

田辺中島高潮観測塔における2016年夏季観測結果

Field Measurements at Tanabe-Nakashima Observation Tower in the Summer of 2016

馬場康之・水谷英朗・久保輝広・内山雄介⁽¹⁾・森信人・
渡部靖憲⁽²⁾・山田朋人⁽²⁾・猿渡亜由未⁽²⁾・大塚淳一⁽³⁾・二宮順一⁽⁴⁾

Yasuyuki BABA, Hideaki MIZUTANI, Teruhiro KUBO, Yusuke UCHIYAMA⁽¹⁾, Nobuhito MORI,
Yasunori WATANABE⁽²⁾, Tomohito YAMADA⁽²⁾, Ayumi SARUWATARI⁽²⁾, Junichi OTSUKA⁽³⁾
and Junichi NINOMIYA⁽⁴⁾

(1) 神戸大学大学院工学研究科

(2) 北海道大学大学院工学研究院

(3) 土木研究所寒地土木研究所・寒冷沿岸域チーム

(4) 金沢大学理工研究域

(1) Department of Civil Engineering, Kobe University

(2) Division of Field Engineering for the Environment, Hokkaido University

(3) Port and Coast Research Team, Civil Engineering Research Institute for Cold Region

(4) Institute of Science and Engineering, Kanazawa University

Synopsis

This paper shows some results of intensive field observation carried out in the summer of 2016. The vertical profiles of currents and water temperature measured as well as wave and wind conditions, and salinity observations carried out at the observation tower of Shirahama Oceanographic Observatory. In the summer in 2016, one typhoon (TC16, MALAKAS) approached close to the observation site, and the high wave and strong wind conditions more than 40m/s captured during the observation. Under the high wave and strong wind condition, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) measured high echo intensities for several hours, and this result indicates that strong mixing occurs. Water temperature variation at 30m deep has opposite phase to the fluctuation of salinity. This result means that low temperature and high salinity water approaches to the observation site. It is also found in water temperature distributions in November that some influences of the warm and cool water mass exist.

キーワード: 現地観測, 台風, 海水温および塩分濃度の変動

Keywords: Field observation, Typhoon, Variations of water temperature and salinity

1. はじめに

白浜海象観測所では, 毎年夏に台風接近時の気象・海象データ計測を目的とした集中観測を実施している。(森ら, 2010; 内山ら, 2014, 2016; Baba et al., 2013;

馬場ら, 2014, 2015)。2016年の夏期集中観測は9/1～12/7の間実施された。観測は, 例年同様和歌山県田辺湾湾口に位置する田辺中島高潮観測塔(以下, 観測塔)による波高, 潮位, 海水温計測に加えて, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, 超音波流向

流速計)による流速分布計測,水深30mまで計測範囲を拡張した海水温計測(水深10mまでの表層付近には,測器を集中的に配置)が行われた。これらの観測は,強風時の海洋表層における物理過程,特に鉛直混合に着目して,台風接近時の海水混合の観測を,気象・海象の観測と並行して行ったものである。

白浜海象観測所・田辺中島高潮観測塔は和歌山県南部の田辺湾湾口部にあり,2015年の夏期集中観測においては観測塔既設の計測器に加えて,以下の測器が観測塔に設置された(測点の位置は観測塔基準,鉛直上向き:正)。

- ・水温計(全19点): -0.5~-5.0m(0.5m間隔), -6~-10m(1m間隔), -15~-30m(5m間隔)
- ・塩分水温計(1点): -30m
- ・自記式風速計(全3点): 12.5m(プロペラ), 15m, 18m(超音波)
- ・パーシベル(粒子径・数計測,全1点): 15m
- ・パーティクルカウンター(粒子数計測): 10m)

観測塔西側の水深約9m地点にはADCP(超音波流向流速計,1200kHz)が設置され,水深方向の約20数層における流向と流速が計測された。

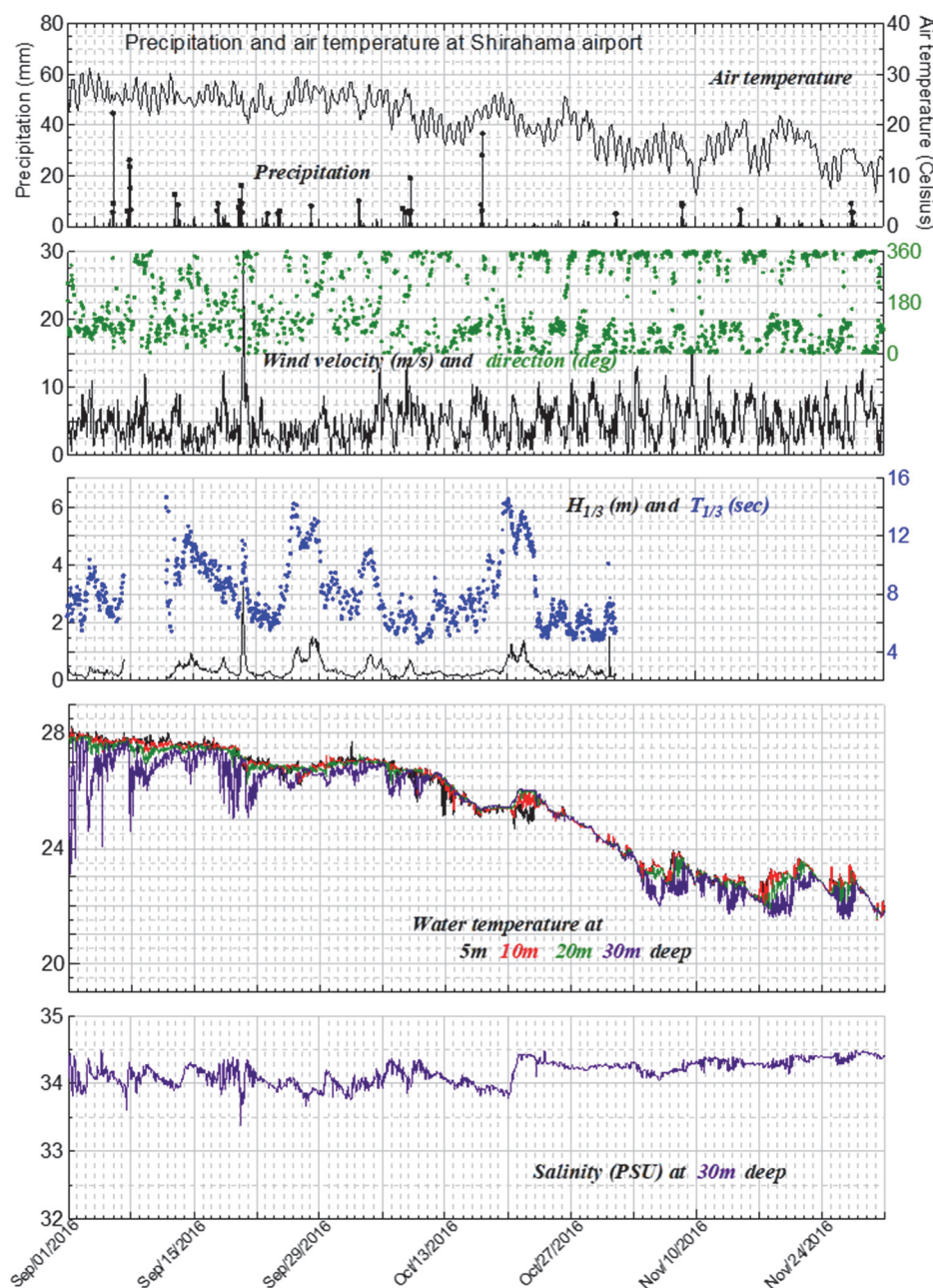


Fig. 1 Temporal variations of the observed data at the observation tower (Top: precipitation and air temperature at Shirahama airport, 2nd: wind velocity and wind direction, 3rd: wave height and wave period, 4th: water temperature, bottom: salinity (PSU))

2. 現地観測期間中の気象・海象データ概要

2016年の夏期集中観測期間中(9/1～11/30)の気温・雨量(白浜空港アメダス), 海上風の風向・風速, 有義波高・有義波周期, 海水温, 塩分濃度(いずれも観測塔)の時系列(毎正時)をFig. 1に示す. 中段の有義波高・有義波周期のデータが11月以降途切れているのは, 超音波波高計の計測結果に不具合が確認されたためである. 観測塔には, 別の波高計(電波式波高計)も稼働中であるので, 別途付録に9月から11月の波高データを示す. 2016年度の観測期間中には, 観測塔付近に台風16号が接近したほか, 沖合の台風および前線の影響と思われる長い周期が確認される. ただし, 非常に大きな波高を計測したのは台風16号接近時のみである(台風16号接近中にも欠測の時間帯有り).

水温の時系列によると, 9月中は水深30m地点の水温の変化が大きく, 台風16号接近時には一時的に水温の鉛直分布が解消しているが, 台風の影響が無くなると水温が低下する様子が確認される. 台風16号接近時には, 塩分濃度も大きく低下しており, 降雨, 河川水の流入の影響が示唆される. 10月以降は水深方向の温度差が小さくなり, 混合層が発達する様子が確認される. ここで述べた水温, 塩分濃度の時間的変化は, 例年の観測結果においても確認されるが, 2016年の観測結果においては, 成層期の水温の分布(水深方向の温度差)および塩分濃度の変化が少ないのが特徴的である. 例えば, 期間前半において水温低下する際に塩分濃度が上昇するのは低層からの低温高塩水の侵入を示す結果ではあるが, 2015年の観測では塩分濃度が1PSU程度変化する様子がたびたび確認されたものの, 2016年度にはほとんど確認されない. 2016年の結果では, 水温が低下した状況でも水温が24度を下回ることがほぼ無い状態で, この点も2015年の結果と大きく異なる点である. Fig. 2は, 水深30m付近における水温と塩分濃度の計測結果で, 周期変動およびランダムな変動成分を除去したものである(統計処理ソフトR, decomposeコマンドを使用). 期間前半(～40日付近)の水温は平均的に27度程度で推移し, その間の塩分濃度の変化も少ないことがわかる.

Fig. 3は, 和歌山県水産試験場が実施している定線観測結果の8月および9月の結果を示したものである. 観測点は沿岸定線WE16 (N33° 37.7', E135° 17.6')であり, 観測塔の沖側に位置する測点である. 2016年9月の水温は水深30m付近までほぼ一様の分布であり, 水深30m地点で水温が27度程度, 塩分濃度が34PSU程度であり, Fig.2に示す結果と対応している. また, 8月の結果において, 2016年は水深30mと水深

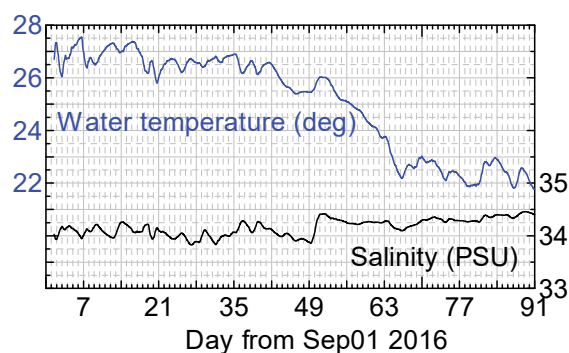


Fig. 2 Temporal variations of water temperature and salinity at 30m deep

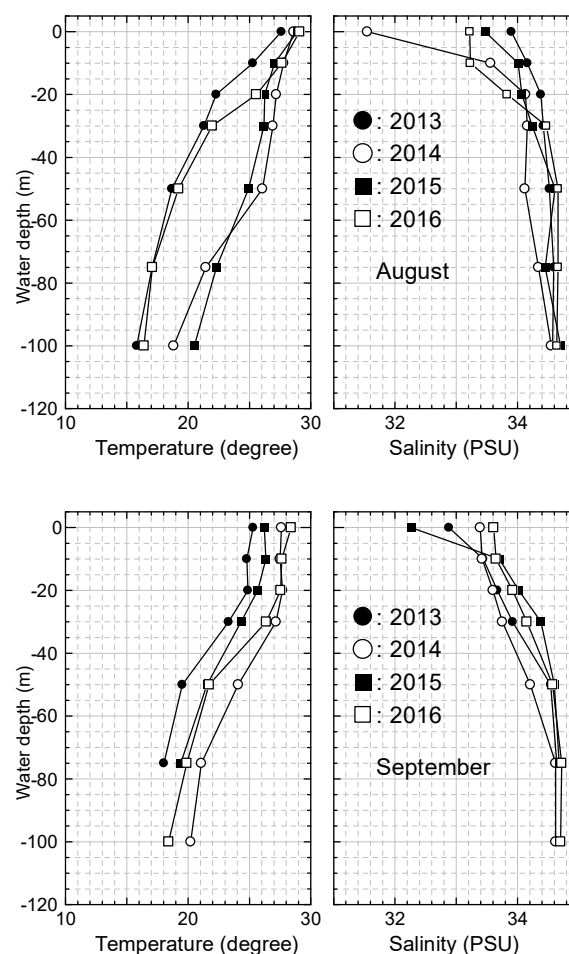


Fig. 3 Vertical profiles of water temperature and salinity (measured by Wakayama Pref.)

20mの水温差が4度程度あり(水深20mの水温が高い), 塩分濃度は水深30m以浅で大きく低下している. このことは, 2016年は夏期に成層が発達し, 水深20m～30m間での密度差の大きいことを示しており, その結果低層からの低温高塩水の侵入が明瞭に現れなかったのでは無いかと考えられる.

3. 台風16号接近時の観測データ

Fig. 4に、2016年台風16号の進路図を示す。台風16号は9/13に発生した後、沖縄近海、東シナ海を通過して、9/20に九州南部に上陸した。その後、日本の南海上を東進し、9/20午後には和歌山県田辺市に再上陸した。強い勢力の台風16号および前線の影響を受けて、各地で大雨、強風の被害をもたらした。Fig. 5は台風16号接近時における観測塔での観測結果（風向・風速、有義波高・有義波周期、水温、塩分濃度、気圧、気温）である。台風が再上陸した和歌山県田辺市の沖に観測塔は位置しており、気象庁が取りまとめているベストトラックデータに示されている台風中心位置と観測塔位置から推定される距離は、9/20の午前4時が最小で21km程度であった。台風の接近に伴い気圧の観測値も低下し、観測塔では9/20の13時半頃に期間中最低の気圧（978.2hPa）を記録した。台風16号が観測塔に近い進路を取り台風の暴風域に入ったため、強風速が観測されており、Fig. 5に示すプロペラ風速計（1分間平均値）による観測値では最大34.1m/s（9/20 13:11、風向147.8度）を記録した（超音波風速計で計測された瞬間最大風速は43.9m/s、白浜空港アメダスの瞬間最大風速は37.0m/s）。波浪は気圧が最低になった時期とほぼ同じ時間帯に（9/20 13時半頃）最大となり、超音波波高計による計測結果では有義波高が3.69m（周期10.4秒）となった。

Fig. 6は、ADCPで計測された反射強度の時系列を示したものである。ADCPは水深約9mに設置され、水面までの間の流速を計測している。その際、ADCPから発射された超音波の反射強度も同時に計測されており、Fig. 6では台風16号最接近を含む3日間のデータを示している。図中の赤丸はADCPで計測された水面位置を示している。図中、暖色で示された数値の大きな領域が反射強度の大きい場所であり、まず水面での反射強度が大きくなる。9/20のお昼前（図中横軸の20.25～20.5の間）辺りから、水面近くの反射強度が大きくなり、その領域が深い領域に広がる様子が確認できる。台風が接近し、強風、高波浪がピークに達する9/20の午後（図中横軸の20.5以降）にはADCPの位置まで反射強度が非常に大きい状態となり、その状況は数時間程度継続している。反射強度が非常に大きい時期には、強風、高波浪の影響により気泡が海中に取り込まれているものと思われる、その領域がADCP設置位置よりも深くまで及んでいることが予想される。台風の強風、高波浪が収まるにつれて、反射強度の大きな状況は解消され、台風接近前の状態に戻るが、計測範囲の深い領域（ADCPから2～4m程度まで）では反射強度が大きい状態が

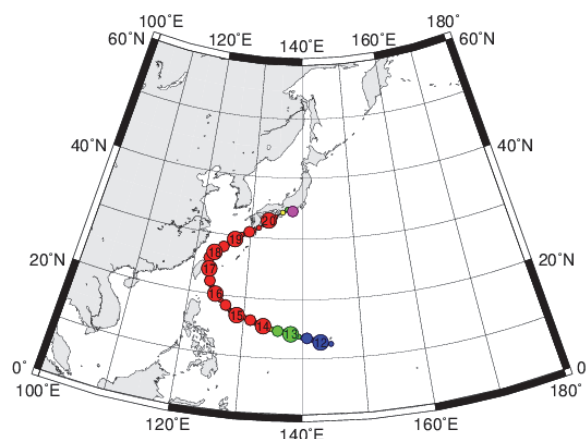


Fig. 4 Tracks of typhoon No.16 in 2016
(from Digital Typhoon Data)

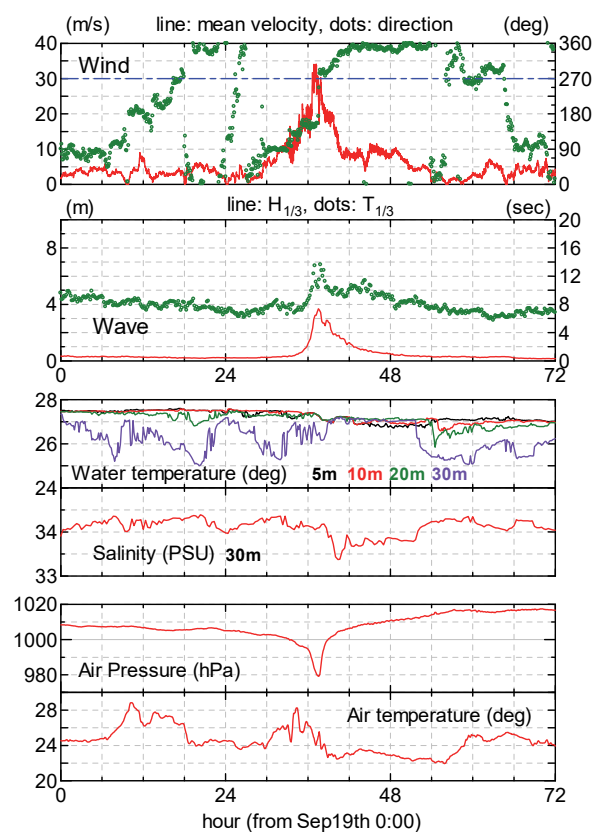


Fig.5 Temporal variations of wind, wave, water temperature, salinity, air pressure, and air temperature (Typhoon 201616)

翌9/21にわたって継続している。これは底面から巻き上げられたものが浮遊している状況に対応するものと思われる、時間とともに深い領域の反射強度が低下して徐々に沈降しているものと考えられる。

4. 観測期間中の水温変化

Fig. 7は、観測期間（9月～12月初旬）の水温データをコンター図で表示したものである。先に述べたように、2016年の観測結果では水深方向の水温差が相対的に小さく、9月中に20度を下回る低層水の侵入は見られない。観測塔付近の水温は9/20頃までは表層の水温が高い状態が続くが、台風16号の接近後は全層で27～28度程度となり、10月初旬以降から気温の低下傾向と対応するように全体的に水温が低下し始め、11月（横軸61日以降）に入ると22～23度の水温が支配的となる。ただし、11月に入っても水深方向に1～2度程度の水温差が発生する状況が継続している。観測期間全体の水温構造は上記のように大きく4つの時期に分類され、水温が大きく変化（低下）するのは10月中旬～11月初旬頃である。

水深5m, 10m, 20m, 30mでの水温データを周期成分（1日）、ランダム成分、およびトレンドに分解し、比較したものがFig. 8である。水温のトレンドについて

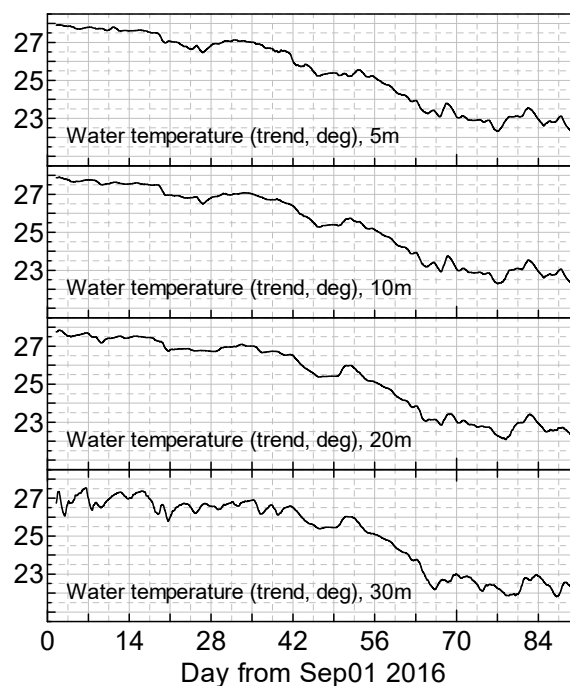


Fig.8 Temporal variations of water temperature from September to November

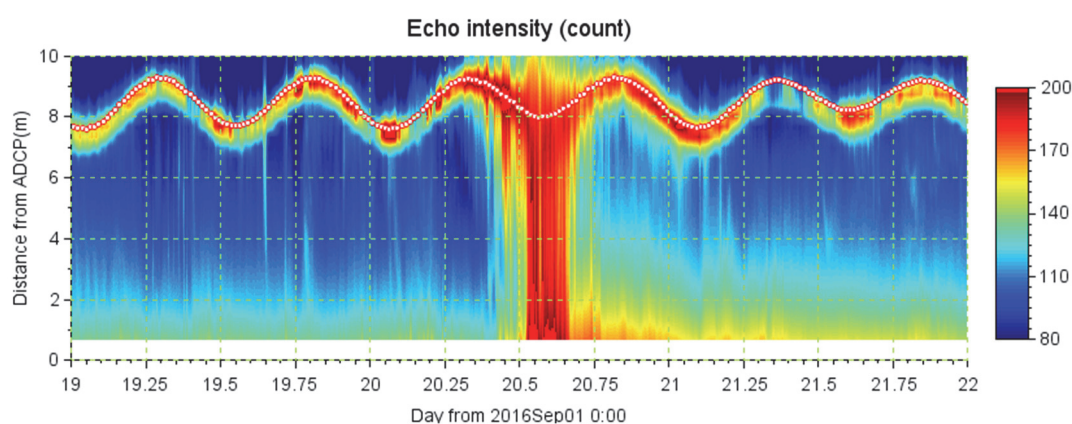


Fig. 6 Contour of echo intensity measured by ADCP (Typhoon 201616)
(Red circles show water surface measured by ADCP)

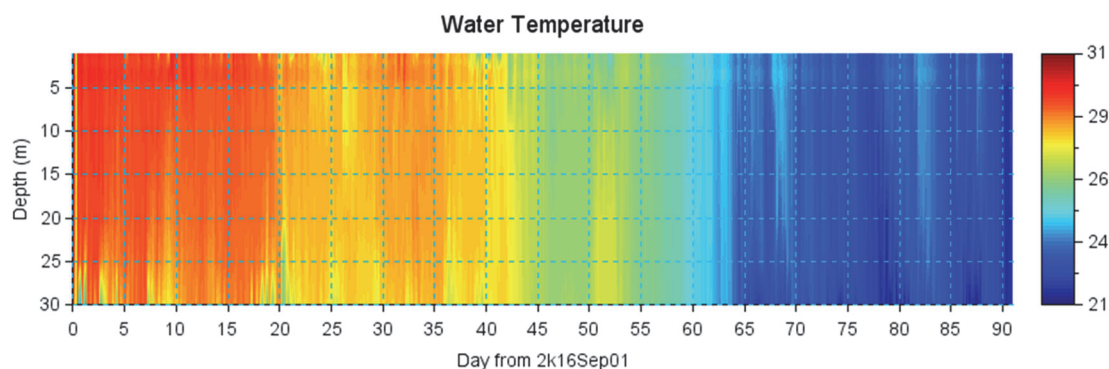


Fig. 7 Contour of water temperature from September to November

ては、いずれに水深においても似た時間変化を示している。水深30mの結果については、期間前半（0～40日前後まで）における水温変動が確認される。これは、水深30mでは低層からの低温の海水が侵入した際の影響を受けるためである。期間後半においても、水深30mでの変動が他の3つとはやや異なる部分がある。水温変化のランダム成分については、各水深において異なるが、水温変動の規模は水深30mでの計測結果が最も大きくなる。特に観測期間前半における水温変動が顕著であり、これは低層からの水塊の侵入（またはその逆）の影響を受けていることを示している。水深5m、10m、20mにおいては、水温のランダム成分は同程度の変動であるが、水深5mでは40日前後に比較的大きい水温変動が確認されている。この水温変動はFig. 7において40日前後に表層近くの水温が上下動することに対応もので、表層近くで変動幅が大きいことから、この時期に気温が大きく低下したことが要因の1つと考えられる。

Fig. 1に示すように、気温は観測期間中に次第に低下し、観測期間の最後には気温が10度を下回るようになる一方で、海水温は観測期間後半（11月以降）においても22～23度である。このように気温と海水温の差が大きくなる11月の水温のコンター図がFig. 9である（Fig. 7とはカラーバーの設定が異なる）。11月の最初は25度近い水温が月末には21度程度にまで低下している。このように全体的には水温の低減傾向が見られる中で、11月初旬（特に11/8前後）および11/21前後は24度近い水温が水深20m以浅で確認され、11/16前後には全体的な水温低下、11/18頃と11/26頃には低層を中心とした水温低下が見られる。紀伊水道の海況情報に関する資料（徳島県・週間漁海況情報、和歌山県・人工衛星海況速報）によると、24度程度の水温が観測された時期には、紀伊半島西側の沿岸に沿って暖水が流入していることが示されている。また、水温低下の時期（11/16前後）には内水系水が白浜沖まで流出していることが示され、水温が22度

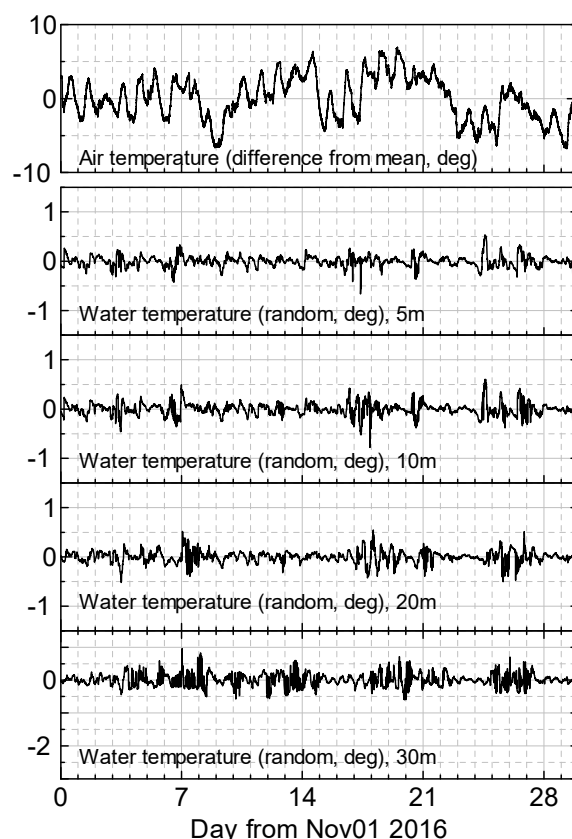


Fig. 10 Temporal variations of Air temperature (Top) and water temperature in November

台であることから、Fig. 9に見られる上記の水温変動は紀伊水道内の暖水流入、内水系水の流出に伴う温度変動を捉えた結果といえる。

Fig. 10は、11月中の水温（5m、10m、20m、30m）変動のランダム成分と、気温（11月中の平均値からの差）の時系列を示したものである（ランダム成分については、Fig. 2と同じ方法で求めた）。上記の水温上昇は、11/7～11/8、11/21付近に確認され、水深5m、10mにおいては11/25にも0.5度程度の温度上昇が確認でき、Fig. 9とも対応している。11/16付近の水温

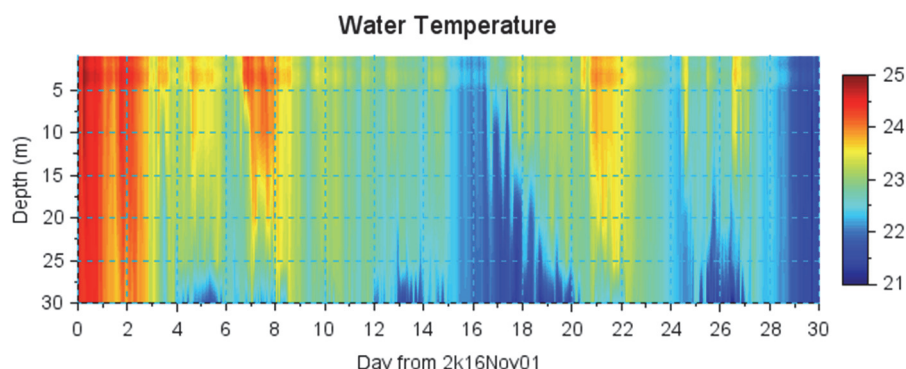


Fig. 9 Contour of water temperature in November

低下はランダム成分の変動では明瞭ではないが、11/17～11/18にかけての水深10m, 20mにおける水温の上下動は、Fig. 9に示された温度変化をよく表している。

5. おわりに

本報告は、2015年夏期に白浜海象観測所・田辺中島高潮観測塔周辺で実施された現地観測の結果について、その概要ならびに主な観測結果について示したものである。

2016年の観測では、9月に台風16号が観測地点付近を直撃する進路をとったため、最大瞬間風速で40m/sを超える強風が観測され、超音波波高計の計測結果では4m近い有義波高が計測された。ADCPにより計測された反射強度の結果では、台風最接近の数時間程度にわたって反射強度が非常に高い状況、すなわち気泡などが取り込まれた状況が継続していることが捉えられ、同時期には水温も水深方向にほぼ一様となり、鉛直方向の水温差が少ない状況が約12時間程度継続した。

観測期間中の水温の変化は、水温が高く水深方向に水温差のある時期から、水温差の少ない混合層が発達する様子を示している。また、水温の高い時期には最も深い計測点（水深30m）において水温と塩分濃度の変化が逆位相になっており、外洋側の影響（低温高塩分）が波及している影響を示唆している。ただし、過去の観測結果と比較して、2016年の観測結果では観測期間前半において水温変化が大きいのは水深30mの計測結果のみであり、浅い計測点での水温変化が例年に比べて小さい結果となった。

水深方向の水温差が小さくなり、混合層が発達する時期の11月の水温変化には、暖水の流入、内水系水の流出に伴うと考えられる水温の上昇、低下が確認され、水深方向に1度以上の温度差が発生する場合が捉えられている。暖水や内水系水の流入、流出による水温変動は、水温変動のランダム成分としても捉えられている。

参考文献

- 内山雄介・松川大祐・神吉亮佑・馬場康之・森 信人・水谷英明・渡部靖憲・大塚淳一・山田朋人・猿渡亜由未・二宮順一（2014）：紀伊半島田辺湾湾口部における海水交換特性に関する研究，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.70，I_446-I_450。
- 内山雄介・吉木智軌・多田拓晃・馬場康之・水谷英朗・久保輝広・森 信人・猿渡亜由未・大塚淳一・二宮順一・渡部靖憲・山田朋人（2016）：半閉鎖性海域湾口部における成層期および成層崩壊期の流動構造と海水交換について，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.72，I_493-I_498。
- デジタル台風：<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>。
徳島県立農林水産総合技術支援センター：週間漁海況情報。
<http://www.pref.tokushima.jp/tafftsc/suisan/information/week/>
- 馬場康之・水谷英朗・久保輝広・内山雄介・森 信人・渡部靖憲・大塚淳一・山田朋人・猿渡亜由未・二宮順一（2014）：台風通過に伴う田辺湾湾口部における海水温変化について，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.70，I_476-I_480。
- 馬場康之・水谷英朗・久保輝広・内山雄介・森 信人・渡部靖憲・山田朋人・猿渡亜由未・大塚淳一・二宮順一（2016）：田辺中島高潮観測塔における2015年夏季台風接近時の現地観測結果，京都大学防災研究所年報，第59号B，pp.431-437。
- 森 信人・鈴木崇之・木原直人（2010）：海洋表層鉛直混合に およぼす風応力と波浪の影響，土木学会論文集B2（海岸 工学），Vol.66，No.1，pp.311-315。
- 和歌山県水産試験場：人工衛星海況速報，
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/071001/eisei_1.html
- 和歌山県水産試験場：定線観測情報，
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/071001/jamstec_link/Rink_Page.html
- Baba, Y., Kubo, T., Uchiyama, Y., Kihara, N., Mori, N., Muto, Y., and Suzuki, T. (2013): Field observations at an offshore observation tower during the typhoon seasons, Proc. of the 35th IAHR, Chengdu, China (CD-ROM).

付 録

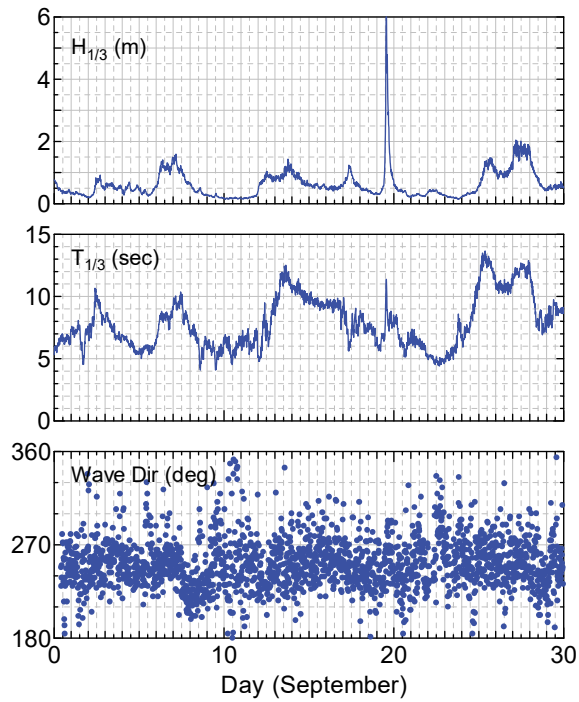


Fig.11 Temporal variations of significant wave height (Top), significant wave period (Middle) measured by radiowave wave gauge, and wave direction (bottom) measured by ADCP in September

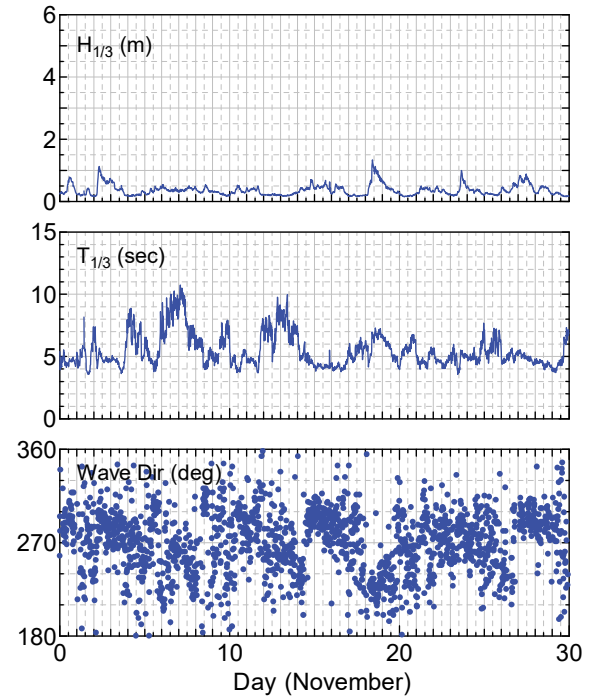


Fig.13 Temporal variations of significant wave height (Top), significant wave period (Middle) measured by radiowave wave gauge, and wave direction (bottom) measured by ADCP in November

(論文受理日：2017年6月13日)

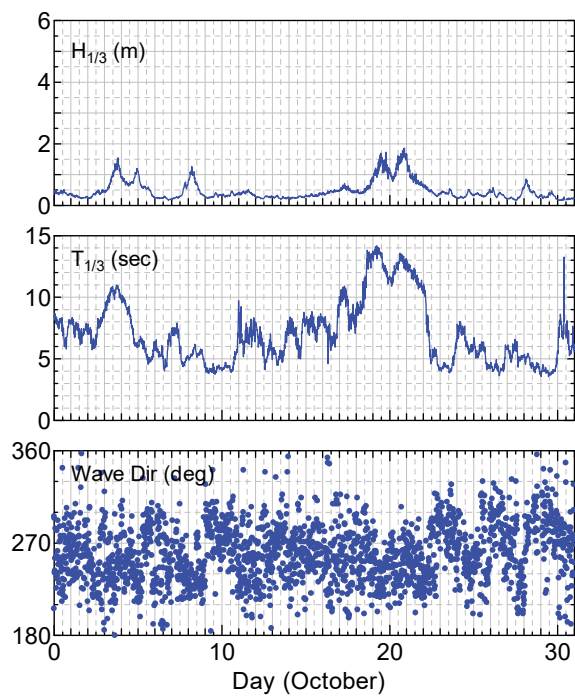


Fig.12 Temporal variations of significant wave height (Top), significant wave period (Middle) measured by radiowave wave gauge, and wave direction (bottom) measured by ADCP in October