

## 平成 30 年台風第 21 号による暴風と高潮の要因について

### ～強い南寄りの暴風と大阪湾内を移動した海水による 高潮の様子が明らかに～

気象研究所は、9月4日に近畿・四国地方を中心に記録的な暴風及び高潮をもたらした平成30年台風第21号について、暴風と高潮の要因を調査しました。その結果、紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域での記録的な暴風は、台風の進行方向右側に南風の最大風速域が局在していたためと考えられます。また、大阪湾の記録的な高潮の要因は、大阪湾北部が、大阪湾に吹いた強い南風によって吹き寄せられた海水であり、大阪湾南部が、風が弱まった後の湾内での副振動によって運ばれてきた海水であったことが明らかになりました。

今回の台風について、次のような要因により、紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域での記録的な暴風と高潮が発生したと考えられます。

- 紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域で記録的な暴風が吹いた要因
  - ・ 台風は非常に強い勢力で四国に上陸しました。また、台風を押し動かす全体的な風速が15m/sと比較的大きいものでした。さらに、四国地方に接近以降、台風の眼の壁雲が形成され、暴風が維持されました。
  - ・ その結果、台風の進行方向右側に最大風速域が局在することとなり、紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域で40m/s以上の最大瞬間風速がもたらされました。
- 大阪湾で記録的な高潮となった要因
  - ・ 台風は大阪湾で強い南寄りの風が吹く進路を通ったことにより、海水が北部湾奥の大阪市や神戸市の海岸に吹き寄せられ、大量の海水が集積したため、大きな高潮となりました。
  - ・ 風が弱まってから、副振動によって海水は南へ戻り、大阪湾南部の洲本や淡輪では改めて潮位が高くなりました。
  - ・ 大阪湾では高波も発生しており、越波や潮位のかさ上げに寄与していました。

問合せ先：（全体に関すること）

気象研究所 企画室 研究評価官 丸本

電話 029-853-8535 FAX 029-853-8546

（暴風に関すること）

気象研究所 台風研究部 第二研究室 主任研究官 嶋田

電話 029-853-8672 FAX 029-853-8735

（高潮に関すること）

気象研究所 海洋・地球化学研究部 第二研究室長 高野

電話 029-853-8662 FAX 029-853-1439

## 1. 台風の構造と暴風の特徴

気象庁の室戸岬レーダーの観測データを用いて、四国・近畿地方を移動中の台風第21号の降水分布と暴風の特徴を調べました。その結果、降水分布に関しては、台風特有の構造である「眼の壁雲」が形成された点が特徴的でした。暴風に関しては、台風の非対称な風速分布が特徴的でした。

### (1) 降水分布

台風が四国沖にあった頃、降水域は進行方向前面側に偏って分布し、眼の壁雲は存在しませんでした(図1右)。一方、台風が四国地方に接近して以降、台風中心に近いところで対流が活発化しました(図2右)。その後、台風が淡路島付近を通過している頃には、強い降水域は台風中心から半径30-40km付近にあり、眼の壁雲が一時的に形成されました(図3)。このような対流活動の活発化はひまわり画像でも確認できます(図4)。実際に、眼の壁雲の接近に伴い、各地で1時間に50mm以上の非常に激しい雨が観測されました(表1)。

### (2) 暴風

台風が四国沖を北上していた頃、高度2kmの最大風速は55-65m/sに達し、進行方向右側の台風中心から半径80-100km付近に最大風速域が分布していました(図1左)。高度2km付近でも台風を押し動かす上空の空気の流れが15m/sと比較的大きかったため、このような非対称な風速分布となっていたと考えられます。風速の非対称分布は、台風が徳島県南部に上陸後、さらに顕著になりました(図2左)。高度2kmでは、進行方向右側の台風中心から半径40-50km付近で風速が最も大きく、その値は55-60m/sを維持していました。一方、進行方向左側では、図1と比べ、風速がさらに減少しました。上空の空気の流れは台風が四国沖にある時と大きく変化していないため、進行方向左側での風速のさらなる減少は陸地の影響による減衰が考えられます。台風の同心円に沿って吹く風の速度の分布によると、最大風速半径は約5時間の間に、眼の壁雲の形成に合わせて、半径100km以遠から半径45-60km付近に位置するよう変化しました(図3及び別紙の2参照)。実際に、台風の最大風速域の通過に伴い、進路方向右側に当たる紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域では40m/s以上の最大瞬間風速が観測されていました(表2)。

表1 9月4日12時から14時までに観測された  
50mm以上の1時間降水量

観測地点	起時(9月4日)	値(mm)
香川県引田	12:12	68.5
兵庫県南淡	12:25	53.0
兵庫県洲本	12:42	74.0
和歌山県湯浅	12:59	64.5
和歌山県和歌山	13:01	57.0
兵庫県郡家	13:12	85.5
兵庫県神戸	13:44	60.0

表2 紀伊水道及び大阪湾の沿岸地域で観測された  
40m/s以上の最大瞬間風速(9月4日13時以降)

観測地点	起時(9月4日)	値(m/s)
和歌山県友ヶ島	13:14	51.8
和歌山県和歌山	13:19	57.4※
大阪府関空島	13:38	58.1※
大阪府熊取	13:40	51.2※
兵庫県神戸	13:41	41.8
大阪府堺	13:50	43.6※
兵庫県神戸空港	13:55	45.3※
大阪府大阪	14:03	47.4

※観測史上1位の値を更新

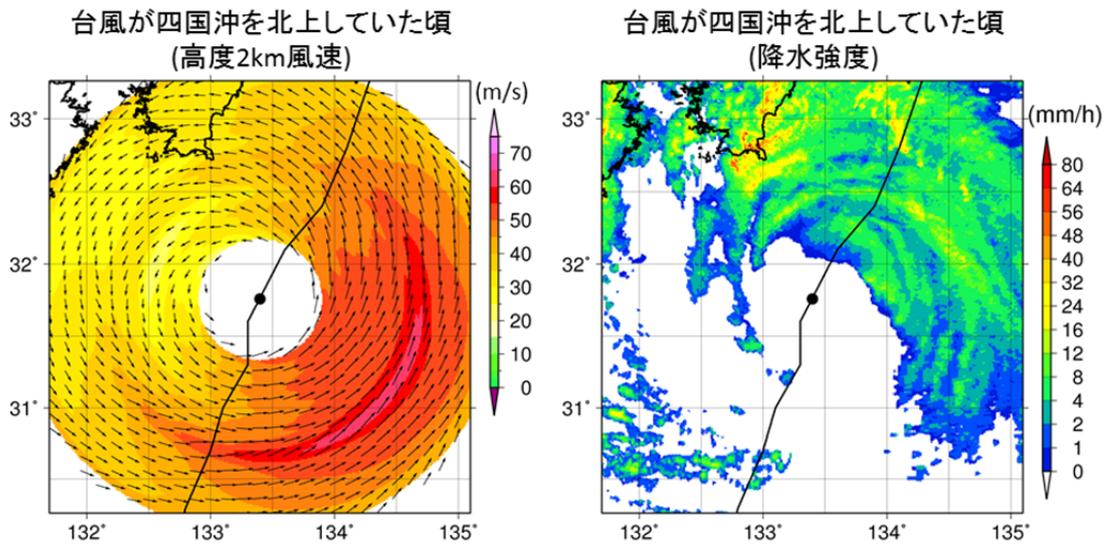


図1 ドップラー速度データから推定された9月4日7時20分頃の高度2kmの風速(左図)、降水の分布(右図)

黒線は台風経路(速報値に基づく)を示す。風速場推定手法の精度的限界のため、風向には不確実性があることに注意が必要。風速の空白域は、ドップラー速度の観測値がないため、風速が推定できなかったことを示す。別紙の1に詳しい説明を示す。

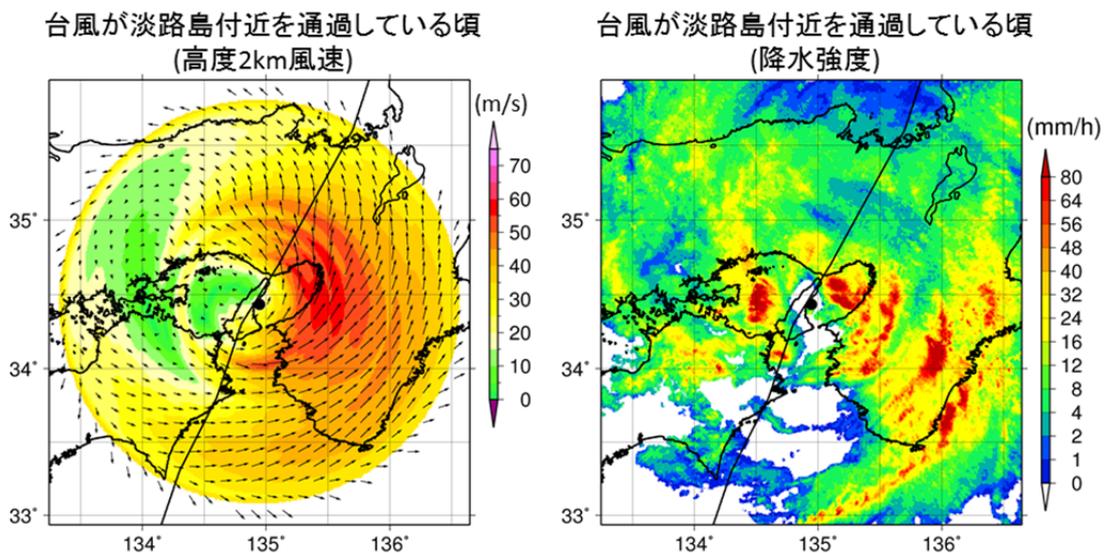


図2 9月4日13時10分頃の高度2kmの風速(左図)と降水の分布(右図)

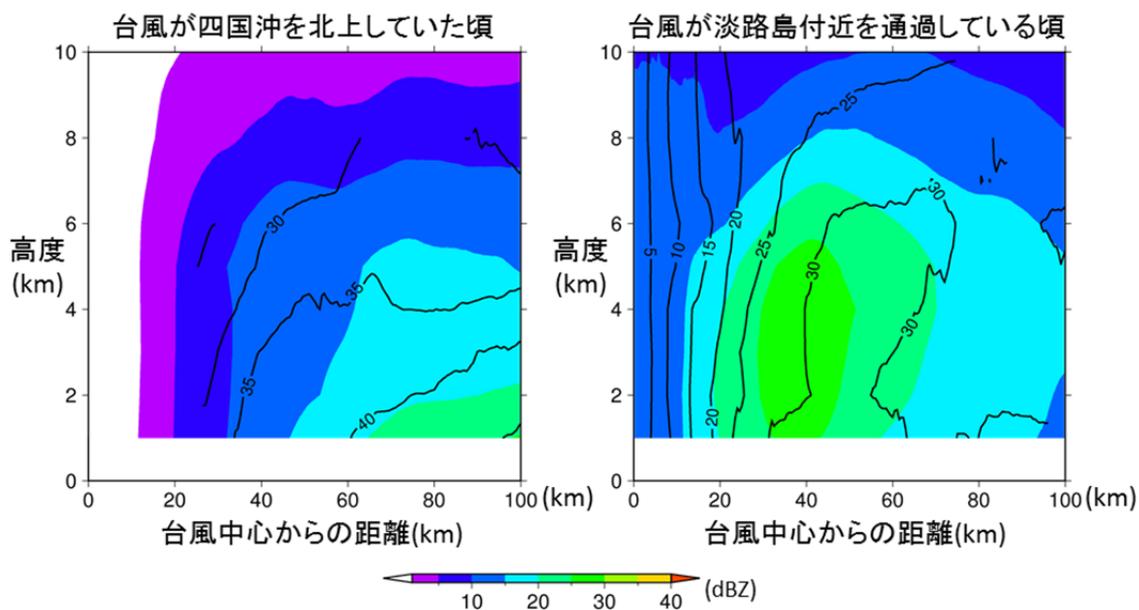


図3 台風の接線風速（実線：台風の同心円に沿って吹く風の速度、単位はm/s）と反射強度（カラー）の分布（左図：9月4日7時から9時までの平均、右図：9月4日12時から14時までの平均。）

接線風速及び反射強度は台風の同心円上で各方向に平均した値であり、縦軸は地上からの高さ（高度）、横軸は台風中心からの水平距離（半径）を示す。反射強度が大きいほど、強い降水があることを示す。

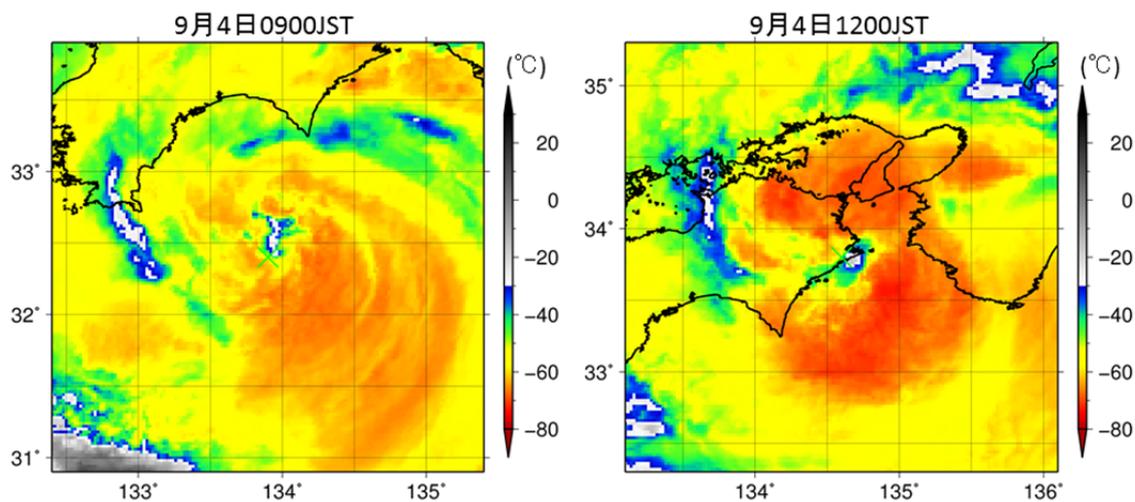


図4 ひまわり8号赤外衛星画像（左図：9月4日9時、右図：9月4日12時）

色が赤いほど、雲頂高度が高く、対流活動が活発であることを示す。

## 2. 大阪湾の高潮とその要因

台風第21号は強い南風を伴って北上したことから、大量の海水が近畿地方の海岸に吹き寄せられて各地で大きな高潮が発生し、大阪や神戸など6つの検潮所では、過去最高潮位を超える記録的な高潮となりました(表1)。いずれの観測点でも最大偏差(高潮)と最高潮位は同じ時刻に観測されており、天文潮位よりも高潮そのものが最高潮位につながりました。

基本的に最高潮位は、台風の接近に伴って南の地点で早く観測され、北に行くにつれて遅くなっていますが、大阪湾南部の淡輪と洲本では、北部の大阪や神戸よりも1時間ほど後の時刻に最高潮位が観測されています。このことは、台風の北上・通過に伴って単純に高潮が発生しただけではないことを示唆しています。

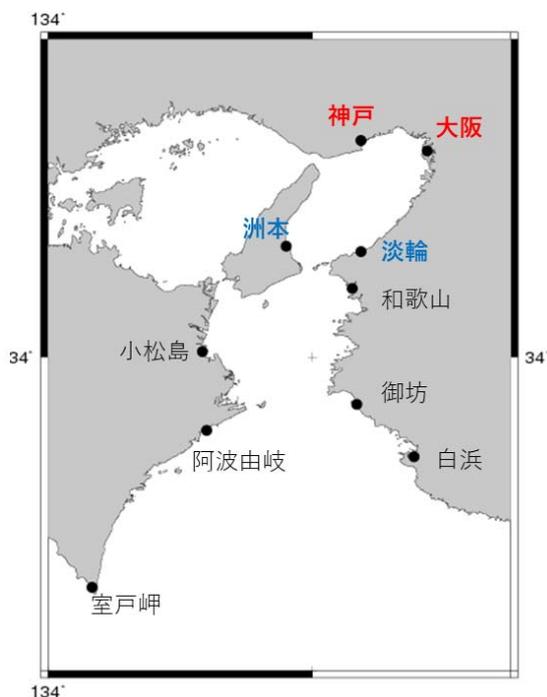


表 1. 検潮所で観測された最大偏差と最高潮位

観測地点	都道府県	最大偏差 (cm)	時刻	最高潮位 (cm)	時刻
室戸岬	高知	150	10:50	194	10:50
阿波由岐※	徳島	152	12:08	203	12:08
小松島	徳島	122	12:16	168	12:16
御坊※	和歌山	260	12:48	316	12:48
白浜※	和歌山	107	13:02	164	13:02
和歌山	和歌山	146	13:05	201	13:05
串本※	和歌山	102	13:20	173	13:20
神戸※	兵庫	181	14:09	233	14:09
大阪※	大阪	277	14:18	329	14:18
淡輪	大阪	124	15:10	179	15:10
洲本	兵庫	124	15:13	174	15:13

※は過去最高潮位を超える値を観測した地点

台風第21号の速報解析結果を用いて、高潮モデル（解像度30秒）による再現計算を行いました。神戸、大阪、洲本、淡輪の4つの検潮所における潮位の再現結果(図5)では、計算された潮位はいずれも、ピークとタイミング、変動状況が総じて観測と一致しており、基本的に高潮はよく再現されています。

潮位の変化を見ると、観測・計算ともに、神戸と大阪では潮位が急激に上昇してから潮位が低下し、その後しばらくは小さな振動がみられます。一方、洲本では明瞭な二つのピークがあり、淡輪でも明瞭ではないものの二つのピークがみられます。この2地点は、いずれも後のピークが最高潮位となっています。

大阪と神戸の高潮は、単一の大きな潮位上昇として最高潮位となりましたが、洲本と淡輪では、大阪や神戸よりも先に一旦潮位が高くなり、その後改めて潮位が高くなって最高潮位となりました。ピークの時刻を考慮すると、洲本と淡輪の第1ピークは、台風の接近・通過に伴う吸い上げ・吹き寄せの効果によるものと考えられます。第2ピークは、大阪湾内の南風が弱まり、北に吹き寄せられた海水が戻ってきた副振動によるものと考えられます。

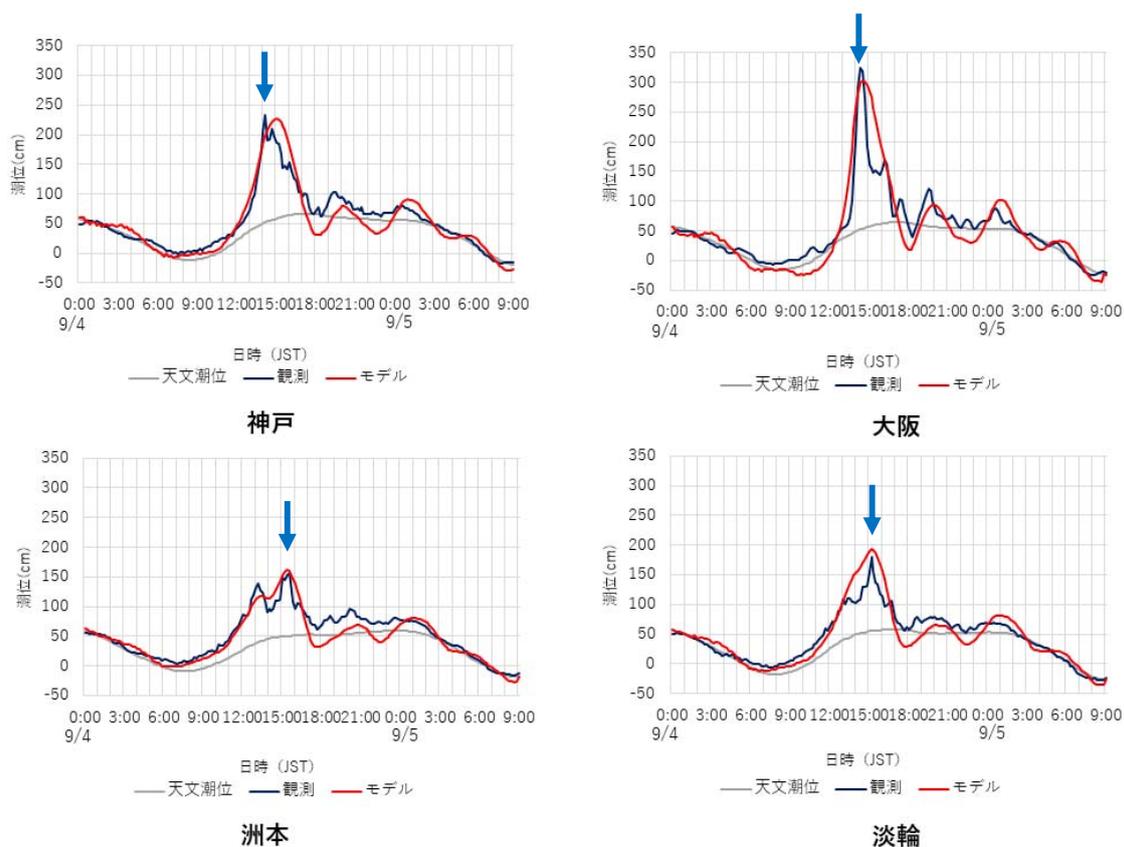


図5: 検潮所地点における再現結果

神戸、大阪、洲本、淡輪における潮位の推移。灰色は天文潮位、青は観測値、赤は高潮モデルによる計算結果を示す。

台風の北上に伴い、大阪湾の南から北にかけ高潮が発生し、湾奥の大阪などでは、集められた海水で大きな高潮となりました。台風が去って風が弱まると、この吹き寄せられた海水が南へ戻りますが、淡路島などの地形の影響で、海水の一部は大阪湾内を循環し、これによって大阪湾内で副振動が生成されました（図6）。洲本と淡輪では、この戻った海水で作られた高潮の方が大きく、最高潮位は大阪や神戸よりも遅い時刻に観測されたと考えられます。

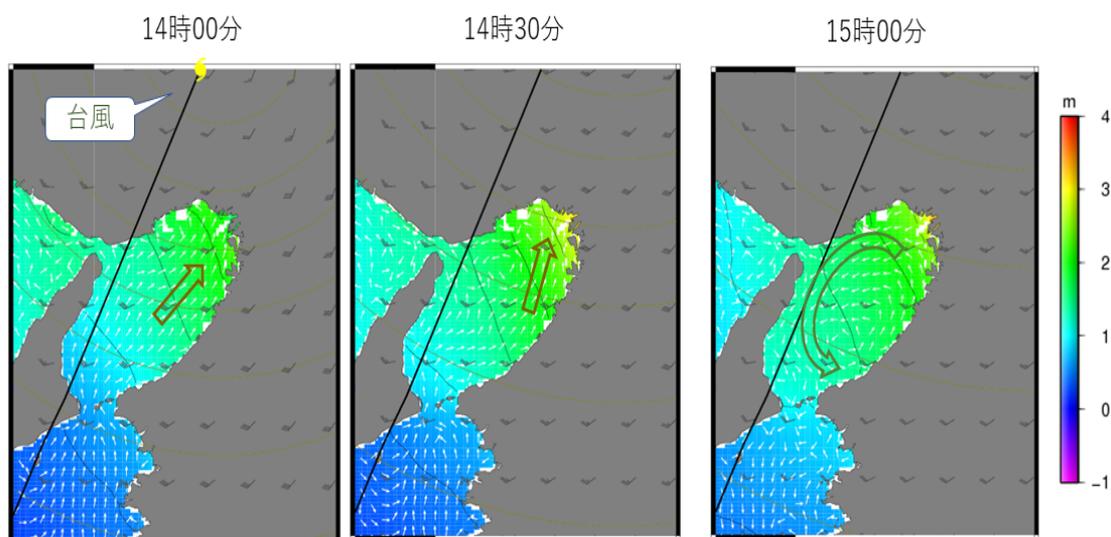


図6:大阪湾における海水の動き

台風の南風で湾奥に吹き寄せられた海水は、大阪や神戸で大きな高潮を発生、風が弱まると海水は南へ戻り、洲本や淡輪の潮位が高くなる。海水はさらに大阪湾内を循環し、湾内に副振動を発生させる。

また、大阪湾では、広い範囲で波高5mを超える高波が推算されています（図7）。周期も7秒以上で、長い波長の波であることから、高潮で上昇した潮位によって、波が堤防等を乗り越え（越波）やすくなっていたことに加え、波のエネルギーが潮位の上昇にも寄与していたと考えられます。

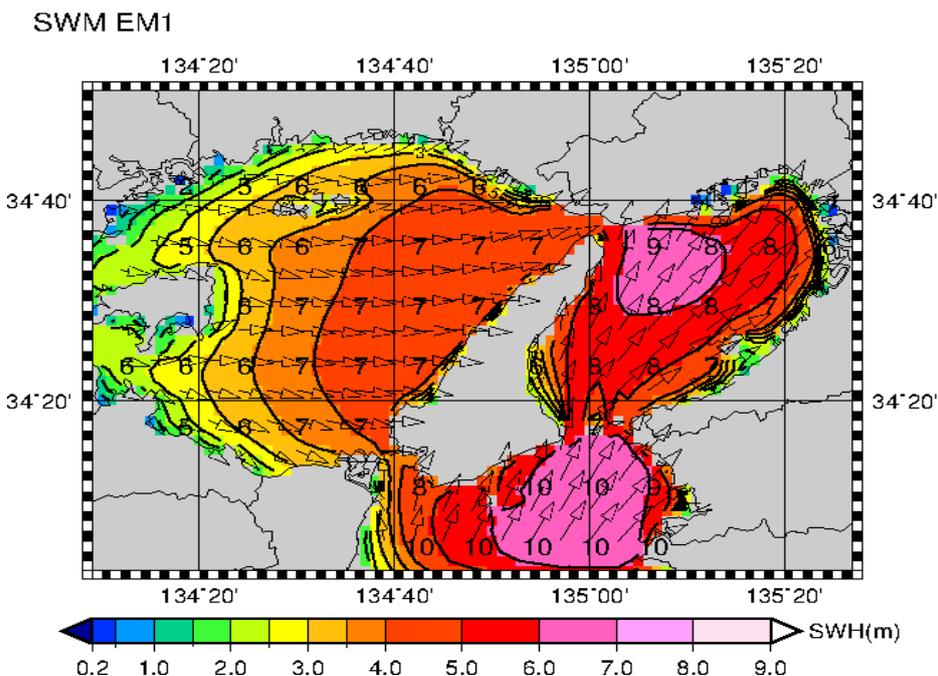
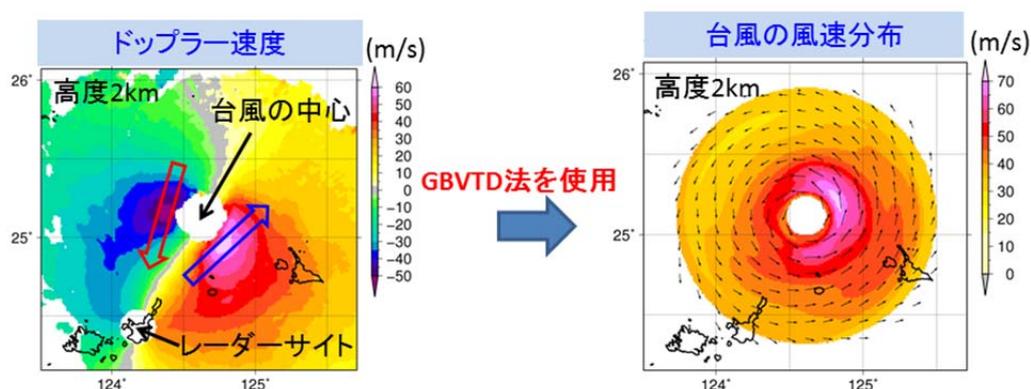


図7：大阪湾の波浪（気象庁波浪モデル2018年9月4日12時初期値の3時間予想値）

カラーは波高(m)、数字は周期(秒)、矢印は卓越波向を表す。

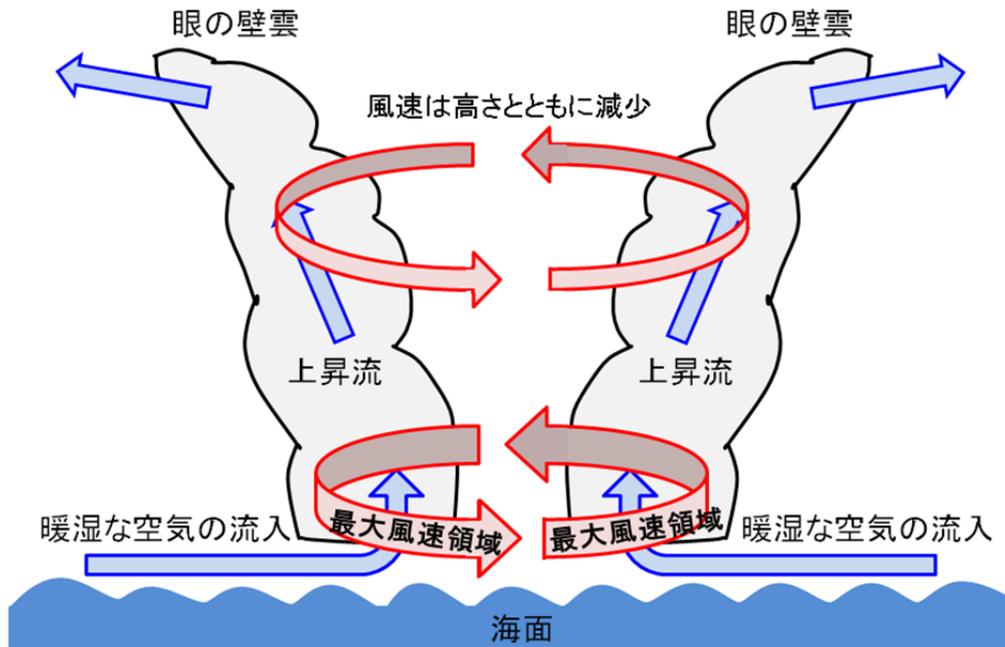
## 1. ドップラー速度から台風の風速を推定する手法



気象レーダーによって観測されるドップラー速度は、レーダーのビーム方向の速度のみである。ビームに垂直な方向の速度を計ることができないため、通常これだけでは台風の風の二次元分布はわからない。しかし、台風特有の同心円状の風分布を仮定することで精度良く台風の風速分布を推定できる手法（GBVTD法という）を使用すると、ドップラーレーダーで5分毎に観測されたドップラー速度データから5分毎の台風周辺の風分布を推定することができる（Shimada et al. 2016）。台風の構造等にも依存するが、台風中心がレーダーサイトからおよそ150km以内にある間、この方法で台風の風速分布を5分毎に推定することが可能である。ただし、風向・風速の推定値には、観測誤差や推定手法の限界で誤差が含まれることに注意が必要である。

Shimada, U., M. Sawada, and H. Yamada, 2016: Evaluation of the Accuracy and Utility of Tropical Cyclone Intensity Estimation Using Single Ground-Based Doppler Radar Observations. *Monthly Weather Review*, **144**, 1823-1840, doi:10.1175/MWR-D-15-0254.1.

## 2. 眼の壁雲と最大風速の位置関係について



台風は巨大な反時計回りの渦である。その基本的構造は、「眼」と呼ばれる中心付近の比較的風が弱い領域と、その領域を取り囲む「眼の壁雲」と呼ばれる発達した積乱雲群の領域からなる。眼の壁雲付近では最も強い風が吹いている。

最も強い風が吹いている領域（最大風速領域）では、地表面摩擦の影響で暖湿な空気が台風の外側領域から集まってくる。集まった暖湿な空気は上昇し、積乱雲（眼の壁雲）を発達させる。積乱雲から放出される凝結熱は、上昇流をさらに強め、まわりの空気をさらに眼の壁雲領域に集める。この時、フィギュアスケートのスピンと同じ原理で、外側から集まった空気は風速を増大させ、地表面摩擦に対抗して、最大風速を維持する。

このように、台風の構造は一般に、対流の活発な領域（眼の壁雲）と風速最大の領域がほぼ同じところに位置する関係になっている。

### 3. 高潮と副振動について

#### (1) 高潮

高潮は、台風や低気圧が接近・通過する際に海面の水位が上昇する現象で、主に、気圧の低下による吸い上げ効果と強風による吹き寄せ効果によって起こる。

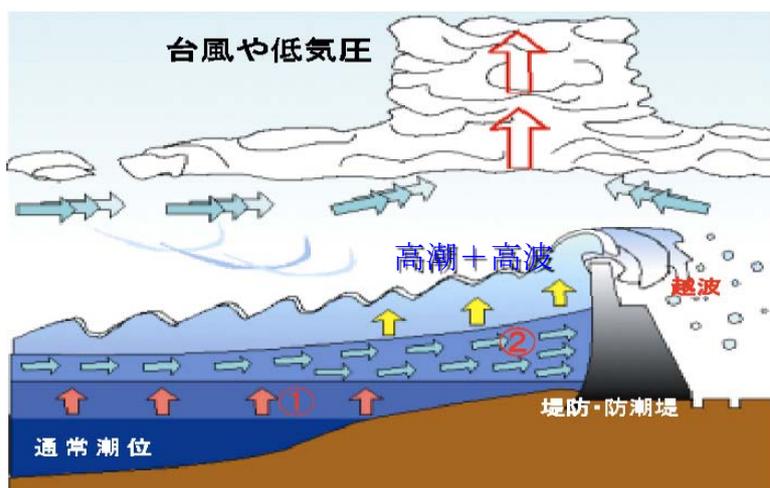
##### (吸い上げ効果)

気圧が低いと、海水を吸い上げるように作用し、海面が上昇する（ストローで吸い込んだ場合に、水がストロー内を上がる現象と同様）。気圧が1ヘクトパスカル（hPa）下がると、潮位は約1センチメートル上昇する。

##### (吹き寄せ効果)

強い風が沖から海岸に向かって吹くと、海水は海岸に吹き寄せられて海水が集積し、海岸付近の海面が上昇する。この効果による潮位の上昇は、風速の2乗に比例し（風速が2倍になれば海面上昇は4倍になる）、水深に反比例する。また、風の吹き渡る距離にも比例する。

吸い上げと吹き寄せ効果の他に、波浪の影響で水位が上昇（ウェーブセットアップ）することがあり、また、潮位が高くなることで、波が堤防等を越え（越波）やすくなる。



#### (2) 副振動

副振動とは、湾や海峡などで発生する海面の振動現象である。振動の周期は数分から数十分で、湾や海峡の形状（深さ・大きさ）によって異なる。一般的には、高潮や津波などによる海面の変動が湾内の固有振動と共鳴して発生する。