成される。しかし、地球上の生命のアミノ酸を調べるとほとんど L 型しか使われていない。これを、鏡像異性体過剰という。鏡像異性体過剰は、19 世紀のパスツール以来 100 年以上にわたって謎になっている。地球上の生命体はなぜ L 型アミノ酸しか使わないのか、宇宙生物学ではその起源が宇宙空間にあると考えている。1969 年、オーストラリアのマーチソン村に隕石が落下し、その隕石からアミノ酸が検出された。そして、わずかではあるが鏡像異性体過剰が発見されたのである。2010 年には、超高温の隕石からアミノ酸が発見され、隕石のアミノ酸は地球に大気圏通過の際に変成することなく落下することが分かった。発見された鏡像異性体過剰はわずかなものであるが、実験をすると鏡像異性体過剰は急速に増大することが分かってきた。よって、アミノ酸の鏡像異性体過剰が宇宙空間で起こり隕石を通じて地球に運ばれ、それが地上で急速に増幅した可能性がある。また、実験室で円偏光の光を当てる

と鏡像異性体過剰が引き起こされることが分かってきた。そして、近年になって、オリオン座の星形成領域(OMC-1)で円偏光波が発見された。よって、原始系の近くで大質量星が誕生したとすれば、太陽系内でアミノ酸の鏡像異性体過剰が起こった可能性がある。現在のところ宇宙空間ではアミノ酸前駆体しか観測されていないが、将来アミノ酸そのものが観測される期待もある。

以上の事実を背景に、宇宙空間で円偏光波からアミノ酸の鏡像異性体過剰を引き起こす過程についての量子多体計算を進めている。我々は、まず光吸収とアミノ酸の光励起による崩壊・改変反応の過程を解析した。第一原理計算により、真空中におけるアミノ酸の最安定構造を求め、その光吸収性と円偏光二色性の値を求めた。その結果、アミノ酸の光物性はその種の特徴となる側鎖よりアミノ酸全体に共通する主鎖の構造により強く依存し、波長帯としてライマン  $\alpha$  帯が重要であることを明らかにした。さらに、D 型アミノ酸が光分解を起こす励起状態を突き止め、その解離ポテンシャルと解離反応経路を同定した。

#### 【計算科学研究センター内異分野間連携】

星間空間円偏光波による L 型アミノ酸過剰の研究において、宇宙・生命・物性・原子核分野連携を行い、2012 年日本天文学会春季年会にて成果発表を行った。（地球惑星科学連合大会（2012 年 5 月）においても発表予定。）

#### 【社会貢献】

##### 1. 日本天文学会公開講演会／全国同時七夕講演会

「宇宙探求への道」

2011 年 7 月 3 日(日) 14:00-17:00（つくば国際会議場エポカル）

##### 2. 日本天文学会 2011 年春季年会 記者会見

2011 年 6 月 13 日(月) 14-16 時（国立天文台） 梅村雅之，谷川衝

「合体で巨大化するブラックホール

—高精度シミュレーションが解き明かす巨大ブラックホールの謎—」

##### 3. 第 12 回 林忠四郎記念講演会

2012 年 1 月 17 日(火) 15:30-18:00（筑波大学 大学会館 国際会議室）

##### 4. SSH 生徒研究発表会 2011（神戸国際展示場，神戸市）

2011 年 8 月 10 日～12 日 川勝望

SSH 指定校の高校生に対して、理数学生応援プロジェクトの広報を行った。

##### 5. 春の進学説明会・模擬授業 2012（筑波大学 東京キャンパス文京校舎，文京区）

2012 年 3 月 28 日～30 日 川勝望

理数学生応援プロジェクト参加学生による研究発表のポスター展示とプログラムの説明を行った。

## 【競争的資金獲得状況】

### <代表者>

- ・基盤研究（S）：梅村 雅之（代表者）（継続）  
「第一世代天体から原始銀河に至る宇宙暗黒時代の解明」（1,240 万円）
- ・基盤研究（A）：森 正夫（代表者）（継続）  
「理論と観測の融合による銀河発生学の探求」（560 万円）
- ・挑戦的萌芽研究：吉川 耕司（代表者）（継続）  
「6次元ボルツマン方程式による自己重力系の数値シミュレーション」（90 万円）
- ・プレ戦略イニシアティブ：森 正夫（代表者）（新規）  
「アクセラレータによる銀河輻射流体力学の幕開け」（500 万円）
- ・研究活動スタート支援：川勝 望（代表者）（新規）  
「多階層連結モデルによる超巨大ブラックホール形成と進化の解明」（133 万円）

### <分担者>

- ・基盤研究（A）：梅村雅之（分担者）（代表者：大内正巳）（新規）  
「次世代大規模探査とシミュレーションで挑む宇宙再電離」（2.5 万円）
- ・基盤研究（A）：森 正夫（分担者）（代表者：大内正巳）（新規）  
「次世代大規模探査とシミュレーションで挑む宇宙再電離」（2.5 万円）
- ・基盤研究（C）：川口 俊宏（分担者）（代表者：峰崎 岳夫）（継続）  
「活動銀河核多波長モニターデータベースと活動銀河核変光・放射機構の研究」（10 万円）
- ・挑戦的萌芽研究：川勝 望（分担者）（代表者：長尾透）（新規）  
「宇宙の「生きた化石」：現在の宇宙に潜む進化最初期の銀河と巨大ブラックホールの探査」  
（15 万円）

## 【学位論文】

### <修士論文>

#### 1. 遠藤 圭介

銀河中心ブラックホールからの輻射力による星間ダストガス雲の力学進化

#### 2. 田中 賢

GPU を用いた輻射輸送方程式数値シミュレーション



<学士論文>

1. 大塚 拓也  
星の種族合成モデルを用いたブルーコンパクト矮小銀河の星形成史の解析
2. 大山 裕介  
無衝突ボルツマン方程式を用いた球対称ダークマターハローの数値計算
3. 桐原 崇亘  
Numerical simulations of the Andromeda stellar stream
4. 鈴木 裕行  
原始銀河形成の流体シミュレーション
5. 柳本 万智子  
シュバルツシルト時空中の力学
6. 山井 勇樹  
原始銀河ガス雲におけるブラックホールの力学進化
7. 我妻 徹  
アンドロメダ銀河の質量に関する研究

【論文】

Refereed Papers

1. Akahori, T., Yoshikawa, K., 2011, Non-Equilibrium Ionization State and Two-Temperature Structure in the Bullet Cluster 1E0657-56, Populations, Publ. Astron. Soc. Japan, in press
2. Doi, A., Nagira, H., Kawakatu, N., Kino, M., Nagai, H., Asada, K., Radio Galaxies in narrow-line Seyfert 1 galaxies, *Astrophysical Journal*, submitted
3. Godet, O., Plazolles, B., Kawaguchi, T., Lasota, J.-P., Barret, D., Farrell, S., Braito, V., Servillat, M., Webb, N., Gehrels, N. Investigating slim disk solutions for HLX-1 in ESO 243-49, *Astrophysical Journal*, in press (arXiv:1204.3461)
4. Hartquist, T. W., Wagner, A. Y., Falle, S. A. E. G., Pittard, J. M., & Van Loo, S. 2011, Cosmic rays and radiative instabilities, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 82, 836-841
5. Ito, H., Kino, M., Kawakatu, N., Yamada, S., 2011, Evolution of Non-Thermal Emission from Shell Associated with AGN Jets, *Astrophysical Journal*, 270, 120-131
6. Kawaguchi, T., Mori, M. 2011, Near-Infrared Reverberation by Dusty Clumpy Tori in Active Galactic Nuclei, *Astrophysical Journal*, 737, 105-119

7. Kawakatu, N., Ohsuga, K. 2011, New Method for Exploring Super-Eddington AGNs by Near-infrared Observations, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417, 2562-2570
8. Kino, M. , Kawakatu, N. , Takahara, F., 2012, Calorimetry of AGN jets: Testing Plasma Composition in Cygnus A, *Astrophysical Journal*, in press
9. 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., 2011, The Subaru Ly $\alpha$  blob survey: a sample of 100-kpc Ly $\alpha$  blobs at  $z=3$ , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 410, L13-L17
10. Matsui, H., Saitoh, T. R., Makino, J., Wada, K., Tomisaka, K., Kokubo, E., Daisaka, H., Okamoto, T., and Yoshida, N., 2012, Origin of Multiple Nuclei in Ultraluminous Infrared Galaxies, *Astrophysical Journal*, 746, 26
11. Miki, Y., Mori, M., Kawaguchi, T., Saito, Y., Rich, M. 2012, Hunting a Wandering Black Hole in M31 Halo: Hermitage of Black Hole, *Astrophysical Journal Letters*, submitted
12. Miki, Y., Takahashi, D., Mori, M., 2012, A Fast Implementation and Performance Analysis of Collisionless N-body Code Based on GPGPU, *International Conference on Computational Science, ICCS 2012*, in press
13. Namekata, D., Habe, A., 2011, Evolution of a Nuclear Gas Disk and Gas Supply to the Galactic Center. I. Migration of Massive Gas Clumps, *Astrophysical Journal*, 731, 57-74
14. Ogiya, G., and Mori, M., 2011, The Core-Cusp Problem in Cold Dark Matter Halos and Supernova Feedback: Effects of Mass Loss, *Astrophysical Journal Letters*, 736, L2(5pp)
15. Okamoto, T., Yoshikawa, K., and Umemura, M., 2012, ARGOT: accelerated radiative transfer on grids using oct-tree, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 2855-2866
16. Okamoto, T., 2012, The origin of pseudobulges in cosmological simulations of galaxy formation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, submitted (arXiv:1203.5372)
17. Parry, O. H., Eke, V. R., Frenk, C. S., and Okamoto, T., 2012, The baryons in the Milky Way satellites, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419, 3304-3318
18. Prokhorov, D. A., Dubois, Y., Nagataki, S., Akahori, T., Yoshikawa, K., 2011, Unveiling the 3D temperature structure of galaxy clusters by means of the thermal Sunyaev-Zel'dovich effect, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415, 2505-2512
19. Prokhorov, D. A., Colafrancesco, S., Akahori, T., Yoshikawa, K., Nagataki, S., Seon, K.-I., 2011, Can electron distribution functions be derived through the Sunyaev-Zel'dovich

- effect?, *Astronomy & Astrophysics*, 529, A39
20. Prokhorov, D. A., Colafrancesco, S., Akahori, T., Million, E. T., Nagataki, S., Yoshikawa, K., 2011, A high-frequency study of the Sunyaev-Zel'dovich effect morphology in galaxy clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 416, 302-310
  21. Scannapieco, C., Wadepuhl, M., Parry, O. H., Navarro, J. F., Jenkins, A., Springel, V., Teyssier, R., Carlson, E., Couchman, H. M. P., Crain, R. A., Dalla Vecchia, C., Frenk, C. S., Kobayashi, C., Monaco, P., Murante, G., Okamoto, T., Quinn, T., Schaye, J., Stinson, G. S., Theuns, T., Wadsley, J., White, S. D. M., and Woods, R., 2011, The Aquila comparison Project: The Effects of Feedback and Numerical Methods on Simulations of Galaxy Formation”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, submitted (arXiv:1112.0315)
  22. Scannapieco, C., Wadepuhl, M., Parry, O. H., Navarro, J. F., Jenkins, A., Springel, V., Teyssier, R., Carlson, E., Couchman, H. M. P., Crain, R. A., Dalla Vecchia, C., Frenk, C. S., Kobayashi, C., Monaco, P., Murante, G., Okamoto, T., Quinn, T., Schaye, J., Stinson, G. S., Theuns, T., Wadsley, J., White, S. D. M., and Woods, R., 2011, The Aquila comparison Project: The Effects of Feedback and Numerical Methods on Simulations of Galaxy Formation, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, in press (arXiv:1112.0315)
  23. Shimizu, I., Yoshida, N., and Okamoto, T., 2011, Sub-millimetre galaxies in cosmological hydrodynamic simulations: Source number counts and the spatial clustering, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, submitted
  24. Shimizu, I., Yoshida, N., and Okamoto, T., 2011, Lyman  $\alpha$  emitters in cosmological simulations - I. Lyman  $\alpha$  escape fraction and statistical properties at  $z=3.1$ , *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 418, 2273-2282
  25. Tanikawa, A., Yoshikawa, K., Okamoto, T., Nitadori, K., 2012, N-body simulation for self-gravitating collisional systems with a new SIMD instruction set extension to the x86 architecture, *Advanced Vector eXtensions, New Astronomy*, 17, 82-92
  26. Tanikawa, A., Hut, P., Makino, J. 2012, Unexpected Formation Modes of the First Hard Binary in Core Collapse, *New Astronomy*, 17, 272-280
  27. Tanikawa, A., Umemura, M., 2011, Successive Merger of Multiple Massive Black Holes in a Primordial Galaxy, *Astrophysical Journal* 728, L31-L36
  28. Tsuchiya, M., Mori, M., Nitta, S., 2012, Transonic solutions of isothermal galactic winds in a cold dark matter halo, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, submitted
  29. Yajima, H., Umemura, M., Mori, M., 2012, Sub-millimetre brightness of early

star-forming galaxies. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, in press

30. Yamada, T., Nakamura, Y., Matsuda, Y., Hayashino, T., Yamauchi, R., Morimoto, N., Kousai, K., Umemura, M., 2012, Panoramic Survey of Lyman  $\alpha$  Emitters at  $z=3.1$ , The Astrophysical Journal, in press
31. Yamaoka, K., Allured, R., Kaaret, P., Kennea, J.A., Kawaguchi, T., Ghandi, P., Shaposhnikov, N., Ueda, Y., Nakahira, S., Kotani, T., Negoro, H., Takahashi, I., Yoshida, A., Kawai, N., 2012, RXTE Follow-up Observations of the Black Hole Candidate MAXI J1659-152 Discovered by MAXI and Swift, Publ. Astron. Soc. Japan, 64, 32 [15 pages]

#### Non-Refereed Papers

1. Miki, Y., Mori, M., Kawaguchi, T., Rich, M.R., 2012, Interaction between M31 and the Progenitor Dwarf Galaxy of the Andromeda Stellar Stream, Astronomical Society of the Pacific (ASP) Conference Series, in press
2. Saitoh, T. R., Daisaka, H., Kokubo, E., Makino, J., Okamoto, T., Tomisaka, K., Wada, K., and Yoshida, N., 2011, "Shock-induced star cluster formation in colliding galaxies", Computational Star Formation, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium 270, eds. Joao Alves, Bruce G. Elmegreen, Josep M. Girart, Virginia Trimble, 270, 483-486
3. Ogiya, G., and Mori, M., 2012, The Core-Cusp problem in CDM halos and supernova feedback, Astronomical Society of the Pacific (ASP) Conference Series, in press

#### **【著書】**

1. 梅村雅之（共著），岩波講座 計算科学 第2巻「計算と宇宙」

#### **【解説記事】**

1. 岡本崇，主役はどちら？ 銀河と共に育つ超巨大ブラックホール，科学（岩波書店），2011，Vol. 81 No. 4, 330-340

#### **【集中講義】**

1. 梅村 雅之：  
輻射輸送・輻射流体サマースクール 2011（2011年8月18日～20日，北海道大学，札幌市）
2. 梅村 雅之：千葉大学  
輻射輸送・輻射流体力学（2011年10月31日，千葉大学，千葉市）

**【研究会開催】**

1. 初代星形成・初代銀河研究会  
2011年12月20日～22日, 九州大学, 福岡市
2. ワークショップ 「巨大ブラックホールの起源」  
2012年2月24日～25日, 筑波大学, つくば市
3. ミニワークショップ 「Astrophysical GPU Mini-workshop in University of Aizu」  
2012年2月17日 会津大学

**【座長】**

1. 川勝望  
日本天文学会"活動銀河核"日本天文学会春季年会, 龍谷大学, 2012年3月19日～22日

**【国際会議発表・海外講演】**

1. Okamoto T., 2011, Cosmological Disk Galaxy Formation, Galaxies in the Dark, (July 31 - August 4, 2011, Cafayate Salta, Argentina) (Invited)
2. Tanikawa, A., Successive Merger of Multiple Massive Black Holes in a Primordial Galaxy, Single and Double Black Holes in Galaxies, Aug 22-25, 2011, Michigan, USA)
3. Kawakatu, N., Wada, K., Growth of supermassive BHs and mass supply processes from galaxies, Starburst-AGN Connection under the Multiwavelength Limelight (Sep.14-16, 2011, Madrid, Spain)
4. Kawaguchi, T. and Mori, M., Near-Infrared Emission from Dusty Clumpy Tori in AGNs, Through the Infrared Looking Glass (October 3-5, 2011, Pasadena, USA)
5. Kawaguchi, T., Near-Infrared Emission from Dusty Clumpy Tori in AGNs, Seminar talk at UCSB (October 7, 2011, Santa Barbara, USA)
6. 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)
7. Miki, Y., Mori, M., Kawaguchi, T., Rich, R. M., Interaction between M31 and the Progenitor Dwarf Galaxy of the Andromeda Stellar Stream, 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. Kawakatu, N., AGN Outflow/Inflow with SKA, Workshop on East-Asian Collaboration for SKA (Nov.30-Dec.2, 2011, Daejeon, Korea) (Invited)
9. Ito, H., Kino, M., Kawakatu, N., Emission from Shells Associated with Dying Radio Sources, Workshop on East-Asian Collaboration for SKA (Nov.30-Dec.2,2011,Daejeon, Korea)
10. Tanikawa, A., Unexpected Formation Modes of the First Hard Binary in Core Collapse, MODEST-11 (Dec 12-16, 2011, Leiden, Netherland)
11. Kawaguchi, T. and Mori, M., Near-Infrared Emission from Dusty Clumpy Tori in AGNs, Growing black holes in COSMOS (February 13-14, 2012, IPMU (Tokyo U), Kashiwa, Japan)
12. Kawakatu, N., Coevolution Model of SMBHs and Nuclear Starbursts, Colloquium of Astronomy Program at SNU (March 8, 2012, Seoul, Korea)
13. Miki, Y., Mori, M., and Kawaguchi, T., Suppression of Black Hole Activity due to Galactic Merger, The 5th Korea-Japan Young Astronomers, Meeting (February 22-24, 2012, Seoul, Korea)

【国内講演】

<招待講演>

1. 川口俊宏, 「活動銀河核のダストトーラス」, 談話会 (2011年6月10日, 名古屋大学, 名古屋市)
2. 岡本崇, 「銀河形成シミュレーション」, 滞在型研究会「全天体形成」(2011年8月1~31日, 北海道大学, 札幌市)
3. 吉川耕司, 「無衝突ボルツマン方程式の直接数値計算による無衝突自己重力系の数値シミュレーション」, 滞在型研究会「全天体形成」(2011年8月1~31日, 北海道大学, 札幌市)
4. 石山智明, 「大規模N体シミュレーションの未来」, 滞在型研究会: 全天体形成(2011年8月1~31日, 北海道大学, 札幌市)
5. 川口俊宏, 「活動銀河核のダストトーラス」, 滞在型研究会「全天体形成」コンパクト天体・活動銀河セッション, (2011年8月4日, 北海道大学, 札幌市)
6. 川勝 望, 白川友紀, 本多正尚, 戸田さゆり, 「筑波大学「理数学生応援プロジェクト」と大学での科学教育」, 日本科学教育学会(2011年8月23日~25日, 東京工業大学, 横浜)
7. 川口俊宏, 「TMTの高空間分解能で探る活動銀河核のfeeding, feedback, coevolution」, 「TMTサイエンス検討報告会: 日本独自のサイエンス提案とその実現のために」会議(2011年9月5日, 京都大学, 京都市)
8. 川口俊宏, 「活動銀河核のダストトーラス」, 談話会 (2011年10月18日, 東北大学, 仙台市)
9. 岡本崇, CDM 宇宙での pseudo-bulge の形成, JASMINEサイエンスワークショップ(2011

年11月10日～12日，北海道支笏湖)

10. 梅村雅之，「AGNサーベイによるサイエンスの展望」，HSC活動銀河核探査によるサイエンス (2011年11月16日～18日，京都大学，京都市)
11. 川口俊宏，「Luminosity and mass functions through HSC data」，HSC活動銀河核探査によるサイエンス (2011年11月16日～18日，京都大学，京都市)
12. 石山智明，「準解析的モデルで用いるN体シミュレーションの詳細」，HSC活動銀河核探査によるサイエンス (2011年11月16日～18日，京都大学，京都市)
13. 川口俊宏，「活動銀河核のダストトラス」，談話会 (2012年1月23日，広島大学，東広島市)
14. 川口俊宏，「活動銀河核のダストトラス」，談話会 (2012年2月9日，信州大学，松本市)
15. 石山智明，「スーパーコンピュータ"京"による，天文シミュレーション」，第10回HSSワークショップ「スーパーコンピュータ "京" でせまる最先端の科学・技術」 (2012年2月17日，北海道大学，札幌市)
16. 森正夫，「アンドロメダの涙」，国立天文台談話会 (2011年12月16日，国立天文台，三鷹市)

#### <一般講演>

17. 谷川衝，「Unexpected Formation Modes of the First Hard Binary in Core Collapse」，MODEST-10c: Algorithms and Applications of gravitational N-body simulation, (2011年8月1日～9月17日，神戸大学，神戸市)
18. 梅村雅之，「初代星形成の輻射流体力学」，輻射輸送・輻射流体サマースクール2011 (2011年8月18日～20日，北海道大学，札幌市)
19. 森正夫，「アンドロメダの涙とさざめき」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)
20. 吉川耕司，谷川衝，似鳥啓吾，岡本崇，「新しい SIMD 拡張命令セット Advanced Vector eXtensions を用いた高性能無衝突系 N 体計算ライブラリの開発」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)
21. 川口俊宏，森正夫，「活動銀河核の光と影: ダストトラスの自己掩蔽」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)
22. 三木洋平，森正夫，川口俊宏，「銀河衝突の活動銀河中心核への影響: 活動抑制が起こる条件の導出」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)
23. 扇谷豪，森正夫，「ダークマターハローの周期的バリオン重力場変動への力学応答」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)
24. 土屋聖海，森正夫，新田伸也，「球対称定常銀河風の遷音速解: 銀河の質量密度分布との関係」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)
25. 桐原崇亘，三木洋平，森正夫，「アンドロメダストリームとダークマターハローの外縁構造の解析」，日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日，鹿児島大学，鹿児島市)

26. 濟藤祐理子, 三木洋平, 川口俊宏, 森正夫, 「Detectability of the Wandering Black hole in M31 Halo」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
27. 谷川衝, 吉川耕司, 岡本崇, 似鳥啓吾, 「新しい SIMD 拡張命令セット: Advanced Vector eXtensions を用いた衝突系 N 体シミュレーションコードの開発」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
28. 石山智明, 牧野 淳一郎, Simon Portegies Zwart, Cosmogrid Project team, 「The Cosmogrid Simulation II: 異機種混合宇宙論的N体シミュレーション」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
29. 長谷川賢二, Benoit Semelin, 「輻射流体計算で探る宇宙再電離」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
30. 行方大輔, 「磁場とFUV加熱率がCentral Molecular Zoneの構造と星間ガスの統計的性質に与える影響」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
31. 安部牧人, 久保田明夏, 梅村雅之, 米徳大輔, 「Swift GRB光度曲線の性質について: (1) フーリエ&自己相関解析」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
32. 久保田明夏, 安倍牧人, 梅村雅之, 米徳大輔, 「Swift GRB 光度曲線の性質について: (2)赤方偏移データを用いた統計解析」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
33. 川勝 望, 紀 基樹, 「LOFAR/SKAで探る活動銀河核ジェットからの熱的シンクロトロン放射」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
34. 紀 基樹, 伊藤 裕貴, 川勝 望, M. Orienti, 「電波ダークなミニAGNシェル: 新しいTeVガンマ線源の可能性」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
35. 伊藤 裕貴, 紀 基樹, 川勝 望, 「死んだ電波ローブを取り囲むシェルからの非熱的放射」, 日本天文学会秋季年会 (2011年9月19日～22日, 鹿児島大学, 鹿児島市)
36. 岡本崇, 「円盤銀河のバルジの形成過程」, 第24回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の革新」 (2011年11月5～7日, 国立天文台, 三鷹市)
37. 川口俊宏, 「活動銀河核ダストトーラスの近赤外線放射モデル」, 第24回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の革新」 (2011年11月5～7日, 国立天文台, 三鷹市)
38. 長谷川賢二, Benoit Semelin, 「Self-regulated Reionization by Radiation-Hydrodynamic Simulations」, 第24回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の革新」 (2011年11月5～7日, 国立天文台, 三鷹市)
39. 谷川衝, 「新しいSIMD拡張命令セット: Advanced Vector eXtensions を用いた衝突系N体シミュレーションコードの開発」, 第24回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学



- の革新」(2011年11月5～7日, 国立天文台, 三鷹市)
40. 行方大輔, 「磁場と星間輻射場がCentral Molecular Zoneにおける星形成率に与える影響」第24回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の革新」(2011年11月5～7日, 国立天文台, 三鷹市)
  41. Wagner Alexander, 「Hydrodynamic simulations of relativistic AGN jet feedback」, 第24回理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学の革新」(2011年11月5～7日, 国立天文台, 三鷹市)
  42. 谷川衝, 「巨大ブラックホール多体系でのブラックホール合体成長に伴う銀河中心構造の進化」, JASMINEサイエンスワークショップ(2011年11月10日～12日, 北海道支笏湖)
  43. 梅村雅之, 「小型JASMINEによるサイエンス(まとめ)」, JASMINEサイエンスワークショップ(2011年11月10日～12日, 北海道支笏湖)
  44. 川勝 望, 「超巨大ブラックホール進化モデルの現状と今後の課題」, HSC活動銀河核探査によるサイエンス(2011年11月16日～18日, 京都大学, 京都市)
  45. 峰崎岳夫, 坂田悠, 諸隈智貴, 小久保, 越田進太郎, 鮫島寛明, 川口俊宏, 「活動銀河核変光の紫外線可視放射の多波長相関」, HSC活動銀河核探査によるサイエンス(2011年11月16日～18日, 京都大学, 京都市)
  46. 川口俊宏, 「活動銀河核ダストトーラスの構造」, 第4回クェーサー吸収線研究会(2011年12月11日, 信州大学, 松本市)
  47. 長谷川賢二, Benoit Semelin, 「三次元輻射流体計算で探る再電離期の宇宙」, 初代星形成・初代銀河研究会(2011年12月20日～22日, 九州大学, 福岡市)
  48. Wagner Alexander, 「AGN jet - ISM interactions in high redshift radio galaxies」, 初代星形成・初代銀河研究会(2011年12月20日～22日, 九州大学, 福岡市)
  49. 安部牧人, 久保田明夏, 梅村雅之, 米徳大輔, 「Swift GRB光度曲線に基づくGRBのzの決定およびGRB光度曲線の性質について」, 初代星形成・初代銀河研究会(2011年12月20日～22日, 九州大学, 福岡市)
  50. 梅村雅之, 「研究会サマリ」, 初代星形成・初代銀河研究会(2011年12月20日～22日, 九州大学, 福岡市)
  51. 石山智明, 「ダークマターハローの中のサブハロー分布」, 2011年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト・ユーザーズミーティング(2012年1月17日～18日, 国立天文台, 三鷹市)
  52. 佐藤皓允, 庄司光男, 神谷克政, 梅村雅之, 矢花一浩, 白石賢二, 「星間空間におけるアミノ酸キラリティ生成機構の理論的研究」, ALMAワークショップ(宇宙と生命)(2012年1月21日, 国立天文台, 三鷹市)
  53. 三木洋平, 「GPGPUによる無衝突系N体計算の高速化」, Astrophysical GPU Mini-workshop in University of Aizu(2012年2月17日, 会津大学, 会津市)
  54. 梅村雅之, 「銀河スケールからの巨大BH形成理論の構築に向けて」, ワークショップ

「巨大ブラックホールの起源」 (2012年2月24日～25日, 筑波大学, つくば市)

55. 川口俊宏, 三木洋平, 森正夫, 「銀河衝突に伴う巨大ブラックホールの進化」, ワークショップ 「巨大ブラックホールの起源」 (2012年2月24日～25日, 筑波大学, つくば市)
56. 川勝望, 和田桂一 「超巨大BHと銀河の共進化モデル構築へ向けて」, ワークショップ 「巨大ブラックホールの起源」 (2012年2月24日～25日, 筑波大学, つくば市)
57. 尾崎忍夫, 宮崎聡, 山下卓也, 田中陽子, 服部亮, 岡田則夫, 三ツ井健司, 福嶋美津広, 川口俊宏, 松田有一, 斎藤智樹 「Development of FOCAS IFU」, すばるユーザーズミーティング (2012年2月28～3月1日, 国立天文台, 三鷹市)
58. 川口俊宏, 森正夫, 「ダストトーラスと降着円盤の軸不一致が引き起こす放射特性」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
59. 森正夫, 桐原崇亘, 三木洋平, 川口俊宏, 濟藤祐理子, Rich, M.R., 「アンドロメダのリングと涙」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
60. 濟藤祐理子, 諸隈智貴, 峰崎岳夫, 川勝望, 川口俊宏, 長尾透, 松岡健太, 今西昌俊, 美濃和陽典, 大井渚, 今瀬佳介, 「Cosmological Evolution of SMBH mass-Bulge mass Relation investigated by SDSS QSOs at  $z\sim 3$ 」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
61. 小田寛, 川口俊宏, 「光学的に薄い磁気圧優勢二温度降着円盤モデルの明るいHard-to-Soft遷移への適用」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市伏)
62. 佐藤皓允, 庄司光男, 神谷克政, 梅村雅之, 矢花一浩, 白石賢二, 「星間空間における光誘起L型アミノ酸過剰の理論的研究」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
63. 桐原崇亘, 森正夫, 「アンドロメダストリームの非対称構造」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
64. 岡本崇, 「宇宙論的 pseudobulge 形成」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
65. 川勝望, 和田桂一, 「銀河からのガス供給過程の多様性と超巨大ブラックホール成長との関係」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)
66. 土居明広, 柳楽央至, 川勝望, 紀基樹, 永井洋, 浅田桂一 「狭輝線セイファート1型銀河の電波銀河の発見」, 日本天文学会春季年会 (2012年3月19日～22日, 龍谷大学, 京都市)