

題目

「全球気候モデルの雲パラメタリゼーションのための海洋性境界層雲とその環境場に関する研究」

要旨

海洋性境界層雲は、海洋上に広がる下層雲である。光学的に厚い海洋性境界層雲は、概して、海面水温が低く大気下層が安定な海洋上に広がっている。この雲は強い降水や強い風をもたらすことはないが、短波放射効果が大きいいため、地球の放射収支にとって重要である。近年の研究により、地球温暖化シミュレーションにおける予測気温上昇の不定性は、主として海洋性境界層雲の変化の不定性によるものであることがわかってきた。しかし、全球気候モデルにおける海洋性境界層雲の現実的な再現は、長い間気候モデリングにおける大きな問題であり続けている。この難しさの大きな原因の一つは、海洋性境界層雲が複雑な物理プロセス間の微妙なバランスで生成・維持されているのに対し、全球気候モデルの水平・鉛直解像度が非常に粗いため、それらの微妙なバランスをモデルにおいて再現できないことである。本論文の目的は、このやっかいな問題に取り組み、全球気候モデルにおける海洋性境界層雲のパラメタリゼーションの改善に寄与することである。

まず、気象庁の全球スペクトルモデル **GSM** において、大陸西岸海洋上の海洋性層積雲を表現するために、シンプルなスキームを組み込んだ結果を紹介する。このパラメタリゼーションは、雲量を主に逆転層の強さの関数として診断的に決める診断型雲スキームに基づくものである。このスキームの導入により、大陸西岸海洋上の海洋層積雲の全球分布の表現は著しく改善した。下層雲の雲量は、観測データとかなり近いものとなり、さらに、この改良された雲量により、放射収支も観測されるものと近くなり、大きく改善した。大陸西岸海洋上の海洋性層積雲の雲量の季節変化と日変化も、地上観測データと比較してよい一致を見せた。

しかし、このスキームによって再現された海洋性境界層雲の鉛直構造は、観測される構造とは異なっており、この診断的なスキームは、海洋性境界層雲の詳細な振る舞いを表現したり、この雲の将来変化を適切に再現するには、シンプルすぎるものである可能性がある。湿りを含む物理量の、サブグリッドスケールの空間的揺らぎは、雲のパラメタリゼーションにとって本質的に重要であり、したがって、湿りと雲水の確率密度関数 (PDF) は、精緻な雲パラメタリゼ

ーションにとって必要なものである。したがって、我々は、雲水量の PDF を明らかにするため、膨大なサンプル数の雲水の PDF を与えてくれる衛星データを使うことにした。静止気象衛星の可視データを用いて、海洋性境界層雲の鉛直積算雲水量のサブグリッドスケールの変動を調査する。PDF を計算する対象領域の大きさは、大規模な大気モデル（全球気候モデルや全球天気予報モデル）の典型的なグリッドサイズに対応する $200 \text{ km} \times 200 \text{ km}$ である。雲量ばかりではなく、鉛直積算雲水量の PDF の一様性、歪度、尖度の地理的変動や季節変動を調査する。その結果、雲量ばかりではなく、これらのサブグリッドスケールの統計量も明瞭な地理的分布と季節変化を持つことが明らかにされる。さらに、再解析データと衛星から得られたこれらの鉛直積算雲水量の PDF のデータを用いて、海洋性境界層雲の鉛直積算雲水量のサブグリッドスケールの空間的揺らぎを決定する気象要素を調査する。その結果、850 hPa と 1000 hPa の間の安定度が、海洋性境界層雲の雲量、及び、鉛直積算雲水量の PDF の一様性、歪度、尖度と高い相関を持つことが示される。

次のステップは、雲のパラメタリゼーションで利用するため、そうした PDF の数学的な形を得ることである。さらに、雲のパラメタリゼーションでは、鉛直積算量である鉛直積算雲水量よりも、総水混合比（及び雲水量）の PDF が必要であるため、総水混合比（及び雲水量）の PDF を得る必要がある。そこで、上述の観測から得られた鉛直積算雲水量 PDF の一様性、歪度、尖度のデータを使い、海洋性境界層雲の鉛直積算雲水量と総水混合比の PDF の数学的な形を調査する。いくつかの現実的な仮定のもと、異なる大気安定度においては、総水混合比は、異なる PDF の形を持つことが示される。一般的には、強安定な大気境界層においては、二等辺三角分布が総水混合比 PDF の現実的な近似となっており、中程度に安定な大気境界層においては、ガウス分布がよい近似となっている。雲水から降水への変換率（オートコンバージョン率）に対する補正比、及び短波放射の反射率に対する補正係数も、雲量の関数として求められ、与えられる。これらの値は、モデルの雲過程と放射過程において、非一様性の効果を考慮するために使用されるものである。ここで得られた情報は、雲のパラメタリゼーションにとって実用的な示唆を与えるものである。

本論文で述べられた海洋性境界層雲のサブグリッドスケールの PDF についての研究の最も重要な成果は、海洋層積雲の鉛直積算雲水量のサブグリッドスケールの PDF を決定する気象要素を初めて明らかにしたことである。加えて、雲の種別ごとに、雲量の関数として非一様性の効果を示す係数を初めて求めたことである。したがって、本研究は、海洋性境界層雲に関するサブグリッドスケールの PDF に関する研究を大きく進展させるものであり、全球気候モデルや全球数値予報モデルの雲のパラメタリゼーションにとって有益な情報をもたらす

ものである。