

海上観測と風洞水槽実験による強風下における飛沫の総量及び粒径分布

Spray distribution under severe windy conditions in marine observation and a open-channel with wind tunnel

北海道大学工学部環境社会工学科	学生員	岡地寛季 (Hiroki Okachi)
北海道大学院工学研究院	正会員	山田朋人 (Tomohito J. Yamada)
北海道大学院工学研究院	正会員	渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所	正会員	大塚淳一 (Junnichi Ohtuka)
北海道大学工学部環境社会工学科	学生員	長尾賢汰 (Kenta Nagao)

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴い台風は巨大化の傾向を示している¹⁾。平成25年台風26号はマリアナ諸島付近で発生し、日本の南海上で大型で強い勢力を保ったまま、日本に上陸した。死傷者・行方不明者が173人にのぼり、多くの家屋にも被害を及ぼした²⁾。今後台風は、地球温暖化により全球的な熱帯低気圧の年間発生数は現在より減少するが、最大風速が45m/sを超えるような非常に強い熱帯低気圧の出現数は増加すると予想されている³⁾。

先行研究では、台風の発達過程における飛沫の影響が議論が活発に行われている。質量をもった飛沫が海洋から大気中に飛びだし、風によって加速され、風から運動量を奪う。飛沫はこの過程で、大気と海洋間での運動量交換の重要な役割を担っている³⁾。

飛沫は蒸発することで、周りの大気から潜熱を奪う一方、大気中の水蒸気量が増加し、上昇気流によって運ばれる空気が上空で凝縮による熱エネルギーを大気に与える。このように飛沫は大気と海洋間での熱交換の重要な役割も担っている。しかし、現状では飛沫の生成機構、大気-海洋間の運動量・熱相互作用のメカニズムは不明瞭な点が多く、現在使用されている気象モデルには飛沫の効果は加味されていない。今後、台風の巨大化が進む中で、台風の発達過程を高度に予測していくためには、飛沫の生成機構、大気-海洋間の運動量・熱・水相互作用のメカニズムを解明する必要がある。そのためには飛沫の正確な観測データが必要となる。

Mueller and Veron (2009)⁴⁾が提唱した、飛沫粒径分布のモデルでは粒径範囲1.5mm以上の飛沫は考慮されていなかった。しかしF.Veron et al.(2012)⁵⁾は風洞装置で、風波を起こし、飛沫を観測する室内実験を行った。同論文の実験では0.196mmから5.510mmの範囲での飛沫観測を行い、1.5mm~5.510mmの大きな飛沫の存在を確認した。さらに波の先端ではシート状に水が広がり、空気を取り込むことで壊れ、より細かな飛沫を生み出すという、新たな飛沫生成機構を提唱した。

そこで本研究では、先行研究では議論されていない飛沫の高さに関する依存性を議論するために、雨滴観測が可能な

ディストロメータであるParsivelを用いて、異なる高さでの飛沫の観測を和歌山県白浜海象観測所の田辺中島高潮観測塔で行った。粒径が0.196mm以下の飛沫観測を行うために異なる観測可能粒径範囲を持つ室内観測を行

った。2章にParsivelでの観測方法と解析手法を記し、3章に結果を述べる。実験手法は4章に記し、結果を5章に述べる。まとめと今後の方針を6章に示す。

2. 観測方法と解析手法

和歌山県南紀白浜での観測は雨滴の粒径と速度分布を検知できるディストロメータのParsivelを使用した。粒径の観測可能範囲が0.25mm~25mm、雨滴の通過速度が観測可能な幅が0.2mm/s~20mm/sである。このデータから粒径スペクトル、降雨の種類、降雨強度、レーザーの反射強度を推定することができる。

本研究の観測では、観測塔にParsivelを海拔10mと15m高さに設置した。台風下では風速が大きくなるので、より多くの飛沫観測が可能になると考えられる。観測期間は台風が多く発生しこの地域に上陸する2013年8月21日から10月31日、2014年8月21日から10月31日とした。この期間に台風は2013年の台風18、24、26号、2014年の台風18、19号が観測塔付近を通過した。Parsivelは飛沫に加え雨滴も検出するため、観測塔から約4km離れた場所に位置する気象庁の南紀白浜AMeDAS観測データによって無降雨の時間帯を抽出した。しかしAMeDASは降雨強度が0.5mm/h以下はすべて無降雨として記録するため、AMeDAS観測データに加えて、気象庁のcバンドレーダーのデータによって観測塔直上の無降雨時間帯を推定した。

またParsivelは観測塔の南側に設置してあるので北寄りの風が吹く場合、観測塔からの水滴が検出されている可能性がある。そこで観測塔に設置された風向計のデータから南寄りの風が吹いている時間帯を抽出し、観測塔からの水滴を除外した。

3. 観測結果と考察

図-1は観測データから無降雨の時間帯を南紀白浜AMeDASデータと気象庁cバンドレーダーから判断し、さらに風向が南寄りの時間帯を抽出したデータを、高さ別の粒径分布で表し、風速と比較した結果である。この結果から粒径が0.3mm~1.0mmの範囲で多くの粒子が観測され、風速が増加するにつれて観測される粒子数も増加することが確認された。さらに先行研究で確認された飛沫粒径範囲の一部である1.5mm~5.510mmでも飛沫の存在が確認された。

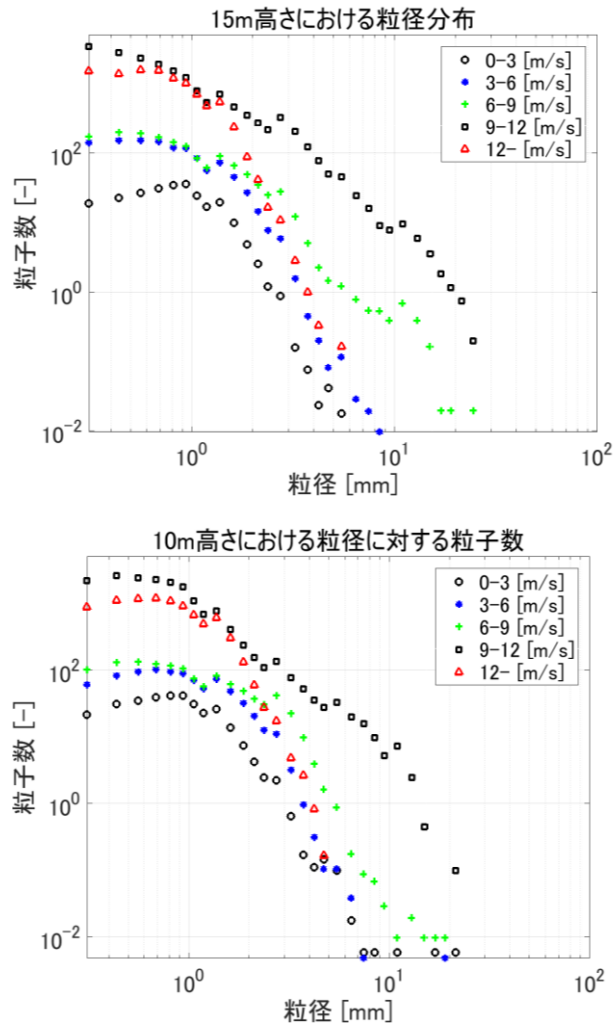


図 - 1 海拔 10, 15m 高さにおける粒径分布

4. 実験手法

実験では、観測範囲が粒径 0.072mm から 1.00mm の SPC (Spray Particle Counter) と呼ばれるディストロメータを使用した。実験装置はピストン式造波装置が設置された長さ 27m, 幅 0.6m, 高さ 1.5m 風洞水槽である。風洞装置の概略図を図 - 2 に示す。風洞装置は水深が 90cm になるように淡水を満たしてある。

SPC は送風口から 11.3m 離れた位置に設置した。静水面からの高さを H とすると、風洞カバーまでの距離は $H=60\text{cm}$ になっている。風速の鉛直プロファイルでは、風洞カバーからの位置が 26 cm になると、風速が風洞カバーの影響により遅くなる。そこで今回の実験では高さ $H=18, 20, 22, 24, 26\text{cm}$ としで実験を行った。

各高さに関して送風機の回転数を Ω とすると $\Omega=575, 560, 545, 530, 515, 500, 485, 470\text{rpm}$ の合計 40 項目の計測を 10 分間ずつ行った。

5. 実験結果と考察

今回の実験データの時間平均を求め、飛沫検知の可能な体積を粒径幅で割ることで飛沫密度分布を求め F. Veron et al.(2012)⁵⁾ の実験結果との比較結果を図 - 3 に記す。図 - 3 より先行研究よりも小さな粒径範囲の 0.072 から 0.196mm の飛沫の存在を明らかにした。

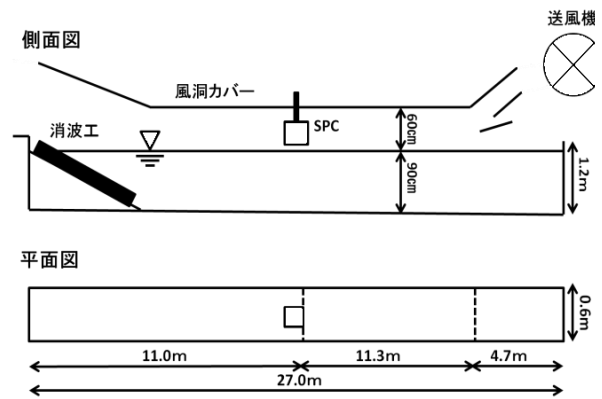


図 - 2 実験装置概略図

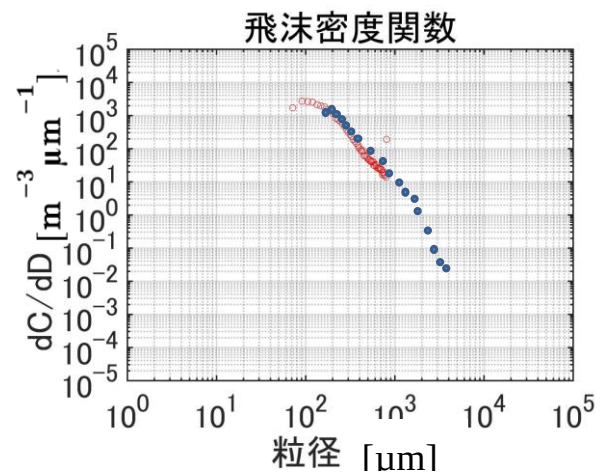


図 - 3 飛沫密度関数

6. まとめと今後の方針

観測塔での結果から、F. Veron et al.(2012)⁵⁾ が観測した 1.5mm~5.510mm の大きな飛沫の存在を明らかにした。

室内観測結果から、先行研究で観測されていなかった、粒径範囲 0.072mm から 0.196mm の粒径が確認された。

今後の方針は、観測塔のデータと室内実験のデータを合わせて解析し、飛沫数と粒径、体積との関係、また飛沫の高さ、風速依存性を解明することである。

参考文献

- 1) 環境省地球温暖化影響・適応研究委員会,
2008: 気候変動への賢い適応ー地球温暖化影響・適応研究委員会報告書ー
- 2) 国土交通省気象庁 HP
(閲覧日 2015 年 12 月 10 日
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/typhoon/6-1.html>)
- 3) Veron, F., Hopkins, C., Harrison, E. L., & Mueller, J. A. (2012). Sea spray spume droplet production in high wind speeds. Geophysical Research Letters, 39(16).
- 4) Andreas, E. L. (2004). Spray stress revisited. Journal of physical oceanography, 34(6), 1429-1440.

謝辞: 基盤研究 (B) 代表渡部靖憲, 基盤研究 (B) 代表山田朋人の成果の一部である