

砕波による海洋表層混合のパラメタリゼーションと台風に対する応答
 Impact of wave induced upper surface turbulent kinetic energy on tropical cyclone
 in regional atmosphere-ocean-wave coupled model

○高木雅史・森信人・二宮順一・志村智也・内山雄介・渡部靖憲・馬場康之・水谷英朗・久保輝広
 ・大塚淳一・山田朋人・猿渡亜由未

○Masashi TAKAGI*Nobuhito MORI*Junichi NINOMIYA*Tomoya SHIMURA*Yusuke UCHIYAMA*
 Yasunori WATANABE*Yasuyuki BABA*Hideaki MIZUTANI*Teruhiro KUBO*Junichi Otsuka*
 Tomohito YAMADA*Ayumi SARUWATARI

Wave-induced turbulent kinetic energy (TKE) plays an important role on the numerical simulation of sea surface mixing. This study has been conducted to improve the parameterization of sea surface turbulent energy fluxes induced by wave white-capping dissipation based on the observation data. The data indicates that TKE fluxes coefficient α proposed by Feddersen and Trowbridge (2005) has dependence on the difference between wave and wind direction. Based on the optimized bulk equation, the coupled atmospheric, ocean and wave simulation for typhoon, Haiyan (2013), has been conducted. The results show the difference on the spatial TKE distribution near sea surface and macroscopic characteristics of typhoon. It is clear that wave-dependence on upper ocean mixing in atmosphere-ocean coupled model is important.

1. はじめに

高潮・高波災害のハザード評価は、発生頻度の低さゆえに過去の観測値による評価だけでは不十分であり、数値モデルによる評価が重要である。大気海洋結合モデルや大気海洋波浪結合モデルを用いた台風まで含めた沿岸ハザードの評価が行われつつあるが、モデルにおいて大気海洋境界での運動量・熱輸送は現在でも極めて簡易に扱われている。海面素過程の1つである砕波による海洋表層の乱流混合（以下表層混合）は、台風・高潮・高波・大気・大気循環等、広範囲に影響を与える。表層混合については、風速に加えて波浪を考慮したパラメタリゼーションが提案されているが (Feddersen et al., 2005), 理論的背景の脆弱性とその最適化に問題がある。本研究では、観測データを用いて波浪を考慮した表層混合のパラメタリゼーションの見直しを行い、その影響を評価することを目的とした。

2. 観測値を用いたパラメタリゼーション

Feddersen らが提案した波浪から海洋に供給される乱流エネルギーの海面境界条件式（以下 FT05）は次のように表される。

$$K_q \frac{\partial k}{\partial z} = \alpha \bar{\epsilon}_w \quad (1)$$

K_q は鉛直渦拡散、 k は乱流運動エネルギー（以下 TKE）、 z は鉛直座標、 $\bar{\epsilon}_w$ は砕波による下向き TKE flux を表し、 α は波浪の砕波乱流エネルギーから海洋表層 TKE へ輸送される割合を示す係数である。本研究では、海洋観測塔で2年間大気・海洋等の観測を行い、強風時の波浪スペクトル、流速分布等のデータから TKE および係数 α を解析し、最適化した。推定された α の結果を図1に示す。係数 α は、FT05の0.25よりも小さな値が得られた。特に、風向・波向が同方向の時(差が30度以内)に対して逆方向の時(差が150度~180度)の係数 α は約5~10倍であった。この結果から、係数 α は風向・波向によってパラメタライズされることが明らかとなった。

3. 台風シミュレーション

海洋表層混合のパラメタリゼーションによる数値計算への影響を調べるため、一般的な風速依存の式 (CB94, Craig and Banner, 1994), 波浪依存式 (1) (FT05), そして新たに観測値の解析から得られた表1の式 (Wdir: 風速・波向を考慮した式) を

大気海洋波浪結合モデルに導入し、2013 年台風 30 号 (Haiyan) の数値計算を行った (空間解像度 9km) . 風向・波向の時空間分布を解析した結果 (図 2), 風向と波向は台風進行方向右側で近く, 左側で逆になる傾向が確認された. 表層での乱流フラックスは, 表層の海水温を経由して台風マクロ特性へ影響を与えることがわかった. ケース毎の最低中心気圧の時間変化を図 3 に示す. 台風中心気圧は, CB94 を用いた場合に最も発達し, 最発達時で 5hPa 程度の差がある.

次いで, 表層混合の式による台風条件下での海洋物理環境への影響を調べた. CB94, FT05, Wdir を用いた場合の表層 TKE の空間分布を図 4 に示す. α が定数の場合, 表層 TKE は台風進行方向右側で大きく, 風向・波向を考慮すると進行方向右側後方で減少した. その結果, 台風中心から半径 200km 以内の平均 TKE は, FT05 の場合に CB94 の 485%, Wdir の場合に CB94 の 374% となった. 表層混合の影響は, 海面熱フラックスを通して大気に影響がフィードバックするが, 台風中心から半径 50km 以内の海面から台風への平均熱フラックスは, FT05 の場合に CB94 の 96%, Wdir の場合に CB94 の 99% となった.

4. 結論

現地観測データを用いて, 表層混合のパラメタリゼーションの見直しを行った. 波浪散逸エネルギーの海洋への供給は, 風向・波向に依存することを明らかにした. また, 大気海洋波浪結合モデルより, 推定結果を用いると台風のマクロ特性に大きな差が確認され, 波浪による表層混合の重要性を明らかにした.

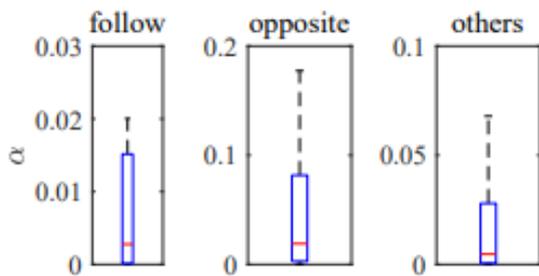


図 1 : 現地観測結果に基づく α と風向・波向の関係 (follow: 風向と波向が近い場合, opposite: 風向と波向が逆の場合, others: その他)

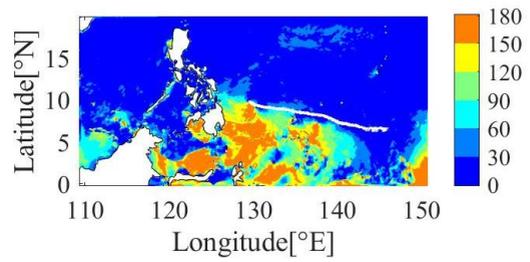


図 2 : 風向・波向の差の空間分布 (単位: 度)

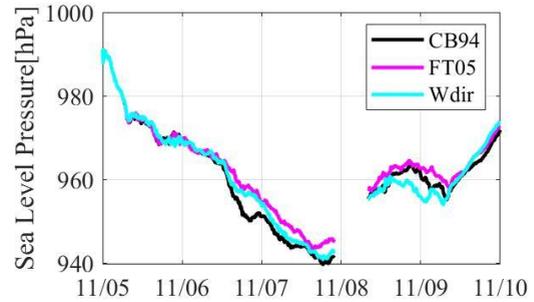


図 3 : 最低中心気圧の時間変化

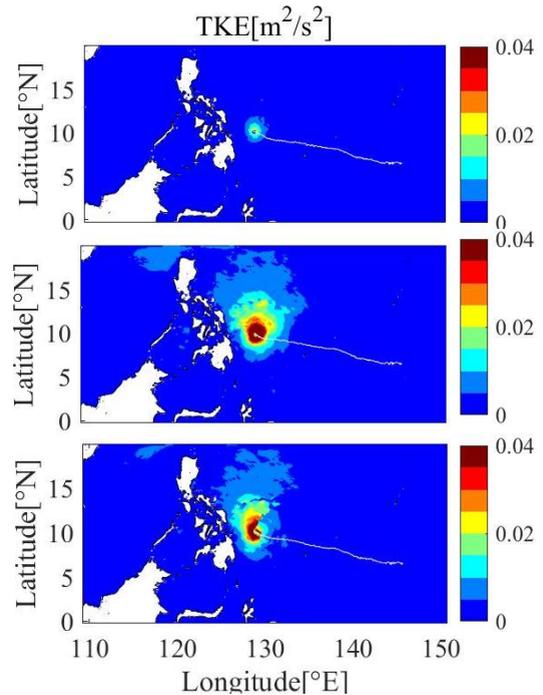


図 4 : 表層 TKE の空間分布 (上から CB94, FT05, Wdir)

表 1 : 数値計算に用いる係数

	$\alpha = 0.25r_{dir}$
Wdir	$r_{dir} = \begin{cases} 0.2 (\theta_{wind} - \theta_{wave} < 30^\circ) \\ 1.0 (\theta_{wind} - \theta_{wave} > 150^\circ) \\ 0.5 (\text{上記以外}) \end{cases}$
	(θ_{wind} : 風向, θ_{wave} : 波向)