

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	川合 秀明
論文題目	Study on Marine Boundary Layer Clouds and Their Environment for Cloud Parameterizations in Global Climate Models (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)		
(論文内容の要旨)			
<p>海面水温が低く大気下層が安定な海洋上に広がる海洋性境界層雲は、光学的に厚く短波放射 (太陽放射) に与える影響が大きいと、地球の放射収支にとって重要である。近年の地球温暖化シミュレーション研究に見られる予測気温上昇のバラツキの主な原因は、全球気候モデルにおける海洋性境界層雲の表現にあることが最近わかってきた。海洋性境界層雲は様々な物理過程の微妙なバランスによって生成・維持されており、水平・鉛直解像度が粗い全球気候モデルによって表現することは難しい。本論文の目的は、海洋性境界層雲と環境場の関係を明らかにし、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改善に寄与することである。</p> <p>気象庁全球スペクトルモデルの雲パラメタリゼーションに、逆転層の強さの関数として雲量を決める診断型スキームを組み込んで現在気候の再現計算を行った結果、大陸西岸海洋上の海洋性層積雲の表現が著しく改善した。下層雲の雲量は、観測データとかなり近いものとなり、その季節変化や日変化も衛星観測や地上観測と比較して良い一致を示すようになった。この改善に伴い下層雲による短波の反射が増加し、数値モデルに於ける放射収支も観測と近くなって大きく改善した。</p> <p>簡単な診断型スキームを組み込んだ雲パラメタリゼーションは、現在気候の再現に適切であっても、将来の気候予測に適切であるとは限らない。より精緻な雲パラメタリゼーションには、雲量だけでなく、全球気候モデルの水平格子以下のスケールにおける雲水の非一様性が重要となる。そこで長期間にわたり広い領域を高頻度で観測している静止気象衛星の可視画像データを用いて、全球気候モデルの典型的な水平格子に対応する 200 km × 200 km の領域内における海洋性境界層雲の鉛直積算雲水量の非一様性を、確率密度関数として調べた。その結果、鉛直積算雲水量の確率密度関数の一様性、歪度、尖度といった統計量が、明瞭な地理的分布と季節変化を持つことが明らかになった。さらに、これらの統計量を全球再解析気象データから求められた環境場の気象要素と関連づけ、特に大気下層の安定度と高い相関を持つことが分かった。</p> <p>雲パラメタリゼーションに導入するため、静止気象衛星可視画像データから得られた鉛直積算雲水量の確率密度関数を、海洋性境界層雲の鉛直構造に関する現実的な仮定の下、総水混合比の確率密度関数に変換した。変換された総水混合比の確率密度関数は、大気安定度に応じて異なる形を持つことが示された。層雲が卓越する強安定な大気境界層においては、二等辺三角分布が良い近似となっており、層積雲が卓越する中程度に安定な大気境界層においては、ガウス分布が良い近似となっていた。これらの近似分布に基づき、雲水から降水への変換率に対する補正比ならびに短波放射の反射率に対する補正係数を雲量の関数として求め、全球気候モデルの降水過程と放射過程において、非一様性効果の導入が可能となった。</p> <p>本研究は、海洋性境界層雲の鉛直積算雲水量の非一様性を決定する気象要素を初めて明らかにするとともに、雲の種別ごとに、全球気候モデルの降水過程および放射過程における非一様性の効果を示す係数を雲量の関数として初めて求め、雲パラメタリゼーションの改善に大きく寄与するものである。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

強い降水や風をもたらすことがない海洋性境界層雲は、数値天気予報における重要性が低いため、その効果を大気モデルで表現するための研究の歴史は浅い。近年、放射収支が重要となる地球温暖化シミュレーションが盛んに行われるようになり、気温上昇予測の不確定性の要因として大きく注目されるようになった。全球気候モデルにおいて、海洋性境界層雲に伴う降水過程や放射過程などの水平格子間隔よりも小規模な物理過程は、大規模な物理過程と関係づけて定式化し組み入れられる。この定式化をパラメタリゼーションというが、現在気候の再現にうまく機能したとしても、異なる気候状態で正しく機能するとは限らない。本申請者は、海洋性境界層雲に伴う物理過程を正しく表現する雲パラメタリゼーションの研究に取り組んだ。

気象庁全球スペクトルモデルの雲パラメタリゼーションに、下層雲の雲量を大気下層の安定度で決める簡単なスキームを導入した結果、大陸西岸海洋上の海洋層積雲の表現が著しく改善した。簡単なスキームながら、下層雲の雲量ならびに放射収支の再現を大きく改善したことは高く評価できる。

降水過程や放射過程は、雲量だけでなく、雲の空間的非一様性に大きく依存するため、雲量のみを決める上記の簡単なスキームが異なる気候状態で正しく機能するとは限らない。このため、静止衛星可視画像データを用いて、全球気候モデルの水平格子間隔に相当する領域での海洋性境界層雲の鉛直積算雲水量の非一様性を確率密度関数として調べた。その結果、確率密度関数の形状は、既往研究で調べられてきた雲量に比べて、大気下層の安定度と高い相関を持つことが分かった。確率密度関数の形状の違いは、層雲、層積雲、積雲といった下層雲の種類に対応しており、大気安定度が卓越する下層雲の種類を決定し、その結果として雲量が決定されていることを示唆するもので、既往研究に比べてより包括的な知見が得られたものとして高く評価できる。

静止衛星可視画像データから得られた鉛直積算雲水量の確率密度関数を、雲パラメタリゼーションで利用可能な総水混合比の確率密度関数に変換し、層雲の卓越する大気下層が強安定な場合には二等辺三角分布、層積雲が卓越する中程度に安定な場合にはガウス分布で近似できることを示した。さらに、全球気候モデルの降水過程における雲水から雨への変換率ならびに放射過程における雲による短波放射の反射率に対する非一様性の効果を、大気下層の安定度ごとに雲量の関数として求めた。雲の非一様性の効果を導入可能にただでなく、全球気候モデルで通常別々に取り扱われている降水過程と放射過程を、統一的に表現したものとして高く評価できる。

本研究によって、海洋性境界層雲の種類別に変化する非一様性が、大気下層の安定度で決定されていることが明らかにされ、海洋性境界層雲の基礎的な理解が進んだ。また、全球気候モデルの雲パラメタリゼーションにおいて非一様性効果の導入が可能となり、地球温暖化シミュレーションの不確定性軽減に繋がると期待できる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年4月4日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降