

## 田辺中島高潮観測塔における2012年夏季観測結果

### Field Measurements at Tanabe-Nakashima Observation Tower in the Summer of 2012

馬場康之・久保輝広・内山雄介<sup>(1)</sup>・森信人

Yasuyuki BABA, Teruhiro KUBO, Yusuke UCHIYAMA<sup>(1)</sup> and Nobuhito MORI

(1) 神戸大学大学院 工学研究科 市民工学専攻

(1) Department of Civil Engineering, Kobe University

#### Synopsis

This paper shows some results of intensive field observations carried out in the summer seasons in 2012. The intensive field observations have been conducted at the observation tower of Shirahama Oceanographic Observatory (SOO), DPRI, Kyoto University. One of the aims of the observations is field data measurements to comprehend the vertical mixing process due to wind and wind wave. During the observations, one typhoon (TC17, Jelawat) hit the Kii peninsula and passed along the southern coast of Japan. In the observation, the vertical profiles of currents and water temperature have been measured as well as wind and wave conditions. The main results are as follows: Strong wind and high wave conditions have occurred when the typhoon hit the observation site. The water temperature fell down a few hours later the typhoons come close to the observation site. The observed results underline the needs for the continuous observation activities and multidimensional data analysis.

**キーワード:** 現地観測, 台風, 鉛直混合

**Keywords:** Typhoon, Field observation, Vertical mixing

#### 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（例えば、森ら、2010；木原ら、2011；森ら、2011；馬場ら、2012）。2012年夏季の現地観測は、「高潮・波浪災害リスク軽減に向けた大気-海洋-地盤系における界面力学過程に関する現地調査」（防災研究所・一般共同研究）の一部として実施されており、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。

#### 2. 現地観測の概要

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、Fig. 1に示す観測機器を設置して、以下の項目についての計測を行った。

大気圧、気圧、比湿、風速、風向、波高、海面温度、水温、流速、流向

水温計測点（全14点）：水深3m～10mまで1m間隔、水深15m、水深20m、水深25m、水深30m、ADCP計測地点

2012年の夏期集中観測は8/10～11/1の間実施された。2012年に紀伊半島付近に接近した台風のうち、

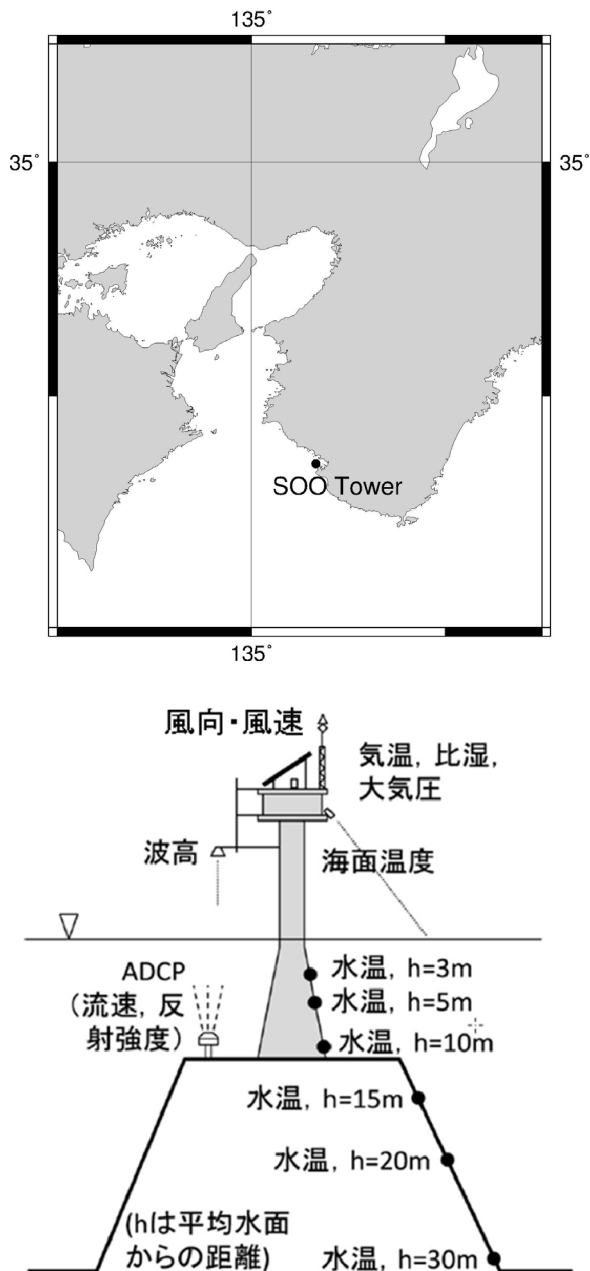


Fig. 1 Location of the observation tower and measurement set-up at observation tower

観測期間中に接近したものは1つ(台風17号, Jelawat)である。上記観測項目のうち、水温2点(水深25m, ADCP計測地点)は測器の動作不良のため欠測となった。

## 2.1 台風17号

Fig. 2は、台風17号および2011年の台風15号(Roke)の移動経路である。台風17号は日本の南海上で非常に強い勢力に発達した。その後、日本列島に沿うように、速度を速めつつ東へと移動した。日本付近の移動経路は、2011年の台風15号と似た経路を取っている。

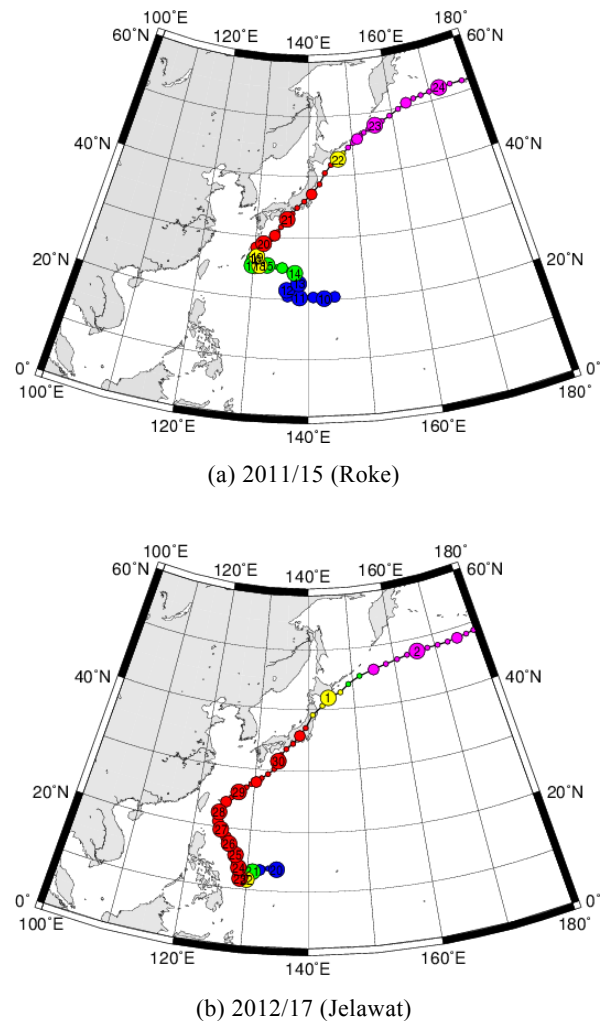


Fig. 2 Track of typhoon  
(from Digital Typhoon Data)

Fig. 3は、台風17号の移動速度と田辺中島高潮観測塔に対する角度の時間変化を示したものである。比較のため、2011年台風15号についても、同様の図を示している。図中、横軸は時間(日表示)を表しており、ゼロは台風の位置(気象庁, RSMC Best Track Data)と田辺中島高潮観測塔の距離が最小になった時点を示している。二つの台風の移動が似た傾向を持っていることが、Fig. 3からわかる。すなわち、観測塔への最接近後に速度を速めていること。紀伊半島の南を東進したため観測塔に対する角度の時間変化が似ていることの2点である。

なお、台風17号は観測塔への接近速度が2011年台風15号に比べてやや早い。また、Fig. 2から2011年台風15号は紀伊半島接近前に日本に近いところをゆっくりとした速度で移動しているのに対し、台風17号は日本から離れた場所で発達し、日本へ接近を始めた段階から移動速度を速めていることがわかる。

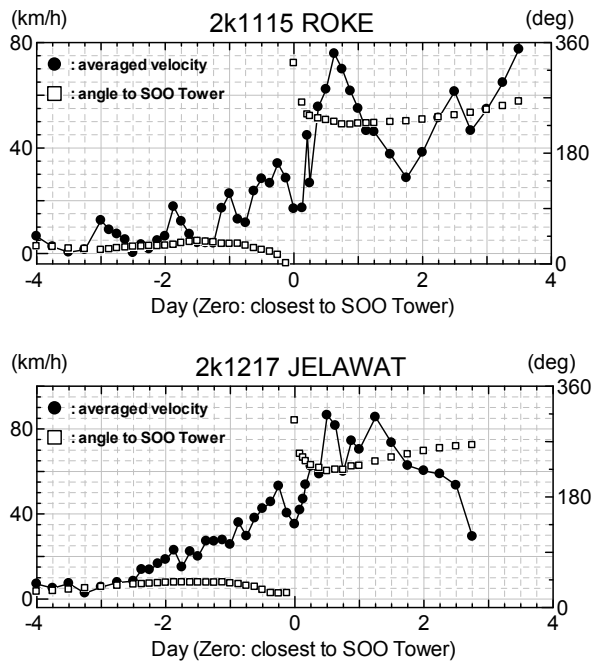


Fig. 3 Moving velocity of the typhoons and the angle to the observation tower of SOO

### 3. 観測結果

本章では、田辺中島高潮観測塔周辺で観測された結果について、気象・海象の結果、ADCPによる流動の結果、および水温計による水温分布の結果についてそれぞれ示す。

#### 3.1 気象・海象の状況

Fig. 4は、田辺中島観測塔で計測された風速・風向、有義波高・有義波周期、気圧および潮位の時系列である。2012年の観測時は気圧計に不具合が発生しており、台風最接近に伴う気圧の低下が計測されている以外は欠測である。これらの観測データは、白浜海象観測所web上で公開されているデータであり、毎時の平均値を示している。

白浜海象観測所・観測データページ

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/~rcfd/frs/shirahama/data.php>

計測結果は台風17号接近時の前後4日間の結果であり、観測塔付近における気圧が最低となる時期は、9/30の15～16時頃である。先に述べたように、台風17号は日本付近に接近してから移動速度が早く、強風、高波浪の状況は台風最接近の時期のみに発生している。台風の接近前から、10秒を超える周期の波が観測されている。これは南海上に台風があるため、2011年以前の観測においても台風接近前に10秒を超える周期の波の入射が確認されている（馬場ら、2012）。

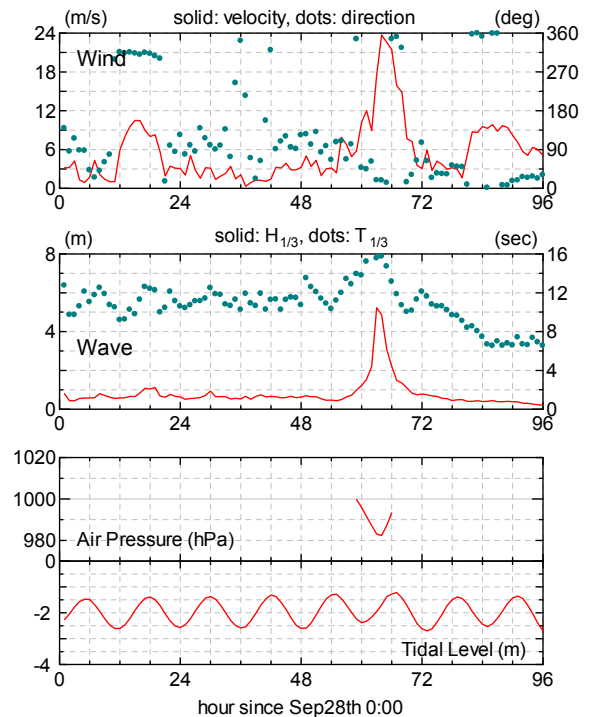


Fig. 4 Temporal variations of wind, wave, air pressure and tidal level (Typhoon 2012/17)

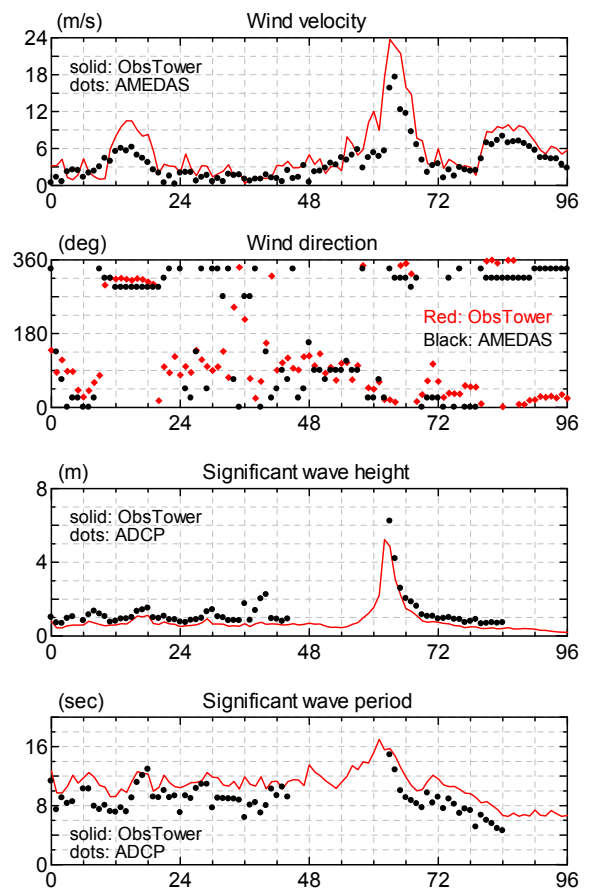


Fig. 5 Comparisons of measured results on wind and wave (Typhoon 2012/17)

Fig. 5は、観測塔での計測結果を、他の計測結果と比較したものである。風速・風向の比較には南紀白浜空港アメダスの時間データを、有義波高、有義波周期については、観測塔近くに設置されたADCPの計測結果を比較に用いた。ADCPのデータは台風接近前の半日間程度が欠測となっている。

いずれの比較においても、観測塔でのデータとアメダスおよびADCPのデータはほぼ同様の時間変化を持つことが確認される。強風時の風速、台風最接近時の有義波高などに計測結果の異なる部分が認められるが、風速、波高、周期については総じて良好に一致していることがわかる。風向については、風速の弱い時期の風向にやや違いがみられるが、風速がある程度大きい状況においてはほぼ同様に変化している様子が確認できる。

### 3.2 流速分布の時間変化

Fig. 1中のADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) は、超音波を使って流速・流向の鉛直分布を計測することができる。本観測で用いている機器は流速と同時に波に関する観測（波高、周期、波向き等）も計測することができ、波のデータは先のFig. 5（観測塔データとの比較）で示した通りである。

Fig. 6は、台風17号接近前後の流速（東西成分、南北成分、鉛直成分）の時間変化を示したものである。Fig. 6内の赤い点はADCPで計測された水面位置であり、Fig. 5同様、台風接近前のADCPデータは欠測となっている。

台風が紀伊半島の南を東進する際、接近前は南寄り、接近後は北寄りの風が吹くことが多い。台風17号の場合は、Fig. 4から台風接近前は南東～東寄りの風向が卓越し、接近後は北寄りの風が増えていることがわかる。風速20m/sを超える強い風は北寄りで、数時間程度継続している。その強い北風によって発生した南向きの吹送流が捉えられている（Fig. 6b, 700hr付近）。台風17号接近時は、強風の継続時間が短く、接近前後の風速が弱かったために、吹送流の発達や流向・流速の明確な変化は確認できていない。

一方、2011年台風15号接近時は、台風接近前から風速10m/s程度の南風が1日程度連続し、台風の通過後には北寄りの風となり、風速10m/sを超える強風が2日程度連続した。その結果、台風の接近前には北向きの吹送流が、台風の接近後には南向きの吹送流が卓越する結果となり、台風の最接近を境に流向が急激に変わっている様子が確認できる（Fig. 7）。

台風が接近して波が高い状況になると、砕波、鉛直混合による気泡の混入が促進される（吉岡ら、2003）。その結果、ADCPの計測結果において本体から発信された音波の反射強度が増加する傾向がある。

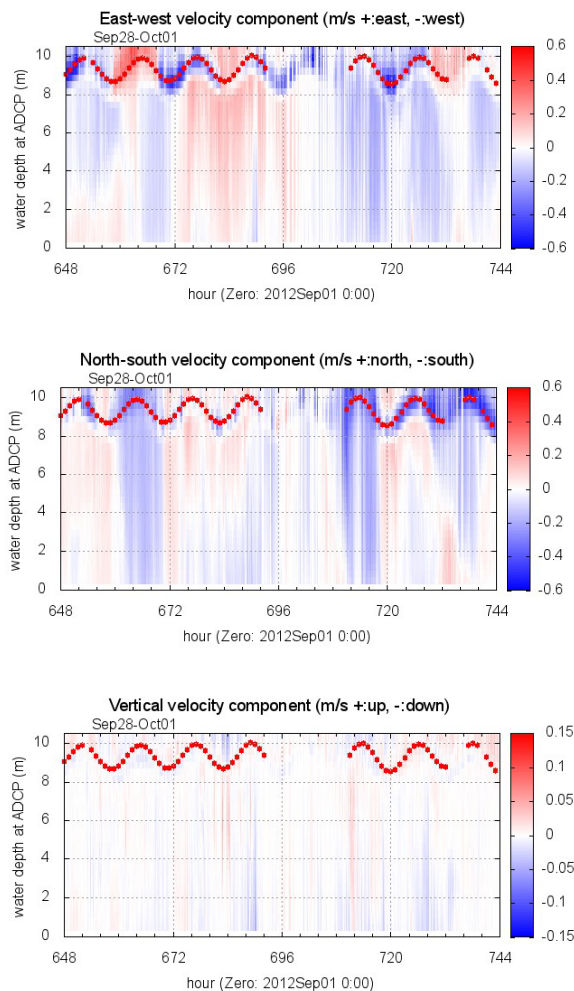


Fig. 6 Contours of velocity components measured by ADCP (Typhoon 2012/17)

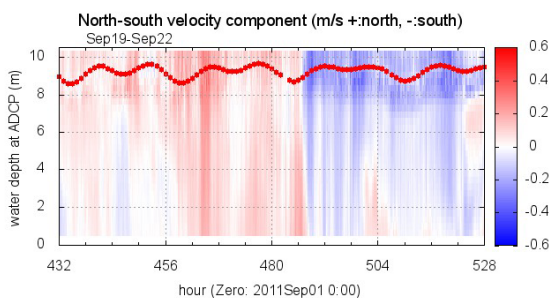


Fig. 7 Contours of north-south velocity component measured by ADCP (Typhoon 2011/15)

Fig. 8は、台風接近時の音波の反射強度の時系列を示したものである（縦軸：ADCPからの距離、赤点：海水面）。比較のため、2011年台風15号接近時の結果も合わせて示す。図中の三角印は、計測された有義波高の3倍に相当する水深の位置を示している。また、図中色の付いていない部分は欠測を意味している。

両方の計測結果において、台風最接近時を中心に、反射強度の高い部分がADCPの設置水深にまで達し



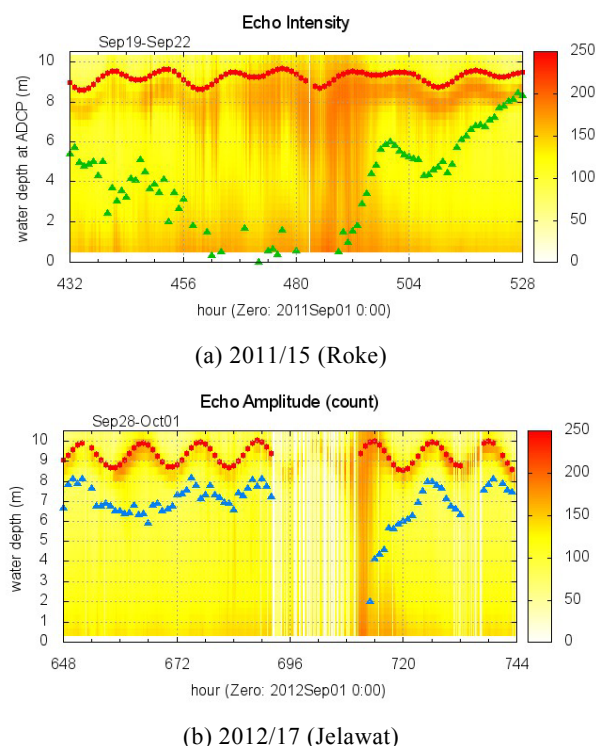


Fig. 8 Contours of echo intensity (including depth related to wave height)

ている様子がわかる。2009年の計測結果(森ら, 2010)では、台風最接近の前からうねりの碎波の影響と考えられる反射強度の増加が指摘されている。台風接近前から周期が長く、相対的に波高の大きな波が計測されていた2011年台風15号の場合、台風最接近の1日程度前から反射強度が計測範囲の半分程度にまで達する様子が見られる。一方、台風接近前の波高が小さく、風速も弱かった台風17号の観測結果では、反射強度が大きいのは台風最接近時に限られ、接近前後においては静穏期と同程度の状況であったことが確認できる。

### 3.3 水温の時間変化

Fig. 9は台風17号接近前後の観測塔付近における水温の時間変化、Fig. 10は観測期間全体における海水温と気温(南紀白浜空港アメダス)の時系列を示したものである。

Fig. 9には水深の異なる5地点での水温の時間変化が示されている。台風17号接近前、水深約30mの田辺湾湾口付近の水温は、鉛直方向にほぼ一律の値になっていることがわかる。この状況はSTDによる水温の鉛直分布計測結果からも確認されている。観測塔付近の水温分布が鉛直方向に一様に近くなったのは、9/25付近(図中1100hr頃)以降である。この結果については、外海側との関係など、紀伊水道に対して開放性の湾であることによる影響を考慮した検討

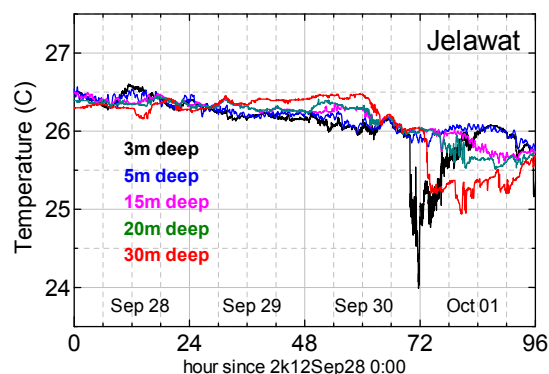


Fig. 9 Temporal variations of water temperature at SOO tower

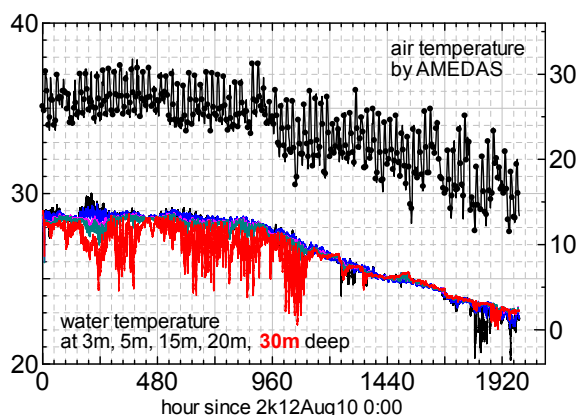


Fig. 10 Temporal variations of air temperature and water temperature at SOO tower

が必要である。

台風最接近時には、最も表層の計測点(水深3m)の水温が約2度程度低下している。これは、強風・高波浪条件下において、海水温よりも低い空気との混合の影響によるものと考えられる。Fig. 10に示すように、台風17号接近時(図中1250hr頃)には、気温(右軸)が低い時には20度程度まで下がっており、海水温(左軸)を下回る状況となっている。

Fig. 9において台風通過後に水深30mの水温が1度程度低下、水深20mの水温がわずかながら低下している様子が確認できる。これらの結果は表層での混合によるものとは考えにくく、湾外からの影響を含めた検討が必要である。

Fig. 11は水深10m以浅の水温変化、Fig. 12は台風通過前後の気温、海水面温度(放射温度計による)および水深3m地点の水温の時間変化を、海上風、波浪の時間変化と合わせて示したものである。

上述の通り、台風17号接近時には表層付近の海水温が2度程度低下している。その結果は、Fig. 11でも確認できる。表層の水温が低下しているのは、Fig. 11中72hr付近より少し早い時刻からであり、Fig. 12下段の水温の時間変化からも確認できる。しかしながら、

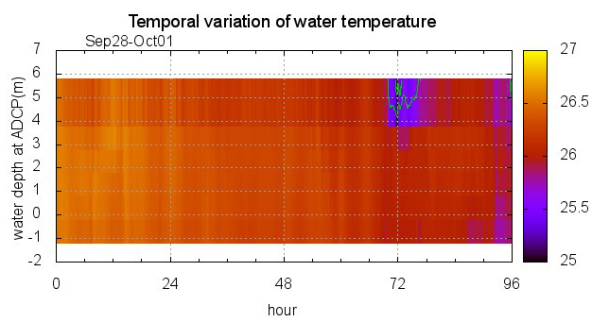


Fig. 11 Contours of water temperature  
(Typhoon 2012/17)

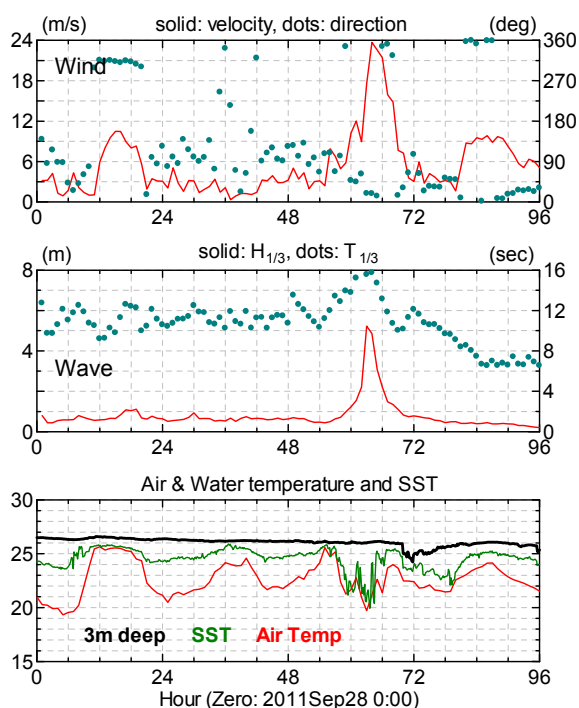


Fig. 12 Temporal variations of wind, wave and temperature (Typhoon 2012/17)

台風最接近に対応する強風・高波浪のタイミングからは数時間程度遅れて発生している。9月、10月に観測塔付近を台風が通過した際に、表層付近の水温が低下する状況は従来の観測においても確認されている。ただし、水温低下の程度や低下が発生するタイミングには差異があり、温度低下の原因が田辺湾内への河川水の流入の影響を受けている可能性も指摘されている（馬場ら，2012）。

#### 4. まとめ

本報告は、2012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、その概要を示したものである。

2012年の観測では、台風17号が紀伊半島の南側を

東進する際の現地データを収集することができた。台風17号は南海上で発達した後、日本の南海上を速い速度で移動した。台風接近時にはこれまでに観測された台風と同様に強風・高波浪が観測されたが、強風・高波浪の継続時間は短く、台風接近前後数時間程度に留まった。その結果、表層混合による気泡の混入など水中における音波の反射強度を示す値も、台風接近時のみ大きくなっている。

台風17号と同様の経路を取った2011年台風15号接近時には、周期の長い波（有義波高2m以上）が最接近の1日ほど前から入射し、音波の反射強度も増加する状況が観測されており、台風17号の状況とは大きく異なることが確認された。

また、2011年台風15号接近の前には南寄りの強風、通過後は北寄りの強風が連続したため、流速の観測結果は強風に対応した吹送流の発生を捉えており、台風の通過に伴って流向が逆転している様子が計測されているが、台風17号は台風最接近時の強風に対応した吹送流が計測されるだけに留まった。

2012年の観測では、表層付近（水深3m～10m）の水温を1m間隔で計測した。表層付近の水温は、台風最接近の数時間後に2度程度低下する様子が確認された。表層で水温が低下したのは水深5mまでで、水温の低下傾向は10時間程度継続した。台風の接近前後に観測される水温の低下は、台風最接近時に発生するばかりではなく、湾内への河川水の流入が影響する可能性も考えられる。台風17号の接近に伴う表層水温の低下は強風・高波浪による鉛直混合によるものと考えられるが、ほぼ同じタイミングで水深30mの水温も低下しており、水温の鉛直構造については田辺湾への湾外からの影響を含めた検討が必要である。

#### 謝 辞

本研究は、防災研究所一般共同研究「高潮・波浪災害リスク軽減に向けた大気-海洋-地盤系における界面力学過程に関する現地調査」（神戸大，防災研）の成果である。現地観測の実施にあたり、電力中央研究所の今村正裕氏、木原直人氏から水温計、放射温度計などのご提供を受けた。現地観測の実施ならびにデータの処理、検討にご協力いただいた各位に記して謝意を表する。

#### 参考文献

気 象 庁 : RSMC Best Track Data ,  
<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>.

木原直人, 中屋耕, 坪野考樹, 松山昌史, 平口博丸,  
森信人, 鈴木崇之, 武藤裕則 (2011) : うねりと発  
達中の風波が混在する湾内における大気・海洋間運  
動量輸送, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第67巻,  
pp.51-55.

木原直人, 中屋耕, 坪野考樹, 松山昌史, 平口博丸,  
大原信, 森信人, 鈴木崇之, 武藤裕則 (2011) : 気  
象擾乱の数値予測精度向上のための研究(その2)―  
現地観測による沿岸域での大気・海洋運動量輸送に  
関する検討―, 電力中央研究所報告, N11055.

デジタル台風:<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>.

馬場康之・久保輝広・森信人・木原直人 (2012) :  
田辺中島高潮観測塔における2011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55

号B, pp.343-350.

森信人・鈴木崇之・木原直人 (2010) : 海洋表層鉛  
直混合におよぼす波浪の影響, 京都大学防災研究所  
年報, 第53号B, pp. 425-432.

森信人, 田中悠祐, 間瀬肇, 鈴木崇之, 木原直人  
(2011) : 沿岸域における強風時の強鉛直混合につ  
いての数値実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), 第  
67巻, pp.321-325.

吉岡洋, 松本昌幸, 芹沢重厚, 高山知司 (2003) 超  
音波反射強度から求めた砕波に伴う気泡連行特性,  
海岸工学論文集, 第50巻, pp.116-120.

(論文受理日 : 2013年6月11日)