SWAT モデルを用いた沙流川流域の物質循環推定について

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所　村上泰啓, 水垣滋, 久保まゆみ
独立行政法人森林総合研究所温暖化対応推進拠点　森貞和仁

1. はじめに

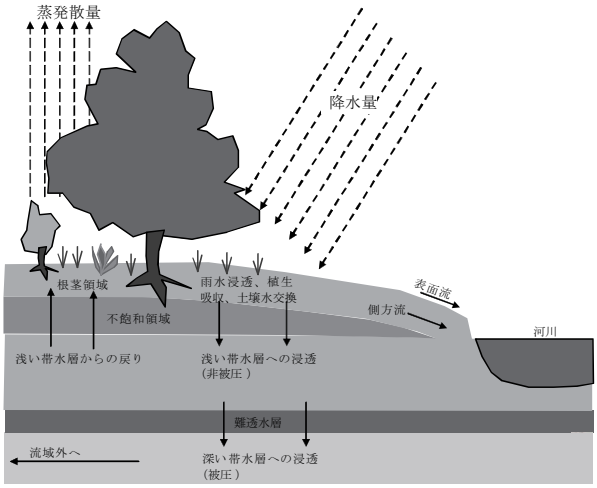
積雪寒冷地である北海道では，積雪が貴重な水資源となっており, 気候変動による水循環の変化が河川流域の物質循環に影響することが想定[2]されている。ここでは欧米で利用実績が多い SWAT モデルを二風谷ダム流域に適用し, 複数年時の水文・気象資料を用い, 日流量の再現性を検証した. 結果, 夏季の日流量変動は複数年時にわたり良好に再現可能であったが、融雪期の再現性に課題が残った. 最後にこれらの原因と今後の対策について考察した.

2. SWAT モデル及び使用データ

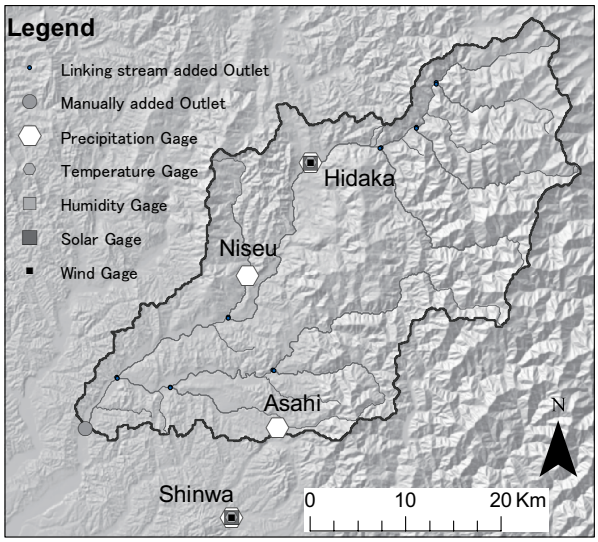
Soil and Water Assessment Tool(SWAT) モデルは，テキサス A&M ブラックランド調査研究センター及び米国農務省農業研究局（USDA-ARS）が開発を行っている, 流域圏水・物質循環モデルである. 図–**1** に SWAT モデルの概念図を示す. 表面流出には SCSCurve Number 法, 蒸発散計算にペンマンモンティス法, 土壌浸透量に GreenAmpt 法, 河道追跡にマスキンガム法を採用している．図–**2** に二風谷ダム流域を示す. 当流域は北海道南部に位置する一級河川沙流川の河口から約 20km に位置する多目的ダム二風谷ダムの集水域であり, 面積は 1,215km^2 である．今回使用したデータセットを表–**1** に示す. これらは全て国内で公開されているもので, 特に GIS データは WEB 上で入手が可能である．GIS データ以外の日照時間, 相対湿度, 気温, 風速, 雨量などは気象庁の WEB サイトにおいて, 土壌の層別の物理性は土壌調査資料[3)4)]から入手した．以上の資料から構築したデータセットを ArcGIS で駆動する ArcSWAT に入力し, 二風谷ダム流域の日流入量の再現を試みた. ここで, 日射量は日照時間から全天日射量の日平均値を推定する手法[5)]を用いて算出した. なお, 降雪と融雪を決定する気温閾値を菅谷[6)]に倣い, 積雪=2.5°C, 融雪=2.0°C とした. 蒸発散量の算出において必要となる LAI(葉面積指数) を, 北海道の森林林床における代表的なクマザサの LAI=1.71 を SWAT モデルの初期値である 5.0 に加え,6.71 とした. また,15 の分割小流域には標高による気温上昇を考慮するための標高帯を 200m 毎に設定し,GIS で別途集計した各々の標高帯に含まれる面積及び面積比を入力した.

3. 結果

本検討において,SWAT モデルにバンドルされた自動キャリブレーション機能を利用する前段として, 側方流遅れ (LAT_Q) と地下水流出遅れ (GW_DELAY) を用い, マニュアル的にパラメータ同定を行った. 表–**3** に示すように, 側方流遅れ, 地下水遅れをそれぞれ 5 日,30 日と与えた場合に計算値と実測値の適合性が良く, このパラメータセット



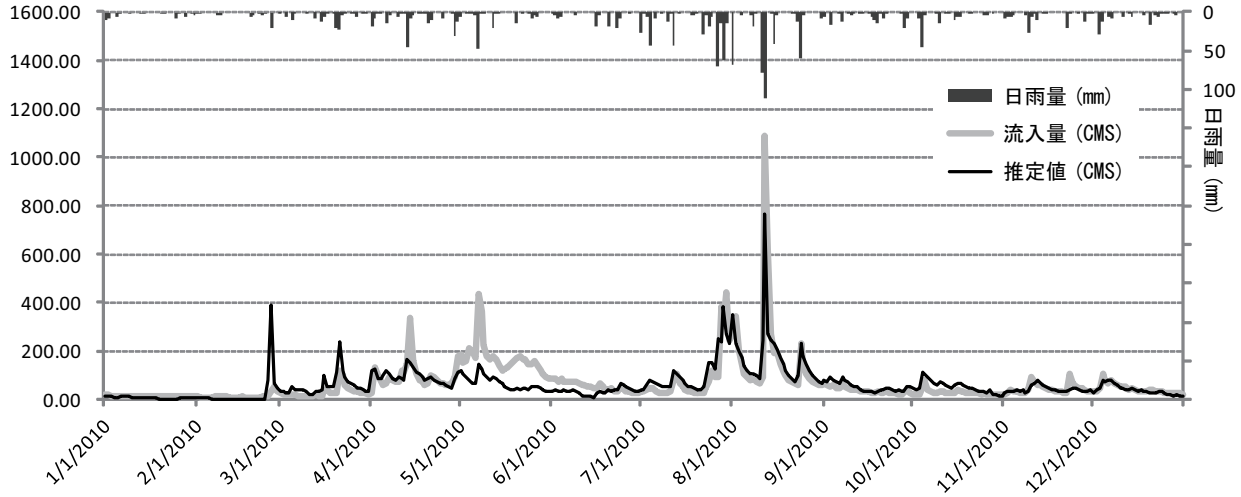
図–**1** SWAT モデルの水文サイクル概念図 (出典[1)]を改変)



図–**2** 二風谷ダム集水域及びアメダス地点

表–**1** SWAT モデルに適用した主要なデータ

データ種類	発行元	備考
DEM(地形)	国土地理院	10m 解像度の DEM
土地利用	国土地理院	土地利用
土壌分布	土地水資源局	土壌分布
気象	気象庁	日照時間, 風速, 雨量 相対湿度, 気温
レーダー雨量	気象庁	解析雨量
流量	国土交通省	流量



図–**3** SWAT モデルによる日流量の再現結果

表–**2** Nash - Sutcliffe 効率係数

LAT\GW	20	30	40
5	0.5073	0.5077	0.5077
10	0.4693	0.5070	0.4698
15	0.4205	0.4211	0.4209

ここで,LAT:側方流遅れ (日),GW:地下水遅れ (日) である.SWAT モデルでは感度分析やキャリブレーションを実施する前にこの様な手動によるフィッティングが推奨されている

表–**3** 月別の水循環諸数値平均 (2008-2010)

MON	RAIN (mm)	SNOW (mm)	SURF_Q (mm)	LAT_Q (mm)	ET (mm)
1	37.5	23.17	1.66	18.15	0.14
2	43.83	28.23	18.84	9.61	0.18
3	84.41	21.91	21.46	82.09	4.48
4	103.92	0.62	2.77	74.88	16.6
5	96.76	0	0.41	75.38	29.14
6	77.09	0	0.2	48.61	40.26
7	289.03	0	10.15	178.35	47
8	210.53	0	14.32	160.56	49.78
9	78.09	0	0.02	54.42	34.51
10	113.26	0	0.4	81.57	15.34
11	99.8	4.78	0.01	82.3	4.06
12	114.28	36.8	1.19	80.16	0.54

ここで,MON:月,RAIN:降水量 (mm),SNOW:降雪量 (mm),SURF_Q:表面流出量 (mm),LAT_Q:側方流 (mm),ET:蒸発散量 (mm)

を出発値としてパラメータの最適化を実行した.SWAT モデルでは土壌水分量の安定を図るため,2 年以上のデータを用いていわゆる暖気運転することが推奨されている. ここでは 2006 年から 5 年分のデータを用い,2008 年から 2010 年までの 3 年分を用いて計算を行った. 最適パラメータより推定された二風谷流域の日平均流量のうち,2010 年度の推定値と実測値を図–**3** に示す. これによれば 7 月から 10 月までの推定値は実測を概ね再現しており,NASH 効率で約 0.8 程度であったのに対し,2 月から 6 月までの結果は NASH 効率で約 0.2 程度であり, 再現性が高くない結果となった. なお, 表–**3** に, 計算期間の 2008 年から 2010 年までの各月の水循環の流域全体の降水量 (RAIN) に占める降雪 (SNOW) 量, 表面流 (SURF_Q), 側方流 (LAT_Q), 蒸発散量 (ET) の平均値を示す. 季節による降水量の雨雪の別や, 表面流, 側方流, 蒸発散量の変遷が表現されていることが読み取れる.

4. 考察

GIS 資料, 土壌調査資料, アメダス雨量を用い,SWAT モデルで二風谷ダム集水域の日流量変動の再現計算を行った. 夏季の日流量の再現性は比較的良好であり,SWAT モデルの有効性が確認された. 一方, 融雪期の日流量については融雪の再現性に課題があり, 今後, 気象観測値の代表性, 土壌物理性などの要因を検証していく必要があるほか, 融雪プロセスのソースコードの吟味を行い, 既往研究を参考に修正を行なっていく必要があると考えられる. なお,ArcSWAT モデルは現在 ArcGIS9.3.1 上で駆動するもののみ公開されているため, 最新の ArcGIS10 では駆動しないので注意が必要である. 最後に, 島根大学の宗村広昭准教授には SWAT モデルの利用に関して多くを御教示頂いた. ここに記して謝意を表する.

参考文献

1) S.L.Neitsch,J.G.Arnold,J.R.Kiniry,J.R.Wiliams:Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2005. Temple, TX: Blacklands Research Center.
2) 地球温暖化予測情報：気象庁, 第 7 巻,pp17,2008.
3) 林野土壌調査報告, 第 10 報, 鵡川事業区, 林野庁札幌営林局, 昭和 47 年 2 月.
4) 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.
5) 近藤純正 (編著), 水環境の気象学, 朝倉書店,pp.57.1994.
6) 菅谷博, 暖地積雪面の微細気象的特性とそれに基づく積雪量推定モデル, 北陸農業試験場報告 32,pp43-64,1990.