

2018年夏期に観測された 台風に伴う高波浪について

馬場 康之¹・久保 輝広²・森 信人³・渡部 靖憲⁴・山田 朋人⁴・
猿渡亜由未⁵・大塚 淳一⁶・内山 雄介⁷・二宮 順一⁸

¹正会員 京都大学准教授 防災研究所 (〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田2500-106)

E-mail: baba.yasuyuki.7z@kyoto-u.ac.jp

²非会員 京都大学技術職員 防災研究所 (〒649-2201 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田2500-106)

³正会員 京都大学教授 防災研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁴正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁵正会員 北海道大学助教 大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁶正会員 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所寒地水圏研究グループ
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

⁷正会員 神戸大学教授 大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

⁸正会員 金沢大学助教 理工研究域 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

2018年8月後半から9月にかけて、四国から紀伊半島付近に3個の台風(20号, 21号, 24号)が接近した。和歌山県田辺湾の湾口に位置する田辺中島高潮観測塔では、台風21号, 24号の接近時に高波浪が観測され、海面上10mに設置された計測機器が被災するなどした。台風21号接近時には有義波高は最大9.60m, 24号の際には波高計が被災したため台風通過後のデータが欠測となったが、台風接近前の最大値は11.09mに達した。いずれの場合も高波浪となった期間の前半はうねり成分が卓越し、観測塔付近の風向が190度を超えて吹送距離が長くなった後には風波成分が発達し、風波成分とうねり成分が重畳して高波浪状態が継続される状況が確認された。

Key Words :typhoon, high wave, field observation, superposition of swell and wind-wave

1. はじめに

2018年8月後半から9月にかけて、四国から紀伊半島付近に3個の台風(20号, 21号, 24号)が接近した。台風21号は強風、高波浪を伴い、京阪神地域や関西国際空港に大きな被害をもたらした。和歌山県沿岸を始めとしていくつかの観測点では台風21号接近時に最高潮位の値を更新したが、串本と白浜では台風24号接近時に再度最高潮位の値を更新する結果となった^{1,2)}。

和歌山県田辺湾の湾口に位置する京都大学防災研究所白浜海象観測所の田辺中島高潮観測塔(以下観測点)では、台風21号, 24号の接近時に高波浪が観測され、高波浪の影響により観測塔の手すりが壊れたほか、海面上10mに設置された計測機器(波高計, webカメラ)が被災するなどした。ここでは、2018年の台風20号, 21号, 24号の接近時に観測された高波浪について報告するとともに、高波浪条件に至った背景について観測データに基づいて検討する。

2. 観測点に接近した台風の概要

図-1は、2018年に観測点(図中SOO Tower)付近に接近した3つの台風(20号, 21号, 24号)の経路(気象庁ベストトラックデータ)と対応する時刻に観測された有義波高である。台風20号の経路の図面には、観測点に対して南西側に開けた方向となる範囲を示しており、その範囲はおおよそ190度(LineB)~240度(LineA)となる。また、図-2~図-4は観測点における台風接近前後の有義波高、有義波周期、風速、風向(ともに10分間平均値)、およびADCPで計測されたスペクトルから求められた波高と波高のうねり成分(Significant wave height in the swell region of the power spectrum)、風波成分(Significant wave height in the sea region of the power spectrum)の時系列である(うねり成分と風波成分のしきい値は8秒)。

いずれの台風も観測点付近を通過する際にはほぼ直線に近い経路をとり、各台風の進行方向は台風20号がほぼ真北(約0度方向)、台風21号は北北東(約30度方向)、台風24号は東北東(約60度方向)であった。

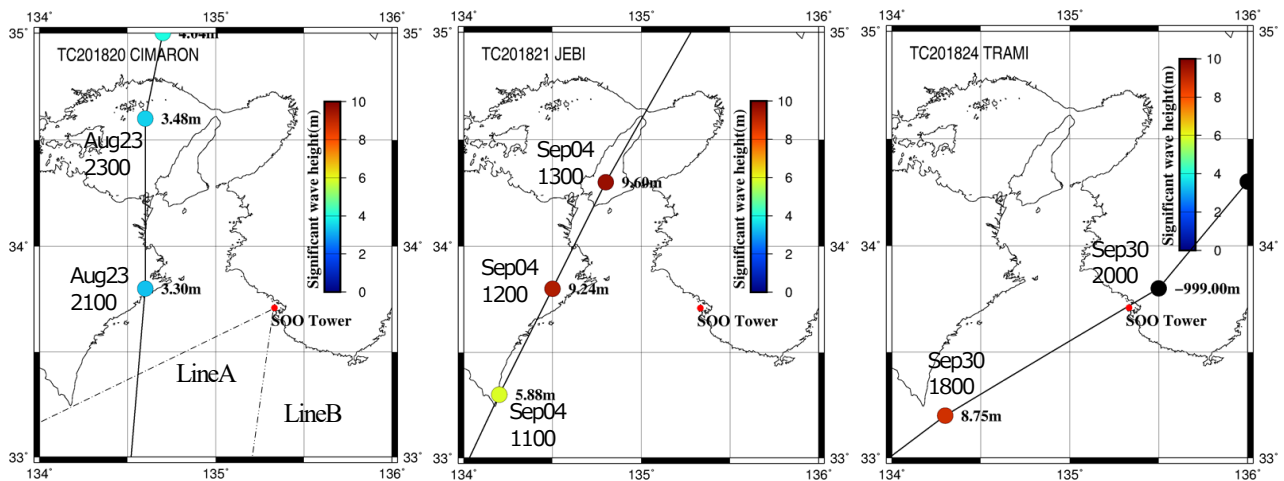


図-1 台風の進路図（気象庁ベストトラックデータ）と観測点（図中赤丸）で計測された有義波高
（左から台風20号，21号，24号，有義波高の「-999.0」は欠測を意味する）

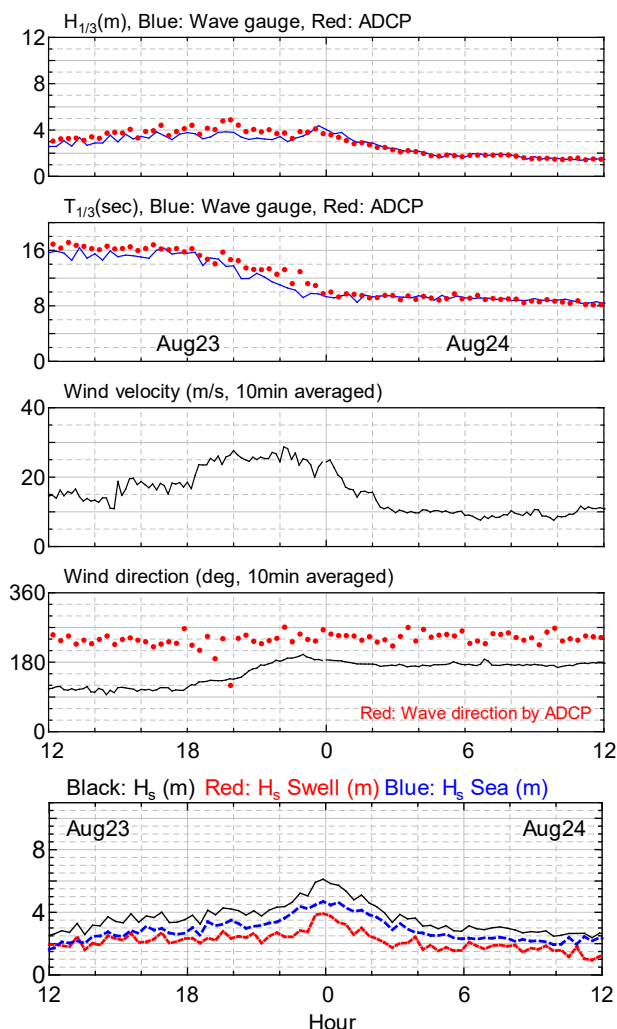


図-2 台風20号接近時の有義波高，有義波周期，風速，風向，波向きおよびADCPで計測された波高と波高のうねり成分，風波成分（有義波高，有義波周期の赤点は，ADCPにより計測された値）

台風21号は強風，高波浪を伴い，京阪神地域や関西国際空港に大きな被害をもたらした．観測点においても，10分間平均風速39.8m/s，最大瞬間風速55.79m/s（起時9/4，12:48）を記録した．

台風24号は観測点の北側をかすめるように通過しており，台風の接近，通過に伴う風速の時間変化が記録されている．風速は9/30の9時頃から大きくなっており，同時期に風向も90度から120度程度に増加している．台風最接近前9/30の17時～19時頃には，25m/s程度の強風が連続している．台風中心を取り巻く暴風域内に観測点が入っている時期であり，観測点から台風中心までの距離は約150km～60kmである（観測点と台風中心の距離は，ベストトラックデータより推定）．なお，強風が連続している間の風向はほぼ135度～140度に限定される．9/30の20時前後には風速が10m/s程度に低減する様子が確認できる．これは観測点が台風の中に入ったことを示しており，風速が10m/s程度に留まっているのは計測結果から50分間程度で，ベストトラックデータから推測される移動速度が約65km/hであることから，風の弱いエリアは距離にして54km程度であったと推測される．

3. 台風20号，21号，24号に伴う高波浪

台風20号，21号，24号により発生した有義波高の最大値（観測点計測値）は次の通りである．

台風20号：有義波高4.04m（有義波周期9.32秒）

台風21号：有義波高9.60m（有義波周期16.48秒）

台風24号：有義波高11.09m（有義波周期16.17秒）

台風21号，24号による高波浪では，観測点の設備，観測機器にも被害が発生し，特に台風24号による高波浪では海面から10mの高さの波高計を取り付けていた金属製のポールが折れて計測不能となった．図-4中で青線で示

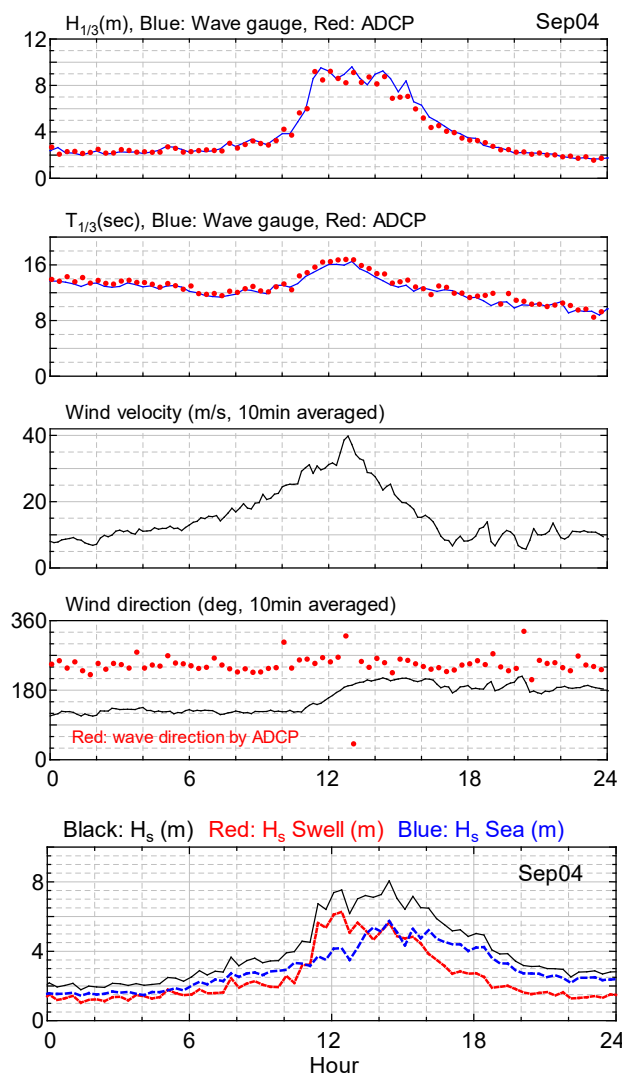


図-3 台風21号接近時の有義波高，有義波周期，風速，風向，波向きおよびADCPで計測された波高と波高のうねり成分，風波成分（有義波高，有義波周期の赤点は，ADCPにより計測された値）

されている波高データが9/30の19時頃を最後に欠測となっているのはこのためである。今回計測された高波浪は台風21号接近時にも計測器が設置されたレベルにまで達したことが確認されており観測値への影響が懸念されるが，観測塔上の波高計および水中のADCPから計測された波高および周期の値が時間変化も含めてよく一致していることから，計測器破損前の計測値の妥当性は確保されているものと考えられる。

以下では，各台風接近時に発生した状況について，他の観測値なども含めて概説する。

(1) 台風20号

8/23～8/24にかけて観測点に接近した台風20号は，観測点接近前の南海上では950hPa台の強い勢力を保っていたが，観測点付近に接近する頃には970hPa台にまで勢力を弱めていた。他の2つの台風とは異なり，図-2の有義波高の時間変化には目立ったピークは見られず，波高値

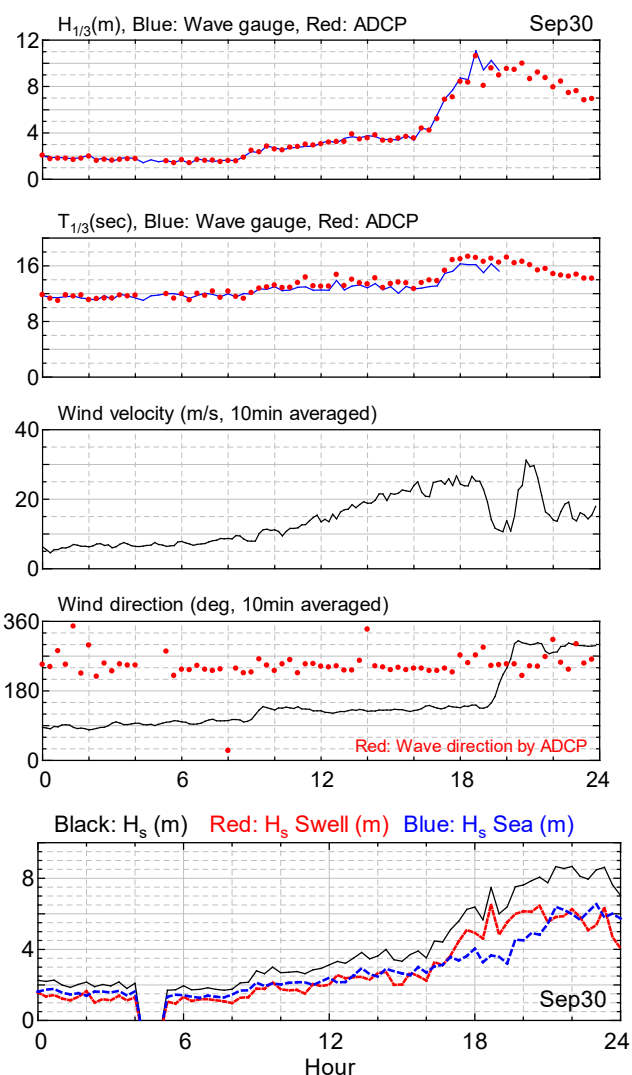


図-4 台風24号接近時の有義波高，有義波周期，風速，風向，波向きおよびADCPで計測された波高と波高のうねり成分，風波成分（有義波高，有義波周期の赤点は，ADCPにより計測された値）

も他の2つのケースの半分以下となっている。また，台風に伴う強風が連続する8/23の18時頃から24時頃にかけて，有義波周期が低下する傾向にある。ADCPによる計測結果においても，台風20号接近時は風波成分がうねり成分を常に上回る状況となっている。台風の最接近は台風が観測点の真西に位置する8/23の21時頃（図-1参照）であり，最接近前は観測点の南西側に位置している。この接近時の波向きの分布を示したものが図-5である。図-5は気象庁数値予報GPVの沿岸波浪数値予報モデル出力の初期値をプロットしたものであり，波向きが190度～240度（観測点に対して南西から入射する方向）のデータのみに色を付けている。図-5の時刻（8/23，21時）には，観測点に南西方向から入射する波浪成分がほぼ無い状態で，台風20号接近時の観測点付近は屈折，回折した波の影響を受けるのみで直接入射する成分が少なく，加えて台風接近中の風向が180度を超えることがほとんど無かったために他の台風のような高波浪には至らなかった

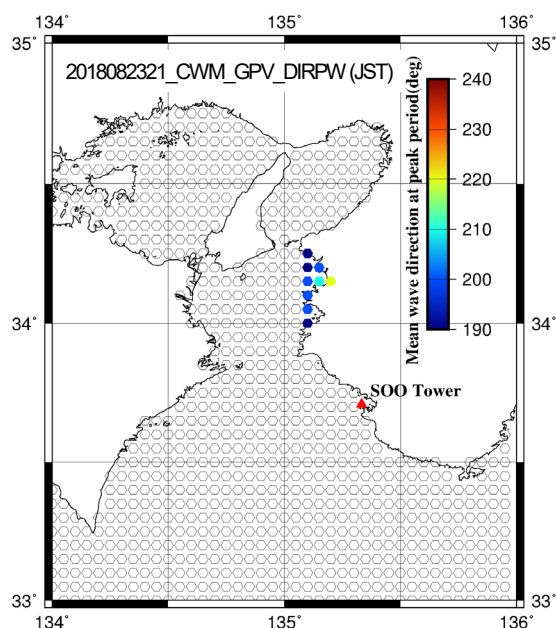


図-5 台風20号接近時の波向き（気象庁 沿岸波浪数値予報モデルGPVデータ初期値）

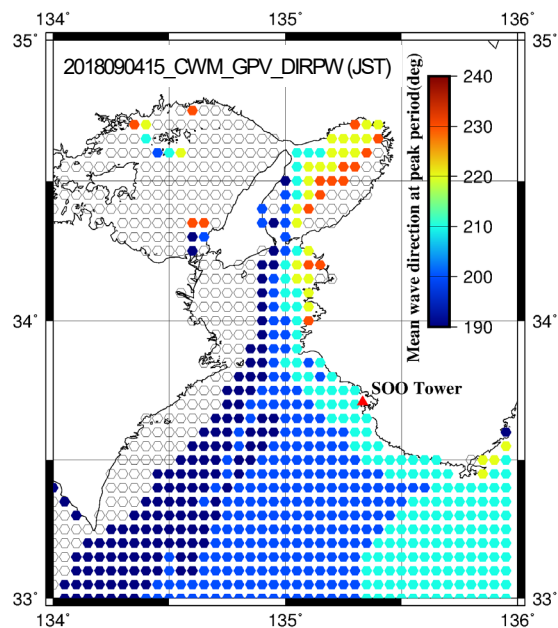


図-6 台風21号接近時の波向き（気象庁 沿岸波浪数値予報モデルGPVデータ初期値）

たと考えられる。

(2) 台風21号

台風21号は非常に強い勢力で日本付近に接近し、観測点に最接近した9/4の12時においても950hPaの勢力を保ち、各地に多大な被害をもたらした。先に示したように観測点においても最大瞬間風速が約55m/sに達し、有義波高も9.60mが観測された。台風21号の高波浪でも、海面上10mの計測器に波が達した形跡があり、非常に波の高い状態であったとともに、高波浪の状況が9/4の11時台から14時台まで継続したことが図-3から確認できる。この間、風速は10分間平均値で30m/sを超え、9/4の13時頃にピークを迎えた。

ADCPによる計測結果では、うねり成分が9/4の11時頃に急増している。風波成分は風速の増加に対応して増えているが、うねり成分と同程度となるのは9/4の13時台である。9/4の13時台には観測点で計測されている風向が約210度に達し、観測点に対する吹送距離が十分になる時期と一致する。風波成分が増加した後、うねり成分が低下し始める15時台までの約2時間の間は風波とうねりの重畳した状態となる。15時頃には平均風速は20m/s程度に低下しているが、風波成分とうねり成分が同程度で推移している間は、波の高い状況が維持されている。なお、風波とうねりの重畳した期間、風向は約210度、波向きは240度前後で推移している。

台風21号による高波浪時（9/4、11時～15時）の間、10mを越える波高（ZUCによる）は全90回（11時～15時の全波数は1475）観測されており、そのうち27回が14時台に観測されていることから、期間後半において高波

浪条件であったことが裏付けられる。

一方、うねり成分が急増する際（9/4の11時頃）には、その前後で紀伊半島と四国の間の海域の波向きが大きく変わったことが関係していると考えられる。9/4の9時のGPV（初期値）では南西側から観測点に向かう波向きはほとんどないにもかかわらず、6時間後の9/4の15時のGPV（図-6）では観測点付近で210度であるほか、周辺の広い範囲で190度～220度の波向きとなっている。

(3) 台風24号

台風24号も非常に強い勢力で日本付近に接近し、観測点に最接近した9/30の20時には960hPaとなったものの、勢力を保ったまま観測点付近を東北東の方向に通過した。台風24号は九州の南からほぼ一直線の経路で観測点付近に向かって接近し、接近前は観測点から220度～230度の方向に位置していた。観測点をほぼ直撃する経路ではあったが、風速は台風21号ほど強くなく、最大風速は台風通過後の吹き返しの風の際に記録されている。一方で、波浪は台風24号を上回り、有義波高が11mを越える結果となった。そのため、先に示した通り海面上10mの計測器が被害を受けた。

うねり成分の増加は9/30の16時頃以降であり、台風21号と比べて増加の程度は緩やかである。台風24号時は接近前から観測点付近には190度以上の波向きがGPVデータから確認されており、台風21号とは異なり周辺海域での波向きに急激な変化を伴わなかったためと考えられる。ほぼ同時刻のGPV（9/30、15時、図-7）では、波向きが190度を超えるようになっており、この時点には観測点沖側の有義波高が5～6mに達し、沖側から波浪が直接入

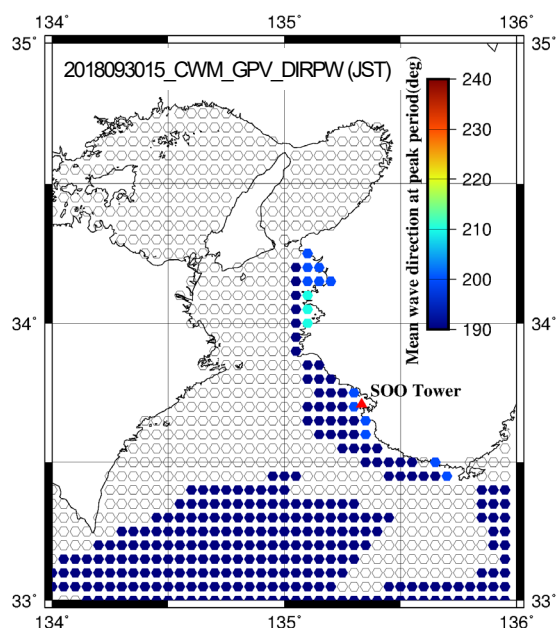


図-7 台風24号接近時の波向き（気象庁 沿岸波浪数値予報モデルGPVデータ初期値）

射する状況となったことがうかがえる。

台風24号においても、高波浪の前半はうねり成分が卓越し、台風通過後の後半にはうねり成分と風波成分が同程度で重畳する状態となった。風波成分が増加し始めるのは9/30の19時以降であり、風向が130度程度から大きく時計回りに変化し始める時期と対応する。風波とうねりとの重畳は、台風通過後の吹き返しのピーク以降に発生しており、風向は約300度、波向きは240度前後で推移している。

台風24号では波高計が被災したため、台風通過後の波高計データが欠測であるが、9/30の18時台に有義波高のピークが記録されている。18時台に10mを越える波高（ZUCによる）は全28回（18時台の全波数は262）、そのうち19回が1840～1900の20分間に記録され、ZUCによる波高の最大値は14.1mに達していることから、この時間帯がかなりの高波浪状態であったことは容易に推測される。18時台の波向きは平均265度であり、同時時間帯の風向は約140度であった。この風向は陸側から観測点向きであり、吹送距離も2km程度と短いために風波成分が十分に発達するには至らないが、ドラウプナー波の実験条件²⁾に近い状況（交差角が約120度）で平均風速25m/sの強風が連続したことも海面上10mの計測器が被災するような高波浪の発生要因の1つに加わったのではないかと推測される。

(4) 台風21号接近時の周波数スペクトル

図-8は、台風21号と24号が来襲した2018年9月1ヶ月間に観測された最大波高と有義波高（海面変動の標準偏差で基準化）の関係を示したものである。有義波高と海面

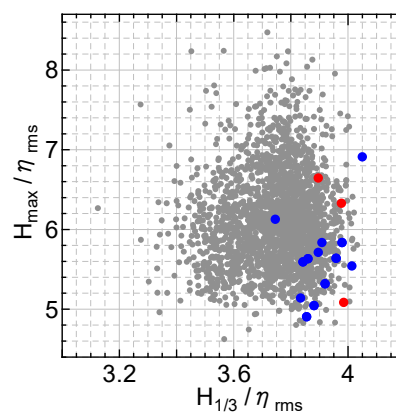


図-8 2018年9月1ヶ月間に観測された最大波高と有義波高（海面変動の標準偏差で基準化）の関係
（灰色：全データ、青丸：台風21号高波浪時、赤丸：台風24号接近前高波浪時）

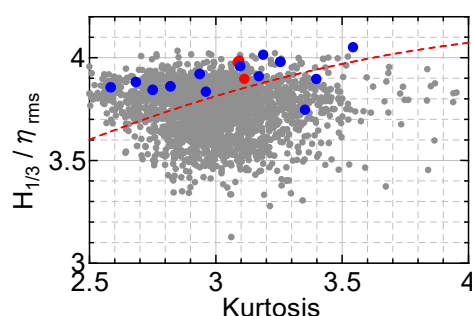


図-9 2018年9月1ヶ月間に観測された有義波高（海面変動の標準偏差で基準化）と波形の尖鋭度との関係
（灰色：全データ、青丸：台風21号高波浪時、赤丸：台風24号接近前高波浪時）

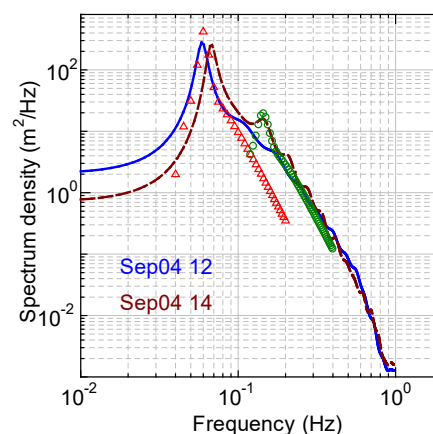


図-10 台風21号接近時の海面変動のスペクトル（実線、破線は観測データから求められたスペクトル、赤三角、緑丸は波高、周期を与えて計算されたスペクトル）

変動の標準偏差の回帰直線を求めると傾きは「3.84」である。台風21号接近時に海面変動の標準偏差が2mを越えるデータについて回帰直線を求めると傾きは「3.90」となり、図-8において高波浪時のデータが全体的に右寄り（横軸3.8～4.0の間）にプロットされていることと符合する。図-9は2018年9月1ヶ月間に観測された有義波高（海面変動の標準偏差で基準化）と波形の尖鋭度の関係

を示したもので、図中の赤破線は森⁴⁾が実験から得た式である。高波浪条件下の基準化された有義波高は実験式と同様に尖鋭度に対して単調増加する傾向を持つが、実験式よりも傾きがやや小さい。

図-10は、台風21号接近にうねり成分が卓越した時期（9/4、12時20分から20分間）とうねりと風波が重畳する時期（9/4、14時20分から20分間）の海面変動のスペクトルである。図中の赤三角は、上記12時の波浪データを使って求められたJONSWAPのスペクトル⁵⁾である。高波浪時の有義波高に対する海面変動の標準偏差の傾きが「3.90」であることから、係数 γ を10とした⁵⁾。卓越周期約16秒のピークは計算されたスペクトルで表現されており、観測データでは高周波側に風波成分に対応するスペクトルが存在している。うねりと風波の重畳する時期（14時）にはスペクトルが全体的にやや高周波側にシフトし、風波成分に対応する10秒以下の成分が増加する様子が確認できる。図中の緑丸は、有義波高3.8m、有義波周期6.5秒、係数 γ が3.3の場合のJONSWAPのスペクトルで、風波成分に対応する成分が増加した部分のスペクトルがよく表現されている。

4. おわりに

2018年には四国から紀伊半島付近に台風20号、21号、24号が接近した。そのうち、台風21号、24号接近時には、和歌山県田辺湾にある観測地点において10mに達する有義波高が観測された。特に台風24号は観測地点北側のごく近くを通過する経路をなつたため、台風21号ほどの強風ではなかったにも関わらず21号を上回る高波浪となり、海面上10mに設置されていた計測器に被害をもたらした。

台風21号、24号接近時は、いずれの高波浪時でも前半がうねりが卓越、後半にはうねりと風波成分が重畳する結果となった。うねり成分が増加する時期は沖側から観測

点にうねりが直接入射する時期であり、台風20号のように波向きが観測点に入射する方向でない場合はうねり成分が卓越する状況には至らない。

風波成分が増加しうねり成分と重畳するには、風向が200度程度よりも大きくなり、観測点に対する吹送距離が十分に長くなることが必要である。また、台風24号が観測点付近を通過した後のように吹送距離は数十kmに限定されるものの北西（約300度）からの吹き返しの強風によっても風波成分は南西側からの風と同程度に発達し、高波浪状態が台風通過後も維持された。

謝辞：気象庁GPVは京都大学生存圏研究所のデータベースを利用した。本研究の一部は京都大学防災研究所一般共同研究費（29G-09）及び科学研究費補助金（18H03791, 19H00782）の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 気象庁: 災害をもたらした気象事例, 台風第21号による暴風・高潮等, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180911/20180911.html>, 参照 2019-04-23.
- 2) 気象庁: 災害をもたらした気象事例, 台風第24号による暴風・高潮等, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20181011/20181011.html>, 参照 2019-04-23
- 3) McAllister, M. L., Draycott, S., Adcock, T. A. A., Taylor, P. H. and Bremer, T. S. van den: Laboratory recreation of the Draupner wave and the role of breaking in crossing seas, J. Fluid Mech., vol. 860, pp. 767-786, 2019.
- 4) Mori, N.: Occurrence probability of freak wave in nonlinear wave field, OceanEngineering, vol. 31(2), pp. 165-175, 2004.
- 5) 合田良美: 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第34回海岸工学講演会論文集, pp.131-135, 1987.

(2019.3.13 受付)

HIGH WAVES DUE TO TYPHOONS IN THE SUMMER OF 2018 OBSERVED AT AN OBSERVATION TOWER

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

During the summer season in 2018, three typhoons (No.20, 21, 24) approached around the Kii peninsula, and the severe wave conditions caused by the typhoon Jebi (No.21) and the typhoon Trami (No.24) are observed at the observation tower of Shirahama Oceanographic Observatory, DPRI, Kyoto University.

The observed maximum significant wave height due to the typhoon Jebi and Trami reach 9.60m and 11.09m, respectively. These high waves caused heavy damages to measurement equipments and fixtures on the observation tower.

High wave conditions due to the typhoons mentioned above consists of two periods. The swell component is dominant during the first half, and the swell and wind-wave components are superposed during the second half.