

# 夏季におけるインド洋の対流活動と大規模循環場との関係についての予備調査

原田やよい（気象庁気候情報課）

## 1. はじめに

2008年夏のインド洋西部の対流活動は6月後半から8月中頃にかけて非常に活発となり（図1）、 $10^{\circ}\text{S}$ -EQ,  $50$ - $75^{\circ}\text{E}$ で領域平均したOLR年平均偏差は1979年以来最も低い値となった（図2）。

本研究の目的は、インド洋の対流活動が、夏のアジアモンスーン、チベット高気圧、全球規模の大気大循環場や熱帯の海洋変動とそもそものような関係にあるのか、明らかにすることである。まず手始めに、インド洋西部で対流活動が活発となった時の前後のアジアモンスーン域における循環場や熱帯域を中心とした海面水温の変動について調査を行なった。

## 2. データと解析手法

調査に使用した大気データは、JRA-25 (Onogi et al., 2007) とJCDASの6時間値、海面水温はCOBE-SST (気象庁 2006)、対流活動の指標として、米国大気海洋庁提供の外向き長波放射量 (以下 OLR) を用いた。JRA-25、JCDAS、OLRについては7日移動平均を施し、短周期変動を取り除いた。

まず初めに対流活動の指標として7日移動平均値のOLRを $5^{\circ}\text{S}$ ~赤道,  $50$ ~ $75^{\circ}\text{E}$ の領域で平均し、規格化したもの (以下、WIOLR) を、インド洋西部の対流活動の指数とした。この指数とJRA-25/JCDASやCOBE-SSTとの時間ラグ回帰係数を、基準となる日付の20日前から30日後まで計算した。基準日は、5月末から7月初めまで、およそ5日毎に設定し、基準日毎に計算を行った。これにより、アジアモンスーンの各時期の循環場と、インド洋西部における対流活動との関係の変化を把握することが出来る。なお、統計的な有意性の検定については、信頼度95パーセントを判断基準とした。

## 3. 調査結果

全体的な特徴として、6月前半と、それ以降とで、WIOLR ピーク前後の大気循環場や海面水温の特徴に大きな違いが見られた。ここでは6月前半を代表して6月1日を基準日として計算した結果を図3に、それ以降の例として7月1日を基準日として計算した結果を図4にそれぞれ示す。

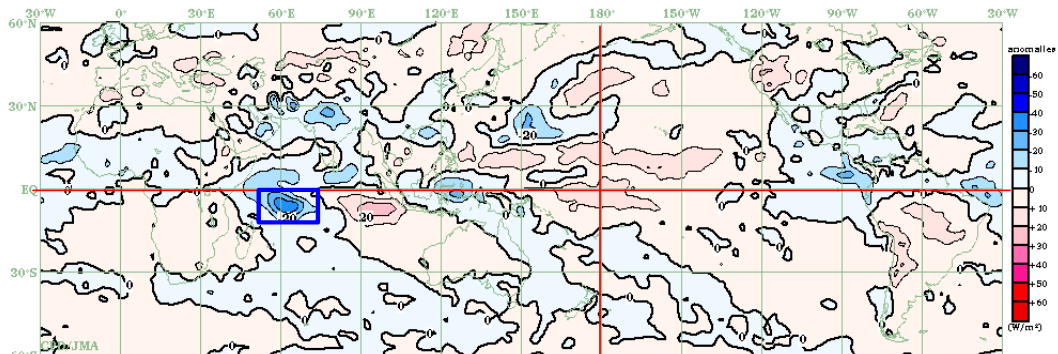


図1 2008年夏（6～8月平均）の外向き長波放射量（OLR）の年平均偏差。  
単位は  $\text{W}/\text{m}^2$ 、年平均値の統計期間は1979～2004年。

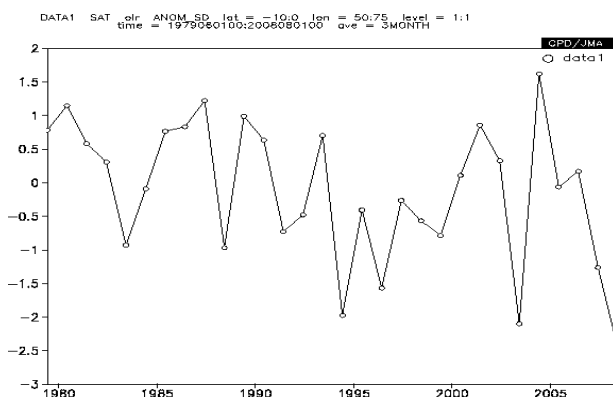


図2 インド洋西部領域平均した夏（6～8月平均）のOLR規格化年平均偏差の経年変化。  
領域は  $10^{\circ}\text{S}$ -EQ,  $50$ - $75^{\circ}\text{E}$  で、規格化に用いた標準偏差の計算期間は1979-2008年。

まず6月1日を基準日として計算した結果について述べる(図3)。WIOLR ピーク7日前の925hPa 水蒸気フラックスを見ると(図3(b)、Day -7)、アラビア海からインド洋西部に向かう水蒸気フラックスが明瞭に見られ、インド洋西部では水蒸気フラックス収束も明瞭となっている。同時期のOLRの経過を見ると(図3(a)、Day -7 ~ Day 0)、水蒸気フラックス収束の明瞭化に応じるように、WIOLR ピークの7日前から3日前にかけて、インド洋西部で対流活動活発域の強化・拡大が見られる。一方、スマトラ島西方海上においても赤道付近に水蒸気フラックス収束が統計的に有意な領域が見られるが、インド洋西部のそれに比べると弱く、ベンガル湾や、スマトラ島の南西海上では対流活動の不活発域が有意となっている。WIOLR ピーク3日後には(図3(a)、Day +3)、インド洋東部赤道域においても対流活動が活発となり、水蒸気フラックス収束も持続して見られている。しかしながら、WIOLR ピーク7日後から11日後にかけては(図3(a)、Day +7、Day +11) インド洋西部からアラビア海への対流活動活発域の北進が明瞭に見られているのに対して、インド洋東部では対流活動活発域は赤道域に停滞している。このため、ベンガル湾における対流活動の活発化は見られず、海洋大陸付近についても対流活動の不活発な状態が持続して見られた。WIOLR ピーク11日後は、平年ではアジアモンスーンのシーズン初めの対流活動活発化が見られる時期に該当する。図は省略するが、6月1日を基準日とした場合、6月12日以降もベンガル湾では対流活動が不活発な傾向が持続して見られた。

次に、7月1日を基準日として計算した結果について述べる(図4)。WIOLR ピーク前後の水蒸気フラックスとその収束・発散の分布を見ると(図4(b))、6月1日を基準日とした場合(図3(b))とは異なり、WIOLR ピークに先行してインド洋東部やインドネシア付近における水蒸気フラックスの収束域とフィリピン付近の発散域のコントラストが明瞭となっており、フィリピンの南海上からインドネシア付近の水蒸気フラックスも統計的に有意となっている。OLRの経過を見ると(図4(a))、水蒸気フラックス収束に対応して、WIOLRのピーク前からインド洋東部、インドネシア付近で対流活動の活発な領域が見られ、統計的にも有意となっている。6月1日を基準日とした場合と同様に、WIOLR ピーク7日後、11日後にはアラビア海で対流活動活発域の北進が明瞭に見られている。一方、6月1日を基準日とした場合とは異なり、インド洋東部からスリランカ付近にかけて、インドネシア付近では対流活動は活発化している。

次に6月1日、7月1日を基準日として計算した場合の海面水温の回帰係数分布を図5に示す。

6月1日を基準日として計算した場合を見ると(図5(a))、インド洋赤道域が全般に高温となっていることに加えて、南インド洋、ベンガル湾に高温域の中心が明瞭に見られている、図は省略するが、これらの海面水温高温域はWIOLR ピークのおよそ2週間前から急速に昇温しており、それより前から持続していたものではなかった。また太平洋の海面水温の分布についても見てみると、西部から中部太平洋において、高温域が明瞭に見られ、統計的にも有意となっている。南北両半球の中緯度帯には低温域が広がっており、エルニーニョ現象における衰退期の海面水温分布とよく似ている。

7月1日を基準日として計算した場合を見ると(図5(b))、インド洋赤道域に高温域が認められるものの、その偏差は弱く統計的にも有意とはなっていない。むしろ、ニューギニア島周辺や、ジャワ島の南海上に高温域が見られ、統計的にも有意となっている。太平洋の海面水温分布については、6月1日を基準日とした場合と非常に対照的であった。中部から東部太平洋の赤道にかけては低温域、南北両半球の中緯度帯においては高温域が広がっており、ラニーニャ現象時に見られる特徴とよく似ている。

#### 4. 考察

前節で述べたように6月1日を基準日とした場合と、7月1日を基準日とした場合とでは、WIOLRのピーク時前後に対して、アジアモンスーン域における対流活動や循環場、海面水温に現れる特徴が、大きく異なることなることがわかった。ここでは、このような違いが生じた一因を、海面水温の季節進行の特徴から考察する。

図6(a)には6月1日における日別海面水温平年値の分布、図6(b)には7月1日における日別海面水温平年値の分布をそれぞれ示す。6月1日の海面水温分布を見てみると(図6(a))、アラビア海、ベンガル湾の水温差はほとんどなく、どちらの海域もインド洋赤道域より高温となっている。一方、7月1日になると(図6(b))、インド洋西部からアラビア海にかけて、28°C以下の相対的な低温域の広がりが明瞭である。これはモンスーン循環が確立し下層ジェットが強まるためと推察される。6月1日から7月1日にかけての水温の変化を比較すると、インド洋西部からアラビア海にかけて水温の変化が大きいことがわかる。図7にはベンガル湾、アラビア海において領域平均した日別海面水温平年値の時系列図を示す。どちらの海域についても、5月後半から6月初めにかけては、年間で最も海面水温の高い時期であり、2つの海域の海面水温差が最も小さい時期である。また6月中旬以降は、海面水温が低下するが、アラビア海における水温の低下は、

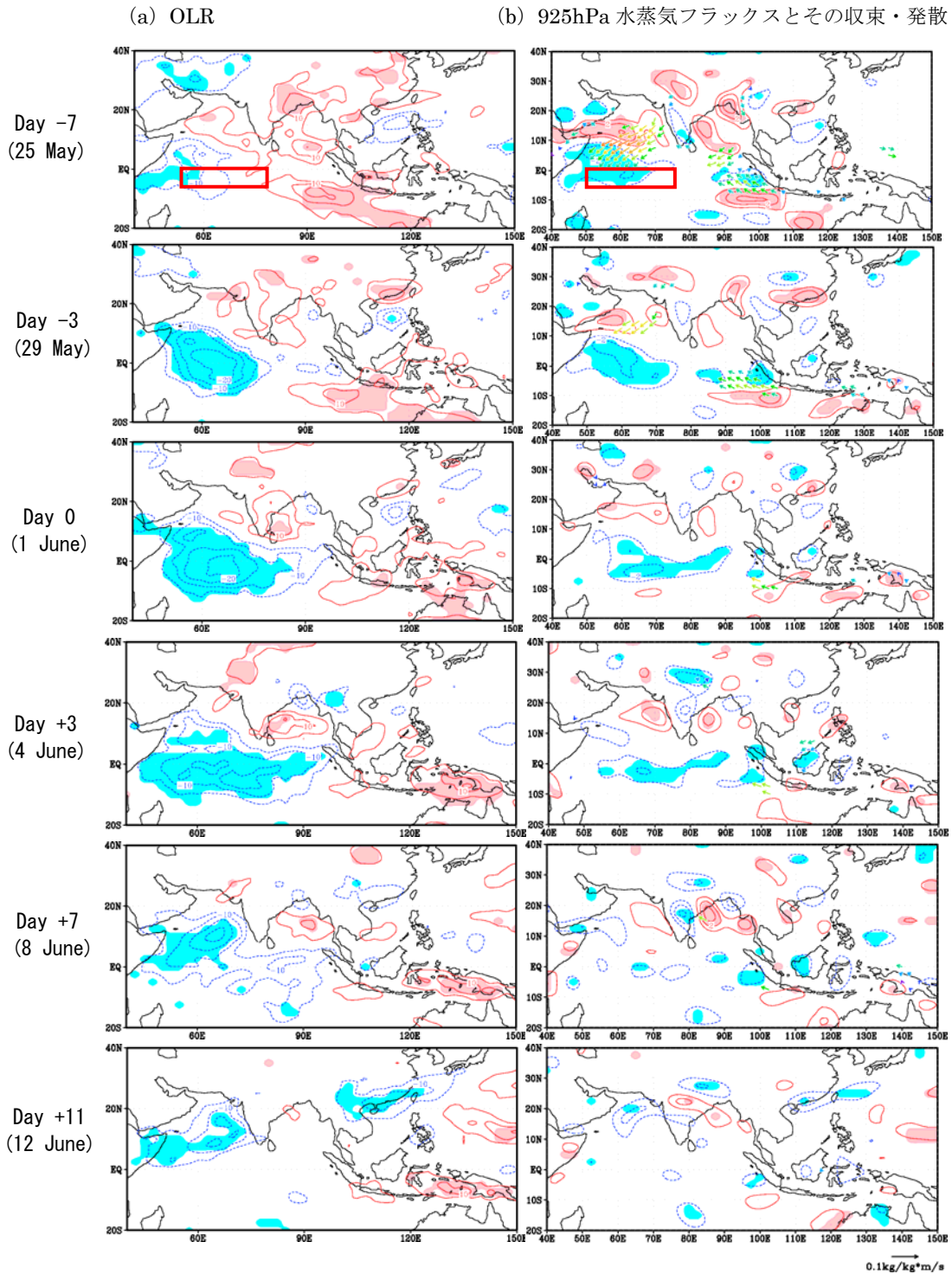


図3 6月1日を基準日としたWIOLRとOLRもしくは925hPa水蒸気フラックス、その収束・発散とのラグ線形回帰分布図。

(a) 等値線はOLRの回帰係数を表し、等値線間隔は $5\text{W/m}^2$ 。陰影域は信頼度95%で統計的に有意な領域を表す。(b) ベクトルは925hPa水蒸気フラックスの回帰係数を表し、信頼度95%で統計的に有意な値のみ描画している。等値線は水蒸気フラックスの収束・発散の回帰係数を表し、陰影域は信頼度95%で統計的に有意な領域を表している。等値線間隔は $1 \times 10^{-8}\text{kg/kg/s}$ 。図中の赤い四角形はWIOLR( $5^\circ\text{S-EQ}$ 、 $50-75^\circ\text{E}$ )で領域平均したOLRの領域を表す。

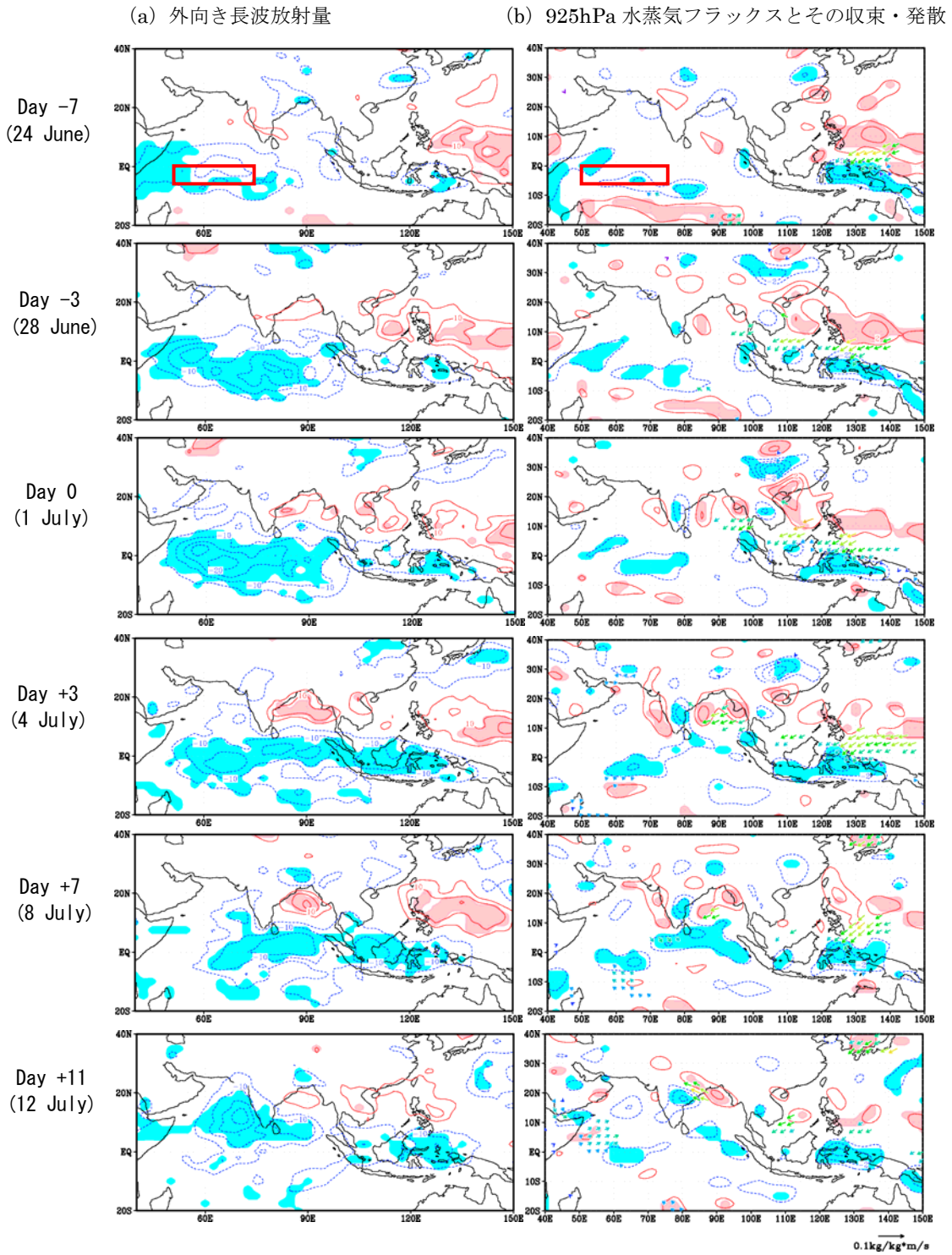
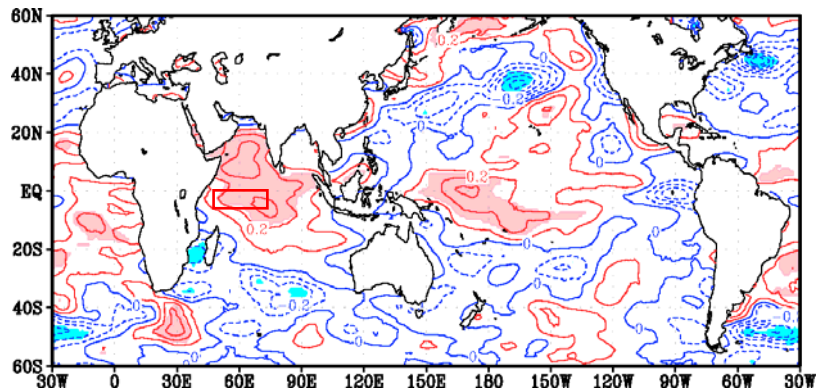


図4 7月1日を基準日としたWIOLRとOLRもしくは925hPa水蒸気フラックス、その収束・発散とのラグ線形回帰分布図。

(a) 等値線はOLRの回帰係数を表し、等値線間隔は $5W/m^2$ 。陰影域は信頼度95%で統計的に有意な領域を表す。(b) ベクトルは925hPa水蒸気フラックスの回帰係数を表し、信頼度95%で統計的に有意な値のみ描画している。等値線は水蒸気フラックスの収束・発散の回帰係数を表し、陰影域は信頼度95%で統計的に有意な領域を表している。等値線間隔は $1 \times 10^{-8}kg/kg/s$ 。図中の赤い四角形はWIOLR(5°S-EQ、50-75°Eで領域平均したOLR)の領域を表す。

(a) 基準日を6月1日とした場合



(b) 基準日を7月1日とした場合

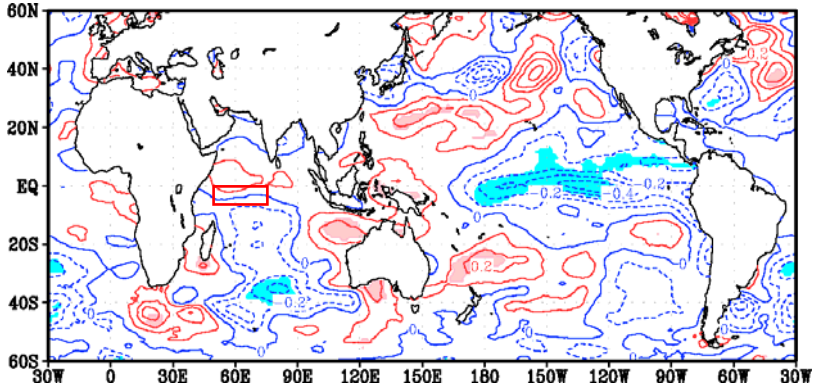


図5 WIOLRと海面水温との同時線形回帰分布図。

等値線は海面水温の回帰係数を表し、等値線間隔は 0.1°C。陰影域は信頼度 95%で統計的に有意な領域を表す。図中の赤い四角形はWIOLR (5°S-EQ.、50-75°E で領域平均した OLR) の領域を表す。

ベンガル湾のそれと比べて非常に大きい。

以上より、6月初めはベンガル湾とアラビア海の海面水温差が最も小さく、しかも年間を通じて水温が高い。このため、図5 (a) のような偏差分布を与えた場合、実況値として、アラビア海のほうが高温となり、対流活動がインド洋西部からアラビア海にかけて集中しやすい状況の一因となっている可能性が考えられる。一方、モンスーン循環が確立した後の7月1日には、両海域の水温差が大きく、アラビア海のほうが高温となる可能性は低いと言える。

## 5. まとめと今後の課題

インド洋西部において対流活動が活発となった時のピークの前後に現れやすい、アジアモンスーン域における対流活動や循環場、海面水温の特徴は、6月初めを基準とした場合と7月初めを基準日とした場合とでは大きく異なることが分かった。特に、6月初めのインド洋赤道域とアラビア海の高海面水温、太平洋におけるエルニーニョ現象衰退期のような海面水温分布は遠藤 2005 や過去の先行研究の結果と一致していた。ただし、

インド洋赤道域とアラビア海の高海面水温は、持続的なものではなく、対流活動ピーク時のおよそ2週間前から急速に発達するという特徴が見られた。また対流圏下層におけるアラビア海からインド洋西部への顕著な水蒸気フラックス、ベンガル湾、海洋大陸付近の対流活動不活発などが非常に特徴的であった。これらはアジアモンスーン不活発を示すものであり、このような特徴がなぜ現れるのかについて、今後更なる解析を進めていく必要がある。

一方、7月においては、太平洋においてラニーニャ現象時のような海面水温分布、インド洋西部の対流活動に先行した海洋大陸付近の対流活動活発、明瞭な水蒸気フラックスが特徴的であり、アジアモンスーン領域における対流活動活発域の北進も見られた。これらは一見、アジアモンスーンの最盛期に良く見られる対流活動活発域の北進と捉えられなくもない。したがって、平年の季節進行との差異を確認しておく必要がある。

また、6月初めと7月初めに見られたような特徴の違いが何故現れるのかについて、海面水温の季節進行から考察を行った。ただし、これだけでは

6月初めのインド洋赤道域とアラビア海における高海面水温を説明することは出来ない。今後の課題として、このような特徴が何故現れたかを、統計調査する要素を増やし、領域もアジアモンスーンのみならず全球に広げて調査を行う予定である。またインド洋西部で対流活動が活発となった後の、中・高緯度の循環場への影響も調査していく予定である。

参考文献

Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. J. Meteorol. Soc. Japan, 85, 369 - 432.

気象庁, 2006: 気候系監視報告別冊第12号。  
 遠藤, 2005: 2003年冷夏の解析～2002/03エルニーニョ現象後の夏～. 気象研究ノート第210号, 99-110。  
 Annamalai, H., P. Liu, S. P. Xie, 2005: Southwest Indian Ocean SST Variability: Its local effect and remote influence on Asian monsoons. J. Climate, 18, 4151 - 4167.  
 Yang, J., Q. Liu, S. P. Xie, 2007: Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon. Geophysical Research Letters, 34, L07808.

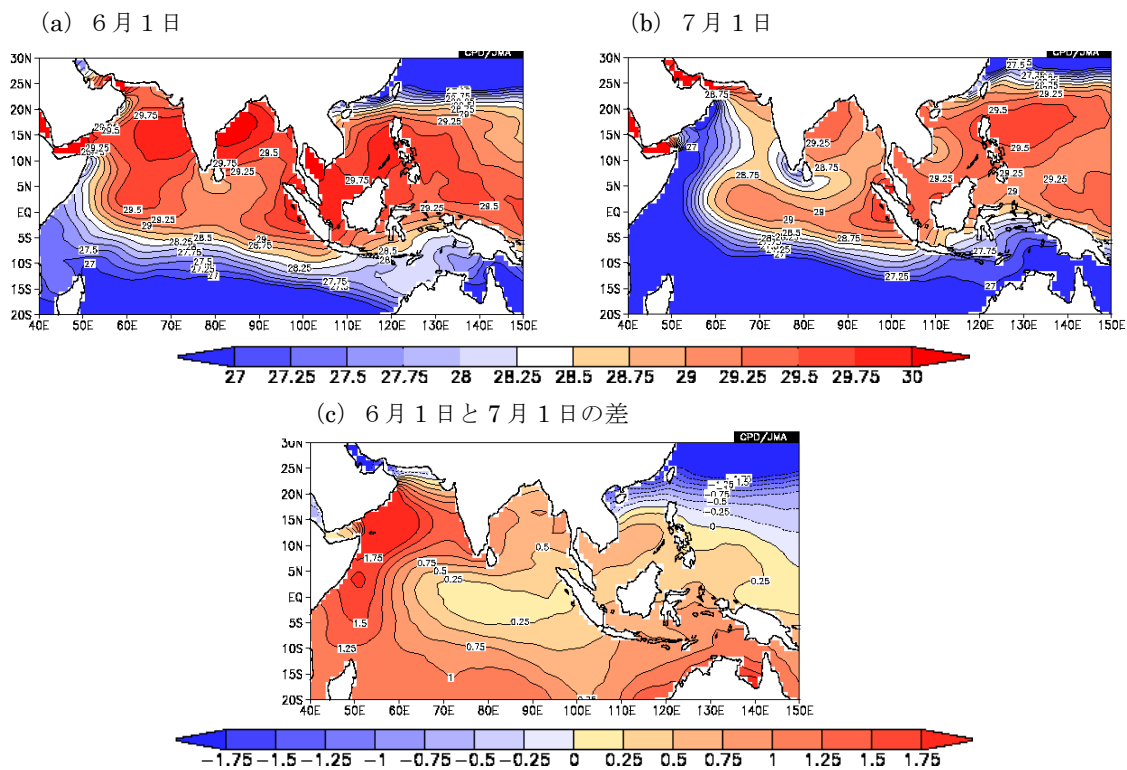


図6 6月1日と7月1日の日別海面水温平年値分布図とその差の分布図。  
 (a)、(b) 陰影は海面水温の平年値を表す。平年値の計算期間は1979～2000年。  
 (c) 陰影は6月1日と7月1日の日別海面水温平年値の差を表す。

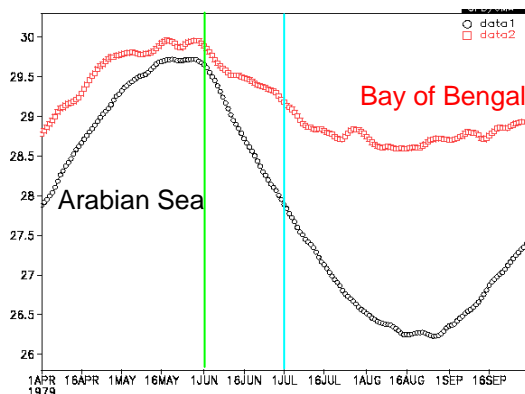


図7 ベンガル湾とアラビア海において領域平均した日別海面水温平年値の時系列図。  
 赤太線はベンガル湾において領域平均した日別海面水温平年値を表し、領域平均の範囲は10-20°N, 80-95°E。黒太線アラビア海において領域平均した日別海面水温平年値を表し、領域平均の範囲は10-20°N, 50-72.5°E。図中の緑線、水色線は6月1日、7月1日の位置をそれぞれ表す。