



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

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

(Citation)

土木学会論文集B2(海岸工学), 70(2):I_476-I_480

(Issue Date)

2014

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

©2014 公益社団法人 土木学会

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002943>



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

Water Temperature Variation at the Mouth of Tanabe Bay during Typhoon Passing

馬場康之¹・水谷英朗²・久保輝広³・内山雄介⁴・森 信人⁵・渡部靖憲⁶
大塚淳一⁷・山田朋人⁶・猿渡亜由未⁸・二宮順一⁹

Yasuyuki BABA, Hideaki MIZUTANI, Teruhiro KUBO, Yusuke UCHIYAMA, Nobuhito MORI
Yasunori WATANABE, Junichi OTSUKA, Tomohito YAMADA
Ayumi SARUWATARI and Junichi NINOMIYA

The intensive field observations have been carried out in the summer seasons since 2009 around the mouth of Tanabe bay, Wakayama prefecture. During the intensive observation in 2013, a typhoon18 (MAN-YI) approached close to Kii peninsula in the middle of September. It is found during the typhoon passing that coastal upwelling through the Ekman transport happened clearly due to continuous southward wind. As a result of time-frequency analysis, the water temperature variations have a dominant period longer than tidal period. An EOF analysis decomposes the water temperature variation during the typhoon passing into 1) the increase and decrease of water temperature and 2) the magnitude of the temperature difference in the vertical direction.

1. はじめに

京都大学防災研究所・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。最近では、2009年18号 (MELOR)、2011年12号 (TALAS)、15号 (ROKE)、2012年17号 (JELAWAT) 接近時の気象海象データを計測し、流動構造、水温変化、観測データに基づく鉛直混合に及ぼす波浪の影響などの検討が行われている (森ら、2010; 内山ら、2013; Babaら、2013)。2013年の夏期集中観測は8/8~11/14の間実施され、田辺湾湾口に位置する田辺中島高潮観測塔 (写真-1) 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) が実施された。2013年に北西太平洋で発生した台風は31個で、期間中に観測地点付近には台風17号 (TORAJI)、18号 (MAN-YI) が接近し、そのうち台風18号の影響が最も大きく、台風18号接近時には和歌山県串本町で竜巻も発生した。本研究では、2013年の夏期集中観測結果に基づいて、台風18号接近時の田辺湾湾口部における海水温鉛直構造の変化を明らかにする

ことを目的とする。

2. 2013年夏期集中観測の概要

2013年の夏期集中観測において、観測塔における海水温、塩分濃度の計測点は次の通りである (測点の位置は観測塔基準、鉛直上向き: 正)
水温 (全20点): -0.5~-5.5m (0.5m間隔), -6~-10m (1m間隔), -15~-30m (5m間隔)
塩分濃度 (全7点): -3, -4, -5, -6, -8, -10, -30m (-8m以浅は生物付着の影響により欠測)

この他、観測塔西側の水深9.5m地点にADCP (1200kHz, 9/6~9/20の間欠測)、観測塔上10m, 15m地点にはパーシベル、10mにはパーティクルカウンターが設置された。



写真-1 田辺中島高潮観測塔

- | | | |
|-------|------|------------------------------|
| 1 正会員 | 博(工) | 京都大学准教授 防災研究所 |
| 2 正会員 | 博(工) | 京都大学助教 防災研究所 |
| 3 | | 京都大学技術職員 防災研究所 |
| 4 正会員 | 博(工) | 神戸大学准教授 大学院工学研究科 |
| 5 正会員 | 博(工) | 京都大学准教授 防災研究所 |
| 6 正会員 | 博(工) | 北海道大学准教授 大学院工学研究院 |
| 7 正会員 | 博(工) | (独法)土木研究所寒地土木研究所
寒冷沿岸域チーム |
| 8 正会員 | 博(工) | 北海道大学助教 大学院工学研究院 |
| 9 正会員 | 修(工) | 京都大学大学院 工学研究科 |

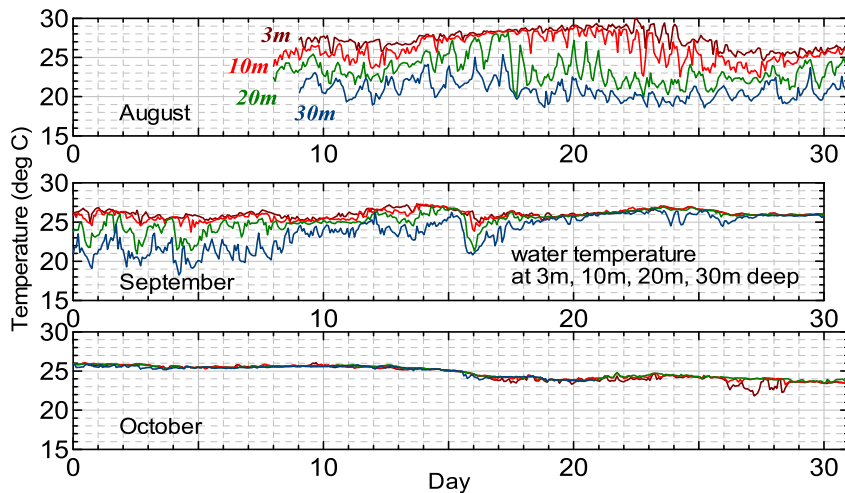
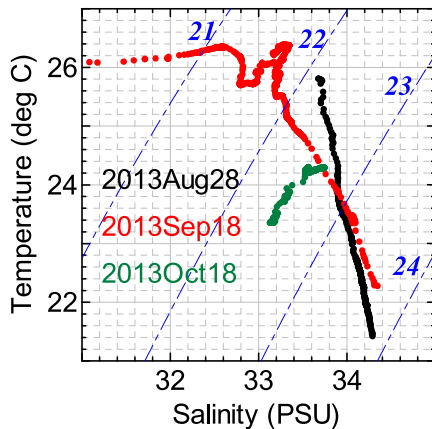


図-1 観測期間全体の水温変化

図-2 T-S図
(観測塔南側, 水深32m, 図中斜体字は σ_t)

これらのデータに加えて、観測塔既設の測器により気象・海象データが、観測期間中連続的に計測された。

図-1は、8～10月の海水温の時系列を示したものである。観測開始の8月上旬から9月上旬にかけて、水深方向の海水温の差が大きく、水温成層が明確に確認される。また、水深の大きな測点においては海水温が周期的に変動している様子が確認できる。9月中旬になると、海水温の鉛直方向の差が減少し始め、9月下旬以降は計測地点（水深30m程度）付近で水深方向の水温差がほぼ無い状態となり、時間を追って水温成層が弱まり、混合層が発達する様子が確認される。

水温成層が弱まり混合層が発達する期間の9月中旬に台風18号が紀伊半島に接近した。9月中旬には水深方向の水温差がかなり減少している状態であったが、台風接近時（9/16～9/17頃）には海水温の一様化とその後の水温低下が計測されている。9月下旬には台風20号が紀伊

半島の南沖を通過しており、9/26頃には海水温がやや低下する様子が確認される。

図-2は、観測期間中に実施された水温・塩分濃度の計測結果を比較したものである。8月の観測結果では、水温差が4度以上あり、水深方向に水温成層が発達していることが確認できる。9月の結果は台風18号通過直後のものであり、塩分濃度の低い水塊の存在が確認できるとともに、水温の差が徐々に小さくなる傾向が見られ、前述のように水温成層が弱まり始めていることを示している。10月になると水深方向の水温差が小さくなり、観測結果では計測範囲内の水温差が1度程度となって、混合層が計測地点の水深方向全体に発達し、密度もほぼ一様になっていることがわかる。

3. 台風18号接近時の海水温変化

(1) 台風接近時の海水温低下

台風18号接近時（9/14～9/17）の海水温、気温（観測塔）、SST（観測塔、放射温度計の値）、および観測塔で計測された海上風、波浪の時系列を示したものが、図-3である。

台風18号は9/15～9/16にかけて観測地点付近に最接近し、紀伊半島東側を南西から北東に向けて移動した。観測塔では、9/16の6時頃に最大18m/s程度の平均風速を計測している。台風18号は接近時に観測地点からみて東側を通過したため、台風接近の前後を問わず、北寄りの風が連続した（図-3上、ゼロ度に近い風向が連続している）。波高は台風が観測地点に最接近した時間帯に有義波高で3m程度に達しているが、北寄りの風が卓越したために大きく発達することなく、台風の通過に伴い波高、周期ともに低下している様子が確認できる。台風の最接近に伴い風速の最盛期となった9/16の午前中には、海水温が鉛

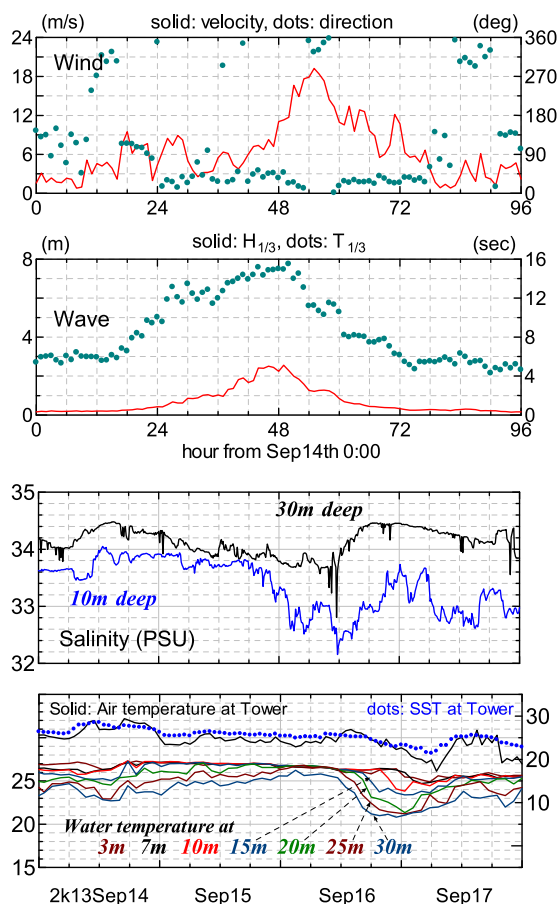


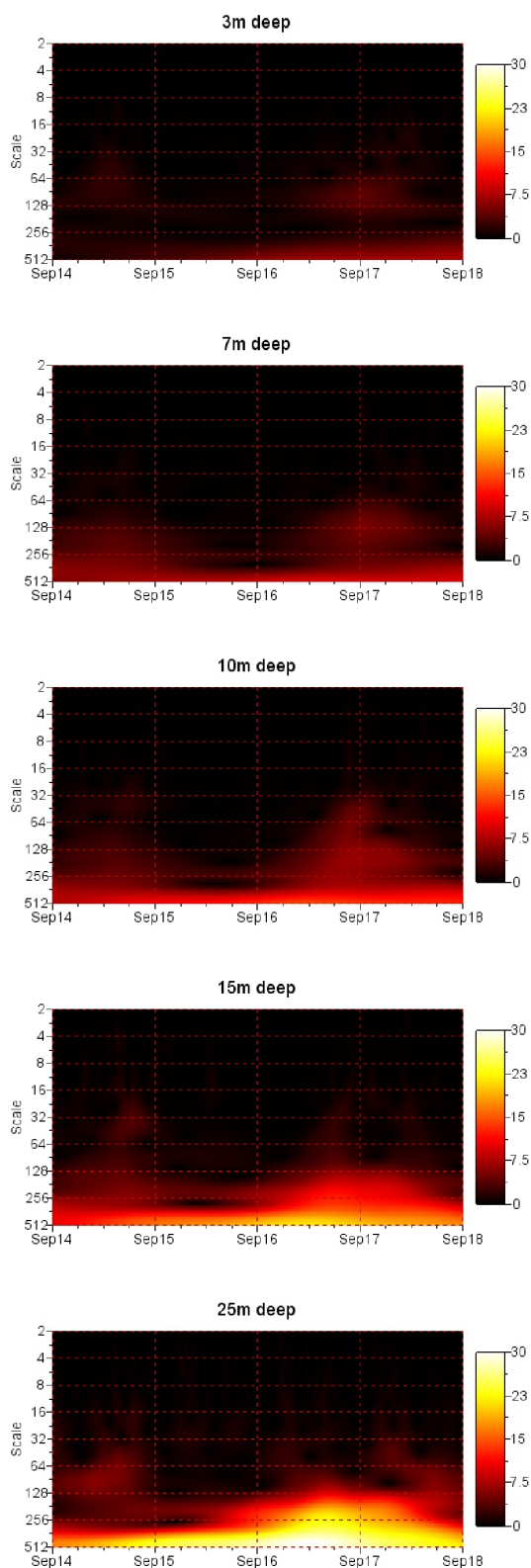
図-3 台風18号接近時の観測データ時系列

(上から、風向・風速、有義波高・周期、塩分濃度、水温・気温・海表面温度)

直方向にはほぼ一様になっており、強風に伴う鉛直混合が発達していることがうかがえる。

風速のピークを過ぎた9/16の午後には、顕著な海水温の低下および塩分濃度の上昇が確認できる。海水温の低下は、水深の深い計測点(30m地点)から始まり、続いて水深25m、20m、15mの順で水温が低下している。同じタイミングで水深30m地点の塩分濃度が大きく上昇しており、低層から低温・高塩分の海水が進入していることを示している。北寄りの風が連続する際に、低層での水温が低下ならびに塩分濃度が上昇することはこれまでに田辺湾を対象とした観測結果でも確認されている(吉岡ら, 1998)。岸を左手(北半球)にみて岸に沿って風が吹くときに、岸沿いに湧昇域が発生することが知られており、アメリカ西海岸での沿岸湧昇などがよく知られている。これは、岸に沿って吹く風に引き起こされたエクマン輸送が岸から沖向きに表層の海水を移動させ、下層の海水が岸方向に上昇したものとして説明される。

図-3下の水温変化では、水深の深い計測点(30m地点)

図-4 連続ウェーブレット解析結果
(縦軸128は、17.8時間周期に相当)

から順に水温が低下している。各計測点の水温が25度、24度になった時刻と測点間の水深から湧昇速度を推定すると、水温低下が同時期に明瞭に確認されている水深30～15mでは $7\sim 8\times 10^{-2}\text{cm/s}$ 程度となった。アメリカ西岸における夏の湧昇事例では、 $2\times 10^{-2}\text{cm/s}$ 程度の湧昇速度が報告されており (Huyer, 1983; Checkly・Birth, 2009), 具体的な数値は示されていないが、より大きな湧昇速度を持つイベントが発生することも指摘されている。本観測において推定される湧昇速度が相対的に大きく、低層からの低温・高塩分の海水の進入が顕著に確認された背景には、台風の接近に伴い9/15の18時以降から約1日程度北寄りの強風が継続し、観測地点付近の慣性周期 (約21.5時間) に匹敵する程度であったことが主要因の一つに挙げられる。

水深30m地点の水温が25度を下回ってから水深3m地点の水温が25度になるまでには16時間余りを要しており、水深3m地点の水温低下が沿岸湧昇の影響によるものと考え、この間の平均湧昇速度は $4.5\times 10^{-2}\text{cm/s}$ 程度となる。平均的な湧昇速度が水深の深い計測点での湧昇速度よりも小さくなっているのは、9/16午後には風速が徐々に低下し、十分なエクマン輸送を継続させるだけの北寄りの強風が連続しなかったためと考えられる。

(2) 水温変化の時間周波数解析

図-4は、台風18号接近時の海水温時系列データに対して連続ウェーブレット解析を行った結果である (基本ウェーブレット: complex gauss wavelet)。図中、色の淡い部分はウェーブレット係数の大きい領域を示しており、水温変化の時期と卓越する周波数を示している。ウェーブレット係数の大きさは水深の深い計測点の方が総じて大きく、台風18号の接近時は相対的に浅い領域は鉛直方向の混合は発達して温度変化が小さく、逆に相対的に深い領域での水温変化が大きかったことを示している。

水深の大きな計測点から水温が低下する時期 (9/16午後～) には、水深25m地点では特に周期の長い水温変化が顕著であることが確認される。この水温変化は、上述の通り低層からの低温・高塩分の外海水の進入によるものと考えられる。水深30m～15m付近で顕著な水温低下が確認されるタイミングにおいて、2～3日程度に相当する長周期の水温変動が卓越しており、台風18号接近時の水温変化において、最も卓越した周期となっている。観測地点周辺を対象とした広域のシミュレーション結果 (内山ら, 2014) において、田辺湾湾口部の流動には2～3日周期の成分が潮流と同程度の規模を持つことが指摘されており、台風通過時の水温変動にも同程度の周期が強く含まれていることが確認された。

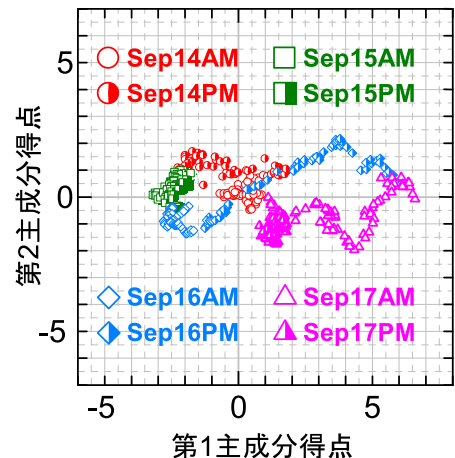


図-5 海水温のEOF解析結果 (得点プロット)

表-1 海水温のEOF解析結果

	第1主成分	第2主成分
標準偏差	2.517	0.846
寄与率	0.868	0.105
係数 (3m)	-0.177	0.397
係数 (7m)	-0.208	0.452
係数 (9m)	-0.275	0.408
係数 (10m)	-0.308	0.356
係数 (15m)	-0.435	0.092
係数 (20m)	-0.512	-0.295
係数 (25m)	-0.551	-0.499

(3) 海水温分布のEOF解析

鉛直方向の7点において計測された海水温分布の時系列データ (9/14～9/17) に対してEOF解析を行い、第1、第2の主成分ならびに主成分得点を求めた (図-5、表-1)。表-1から、抽出された二つの成分で、鉛直方向の水温分布の変動の95%程度が表現されていることがわかる。

第1主成分は対象とした計測点の全てにおいて係数が負の値となり、係数の絶対値は水深の大きな計測点の方が大きい傾向がある。水深の大きな計測点の係数が大きいということから、時間周波数解析の結果と考え合わせると水温の変化に対応したものと考えられる。上述の通り、台風18号の接近時には水深の大きな測点を中心に水温が大きく低下している。図-5において、水温が大きく低下した9/16の午後に、EOF解析結果の第1主成分が大きく増加していることから、第1主成分は水温の変化 (水温の低下) を意味している。

第2主成分は、水深15m付近を境に、浅い計測点の係数が正、深い計測点の係数が負となっている。台風が計測地点に接近し、水温が水深方向に一様になる段階 (9/15

～9/16午前)において、第2主成分得点は正から負に変化し、台風接近時の水温低下が観測される時期(9/16午後)には負から正に変わっている。その後、9/17に入って計測点間の水温差が小さくなる時期には再度負の値を取るようになる。すなわち、鉛直方向の水温差が小さくなる時期(9/15～9/16午前、9/17)には第2主成分得点は負となり、鉛直方向の水温差が増加する時期には第2主成分得点が正となる。この主成分得点の変化と、各計測点での係数(浅い領域が正、深い領域が負)であることを考え合わせると、第2主成分は鉛直方向の水温差の大小を意味していることがわかる。

これら二つの主成分を用いて、台風18号接近時の水温分布の変化は、弱いながらも鉛直方向に水温差が存在した状態から、強風・高波浪に伴う鉛直混合の発達、エクマン輸送に伴う低層からの外海水の侵入および水深の大きな計測点を中心とした水温低下と、鉛直方向の水温差が減少する回復期に大別することができ、主成分プロット図から台風通過後には台風接近前に近い状態に復帰していることが示されている。

4. おわりに

2013年夏期に、和歌山県田辺湾湾口部に位置する田辺中島高潮観測塔で行われた集中観測結果に基づいて、台風接近時の田辺湾湾口部における海水温鉛直構造の変化について検討した。

観測期間中の9月中旬に台風18号が紀伊半島に接近した際、強風による鉛直混合の発達と、北寄りの風が連続したことによる低層水の進入に伴う水温の低下、塩分濃度の上昇が確認された。特に、台風18号接近前後を通じて北寄りの強風が観測地点付近の慣性周期(約21.5時間)に匹敵する程度継続したため、低層からの低温・高塩分の水塊の流入が明瞭に捉えられている。

台風接近前後の水温変化は、低層からの流入の影響を受けて、水深の大きな計測点での水温変動が大きく、潮

汐周期よりも長い周期の変動が卓越していることが確認された。また、台風接近時の水温分布に対してEOF解析を行い、水温変動が“海水温の増減”と“鉛直方向の水温差の大小”という2つの要因に特徴付けられることが確認された。

謝辞：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。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.
- 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, No.2, pp.I_446-I_450.
- 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.
- 吉岡 洋・芹沢重厚・高山知司・田中祐志(1998): 夏季田辺湾における内部急潮による海水交換, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.456-460.
- 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).
- Checkley Jr., D. M., and J. A. Barth, (2009): Patterns and processes in the California current system. Progress in Oceanography, 83(1-4), pp.49-64. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.028.
- Huyer, A. (1983): Coastal upwelling in the California current system. Progress in Oceanography, 12(3), pp.259-284. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0079-6611(83)90010-1.