

# Interim Report 2017

Sep. 14-15. 2017

## Program

Day 1: Sep. 14 (Thur.)

10:15-10:30 Lab Meeting		
10:30-11:30	Yoshiaki Misugi	分子雲コアの角運動量の起源
11:30-12:30	Kazuhide Isoya	原始惑星同士の衝突合体を含めたN体計算と惑星による重力散乱の効果
12:30-14:00	Lunch	
14:00-15:00	Yuto Inayoshi	SPH法におけるシア問題の解決策
15:00-16:00	Kodai Ito	SPH法における点源爆発とSedov解との比較・検証
16:00-16:15	Break	
16:15-17:15		

Day 2: Sep. 15 (Fri.)

10:30-11:30	Hana Nishikawa	ダストから暴走成長開始までの数値計算:ペブル集積の原始惑星成長への寄与
11:30-12:30	Yuri Fujii	Formation of Circumplanetary Disks: Effect of High Temperature
12:30-14:00	Lunch	
14:00-15:00	Kenji Kurosaki	Impact simulation for ice giants; Implication for the initial condition of ice giants.
15:00-16:00	Masanobu Kunitomo	Evaluating the imprints of planet formation on the compositions of stars
16:00-16:15	Break	
16:15-17:15	Shinsuke Takasao	Global three-dimensional magnetohydrodynamic simulation of an accretion disk with a central star

三杉 佳明

### 分子雲コアの角運動量の起源

宇宙にある天体のほとんどは回転しており、角運動量を持っている。このうち銀河については多くの研究が宇宙論の立場から存在している。星形成の研究も近年大きな発展を見せており、分子雲コアから星に至るまでの進化については多くの研究がなされている。これらの研究の結果、分子雲コアの角運動量はその後の星の進化に大きく影響を及ぼすことがわかった (e.g., Machida et al 2008)。一方で分子雲コアの角運動量の起源についてはほとんど研究がなされていないのが現状である。観測については Tatematsu et al. (2016) によってなされており、その中で分子雲コアの比角運動量は Larson の法則に従っていることが示されている。このことから分子雲コアの角運動量は乱流起源であると予想される。そこで本研究では乱流起源を仮定して角運動量を計算した。その結果が観測されている分子雲コアの性質を再現するかどうかについて議論する予定である。

礒谷 和秀

### 原始惑星同士の衝突合体を含めたN体計算と惑星による重力散乱の効果

太陽系の地球型惑星は、最終段階で火星サイズの原始惑星同士が衝突合体を繰り返し形成される。この巨大衝突では合体と同時に破壊も起きているが、今回は簡単のため完全合体を仮定し、10体の原始惑星についてN体シミュレーションを行った。完全合体では、衝突する2天体の相対速度分の運動エネルギーと相互重力エネルギー、そして中心星重力エネルギーの補正を行う必要があり、これらが正しく計算できているかチェックを行った。次に中心星と惑星と微惑星の3体問題について、微惑星の初期位置を変化させてシミュレーションを行い、惑星重力による微惑星の散乱の様子を確かめた。

稲吉 勇人

### SPH法におけるシア問題の解決策

流体力学をラグランジュ的に数値計算する方法として、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法がある。流体をオイラー的に記述するメッシュ法と比べ、SPH法はラグランジュ的に記述するので、高密度の領域を高精度に記述できる点や、流体が大きく変形する場合の計算に有利である点などで優れていると言える。しかし、シア一流が存在する流体の計算を SPH 法で行うと、非物理的な密度エラーが発生し、精度良く計算できないことが分かっている。特に低温の場合は、密度エラーが 150% を超えるほどであり、シア問題が顕著に現れる (Imaeda & Inutsuka 2002)。実際の原始惑星系円盤や円盤銀河は低温であり、さらに差動回転をしているため、シア一流が存在する。したがって、これらの形成や進化を SPH 法を用いて数値計算することは極めて困難である。このシア問題を解決するために様々な方法が提案されているが、円盤の形成や進化のタイムスケールに相当する回転数に達している方法は存在しない。例えば、Imaeda et al. (2007) では隣り合う SPH 粒子間で質量を交換することによって粒子を再配置するという Particle Rezoning (PR) 法が提案されており、密度エラーを 10% 以内に抑えることに成功しているが、100 回転を超えるような長時間の計算では 10% を超える無視できない密度エラーが生じてしまい、円盤進化の長時間数値計算をするには不十分である。そこで、本研究では SPH 粒子内部の流れ場という全く新しい発想を Imaeda & Inutsuka 2002 の手法に導入し、シア問題の解決を目指す。本講演では Imaeda & Inutsuka 2002 の手法とその有用性を紹介し、さらに我々の新しい計算法の概念とその計算結果について議論する。

伊藤 広大

#### SPH法における点源爆発とSedov解との比較・検証

惑星は大小様々なサイズの天体同士が衝突をくりかえして形成された。その際の衝突にともなう温度上昇により、物質の蒸発が生じる。特に氷天体は比較的蒸発に必要なエネルギーが小さいため、氷惑星の形成にとって衝突に伴う蒸発は非常に重要な物理過程である。物質が蒸発を経験したかどうかはTillotsonの状態方程式から求めた内部エネルギーの最大値から判別ができる。内部エネルギーの上昇は衝撃波によってもたらされるため、衝突による衝撃波の伝搬の仕方を詳しく調べることは重要である。そこで今回は点源爆発の場合の衝撃波の伝搬の解析解として知られているSedov解と比較するために、SPH法を用いた点源爆発のシミュレーションを行う。その結果からSedov解と比較しながら議論をおこなう。

西川 花

#### ダストから暴走成長開始までの数値計算:ペブル集積の原始惑星成長への寄与

星形成の副産物である原始惑星系円盤の中で、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の固体微粒子(ダスト)は衝突合体を繰り返し、微惑星、原始惑星という段階を経て1万kmサイズの惑星にまで成長する。惑星形成はこのように非常に幅広いサイズにまたがる過程である上に、ダストが微惑星になる過程には中心星落下問題など多くの困難があったため、これまではダストから微惑星までと微惑星から惑星までを二分して研究が進められてきた。近年の研究で、衝突合体の過程でダストが空隙の多い構造になることにより、中心星落下を免れて微惑星まで成長できることが明らかになった。その結果から、ダストの成長過程はその後の微惑星の面密度分布やサイズ分布に大きな影響を与えることがわかった。一方で、微惑星の初期の分布は、惑星の大きさや形成にかかる時間を決定づける。よって惑星形成過程の解明には、ダストから惑星までを一連の流れとして調べるが大変重要である。そこで本研究では、合体成長方程式を解き、ダストから原始惑星形成の直前の段階である暴走成長が起こるまでの成長過程を一貫して調べる数値計算を行なう。また近年では、巨大ガス惑星のコアを速やかに形成する方法として、円盤外縁部から落下してきた小石を原始惑星が集積する効果が注目されている。本研究では落下する固体天体のサイズや質量フラックスを計算し、小石集積が原始惑星の成長にどれほど寄与するのかも調べる。

Yuri Fujii

### Formation of Circumplanetary Disks: Effect of High Temperature

Circumplanetary disks are important for the formation of gas giants and their satellites, and one of the most important factors of the formation and evolution of a circumplanetary disk is its temperature structure. Recent studies have shown that the density and temperature of circumplanetary disks are both high in the early stages of the evolution. We have shown that temperature of the satellite forming region of the disk can exceed a couple thousand degrees. As the first step to investigate the temperature structure of circumplanetary disks in detail, we perform global radiation hydrodynamics simulations. In order to have enough resolution in the vicinity of the planet, we need simulations with smaller scale using the infall flux derived with the global simulations.

Kenji Kurosaki

### Impact simulation for ice giants; Implication for the initial condition of ice giants

Recent observation shows that there are many small size of planets. Especially, we find that many mini-Neptunes are detected by Kepler telescope. Bulk densities of these planets imply that they are composed of rocky planets surrounded by thick hydrogen-helium atmosphere or ice rich planets. These planets should be experienced the giant impact in the formation stage, which causes the change of the spin axis and the mixing in the planetary interior. If the atmosphere is polluted by ice materials due to the impact, the thermal evolution is also changed. Thus, the initial condition of the planetary interior is important. To constrain the initial condition due to the giant impact, I adopt the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method and talk about my research progress.

Masanobu Kunitomo

### Evaluating the imprints of planet formation on the compositions of stars

Planets are formed in protoplanetary disks around young stellar objects (YSOs). In this seminar we explore the possible consequences of disk accretion and planet formation on the host stars in terms of their thermal and chemical evolution. Recent 3D magnetohydrodynamic simulations have shown that protostars accrete mass through disks. In the case of disk accretion, accreting materials are expected to lose their entropy more efficiently than the traditional spherical accretion case. From stellar evolution calculations, we find that the thermal evolution of YSOs formed with low-entropy accretion deviates from the classical picture: their radius and luminosity are much lower. We examine how this affects the analysis of HR diagrams of young stellar clusters. We also explore the consequence of planet formation on the stellar surface composition: The formation of planetesimals and planets in circumstellar disks implies that the composition of the material accreted by the central star is not constant. The surface composition must then differ from the primordial one. In order to determine the magnitude of this effect, the key ingredient is stellar surface convective zone whose thickness determines the dilution of the “planet pollution” signature. Using up-to-date stellar pre-main-sequence evolution models, we estimate the compositional changes due to planet formation and discuss whether these can explain some recent observations.

Shinsuke Takasao

### Global three-dimensional magnetohydrodynamic simulation of an accretion disk with a central star

Young stars in the main accretion phase evolve through interaction with magnetized accretion disks. It is believed that the structure of the accretion flows should be strongly influenced by magnetic fields. In a classical picture, the accretion disk is connected to the stellar surface before the development of the stellar magnetosphere. But after the development, the so-called magnetospheric accretion is expected. The 3D structure of the accretion flow can affect the observational signatures (e.g. X-ray emission from shocked material is expected in the case of the magnetospheric accretion) and the surrounding disk evolution through the change in the optical depth around the star. In spite of this importance, there have been only a few 3D magnetohydrodynamics (MHD) simulations of the accretion onto the star. We performed 3D MHD simulations by using the Athena++ code, and analyzed the accretion from an MRI (Magneto-Rotational Instability)-active disk onto a weakly magnetized star. As a result, we found that fast accretion to a high-latitude, which is similar to the magnetospheric accretion, is possible even without the stellar magnetosphere. The newly found accretion is caused by a combination of turbulence in the disk and strong magnetic torque by the large-scale coherent field above the disk. Our results suggest a possibility that stars without the magnetosphere can show a violent accretion behavior associated with X-ray activities. We will discuss the physics of the accretion on the basis of our simulations.