

Studies on the hybrid wind-thermohaline driven circulation in the mid-depth of the North Pacific ocean

(北太平洋中層における風成・熱塩循環の研究)

学位論文内容の要旨

北太平洋の水深数百メートルから約二千メートルまでの中層と呼ばれる深さにおける海洋循環のメカニズムをシンプルな解析モデルに基づいて考察した。さらに、現実海洋の循環場についてもデータ解析を行い、モデルとデータの両面から示される中層循環像について議論した。

中層循環のメカニズムに関する研究は Rhines and Young (1982) によってなされ、渦位一様化理論が導かれた。それによると、中層は直接風で駆動されず、海洋中に存在する 100 km 程度の大きさの中規模渦による密度面の擾乱を通じて表層の風成循環が中層に伝わり、亜熱帯海域中層では高気圧性の風成循環にともなう渦位一様化領域が形成される。しかし、この理論だけでは渦位一様化領域の外の循環を説明することはできない。

中層は表層から風成循環の影響を受けるのに加えて、海洋全体を通して流れる熱塩循環の影響も受けるので、渦位一様化理論に従う風成循環に加えて、熱塩過程にともなう diapycnal flow の収束・発散により熱塩的な流れが生ずることを考慮し、風成循環と熱塩循環をハイブリッドしたモデルにより中層循環場を求めた。このとき、渦位分布や熱塩的な外力となる diapycnal flow の分布を特徴づけるモデルの層厚分布は風成循環で決められ、熱塩循環にともなう層厚のひずみは十分小さいとした。この仮定により、地衡流、静水圧、連続の式のもとに導かれる渦位の移流方程式が線形化され、渦位一様化領域の外の熱塩的な流れを解析的に求めることができた。

モデルにより北太平洋中層の循環場を求めた結果、500 m ~ 600 m に中心をもつ塩分極小層で特徴づけられる中層上部では、亜熱帯海域全域に広がった渦位一様化領域内に生ずる高気圧性の風成循環と、その南に熱塩的に駆動される西向きの流れがあらわれた。また、1000 m 付近に中心をもつ酸素極小層で特徴づけられる中層下部では、亜熱帯海域北西部に縮小した渦位一様化領域内の高気圧性循環と、その南に熱塩過程にともなう低気圧性循環がみられた。この中層下部の低気圧性循環は、中層上部の渦位一様化領域の南縁直下に沿って東向きの流れの極大をもち、これより南側でも比較的強い東向流がみられた。

モデルで得られた循環パターンの妥当性を検証するために、データ解析により現実海洋の循環場を見積もった。従来、循環場の見積もりには、ある適当な深さで流れがないとして無流面を仮定する地衡流計算がもちいられてきたが、中層では流れが小さいために無流面の違いによって循環パターンが異なり、特に中層下部における渦位一様化領域の外の循環パターンを特定することができなかった。このため、力学的に無流面深度を推定し、流れが小さくても信頼のおけるインバース解析をもちいて循環場を求めた。また、求められた循環場を渦位や化学トレーサの分布と比較することにより、その信頼性を確かめた。

インバース解析では、海洋中に閉じたボックスを設定し、そのボックス内で質量保存と渦位保存が満たされるように地衡流シアを第一推定の地衡流場から最小二乗的にずらし

最適な流速場を得た。ここで、第一推定の地衡流場は風応力の分布から見積もられるスベルドラップ流量と地衡流シアアの積分流量とが等しくなるように地衡流の無流面深度を設定した。

インバース解析の結果、北太平洋中層の高気圧性循環は、渦位一様化理論で導かれるように、深さとともにその広がり小さくなり、循環の中心が北に移動するのがみられた。そして、その変化は中層上部と中層下部の境界付近である水深 800 m 付近で急激におこることがわかった。また、水深 800 m 以深で北に縮小した亜熱帯循環の南には、南極中層水起源とみられる東向きの流れがあらわれた。東向きの流れの極大域は、中層上部の渦位がほぼ一様な領域の南縁直下に位置していた。このような流れの構造は、海洋中の溶存酸素の分布と非常に整合性がみられた。溶存酸素の極小層も水深 800 m 以深で急激に北に移動し、高気圧性循環の収縮と対応する。また、水深 800 m 以深の酸素極小域の南には、東向きの流れがみられる領域で南極起源の高酸素の水塊が西岸から舌状に張り出している。このようなデータから得られる循環パターンはモデルで求められた循環パターンと一致し、モデルの妥当性が示された。

中層下部の渦位一様化領域の外における循環パターンはまだ十分に明らかになっていなかったが、本研究によりモデルとデータの両面から、中層上部の渦位一様化領域南縁直下に沿って極大をもつ東向流がそれより南側にあらわれることが示された。また、この流れは本モデルにより熱塩的に駆動されることが示された。この流れの東西成分は、モデルにおいて地衡流の関係から中層下部底面の南北勾配で与えられ、これは東岸から発する等渦位線上で受ける熱塩的な外力の南北勾配に依存する。熱塩的な外力は等渦位線上の渦位の平方と diapycnal flow の収束・発散との積であらわされ、中層下部において、中層上部の渦位一様化領域の南縁境界より南側では、中層下部の渦位も diapycnal flow の発散も北に向かうにつれて大きくなっているため、両者の積である外力の南北勾配も大きくなるが、南縁境界より北側では、北に向かうにつれて中層下部の渦位は大きくなるものの、中層下部の diapycnal flow の発散は小さくなるので、外力の南北勾配は小さくなる。その結果、南縁境界より北側に比べて南側で中層下部底面の南北勾配がきつくなり、強い流れがみられる。中層下部で熱塩的に駆動される東向流の極大域が中層上部の渦位一様化領域の南縁直下に沿ってみられるのは、この縁に沿って熱塩的な外力である diapycnal flow の発散が極大となることと関連している。熱塩過程にともなう diapycnal flow の収束・発散の分布は本モデルでは風成循環で決まる層厚分布に依存するので、風成循環が中層の熱塩的な流れの構造を特徴づけているといえる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 成 誠 一

副 査 教 授 菊 地 勝 弘

副 査 教 授 播磨屋 敏 生

副 査 助教授 見 延 庄士郎

学 位 論 文 題 名

Studies on the hybrid wind-thermohaline driven circulation in the mid-depth of the North Pacific ocean

(北太平洋中層における風成・熱塩循環の研究)

海洋中層の循環は、地球温暖化ガスの収支及び輸送経路を明らかにする上でも極めて重要な領域である。特に、地球上の海洋の大きな割合をしめる太平洋の循環像を確定することは地球環境の立場からも極めて重要である。北太平洋中層の亜熱帯循環域に関しては、渦位一様化理論でその循環像がある程度明らかになっているが、この循環域の外側、特に低緯度側については、明確な理論が無く、観測に基づく循環像も確定されていなかった。申請者は、渦位一様化領域の外側に焦点をあて、この領域では、風成循環を維持する成層の密度面を横切る diapycnal flow の収束・発散が循環を規定するとの考えに立って、新たに hybrid wind-thermohaline model を提起した。このモデルの結果は、渦位一様化領域の南側にやや北向き成分をもつ東向流が形成され、酸素極小層の分布から定性的に予想されていたような高気圧性循環とは異なったものであることを明らかにした。更に、申請者は、過去に蓄積された海洋観測データに基づいて、hybrid model の妥当性の検証を行った。従来、データに基づく循環像は地衡流平衡を仮定した inversion の手法が用いられるが、この方法では、無流面の設定に任意性があり、無流面の位置に循環が左右されるという欠点があった。申請者は、この無流面の決定で、地衡流の積分流量が Sverdrup 流量とバランスするという拘束条件を用いて任意性を排除する方法を採用し、これを inversion 手法に組み込んで循環を算出することに成功した。その結果は、hybrid model の示した循環パターンが inversion に基づく循環と矛盾しないことを示すとともに、低緯度域の中層循環像がここに初めて確定されたことをも意味するものである。

これを要するに、著者は北太平洋の中層循環に関する新たなモデルを提起し、循環に関する新知見を得たものであり、地球物理学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって審査員一同は、申請者が北海道大学博士（理学）の学位を受けるに十分な資格があるものと認定した。