

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14392

研究課題名（和文）海洋混合層変動に着目した南北モード現象に関する研究

研究課題名（英文）Study on meridional modes focusing on the oceanic mixed layer variability

研究代表者

片岡 崇人 (Kataoka, Takahito)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・ポストドクトラル研究員

研究者番号：00794786

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：数理理論の構築により、熱帯大気海洋結合系に三種の新たなフィードバック過程が存在する事を新たに示した。これらのフィードバックは、WESフィードバックと呼ばれる、従来その重要性が広く認知されているフィードバックと同等かそれ以上の強度を持つこと、すなわち瑣末なフィードバックはないことを明らかにした。そして観測データや気候モデル実験の解析から、現実の大西洋の気候変動現象の成長にもこれらのフィードバックが働いている事が分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たな大気海洋結合フィードバック過程の発見・理解は、気候モデルの改良や、ひいては気候変動予測の精度向上に貢献することが期待される。また、本家研究で明らかになった大気海洋結合フィードバックは、熱帯大西洋の気候変動現象の成長に寄与することが分かったが、太平洋やインド洋にも類似の気候変動現象が存在するため、これらのフィードバック過程は、その他の海盆においても重要な役割を果たすと考えられる。

研究成果の概要（英文）：By conducting an eigenanalyses of simple linear air-sea coupled models, it is shown that three additional feedback processes are present when the variable oceanic mixed layer depth (MLD) is considered. The coupling of the variable MLD yields comparable or more than doubled growth rate of the well-known tropical air-sea coupled feedback called WES feedback. It is likely that the proposed feedback processes operate during the climate variability in the tropical Atlantic because an anti-phase relationship between the sea surface temperature and MLD anomalies, a characteristic feature of the new feedbacks, is seen during the observed tropical Atlantic climate variability and that simulated in a state-of-the-art coupled climate model.

研究分野：気候力学

キーワード：大気海洋相互作用 大気海洋結合フィードバック 気候変動 熱帯 大西洋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

産業や社会生活に大きく影響する干ばつや豪雨等の極端現象の母体となる気候変動現象のメカニズムを理解する事は、その予測に向けた重要な課題である。例えば、熱帯大西洋で卓越する大西洋南北モードは、ハリケーン発生数の変動を通じて周辺国に災害をもたらすことが知られている。この赤道(より正確には熱帯収束帯の平均的な位置)を対称軸として正と負の海面水温(SST)偏差を伴う大西洋南北モードの成長には、エルニーニョ/南方振動や北大西洋振動等の外部強制のほか、風-蒸発-海面水温(WES)フィードバック(図1a)と呼ばれる、熱帯大西洋に内在する大気海洋結合過程が重要となることが指摘されている。

研究代表者のこれまでの南インド洋の気候変動研究の過程で、SST偏差の形成には海洋混合層厚(MLD)の経年変動に伴う短波放射への感度変化が重要であることが明らかになってきた。地理的差異はあるものの、海面に入射する短波放射は赤道域の方が大きいことを考慮すると、むしろこのような海洋混合層厚偏差に伴う感度変化の効果は熱帯でより有効であると推測される。

図1aに示すように、WESフィードバックは暖かい半球側で風速が小さくなる事を伴うが、風速の弱化はかき混ぜ効果の弱化を通じて経年的に海洋混合層を薄くするように働く。同時に、潜熱放出の減少ももたらすが(WESの概念では、この潜熱放出偏差が直接SST偏差を形成する)、これはすなわち海洋への浮力の注入を意味し、やはり海洋混合層を薄くするように作用する。

先行研究は海洋混合層厚を一定と仮定していた為にWESフィードバックにのみ着目していたが、以上を勘案すると、熱帯大西洋には図1b,cに示すような「風-混合層-海面水温(WIMS)フィードバック」及び「風-蒸発-混合層-海面水温(WEMS)フィードバック」という二つの大気海洋結合フィードバックが存在することが考えられる。実際、現場観測のデータ解析から、2009年に発生した大西洋南北モードは混合層厚偏差を伴ってSST偏差が強化されていたことが報告されており、これらのフィードバック過程が実際に働いている可能性は非常に高い(短波放射が熱帯域における最大の熱源であることを考えると、潜熱偏差が直接SST偏差を作るよりもこちらの過程が働く方が自然であるし、位置エネルギーの観点からもより効率的と考えられる)。

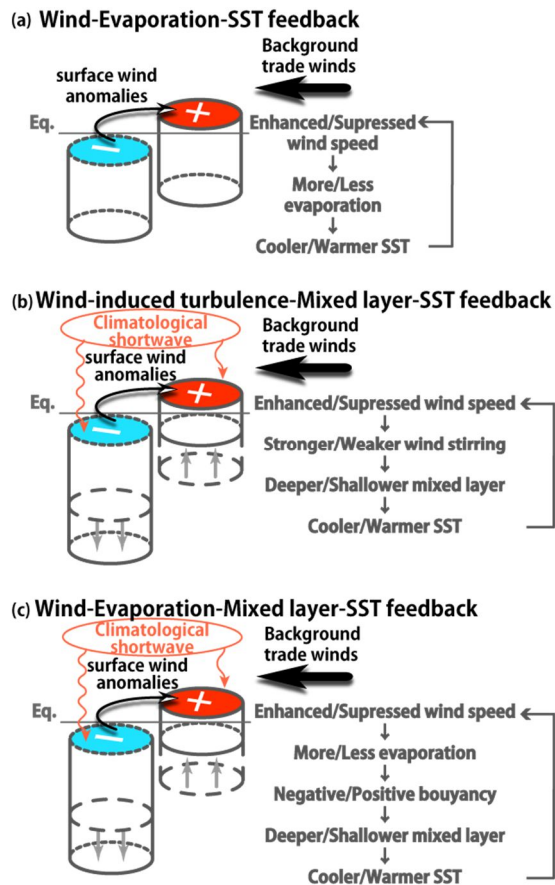


図1: (a) 従来認識されているWESフィードバックの概念図。本研究でその存在を示す (b) WIMS (c) WEMSフィードバックの概念図。

2. 研究の目的

本研究では、先行研究では(正当な理由なく)無視されていた海洋混合層の変動を考慮することで、熱帯大西洋で卓越する南北モード現象の成長に寄与していると予想される、新たな大気海洋結合フィードバック過程を発見し、その物理的機構の詳細を解明することが目的である。観測データや、大気海洋結合モデル実験結果の解析のほか、現象の本質を担う要素のみを抽出したシンプルモデルを用いた理論解析を行い、これまで認識されていなかった、新たな熱帯大気海洋結合過程を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 観測データや気候モデルにおいて、WES、WIMS、WEMSという3つのフィードバック過程を分離して抽出することは困難である。そこで、本研究では初めに現象の本質を担う要素のみを抽出したシンプルモデルを構築し、固有値解析を行うことでWIMS及びWEMSフィードバックが存在し、かつ、それらが従来のWESフィードバックと同程度以上の強度を持つことを示す。大気モデルは松野-ギルタイプのモデルを使用し、海洋は、時空間的に層厚可変な混合層モデルを採用した。大気は赤道周辺のSST偏差に比例する大規模凝結により駆動され、海洋は海面熱フラックス偏差、あるいはモニン・オブコフ深によって見積られるMLD偏差に伴う海面熱フラックス気候値への感度変化によりSST偏差を形成する。現象の本質のみを抽出するために東西一様を仮定する。このモデルをもとに、WESのみが存在するモデルAを構築し、同様にWIMS、あ

るいは WEMS のみが存在しうるモデル B 及び C を構築した。

シンプルモデルにより得られた結果が、現実世界や、より現実に近い状況下においても観測されることを確認するために、観測データや最新の気候モデル MIROC6 の長期積分結果を解析した。

(2) (1)のシンプルモデルの大気部分に水蒸気収支式を追加し、また、海洋混合層モデルを淡水フラックス由来の浮力フラックスを考慮するよう拡張した。このシンプルモデルの固有値解析を行うことで、SST 偏差に由来する降水偏差が、海洋成層構造の変化を通じて初期の海面水温偏差を一層強化するという、さらに新たな熱帯大気海洋結合フィードバックの存在を示すとともにその特徴を理解する。

加えて、より現実的な状況下におけるこの大気海洋結合フィードバックの効果を調べるために、熱帯大西洋において海洋が降水の経年変動を感じない気候モデル感度実験を行った。

4. 研究成果

(1) モデル A の固有値解析を行ったところ、先行研究と合致して、WES フィードバックは第一固有モードとして抽出され、赤道反対称な SST 偏差と共に暖かい半球側に向かう海上風偏差を伴い、暖かい半球上の風速の弱化による蒸発の抑制を通じてさらに正の SST 偏差を強化していた(図 2a)。それぞれ WIMS および WEMS フィードバックモデルであるモデル B、C についても同様の固有値解析を行ったところ、モデル A と同様に、赤道反対称な SST 偏差と、暖かい半球側に向かう海上風偏差がみられた(図 2b, c)。しかし、モデル B においてはこの海上風偏差は、暖かい半球側でのかき混ぜ効果の弱化を通じて海洋混合層を薄くし、その結果、海面熱フラックス気候値への感度が上昇することで SST 偏差を形成していた。また、モデル C では、暖かい半球側で風速の弱化が蒸発の抑制をもたらすことで海洋混合層を薄くし、その結果、モデル B 同様、海面熱フラックス気候値への感度が上昇することで SST 偏差を形成していた。つまり、熱帯大気海洋結合系において、WIMS 及び WEMS フィードバックが存在しうることを示された。

また、モデル A-C の第一固有モードの成長率を調べると、それぞれ-0.03、0.25、-0.03 (/month) となっており、本研究で提示するフィードバックは、従来、その重要性が広く認識されてきた WES フィードバックと同等以上の強度を持つことが分かった。

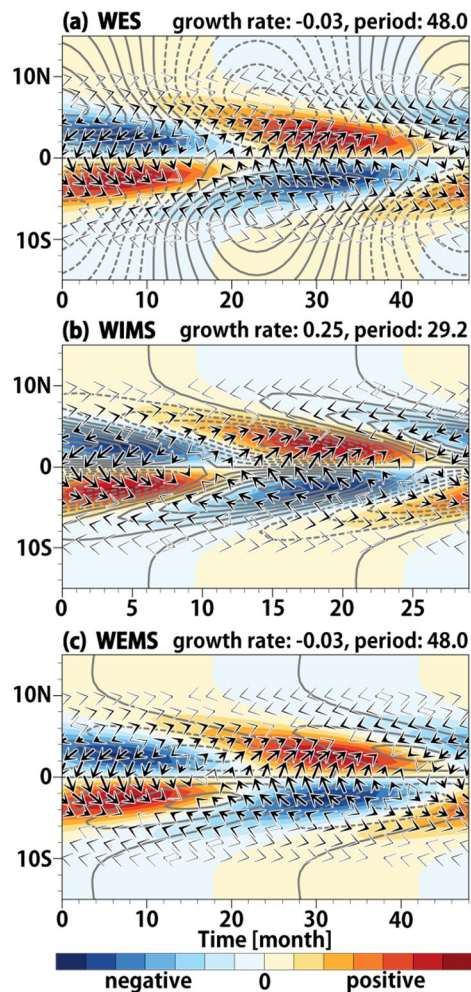


図 2：シンプルモデルの固有値解析から得られた(a) WES フィードバックにおける SST 偏差(色)、表層風偏差(ベクトル)およびジオポテンシャル偏差(等値線)の振動成分。成長率と周期が上部に示されている。(b) (a)に同じ。ただし、WIMS フィードバックの振動成分で、等値線は MLD 偏差を表す。(c) (b)に同じ。ただし、WEMS フィードバックの振動成分。右向きベクトルは西風偏差を表し、等値線において破線は負の値を表す。

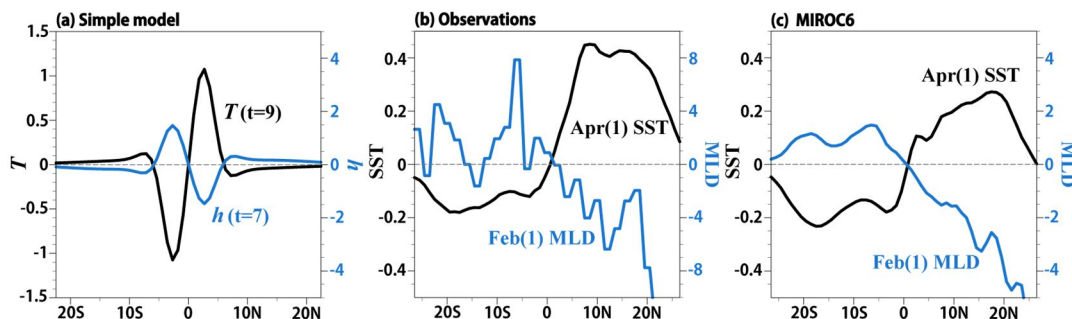


図 3：(a)シンプルモデルから得られた SST 偏差(黒)と MLD 偏差(青)がそれぞれピークに達した時の位相関係。SST 偏差は MLD 偏差の 2 ヶ月後にピークを迎える。(b) 観測データおよび(c) 気候モデル MIROC6 に現れる大西洋南北モード現象に伴う、ピーク時(4月)の SST 偏差(黒)とその 2 ヶ月前の MLD 偏差(青)。

さらに、観測データや気候モデルに現れる大西洋南北モード現象は、本研究で提示するフィードバックの特徴である、SST 偏差と MLD 偏差の逆位相の関係を伴っており、すなわち、実際に WIMS フィードバックおよび WEMS フィードバックは大西洋南北モード現象の発達に重要な役割を果たしているであろうことが明らかになった(図 3)。太平洋にも太平洋南北モードという類似現象が報告されていることから、同様の大気海洋結合フィードバックは他の海域にも内在することが見込まれる。

Freshwater-Mixed layer-SST feedback

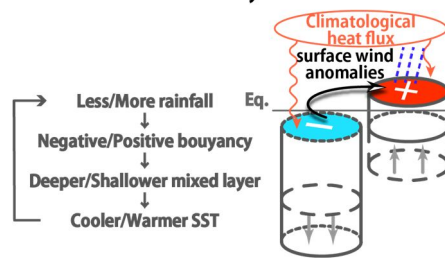


図 4 : FMS フィードバックの概念図。

(2) (1)の研究を遂行中に、海面水温偏差に由来する降水偏差が、海洋成層構造の変化を通じて初期の SST 偏差を一層強化するというさらに新たな熱帯大気海洋結合フィードバック(淡水-混合層-SST フィードバック; FMS フィードバック; 図 4)の着想に至った。そ

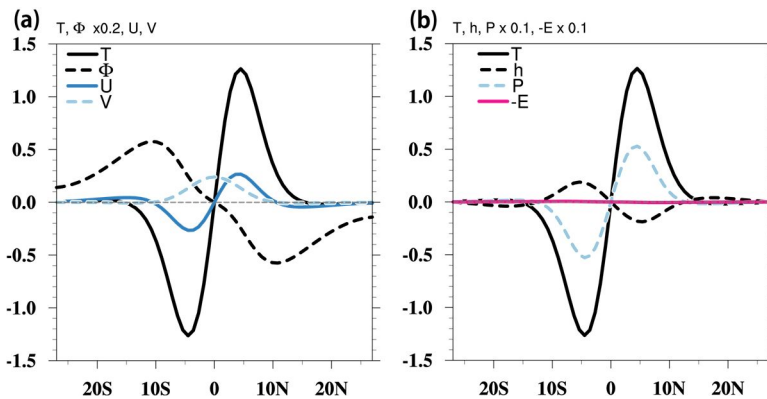


図 5: (a) シンプルモデルから得られた FMS フィードバックにおける SST 偏差(黒実線)、ジオポテンシャル偏差(黒破線)、東西風偏差(青実線)および南北風偏差(青破線)の位相関係。(b) (a)に同じ。ただし、黒破線は MLD 偏差、青破線は降水偏差、赤実線は蒸発偏差を表す。

ここで、(1)で使用したシンプルモデルを拡張して固有値解析を行ったところ、仮説と整合して、暖かい SST 偏差が直上に低気圧偏差を作り、そこに風が吹き込むことで水蒸気収束を通じて降水偏差が引き起こされ、その降水偏差が MLD 偏差を強制することで初期の SST 偏差を一層強化することが明らかになった(図 5)。また、その減衰時間スケールも従来の WES フィードバックの 60%程度と瑣末なフィードバックではないことが分かった。

このような淡水フラックス偏差による SST 偏差への影響を、より現実的な状況下で調べるために、熱帯大西洋において、海洋が降水あるいは蒸発に伴う淡水フラックスの経年変動を感じない気候モデル感度実験を行った(それぞれ PFLXC 実験および EFLXC 実験)。その結果、シンプルモデルを用いた理論解析結果と整合して、降水偏差に伴う淡水フラックス偏差は、大西洋南北モードのピーク時の振幅を 10%以上強化していることが明らかになった(図 6)。

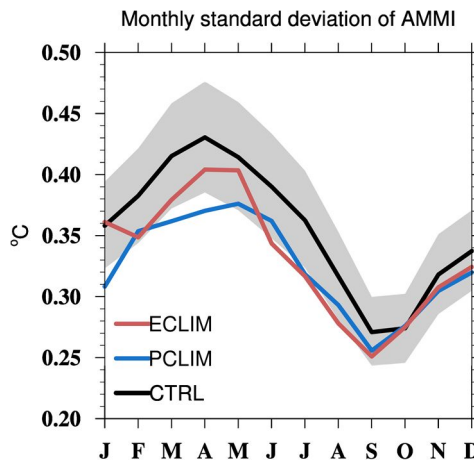


図 6: 気候モデルに再現された大西洋南北モード現象の月ごとの振幅(標準偏差)。黒線、赤線、青線はそれぞれコントロール実験、PFLXC 実験、EFLXC 実験を表す。灰色の影はコントロール実験の 90%信頼区間を表す。

FMS フィードバックについても、(1)同様、他の海盆へと応用できるものと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takahito Kataoka, Masahide Kimoto, Masahiro Watanabe, and Hiroaki Tatebe	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Wind-Mixed layer-SST Feedbacks in a tropical air-sea coupled system: Application to the Atlantic	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JCLI-D-18-0728.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Kataoka, T., M. Kimoto, M. Watanabe
2. 発表標題 Wind-Mixed layer-SST modes in the tropical air-sea coupled system: With application to the Atlantic
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kataoka, T., M. Kimoto, M. Watanabe, H. Tatebe
2. 発表標題 New Ocean-Atmosphere Coupled Feedback in the Tropical Atlantic: Wind-Mixed Layer-SST modes
3. 学会等名 International Conferences on Subseasonal to Decadal Prediction（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kataoka, T., M. Kimoto, M. Watanabe, H. Tatebe
2. 発表標題 Air-sea coupled feedbacks in the tropics: Wind-Mixed layer-SST modes
3. 学会等名 Joint US-Japan Workshop on Climate Change and variability（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片岡崇人、木本昌秀、渡部雅浩、建部洋晶
2. 発表標題 風-混合層-海面水温フィードバック
3. 学会等名 2018年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片岡崇人、木本昌秀、渡部雅浩、建部洋晶
2. 発表標題 風-混合層-海面水温フィードバック
3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kataoka, T.
2. 発表標題 The cross-equatorial gradient variability: The role of heat, momentum, and freshwater flux
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2019, Chiba, Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kataoka, T., T. Suzuki, H. Tatebe
2. 発表標題 Meridional gradient variability in a tropical air-sea coupled system: The role of heat, momentum, and freshwater fluxes
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahito Kataoka, Masahide Kimoto, Masahiro Watanabe, and Hiroaki Tatebe
2. 発表標題 On the Wind-Mixed layer-SST modes in the tropical Atlantic
3. 学会等名 EGU General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahito Kataoka, Masahide Kimoto, Masahiro Watanabe, and Hiroaki Tatebe
2. 発表標題 Wind-Mixed layer-SST Modes in the Tropical Ocean-Atmosphere Coupled System: With Application to the Atlantic
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kataoka, T., T. Suzuki, H. Tatebe
2. 発表標題 The role of heat, momentum, and freshwater fluxes in tropical meridional gradient variability
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----