

# SWAT モデルによる釧路湿原域の水・物質循環の評価手法の開発

Development of Evaluation Method of Water and Material Cycle in the Kushiro Mire Area Using the SWAT Model

室蘭工業大学	○学生員	青柳亮吾 (Ryogo Aoyagi)
室蘭工業大学	学生員	川井翼 (Tsubasa Kawai)
室蘭工業大学	正員	中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)
応用地質㈱	非会員	大橋弘紀 (Hiroki Ohashi)

## 1. はじめに

北海道東部に位置する釧路湿原では、高度経済成長期を経て湿原面積が減少し、さらに地下水位の低下や乾燥化に伴うハンノキ林の増加による植生環境の変化などが急速に顕在化している<sup>1)</sup>。この理由としては、釧路湿原周辺の土地利用形態の変化により、水・物質循環の構造が変化したことが推測される<sup>2)</sup>。よって、釧路湿原の自然再生を進める上で、釧路川流域の水・物質循環メカニズムを定量的に評価することが求められる。

さらに近年は、気候変動による自然災害の頻発・激甚化が懸念されている。北海道では2016年8月に4つの台風が通過、接近し、甚大な被害が発生した。釧路川では標茶水位観測所で避難判断水位を超えたほか、岩保木観測所、広里観測所、鳥取観測所で既往最高水位を観測した。上記のように頻発する災害に対して自然環境が有する機能をもつグリーンインフラを活用した防災、減災の考え方が注目されている。たとえば、釧路湿原においては大雨時の河川ピーク流量を約20%低下させる機能があることが示されている<sup>3)</sup>。以上より、本研究では湿原の環境と防災両面の機能評価を行うことを目的に、近年で最も大きい出水となった北海道豪雨災害を含む2016年を対象にSWATモデルを用いて河川流量とSS（浮遊物質）の試算を釧路川流域全体で行った。

をす。流路延長は154 km、流域面積2,510 km<sup>2</sup>であり、流域内には釧路市、釧路町、標茶町、弟子屈町、鶴居村の1市3町1村が存在する。釧路市は流域内最大の都市であり、道東地域の経済の中心地である。下流の釧路湿原は湿原面積約258 km<sup>2</sup>の日本最大の湿原で、主にヨシ・スゲを中心とする低層湿原からなる。1980年に国内初のラムサール条約による国際保護湿地として登録され、1987年には湿原単体として初めて国立公園に指定されるなど、その保全が図られてきた。

## 2.2 SWATモデルの概要

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) モデルはテキサス A&M 大学と Black land Research Center によって開発された準分布型水文流出モデルである<sup>4)</sup>。この中では懸濁態及び溶存態での物質の挙動を取り扱うことができ、点源、面源からの負荷を考慮できる。SWAT モデルは数ある物質循環シミュレーションモデルの中でも国内

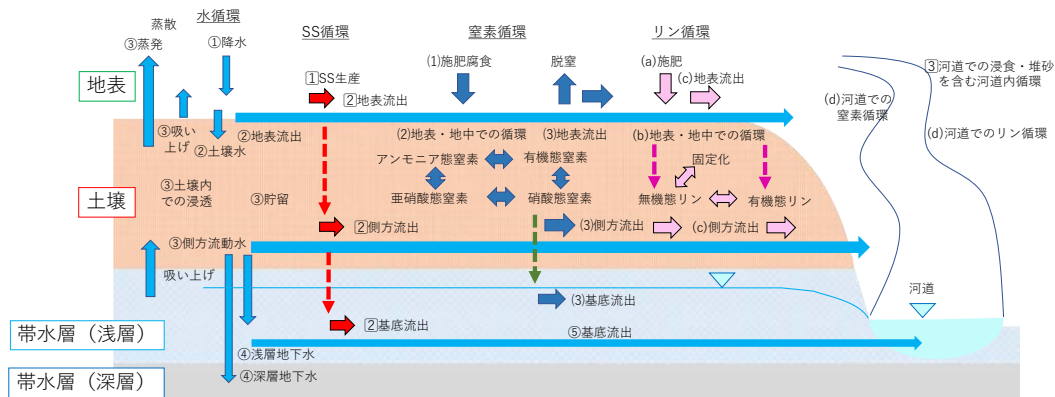


図-1 対象流域図

## 2. 研究方法

### 2.1 対象地点の概要

対象とする釧路川は、屈斜路湖を水源とし、北海道東部を流れ太平洋に注ぐ一級河川である。図-1に流域図



水物質循環に関わる技術資料<sup>2)</sup>を参考に作成

図-2 SWATモデルの概念図

外での適用実績が多く、北海道の河川を対象とした研究事例<sup>5)・6)</sup>もある。図-2にSWATモデルの概念図を示す。

この中では、調査対象地域を地形によってSubbasinと呼ばれる小領域に分割し、さらに小領域内を勾配、土地利用、土壌データからHRU (Hydrological Response Unit) と呼ばれる計算ユニットに分割し、水収支、物質収支の解析を行う。ここで言う物質とはSS、窒素、リンなどであるが、本研究ではSSを解析対象とする。解析ではSubbasin内での水・物質循環量を要素単位で推算し、その後Subbasin間での水・物質循環を推算する。物質循環量の計算は、はじめに物質を循環させる営力となる水循環を算出し、この水の動きや営農条件、土地被覆条件、土壌条件などをもとに物質の生産量、移動量、消費量、堆積量などを算出する。表面流出の計算には米国農務省土壌保全局が開発した土壌や土地利用に応じて経験則に基づく式から直接流出量を推定するCurve Number法<sup>7)</sup>が使用されており、土壌に浸透する雨水は土壌水分量の増加により少なくなり、浸透できなくなると地表流出が発生するという概念に基づいている。蒸発散はペンマン・モンティース法を使用し、日射量、気温、相対湿度、風速から推算される。

2.3 解析条件

図-3に釧路川流域全体のSubbasin分割図を示す。流域分割数は77, HRU数は552とした。SWATでは計算結果を安定させるために予測期間の前にキャリブレーション期間を設けることが推奨されている。本研究では、2011年から2015年をキャリブレーション期間、2016年を予測期間として計算を行った。

2.4 入力データ

SWATにおける主な解析条件は、「地形」、「土地利用区分」、「土壌区分」及び「気象条件」である。条件を表-1に示す。地形データは、国土地理院刊行の10mメッシュ標高データ<sup>8)</sup>を使用した。土地利用区分は、2000年の衛星写真分析結果<sup>2)</sup>(詳細は釧路開発建設部より情報提供)を用いた。土地利用区分図を図-4に示す。土壌区分は20万分の1土壌分類基本調査データ<sup>2)</sup>を使用した。気象データは、気象庁のアメダス気象観測所の

観測データ及びレーダー解析雨量<sup>10)</sup>を使用した。

2.5 水理パラメーターの補正

SWATでは初期値として標準パラメーターが設定されているが、最適値とは限らないため、パラメーターを調整する必要がある。本研究ではパラメーターの調整にSWAT-CUP<sup>11)</sup>を使用した。SWAT-CUPでは大域的な探索アルゴリズムが使用されており、適切なパラメーターを見出すことが可能である。実際には、モデル全体で100以上あるパラメーターの中から感度分析を行い、対

表-1 入力データ諸元

項目	仕様	出典
地形	10mメッシュ標高データ	国土地理院
土地利用区分	2000年衛星写真から作成	国土地理院
土壌区分	20万分の1 土地分離基本調査	国土交通省
降水量	レーダー解析雨量	気象庁
気温	アメダス気象観測所 「川湯」、「阿寒」、「中徹別」、「鶴居」、 「標茶」、「弟子屈」、「白糠」、「釧路」、 「知方学」、「厚岸」、「榑町」	気象庁
相対湿度	アメダス気象観測所「釧路」	気象庁
日射量	アメダス気象観測所「釧路」	気象庁
風速	アメダス気象観測所「釧路」	気象庁

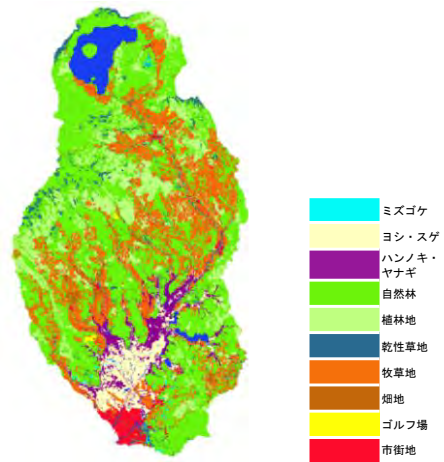


図-4 釧路川流域の土地利用区分図

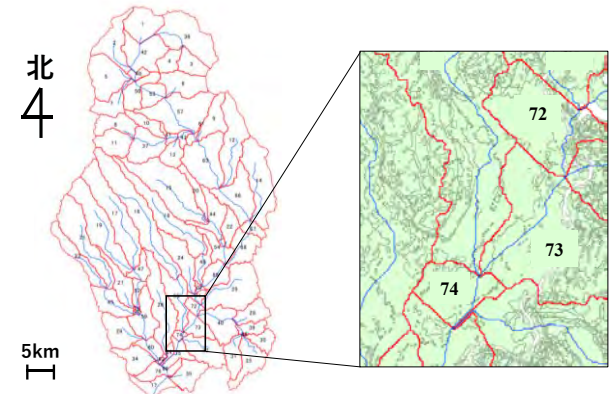


図-3 釧路川流域のSubbasin分割図(左)及びHRU分割図(右)の例

表-2 調整パラメーターと採用値

記号	内容	値
CN2	Curve Number法で用いる地表流発生閾値	50
ALPHA_BF	涵養量の変化に対する地下水の流れの反応	0.42
GW_DELAY	土壌層から浅層帯水層への浸透遅延係数	23.8
GWQMN	浅層帯水層で還流が生じる水の閾値	808
SFTMP	降雪気温	4.37
SMTMP	融雪気温	2.97
SMFMX	6月21日の融雪係数	5.63
SMFMN	12月21日の融雪係数	9.25
CH_K2	本川の河床堆積物透水係数	56.3
CH_N2	本川の河床粗度係数	0.01
SPCON	懸濁物質の再浮遊指数	0.006
SPEXP	懸濁物質の再浮遊指数	1.06
USLE_P	USLE式サポート係数	0.98
SOL_K	土壌の飽和透水係数	0.0025
CH_COV1	河道侵食係数	13.6



以下に示す水収支式から貯留変化量を推定した。

$$Q_{out} - Q_{in} = R - E + \Delta S \quad (2)$$

ここで、 $Q_{in}$ ：河川流入量 ( $m^3$ )， $Q_{out}$ ：河川流出量 ( $m^3$ )， $R$ ：湿原内の降水量 ( $m^3$ )， $E$ ：湿原内の蒸発散量 ( $m^3$ )， $\Delta S$ ：湿原内の貯留変化量 ( $m^3$ ) である。これに基づく推定から 2016 年の湿原域での貯留変化量は  $6.7 \times 10^7 (m^3/年)$  となり、湿原の面積  $159km^2$  で除すと  $4.2 \text{ mm}$  の貯留が起こったと推定される。また、大規模な出水があった北海道豪雨期間 (8 月 15 日～9 月 30 日) の湿原域での貯留変化量は  $2.9 \times 10^7 (m^3)$  となった。これは同期間に年間貯留量  $4.2mm$  の約 43% を占める  $1.8mm$  の貯留が起きており、洪水時に釧路湿原がグリーンインフラとして防災機能を発揮したことを示唆するものである。

(2) SS 収支

河川流量に SS 濃度を乗じて土砂流出量を求め、湿原域における収支計算を行った。計算式を以下に示す。

$$Q_s = Q \times C \quad (3)$$

ここで、 $Q_s$ ：SS 負荷量 ( $kg$ )， $Q$ ：河川流量 ( $m^3$ )， $C$ ：SS 濃度 ( $kg/m^3$ ) である。これをもとに SS 負荷量の推定を行った。SS は 2016 年は湿原域内に  $17,614$  (トン/年) 堆積したと考えられる。次に本川と支川別に SS 流入量を推定した結果を図-11 に示す。この結果、本研究では釧路川本川、雪裡川、オソベツ川、幌呂川、久著呂川、ヌマオロ川の順に SS 流入量が多いという結果を得た。これは流域面積が大きい順番であり、本研究では一律のパラメーターを与えて計算しているため、流域面積に比例した結果になったことが考えられる。

本研究では 2016 年の釧路川流域における水量と SS について推算した。結果より湿原内に水と土砂が貯留さ

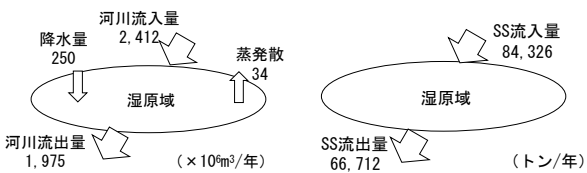


図-9 湿原域の水収支 図-10 物質収支推定結果

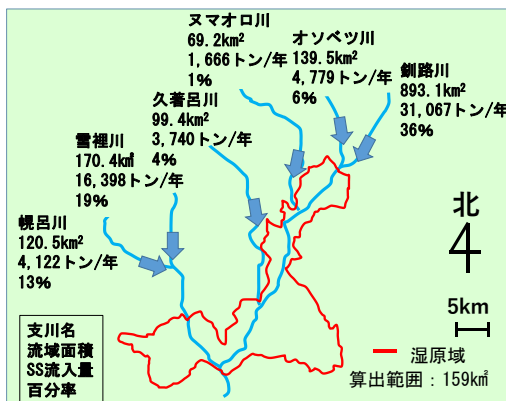


図-11 本川と支川別の SS 流入量

れていることが確認でき、釧路湿原が防災機能を発揮するとともに湿原の環境変化に大きな影響を与えていることを推察させる。今後の課題として、計算値の過小評価を修正するために、支川ごとにパラメーターの値を変更し流域内の特性を考慮した計算に加え、単年の評価のみでなく、長期間にわたる経年変化を推定することが必要である。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に記す。

- 1) SWAT モデルを用いて釧路川流域における 8 月に大きな出水のあった 2016 年の河川流量を再現し、釧路湿原の水・物質循環の推定を行った
- 2) 湿原の水量と土砂貯留効果を試算した

謝辞：

本研究を遂行するにあたり、国土交通省北海道開発局 釧路開発建設部には有益な情報提供を受けた。また、本学博士後期課程に在学していた Chen Yuechao 氏 (現河南理工大学) には SWAT の使用方法について指導いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 環境省：釧路湿原自然再生プロジェクト湿原データセンター <http://kushiro.env.gr.jp/> (2020 年 12 月 5 日 閲覧)
- 2) 釧路湿原自然再生協議会、水循環小委員会：釧路湿原再生事業、水・物質循環に関わる技術資料、2021
- 3) 中村太士：グリーンインフラと既存インフラの相補的役割 - 防災・環境・社会経済面からの評価 <https://www.agr.hokudai.ac.jp/project/green/> (2020 年 12 月 5 日 閲覧)
- 4) SWAT model : <https://swat.tamu.edu/> (2020 年 12 月 5 日 閲覧)
- 5) 中津川誠, 大橋弘紀, Chen Yuechao : SWAT モデルを用いた 2018 年胆振東部地震が厚真川流域の土砂流出に与える影響の推定, 一般社団法人北海道河川財団 6-2, 2020
- 6) 村上泰啓, 水垣滋, 久保まゆみ, 森貞和仁 : SWAT モデルを用いた沙流川流域の物質循環推定について, 砂防学会研究発表会, 2012
- 7) Surendra Kumar Mishra, Vijay P. Singh : Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology, Springer Dordrecht, 2003
- 8) 国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービス : <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (2020 年 12 月 5 日 閲覧)
- 9) 国土交通省 : <https://nlftp.mlit.go.jp/index.html> (2020 年 12 月 5 日 閲覧)
- 10) 気象庁 : <https://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2020 年 12 月 5 日 閲覧)
- 11) Karim C. Abbaspour : SWATCUP SWAT Calibration and Uncertainty Programs, 2015