

平成 21 年 5 月 26 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18740291
 研究課題名（和文） エルニーニョ / 南方振動の長期変動に関する熱力学的研究
 研究課題名（英文） Thermodynamical Study on Decadal Modulations of
 El Niño/Southern Oscillation
 研究代表者
 東塚 知己（TOZUKA TOMOKI）
 東京大学・大学院理学系研究科・助教
 研究者番号：40376538

研究成果の概要：

太平洋熱帯域の気候変動現象であるエルニーニョ現象の季節性は、(1) 季節変動に伴う背景場の違いにより積雲対流活動偏差の大きさが異なること、(2) インドネシア通過流（太平洋からインドネシア多島海を通過してインド洋へと流れる海流）を介したインド洋の影響が季節によって異なること、に依存することが示された。そして、上記の長期変動が、エルニーニョそのものの長期変動において重要な役割を果たしていることが明らかになった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	1,400,000	0	1,400,000
19 年度	1,000,000	0	1,000,000
20 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学

キーワード：気象・海洋物理・陸水学、気候変動、エルニーニョ現象

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、2004～2005 年度にかけて、インド洋熱帯域における 10 年スケール変動のメカニズムを明らかにする研究を行っていた。その際、熱力学的な視点から、ダイポールモード現象の長期変動のメカニズムを調べた結果、外的な要因：

・ 南インド洋の亜熱帯高気圧の変動に伴い、風系が変化することによって南向き熱輸送

量が変動

・ エルニーニョ / 南方振動に伴い、西太平洋の水位が変化することによって太平洋からインド洋へ熱を運ぶインドネシア通過流が変動

の長期変動が重要な役割を果たしていることを明らかにした。これらの外的な要因は、太平洋の重要な気候変動モードであるエルニーニョ / 南方振動の 10 年スケール変動と密接な関係があることが示唆されたため、

エルニーニョ現象の長期変動に関する研究を行うことにした。

2. 研究の目的

本研究では、大気と海洋の間の熱のやり取り（黒潮続流域を含む西岸境界流域などでの海洋から大気への熱の放出や太平洋の冷舌域での海洋への熱の吸収等）や海洋内部の熱輸送（熱帯域とその外側の熱のやりとり、インドネシア通過流による太平洋からインド洋への熱の輸送）が、どのように変動し、太平洋熱帯域の熱収支に影響を与えるのかを大気海洋結合モデルと海洋大循環モデルの結果を詳細に調べることにより、エルニーニョ/南方振動の長期変動のメカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

まず、大気大循環モデル ECHAM4.6 (Roeckner et al. 1996) と海洋大循環モデル OPA8.2 (Madec et al. 1998) を OASIS2.4 (Valcke et al. 2000) によって結合した大気海洋結合モデル SINTEX F1 モデル (Luo et al. 2003) の結果を解析した。解像度は、大気モデルが水平 T106、鉛直 19 層、海洋モデルが経度方向 2° 、緯度方向 $0.5^\circ - 2^\circ$ 鉛直 31 層である。地球シミュレーターを用いた 221 年間積分の最後の 200 年の結果を今回の解析に使用した。このモデル実験は赤道域の現象をかなり現実的に再現していることで国際的に脚光を浴びている。

さらに、インドネシア通過流に関する感度実験を海洋大循環モデル（米国の GFDL/NOAA で開発された Modular Ocean Model version 3.0 (MOM3.0)）で行った。このモデルは、南緯 65 度から北緯 65 度までの準全球モデルで、水平方向の解像度は、 0.4° から 2° である（インドネシア多島海及び南シナ海の $92^\circ - 140^\circ \text{E}$ 、 $16^\circ \text{S} - 30^\circ \text{N}$ で解像度を高くしている）。鉛直方向は 25 層である。感度実験は、南シナ海通過流が通過する海峡を開いた場合 (CTRL) と閉じた場合 (NOSCST) の 2 つのケースを行った。それぞれ NCEP/NCAR 再解析データの年平均風応力・熱フラックスデータで、11 年間スピンアップし、その後、月平均データで、10 年間駆動した。また、経年変動ランにおいては、それぞれの実験で、20 年間、NCEP/NCAR 再解析データの年平均風応力と大気データでスピンアップした後、NCEP/NCAR 再解析データの日平均データで 1978 年から 2006 年までの 29 年間積分した。

4. 研究成果

太平洋熱帯域 ($15^\circ \text{S} - 10^\circ \text{N}$) の上層 440m のボックスでの熱収支を計算し、エルニーニョがピークを迎える季節によって、エルニーニョを分類して、熱収支の偏差の合成図を作成した (図 1)。その結果、冬季 (12-2 月) にピークを迎えるエルニーニョの方が、夏季 (6-8 月) にピークを迎えるエルニーニョより、約 2 倍多くの熱を熱帯域から放出していることがわかった。

そこで、各成分の季節依存性を詳細に調べたところ、以下のことが明らかになった：

(1) 海面熱フラックス：冬季にピークを迎えるエルニーニョの方が、正の海面水温偏差が大きく、対流活動偏差（夏季にピークを迎えるエルニーニョより約 60% 大きい）も強い。そのため、負の短波放射偏差が大きくなる。潜熱、顕熱、長波放射偏差には、季節依存性は見られない。

(2) インドネシア通過流：エルニーニョの発生に伴い、西太平洋の水位が下がるため、インドネシア通過流によって太平洋熱帯域から運び出される熱量は減少する。しかし、インド洋熱帯域のダイポールモード現象が同時に発生すると（約 50% がエルニーニョと同時に発生）、東インド洋の水位が下がるため、その効果が相殺される。冬季にピークを迎えるエルニーニョの方が、その傾向が顕著に表れる。

(3) 北向き熱輸送 (10°N)：冬季にピークを迎えるエルニーニョの方が、北向きのエクマン熱輸送偏差が大きい。これは、冬季にピークを迎えるエルニーニョの方が、対流活動偏差が強く、 10°N により強い東風偏差が現れるためである。また、内部領域における北向きの地衡流熱輸送偏差も同様の傾向を示す。しかし、冬季にピークを迎えるエルニーニョの方が、西岸境界流の南向き熱輸送偏差も強い。そのため、 10°N での北向き熱輸送偏差に季節による違いはほとんど見られない。

(4) 南向き熱輸送 (15°S)：西岸境界流の偏差が小さいため、南向きのエクマン熱輸送偏差の大きい冬季にピークを迎えるエルニーニョの方が、熱輸送偏差が大きい。

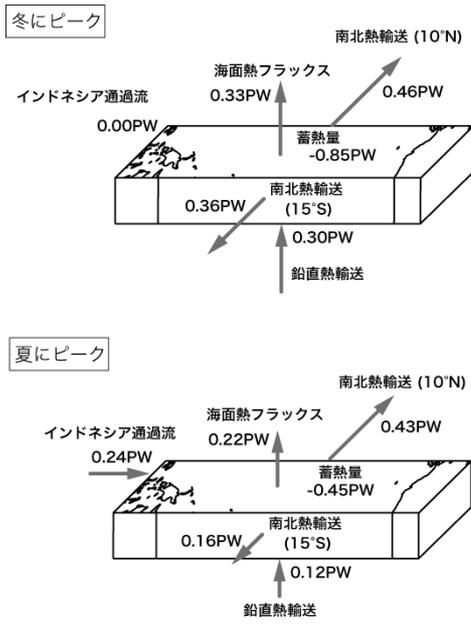


図1：冬（上）と夏（下）にピークを迎えるエルニーニョ発生時の熱収支の偏差。太平洋の熱収支に貢献する海面熱フラックス、10°Nと15°Sにおける南北熱輸送量、鉛直熱輸送、インドネシア通過流の偏差を示している。単位は、PW (1PW=10¹⁵W)。

以上より、エルニーニョの季節性は、季節変動に伴う背景場の違いにより対流活動偏差の大きさが異なることとインドネシア通過流を介したインド洋の影響が季節によって異なることによることが明らかになり、その長期変動が、エルニーニョそのものの多様性において重要な役割を果たしていることが示唆された。本研究の成果は、世界各地に異常気象をもたらすエルニーニョ現象の長期変動の理解を通して、気候変動の予測可能性の向上に貢献するものである。また、インドネシア通過流の影響については、これまで国内外で議論されていなかった成果である。

そこで、インドネシア通過流に関する感度実験を海洋大循環モデル(MOM3.0)で行った。インドネシア通過流の主要な経路であるマッカーサー海峡における南北流速の鉛直プロファイルと比較したところ、CTRLでは、観測と同様、亜表層（深さ約110m付近）に極大が現れたのに対し、NOSCSTでは、表層に極大が現れた。その結果、マッカーサー海峡を通過するインドネシア通過流による熱輸送量は、CTRLで0.38PW、NOSCSTで0.56PWになった。また、これらの違いは、南シナ海通過流が季節的に強化される冬に顕著に現れることもわかった。以上より、南シナ海通過流の存在によって、インドネシア通過流の熱輸送量が0.18PWも変化し、太平洋熱帯域の熱収支に大きな影響を与えていることが明らかになった。

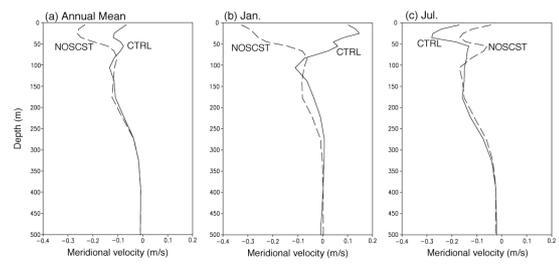


図2：(a)年平均、(b)1月、(c)7月のマッカーサー海峡における南北流速プロファイル。負が、南向きの流れを表す。実線がCTRLで再現された流速プロファイル、破線がNOSCSTで再現された流速プロファイル。

次に、エルニーニョがこのような熱輸送に与える影響、及びエルニーニョへのフィードバックを海洋大循環モデル(MOM3.0)により調べた。その結果、南シナ海通過流の存在によって、インドネシア通過流の熱輸送量が、エルニーニョ時に0.05PWも減少することが明らかになった。これにより、エルニーニョ時の太平洋熱帯域からの暖水の放出が遅れるため、南シナ海通過流は、太平洋の熱収支への影響を通して、エルニーニョの周期や振幅にも影響を与えている可能性が示唆された。

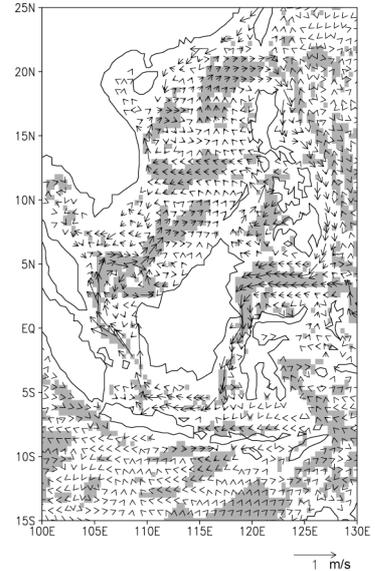


図3：南シナ海・インドネシア多島海における上層50mのCTRLとNOSCSTで再現された流速偏差の差のエルニーニョ年の合成図。t検定で90%の有意水準を満たす海域に影が付けてある。

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5件)

Tozuka, T., T. Qu, Y. Masumoto, and T. Yamagata: Impacts of the South China Sea throughflow on seasonal and interannual variations of the Indonesian Throughflow, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47, 73-85, 2009, 査読有.

Tozuka, T., J.-J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata: Tropical Indian Ocean variability revealed by self-organizing maps, *Climate Dynamics*, 31, 333-343, 2008, 査読有.

Tozuka, T., J. J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata: Seasonally stratified analysis of simulated ENSO events, *Journal of Climate*, 20, 4615-4627, 2007, 査読有.

Tozuka, T., J. J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata: Decadal modulations of the Indian Ocean Dipole in the SINTEX-F1 coupled GCM, *Journal of Climate*, 20, 2881-2894, 2007, 査読有.

Tozuka, T., T. Qu, and T. Yamagata: Dramatic impact of the South China Sea on the Indonesian Throughflow, *Geophysical Research Letters*, 34, L12612, doi:10.1029/2007GL030420, 2007, 査読有.

〔学会発表〕(計11件)

東塚知己, T. Qu, 山形俊男: 南シナ海通過流がインドネシア通過流の経年変動に与える影響, 2008年度日本海洋学会秋季大会, 2008年9月25日, 広島国際大学.

Tozuka, T., J.-J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata: Tropical Indian Ocean climate variability revealed by self-organizing maps, *Western Pacific Geophysics Meeting*, Jul. 30, 2008, Cairns Convention Centre, Queensland, Australia.

Tozuka, T., T. Qu, and T. Yamagata: Influences of the South China Sea Throughflow on Seasonal and Interannual Variations of the Indonesian Throughflow, *Western Pacific Geophysics Meeting*, Jul. 29, 2008, Cairns Convention Centre, Queensland, Australia.

Tozuka, T., T. Qu, and T. Yamagata: Impacts of the South China Sea Throughflow on Seasonal and Interannual Variations of the Indonesian Throughflow, *INSTANT Workshop*, May, 29, 2008,

Lamont-Doherty Earth Observatory, N.Y., USA.

東塚知己, 羅京佳, S. Masson, 山形俊男: 自己組織化マップによるインド洋熱帯域の気候変動に関する研究. 2008年度日本海洋学会春季大会, 2008年3月29日, 東京海洋大学.

Tozuka, T., T. Qu, and T. Yamagata: Impact of the South China Sea on the Indonesian Throughflow, *Ocean Sciences Meeting*, Mar. 5, 2008, Orange County Convention Center, Florida, USA (<http://www.sgmeet.com/aslo/orlando2008/viewabstract2.asp?AbstractID=925>).

Tozuka, T., T. Qu, and T. Yamagata: Impact of the South China Sea on the Indonesian Throughflow, *JSPS-DFG 第1回ラウンドテーブル「気候変動」*, 2008年1月16日, マックス・プランク研究所, ドイツ・ハンブルク.

Tozuka, T., J.-J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata: Tropical Indian Ocean variability revealed by self-organizing maps, *International Symposium: "Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System"*, Dec. 3, 2007, The University of Tokyo.

東塚知己, T. Qu, 山形俊男: 南シナ海通過流がインドネシア通過流に与える影響, 2007年度日本海洋学会秋季大会, 2007年9月26日, 琉球大学.

東塚知己, 羅京佳, S. Masson, 山形俊男: エルニーニョ/南方振動の熱力学的研究: 季節依存性, 2006年度日本海洋学会秋季大会, 2006年9月26日, 名古屋大学.

Tozuka, T., J. J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata: Ocean thermodynamics of the simulated ENSO: A seasonally stratified analysis, *ENSO Workshop*, Sep. 12, 2006, Seoul National University, Republic of Korea.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:

出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等：なし

6. 研究組織

(1)研究代表者
東塚知己 (TOZUKA TOMOKI)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：40376538

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：