

エルニーニョモドキ

2004年はエルニーニョとおぼしき現象が熱帯太平洋に発生していたため、テレコネクションの研究結果に基づき不順な夏が予想されていた。しかし、わが国周辺は前年の冷夏とは逆に猛暑になり、1994年の猛暑記録のいくつかが破られることになった。記憶に新しいところでは2009/10年の冬にはエルニーニョとおぼしき現象が熱帯太平洋にあり、暖冬が予想されていたが、厳冬となり朝鮮半島や米国東海岸では記録破りの積雪を記録した。東京でも4月17日に最晩降雪を記録している。気候変動による季節の異常が社会活動や産業活動に与える影響は甚大である。1860年3月24日、春の雪が降りしきる日に井伊大老は桜田門外で暗殺されたが、この時、熱帯太平洋にはエルニーニョとおぼしき現象が発生していたようである。このような季節の異常、特にこれまでの知見を覆すような2004年の猛暑の謎を解く試みが本稿の「エルニーニョモドキ」現象を同定する直接的な契機となった。

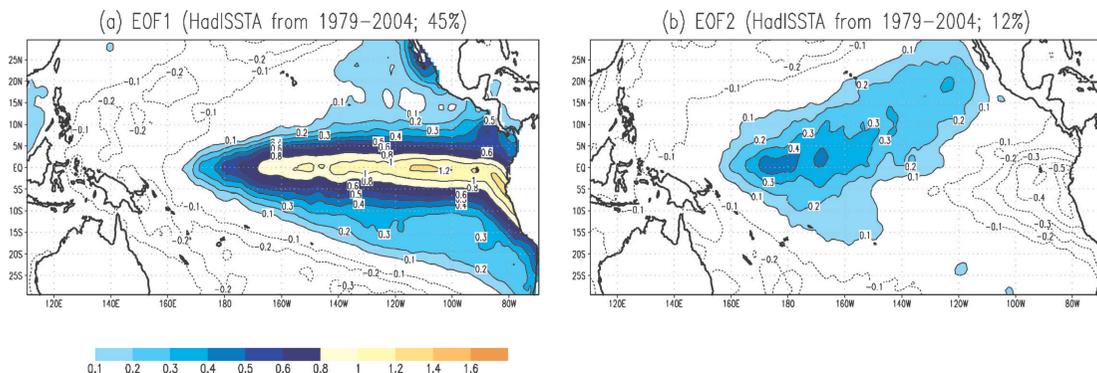
前出の1994年はオーストラリア気象気候研究センター (CAWCR) などによればエルニーニョ現象の発生年である。しかし、わが国は猛暑に見舞われた。この謎解きの過程で1999年に私たちはインド洋のダイポールモード現象を発見することができた (Saji *et al.* 1999)。10年余に及ぶ研究の蓄積により、ダイポールモード現象はエルニーニョ現象と並ぶ主要な気候変動モードとして国際的に認知されるに至った。興味深いことに、わが国の気象庁は1994年をエルニーニョ現象の発生年とはしていない。それは東太平洋のエルニーニョ監視海域の水温はそれほど異常を示していなかったためである。それゆえに私たちはインド洋独自の大気海洋相互作用現象として1994年のダイポールモード現象を詳しく取り上げたのであった (Yamagata *et al.* 2004)。熱帯太平洋の気候変動モードに関する、この国際的な不一致はダイポールモード現象の発見時から大変興味深い問題として残ってい

た。この謎解きも「エルニーニョモドキ」現象の同定に底流で導いてくれたのである。気候科学では一見して矛盾するような事象にこそ、より深い理解への糸口が隠されているようだ。

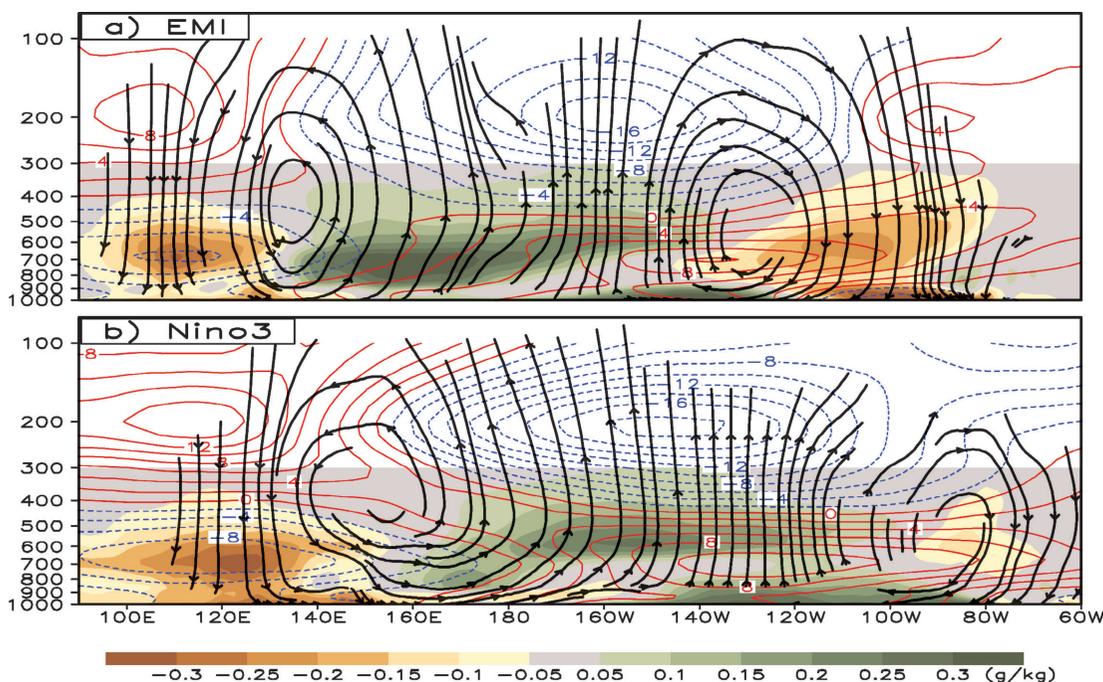
この100年の間に地球気候システムが示した地上気温の平均上昇率は10年あたりで0.07度ほどである。注目すべきことは1976年以降、この上昇率が2倍に増大していることである。これが地球温暖化の警鐘につながった。1976年は気候のレジームシフトが起きた年としてよく知られており、この年を境に熱帯太平洋は全体としてエルニーニョ的になり、ラニーニャ現象の発生年は減り、また大型のエルニーニョ現象が頻発するようになった。インド洋ではダイポールモード現象が頻発するようになった。対流圏下層の気温上昇はこうしたエルニーニョ現象やダイポールモード現象による大気への熱放出によってもある程度説明することができる。

一方で海洋は対流圏下層の昇温に伴う熱のはけ口として最も重要なものである。それゆえに海洋の存在が大気の気温上昇を和らげていると考えることもできる (Manabe and Stouffer 2007)。実際、インド洋の海面水温はこの半世紀ほどで約0.6度上昇した。これは太平洋で頻発するエルニーニョ現象などがインド洋に下降気流をもたらし、好天による日射加熱が強まったためである。皮肉なことに表層水温の上昇は海洋の安定成層を強化し、表層下の海水と混合しにくくするため、表層水温はますます上昇することになる。海面水温が28度を超えると蒸発が活発化し、積乱雲が立ちやすい。これに吹き込む海上風により亜表層の冷たい海水が海面に露出すると、直上の大気は冷却されて気圧は高まるので、海上風は更に強まって、ついには大規模な大気海洋相互作用が引き起こされる。インド洋でダイポールモードが起きやすくなっているのはこのためである。

一方、熱帯太平洋はレジームシフト後、貿易風は弱まり、温度躍層の東西の傾斜は緩やかになっている。



第1図 太平洋熱帯域の海面水温の経験直交関数。左図が第一モードでエルニーニョ現象/ラニーニャ現象を捉えている。右図が第二モードでエルニーニョモドキ現象/ラニーニャモドキ現象に対応している。詳細は Ashok *et al.* (2007) を参照のこと。



第2図 エルニーニョモドキ現象（上図）とエルニーニョ現象（下図）に対応する対流圏の東西循環偏差（北緯10度から南緯10度の間で平均したもの）。影部分はそれぞれの時系列に回帰した比湿を示す（上昇域は正值，下降域は負値）。等値線は時系列に回帰した速度ポテンシャルを示す。詳細は Weng *et al.* (2007) を参照のこと。

最近のエルニーニョとおぼしき現象は、第1図に示したように熱帯太平洋の中央部（日付変更線付近）の海面水温と水位の上昇を伴い、東太平洋やペルー沖では海面水温も水位も低くなる。これと整合的にウォーカー循環のアノマリーは第2図のようになり、海上風

は太平洋中央部の上昇域に吹き込む形をとるのでエルニーニョ現象に伴う大気循環とは大きく異なっている。そこで、著者はこの気候変動モードを「エルニーニョモドキ現象」と名づけた。熱帯域太平洋の島嶼における水位上昇は直接的にはこのエルニーニョモドキ

に伴うものである (Behera and Yamagata 2010).

大気循環による世界各地へのテレコネクションは熱帯の上昇域がエルニーニョ現象に伴うものよりも西方にあるためにかなり異なり, 冬季には極東や米国東岸では寒気が吹き込みやすくなる. 夏季の世界各地への影響はむしろラニーニャ現象によるものに近い. 海洋のルートによるテレコネクションとして典型的なものは沿岸ケルビン波によるものであるが, 東太平洋の水温は低く保たれるため, 米国西海岸などではエルニーニョ現象時のように大気が不安定になることはなく, 乾燥気味である.

エルニーニョモドキ現象の研究は緒についたばかりであり, たくさんの仕事が残されている (Ashok and Yamagata 2009). それらを列挙すれば, 1) より詳しく世界各地の気象への影響を評価すること (例えば Weng *et al.* 2009), 2) インド洋のダイポールモード現象との関係を明らかにすること (例えば Tozuka *et al.* 2008), 3) 地球温暖化との関係を解明すること, 4) 海面水温のパターンは中緯度にまるでプーメランのように尾を引いていることから, これと中緯度の長期気候変動との関係を解明すること, 5) 大気海洋結合モデルを用いて予測可能性を調べること等である. 季節予測とその社会展開に向けてアジア発の研究の更なる展開を期待している.

参 考 文 献

- Ashok, K. and T. Yamagata, 2009 : Climate change : The El Niño with a difference. *Nature*, **461**, 481-484.
- Ashok, K., S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng and T. Yamagata, 2007 : El Niño Modoki and its possible teleconnection. *J. Geophys. Res.*, **112**, C11007, doi : 10.1029/2006 JC003798.
- Behera, S. and T. Yamagata, 2010 : Imprint of the El Niño Modoki on decadal sea level changes. *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L23702, doi : 10.1029/2010 GL045936.
- Manabe, S. and R. J. Stouffer, 2007 : Role of ocean in global warming. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85 B**, 385-403.
- Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran and T. Yamagata, 1999 : A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, **401**, 360-363.
- Tozuka, T., J.-J. Luo, S. Masson and T. Yamagata, 2008 : Tropical Indian Ocean variability revealed by self-organizing maps. *Clim. Dyn.*, **31**, 333-343.
- Weng, H., K. Ashok, S. K. Behera, S. A. Rao and T. Yamagata, 2007 : Impacts of recent El Niño Modoki on dry/wet conditions in the Pacific rim during boreal summer. *Clim. Dyn.*, **29**, 113-129.
- Weng, H., S. K. Behera and T. Yamagata, 2009 : Anomalous winter climate conditions in the Pacific rim during recent El Niño Modoki and El Niño events. *Clim. Dyn.*, **32**, 663-674.
- Yamagata, T., S. K. Behera, J.-J. Luo, S. Masson, M. R. Jury, and S. A. Rao, 2004 : Coupled ocean-atmosphere variability in the tropical Indian Ocean. in *Earth's Climate : The Ocean-Atmosphere Interaction*, *Geophys. Monogr. Ser.*, 147, ed. by C. Wang, S.-P. Xie and J. A. Carton, Amer. Geophys. Union, 189-212.

(東京大学大学院理学系研究科 山形俊男)