

大阪大学工学部

学生員 ○佐野 俊幸

大阪大学大学院工学研究科

正会員 西田 修三

1.はじめに

湖沼では、夏の強い日射により水面付近に高温層が形成され、その結果、水循環が抑制されて水質悪化を招いている。冬には水表面が冷やされ鉛直循環を起こし、底層水塊が上層にまで拡散する。このような熱的作用の他に、風起因した大きな流動や内部波の発生も見られ、湖沼の混合に大きな役割を果たすことが知られている。しかし、現地スケールでの現象の把握と、混合過程の定量化は未だ十分にはなされていない。こうした背景から、本研究では 1998 年夏に小川原湖（青森県）で湖心部と湖北に位置する総合観測所の 2 測点において流動と水温・塩分の鉛直分布の連続観測を実施し、その力学的考察から風に起因した混合現象の実態把握とその定量的評価を試みた。

2.観測結果

図-1 は小川原湖湖心部（水深約 25m）で 1998 年 7 月 21 日～8 月 20 日に水深 1m 間隔で連続観測された水温と流速データを基に描いた水温等値線と水平流動の変動である。また、図には総合観測所で観測された風向・風速も併せて示している。8/7 前後と 8/15 前後の強い南東風に連動して、水温等値線が急変する現象が生じ、成層の強さによって水温躍層の変動規模に相違が見られる。風停止後も、躍層部では風によって誘起された内部セイシュや内部波が長期間継続している。水温躍層の急変現象後に躍層降下が回復しなかったことから、風による大きな混合現象が生じていることがわかる。流動構造は水温成層の影響を受けて、内部セイシュの発生とともに水深方向に位相変化している。特に、躍層付近では上下で逆転した流動を示し、大きなシアが生じていることがわかる。

3.解析結果

Spigel and Imberger¹⁾は成層湖沼に風が作用した場合の混合形態を、密度成層安定度を表すリチャードソン数 $Ri_0 = \varepsilon gh_1/u_*^2$ と水域形状比 $2h_1/L$ によって表される Wedderburn 数 $W = Ri_0(2h_1/L)$ を用いて 4 種類に分類した。ここに ε は相対密度差、 u_* は吹送流の摩擦速度、 h_1 は上層厚、 L は湖の水平スケールである。今回の観測データをもとに、 W を算

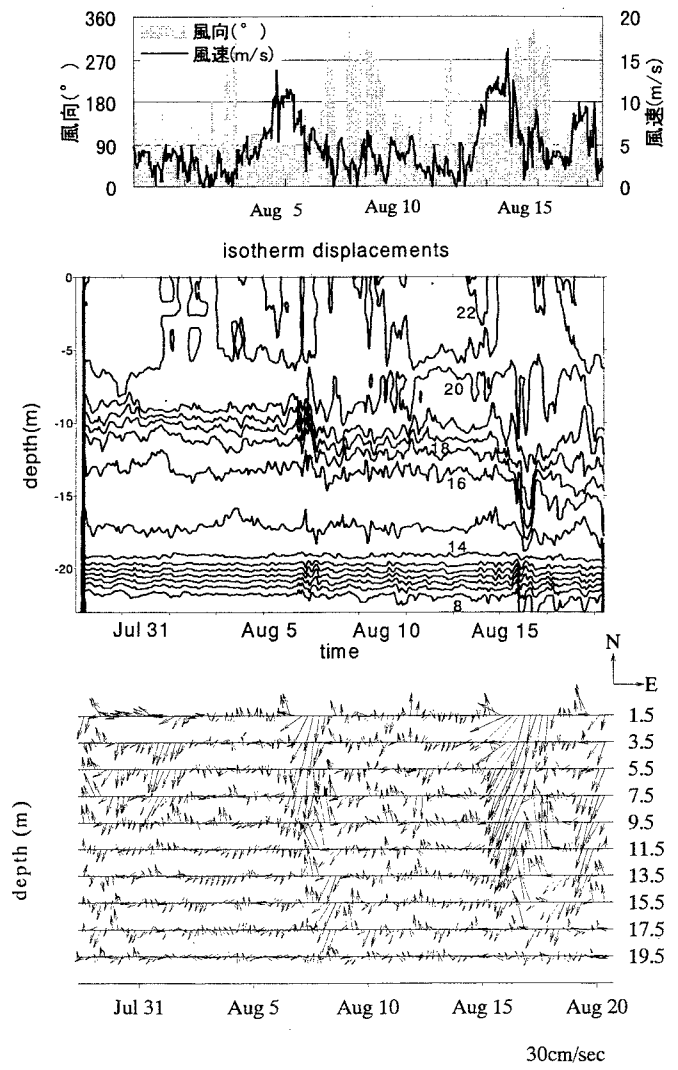


図-1 風向・風速、水温と流動の測定結果

定したのが図-2である。風の発達とともに W は 0.1 にまで減少し、この時、内部に大きな流動が発生するとともに混合による躍層低下が生じている。その後、風の減衰に伴い 1 程度に回復する。次に、風によって誘起される内部流動により生じるシアが混合に果たす役割を明らかにするため、勾配型局所リチャードソン数 J の鉛直分布の経時変化を算定した。

$$J = - \frac{g d \rho / dz}{\rho_0 (du / dz)^2}$$

図-3 には、不安定条件である $J < 0.25$ の領域を図示した。図から不安定の出現領域は 3 つに大別できる。第 1 は吹送流発達段階における不安定域の出現で、風の発達とともに浅い水深で生じる。第 2 は内部セイシュの発生に伴う不安定域で、風の減衰とともに中層で出現している。その他、風停止後にも長期間持続する内部流動により不安定域が存在する。以上のように、風による混合が水面からの直接的な乱れの供給とシアの発生による他、風減衰時に発生した内部波動による強いシアが混合に大きく作用していることがわかる。

成層破壊をエネルギーの面から評価²⁾を行ってみる。観測地点（湖心）を代表点として、一次元の解析を行う。風によるエネルギー供給量は風速 Ua の 3 乗値に比例すると考えられる。ポテンシャルエネルギー $P = \int \rho g z dz$ は 1m ごとの観測値を用いて算定し、観測開始時の P を基準にしてその増加量を求めた。得られた両者の関係を示したのが図-4 である。風によってなされた仕事が増加すると、湖水のポテンシャルエネルギーも増加し、また、風の仕事量が大きければ、それにもないポテンシャルエネルギーもより多く増加しており、両者には明瞭な相関関係が認められる。

4. おわりに

小川原湖での観測データをもとに、湖水の流動と混合現象の解析を行い、その実態把握と定量的評価を行った。今後、数値実験による再現計算との比較検討を行い、空間構造の解明を行うとともに、混合現象の精度の高いモデル化を進めるつもりである。

参考文献

- 1) Spigel, R.H. and J. Imberger (1980) : J. Phys. Oceanogr., Vol.10, pp.1104-1121.
- 2) Simpson, J.H. and J.R. Hunter (1974) : Nature, Vol.250, pp.404-406, August 2.

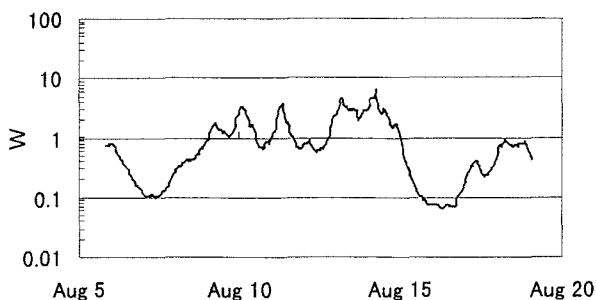


図-2 Wedderburn数の経時変化

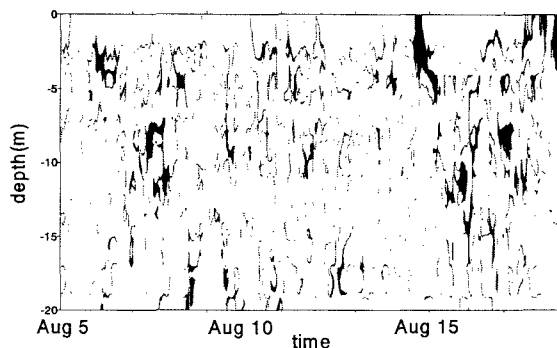


図-3 勾配型局所リチャードソン数の不安定領域

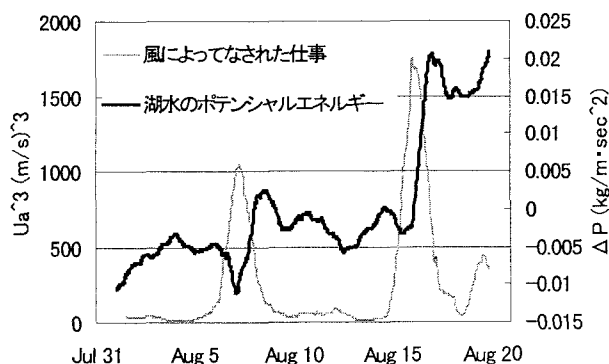


図-4 エネルギーの経時変化