

京都大学防災研究所 正員 大久保 賢治

京都大学防災研究所 正員 村本 嘉雄

関西電力株式会社 正員 片岡 幸毅

本研究では、湖の地形性貯熱効果¹⁾によって生じる環流について、回転水槽実験と琵琶湖北湖の水温分布の実測結果の比較から検討し、環流に及ぼす地形効果についても若干の実験的考察を行う。

1. 実験の概要 図1の実験水槽は、主水槽部(A)、導入水路(B)、副水槽部(C)、ヒーター(D)、サーミスタ(E)より成る。加熱した温水は、導入水路を通して主水槽上層へ流入する。加熱期は所定の上層厚さ

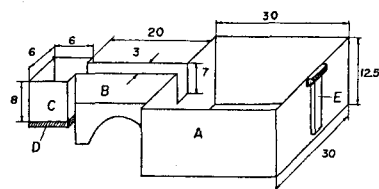


図1 実験水槽 (単位はcm)
Temperature (°C)

が過ぎる60分とし、その後ヒーターを切って60分の放熱期を設ける。各々が半導に相当することからテプルの回転数を求めた。加熱量を変えて三種の実験を行い、測定した水温鉛直分布の時間変化(図2)を北湖定点(

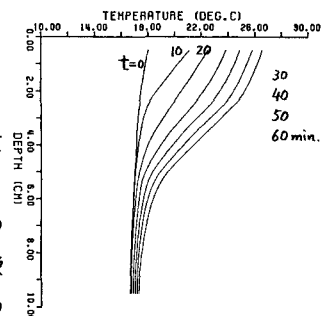


図2 水温鉛直分布(実験)

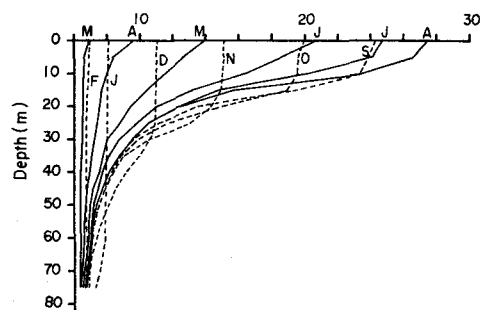


図3 水温鉛直分布(琵琶湖)

毎木崎-彦根線上)のそれ(図3)と比較する。

2. 成層化過程と環流の特性

水温分布とその最急勾配点での接線との差が最大水温差の2%となる点 Z_u , Z_l を求めた。これらは躍層の上、下端に相当する。層厚変化は加熱量によらず(図4), 放熱期の層厚が現地のそれ

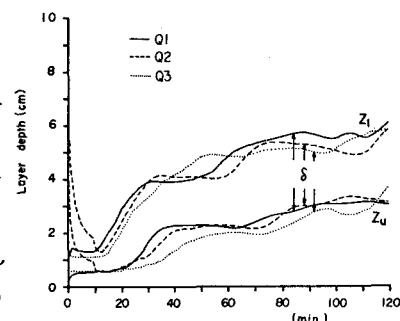


図4 層厚の時間変化(実験)

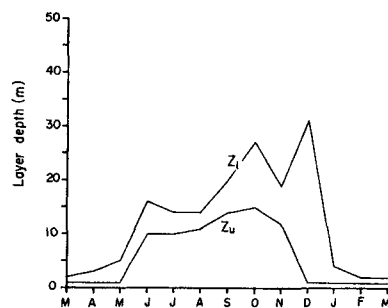


図5 層厚の季節変化(琵琶湖)

(図5)より大きくなるのは、強制冷却を行っていないことによる。上層厚さを $h=Z_l$ とし、これと上、下層の平均水温の差に基づく有効重力 g' から上層浮力(図6, 7)を求めた。上述の理由により、実験では $t=120$ 分でも貯熱

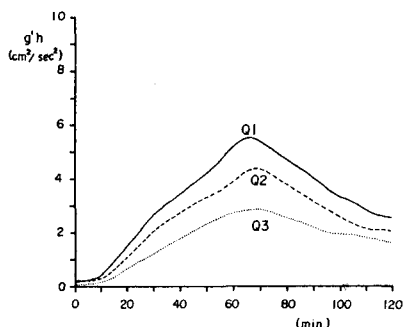


図6 上層浮力(実験)

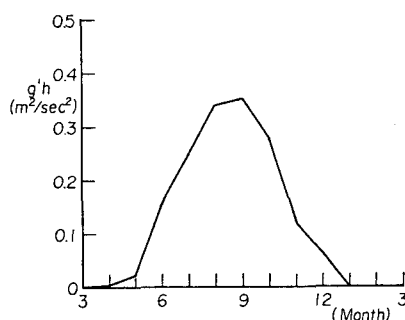


図7 上層浮力(琵琶湖)

がある。前後の時間ステップ ($\Delta t = 24$ 秒) の量を用いて浮力束表示をすると、図8のようになる。現地でも同様にして図9が求まるが、時間間隔が大きいのので浮力の差として直接求めると黒丸のようになり、実験の場合ほど対応はよくない。Q1, Q2では $t = 40$ 分頃、浮力束が下がる。これは、導入水路の水深に規定される形で層厚がいったん平衡したことによる(図4)。こうした擾乱もあるが、加熱期の現象の概略は模擬した。フロートの動きから求めた平均流速 $\bar{v}$ を用いて内部Froude数 Fi を評価すると、加熱量による差や時間変化は小さく $Fi \approx 0.3$ である(図10)。 $t \approx 60$ 分の $h, \delta, \bar{v}$ を表1に示す。現地では $Fi = 0.3$ とすれば、図7より7~9月の $g'h = 0.25 \sim 0.35 \text{ m/s}^2$ であるから $\bar{v} = 15 \sim 18 \text{ cm/s}$ 、幅を20 kmとしてRossby数 $Ro \approx 0.1$ を得る。鉛直Ekman数 Ev のオーダーも現地と一致する。

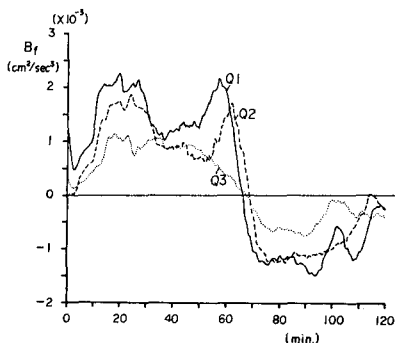


図8 浮力束の変化(実験)

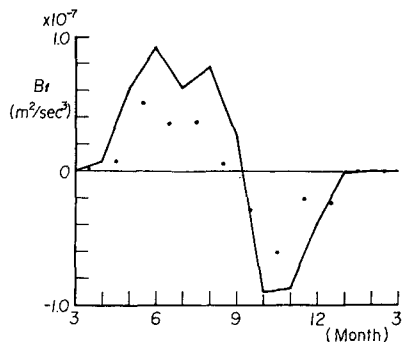


図9 浮力束の変化(琵琶湖)

3. 環流に対する地形の効果 半島長さ l , ridgeや浅水部の高さ d を変えて加熱後100分の流況を見た。不安定なものも含まれるが図11にそのパターンを示す。 l が大きいと単一環流を分裂させるが、それらの安定な配置は反時計、時計渦が交互に並ぶもので、時計渦は極めて微弱である。Ridgeは上層まで及ばない通常の範囲では効果は少ない。浅水部は、反時計渦を深い側に押し浅い側に時計渦を作る。本実験は Ro や Ev, Fi の相似はほぼ満足しており、特にP, Sシリーズの結果は現地の環流パターンを定性的に説明しうるものと思われる。

4. まとめ 回転水槽実験で得た加熱環流は Ro, Ev, Fi について北湖の夏季の水平環流と相似であり、環流の熱成論を支持する結果を得た。環流が確立した加熱期後半においても環流流速と上層浮力は増大を続けているが、 $Fi \approx 0.3$ という近似的関係を満足している。通常水温躍層と呼ばれる水温新変層には表層とは逆の時計回りの弱い渦流があり、躍層とエクマン層が対応していると思われる。なお、実験では表層流れの収束や環流中心部の低温水の盛り上がりも再現されていた。

〈参考文献〉 1) Oonishi, Y.; J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol. 31, 1975. 2) 遠藤 修一; 京都大学理学部修士論文, 1976.

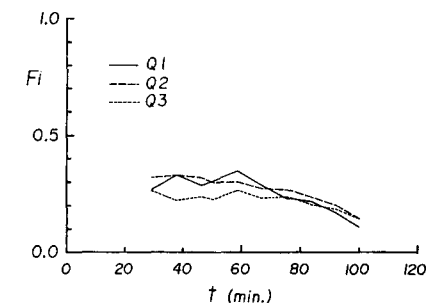


図10 実験の内部Froude数

表1 実験条件と無次元数

RUN	W (Watt)	H (cm)	b (cm)	f (s ⁻¹)	h (cm)	δ (cm)	$\bar{v}$ (cm/s)	Ro	Ev	Fi
Q-1	50	10.0	30.0	0.362	4.74	2.51	0.788	0.0726	0.280	0.348
Q-2	40	10.0	30.0	0.362	4.12	1.83	0.591	0.0535	0.197	0.298
Q-3	25	10.0	30.0	0.362	4.89	2.89	0.437	0.0402	0.349	0.266

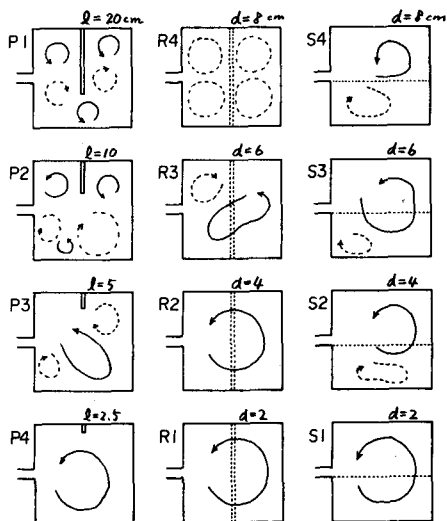


図11 環流の地形効果