

宇宙生命計算科学連携拠点 第2回ワークショップ

要旨集

惑星大気の数値モデリング

倉本 圭 (北海道大学)

大気は惑星の表層環境を規定するもっとも重要な物質圏といえる。近年の系外惑星の観測的研究の進展に後押しされ、惑星大気の起源と進化を規定する物理過程や気候予測の数値モデリング研究は、従来よりもはるかに幅広い設定や境界条件を想定して行われるようになってきた。その進展により、これまで培われてきた、地球を含む太陽系惑星の大気の成り立ちの理解に対しても、再考が迫られつつある。

惑星内部ダイナミクス

宮腰 剛広 (JAMSTEC)

地球型惑星内部のマントル（岩石）とコア（金属）の対流は、様々な惑星活動現象を引き起こしている。マントル対流は惑星表層に対しては火山活動やプレート運動、物質循環等の原動力となり、惑星中心部のコアに対してはそれを冷却することによりコア対流を引き起こす。そのコア対流は惑星ダイナモの原動力となり、惑星磁場を発生させる。これらの現象は惑星のハビタビリティにも影響を与えていると考えられる。コア対流、マントル対流はどのようなものかと、これまでのシミュレーション研究で分かってきたことについて概観する。

ジャイアント・インパクト後の地球型惑星の初期進化

濱野 景子 (ELSI)

ジャイアント・インパクトにより形成した地球型惑星は、溶融し全球的にマグマに覆われていたと考えられている。惑星が冷却・固化するとともに、マグマ中の揮発性物質が脱ガスし、大気が形成される。惑星の固化と初期大気の形成は、物質交換と温室効果を介し、互いに影響し合いながら進行すると考えられる。近年われわれは、こうした相互作用を考慮し、惑星大気とマグマオーシャンの共進化を議論してきた。今回は初期大気が大量に水素を含んだ場合に、固化のタイムスケールや固化後の大気組成へ与える影響について議論する。

巨大天体衝突

玄田 英典 (ELSI)

地球型惑星形成の最終段階では、火星サイズの天体同士の衝突（巨大天体衝突）が頻繁に起こったと考えられている。本発表では、月形成などの地球型惑星の様々な性質を特徴づけた巨大天体衝突について、発表者の最近の研究結果を交えてレビューを行う。また、巨大天体衝突は地球型惑星だけでなく、天王星や冥王星などの外惑星領域の天体でも起こった可能性があり、本発表ではそれらについても議論する予定である。

巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造

小久保 英一郎（国立天文台）

巨大衝突によって形成される惑星系の最終的な軌道構造がどのように決まるかを明らかにするために、巨大衝突段階の進化の素過程を多体シミュレーションによって調べている。この過程で重要なのは、惑星の物理半径/ヒル半径の比である。ヒル半径は軌道長半径に比例するので、この比は軌道長半径に反比例する。すなわち、中心星近傍領域ほど、相対的に衝突が重力散乱よりも支配的になってくる（衝突断面積/重力散乱断面積の比が大きくなっている）。このため重力散乱による原始惑星の軌道離心率と軌道長半径の変化は小さく、巨大衝突による集積は局所的に進行する。結果、力学的に冷たくコンパクトで等質的な複数惑星系が形成される。

星・惑星系形成領域における水の重水素比

古家 健次（筑波大学）

重水素と水素の元素存在度比は 10^{-5} 程度であるが、それに比べ、星・惑星系領域で生成される分子は重水素に富むことが観測や理論から分かっている。重水素濃集の程度は分子の生成環境に依存するため、重水素比は分子生成環境を探るプローブとしてよく用いられる。水は星間氷の主成分である。従来 広く用いられてきた HD0/H20 比に加え、D20/HD0 比を考慮することで星間氷の層構造（つまり氷生成の歴史）に制約を与えられることが分 かったので、それについて報告する。

ダストの衝突合体成長と破壊

和田 浩二（千葉工業大学）

原始惑星系円盤においてダストはサブミクロンの粒子が多数付着したアグリゲイトとして存在し、それらが衝突しながら合体成長しやがて微惑星が形成され则认为られている。ダストアグリゲイトの衝突の結果が実際にどうなるのか、数値計算で解き明かされてきた現状を報告する。

原始惑星系円盤乱流中のダストの運動の数値シミュレーション

石原 卓（名古屋大学）

原始惑星系ガス円盤中のダストの成長過程では、原始惑星系円盤の乱流が鍵となると考えられているが、これまで乱流を正確に扱う計算は行われてこなかった。本研究の目的は、ナビエ・ストークス方程式の大規模直接数値計算（Direct Numerical Simulation; DNS）により、従来天文分野で近似的扱いしかなかった原始惑星系円盤乱流に対し、恣意性のない信頼性の高い結果を与え、“惑星形成の始まり”の謎を解き明かすことである。講演では、乱流 DNS を用いたダストの運動の数値シミュレーションによって得られた最近の結果について紹介する。

原始惑星系円盤の乱流とダスト進化

奥住 聡（東京工業大学）

原始惑星系円盤の乱流は、ダストや微惑星の成長に対して大きな影響を与えることが知られている。本発表では、乱流速度場によるダストの衝突速度増加と拡散、乱流の密度揺らぎによる微惑星の離心率増加、乱流の圧力揺らぎによるダストの集積に焦点を当て、最近の乱流数値シミュレーションからわかってきたことをレビューする。

ダスト層の重力不安定による微惑星形成

道越秀吾（筑波大学）

微惑星はダストが成長して形成され则认为られているキロメートルサイズの天体である。古典的にはダストが中心面へ沈殿し重力不安定が発生して微惑星が形成され则认为されていた。しかし、乱流がダストを巻き上げるため重力不安定が発生しないことが指摘されている。そのため、現在では付着成長やストリーミング不安定など別のメカニズムが検討されている。本講演では多孔質ダストの力学を調べ、重力不安定モデルの可能性を再検討した結果を報告する。

原始惑星系円盤の化学組成：最近の ALMA 観測の成果

相川 祐理（筑波大学）

ALMA での高感度、高空間分解能観測によって円盤の分子輝線観測が進んでいる。最近の成果である(1)大型有機分子の検出 (2)円盤分子層における炭素、酸素の減損 について現状を紹介する。

惑星系形成モデルと元素組成分布

松村 想子（University of Dundee）

適切な惑星系形成モデルは 惑星の軌道、質量や密度のみならず元素組成も説明できるはずである。このレビューでは 太陽系に焦点を当てて、現在の惑星系形成モデルの予測が 地球型惑星の組成をどの程度説明できるかを考え、形成モデルの違いによる元素組成の類似点と相違点を議論する。

系外惑星系形成の最前線

井田 茂（ELSI）

多様な系外惑星系の発見をうけて、惑星系形成理論はその基礎過程に立ち戻って見直しが進んでいる。微惑星系形成、微惑星/ペブル集積、惑星軌道移動についての現状についてまとめる。

惑星系形成に関する観測的制約～ALMA 高解像度観測からの示唆～

百瀬 宗武（茨城大学）

2011 年の観測開始以降、ALMA は、その卓越したマッピング能力を活かし、近傍にある原始惑星系円盤の驚くべき姿を明らかにしてきている。古典的な太陽系起源論では、「べき動径分布を持つ軸対称円盤の内部で 10Myr のタイムスケールで惑星が形成された」とする大枠が構築されていた。これに対し ALMA 高空間分解能観測では、「動径方向にも方位角方向にも大きなコントラストがある円盤構造」や「ガス・ダストの分離」、「年齢 1Myr の円盤内にも惑星存在の兆候」が見つかるなど、その想定とは根本的に異なる状況も見出されている。本講演では、HL Tau や TW Hya, 様々な遷移円盤天体の観測結果を踏まえ、このような状況を具体的に紹介する。

系外銀河での水・有機分子生成

下西 隆（東北大学）

系外銀河における星間物質の性質は、宇宙における星・惑星・生命の材料物質の化学的多様性を理解する上で重要な情報をもたらす。本講演では、近傍の低金属量銀河である大マゼラン雲の原始星の赤外線及び電波観測の結果に基づき、天の川銀河とは異なる金属量環境に存在する原始星周囲の水や有機分子の化学的性質について議論を行う。

大気形成

杉田 精司（東京大学）

太陽系始原物質中の有機物-無機物-氷共進化

永原裕子（東京大学）

原始惑星系円盤の時空進化に伴い、分子雲に由来する固体物質も多様な化学進化をとげた。彗星塵は始原物質とそれが経た各種の変化、原始惑星系円盤の物理条件に関する情報源である。Stardust ミッションにより採取された彗星塵、以前より研究が行われてきた惑星間塵（IDP）、最近着目されている微隕石等を構成する無機物と有機物についての最新の分析機器を用いた研究により、もっとも始原的な物質の特徴、原始惑星系円盤中における化学進化の詳細が明らかになりつつある。それらの知見をまとめ、分子雲観測、分子雲条件有機物形成実験、原始惑星系円盤観測・モデルとの比較をおこなう。

円二色性分光によるキラリティ分析

田中真人（産業技術総合研究所）

円二色性は物質のキラリティ分析やタンパク質二次構造などの分子構造解析に広く用いられている分光手法である。本発表では真空紫外～軟X線領域での円二色性計測・装置開発、アミノ酸薄膜を中心としたスペクトル測定結果や理論計算との比較の一例を紹介するとともに、宇宙からの隕石由来試料の分析などへの可能性についても議論する。

模擬星間物質からのアミノ酸前駆体・核酸塩基の合成

小林 憲正（横浜国立大学）

炭素質コンドライト中に多種のアミノ酸や核酸塩基が検出されており、その起源として星間での生成が考えられる。われわれは、模擬星間物質（一酸化炭素，メタノール，メタン，アンモニア，水などの混合物）に宇宙線を模した粒子線を照射し、生成物を分析した。星間氷に近い組成の水・メタノール・アンモニアの凍結混合物に模擬宇宙線（290 MeV/u 炭素線）を照射した場合もアミノ酸前駆体が生成した。一酸化炭素，メタン，アンモニア，水の混合物への陽子線照射の結果，アミノ酸前駆体（ヒダントイン，および高分子態有機物）や，ウラシルなどの核酸塩基，イミダゾールなどが生成し，アミド結合（-CONH-）を有する環状分子が容易に生成することがわかった。実験結果の解釈のためには，計算科学との連携が必要と考えられる。

隕石有機化合物の反応機構

奈良岡 浩（九州大学）

隕石有機物の起源や反応機構を解明するために化合物の化学構造や同位体組成が研究されてきた。隕石母天体上での水質変成や鉱物との反応も有機化合物の進化（複雑化）を考える上で重要である。本発表では隕石の分析および模擬実験から有機物の反応機構を考察する。

電子・分子衝突過程の第一原理計算

田代基慶（東洋大学）

低エネルギー電子と分子の衝突は工業プラズマや上層大気の化学などで重要な役割を果たす素過程である。この過程では衝突電子が束縛されていないため、通常の電子状態計算手法では取り扱いが難しい。この過程に関して、発表者は第一原理 R 行列法という手法を用いた研究を行ってきた。この方法は一般的な電子状態計算法と散乱理論とを組み合わせた計算手法であり、電子・分子衝突過程の詳細な解析が可能である。発表では幾つかの分子への応用例、光電離過程への発展などについても説明を行う。

星間空間における円偏光吸収反応による L 型アミノ酸過剰生成の計算科学的検証

佐藤 皓允（筑波大学）

生体分子であるアミノ酸は L 型・D 型の二つの対称的な構造を持つ鏡像異性体である。近年では、地球上の生命がこの異性体のうち L 型しか用いていない原因が、生命誕生前の宇宙にまで遡ると考えられている。宇宙にも存在する円偏光は、アミノ酸の不斉分解や関連分子の不斉合成を誘発し、異性体過剰を生み出すと考えられる。我々は機構解明の第一歩として、アミノ酸の円偏光に対する不斉吸収機構について検証を行った。その結果ある特定の輻射に対し、アミノ酸は種によらず共通の不斉吸収活性を持つことが分かった。

星間ダスト上でのアミノ酸生成反応機構についての理論的研究

庄司光男（筑波大学）

星間ダスト上の分子の化学進化は未だ不明な点が多いため、電波観測や地上実験により分子形成を検討する研究が近年盛んに行われている。電波観測ではニトリル等のアミノ酸前駆体が見つかり、地球に飛来した隕石からはアミノ酸やアミノ酸前駆体が検出されている。しかしながら、アミノ酸生成は最も単純なグリシンであっても膨大な反応経路が考えられるため、化学反応機構を解明することは容易ではない。本研究では、グリシンの生成機構について（１）有機合成経路と（２）ラジカル反応経路の２つに絞り、高精度第一原理計算（密度汎関数法）により反応機構を検討した。