

田辺中島高潮観測塔における2014年夏季観測結果

Field Measurements at Tanabe-Nakashima Observation Tower in the Summer of 2014

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 a field observation carried out in the summer of 2014. The vertical profiles of currents and water temperature have been measured as well as wave and wind conditions, and salinity and dissolved oxygen level observations have been carried out at the observation tower of Shirahama Oceanographic Observatory. In the summer in 2014, a total of 4 typhoons (No.11, No.12, No.18 and No.19) approached to the Kii peninsula, and the high wave and strong wind conditions due to 2 typhoons (No.18 and No.19) have been captured during the observation. When the typhoons passed around the observation site, the high wave and strong wind occurred. However, the observation data of 2014 doesn't have clear shift of water temperature and salinity like the one by the typhoon No.18 in 2013. On the other hand, it is repeatedly found in the observed data that the reduction of water temperature and the increase of salinity happened simultaneously. This result indicates that the water temperature and the salinity around the observation site have some influence of the water mass of the open sea.

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, 2013; Baba et al., 2013; 馬場ら, 2014)。2014年の夏期集中観測は8/18~10/20

の間実施された。観測は、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、2013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（全4点）：-4，-8，-15，-30m（-8m以浅は生物付着の影響により欠測）
- ・自記式プロペラ風速計（全4点）：7m，10m，12.5m，15m（7mの風速計は台風の影響を受け欠測）
- ・パーシベル（粒子径・数計測，全2点）：10m，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9.5m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。

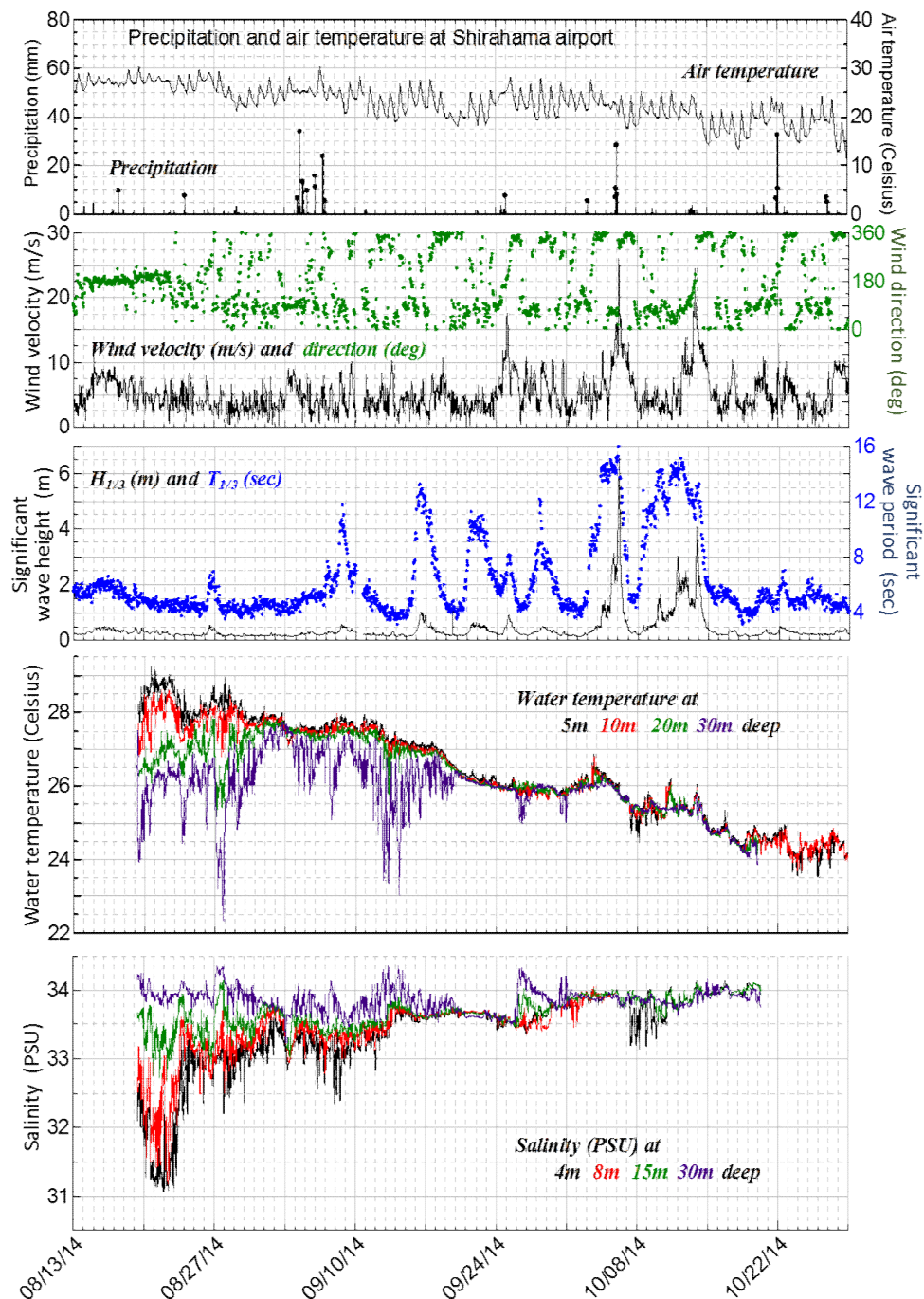


Fig. 1 Temporal variations of the observed data at the observation tower (Top: precipitation and air temperature at Shirahama airport, 2nd: wind velocity and wind direction, 3rd: wave height and wave period, 4th: water temperature, bottom: salinity (PSU))

2. 現地観測期間中の気象イベント

2014年の夏期集中観測期間(8/18~10/20)の気温・雨量(白浜空港アメダス), 海上風の風向・風速, 海水温, 塩分濃度(いずれも観測塔)の時系列をFig. 1に示す. 観測期間中に, 観測塔付近に設置した台風は10月初旬と中旬に接近した台風18号と台風19号の2個であり, Fig. 1中において風速ならびに波高の大きな値が観測されている(2014年に北太平洋で発生した台風は全部で23個). Fig. 2には, 2014年の観測期間中に接近した台風の進路図を示す

8月後半は波, 風ともに穏やかな状況が続いているが, 8月前半には台風12号と台風11号が立て続けに日本付近に接近し, とともに大雨をもたらした. 9月以降の期間において, 波高は低いものの, 波の周期が10秒を越える時期が複数回確認される. これらは南海上の台風などによるうねりの影響と考えられる.

台風11号は四国に上陸した後日本海に抜ける進路を取り, 観測塔付近では平均風速で25m/sを越える強風を観測した. Fig. 3は, 8/10前後の観測塔での風向風速, 波高・周期, および気圧, 潮位(観測塔基準)の時系列である. 台風11号が観測塔付近に接近したのは8/10(Fig. 3内, 3日目)であり, 接近時には20m/sを越える平均風速と, 4mを越える有義波高が観測されており, 非常に荒れた状態であったことがわかる.

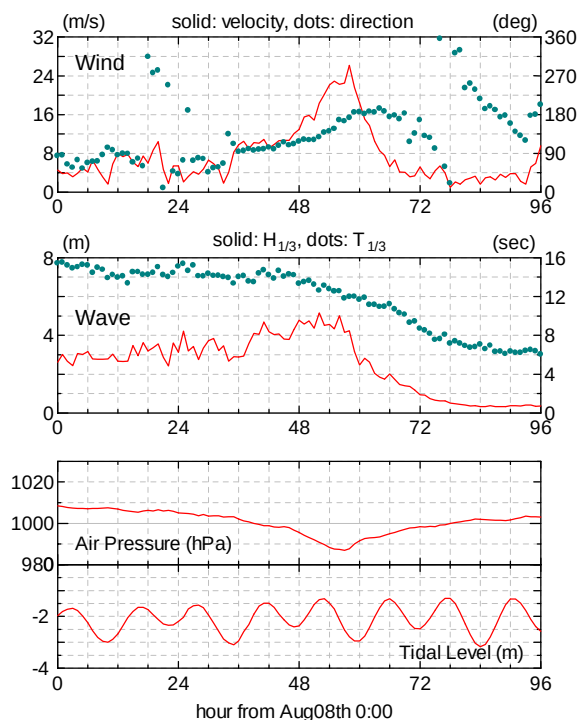
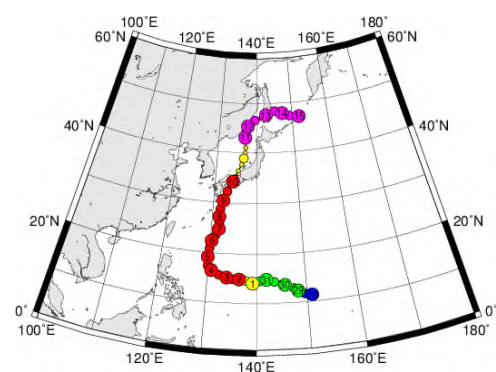
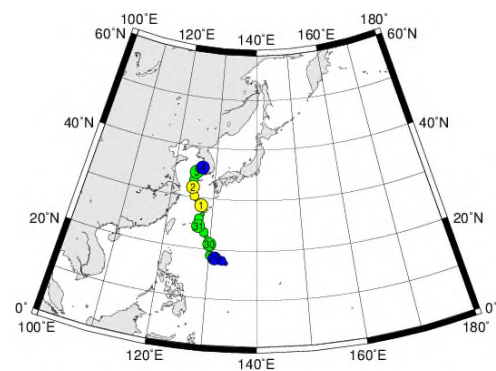


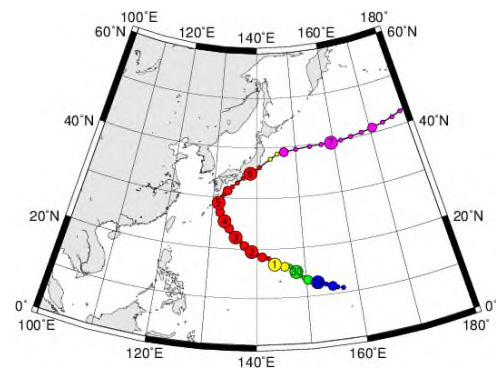
Fig.3 Temporal variations of wind, wave, salinity and water temperature (Typhoon 201411)



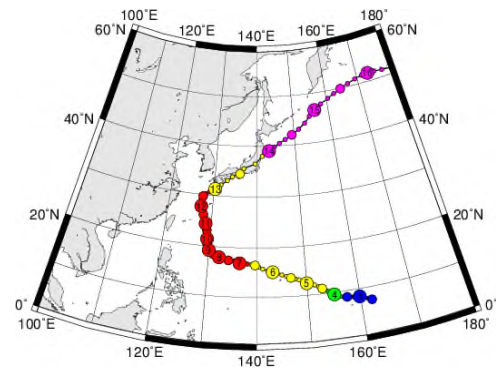
(a) typhoon No.11



(b) typhoon No.12



(c) typhoon No.18



(d) typhoon No.19

Fig. 2 Tracks of typhoon in 2014
(from Digital Typhoon Data)

風速が強くなり始めた8/9後半の風向は東寄りで、台風が近づいて風速が強くなるに従い南寄りの風向に変わっている。台風11号は四国から日本海に抜ける進路を取り、観測塔の西側を北上したために、台風の接近から通過後にかけて南寄りの強風が連続する結果となった。波は台風接近前から波高、周期ともに大きく、台風11号の前に接近した台風12号の影響も重なり、波高、周期ともに大きい状態は8/5頃から台風11号が通過するまでの約5日間継続した。

また、台風12号、11号は非常に多くの雨をもたらした（12号、11号ともに、100mm以上の日雨量を観測）。その結果、田辺湾に流入する会津川では、降雨前の水位（8/1）から最大で2.5m以上水位が増加し、観測地点の南側に河口を持つ富田川でも3m以上の水位上昇を観測した。

10月に接近した台風18号、19号は、日本付近に近づいてから後の進行速度が速く（台風進路図、Fig. 2 参照）、台風18号の場合には強風・高波浪、および大雨の期間は台風最接近の10/6のみとなっている（Fig. 4）。

進路図に示されているように、台風18号、19号は、日本列島に沿うように東進した。台風が観測塔付近を東進する場合、台風接近前は東寄りの風が連続し、台風が観測塔付近を通過した後は北寄りの風に風向が大きく変化することが多い。また、風向が大きく変化する時間帯に風速がピークを持つことも多く、

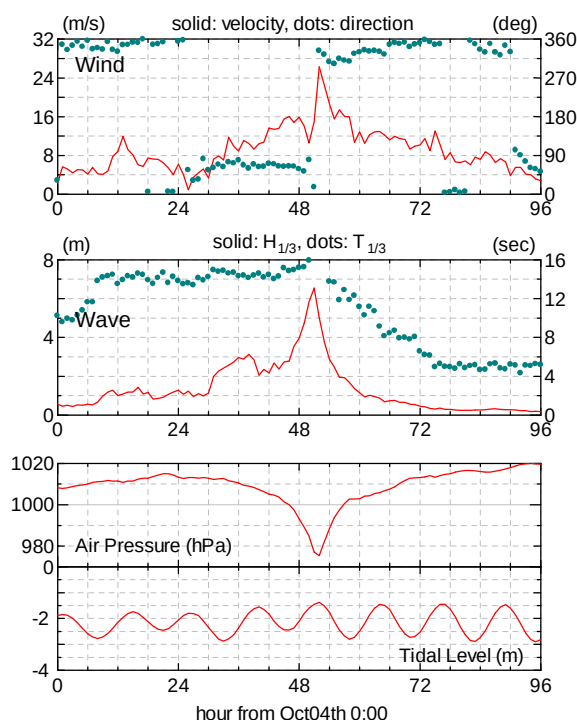


Fig.4 Temporal variations of wind, wave, salinity and water temperature (Typhoon 201418)

台風18号の場合も平均風速で20m/sを越える風速を観測している。波高も台風接近時に、明瞭なピークをもって計測されており、ピークの波高は台風11号の時よりも大きく、有義波高で6mに達する高波浪条件となっている。

3. 主な観測結果

Fig. 1に示した2014年の夏期集中観測期間においては、強風・高波浪を伴う状況は、先に述べた台風18号、19号が接近した10月を中心とした観測期間の後半に確認できる。観測期間の前半は、強風・高波浪を伴う状況は発生しておらず、風・波の点では比較的穏やかな状況であったことがわかる。一方、水温の時系列によると、夏から秋にかけて混合層が発達して、水温が鉛直方向にほぼ一樣になるのは9/20頃であり、塩分濃度も時期を同じくして水深方向の変化が小さくなっている。

3.1 9月下旬の塩分濃度の上昇

Fig. 1において、9月下旬頃に水深深い計測点（水深15m, 30m）の塩分濃度が急に増加している様子が確認できる。Fig. 5は、9/25から5日間における風速・風向、波高・周期、および水温、塩分濃度の時系列を示したものであり、水深の大きな計測点での塩分

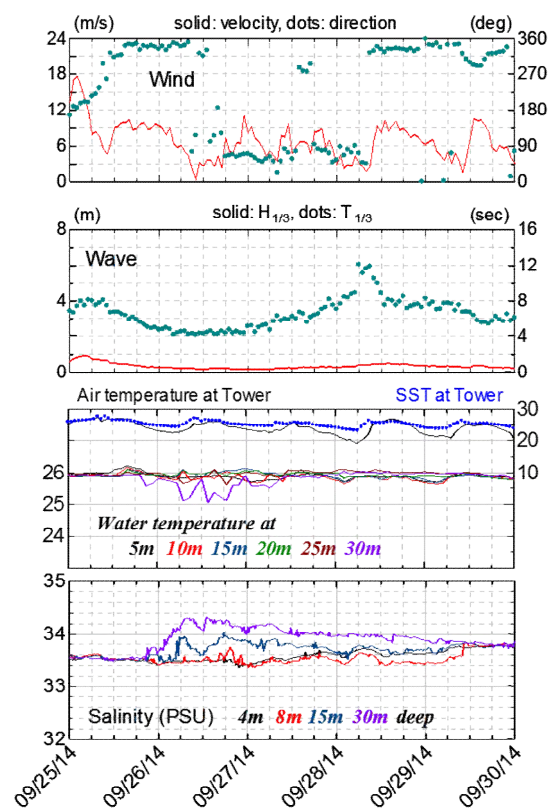


Fig. 5 Temporal variations of wind, wave, air pressure and tidal level (Sep25-Sep30)

濃度上昇は、9/26頃に始まっている。9/26頃の塩分濃度の上昇に対応して、水深30m地点の水温も1度程度低下している。水深方向に塩分濃度が変化している状況は9/29頃まで継続し、塩分濃度の急激な上昇が始まる前（9/25頃）と、塩分濃度の水深方向変化の収束後（9/30頃）を比較すると、塩分濃度が全体的に0.2PSU程度増加していることがわかる。

9/25の後半から9/26の前半にかけて、風速10m/s程度の北寄りの風が連続していることを考え合わせると、エクマン輸送に伴う沿岸湧昇が弱いながらも発生していたことが示唆される。北寄りの風が連続することによる塩分濃度の上昇と水温の低下は、2013年の9月中旬に台風18号が観測塔付近に接近した際にも確認されている。2013年の際には、北寄りの強風（最大18m/s程度の平均風速を計測）が約1日程度連続したことが原因と考えられ、水深30m地点において塩分濃度が0.6PSU程度上昇し、水温は約5度程度急激に低下したことが確認されている（馬場ら、2014）。2014年、9月下旬の場合も、水深の大きな計測点での塩分濃度上昇と水温低下が同時に発生していることから、低層からの水塊の侵入が想定される。しかしながら、2013年に比べて、水温の変化が小さく、変化が生じている計測点も水深の大きな計測点に限定されている。

2014年9月下旬の紀伊水道の海況情報に関する資料（徳島県・週間漁海況情報一第38号、和歌山県・漁海況速報 26-39号）によると、この時期に和歌山県沿岸に沿って暖水が流入していることが示されている。この暖水流入の影響により、白浜沖付近の沿岸では水温が27度程度となっており、人工衛星海況速報（和歌山県、2014-111号）においても、観測地点（田辺湾）の沖合に水温の高い領域の存在が確認される（Fig. 6）。このように2014年9月下旬には、観測地点の沖側に外洋を起源とする暖水が存在していたため、低層からの水塊が田辺湾内に侵入した際

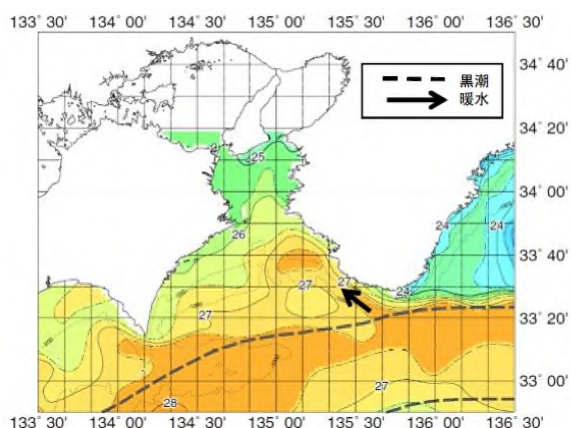


Fig.6 Sea surface temperature around Kii channel on Sep29 (Tokushima pref)

にも水温低下の度合いが小さく、水深の大きな計測点でのみ1度程度の水温低下を計測する結果になったと考えられる。また上で示したように、塩分濃度の急激な上昇が始まる前（9/25頃）と、塩分濃度の水深方向変化の収束後（9/30頃）の間で塩分濃度が全体的に0.2PSU程度増加していることも、外洋を起源とする水塊が観測地点付近に流入していたことと符合する結果である。

3.2 水温変化の周波数特性

2014年の夏期集中観測期間における水温分布は、混合層の発達に伴う水温一様化を境に、期間の前半と後半で異なる様子が確認できる（Fig. 1参照）。9月中旬に水温分布が水深方向に一様化する前は、水深方向の水温差が大きく、特に水深30m地点における水温が相対的に低く、またその変動幅も大きい。

Fig. 7は、8/19～9/17における水深30m地点の水温データ（10分間隔）を基に、水温の変動特性を示したものである。Fig. 1とFig. 7から、水深30m地点の水温変動について、以下の内容が確認できる。

- ・水深30m地点の水温変動は、10日程度（ $1.0 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 付近）を越える長い周期の他に、2～3日程度（ $4.0 \sim 6.0 \times 10^{-6}/\text{sec}$ 付近、図中白矢印）や12時間程度（ $2.0 \times 10^{-5}/\text{sec}$ 付近、図中黒矢印）の変動周期を持つ
- ・2～3日程度の周期を持つ水温変動は、8月後半に明瞭に確認され、水温の変動幅も2～3度程度と大きい
- ・12時間程度の周期の水温変動は、潮汐（半日周潮）の影響であり、8/27付近などに明瞭に確認できる
- ・水深30m地点の水温が低下するときには、塩分濃度が多少増加する傾向を示すことから、低温高塩分の水塊の影響がうかがえる

和歌山県水産試験場の定線観測結果（2014年8月、9月）によると、観測地点を含む領域の海水温は、水深50mで25度程度、水深100mで20度程度である。観測期間前半には、水深30m地点の水温が25度を下回

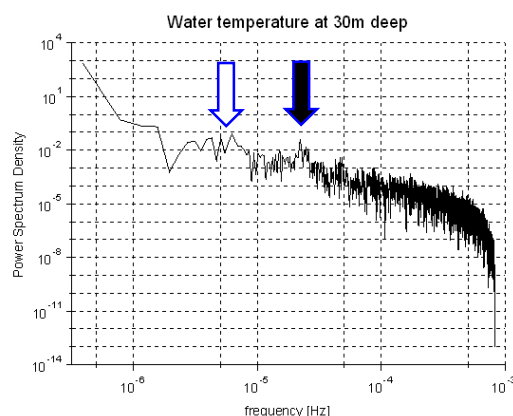


Fig.7 Frequency analysis of water temperature at 30m deep of the observation tower from Aug19 to Sep17

る程度にまで低下することを考え合わせると、観測地点付近に低層からの水塊の侵入がたびたび生じていることが想定される。

4. おわりに

本報告は、2014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。

2014年の観測では、10月に2個の台風が紀伊半島付近を東進する際の観測データを収集することができた。これらの台風も、2013年の台風18号と同様に、観測地点付近を東進する進路を取り、台風の最接近直後に北寄りの強風を観測した。海上風および波浪ともに大きな値を計測しており、降水量の大きかった台風18号通過時には表層付近の塩分濃度の低下が確認されている。

しかしながら、2013年の台風18号接近時に観測されたような現象、すなわち水深の大きな計測点における水温の急激な低下と塩分濃度の上昇は2014年の台風通過時には観測されなかった。台風が接近する前（9月下旬）に塩分濃度の上昇が明瞭に観測されているが、2013年とは異なり水温の低下は最も水深の深い計測点のみであり、水温の変化幅も1度程度（2013年は5度程度）とわずかであった。また、北寄りの風が連続する時間は2013年の事例と比較して短く、風速自体も低かったことから、エクマン輸送による影響（表層が沖側に流出し、その補償として低層から水塊が侵入する）の程度も、2013年よりも弱かったと考えざるを得ない。塩分濃度の上昇と水温の低下が水深の大きな計測点において同じタイミングで観測されていることから、沖側（紀伊水道側）の水塊が低層から侵入したことが示唆される。2014年9月下旬の紀伊水道の海況情報に関する資料によると、この時期に和歌山県沿岸に沿って暖水が流入していることが示されており、外洋を起源とする水塊が観測地点に侵入したために塩分濃度は上昇したが、侵入した水塊の水温が高かった（暖水塊の影響）ことから水温低下が明瞭には計測されなかったものと考えられる。

約2ヶ月間の観測期間中、水深方向の水温分布の状況は9月下旬頃を境に大きく変化している。これは、混合層の発達に伴う水温一様化によるもので、混合層の発達前には水深の大きな計測点では変動幅の大きな水温変化が確認されている。混合層発達前の水温変化（水深30m）について変動特性を調べたところ、潮汐（半日周潮）に対応する12時間程度の変動周期の他に、数日程度の変動周期が存在することが

確認された。この数日程度の水温変化の要因については今後の検討が必要であるが、水温低下時に対応して塩分濃度の上昇が見られることから、低温高塩分の水塊の影響が低層から影響していることが示唆される。

謝 辞

本研究は、京都大学防災研究所一般共同研究（24G-05, 25G-10）の援助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 内山雄介・西井達也・森 信人・馬場康之（2013）：紀伊半島沿岸域における台風通過に伴う海水温低下と海洋構造変化について、土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.69, No.2, pp.I_481-I_485.
- 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—第38号：
http://www.pref.tokushima.jp/_files/00701037/2014_38.pdf
- 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.
- 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・漁海況速報 26-39号：
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/071001/pdf2/2014/26_39.pdf
- 和歌山県水産試験場・人工衛星海況速報（2014-111号）：
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/071001/pdf/2014/2014color/111_0929.pdf
- 和歌山県水産試験場・定線観測情報（2014年・沿岸水温の月別観測値）：
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/071001/jamstec_link/hyou4.pdf
- 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).

（論文受理日：2015年6月11日）