

雲・降水システムの双安定性と宇宙線の気候影響に関するシミュレーション研究 Simulation study on bi-stability of cloud-rain system and cosmic ray influence on climate

草野 完也^{1*}, 島伸一郎², 長谷川晃一³
KUSANO, Kanya^{1*}, Shin-ichiro Shima², Koichi Hasegawa³

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科, ³ (株) 中電シーティーアイ

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²Graduate School of Simulation Studies, the University of Hyogo,

³ChudenCTI Co.,Ltd.

シュワーベサイクル(11年周期)や大極小期など太陽黒点活動の変動に伴って生じる気候変動に関しては未だにその物理メカニズムが十分理解されていない。このため、黒点活動に伴って変わる太陽輻射や銀河宇宙線などによって生じ得る気候変動メカニズムの研究が進められている。銀河宇宙線の太陽変調に伴って雲量が変化すると報告に基づいて、宇宙線による電離誘起核生成が雲量をコントロールするとする仮説が Svensmark & Friis-Christensen (1997) によって提案されている。最近、Kirkby et al. (2011) は CERN の加速器を用いた実験によって、温度と物質条件が整えられれば大気中でも電離誘起核生成が発生し得る可能性を示した。しかし、実験的に見出された 1.7nm 以上の核生成率 ($J_{1.7}$) は $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 程度であり、その変化がどのように雲と気候に影響するのにはまだ良く分かっていない。

本研究では雲の生成・成長・消失過程からなる雲と降雨のダイナミクスが核生成率の違いに如何に依存するかを明らかにするため、独自に開発した超水滴法を用いてシステムティックな計算機シミュレーションを実施した。超水滴法は雲粒と雨粒を超水滴と呼ばれる計算粒子によって統一的に記述する新しい計算モデルである (Shima, Kusano et al. 2009)。本研究においては超水滴法を雲解像モデル CReSS (Tsuboki & Sakakibara 2006) に実装すると共に、動的にエアロゾルを生成することができる機能を開発し、中心半径 30nm の雲核生成率 J_{30} をパラメタとして、雲核の粒径分布が準平衡状態に至るまで計算を行った。なお、初期境界条件は RICO (Rain In Cumulus over the Ocean) プロジェクトにおいて与えられたデータセットを使った。

計算の結果、 J_{30} を $10^{-6} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ から $10^0 \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ まで変化してそれぞれの平衡状態を求めたところ、以下のような特徴的な変化を見出すことができた。すなわち、 $J_{30} = 10^{-3} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 以下では雲核生成率の変化に係らず平均的な雲水の柱密度は 5gm^{-2} 程度を保っていたが、雲核生成率を $10^{-2} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ に増加すると雲水柱密度は 20gm^{-2} まで増加し、雲核生成率をさらに増加させてもその高い値を維持した。一方、雲核生成率が $10^{-3} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 以下の場合、平均的な雨水柱密度は 6gm^{-2} でほぼ一定を保ったが、雲核生成率をさらに増加すると雨水柱密度は減少し、雲核生成率が $10^{-1} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ 以上の場合 1gm^{-2} 以下となった。これらの結果は雲核生成率が $10^{-3} \text{cm}^{-2} \cdot 3\text{s}^{-1}$ を境に雲降水システムが異なる性質を持つ平衡状態を実現することを示唆している。1nm 程度の分子クラスターが雲凝結核まで成長する過程はまだ十分理解されていないため電離誘起核生成との定量的な関係については今後の課題であるが、この結果は宇宙線などによる微妙な微粒子生成の違いが雲の双安定状態の遷移を通して大きな環境変動を生み出す可能性を示唆するものであると考えられる。

キーワード: 雲, エアロゾル, 宇宙気候, 宇宙線, 超水滴, シミュレーション

Keywords: cloud, aerosol, space climate, cosmic ray, super-droplet, simulation