

論文審査の結果の要旨

氏名 木戸 晶一郎

熱帯インド洋の主要な気候変動モードであるインド洋ダイポールモード現象 (IOD) は、その発生に伴い大気循環及び降水パターンが変化することで、海面水温のみならず、亜表層の水温や塩分、海流といった海洋上層の物理場に顕著な変動をもたらすことが知られている。近年の塩分データの蓄積・観測精度の向上によって、IOD の発生に伴う塩分変動の特徴および原因が徐々に明らかにされつつある。しかし、変動に寄与する各プロセスの相対的な重要性や、塩分変動がどの程度、海洋上層の循環や水温場に影響を与えるのかについては、定量的な評価が十分なされていない。本論文は、正の IOD に伴う熱帯インド洋の塩分変動のメカニズムおよびそのインパクトを詳細に調べたものである。

本論文は4章からなる。第1章は序章であり、熱帯インド洋を含む熱帯域の大気海洋相互作用や塩分変動に関する既往研究が総括されるとともに、本論文の研究目的が述べられている。

第2章では、正の IOD に伴う海洋上層の塩分偏差の特徴およびその発生機構について、データ解析および領域海洋モデルを用いた数値実験によって調べた。まず、観測データや海洋再解析データの解析から、正の IOD に伴い海面塩分は赤道インド洋の中部から東部では平年よりも低くなるのに対し、熱帯インド洋南東部では逆に高くなることが確認された。先行研究でも指摘されていたこのような海面塩分偏差に加え、深さ 50~100m の亜表層にある塩分躍層付近にも顕著な塩分偏差が出現することが初めて明らかになった。このような塩分偏差の形成メカニズムを調べるため、領域海洋モデルを用いて現実的な大気境界条件と海洋側方境界条件のもとで経年変動積分を行ったところ、海洋上層の変動を観測と整合的に再現することに成功した。さらに、塩分偏差に寄与する各プロセスの相対的な寄与および物理的なメカニズムを調べるため、モデルの境界条件として用いる外力を一部差し替えた「切り分け実験」および塩分収支解析を行った。その結果、赤道インド洋中部の表層付近の低塩分化は主に風応力偏差に伴う東西塩分移流偏差に起因していたのに対し、熱帯インド洋南東部の高塩分化は降水量の減少および海上風速の増大による蒸発量の増加によってもたらされていた。一方、亜表層の塩分躍層付近での塩分偏差はほぼ風応力偏差によって引き起こされる、海洋力学過程の変調（塩分移流および鉛直拡散偏差）の効果に起因していることが明らかになった。さらに、塩分移流偏差の大部分は大規模な海流偏差によることが明らかになった一方で、中規模渦や季節内変動といった短周期擾乱に伴う非線形塩分移流が、正の IOD の発生に伴い変調することで、塩分偏差を作り出すという従来注目されてこなかった新たなメカ

ニズムを提示した。この新たなメカニズムは、支配方程式を単純化した線形連続成層モデルを用いた感度実験でも確認された。

第3章では、正の IOD に伴う塩分偏差のインパクトについて、データ解析および領域海洋モデルを用いた感度実験を通して調べた。まず、正の IOD に伴う塩分偏差の密度および成層への寄与を見積もったところ、赤道インド洋東部での表層の低塩分化および亜表層の高塩分化は密度成層を強化していた一方で、熱帯インド洋南東部での表層の高塩分偏差および亜表層の低塩分偏差は成層の弱化をもたらしていることが明らかになった。上記のデータ解析の結果を踏まえ、領域海洋モデルを用いた感度実験を設計・実行し、正の IOD に伴う塩分偏差が海洋上層にもたらすインパクトを定量化することを試みた。その結果、赤道域の塩分偏差に伴う密度成層の強化は風応力から注入される運動量をより上層に捕捉し、東西流および鉛直流偏差を上方へシフトさせることが明らかになった。その結果、赤道インド洋東部では水温躍層付近の鉛直上向きの流れが弱化し、亜表層の冷たい水が上層に持ち上げられにくくなることで、海面水温の上昇がもたらされていた。これらの力学的解釈の妥当性は、線形連続成層モデルを用いた感度実験からも確認された。塩分偏差の有無による赤道インド洋東部での海面水温偏差は最大 1.0°C 程度にも達しており、大気海洋相互作用にも影響しうる。これらの結果は、塩分変動が IOD に対して単に受動的に振る舞うのではなく、海面水温偏差に対する負のフィードバックとして能動的な役割を果たしうるということを示唆している。

第4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、本研究の手法が他の気候変動現象に伴う塩分変動とその影響の定量化に応用できる可能性が述べられるとともに、塩分変動が気候変動に果たす役割に関する研究の今後の方向性が示されている。

以上のように、本論文は、インド洋熱帯域の気候変動の理解の向上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章と第3章は東塚知己准教授および Weiqing Han 教授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。従って、審査員一同は、博士（理学）の学位を授与できると認める。