熱帯インド洋で観測された数日以下スケールの混合層変動

黒瀧あゆみ・児玉安正(弘前大院・理工)・勝俣昌己(JAMSTEC)・Kelvin Richards(IPRC)

背景

海洋混合層は海洋の熱容量を左右し海面水温を決定づける点で重要である。熱帯インド洋ではMISMO(2006)による観測が行われたが、混合層変動のメカニズムの詳細を明らかにする高頻度の現場観測データはいまだ不足している。特に、大気との相互作用の詳細について不明な点が多い。国際集中観測CINDY2011では、熱帯インド洋における混合層の短周期変動をとらえるため大気と海洋の高頻度観測が実施された。

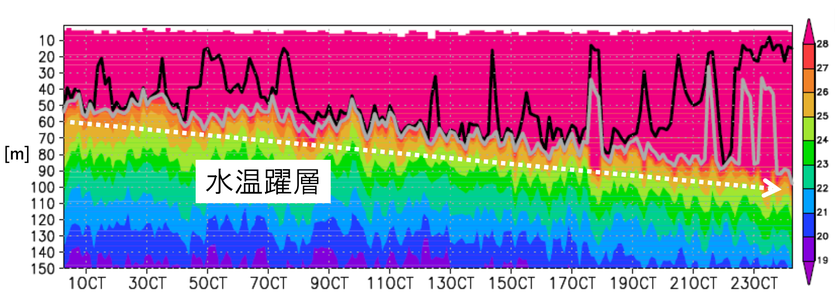
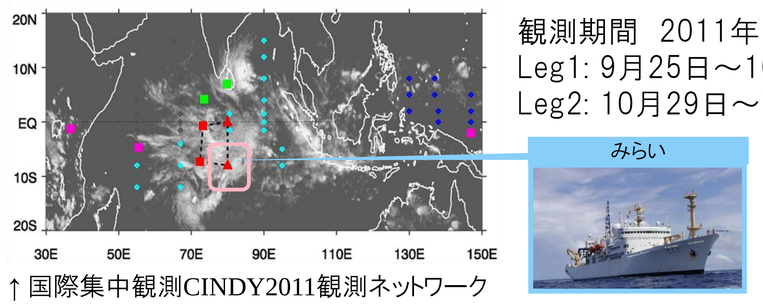


図1.CTDによるLeg1期間(9月30日～10月24日)水温の時間ー深度断面図
黒線:混合層水深、灰色線:等温層水深

Leg1の特徴
水温躍層:徐々に深まっていった
⇒ロスビー波の伝播による
(Seiki et al.2013)

本研究では1日～数日の短時間スケールの水温躍層の変動に着目した

観測



↑国際集中観測CINDY2011観測ネットワーク

観測期間 2011年
Leg1: 9月25日～10月26日
Leg2: 10月29日～12月1日

定点観測
南緯8度,東経80.5度
(+05UTC)

使用データ

・船舶搭載型気象観測装置:気温、海面水温、風向風速、降水量、下向き短波・長波放射量 1分間隔

・CTD: 水温、塩分濃度、密度
・LADCP: 東西・南北方向の流速
・TurboMAP : 乱流運動エネルギー散逸率
} 3時間間隔、鉛直分解能1m(以下)

混合層の変動(数日以下スケール)

結果:水温躍層が急激に深まる2回のイベントをとらえた
⇒躍層より上層と下層の流速差が大きい期間に発生

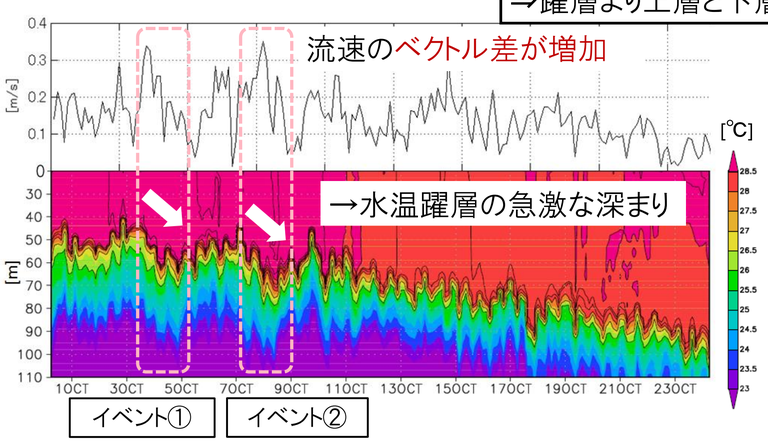


図2.上:深さ40mと90mの水平流のベクトル差の絶対値の時系列
下:水温の時間-深度断面図

降水→バリアレイヤー発達
⇒海面起源の混合を抑制

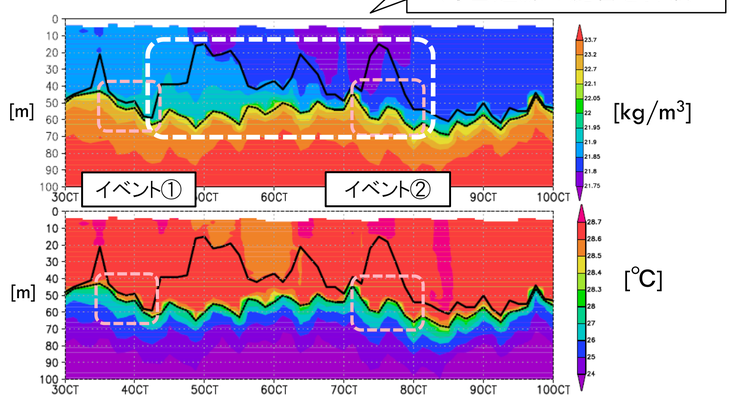


図3.時間ー深度断面図 上:密度σ_θ,下:水温
黒線:混合層水深、点線:等温層水深

海面で与えられる大気の運動エネルギーは深くなるにつれ散逸→乱流エネルギー散逸率εは小さくなる

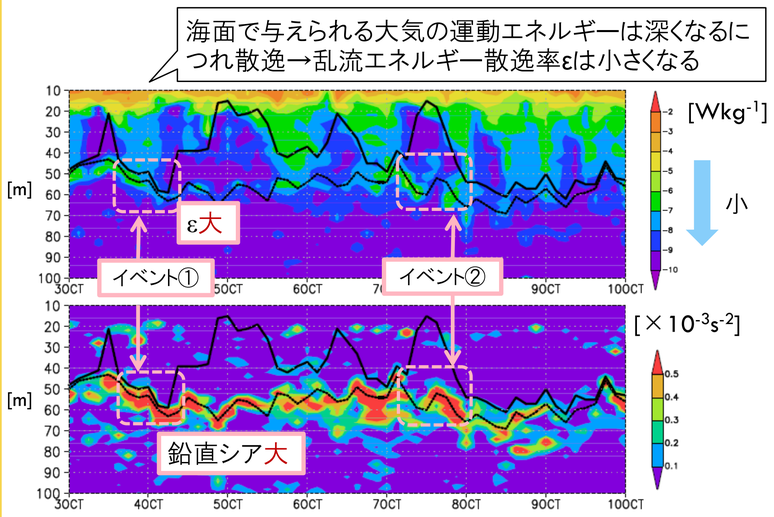


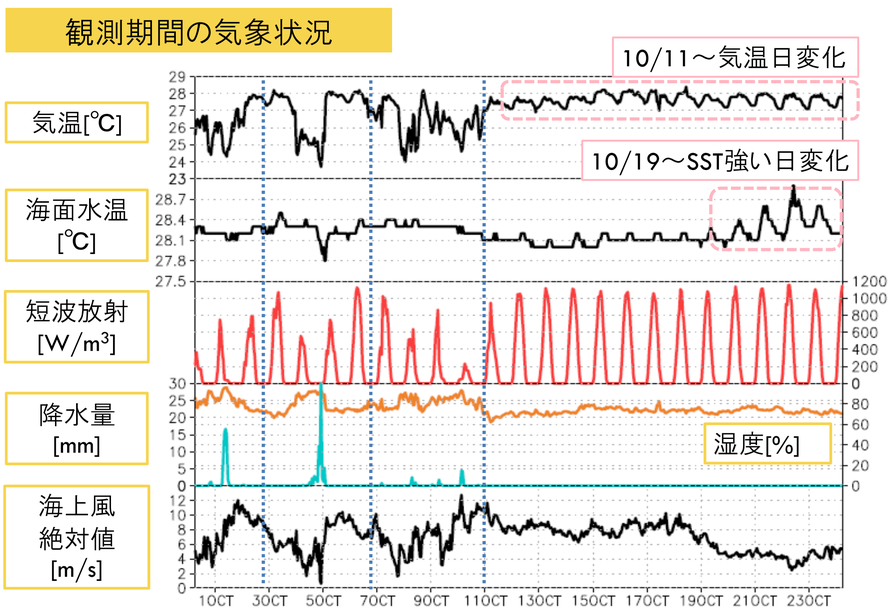
図4. 時間ー深度断面図 上:乱流エネルギー散逸率ε, 下:水平流の鉛直シアの2乗S^2 黒線:混合層水深、点線:等温層水深

混合層と等温層の間隔
イベント①近い:バリアレイヤーなし
イベント②少し離れている:バリアレイヤーあり

乱流エネルギー散逸率の大きい領域と水平流の鉛直シアの大きい領域の関係
深さ:イベント①②共にほぼ一致
時間:イベント①ほぼ一致,②少しずれている

イベント①:シアの増加＋海面起源の乱流混合 →乱流生成
イベント②:シアの増加 →乱流生成
,バリアレイヤーの存在により海面起源の乱流混合の影響は及ばない

観測期間の気象状況



＜期間前半＞ 9月30日～10月11日
3度の降水→風速の増加＆短波放射の減少 大気湿潤
大気擾乱の周期:およそ3～5日

＊10月4日の強い降水により大規模なバリアレイヤー発達

＜期間後半＞ 10月11日～24日
晴天域に覆われている 期間前半でみられた周期の擾乱なし

混合層の日変化

短波放射の日変化
→夜間に海面起源の混合
→混合層の深さの日変化(夜間:深、日中:浅)
特に晴天域に覆われていた期間後半(10月12日～)に顕著
＊ 10月9日～11日:風速が強かったため日変化は不明瞭

考察

躍層をはさんだ流れのシアの要因について考察する

観測期間の流速

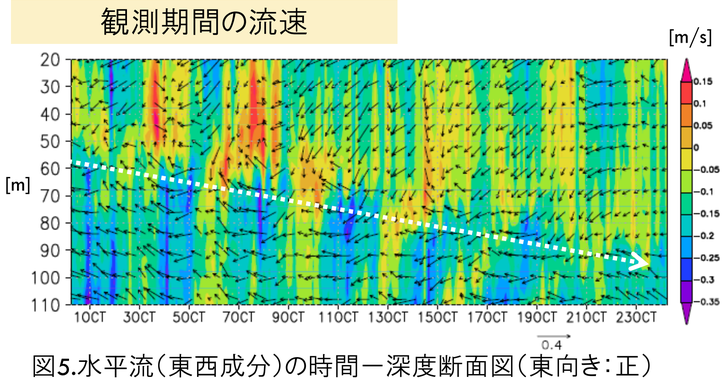


図5.水平流(東西成分)の時間ー深度断面図(東向き:正)

シアの生成:水温躍層より上層と下層で流速変動が異なるため

水温躍層上層と下層の代表値
→水深40m,90mの流速に着目

スペクトル解析

スペクトル解析の結果

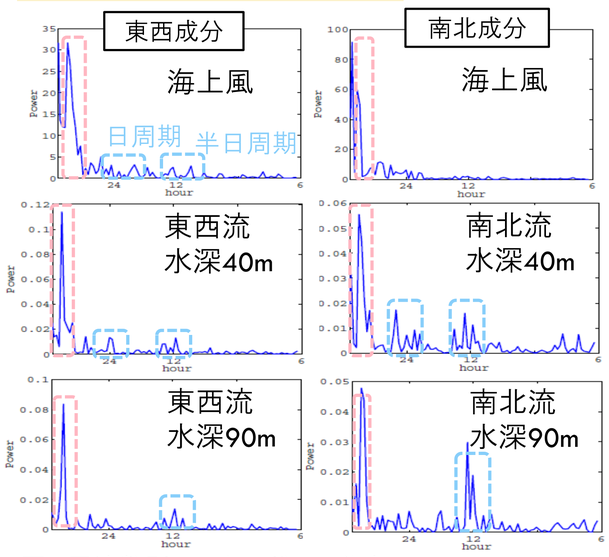
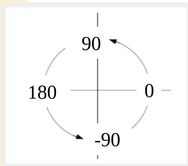


図6.周波数別のエネルギーの分布

卓越周期	東西成分	南北成分
海上風	96時間	115時間
水温躍層より上層の水平流	96時間	96時間
水温躍層より下層の水平流	82時間	96時間

慣性振動
反時計回りに回転(南半球)

$T_k = \pi/(\omega \sin\varphi)$



観測点(南緯8度):コリオリ力の影響及ぶ南緯8度における慣性振動の周期は86.37時間(およそ3日と14時間)

卓越周期は慣性振動の周期に近い

慣性振動

＊上層と下層で位相が異なる
上層のほうが周期が長い

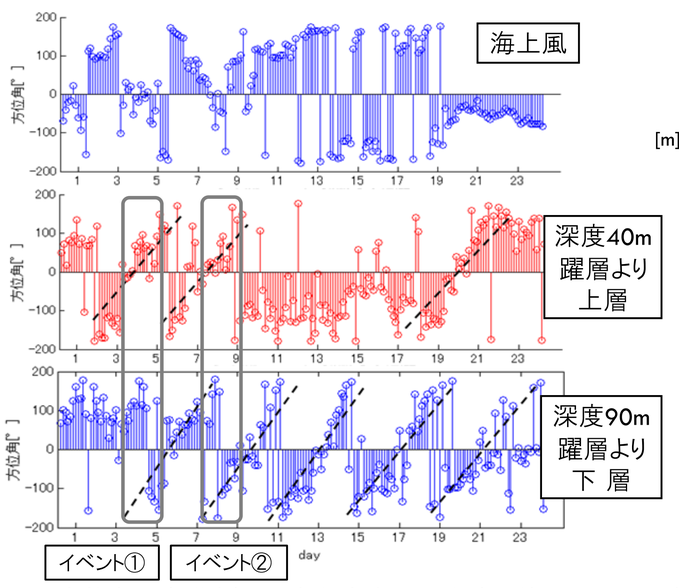


図7.方位角の変動(東西・南北方向の平均流を差し引いている) 横軸:日付(10月)縦軸:方位角[°]

＊躍層より上層:期間による変化が大きい
⇒大気からの影響を強く受けながら慣性振動していると考えられる
＊躍層より下層:3日以降周期はあまり変化していない
⇒大気からの影響をあまり受けずに慣性振動している

＊海洋内部の周期性は慣性振動の周期(およそ3日と14時間)に近い
＊大気擾乱の周期:およそ3～5日
⇒大気擾乱がエネルギー源となり水温躍層より上層にみられる慣性振動を強めている可能性

バンドパスフィルタをかけた東西流

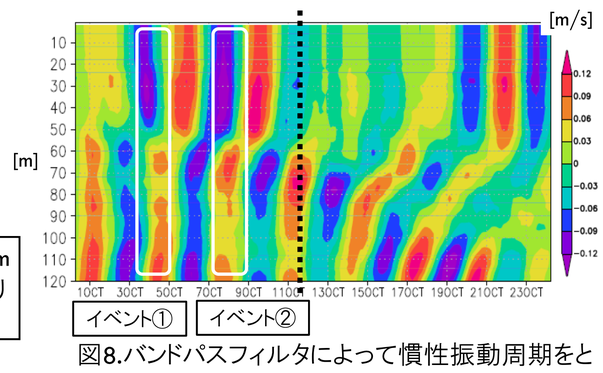


図8.バンドパスフィルタによって慣性振動周期をとりだした水平流(東西成分)の時間ー深度断面図(東向き:正)

＊イベント①,②
:上層と下層の位相が逆転→シア大

まとめ

観測期間の前半において2回の水温躍層の急速な深まりがみられた。
イベント① シアの増加＋海面起源の乱流混合→乱流生成
イベント② シアの増加→乱流生成 ,バリアレイヤーの存在により海面起源の乱流混合の影響は及ばない
・シアの増加の原因:上層と下層の慣性振動の違いに伴う流速の差
・流速差が生じた原因:上層は大気起源の変動の影響を強く受けているが、下層はあまり受けていない
⇒水温躍層より上層と下層で慣性振動の位相や振巾が異なるためシアが増加し、水温躍層の急速な深まりをもたらす要因となった

謝辞
「みらい」MR11-07航海において本船及び観測機材の運用を担ってくださいましたグローバル・オーシャン・ディベロップメント(GODI)及び、マリン・ワーク・ジャパン(MWJ)の皆様に感謝します。
また、本研究を進める上でご指導ご協力いただいた関係各位、特に弘前大学理工学研究科の石田祐宣助教、「みらい」MR11-07航海関係者の皆さま、及びJAMSTEC/RIGC/熱帯気候変動研究プログラムの皆様に御礼申し上げます。