

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

馬場康之・久保輝広・森信人・木原直人⁽¹⁾

(1) (財) 電力中央研究所 地球工学研究所

要 旨

白浜海象観測所では、毎年夏期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。2011年の夏期集中観測は8/11～11/8の間実施され、観測塔による波高、潮位、海水温計測に加えて、ADCP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が実施された。観測期間中、台風12号および台風15号が紀伊半島付近を通過した。観測塔近くでADCPにより計測された流速分布は、風の変化（特に南北方向）に対応した変化を示しており、台風最接近時にはADCP設置地点（水深約9.2m）付近まで鉛直混合が発達していることが確認された。また、台風接近時の観測塔付近の波浪状況や水温の鉛直分布が台風12号および台風15号で異なる様子が計測されたほか、河川水位の上昇に対応すると思われる表層水温の低下も観測された。

キーワード：現地観測，台風，鉛直混合

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）。2011年夏季の現地観測は、「強風時を対象とした大気・海洋相互作用観測プロジェクト」（防災研，電中研）の一部として実施されたものであり、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（全6点）、流速、流向

2011年の夏期集中観測は8/11～11/8の間実施された。2011年に紀伊半島付近に接近した台風は3つで、そのうち2つ（台風12号，15号）の来襲時における観測データを収集することができた。台風12号は紀伊半島を中心に多大な豪雨災害をもたらしたことは記

憶に新しいところであるが、以下ではこれら3つの台風について概説する。

2.1 紀伊半島に來襲した3つの台風

(1) 台風6号

Fig. 2は、台風6号の移動経路である。台風6号は非常に勢力が強く、超大型の台風で、四国付近に接近

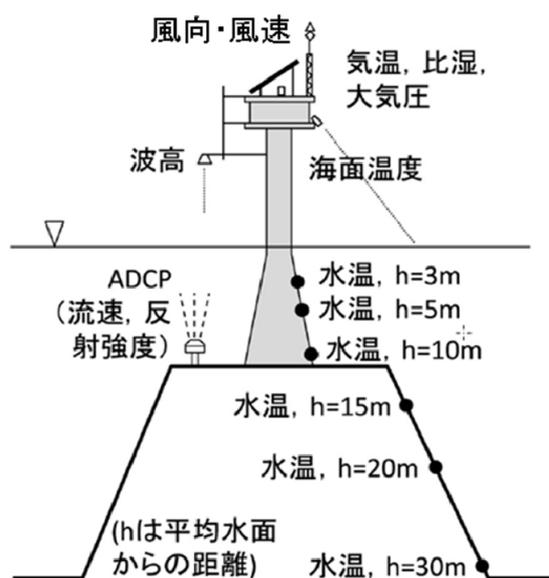


Fig. 1 Measurement set-up at observation tower

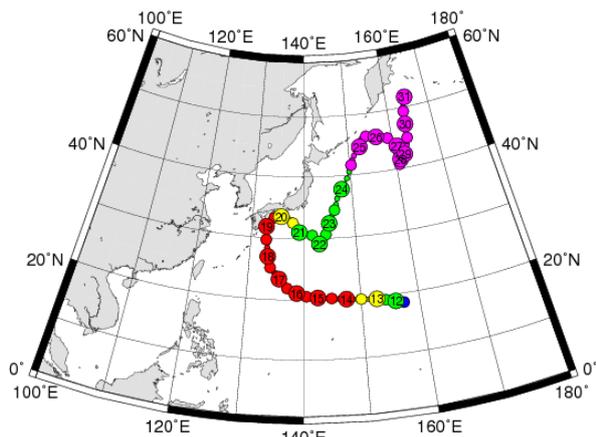


Fig. 2 Track of typhoon 2011/06 (Ma-on)
(from Digital Typhoon Data)

した後、7/20に紀伊半島付近を西から東に縦断する形で移動した。次に示す台風12号と同様に、日本への接近速度が遅く、四国や紀伊半島で800mm前後の24時間雨量を記録した。

(2) 台風12号

Fig. 3は、台風12号の移動経路である。大型で強い台風であり、9/2～9/3にかけて四国から中国地方にかけてゆっくりと北上した。台風の動きが遅かったために、西日本を中心に長時間にわたって大雨となった。特に紀伊半島では広い範囲で総降雨量が1000mmを超え、多いところでは1800mmを上回るなど記録的な大雨となり、土砂災害、河道閉塞、浸水被害など各地に甚大な被害をもたらした（気象庁、2011）。

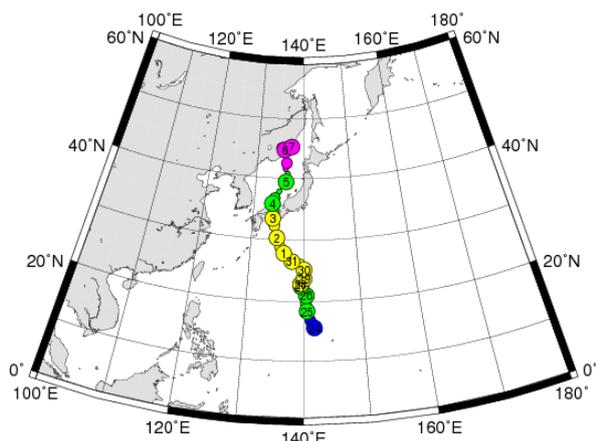


Fig. 3 Track of typhoon 2011/12 (Talas)
(from Digital Typhoon Data)

(3) 台風15号

Fig. 4は、台風15号の移動経路である。2011年に日本に上陸した3個目の台風であり、勢力が非常に強く上陸時の中心気圧は950hPaを下回っていた。台風15

号は9/21に静岡県浜松市付近に上陸した後、速度を上げながら東日本を縦断する形で北東に移動した。台風15号通過時には広い範囲で大雨、暴風となり、名古屋の庄内川の越水による浸水被害が出たほか、関東地方では強風のために公共交通機関への影響が広がった。

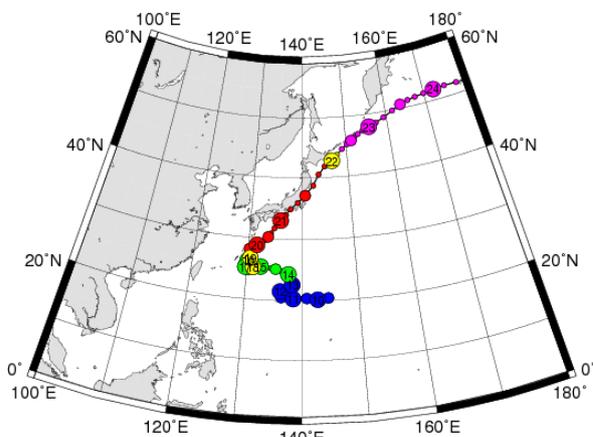


Fig. 4 Track of typhoon 2011/15 (Roke)
(from Digital Typhoon Data)

3. 観測結果

3.1 気象・海象の状況

Fig. 5, Fig. 6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。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/~rcfcd/frs/shirahama/data.php>

計測結果はそれぞれ台風12号、台風15号の接近時前後の結果であり、観測塔付近における台風の最接近が気圧が最低となる時期と考えると、台風12号は9/2の18時頃、台風15号は9/20の12時頃となる。先に述べたように、台風12号は9/2～9/4にかけての移動速度が非常に遅く、Fig. 5においても9/2～9/3を中心に気圧の低い状態が続き、平均風速が20m/sを超す状況が長時間継続している様子が確認できる。

一方、台風15号（Fig. 6）は非常に勢力が強く、気圧低下の度合いは台風12号よりも大きいものの、紀伊半島の南をかすめるように速度を上げながら通過したため、観測塔周辺での風の強い状況は9/20の後半のみとなっている。

台風の移動が二つの台風で大きく異なったため、

風速・風向の時間変化にもその影響が出ている。台風12号の場合、南南西または南からの強風（20m/sを程度）が約1日半にわたって連続した。台風15号では台風接近前は10m/s以下の南よりの風が、台風最接近から通過後の半日程度の間は北からの吹き返しが強く吹いている。これは、観測塔の南側（紀伊半島南端）を台風が北東に通過したことによるもので、台風の通過に伴う風向の変化が明瞭に表れている。

波の状況も2つの台風来襲時の特徴は異なり、台風12号の際は有義波高が最大で2m程度にとどまっている。周期は台風接近前から最接近にかけては12秒程度のうねりを伴う波が進入し、台風通過後は徐々に周期が短くなっている。有義波周期の時間変化は台風15号においてもほぼ同様であるが、台風最接近時には周期が16秒程度に増加していること、また有義波高も台風接近前で3m程度、最接近時には5mに達する値となり、風速の変化と同様に短時間で変化する結果となっている。

Fig. 7, Fig. 8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（北西側）に設置されたADCPの計測結果を比較に用いた。

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が、強風時の風速、台風最接近時の有義波高や、台風通過後の有義波周期などに計測結果の異なる部分が認められる。逆に、風向については一致の度合いが高く、異なる2地点（アメダスは海拔100m程度の高台、観測塔は海拔20m付近で計測）の結果であるにも関わらず、良好に一致していることがわかる。

有義波高、有義波周期の計測結果については、観測塔周辺の海底地形の影響や、観測塔での計測位置（観測塔南側で計測しているため、北寄りの波については観測塔自体の影響が考えられる）の影響などが含まれており、観測データの処理系を含めた観測内容確認作業を実施中である。

3.2 流速分布の時間変化

Fig. 1に示されている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。ここ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、波向きなど）も計測することができ、波のデータは先のFig. 7, Fig. 8に示した通りである。

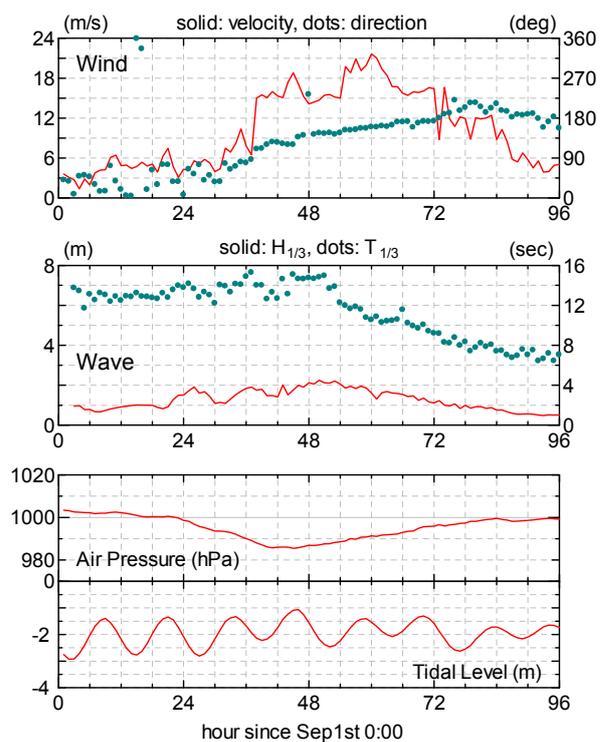


Fig. 5 Temporal variations of wind, wave, air pressure and tidal level (Typhoon 2011/12)

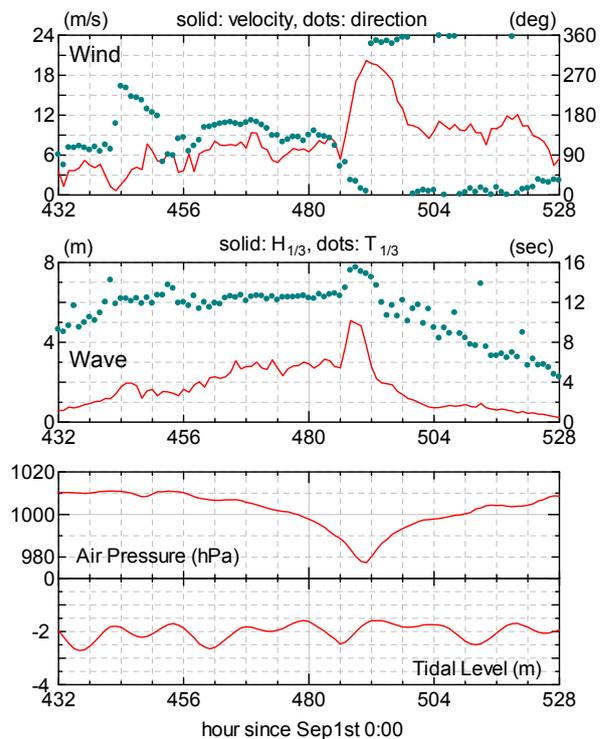


Fig. 6 Temporal variations of wind, wave, air pressure and tidal level (Typhoon 2011/15)

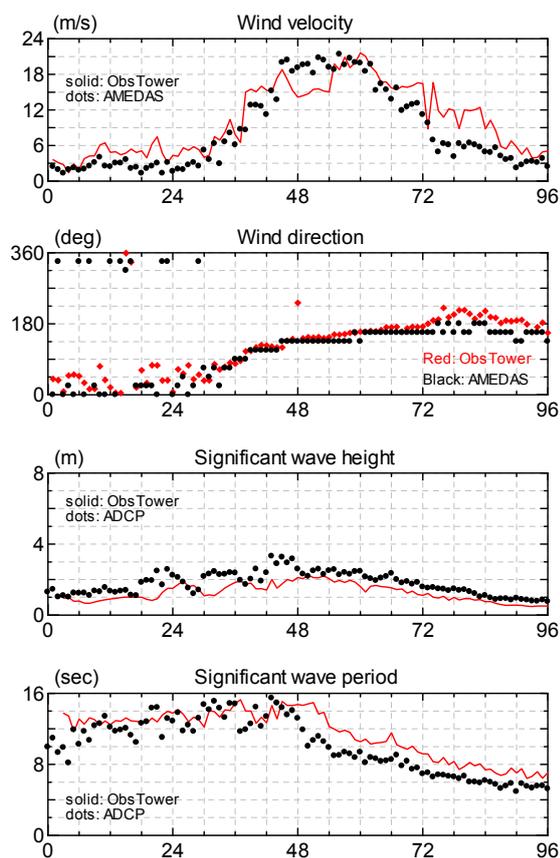


Fig. 7 Comparisons of measured results on wind and wave (Typhoon 2011/12)

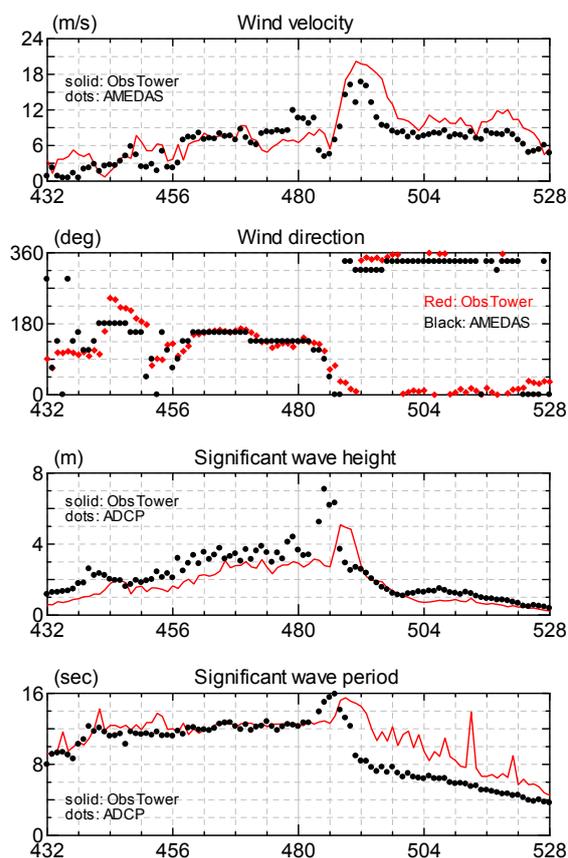


Fig. 8 Comparisons of measured results on wind and wave (Typhoon 2011/15)

Fig. 9, Fig. 10は、台風12号接近前後の水平方向流速、鉛直方向流速の時間変化を示したものである。流速データは水深3m付近、9m付近のデータで約1m厚（3層分）のデータの平均値を示している。鉛直方向の流速は台風接近時においても小さな値にとどまっている。水平方向の流速は台風接近時の南南東または南からの強風に対応して、北または北西向きの流速が卓越していることがわかる。ただし、流速は0.2~0.3m/s程度に留まっている。また、9/1の後半に南~南西向きの比較的強い流れが観測されている。この時は目立って強い風が吹いている期間ではない（Fig. 5参照）ので、別の要因により引き起こされているものと予想される。後で示すように、台風12号接近前は水深の深い層での水温変化が激しく、これら水温変動を伴う要因との関係が考えられる。

Fig. 11, Fig. 12は、同じく台風15号接近前後の水平方向流速、鉛直方向流速の時間変化である。台風15号の際も鉛直方向流速は小さい値に留まっているが、台風接近時にやや流速値が大きくなる傾向がみられる。水平方向の流速は、台風接近時には北向きの流れが、台風通過後は吹き返しの風に伴う南西方向の流れが発生している様子が見られる。また、台風12号の場合と比較して、台風15号通過後の流れは、3m

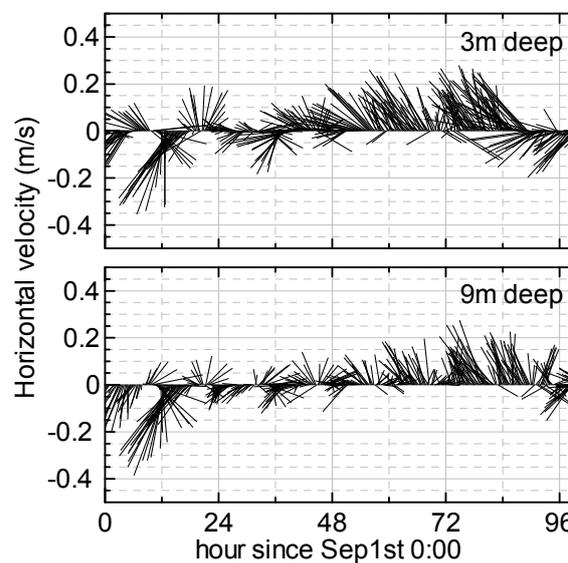


Fig. 9 Horizontal velocity vectors measured by ADCP (Typhoon 2011/12)

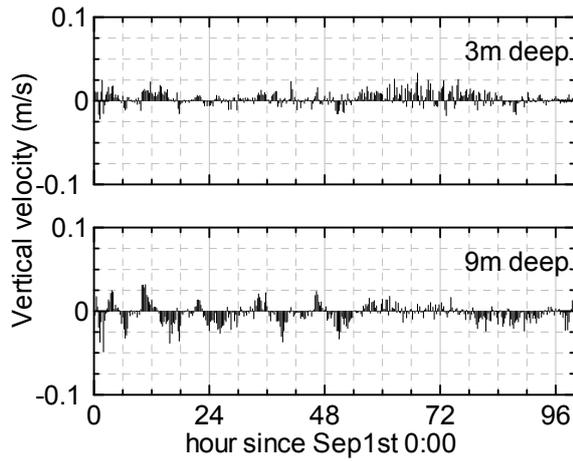


Fig. 10 Vertical velocity vectors measured by ADCP (Typhoon 2011/12)

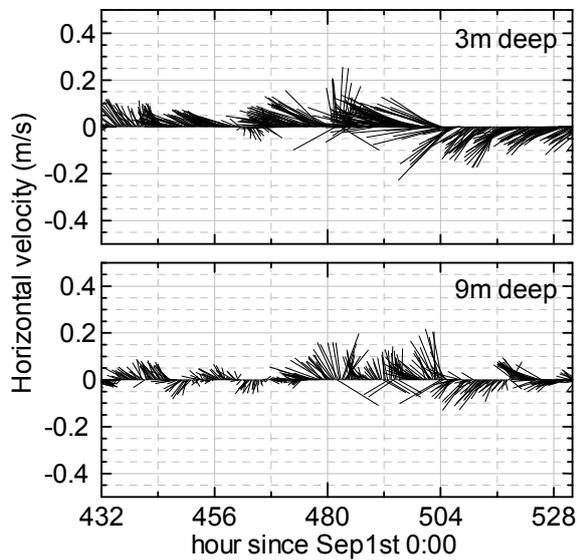


Fig. 11 Horizontal velocity vectors measured by ADCP (Typhoon 2011/15)

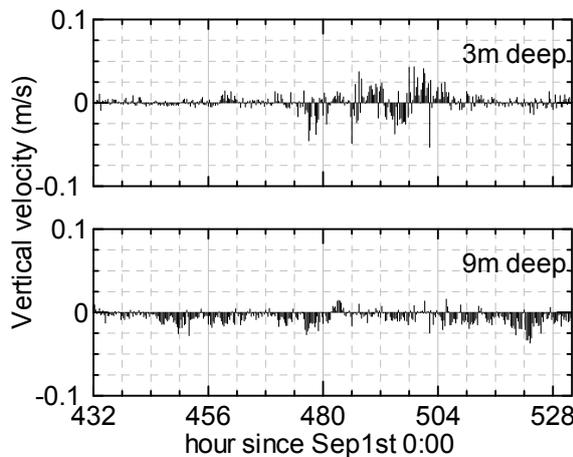
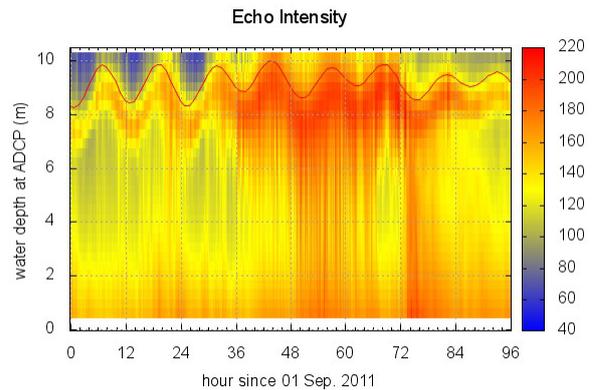


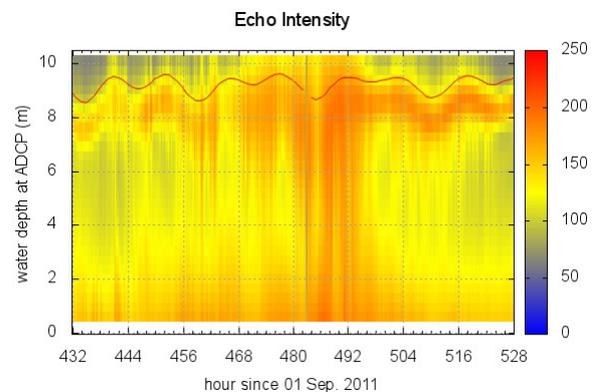
Fig. 12 Vertical velocity vectors measured by ADCP (Typhoon 2011/15)

層と9m層で流向が異なる状況が確認されている。

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進行し、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結果となる。Fig. 13は、台風接近時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、赤線: 海水面)。台風12号、15号ともに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影響と考えられる反射強度の増加が指摘されており、今回の観測結果でも同様に台風最接近前から表層付近を中心に反射強度が増大していることが確認できる。台風12号の際は、有義波高は台風通過前後を通じて大きな変化がないものの、最接近時を中心に反射強度の大きい部分が水深方向に広がっており、一日以上連続した強風が鉛直混合に大きな影響を与えていることがわかる。また台風12号の際は9/3の未明(74, 75時間後付近)に反射強度の高い部分が全層にわたって確認されているが、台風15号の場合は台風通過後には反射強度の高い部分は海面表層付近に限定されている。



(a) Typhoon 2011/12



(b) Typhoon 2011/15

Fig. 13 Temporal variations of echo intensity

3.3 水温の時間変化

Fig. 14は台風12号接近前後の観測塔付近における水温の時間変化, Fig. 15は水深10m以浅の水温変化と, 田辺湾に流入する会津川・高山寺地点の水位変化を合わせて示したものである。

Fig. 14には水深の異なる7地点での水温の時間変化が示されている。水深25m, 30m以外の水温は, 台風接近前は26.5~27.5度の間に分布しており, 台風の接近に伴い鉛直混合が進行するにつれて同じ水温になるとともに, やや水温が上昇する結果が認められる。一方, 水深25m, 30m地点の水温は, 他の水温よりも低く, また非常に大きな変動を示している。特に, 水深30mの水温は一日の間に2度程度変化しており, 外海水の進入などの影響を考慮する必要があると思われる。

Fig. 15に示すように, 水深10m以浅の水温は台風接近前から同程度であり, 強風, 波浪の影響を受けてほぼ一様化していることがわかる。台風通過後は水深3mの水温が急激に低下し, 周期的に変動する状況も確認できる。台風12号は先に示したように記録的な大雨をもたらし, 会津川の水位 (高山寺地点) も

台風接近中から通過後にかけて非常に高い状態であることがわかる。ここに結果は示していないが, ADCPと同じ位置で計測された電気伝導度は, 台風最接近時の頃から下がり始め, 水深3m地点の水深が急激に低下するタイミングで, 電気伝導度が最も低い値を取っていることから, 表層の水温低下には河川からの淡水流入の影響が考えられる。なお, 電気伝導度は9/4の終わり (96時間後頃) には, 台風接近前の値にまで回復しているが, 水深3m地点の水温は依然低い状態が続いている。

Fig. 16, Fig. 17は, 台風15号接近時の水温変化および表層付近の水温と会津川の水位の変化をそれぞれ示している。

台風接近時に全観測地点の水温がほぼ一様になるのは台風15号接近時においても同じであるが, 台風接近前の水温の鉛直分布は台風12号接近前と大きく異なる。台風15号接近前は, 表層から水深30mまでの水温が約0.5度の幅に収まり, 鉛直方向の温度変化が非常に小さい状態となっている。Fig. 14に示した結果と同様, 外海側との影響を考える必要があると

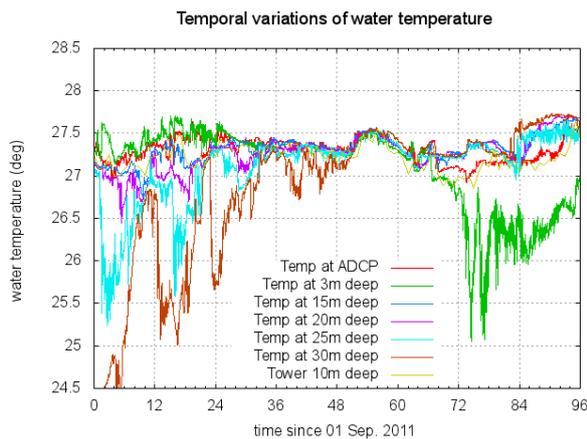


Fig. 14 Temporal variations of water temperature at different depth (Typhoon 2011/12)

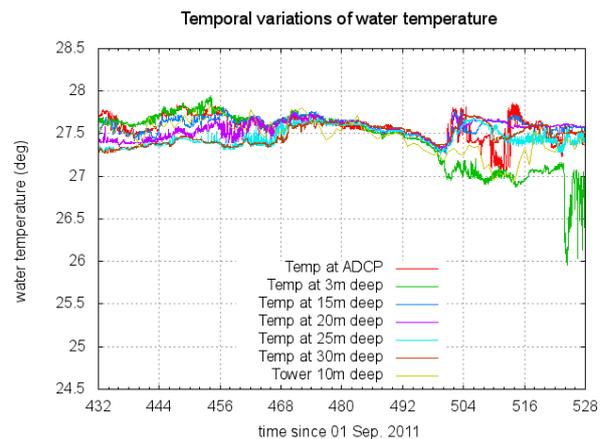


Fig. 16 Temporal variations of water temperature at different depth (Typhoon 2011/15)

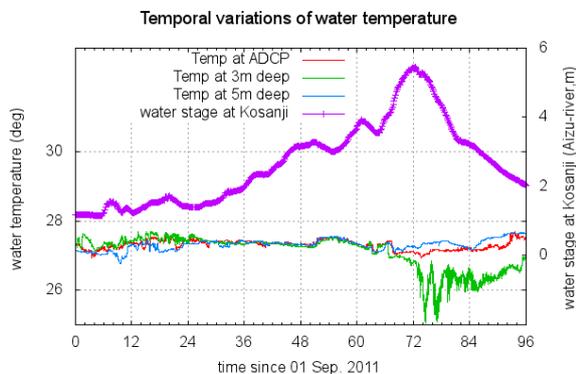


Fig. 15 Temporal variations of water temperature at near surface and water stage of Aizu river (Typhoon 2011/12)

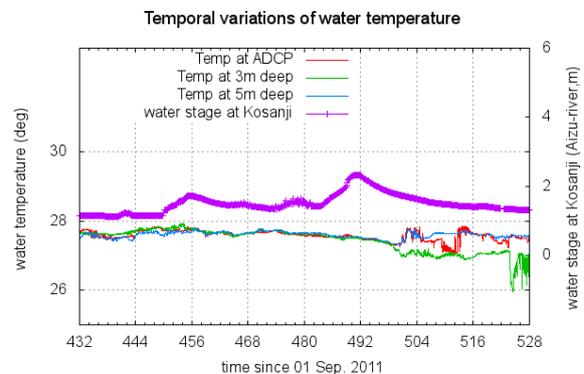


Fig. 17 Temporal variations of water temperature at near surface and water stage of Aizu river (Typhoon 2011/15)

思われる。また、Fig. 16に示すように、台風15号の際は台風最接近時に全層の水温がほぼ一様になるとともに水温が低下し、台風通過後に水深3m地点以外の水深がやや上昇する結果となっている。

台風15号の通過後も、水深3m地点の水温が低下する様子が確認できる。この時の電気伝導度は計測できておらず、河川水流入の影響については評価できないが、水温が低下しているのは水深3m地点のみに留まっていること、風や波の影響が弱まった9/22の後半になって水深3m地点で水温の急激な低下が計測されている。

4. まとめ

本報告は、2011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。2011年の観測では、台風12号、15号接近時の現地データを収集することができた。台風12号は観測地点を台風右側に入れたままゆっくりと北上したため、約一日半にわたって強風が連続し、台風15号は紀伊半島南端をかすめて北東に移動したため、接近前と通過後で風向が大きく変化するなど、異なる特徴を持つ台風に関する現地データとなった。また、水温変化からはそれぞれの台風接近前の水温の鉛直構造が大きく違っていること、台風接近時には全層にわたって水温が一様化して台風通過後も表層を除いて混合した状態が継続することなどが確認された。

ここでは観測結果を示し、その概要を報告するに留まっているが、観測データの詳細な解析と検討を行うとともに、継続的な現地データの収集、蓄積を行う予定である。

謝 辞

本研究は、防災研究所一般共同研究「強風時を対象とした大気・海洋相互作用観測プロジェクト」(防災研、電中研)の成果である。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。

参考文献

- 気象庁(2010):災害時気象速報 平成23年台風12号による8月30日から9月5日にかけての大雨と暴風
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/>
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.

(論文受理日:2012年6月8日)

**Field Measurements at Tanabe-Nakashima Observation Tower in the Summer of 2011
(during the typhoon season)**

Yasuyuki BABA, Teruhiro KUBO, Nobuhito MORI and Naoto KIHARA⁽¹⁾

(1) Central Research Institute of Electric Power Industry

Synopsis

This paper shows some results of a field observation carried out in the summer of 2011. The field observation have been conducted for three months (from August to October) at the observation tower of Shirahama Oceanographic Observatory. During the observation, two typhoons (No.12 and No.15) hit the Kii peninsula, and the current and temperature profiles have been measured under the storm conditions as well as wave and wind conditions. Under the storm conditions, the current and temperature profiles show uniform distributions in the vertical direction, and this means that vertical mixing develop well in the surface layer. After typhoon passed, water temperature decreased in 04 Sep. 2011. Electric conductivity also dropped down at the same time. It is expected that flood water from the river would flow into the Tanabe bay and reached to the observation area.

Keywords: field observation, typhoon, vertical mixing