

ラグランジュ計測による風波の海面表層流に関する基礎実験

岩手大学 学生会員 ○澤村健人, 菅原圭吾 正会員 小笠原敏記

1. はじめに

地球温暖化に伴う気候変動の将来予測で利用される大気—海洋—波浪モデルの精度向上には、風速と表層流れとの関係を正確に把握する必要がある。Jin Wu(1968)の既往研究では、5 波長分の距離を流れるフロートの平均速度を算出し、代表風速に対する表層流れの割合を提示している。しかし、表層流れは時々刻々と変わるため、瞬間値を正確に算出し、平均化する必要がある。

そこで本研究では、風洞水槽を用いた実験でフロートを水面に浮かべ、その流況を高速度ビデオカメラで撮影し、ラグランジュ的に解析した結果を基に、精度の高い表層流れの速度を明らかにする。

2. 実験概要

(1) 実験装置

図-1に風洞水槽および計測機器の位置を示す。風洞水槽(水路長 17m, 高さ 1.2m, 風洞高さ 0.3m, 幅 0.5m)は吸入型で造波装置から 2m の地点にハニカム構造となった風洞を設置し、風を整流にしている。水深は 0.8m とし、造波装置から 7.2m の地点の風洞天端にフロートの投入口、8.7m の地点に容量式波高計(KENEK), 9.2m の地点の風洞天端に高速度ビデオカメラ(SpeedSenseM310, Dantec Dynamics), 水槽側面にビデオカメラ(FlowSenseEO, Dantec Dynamics)をそれぞれ設置した。表-1に各ビデオカメラの撮影条件を示す。波高計のサンプリング周波数は 100Hz とし、フロートによる計測をする際には障害物となるため、撤去して実験を行った。

(2) フロートの概要

図-2に実験で使用するフロートと代表的な撮影画像を示す。フロートはワインコルク(直径 2.5cm, 厚さ 1.0cm)として複数個を作製した。比重は各フロート 0.42~0.45 の範囲内とした。なお、安定化を図るために、長さ 4cm の爪楊枝をフロートの中心に取り付けた。

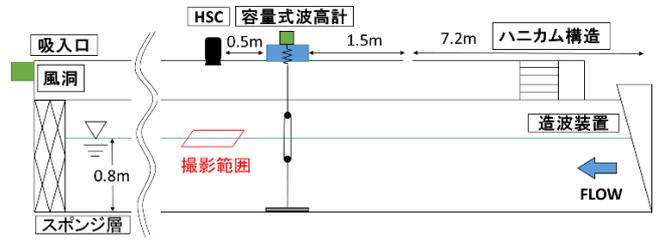


図-1：風洞水槽および計測器の位置

表-1：各ビデオカメラの撮影条件

	Speed Sense M310	Flow Sense EO
画像サイズ(pixel)	1280×800	1600×1200
解像度(cm/pixel)	0.027	0.012
フレーム数(fps)	100	10

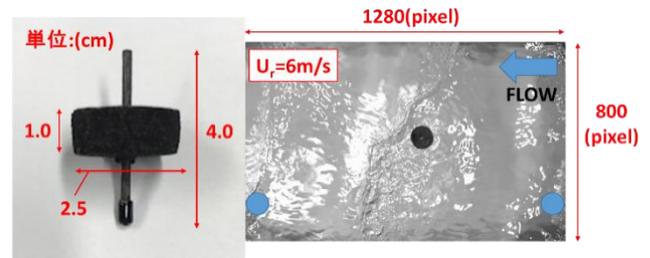


図-2：フロートの概要

(3) 実験条件及び解析方法

実験では代表風速 $U_r = 3, 6, 10, 12$ m の風速下で定常な状態において実験を行った。なお、 U_r は水面から 10cm の位置で熱線式デジタル風速計(Lutron)を用いて 60 秒間測定し、その平均値を採用した。

解析を容易にするために風洞天端から水面をライトで照らし、フロートを黒色にすることで明暗を鮮明にさせた。解析範囲は図-2に示す青丸のようにフロート全体が撮影範囲内に入った部分とし、画像解析ソフト Image J を使用して、フロート中心の時々刻々の位置を求めた。

3. 実験結果と考察

図-3に U_r ごとのフロートの軌跡を示す。 $U_r = 3$ m/s のとき、さざ波状態(有義波高 $H_{1/3} = 3.6$ mm, 有義波周期 $T_{1/3} = 0.18$ s)であり、直線的な運動となるが、

キーワード：風波, ラグランジュ計測, 海面表層流, 水理実験

連絡先：岩手県盛岡市上田 4 丁目 3-5

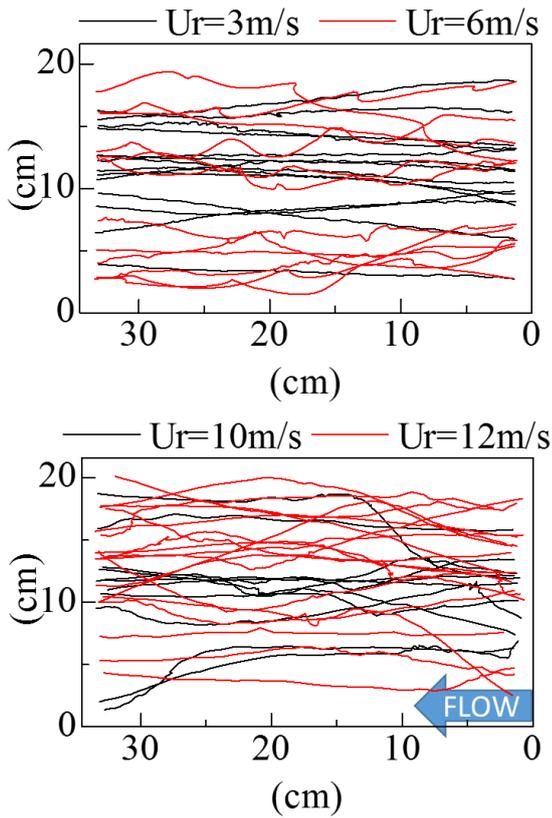


図-3 : U_r ごとのフロートの軌道

$U_r = 6\text{m/s}$ ($H_{1/3} = 18.3\text{mm}$, $T_{1/3} = 0.39\text{s}$) では、大小様々な波が存在する不規則波となるため、波の振幅の影響で波打つような軌跡となる。さらに、 U_r の増加に伴い、白波砕波による影響を受けるようになるため、より非直線的な軌跡となることがわかる。

次に、フロートの瞬間速度 u 、各ケースの平均速度 u_m を U_r ごとに示したものが図-4 である。 $U_r = 3\text{m/s}$ では、さざ波状態で波の影響が小さいため、 u の変動は比較的小さくなる。 $U_r = 6\text{m/s}$ 以上の風速では、波の発達に伴い、波の山と谷によってフロートの加速や減速が顕著になるため、変動が大きくなる。特に、 $U_r = 10, 12\text{m/s}$ では白波砕波が発生するため、フロートに回転運動が加わるケースもあり、 u の値にばらつきが生じたと考えられる。

フロートの回転運動や突出した瞬間速度を削除するため、各 U_r の平均値を算出し、瞬間値との誤差の絶対値を基にした頻度分布を図-5 に示す。なお、両軸はそれぞれ最大値で無次元化している。図中の縦線は閾値を表しており、 $U_r = 3\text{m/s}$ は最大誤差から85%以上、その他の風速は70%以上の値を削除した。削除後のデータを基に、 U_r に対する u の割合を算

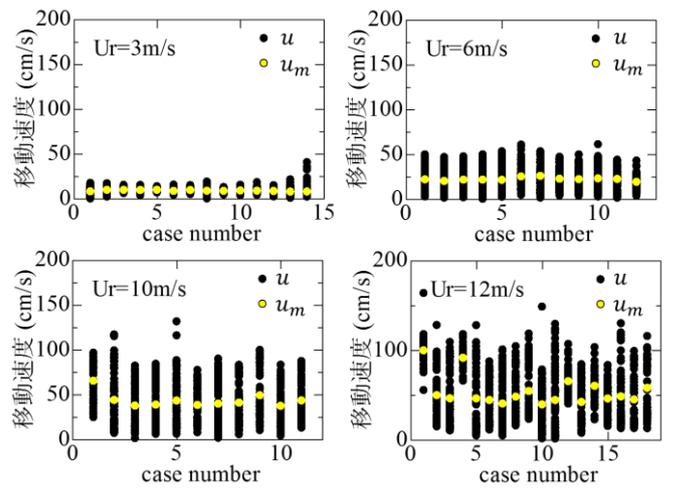


図-4 : 各 U_r おけるフロートの移動速度

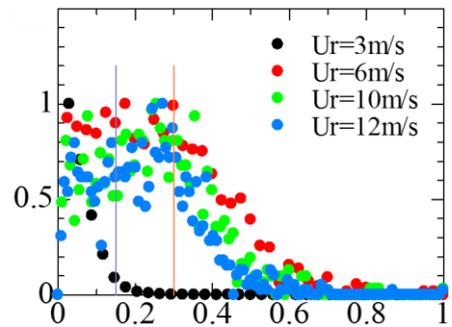


図-5 : U_r ごとの頻度分布

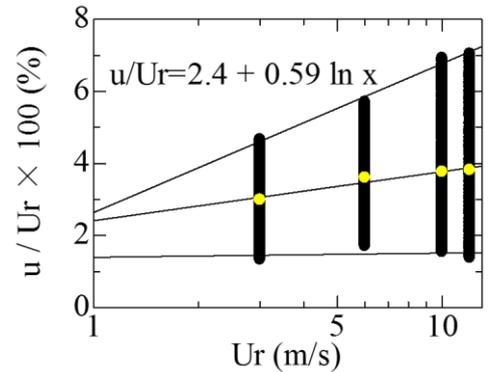


図-6 : U_r に対する表層流の瞬間値 u の割合

出した結果を図-6 に示す。なお、図中の黄色は平均値であり、式はその近似式である。Wu(1968)によると、その割合は3~5%と提案しているが、本実験では3~3.8%となり、より厳密な風速と表層流との関係を得られたと言える。しかし、瞬間値には最大で6%ほどの変動が生じることも考慮する必要がある。

参考文献

J. Wu: Laboratory studies of wind-wave interactions, J. Fluid Mech., vol 34, part1, pp. 91-95, 1968.