

表 V-44 筑後川・矢部川流域のダムと入力パラメータ

入力パラメータ (パラメータ名)	単位	筑後川水系								矢部川 水系	菊池川 水系
		下 筈 ダム	松 原 ダム	合 所 ダム	江 川 ダム	寺 内 ダム	山 神 ダム	大 山 ダム	夜 明 ダム	日 向 神 ダム	竜 門 ダム
湛水面積 (RES_ESA)	ha	200	190	38	85.8	90	18	60	85	112	130
最大貯水量 (総貯水量) (RES_EVOL)	10 ⁴ m ³	5,930	5,460	7,660	2,530	1,800	298	1,960	405	2,790	4,250
通常時の表面積 (RES_PSA)	ha	112	126	21 *3	48 *3	80	18	60	48 *3	106	100
通常時の貯水量 (RES_PVOL)	10 ⁴ m ³	2,456	2,583	3,173 *4	1,048 *4	808	279	1,796	168 *4	2,263	3,350
開始時の貯水量 (RES_VOL)	10 ⁴ m ³	3,825	3,825	4,941 *5	1,632 *5	713	278	1,786	261 *5	2,189	3,000
初期土砂濃度 (RES_SED) *1	mg/L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
平衡時の土砂濃度 (RES_NSED) *2	mg/L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
日平均放出量 (RES_RR)	m ³ /s	12.38	27.77	12.38 *6	1.85 *7	2.27	0.58	1.85	0.58 *8	4.36	1
非洪水期開始月 (IFLOOD1R)	月	Oct	Oct	Oct	Oct	Oct	Oct	Oct	Oct	Oct	Oct
非洪水期終了月 (IFLOOD2R)	月	June	June	June	June	June	June	June	June	June	May

注記 1

- 1) 出典：公開データ出典：国土交通省水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) 中の「ダム諸量データベース (<http://mudam.nilim.go.jp/home>)」
- 2) 最大貯水量：公開情報に総貯水量と有効貯水量があり、菊池川と同様に総貯水量を使用。
- 3) 通常時の表面積：湛水面積に通常時の貯水率を乗じて算出。
- 4) 通常時の貯水量：2010 年、2014 年、2018 年の時間当たり平均値を算出。
- 5) 開始時の貯水量：2010 年 1 月 1 日 01:00 の貯水量を使用。
- 6) 日平均放出量：2010 年、2014 年、2018 年の時間当たり平均値を算出。

注記 2

実測値が未公開のため、以下のように対処した。

*1：初期土砂濃度：菊池川水系竜門ダムの値を使用。

*2：平衡時の土砂濃度：菊池川水系竜門ダムの値を使用。

*3：通常時の表面積 (ha)：同流域内の下笠ダムの比を対象ダムの湛水面積に乘じて算出。

(式：下笠ダム通常時の表面積 (ha) / 下笠ダム湛水面積 (ha)) × 合所・江川・夜明ダム湛水面積 (ha))

*4：通常時の通常時の貯水量 (10⁴m³)：同流域内の下笠ダムの比を対象ダムの最大貯水量に乘じて算出。

(式：下笠ダム通常時の貯水量 (10⁴m³) / 下笠ダム最大貯水量 (10⁴m³)) × 合所・江川・夜明ダム最大貯水量 (10⁴m³))

*5：開始時の貯水量 (10⁴m³)：同流域内の下笠ダムの比を対象ダムの開始時の貯水量に乘じて算出。

(式：下笠ダム開始時の貯水量 (10⁴m³) / 下笠ダム最大貯水量 (10⁴m³)) × 合所・江川・夜明ダム開始時の貯水量 (10⁴m³))

*6：合所ダム日平均放出量 (m³/s)：同流域内で最大貯水量に近い下笠ダムの値を使用。

*7：江川ダム日平均放出量 (m³/s)：同流域内で最大貯水量に近い大山ダムの値を使用。

*8：合所ダム日平均放出量 (m³/s)：同流域内で最大貯水量に近い山神ダムの値を使用。

(3) 河川形状の設定

河川の形状は、河川における水の流速に影響を与え、それに応じて土砂・栄養塩の流出量も変化する。そのため、各河川には実態にあった適切な形状（河川の幅・深さ）をパラメータとして与える必要がある。筑後川と矢部川流域の各河川について、現地（の一部）と Google earth で測定した値から堤防上部の平均幅（CH_W2）のパラメータに相当するデータを取得し該当河川に与えた（表 V-45）。

表 V-45 支流域ごとの河川幅

支流域 No		河川幅 (m)
筑後川	矢部川	
-	13	15
36	10	20
30, 33, 39	7, 9	25
24, 25, 28, 29, 32, 34, 35, 37, 40, 41, 52	-	30
19, 23	3, 8, 11, 12	35
21, 31, 42	6	40
15, 43	4	45
11, 26, 27,	-	50
45	-	55
18, 20, 44, 53	5	60
10, 22, 47	2	70
14	-	75
7, 12, 16, 51	-	90
9, 46	1	100
17, 38	-	120
5, 6, 8, 50	-	130
49	-	150
54	-	160
13	-	190
2, 3, 48	-	240
4	-	270
1	-	330

(4) ポイントソース

陸域から河川に流入する負荷として、農地や森林などの面的な部分からの負荷（面源負荷）に加え、下水道や畜産施設からのポイント的な負荷（点源負荷）も考慮しなくてはならない。点源負荷からは SS、リン、窒素が排出されており、流域全体での土砂・栄養塩流出量に影響を与える。なお、SS（Suspended Solid:浮遊物質）は厳密には土砂だけでなく植物プランクトン等も含まれるが、洪水時の SS 負荷量の増加と土砂流出量の増加には関連性があると考えられ SS を土砂流出量とみなすことができる場合がある（清水、小野寺 20126）。よって、本事業でも SS を土砂流出量実測値として扱った。

工場などの産業排水については下水道の処理水に含まれるとして、下水道、生活由来排水（下水道以外）、畜産由来排水の 3 種類から負荷を反映させた。

今年度は、筑後川及び矢部川流域直管轄の市町村について、過年度に準じてデータ収集

し、ポイントソースを算出した。

ア) 下水道データの収集と反映

筑後川流域内における 2 箇所の下水处理場において、平成 21 年度～平成 30 年度の毎月の処理水質データを取得し、毎日一定量の濃度で排水を行うように設定した。また、矢部川については流域内の下水处理場の処理水質データは HP 上にて情報が得られなかったことから、各処理場について公表値の適用はしていないため、点源負荷は設けないこととした。

イ) 生活排水・畜産由来排水データの収集と反映

下水道以外からの生活排水処理施設には、農業集落排水施設、合併処理浄化槽、単独処理浄化槽がある。これらは都市から離れた山村等で多い処理方式であり、各処理施設からの正確な排水データを得ることは難しい。そこで、過年度事業の計算方法に準じ、一人・一日あたりの負荷量を示した原単位法を用いて、各支流域に一定の負荷を割り当てることとした。原単位は「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説」（平成 27 年 国土交通省 水管理・国土保全局下水道部）から表 V-46 のように情報を得た。生活排水の市町村及び処理種別の人口については、各県で公開されている「排水処理人口普及率（R1 年度末）」からデータを収集した。

畜産由来の排水についても、同じく原単位法を用い、生活排水と同様の前述の資料より、表 V-47 のように情報を得た。市町村別の家畜頭数は「作物統計調査 市区町村別データ 長期累計（平成 19 年 2 月現在）」より収集し、各支流域に頭数に応じて排出を行うように設定した。

表 V-46 生活排水の原単位

処理施設	SS (g/人・日)	T-N (g/人・日)	T-P (g/人・日)
農業集落排水施設	2.4	6.1	0.63
合併処理浄化槽	10.8	6.5	0.75
単独処理浄化槽	3.1-3.9	5.2-6.6	0.56-0.7

表 V-47 畜産排水原単位

家畜種類	SS (g/頭・日)	T-N (g/頭・日)	T-P (g/頭・日)
牛	3000	290	50
豚	700	40	25
馬	5000	170	40

(5) 耕作シナリオ

耕作シナリオについて、SWAT モデルでは任意に設定することができる。本事業では、筑後川及び矢部川の各作物について次のように設定した。

ア) 森林

森林ではシミュレーション開始時から森林が成立しているとし、シミュレーション中は主伐・間伐といった人為的な作業は特に行わないこととした。初期の森林の状態を規定するパラメータについては SWAT のマニュアル (SWAT-IO-Documentation 2012²) と石井ら (1999)³を参考に、次表のように整理した。

表 V-48 森林の設定パラメータ

パラメータ名	設定値	説明
Initial Land Cover	Forest-mixed	初期の土地利用の種類
LAI_INT	4	初期 LAI
BIO_INT	1000 (kg/ha)	初期バイオマス
PHU_PLT	2000	成熟するまでに必要な積算温度
BLAI	9	最大 LAI
BN1(.crop)	0.044	発生初期における植物中の N 含有量
BN2(.crop)	0.0164	50%成熟時における植物中の N 含有量
BN3(.crop)	0.0128	成熟時における植物中の N 含有量
CANMX	20 (mm)	最大樹冠貯留量

イ) 水田

水田では JA 筑前あさくらの作成した稲作ごよみのうち、福岡県の代表的な品種であるヒノヒカリを参考に耕作シナリオを設定した。稲の移植時の初期 LAI (LAI_INT) は 0.1、初期バイオマス量 (BIO_INT) は 20 [kg/ha] とした。耕作中は灌水状態を再現するために Auto irrigation オプションを利用し、植物が水ストレスを感じると自動的に近隣の河川から引水し水田に供給するように設定した。稲の収穫後は、裏作として小麦を栽培する設定とし、同じく JA 筑前あさくらの作成した麦作ごよみを参考に耕作シナリオを設定した。また、水田の畦道による土砂捕捉効果を再現する FILTERW オプションを利用し、畦道の距離を 2.6m と設定した。

施肥は、JA 筑前あさくらの稲作ごよみと麦作ごよみに加えて、JA 筑前あさくらの担当者に聞き取りを行った結果、及び耕地利用率等を踏まえて設定した。

表 V-49 水田の設定パラメータ

パラメータ名	設定値	説明
Initial Land Cover	なし	
FILTERW	2.6	畦道による土砂捕捉効果を再現。畦道の幅を設定
Irrigation Source	Reach	水の供給元
Subbasin ID	支流番号	供給元の支流を指定

² Arnold, J. G., et al. *SWAT input-output documentation, version 2012*. Texas Water Resource Institute. TR-439, 2012.

³ 石井孝, 梨本真, and 下垣久. "衛星データによる葉面積指数 LAI の推定." 水文・水資源学会誌 12.3 (1999): 210-220.

表 V-50 水田の耕作シナリオ

実施日	実施内容	Operation	詳細
6/1	耕起	6. Tillage Operation	
6/18	施肥（元肥） 耕起 灌水開始 灌水	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation 13. Release/Impound 10. Auto Irrigation	30-15-0 (152kg/ha) Initiate Water Impound Auto irrigation（自動灌水処理）
6/19	耕起	6. Tillage	
6/21	移植	1. Plant/begin growing season parameters	移植時の PLANT_ID : RICE（水稲） 初期 LAI : 0.1, BIO_INIT : 20
10/5	排水	13. Release/Impound	Initiate Water Release
10/15	収穫	5. Harvest and kill	
10/25	耕起	6. Tillage Operation	
11/20	施肥（元肥） 耕起 播種	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation 1. Plant/begin growing season parameters	15-15-15 213kg/ha Plant_ID: Winter Wheat（小麦）
1/20	施肥（追肥）	3. Fertilizer Application	33-0-0 124kg/ha
5/31	収穫	5. Harvest and kill	

ウ) 畑（平地）

平地の畑では、各流域内の市町村における畑作物の作付面積を参考に、筑後川流域ではほうれんそう（秋出・露地栽培）とレタス（春出・トンネル栽培）、矢部川流域ではばれいしょ（春出普通・マルチ栽培）とレタス（年内出・露地栽培）を栽培する想定とした。耕作シナリオと施肥は、「福岡県野菜施肥基準」（平成 31 年 3 月、福岡県 農林水産部 経営技術支援課）及び耕地利用率等を参考に設定した。また、トンネル栽培を想定した設定は SWAT モデル内に存在しないため、パラメータの設定変更で対応した。具体的には、作物データベース内の最低気温パラメータ（T_BASE）をデフォルトでは 18℃のところを 0℃に、最適気温パラメータ（T_OPT）を 35℃から 25℃に変更した。

表 V-51 畑（平地）の設定パラメータ

パラメータ名	設定値	説明
Initial Land Cover	なし	
FILTERW	2.6	畦道による土砂捕捉効果を再現。畦道の幅を設定
T_BASE (.crop)	0 [LETT]	作物が生育可能な最低気温
T_OPT (.crop)	25 [LETT]	作物の生育最適気温
CANMX(.hru)	1 (mm)	最大樹冠貯留量

表 V-52 畑（平地）の耕作シナリオ（筑後川）

実施日	実施内容	Operation	詳細
10/20	施肥（元肥） 耕起 播種	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation 1. Plant/begin growing season parameters	16-20-20 (429kg/ha) Plant_ID: SPIN
11/20	施肥（追肥）	3. Fertilizer Application	07-00-00 (429kg/ha)
12/20	収穫	5. Harvest and kill	全量収穫
12/22	施肥（元肥） 耕起	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation	20-20-00 (429kg/ha)
1/5	定植	1. Plant/begin growing season parameters	Plant_ID: LETT
4/5	収穫	5. Harvest and kill	全量収穫

表 V-53 畑（平地）の耕作シナリオ（矢部川）

実施日	実施内容	Operation	詳細
2/22	施肥（元肥） 耕起	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation	16-20-20 (214.5kg/ha)
3/5	定植	1. Plant/begin growing season parameters	Plant_ID: POTA
3/26	追肥 耕起	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation	07-00-00 (245.1kg/ha)
5/31	収穫	5. Harvest and kill	全量収穫
9/25	施肥（元肥） 耕起 定植	3. Fertilizer Application 6. Tillage Operation 1. Plant/begin growing season parameters	15-15-15 (572kg/ha) Plant_ID: LETT
12/5	収穫	5. Harvest and kill	全量収穫

エ) 畑（傾斜地）

傾斜が 20%以上あるような土地では通常の野菜が栽培されているとは考えづらく、果樹や茶が栽培されていると考えられるため、各流域内の市町村における果樹の作付面積を参考に、筑後川流域では柿、矢部川流域ではみかん（ウンシュウミカン・通常栽培）を栽培する想定とした。どちらも木本性植物であるため、シミュレーション当初から存在し、植物バイオマスのうち一部を年に一度収穫することとした。耕作シナリオと施肥は、「福岡県果樹施肥基準」（平成 29 年 3 月、福岡県 農林水産部 経営技術支援課）及び耕地利用率等を参考に設定した。

表 V-54 畑（傾斜地）の設定パラメータ

パラメータ名	設定値	説明
Initial Land Cover	Orchard	初期の土地利用の種類
LAI_INT	1	初期 LAI
BLAI (.crop)	4	最大 LAI

BIO_INT	1000 (kg/ha)	初期バイオマス
PHU_PLT	1700	成熟するまでに必要な積算温度
CANMX (.hru)	5 (mm)	最大樹冠貯留量
Initial Land Cover	Orchard	初期の土地利用の種類

表 V-55 畑（傾斜地）の耕作シナリオ（筑後川）

実施日	実施内容	Operation	詳細
3/1	施肥（元肥）	3. Fertilizer Application	10-10-10 (429kg/ha)
7/6	施肥（追肥）	3. Fertilizer Application	07-00-00 (257kg/ha)
10/15	一部収穫	7. Harvest only	harveff=0.1

表 V-56 畑（傾斜地）の耕作シナリオ（矢部川）

実施日	実施内容	Operation	詳細
2/25	施肥（春肥）極早生	3. Fertilizer Application	22-14-10 (78kg/ha)
3/5	施肥（春肥）早生普通	3. Fertilizer Application	20-20-0 (240kg/ha)
6/5	施肥（夏肥）早生普通	3. Fertilizer Application	22-14-0 (156kg/ha)
9/25	施肥（秋肥①）極早生	3. Fertilizer Application	20-20-0 (100kg/ha)
10/5	一部収穫（極早生）	7. Harvest only	harveff=0.033
10/15	施肥（秋肥②）極早生	3. Fertilizer Application	20-20-0 (100kg/ha)
10/25	施肥（秋肥）早生	3. Fertilizer Application	22-14-0 (121kg/ha)
11/5	施肥（秋肥）普通	3. Fertilizer Application	26-13-0 (109kg/ha)
11/15	一部収穫（早生）	7. Harvest only	harveff=0.033
12/10	一部収穫（普通）	7. Harvest only	harveff=0.033

6. モデルの各種設定条件

筑後川、矢部川、菊池川モデルにおける各設定は、表 V-57 のとおりである。

表 V-57 モデルの各種設定条件

区分			筑後川	矢部川	菊池川
支流域界、 HRU 構築	河川データ（Burn in Stream の入力）		入力		
	支流域界構築上の閾値	Define threshold	30 km2		
		Snap threshold	33333 grid cells		
	ポイントソース		設定		
			9 箇所	1 箇所	1 箇所
	ダム	設定			
		8 基	1 基	1 基	
	支流域の統合閾値（Merge subbasins）		5%		
	傾斜区分		設定：3 区分 (0-10°, 10-20°, 20-99°)		
HRU's の最小閾値		• 設定：Filter by Landuse, soil, slope			

			• 入力値：5%
気象データの取込	入力期間		2008.1.1～2018.12.31
	時間単位		日（Daily）
パラメータ設定			菊池川モデルのパラメータを適用
シミュレーション	シミュレーション期間		2008.1.1～2018.12.31 (ウォームアップ含む)
	ウォームアップ	期間	2008.1.1～2009.12.31
		NYSKIP	2（年）
	シミュレーション時間単位		日（daily）
	SWAT.exe Version		Rev. 681, 64-bit, release
	蒸発散量計算方法		ペンマン・モンティース法
	表面流計算方法		カーブナンバー法

7. 感度分析

7.1 感度分析の方法

感度分析とは、モデル内のパラメータのうち、対象流域においてどのパラメータの影響度が高いかを明らかにすることであり、キャリブレーションに優先的に用いるパラメータの特定をするために有効な手段である。SWAT モデルパラメータの感度は、専用ソフトウェアである SWAT-CUP⁴を用いて、パラメータの値に幅を持たせて数百回シミュレーションを行うことで分析することが可能である。

本事業では、各流域の水・土砂・栄養塩の関連パラメータについて、SWAT-CUP 搭載の SUFI2 というプログラムを使用し、感度分析を行った。

7.2 対象パラメータの選定

キャリブレーションの対象パラメータは、SWAT マニュアル（SWAT-IO-Documentation 20125）や既往文献（清水ら, 20136など）を参考に水・土砂・栄養塩の流出に影響すると考えられる代表的なパラメータから選定した。最終的に水収支で 17、土砂では 10、栄養塩で 24 のパラメータ（リン 10 パラメータ、窒素 14 パラメータ）を対象とした。感度分析に用いた全パラメータは巻末資料に示す。

7.3 感度分析結果

（1） 水収支

筑後川と矢部川において、水収支に関連する 17 パラメータを対象に感度分析を行った結果、感度の高かった上位 10 パラメータを表 V-58 に示す。

⁴ Abbaspour, Karim C. "SWAT-CUP 2012." *SWAT Calibration and Uncertainty Program—A User Manual* (2013).

⁵ Arnold, J. G., et al. *SWAT input-output documentation, version 2012*. Texas Water Resource Institute. TR-439, 2012.

⁶ 清水裕太, 小野寺真一, and 齋藤光代. "郊外農業流域におけるリン流出量推定への SWAT モデルの適用可能性." *水文・水資源学会誌* 26.3 (2013): 153-173.

表 V-58 筑後川（左）と矢部川（右）の水収支パラメータ感度分析結果

順位	パラメータ	説明	順位	パラメータ	説明
1	ALPHA_BF	降水による供給が無い状態での地下水の流出量(ベースフロー)を決定するファクター	1	ALPHA_BF	降水による供給が無い状態での地下水の流出量(ベースフロー)を決定するファクター
2	CH_K2	Main Channel Alluviumの飽和透水係数	2	CH_K2	Main Channel Alluviumの飽和透水係数
3	OV_N	地表面におけるマンニングのN(粗度係数)	3	OV_N	地表面におけるマンニングのN(粗度係数)
4	CH_N2	Main ChannelのマンニングのN(粗度係数)	4	SOL_K	土壌の飽和透水係数
5	SOL_K	土壌の飽和透水係数	5	EPCO	植物による吸水の補償係数
6	EPCO	植物による吸水の補償係数	6	CH_N2	Main ChannelのマンニングのN(粗度係数)
7	CANMX	樹冠最大貯留量	7	VPDFR	気孔コンダクタンス曲線上の第2点上の飽差
8	T_BASE	植物の成長に必要な最低気温	8	BLAI	葉面積指数の最大値
9	SURLAG	表面流の流出遅延度合い	9	FRGRW2	最大葉面積発達曲線上の第2点植物成長度
10	BLAI	葉面積指数の最大値	10	CN2	CN法で表面流出量を計算する際のパラメータ

筑後川、矢部川の両流域において、ALPHA_BF、CH_K2、OV_N、CH_N2、SOL_K、EPCO といった共通のパラメータの感度が高い結果となった。即ち、地下水の流出量を決定するファクターや飽和透水係数やマンニングの粗度係数といった、地表から地下にかけてのパラメータが流出量に大きく影響する傾向が見られた。

(2) 土砂

筑後川と矢部川において、土砂に関連する 10 パラメータを対象に感度分析を行った結果を表 V-59 に示す。

表 V-59 筑後川（左）と矢部川（右）の土砂パラメータ感度分析結果

順位	パラメータ	説明	順位	パラメータ	説明
1	USLE_P	USLE式の人為活動に関するファクター	1	USLE_C	土地被覆に由来する土砂流出ファクターの最小値
2	USLE_K	USLE式の土壌に関するファクター	2	SPEXP	沈着した懸濁物質の再浮遊指数
3	CH_COV1	河川の浸食されやすさ	3	LAT_SED	側方流および地下水流中の土砂濃度
4	USLE_C	土地被覆に由来する土砂流出ファクターの最小値	4	PRF_BSN	ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数(基幹河川)
5	CH_COV2	河川の被覆係数	5	CH_COV2	河川の被覆係数
6	ADJ_PKR	ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数(支流域内)	6	CH_COV1	河川の浸食されやすさ
7	LAT_SED	側方流および地下水流中の土砂濃度	7	SPCON	沈着した懸濁物質の再浮遊係数
8	SPEXP	沈着した懸濁物質の再浮遊指数	8	ADJ_PKR	ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数(支流域内)
9	SPCON	沈着した懸濁物質の再浮遊係数	9	USLE_P	USLE式の人為活動に関するファクター
10	PRF_BSN	ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数(基幹河川)	10	USLE_K	USLE式の土壌に関するファクター

水収支とは対照的に、筑後川と矢部川で異なる傾向が見られたが、いずれも USLE_C は比較的感度が高いようであった。キャリブレーション実施時に、特に慎重に調整すべきパラメータが明らかとなった。

(3) 栄養塩

筑後川と矢部川において、栄養塩に関連する 24 パラメータ（リン 10 パラメータ、窒素 14 パラメータ）のうち、それぞれ感度の高かった上位 5 パラメータの結果を表 V-60 に示す。

表 V-60 筑後川（左）と矢部川（右）の栄養塩パラメータ
感度分析結果（上：リン 下：窒素）

順位	パラメータ	説明	順位	パラメータ	説明
1	GWSOLP	支流域から河川に流出する地下水に含まれる溶存態リン濃度	1	P_UPDIS	リン吸収の配分パラメータ
2	LAT_ORGP	基底流中の有機態リン濃度	2	SOL_ORGP	土壌層における有機態リンの初期値
3	BC4	有機リンを溶存態リンに無機化するための速度定数	3	RSS	有機Pの沈殿率
4	SOL_LABP	土壌層における溶存態リンの初期値	4	BC4	有機リンを溶存態リンに無機化するための速度定数
5	P_UPDIS	リン吸収の配分パラメータ			
順位	パラメータ	説明	順位	パラメータ	説明
1	CDN	有機Nの無機化速度	1	CMN	脱窒作用の指数係数
2	RSDCO	植物残渣の分解係数	2	ERORGN	有機態Nの濃縮率
3	SDNCO	脱窒作用の起こる閾値となる水分含有率	3	LAT_ORGN	基底流中の有機態窒素濃度
4	N_UPDIS	窒素吸収の配分パラメータ	4	RSDCO	植物残渣の分解係数
5	RS4	河川内で有機体Nが沈着する割合定数	5	N_UPDIS	窒素吸収の配分パラメータ

リンでは BC4 や P_UPDIS、窒素では RSDCO、N_UPDIS といった筑後川と矢部川で共通して感度が高いパラメータが一部見られるものの、異なる傾向が見られた。土砂の感度分析結果と同様に、キャリブレーション実施時に、特に慎重に調整すべきパラメータが明らかとなった。

8. キャリブレーション・バリデーション

8.1 概要

（H30 報告書より抜粋）

SWAT モデルの強みの1つとして、通常は実測値を得られないパラメータに対して、流量など実測値の得られる出力結果を利用して校正（キャリブレーション）することで現実に近いと想定される値を得られる、という点がある。キャリブレーションの対象としたパラメータを自動的に変化させながらシミュレーションを繰り返し、最もモデルの推測値と実測値が適合していたときのパラメータの組み合わせを採用する。こうして得られたパラメータ値を使用して再度シミュレーションを行うことで、実測値と近い出力結果を得ることができる。

モデルの信頼性・再現性は、キャリブレーションに用いられていない期間において、調整後のパラメータ値を用いた計算値と実測データとを比較することで検証する（バリデーション）。評価の指標としては決定係数や Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) など各種存在し、一定の基準値以下の場合、再現精度が悪いと評価され、再度パラメータの調整を行う必要がある（表）。

表 V-61 流出モデルの評価指標と精度評価基準（Moriassi et al. (2007)より引用）

Table 4. General performance ratings for recommended statistics for a monthly time step.					
Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Streamflow	Sediment	N, P
Very good	$0.00 \leq \text{RSR} \leq 0.50$	$0.75 < \text{NSE} \leq 1.00$	$\text{PBIAS} < \pm 10$	$\text{PBIAS} < \pm 15$	$\text{PBIAS} < \pm 25$
Good	$0.50 < \text{RSR} \leq 0.60$	$0.65 < \text{NSE} \leq 0.75$	$\pm 10 \leq \text{PBIAS} < \pm 15$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} < \pm 30$	$\pm 25 \leq \text{PBIAS} < \pm 40$
Satisfactory	$0.60 < \text{RSR} \leq 0.70$	$0.50 < \text{NSE} \leq 0.65$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} < \pm 25$	$\pm 30 \leq \text{PBIAS} < \pm 55$	$\pm 40 \leq \text{PBIAS} < \pm 70$
Unsatisfactory	$\text{RSR} > 0.70$	$\text{NSE} \leq 0.50$	$\text{PBIAS} \geq \pm 25$	$\text{PBIAS} \geq \pm 55$	$\text{PBIAS} \geq \pm 70$

キャリブレーション・バリデーションにおける作業フローを図 V-31 に示す。再現精度が十分でなかった場合、パラメータを調整し再度キャリブレーション・バリデーションを

行い、十分な精度が得られるまで作業を繰り返す。

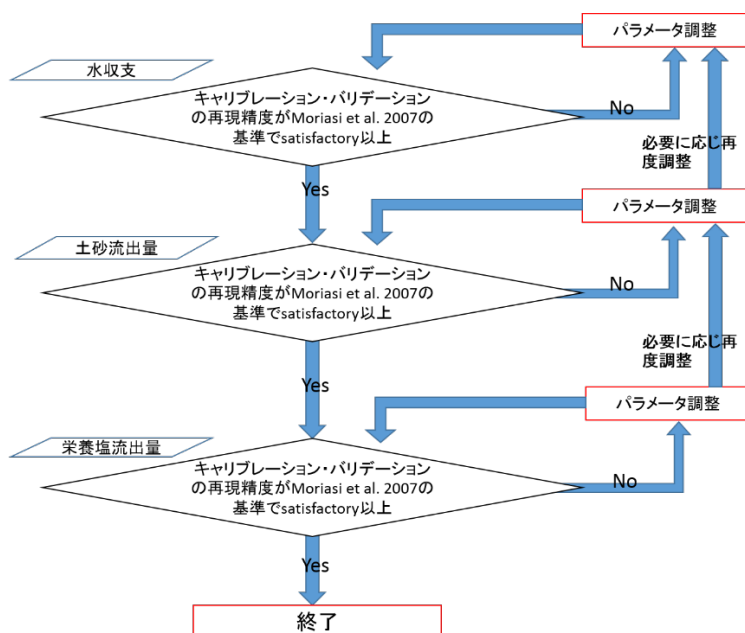


図 V-31 キャリブレーション・バリデーションの作業フロー

実際の作業は、「7. 感度分析」と同様に SWAT-CUP の SUFI2 というプログラムを使いパラメータの最適な組み合わせを選択した。

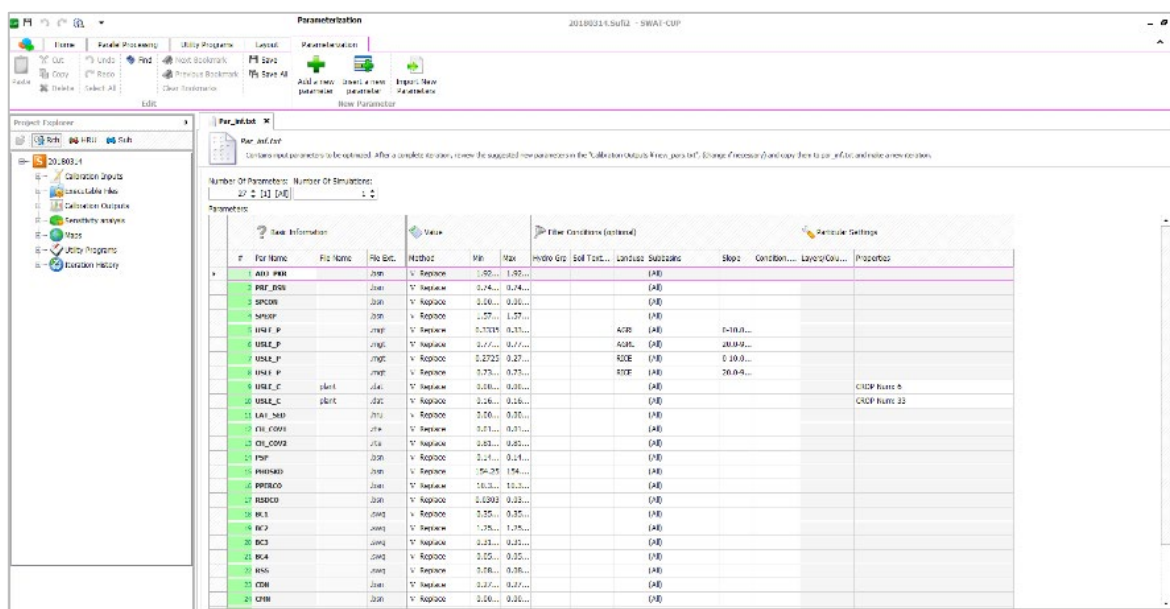


図 V-32 SWAT-CUP でのパラメータの選択画面

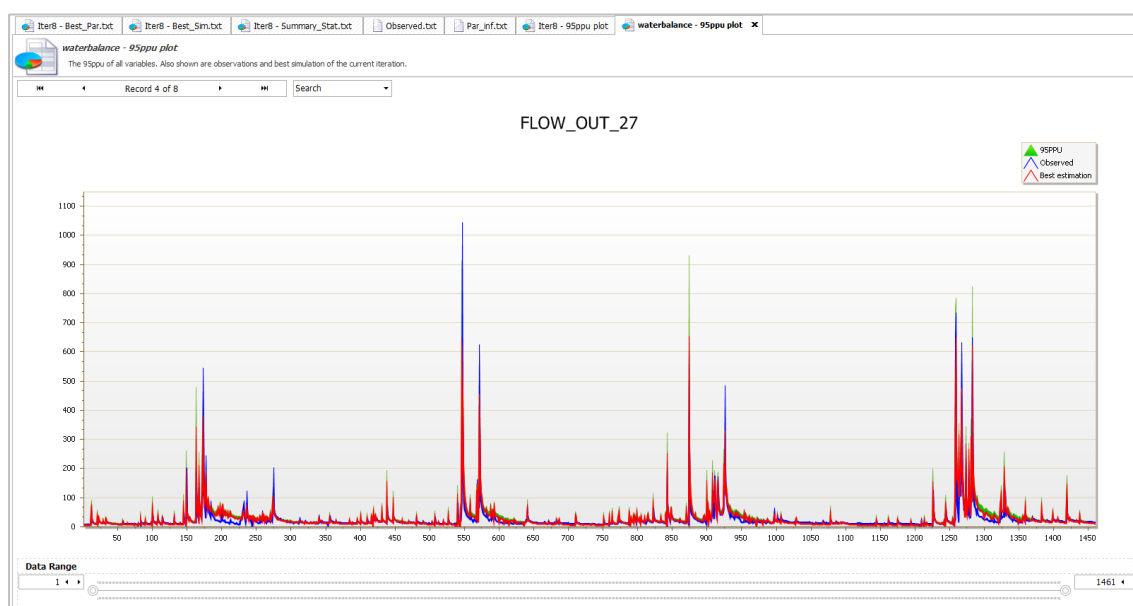


図 V-33 流量実測値と推測値の比較

8.2 キャリブレーションに必要なパラメータの選定

筑後川、矢部川流域を対象に、水収支、土砂、栄養塩の流出シミュレーションを大きく左右するパラメータを解析した（7.感度分析）。

8.3 パラメータ値

上記作業で選定されたシミュレーションに強い影響を及ぼすとして選出されたパラメータについて、入力値を決定した。それらの値は、以下のプロセスを経て決定している。

- 1) 感度分析により算出されたベスト値（統計的に「最適」と判断されたパラメータの組み合わせにおける各パラメータの値）を参考に、菊池川モデルの最終ベスト値と照らし合わせて、キャリブレーションにかかるパラメータ値の幅を調整
- 2) キャリブレーションではなく、現地データに基づく値を設定することが妥当と思われるパラメータについては、現地調査等から得られた実測値あるいは既往文献値にもとづきパラメータ値の幅を調整
- 3) 再現精度が一定の基準以上となるまでキャリブレーションを繰り返した。

パラメータの変化のさせ方として主に2つの方法（Relative, Replace）があり、パラメータの特性によって使い分けた。HRUごとに異なる値がデフォルトで既に設定されているパラメータ（CN2, SOL_K など）については既定値から相対的に変化させ（Relative）、その他のパラメータは全てのHRUで一律に特定の値で置き換える（Replace）方法を用いた。

筑後川、矢部川における水収支、土壌、栄養塩の各パラメータに適用した値は次のとおりある。参考値として、「菊池川森林」欄には、昨年度までに構築した菊池川モデルの値を記している。

【水収支】

表 V-62 水収支に係るパラメータと入力値（筑後川）

順位	パラメータ名	菊池川森林 (最終値)	筑後川	
			指定幅	R2 最終値
1	v__ALPHA_BF.gw (地下水流出量の決定ファクター)	0.655	0.625～0.876	0.678463
2	v__CH_K2.rte (Main Channel Alluvium の飽和透水係数)	143	0.00～137.76	46.42579
3	v__OV_N.hru__FRST (地表面のマニング N(粗度係数) (森林))	0.4422	0.01～3.00	0.69471
	v__OV_N.hru__AGRL (農地))	-	0.01～1.00	0.90991
	v__OV_N.hru__RICE (水田))	-	0.01～0.50	0.44757
4	v__CH_N2.rte (Main Channel のマニングの N (粗度係数))	0.202	0.00～0.10	0.008687
5	r__SOL_K().sol (土壌の飽和透水係数)	96 - 653 (森林)	-0.85～0.55	-0.787
6	v__EPCO.hru (植物の吸水の補償係数。深層からの吸水)	0.918	0.339～0.90	0.489909
7	v__CANMX.hru__FRST (樹冠最大貯留量。樹冠貯留量の最大値)	26.1	26.0～36.9	35.77730
8	v__T_BASE{1,4,6,28,33,82,83}.plant.dat (植物の成長に必要な最低気温)	8.05	5.0～10.0	6.085
9	v__SURLAG.bsn (表面流の流出遅延度合い)	1.19365	1.0～10.0	9.523
10	v__BLAI{1,4,6,28,33,82,83}.plant.dat (葉面積指数の最大値)	5.7	2.969～5.125	3.428228
11	v__CHTMX{1,4,6,28,33,82,83}.plant.dat (最大樹冠高)	43	22.0～32.0	25.23
12	v__FRGRW2{1,4,6,28,33,82,83}.plant.dat (最大葉面積発達曲線上の第 2 点植物成長度)	0.25	0.32～0.47	0.43625
13	v__ESCO.hru (土壌からの蒸発ファクター)	0.412536	0.333～0.90	0.552429
14	r__SOL_AWC().sol (有効水分)	0.14 - 0.36	-0.095～0.95	0.790115
15	r__CN2.mgt (CN 法で表面流出量を計算する際のパラメータ)	26 - 58 (森林)	-0.091～0.01	-0.023229
16	v__VPDFR{1,4,6,28,33,82,83}.plant.dat (気孔コンダクタンス曲線上の第 2 点上の飽差)	4	1.7～4.0	3.1559
17	v__REVAPMN.gw (毛管上昇が生じる浅層地下水の閾値)	486.5	250～450	431.3999
18	r__SLSUBBSN.hru__FRST (平均斜面長)	-	0.446～1.00	0.901942
19	r__HRU_SLP.hru__FRST (平均斜面傾斜)	-	-0.674～-0.016	-0.087722

注 1：順位 No 1～No17 は、感度分析で選出されたパラメータ。

注 2：No18,19：菊池川流域の知見から特に影響を及ぼすパラメータとして設定した。

注 3：No3：流域の土地利用を考慮し、森林、農地、水田に分けて値を入力した。

注 4：No3,8,4,11：既往文献または現地データ等に基づき指定幅を設定したパラメータ。

表 V-63 水収支に係るパラメータと入力値（矢部川）

順位	パラメータ名	菊池川森林 (最終値)	筑後川	
			指定幅	R2 最終値
1	V__CH_K2.rte (Main Channel Alluvium の飽和透水係数)		0～137.762	92.989349
2	R__SLSUBBSN.hru (平均斜面長)		0.446～1	0.819950
3	R__SOL_AWC(..).sol (有効水分)		-0.095～0.95	0.934325
4	V__SURLAG.bsn (表面流の流出遅延度合い)		2～19	18.915001

5	V__EPCO.hru (植物の吸水の補償係数。深層からの吸水。)		0.339～0.9	0.583035
6	V__BLAI{..}.plant.dat (葉面積指数の最大値)		2.969～5.125	4.639900
7	V__OV_N.hru (地表面のマニング N(粗度係数) (森林))		0.01～5	0.334350
8	V__REVAPMN.gw (毛管上昇が生じる浅層地下水の閾値)		50～380	272.75000
9	V__CHTMX{1,4,6,28,33,70,82}.plant.dat (最大樹冠高)		14～26.2	26.017000
10	R__CN2.mgt (CN 法で表面流出量を計算する際のパラメータ)		-0.091～0.01	-0.003635
11	V__VPDFR{1,4,6,28,33,70,82}.plant.dat (気孔コンダクタンス曲線上の第 2 点上の飽差)		1.709～4	2.751405
12	V__FRGRW2{1,4,6,28,33,70,82}.plant.dat (最大葉面積発達曲線上の第 2 点植物成長度)		0.32～0.47	0.349250
13	V__ESCO.hru (土壌からの蒸発ファクター)		0.333～0.9	0.511605
14	R__HRU_SLP.hru (平均斜面傾斜)		-0.674～-0.016	-0.354870
15	V__CANMX.hru (樹冠最大貯留量。樹冠貯留量の最大値)		26～36.9	36.300503
16	V__T_BASE{1,4,6,28,33,70,82}.plant.dat (植物の成長に必要な最低気温)		5.28～11.44	8.021200
17	R__SOL_K(..).sol (土壌の飽和透水係数)		-0.85～0.55	0.081000
18	V__ALPHA_BF.gw (地下水流出力の決定ファクター)		0.625～0.876	0.862195
19	V__CH_N2.rte (Main Channel のマニングの N (粗度係数))		0～0.119	0.056525

注 1 : No7,9,16,19 : 既往文献または現地データ等に基づき指定幅を設定したパラメータ。

【土砂】

表 V-64 土砂に係るパラメータと入力値 (筑後川)

順位	パラメータ名	菊池川森林 (最終値)	筑後川	
			指定幅	R2 最終値
1	USLE_P 畑(傾斜 0-20) (USLE 式の人為活動に関するファクター)	0.53	0.58～0.66	0.6265
	USLE_P 畑 (傾斜 20-)	0.74	0.64～0.74	0.69425
	USLE_P 田(傾斜 0-20)	0.4	0.4～0.46	0.43565
	USLE_P 田 (傾斜 20-)	0.854	0.8～0.85	0.8227
2	CH_COV1 (河川の浸食されやすさ)	0.0215	-0.03～0.03	-0.00435
3	USLE_C (森林) (土地被覆に由来する土砂流出ファクターの最小値)	0.015	0.017～0.022	0.0194
	USLE_C (田)	0.093	0.095～0.098	0.097325
4	CH_COV2 (河川の被覆係数)	0.19	0.4～0.7	0.5575
5	ADJ_PKR (ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数 (支流域))	1.345	0.5～0.55	0.398
6	LAT_SED (側方流および地下水流中の土砂濃度)	0.00181	0.0013～0.0025	0.00189
7	SPEXP (沈着した懸濁物質の再浮遊指数)	1.18	1.17～1.31	1.245
8	SPCON (沈着した懸濁物質の再浮遊係数)	0.0055	0.0001～0.009	0.00851
9	PRF_BSN (ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数 (基幹河川))	0.591	0.35～0.85	0.6065

注 : UELE_K は既往文献または現地データ等に基づき指定幅を設定した。

表 V-65 土砂に係るパラメータと入力値（矢部川）

順位	パラメータ名	矢部川	
		指定幅：暫定	今回使用値
1	USLE_C _{6} （土地被覆に由来する土砂流出ファクターの最小値）	0.001～0.3	0.011465
	USLE_C _{33}	0.001～0.3	0.151995
2	SPEXP（沈着した懸濁物質の再浮遊指数）	0.85～1.3	1.20775
3	LAT_SED（側方流および地下水流中の土砂濃度）	0.001～2800	14.000996
4	PRF_BSN （ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数（基幹河川））	0.01～1.2	0.68235
5	CH_COV2（河川の被覆係数）	0.5～1	0.8775
6	CH_COV1（河川の浸食されやすさ）	-0.05～0.3	0.07075
7	SPCON 沈着した懸濁物質の再浮遊係数	0.005～0.01	0.006925
8	ADJ_PKR （ピーク流量が土砂流出量に与える影響の係数（支流域））	0.5～1.3	0.584
	USLE_P （畑（傾斜 0～20）USLE 式の人為活動に関するファクター）	0.01～0.5	0.17905
	USLE_P（畑（傾斜 20-））	0.01～0.5	0.36525
	USLE_P（田（傾斜 0～20））	0.01～0.5	0.18395
	USLE_P（田（傾斜 20-））	0.01～0.5	0.26235

注：UELE_K は既往文献または現地データ等に基づき指定幅を設定した。

【栄養塩】

表 V-66 栄養塩（リン）に係るパラメータと入力値（筑後川）

順位	パラメータ名	菊池川森林	筑後川	
		最終値	指定幅	今回使用値
1	BC4（有機リンを溶存態リンに無機化するための速度定数）	0.495	0.47～0.52	0.513
2	P_UPDIS（リン吸収の配分パラメータ）	20	10～30	21.5
3	PPERCO（リンの浸出係数）	12.6	12～14	13.1
4	PHOSKD （リンの土壌によるパーテーション化係数）	160.5	133～160	149.2
5	PSP（リンの利用可能性指数）	0.209	0.3～0.7	0.634
6	RS5（リン吸収の配分パラメータ）	0.081	0.084～0.093	0.09

表 V-67 栄養塩（窒素）に係るパラメータと入力値（筑後川）

順位	パラメータ名	菊池川森林	筑後川	
		最終値	指定幅	今回使用値
1	CDN（有機 N の無機化速度）	0.0031	0.002～0.003	0.00204
2	RSDCO（植物残渣の分解係数）	0.075	0.018～0.032	0.028
3	SDNCO（脱窒作用の起こる閾値となる水分含有率）	0.999	0.9～0.99	0.964
4	N_UPDIS（窒素吸収の配分パラメータ）	10.05	10～30	17.57
5	RS4（河川内で有機体 N が沈着する割合定数）	0.089	0.081～0.087	0.0813
6	BC2（河川内で NO ₂ が NO ₃ へ生物学的酸化される割合定数）	0.99	0.94～0.99	0.966
7	BC1（河川内で NH ₄ が NO ₂ へ生物学的酸化される割合定数）	0.825	0.82～0.86	0.856
8	LAT_ORGN（森林） （基底流中の有機態窒素濃度）	-0.729	-1.02～-0.81	-0.913
	LAT_ORGN（田）（相対変化）	-0.28	-0.13～0.22	-0.151
	LAT_ORGN（畑）	-0.53	0.59～0.77	-0.617
9	SHALLST_N（森林）	-0.933	-0.9～-0.75	-0.872

	(河川へ流出する地下水中の NO3 濃度)			
	SHALLST_N (田) (相対変化)	-0.12	0.9~3	-2.21
	SHALLST_N (畑)	-0.87	0.55~0.79	-0.66
10	ERORGN (有機態 N の濃縮率)	1.85	0.01~0.65	0.18
11	NPERCO (窒素の浸出係数)	0.99	0.5~0.7	0.55
12	CMN (脱窒作用の指数係数)	0.0017	0.001~0.003	0.0012
13	BC3 (河川内で N が NH4 へ加水反応する割合定数)	0.335	0.31~0.34	0.323

表 V-68 栄養塩に係るパラメータと入力値 (矢部川)

順位	パラメータ名	矢部川	矢部川
		指定幅：暫定	今回使用値
1	V__P_UPDIS.bsn (リン吸収の配分パラメータ(吸収リンの分布パラメータ))	30~90	51.299999
2	V__SOL_ORGP(..).chm (土壌層の有機態リン初期値)		現地データ より入力
3	V__CMN.bsn (脱窒作用の指数係数 (活性有機窒素の腐植鉱 化作用の速度因子))	0.8~2.5	1.4545
4	V__ERORGN.hru (有機態 N の濃縮率)	0.01~3.1	1.47775
5	V__RS5.swq (有機 P の沈殿率(河川温度 20℃の時))	0.035~0.1	0.069775
6	V__LAT_ORGN.gw (基底流中の有機態窒素濃度)		-0.9700 0.2300
7	V__RSDCO.bsn (植物残渣の分解係数)	0.02~0.06	0.023
8	V__N_UPDIS.bsn (窒素吸収の配分パラメータ (吸収チッソ の分布パラメータ))	36~100	56.16
9	V__BC2.swq (河川内(20℃)で NO2 が NO3 へ生物学的酸化さ れる割合定数)	0.47~1.49	0.6791
10	V__BC4.swq (有機リンを溶存態リンに無機化するための速 度定数(河川温度 20℃の時))	0.01~0.36	0.11325
11	V__GWSOLP.gw (支流から河川に流出する地下水に含ま れる溶存態リン濃度)		現地データ より入力
12	V__SHALLST_N.gw (河川へ流出する地下水中の NO3 濃度)	-1~1	-0.7700 0.1100
13	V__SOL_LABP(..).chm (土壌層における溶存態リンの初期値)		現地データ より入力
14	V__PSP.bsn (リンの利用可能性指数)	0.22~0.65	0.38985
15	V__RS4.swq (河川内(20℃)で有機体 N が沈着する割合定数)	0.015~0.072	0.056325
16	V__PHOSKD.bsn (リンの土壌によるパーテーション化係数)	102~167	145.224991
17	V__SDNCO.bsn (脱窒作用の起こる閾値となる水分含有率)	0.02~0.67	0.13375
18	V__BC3.swq (河川内(20℃)で N が NH4 へ加水反応する割合定数)	0.15~0.32	0.16615
19	V__BC1.swq (河川内(20℃)で NH4 が NO2 へ生物学的酸化さ れる割合定数)	0.11~0.7	0.20735
20	V__CDN.bsn (有機 N または P の無機化速度(脱窒化作用の 指数速度係数))	0.001~0.002	0.001715
21	V__PPERCO.bsn (リンの浸出係数)	11.7~15.5	14.265
22	V__NPERCO.bsn 窒素の浸出係数 (チッソの浸透係数)	0.48~1	0.5346
23	V__LAT_ORGP.gw (基底流中の有機態窒素濃度)		現地データ より入力
24	V__SOL_ORGN(..).chm (土壌層の有機態窒素初期値)		

8.4 対象期間

キャリブレーションおよびバリデーションの期間は、次表のとおりである。

表 V-69 キャリブレーション・バリデーションの対象期間

区分	期間	年数	備考
シミュレーション期間	2008/1/1～2018/12/31	12 年間	ウォームアップ 期間を含む
ウォームアップ期間	2008/1/1～2009/12/31	2 年間	
キャリブレーション期間	2010/1/1～2014/12/31	5 年間	
バリデーション期間	2015/1/1～2018/12/31	4 年間	

9. SWAT モデル シミュレーションによる推定結果

9.1 筑後川の水収支

(1) 流出パターンおよび出水イベント時のハイドログラフ

筑後川モデルの最下流地点である瀬ノ下流量観測地点における流出パターンを図 V-34 に示す。同図からは、キャリブレーションの結果、全シミュレーション期間を通じて概ね実測値に近い推定値を算出できたことが分かる。全期間を俯瞰して実測値と推定値に差が見られるのは、2,000 m³/s を超える出水時に限られている。

次に、この出水時の流出パターンをより詳細に確認するため、2012 年および 2016 年の多雨期（梅雨～夏：6 月～7 月末）に注目した流出パターンを示した（図 V-35）。同図に見られるとおり、各出水時を拡大した場合、出水時のピーク流量が実測値に比べ推定値で低めの傾向を示すことが確認できる。また 2012 年 6 月 24 日、2018 年 7 月 18 日前後の流量が示すように、ピーク流量の発生のタイミングが実測値と推定値でややずれる現象も時折発生している。

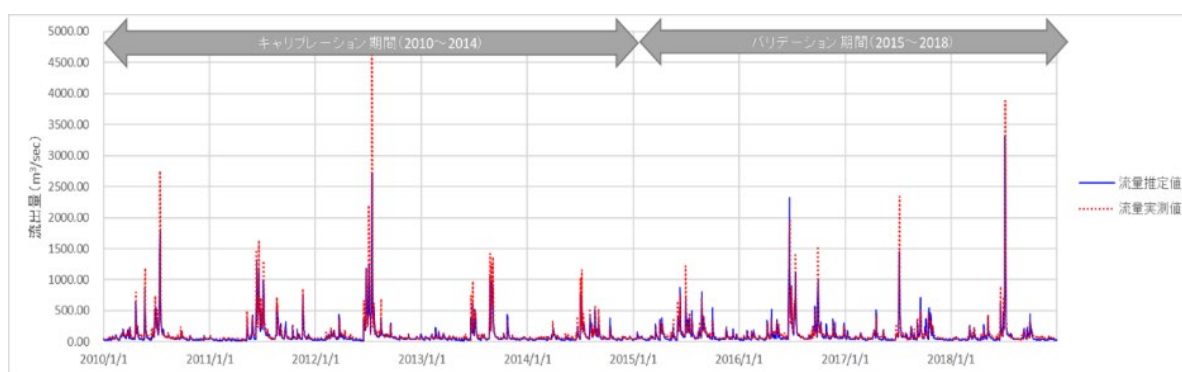
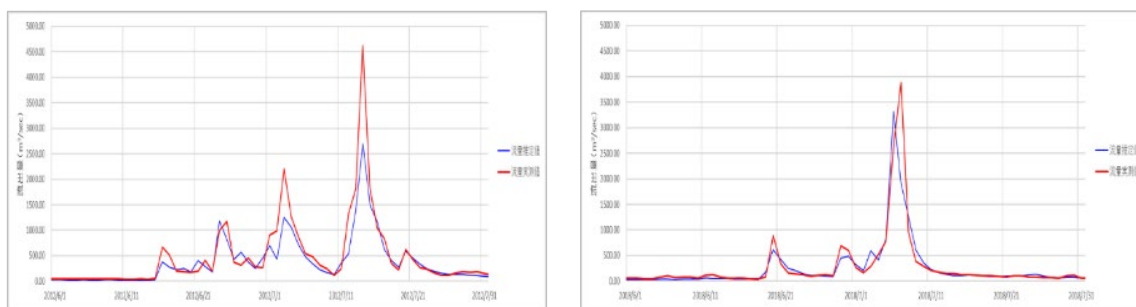


図 V-34 筑後川の水の流出パターン（実数グラフ）



2012/6/1～7/31

2018/6/1～7/31

図 V-35 筑後川の水の流出パターン（2012 年、2018 年の出水時）

次に、出水時及び低水時の流量に着目するため、縦軸を対数で表したグラフを作成した（図 V-36）。出水時の傾向は既述のとおりだが、低水時についても出水時同様実測値に比べ推定値がやや過小に表現される傾向が見られた。

この事象の原因を確認するため、モデル構築のプロセスをさかのぼって比較することとした。まず、現地データ等を未入力の場合の構築直後のモデルと現地データ等を入力した後のモデルのそれぞれについて流出パターンのグラフを作成し、比較した（図 V-37）。モデル構築直後の流出グラフは上下に大きな振幅を描く。そこに現地観測データ、耕作シナリオ、ダム、河川幅、ポイントソース等を入力すると推定値は実測値に大きく近づく。但し、この段階では、出水時のピーク流量で実測値と推定値の間でまだ差が大きい。その後、パラメータを入力すると出水時のピーク推定量が実測値に近づくが、同時に推定値の振幅が強調され、低水時の推定量がより下方に振られ実測値に比べ低く抑えられたと推定できる。

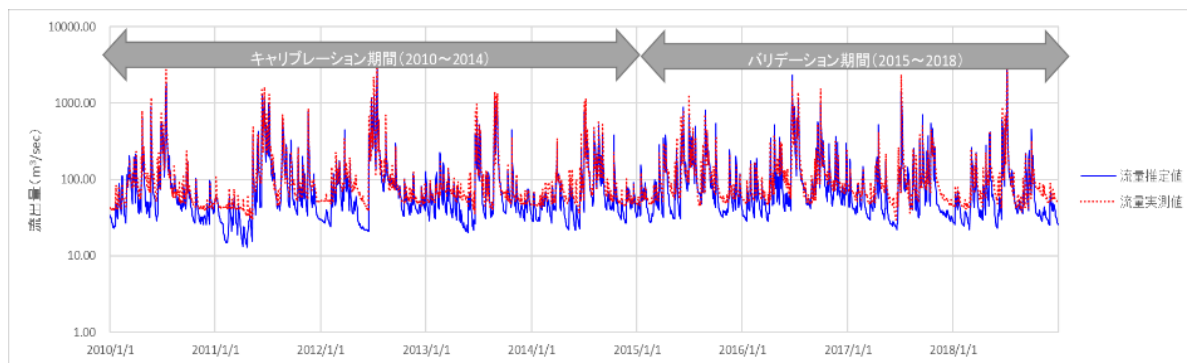


図 V-36 筑後川の水の流出パターン（対数グラフ）

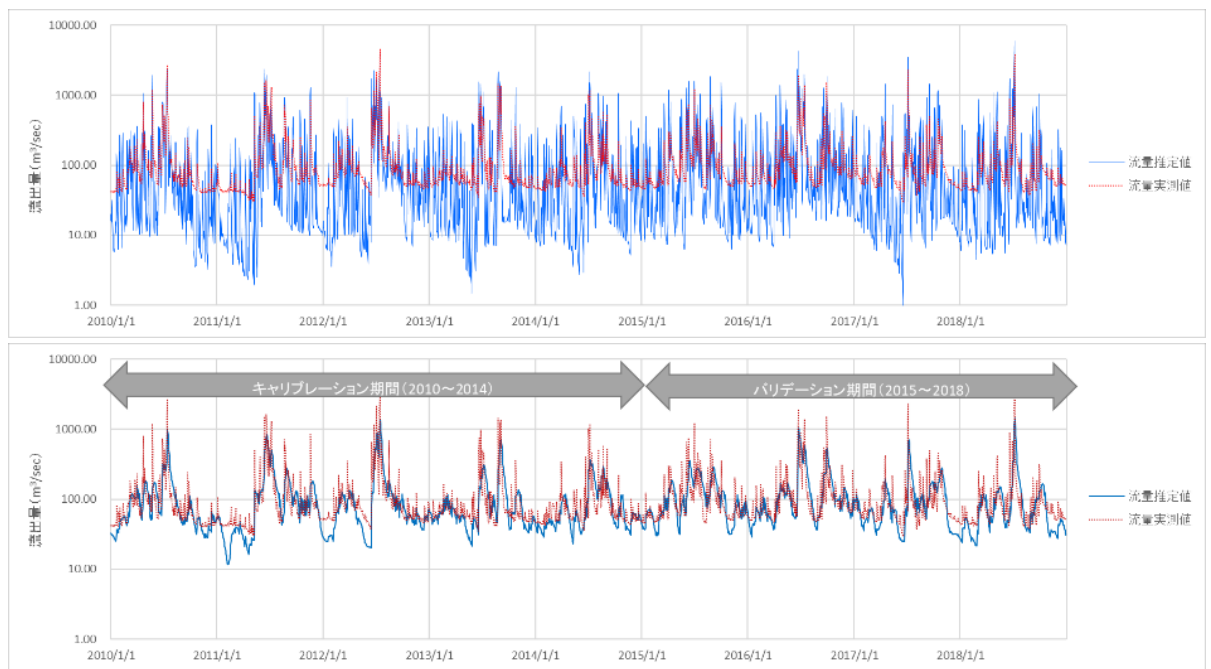


図 V-37 筑後川の水の流出パターン（対数グラフ）
（上：モデル構築時、下：現地データ等入力終了時）

流出パターンを確認することで明らかになった課題と対策については、V.9.1（6）であらためて整理することとする。

（２） 再現精度

図 V-38 に水流出量の実測値と推定値を比較した散布図を示す。これによると、推定値が直線状に位置していることから推定値はほぼ実測値に近い形で算出できたことが分かる。また表 V-70 に示すとおり、筑後川モデルの水流出量の再現精度は、3 指標とも高い評価結果を得た。

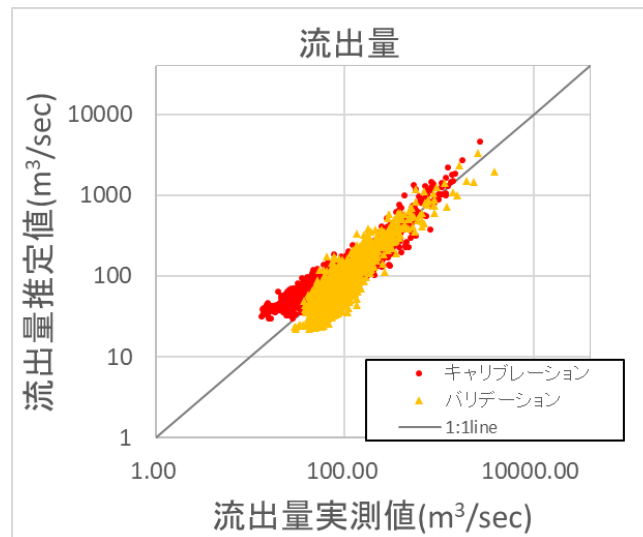


図 V-38 水流出量の実測値と推定値の比較

表 V-70 水流出量の再現精度（筑後川・瀬ノ下）

評価指標	キャリブレーション	バリデーション
RSR	0.374 (vg)	0.427(vg)
NSE	0.860 (vg)	0.817(vg)
PBIAS	14.347 (g)	7.281(vg)

（３） 流域の水収支（既存値との比較）

筑後川流域モデルの水収支推定結果を既存の資料と比較する（図 V-39、表 V-71）。表 V-71 は、筑後川流域モデルの水収支推定結果と福岡市の過去（1999 年）の水収支推定結果とを比較したものである。福岡市は、「福岡市水循環型都市づくり基本構想」（2006 年、福岡市）の中で、1955 年（昭和 30 年）と 1999 年（平成 10 年）を対象として、土地利用別にタンクモデルを用いて降水量（気象データ）と蒸発散量（推定値）から地下浸透量および表面流出量を算出し、都市化が水循環にあたる影響を分析している⁷。

まず、蒸発散量は、筑後川モデル、福岡市推定値とも降水量に占める割合は 30%代前半で、両者はほぼ同じ割合となった。実数で見れば、筑後川モデルは蒸発散量約 770 mm/年、福岡県実測値は 860 mm/年でこちらも概ね近い値である。

次に、地表から表層土壌の水の動きをみると、筑後川モデルの表面流出量（19%）と側方流（33%）を合わせた流量は約 52%である。福岡市は表面流出量（46%）と下水放流量（23%）の合計が約 68%であり、福岡市の方が多くなっている。福岡市の土地利用（図 V-40 図）は森林が約 33%、住宅地や工業地、公園道路などの市街地域が約 50%を占める（図 V-40）。一方、筑後川流域全体では森林率が約 56%と福岡市に比べて大きく、宅地等は約 20%程度である。このため福岡市は市街等からの表面流出量と下水放流量が多くなると考えられ、筑後川流域の地表～表層土壌の流量値が福岡市に比べて小さいことは、土地利用上の特性を示しているものと考えられる。

⁷ 福岡市水循環型都市づくり基本構想, 2006 年, 福岡市, p15-16