

## 夏季田辺湾における Langmuir 乱流と混合層深度の観測

## Observational Study on Langmuir Turbulence and Mixed Layer Depth in Summer Tanabe Bay

○吉川浩一朗・吉川裕・馬場康之・久保輝広

○Koichiro KIKKAWA, Yutaka YOSHIKAWA, Yasuyuki BABA, Teruhiro KUBO

Several features of wave-induced turbulence in the ocean surface boundary layer (OSBL) remain unquantified, despite its large potential impacts on sea surface temperature variations. Here we deployed an ADCP near the observation tower of Shirahama Oceanographic Observatory to measure turbulence (kinetic energy dissipation rates,  $\epsilon$ ) in the OSBL, and its intensities were compared with turbulence due to wind and waves measured at the tower.

## 1. はじめに

海面表層で生じる乱流は混合を引き起こすことで、水温や塩分が一樣な混合層を形成する。海面の加熱や冷却による水温変化は混合層全体で生じるため、混合層が深い(浅い)ほど水温変化は小さい(大きい)。そのため混合層深度を正確に予測することは、海面水温やそれに影響される大気・海洋の現象、例えば台風などの予測に不可欠である。

海面加熱時の混合層内の乱流として主要なものは、海上風に駆動される(風強制)シアー乱流、そして波と流れの相互作用によって駆動される Langmuir 乱流である。海面加熱時において Langmuir 乱流が混合層を大きく深めていることを示唆する先行研究がある (Belcher et al. 2012) が、一方で海面加熱によってその影響が減少することを示唆するもの (Min and Noh 2004 など) もあり、整理されていないのが現状である。

これらを整理するため、海面加熱時においてどのような条件で Langmuir 乱流が混合層を深めるのか、そしてその影響はどの程度になるのかを定量的に評価することが必要である。そのためには、Langmuir 乱流が混合層を深める影響や、Langmuir 乱流の強度の強制力パラメータへの依存性を明らかにする必要がある。

海面冷却時には、(熱強制)対流を含めた3つの乱流を分離し、それぞれの乱流が卓越する条件を、2つの無次元数を軸とするダイアグラム上で表した図が数値実験 (Li et al. 2005 など) や観測 (Yoshikawa et al. 2018 など) から作成されている。この図によって、強制力パラメータから主要な乱流や乱流強度(鉛直流速の大きさなど)、混合層がどの程度深められるかを推定できる。しかし

海面加熱時については数値実験や観測の少なさから、このような図が作成されていない。現在、我々は数値実験によって同様の図の作成を行っているが、観測による検証や、数値実験では見逃されていた現象の調査が必要である。例えば、数値実験では水面波を定常な(時間変化しない)ものとして取り扱っていたが、現実海洋では水面波は時間変化(発達・減衰)する。波が減衰することで、波の持っていたエネルギーが混合層内に受け渡され、混合に寄与する可能性などが考えられる。

そこで、防災研究所白浜気象観測所の観測塔周辺海域で、2023年夏季に観測を行った。本公演ではその初期成果を報告する。

## 2. 観測の概要

観測塔近くの水深約10mの海底に音響ドップラ一流速計(TRDI、Sentinel-V 1000)を2023年7月に設置し、水面から水深約8mまでの流速を8Hzで常時計測した。計測された流速データの品質管理を行った後、それぞれの視線流速のエネルギースペクトルを20分ごとに計算し、慣性小領域におけるスペクトル形状から乱流運動エネルギーの散逸率を各深度で計算した。さらに視線流速から、拡張最尤法(EMLM法、磯部1984、橋本1992)を用いて波浪スペクトルを推定し、波についてのパラメータ(ストークスドリフト速度、波長)も計算した。また、観測塔で常時計測している風速(SONIC, SAT-550)、気圧、相対湿度、海面水温を20分ごとに平

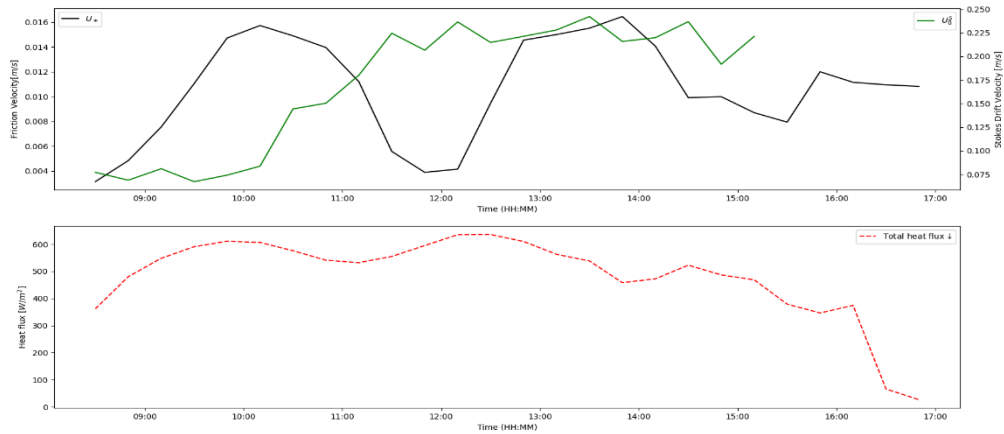


図1 8月13日における強制力パラメータの時間変化。(上): 風摩擦速度 $U_*$ (黒線)と海面ストークスドリフト速度 $U_0^s$ (緑線)。(下): 海面加熱フラックス(赤線)。

均し、活用した。さらに観測塔で常時計測している水温計(JFE DEF12、設置水深は2.0, 4.0, 6.0, 8.0mとTidbit、設置水深は0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 3.0, 3.5, 4.5m)に加え、既設水温計の設置水深間を埋めるように新たに水温計を設置した(MX2203、設置水深は0.75, 1.25, 1.75, 2.25, 2.75, 3.25, 3.75, 4.00, 4.25, 4.75m)。1つだけ既設水温計と同深度(4.00m)に設置することで、機差についても検証を行った。

### 3. 結果

本講演では初期解析結果として、海洋の概観について紹介する。具体的には、強制力パラメータ(風強制、熱強制、波強制)と、水温、そして乱流運動エネルギー散逸率( $\epsilon$ )についてである。例えば2023年8月15日には、台風7号が観測域を通過した。そのため、8月13日には台風の接近に伴いストークスドリフト速度が増加していることが分かる(図1)。さらに $\epsilon$ については、台風接近前(8月13日)は $10^{-5}$ 程度であったものが、台風上陸時(8月15日)には $10^{-4}$ まで増大していることが確認できる。この増加が波だけで説明可能であるのか、などについては今後の検証課題である。水温の解析結果については講演内で紹介する予定である。

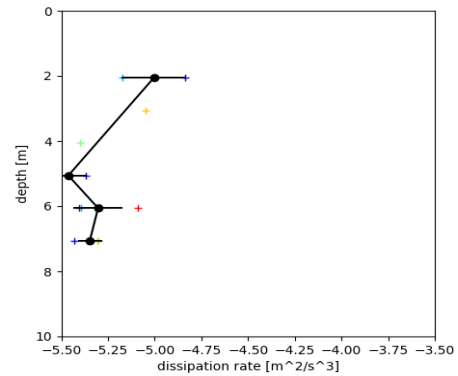


図2 台風接近時(2023/8/13 12:30)における乱流運動エネルギー散逸率の鉛直分布。

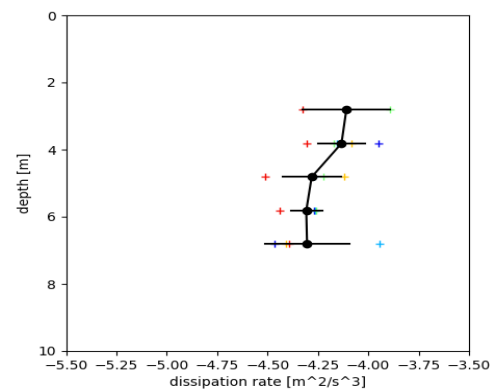


図3 台風通過時(2023/8/15 12:30)における乱流運動エネルギー散逸率の鉛直分布。