

閉鎖性水域の熱対流におよぼす水生植物の影響

Effect of aquatic plants on thermal convection in a closed water body

濱上 邦彦* 森 健** 平井 康丸**

HAMAGAMI Kunihiko, MORI Ken, HIRAI Yasumaru

1. はじめに

閉鎖性水域は、水の出入りが少なく、富栄養化等による水質問題が深刻であり、その改善が早急の課題となっている。水質問題は、水域の閉鎖性に基づく水塊の滞留時間が長く、栄養塩類の負荷量が大きいことに起因する。閉鎖性水域における水の循環としては、吹送流による機械的擾乱と、日中の日射・夜間の放射冷却による熱対流がある。また、水域内に繁茂する水生植物は富栄養化の原因となる栄養塩類を吸着する働きを持つ一方で、その存在が流動の駆動力となる風の作用や熱の授受に影響を及ぼすことが考えられる。本研究では水面冷却による熱対流の発生・発達過程に及ぼす浮葉性植物の影響について単純なモデルを用いた数値実験、および水槽実験により解析した。

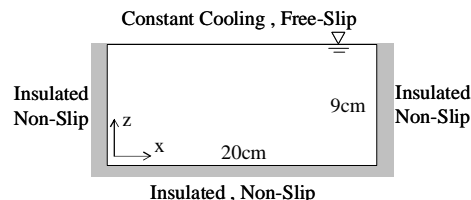


Fig.1 計算領域と境界条件
Simulated area and Boundary conditions

Table.1 計算条件
Computational conditions

水平渦動粘性係数	x	$1.0\text{cm}^2\text{s}^{-1}$
鉛直渦動粘性係数	z	$0.01\text{cm}^2\text{s}^{-1}$
水平渦動拡散係数	K_x	$1.0\text{cm}^2\text{s}^{-1}$
鉛直渦動拡散係数	K_z	$0.01\text{cm}^2\text{s}^{-1}$
熱フラックス	q_s	$-0.005\text{ly}\cdot\text{s}^{-1}$
水平差分幅	x	0.5cm
鉛直差分幅	z	0.5cm
計算ステップ	t	0.1s

2. 実験概要

(1) 数値実験

対流の基本的な発生・発達過程を鉛直 2 次元モデルにより解析する(今里ら, 1981)。本研究では流線関数と渦度を用いた支配方程式を使用する。Fig.1 に計算領域を示す。水面から大気に向かう一定の熱輸送量 q_s を与えた。ただし植生が繁茂している水面からの熱フラックスは小さくなると考えられるためその区間の熱輸送量は κq_s ($\kappa < 1$) とした。植生の水面被覆率は $m=0,10,30,50\%$ とし、 $m\%$ 被覆時には水面の両端に $(L \times 0.01 \times m)/2$ ずつ被覆させる。Table.1 に計算で用いた物理パラメータを示す。

(2) 水槽実験

実験水槽を Fig.2 に、実験条件を Table.2 に示す。水温成層場は水面上 30cm から電熱板で加熱して形成させ、水面冷却を開始した。水温一様場は十分に攪拌した後しばらく水面を断熱し静止状態にして冷却を開始した。水温の測定は熱電対を用い、壁面から 3cm 地点を ch1、水槽中央を ch2 とする。

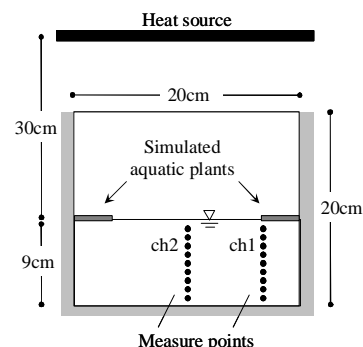


Fig.2 実験装置
Experimental apparatus

Table.2 実験条件
Experimental conditions

EXP	流体	被覆率	冷却初期の 表層水温 (°C)	気温 (°C)	ΔT (°C)
1-1	成層場	0%	21.8	12.0	9.8
1-2	成層場	10%	20.2	9.0	11.2
1-3	成層場	30%	21.3	11.0	10.3
1-4	成層場	50%	20.1	10.0	10.1
2-1	一様場	0%	17.7	8.8	8.9
2-2	一様場	10%	19.7	10.8	8.3
2-3	一様場	30%	17.9	9.5	8.4
2-4	一様場	50%	17.4	8.4	9.0

*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

キーワード: 閉鎖性水域, 密度 2 成層, 熱対流, 水生植物, 渦度方程式,

2 断面において、水深 0.5cm より鉛直方向に 1cm 間隔で測定した。計測時間は成層場では 2 時間加熱 2 時間冷却、一様場では 2 時間冷却で行い、サンプリング周波数は 0.5HZ である。

3. 実験結果および考察

水域の中央における水温鉛直分布の時間変化を Fig.3 に示す。水温一様場ではほぼ均一に冷却が進んでいる。水温成層場では水面冷却に伴って沈降する冷水塊が躍層面に到達すると、上・下層間の混合が生じ、鉛直方向に均一な水温の層（混合層）が

形成されるが、水温躍層面の存在により混合層の発達速度は遅くなっている。実測値と計算結果は概ね一致している。

次いで、水面の被覆による影響を Fig.4 に示す。縦軸は混合層の厚さ z を全水深 H で除した無次元数である。数値計算より得られた各被覆率における混合層の発達過程において、水面の被覆により混合層の発達速度が増していることがわかる。すなわち水温躍層面の安定性が崩れるまでの時間が短くなっていることをあらわしている。その構造を詳しく検討するため、渦度方程式の各項の寄与を Fig.5 に示す。冷却開始 18 分後の水面近傍（水深 2cm）における結果である。被覆のない場合に比べて各項の値は大きく、特に被覆の端付近において、対流項水平成分が卓越している。すなわち水平方向の密度差により生じた、水平対流が混合層の発達速度に影響をもたらしていると考えられる。

4. おわりに

水温成層場では躍層面の存在により混合層の発達が抑制される。また、水生植物の存在によって水平方向に不均一冷却が起こり、その影響により混合層の発達速度は増加する。

参考文献

今里 哲久ら (1981): 混合層における熱対流の数値実験, 月刊海洋科学, 13(7), pp.457-464

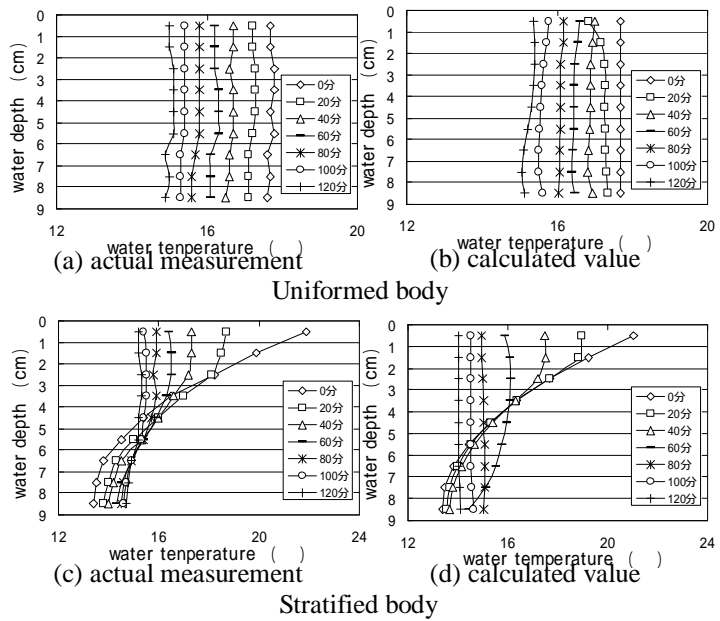


Fig.3 水温鉛直分布
Vertical distribution of water temperature

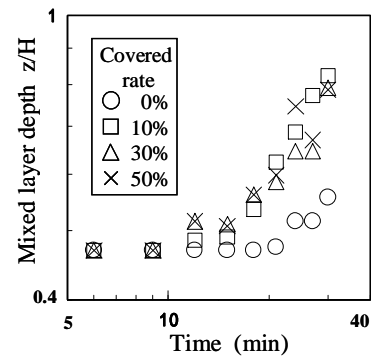


Fig.4 混合層の発達
Development of mixed layer

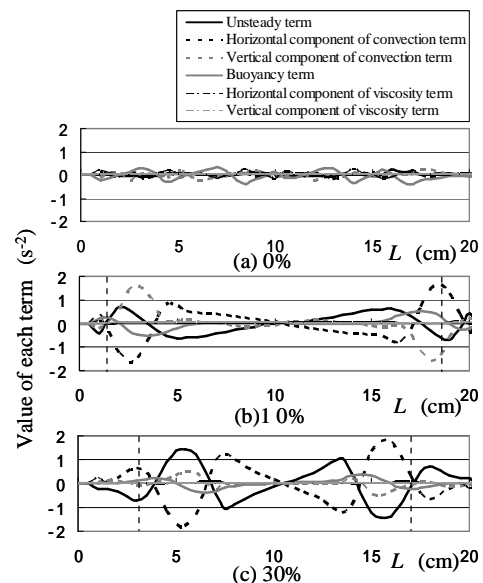


Fig.5 渦度方程式の各項の寄与
Value of each term of vorticity