

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月30日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540450

研究課題名（和文） インド洋の浅い南北循環セルの数年・数十年規模変動に関する研究

研究課題名（英文） Interannual and decadal variations of shallow meridional overturning cells in the Indian Ocean

研究代表者

升本 順夫（MASUMOTO YUKIO）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・プログラムディレクター

研究者番号：60222436

研究成果の概要（和文）：高解像度海洋大循環モデルの結果の解析および単純化した数値モデルによる感度実験を通じて、インド洋の浅い南北循環セル、特に南半球側に存在する南方セルの十年規模変動について調べた。南方セルは南緯10度を境に、その北側（南側）では1990年代に弱体化（強化）し、2000年代には逆に強化（弱体化）していることが分かった。このうち北側での変動はインド洋上の風応力偏差に伴って励起される波動伝播が重要であり、南緯10度以南ではインドネシア通過流の変動も考慮する必要があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Decadal variations of shallow meridional overturning cells in the Indian Ocean and their possible mechanisms are investigated using results from a high-resolution ocean general circulation model and a series of sensitivity studies with simplified numerical models. It turns out that the southern tropical cell is divided into two parts. A northern part, north of 10°S, is strongly affected by variations of wind stress curl over the Indian Ocean and weakened (strengthened) during 1990s (2000s). On the other hand, a southern part between 10°S and 30°S strengthened (weakened) during 1990s (2000s). The Indonesian throughflow may be an important factor affecting the variations in the southern part of the southern tropical cell.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：海洋物理学、気候力学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：インド洋、浅い南北循環セル、十年規模変動、インドネシア通過流

## 1. 研究開始当初の背景

近年注目されている地球環境の変動および変化に関する研究では、人為起源の環境変化とともに、地球の大気海洋系が持ちうる自然変動の詳細を理解することが重要である。

特に数年から数十年規模で起こる気候変動現象は、日々の天気の傾向を決める要因として、また異常気象などをもたらす背景場として極めて重要である。このような気候変動現象のうち東アジア域へ影響を及ぼしている

ものとしては、太平洋のエルニーニョや北太平洋十年規模変動、インド洋ダイポールモード現象などが示されている。更に、インド洋域では海面水温の長期上昇傾向が指摘されており、大気のテレコネクションを通じて世界各地の気候に影響を及ぼしている。このようなインド洋の水温変動には、インド洋の表層および亜表層内を3次元的に循環する「浅い南北循環セル」が密接に絡んでいると考えられている。この「浅い南北循環セル」の平均的な描像は、これまでに蓄積されてきた観測データや、比較的解像度の粗い数値モデルの結果などから複雑な経路を取る3次元構造として提示されているが、その変動に関する詳細は観測データの不足や数値モデルの制約などから明らかになっていない。

また「浅い南北循環セル」に影響を与える要素の1つとして、インドネシア多島海域を通り太平洋からインド洋へと流れるインドネシア通過流の重要性が指摘されているが、インドネシア通過流の強弱や水塊特性がインド洋域の循環と水温塩分構造に与える影響も、定量的な議論は未だなされていない。

このようなインド洋の「浅い南北循環セル」に関する研究は、気候変動研究におけるその重要性にも関わらず、国内はもとより国外でも多くは試みられておらず、喫緊の課題の1つと考えられている。

## 2. 研究の目的

本研究では、インドネシア多島海域も含み、インド洋内の循環系やインドネシア通過流を現実的に再現することができる高解像度海洋大循環モデルの結果解析および単純化した数値モデルによる感度実験などを通じて、インド洋の「浅い南北循環セル」の詳細を記述するとともに、その変動に関わる力学的、熱力学的プロセスを同定する。特に、セルの強さが数年から数十年規模でどのように変動しているのか、その原因は何か、インド洋内の水温変動とどのように結びついているのか、大気変動場とどう結びついているのか、太平洋や大西洋との関連はどうなっているのか、などの諸問題、また、インドネシア通過流によってどの程度セルの強さが影響を受けるのか、通過流の水塊特性の変化がインド洋全域の水温塩分構造に影響を及ぼすか等について調べることを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、インド洋の「浅い南北循環セル」の全体像と、それを形成する主要要素の

変動過程を詳しく調べることから始めた。まず、インドネシア通過流を現実的に再現することが出来る全球規模の高解像度海洋大循環モデル (OFES) の結果を解析し、OFESでの再現性、南北循環セルの構造と変動特性を調べた。次いで、先行研究や高解像度モデルの解析結果から示唆される循環セルの重要な構成要素について、熱帯域の気候変動モードとの関連性を明らかにするための感度実験を行った。また、その結果に対する理論的考察を試み、力学的な理解を深めている。この感度実験で用いる数値モデルの作成は初年度および2年目に行い、実験とその結果の解析を2年目以降に行った(図1)。最終年度では本研究で得られた結果を踏まえて、再度高解像度の結果を見直し、インド洋の総合観測網や気候変動予測モデルの高度化などへの提言も含めて、総合的な理解を試みた。

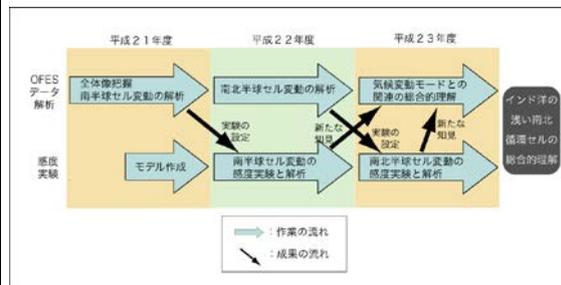


図1：研究計画の概要

## 4. 研究成果

### (1) 浅い南北循環セルの変動

人工衛星データを用いた先行研究において、1990年代にインド洋の浅い南北循環セルの強さが弱化している可能性が示唆されている。そこで1990年代以降を対象として、海洋内部でどのような変動が起こっていた

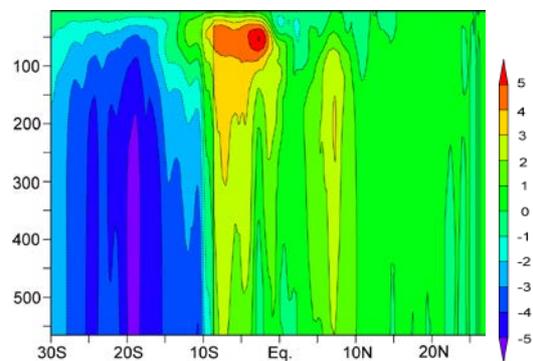


図2：OFESで得られた1993年から2000年にかけての南北循環セルのトレンド。インド洋域で東西積分した海面からの南北流量偏差(Sv)を示しており、暖色系(寒色系)は時計回り(反時計回り)の循環を表す。南緯10度を境に、その南北で符号が異なっている。

かを同定するため、高解像度海洋大循環モデルである OFES で再現された浅い南北循環セル、特に南方セルの変動特性を調べた。その結果、OFES ではインド洋内の二つの南北循環セルを良く再現しており、南半球側に見られる南方セルは、赤道付近から南緯 10 度の表層に集中した 10Sv 程度の循環と、南緯 10 度から 30 度の範囲で 500m 深まで達する 17Sv 程度の強い南北循環から出来ていることが分かった。また、1990 年代におけるこれらのセルの十年規模変動を調べたところ (図 2)、南方セルでは南緯 10 度を境として、その北側では南北循環が弱化し、南側では強化しており、衛星観測から示唆される変動は、南緯 10 度以北の変動であることが分かった。また、2000 年以降は、この傾向が逆転していることも明らかとなった。

これらの変動の原因として、以下のことが明らかとなった。海面から 50m 深付近までの表層南北流偏差は海面での東西風偏差と関係しており、エクマン輸送の強弱で説明できる。一方亜表層では、水温躍層深を代表する 20 度等温面深度 (D20) が東部 (西部) インド洋で正 (負) 偏差を示し、人工衛星から得られている海面高度偏差と整合的であった (図 3)。この亜表層での水温偏差は、南向きの地衡流偏差を励起し、南方セルの弱化をもたらしている。しかし、このような偏差は南緯 10 度以北で顕著であり、南方セルが主に存在する南緯 10~30 度の緯度帯では逆に部分的にセルが強化されていることが示唆された。また、南緯 20 度以南では密度成層構造が熱帯域とは異なるため、人工衛星で捉えられる海面高度の偏差として現れないことも明らかとなった。

次に、南半球中緯度域における海面高度と D20 偏差の変動機構を調べるため、単純化した力学過程で表される低減重力モデルを用いた数値実験を行った。外力として与える風応力を変えた一連の実験結果から、OFES で

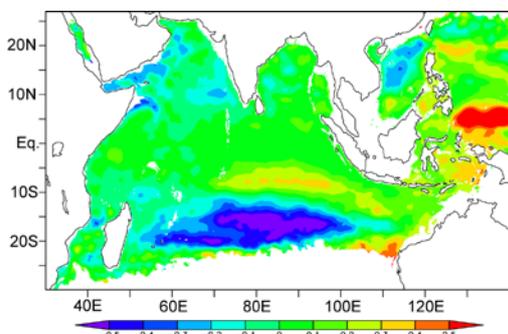


図 3 : OFES で得られた 1993 年から 2000 年にかけての 20 度等温面深度のトレンド。暖色系は深くなっている海域、寒色系は浅くなっている海域を表す。

再現された南方セル海域における海面高度偏差の双極構造は、インド洋南東部で 1990 年代に卓越した風応力分布によって生じることがわかった。風応力の循環がエクマン収束や発散を通じて海面高度偏差および D20 偏差を励起し、その偏差がロスビー長波として西方伝搬することが原因であることが示唆された。

南緯 10 度以南の南方セルの強弱には、インド洋上での風応力の変動に加え、インドネシア通過流の変動も影響を及ぼしている可能性がある。OFES で再現された通過流量の十年規模変動としては 1990 年代に 3Sv 程度増加しており、南緯 10 度以南のセルの強化に寄与している可能性が示唆された。これらのことから、南方セルの十年規模変動には幾つかの異なる変動機構が存在していることが明らかとなった。

(2) インドネシア通過流域での鉛直混合が東部インド洋の水塊分布とその変動に及ぼす影響

浅い南北循環セルの変動は、インド洋上の風応力分布の変動のみならず、太平洋から流入するインドネシア通過流の変動にも大きく依存している。通過流の流量自体の変動とともに、インドネシア海域から流入する水塊の特性によって東部インド洋の水温塩分構造が影響を受け、南方セルが変動することも考えられる。そこで、OFES で再現される通過流域の水塊特性を調べ、東部インド洋域への影響を調べた。

その結果、OFES ではインドネシア海域での潮汐に伴う強い鉛直混合が適切に再現されておらず、東部インド洋の亜表層で高塩分化していることがわかった (図 4)。鉛直 1 次元モデルや比較的単純化した海洋大循環モ

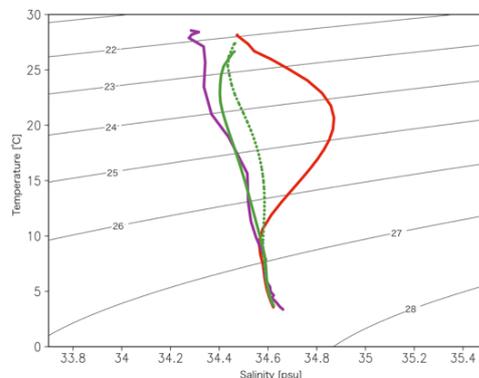


図 4 : インドネシア通過流の出口にあたるチモール海における水塊特性図。紫線は観測データ (WQA2001)、赤線は OFES の結果、緑線は感度実験結果。緑の実線と点線はそれぞれ混合係数を 20 倍と 10 倍としたもの。

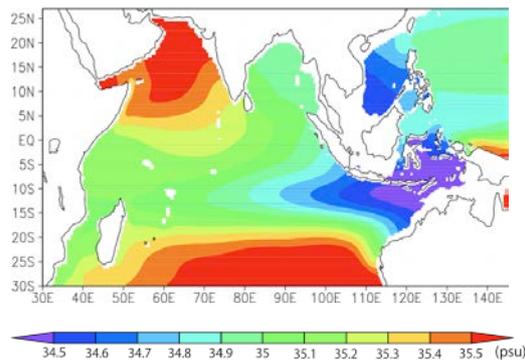


図5：150m 深における年平均塩分分布。インドネシア通過流域での鉛直混合により低塩分水が作られ、東部熱帯インド洋の水塊特性、さらには循環系に影響を及ぼしている。

デルを用いて鉛直混合の影響の度合いを調べたところ、現実的な水塊特性を再現するためにはインドネシア海域内で通常用いられている混合係数の十倍程度の値が必要であること、これによってインド洋南東部での低塩分水の張り出しが現実的に再現されることが明らかとなった(図5)。このことから、インド洋の南北循環セルの経年・十年規模変動を現実的に再現するためには、インド洋上の風に加え、インドネシア通過流の流量とともに水塊特性の変動も適切に再現する必要があることが分かった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① Ogata, T. and Y. Masumoto, Interannual modulation and its dynamics of the mesoscale eddy variability in the southeastern tropical Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, 査読有, **116**, 2011, C05005, doi:10.1029/2010JC006490.
- ② Han, W., J.P. McCreary, Y. Masumoto, J. Vialard, and B. Duncan, Basin resonances in the equatorial Indian Ocean, *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, **41**, 2011, 1252-1270, doi:10.1175/2011JPO4591.1
- ③ Feng, M., C. Böning, A. Biastoch, E. Behrens, E. Weller, and Y. Masumoto, The reversal of the multi-decadal trends of the equatorial Pacific easterly winds, and the Indonesian Throughflow and Leeuwin Current transports, *Geophys. Res. Lettr.*, 査読有, **38**, 2011, L11604, doi:10.1029/2011GL047291
- ④ Iskandar, I., Y. Masumoto, and K. Mizuno, Subsurface equatorial zonal current in the eastern Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, 査読有, **114**, 2009, C06005, doi:10.1029/2008JC005188.

〔学会発表〕(計6件)

- ① Y. Masumoto and Y. Urabe, Effects of enhanced vertical mixing in the Indonesian Seas on the local water mass properties and large-scale ocean circulation in the Indo-Pacific ocean, International Workshop on Developing an Effective Monitoring Program of the Indonesian Throughflow, March 12, 2012, Jakarta, Indonesia.
- ② Y. Masumoto, W. Yu, G. Meyers, Recent research highlights from tropical ocean observing system in the Indian Ocean, 2011 IUGG General Assembly, July 2, 2011, Melbourne, Australia (Invited).
- ③ Y. Masumoto and Y. Urabe, Effects of enhanced vertical mixing in the Indonesian Seas on the local water mass properties and large-scale ocean circulation in the Indo-Pacific region, 2<sup>nd</sup> International Workshop on Climate Change Sciences and Modeling, June 20, 2011, Ansan, Korea (Invited).
- ④ Y. Masumoto and A. Tanabe, Decadal variations in the southern tropical Indian Ocean: A case study for 1990s, JpGU International Symposium 2011, May 27, 2011, Makuhari Messe, Chiba.
- ⑤ Y. Masumoto, The Indian Ocean Climate Variability, SATREPS Workshop on Seasonal and Inter-Annual Climate Variability, August 25, 2010, Cape Town, South Africa.
- ⑥ Y. Masumoto, Decadal variations in the shallow meridional overturning cell in the southern tropical Indian Ocean, Second OFES International Workshop and ESC-IPRC Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System, December 9, 2009, Honolulu, Hawaii.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

升本 順夫 (MASUMOTO YUKIO)  
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
 変動領域・プログラムディレクター  
 研究者番号：60222436

### (2) 研究分担者

なし

(3)連携研究者  
なし