

1

地下水流動解析を含む ウトナイ湖水拡散モデルについて

長谷川裕史 HASEGAWA Hiroshi 株式会社ドーコン /河川部 /主任技師	長谷川覚也 HASEGAWA Kakuya 株式会社ドーコン /河川部 /主任技師	竹村 健 TAKEMURA Takeshi 株式会社ドーコン /河川部 /技師
--	---	---

ウトナイ湖を含む湿原地域は、図1に示す北海道苫小牧市東部に位置し、ラムサール条約に登録された世界的にも貴重な自然保護区域である。しかしながら、近年美々川やウトナイ湖周辺では、住宅地や農地の開発、ゴルフ場開発、空港整備など高度に土地利用が進み、美々川に流入する汚濁水に起因する水質悪化やチッソ及びリンなどの栄養塩の流入による富栄養化が懸念されている。

本プロジェクトは、これらの水質悪化要因に対して、定量化モデルによる現状把握により、有効な水質改善方策の提案を目的とし発足した。

本報は、プロジェクトの根幹部に相当するウトナイ湖の水質拡散モデルの事例紹介を記載する。

1 モデルの概要

本報で紹介するウトナイ湖水質解

析モデルは、[1]地下水流動解析モデル、[2]湖流解析モデルに[3]水質拡散モデルを組み合わせたモデルである。

[1]地下水流動解析モデルは、クリギングと呼ばれる統計的手法とトレンド多項式により複数の地点観測地下水水位から地下水水位 h の空間分布を推定し、これより透水量係数および地下水流量フラックスの空間分布を推定する。一般的に地下水流動モデルは、最適なパラメータを推定するため帯水層の地質構成、成層構造、かん養量および揚水量等多くの地質、水文情報が必要である。しかし、実際にはさまざまな要因により観測域は一部に限られ、また観測自体も地下水水位のみの場合が多く、広域分布構造の解明は困難な状況にある。一方、透水量係数などの帯水層定数は自然状態において空間分

布を呈することが知られている。

本モデルは、観測地下水水位による水位の空間分布構造を推定し、透水量係数や地下水流量ベクトルを求める手法である。

[2]湖流解析モデルは、非線形長波方程式を基礎式とし、[1]地下水流動解析モデルから推定される地下水流量フラックスを湖流境界条件として湖岸に与えたモデルである。基礎方程式には、移流項、圧力項、せん断応力項、コリオリ力を用いて解析を行う。ウトナイ湖は水深が1mほどの浅水湖であるため、密度は一定であり、流速などの水理量の水深方向の変化は小さいものと仮定することができる。

非線形長波方程式では、相対水深が非常に小さいと仮定することに



図1 - ユトナイ湖位置



図2 - ユトナイ湖周辺の写真

よって鉛直加速度を無視し、静水圧分布を導いた上で波の有限振幅性を厳密に取り入れている。

[3]水質拡散モデルは、移流拡散方程式を基本方程式とした。

移流拡散方程式：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y}$$

ここに、 C は物質濃度、 K_x, K_y は x, y 軸方向の拡散係数、 u, v は x, y 軸方向の平均流速成分である。

2 解析事例

湖流形成要因の感度分析を目的とする地下水流動解析および湖流解析の解析領域は、図4に示すとおり観測井の平面分布を包括する12km x 16kmの範囲とした。

領域には19地点の自記水位計が

不規則に配置され、1時間毎に定時観測を行っている。本解析では平成8年7月1日~7月31日の地下水観測データを用いる。

3 解析結果

1 対象領域の地下水水位 h の推定

平均地下水水位 m はAICの最小値が4次の多項式で最適同定されたため、トレンド多項式の次数を4次と決定する。

地下水水位変動量 z は、観測バリオグラムを求めるため観測点間の距離を500m刻みで階級分けを行った。なお、刻み500mは各階級に入る度数がほぼ等しくなるように決定した。推定には、平成8年7月15日の地下水水位データを用い、得られたバリオグラムの結果を図6に示す。

同図から距離約2,200mまで線形を有していることが認められる。したがって、非観測地点の地下水水位の変動量を推定する際、すべての観測値を用いる必要はなく、推定する地点から半径1,100mの円に内在する観測点の値のみに適用すれば良いことになる。この方法により解析のための項数が減少し、不確実性が低減されることになる。

図6から回帰式を求めると、地下水水位変動量の理論バリオグラムは次式となる。

$$\gamma(d) = 3.51 \times 10^{-7} d + 3.87 \times 10^{-5} \quad (d \leq 2200m)$$

上式が正しく変動量を推定し得るかを検証するため、各観測点の地下水水位を当該点を除いて推定した。この結果 誤差及び相対分散比は解析上問題とならない程度の僅かな値と

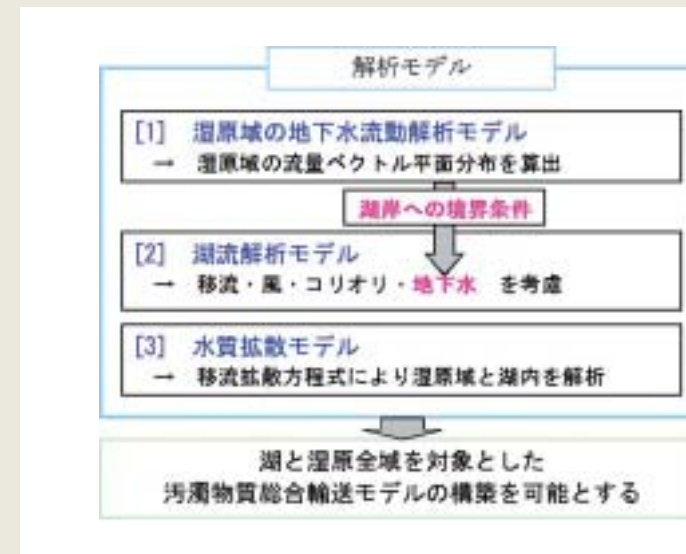


図3 - モデルの概要

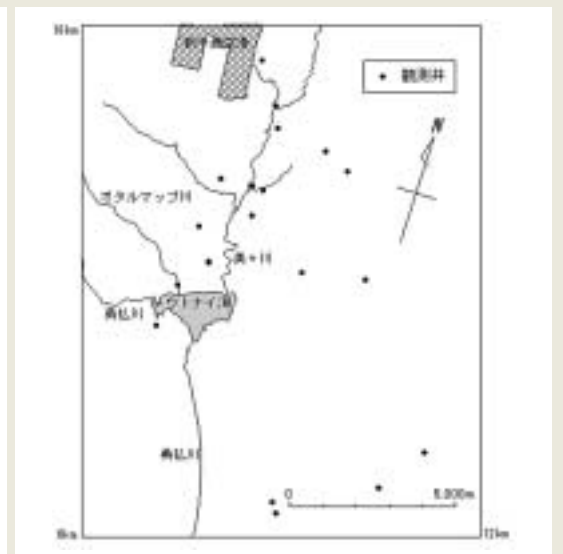


図4 - 解析領域

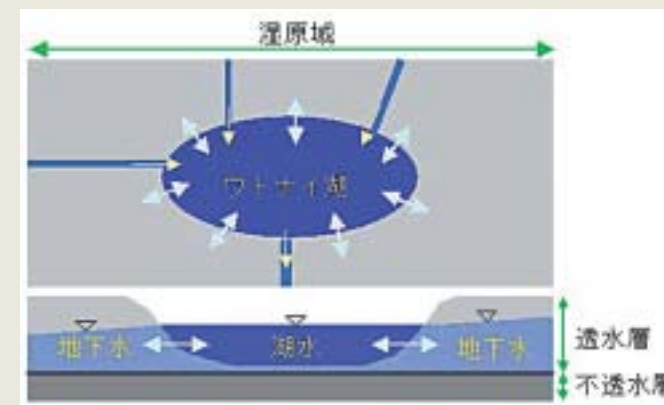


図5 - 湿原域の地下水の動き

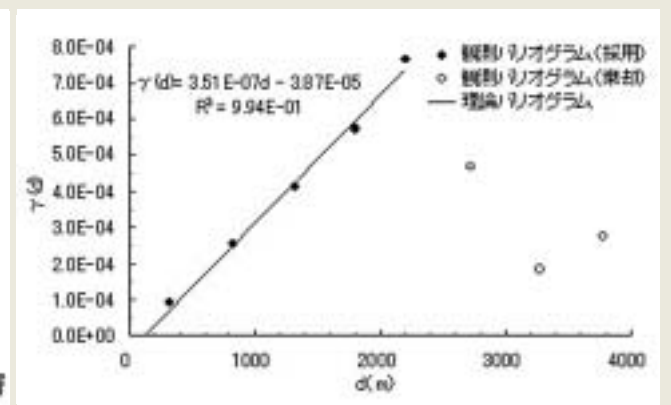


図6 - 地下水水位変動のバリオグラム

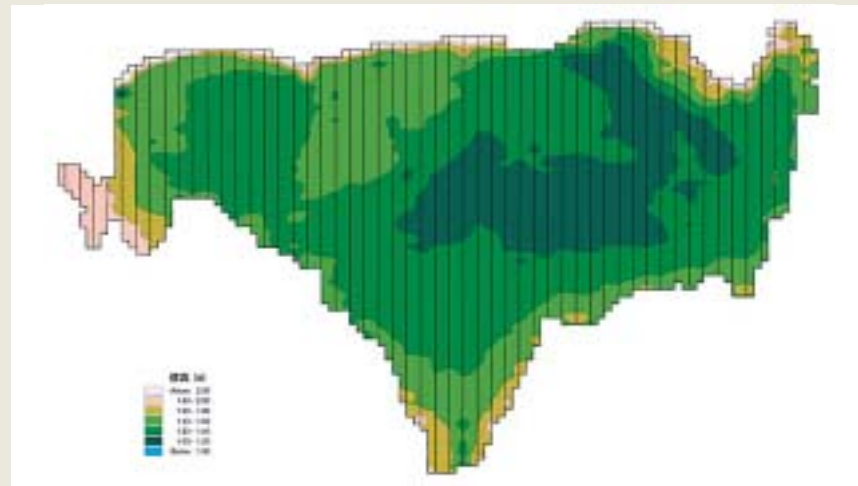


図7 - ウトナイ湖の地盤高

なった。したがって、本報での理論バリオグラムは許容し得る誤差内で変動量を推定できると判断した。

2 透水量係数および流量フラックスの推定

透水量係数の推定は、対象領域を格子間隔250mの小矩形要素に分割し、境界節点に推定地下水位 h を与える。また、かん養量 Q は、地表の流入・流出をゼロとした。

推定された透水量係数は、 $1,988\text{m}^2/\text{day} \sim 4,276\text{m}^2/\text{day}$ の範囲の値を示した。流量フラックスのベクトル分布は、地下水が南方向に卓越することが推定され、河川の流下方向とおおむね一致する結果を得た。しかし、トキサタマップ川の流入地点では、河川の流下方向とは逆向きとなり、これはウトナイ湖の西側領域

に観測井が存在せず推定地下水位の精度が劣ったためと考えられる。

3 湖流形成要因の感度分析

ここでは、感度分析によりウトナイ湖の湖流形成要因を確認する計算を行う。

計算条件は、流入河川であるトキサタマップ川、オタルマップ川、美々川の流入流量を1991年～1997年までの7年間の平均観測流入量からそれぞれ $0.3\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2.5\text{m}^3/\text{s}$ とし、流出河川である勇払川からの流出量は自由流出とする。ウトナイ湖水位は平均水位とする。ウトナイ湖地盤高は測量値を用い図7に示す。

計算条件は、地下水の考慮、未考慮で地下水の影響を確認することを目的として計算を行う。

風は卓越風向である南東風 6.4m/s

を与える。地下水は流量フラックスを湖岸境界条件として与える。結果の出力は、水面変動量の変化量が非常に小さくなった時点で定常状態と見なし打ち切った。

計算結果を流量ベクトルとして図8に示す。

この結果より、地下水の影響の有無により解析結果が湖岸で特に変化するため、ウトナイ湖のような浅水湖ではやはり地下水を考慮する必要がある。

また、本モデルにトレーサを投入した時系列変化を図9に示す。この結果より、美々川からトレーサが徐々に拡散していく様子がわかる。

以上の結果を踏まえ、本モデルの完成後は、時系列な汚濁物質の拡散状況や、その影響範囲、対策工による抑制効果等が定量的に評価することが可能となり、その有効性が高いと考えられる。

4 まとめ

本報は、ウトナイ湖内の湖水拡散モデル開発のための第一報として、解析上重要な要因となる湖周辺の地下水流動解析モデルおよび湖流解析モデルを構築し、同モデルによりウトナイ湖の流れの支配要因を特定した。

モデルの特徴は、非観測地点の地下水位推定に統計的手法である

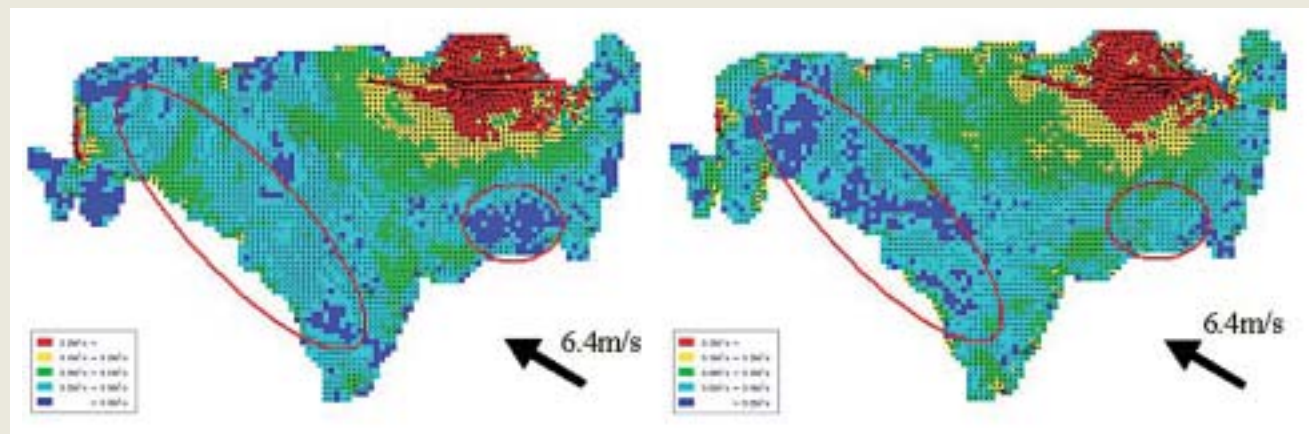


図8 - 地下水を考慮した場合としない場合の流速ベクトル

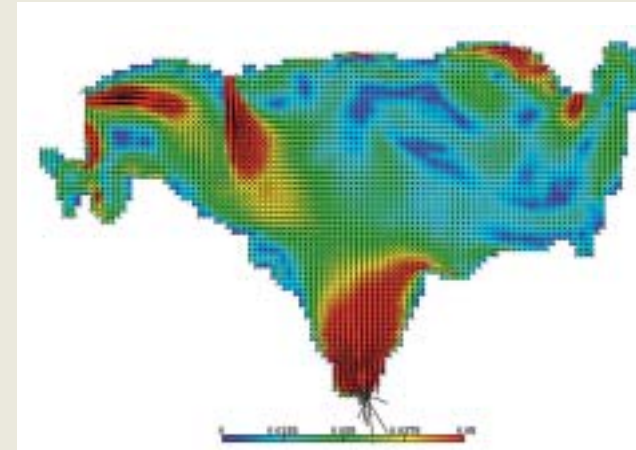


図9(1) - 湖流解析結果(定常状態・7時間後)

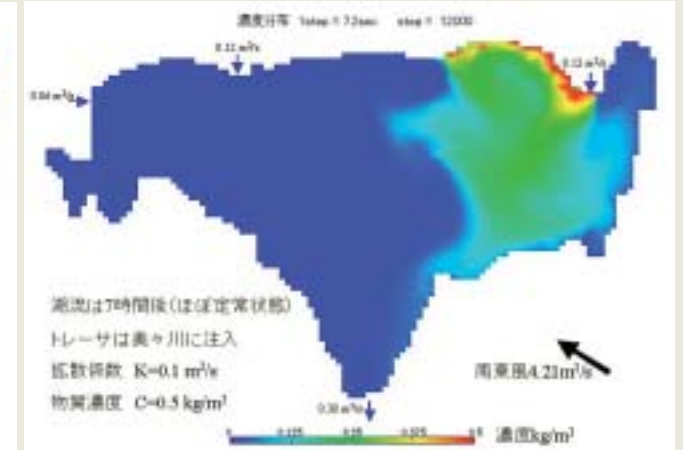


図9(2) - トレーサを投入した結果(1日後)

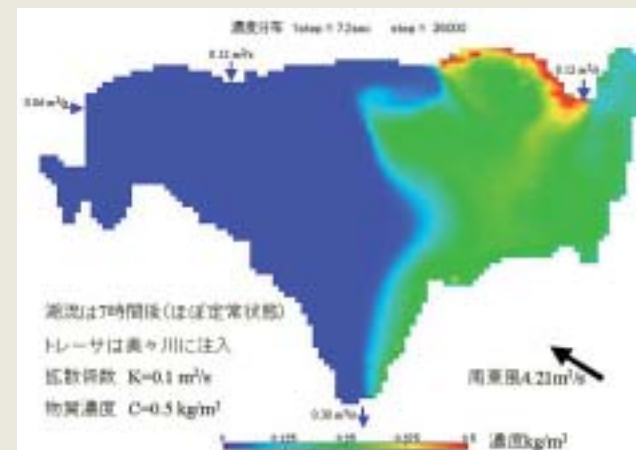


図9(3) - トレーサを投入した結果(3日後)

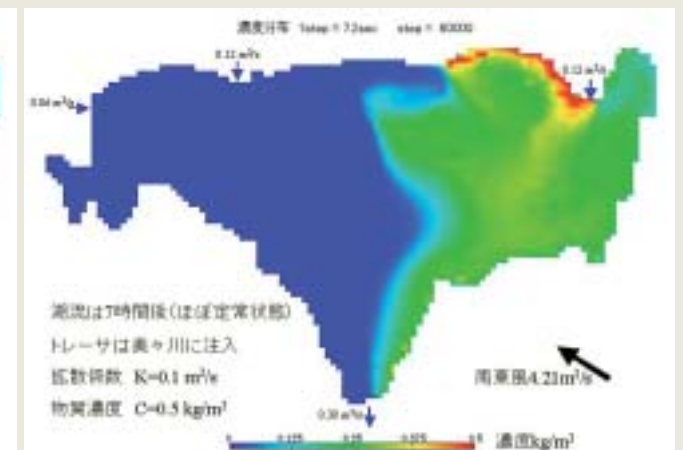


図9(4) - トレーサを投入した結果(5日後)

クリギングとAICを用いて決定したトレンド多項式を適用し、有限要素法を用いて透水量係数および地下水流量フラックスの設定を行った。また湖内の流れは湖岸部の地下水流量フラックスを境界条件として非線形長波方程式を用い、数値解析を行った。

同解析モデルで湖内の移流、風、および地下水流動等の湖流に対する寄与の度合いを明らかにし、今後検討を行う湖水拡散モデルに対して有用な基本的知見を導いた。その結果、湖流は移流が主要因であり、外的要因としては風の影響が最も大きく、次いで地下水の影響が大きかった。

今後のプロジェクトの展開は、現地データによるモデル検証を行った上で、地下水流動、勇払川等の河川

流量、卓越風の影響を考慮したウトナイ湖水質拡散モデルを構築し、窒素、リンを対象物質とした湖水拡散解析を行いその影響範囲及び予測解析を実施する。その結果を踏まえた水質改善対策(ハード・ソフト的対策)を提案し、その効果を定量評価する予定である。

<参考文献>

- 1) Delhomme, J. P. : Kriging in the Hydrosciences, Advances in Water resources, vol.1, No.5, pp.251-266, 1978.
- 2) 岩佐義明: 数値水理学 pp.159-174, 1995
- 3) T.R.マッカーラ, 三浦功, 田尾陽一: 計算機のための数値計算法概論, pp.225-231, 1972.
- 4) 一松信, 戸川隼人: 数値解析における誤差, pp.113-125, 1975.
- 5) 藤間聡, 中田満洋: 空間分布構造を有する透水系数の統計的推定法, 日本地下水学会誌, 第28巻, 第1号, pp.15-24, 1986.
- 6) 和田麻衣子, 藤間聡: 不均質帯水層における地下水パラメータの推定に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, pp.254-259, 2000.
- 7) 岩佐義明著: 湖沼工学, 山海堂, pp.118-122, 1990.
- 8) Ghislain de Marsily: Quantitative Hydrogeology, ACADEMIC PRESS, pp.284-337, 1986.
- 9) C.A.Brebbia: APPLIED NUMERICAL MODELLING, ENTECH PRESS LONDON PLYMOUTH, pp.125-130, 1978