

□ 台風21号による被害発生的气象学的要因

京都大学 防災研究所 教授 石川 裕彦

はじめに

2018年9月に近畿地方を縦断した台風21号により、大阪湾沿岸で高潮・高波が発生し、また近畿地方の広域で強風が吹き、建築構造物の被害、樹木の被害、電力網への被害、飛散物による被害、さらには関西空港の浸水といった様々な被害が生じた。日本損害保険協会の2019年3月22日付公表（日本損害保険協会、2019）によれば、この台風21号により生じた被害に対する各種損害保険の支払い総額は9698億円に達した。この額は、風水害による保険金支払額のこれまでの歴代第1位であった1991年台風19号の際の5680億円をはるかに超えるものとなった。

2018年台風21号は、近畿地方においてかつて大きな被害をもたらした1934年室戸台風や1961年第二室戸台風と似たコースを辿り、大阪市内の気象台観測点では、室戸台風の際の60.0m/s、第二室戸台風の際の50.6m/sに次いで観測史上歴代3位となる最大瞬間風速47.4m/sが記録された。京都市内の気象台観測点での最大瞬間風速は39.4m/sで、1934年室戸台風時の42.1m/sに次いで観測史上歴代2位の記録となったほか、関西空港では記録のある2003年以降では観測史上1位の58.1m/sの最大瞬間風速が記録された。こういった暴風により、近畿地方の各都市では様々な形態の災害が発生した。大阪市内では、市街地を中心に建築構造物や街路樹・公園樹に大きな被害が生じた。

都市域での風の息—突風率

今回の台風21号による暴風災害は、現代の市街

表1 台風経路に沿う四国・近畿地方のアメダス観測点で観測された突風率（2018年9月4日）

地点 Site	突風率 Gust Factor	日最大 (Daily maximum)	
		10分平均風速 10 min wind [m/s]	最大瞬間風速 Max gust [m/s]
堺	2.20	20.3	43.6
能勢	2.13	17.3	31.6
川辺	2.11	23.4	42.2
枚方	2.10	19.3	40.2
南小松	2.10	16.3	32.2
東近江	2.01	16.5	31.7
大阪	1.95	23.7	47.4
熊取	1.93	26.6	51.2
京都	1.91	21.7	39.4
土山	1.87	18.6	33.2
米原	1.85	18.8	32.2
京田辺	1.84	18.7	34.4
長浜	1.82	19.3	33.6
彦根	1.81	23.5	46.2
三木	1.73	15.3	26.9
八尾	1.72	16.8	36.5
洲本	1.68	21.1	34.1
三田	1.68	18.7	29.4
豊中	1.66	18.3	38.1
今津	1.63	20.2	35.9
和歌山	1.60	37.6	57.4
南紀白浜	1.60	33.3	45.8
明石	1.46	25.2	31.6
神戸	1.43	23.0	41.9
友が島	1.36	42.5	51.8
関西空港	1.32	44.9	58.1
神戸空港	1.29	34.5	45.3

地が構築されて以降で生じた最悪の被害と言える。一般に、市街地内での風は、ビルの密集度合いや高層ビルの配置の影響を受け、場所によって大きく変化する。実際に都市域でどのような風が観測されたのか、まず地上観測記録をもとに調べる。

風速は強くなったり弱くなったりする。これを「風の息」という。風の息が荒いと平均風速はそれほど大きくなくとも瞬間的に強い風が吹き、こ

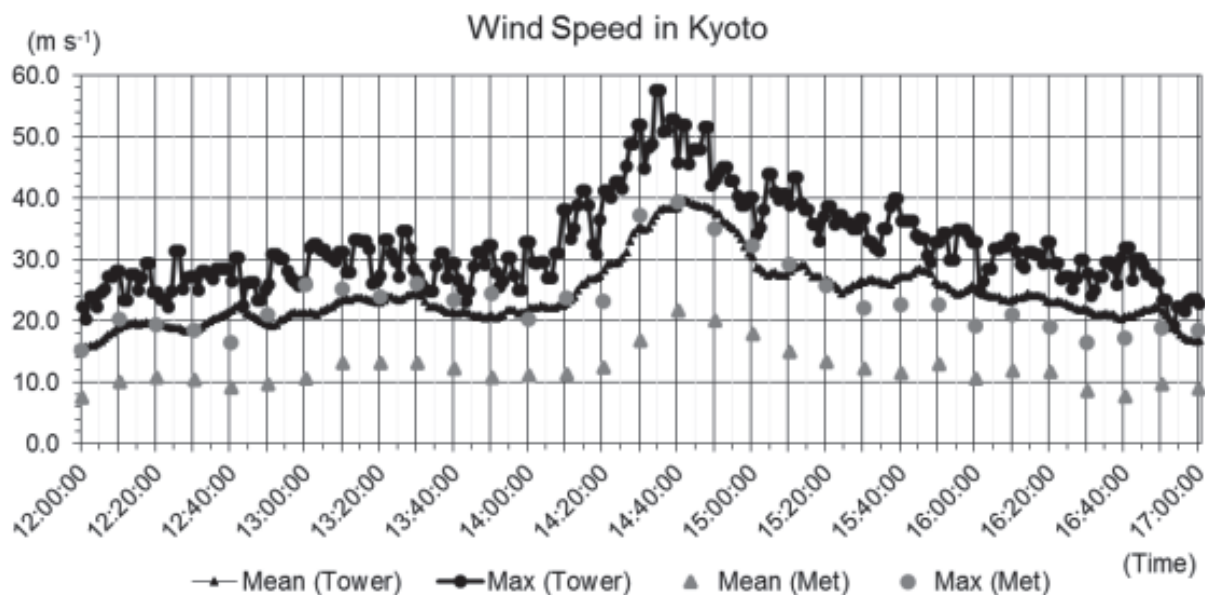


図1 平均風速と瞬間最大風速の時系列比較。京都タワーの記録は1分間隔の記録を●と▲を実線で繋いで示した。地上観測は10分間隔の記録を○と△で示してある。いずれも2018年9月4日の12時から17時の記録。

の瞬間的な強風が被害をもたらす。風の息の荒さは突風率という指標で表すことができ、気象庁のアメダス観測データを用いて、[10分間の最大瞬間風速] ÷ [10分間の平均風速]、で簡単に計算できる。台風が京阪神を縦断した9月4日の0時から9月5日0時までの24時間の記録を用いて、台風経路に沿う、和歌山県、兵庫県、大阪府、京都府、滋賀県の気象庁観測点の突風率を、大きい順に並べたのが表1である。堺(2.2)、枚方(2.1)、大阪(1.95)、京都(1.91)をはじめ、都市域の観測地点において大きな突風率が観測されている。表の突風率は一日のデータの平均(線形回帰)であるから、個々の10分間で見るとこの値よりも大きな突風率が実現している時間帯も多い。これらの値は、教科書的に言われている値(1.5~2)の上限かそれを越える値である。様々な構造物が立て込む都市域で、構造物の影響を反映して突風率(風の息)が大きく(荒く)なっている様子を示唆している。

京都市街地における強風の実態を把握するため、気象庁によるデータの他、京都市環境局が保有する観測データを収集した。京都市環境局が保有す

る観測データのうち、京都タワーでの観測では、1分毎の平均風速および最大瞬間風速のデータが取得されていたため、台風通過時の突風の分析に使用した。京都タワーの観測高度は地上高121mであり、地上とは風の吹き方や強さが大きく異なるであろう。図1に京都タワーおよび地上気象観測点での平均風速および最大瞬間風速を示す。地上気象観測点でのデータは、10分間隔での平均風速および最大瞬間風速である。期間中の最大瞬間風速は、地上気象観測点(観測高度17.6m)では39.4m/sであったのに対し、京都タワー観測では57.6m/sに達した。また、図1に示した期間中の突風率は、地上気象観測では2.01(表1とは算出期間が異なるため若干数値に違いがあることに注意)、京都タワー観測では1.33であった。このように、地上に近いほど、突風率は大きくなることが示唆される。これは、建物や構造物などの影響を受けて、地上に近いほど風速変動の幅が大きくなるためだと考えられる。さらに図1から、地上での最大瞬間風速値は、高度121mでの平均風速値とおおよそ同程度であることが分かる。このことから、上空の強風が風の息により地上付近まで

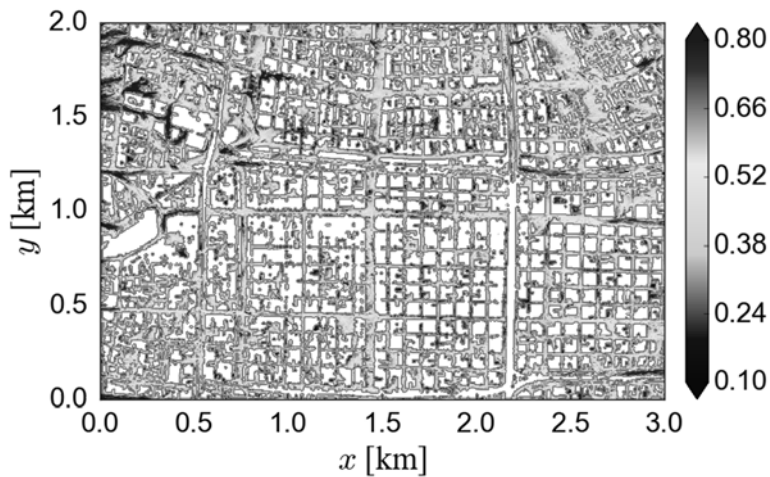


図2 LESで計算した地上付近の最大瞬間風速の分布。モデル上端の風速を1としたときの風速比で示してある。

引き下ろされて、地上付近での風が瞬間的に強まるという猫像を描くことができる。

シミュレーション計算による突風の理解

上記の推定を確かめるために、大阪市難波周辺の市街地を対象に、街区の建築物を詳細に再現した数値シミュレーションを行った。国際航業のGISデータを用いて大阪市街地（南北3km・東西2km）の実際のビル群を2mメッシュで表現し、ラージュ・エディ・シミュレーションと呼ばれる計算手法を用いて、街区とその上空326mまでの気流と風の息を計算した。

図2は、建物にはさまれたストリート・キャニオン内の瞬間風速の最大値を示している。図の左側が南、右側が北で、南風が吹く条件で計算した。数値が1に近いほど上空の風速に近くなる。地表付近では建物の抵抗が効くので、全体的には上空風速よりも弱いですが、風速比が0.8を超える場所が多数あり、ところによっては0.9を超えて1に迫るような地区もあることが分かる。また、南北(図中では左右)に延びる道路に沿って顕著な強風が見られるが、東西に述べる道路でも場所によっては大きな値となる様子が見える。

後で述べるドップラー・レーダーによる解析や別の気象モデルによる台風再現計算結果によれば、

大阪市上空の平均風速が最大で70m/sに達していたと推定される。この値を上空の風速として、図2に示す市街地の最大瞬間風速の相対値に値付けして実風速に換算すると、市街地内では、場所によって、瞬間的に60m/sから70m/sにも迫る暴風が吹いたと推定できる。

このような街区を吹き抜ける突風が市街地に強風被害をもたらす。実際、南海電鉄難波駅前の周辺地区では、古い木造家屋の大破、建物の壁や看板・パネルの剥がれ、御堂筋沿いや南海難

波駅前の広場の街路樹の被害など、様々な被害が発生した(図3)。



図3 難波駅周辺の暴風被害

台風の暴風とメソ渦

気象研究所の研究グループは、気象庁の様々な観測データを総動員して解析する中で、台風本体の北東側にメソ渦と呼ばれる小さな渦が埋め込まれていて、これが京阪神地区の暴風発生と関係していることを発見した。

台風は、それ自体が反時計回りに回転する大きな風の渦である。この渦が移動すると、進行方向の右側では、渦の風速に移動速度が加算されるので地上風速は大きくなる(進行方向の左側では小

さくなる)。台風21号は大阪湾を北東進したので、進行方向の右側にあたる京阪神地域は、そもそもこの風の強い範囲に入っていた。

気象研究所の解析によると、台風中心から20～30km北東側に直径10kmほどの小さな渦があり、これが台風とともに北東に移動する様子が解析された。図4に、13時30分（日本時）の様子を示す。図の中心にある黒丸が台風中心、図中の濃淡は気象レーダーのエコー強度で、降水の強さに対応する。矢印は、地上の気象観測点で観測された風向風速を示しており、13時から14時の1時間の間に観測された情報を、時空間変換という方法で台風の移動に相対的に位置に割り当てることにより、擬似的な風の分布を作画したものである。台風の北東側20km付近の白い円で囲んだ部分で降水が強（色が黒く）なっていて、そこに吹き込むように風の流れが強化される様子が見える。詳細を見るとこの部分に小さな渦があり、これに吹き込

む風が台風の風に加算されたため地上風速がさらに強化されたことがわかった。このようなメソ渦の存在は以前から言われていたものであるが、最新の観測技術により、視覚的に捉えることができるようになってきた。

新しい技術を用いた台風監視と減災

平成30年第21号台風の事例では、経路が京阪神地域を通過したことにより、従来にない高密度な観測データが得られていた。大阪レーダーに加え、関西空港と伊丹空港にもドップラー・レーダーが設置されていて、降雨強度に加え、ビーム方向の風速を計測することが出来る。2台のドップラー・レーダーで観測されたビーム方向風速を合成すると、各高度の風向風速分布を算出できる。図5は、伊丹と関西のドップラー・レーダー観測から算出した、14時03分の大阪上空の風分布である。台風が神戸市に再上陸し、大阪管区气象台で瞬間最大風速を観測した時刻である。両レーダーを結ぶ直線とその近くでは原理的に算出できない部分があるが、いずれの高度も25m/s以上の強風が広範囲で算出され、大阪湾と大阪市の広範囲で60m/sを超える強風が認められる。

図右上の京都市付近に見える強風域は解析手法の不完全さに起因する誤算出であり未だ手法改善の必要はあるが、このように上空風速の観測情報が得られるようになれば、観測とシミュレーションモデルの結果を合わせることで、地上近くの強風や突風を推定することが出来るようになると期待される。

さいごに

平成30年21号台風では、台風の暴風が都市域にもたらず強風害の多様性を改めて認識させられた。近代的な都市構造の中で、どのような場所に突風が発生しやすいのか、今後の研究が必要とされている。各地域地域で突風事例を集積して、新たな在地の知を形成する事も地域防災の一環として有

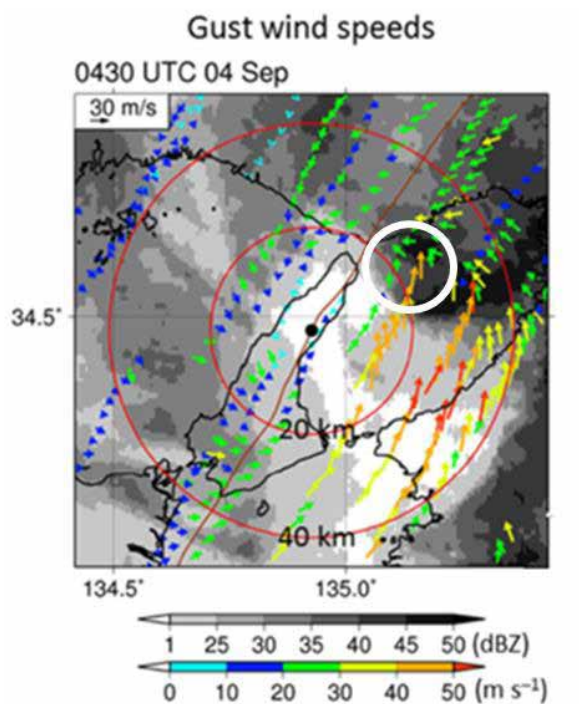


図4 9月4日0430 UTCにおける、地上最大瞬間風(カラー矢印)及び高度2kmのレーダー反射強度の分布(白黒濃淡)。地上最大瞬間風速の空間分布は、地上の観測点で観測された時系列を、台風の移動を考慮して台風に相対的な空間分布に時空間変換して得た。

効であろう。なお、本項の内容は『平成30年度科学研究費助成事業－科研費－特別研究促進費研究（代表：丸山 敬）：「平成30年台風21号による強風・

高潮災害の総合研究」成果報告書』の内容を解説したものである。図表などは、報告書から引用した。

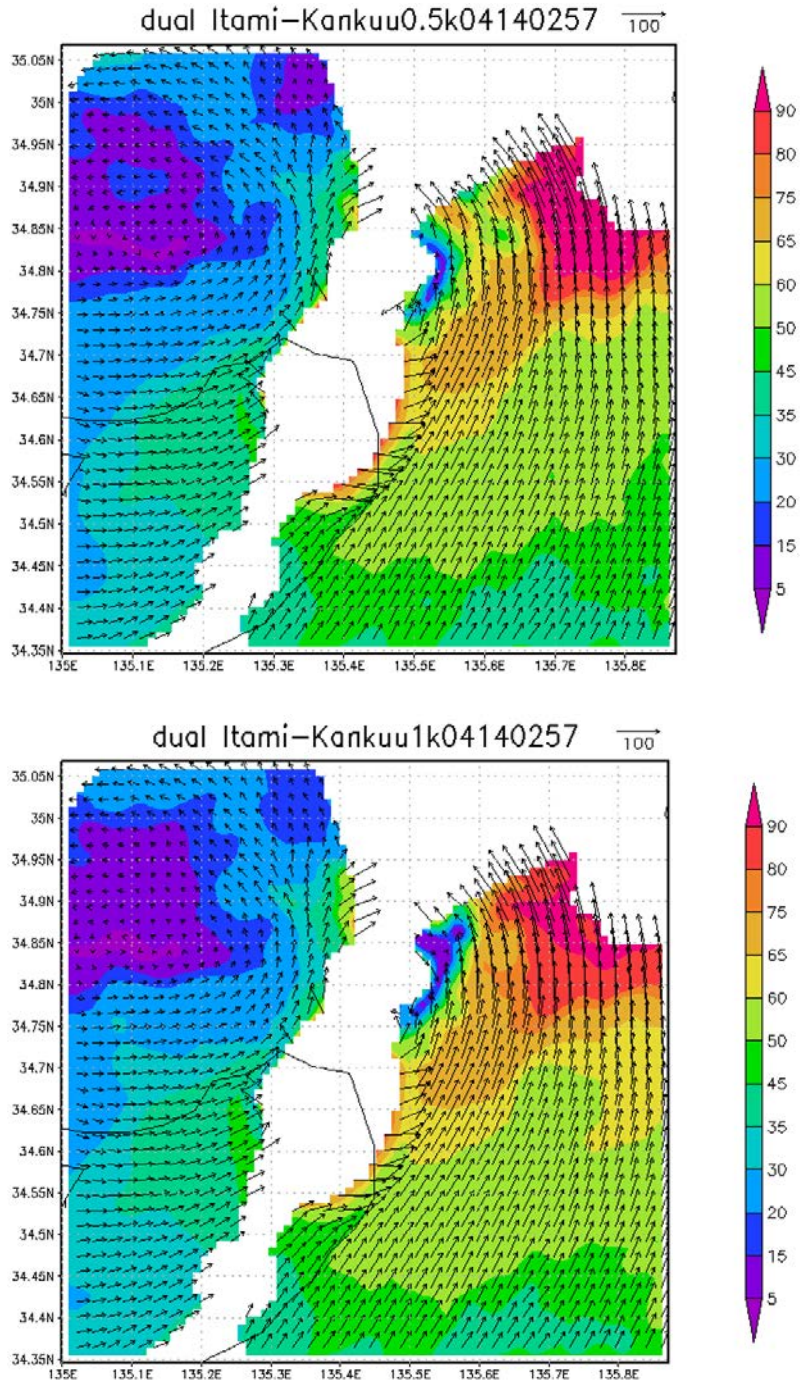


図5 14:03JSTにおける高度0.5km(上)と1km(下)の風速ベクトルと風速値の分布。