

ラングミュア乱流が海面加熱時の混合層に及ぼす影響の評価

海洋物理学分科 吉川 浩一郎(KIKKAWA, Koichiro)

1. はじめに

海洋表層には乱流により水温・塩分・密度が一様化された混合層が存在する。大気からの熱供給による水温変化はこの層全体で生じるため、混合層深度の大小が水温変化量を左右する。したがって、混合層深度の正確な見積もりが、海面水温やそれに影響される大気現象の予測に不可欠であり、それは混合層の浅い春～夏季に特に顕著である。春～夏季における混合層内の乱流は、風応力による(風強制)シアー乱流と水面波と流れの相互作用による(波強制)ラングミュア乱流であり、海面加熱がこれらの乱流を抑制する。多くの大気海洋結合モデルでは波の高い南大洋の夏季混合層を過小評価する傾向があるが、Belcher et al. 2012 では、それらモデルではラングミュア乱流の効果が適切に表現されていないこと、さらに波の高い南大洋においてはラングミュア乱流が混合層を深めている可能性があることを、波強制に対する風強制の指標であるラング

ミュア数 $La_t = \sqrt{U_* / U_0^S}$ (U_* は風摩擦速度、 U_0^S は海面ストークスドリフト速度)を用いて指摘した。しかしこの指摘だけでは、春～夏季に想定される海面加熱の影響が考慮されていないという根本的な問題が存在する。一方、海面加熱時の混合層深度に関する先行研究の中でも、ラングミュア乱流の影響を調べた研究では地球自転の効果が考慮さ



れておらず、また地球自転を考慮した研究ではラングミュア乱流の影響を適切に評価していないという問題がある。また、波の波長 λ や波向風向差 θ_{ww} もラングミュア乱流の強度に影響することが他の先行研究から示されているが、これらの効果についても不明である。したがって、ラングミュア乱流が海面加熱時にどれだけ混合層を深めるかも不明である。

2. 手法

本研究ではこれらを踏まえて、どのような条件下でラングミュア乱流が海面加熱時の混合層をどの程度深化させるのかを調べることを目的とした。そのために、風強制(摩擦速度 U_*)、波強制(海面ストークスドリフト速度 U_0^S 、水面波の波長 λ 、波向風向差 θ_{ww})、熱強制(B_0)、緯度(f)をパラメータとして数値実験(LES)を行い、風、波、熱強制を与え

て再現された混合層深度 D を、風、熱強制の下での混合層深度 D_{wind} で割った値 D/D_{wind} に注目して解析を行った。この値は、波強制が風と熱だけで形成される混合層をどれだけ深めたかを示す値である。そして、風強制に対する波強制の強さを表す $La_t^{-1} = \sqrt{U_0^S/U_*}$ 、風強制に対する熱強制の強さを表す $Z = |B_0/U_*^2 f|$ 、無次元化した波の波長 $R = \lambda/4\pi D_{wind}$ 、波向風向差 θ_{ww} 、の4つの無次元数を変えた多くの実験を行い、様々な条件下での D/D_{wind} を調査した。

3. 結果

海面加熱時においても、波強制を課した実験ではいずれも $D/D_{wind} > 1$ となり、波強制は混合層を深めるが、海面加熱が弱い($Z < 5$)場合には $D/D_{wind} > 2$ に達する一方で、強い海面加熱($Z = 50$)の場合では $D/D_{wind} < 1.3$ 程度に留まるなど、その影響は海面加熱の強さに大きく依存することが確認された。また波の波長(R)でも D/D_{wind} は変化し、 $R = 0.4 - 0.6$ で D/D_{wind} は最大となることが分かった。波向風向差($|\theta_{ww}|$)が大きくなると D/D_{wind} は減少し、また θ_{ww} の符号について非対称性が見られることも明らかになった。さらに観測データや再解析データを用いて現実海洋での4つの無次元数を計算し、数値実験結果で得られたこれらの無次元数に対する依存性をもとに、春季における D/D_{wind} を全球的に推定した。その結果、例えば Belcher et al. 2012 の手法では波強制の影響が大きいと推定されるインド洋では、波強制が強くなる(La_t が小さくなる)頻度が高いにもかかわらず、海面加熱が強いため実際にはその影響は小さいこと($D/D_{wind} < 1.2$)など、波強制の影響をより正確に推定することができた。

$D/D_{wind} < 1.2$)など、波強制の影響をより正確に推定することができた。

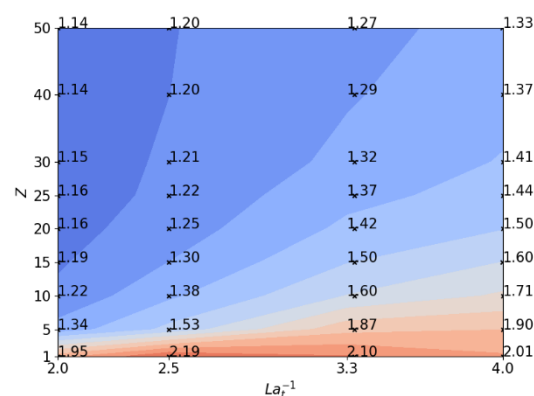


図 1: $R = 0.4$ について、横軸に波強制の強さを表す La_t^{-1} 、縦軸に海面加熱の強さを表す Z をとり、ラングミュア乱流が混合層をどれだけ深めたかを表す D/D_{wind} を、各 (La_t^{-1}, Z) について示した図。

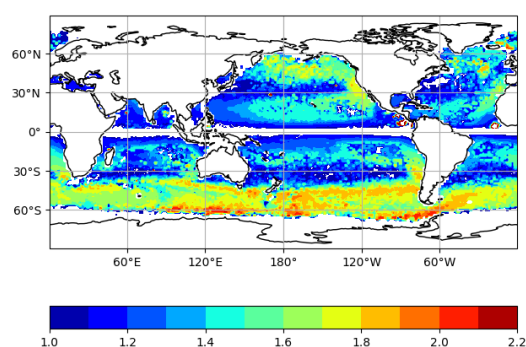


図 2: パラメータから計算した4つの無次元数をもとに推定した D/D_{wind} の全球分布。