

Interim reports 2016

Oct. 6-7, 2016

Room: ES606

◆Program

Day 1: Oct. 6 (Thur.)

9:45-10:00	Lab. meeting	
10:00-11:00	Kenji Kurosaki	The phase separation due to the gravitational potential in the ice giant's envelope
11:00-12:00	Keisuke Sugiura	Deformation of Planetesimal Geometry: Numerical Simulation of Planetesimal Collision and Gravitational Reaccumulation by SPED
12:00-14:00	Lunch	Journal club from 12:15
14:00-15:00	Yansong Guo	An origin of high velocity compact clouds: Dynamical signature of intermediate mass black holes
15:00-16:00	Kaori Kawamura	フィラメント状分子雲における分子雲コア質量関数の理論の検証
16:00-16:15	Break	
16:15-17:15	Naoya Tokiwa	原始惑星系円盤の円盤風による進化を考慮した巨大衝突ステージにおける地球型惑星形成
17:15-18:15	Ryosuke Tominaga	永年重力不安定性の非線形発展

Day 2: Oct. 7 (Fri.)

13:00-14:00	Kensuke Yokosawa	太陽フレアループ内のエネルギー輸送に対する電子-イオン2流体効果
14:00-15:00	Koki Matsumoto	特殊相対論的流体力学を記述する高精度衝撃波捕獲数値計算法の開発
15:00-15:10	Break	
15:10-16:25	Undergrad. students (5 persons)	

◆Abstract

Day 1: Oct. 6

Kenji Kurosaki

The phase separation due to the gravitational potential in the ice giant's envelope

The gas giant in the solar system possesses an envelope that is mainly composed of hydrogen-helium. The envelope includes heavy elements such as icy materials, which is supported by the observation of gravitational moments (Nettelmann et al., 2013). Helium in the Jovian or Saturnian envelope drops into the interior due to the phase separation of a hydrogen-helium system (Stevenson 1975; Hubbard et al., 1999; Lorenzen et al., 2011). However, other element, especially a water molecule, has not been sufficiently considered. Soubiran & Militzer (2015) calculated the free energy by using the ab initio simulations of liquid water-hydrogen mixtures and concluded that water and hydrogen in giant planets occurred in homogeneously mixed. However, the ab initio simulation did not consider the effect of the gravitational potential. In this study, we calculated the chemical potential including the effect of the gravitational potential and derive the critical temperature that causes the phase separation between a water and hydrogen molecules. Although my results are not calculated by the ab initio simulation, but thermodynamic equations, my method is enough to judge whether the phase separation occurs or not. Moreover, we calculated the evolution of ice giants, especially Uranus, considering the effect of the phase separation due to the gravitational potential.

Kensuke Sugiura

Deformation of Planetesimal Geometry: Numerical Simulation of Planetesimal Collision and Gravitational Reaccumulation by SPED

Most of asteroids in present solar system have irregular shapes distinctly different from a sphere, such as Churyumov-Gerasimenko comet or asteroid Itokawa. These irregular shapes are supposed to be created by collisional destruction and coalescence of planetesimals. Thus we can clarify the past environment of Solar System by investigating the formation condition of irregular asteroids. I developed Smoothed Particle Elastic Dynamics, or SPED code to investigate the deformation condition of asteroid shapes by collisions. Moreover, I included fracture model (Benz and Asphaug 1995) and friction model (Jutzi 2015) to describe realistic property of rocks. Owing to these realistic models, we can describe collisional disruption of rocks and formation of rubble pile by gravitational reaccumulation. I simulate collisions between planetesimals that have the radius of about 50 km and are made by basalt using this numerical simulation code. I investigate the geometry of resultant largest object after gravitational reaccumulation varying the collisional condition of velocity and impact angle. As a result, I have found that the resultant shape may be elongate if the impact is about head-on collision, and may be oblate if the impact is oblique collision. Moreover, in this talk, I will discuss about the resolution dependence on the geometry of resultant object.

Yansong Guo

An origin of high velocity compact clouds: Dynamical signature of intermediate mass black holes

Recently, new evidence of intermediate-mass black hole has been suggested by Oka et al. (2016). They observed molecular line emission from a high velocity compact molecular cloud (CO-0.40-0.22) in the central molecular zone (CMZ) of Milky Way Galaxy using radio telescope. The CO-0.40-0.22 cloud possesses extremely broad velocity width $\sim 100\text{km/s}$. They suggested that such a peculiar velocity structure is caused by gravitational scattering of a 10^5 solar mass black hole by comparing simple test particle orbits. Such an existence of an intermediate mass black hole may provide a support for the “bottom-up” formation scenario of massive black holes. However, their interpretation of the observation of large velocity dispersion neglected the effects of catastrophic heating, dissociation, and ionization by tidal compression and shock wave propagation during the gravitational scattering process. These effects may drastically change the gas state and the appearance of molecular line emissions. To analyze more realistic dynamics of gravitational scattering of a cold molecular cloud, we perform full 3D hydrodynamics simulations using a newly implemented high-resolution shock capturing numerical scheme called “Godunov smoothed particle hydrodynamics” (Inutsuka 2002) with non-equilibrium chemistry and radiative cooling/heating effects (Koyama & Inutsuka 2000).

Kaori Kawamura

フィラメント状分子雲における分子雲コア質量関数の理論の検証

Herschel 宇宙望遠鏡による Gould Belt 領域のサーベイ観測で、分子雲コアの質量関数と星の初期質量関数がよく似ていること、分子雲コアや原始星は分子雲中に多数存在する幅 0.1 pc 程度のフィラメント状の構造に沿って分布していることが明らかとなった (André et al. 2010). この観測事実はフィラメント状分子雲の分裂が星形成に大きく関わっていることを示唆する。よって星形成を理解するためには、フィラメント状分子雲における分子雲コア質量関数の起源を解明することが重要となる。Inutsuka (2001) は宇宙論でよく用いられる Press-Schechter 理論をフィラメント状分子雲に応用することで分子雲コアの質量関数を解析的に求める理論を提案している。この理論では質量関数はフィラメントの線密度ゆらぎの空間分布のパワースペクトルのみによって決定される。近年ここで仮定されていたパワースペクトルが実際に観測されたことで (Roy et al. 2015), この理論で質量関数を説明できる期待がさらに高まっている。しかし、一般に Press-Schechter 理論には幾つかの仮定が用いられており、具体的なコアと理論から得られる質量関数とが対応していることは自明ではない。そこで本研究では、計算機上にフィラメント状分子雲の線密度の空間分布を再現し、この理論に基づいて具体的に同定したコアの質量関数を求めることで理論の検証を行う。さらに、この理論に基づいて同定されるコアと、ゆらぎの大きさがある値を超えている領域をコアとするという観測と同様の定義で同定したコアとを比較することで、理論を実際の観測に用いる際の制限を調べる。本発表ではフィラメントの収縮初期における検証の結果とコアの比較について議論する予定である。

Naoya Tokiwa

原始惑星系円盤の円盤風による進化を考慮した巨大衝突ステージにおける地球型惑星形成

恒星が誕生する際、その星の周りにガスとストからなる原始惑星系円盤が形成される。惑星は円盤中で形成されるため、円盤の時間進化が惑星形成過程に多大な影響を及ぼす。惑星は円盤との重力トルクを通じた相互作用により中心星に向かい螺旋軌道を取り落下し、その移動時間は円盤の散逸時間に比べてずっと短い。そのため、形成された惑星は中心星に落ちてなくなってしまう惑星落下問題が生じる。しかし、これまでこの問題を議論するとき、円盤風による円盤の時間進化を考慮していない。そこで、円盤ガスの面密度進化方程式と各原始惑星の運動方程式を同時に解くことで地球型惑星の軌道進化を知る必要がある。N体計算の計算コストは非常に高いので、本研究では、まず、面密度進化方程式を数値的に解くことで中心星への惑星落下のタイムスケールを見積もった。その結果、適当な原始惑星の質量や粘性の強さと円盤風の強さを表すパラメータを選ぶことで惑星の中心星への落下を回避できることが示唆された。また、この惑星の軌道分布が火星や地球の軌道分布を再現しうることもわかった。これは、惑星の外側移動の効果が顕著に現れたことを意味する。この結果の妥当性を判断するためには、N体計算も行い、惑星間の重力相互作用なども考慮する必要がある。そこで、4次のエルミート法のコード作成も行った。

Ryosuke Tominaga

永年重力不安定性の非線形発展

惑星形成の古典的標準理論では、原始惑星系円盤中でダストが自己重力によって集積し合体成長することで惑星が形成されると考えられている。原始惑星系円盤は主に水素分子からなるガスと固体微粒子（ダスト）からなり、ダストにはガスとの速度差に起因する摩擦力が働く。この摩擦によって永年重力不安定性 (Secular GI) という不安定性が起こることが指摘されている (e.g., Takahashi & Inutsuka 2014)。Secular GI は自己重力安定な円盤で起こるため、新たな微惑星形成法として提唱された。しかし微惑星形成過程を詳細に解析するためには Secular GI の大局的非線形成長を調べる必要がある。近年の観測によって原始惑星系円盤中に様々なリング構造が発見された。特に2015年にアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) によって観測された HL Tau の多重リング構造は大きな注目を集めている (ALMA Partnership et al. 2015)。Takahashi & Inutsuka (2016) では、HL Tau のリング構造が Secular GI によって説明されうることを線形理論によって示している。したがって ALMA で発見されたリングの形成メカニズムを理解するためにも Secular GI の大局的進化を調べることは非常に重要である。本研究の目的は数値計算によって Secular GI の大局的非線形成長過程を調べることである。Secular GI の成長時間は円盤の回転周期と比べてかなり長いため、数値散逸を生じることなく長時間流体の計算を行える計算法を用いる必要がある。そこで本研究では Symplectic 法を数値流体力学に応用した新しい数値計算法を開発した。開発した計算法では Lagrange 的な定式化を行うことで数値誤差によるエネルギー散逸を回避している。さらに開発した数値計算法を用いて Secular GI の非線形計算を行った。その結果、ダストリングが崩壊するということがわかった。この事はダスト優勢なリングが形成され、自己重力的分裂によって微惑星形成に発展することを意味する。一方、ガスの密度揺らぎは初期密度の数%にしか達しないということがわかった。本発表では開発した計算法を紹介し、上記の結果を踏まえて Secular GI の非線形発展について議論する。

Koki Matsumoto

特殊相対論的流体力学を記述する高精度衝撃波捕獲数値計算法の開発

GRB は中性子星同士、あるいは中性子星とブラックホールの合体によって起きるとされている。このときブラックホールへ質量が降着するが、event horizon 近傍では落下物質の速度が光速に近い値になる。また、ジェットなどの相対論的速度の流体の運動では、超音速流による強い衝撃波を扱うことも多くなる。このようなブラックホール近傍の天体現象を数値シミュレーションによって正しく記述するには、新しい数値計算手法を開発する必要がある。数値シミュレーションの計算法の一つに Smoothed Particle Hydrodynamics法 (以下、SPH法) がある。これはカーネル関数によって表される広がりをもった質量分布の粒子を用いて流体力学を記述する手法である。標準SPH法を相対論に拡張した研究は存在する (Rosswog 2015, 2010) が、この標準SPH法の弱点として強い衝撃波を精度良く記述できないことが挙げられる。これに対して、Inutsuka (2002)は有限体積法で確立されたGodunov 法を応用し、SPH法で強い衝撃波を正しく記述できる計算法 (以下、Godunov SPH法) を開発した。本研究では、この Godunov SPH 法を特殊相対論を扱えるように拡張する。いくつかの問題に対してテスト計算を行い、本研究で開発した計算法の有効性について議論する。

Kensuke Yokosawa

太陽フレアループ内のエネルギー輸送に対する電子-イオン2流体効果

太陽フレアは、突発的なエネルギー解放によって生じる太陽系最大級の爆発現象である。太陽フレアがエネルギーを解放するメカニズムには磁気リコネクションが関与していると考えられている。こうした太陽フレアの物理を理解するため、磁気流体力学的 (MHD) 数値シミュレーションが盛んに行われてきた。Yokoyama & Shibata (1998,2001) では、磁気リコネクションモデルを用い、熱伝導と彩層蒸発の効果を考慮した 2次元のMHDシミュレーションを行った。この論文では Yokoh の観測によって捉えられていたカस्प型ループ構造 (Tsuneta et al. 1992) を数値シミュレーションによって確認し、太陽フレアが磁気リコネクションモデルで説明できることを明確にした。しかし Yokoyama & Shibata (1998,2001) で行われているシミュレーションでは、電子とイオンの相互作用は強く、単一流体として運動するという仮定が用いられているため、電子とイオンは常に等しい温度をもつと仮定されている。しかし実際のフレア現象では、コロナのガスは無衝突プラズマに近い状態であり、何らかの原因によりイオンが加熱されると、電子はイオンとの衝突を介して加熱されると考えられる。ここで注意すべきことは、イオンと電子が衝突して緩和する時間スケールは力学的な運動の時間スケールと同程度、あるいはそれよりも長い点である。過去の研究の多くはこの点を無視しており、電子による熱伝導の効果を過大評価している可能性が高い。本研究では電子-イオン2流体シミュレーションを目指し、本発表にて研究の現状を報告する。