

# SWAT モデルを用いた河川流域の 物質流出特性評価について

寒地土木研究所寒地河川チーム 村上 泰啓  
同 水環境保全チーム 水垣 滋  
同 水環境保全チーム 鳥谷部 寿人

積雪寒冷地である北海道では、年間降水量の大半が降雪である河川も少なくない。こうした中、気候変動が世界的懸案となっており、水資源、治水・利水、河川生態系の問題を考えていく上で、河川流域全体の水、栄養塩、SS などの物質循環の課題を考えていく必要がある。流域物質循環モデルは多くの研究者が開発しており、共通プラットフォーム開発も欧州、米国、日本で進められ、個々に開発された要素モデルの統合化が進められている。ここでは、1980年代から米国農務省で開発が進められてきたスタンドアロン型の SWAT(Soil and Water Assessment Tool)モデルを採用し、北海道の河川流域へ適用した事例を報告する。

## 1. はじめに

我が国は国土が急峻で河川流路が短いという地形的特徴や降雪、梅雨、台風など時期的な気候的特徴から、地域的な水資源量が偏在し、社会・経済活動による水需要の地域性が大きく異なるという特性を持つ。

積雪寒冷地である北海道では、雪は重要な水資源となっているが、近年、地域的な降雪量や豪雨傾向の変化も指摘されており、融雪量、降雨流出量の変化が懸念されている。このため、気候変動を考慮した水循環の予測を流域レベルで行う必要性が高まっている。ここでは、既往調査資料を活用し、実河川を対象に流域規模の物質流出評価を試みた結果を紹介する。

## 2. 流域物質収支モデル開発状況

水文-流出現象は降雨・融雪、蒸発散、河川流、地下水流など、多くのプロセスが関与しており、それらが複雑に関連していると考えられる。わが国では、防災的側面から計算が容易な貯留関数に代表される集中常数系モデルが多用されてきた背景があるが、貯留関数法はモデルパラメータと流域特性値や水文特性値との関連性が明確でないため、パラメータ設定が経験的なものにならないを得なかった。星らは、斜面流プロセスと貯留関数法の関連性を導き、モデルパラメータを物理的な指標で評価することに成功し、北海道開発局の洪水予測システムに応用されている。しかしながら、河川からの物質流出は流域の土地利用状況や、土壌の特性、地被状態などが複雑に関与するため、洪水予測などの時間スケールよりも長い期間で評価していく必要がある。流域レベルの物質収支の評価モデルは欧米では以前から戦略的な

取り組みがなされ、デンマーク水理研究所の MIKE シリーズや米国陸軍工兵隊の HEC シリーズ、米国農務省の SWAT モデルはこの代表例といえる。一方で、共通プラットフォームによるソフトウェアの連携化も進んでいる。共通プラットフォームとは、データの受け渡しの手順を共通化したインターフェースであり、河道流、斜面流、氾濫、可視化などの要素モデルを容易に組み合わせる利用のできるため、研究者は要素モデルの開発に集中できるというメリットがある。共通プラットフォームの代表例は、欧州の OpenMI、米国の OMS があり、わが国では 1990 年代初頭より京都大学の椎葉らが進めている OHyMos、国土総合研究所が進める CommonMP がある。共通プラットフォーム型のソフトウェアは、要素モデルの充実が肝要であるが、現在のところ、流域一環で物質収支を計算する十分な要素モデルが揃っていないのも実情である。したがって、ここでは米国農務省が開発した SWAT (Soil and water assessment tool) モデルを採用した。SWAT モデルは、流域全体で物質収支を評価するための一連のプロセスが組み込まれている。近年、既存の GIS 上で実行可能な ArcSWAT や MASWAT が開発され、様々な GIS コンテンツを利用できるようになったほか、GUI が豊富になり、利便性が大きく向上した。

## 3. SWAT モデルについて

### (1) SWATの開発経緯

SWATはテキサスA&M大学とBlack land研究所が開発した流域統合評価モデルである。水、気象、地被という視点を通して、個々の事象にのみ注目するのではなく、流域全体の健全度を評価していくものである。降水量・日照量・土壌データ等をこのモデルに入力することにより、対象流域

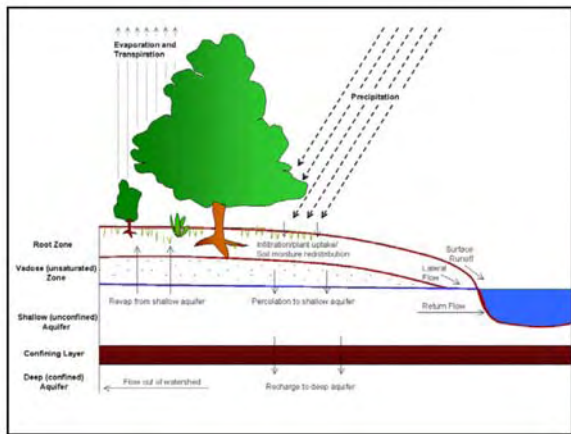


図-1 SWATモデルの水文サイクル概念図

の現状の再現や土地利用の変化、気象変化などが流域に与える影響を推定することができる。図-1に示されるような水文サイクルのプロセスのほか、ダム貯水池、河道流下川河道灌漑水作物の生育や施肥環境もモデル化可能である(図-2)。前駆的なモデルが1984年に発表されて以来、水資源、水質、農業管理分野などに利用され、米国だけでなく、欧州、中国、韓国でも応用され、近年では日本でもSWATモデルを利用した河川流域の物質流出評価事例が報告<sup>1)2)</sup>されている。

#### 4. 実河川流域のデータセット構築

ここでは、沙流川流域を対象にArcSWAT用のデータセット構築を行う。使用したGISはESRI社製のArcMap9.3.1であり、SpatialAnalystという空間解析機能エクステンションを装備している。

##### (1) 地形データ

国土地理院刊行の数値地図50mメッシュ(標高)データ<sup>3)</sup>は標高値の各々が緯度経度で座標付けされている。GIS上でこれらのデータを読み込んだ後、ラスタ形式と呼ばれる形式に変換する(図-3)。具体的にはArcMapの空間解析ツールであるSpatialAnalystツールで点データをラスタ形式に変換する。しかし、これらのデータは緯度経度で記述されているので、SWATモデルで利用するために直交座標系に

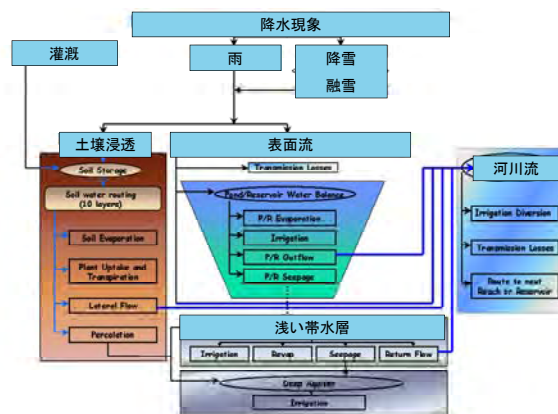


図-2 SWATモデルの模式図

投影変換する作業が必要になる。投影変換作業はArcMap上で実施できる。UTMとはユニバーサル横メルカトル図法の略である。SWATモデルでは直交座標系であればUTM以外でも受け付ける。沙流川周辺で利用することを考慮すると、日本測地系の直交座標系の12系直角座標系も利用可能である。ここで注意しなければならないのは、座標系を統一しておくことである。ArcSWAT上での様々な処理は統一された座標系でのみ円滑に稼働する。このため、座標系を当初から統一しておく必要がある。

##### (2) 土地利用データ

国土数値情報ダウンロードサービスWEBサイトから土地

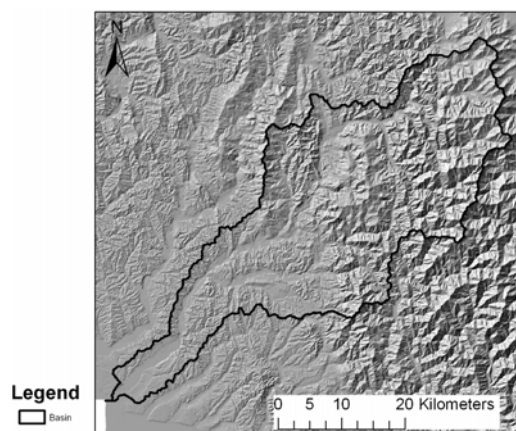


図-3 沙流川流域のDEM(陰影図表示)

表-1 GISデータ一覧

GISデータ名称	発行元	GIS (ArcMap) データの加工方法
50mメッシュ標高 <sup>3)</sup>	国土地理院	元々、緯度経度で位置付けられた標高点データであり、それらをArcMapの機能でUTM54系に再投影したのち、SpatialAnalyst機能によりラスタ(面)データに変換
土地利用データ <sup>4)</sup>	国土地理院	国土数値情報ダウンロードサービスWEBサイトより、土地利用細分メッシュを入手し、解凍後、KsjToolにてshpファイル(ポリゴン)に変換する。本データも緯度経度で記述されたデータであり、UTM54系に再投影する。元データの土地利用コードは文字列のため、数値コードに変換しておく。
土壌分布データ <sup>5)</sup>	国土交通省土地水資源局	国土交通省土地水資源局WEBサイトより、20万分の一土地分類基本調査の土壌分布データを入手し、解凍後、UTM54系に再投影する。属性に漢字が利用されているため、数値コードに変換しておく。
気象データ	気象庁、北海道開発局	年間を通して観測値が得られている観測所の日データを、時系列並びのdbfファイルに変換した。(dbfファイルの作成はOpenOfficeのCalcを利用)

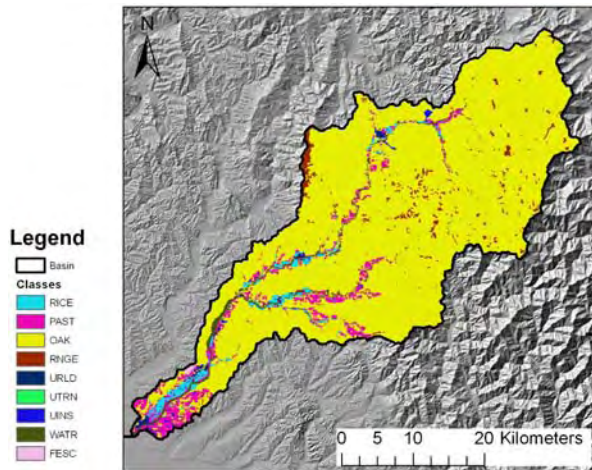


図-4 沙流川流域の土地利用分布

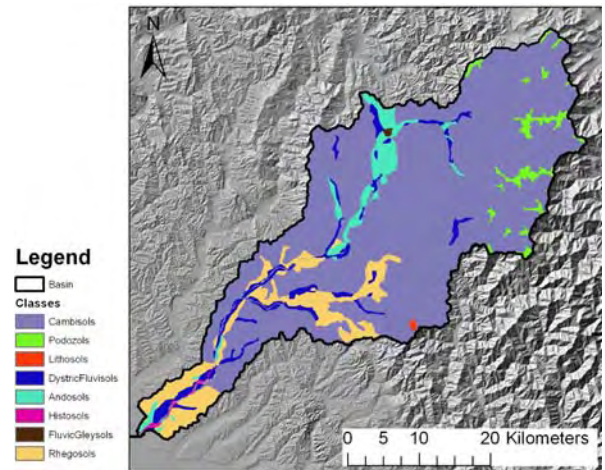


図-5 沙流川流域の土壌分布

利用細分メッシュデータをダウンロードできる。しかしこのデータはXML形式であるため、同サイトから入手可能な変換ソフト (KsjTool) にてshpファイル (GIS形式) に変換する必要がある。さらにUTM54系に再投影した土地利用データを図-4に示す。ArcSWATは土地利用のGISデータを参照するときに、ArcSWAT自身のデータベースにある土地利用コード、例えば水域であればWATR、水田であればRICEといったコードが入力された土地利用GISデータのどれに対応するかを検索する。

### (3) 土壌分布データ

国土交通省土地水資源局WEBサイトより、20万分の一土地分類基本調査の土壌分布データをダウンロードし、これもUTM54系に再投影したものを用いた。土壌分布データには土壌物性値は入力されておらず、単なる面(ポリゴン)データである。

### (4) 気象データ

国土交通省の水文水質データベースより通年観測記録のある日雨量データを入手し、その他の気温、相対湿度、日照時間等は気象庁のWEBページよりアメダスの日データを入手した(表-2)。SWATモデルでは日射量(MJ)を用いるが、アメダス観測所では日照時間しか得られていない。このため、日照時間から全天日射の日平均値を推定する実験式<sup>6)</sup>を

用いて日射量を推定した。

### (5) 土壌調査資料

昭和40~50年代、北海道内においては、林野庁が国有林内の森林土壌調査(林野土壌調査報告<sup>7)</sup>)、北海道林務部が民有林・道有林の森林土壌調査(適地適木調査報告書<sup>8)</sup>)を実施しているほか、北海道立中央農業試験場が耕作地土壌の調査(地力保全基本調査成績書<sup>9)</sup>)を行うなど、土壌に関する膨

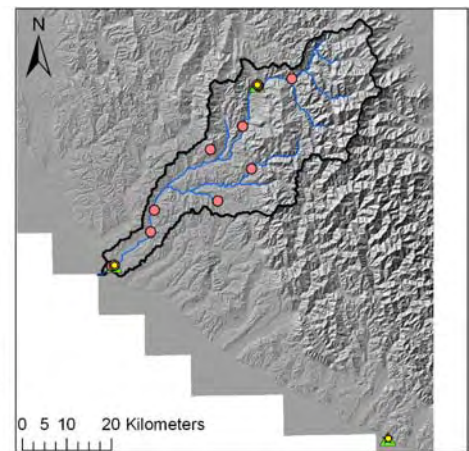


図-6 気象観測地点分布

表-2 気象観測データ一覧

観測所名	日雨量(mm/d)	日平均気温(°C)	相対湿度(%)	平均風速(m/s)	日照時間(h)
浦河(A)	○	○	○	○	○
日高(A)	○	○	—	○	○
日高門別(A)	○	○	—	○	○
富川(開)	○	—	—	—	—
平取(開)	○	—	—	—	—
二風谷ダム(開)	○	—	—	—	—
豊糠(開)	○	—	—	—	—
上貫気別(開)	○	—	—	—	—
振内(開)	○	—	—	—	—
岩知志(開)	○	—	—	—	—
千栄(開)	○	—	—	—	—

ここで、(A)はアメダス、(開)は北海道開発局の観測所を表す。○印は観測値有り、—印は観測値無し。

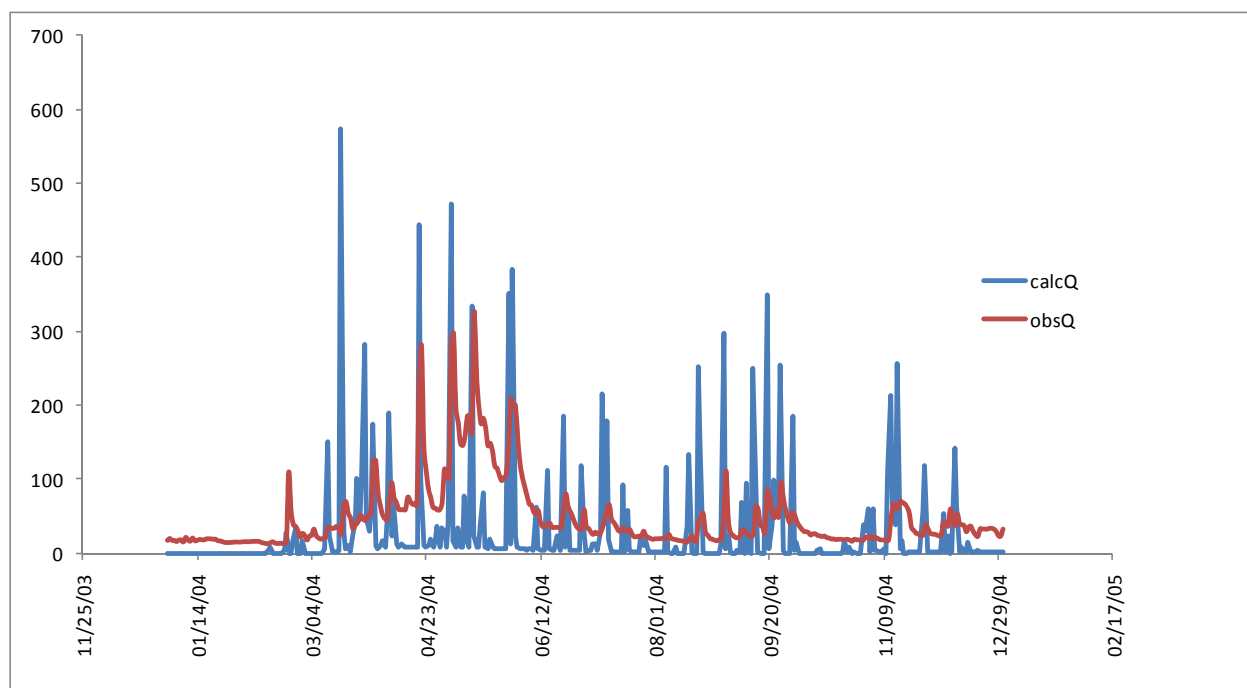


図-7 富川地点の日流量(青線：計算値、赤線：実測値)比較

大な資料が蓄積されている。SWATモデルでは土壌の透水係数などの物理性(空隙率、透水係数、含水率、組成等)を設定する必要があるため、上記土壌調査資料のうち、沙流川周辺の資料を参考にした。土壌物性値の入力はArcSWAT上の編集機能によって入力することができる。

## 5. シミュレーション結果

沙流川下流部の富川観測所の日流量データとArcSWATによる日流量データを比較し、図-7に示す。これによれば、青線で表される計算値と、赤線で表される実測値には未だ大きな隔りがある。特に、3月から4月にかけての融雪時期の計算流量値が過大となっているほか、全般的にピーク流量が過大で、流量の低減も急速となっている。今回の計算結果はファーストランであり、今後、計算結果と実測値の適合性を向上させるため、土壌の物性値や山岳地域の気象条件の設定方法などについて検討していく必要がある。

## 6. おわりに

GISソフト上で稼働可能な流域物質循環をシミュレートできるソフトウェアがある、ということで始めた勉強会で、短期間にArcSWATの扱い方からデータの作成方法まで学習していった。最終的に良い結果を得られるところまでは到達できなかった。近年、世界的な気候変動が懸念され、北海道でも豪雨傾向や降雪環境の変化が指摘されている。ArcSWATモデルは通年で河川流域からの流出現象を推定でき、様々なケースで検討を行うことが可能とされる。今後、これまでに検討された同様の事例や現地調査を通じ、計算結果の向上に向け、検証を進める必要がある。

謝辞：島根大学の宗村先生にはSWATの適用例に関するデータの提供及び設定方法について解説頂いた。森林総研の相沢グループ長からは国有林の土壌資料を閲覧させていただいた。北海道開発局からは気象データを閲覧させていただいた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 宗村広昭, 武田育郎, 森也寸志: SWATモデルを用いたSS成分の流出量解析, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集 2008.
- 2) 酒井治: 適正な施肥による河川水質の改善, 根釧農試酪農研究通信, 第18号 2009年3月
- 3) 数値地図50mメッシュ(標高), 国土地理院
- 4) 土地利用細分メッシュ: 国土数値情報ダウンロードサービス, [http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/jpgis\\_datalist.html](http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/jpgis_datalist.html)
- 5) 20万分の1土地分類基本調査GISデータ(土壤図), 国土交通省土地・水資源局国土調査課, <http://tochi.mlit.go.jp/tockok/index.htm>.
- 6) 近藤純正編著: 水環境の気象学, 朝倉書店, 1994.
- 7) 林野土壌調査報告, 第10報, 鶴川事業区, 林野庁札幌営林局, 昭和47年2月.
- 8) 適地適木調査報告書, 第16号, 日高支庁管内中西部, 北海道林務部昭和54年度. <http://www.hfri.pref.hokkaido.jp/idafos/menu/jpn/topfram.htm>
- 9) 地力保全基本調査成績書, 日高北部内陸地域平取町, 北海道立中央農業試験場, 昭和44年度.