

台風で生じる海中の波はどこへ向かうのか
～対馬暖流の渦がエネルギー伝搬を左右する仕組みを説明～

概要

北見工業大学工学部社会環境系 川口悠介准教授（前・東京大学大気海洋研究所）らの研究チームは、台風によって日本海で発生する内部波（海中の波動現象）の伝播と消散の仕組みを、数値モデルを用いて詳細に解析しました。その結果、対馬暖流のもつメソスケール渦（数十～数百 km 規模の渦構造）が、内部波の南北方向のエネルギー経路を決定づける重要な役割を果たしていることを明らかにしました。本成果は、台風による海洋混合過程の理解や、東アジア海域におけるエネルギー再配分機構の解明に新たな知見をもたらすものです。

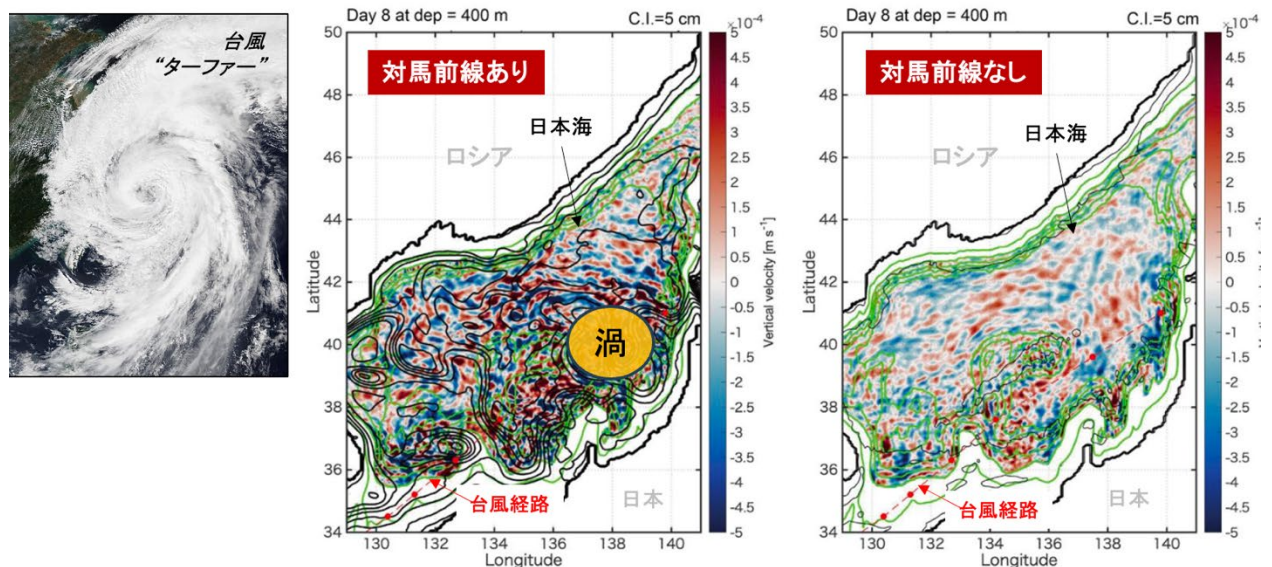


図1：台風「ターファー」によって日本海の対馬暖流沖側で発生した内部波の挙動を、3次元海洋シミュレーションにより再現。内部波エネルギーの分布と、対馬暖流に伴うメソスケール渦の影響を比較。対馬暖流を含む実験（a）では渦流場により内部波が増幅される。一方、対馬暖流を含まない実験（b）では、北緯40度以北への波動エネルギー放射が弱い。

研究の背景

台風が通過すると、海面の強風によって「近慣性内部波（Near-Inertial Internal Waves）」と呼ばれる周期数十時間の波動が発生します（図1）。これらの内部波は、海洋の熱・運動量・物質を鉛直方向に輸送する主要な駆動要因のひとつですが、その伝播経路や消散過程は、地域ごとの流れ構造に強く依存しています。特に日本海の対馬暖流域では、渦度の正負が複雑に入り混じるため、台風により発生した内部波がどのように拡散・反射・減衰するのかは十分に理解されていませんでした。

研究手法

本研究では、2019 年 9 月に日本海を通過した台風「ターファー」を例に、対馬暖流の渦構造を含む場合（WITH-TWC）と含まない場合（NO-TWC）の二つの数値実験を行い、内部波の振る舞いを比較しました。シミュレーションには高解像度の海洋モデルを用い、風応力による運動エネルギー入力から、内部波の生成・伝播・減衰までを三次元的に再現しました。さらに、モード分散理論（modal dispersion theory）に基づく解析を適用することで、内部波の深さごとの構造と、それぞれが運ぶエネルギーの経路を評価しました。

東経138度ラインを通過する内部波(実験:前線あり)

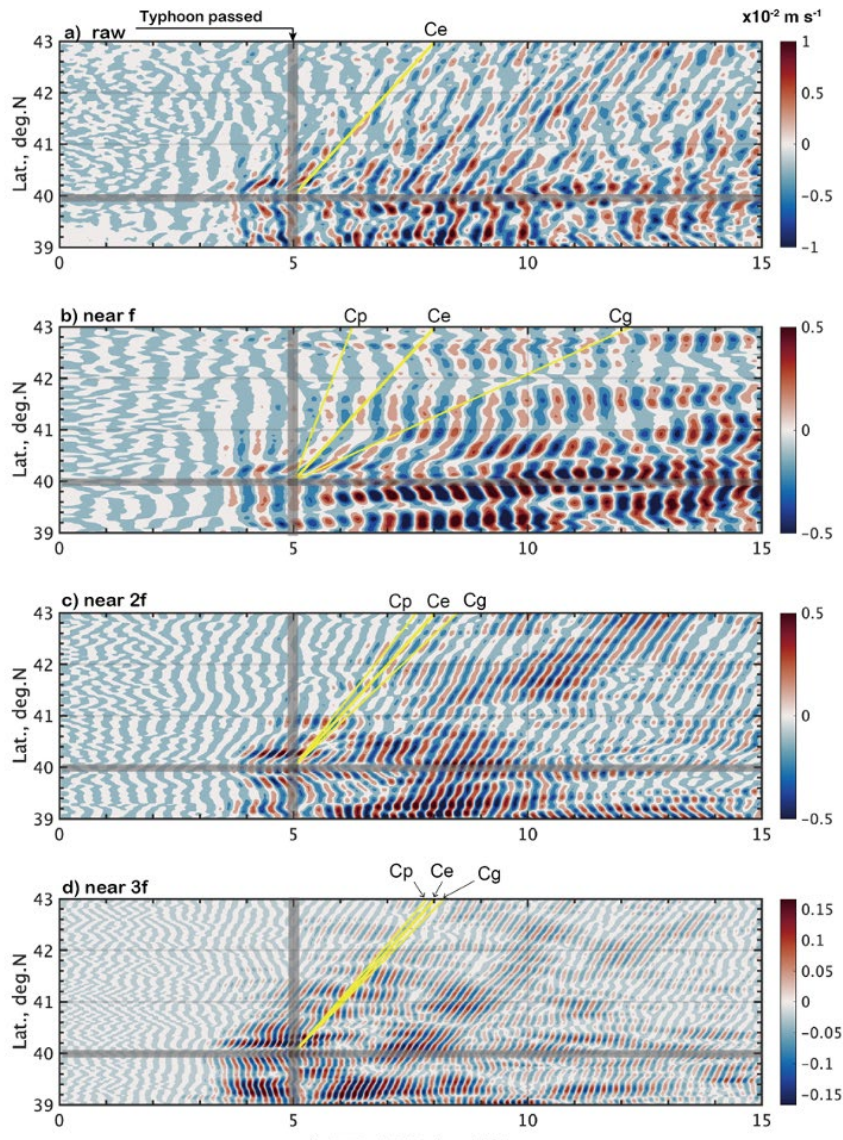


図 2：台風ターファー通過後の日本海における深さ 400 m の鉛直流速の時空間変化を示す。対馬暖流を含む実験（WITH-TWC）では、台風直後に生成された内部波が時間の経過とともに北向き・南向きに伝播する様子が明瞭である。慣性周波数（ f ）およびその 2 倍成分（ $2f$ ）の波動が特に増幅し、対馬暖流に伴う渦構造によって数日間エネルギーが保持されている。黄色線は波の位相速度（ C_p ）、エネルギー速度（ C_e ）、群速度（ C_g ）を示す。

主な成果

解析の結果、対馬暖流を含む実験（WITH-TWC）では、負の渦度をもつ反時計回りの渦が内部波を閉じ込め、波動エネルギーを数日間保持することが明らかとなりました。一方、暖流の影響を除いた実験（NO-TWC）では、慣性周波数の2倍成分（2f成分）をもつ内部波が急速に極向へ放射し、数日以内に減衰しました（図2）。さらに、内部波エネルギーは主に海洋下層（第1～第3モード）に集中し、長距離のエネルギー伝達において歪みが少なく伝わることを確認しました（図3）。統計解析の結果、負の渦度領域では運動エネルギーが増幅する傾向が顕著であり、反時計回りの渦が内部波の「エネルギー増幅器」として作用することを初めて示しました。

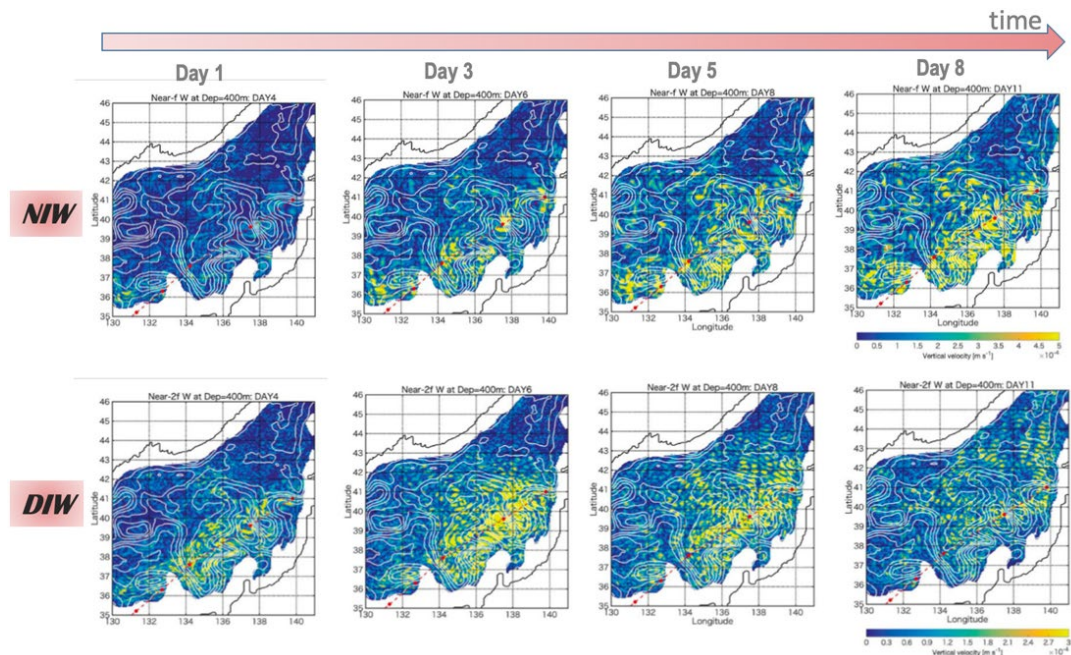


図3：台風通過後の1日目から8日目までにおける近慣性波（NIW）および2倍慣性波（DIW）のエネルギー分布を示す。NIW（上段）は対馬暖流の渦域に局在し、エネルギーが保持される一方、DIW（下段）はより短周期で北方へ放射し、数日以内に広域へ拡散する傾向を示す。これらの結果は、対馬暖流のメソスケール渦が台風起源の内部波エネルギーを一時的に閉じ込め、海洋混合過程を制御する重要な役割を果たすことを示している。

今後の展望

今回の成果は、メソスケール渦が台風起源の内部波エネルギーをいかに制御するかを示すものであり、今後は実海域観測や衛星データと統合することで、沿岸・外洋の混合過程や熱輸送モデルへの応用が期待されます。特に日本海や東シナ海など、台風と暖流が交差する海域における、熱輸送・混合・物質循環の理解を向上させる上で重要な成果と言えます。

論文情報

掲載誌：*Progress in Oceanography*（エルゼビア社）

論文タイトル：Meridional propagation of typhoon-generated internal waves under influences of mesoscale eddies in the Sea of Japan

著者：Yusuke Kawaguchi, Itsuka Yabe, Taku Wagawa, Shigeyoshi Ootosaka, Tomoharu Senjyu

DOI：[10.1016/j.pocean.2025.103626](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2025.103626)

論文公開日：2025 年 11 月

研究サポート

本研究は、日本学術振興会科研費（基盤研究 C）および東京大学大気海洋研究所 共同利用 学際連携の援助を受けて実施されました。

お問い合わせ先**■研究内容について**

北見工業大学 工学部 社会環境系

准教授 川口 悠介（かわぐち ゆうすけ）

E-mail：ykawaguchi@mail.kitami-it.ac.jp

■報道について

北見工業大学 企画総務課広報戦略係

E-mail：soumu05@desk.kitami-it.ac.jp

TEL：0157-26-9116 FAX：0157-26-9122