

論文の内容の要旨

論文題目 : A numerical study on the microphysical properties of
warm clouds off the west coast of California
(カリフォルニア沖を対象とした
暖かい雲の微物理特性に関する数値実験)

氏名 佐藤 陽祐

本研究ではカリフォルニア沖で発生する暖かい雲の微物理特性について調べるために、3次元・領域スケールのビン型雲モデルを改良し数値実験を行った。

はじめにビン型モデルを用いて暖かい雲を再現するために、エアロゾルの再放出過程を既存のビン型モデル(JMA-NHM+HUCM)に導入した。また暖かい雲を数値モデルで再現するためには、高解像度での実験が求められ、計算コストが膨大になる。そこで計算コスト削減のために、モンテカルロ法に基づいた計算スキームを雲粒成長過程における衝突併合成長過程の計算スキームに組み込んだ。これらの改良を加えた数値モデルを用いて実験を行った。

解析は主に暖かい雲の雲粒有効半径 ($RE\ r_{eff}$) と光学的厚さ ($COT\ \tau_c$) の相関関係 (RE-COT 相関パターン) を利用して行った。先行研究からこの RE-COT 相関パターンが衛星観測や航空機観測によるリモートセンシングによって発見され、この相関パターンによって衛星や航空機のリモートセンシングから雲の成長過程が観測できるとされてきた。

しかしながら RE-COT 相関パターンは雲の鉛直構造の情報を持っておらず、雲の成長過程を議論するには必ずしも妥当ではない事が指摘されていた。近年、衛星搭載雲レーダーが利用できるようになって、Contoured Frequency Optical Depth Diagram (CFODD) と呼ばれるダイアグラムが提唱され、このダイアグラムを用いて雲の鉛直構造まで考慮して、雲の成長過程を議論できると先行研究で指摘されている。そこで本研究ではこの RE-COT 相関パターンと CFODD を組み合わせた解析を行い、雲の鉛直構造まで踏み込んで雲の成長過程

について考察を行った。

第1に3次元領域スケールのビン型雲モデル（以下、モデル）を用いて、理想化実験を行い、初めてCFODDを再現した。再現されたCFODDは衛星観測から得られたCFODDの特徴を非常によく再現していた（図1）。

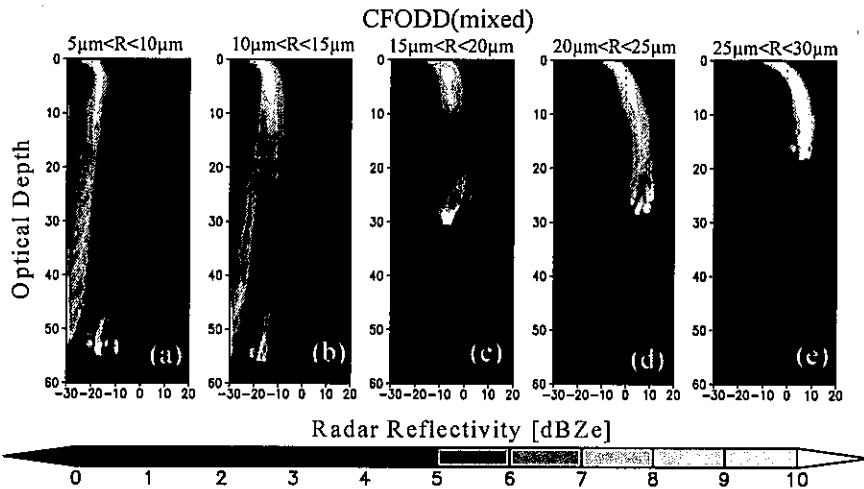


図1:理想化実験によって再現された Contoured Frequency Optical Depth Diagram (CFODD)。Shadeは頻度を表し、有効半径によって(a) $5\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 、(b) $10\mu\text{m}\sim 15\mu\text{m}$ 、(c) $15\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 、(d) $20\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$ 、(e) $25\mu\text{m}\sim 30\mu\text{m}$ に分類されている

第2に空間解像度が暖かい雲の微物理特性に与える影響を、理想化実験によって考察した。先行研究より、暖かい雲を再現するには数m～数十m程度の高い空間解像度が求められているが、そのような実験は計算機資源の制約から困難である。

本研究で行った理想化実験の結果より、雲の微物理特性はモデルの空間解像度に影響を受けるが、エアロゾルや境界層 (PBL) の高度といった外的な要因に対する応答は空間解像度によっては、大きな違いが生じないことが示された。この結果より、水平解像度 500m 程度の実験結果を用いた場合、RE-COT 相関パターンや、CFODD に関して、その絶対的な特徴 (形や位置) は議論する事は困難なもの、外的要因 (エアロゾルや力学場) によって、相対的にその特徴がどう変化するかに関しては、考察することが可能である事が示された。

この結果を元に、3次元の現実場を仮定した数値実験を 500m の空間解像度にて行った。数値実験の対象とした事例は、First ISCCP Regional Experiment (FIRE) と呼ばれる観測キャンペーン期間にカリフォルニア沖で発生した暖かい雲である。数値実験の結果から、モデルは Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) 衛星から観測された可視光の放射輝度 (radiance) を良く再現しており、モデルが暖かい雲の微物理特性を再現できている事が

示された。

次にこのモデルの結果を用いて RE-COT 相関パターンと CFODD を融合させた解析を行い、雲の成長過程について考察した。

解析の結果、衛星から観測される RE-COT 相関パターンは雲の成長過程を必ずしも表現していない事が示され、この結果は一つの雲のみをモデルで再現して考察した先行研究の結果を必ずしも支持していなかった。この点は計算領域の中に複数の雲を発生させた本研究で初めて明らかになった。しかしながら、計算量域内の複数ある雲のうち、一つ一つの雲に着目した場合、雲は成長に伴って RE-COT 平面上を正の相関と負の相関を取りながら成長していくこと示された (図 2)。

すなわち、個々の雲に関しては、先行研究が指摘したように、RE-COT 相関パターンでの正負の相関は雲の成長過程を表している。しかしながら、衛星観測や本研究の実験のような、領域内に複数の雲があり、それらを重ね合わせて作られる RE-COT 相関パターンの正負の相関は、必ずしも雲の成長過程を表していないことが示された。

最後に RE-COT 相関パターンの特徴 (位置や大きさ) を決める物理量に関して考察を行った。解析の結果から、RE-COT 相関パターンの右、および下の縁はそれぞれ境界層の高度とエアロゾルの量によって主に決まっていることが示唆された。また RE-COT 相関パターンの幾何学的中心の位置は Drizzling rate が主に決めている事が示された (図 3)。

上記の結果は Himawari-8, 9 や EarthCARE 衛星等の次世代衛星群による雲の観測に対して、有益な情報を提供する可能性のある結果であり、今後の発展が期待される。

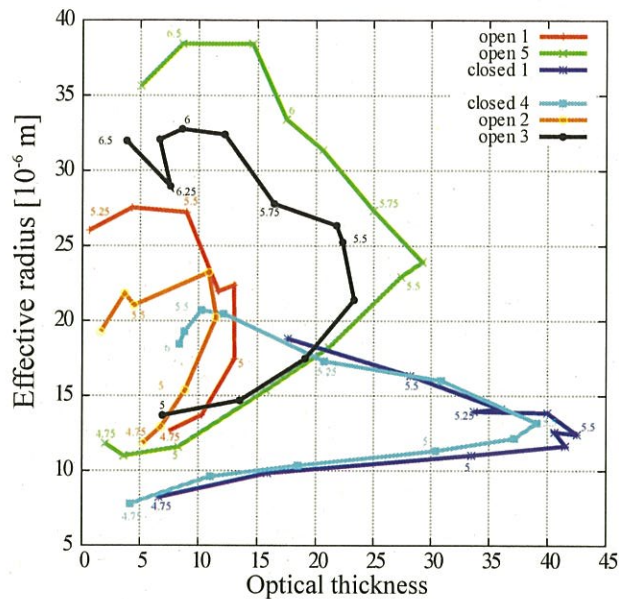


図 2 : 理想化実験によって再現された、雲粒有効半径 (RE r_{eff}) と光学的厚さ (COT τ_c) 相関パターン上での雲の軌跡の例。数字は計算開始からの時間 (hour) を表す

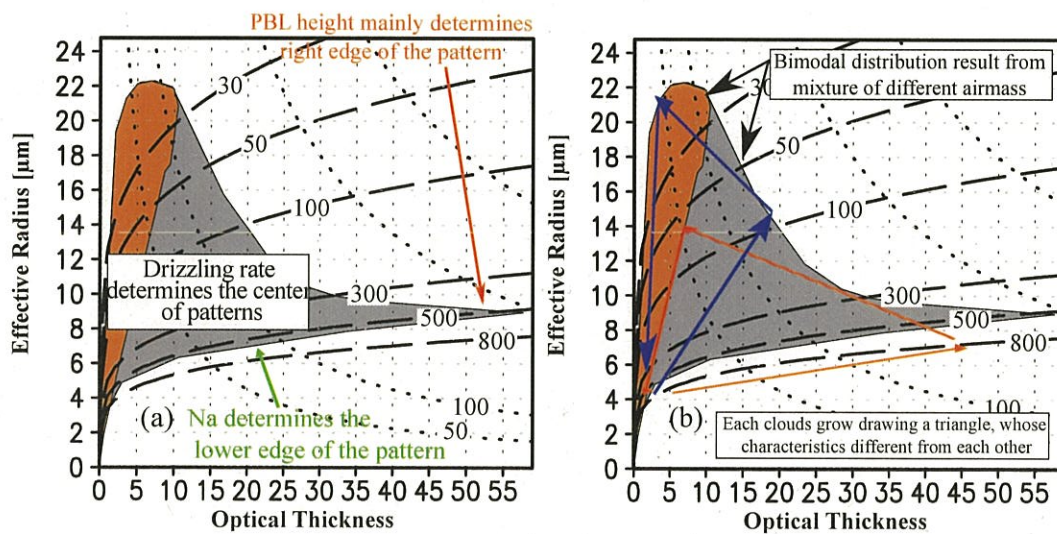


図 3 : 雲粒有効半径 (RE r_{eff}) と光学的厚さ (COT τ_c) 相関パターン (RE-COT 相関パターン) を決める物理量に関する概念図。(左) RE-COT 相関パターンの右と下の端はそれぞれ境界層高度とエアロゾルの量 (N_a) が主に決め、中心の位置は Drizzling rate が決めていつことを示す (右) 一つ一つの雲は RE-COT 相関パターン上で三角形を描きながら成長し、三角形の形状は雲によって異なることが示されている