

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740360

研究課題名(和文) 大気海洋結合モデルを用いたインドネシア多島海の海面水温の変動メカニズムの研究

研究課題名(英文) The mechanism behind the variability of the sea surface temperature in the Indonesian Seas

研究代表者

木田 新一郎(Kida, Shinichiro)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員

研究者番号：50543229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシア海の海面水温が経年変動するメカニズムを数値モデルを用いて明らかにした。海面水温の経年変動は主にモンスーン風の変動によって駆動されていることが明らかになった。遠隔プロセスの一つであるインド洋で励起されるケルビン波による影響は海面水温が海の成層構造の影響を強く受けるインドネシア海の東岸ではなく西岸を伝搬するため限定的である。一方、太平洋で励起されるロスビー波は、インドネシア多島海でケルビン波へと変化し海域の東側を伝搬するため、海面水温を変動させる。ただその影響は夏から秋に限られたものであることも示唆された。

研究成果の概要(英文)：The underlying mechanisms that induce the inter-annual variability of the Sea Surface Temperature (SST) within the Indonesian Seas is investigated using a numerical model. The inter-annual variability of the monsoonal winds are found as the dominating forcing agent. The impact of the Kelvin waves, generated by the Indian Ocean Dipole, appears weak because the Kelvin waves propagate along the western Indonesian Seas and not the east, where changes in the thermocline depth can lead to SST variability. The Rossby waves generated in the Pacific, on the other hand, is found capable of affecting the SST in the Indonesian Seas. This is because when the Rossby waves turn into Kelvin waves as they encounter the Indonesian Archipelago, they propagate along the eastern Indonesian Seas. However, in order for these waves to affect the SST, they need to enter the Indonesian Seas from summer to autumn.

研究分野：数物系科学

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：縁辺海 海面水温 大気海洋相互作用

1. 研究開始当初の背景

エルニーニョ・南方振動 (ENSO) やインド洋ダイポール (IOD) に代表される赤道域を中心に起こる気候変動は、日本を含む中緯度域や極域の気候まで影響を及ぼしている。この海盆スケールで起きる現象は、これまで大洋と大気の間で起こる相互作用としてそのメカニズムの理解が進んできた。しかし近年、高解像度の衛星データが入手できるようになってきたことや、高解像度の数値モデルを用いることが可能になってきたことにより、赤道域を中心に起きる気候変動が太平洋とインド洋のような大洋だけではなく、インドネシア多島海のような縁辺海からも強い影響を受けていることが分かってきた。これはインドネシア多島海の直上で熱帯大気循環を駆動する深い対流が生じているためだと考えられている (図 1)。

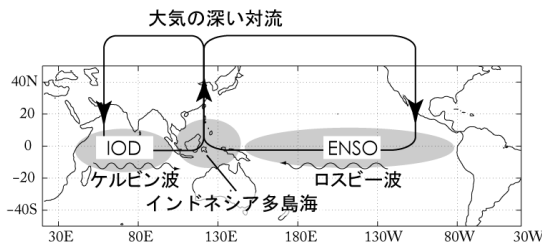


図 1: インドネシア多島海とインド洋・太平洋の位置関係とその大気への影響の模式図。多島海域には ENSO や IOD によって励起されるロスビー波とケルビン波が到達すると考えられている。

2. 研究の目的

本研究ではインドネシア海で起きる海面水温の経年変動の主要メカニズムを明らかにする。衛星データではこの経年変動は主に東側で強く (図 2 a)、島々を挟んだインド洋側・太平洋側でも同様の変動が起きていることが観測されている。変動幅は、夏季 (北半球) から秋季にかけて最も大きく (図 2 b)、春季は海域全体で小さい。これは IOD に伴うインド洋東岸の経年変動と似た傾向だが太平洋沿岸でも同様のサイクルが観測されている。

インドネシア多島海は太平洋やインド洋のどちらとも繋がる特異的な位置に存在する (図 1)。また大洋に比べその面積は小さいものの東西幅はオーストラリア大陸に匹敵するほどであり、この海域の海面水温は様々な要因で変動すると考えられてきた。本研究ではモンスーン風による局地的な効果とインド洋や太平洋から伝搬する波による遠隔的な効果による海面水温の変動プロセスを検証する。陸と海が混在するこの領域の気候変動を理解することは現地のみならず赤道域の気候変動の理解にも繋がると考える。

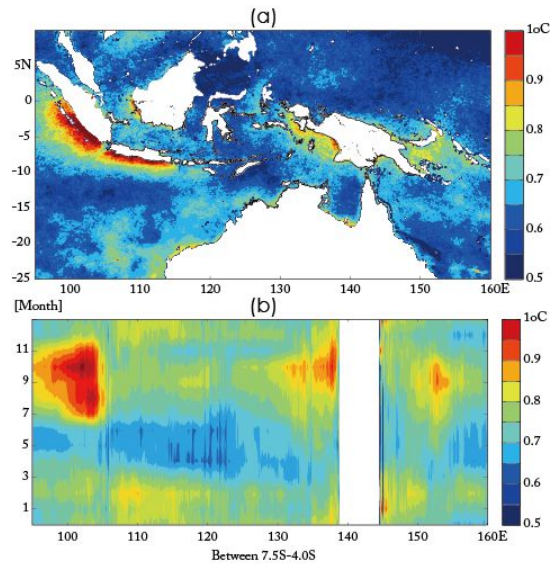


図 2 (a) 衛星 (AVHRR) で観測されたインドネシア多島海の海面水温の経年変動 (b) 7.5-4.0S で起きる月ごとの経年変動の強さ

3. 研究の方法

本研究では、領域海洋モデル・海盆スケール海洋モデル、大気海洋結合モデルを用いて、局所プロセスと遠隔プロセスがインドネシア海の海面水温に与える効果を検証する。

(1) 領域モデル

インドネシア海周辺のみを再現するモデルを用いて、局所的な要因が海面水温を変動させるメカニズムを解明する。側面境界条件には Simple Ocean Data Assimilation (SODA) の月毎の気候値を与えてインドネシア通過流を再現し、大気場には Common Ocean-Ice reference experiments (CORE) の標準年データを与え、風場のみ高解像度の QuikSCAT を使用する。海面フラックスにはバルクフラックス式を用いることで簡易的な大気との相互作用を再現している。潮汐混合は海嶺上で活発に起きていると考えられている海域と、大陸棚上の海底付近の粘性・拡散を理想的に強化して再現している。このモデルでは海面水温の季節変動が再現できている (Kida and Richards, 2008)。本研究では、局所的に海面水温を変動させるメカニズムとしてモンスーン気候の大気場の中でも主に風の寄与を検証した。

(2) 海盆スケールモデル

インド洋・太平洋をまたぐ海盆スケールモデルを用いて遠隔的な要因で海面水温を変動させるメカニズムを検証する。特にインド洋から伝わるケルビン波や太平洋から伝わるロスビー波の効果に注目する。このモデルは (1) の領域モデルを海盆スケールにまで拡張したモデルであり、外部条件の設定方法はほぼ同じである。インド洋で IOD、太平洋で ENSO に伴う擾乱を与えることで、それぞれ

の海から伝搬してくる波がインドネシ多島海の海面水温に与える影響を検証する。モデル実験を多く行う上でインド洋・太平洋の二つの大洋を同時に含むモデルは計算コストが高いため、インド洋とインドネシア多島海の二つを組み込んだよりコンパクトなモデルを主に使用した。

(3) 大気海洋結合モデル

インドネシア多島海上で起きる大気海洋相互作用を再現するため、海洋モデルを全球雲解像大気モデル結合させた大気海洋結合モデルを構築した。IOD が観測された 2006 年秋の海面水温を再現する計画だったが、インドネシア多島海上に強い大気場のバイアスが生じ、これを取り除くことが困難だったため、本研究の海面水温の応答メカニズムの検証には使用しない。

4. 研究成果

(1) 局所的な要因

インドネシア海の海面水温はモンスーン風の経年変動から強い影響を受けていることが明らかになった。これは海面水温の基本的な季節変動がモンスーン風に駆動されていることと一致する。浅海域では海面水温の大気への応答が強いこと、そして春・秋は風場が弱く海面混合層がほぼ海面にトラップされていること、から大気場の変動シグナルが強く海面水温を変動させていると思われる。ただ最も大きい経年変動が観測されているのは湧昇域であり夏から秋であり(図2)、これらのメカニズムでは説明できない。湧昇域では海洋の内部成層が海面水温に大きな影響を持っている。数値実験は秋季の南東モンスーン風の強さと持続期間の経年変動が湧昇レベルを変えることで海面水温を変動させていることを示している。

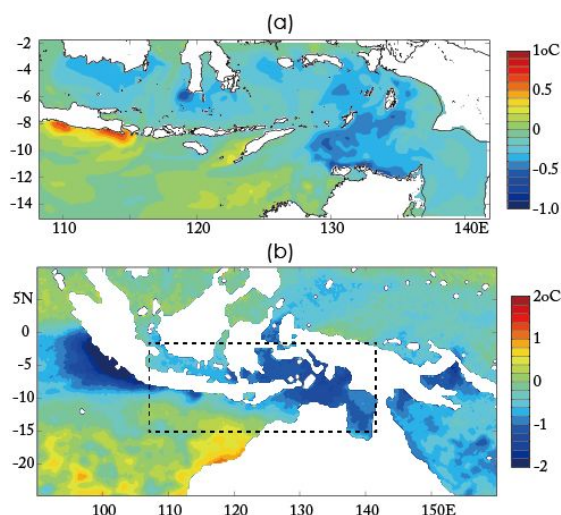


図3 (a) インドネシア多島海 領域モデルで再現された 2006 年 9 - 11 月の海面水温偏差 (b) 観測された (TRMM) 海面水温偏差。枠内がモデル領域

IOD と ENSO が観測された 2006 年秋の海面水温の低下(図3a)は局地的なモンスーン風の変動でその大半を説明することができることが明らかになった(図3b)。モデルで再現された 2006 年の春季時点での水温偏差は小さかったことから、夏季から秋季にかけて起きた冷却は背景場の変動ではなく南東モンスーン風が持続したことにより生じたと考えられる。2006 年の海面水温の低下は 11 月まで持続したため、海面水温のピークがひと月遅れ 12 月ごろに大気対流活動に必要な threshold(28.5°C)を超えている。この年のオーストラリア大陸上の対流活動の発達も一か月ほど遅れており、インドネシア海の海面水温の低下が対流活動の遅れの一因になったことが予想される。数値実験は、夏季から秋季にかけて収束していく南東モンスーン風がインドネシア海の海面冷却というメモリーを通じて北西モンスーン風の発達に影響を与えうることを示唆している。

インドネシア通過流が海面水温に影響を持つのは主に夏季のインドネシア海の西部に限られている。モデル実験からは、通過流の流速経年変動が海面水温に与える影響はモンスーン風の変動に比べ小さいことが明らかになった。通過流の水温躍層の深度が変動する効果も考えられるが、その詳細は次節の太平洋から到達するロスビー波で水温躍層の変動を検証する箇所述べる。

(2) 遠隔的な要因

インド洋から伝搬するケルビン波より、太平洋から伝搬するロスビー波の方がインドネシア海における海面水温の有意な経年変動を引き起こすことが海盆スケール海洋モデルから明らかになった。

これまでインドネシア海の経年変動において議論されることが多かったインド洋から伝搬するケルビン波は、たとえ高解像海洋モデルを用いたとしても海面水温にもたらず影響は限定的である。これはケルビン波がインドネシア海に侵入する際、インドネシア海の西側を伝搬するためである。つまりケルビン波がもたらず海洋の成層構造の変化は成層構造が海面水温に強い影響を持つインドネシア海の東側の海域へは到達しない。波の伝搬をより明確に検証できる 1/10 度 海洋 2 層モデルを用いた実験からも確かにケルビン波がロンボック海峡からマカッサル海峡へと主にインドネシア海の西岸を伝搬することが確認できた(図4a)。モデル実験はインドネシア海内部に侵入したケルビン波がヌサテンガラ諸島の回り、そしてジャワ海に伝搬することを示している。この海域の秋季は沈降期であることから、IOD によって励起したケルビン波がもたらず水温躍層の変化は海面水温に影響を与えにくく、ジャワ海はそもそも浅海域であるため水温躍層がないため影響しない。IOD に伴ってインド洋で励起されるケルビン波はインド洋東岸では

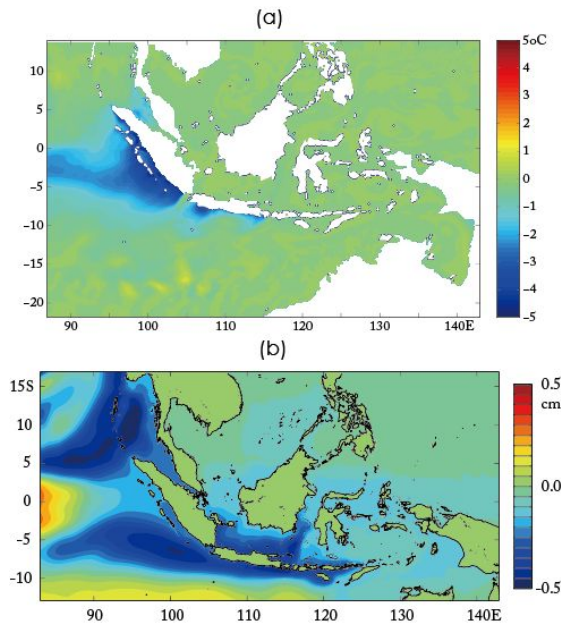


図4 (a) 数値モデルで再現された IOD に伴うケルビン波による海面水温の冷却分布 (b) 2層モデルを用いて再現されたケルビン波がインドネシア多島海に到達した際の海面高度偏差

強い海面水温の偏差をもたらすものの、インドネシア海に対してはあまり影響をもたないことが明らかになった(図4b)。

太平洋で励起されるロスビー波は、そのシグナルの一部分をインドネシア多島海沿岸でケルビン波に変化させ、インドネシア海の東側を伝搬する。つまりこの波は水温躍層の変化を通じて海面水温の変動させることができる。ただ、水温躍層の変化が海面水温の偏差に繋がる期間は湧昇の起きる夏季から秋季に限られているため、ロスビー波が海面水温を有意に変動させるかどうかは、この期間に強い湧昇シグナルを伴って到達する必要がある。数値モデルからは、太平洋上で励起されたロスビー波が十分に大きいシグナルを持つ際は、確かに夏季から秋季のインドネシア海の海面水温を変化させることが確認できた。インドネシア通過流の流量変動に伴う水温躍層の変動も同様のプロセスでインドネシア海の海面水温に影響をもたらすと考えられる。しかし通過流の主枝であるマカッサル海峡(西側ルート)ではなくハルマヘラ海峡(東側ルート)での変動の強さが重要になる。ENSO等に励起される太平洋からのロスビー波は、インドネシア海の海面水温の経年変動を駆動しうるものの、有意な変動をもたらすには限られた「窓」を通過する必要があること明らかになった。

本研究から、インドネシア海で海面水温を経年変動させる局所・遠隔的な駆動メカニズムが明らかになった。様々な波がインドネシア多島海に伝搬してくることがこれまで考えられてきたが、これらの波が海面水温の変動を有意に作り出すには限られた海域と期間に到達する必要があることが示された。イ

ンド洋からのケルビン波は、近年観測からも伝播経路が確認されているが、本研究はこの波がインドネシア多島海の海面水温の変動に繋がる可能性は小さいことを示唆している。インド洋・インドネシア多島海間の気候変動は海の波ではなく大気を介したプロセスを今後は検証する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Qu, T., T. Tozuka, S. Kida, X. Guo, Y. Miyazawa, Q. Liu, Western Pacific and marginal sea processes, The Indo-Pacific Climate Variability and Predictability, World Scientific Publisher on Asia-Pacific Weather and Climate book series, Chapter 6, 2013, in press, (査読有)

Kida, S., and S. Wijffels (2012), The impact of the Indonesian Throughflow and tidal mixing on the summertime sea surface temperature in the western Indonesian Seas, JGR Oceans, doi:10.1029/2012JC008162 (査読有)

[学会発表](計5件)

Kida, S., S. Wijffels, K. Takahashi (2013), The mechanism controlling the seasonal cycle of the sea surface temperature in the Indonesian Seas, AOGS 2013, 2013/06/26, Brisbane Convention & Exhibition Centre, Brisbane, Australia

Kida, S., S. Wijffels, K. Takahashi (2012), The impact of the Indonesian Throughflow and tidal mixing on the summertime sea surface temperature in the western Indonesian Seas, AOGS-AGU(WPGM) Joint Assembly 2012, 2012/08/16, Resorts World Convention Centre, Singapore, Singapore

Kida, S., S. Wijffels (2012), The impact of the Indonesian Throughflow and tidal mixing on the seasonal cycle of the sea surface temperature in the Indonesian Seas, Ocean Sciences Meeting, 2012/02/22, Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, USA

Kida, S. (2011), The sea surface temperature variability in the Indonesian Seas, Woods Hole Oceanographic Institution PO seminar, 2011/10/04, Woods Hole Oceanographic

Institution, Woods Hole, USA

Kida, S., S. Wijffels (2011), The impact of the Indonesian Throughflow and tidal mixing on the seasonal cycle of the sea surface temperature in the Indonesian Seas, JPGU annual assembly, 2011/05/26, Makuhari Messe, Makuhari, Chiba

6 . 研究組織

(1)研究代表者

木田 新一郎 (Kida, Shinichiro)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球シミュレータセンター・研究員

研究者番号：50543229