

1 まえがき 湖の水は種々の原因により移動し、その結果湖底が生ずる。しかしこの詳細は現在でも十分解明されていない。本研究は諏訪湖における湖底の流動特性を同じの関係から明らかにすることにより、スス水現象の解明や汚染の将来予測に役立てることを目的として行なった。このためミシガン湖をモデルにして考えられた¹⁾、浅く成層していない湖における解析モデル(二次元一層モデル)を諏訪湖に適用した数値実験、さらに浮子漂流観測を行ない、従来もの存在に²⁾定説のなかった諏訪湖の湖流を定量的に確認した。

2 数値実験およびその結果 浅い湖の流れの基礎式には解析を簡単にするための仮定を設ける。1)流れは定常とする。2)慣性力はコリオリ力に比し小さいと無視する。3)湖は浅いので支配的な摩擦力は底面摩擦であるとし、運動量の水平散逸を無視する。4)鉛直混合係数は鉛直方向に一変である。以上より基礎式は、 $-fv = \frac{1}{\rho} \cdot (\partial^2 \phi / \partial x^2) + k \cdot (\partial^2 \phi / \partial z^2)$, $fu = -\frac{1}{\rho} \cdot (\partial^2 \phi / \partial y^2) + k \cdot (\partial^2 \phi / \partial z^2)$, $g = -\frac{1}{\rho} \cdot (\partial^2 \phi / \partial z^2)$, $(\partial^2 \phi / \partial x^2) + (\partial^2 \phi / \partial y^2) + (\partial^2 \phi / \partial z^2) = 0$, 境界条件; 湖底面で、 $u = v = w = 0$, 水面 $z = 0$ $-K \cdot (\partial^2 \phi / \partial z^2) = \tau_x$, $K(\partial^2 \phi / \partial z^2) = \tau_y$ となる。ここに u, v, w は x, y, z 軸方向の流速で、 x, y 軸は水平面内で、 z 軸は鉛直方向で上に正で水面が $z = 0$ である。また p は圧力、 ρ は水の密度、 k は鉛直混合係数 g は重力の加速度、 τ_x, τ_y は風による x, y 方向のせん断応力、 f はコリオリ係数である。 ρ を鉛直方向に一変、すなわち湖は成層していないと仮定し基礎式を u, v を求める。この u, v の式は $\partial^2 \phi / \partial x^2, \partial^2 \phi / \partial y^2$ の未知量を含んでいる。そこでこの u, v を $z = -h$ (水深) から $z = 0$ の区間で積分し、鉛直断面内の平均流速 $\bar{u}, \bar{v}$ を求め、これに流れ関数 $\bar{u} = \frac{1}{h} \cdot (\partial \phi / \partial y)$, $\bar{v} = -\frac{1}{h} \cdot (\partial \phi / \partial x)$ を導入する。このとき連続の式は自動的に満足され、 $\bar{u}, \bar{v}$ に対する式より $\partial^2 \phi / \partial x^2, \partial^2 \phi / \partial y^2$ を消去し $(\partial^2 \phi / \partial x^2) + (\partial^2 \phi / \partial y^2) + a(\partial^2 \phi / \partial x^2) + b(\partial^2 \phi / \partial y^2) + c = 0$ が得られる。ここで a, b, c は x, y の既知関数である。この式を中央型で差分表示し、境界条件を考慮して数値実験を行なった。次に諏訪湖の数値実験について述べる。

諏訪湖は面積 14 km^2 、最大水深 6.5 m 強、平均水深 4 m 程度の非常に浅い湖で、水深と水平長さの代表手法の比は $0.1(10^\circ) \ll 1$ であるため浅い湖のモデルが適用出来る。またここは湖底の都合上示さないが、水温の鉛直分布観測より春秋、および 3 m/s 以上の風が吹いた後は夏でも水温はほぼ一様となり一層モデルが適用出来る。解析 x, y シェは x 方向に 3.6 km , y 方向に 4.6 km の矩形領域を x, y 方向とも 200

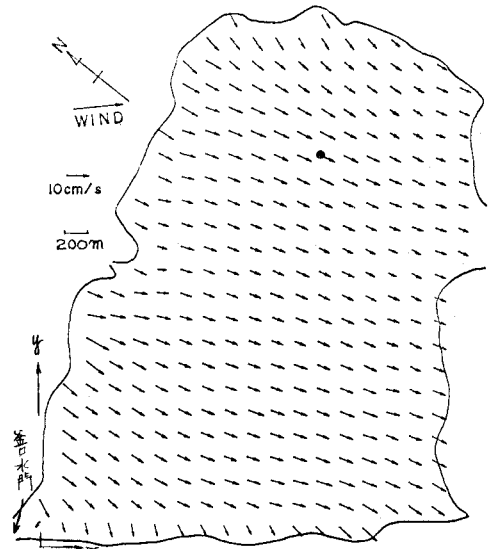


図-1 水表面の流速分布(風速 3 m/s)

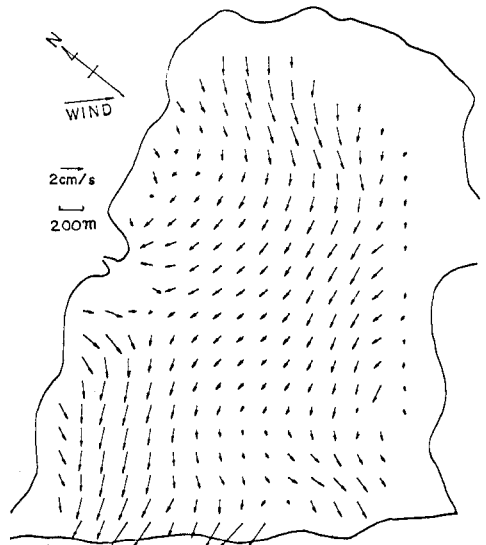


図-2 水表面下 2.6 m の流速分布(風速 3 m/s)

mの間隔にそれぞれ18, 23等分して組んだ。中に対する境界条件として湖外側の格子点、および解析の境界の格子点で、湖へ流入出のある格子点を除き零とした。湖への流入出としては管口門の流出量(15m³/s)だけを考え、他は格子点ごとの流速が小さいので無視した。数値実験結果の一例として浮子漂流観測の気象条件に近いものを図-1, 2, 3に示す。このとき $k=3.3\text{cm}^2/\text{s}$, $\tau=0.138\text{cm/s}^2$ で、 k は周速より理論的に推定し、 τ はBalk公式より求めた。図より水表面における流速は周速の3%程度で、その方向はコリオリ力により風向に対し時計回り方向に偏る。図-4は一例として図-1の●印点の鉛直方向の流速分布を示したものでエクマンスパイラルである。この図で吹送流の主要範囲を示す摩擦深度が湖底近くまで達しているが、これは湖が浅いため水表面に作用する風によるせん断力の影響が湖底まで達していることを示している。

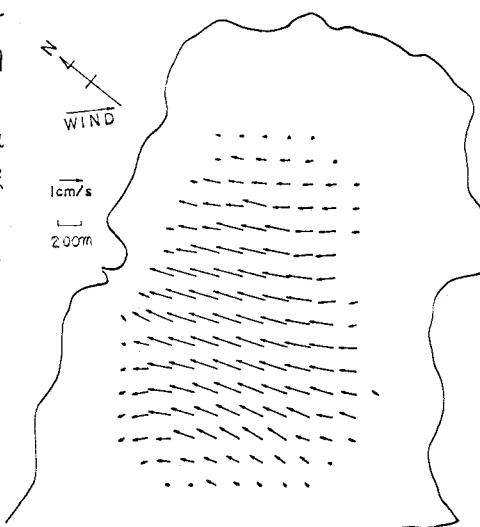


図-3 水表面下5.2mの流速分布(周速3%)

3 浮子漂流観測とその結果

観測は幅25cm、長さ1mの板を十字に組み、色別されたポールをつけた浮子を湖の適当な位置より同時に10ヶ所流させ、この動きを湖岸に設置した7ヶ所の観測点よりトランシットで湖底からの角度を測るこれにより追って行った。結果を図-5, 6, 7に示す。ここで印は30分ごとの浮子の位置で、●印はその始点を、湖岸の①～⑦は浮子観測点を、NO.1～3, Center (中心) は水端観測点を示す。この結果からも時計回り方向の環流が存在することがわかる。

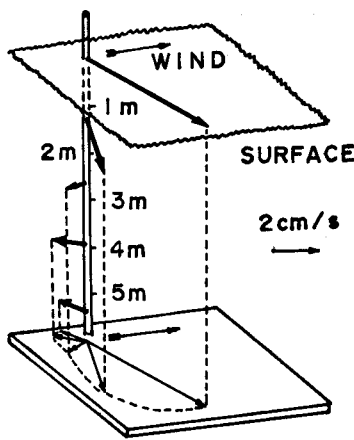


図-4 エクマンスパイラル

参考文献
1) J.A. Liggett 他; CIRCULATION IN SHALLOW HOMOGENEOUS LAKE, ASCE, HY2, (1969)
2) 余城・富井; 諏訪湖の湖流について, 信州大工能要 40号 (1976)

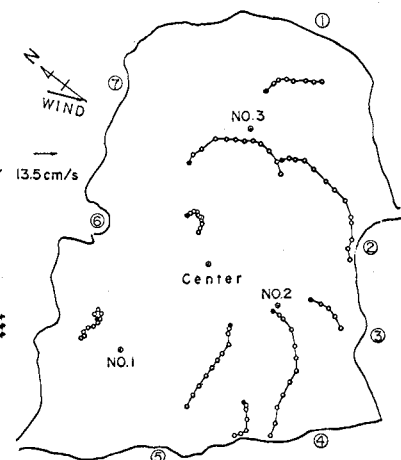


図-6 浮子の動き(7月15日.晴.周速26%)

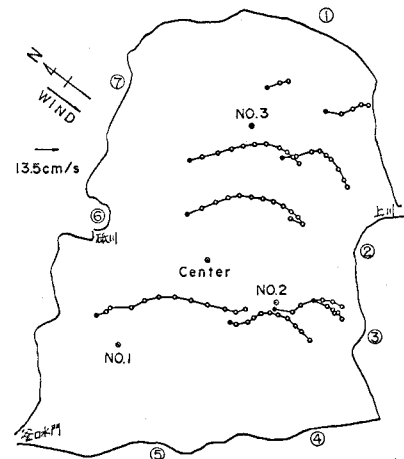


図-5 浮子の動き(7月14日.晴.周速1.6%)

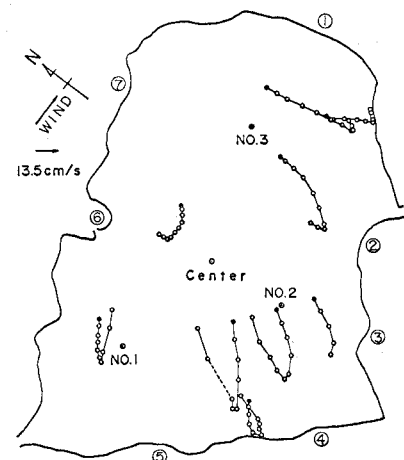


図-7 浮子の動き(7月16日.晴.周速28%)