

湖山池における水温・塩分成層特性

鳥取大学大学院 学生員○早川 一栄 鳥取大学工学部 フェロー 道上 正規
鳥取大学工学部 正会員 矢島 啓 鳥取大学工学部 正会員 檜谷 治

1. はじめに

鳥取県の東部に位置する湖山池は、現在、水質汚濁が問題となっている。特に水温・塩分成層が形成されると富栄養化を助長することが明らかにされてきた。これら水温・塩分成層の形成・破壊は風速等の気象条件に影響される。よって本研究では、湖山池における DO、水温、密度などの鉛直分布調査を行い、気象条件を基に水温・塩分成層の風応力に対する応答特性を客観的に評価するために、成層強度を示す指標である Richardson 数と、界面の挙動特性を示す指標である Wedderburn 数の 2 つのパラメータに着目して検討を行う。

2. 湖山池における調査概要

調査日時…1999 年 7 月 15 日 (13:25)、16 日 (11:20)～21 日 (12:00)
 の約 6 時間間隔、22 日 (12:00)、23 日 (12:00)、
 24 日 (12:00)、25 日 (12:00)、28 日 (12:30)、
 30 日 (12:45)
11 月 25 日 (10:40)、27 日 (12:50)、28 日 (12:30)、
 30 日 (11:40)、
12 月 1 日 (10:50)、2 日 (16:10)、4 日 (13:00)、
 5 日 (13:30)、8 日 (12:40)

調査地点…図 - 1 に示す湖内最深部（水深約 6.5m）。
調査項目…DO、水温、電気伝導度、塩分濃度を鉛直方向に 0.2m
おきに測定（YSI 社 SCOOT 使用）。

3. 成層破壊の評価パラメータ

2 つのパラメータ Ri と We の定義はそれぞれ次式のとおりのある。

・ Richardson 数(Ri) :
$$Ri = \frac{\Delta\rho gh}{\rho_u u_*^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

・ Wedderburn 数(We) :
$$We = Ri \times 2 \frac{h}{L} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\Delta\rho$ は上層と下層との密度差、 g は重力加速度、 h は上層の水深、 ρ_u は上層の密度（密度差が最大となる水深を境界に上下層とした）、 $u_* = \sqrt{C_D \rho_a U_{10}^2 / \rho_u}$ 、 C_D は水面の抵抗係数（ここでは、 1.3×10^{-3} とした）、 ρ_a は空気密度、 U_{10} は 10m 高度での風速（鳥取空港でのデータを用いた）、 L は湖の長さ（直径に相当する長さ $L = 2.94\text{km}$ を用いた）である。

Spigel・Imberger¹⁾ は、 Ri 数とアスペクト比 ($L/2h$) の関係から流動形態の分類を行い、レジーム A から D の 4 つに区分している。これによると、全層で混合がおこるのは Ri 数がアスペクト比以下（湖山池の場合は約 850）のレジーム A あるいは B であることが条件である。また、Thompson・Imberger²⁾ によると界面が風上側の水表面に達し、上下層の激しい混合が起こる限界の We 値は $We = 3 \sim 4$ であると示されている。

(1)、(2) 式を用いて、観測によるデータを基に Ri 数と We 数を算出した。観測を行っていない時間はそのすぐ前の観測から算出した密度を用いた。ただし、密度に関してはクヌードセンの式を用いて算出した。



図-1 湖山池観測地点

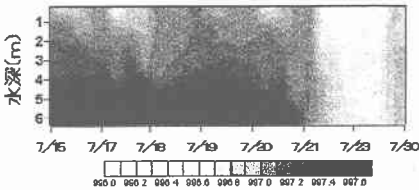


図-2 密度分布(kg/m³)の日変化 (7/15～7/30)

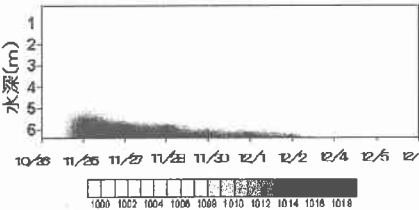


図-3 密度分布(kg/m³)の日変化 (11/10～12/10)

4. 調査結果およびパラメータ変化の検討

(1) 7月15日～7月30日

塩分濃度はこの観測期間では 200ppm と鉛直方向に一様であった。図-2 より密度は下層域で多少高いが、上下層の差はあまりない。図-4 に示す鳥取空港における風況から、7月9日以降、3～5m/s 以下の風速が継続したため、水温成層が形成されたものと思われる。また、7月18日からの2～3m/sの風速が成層をより強固にさせた一因であると考えられる。その後7月20日夜からの風速 5～8m/s の南風により7月21日(6:00)の観測までに湖水は一樣に混合された。7月15日～7月30日のパラメータ変化を図-6 に示す。成層が形成されていた7月15日～7月21日(0:00)までは、ほぼ Ri 数は 1000 以上、 We 数は 10 をこえている。7月21日(0:00)は、 $Ri=527<850$ 、 $We=2<3$ となっており、風速 5～8m/s の南風により湖水の循環が始まったと考えられる。また7月21日(6:00)では $Ri=32<850$ 、 $We=0.07<3$ となり、観測結果の成層が破壊された時に一致している。

(2) 11月25日～12月8日

図-3 に示すように 11月25日は塩分濃度 4200～13400ppm の高密度層が湖底約 1.6m 滞留していた。この湖内最深部は湖底がすりばち状の形をしているため、塩水が流入すると滞留しやすくなっている。その時の風況を図-5 に示すが、塩水の流入があった11月12日以降、11月16日に風速 16m/s の北西風が吹いても、この成層はかなり強固なものであるため、破壊されなかった。また、それ以後は風速 4～5m/s 程度の風であるため、湖水はあまり循環していなかったと考えられる。しかしながら、塩水層は徐々に減少し、12月2日からの風速 12 m/s の北西風で、容易に混合された。11月25日～12月8日のパラメータ変化を図-7 に示す。成層が形成されていた間は、ほぼ Ri 数は 10000 以上、 We 数も 100 に近い値で安定した成層であった。しかし風速 14m/s の南風が吹いた11月27日に Ri 数、 We 数は低くなったが、2～3時間程度の吹送時間であったため、その後の影響はなかった。しかしながら、12月2日以降、風速 10～12 m/s の北風により Ri 数、 We 数は徐々に低くなり、12月6日(6:00)以後は $Ri<850$ 、 $We<3$ となっている。このことから成層はこの時に破壊されたと考えられる。

5. おわりに

1999 年度に観測された夏期の水温成層については、風速 5～8m/s の南風により容易に破壊されている。また冬期の塩分成層については、かなり強固なものであるため短い吹送時間では強風であっても、破壊されにくい。このことから、水温・塩分成層が形成されると、特に塩分成層の場合、湖水の循環は妨げられ、低溶存酸素域が長期に渡って発生し、底泥からの栄養塩溶出を促すものと考えられる。

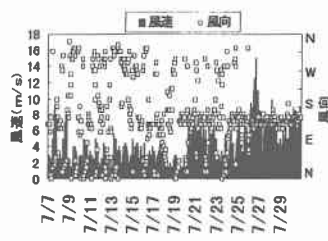


図-4 鳥取空港における風況 (7/7～7/31)

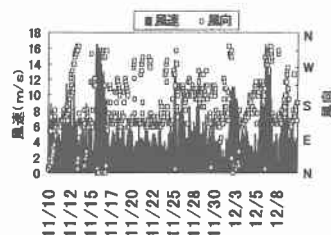


図-5 鳥取空港における風況 (11/10～12/10)

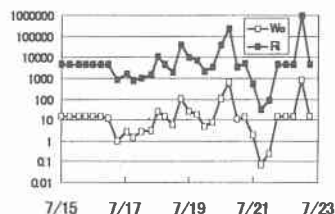


図-6 Ri と We の変化 (7/15～7/22)

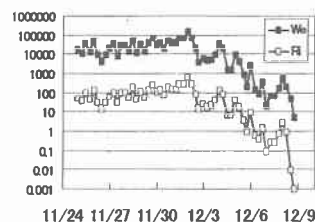


図-7 Ri と We の変化 (11/25～12/8)

参考文献 1) Spiegel, R.H. and Imberger, J.: The classification of mixed-layer dynamics in lakes of small to medium size, J. Phys. Oceanogr., Vol. 10, pp. 1104-1121, 1980.

2) Tomoson, R.O.R.Y. and Imberger, J.: Proc. Int. Symp. Stratified Flows, 2nd, pp. 562-570, 1980.