

機関番号：12601

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20340125

研究課題名 (和文) 熱帯の気候変動モードの長期変動と海の温暖化現象に関する研究

研究課題名 (英文) Long-term modulations of tropical climate modes and ocean warming

研究代表者

山形 俊男 (YAMAGATA TOSHIO)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：50091400

研究成果の概要 (和文)：観測データ、モデル結果、サンゴ年輪解析の結果より、西インド洋の温暖化によって10年周期だったダイポールモード現象が2年前後に短周期化し、エルニーニョ/南方振動現象に代わってインド洋の気候を支配していることがわかった。また、大西洋南北ダイポールと亜熱帯ダイポールについては、新しいメカニズムを提唱することに成功した。さらに、インド洋熱帯域のセーシェルドームとその直上の海面水温の変動メカニズムを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：Using observational data, model outputs and proxy data, we have shown that the dominant period of the Indian Ocean Dipole (IOD) became shorter from 10 years to 2 years. As a result, the IOD has stronger control over the Indian Ocean compared with El Niño/Southern Oscillation in the recent decades. Also, we have proposed new mechanisms for the Atlantic meridional mode and subtropical dipole modes, and clarified the mechanism of variations in the Seychelles Dome in the tropical Indian Ocean and its influence on the overlying sea surface temperature.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2009年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

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：大気海洋相互作用

1. 研究開始当初の背景

申請者らによるインド洋熱帯域における気候変動モードであるダイポールモード現象の発見以来 (Saji et al. 1999)、このユニークな経年変動に関する研究が数多く行われてきた (Yamagata et al. 2004)。この現象の長期変動は、エルニーニョ現象とインドの夏季モンスーンの関係にも影響を与えるため (Ashok et al. 2001)、国際的な注目を

集めている。しかし、観測データに限られていることもあり、太平洋のエルニーニョ現象に比べると、その長期変動に関する研究は、ほとんど行われていないと言ってよい状況にあった。そこで、申請者らは、主に高解像度大気海洋結合モデルの200年積分の結果の解析を行い、ダイポールモード現象の長期変動を引き起こす要因を明らかにした (Tozuka et al. 2007)。しかし、上記の研

究で使用した大気海洋結合モデルの計算は、温暖化気体、太陽定数、火山噴火によるエアロゾルを一定としており、気候が変化する中でのダイポールモード現象の長期変調については考慮することが出来ない。

直接観測データは、最長でも過去約 100 年のものしか存在しないため、珊瑚年輪データ等より、過去の気候変動を復元する試みが行われている。まず、Kayanne et al. (2006) は、ダイポールモード現象の西側の極に対応するケニア沖で得られた珊瑚礁のコアデータより、過去のダイポールモード現象を復元することが、可能かどうかを研究し、直接観測データと比較して可能性を検証した。しかし、限られたデータのみからでは、そのメカニズムを理解するのは困難である。そこで、現実を可能な限りよく再現できる大気海洋結合モデルの使用が有効になる。しかし、これまでの大気海洋結合モデルを用いた研究 (Zorita et al. 2004 等) は、全球平均気温の変動や中高緯度の気候に大きな影響を与える北極振動/北大西洋振動にのみ注目し、熱帯域の気候変動モードの長期変動には、ほとんど着目していない。唯一、Mölg et al. (2006) が、大気海洋結合モデルによる過去 200 年間の再現実験により、1820-80 年にかけて、東アフリカが現在よりも湿潤な気候であったのは、正のダイポールモード現象が頻発していたためであることを示唆した。しかし、この研究で用いられた大気海洋結合モデルは、エルニーニョの周期の再現性等に問題があり、ダイポールモード現象の発生頻度が変わったメカニズムについても触れられていない。

2. 研究の目的

本研究では、現実的な大気海洋結合大循環モデルによるシミュレーション、観測データ及び再解析データの解析、プロキシデータとモデルデータの比較を通して、インド洋熱帯域の気候変動モードであるダイポールモード現象の長期変調の理解を進め、地球温暖化と気候変動モードの長期変調との関係の解明に肉薄したいと考えている。また、エルニーニョ/南方振動、亜熱帯ダイポール、アトランティック・ニーニョ、大西洋南北ダイポール等、他の熱帯域の気候変動モードとの関係の変化も明らかにしたいと考えている。さらに、大規模湧昇ドーム現象であるセーシェルドーム等、海洋現象そのものの変動も明らかにする。

3. 研究の方法

(1) インド洋熱帯域の気候変動モードであるダイポールモード現象の長期変調を調べるため、過去約 300 年間の温室効果ガス、太陽定数、植生等を用いて、大気海洋結合モ

デルによる再現実験を行う。また、ダイポールモード現象の過去 115 年間の発生頻度と規模をケニアのサンゴ年輪解析から復元する。

(2) 積雪データ、降水データ、再解析データ等を用いて、ダイポールモード現象のテレコネクション (遠隔地への影響) の様子を調べる。また、メカニズムを検証するために大気大循環モデルを用いた感度実験を行う。

(3) 海洋大循環モデル (MOM3) に基づき、東経 15 度から西経 70 度、南緯 52 度から北緯 30 度までの太平洋・インド洋海盆モデルを構築する。水平解像度は 0.5° で、鉛直方向は 25 層とする。NCEP/NCAR 再解析データの月平均気候値データで、20 年間スピニアップした後、日平均データで、1978 年から 2007 年まで積分する。このモデル結果を解析することにより、セーシェルドームとその直上の海面水温の変動メカニズムを明らかにする。また、CMIP3 に登録されている 22 個の大気海洋結合モデルによるセーシェルドームの再現性を調べる。

(4) 上記と同じであるが、領域を全球に広げた海洋大循環モデルの結果を解析することにより、南インド洋と南大西洋の亜熱帯ダイポールモード現象の発生・減衰メカニズムを明らかにする。

(5) 高解像度海洋大循環モデル (OFES) と大気海洋結合モデル (UTCM) の結果を解析することにより、大西洋熱帯域の気候変動現象である南北モードのメカニズムを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 観測データ、モデル結果、サンゴ年輪解析の結果より、西インド洋の温暖化によって 10 年周期だったダイポールモード現象が 2 年前後に短周期化し、エルニーニョ/南方振動現象に代わってインド洋の気候を支配していることが示された。

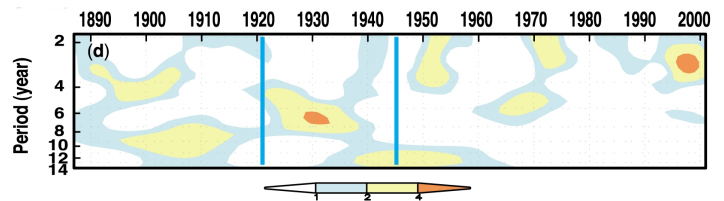


図 1 : ダイポールモード指数に対するウェーブレット解析の結果 (Nakamura et al. 2009)

(2) ダイポールモード現象のテレコネクションにより、チベット高原では、低気圧性偏差が形成されて、水蒸気フラックスの収束が起こるため、正のイベントの年に積雪面積が異常に拡大することが明らかになった。上記を大気大循環モデルの感度実験より検証することに成功した。また、イラン南部では、秋 (雨季の前半) の降水量が正のダイポール

モード現象発生時に増大することが観測データの解析により明らかとなった。

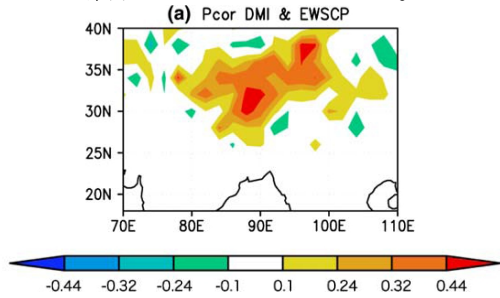


図2：エルニーニョの影響を除去したダイポールモード指数と初冬の積雪偏差の偏相関係数 (Yuan et al. 2009)

(3) 海洋大循環モデルの結果を解析することにより、セーシェルドーム（南西インド洋熱帯域の大規模湧昇ドーム現象）の経年変動は、先行研究で指摘された西方伝播してくるロスビー波だけでなく、局所的なエクマン湧昇の変動によることが明らかになった。また、セーシェルドーム直上の海面水温の変動メカニズムを調べたところ、季節変動は、主に海面熱フラックスと水平移流によることがわかり、経年変動は、鉛直拡散偏差（ドームが弱い時は温度躍層が深くなり、混合層直下の水温が暖かくなるので、冷却効果が弱まる）と水平移流偏差（東風偏差による南向きのエクマン熱輸送偏差）によることが明らかになった。また、CMIP3 に登録されている22個の気候海洋結合モデルによるセーシェルドームの再現性を調べたところ、ドームそのものは再現されているものの、観測データに見られる半年周期性が、多くのモデルで再現できていなかった。その原因は、インドモンスーンの非対称性（夏季モンスーンの方が冬季モンスーンに比べ、強く、期間が短い）が再現できていないためであることもわかった。

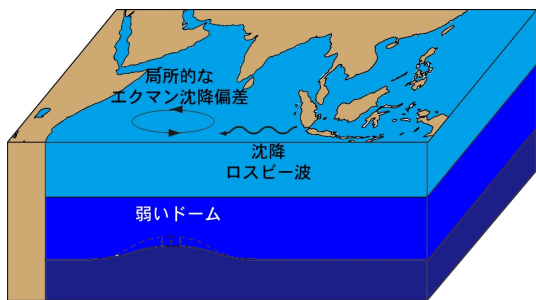


図3：セーシェルドームの経年変動メカニズムを示した模式図

(4) 観測データと海洋大循環モデルの結果の解析により、南インド洋の亜熱帯ダイポールモード現象の新しい発生メカニズムを提唱することに成功した。具体的には、まず、マスカリン高気圧の変動により、南インド洋西部（東部）に正（負）の偏差が現れる。す

ると、南インド洋西部（東部）の混合層が異常に薄く（厚く）なり、短波放射の気候値により混合層が暖まりやすく（暖まりにくく）なる。その結果、南インド洋西部（東部）に正（負）の海面水温偏差が成長し、正の亜熱帯ダイポールモード現象が発達する。さらに、亜熱帯ダイポールモード現象の減衰は、正（負）極では、負（正）の潜熱偏差と混合層と混合層直下の温度差が増大（減少）することに起因するエントレインメント偏差によることが示された。また、観測データの解析により、亜熱帯ダイポールモード現象は、1990年代半ば以降、2年周期の変動が卓越することが明らかとなった。この現象の発生に重要な亜熱帯高気圧の強さに大気テレコネクションによって影響を与えるインド洋熱帯域のダイポールモード現象も近年、周期が2年前後に短周期化しており、熱帯域からの影響が示唆される。熱帯域の気候変動現象だけではなく、南極周極波動や南極振動等の高緯度の気候変動現象も亜熱帯ダイポールモード現象の発生に重要な役割を果たしてことも大気海洋結合モデルの実験より明らかとなった。

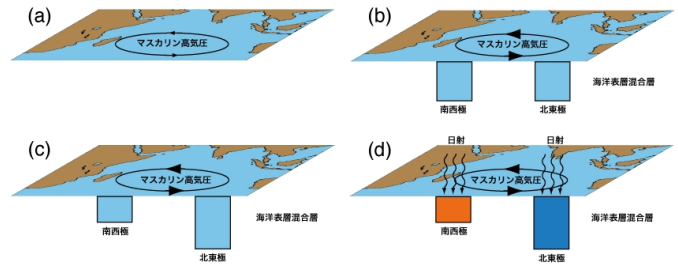


図4：亜熱帯ダイポールモード現象のメカニズムを示した模式図

(5) 大西洋熱帯域の気候変動モードである南北モードとギニアドームの関係を高解像度海洋大循環モデルと大気海洋結合モデルの結果の解析により調べた。その結果、ギニアドームが南北モードの減衰に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

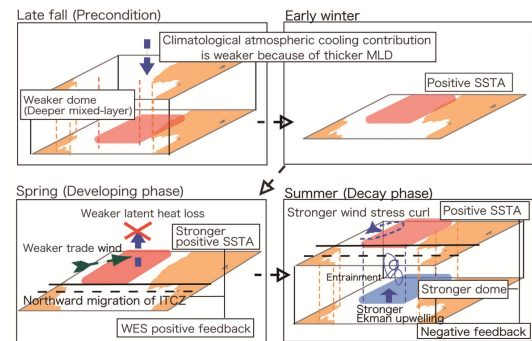


図5：南北モードとギニアドームの関係を示した模式図

(Doi et al. 2010)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 61 件)

- 1) Yuan, C., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2012: IOD influence on the early winter Tibetan Plateau snow cover: Diagnostic analyses and an AGCM simulation. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-011-1204-0.
- 2) Yokoi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2012: Seasonal and Interannual Variations of the SST above the Seychelles Dome. *J. Climate*, 25, 800-814. DOI: 10.1175/JCLI-D-10-05001.1
- 3) Morioka, Y., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2011: On the growth and decay of the subtropical dipole mode in the South Atlantic. *J. Climate*, 24, 5538-5554. DOI: 10.1175/2011JCL14010.1
- 4) Tozuka, T., T. Doi, T. Miyasaka, N. Keenlyside, and T. Yamagata, 2011: Key factors in simulating the equatorial Atlantic zonal sea surface temperature gradient in a coupled general circulation model. *J. Geophys. Res.*, 116, C06010, doi: 10.1029/2010JC006717.
- 5) Morioka, Y., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2010: Climate variability in the southern Indian Ocean as revealed by self-organizing maps. *Clim. Dyn.*, 35, 1059-1072. DOI 10.1007/s00382-010-0843-x
- 6) Doi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2010: Equivalent forcing depth in tropical oceans. *Dyn. Atmos. Oceans*, 50, 415-423. doi:10.1016/j.dynatmoce.2010.03.001
- 7) Tozuka, T., T. Yokoi, and T. Yamagata, 2010: A Modeling study of interannual variations of the Seychelles Dome. *J. Geophys. Res.*, 115, C04005, doi: 10.1029/2009JC005547.
- 8) Izumo, T., J. Vialard, M. Lengaigne, C. de Boyer Montegut, S. K. Behera, J.-J. Luo, S. Cravatte, S. Masson, and T. Yamagata, 2010: Influence of the state of the Indian Ocean Dipole on following year's El Nino. *Nature Geosci.*, 3, 168-172. doi:10.1038/ngeo760
- 9) Doi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2010 : The Atlantic Meridional Mode and its coupled variability with the Guinea Dome. *J. Climate*, 23, 455-475. DOI: 101175/2009JCL13198.1
- 10) Nakamura, N., H. Kayanne, H. Iijima, T. R. McClanahan, S. K. Behera, and T. Yamagata, 2009 : Mode shift in the Indian Ocean climate under global warming stress. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L23708, doi:10.1029/2009GL040590.
- 11) Doi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2009: Interannual variability of the Guinea Dome and its possible link with the Atlantic Meridional Mode. *Clim. Dyn.*, 33, 985-998. DOI 10.1007/s00382-009-0574-z
- 12) Tozuka, T., T. Qu, Y. Masumoto, and T. Yamagata, 2009: Impacts of the South China Sea Throughflow on seasonal and interannual variations of Indonesian Throughflow. *Dyn. Atmos. Oceans*, 47, 73-85. doi:10.1016/j.dynatmoce.2008.09.001
- 13) Yokoi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2009: Seasonal variations of the Seychelles Dome simulated in the CMIP3 models. *J. Phys. Oceanogr.*, 39, 449-457. DOI: 10.1175/2008JPO3914.1
- 14) Ogata, T., H. Sasaki, V. S. N. Murty, M. S. S. Sarma, and Y. Masumoto, 2008: Intraseasonal meridional current variability in the eastern equatorial

Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 113, C07037, doi:10.1029/2007JC004331.

15) Yokoi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2008: Seasonal variation of the Seychelles Dome. *J. Climate*, 21, 3740–3754. DOI: 10.1175/2008JCLI1957.1

16) Iskandar, I., T. Tozuka, Y. Masumoto, and T. Yamagata, 2008: Impact of Indian Ocean Dipole on intraseasonal zonal currents at 90° E on the equator as revealed by self-organizing map. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14S03, doi:10.1029/2008GL033468.

[学会発表] (計 97 件)

1) Kataoka, T., T. Tozuka, Y. Masumoto, and T. Yamagata, Indian Ocean Subtropical Dipole Modes in the CMIP3

Twentieth-Century Climate Simulations, 2011 AGU Fall Meeting (San Francisco, USA, 2011.12.6)

2) Tozuka, T., T. Doi, T. Miyasaka, N. Keenlyside, and T. Yamagata, Key factors in simulating the equatorial Atlantic zonal SST gradient in a CGCM, WCRP Open Science Conference (Denver, USA, 2011.10.6)

3) Yamagata, T., S. Behera, and T. Tozuka, El Niño Modoki and Indian Ocean Dipole, IUGG2011 (Melbourne, Australia, 2011.7.4)

4) Morioka, Y., T. Tozuka, S. Masson, P. Terray, J. J. Luo, and T. Yamagata, Generation mechanism of the subtropical dipole modes simulated in a coupled general circulation model, IUGG, (Melbourne, Australia, 2011.7.2)

5) Morioka, Y., T. Tozuka, and T. Yamagata, On the growth of the subtropical dipole

mode in the South Atlantic, JpGU Meeting 2011 (Makuhari Messe, 2011.5.26)

6) Pourasghar, F., T. Tozuka, S. Jahanbakhsh, B. Sarisarraf, H. Ghaemi, and T. Yamagata, Influence of the Indian Ocean Dipole on the interannual variability of precipitation over the southern part of Iran, JpGU Meeting 2011 (Makuhari Messe, 2011.5.26)

7) 森岡優志、東塚知己、山形俊男, 大気海洋結合モデルで再現された亜熱帯ダイポールモードの形成機構、2011年度日本海洋学会春季大会 (東京大学柏キャンパス、2011.3.23)

8) 東塚知己, T. Qu, 山形俊男, 大気海洋結合モデルを用いた南シナ海通過流に関する研究、2010年度日本海洋学会秋季大会 (東京農業大学オホーツクキャンパス、2010.9.7)

9) 横井孝暁、東塚知己、山形俊男, Seasonal and interannual variations of the SST above the Seychelles Dome、2010年度日本海洋学会秋季大会 (東京農業大学、2010.9.7)

10) 森岡優志、東塚知己、山形俊男、南大西洋亜熱帯ダイポールモードの減衰機構、2010年度日本海洋学会秋季大会 (東京農業大学、2010.9.7)

11) 片岡崇人、東塚知己、升本順夫、山形俊男、CMIP3モデルで再現された南インド洋亜熱帯ダイポールモード現象、2010年度日本海洋学会秋季大会 (東京農業大学、2010.9.7)

12) 東塚知己、土井威志、宮坂貴文、山形俊男、大気海洋結合モデルによる大西洋赤道域の海面水温の再現性、2010年度日本海洋学会春季大会 (東京海洋大学、2010.3.27)

13) 森岡優志、東塚知己、山形俊男、南大西洋亜熱帯ダイポールモードの形成機構、2010年度日本海洋学会春季大会 (東京海洋大学、2010.3.27)

- 14) Tozuka, T., T. Yokoi, and T. Yamagata, Simulated interannual variations of the Seychelles Dome, 2010 Ocean Sciences Meeting (Portland, 2010. 2. 24)
- 15) Morioka, Y., T. Tozuka, and T. Yamagata, Climate Variability in the Southern Indian Ocean as Revealed by Self-Organizing Maps, 2009 AGU Fall Meeting (San Francisco, US, 2009. 12. 15)
- 16) Yuan, C., T. Tozuka, and T. Yamagata, An AGCM Study on the Teleconnection of IOD to the Tibetan Plateau in Early Winter, 2009 年度日本気象学会秋季大会 (アクロス福岡, 2009. 11. 25)
- 17) 森岡優志、東塚知己、山形俊男、南インド洋亜熱帯ダイポールモードに伴う混合層水温偏差の形成機構、2009 年度日本海洋学会秋季大会 (京都大学、2009. 9. 26)
- 18) Yamagata, T., Past, Present and Bright Future of Operational Oceanography, MOCA-09 IAMAS-IAPSO-IACS 2009 Joint Assembly (Montreal, Canada, 2009. 7. 21)
- 19) 東塚知己、横井孝暁、山形俊男、セーシェルドームの経年変動、2009 年度日本海洋学会春季大会 (東京大学、2009. 4. 6)
- 20) 森岡優志、東塚知己、山形俊男、南インド洋の亜熱帯ダイポールモード現象がアフリカ南部の降水量に及ぼす影響、2009 年度日本海洋学会春季大会 (東京大学、2009. 4. 6)
- 21) 袁潮霞、東塚知己、宮坂貴文、山形俊男, Influences of IOD and ENSO on the Tibetan Snow Cover in Early Winter, 日本気象学会 2008 年度秋季大会 (仙台, 2008. 11. 20)
- 22) 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、日本海洋学会秋季大会 (広島国際大学、2008. 9. 25)

- 23) Yamagata, T., Indian Ocean Dipole and its possible link with climate modes in the Pacific, 22nd International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (Adelaide, Australia, 2008. 8. 28)
- 24) Tozuka, T., J.-J. Luo, S. Masson, and T. Yamagata, Tropical Indian Ocean climate variability revealed by self-organizing maps (Cairns, Australia, 2008. 7. 30)
- 25) Yuan, C., T. Tozuka, T. Miyasaka and T. Yamagata, Respective Influences of IOD and ENSO on the Tibetan Snow Cover in Early Winter, 2008 Western Pacific Geophysics Meeting (Cairns, Australia, 2008. 7. 30)
- 26) Yokoi T., T. Tozuka, and T. Yamagata, Seasonal variation of the Seychelles Dome, Western Pacific Geophysics Meeting (Cairns, Australia, 2008. 7. 30)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山形 俊男 (YAMAGATA TOSHIO)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：50091400

(2) 研究分担者

東塚 知己 (TOZUKA TOMOKI)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：40376538

升本 順夫 (MASUMOTO YUKIO)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：60222436

(3) 連携研究者

茅根 創 (KAYANE HAJIME)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：60192548