

初期地球における有機物ヘイズの衝突成長と内部構造進化 Collisional growth and the evolution of the internal structure of Archean organic haze particles

古川 ひかる^{1*}; 奥住 聡²

FURUKAWA, Hikaru^{1*}; OKUZUMI, Satoshi²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京工業大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Tokyo Institute of Technology

初期地球における暗い太陽のパラドックスに関して、様々な議論がなされてきた。恒星モデルによって太陽の光度が今より低いことが示されている一方、地質学的証拠によって水や原始生命の存在が示唆されており、この矛盾の解明が必要である。地球の表面温度に影響を与え得る様々な要因が存在するなか、アンモニアやメタンなどの温室効果ガスは大きく注目されてきた。温室効果ガスが温暖化にどの程度寄与していたかを知るには、当時の地球を覆っていたヘイズの遮蔽効果や冷却効果を調べる必要がある不可欠である。

初期地球のヘイズはタイタンのヘイズと類似性がある。ヘイズを構成している粒子は、粒子の最小単位であるモノマーから始まり、大気中を落下しながら衝突成長し、内部に空隙があるフラクタルな粒子になる。しかし従来のシミュレーションではこの構造が無視され、内部がぎっしり詰まったコンパクトな粒子として単純化された仮定が用いられてきた。その後 Wolf and Toon (2010) がフラクタルな粒子を仮定した研究を行ったが、彼らの研究では粒子の圧縮過程が正確に考慮されていない。Wolf and Toon (2010) では圧縮の原因として Onischuk (2003) の実験結果を用いており、燃焼してつくられた煤アグリゲイトが帯電することを理由にしているが、初期地球のヘイズにこの実験結果を適用するのは不適切であると考えられる。

このような流れの中で、本研究では、初期地球を覆っていた有機物ヘイズの性質を力学過程にもとづいて正確に調べることを目的としている。本研究では、ヘイズが生成されてから地面に落下するまでの衝突成長過程と圧縮過程を力学計算をもとに再現し、粒子の内部構造進化を正確に考慮してシミュレーションを行った。圧縮過程としては、衝突合体時の衝撃によるもの（衝突圧縮）と、大気から受ける摩擦抵抗によるもの（静的圧縮）を考える。

その結果、初期地球ヘイズでは静的圧縮過程も衝突圧縮過程も起こり得ず、粒子がフラクタルな構造を保ったまま落下することがわかった。この結果を反映してシミュレーションを行った結果、この内部構造の違いによって各高度におけるヘイズの質量分布も変化することが明らかにされた。初期地球の有機物ヘイズ分布は、ヘイズの生成層付近の高い高度では光学的に薄く、生成層より下の高度で、光学的に厚いヘイズの滞留層が形成される。さらに、初期地球のヘイズは紫外線の光学的厚みが Wolf and Toon (2010) の仮定で出した値よりも高く、ヘイズがより紫外線をカットしていた可能性が高いことが示された。

効果的に紫外線がカットされることで、有機物の破壊がおさえられ、当時の大気がより還元的に保たれ原始生命にとって好ましい環境だったと考えられる。また、Wolf and Toon (2010) の研究結果により、可視光線に対しては光学的に薄く、光を通すことがわかっているため、効果的に地表面を温めながら紫外線をカットできるヘイズであった可能性が高い。また、ヘイズの生成層と滞留層が別の高度に分布していることが鍵となって、こうしたヘイズが持続的に生成され続け地球を温めていたシナリオも考えられる。メタンやアンモニアなどを暗い太陽のパラドックスの解決策として断定するには、まだ他にも解明が必要な点が存在するが、ヘイズが UV 遮蔽効果を持つこと、さらには冷却効果を持たないことは、温室効果ガスを候補として考える上で特に重要な役割を持つため、本研究結果は Wolf and Toon (2010) の議論を補強し、温室効果ガスの議論を前進させるという点で大きな意義を持っていると言える。

キーワード: 初期地球, ヘイズ, フラクタル粒子, 暗い太陽のパラドックス, 内部構造進化, 始生代

Keywords: the early Earth, haze, fractal particle, the faint young Sun paradox, the internal structure change, the Archean