

セレベス海及びその周辺海域における海洋循環

柏野 祐二^{*1} Eric Firing^{*2} Peter Hacker^{*2}
Lukiyanto^{*3} Sutrisno^{*3}

フィリピン南方に位置するセレベス海はインドネシア通過流の流域であるにも関わらず、海洋観測データの空白域であった。そこで、1999年2月に海洋調査船「かいよう」により、セレベス海及びその周辺海域にて海洋観測を行った。「かいよう」の船舶搭載型ADCPによりセレベス海を流れるミンダナオ海流の分岐・反転及び渦の複雑な構造をとらえることができた。また、セレベス海の中層以浅の海水はほぼ北太平洋起源の海水で占められていることがCTD・XCTD観測により分かった。

キーワード：TOCS, セレベス海, インドネシア通過流

Ocean Circulation in and around the Celebes Sea

Yuji Kashino^{*4} Eric Firing^{*5} Peter Hacker^{*5}
Lukiyanto^{*6} Sutrisno^{*6}

Ocean observation was conducted by R/V Kaiyo at February 1999 in and around the Celebes Sea located at the south of the Philippines, because observation data in the Celebes Sea, where is the main path of the Indonesian Throughflow, is very limited. Shipboard ADCP of R/V Kaiyo shows a very complicated structure of the Mindanao Current which bifurcates and retroflects in and around the Celebes Sea associating with ocean eddies. CTD and XCTD observation results also show that water above the intermediate layer in the Celebes Sea originates in the North Pacific.

Key Words : TOCS, Celebes Sea, Indonesian Throughflow

*1 海洋科学技術センター海洋観測研究部
*2 ハワイ大学
*3 インドネシア技術評価応用庁
*4 Japan Marine Science and Technology Center
*5 University of Hawaii
*6 Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi

1 はじめに

セレベス海(図1)はフィリピン共和国の南に位置しており、フィリピンとインドネシアの島々に囲まれた多島海の一つである。この海域はインドネシア通過流の主たるパスの一部になっているため、海洋学的には興味深い海域である。Gordon and Fine (1996)¹⁾によると、インドネシア通過流の起源水は主にミンダナオ海流により太平洋からセレベス海・マカッサル海峡を通してスル海・バンダ海に達し、さらにはロンボク海峡・ティモール海峡を抜けてインド洋に抜けている。

この10年間、インドネシア通過流は海洋大循環のパラダイムとして話題になったコンベアベルト(Broecker, 1991²⁾)の一部となっているため、研究対象として注目を浴びてきた。しかしながら、観測が難しいなどの理由から、インドネシア通過流及びそれに関係した太平洋低緯度西岸境界流の観測データは大変少なく、いまだにおおざっぱな記述しか得られていないのが現状である(Lukas et al., 1996³⁾)。特にセレベス海に関しては、Wyrtki (1961)⁴⁾によって示された歴史的データによる

もの、及びLukas et al. (1991)⁵⁾による漂流ブイの軌跡によりごく表面の循環パターンが示されているのみで、基礎データすら十分にとられていないのが現状である。最近米国とインドネシアの共同プロジェクトであるArlindoプロジェクトに基づいた観測がインドネシア多島海内にて行われているが(Ilahude and Gordon, 1996⁶⁾)、セレベス海についてはインドネシア経済水域内であるセレベス島北岸にてCTD観測が行われたのみで、セレベス海中央より北側のフィリピン経済水域内には観測はなされておらず、また音響式流向流速計(ADCP)による測流観測はなされなかった。すなわち、セレベス海は海洋観測データの空白地帯といっても過言ではなかった。

ところで、セレベス海の循環に関して、上記のLukas et al. (1991)⁵⁾により示された結果とArlindo観測による結果は(Gordon and Fine, 1996¹⁾)異なっている。すなわち、前者はミンダナオ海流がセレベス海の西部にて反転して太平洋に戻ってきている結果を示しているが、後者はミンダナオ海流がマルク海にて反転しており、セレベス海では反転せずにそのままマカッサル海峡に抜け

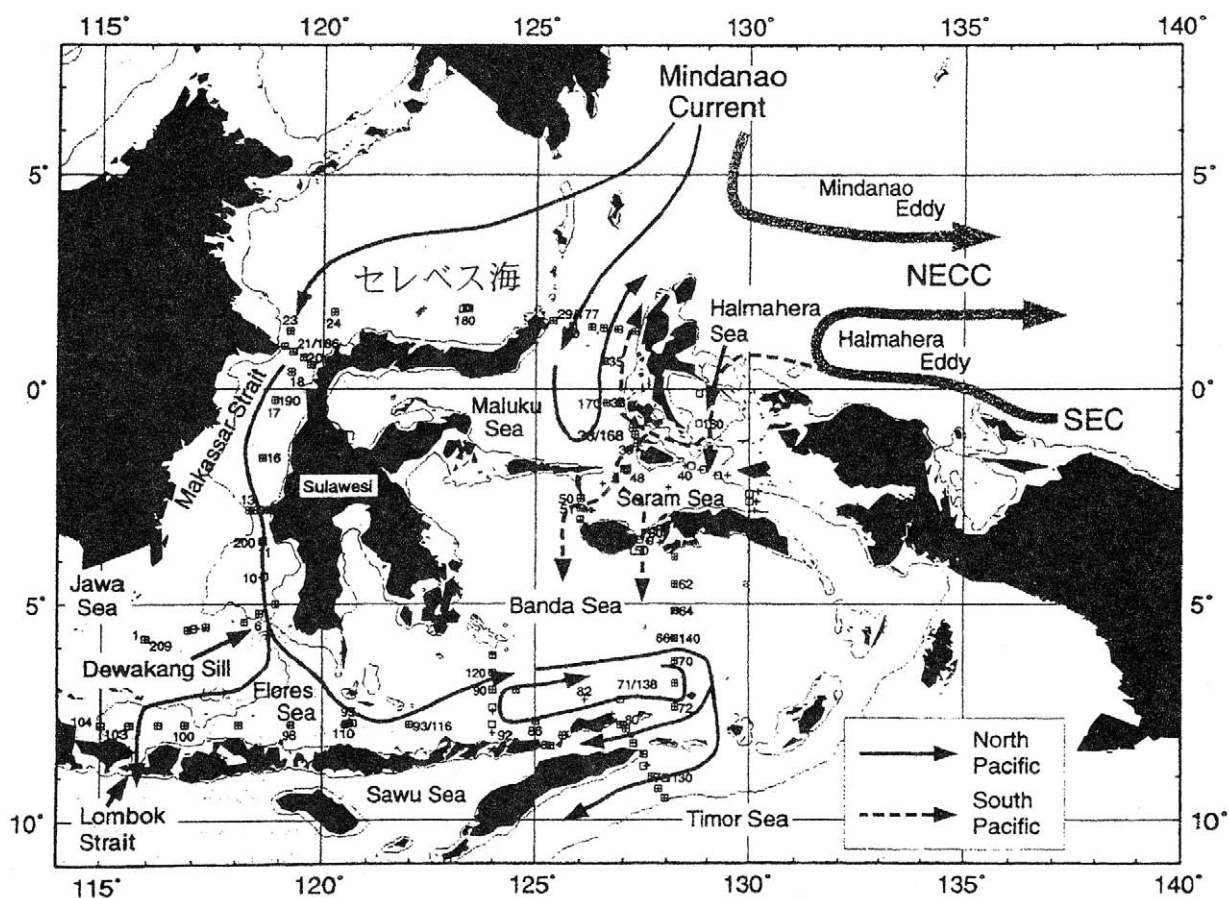


図1 Gordon and Fine (1996)¹⁾により示されたインドネシア通過流のパス。実線の矢印は北太平洋起源、破線の矢印は南太平洋起源の海水の通り道を意味する。

Fig. 1 The path of the Indonesian Throughflow suggested by Gordon and Fine (1996)¹⁾. Solid and broken arrows denote the pathways of the water from the North and South Pacific.

ている結果を示している。この結果の相違は、観測時期が異なっていること、すなわちこの海域の大きな時間変動に起因していると考えられる。

実際、中規模渦を解像できる最近の海洋モデルを用いた研究（石田ら, 1997⁷⁾, Gordon and McClean, 1999⁸⁾, Qiu et al., 1999⁹⁾）はセレベス海周辺において渦活動が活発であることを示している。特に、Qiu et al., (1999)⁹⁾はミンダナオ島南部においてミンダナオ海流から渦が切離する周期（約50日）と、セレベス海におけるバロクリニック第1モードのロスビー波の周期が一致するためセレベス海にて共鳴現象が起こる可能性を示唆している。また、マルク海入り口にて行われた係留観測結果（Kashino et al., 1999¹⁰⁾）も50日周期の変動がこの海域にて卓越していることを示している。すなわち、セレベス海の海洋循環は複雑で変動に満ちていると考えられるが、観測データがほとんどないため、何も分かっていないと言える。

したがって、インドネシア通過流をよりよく理解するためには、そのパスの一部であるセレベス海及びその周辺の海域の観測データを得ることが必要である。このため、当センターでは、プロジェクト研究「熱帯赤道域における観測研究」の一環で、1999年2月に海洋調査船「かいよう」を用いて、セレベス海周辺にて海洋観測を行った。本報では、その結果を報告する。

2 観測

観測は平成11年2月14日（パラオ出港）から3月1日（パラオ入港）の間、海洋調査船「かいよう」によりインドネシア技術評価応用庁並びにハワイ大学と共同で行った。その測点図を図2に示す。この航海の特徴は、1でも記したように海洋観測データの空白地帯ともいべきセレベス海及びその周辺にて行われたことである。この調査海域内には、インドネシア・フィリピン・パラオの経済水域はもちろん、インドネシアの領海も含まれている。

観測内容は、CTD・XCTDを用いた温度・塩分の鉛直プロファイル観測、採水観測、降下式音響流向流速計（Lowered Acoustic Doppler Current Profiler, 以降LADCPと略す）の測点における直接測流観測、及び船舶搭載型ADCPを用いた航跡に沿った直接測流観測である。CTD観測はSBE911plusを用いて、水深1,000mまたは2,000mまで、XCTD観測は鶴見精機製のものを用いて水深1,000mまで行った。LADCP観測はSontec社製の250kHzのものを下向きに、500kHzのものを上向きにCTDのフレームに取り付けて航海の前半の測点にてCTDと同じ深さまで行った。採水観測は水深500mから1000mまで100mおきに行い、溶存酸素の分析及び最下層の塩分分析のみ行った。これらの深さで採水観測を行ったのは、Fine et al. (1994)¹¹⁾により南極中層

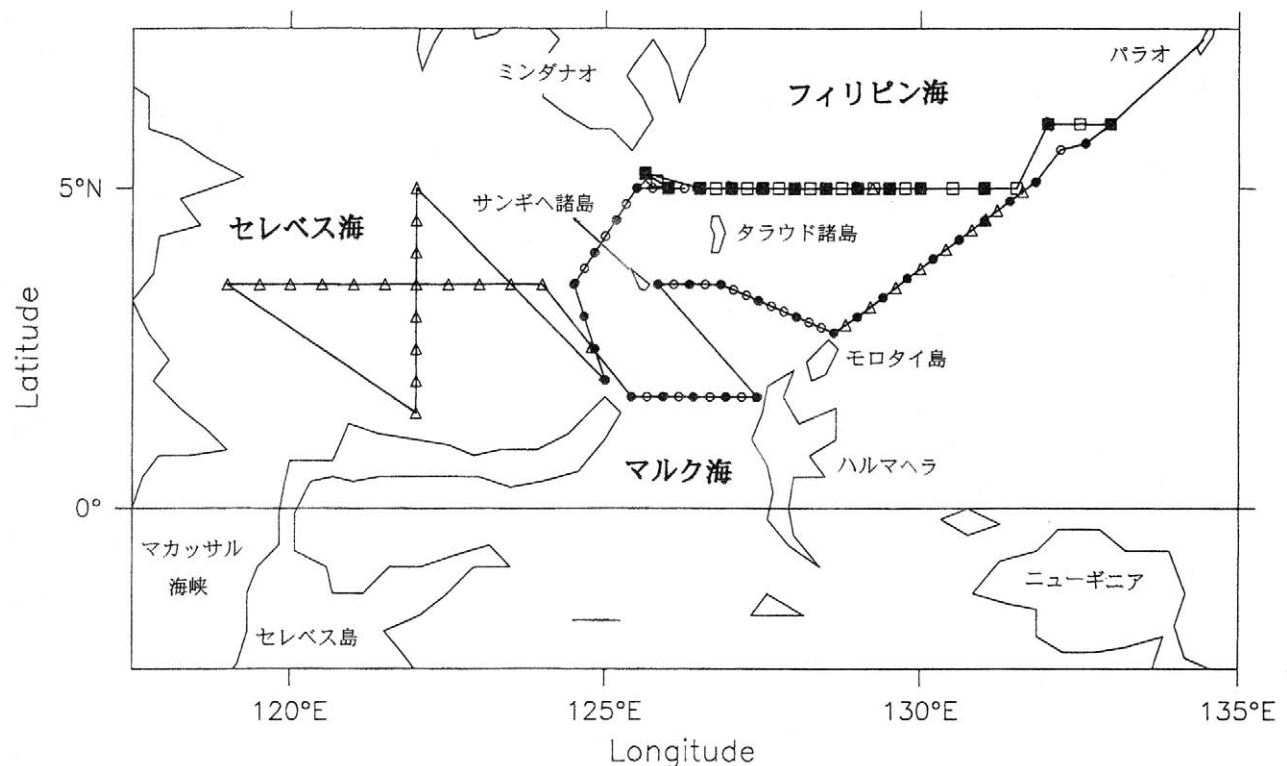


図2 1999年2月に行った観測測点図。×はアンデラ流速計を係留した点、○はCTDのみ、●はCTD及び採水、□はCTD及びLADCP、■はCTD・採水及びLADCP、△はXCTD観測点を表す。

Fig. 2 Observation station during the cruise at February 1999. ×, ○, ●, □, ■ and △ denote stations of Aanderaa current meter mooring; CTD; CTD and water sampling; CTD and LADCP; CTD, water sampling and LADCP; XCTD.

水が太平洋からセレベス海に入っていることが示唆されていることから、その確認を行うために南極中層水が存在する深さを選択したためである。船舶搭載型 ADCP による観測は RDI 社の 75kHz のものを用いた。

また、ミンダナオ島沿岸には低緯度西岸境界流であるミンダナオ海流が存在している。この変動をしらべるために、ミンダナオ海流がセレベス海に入る入り口のサンギヘ諸島北部にアンデラ流速計を 5 つ係留（水深 170m, 300m, 500m, 700m, 1000m）した。この係留系は平成 11 年 10 月から 11 月にかけて行う予定の海洋調査船「かいよう」を用いた航海にて回収する予定である。

船舶搭載型 ADCP のデータはハワイ大にて開発された CODAS (Common Oceanographic Data Access System, Firing et al., 1995¹²⁾) と同じデータ処理方法により、ノイズ除去・各種補正を行い、30km 区間平均を計算して、図化した。また、XCTD については、データのチェックのため、本クルーズ中に 2 回 CTD との比較実験（同一測点における観測）、及び同一測点における複数本の投入実験を行った。その結果、①温度の鉛直プロファイル中の構造が鉛直方向にずれる、②水深 800m 以深で塩分値にオフセットが 10 数本に 1 本の割合で生じることが分かった。前者は投入開始からの時間に対する深さの計算式は現在メーカが提供しているが、「かいよう」で投入した場合のものとメーカのものがずれていることが考えられる。これについては、2 回の実験結果、両者でずれの生じ方が異なるため、単純に補正することができなかった。次回以降のクルーズで実験回数を増やして統計処理をする必要がある。今回はずれが 10m 程度なので、補正はしなかった。後者については、最下層で塩分値を比較し、ずれているものに対してずれた分だけオフセットを加えるだけとした。

3 観測結果

図 3 に船舶搭載型 ADCP による流速ベクトル図を示す。海面近くの水深 50m の流速分布（図 3 a）において最も興味深いことは、ミンダナオ海流の複雑な構造（分岐・蛇行）である。まずこの海流はミンダナオ島南方で分岐していることがわかる。一部は北赤道反流として東に向かって流れ、またある部分は Gordon and Fine (1996)⁶⁾ により示されたように、南下してマルク海の入り口で反転し、残りはセレベス海の中に入り込んでいる。セレベス海の中に入ったものは時計回りの渦の周りを蛇行した後、Lukas et al. (1991)⁵⁾ により示された結果と同様にセレベス海の西部で反転している。その一部はいわゆるインドネシア通過流の西部ルートとしてマカッサル海峡を抜けているものと考えられ、残りは東進してサンギヘ諸島とセレベス島の間を抜けている。この流れは、マルク海において多島海からの流れに、タラウド島の南でミンダナオ島南部で分岐した流れに、そしてモロタイ島北東部にてニューギニア沿岸流やミンダナオ島南部で東向きに分岐した流れにそれぞれ合流して、最終的に北赤道反流として東に流れている。すなわち、Lukas et al.

(1991)⁵⁾ や Fine et al. (1994)¹¹⁾ の模式図で示された以上に複雑な流れとなっている。

この流れのパターンは水深 150m（図 3 b）においてもあまり変わらないが、それ以上の深さになると（図 3 c, d）、ミンダナオ海流や北赤道反流が弱くなり始める。特に北赤道反流は水深 350m になるとほとんど消滅している。それに代わってその深さで深には、北緯 3 度東経 129 度及び北緯 5 度東経 128 度周辺に北向きの流れ、及びそれに連続しているように見える南東向きの流れが東経 130 度に現れる。すなわち時計回りの渦のような構造が存在する。

この渦は水深 50m（図 3 a）においては、その中心が北緯 2 度東経 132 度付近に存在しているハルマヘラ渦が、深くなるにつれ北西方向に延びて北赤道半流の下まで入り込んでいるように見える。すなわち、ハルマヘラ渦が北西方向に傾いているように見える。北緯 5 度及びタラウド島ーパラオ間の塩分断面（図 4 a, d）は、その渦が存在している場所に南太平洋起源である南太平洋亜熱帯水があることを示している。このことは、この渦が南太平洋起源の海水を北赤道反流を越えて北に運んでいることを示唆している。

この北緯 5 度東経 128 度の水深 300m～400m 付近に見える高塩分水のコアは、1992 年 10 月、1994 年 2 月、1995 年 1 月、1995 年 7 月の 4 回行われた北緯 5 度～7 度の東西断面観測時にも見つかった（Kashino et al., 1996¹³⁾）。この海域は渦活動が活発であると考えられているにも関わらず、このような頻度で存在していることから、この渦が定在的な渦であると考えられる。また、この渦の西側の部分は北向き流として南太平洋起源の海水を北に運んでいることから、これがいわゆるミンダナオ潜流として、Hu et al. (1991)¹⁴⁾ に観測された可能性がある。実際、Wijffels et al. (1995)¹⁵⁾ は北緯 8 度の東西断面にはミンダナオ潜流と呼べそうなものは見つからず、南太平洋起源水を含む暖水渦が代わりに存在していることを示しているが、本観測結果はこの結果をサポートしている。なお、LADCP の結果はこの北向き流が水深 1000m にまで達していることを示している（図 5 a）。

また、北緯 3 度東経 129 度のタラウド島そばに見える北西流は水深 475m にまで及んでおり、流速も水深 350m において 50cm/s にも達している。この強い潜流は、1994・95 年冬においてタラウド島沖に展開された係留系において観測された北西流と同じものと考えられる（Kashino et al., (1999)¹⁰⁾）。

セレベス海の中においては、東経 119 度から東経 122.5 度にかけて反時計回りの渦が存在しているのがわかる（図 5 b）。この渦は水深 400m 以深まで達しており、東経 121 度の水深 250m 付近に流速 60cm/s を越えるコアを持っている。このような渦は石田ら⁷⁾ のモデルにも現れている。石田ら⁷⁾ の数値実験結果は、セレベス海における渦がミンダナオ島南部にてミンダナオ海流から切離され、ロスビー波として西進していることを示しており、この渦も同じようなメカニズムでできていることが考えられる。

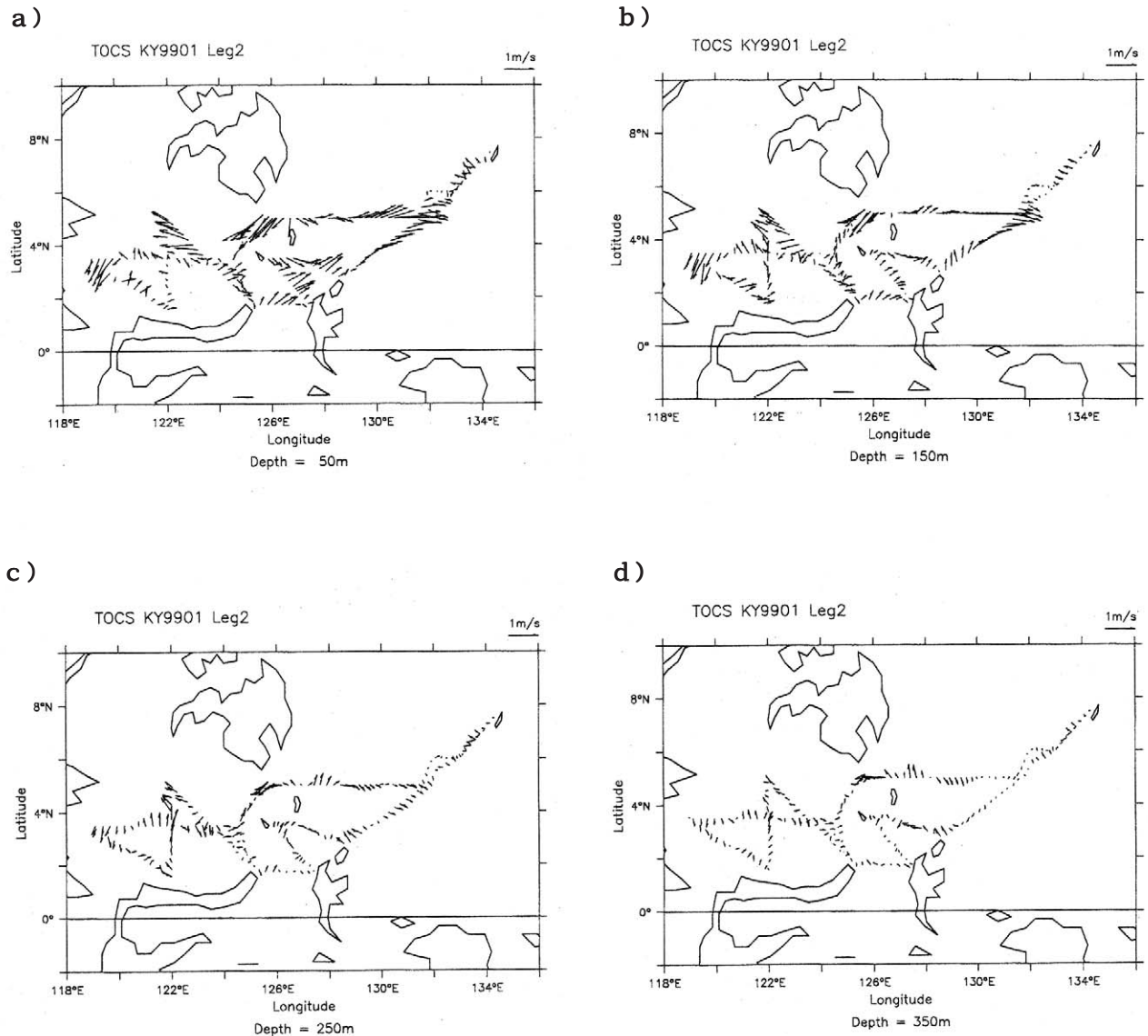


図3 船舶搭載型ADCPにより得られた、水深 a) 50m, b) 150m, c) 250m, d) 350mにおける流速ベクトル図
Fig. 3 Current measured by the shipboard ADCP at the depth of a) 50m, b) 150m, c) 250m, and d) 350m.

この渦は比較的深いところまで達しているが、それによって反転してマルク海に戻ってくるミンダナオ海流の反転流は水深250mになるとほとんど見えなくなっている。これはサンギヘ諸島からセレベス島にかけて存在する島弧のため中層以深の流れがセレベス海からマルク海に戻れないためと考えられる。水塊の分布も、セレベス海の中では中層の塩分極小層（水深200m～400m）がはっきり存在しているが（図4b）、マルク海ではそれが存在していないことから、この考えを支持している（図4c）。

セレベス海の中の塩分分布の特徴として水深100m～200m間の塩分極大層、水深200m～400m間の塩分極小層があげられる（図4b）。前者は北太平洋亜熱帯水であり、後者は北太平洋中層水である。すなわち、中層より

浅いところは北太平洋起源の海水で占められている。興味深いのは、表層の塩分が他の海域に比べ薄く（～33.5PSU）、セレベス海で雨量が多いことを示している。

マルク海の中のセレベス島－ハルマヘラ島間の測線には、垂表層の塩分極大層及び中層の塩分極小層が存在しない（図4b）。すなわち鉛直方向によく混合したインドネシア多島海固有の海水が見られる（Ilahude and Gordon (1996)⁶⁾）。また、海面から水深200m付近まで、他海域に比べ塩分の小さい（<34.5PSU）海水が存在している。この海水は、表層の北西流に乗って太平洋に流れ込み、ニューギニア沿岸に沿って流れてくる海水と合流して北赤道半流として東に流れている。この流れは水深200m以浅に限られ、それより深いところでは、マルク海北部に時計回りの小さな渦のような構造が見られる他は顕著

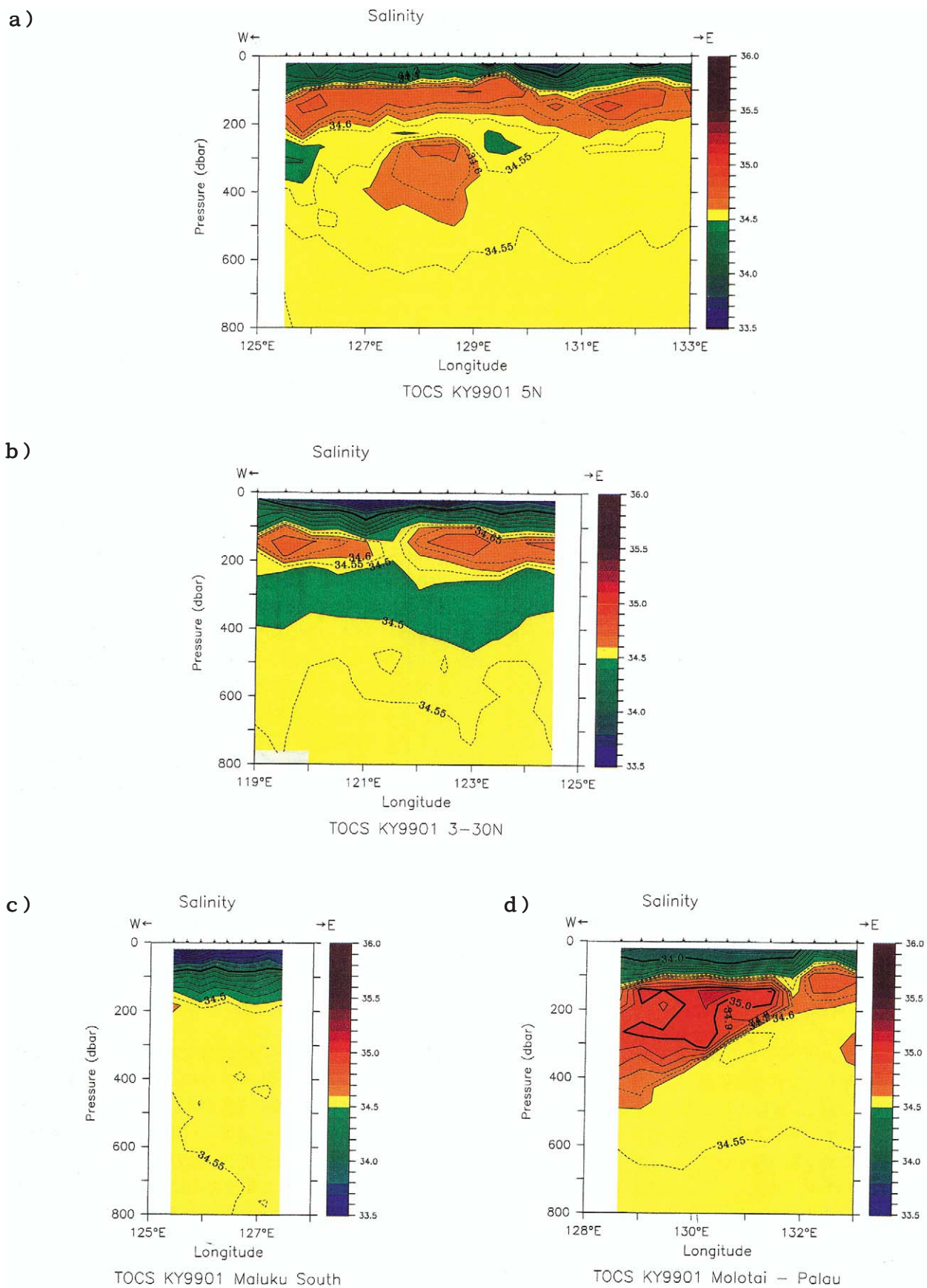


図4 a) フィリピン海の北緯5度, b) セレベス海の北緯3度30分, c) マルク海の北緯1度45分, d) モロタイ島ーパラオ間の各測線における塩分分布。

Fig. 4 Salinity section along a) 5N line in the Philippine Sea, b) 3 - 30N line in the Celebes Sea, c) 1 - 45N line in the Maluku Sea, and d) line between Talaut Island and Palau.

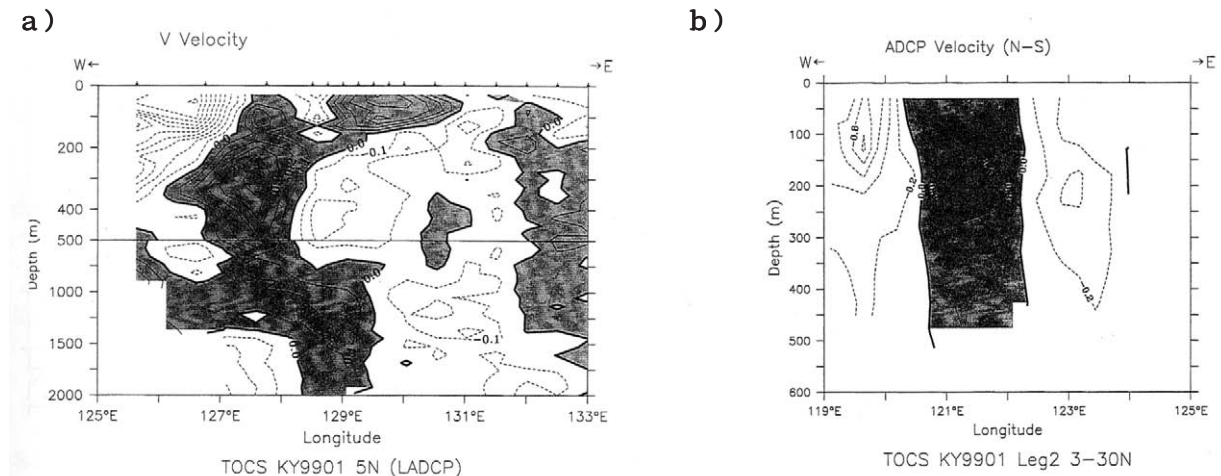


図5 a) 北緯5度線, b) 北緯3度30分線における南北流速分布。北緯5度のものはLADCPにより, 北緯3度30分のものは「かいよう」の船舶搭載型ADCPにより得られたものである。

Fig. 5 Meridional velocity section along a) 5°N from LADCP, and b) 3-30°N from the shipboard ADCP of R/V Kaiyo.

な流れは見られない。

水深500m以深では, フィリピン海南部では南極中層水が存在していることが知られている (Fine et al., 1994¹¹⁾ 及びKashino et al., 1996¹³⁾)。この南極中層水はポテンシャル密度 = 27.2 付近 (水深600m ~ 800m) に塩分極小を持っているが, 西部熱帯太平洋には同じ密度付近に塩分極小層を持つ別の水塊があるため, 南極中層水をこの海域で観測するためには溶存酸素を調べる必要がある (Kashino et al., 1996¹³⁾)。Fine et al. (1994)¹¹⁾ がセレベス海に南極中層水が入り込んでいることを示唆していることから, 本観測ではCTD観測の測点にて水深500m ~ 1000mにおいて100m間隔で採水し, その溶存酸素を調べた。その結果を図6に示す。モロタイ島周辺からマルク海にかけて溶存酸素が2.2ml/lを越える海水がポテンシャル密度 = 27.2 面上に分布していることがわか

る。これが南極中層水である。この溶存酸素の高い海水は濃度が薄まりつつ東経129度以西に広がっている。たとえば, 2.15ml/lのコンタに注目すると, 北緯5度ライン上では東経126度 ~ 129度の間に存在する。この位置は, ちょうど南半球起源の高塩分水のコア (水深300m ~ 400m) が存在する位置と同じ場所であり, この高塩分水と南極中層水が一緒に南方から北緯5度以北に運ばれていることが分かる。

セレベス海入り口の東経125度ライン上においては, 2.2ml/lを越える海水はほとんど見られないが, 最北端の測点を除いた全測点で2.15ml/lを越えている。しかしながら, 東経125度の塩分断面には, 南極中層水の存在するような深さには塩分極小層は存在しない。これらのことから, セレベス海には南極中層水は入り込んではいませんが, Fine et al. (1994)¹¹⁾ によって示されているような西向きの海流に乗って入り込んでいるのではなく, 鉛直・水平方向に拡散しながら太平洋からマルク海を経てセレベス海にしみ出していると考えた方が正しいと思われる。

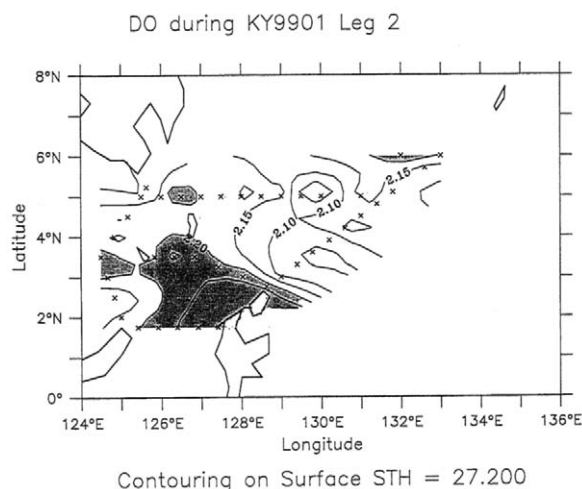


図6 ポテンシャル密度 (σ_θ) 27.2 面における溶存酸素の分布。

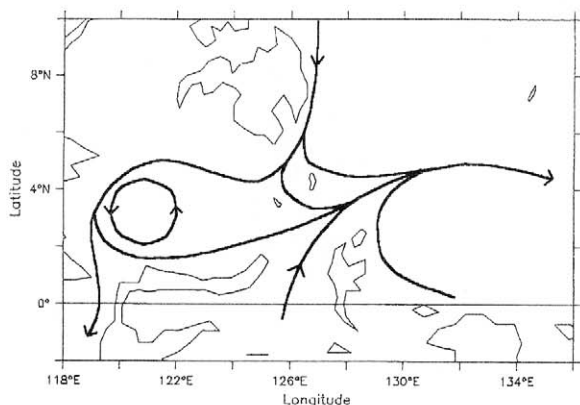
Fig. 6 Dissolved oxygen on the surface of $\sigma_\theta = 27.2$

4 考察・結論

インドネシア通過流の主要なパスでありながら, 近年海洋観測がまったくされていなかったセレベス海並びにその周辺にて, 1999年2月に海洋調査船「かいよう」を用いて海洋観測を行った。その観測結果をまとめた模式図を図7に示す。

まず, 表層・亜表層 (図7 a) では, ミンダナオ海流が複雑な様相を呈している。以前からもミンダナオ海流はセレベス海やマルク海に入り込んだ後反転して太平洋に戻ってくることは知られていた。が, 今回の観測からミンダナオ海流が様々な場所で分岐・反転・合流していることがわかり, Gordon and Fine (1996)¹⁾ やFine et al. (1994)¹¹⁾ の模式図で示されている以上にミンダナオ海流が複雑な構造をしていることがわかった。この構造は鉛直的には, 水深200mくらいまで達しており, それ以

a)



b)

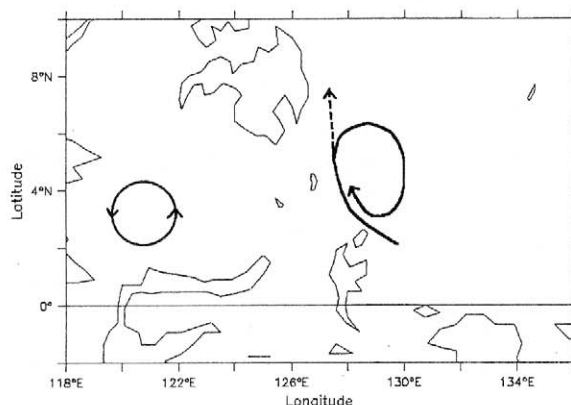


図7 1999年2月における観測から得られた、セレベス海及びその周辺海域の海洋循環の模式図。a) が表層～亜表層, b) 中層。b) の破線矢印はミンダナオ潜流を表す。

Fig. 7 Schematic of the ocean circulation a) surface and subsurface layers and b) intermediate layer in and around the Celebes Sea derived from observation at February 1999. Broken arrow in b) denotes the Mindanao Undercurrent.

深になると、図7bに示されるように渦的な構造の方が目立つようになる。

この複雑な構造は、この海域に存在する中規模渦と、やはり複雑な海岸・海底地形に起因するものと考えられる。特に中規模渦については、Lukas et al. (1991)⁵⁾ による漂流ブイを用いた観測により、北赤道反流のまわりに存在することが示されているが、本観測からセレベス海の中にも存在していることが新たに示された。

中層(図7b)になると、亜表層に見られた強い海流はほとんど見えなくなり、いわゆる模式的な流れのパターンを示すのは難しくなる。唯一、示すことができるのは、タラウド島北東からミンダナオ島南東に向かって流れる北西流の存在である。この流れは、北緯5度上においてはそのまま北上している可能性もあるが、時計回りの渦により反転して戻ってきているように見える。いわゆるミンダナオ潜流というのは、そのまま北上している部分であろう(図7bの破線矢印)。なお、この北西流は1994年冬及び1995年冬に、タラウド島沖に展開した係留系においても観測されており、その際流速は水深600m以深で60cm/secにも達している。このことは、この流れが季節的に変化する可能性を示している。

南極中層水の存在する深さになると、ADCPによる測流データがないため、はっきりしたことは言えないが、Fine et al. (1994)¹¹⁾ により示されたセレベス海への南極中層水の流入は本観測からは否定できない。が、少なくとも一つの流れのパスを通して流入するのではなくマルク海からしみ出すように流入しているものと思われ、実際、鉛直・水平拡散により、その性質をほとんど失っている。

セレベス海内部の中規模渦は石田ら⁷⁾ のモデルにもよく再現されており、石田ら⁷⁾ のモデルがこの海域の平均的な海洋構造にのみならず、渦に伴う変動もよく再現している可能性を示している。したがって、石田ら⁷⁾ のモデルの結果を解析することにより、この渦のメカニズ

ムそれに伴うミンダナオ海流の変動、さらにはインドネシア通過流の短いスケールの変動の理解に貢献することができるものと思われる。これに関しては、以降の研究課題としたい。

謝辞

本観測は海洋科学技術センターとインドネシア技術評価庁(BPPT)の共同研究協定に基づいて行われたものである。本観測の実施に当たってサポートして下さった海洋科学技術センター並びにインドネシア技術評価応用庁の皆様感謝いたします。また、本観測に参加され貴重なデータの取得に協力して下さった、「かいよう」の長谷川船長・田中船長以下乗組員の皆様、インドネシア海軍セキュリティオフィサーのSidik Praptakuncara氏、日本海洋事業株式会社・マリンワークジャパン株式会社・株式会社関西総合環境研究所の技術者の皆様にお礼申し上げます。

また、本観測は海洋科学技術センターのプロジェクト研究「熱帯赤道域の観測研究」により実行されたものである。

参考文献

- 1) Gordon, A. L., and R. A. Fine : Pathways of the water between the Pacific and Indian oceans in the Indonesian seas, *Nature*, 379, 146-149. (1996)
- 2) Broecker, W. : The great ocean conveyor, *Oceanography*, 4, 79-89. (1991)
- 3) Lukas, R., T. Yamagata, and J. P. McCrealy : Pacific low-latitude western boundary currents and the Indonesian throughflow, *J. Geophys. Res.*, 101, 12209-12216. (1996)
- 4) Wyrtki, K. : Physical oceanography of the southeast Asian waters, NAGA Rep. 2, 195pp., Scripps Inst. of Oceanogr., Univ. of Calif., San Diego, La Jolla. (1961)

- 5) Lukas, R., E. Firing, P. Hacker, P. L. Richardson, C. A. Collins, R. A. Fine, and R. Gammon : Observations of the Mindanao Current during the Western Equatorial Pacific Ocean Circulation Study, *J. Geophys. Res.*, 96, 7089-7104. (1991)
- 6) Ilahude, A. G., and A. L. Gordon : Thermocline stratification within the Indonesian Seas, *J. Geophys. Res.*, 101, 12401-12409. (1996)
- 7) 石田明生・柏野祐二・三寺史夫・吉岡典也・門倉輝明 : 高解像度海洋大循環モデルによる海洋変動の研究 一序報一, 海洋科学技術センター試験研究報告, 36, 157-170. (1997)
- 8) Gordon A. L. and J. L. McClean : Thermohaline stratification of the Indonesian Seas : Model and observations, 29, 198-216. (1999)
- 9) Qiu, B., M. Mao, and Y. Kashino : Intraseasonal variability in the Indo-Pacific Throughflow and the regions surrounding the Indonesian Seas, *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 1599-1618. (1999)
- 10) Kashino, Y., H. Watanabe, B. Herunadi, D. Hartoyo, M. Aoyama, M : Current variability at the Pacific entrance of the Indonesian Throughflow, *J. Geophys. Res.*, 104, 11021-11036. (1999)
- 11) Fine, R. A., R. Lukas, F. Bingham, M. Warnar, and R. Gammon : The western equatorial Pacific: A water mass crossroads, *J. Geophys. Res.*, 99, 25063-25080. (1994)
- 12) Firing, E. and F. Bahr, P. Caldwell, J. Ranada, W. Zhu : Processing ADCP Data with the CODAS Software System. Version 3.1., JIMAR, University of Hawaii, 1000 Pope Road, Honolulu, Hawaii 96822, (1995, 未印刷)
- 13) Kashino Y., M. Aoyama, T. Kawano, N. Hendiarti, Syafudin, Y. Anantasena, K. Muneyama and H. Watanabe : The water masses between Mindanao and New Guinea, *J. Geophys. Res.*, 101, 12391-12400. (1996)
- 14) Hu, D. X., M. C. Cui, T. D. Qu, and Y. X. Li : A subsurface northward current off Mindano identified by dynamic calculation, in *Oceanography of Asian Marginal Seas*, Elsevier Oceanogr., 54, edited by K. Takano, 359-365. (1991)
- 15) Wijffels, S., E. Firing, and J. Toole : The mean structure and variability of the Mindanao Current at 8 ° N, *J. Geophys. Res.*, 100, 18421-18435. (1995)

(原稿受理: 1999年6月2日)

