

# 審査の結果の要旨

氏名 松 岸 修 平

熱帯域における対流活動は、個別の積雲から、水平規模数十～数百キロのメソスケール、さらには数千キロにも及ぶ大規模において、階層的に活発化する。対流自己組織化メカニズムの解明は、この階層性を理解する上で必要不可欠である。対流自己組織化を介した放射収支や水循環への影響は、全球の大気大循環をも左右し、時に全球的な異常天候を引き起こす。対流自己組織化は海面水温に対する依存性を持つため、地球温暖化に対する地球大気の応答を理解する上でも鍵となる要素である。その物理的なメカニズムや影響を評価することは気象・気候科学的のみならず社会的にも重要である。

対流自己組織化やその環境場との関係性は、現実大気においては衛星観測データなどから研究されている。一方で、現象の本質を抽出して理解するために、一様な海洋と放射という理想化した境界条件を与える、放射対流平衡(RCE)実験という数値モデリング手法による研究も近年盛んに行われている。RCEにおいて、水平一様な境界条件にもかかわらず対流活発域が離散的にならずに局在化する場合があることが知られている。このような自己組織化は計算領域面積にも依存し、十分に大きな面積を与えた実験では複数箇所に対流活発域が生じることから、最大水平スケールの存在が示唆されている。しかし、この最大水平スケールがどのように決まるのか、特にその海面水温への依存性については、よくわかっていない。本論文は、対流自己組織化の海面水温依存性とその本質的なメカニズムを明らかにするため、RCE 実験、現実大気の衛星観測と再解析データ、および理論的枠組みを用いて様々な解析を行ったものである。

本論文は 5 章からなる。第 1 章は序章であり、対流自己組織化に関する先行研究が総括され、これまでの理解と問題点が整理されるとともに、本論文の研究目的が述べられている。

第 2 章では、全球一様な水惑星に設定した非静力学モデルを用いて RCE 実験を行い、対流自己組織化の計算領域面積と海面温度への依存性を調べた。領域面積の拡大とともに、領域平均の気温と湿度が上昇し、複数の対流域が発生するような十分に大きい領域面積では、同程度の値に収束することが分かった。対流の水平規模が拡大すると晴天域から対流活発域への地表風速が増大して海面からの蒸発が促進される一方で、自由大気の放射冷却は収束するため、エネルギーバランスが保たれるために蒸発は制限されなければならない、その結果対流域は特

定の水平規模を超えられずに単一から複数個へと移行することが明らかになった。さらに、この水平規模は海面水温に対して非単調な依存性を持つことが判明した。これは、融解層高度における対流域からのデトレインメント構造の変化が原因であることが分かった。

第 3 章では、現実大気におけるメソスケールの組織化度の海面水温依存性を衛星観測と再解析データを用いて検討した。現実大気においては大規模循環の影響などにより RCE からずれた状態となる。このずれを指標化した distance to RCE (DCRE), および海面水温が、メソスケールの組織化度にどのように影響するかを調べた。メソスケールの現実大気においては DCRE が大きく海面水温が高いほど対流が非組織化していることが示され、2 章の RCE とは違い湿潤な静的エネルギーフィードバック過程が対流組織化の海面水温依存性の原因ではないことが判明した。

第 4 章では、RCE 実験(2 章)とメソスケールの現実大気(3 章)との違いを検証するために、RCE に温度と水蒸気の外部強制(DCRE に相当)を与えることによって大規模上昇流を伴う平衡状態を再現する数値実験を実施した。その結果、大規模上昇流が大きいほど対流が非組織化することが明らかになり、DCRE と対流組織化度の関係についてメソスケールの現実大気と整合的な結果を得た。また、海面水温への依存性については、海面水温の上昇に伴うコールドプールの弱体化が組織化度の低下に寄与しているという示唆を得た。

第 5 章では、本論文のまとめと今後の課題が述べられている。特に、2 章の結果を大規模な空間スケールでの自己組織化、3 章・4 章の結果を、環境場としての大規模上昇流の影響下にあるメソスケールでの組織化と対応づけて整理している。

以上のように、本論文は、対流自己組織化の海面水温依存性とその本質的なメカニズムについての理解を大きく進めたもので、大気大循環を駆動する熱帯大気の力学的理解と温暖化影響予測の進展に大きく貢献するものであり、学位論文として十分な水準に達していると判断できる。なお、本論文の第 2~4 章の内容は、佐藤正樹氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、その寄与が十分であると判断できる。

上記の理由から、博士（理学）の学位を授与できると認める。