

PPS020-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

宇宙塵の形成：形状，組成，組織の関係

Formation of Cosmic Spherules: Relationships among Shapes, Compositions, and Textures

土居 政雄¹, 中本 泰史^{1*}, 中村 智樹², 山内 佑司³

Masao Doi¹, Taishi Nakamoto^{1*}, Tomoki Nakamura², Yuji Yamauchi³

¹ 東京工業大学, ² 東北大学, ³ 九州大学

¹Tokyo Institute of Technology, ²Tohoku University, ³Kyushu University

宇宙塵は地球外起源の球状シリケート組成微粒子であり、南極の氷や海洋底、成層圏などから採集されている。本研究では、一度はほぼ完全に溶融した宇宙塵を研究対象とする。

宇宙塵の化学組成やサイズ、組織などが分析されている。また、組成と組織の間には関係があるとも報告されている。一方、宇宙塵の形状や組成と形状、組織の間関係については、定量的な研究はなされていない。しかし、これらの間の関係を明らかにすることは、宇宙塵の性質やその形成過程を解明する上で、重要な課題である。本研究では、理論モデルも用い、これらの間の関係の解明を目指す。

私たちは、南極のトツキ岬の青氷原の氷中から採集された、903個の微隕石サンプルを用いた。これらは0.1mmから0.238mmの直径をもち、表面組成の分析によって抽出されたものである。この中から表面に溶け残りが無いものを選ぶと、525個となった。

さらに、表面が滑らかなサンプルを選んだ。これは、一度は完全に溶けたものを選ぶためである。滑らかな表面をもつもの50個に対し外形を測定した後、化学組成分析のために表面を削り平らな面を出した。この段階で、内部に空隙や溶け残りがあるものは、サンプルから外した。結局、27個のサンプルが残った。

測定された外形は、三軸不等楕円体で近似する。形状の測定後、EPMAによって化学組成を測定した。また、研磨断面を観察することにより、組織も調べた。

測定された組成と組織は、barred olivineとcryptocrystalline粒子が低いSiO₂濃度でオリビンに近い組成を持っているのに対し、ガラス状粒子は高いSiO₂比と輝石に近い組成を持っていること示した。組成と組織は、深く関連しているようである。

地球大気中の宇宙塵の運動を、理論的にモデル化した。運動方程式には、ガス摩擦力を考慮し、ガス密度は地球大気モデルを用いる。宇宙塵の変形を考慮するために、宇宙塵に作用する動圧も計算する。変形度は理論モデルを用いて評価する。宇宙塵の融点は、組成によって決まる。蒸発による宇宙塵組成の変化も、モデル化して考慮した。

数値計算の結果によると、最終的な組成は、大気への突入時の状況に依存する。元素の中では鉄が最も蒸発しやすいので、蒸発が進めば鉄が減少した組成になる。しかし、組成の測定結果と比較してみると、私たちのサンプル中の宇宙塵は、強い蒸発を受けていないことが分かる。このような場合には、最終組成はほぼ初期組成で決まる。

ほとんどのサンプルにおいて、測定された形状は理論計算結果とよく一致する。しかし一部の宇宙塵は、理論値よりも小さい変形度しか持たない。これは、これらの宇宙塵が動圧の低い状況で固化したことを示唆している。このようなことは、これらの宇宙塵が強い過冷却を経験した場合には起こりえると思われる。私たちはまた、変形度の小さい宇宙塵はガラス状組織をもち輝石に近い組成を持っているということに気づいた。輝石に近い組成を持つ粒子は結晶化しにくく、過冷却を経たのちガラス組織になりやすいことを考えると、これらの特徴は、動圧が形状を決めているという理論的理解と調和的である。

キーワード: 宇宙塵, 形状, 組成, 組織, 形成

Keywords: cosmic spherule, shape, composition, texture, formation

PPS020-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

紫外線と水による鉄の変化 Change in Iron with Ultraviolet Rays and Water

小森 信男^{1*}

Nobuo Komori^{1*}

¹ 大田区立南六郷中学校

¹Minamirokugo Junior High School

筆者は、紫外線と水による岩石の風化変質を実験的に調べる継続研究を中学校科学部の生徒研究として行っている。

今回は、精製水に浸した鉄板に紫外線を照射しその変化を調べた。岩石や鉱物中の鉄が、紫外線と水によって、どのように変化するのかを知るために、まず純粋な鉄の変化を調べる必要があると考えたからである。

この研究では精製水を満たした石英試験管に長方形の鉄板を入れ、市販の殺菌灯により254 nmをピークとする紫外線Cを照射し続けて変化を観察した。精製水は、10分間以上煮沸したものをを用いた。殺菌灯の照度は5ヶ月間で半分程に減る。

使用した鉄板は、厚さ0.3 mm × 10 mm × 20 mmの大きさであり、鉄の純度は99%以上である。対照実験として、同じ条件で紫外線を照射しない場合も観察した。紫外線は5ヶ月間照射し続けた。なお、照射開始時の照度は30 W/m²程、照射終了時は15 W/m²程である。

この実験の結果、鉄板では、5ヶ月間で、紫外線を照射したものは、試験管の底から7 mm程赤褐色の粉末が沈殿した。紫外線を照射しないものは、試験管の底から2 mm程暗褐色の粉末が沈殿した。これらの粉末を、X線回折解析にて調べた。この結果、紫外線を照射した場合、水中に生じた粉末は針鉄鉱と磁鉄鉱であること、紫外線を照射しない場合は、針鉄鉱が生じていることがわかった。

以上のことから、紫外線は、水に浸した鉄の酸化を促進すると考えられる。火星表面には過去において水が存在していたことが、明らかになりつつある。火星表面においても紫外線と水によって、磁鉄鉱が生成された可能性はあると考ええる。

キーワード: 紫外線C, 水, 鉄の酸化, 針鉄鉱, 磁鉄鉱, 火星

Keywords: Ultraviolet C, water, Iron oxide, Goethite, Magnetite, Mars

PPS020-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

非接触測定によって粒状体の熱慣性を決定する Non-contact Measurements for Thermal Inertia of Granular Materials

豊田 丈典^{1*}, 栗田 敬¹

Takenori Toyota^{1*}, Kei Kurita¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute

熱慣性は物質の「密度」「熱容量」「熱伝導率」の積を平方根した値であり、惑星表面の温度に大きな影響を与える。惑星表面の土壌の大部分は細かな粒子で構成されているので、粒子層の熱慣性が表面温度をコントロールしている [Mellon et al., 2000]。したがって惑星表面の温度変化を理解するためには、粒子層の熱慣性を定量する事が重要である。

粒子層の熱伝導率を測定した先行研究は数多く存在する [Presley and Christensen, 1997 など]。しかしながら、同じ試料を用いて密度と熱容量を測定して熱慣性を決定するという研究は、ほとんど存在しない。また、粒子層の熱伝導率の測定には「熱線法」が用いられる事が多い。この方法は粒子層の中にヒータと温度センサを埋める必要があり、粒子層の充填状態に影響を与えずに測定する事が困難である。

粒子層の充填状態に影響を与えずに粒子層の熱慣性を定量するために、我々は生理学の分野で人間の皮膚の熱慣性を測定する際に使われる方法 [Buettner, 1951] を惑星科学に適用する事にした。本研究で用いた測定法は、赤外線光源と赤外線温度計のみを用いるもので、非常に簡便である。粒子層の熱慣性を非接触測定で(粒子層の充填状態に影響を与えずに)決定する事が出来る。

本発表では、アルミナボール等の人工的な粒状体や火山堆積物等について、非接触測定法によって得られた熱慣性の値を報告する。また、従来の熱線法による測定結果 [Presley and Christensen, 1997; 岩崎亜紀子, 2009 (東京大学修士論文)] との比較考察も行う。

キーワード: 熱慣性, 粒状体, 惑星表層

Keywords: thermal inertia, granular material, planetary surface

様々な構成物質から成る粉体の熱伝導測定による粉体中の熱伝達メカニズムの考察 Considering heat transfer mechanism in powders by thermal conductivity measurements of different constituent particles

坂谷 尚哉^{1*}, 小川 和律¹, 飯島 祐一¹, 本田 理恵², 田中 智¹
Naoya Sakatani^{1*}, Kazunori Ogawa¹, Yu-ichi Iijima¹, Rie Honda², Satoshi Tanaka¹

¹ 宇宙研, ² 高知大学
¹ ISAS/JAXA, ² Kochi Univ.

大気を持たない固体惑星・小惑星・衛星の表層は細かなレゴリス粒子で覆われており、レゴリス層のような粉体は岩石に比べ熱伝導率が極度に低い。レゴリス層の熱伝導率は地殻熱流量を推定する際に必要な物理量である。そのため、天体内部の熱的状态や熱進化を知るためには表層の熱伝導率の正確な決定が求められる。しかし、粉体の熱伝導率は粒径・粒径分布・空隙率・荷重・温度・粒子の形状・粒子の構成物質・粒子表面の光学特性など、多くのパラメータに依存すると考えられているが、これらの依存性は十分に理解されていない。我々はパラメータをコントロールして粉体の熱伝導率を真空下で計測し、低熱伝導率物質の熱伝達メカニズムを理解することを目的とする。今回は構成粒子が異なる場合、および表面の光学特性が異なる場合について熱伝導率を測定した結果を報告する。

サンプルはガラスビーズ、中空ガラスビーズ、チタン粉末、炭素被膜ガラスビーズ、酸化チタン被膜ガラスビーズの5種類であり、粒径は100-500 μm程度である。サンプルの初期温度は20 degCであり、どのサンプルも深さ1 cmの位置で熱伝導率を測定する。熱伝導率の計測はline-heat source法で行った。これはサンプル中に張ったヒーター線に一定の発熱を与え、ヒーター線の温度上昇率から熱伝導率を導出する方法である。ヒーター線にはニクロム線を用いたが、チタン球と炭素皮膜ガラスビーズは導電性を持つため、絶縁被膜付きのニクロム線を作成して測定を行った。測定時間は1000 sで、この間の温度上昇は5 degC以下である。ヒーター線の温度上昇に応じて周りのサンプルの温度も上昇するが、この程度の温度上昇が熱伝導率に与える影響は無視できる。本予稿では、一例としてガラスビーズと中空ガラスビーズの結果について記述する。ガラスビーズと中空ガラスビーズの粒径、高密度、空隙率については表に示す。

まず、大気圧下で熱伝導率を測定した。その結果、ガラスビーズの熱伝導率は0.211 W/mKであるのに対し、中空ガラスビーズは0.048 W/mKであった。このように大気がある状況では中空ガラスビーズの熱伝導率はガラスビーズよりも低い値を持つ。一方、気体の影響が無視できるような真空下(0.01 Pa以下)で熱伝導率測定を行うと、ガラスビーズ・中空ガラスビーズともに0.0022 W/mKであった。この結果は真空下における粉体中の熱輸送のほとんどは輻射が担っており、粒子の種類や粒子間の接触ネットワークには寄らないという可能性を示唆している。また、同程度の粒径を持つ酸化チタン被膜ガラスビーズの熱伝導率は0.0037 W/mKであった。ガラスビーズの熱伝導率よりも大きくなったのは粒子表面の光学特性の違いによって輻射熱輸送量が異なることが原因であろう。

	particle diameter (μm)	bulk density (kg/m ³)	bulk porosity
solid glass beads	90-106	1540	0.39
hollow glass beads	90-115	40	0.98

PPS020-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

衝突クレーターリングにおけるターゲットレオロジーの影響：湿った砂の場合 The effect of target rheology on impact cratering.: case for a wet sand

瀧田 晴菜^{1*}, 隅田 育郎¹
Haruna Takita^{1*}, Ikuro Sumita¹

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科

¹ Kanazawa University

はじめに：惑星・衛星には隕石の衝突によりできたと考えられるクレーターが存在している。その形態はお椀型の単純クレーター、内部に中央丘などの構造をもつ複雑クレーターの他に、ランパートクレーターと呼ばれるクレーター周辺地形が花びら状になっているもの、ピットクレーターと呼ばれる中央部分に狭くて深い穴があったクレーターが存在する。このさまざまなクレーター形態は表層のレオロジーの違いが一因であると考えられる。

先行研究では乾いた物質をターゲットとして用いた衝突実験が数多く行われ、クレーター形態、スケーリング則が求められている（例：Walsh et al, 2003）。しかし、液体を含むターゲットに対する実験（例：Gault & Greeley, 1978）、ターゲットレオロジーに注目した実験は少ない。そこで本研究ではターゲットに湿った砂を用いて、その飽和度を変えることによりレオロジーを変え、ターゲットレオロジーと形成されるクレーターの関係について調べることを目的とする。

実験方法:アクリル容器（直径 180mm、高さ 90mm）に海岸の砂（粒径 0.2 mm）を詰め、ステンレス球を電磁石から自由落下させ衝突させる。形成過程は高速度カメラで撮影し、レーザー変位計を用いて、クレーター断面形状を測定し、直径・深さを求める。ターゲットに乾いた砂（充填率 51.3 ± 0.1%）を用いた場合は、球の大きさ（直径=10mm-22.2mmの間で7通り）、球を落とす高さ（h=200-1100mmの間で9通り）を変えて実験を行った。湿らせた砂の場合は落とす球は直径 22.2mm、落とす高さは 1100mm で固定し、充填率は 50 ± 2% に揃えて、水分飽和度 S を 0 から 80% まで変えて実験した。また、湿った砂の降伏応力を回転型粘性率計を用いて、せん断速度 10rpm で測定した。

実験結果：乾いた砂ではクレーターは単純クレーターと中央丘クレーターの2種類が見られた。衝突エネルギーが大きくなると中央丘クレーターが形成された。湿った砂では S が増加するに伴い、円錐型クレーター（S=0-3.3%）、穴の外側にリングが形成される円筒型のリングクレーター（S=4.1-5.5%）、円筒型クレーター（S=5.8-72.5%）、円錐型より丸みのあるボウル型クレーター（S=74.1-77.4%）と変化した。直径は S の増加に伴い小さくなり、リングクレーターから円筒型へと推移する S=6-10% で緩やかに変化し、その後一定の値で推移し、60-75% で再び増加する傾向が見られた。

クレーターと降伏応力：降伏応力 (σ_y) の飽和度に対する依存性はクレーターサイズ・形態の飽和度に対する依存性と良く似た形をしている。慣性力に起因する応力は $\sigma_y \sim (mv^2/R)/\pi R^2$ (m : 球重量、 v : 終端速度、 R : 球半径) より、約 1.8×10^5 [Pa] と見積もられる。dry な場合は $\sigma_y / \sigma_y \sim 10^{-2}$ 、wet な場合は $\sigma_y / \sigma_y \sim 10^{-1}$ であり、 $\sigma_y / \sigma_y > 10^{-1}$ になると、形態が大きく変化したことになる。

参考文献

[1] Gault, D. E. & Greeley, R. *ICARUS* 34, 486-495. 1978

[2] Walsh, A. M., Kristi, H. E., Habdas, P. and de Bruyn, J. R., *Phys Rev Lett.* 91, 104301, 2003

キーワード: 衝突クレーター, 湿った砂, レオロジー, 実験

Keywords: impact cratering, wet sand, rheology, experiment

PPS020-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

衝突蒸気雲の膨張速度 Expansion velocity of the impact vapor cloud

海老名 良祐^{1*}, 高橋 悠太¹, 柳澤 正久¹, 長谷川 直²

Ryosuke Ebina^{1*}, Yuta Takahashi¹, Masahisa Yanagisawa¹, Sunao Hasegawa²

¹ 電気通信大学, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Univ. Electro-Communications, ²Japan Aerospace Exploration Agency

宇宙空間では、原始惑星と微惑星が高速度で衝突することで蒸気雲が発生する。これを衝突蒸気雲と呼ぶ。これは、衝突速度や衝突する材質などにより雲の形が異なる。

衝突蒸気雲の膨張速度は衝突速度、角度、ターゲットの材質によらず、(衝撃波通過後のナイロンの飛翔体の圧力と密度で定義される)音速に比例するといわれる。膨張速度に関する先行実験は、緻密な材質でのみおこなわれている。しかし、宇宙空間で衝突する惑星は多孔質である。

そこで、本研究では多孔質を弾丸とした場合と等価な実験を行う。発生した衝突蒸気雲を高速度カメラで撮影し、解析する。それらの結果を用いて、膨張速度と空隙率の関係を考察する。

その結果、膨張速度は音速の約2倍となり、理論上の考察と一致した。

音速の算出過程で空隙率の影響を考慮しているため、音速と膨張速度の関係には空隙率の影響を考慮する必要がある。

キーワード: 高速度衝突, 衝突閃光, 蒸気雲, 月面衝突閃光

Keywords: Highvelocity impact, Impact flash, Vapor cloud, Lunar impact flash

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS020-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

衝突閃光での黒体放射 Blackbody radiation in impact flash

高橋 悠太^{1*}, 海老名 良祐¹, 柳澤 正久¹, 長谷川 直²

Yuta Takahashi^{1*}, Ryosuke Ebina¹, Masahisa Yanagisawa¹, Sunao Hasegawa²

¹ 電気通信大学, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Univ. Electro-Communications, ²Japan Aerospace Exploration Agency

流星体が月面に高速衝突する際に閃光が生じる(衝突閃光). 閃光には衝突の瞬間に発するものと, 発生する衝突蒸気雲からのものがある. 蒸気雲の発光が黒体放射ならば, そのスペクトルから蒸気雲の温度を推定することができる. 蒸気雲の発光は黒体放射であると仮定されることがあるが, その真偽はまだわかっていない. 本研究では, 高速度衝突実験でいくつかの波長域で測光を行い, 衝突蒸気雲の発光が黒体放射であるか否か調べる.

キーワード: 高速度衝突, 衝突閃光, 蒸気雲, 黒体放射, 月面衝突閃光

Keywords: Highvelocity impact, Impact flash, Vapor cloud, Blackbody radiation, Lunar impact flash

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS020-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

玄武岩標的上の衝突クレーター形成実験 Impact Cratering Experiments on Basalt Targets

高木 靖彦^{1*}, 長谷川 直²

Yasuhiko Takagi^{1*}, Sunao Hasegawa²

¹ 愛知東邦大学, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Aichi Toho University, ²JAXA

Impact cratering experiments on basalt targets were performed. Aluminum and steel spheres were impacted to basalt targets with velocities from 3100 to 5300 m/sec. Diameter of formed craters were 30 to 100 mm. Details of results and implications to the scaling law will be presented in the session.

キーワード: 衝突現象, スケーリング則

Keywords: Impact Phenomena, Scaling Law

模擬レゴリス物質の衝突破壊強度の測定 Measurements of impact strength of simulated regolith materials

荒川 政彦^{1*}, 藤田 幸浩², 鳶生 有理², 長谷川 直³, ヤチェック レリワコピスティンスキ⁴
Masahiko Arakawa^{1*}, Yukihiro Fujita², Yu-ri Shimaki², Sunao Hasegawa³, Jacek Leliwa-Kopystynski⁴

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 名古屋大学大学院環境学研究科, ³ 宇宙科学研究所, ⁴ ワルシャワ大学

¹Kobe University, ²Nagoya University, ³JAXA/ISAS, ⁴University of Warsaw

はじめに: 月や小惑星表面は, 衝突破片が降り積もってきたレゴリス層で覆われている. このレゴリス層は, ダストの様な微小粒子から数 cm, 数 m の破片まで広いサイズ分布を持つ粒子から構成され, 粒子同士は自重による静的圧力や衝突による動的な圧力を受けて圧密されており, その圧密の程度に従った力学強度を持つ. レゴリス層の形成で代表される天体表面での衝突破片の再集積・堆積作用は, 惑星形成過程において普遍的なものであり, いったん形成したレゴリス層も, 継続する天体衝突により, 繰り返し破砕・再集積・堆積過程を繰り返すことになる. このレゴリス形成サイクルでは, 衝突掘削により圧密の進んだ地下深部の高強度物質を掘り起こして表層に循環させることになる. そこでレゴリスは高強度破片と表層ダストの混合物となり, レゴリス層は, 高強度の岩片をダストのマトリックスが覆うような構造を持つにいたると考えられる. このレゴリス形成サイクルは, 月隕石, HED 隕石に見られるポリミクト, モノミクトプレッチャーとして凍結されている. 本研究では, レゴリス形成サイクルのタイムスケールやサイズスケールを決める重要な物理量であるレゴリスの衝突破壊強度に関する実験と考察を行う. 特に, 高強度の岩片とマトリックスの混合物であるレゴリスの特徴に注目して, 岩片・マトリックス構造が及ぼす衝突破壊強度への影響を調べる.

実験方法: レゴリス模擬試料は, 5~10mm の河川礫と石膏を混合して作成した. 礫と石膏の質量比は 1 : 6 程度であり, マトリックスとなる石膏の空隙率は 50% 程度である. 礫・石膏試料の大きさは直径 15cm, 高さ 15cm 程度の円筒形で, 質量は約 2.8kg である. 衝突実験は円筒の平坦な底面の中心に弾丸を衝突させて行った. 弾丸は直径 7mm のナイロンであり, その衝突速度は 2~6km/s である. 衝突実験は宇宙研の二段式水素ガス銃を用いて行った. 実験後の試料を回収して最大破片の計測を行い, 衝突破壊強度を決定した.

実験結果: 最低速度の 2km/s の実験では, 衝突点を中心に数 cm の孔が形成された. そして, その孔を中心に放射状のクラックが側面にまで伸びている. 側面にまで伸びたクラックが十分に成長した箇所では, 試料の一部が破砕されている. 衝突速度が大きくなると衝突面側の 1/2 から 2/3 が破砕し, その後吹き飛ばされて, 衝突点の反対点側が円盤状の破片としてその場に残置される. さらに破壊が激しくなると衝突後の破片は, 初期形状を留めなくなる. 岩片・石膏構造体試料では, 結晶質の試料とは異なり, 衝突破壊強度以下のエネルギー密度で衝突点から試料全体にまでクラックが行き渡ることなく, さらに, コア型破壊や縦割れ破壊も観察されない. エネルギー密度の増加と共に衝突面から徐々に試料が削られて小さくなっていくように見える. エネルギー密度と最大破片の関係から衝突破壊強度を見積もると約 300J/kg となった. これは礫とほぼ同じ強度を持つと思われる玄武岩の 1000J/kg, 石膏の 2500J/kg と比べてずっと小さい. 構造体がこのような弱い衝突破壊強度を持つ理由は, 礫や石膏そのものが破壊することにより構造体が破壊しているわけではなく, その主な破壊メカニズムが礫と石膏界面の剥離であるからだと予想される. しかしながら, 石膏や礫の存在が伝播する衝撃波にどのような影響を与えているかは不明であり, 界面での剥離強度を超えた実験や礫濃度を変化させた実験により, さらに研究を進める必要がある.

キーワード: レゴリス, 衝突破壊強度, 圧密, クレーター, 角礫岩, 月隕石

Keywords: regolith, impact strength, compaction, crater, breccia, lunar meteorite

氷・岩石混合物の流動則に対する岩石粒子のサイズと形状の効果 Flow law of ice-rock mixtures: Effects of particle size and shape

保井 みなみ^{1*}, 荒川 政彦²

Minami Yasui^{1*}, Masahiko Arakawa²

¹ 神戸大学自然科学系先端融合研究環, ² 神戸大学大学院理学研究科

¹Kobe University, ²Kobe University

はじめに：地球や火星氷床の流動過程、氷衛星の熱進化過程、さらにそのテクトニクスを理解するためには、氷・岩石混合物のレオロジーを知る必要がある。特に長期変形に関わる塑性流動の応力と歪速度の関係を示した「流動則」が最も重要である。著者は現在まで、流動則に対する岩石濃度、空隙率、温度の依存性について詳細に調べており、各パラメータ依存性を考慮した流動則を提案している。一方、実際の氷床や氷衛星を構成している氷・岩石混合物は、岩石濃度や空隙率以外にも氷粒径、岩石粒子サイズ、形状等まだよく知られていない未知のパラメータが幾つもあるのが現状である。そこで今回は、岩石粒子のサイズ、そしてその形状に着目し、氷・岩石混合物の流動則に対するその2つのパラメータ依存性について詳細に調べた。

実験方法：実験試料は直径約710ミクロン以下の氷粒子と2種類の固体粒子を混ぜて作成した。固体粒子の1つは、球形のシリカビーズ、もう1つは多角形の蛇紋岩粉末である。またシリカビーズは直径1mmと1ミクロンのものを用いた。蛇紋岩粉末は直径数十ミクロンである。試料は2種類の方法で作成した。1つは氷粒子と固体粒子を混ぜたものを約50MPaの圧力をかけて圧密して作成した圧密試料、もう1つは氷粒子と岩石粒子を混ぜたものに液体の水を入れて作成した凍結試料である。全6種類の試料は全て岩石濃度を1wt.%から80wt.%と変化させた。また温度は-10℃と一定にした。実験は北大・低温研に設置した変形試験機を用いて行った。歪速度を一定にした等歪速度一軸圧縮実験とし、歪速度範囲は約 10^{-6}s^{-1} から 10^{-3}s^{-1} とした。

結果：1mm試料の濃度依存性を調べた結果、圧密試料・凍結試料共にビーズ濃度50wt.%以下は、濃度が変化しても強度は変化せず純氷とほぼ一致し、50wt.%以上になると濃度の増加と共に、強度が小さくなることがわかった。これは今まで知られている1ミクロン凍結試料の強度振る舞いとは全く正反対の結果である。この理由について、次のように考えた。1mm試料の場合、氷粒子の粒径とビーズのサイズがほぼ同じなので、試料の内部構造は氷粒子とビーズが均等に分布し、ビーズ濃度が低いとビーズ同士は接触せず分散して存在する。一方、ビーズ濃度が高いとビーズ同士が接触するようになる。この内部構造が変化する境界の濃度が50wt.%と思われる。ビーズの周囲では氷に応力集中が起こるので、氷部分の変形速度が大きくなると思われる。しかし50wt.%以下ではビーズ間の距離が十分に広いため、このビーズの影響を受けずに試料全体の変形が起きる。そのため純氷とほぼ同じ強度を示すと考えられる。50wt.%以上になるとビーズ同士の距離が短くなり、応力集中による氷の流動速度の増加が、試料全体に影響を及ぼす。そのため、濃度の増加と共に強度が低下するようになる。一方で、蛇紋岩試料は基本的に1ミクロンビーズ試料と濃度が同じであればほぼ同じ強度、流動則になることがわかった。つまり形状の効果はあまり見られなかった。最後に流動則の特にベキ n に注目して調べたところ、 n は全ての試料において濃度の増加と共に大きくなることがわかった。これは先行研究から、マイクロクラックの生成によるものと考えられる。

キーワード: 氷・岩石混合物, 火星氷床, 氷衛星, レオロジー, 岩石粒子サイズ, 岩石粒子形状

Keywords: ice-rock mixture, ice sheets on Mars, icy satellites, rheology, rock particle size, rock particle shape

ハビタブルゾーン内側境界における水の散逸による海惑星から陸惑星への進化 Evolution from aqua planet to land planet by water loss ; the inner edge of habitable zone

小玉 貴則^{1*}, 玄田 英典¹, 阿部 豊¹, Kevin Zahnle²
Takanori Kodama^{1*}, Hidenori Genda¹, Yutaka Abe¹, Kevin Zahnle²

¹ 東京大学大学院地球惑星科学専攻, ²NASA エイムズ研究所

¹University of Tokyo, ²NASA Ames Research Center

生命の誕生と進化を考える上で、液体の水の存在は重要であると考えられている。液体の水が惑星表面に存在できる中心星からの距離の範囲をハビタブルゾーン (HZ) と呼ぶ。Kasting ら [1] は、HZ の内側境界を水の散逸で決め、外側境界を温室効果の維持で決めた。その結果、彼らは HZ を現在の太陽放射の約 90 % から約 110 % の範囲と見積もった。

一方、阿部ら [2] は、Kasting らが考えた全球的に海がつながっている地球のような惑星 (海惑星と呼ぶ) ではなく、水の量がごく少量の仮想的な惑星 (陸惑星と呼ぶ) を考えた。陸惑星は、惑星表面の水分布が大気中の水蒸気の循環にのみ支配される惑星である。陸惑星の重要な特徴は、降雨と蒸発が局所的にバランスし、水の局在化が起こることである。彼らは、大気大循環モデルを用いて、1 気圧の空気からなる大気を持つ陸惑星の HZ を現在の太陽放射の 77 % から 170 % と見積もった。その結果、陸惑星は、海惑星よりも広いハビタブルゾーンを持つ可能性が指摘された。

したがって、惑星表面の水の量は HZ を考える上で、とても重要だという示唆が得られた。そこで、我々は、長期的な水の散逸プロセスに注目し、惑星が保持する水量の進化をモデル計算した。もし恒星の進化により効果的に水が散逸したとすると、海惑星から陸惑星へ進化する可能性がある。このような場合、海惑星が HZ の内側 (または外側) に存在しても、途中で、陸惑星へと進化し、そのままハビタブルな惑星でいつづける可能性がある。

我々は、水の流体的散逸 [3,4] と恒星の進化 [5,6] を考慮し、初期に様々な水量を持つ仮想的な惑星に対して、様々な距離における惑星の持つ水の変化を計算し、その時の惑星の状態を調べた。その結果、太陽型の恒星で初期に約 0.1 海洋質量程の水を保持している地球サイズの惑星の場合、恒星から約 0.7AU の距離から外側で海惑星から陸惑星への進化が見られた。また、我々は惑星を Water planet (水が惑星表面に存在している惑星)、Steam planet (暴走温室状態の惑星)、Dry planet (水を惑星表面に含まない惑星) に分類することが出来た。海惑星から陸惑星の進化を考える上で、水が散逸して失われるタイムスケールと恒星の進化のタイムスケールが重要である。前者が短い場合、海惑星は陸惑星に進化する。後者が短い場合、海惑星は暴走温室状態になる。

系外地球型惑星が必ずしも地球程度の水を持っているとは限らない。また、これまでに発見された系外惑星は、様々なスペクトル型の恒星の周りを回っている。一般的に、太陽よりも軽い恒星の進化は遅く、重い恒星の進化は早い。

太陽よりも軽い恒星の周りを回っている惑星の進化は、恒星の進化が遅いため効果的な水の散逸を経験するので、海惑星から陸惑星への進化が起こりやすく、太陽よりも重い恒星の周りを回っている惑星は、恒星の進化が早い為に、暴走温室状態になりやすい。今回の発表では、恒星の型、恒星からの距離、惑星サイズ、惑星が初期に持つ水量をパラメータに、惑星の状態の進化と HZ の内側境界について議論する。

Reference

- [1] Kasting, J. F., Whitmire D. P., and Reynolds, R. T. (1993). *Icarus*, 101, 108-128.
[2] Abe et al (2011, prep). [3] Guinan, E.F., Ribas, I., 2002. Vol. 269. *Astron.Soc. Pa-cific, San Francisco*, pp.85-106. [4] Walker (1977) [5] Gough, D. O (1981) *Solar Physics*, vol. 74, Nov. 1981, p. 21-34 [6] Iben, I. (1967)

1次元EBMを用いた陸惑星の完全蒸発限界について A suggestion for complete evaporation limit on land planet using 1-dimensional energy-balance model

高尾 雄也^{1*}, 木原直哉¹, 玄田 英典¹, 小玉 貴則¹, 阿部 豊¹
Yuya Takao^{1*}, Kihara Naoya¹, Hidenori Genda¹, Takanori Kodama¹, Yutaka Abe¹

¹ 東京大学

¹ University of Tokyo

地球型生命の存在や進化を考える上で、液体の水の存在は重要だと考えられる。中島ら(1992)は、液体の水が豊富にあり全球的に分布している惑星(海惑星と呼ぶ)について、1次元放射対流平衡灰色大気モデルを用いて、大気構造を解くことによって地表面温度と惑星放射の関係を求め、射出限界の存在について議論した。彼らの結果では、射出限界は、アルベドを0.3に固定した場合、1AUでの現在の太陽放射の122%相当であると見積もられた。

一方、阿部ら(2011, submitted)は、3次元大気大循環モデルを用いて、惑星表面の水量がごく少量の仮想的な惑星(陸惑星と呼ぶ)の気候について検討した。その結果、降雨と蒸発が局所的にバランスすることによって、水の局在化が起こり、低緯度が乾燥し、高緯度に水が集中することがわかった。そのような惑星の表面に存在する液体の水が全て蒸発する太陽放射(完全蒸発限界)を計算し、陸惑星の完全蒸発限界は1AUでの現在の太陽放射の170%程度になると見積もられ、海惑星の射出限界を大きく上回ることがわかった。

完全蒸発限界を考える上で、水の分布と局在化は重要である。しかし、阿部らが用いたモデルでは惑星表面での水輸送は考慮されていない。そこで我々は、水量が少ない惑星について、惑星表面での水輸送を考慮した場合の惑星気候への影響を簡単なモデルを用いて検討した。

我々は、中島らの大気モデルを拡張し、地表面温度、水量、惑星放射の関係を調べ、North(1975)が用いた南北1次元EBM(Energy Balance model)に水の潜熱の効果を加え、水輸送効率をパラメータとして計算した。その結果、水輸送効率が良い場合(大気の水蒸気輸送の1/10)は、太陽放射を大きくしていても、低緯度まで液体の水が存在することができ、完全蒸発限界が、1AUでの現在の太陽放射の122%であることがわかった。この値は、海惑星の完全蒸発限界と一致し、水量が少ない惑星でも海惑星的な振る舞いをする事がわかった。一方、輸送効率が悪い場合(大気中の水蒸気輸送の1/500)、水は高緯度付近に局在化し、陸惑星的になることがわかった。そのときの完全蒸発限界は太陽放射の130%程度になり、海惑星の射出限界の値を上回った。

ここで仮定している水量の少ない惑星での水輸送は、海惑星の水輸送とは大きく異なることが予想できる。もしそのような少量の水が陸惑星に存在していたとすると、地表に存在していた液体の水は、土壌に吸い込まれ、地下水のような様子で輸送されることが考えられる。Darcy 則を用いて、水輸送の拡散係数を見積もったところ、大気中の水蒸気輸送の 10^{-10} 倍であることがわかり、やはり、水量が少ない惑星は、陸惑星的な気候状態をとることが確認できた。

PPS020-P13

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

海王星大気における一硫化炭素混合比上限の導出 Upper limit of carbon monosulfide in Neptune's atmosphere

飯野 孝浩^{1*}, 前澤 裕之¹, 水野 亮¹, 長浜 智生¹, 廣田 晶彦²

Takahiro IINO^{1*}, Hiroyuki Maezawa¹, Akira Mizuno¹, Tomoo Nagahama¹, Akihiko HIROTA²

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 国立天文台野辺山

¹STEL, Nagoya University, ²The Nobeyama Radio Observatory, NAOJ

海王星大気には大量のCOが存在し、その混合比は1 ppm前後と見積もられている。このCOの起源として、小天体の衝突など外部からの寄与が考えられている。惑星への小天体衝突の代表的事例として挙げられるのは1994年のShoemaker-Levy 9 彗星の木星への衝突である。このとき、木星大気にはCO, HCN, そしてCSが大量に放出されたことが観測的に明らかになっている (Moreno et al., (2003) など)。これらのうち、CS分子については海王星大気中にはまだ存在が明らかになっていない。我々は国立天文台野辺山のASTE (Atacama Submillimeter-millimeter Telescope Experiment) 望遠鏡を用い、2010年8月に海王星に対してCS ($J=7-6$, 342.88 GHz) の観測を実施した。輝線は検出されなかったが、輻射輸送モデルで作成したスペクトルとの比較により、CS混合比の上限値を0.1 ppb程度と見積もることができた。本発表では観測とその結果について述べ、木星に比べて低いCS/CO比が持つ意味について議論する。

PPS020-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 10:30-13:00

ハドレー循環からスーパーローテーションへ：軸対称かつ赤道非対称な加熱が大気循環の遷移に与える影響

From Hadley Circulation to Superrotation: effects of equator-off heating on the transition of atmospheric circulation

関根 康史¹, 黒川 宏之^{1*}, 中本 泰史¹
Yasufumi Sekine¹, Hiroyuki Kurokawa^{1*}, Taishi Nakamoto¹

¹ 東京工業大学地球惑星科学専攻

¹Earth and Planetary Sciences, Tokyo-Tech

The oblique angle of planetary rotation axis is thought as one of the most important parameters for the atmospheric circulation. We study the effects of equator-off heating on the transition from Earth-like Hadley cell to Venus-like superrotation. The effect of equator-off heating drives the seasonal variation of the atmospheric circulation.

We use a simple model; axisymmetric primitive equations on the spherical coordinates with the Boussinesq and Newtonian cooling approximation. The thermal Rossby number (RT), the horizontal Ekman number (EH), and the latitude at which radiative equilibrium potential temperature is maximum (f_0), are treated as parameters. We construct the numerical calculation model and integrate until the steady-state is established, however for some sets of the parameters the steady-state is not established because of symmetric instabilities. A measure of a rigid rotation, R_g , and a measure of the intensity of superrotation, S , are introduced as Yamamoto et al. (2009). Also we attempt to describe the effects by analytic calculations.

We find that when f_0 increases, R_g decreases, and larger EH is needed to transit from Hadley cell to a rigid rotation, because the zonal winds inside and outside the Hadley cells lose the component of a rigid rotation and gain the component of a non-rigid rotation. We make the expression of the divisional latitude between the summer and winter cells as a function of S , RT and f_0 for large EH . S decreases with increasing f_0 for large EH . In the case of two cells for large EH , the main upward transport of the angular momentum through vertical wind at the divisional latitude between the summer and winter cells is effective and the total transport of the angular momentum through vertical wind is upward because of the difference between the distribution of upward flow and that of downward flow.

キーワード: 大気循環, 系外惑星

Keywords: Atmospheric Circulation, exoplanets

渦の周りの流れ場とダストの面密度分布進化について:解析モデルと数値シミュレーションの比較

Gas velocity field around a vortex and the evolution of dust surface density distribution in a vortex

河村 恵里^{1*}, 渡邊 誠一郎¹, 稲葉知士²
Eri Kawamura^{1*}, Sei-ichiro Watanabe¹, Satoshi Inaba²

¹ 名古屋大学, ² 早稲田大学

¹Nagoya University, ²Waseda University

本研究では、渦における微惑星形成という微惑星形成シナリオの中で、渦の中にダストがどれだけの時間で初期の何倍にまで集まるかということ、渦の周りで局所的にダストの運動を半解析的に解くことで定量的に求めてきた。その結果、渦の中でのダストの面密度分布はダストのサイズや渦の流れのパラメータ（楕円渦の縦横比や渦の流れの回転角速度）によらず渦の中心からの距離の -2 乗に比例する形を取るということ、mm サイズ以上のダストであれば渦の中で初期の20倍程度にまで面密度が増加し、ダスト層の自己重力不安定によって微惑星が形成されることが示唆されるということが分かった。

今回は、本研究における解析的な枠組み（local）での結果と、Inaba & Barge 2006*に基づいたガス - ダスト二層流体シミュレーションで渦形成と渦の中へのダストの集積を解いた数値シミュレーション（global）の結果との比較を行い、解析的な枠組みから得られた結果がどの程度汎用的なものなのかということの評価をする。比較に関しては、渦の周りのガスの流れ場と、渦の中でのダストの面密度分布進化に関して行った。

渦の周りの流れに関しては、本研究ではこれまでに、渦の中には先行研究においても用いられている解析的な流れ**を、渦の外には渦の流れの流線関数と背景のケプラーシアの流線関数を足し合わせることによって解析的にモデル化した流れを用いてきた。渦の中の流れに関しては、解析的な流れ**とシミュレーション結果が非常に良い一致を示すことが分かった。外の流れに関しても比較を行い、本研究で行っているモデル化に対する議論を行う。

ダストの面密度分布進化に関しては、ダストからガスへのバックリアクションなし、計算領域内で一定抵抗係数、背景の円盤の圧力勾配なしという解析解の状況に最も近づけた数値シミュレーションと解析解を比較しても、解析解の方がややダストを集めやすい解になっているという結果が得られた。この原因に関する考察を行うと共に、バックリアクション有の場合・非一定抵抗係数の場合・背景の円盤の圧力勾配がある場合などとの結果との比較も行って、それぞれの効果を取り入れた場合に、それがダストの集積に与える影響を定量的に評価した議論も行う。

*Inaba, S. & Barge, P. 2006, ApJ 649, 415

** Johansen, A. et al. 2004, A&A, 417, 361

キーワード: 微惑星形成, 渦, 解析解, 数値シミュレーション

Keywords: planetesimal formation, vortex, analytical solution, numerical simulation

原始惑星成長における微惑星破壊と惑星大気の影響 Planetary Embryo Growth with Atmosphere and Collisional Fragmentation

小林 浩¹, クリフォフ アレキサンダー¹, 田中 秀和^{2*}
Hiroshi Kobayashi¹, Alexander Krivov¹, Hidekazu Tanaka^{2*}

¹ フリードリッヒ・シラー大学, ² 北海道大学低温科学研究所
¹Friedrich Schiller University, ²Inst. of Low Temp. Sci., Hokkaido Univ.

微惑星から原始惑星へのステージにおいて、原始惑星が火星程度のサイズに成長すると、原始惑星の強い重力で周りの微惑星を振り回し、微惑星間の衝突速度が非常に大きくなる。その結果、微惑星同士の衝突で微惑星は破壊される。その結果大量に放出される破片は、破片同士の頻繁な衝突によりどんどん小さくなっていく(衝突カスケード)。破片は1-10m程度のサイズになるとガス抵抗により衝突速度が下げられ、衝突カスケードが止まる。最終的にはガス抵抗により中心星に落下し、原始惑星の周りから取り除かれる。この結果、原始惑星の周りの天体の面密度が減少する。原始惑星はこれらの天体を食べて成長していたため、成長が止まってしまう。このように破壊を考慮すると原始惑星が成長できる限界質量が決まる。我々は、シミュレーションと解析的に原始惑星の限界質量を求めた。この限界質量は木星をコア集積により作るために必要な臨界質量に到達しない。だが、惑星の大気を考慮すると初期の微惑星が大きく、質量が重い原始惑星円盤ならば、このようなコア形成が可能であることを示す。

キーワード: 惑星形成, 天体衝突破壊, 惑星大気

Keywords: Planetary formation, collisional fragmentation, planetary atmosphere

惑星による微惑星の一時捕獲 Temporary capture of planetesimals by a planet

末次 竜^{1*}, 大槻 圭史², 谷川 享行³

Ryo Suetsugu^{1*}, Keiji Ohtsuki², Takayuki Tanigawa³

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 北海道大学低温科学研究所

¹Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ., ²Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ./CPS, ³Low Temp. Sci. Inst., Hokkaido Univ./CPS

惑星近傍を微惑星が通過すると、微惑星は惑星と重力相互作用し、近接散乱されて遠方へとばされる。しかし稀に惑星の重力に微惑星が捕獲され、惑星を中心にしばらく公転して近傍にとどまった後、遠方へ飛ばされてゆくことがある。この現象を一時捕獲という。近年、この一時捕獲が短周期彗星の力学進化、不規則衛星の形成といった惑星系形成の重要な役割を担っている可能性が示唆されている。今までの一時捕獲の研究の大半は、微惑星の初期位置が惑星近傍でそこからどのように惑星に一時捕獲されるかを調べられてきたが、一時捕獲の頻度などは求められていない。最新の研究としては Iwasaki & Ohtsuki (2007) がある。この論文では主に円軌道の場合の一時捕獲過程について詳しく研究され、一時捕獲の頻度についても求められている。惑星の公転周期の10倍以上の微惑星の一時捕獲は、非常に稀であることが示された。また一時捕獲は地球などの太陽系の内部と比較して太陽系の外縁部でよく起こることがわかった。これはヒル半径が太陽から遠ざかるほど大きくなり、微惑星を重力捕獲しやすくなるためである。離心率が小さい場合の一時捕獲過程についても調べられており、離心率が増加すると一時捕獲の頻度も僅かに増加した。順行一時捕獲の頻度は逆行一時捕獲の頻度に比べて小さく、順行で長時間の一時捕獲は見つからなかった。しかしながら惑星形成後期の巨大惑星によって微惑星の離心率と軌道傾斜角が励起され、ランダム速度が大きいときの一時捕獲については研究されていない。そこで本論文では、大きな離心率をもった微惑星の一時捕獲についての研究を行った。

研究手法としては太陽中心に公転する惑星、微惑星の三体問題軌道計算を行った。惑星と同じ公転角速度で回転する座標系の原点に惑星をおき、ヒル方程式を八次のルンゲッタを用いて軌道積分した。微惑星の初期位置は惑星からの重力が十分無視できる遠方に行っている。

研究の結果、離心率をもった一時捕獲の頻度は離心率が大きくなると増加することが分かった。順行の一時捕獲の頻度も増加した。円軌道の場合に一時捕獲された微惑星の軌道と楕円軌道の場合に一時捕獲された微惑星の軌道についても比較検討した。

キーワード: 惑星, 衛星

Keywords: planets, satellites

自己重力と粒子自転を考慮した惑星リングの粘性 Viscosity in planetary rings including spinning, self-gravitating particles

安井 佑貴^{1*}, 大槻 圭史², 台坂 博³

Yuki Yasui^{1*}, Keiji Ohtsuki², Hiroshi Daisaka³

¹ 神戸大学理学研究科, ² 神戸大学大学院理学研究科, ³ 一橋大学商学部

¹Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ., ²Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ./CPS, ³Hitotsubashi Univ.

土星のリングは多数の氷粒子で形成されており, これら粒子間の衝突および重力相互作用によって角運動量は輸送される. このような粒子間相互作用に起因するリングの粘性はリングの力学進化と構造形成を支配する. 粒子間の衝突そして重力相互作用を含む局所 N 体シミュレーションによって, 光学的に厚いリングではリングの自己重力のために, wake 構造が形成されることが示されている. また他の研究の数値計算の結果から, wake 構造が伴うような光学的に厚いリング中の粘性は自己重力の効果により著しく強められることが明らかになっている. しかし, この先行研究では表面摩擦の効果は考慮されていなかった. これまでに重力がなく自転している粒子からなる惑星リングの粘性は研究されてきた. しかし重力がある場合の粒子の表面摩擦と粒子の自転の効果が粘性に与える影響については調べられていない.

粘性加熱と表面摩擦を含む非弾性衝突によるエネルギー散逸の間でエネルギーのつり合いを考えることにより, 本研究で, 粒子間の衝突および重力相互作用に加え, 粒子の自転の効果も考慮に入れた惑星リングにおける粘性を調べた. 粒子間の衝突では垂直方向および接線方向の反発係数を使って衝突による速度の変化を計算している. 表面摩擦がある場合, 粒子の自転角速度の変化も計算している. 我々は粘性が光学的厚さや土星からの距離, そして反発係数の垂直成分, 接線成分にどのように依存するのか調べた. 加えて室内の衝突実験から得られている速度依存性のある反発係数の場合についても調べた. 光学的に薄いリングの場合, 粘性は三体軌道計算を用いることで見積もられることが明らかになっている. 我々は他の研究の三体軌道計算から得られた粘性と本研究の N 体計算から得られた粘性の比較も行っている.

始めに我々は表面摩擦がない場合の粘性を計算した. 光学的に薄い場合, 粘性は光学的厚さに比例して増加することがわかり, 三体軌道計算に基づく結果と良く一致することが確認された. しかしながら, wake の形成を伴うような光学的に厚いリングでは N 体計算の結果は三体軌道計算に基づく結果からずれ, 粘性は著しく増加することがわかった. これは自己重力があり粒子表面を滑らかと仮定したこれまでの研究の結果と一致する. 次に我々は, 表面摩擦と粒子自転の効果を調べた. 光学的に薄い場合, 表面摩擦が効く方が粘性がわずかに小さくなることがわかった. これは表面摩擦によって, より多くのエネルギー散逸が生じ, 粒子のランダム運動が抑えられるためである. 一方で, wake が顕著に形成されるような光学的に厚い場合, 表面摩擦の粘性に対する依存性は無視できることがわかった. これは光学的に厚いリングの場合, リングの自己重力によって粘性が強められる効果が表面摩擦の効果よりもより支配的であることを示す.

キーワード: 惑星リング, 粘性, 自己重力, 粒子自転, 局所 N 体シミュレーション

Keywords: planetary rings, viscosity, self-gravity, particles' spin, Local N-body simulation

タイプI惑星移動に対する輻射の影響について Radiative effect on the type I migration

山田 耕^{1*}, 稲葉知士²
Kou Yamada^{1*}, Satoshi Inaba²

¹ 神戸大学惑星科学研究センター, ² 早稲田大学国際教養学部

¹CPS, Kobe Unive, ²SILS, Waseda university

Gravitational interactions between a low-mass planet and a gas disk are one of the most important physical processes in planetary formation. A planet excites density waves in a disk, of which the tidal torque acts on a planet and leads to the migration of the planet. This is known as the type I migration of a planet. A planet migrates toward a central star on a shorter timescale than a lifetime of a disk. Previous studies adopted a disk with the constant temperature distribution and did not take into account the energy transfer in a disk. However, it was shown that density waves can be altered by a thermal structure of a disk. A planet might move away from a central star (i.e., outward migration) if the entropy gradient of a disk is negative.

Yamada and Inaba (2010, MNRAS) studied the type I migration of planets in disks, considering a cooling effect of gas due to radiation. They found that the total torque exerted on a planet by an adiabatic disk decreases with an increase in the power law index of the entropy distribution. The torque changes the sign from positive (outward migration) to negative (inward migration) at $a = -0.4$, where a is the power law index of the entropy distribution. They also found that the total torque decreases with an increase in opacity of a disk if a cooling effect is taken into account. The type I migration is influenced by opacity of a disk. Yamada and Inaba used a constant opacity in a disk even though it is expected to change in a disk because it depends on the temperature.

We study the type I migration of a planet in disks with various opacities. We find that the total torque acting on a planet by a disk strongly depends on opacity of the disk. We adopt a more realistically opacity model and find that the sign of the total torque could change in a zone of a disk. Planets formed in other regions of a disk migrate toward the zone. Accumulation of planets in the zone might accelerate further growth of planets.

キーワード: 惑星移動, 重力相互作用, 降着円盤, タイプI, 密度波, 輻射

Keywords: migration, gravitational interaction, accretion disk, type I migration, density wave, radiation

ホットネプチューンの質量と平均密度関係に対する系統的理解 A Systematic Study of the Mass-Density Relation for hot-Neptune

黒崎 健二^{1*}, 生駒 大洋¹, 堀 安範¹

Kenji Kurosaki^{1*}, Masahiro Ikoma¹, Yasunori Hori¹

¹ 東京工業大学・理・地球惑星

¹Earth and Planetary Sciences, TokyoTech

本研究では、系外惑星のトランジット観測における次のターゲットとして期待される H₂O 主体の惑星について、内部構造モデリングおよび質量散逸を考慮した熱進化計算によって、惑星の質量と平均密度、年齢等の関係を理論的に導いた。

系外惑星の検出法の中で、惑星の引力による中心星のゆれを（ドップラー遷移として）測定する視線速度法と、惑星が中心星を横切る時の食によって生じる中心星の見かけの減光を観測するトランジット法が主流である。とりわけ後者の発展がここ数年顕著である。これら 2 つの観測法の組み合わせによって、惑星の質量と半径が分かり、系外惑星の平均密度を求めることができるようになってきた。平均密度を求めることができれば、惑星の組成や内部構造を推定することができる。そうした情報は、惑星の起源と進化を知る上で有用である。

これまでに平均密度が測られた系外惑星の数は 100 を超えるが、そのほとんどがいわゆる「ホットジュピター」と呼ばれる惑星である。厳密な定義はないが、質量が地球質量の 100 倍程度あるいはそれ以上あり、軌道長半径が 0.1AU 以下の惑星を総称してそう呼ぶ。これまでに、平均密度の観測値に合致する内部構造を再現することで、ホットジュピターが木星や土星のような水素主体の惑星であることが確認されている。また、さらに詳細な議論によって、内部熱源の存在や質量散逸の可能性などが議論されている。

その一方、宇宙望遠鏡や大型地上望遠鏡の稼働に伴い、地球質量の数倍から数十倍程度という小質量の系外惑星が次のターゲットになりつつある。それらは「ホットネプチューン」あるいは「スーパー地球」と呼ばれる。質量の観点では太陽系に存在しない惑星であるため、それらが H₂O を主体とする海王星型であるのか、または岩石を主体とする地球型の惑星であるのか、その詳細は全く不明であると言ってよい。

H₂O 主体の惑星の質量と半径の関係については、天王星や海王星のような低温環境の惑星に関してはこれまでに議論されている。しかし、惑星表面温度が 1000K に達するような状況は考慮されていない。また、中心星近傍の惑星の進化にとって特に重要である質量散逸についても系統的な議論がなされていない。

そこで、本研究では、H₂O を主成分とする惑星の 1 次元内部構造モデリングと熱進化過程を数値計算した。その際、質量散逸の効果や中心星輻射による兼ねるの効果を取り入れた。質量散逸に関しては、中心星からの紫外線によって駆動される流体力学的散逸を想定した。また、中心星輻射による加熱は、適当な大気モデルを用いることで、内部構造モデリングに組み込んだ。そして、惑星の構造的な議論だけでなく、時間的な発展を含めて質量と平均密度の図上で H₂O 主体の惑星がどう分布すべきかを系統的に調べた。

重要な結果の一つとして中心星近傍に存在する H₂O 主体の惑星に質量の下限値があることが示唆された。このように質量 平均密度分布上での存在域を理論的に予言するとともに、観測との比較に向けて理論の精度を上げるための今後の課題について定量的に議論する。

キーワード: 系外惑星, 惑星進化, 氷惑星, 水

Keywords: extrasolar planets, planetary evolution, ice giant planets, water

原始惑星系円盤の電離状態に対する磁気乱流駆動電場の効果 Effects of MHD-turbulence-generated electric fields on ionization states in protoplanetary disks

奥住 聡^{1*}, 犬塚 修一郎¹

Satoshi Okuzumi^{1*}, Shu-ichiro Inutsuka¹

¹ 名古屋大学大学院理学研究科

¹ Department of Physics, Nagoya Univ.

原始惑星系円盤における角運動量輸送機構の最有力候補は磁気回転不安定性 (MRI; Balbus & Hawley 1991) に起因する磁気乱流である。原始惑星系円盤は低電離環境であるため、電気伝導度が低く、オーム抵抗による磁場の拡散が無視できない。特に、微小なダストが豊富にある領域では、ダストの帯電によって電気伝導度が著しく下がり、MRIが安定化されうる (Sano et al. 2000)。このような領域はデッドゾーンと呼ばれる。乱流は円盤や固体天体の進化を決定づけるため、デッドゾーンがいつ・どこに形成されるかを正しく理解することは、惑星形成理論を構築する上で非常に重要である。

これまでの円盤の電気伝導度の研究では、乱流電場による荷電粒子の加速が無視されてきた。しかしながら、低電離度環境下で MRI の構成に必要な電流を維持することは、非常に強い電場の形成を伴う。この結果、電子やイオンの電場加熱が無視できない可能性がある (Inutsuka & Sano 2005)。しかしながら、電場加熱が従来の円盤電離度の理解をどのように変えるかはこれまで明らかでなかった。

本研究では、電場による荷電粒子の加熱を考慮した原始惑星系円盤の電気伝導度の解析を初めて行った。得られた結果は以下の2点に集約される。

(1) 電場がある程度強く、電子の電場加熱が中性粒子との衝突による加熱を上回るようになると、電子とダストとの衝突頻度が増幅し、電気伝導度が電場の上昇とともに減少する。乱流の種となる円盤鉛直磁場がある程度弱い場合には、この効果が磁気乱流の発展を妨げ、結果的にデッドゾーンが拡大する可能性がある。

(2) 電場がさらに強く、電子の平均エネルギーが 1eV を超えるような状況では、高エネルギー電子による中性ガスの絶縁破壊が起こり、電流が5桁以上も上昇する。しかも、絶縁破壊による電気伝導度の上昇は不連続であり、中間的な平衡電流が存在しえないことが明らかになった。円盤鉛直磁場がある程度強い場合、乱流が上記(1)の効果を乗り越えて発展し、このような絶縁破壊を引き起こして自律的に電気伝導度を高い値に保つ可能性がある。つまり、もしこの効果が有効に効くと、いわゆるデッドゾーン中でも MRI 乱流が維持される可能性がある。

キーワード: 原始惑星系円盤, 電離状態, ダスト, 磁気乱流, 電場加熱

Keywords: protoplanetary disk, ionization state, dust grains, MHD turbulence, electric heating

不規則衛星の起源：木星の小惑星一時捕獲における土星の影響 Origin of irregular satellites: the effect of Saturn on the temporary capture of asteroids by Jupiter

樋口 有理可^{1*}, 岡本 尚也², 井田 茂¹

Arika Higuchi^{1*}, takaya okamoto², Shigeru Ida¹

¹ 東京工業大学, ² 神戸大学

¹Tokyo Institute of Technology, ²Kobe University

We have investigated the possible origin of the irregular satellites in the asteroid belt. The irregular satellites might not be formed by accretion in a circumplanetary disk, as were the regular satellites. The inclination distribution and large semimajor axes of the irregular satellites tell us that they must have formed elsewhere and later been captured into their current orbits around their host planets. The original places where irregular satellites were formed have not been clarified so far. However, their low albedo (around 0.05) derived from the observations may indicate that they are physically similar to asteroids rather than Kuiper belt objects. Our study has been started on this observational indication.

The process of temporary capture of particles by a giant planet has been investigated by many authors. However, the effect of another planet on the capture process has not been clarified. How effective/ineffective is Saturn in the capture of asteroids by Jupiter? To answer the questions we calculate the orbit of mass-less particles initially distributed around the asteroid belt (2-5AU) under the perturbations by Jupiter and Saturn. Jupiter and Saturn have their current masses and in circular orbits with their current semimajor axes. These two planets have no gravitational interaction between them (so-called restricted circular 4-body problem). During the calculation, we count the number of encounters of the particles within the Hill radii of Jupiter and Saturn as the irregular satellite candidates (hereafter J-, S-candidates).

We find that (1) asteroids can be transported near both Jupiter and Saturn, (2) the number of J-candidates is about three times larger than that of S-candidates, and (3) the existence of Saturn is ineffective in the capture by Jupiter and changes the favored conditions for capture.

On our poster paper, we will show the detailed results and analytical expression of them, and discuss the consistency of the produced candidates by our calculations and the observational results referring to the scenario of the long-term dynamical evolution of the captured objects around planets proposed by several authors so far.

キーワード: 不規則衛星, 準衛星, 小惑星

Keywords: irregular satellites, quasi-satellites, asteroids