

フェッチ制限海域における白波被覆率推定モデルの比較

Comparison of the whitecap coverage models in fetch-limited conditions

北海道大学工学部 ○学生員 大和田宏太朗 (Kotaro Owada)
 北海道大学工学研究院 正員 猿渡亜由未 (Saruwatari Ayumi)
 北海道大学工学研究院 正員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

風が強くなると波が強くなり、白波が発生する。10 上空風速が 23m/s を超えると白波により波飛沫が急激に増加する。波飛沫の発生により、周辺の気温や湿度、運動量などを変化させ、気象予測の不確実性の要因となっている。波飛沫の発生源である白波砕波の発生量は、白波被覆率で表される。白波被覆率とは、海面を二次元平面で見たときその平面に占める白い部分の割合であり、飛沫量推定のパラメータとしても用いられている。白波被覆率のパラメータリゼーションは長く行われているが、モデル間のばらつきは数オーダーになることもある。白波被覆率の風況、海況との関係について更なる研究が求められている。近年の海洋観測の発展によりフェッチ制限下における白波被覆率の推定が進んでいる。本論文は、3 つの異なるフェッチ条件に対して提案された既往の白波被覆率推定モデルを用いて、短いフェッチ、大きいフェッチ、フェッチ制限のない場合を想定したときの白波被覆率の推移結果の違いについて調査することが目的である。

2. 計算方法

本研究では、Weather Research & Forecasting (WRF) モデルを用いて、メソスケールモデルから対象領域における気象場を数値実験より推定する。WRF は過去の気象状況の再現計算を行うことのできる気象シミュレーションシステムである。

対象時期は、2019 年 9 月 4 日 12:00:00 から 9 月 6 日 00:00:00 とし、計算時間間隔は 90s である。対象領域はフロリダ沿岸部（中心緯度：34.0°，中心経度：-81.0°）であり、グリッドサイズは 60×73 とした。各々の領域内での風速、風向、フェッチなどを算出する。

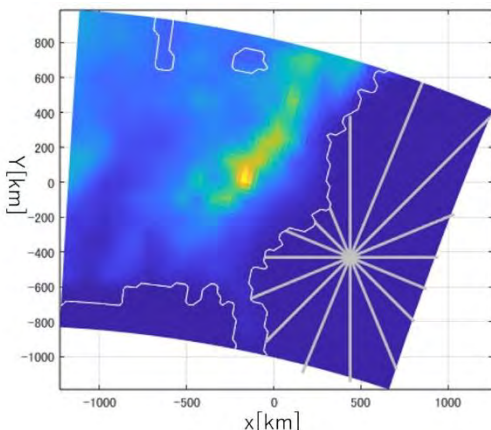


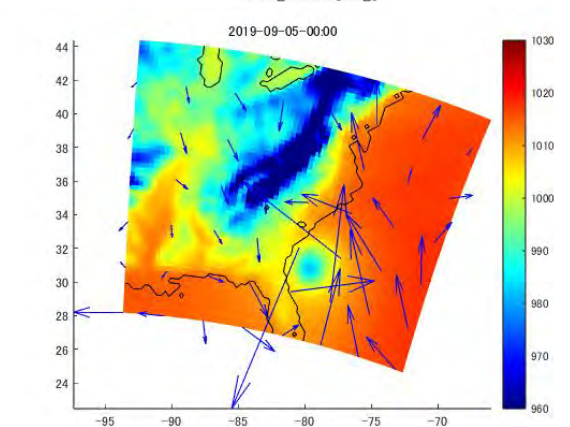
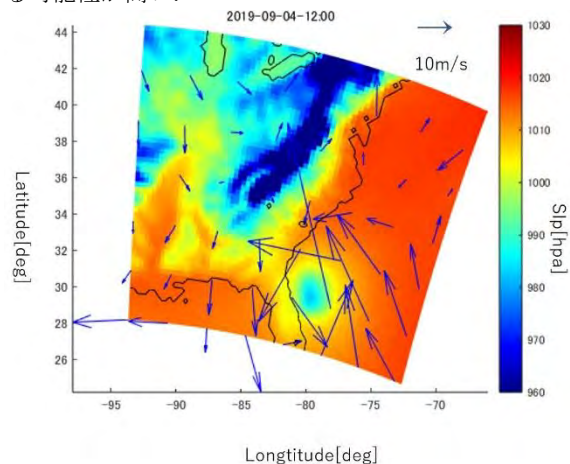
図 1:任意の点の風向を 16 方位に分けたもの

フェッチは、予め全計算グリッド上で計算された 16 方位方向の汀線までの距離に基づき、時々刻々の風向の計算結果から求めた。

図 1 は海上の任意の点：緯度-75°，経度 32° における 16 方位のフェッチを例として図示したものである。

3. 計算結果

図 2 は 2019 年 9 月 4 日 12:00:00 から 9 月 6 日 00:00:00 までの気圧-風速風向の推移を 12 時間間隔で表したものである。沿岸部に沿って低気圧が発生し北上しており、周辺は 25m/s 以上の強い風が吹いており、有意な白波が発生していたと考えられる。低気圧の周辺では、陸向き、沖向きと風向が変化するため、フェッチに依存して波の発達度が異なり、それに応じて白波被覆率が変化している可能性が高い。



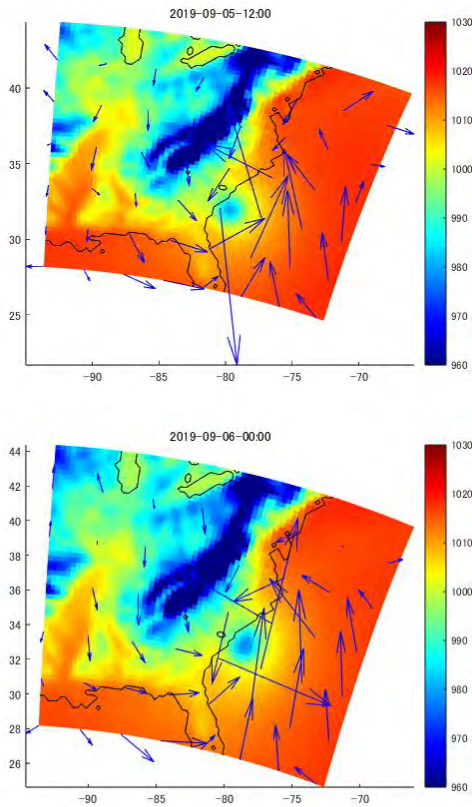


図 2:気圧-風速風向の 12 時間間隔推移分布

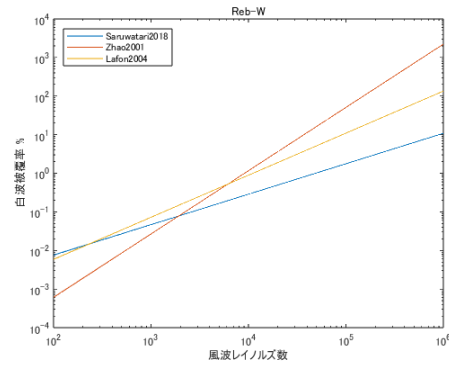


図 3:風波レイノルズ数と白波被覆率の関係

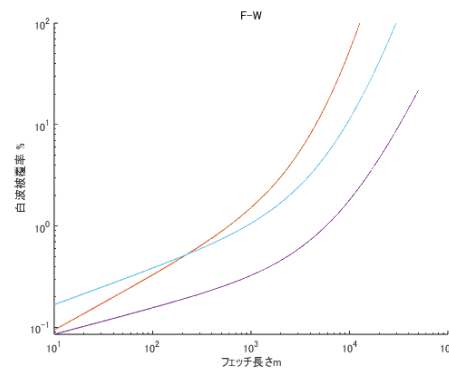


図 4:フェッチと白波被覆率の関係

4. 白波被覆率の算定方法

白波被覆率は風速や風波レイノルズ数をパラメータとしてモデル化されることが多い。風波レイノルズ数 R_B は、次式のように定義される。

$$R_B = \frac{u_*^2}{\nu\sigma_p}$$

風波レイノルズ数ベースの白波被覆率モデルとしては、猿渡ら(2018), Lafon ら(2004), Zhao & Toba(2001)等が提案されている。それぞれ次式のようにパラメータ化されている。

$$W = 2.0 \times 10^{-4} R_B^{0.789} \tag{1}$$

$$W = 3.2 \times 10^{-7} R_B^{1.64} \tag{2}$$

$$W = 3.88 \times 10^{-5} R_B^{1.09} \tag{3}$$

風波レイノルズ数 R_B を 10^2 から 10^6 とし、白波被覆率 W を図 3 にプロットした。

猿渡モデルはフェッチ 2km, Lafon モデルはフェッチ 25-50km, Zhao モデルはフェッチ無制限となっている。風波レイノルズ数は白波被覆率の表示に現状最適とされるが、それでもフェッチの違いにより 1-2 オーダーの違いは生じる。これは三名が異なる条件のもと算出した経験式であるためである。

5. SMB 法による白波被覆率の推定

フェッチと風速に対する波の発達度を次に表す Wilson 式から推定し、それに対する風波レイノルズ数を求めた。

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = 0.30 \left[1 - \left(1 + 0.004X^{\frac{1}{2}} \right)^{-2} \right]$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U_{10}} = 1.37 \left[1 - \left(1 + 0.008X^{\frac{1}{3}} \right)^{-5} \right]$$

$$X = \frac{gF}{U_{10}^2}$$

これにより得られた風波レイノルズ数を式(1)-(3)に入力し、それぞれのモデルの白波被覆率の推定結果を図 4 に表す。いずれのモデルもフェッチに対する白波被覆率は大きく変化することが確認された。またモデル間の差も大きく、推定結果が 1 オーダー異なる場合もあることが分かる。

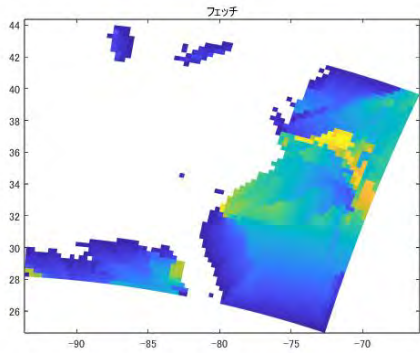


図 5: 沿岸部のフェッチ

6. フェッチ制限下の白波被覆率結果

図 5 は 2019-09-05-12:00 の対象領域におけるフェッチを表している。濃淡は明度が明るいほどフェッチの存在が強い。低気圧部分を中心に反時計回りの風場があることから、沿岸部への北西方向の風が吹く。そのため特に低気圧上部沿岸部ではフェッチ制限が確認された。一方、遠洋に向かうほどフェッチが確認されなくなっていく。図 6-9 は濃淡を白波被覆率(%)で表している。

左から猿渡, Lafon, Zhao のモデルとなっており, 2019-09-04-12:00 から 09-06-00:00 までの 12 時間間隔の白波被覆率の推移を示す。これより, 各々のモデルはフェッチにより白波被覆率 W の評価度合の違いが見て取れる。

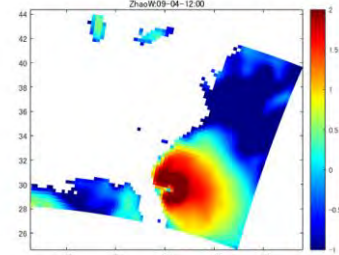
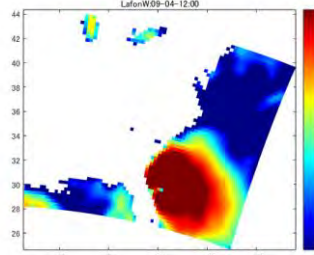
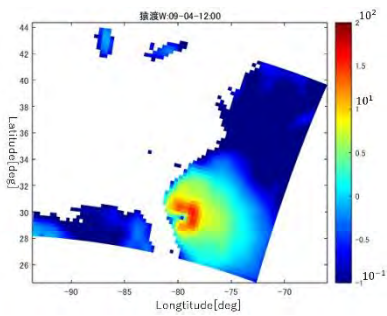


図 6: 2019-09-04-12:00

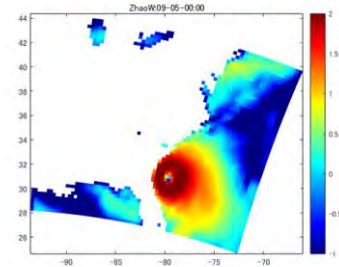
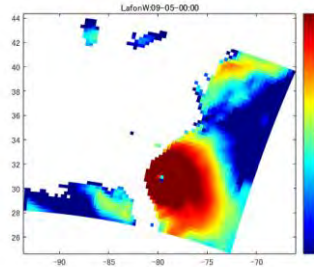
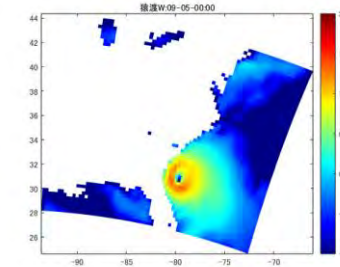


図 7: 09-05-00:00

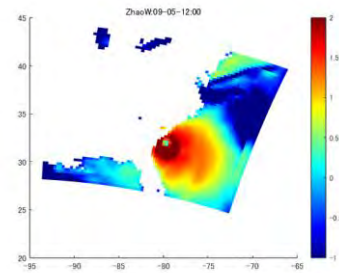
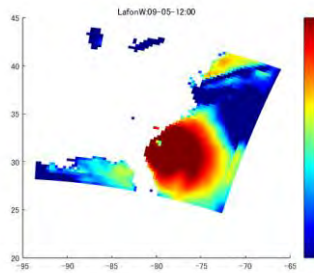
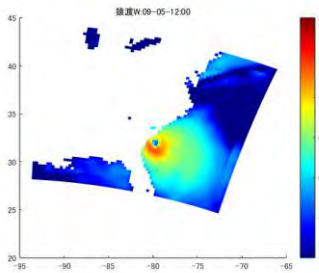


図 8: 09-05-12:00

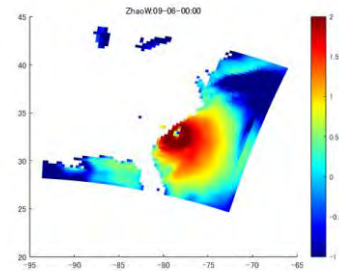
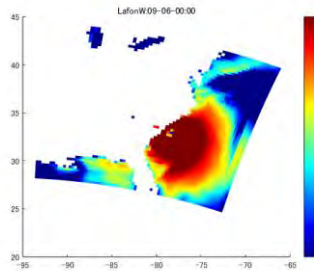
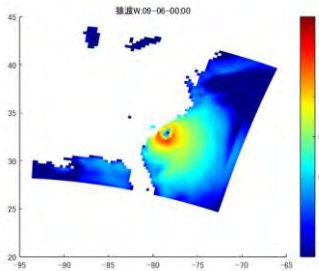


図 9: 09-06-00:00

7. 考察

低気圧上部は北西の風が吹き沿岸部までのフェッチが大きくなっている。対して低気圧下部ではフェッチが短い。短いフェッチを想定している猿渡モデルでは、フェッチが特に短い低気圧中心下部で機能していることが分かる。しかしフェッチの大きく、無制限の領域では白波被覆率モデルが機能していない。

フェッチが無制限の Zhao 氏よりもフェッチ制限(25-50km)のある Lafon の方が、遠洋における白波被覆率を大きく評価している理由として、Zhao 氏の論文を見ると、 10^5 以上の風波レイノルズ数が想定されていないことから、フェッチ無制限とはいえ、フェッチは25kmより小さい範囲内で想定していると読み取れる。いずれにせよ、大きいフェッチを想定した Lafon,Zhao らは白波被覆率を遠方まで評価できているが短い部分は評価しすぎている。フェッチの違いにより白波被覆率推定モデルが大きく異なることができ、白波推定モデルは一意に定まることはないかと再認識できた。

参考文献

- (1) 猿渡亜由未, 坂川諒大, 大塚淳一, 馬場康之, 久保輝広, 水谷英朗, 二宮順一, 山田朋人, 内山雄介, 森信人, 渡部靖憲.: フェッチ制限化の風波砕波に伴う海面表層の応答. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第 74 巻, pp.67-72. (2018)
- (2) Lafon, C., Piazzola, J., Forget, P., Le Calve, O. and Despiau, S.: Analysis of the variations of the whitecap fraction as measured in a coastal zone, *Boundary-Layer Meteorol.*, Vol. 111, pp. 339-360, 2004
- (3) Zhao, D. and Toba, Y.: Dependence of whitecap coverage on wind and wind-wave properties, *J. Oceanogr.*, Vol. 57, pp. 603-616, 2001