

温暖化時の台風が建物やまちに与える影響に関する研究 Research on the Impact of Typhoons on Buildings and Towns during Global Warming

畔上泰彦*1, 大竹和夫*1, 田中英之*1, 日下博幸*2

Yasuhiko AZEGAMI, Kazuo OHTAKE, Hideyuki TANAKA, Hiroyuki KUSAKA

Replicated experiments and numerical experiments under future climate were conducted for Typhoon Hagibis. The results showed that under the future climate, the typhoon is more powerful than under the present climate, and the peak wind loads on building surfaces are about 1.5 to 2 times more likely. In addition, a large-scale ensemble experimental data set was used to investigate wind speeds and typhoon characteristics for reproduction periods of 50 years and 500 years. The results showed that wind speed increases and typhoon pressure drop increases with global warming.

1. はじめに

近年、気候変動の影響などにより自然災害の脅威が高まっている。台風の通り道に位置し、毎年のように台風が上陸する日本では、台風の勢力拡大や発生頻度の高まりは最大限に警戒すべき脅威となっている。そこで、本研究では日本に大きな被害を与えた2019年台風19号の再現実験及び将来気候下での数値実験を行い、現在と将来気候下での街区内の風の流れ場を比較する。また、大規模なアンサンブル実験データである「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (database for Policy Decision making for Future climate change, d4PDF)」の全球モデル版 (Fujita, M. et al., 2019; Mizuta, R. et al., 2017) を用いて再現期間50年、500年の風速及び日本上陸時の台風性状について地域ごと解析を行い、それらの変化について調査する。

2. 2019年台風19号を対象とした数値実験

2.1 解析手法

気象シミュレーションは Weather Research and Forecasting model (WRF)-RANS 及び WRF-LES を用いて行い、街区内の風の流れ場のシミュレーションは WRF-LES の出力を初期値・境界値として、Kazamidori® (田中ほか, 2016) を用いて行った。

なお、将来実験は擬似温暖化手法 (Kimura and Kitoh, 2007) を用いて RCP8.5 シナリオ下での CMIP5 の GCM の 30 メンバーアンサンブル平均値を用い、2090年代 (2080-2099年) を対象に計算を行った。

2.2 結果

気象モデルの再現実験の結果を初期値・境界値として Kazamidori®を用いた計算結果と解析エリアのビル屋上 (地上約30m) での観測値を比較すると、平均風速がそれぞれ 4.2m/s、4.3m/s と良く一致していた。また、瞬間的なピーク値もそれぞれ 27.7m/s、26.6m/s と高い精度で再現できることも確認した。建物壁面の風荷重のピーク値 (図1) を見ると、多くの建物壁面で、 $-2,000 \sim 2,000 \text{N/m}^2$ の値を示している。また、高層建物の屋上等では $-2,000 \text{N/m}^2$ 以下のやや大きな負の値を示す部分も存在していることが分かる。次に、将来実験の結果を確認する。台風が本州に上陸した際の気圧配置図 (図2) を見ると、再現実験では台風の中心気圧が約 960hPa なのに対し、将来実験では、約 930hPa と 30hPa ほど気圧が低い結果となっており、温暖化が進むと台風が現在よりも強い勢力のまま上陸することが分かる。気象モデルの将来実験の結果を初期値・境界値として Kazamidori®を用いて

*1 株式会社竹中工務店技術研究所 azegami.yasuhiko@takenaka.co.jp
Takenaka Research & Development Institute

*2 筑波大学計算科学研究センター
Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

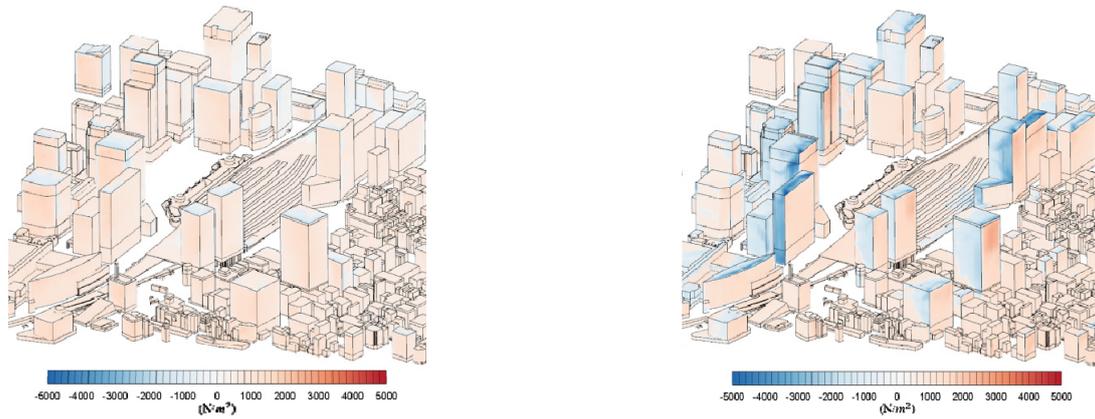


図1：街区内の建物壁面の風荷重のピーク値

左図：再現実験 右図：将来実験

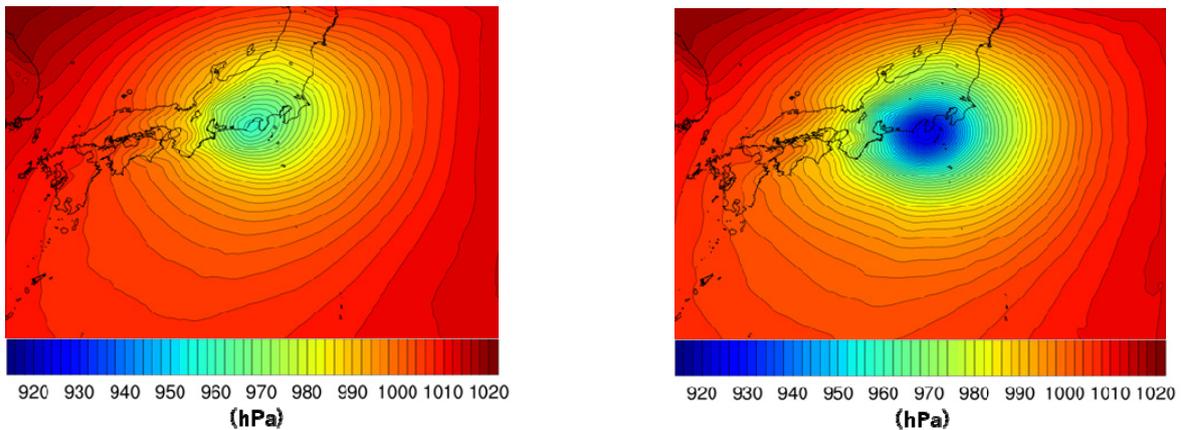


図2：2019年台風19号日本上陸時の気圧配置

左図：再現実験 右図：将来実験

計算した建物壁面の風荷重のピーク値（図 1）を見ると、正側では多くの建物壁面で、1,500～3000 N/m²の値を示している。一方、負側では高層建物の屋上部や隅角部で、-4,000 N/m²以下の大きな値を示している。そのため、将来気候下では現在気候下よりも建物に大きな風荷重が作用する可能性が高く、さらなる強風対策が求められると考えられる。

3. d4PDF データを用いた台風の解析

3. 1 使用データ

本研究では d4PDF の全球モデル版 (60km 格子) の現在気候実験 (HPB)、2°C 昇温実験 (HFB_2K)、4°C 昇温実験データ (HFB_4K) のうちそれぞれ 1951 年～2010 年×50 メンバ (3000 年分)、2031 年～2090 年×54 メンバ (3240 年分)、2051 年～2110 年×90 メンバ (5400 年分) の 6 時間ピッチのデータを用いて解析を行った。また、台風の中心気圧とその緯度経度、時刻は京都大学防災研究所が作成した d4PDF の台風トラックデータ (Webb et al., 2019) を用いた。

3. 2 解析手法

再現期間 50 年、500 年の風速は、各グリッド、各実験の年最大風速値を大きい順に並べ、(1)の Hazen の式を用いてそれぞれの非超過確率 y_i を計算し、初めて y_i が再現期間 50 年、500 年の非超過確率 (1-1/50)、(1-1/500) を超える値を再現期間 50 年、500 年の風速値としている。ここで、 y_i は標本値 N 個中 i 番目の大きさの経験的非超過確率を示している。なお、d4PDF 全球モデルのデータは 60 km 格子、6 時間ピッチであるため、台風を想定した場合、必ずしも最大風速を捉えてはいない点に注意されたい。

$$y_i = 1 - (2i - 1) / 2N \quad (1)$$

台風の性状は、藤井・光田(1986)と同様に、上陸時の進行速度、進行角度、中心気圧降下量、最大旋衡風速半径に着目し、京都大学防災研究所の d4PDF の台風トラックデータを用いて解析を行った。本研究の台風の性状に関する解析はそのうち中心気圧が 980hPa 以下で日本列島に上陸した台

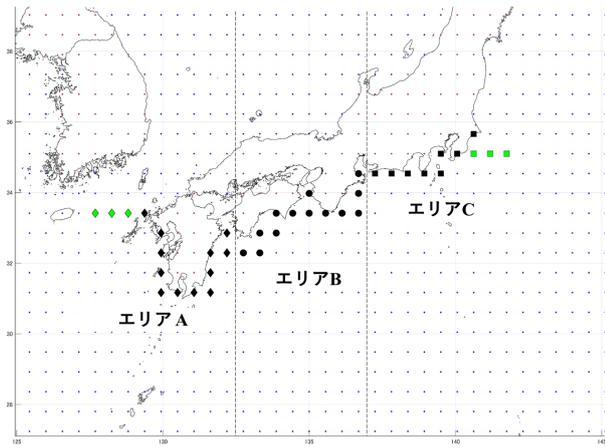


図3：エリア分類と各エリアにおける台風上陸地点グリッド

風を対象とし、再上陸した台風は対象としない。また、台風が上陸した際の影響が非常に大きいと考えられる大都市圏に着目し、福岡、大阪、東京をそれぞれ含むエリアをA～Cで設定(図3)し、そのエリアごとに台風の性状について解析を行うこととした。なお、上陸した台風のほかに東シナ海沿岸、本州の太平洋沿岸の海上を通過する台風も日本への影響が大きいと考えられるため、藤井・光田(1986)と同様に、長崎県沿岸から西に180 km、千葉県沿岸から東に180 km先までのグリッドを通過した台風もそれぞれエリア A、C に上陸した台風と同様に解析対象とした(図3 緑グリッド)。

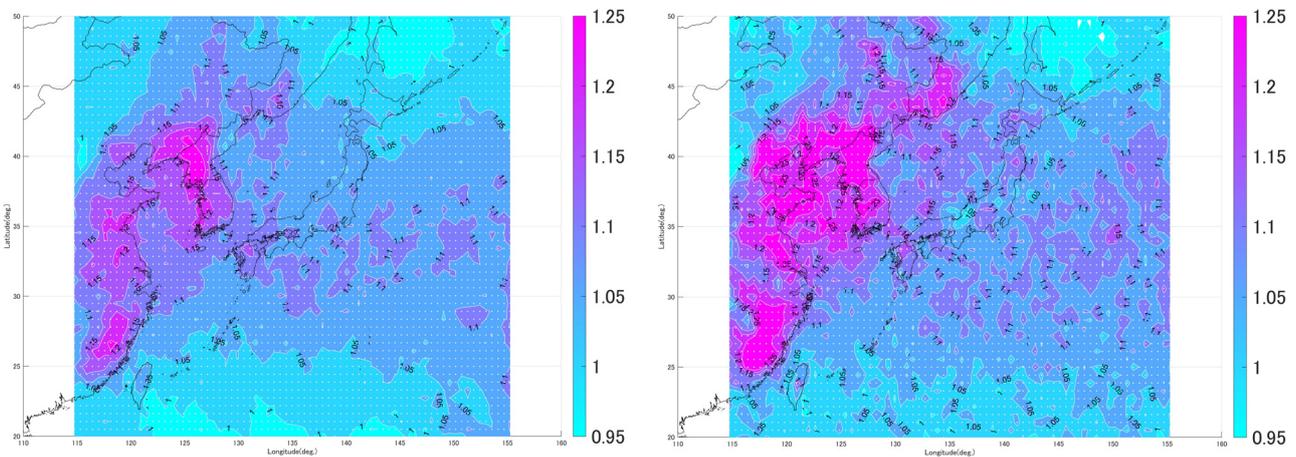


図4：PB に対する HFB_4K の風速の変化率
左図：再現期間 50 年の風速 右図：再現期間 500 年の風速

表1：各実験、各エリアにおける台風の年平均上陸・準上陸個数

	エリア A	エリア B	エリア C
HPB	0.43	0.33	0.39
HFB_2K	0.39	0.30	0.35
HFB_4K	0.31	0.24	0.28
気象庁台風ベストトラックデータ (1951年～2021年)	1.08	0.65	0.77

3.3 結果

主要4都市(東京、名古屋、大阪、福岡)近傍のグリッドにおけるHPBの再現期間50年の風速は、それぞれ34.5m/s、34.6 m/s、33.9 m/s、35.3 m/sであり、過去の観測記録から算出された再現期間50年の風速である建築基準法の $V_0 (=34\text{m/s})$ とおおむね対応していた。

次に、HPBの再現期間50年の風速に対するHFB_4Kの変化率(図4)を見ると、北緯25度以南の海上ではほとんど変化がないが、北緯25度から北緯40度の海上では1.05～1.15倍、日本の陸上では1.05倍～1.10倍となっている。再現期間500年の風速の変化率の結果(図4)を見ると、北緯25度から北緯40度の海上では再現期間50年の風速よりも変化率がやや大きくなり、1.05～1.25倍となっており、日本の陸上でも再現期間50年の風速よりも変化率がやや大きい、1.05倍～1.15倍となっている。

各実験、各上陸地点グリッドにおける台風の年平均上陸個数(表1)を見ると、温暖化が進むにつれて上陸個数が減少していることが分かる。どのエリアもHFB_2KはHPBと比べて約0.90倍、HFB_4KはHPBと比べ約0.72倍と全てのエリアで減少しており、各エリア間での変化率の違いはほとんどなかった。次に、各エリアに上陸した際

の台風の性状を表す4つの変数を確認した。進行速度は、エリア A、B、C のそれぞれの HFB_4K は HPB と比べて-6%、-2%、-13%低下することが明らかとなった。これは、偏西風の北上などの広い範囲での風の流れ場の変化が起こり、台風を移動させる風が弱くなったためであると推察される (Yamaguchi, M. et al., 2020)。中心気圧降下量の結果を見ると、エリア問わず温暖化が進むにつれ気圧降下量が大きくなっており、エリア A、B、C のそれぞれの HFB_4K は HPB と比べて+16%、+13%、+10%増大した。旋衡風速半径は、中心気圧降下量が大きく、勢力をより強めながら上陸・準上陸する台風の方が中心気圧降下量の小さい台風と比べて最大旋衡風速半径が小さいことが分かった。最後に進行角度の結果見ると、HPB、HFB_2K、HFB_4K の差はほとんどなく、温暖化が進んでも上陸・準上陸時の進行角度は大きく変わらなかった。

4. まとめ

東日本に大きな被害を与えた2019年台風19号を対象に、再現実験と将来気候下における数値実験を行った。その結果、将来気候下では現在気候に比べ、台風の勢力が強まり、建物面にかかる風荷重のピーク値は約1.5倍～2倍可能性があることが分かった。そのため、街区や建物において更なる強風対策が必要であると考えられる。

次にd4PDFの全球モデル版の現在気候実験、2°C昇温実験、4°C昇温実験データを用いて各実験での再現期間50年、500年の風速と日本に上陸した台風の性状に関して調査を行った。その結果、日本の陸上では4°C昇温時の再現期間50年の風速は現在気候と比べて1.05～1.10倍、4°C昇温時の再現期間500年の風速は現在気候と比べて1.05～1.15倍となり、温暖化が進むと建物にかかる風荷重が大きくなる可能性があることが明らかとなった。また、将来は台風の上陸個数は減少するものの、気圧降下量は大きくなることも明らかとなった。

謝辞

本研究では、文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」、「統合」、SI-CAT、DIAS）間連携および地球シミュレーターにより作成されたd4PDFを使用した。d4PDF (Mizuta et al., 2017) にもとづく台風トラックデータは、Webb et al.(2019) により提供されたデータを用いた。

参考文献

- 田中英之,大竹和夫,土屋直也,今野尚,2016:LES による低層建物の外装材用ピーク外圧係数に関する時空間評価. 風工学シンポジウム論文集, 343-348
- 藤井健, 光田寧, 1986 : 台風の確率モデルによる強風のシミュレーション. 日本風工学会誌, 28, 1-12
- Fujita, M. et al., 2019: Precipitation changes in a climate with 2-K surface warming from large ensemble simulations using 60-km global and 20-km regional atmospheric models, *Geophys. Res. Lett.*, 46(1), 435-442.
- Kimura, F., and Kitoh, A, 2007: Downscaling by pseudo global warming method, *The Final Report of ICCAP*, 4346, 463-478.
- Mizuta, R. et al., 2017: Over 5,000 years of ensemble future climate simulations by 60-km global and 20-km regional atmospheric models, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98(7), 1383-1398.
- Webb, A., Shimura, T. and Mori, N, 2019: Global tropical cyclone track detection and analysis of the d4PDF mega-ensemble projection, *Jou. Japan Soc. Civil Eng.*, B2 (Coastal Engineering), 75(2), I_1207-I_1212.
- Yamaguchi, M., Chan, J. C., Moon, I. J., Yoshida, K. and Mizuta, R, 2020: Global warming changes tropical cyclone translation speed, *Nature comm.*, 11(1), 1-7.