

論文審査の結果の要旨

氏名 洪 鵬

本論文は2章からなり、第1章では室内実験及び光化学計算により、還元的な惑星大気中で光化学反応によって生成する有機物エアロゾル粒子生成過程を制約した。第2章では、実験的に制約された種粒子生成反応を用いて光化学モデルと微物理モデルを結合し、放射伝達・微物理・光化学結合モデルを用いて、タイタンや原始地球大気において有機物エアロゾルが大気構造や表層環境へ与える影響を調べた。それぞれの内容を以下に述べる。

第1章. 室内実験による有機物エアロゾル生成反応の制約

本章では水素・ヘリウム混合ガスを用いた紫外線光源を模擬太陽紫外光として用い、有機物エアロゾル生成率の紫外線光量依存性と CH_4/CO_2 ガス比依存性を測定した。さらに測定した生成率と光化学計算の結果を比較し、種粒子生成に寄与する分子種を制約した。

紫外線光量を変化させたときのエアロゾル生成率を測定した結果、生成率は紫外線光量の1次関数的に増加することがわかった。このことはメタンの光化学反応で生成された中間分子同士の重合がエアロゾル生成を律速しており、中間分子自体が光解離してエアロゾルに成長する過程の寄与は小さいことを示唆している。次に、混合ガスの CH_4/CO_2 比を変化させてエアロゾル生成率を測定した。その結果エアロゾルの生成率は $\text{CH}_4/\text{CO}_2 > 1$ では CH_4/CO_2 比の減少とともにゆるやかに減少し、 $\text{CH}_4/\text{CO}_2 < 1$ では急激に減少することがわかった。

さらに紫外線照射後のガスの質量分析を行い、中間生成物の濃度を計測した。その結果、実験で得られた CH_4/CO_2 比に対するエアロゾル生成率の依存性と、ベンゼンを介する重合反応の反応率の相関が良いことから、ベンゼンがエアロゾルの生成を律速していることを明らかにした。一方で、過去の光化学モデルでエアロゾル生成反応に寄与すると仮定されていた C_2H や C_4H_2 の重合反応は、エアロゾルを直接生成するのではなく、ベンゼンの生成過程において重要であることがわかった。以上の結果と紫外線光量に対する結果ともあわせて、タイタンでのエアロゾル生成率を元に、原始地球でのエアロゾル生成率を見積もると、過去の研究による見積もりより2桁程度小さくなることがわかった。

第2章. 惑星大気結合モデルの構築とタイタン、原始地球への応用

本章では、メタンや二酸化炭素を含む任意の惑星大気組成を計算する鉛直1次元光化学モデルを構築した（H, C, N, Oに関する分子134種、791反応を含む）。第1章で、ベンゼンの重合反応によって有機物エアロゾルが律速されていることが明らかになっている。そこで、光化学モデルでは各高度でのベンゼンの重合反応は反応率を計算し、それに対応したエアロゾルのモノマー生成率を微物理モデルに入力し、大気中でのエアロゾルの合体・成長を計算した。微物理モデルで得られたエアロゾル層の太陽光遮蔽効果を、放射伝達モデルを用いて計算し、それを光化学モデルに入力することで、光化学・微物理・放射伝達過程を結合した。そして、結合モデルを用いてタイタンと原始地球における有機物エアロゾルが大気構造や表層環境へ与える影響を調べた。

結合モデルをタイタン大気へ応用した結果、紫外線によって生成される有機物エアロゾルだけでは観測はされているエアロゾル分布を説明できないことがわかった。このことは、タイタンにおいて、高エネルギー粒子によって駆動されるニトリル反応によるエアロゾル生成が卓越していることを示している。

さらに、原始地球大気において結合モデルを用いた計算を行った結果、有機物エアロゾル層は従来のモデルから予想されるよりも著しく薄くなることがわかった。過去の研究では光学的に厚いエアロゾル層によって反温室効果または間接的温室効果を引き起こされることが予想されていた。しかし本研究の結果では、そのように光学的に厚いエアロゾル層は生成しないことがわかった。このような結果になった理由は、先行研究ではエアロゾルの生成に直接関与しない分子も含めての生成率を計算していたため、エアロゾル生成量を過大評価していたことが原因である。一方、本研究の結果から原始地球においては、メタンやエタンによる温室効果が、地表を温暖にすることに本質的に重要であったことが示唆された。

以上のように、実験結果に基づき、惑星大気の物理場と化学場を矛盾なく求める普遍性の高い惑星大気モデルを構築した点は国際的にも高く評価される。またこのモデルを用いて、長年の問題であった初期地球の温暖化メカニズムや気候的安定性、タイタンにおける有機物エアロゾル生成の主要エネルギー源の推定を行うなど科学的到達度も高い。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上、1941字