

学 位 論 文 題 名

Ocean Circulation in the southernmost Philippine Sea : Observational and numerical studies

（フィリピン海南部における海洋循環－観測及び数値モデルによる研究－）

学位論文内容の要旨

フィリピン海南部は Broecker [1991]によって示された海洋大循環（コンベアベルト）の一部をなすインドネシア通過流の太平洋側入り口に位置するなど、海洋学的に興味深い海域である。ところが、この海域がインドネシア・フィリピンの経済水域内にあるという政治的理由から、この海域における観測データが少なく、どのような海水・海流が分布しているのかすら不明瞭で、またどのような変動をしているのかも分かっていなかった。

この背景を考慮して、インドネシアと共同で1992年10月、1994年2月、1995年1月及び7月、1996年10月の5回の観測航海を海洋調査船「かいよう」を用いて行った。また、1994年2月～1995年6月にかけてインドネシア共和国タラウド諸島－モロタイ島間に2系の係留系を設置した。本論文ではその観測結果について議論する。また、観測データはそれぞれの航海が行われた時期のものであり、範囲も限られているため、観測データだけでこの海域の海洋循環を考察することが難しいことから、海洋科学技術センターにて開発した全球高解像度海洋大循環モデル（JEGCM, JAMSTEC Eddy-resolving General Circulation Model）の結果も併せて解析して議論した。

観測より得られた成果としては、まずフィリピン海南部における水塊の分布がはっきり分かったことが挙げられる。この海域には北太平洋・南太平洋から低緯度西岸境界流がそれぞれの起源の海水を運び込んでいるが、それらの水塊が複雑に交差していることが分かった。例えば亜表層（水深100m～300m）では北太平洋熱帯高塩分水及び南太平洋熱帯高塩分水が海洋前線を形成し、その前線は北赤道反流の流軸と一致する形で北緯4～6度に位置している。一方中層（300～400m）では、ミンダナオ海流が運ぶ北太平洋中層水が上記の海洋前線を越えて南下している様子が観測された。さらに下層（400～1000m）では溶存酸素が高い南極中層水がフィリピン海西岸にそって存在している。

また、「かいよう」に取り付けられた音響式流向流速計及び水塊の分布からミンダナオ海流・ニューギニア沿岸流・北赤道反流が蛇行・反転・分岐している様子が示され、フィリピン海南部はFineら[1994]が述べている「水塊の交差点」のみならず「海流の交差点」でもあることが分かった。

係留観測からは、フィリピン海南部において季節変動及び季節内変動が大きいことがわかった。季節変動については南側の係留点にて顕著で、夏季は弱い西向き流が、冬季に水深300～800mにかけて強い北西流が観測された。この変動はフィリピン海における

季節風の変動に対応しており、ローカルな風の変動がフィリピン海の海洋循環のパターンを変えたことが原因となって起こっているように思われる。一方季節内変動については、約50日の周期で、特に北側の係留点において卓越している。気象庁の客観解析データの風との相関解析から、これは大気側の変動である Madden - Julian 振動と関係している可能性がある。また、フィリピン海において活発であると考えられている中規模渦による海洋変動に伴うものであることも考えられる。

一方、JEGCMは黒潮などの海洋現象をよく再現しているが、フィリピン海南部においても、複雑な海流構造、水塊分布をよく再現している。すなわちJEGCMはフィリピン海南部における海洋循環の研究に対する使用に耐えるものであった。

したがって観測だけでは分からなかった、フィリピン海南部の海洋循環についてJEGCMの計算結果を観測データと同様な観点で調べた。興味深いのは、ハルマヘラ・ミンダナオ渦を初めとする中規模渦の変動で、観測より若干短い約40日の周期で変動している。JEGCMは実際の風ではなく気候値の風で駆動していること、係留系の場所においては係留観測で得られたものに近い変動をしていることを考慮すると、この渦の活動が係留点に50日振動として現れていた可能性が高い。

この変動は東経133度～140度を起源とし、ロスビー波として西進してミンダナオ島に近づいて急に振幅が大きくなり、セレベス海に入ると40日以外の周期の変動が薄れて、40日振動が目立つようになる。ミンダナオ島周辺で振幅が大きくなるのは、ミンダナオ海流の反転部がミンダナオ島南部において不安定となり渦の切離が起こるためと思われる。また、セレベス海において40日の周期が目立つ理由は、ロスビー波がセレベス海内において共鳴しているためであろう。

またJEGCMの結果を基にこれらの渦の変動とインドネシア通過流との関係を調べた。それによると渦による40日の変動はマルク海やハルマヘラ海といったインドネシアの個々の海峡を通る流量変動に大きく寄与している。が、インドネシア通過流のトータルの流量変動としては、個々の海峡を通る流量変動が互いにキャンセルするため、あまり大きくならない。これはインドネシア通過流のインプットである低緯度西岸境界流の流量が増えたとその反転も強くなるためで、その反転をつかさどるミンダナオ・ハルマヘラ渦がこの変動の鍵になっている。また、これらの渦は北太平洋起源・南太平洋起源の水塊をかき混ぜて、インドネシア通過流の起源水を供給するという役割も担っている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 竹 内 謙 介

副 査 教 授 池 田 元 美

副 査 教 授 久保川 厚

副 査 助教授 谷 本 陽 一

副 査 教 授 山 形 俊 男 (東京大学大学院理学系研究科)

学 位 論 文 題 名

Ocean Circulation in the southernmost Philippine Sea : Observational and numerical studies

(フィリピン海南部における海洋循環－観測及び数値モデルによる研究－)

本研究の対象となっているフィリピン海南部は世界の海洋循環における交差点とも言える重要な海域である。太平洋の様々な緯度で生成された色々な特性をもった海水がこの海域に集まり、太平洋熱帯域に供給され、ここでの海洋構造の形成に大きな役割を果たす。その為、エルニーニョ等の熱帯太平洋でおきる現象に影響を与えることが考えられる。また、一部はインドネシア多島海を通してインド洋に入る。この流れはインドネシア通過流と呼ばれ、大西洋北部で冷却沈降した海水が深層水として世界の海洋を巡り、太平洋で上昇した海水がインドネシア多島海を通じてインド洋に流入する流れで、インド洋から大西洋に戻って完成する大循環の一部をなすものであり、海洋大循環や地球温暖化などの気候変動のメカニズム解明にも重要な役割を果たしていると考えられている。

この様にフィリピン海南部は海洋大循環や気候変動のメカニズム解明に重要な海域であるが、その海洋構造や変動の実態の理解は十分ではなかった。これまで幾つかの観測が行われてきたが、殆ど一回きりの、空間的にも限られた断片的なもので、それぞれの食い違いもあり、全体像を見るにはそれらを想像でつなぎ合わせるしかなかった。これはこの海域が地形的にも非常に複雑であり、政治的にも入り組んだ海域で、本格的な観測が困難であったことに加え、海洋構造そのものが複雑であったことが原因となっている。

申請者の研究は、この海域において初めて複数年の本格的な観測を行い、また数値モデルによってこの海域の構造を再現し、両者の結果を総合してこの海域の海洋構造や変動の全体像を明らかにしたものである。観測は 1992 年 10 月、94 年 2 月、95 年 1 月、95 年 7 月、96 年 6 月と 5 回にわたって、様々な季節に行われている。これらの観測では CTD+ロゼット採水器による水温、塩分、溶存酸素等の観測、観測船に設置された音

響流速プロファイラーによる観測等が行われて、1994 年 2 月から 95 年 7 月にかけてはインドネシアのミンダナオ島とニューギニア島の間の海域で 2 基の係留系による海流の観測が行われている。

本研究ではまずこれらの観測から得られた水温、塩分、溶存酸素等の分布から水塊を特定し、北太平洋中層水、北太平洋熱帯水、北太平洋熱帯中層水、南太平洋熱帯水、南極中層水等の存在を確認すると共に、それらが複雑に分布している状況を明らかにした。

それによると、これらの海水はミンダナオ島の東を南下するミンダナオ海流、ニューギニア島の北岸に沿って北西に流れるニューギニア海流とニューギニア潜流等の低緯度西岸境界流によってこの海域に進入する。これらの南北起源の海水は赤道の北、北緯 4-6 度でぶつかりここに前線を形成した後、東に進路を変え、北赤道反流や赤道潜流に入ってゆく。それぞれの海流の転回点にはミンダナオ渦、ハルマヘライン渦と呼ばれる大きな渦が形成されている。ハルマヘライン渦の海域では南北起源の海水の中間的な性格の海水が分布し、この渦がこれらの海水の混合に寄与していることが示唆された。これらの海水はインドネシア通過流にも供給されるが、このことはこれまでの常識と異なり、インドネシア通過流には南半球起源の海水も入っている事を示す。中層では南極中層水が西岸に沿って赤道を越え、さらにミンダナオ付近まで達していることも示された。

本研究は変動についても非常に興味深い現象を明らかにした。ミンダナオとニューギニアの間、セレベス海の入り口での係留系による測流で約 50 日周期の振動が卓越することである。本研究では、もう一つの柱である高解像度海洋数値モデルでこの振動を再現することに成功し、その結果からこの振動がセレベス海の東で発生した不安定がロスビー波として伝播してきたものであることを示唆している。この振動はインドネシア通過流の総流量にあまり影響を与えないが、海水の混合に寄与し、通過流の水質に影響を与えることも示唆された。この数値モデルはこの変動ばかりでなく、この海域での水塊分布をかなり良く再現しており、今後さらに成果を生む可能性が期待される。

以上の様に、本研究は海洋大循環や気候変動の研究に重要な海域における海況の全体像の理解を大きく前進させたものである。また、この研究で申請者は観測、データ解析、数値モデルを総合する高い研究能力を示した。よって審査員一同は申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。