

風成流を考慮したウトナイ湖の湖流特性

Current characteristics in lake Utonai under season wind

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学

○学生員 巻口 義博 (Yoshihiro Makiguchi)
学生員 宮武 誠 (Makoto Miyatake)
フェロー 藤間 聡 (Satoshi Tohma)

1. はじめに

浅水湖では、水深が浅いため、風による影響を強く受ける。浅水湖上に吹く風は、湖内の流れを変化させ、湖底の泥砂を巻き上げる。そのため、湖水が濁り水質劣化が進行する恐れがある。従って、湖水の利用管理および水質保全を有効に行うには、風を考慮した湖内の湖流特性の把握が不可欠である。

本研究は、北海道苫小牧市東部に位置するウトナイ湖を解析対象領域とし、季節風を考慮した湖流解析により、ウトナイ湖の湖流特性を解明することを目的とする。

2. 解析対象領域

本研究では、図-1に示す北海道苫小牧市東部の北緯約42度に位置するウトナイ湖を解析対象領域とする。ウトナイ湖は国設鳥獣保護区に指定され、ラムサール条約にも登録されている世界的に重要な湿原地域内にある。そのため湖流特性の把握は、水質保全の面から非常に重要である。ウトナイ湖に流入出するトキサタマップ川および明野川は、1996年の河川改修工事の際に勇払川と改名されている。ウトナイ湖には勇払川が湖北西から湖南へと通過し、その他、オタルマップ川および美々川が流入している。湖長は南北長約1.8km、東西長約2.8kmであり、総面積約2.1km²である。図-2は、1999年の北海道室蘭土木現業所による観測標高から求めたウトナイ湖の水深値を示す¹⁾。この観測結果から、ウトナイ湖は、平均水深が約1.8mの浅水湖である。

3. 湖流の基本方程式

ウトナイ湖の流れに関する基本方程式は、水深方向の流速成分を一樣と仮定し、風およびコリオリ力を考慮に入れた下記の2次元非線形長波方程式を用いる。ここに、解析座標系は、図-1において東方向にx軸、北方向にy軸とする。

連続式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

運動量方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{\tau_x}{\rho} + fN \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = -\frac{\tau_y}{\rho} - fM \quad (3)$$

ここに、 M 、 N は x 、 y 方向の流量フラックス、 τ_x 、 τ_y は x 、 y 方向のせん断応力、 η は水面変動量、 ρ は流体密度、 f はコリオリ係数、 h は静止水深、 $D(=\eta+h)$ は全水深である。

x 方向のせん断応力 τ_x は、水深が浅い場合、底面に働くせん断応力 τ_{bx} から水面に作用する風によるせん断応力 τ_{sx} を引いた値とする²⁾。

$$\tau_x = \tau_{bx} - \tau_{sx} \quad (5)$$

ここで、 x 方向の底面せん断応力 τ_{bx} は次式で与える²⁾。

$$\tau_{bx} = \rho \gamma_b^2 \frac{M}{D^2} \sqrt{M^2 + N^2} \quad (6)$$

ここに、 γ_b は底面摩擦係数であり、本研究では $\gamma_b=0.051$ を用いる。

風による x 方向の水面に作用するせん断応力 τ_{sx} は次式で与える²⁾。

$$\tau_{sx} = \rho_a C_{fx} \operatorname{sgn}(U_{x10}) U_{x10}^2 \quad (7)$$

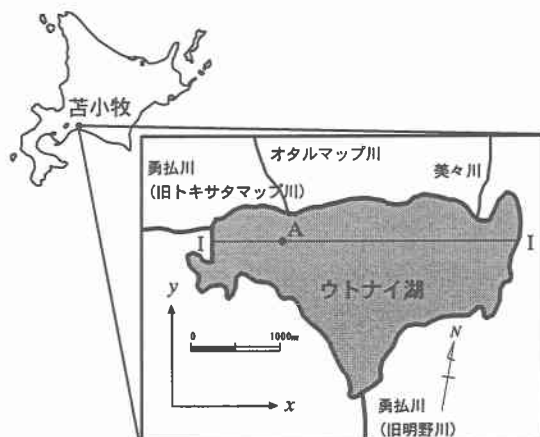


図-1 ユトナイ湖の位置

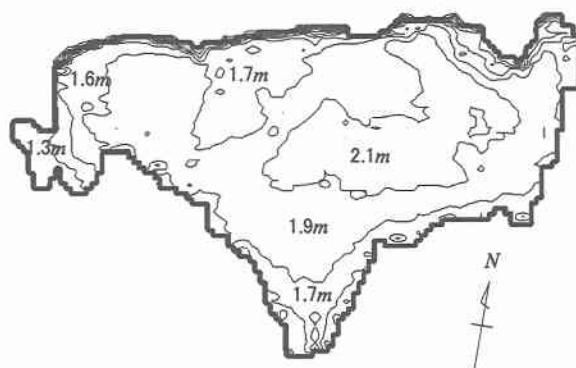


図-2 ユトナイ湖の水深¹⁾

ここに、 ρ_a は空気の密度、 U_{x10} は水面上10mの高さのx方向風速、 C_{fx} は風の水面摩擦係数で次式によって与える²⁾。

$$C_{fx} = (1.0 + 0.07U_{x10}) \times 10^{-3} \quad (8)$$

y方向のせん断応力 τ_y は τ_x と同様に計算される。

本解析では差分法により計算を行うため、(2)、(3)式にA.D.I法を適用し、各軸方向の流量フラックス M 、 N を求める。その後、求めた M 、 N を用いて(1)式より水面変動量 η を求める。

4. 解析条件

計算に用いるウトナイ湖の水深値は、図-2に示した値とする。計算格子には、ウトナイ湖全域を格子間隔25mで分割した等間隔直交格子を用いる。流入出河川に相当する格子点には、2000年の観測流量³⁾を河川幅で除した流量フラックスを与える。流出流量フラックスは、河川からの流入・流出の収支を考え、流入流量フラックスの合計と等しくする。河川以外の境界では、不透壁とし境界と法線方向の流量フラックスを零とする。初期条件は、湖内の流量フラックス M 、 N および水面変動量 η を零とする。

風を考慮した湖流解析を行うため、風速および風向を決定する。1988年から2001年までの苫小牧測候所による観測値より、発生頻度が多いのは北風と南東風である⁴⁾。北風は主に冬期に吹くため、これを採用することは、湖面の凍結を考えると適切ではない。従って本解析は、北風を計算条件から除外し、南東風4.21m/sを採用する。この南東風は、湖面全域にわたり一様とする。

5. 解析結果

始めに、無風状態でのウトナイ湖の湖流の経時変化について検討する。図-3は、無風状態での、湖内流量フラックス分布である。勇払川からの流入量が多いため、湖北西から西海岸に沿って流出河川に向かう流れが卓越する。美々川から流入した流れは、比較的水深の浅い湖西側に向う。この結果、湖内全体では、反時計回りの流れの形成が認められる。湖北西および湖東の一部では、流れが発生せず停滞領域が形成される。この停滞領域には、底泥が堆積すると推定される。

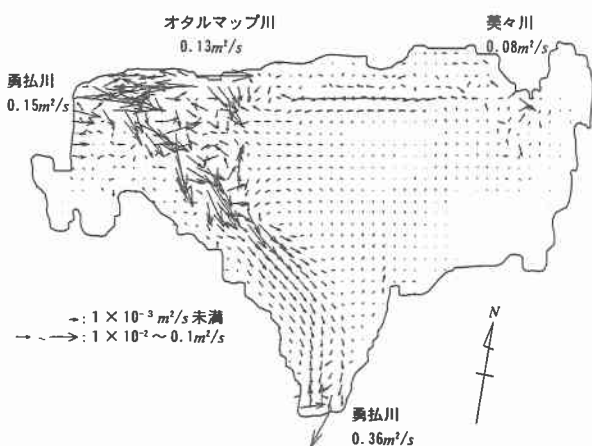


図-3 無風状態での湖内流量フラックス分布

次に、風を考慮したウトナイ湖の湖流特性を解明するため、無風状態の場合と南東風を考慮した場合との比較を行う。図-4は、南東風4.21m/sを考慮した場合における、湖内流量フラックス分布を示す。風を考慮した結果、湖内全域の流れは、無風状態の場合と明らかに相違する。無風状態において、湖内で形成された反時計回りの流れは、南東風により減速する。このため、湖北西では渦の形成が認められる。比較的水深の浅い湖北側では、風成流の影響が顕著に現れ、風向と同一方向の流れとなる。この結果、ウトナイ湖のような浅水湖では、湖上に吹く風により湖内の流れが大きな影響を受ける。夏期のウトナイ湖において、南東風の影響により反時計回りの流れは、湖北西部で渦を形成するため、底泥の巻上げを起こすと推定される。

6. おわりに

本研究で得られた結論を以下に要約する。

- (1) 無風状態において、ウトナイ湖内では、河川からの流入と水深に影響され、反時計回りの流れが形成される。
- (2) 夏期の南東風を考慮することにより、ウトナイ湖北西では、反時計回りの流れが南東風の影響で減速し、渦が形成される。
- (3) ウトナイ湖では、湖北西と湖東の停滞領域に底泥が堆積し、南東風により形成される渦によって、この底泥が巻き起こり湖水を濁らせ、水質劣化を招くと予測される。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、貴重な資料を提供して頂いた北海道室蘭土木現業所治水課長中西由一氏を始めとする関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 北海道編：勇払川改修工事湖床測量，1999。
- 2) 岩佐義朗：湖沼工学，三海堂，pp96-134，1990。
- 3) 北海道編：ウトナイ湖湖内現状調査，2000。
- 4) 苫小牧測候所：気象記録，1988-2001。
- 5) C.A.Brebbia: APPLIED NUMERICAL MODELLING, PENTECH PRESS London Plymouth, pp125-134, 1977。

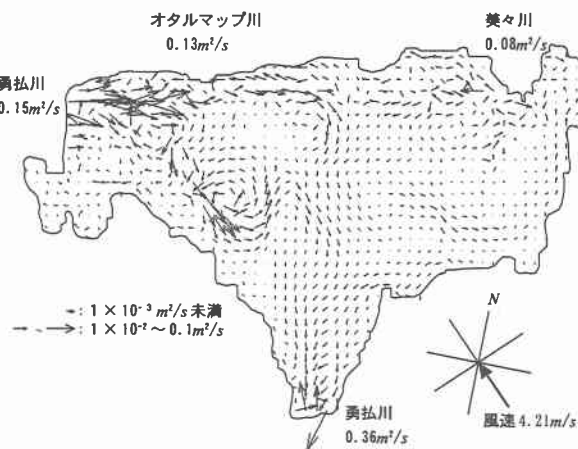


図-4 南東風を考慮した場合における湖内流量フラックス分布