

暴風時における船舶レーダを用いた大気境界層の観測

Observation of the atmospheric boundary layer with ship radar under severe windy conditions

北海道大学大学院工学院	○学生員	岡地寛季(Hiroki Okachi)
北海道大学大学院工学研究院	正員	山田朋人(Tomohito Yamada)
北海道大学低温科学研究所	非会員	藤吉康志(Yasushi Fujiyoshi)
京都大学防災研究所	正員	馬場康之(Yasuyuki Baba)
京都大学防災研究所	正員	久保輝広(Teruhiko Kubo)

1. はじめに

大気海洋相互作用に関する観測はこれまで様々行われており、その中で大気海面で交換される運動量や顕熱、潜熱交換に関しての研究が行われてきた。1989年に承認されたプロジェクトであるTOGA-COAREでは、1992年11月から1993年2月に集中観測を行った。同観測はGATE以来の大掛かりな熱帯における大気と海洋の観測である。観測の手法はラジオゾンデや、プイ、ドップラーレーダ、航空機、オメガゾンデがある。Fairall¹はTOGA-COAREの観測結果をもとに大気海面間での運動量や顕熱、潜熱交換に与える飛沫の影響をバルクモデルを用いて定量的に評価した。しかし、暴風下の大気最下層に存在する雨滴や飛沫の挙動を観測することは困難であるため明らかとなっていない。

そこで本研究では、2018年8月から11月にかけて和歌山県南紀白浜で船舶レーダ(Xバンド)を用いて行なった大気境界層における雨滴や飛沫の挙動を観測した結果を示す。船舶レーダを用いた台風事例の観測は稀有であり、本観測では暴風状態での非常に貴重な境界層の挙動を捉えることに成功した。第二章に観測手法と観測した台風事例に関して記述する。第三章に暴風時にみられた特徴的な挙動に関して示し、第四章にまとめを述べる。

2. 観測手法および観測した台風事例

野外観測は和歌山県南部に位置する田辺湾沿いに船舶レーダを設置して行なった。船舶レーダは距離分解能が15 mと高分解能であり、降雨観測や海表面の波の観測で使用されているため暴風雨下での飛沫観測及び波の位相方向の観測に有用である²。今回の観測では二台の船舶レーダを鉛直方向と水平方向に設置し、大気境界層の状況と海面の波高の状況を観測した。観測場所である海岸から沖合2 kmほど離れた田辺湾湾口に京都大学防災研究所白浜解消観測所の田辺中島高潮観測塔が位置しており、風速や波高、パーティクルカウンタを用いた海象観測が行われている。船舶レーダは沿岸から北西方向(観測塔方向)に観測する。船舶レーダの設置状況を図-1に示す。約3秒に1回の観測が可能であり、鉛直船舶レーダでは海面付近から高さ3 km程度まで観測できる。

観測期間は2018年8月から11月で、この期間に観測地域を台風20号、21号、24号が通過した。台風20号は8月23日

に観測場所の南から北に西側を通過した。観測場所から約4 km離れた南紀白浜アメダス観測所の記録では、8月23日20時に前1時間平均風速で29.0 m/sの南東風を記録した。台風21号は9月4日に観測場所の南西から北東に西側を通過し、9月4日11時に29.3 m/sの南東風を記録した。台風24号は9月30日に観測場所の南西から北東に、観測場所を通過した。同日18時に27.4 m/sの南東風を記録した。観測塔では瞬間最大風速36.5 m/sの南東風を記録し、20時ごろには42.8 m/sの北西風を記録した。同場所で観測された有義波高は11 m程度であった。図-2に台風20号、21号、24号のベストトラックを示す。

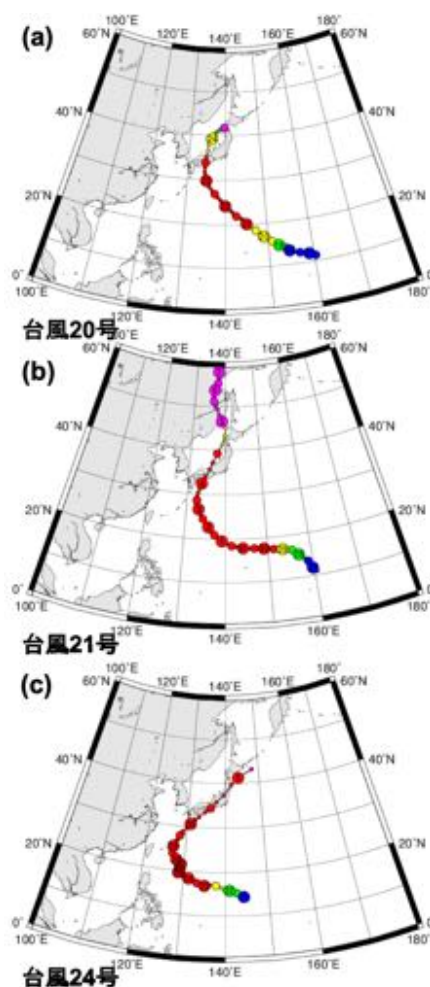


図2 台風のベストトラック(デジタル台風より引用)。(a) 台風20号、(b)台風21号、(c)台風24号



図1 船舶レーダの設置状況。(a)設置場所の全様、(b)水平船舶レーダ、(c)鉛直船舶レーダ

3. 観測結果

本章では鉛直船舶レーダによって観測されたいくつかの事例を示す。まず三つの台風事例の中で最大風速を記録した際のレーダ観測結果を図-3に示す。(a)と(b)は二つの異

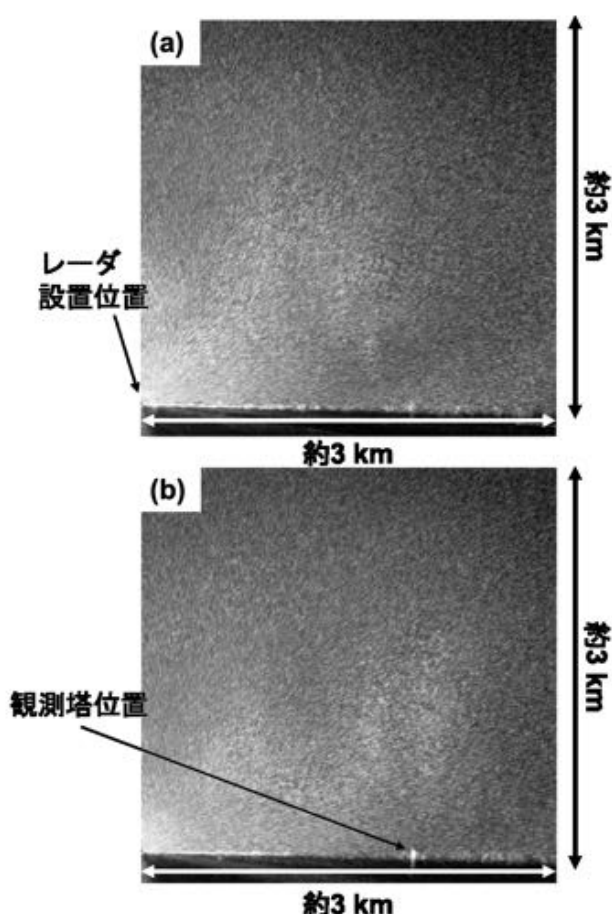


図3 最大風速29.3 m/sを記録した台風21号の観測結果。(a)と(b)は9月4日11時の異なる瞬間の観測結果である。(a)と(b)の時間差は10秒程度である。図の水平距離は約3 kmあり、左がレーダ設置位置で南東から北西にかけての断面図を表している。鉛直高さは約3 kmである。レーダ設置位置からおおよそ2 kmにある観測塔の位置を矢印で示す。

なる時刻に観測された画像で、時刻の差はおおよそ10秒程度である。図の左端にレーダの設置位置と観測塔の位置を矢印で示す。レーダの観測範囲は水平軸方向（南東から北西）に3 km程度、鉛直方向に3 km程度である。色の濃淡がレーダ反射強度を表しており、白いほど反射強度が強い。(a)と(b)を比較すると雨あるいは飛沫の塊が図の左から右、南東から北西へ移動する様子を捉えている。図-4は台風21号の観測結果の一部である。時刻は9月4日13時で1時間平均風速24.9 m/sの南風が観測された。同図では下層に発生した渦を観測した。また上層では反射強度が大きく異なり、幾層に重なっている様子を捉えた。観測結果は10秒に一回ほど図に示すノイズが確認された。図-5は台風20号の観測結果の一部である。時刻は8月23日14時で1時間平均風速は10.8 m/sの東南東からの風が記録された。同図は降雨が上空から斜めに落下してくる様子を捉えている。

4. まとめ

大気海洋相互作用に関する観測的研究はこれまで様々されてきた。TOGA-COAREでは熱帯地域の集中観測が行われ、観測結果を用いて大気海面間で交換される運動量や顕熱、潜熱に対する飛沫の影響を定量的に評価した¹。大気境界層の観測事例は少なく、特に暴風状態では観測自体が困難である。本研究では、暴風状態の大気境界層を鉛直船舶レーダを用いて2018年8月から11月にかけて観測を行なっ

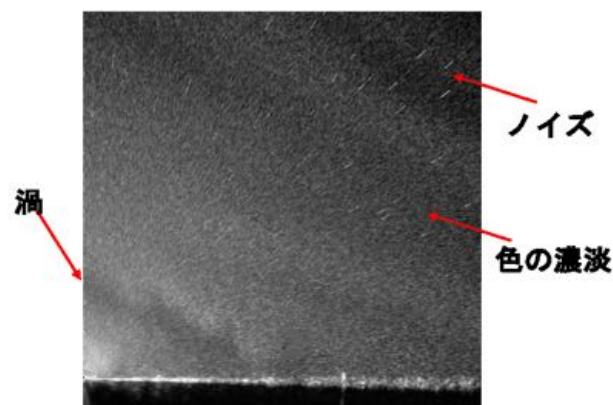


図4 時刻9月4日13時の台風21号の観測結果で、1時間平均風速24.9 m/sの南風を記録した。下層に発生した渦、上層の降雨の空間分布が異なることで形成される層、およびノイズを矢印でそれぞれ示す。

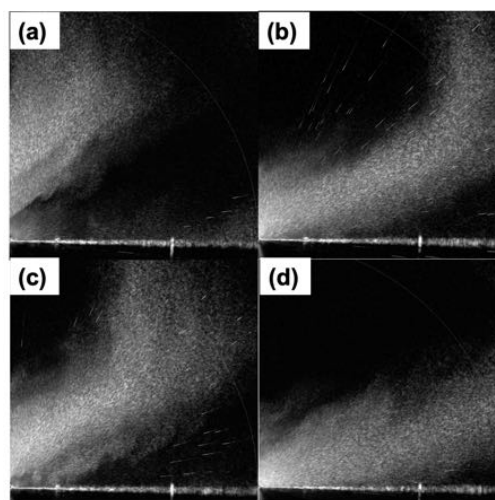


図5 台風20号の観測結果の一部。時刻は8月23日14時で1時間平均風速は10.8 m/sの東南東からの風を記録した。降雨が上空から斜めに落下してくる様子を捉えている。

た。観測期間中に台風20号、21号、24号が観測場所を通過した。本論文では、観測事例の中で特徴的な観測結果を示した。最大の風速を記録した時間では雨の塊が南東から北西に移動する様子を捉えている。台風21号の事例では、下層付近に渦が発生しているのを捉えた。また、上層では反射強度の濃淡が強く、液滴が多い層と少ない層が形成されている状態を観測した。台風20号の観測結果では、降雨が斜めに落下している状態がわかる観測結果が得られた。今後は観測結果から大気境界層に存在する降雨や飛沫の挙動と風速や波高との関係を調べ、大気境界層の乱流現象を明らかにする。

謝辞： 本研究は、京都大学防災研究所共同研究、基盤研究(B) 18H0379108の成果の一部である。

参考文献

- [1] Fairall, C. W., Bradley, E. F., Hare, J. E., Grachev, A. A., and Edson, J. B., Bulk parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for the COARE algorithm, *Amer. Meteor. Soc.*, pp.571-591, 2003.
- [2] 藤吉 康志: レーダアークバンドの成因, 細氷, 日本気象学会北海道支部機関紙59, 48-49, 2013.