

# 水草に覆われた閉鎖性成層水域吹送流の乱流構造

## *Wind Induced Flow in a Closed Density Stratified Water Area Partially Covered with the Floating Water Plants*

尾崎 彰則\* 村松 亮介\* 森 健\*\* 井上 英二\*\* 原口 智和\*\*

OZAKI Akinori, MURAMATSU, Ryosuke, MORI Ken, INOUE Eiji, HARAGUCHI Tomokazu

### はじめに

閉鎖性水域の富栄養化対策として、水生植物による富栄養化物質の吸収能力が明らかになっている。とくに浮葉性植物であるホテイアオイなどは、非常に高い栄養塩吸収能力を持つと言われている。しかし、このような浮葉性植物は、水質浄化能力を持つと共に、閉鎖性水域の水質変動に必要な風または熱といった外乱を少なからず妨げているとも考えられる。そこで、今回は水生植物による水質浄化能をより効率のよいものにするために、浮葉性植物の繁茂状況が、密度 2 成層型吹送流の連行現象と乱流構造に及ぼす影響について、水理実験を行い比較検討した。

### 実験概要

実験装置は、Fig. 1 に示すように長さ 600cm、幅 30cm、深さ 40cm の水槽と、その上部に取り付けた長さ 30cm、幅 30cm の風路からなる。密度 2 成層場は水道水と塩水を用いて作製した。連行速度に関する実験は、上、下層の密度  $\rho_1$ 、 $\rho_2$  の差  $\Delta\rho_0 = \rho_2 - \rho_1$ 、上層水深  $h_{10}$ 、空気の摩擦速度  $u_{*a}$  を用いた層平均リチャードソン数  $R_{ia} = \Delta\rho g h_{10} / \rho_a u_{*a}^2$  が 100 以下の範囲で行った。なお、水草の水面占有率  $\beta = (2s/l) \times 100$  は、0、10、20、30% とした。乱流構造に関する実験は、Table 1 に示す条件で行った。流速の測定には、X 型ホットフィルム流速計を使用した。風速、塩分濃度、水温の測定にはそれぞれ熱線風速計、電気伝導度計、熱電対を用いた。風速は風上から 275cm、塩分濃度、水温は風上から 300cm の位置で測定した。また、水草は厚さ 3mm の発砲スチロール板で模擬し、実験装置の両端から順に被覆率を増加させるようにした。流速の測定は、まず水槽の中央部すなわち風上から

300cm の位置(center)で、鉛直方向には 2 層境界面から水面まで 0.5cm 間隔に分割し、各点で水平方向の流速  $u$ 、鉛直方向の流速  $v$  を計測した。つづいて、同条件下で風下側の水草端から 3cm の位置(back)で水槽中心と同様に流速を計測した。計測は各地点とも 100 Hz で 25 秒間行った。

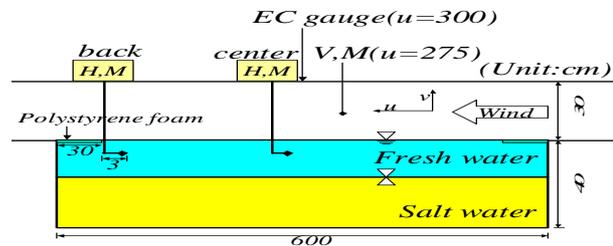


Fig.1 実験装置 (水面占有率 10% の場合)

Schematic diagram of experiment apparatus (in the case of 10% covered)

### 連行速度に関する実験結果

実験結果から、吹送流型 2 成層流の連行係数 ( $E$ ) と層平均リチャードソン数 ( $R_{ia}$ ) の関係は Fig. 2 に示すように  $R_{ia}$  数が 100 以下の領域において、 $E \propto R_{ia}^{-3/2}$  の関係を得た。また Fig. 2 から、同一  $R_{ia}$  で比較すると水草により水面占有率が高くなると、連行係数は小さくなることわがわかる。つまり、水草による水面占有率が大きくなると、上、下層間の混合が起こりにくくなり、水質変動が起こりにくい状態にあるといえる。

Table.1 乱流構造に関する実験条件

Experimental conditions of turbulent flow structures

率	計測位置	風速(m/s)	(g/cm <sup>3</sup> )	$\alpha \times 10^{-3}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$h_{10}$ (cm)	$U^*a$ (cm/s)	$U$ (cm/s)	$R_{ia}$
0%	center	8.5	0.01175	1.2365	12.6	44.46	1.5604	59.3
0%	back	8.5	0.01175	1.2365	13.5	44.46	1.5604	63.6
10%	center	8.3	0.01154	1.2528	9.6	43.21	1.5296	46.4
10%	back	8.3	0.01154	1.2528	11.5	43.21	1.5296	56.6
20%	center	8.3	0.01062	1.2360	10.1	43.21	1.5194	45.5
20%	back	8.3	0.01062	1.2360	11.5	43.21	1.5194	51.8
30%	center	8.5	0.01111	1.2365	10.8	44.46	1.5638	48.1
30%	back	8.5	0.01111	1.2365	11.5	44.46	1.5638	51.2

\*九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences,

Kyushu University

\*\*九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University

### ・乱流構造に関する実験結果

Fig. 3 より、水平方向時間平均流速  $\bar{u}$  の鉛直分布は、center, back のいずれについても水草の占有率が増加するにつれて各水深での水平方向流速は減少する傾向にあると言える。また水平方向流速は水面から境界面に向かうにつれ減少し、水面から上層水深の3割程度の水深までは風上から風下方向への順流部をもち、それより以深では風下から風上方向の逆流部に移行していることがわかる。順流部から逆流部への移行水深は水草の占有率が増加するにつれ水面に近づく傾向にある。

Fig. 4 より、水平方向流速の乱れ強度  $\hat{u}$  は、時間平均水平方向流速と同様に水草の占有率が増加するにつれて各点での乱れの強さが減少する傾向を見ることができ center と back を比較すると、back では center よりも大幅に乱れは少なく、水草の端付近では水面から上層水深の3割程度の深さでほぼ乱れがなくなっていると言える。鉛直方向の乱れ強度についても同様の傾向が見られた。

Fig. 5 より、レイノルズ応力  $-\overline{u'v'}$  は水槽中心では水面付近で大きな乱れの発生がみられるのに対し、水草の端では水面付近で微小な乱れの発生が見られるに留まっている。いずれの条件でも水面付近でのみ大きな値をとっており、水深が2cmを越えるとほぼ0である。これは乱れエネルギーの発生が水面での風のせん断に起因している事を示している。つまり、増大ともない、水面近傍で生成される乱流エネルギー量およびそのエネルギーの界面近傍への輸送量が減少することを示している。

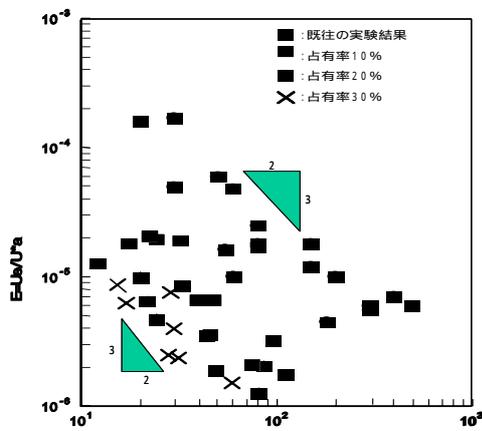


Fig.2 連行係数とリチャードソン数の関係  
Entrainment rate  $E=u_e/u_a$  plotted logarithmically as a function of over-all Richardson number  $R_{ia}$

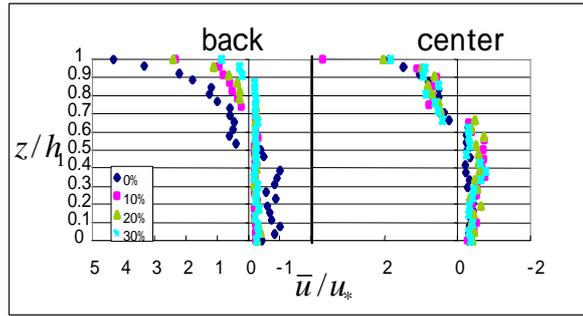


Fig.3 水平方向時間平均流速  
Time-averaged velocity profiles at two points of measurement in the well-mixed layer above the interface

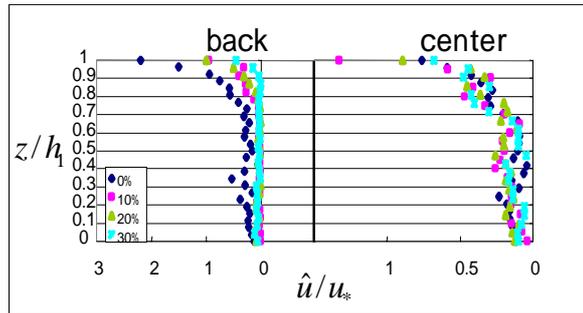


Fig.4 水平方向乱れ強度  
Profiles of streamwise turbulence intensity at two points of measurement in the well-mixed layer above the interface

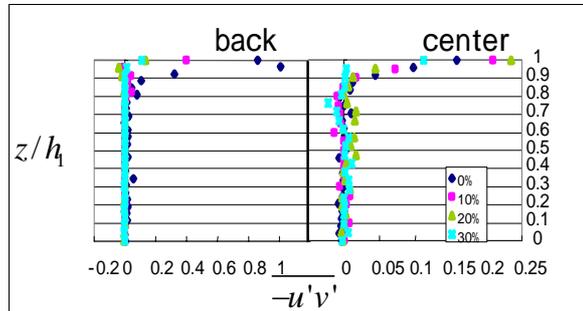


Fig.5 レイノルズ応力  
Profiles of Reynolds stress at two points of measurement in the well-mixed layer above the interface

### ・おわりに

本研究から、水面が浮葉性水草で覆われた吹送流型2成層流における界面の連行係数は、被覆率の増大とともに低下すること、およびそれが乱流構造と密接に関係していることを明らかにした。

今後は、さらに研究を進めて連行係数および乱流構造について定量的な把握を行う予定である。