

## 釧路湿原における分布型流出モデルの再現性の検討

## Analysis of adaptability of Distributed Hydrological Model for Kushiro Wetland

|        |      |      |                    |
|--------|------|------|--------------------|
| 北見工業大学 | ○学生員 | 大塚泰之 | (Yasuyuki Otsuka)  |
| 北見工業大学 | 正員   | 中山恵介 | (Keisuke Nakayama) |
| 北見工業大学 | 学生員  | 丸谷靖幸 | (Yasuyuki Maruya)  |
| 北見工業大学 | 学生員  | 菅原庸平 | (Yohei Sugawara)   |

## 1.はじめに

北海道東部に位置する釧路湿原の河口地域には人口約200,000人が集中しており、その湿原の中心を河川長154km、流域面積2510km<sup>2</sup>の釧路川が流れている。釧路湿原は1980年に日本で最初にラムサール条約に登録された湿地であり、1987年には国立公園に指定された。湿原の多くはヨシやスゲで覆われているが、中層湿原から高層湿原にかけてミズゴケなどが生息している。釧路湿原の中心を流れる釧路川の源流は屈斜路湖であり、豊かな水源に恵まれた湿地である。

一方で、近年、釧路湿原地層に広がるヨシがハンノキにおきかわっている状態が報告<sup>1),2)</sup>されている。湿地の陸化の大きな原因としては、土砂堆積、地下水の低下、河床低下などが考えられる。過去の報告によると、河床低下は釧路川流域では平均河床高が昭和60年から平成7年にかけて低下している時期はあるが、湿地の陸化に大きな影響を及ぼすほどの河床低下ではないと言われている<sup>3)</sup>。また、地下水位は過去の報告により安定していることが確認されている<sup>1)</sup>ため、地下水位に関しても湿地の陸化には大きな影響を及ぼしていないと考えられる。そのため、乾燥化に最も大きな影響を及ぼす要因として、土砂の流入が考えられている<sup>4),5)</sup>。

過去の釧路川は蛇行しており、人為的な整備はされておらず、河川上流部より流入していた土砂は蛇行部に堆積し、多くは下流部まで到達していなかった。しかし上流・中流域での洪水被害が多く、洪水氾濫の頻度を減らすため、上流・中流域において蛇行していた河道を直線化した。これにより、蛇行部で堆積していた土砂が、下流部まで到達し易い状況になったため、釧路湿原の陸化が進んでいるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、釧路湿原の流量・降雨量データをもとに流域から湿原への土砂流入を検討するための基礎的研究段階として分布型流出モデルによる流出解析を行った。

## 2.計算手法および適用データ

本研究で使用する分布型流出モデルは、過去の研究において使用されたモデルと同様な仕組みのモデルを利用することとした<sup>6),7),8)</sup>。表面流にKinematic方程式(式(1))、

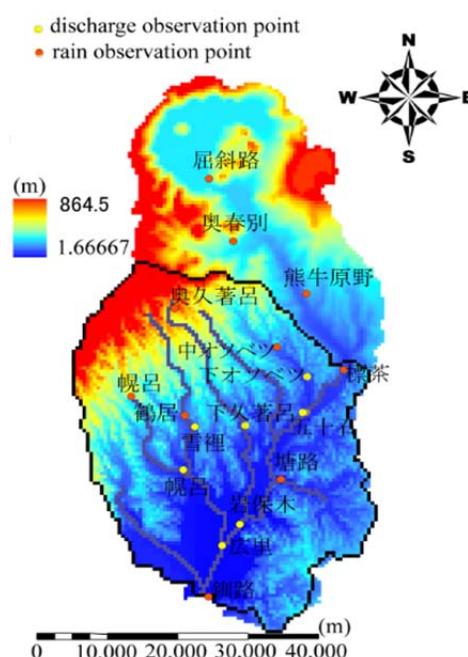


図-1 研究対象領域における河道と降雨量観測所と流量観測所

河道流にはKinematic方程式(式(2)と式(3))、浸透流にはRichardsの方程式に基づく不飽和浸透流方程式<sup>7)</sup>(式(4)と式(5))が用いられている。

$$\frac{\partial h_{ov}}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} = q_s - q_l \quad (1)$$

ここで、 $h_{ov}$ : 水深、 $Q_x$ :  $x$ 方向の流量、 $Q_y$ :  $y$ 方向の流量、 $q_s$ : 湧き出し、 $q_l$ : 浸透である。

$$Q_r = Bh_r U_r \quad (2)$$

$$\frac{\partial h_r}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u h_r B) = q_r \quad (3)$$

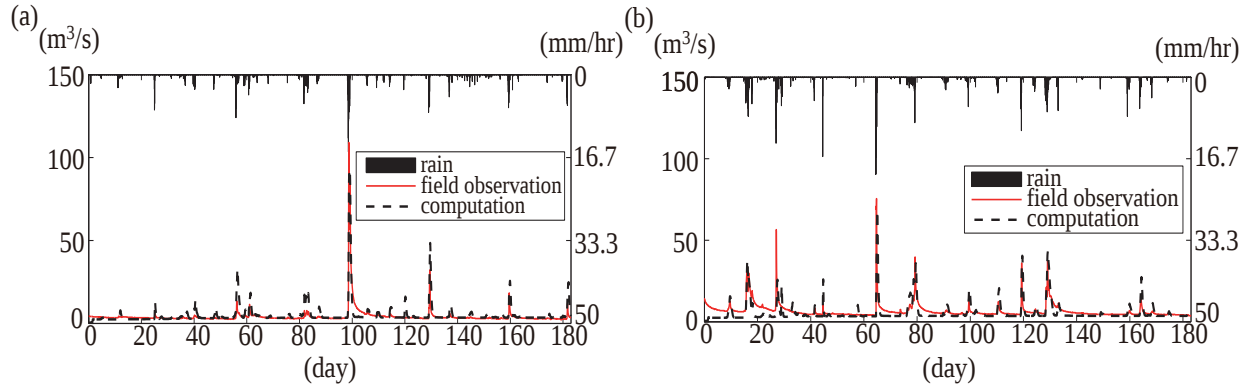


図-2 雪裡の降雨量と流出量の実測値と計算値 (a)2005年, (b)2006年.

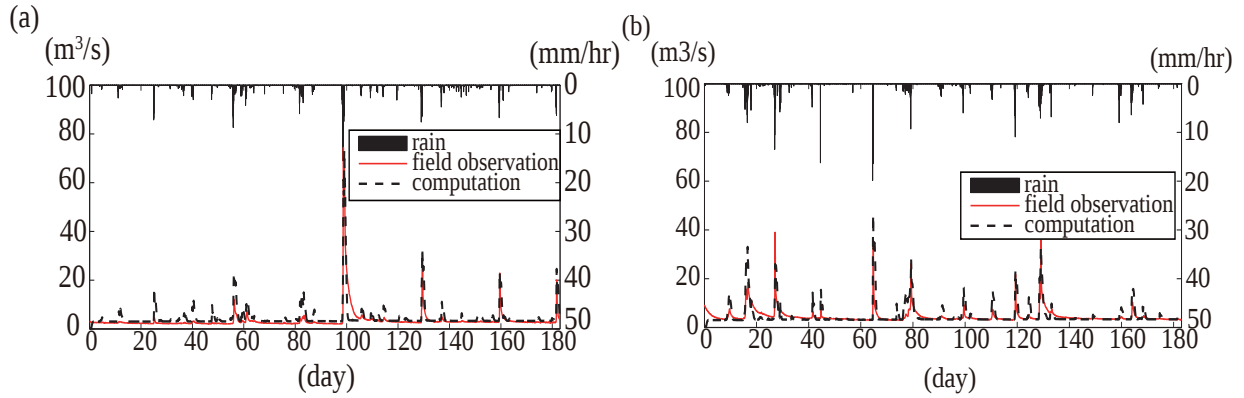


図-3 幌呂の降雨量と流出量の実測値と計算値 (a)2005年, (b)2006年.

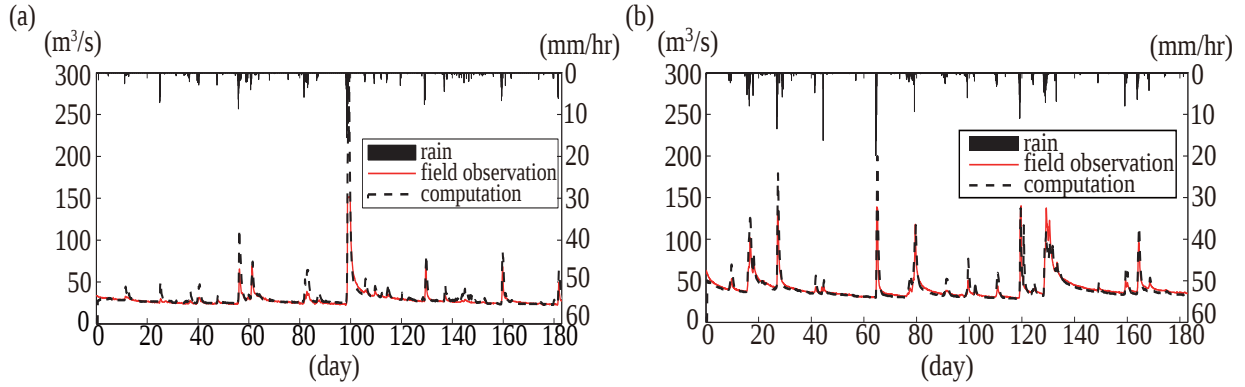


図-4 五十石の降雨量と流出量の実測値と計算値 (a)2005年, (b)2006年.

ここで,  $h_r$ : 水深,  $B$ : 平均川幅,  $u$ : 流速,  
 $L$ : 最上流端をゼロとし最下流端,  $q_r$ : 横流入  
量である.

$$k = k_s \left( \frac{m - m_r}{m_s - m_r} \right)^\beta \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} - H \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial M}{\partial x} \right) \\ - H \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial M}{\partial y} \right) + w \Big|_{z=0}^{z=-H} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

ここで,  $k$ : 不飽和浸透係数,  $k_s$ : 飽和浸透係数,  $\beta$ :  
体積含水比の変化による透水係数の変化を表す係数,  
 $m$ : 水分の単位体積比,  $m_r$ : 残留体積含水比,  $m_s$ : 飽和  
体積含水比,  $M$ : 横流入量,  $H$ : 浸透層厚,  $h$ : 基準面か  
ら浸透層下部までの高さ,  $D$ : 水分拡散係数である.

本研究では, 釧路湿原を研究対象流域とし, 図-1の黒  
枠で囲まれた流域において2005年, 2006年の流量の再現  
計算を行った. 研究対象流域よりも上流からの流量は,  
標茶からの実測値の流量を与えた. 計算条件については,  
過去の研究において使用された2003年の計算条件<sup>8)</sup>を,

表-1 再現計算に対する各地点における再現精度  
(a)2005 年, (b)2006 年.

| (a) | RMSE   | CoD    | (b) | RMSE   | CoD    |
|-----|--------|--------|-----|--------|--------|
| 幌呂  | 2.7354 | 0.7745 | 幌呂  | 2.8927 | 0.6429 |
| 雪裡  | 3.5601 | 0.7201 | 雪裡  | 4.4989 | 0.541  |
| 五十石 | 8.8654 | 0.8628 | 五十石 | 8.0634 | 0.8213 |

2005年, 2006年の流量再現計算に適用し, 良好な再現結果が得られるかどうかを検討した. 本研究で使用するモデルは, 融雪モデルを組み込んでいないため, 融雪を考慮する必要がない6月から11月の期間の再現計算を行った. 計算に用いたメッシュサイズは500 (m)×500 (m), 計算時間間隔は10(s), 浸透層厚は流域一様に5(m), 水平, 鉛直透水係数はそれぞれ $8.0 \times 10^{-5}$  (m/s),  $8.0 \times 10^{-4}$  (m/s), 表面流の流速は $0.3 \times 10^{-4}$  (1/t), 河道の摩擦損失係数は流域一様に0.018とした. 雨量は図-1で示す屈斜路を除いた雨量観測所の値をティーセン分割することによって与えた.

#### 4. 結果・考察

本研究では, 釧路湿原の幌呂, 雪裡, 五十石の3地点を研究対象として, 再現計算を行った(図-2, 図-3, 図-4). 流量再現計算結果の精度の検証を行うため, Root Mean Square Error (以下 RMSE), Coefficient of Determination (以下 CoD) を以下の式を用いて計算を行った(表-1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{mea,i} - Q_{cal,i})^2} \quad (6)$$

$$CoD = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{cal,i} - \bar{Q}_{cal}) (Q_{mea,i} - \bar{Q}_{mea})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{cal,i} - \bar{Q}_{cal})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (Q_{mea,i} - \bar{Q}_{mea})^2} \quad (7)$$

ここで,  $Q_{mea,i}$ : 各時間における流量の実測値,  $Q_{cal,i}$ : 各時間における流量の計算値,  $\bar{Q}_{mea}$ : 流量の実測値の平均値,  $\bar{Q}_{cal}$ : 流量の計算値の平均値である.

その結果, 幌呂は多少計算値が実測値を上回っているが, 全体的に計算値が実測値と同様な流量の挙動を示していることが確認できる. CoDは2005年が0.77, 2006年が0.64となっており, 一般的にCoDは0.8以上で高精度と言われていることから, あまり良好な結果であると考えられないが, 一方でRMSEは2005年が2.73, 2006年が2.89となり, 一般的にRMSEは0に近いほど高精度と言われていることから, 再現性には問題がないと考えられる. CoDがあまり良好な結果を示さなかったのは, 本研究では長期間の計算を行っているため, 小さな誤差が蓄積したためであると考えられる. 雪裡は2005年では計算値が最大ピーク流量を多少下回る結果となっている. また,

幌呂と同様にCoDがあまり良好な結果を示していないが, RMSEが2005年では3.56, 2006年では4.50となり, 再現性に問題がないことを示している. これらの結果についても, 幌呂と同様な理由であると考えられる. 五十石は, 流量の挙動が実測値と同様な結果となっており, CoDに関しても2005年, 2006年において0.8以上となっていることから, 良好な再現結果を示していることが確認された. 以上の結果から, 2003年の水平, 鉛直透水係数, 表面流の流速, 河道の摩擦損失係数を用いて, 2005年, 2006年のそれぞれの再現性を計算し, 流量に関しては十分な再現性が得られたことが分かった. 今後, より精度を向上するために, 単純化されている不飽和浸透モデルの高度化を行い, 地下水面の再現性も含めて検討を行っていく予定である.

#### 5. 結論

本研究では, 釧路湿原の流域の水循環機構を理解することを目的とし, 分布型流出モデルを用いて, 以下のような結論を得た.

- (1)2003年の計算条件を基に, 2005年, 2006年において6月から11月の期間を対象とし, 分布型流出モデルを用いて流量の再現計算を行った結果, 良好な再現性を示すことが出来た.
- (2)浸透部の再現性を高度化することで, より高精度な結果を再現出来るのではないかと予想する.

**謝辞:** 本研究を進めるにあたり, 国土交通省北海道開発局釧路開発建設部の協力の下実施されました. 記して感謝の意を表します.

#### 参考文献

- 1) 北海道開発局釧路開発建設部, 第2回釧路湿原水循環検討会資料, 釧路湿原水循環検討会, pp.163, 2008.
- 2) 釧路湿原自然再生協議会運営事務局, 第8回釧路湿原水循環小委員会資料, 釧路湿原水循環小委員会, pp.17, 2009.
- 3) 国土交通省河川局, 釧路川水系河川整備基本方針, 土砂管理等に関する資料(案), 国土交通省河川局, pp.8, 2006
- 4) 新庄久志, ハンノキ林に見る釧路湿原の変容. 北海道

の湿原の変遷と現状の解析－湿原の保護を進めるために－(北海道湿原研究グループ編), 財団法人自然保護助成基金1994・1995年度研究助成報告書, pp.223-239, 1997.

- 5) 寶三英子, 中村太士, 矢島崇, 孫田敏, 渋谷健一, 釧路湿原の河川流入部における植物群落の構造と表層体積土砂の特性, 砂防学会研究発表会概要集, pp.47-48, 1996.
- 6) 石田哲也, 中山恵介, 大西健史, 夏井皓盛, 大森未

音, アイヌルアブリズ, 丸谷靖幸, 岡田哲也, 融雪期における高濁度水発生機構と細粒土砂輸送, 水工学論文集, 第54巻, pp.433-438, 2010.

- 7) 中山恵介, 伊藤哲, 藤田睦博, 斎藤大作: 融雪を考慮した山地流出モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.691/II-57, pp.25-41, 2001.
- 8) 丸谷靖幸, 菅原庸平, Aynur Abliz, 石田哲也, 中山恵介: 1970年代と比較した釧路湿原における水循環機構解析, 水工学論文集, 第55巻, 2011.