

平成29年地球知球会講演要旨
水面波の直接数値計算を用いたLangmuir循環の力学に関する研究
海洋物理学分科修士2年 藤原 泰

Langmuir循環研究の背景とその問題点

海洋表層の乱流混合過程は、混合層の深さを変えることで海面水温を左右し、中長期気候にたいして重大な役割を果たす。海洋表層の乱流は水面での風応力によるシア乱流、海面冷却に伴う対流、そして水面波の砕波が主な生成源であると考えられてきた。しかし近年、**水面波と流れの相互作用**による非砕波での乱流生成が砕波をしのいで大きな役割を果たしていると考えられるようになってきた (Belcher et al., 2012; D'Asaro, 2014)。

水面波の伝播方向に沿ったロール状循環である**Langmuir循環**(LC, 図1)は水面波と流れの相互作用によって駆動されると考えられており、波のエネルギーを乱流運動エネルギーに変換することで海洋表層の混合に重要な役割を果たしていると考えられる。現在、LCの力学は Craik and Leibovich (1976)の導出した、Euler時間平均流に対する運動方程式(以下、CL方程式)によって記述されると考えられている。CL方程式では、水面波の特徴をStokesドリフトに集約し、波の平均流への作用を外力項(**渦度力**とよばれる)として表現している。CL方程式を用いた混合層ラージ・エディ・シミュレーションなどを通して、LCによる混合効果のパラメタ化の研究が活発に進められている。

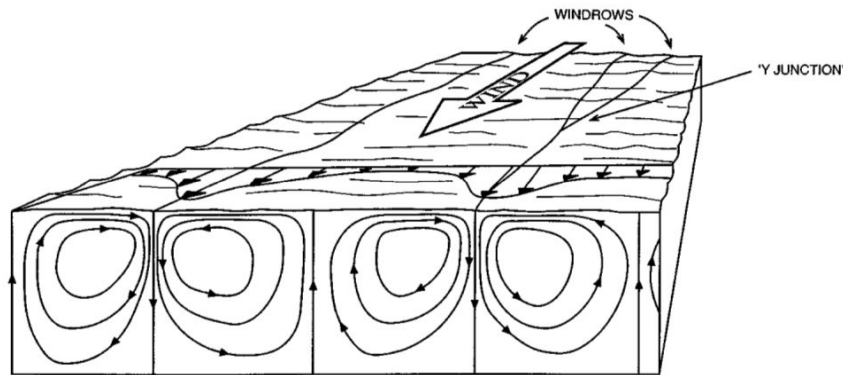


図1: LCの模式図(Thorpe, 2004)。風向き・波向きに沿ったロール状循環構造で、下降流(水面での収束帯)のところで吹送流が強いという特徴をもつ。

しかし、CL方程式は導出に際していくつかの仮定が課されている一方、観測・室内実験・(CL方程式によらない)直接数値計算などで得られるLCのメカニズムがCL方程式によるものと整合的であるという実証がなされていない。

さらに、CL方程式の正当性に対しても研究者の間で意見が分かれており、論争が起こっている。この論争はもっぱら理論面での議論に終始しており、そのことからCL方程式の妥当性を直接検証する「実験的アプローチ」の研究が望まれる。

本研究の概要

この問題点を踏まえ、本研究では深水波を正しく表現できる最新の海洋数値モデルを用いて水面波と流れの直接数値計算を行い、CL方程式に則った従来の記述の妥当性検証を行った。

具体的には、波浪水槽型の領域で風応力と水面波の両方を与える実験を行った。その結果、**LCの特徴を備えるロール状循環構造が駆動されることを確認した**(図2)。また、波の伝播方向に沿った渦度収支を解析したところ、渦度は波に伴うReynolds応力のトルクによって供給されており、それが渦度力によく表現されることを確認した。そのことから、少なくともこの実験設定では、CL方程式によるLCの駆動の説明がよく成り立つことを実証した。

この結果は、CL方程式に基づいたLCの記述が妥当であることを示しており、CL方程式の正当性に関する論争においては、その正当性の強力な実証と位置づけられる。またこの結果は、これまで観測・室内実験・直接数値実験が困難であったLCの力学に、新開発の高性能な非静力学自由表面モデルを用いた数値実験によりアプローチすることで得られたもので、新規なものである。

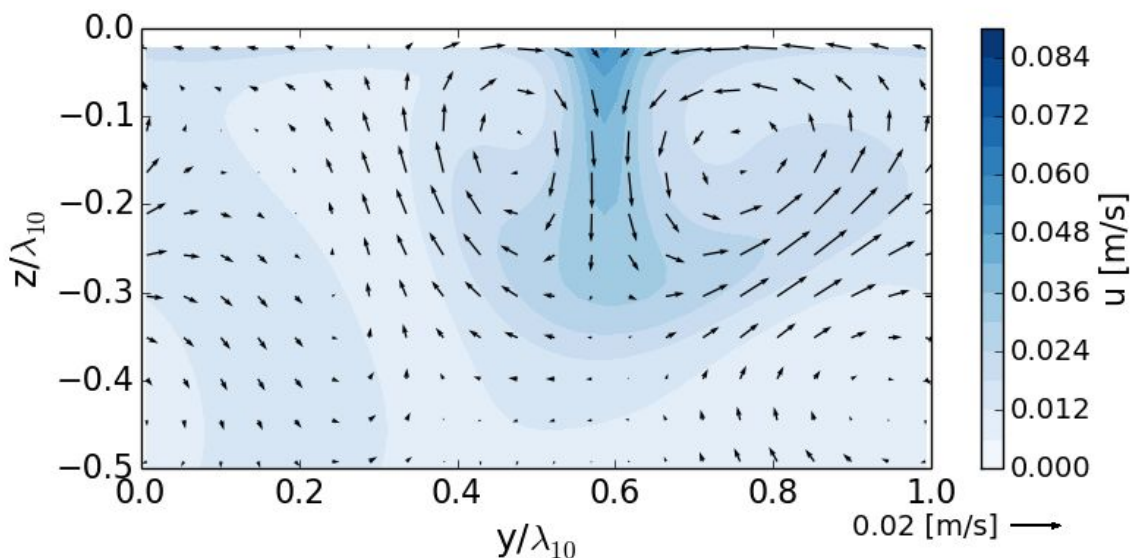


図2: 直接数値計算で再現されたLCを示す、波の伝播方向に直交する鉛直断面での流れ場(Euler時間平均流)。矢印が断面内、陰影が紙面手前向きの流れを表す。波は紙面手前向きに伝播している。

参考文献

- Belcher, Stephen E., et al. "A global perspective on Langmuir turbulence in the ocean surface boundary layer." *Geophysical Research Letters* 39.18 (2012).
- Craik, Alex DD, and Sidney Leibovich. "A rational model for Langmuir circulations." *Journal of Fluid Mechanics* 73.03 (1976): 401-426.
- D'Asaro, Eric A. "Turbulence in the upper-ocean mixed layer." *Annual review of marine science* 6 (2014): 101-115.
- Thorpe, S. A. "Langmuir circulation." *Annu. Rev. Fluid Mech.* 36 (2004): 55-79.