

季節内変動に伴う海洋上層の変動

佐藤 尚毅 (東京学芸大学、JAMSTEC)、米山邦夫、城岡竜一、吉崎正憲 (JAMSTEC)、高藪縁 (東大 CCSR、JAMSTEC)

1 はじめに

これまでの研究により、MJO に伴う対流活動域の前面(東側)では海面水温(SST)が高く、後面では SST が低いことが知られている(Shinoda et al. 1998)。最近では各種観測データを用いて、MJO に伴う海洋上層の変動も調べられるようになってきた。一方、北半球夏季に西部北太平洋暖水域で卓越する、北進する季節内変動(ISV)に関しては研究例が少ない。本研究では、近年充実しつつある、衛星観測データとアルゴフロートによる観測データを用いて、ISV に伴う海洋上層の変動を調べ、大気海洋結合が季節内スケールの変動をもたらす可能性を議論する。

2 衛星観測データの解析

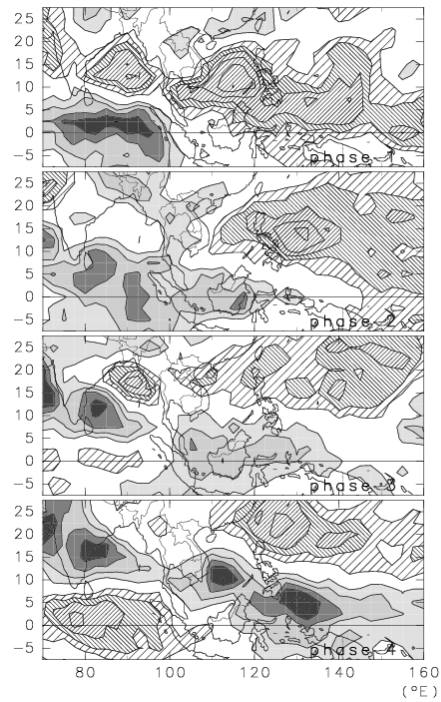
Lau and Chan (1986) の方法により、OLR データを用いて 2003~2007 年の 6~8 月における、日別の ISV の位相を同定して位相 1 から 8 に分類した。各位相について OLR の合成図を作成し、インド洋や西部太平洋で対流活動域が北進する様子を確かめた(図 1)。次に、TMI SST の合成図を作成した(図 2)。ここでも SST 偏差の南から北への伝播が見られた。対流活動域の前面(北側)で SST が高く、後面(南側)で低くなっていて、この点では MJO に関する過去の研究の結果と類似している。

西部北太平洋暖水域や南シナ海で SST 偏差が特に大きく、振幅は 1.5~2 °C に達している。海上風を調べたところ(図は省略)、対流活動域の北側(南側)で東風(西風)偏差が見られた。このため対流域の周辺では低気圧性循環となっている。SST 偏差の振幅が大きい、西部北太平洋暖水域や南シナ海では気候平均場の海上風は西風であり、対流活動域の北側(南側)では海上風速が小さく(大きく)なっている。

3 海洋上層の変動

次に、北緯 5~10 度、東経 130~140 度(西部北太平洋暖水域)の領域でアルゴフロートが観測した水温、塩分プロファイルを経験的に解析した。図 3 に、各位相における平均的な水温と塩分の鉛直プロファイルを示す。じょう乱が通過する位相 4~6 にかけて海面付近の水温が低下している。この間、温度躍層付近の水温は、最初のうち低下し、後に上昇している。さらに図 4(上)に、各位相における OLR と SST の偏差を示す。また、図 4(中、下)には、各位相での、混合層深、等温層深、20°C 深の平均を示す。ISV に伴う対流活動域の通過に伴って SST が急激に低下していることが確かめられる。このとき、20°C 深は浅くなり、混合層は深くなっている。衛星観測による海上風データを解析したところ、対流活動域の通過時の低

(°N) OLR anomaly



(°N) SST anomaly

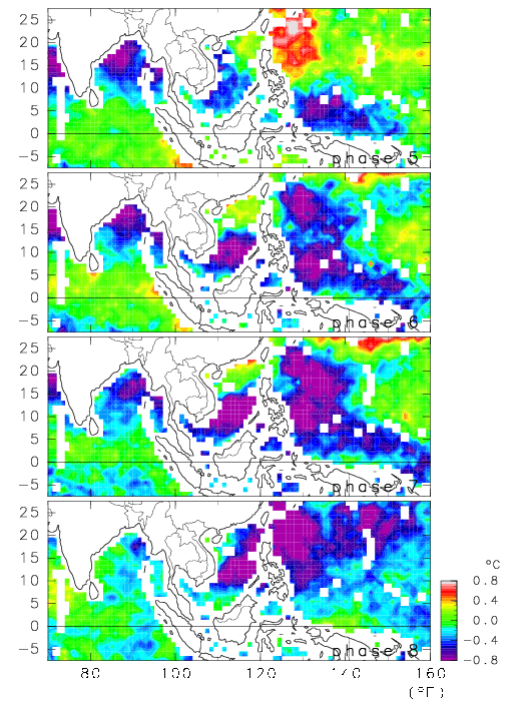
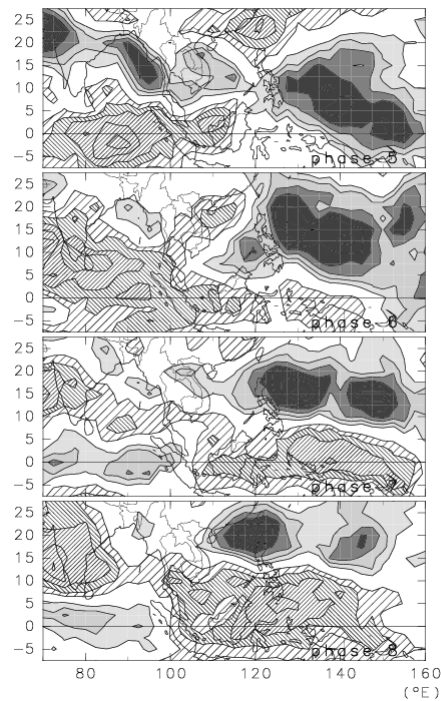
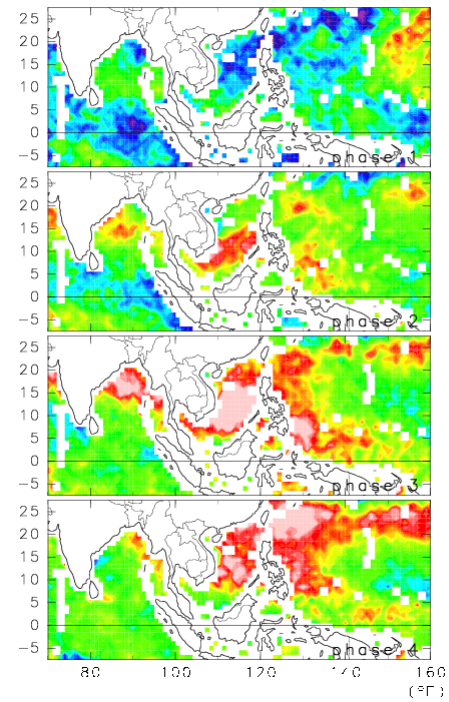


図 1 : 各位相における OLR 偏差。等値線間隔は $7.5W/m^2$ 。ゼロの等値線は両略。負偏差に影つけ、正偏差に網かけ。

図 2 : 各位相における SST 偏差。

気圧性循環に伴うエクマン湧昇に対応して 20°C 深が浅くなり、また、通過後の西風偏差に伴う海上風速の増大に伴って混合層深が深くなっていることが分かった。

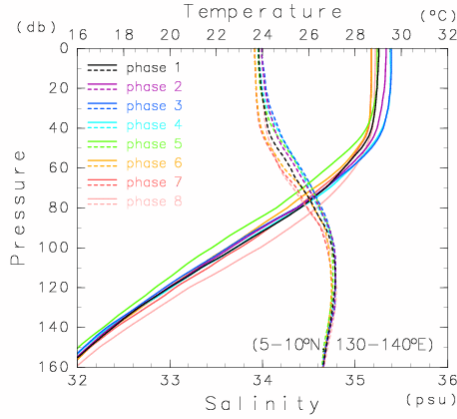


図 3 : 各位相における水温 (実践) と塩分 (点線)。

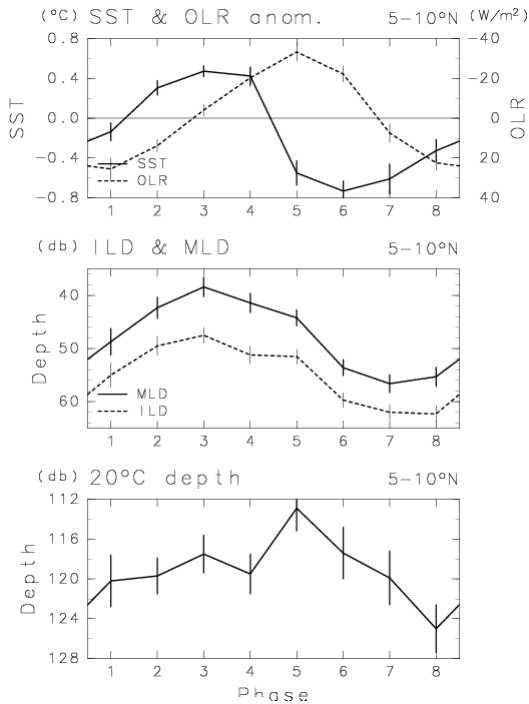


図 4 : 各位相における(上)SST 偏差(実線)と OLR 偏差(点線)、(中)混合層深(実線)と等温層深(点線)、(下)20°C 深。

4 理論的な考察

以上の結果より、北進する ISV に伴う SST や海洋上層の変動には、海上風の変動が本質的に関係していることが分かった。対流活発域の通過に伴う SST の低下には、対流活発域の周辺での低気圧性循環に伴うエクマン湧昇と、対流活動域が通過した後の海上風速の増大による鉛直混合の促進の両方が寄与しているが、近似的に見れば、西風基本場において西風偏差が生じているときに SST が低下しているとみなすことができる。この効果を大気場の浅水波方程式に組み込むと、以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} u &= -g \frac{\partial}{\partial x} h + fv \\ \frac{\partial}{\partial t} v &= -g \frac{\partial}{\partial y} h - fu \\ \frac{\partial}{\partial t} h &= -H \left(\frac{\partial}{\partial x} u + \frac{\partial}{\partial y} v \right) - \kappa' T \\ \frac{\partial}{\partial t} T &= -u \end{aligned}$$

ただし、T は SST 偏差である。第 3 式の右辺最終項は、SST 偏差が積雲対流を通して大気を加熱する効果を表し、第 4 式は西風偏差時に SST 偏差が低下することを示している。代表的緯度でのコリオリ係数と変形半径で規格化して、方程式を解くと、

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial^6}{\partial t^6} - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial^4}{\partial t^4} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \frac{\partial^4}{\partial t^4} + \kappa \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial^3}{\partial t^3} \right) v \\ &= \left(\frac{\partial^4}{\partial t^4} + \beta \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial^3}{\partial t^3} - \kappa \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \beta \kappa \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) v \end{aligned}$$

となる。現実的な緯度では $\beta = 0.5$ 程度である。また、 κ は大気海洋結合の強さを表すパラメータで、現実的な見積もりでは $\kappa = 0.02$ 程度である。このとき、分散関

係は、

$$\omega^4 + (1 + k^2 + m^2)\omega^2 + (\beta - \kappa)k\omega - (\beta + im)\kappa = 0$$

となるが、長周期の変動に注目している
ので、 $\omega^4 = 0$ と近似すれば、

$$\omega = \frac{-(\beta - \kappa)k \pm \sqrt{(\beta - \kappa)^2 k^2 + 4(\beta + im)\kappa}}{2(1 + k^2 + m^2)}$$

が得られる。現実的な ISV として東西波数 $k=2$ (対地球半径) として、南北波数 m と振動数 ω の関係のうち ω の絶対値が小さいほうの解を図示すると、図5のようになった。虚数成分は成長率を表すが、南北波数 $m=7\sim 8$ (対地球半径) で最大(時間スケール 56 日程度)となる。このとき ω の実部は周期 42 日程度に対応する。この東西波数、南北波数、周期は、現実の ISV に近いものである。この解の物理的な解釈としては、西北西から東南東に帯状に分布する対流活動域がロスビー波の性質として西進しようとしているが、大気海洋相互作用は逆に北東進させようとしていて、この2つの効果の重なりによって、結果的に成長しながら北東進していると考えられることができる。なお、上の二次方程式の解のうち ω の絶対値が大きいほうは大気海洋結合のない通常の浅水方程式系のロスビー波に近いもので、この図では $m=0$ で $\omega = -1$ 程度(周期約 20 日)である。

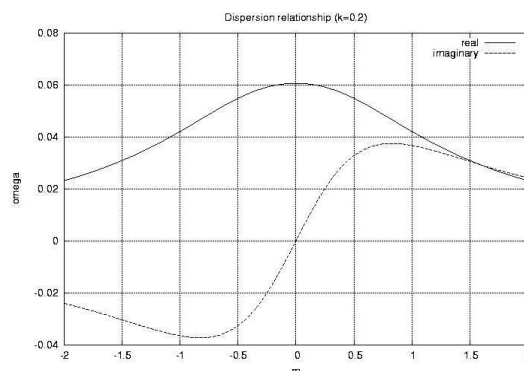


図5：遅い変動モードの、東西波数 $k=2$ (対地球半径) のときの分散関係。横軸は南北波数、縦軸は振動数。実線は実数成分、破線は虚数成分。

今回言及した解は、浅水波方程式系という方程式系に新たな予報変数(この場合 SST 偏差)を追加したことによって、従来の解とは別に現れたものであると考えられる。方程式系における近似の妥当性については今後検討が必要であるが、今回得られた解は、大気海洋相互作用を考慮に入れることによって新たな解が得られる可能性があることを例示しているように思われる。

文献

- Lau, K. M., and P. H. Chan, 1986: Aspects of the 40-50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1354-1367.
- Shinoda, T., H. H. Hendon, and J. Glick, 1998: Intraseasonal variability of surface fluxes and sea surface temperature in the tropical western Pacific and Indian Oceans. *J. Climate*, 11, 1685-1702.