

衛星シミュレータを用いた氷晶核の気候影響評価

井村裕紀¹, 鈴木健太郎¹

(1: 東京大学 大気海洋研究所)

要旨

エアロゾル・雲・降水・放射相互作用は、正確な気候変動予測をする上で最大の不確実要素の一つである。特に、混合相雲内の雲相割合（液相と固相の割合）に依存して気候場が変化することが先行研究で指摘されている（Tan et al., 2016）。この雲相割合に影響を及ぼす物質として、氷晶核（以下、INP; Ice Nucleating Particle）がある。これは雲氷の核となるエアロゾルであり、雲相割合を固相側に変化させる効果を持つ。INP 数密度が変動したときに、雲相割合が変化することで放射場や雲フィードバックに影響を与えることが指摘されているが（e.g., DeMott et al., 2010; Murray et al., 2021）、INP が現在・将来気候場に与える影響の定性的・定量的な理解には至っていないのが現状である。そこで、本研究では全球気候モデル MIROC6 を用いて、INP 数密度の気温依存性を表す関数関係に様々な高さと傾きを仮定する感度実験（以下、INP 感度実験）を実施し、INP が現在気候に与える影響について評価した。加えて、雲微物理過程に踏み込んだ解析を行うため、MIROC6 に実装されている異なる二つの降水スキームである降水診断型（Tatebe et al., 2019, 以下、診断型）と降水予報型（Michibata et al., 2019, 以下、予報型）を使用した。また、一部解析で衛星観測データを用いており、モデルとの整合的な比較を行うために衛星シミュレータ COSP2（Swales et al., 2018）による出力も使用している。

解析の結果、診断型と予報型の間で、INP 数密度に対する現在気候場の応答に差異が見られることがわかった。この原因を雲微物理的な側面から調査するため、CFED（Contoured Frequency by Temperature Diagram; Hashino et al., 2013）と呼ばれる、粒子成長率の指標となる統計図に着目した。これは、横軸に衛星観測変数であるレーダー反射率、縦軸に気温をとったときの各温度帯におけるレーダー反射率の頻度分布である。衛星観測と比較したとき、標準の INP の設定では、診断型よりも予報型の方が適切に CFED を表現できていることがわかった。これは、診断型では雲氷と降雪を同一のカテゴリでまとめて表現しているが、予報型ではそれらを区別して陽に取り扱うためであると考えられる。このように本質的な構造が異なるモデルを用いて INP 感度実験を行った結果、診断型では INP の摂動の影響が最初に現れる雲氷レジームで留まってしまうが、予報型では粒子間の相互作用をより精緻に表現できるため、その影響が降雪レジームまで伝わることを示された。それによって両モデルの間で雲粒から降水への変換速度に違いが生じ、INP 増加に対する高層雲量については雲放射効果（特に短波成分）の応答が逆方向になることがわかった。

衛星観測と比較したとき、予報型では雲氷から降雪への変換が早いバイアス（Imura and Michibata, 2022）が存在した。そこで、雲氷-降雪間の衝突過程に関するチューニングパラメータの値を変更し、CFED を衛星観測に近づけるように補正した上で INP 感度実験を行った結果、推定される現在気候場の INP の摂動に対する感度が小さくなった。これは、予報型のように粒子成長率を過大評価するモデルでは、INP の現在気候場への影響を潜在的に過大評価している可能性を示唆している。