

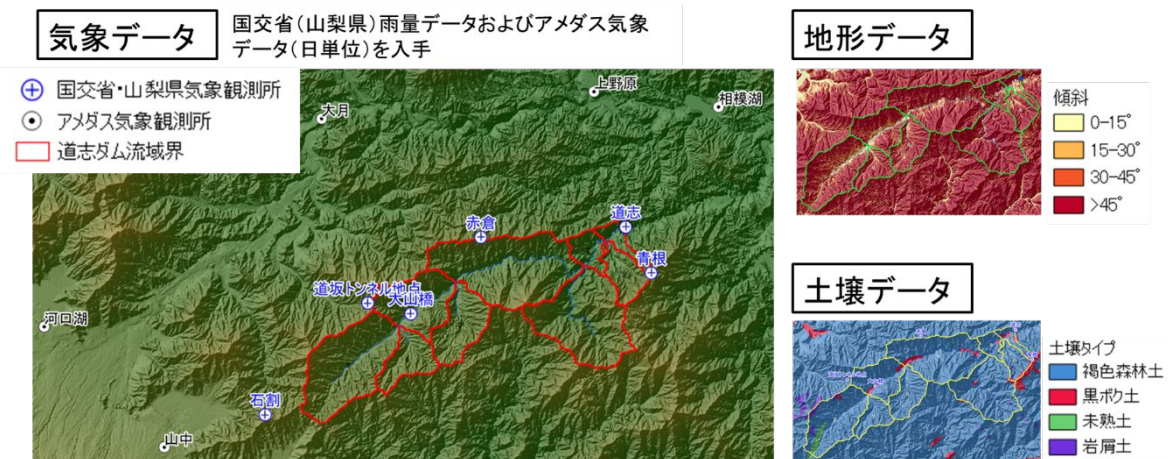


図 3-39 道志川ダム上流域の SWAT モデルインプット用データ

2) ダム流入量データ

1955 年とダム竣工年が比較的古い道志ダムにおいては、1970 年以降のダム流入量データの入手が可能であった。気象および流入量データは、時間単位で入手済みであるため、次年度以降、時間解析モデルの構築にも適用が可能である。

3) 森林簿データ

道志ダム上流域は、山梨県と神奈川県にまたがるが、両県の森林簿を入手することができた。ただし、図 3-40 に示すとおり、山梨県の約半分（青色部分）において、森林簿データの欠損がみられた。これは、山梨県によると、当該エリアの森林所有者が山梨県ではないことから、詳細な森林情報を県として保有していないことや、データの管理上の事情によるとのことである。

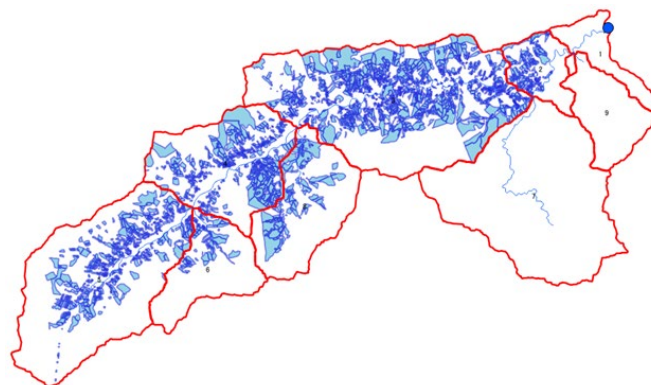


図 3-40 山梨県森林簿のデータ欠損部分（青色）

そこで、林分情報がないところは環境省の植生図で補完することとした。その際、植生図の植生タイプを、以下のとおり、置換えて、林相区分図を作成することとした。

- ・ 樹種：「人工林」 → 「その他針葉樹」
- ・ 林齢：記載なし → 「40～50 年生」
- ・ 密度：記載なし → 「中」

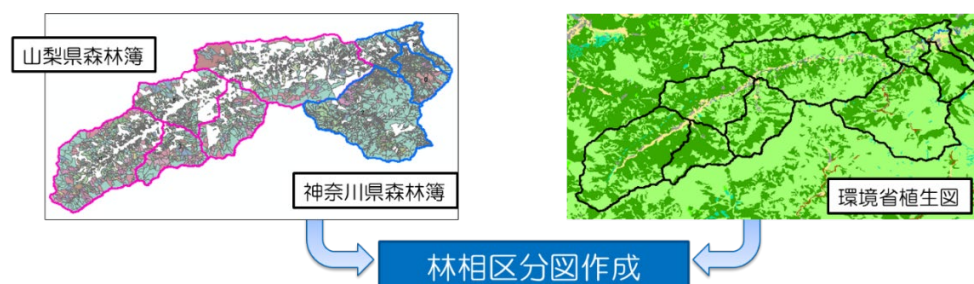


図 3-41 林相区分図の作成

作成した道志ダム上流域の林相区分図を図 3-42 に、林相区分別の面積割合を図 3-43 に示す。

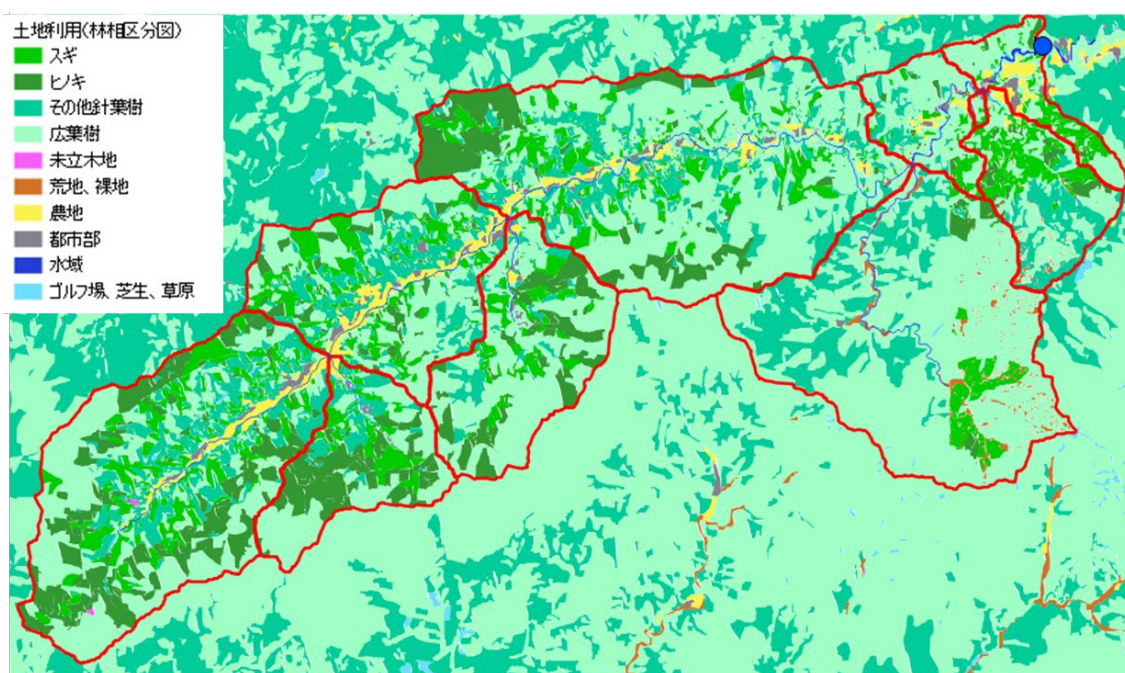


図 3-42 道志ダム上流域の林相区分図

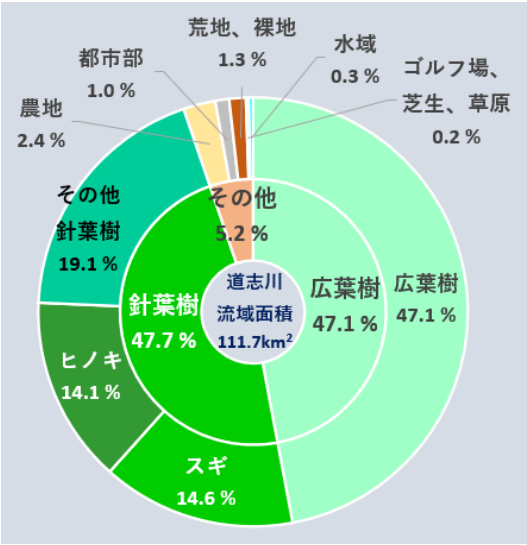


図 3-43 道志ダム上流域の林相区分別面積割合

図 3-43 より、道志ダム上流域では、針葉樹と広葉樹が同程度に存在していることが分かる。針葉樹のうち、スギ、ヒノキの割合はそれぞれ 14.6%、14.1%となっているが、「その他針葉樹」は樹種が特定できないエリアであり、環境省植生図で植生タイプが「人工林」となっているため、スギやヒノキが存在している可能性は高く、それぞれの割合はもう少し高めと思われる。

表 3-23 道志ダム上流域の土地利用別面積割合

樹種区分	樹種別 面積割合 (%)	林齢区分	林齢別 面積割合 (%)	密度区分	密度別 面積割合 (%)
広葉樹	47.05	>20年生	46.94	中	46.94
		<20年生	0.11	中	0.11
樹種区分	樹種別 面積割合 (%)	林齢区分	林齢別 面積割合 (%)	密度区分	密度別 面積割合 (%)
ヒノキ	14.06	>50年生	6.62	中	5.42
				密	0.74
				疎	0.46
		40-50年生	2.53	中	1.63
				密	0.69
				疎	0.21
		20-30年生	0.57	中	0.57
				密	2.23
		30-40年生	3.74	中	1.39
				疎	0.12
		0-10年生	0.28	中	0.28
				密	0.24
		20-30年生	0.31	疎	0.07
				10-20年生	0.01

樹種区分	樹種別 面積割合 (%)	林齢区分	林齢別 面積割合 (%)	密度区分	密度別 面積割合 (%)
スギ	14.58	>50年生	9.15	密	7.51
				中	1.48
				疎	0.16
		40-50年生	2.80	密	1.58
				中	1.03
				疎	0.19
		30-40年生	2.55	密	1.64
				疎	0.66
				中	0.25
		0-10年生	0.04	中	0.04
密	0.02				
20-30年生	0.04	疎	0.02		
樹種区分	樹種別 面積割合 (%)	林齢区分	林齢別 面積割合 (%)	密度区分	密度別 面積割合 (%)
その他 針葉樹	19.08	40-50年生	16.18	中	16.17
				密	0.01
		>50年生	2.82	密	1.27
				中	1.27
				疎	0.28
				0-10年生	0.08

(3) 支流域の設定

道志ダム上流域モデルは、道志ダムを最下流地点として構築した。この最下流地点に

おける流出量の推計値が、入手済みのダム流入量データ（実測データ）と比較対象となる。支流域を細かく設定することも可能であるが、支流域が多すぎると以降の計算効率の低下を招くことに留意し、最終的には図 3-44 に示すとおり、9 つの支流域に調整した。

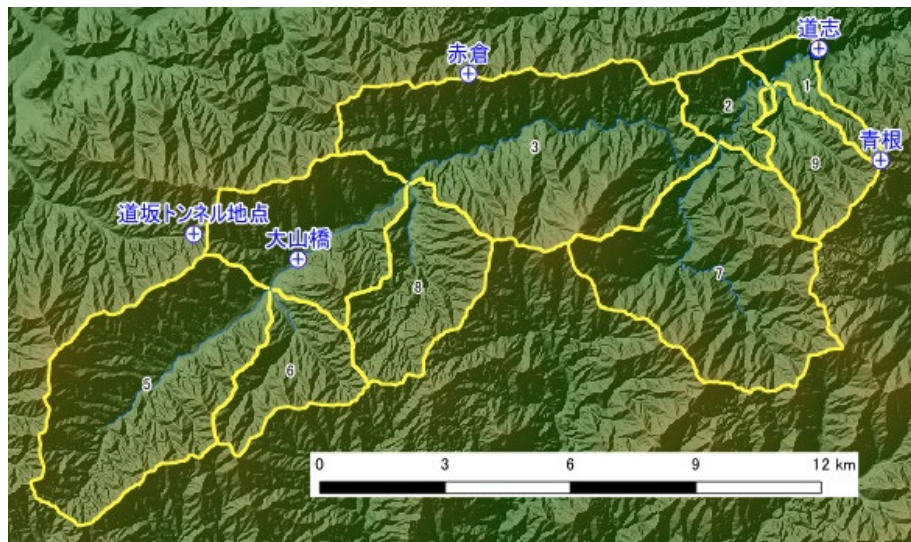


図 3-44 道志ダム上流域モデルにおける支流域設定

(4) HRU の作成

道志ダム上流域では、貝沢試験流域と同様、傾斜（勾配率）を $0\sim 15^\circ$ 、 $15\sim 30^\circ$ 、 $30\sim 45^\circ$ 、 45° 以上の 4 つに区分し、土地利用、土壌、傾斜の面積割合がそれぞれ 5% 以下の HRU を計算から除外することとした。最終的に 1,018 個の HRU を作成した。

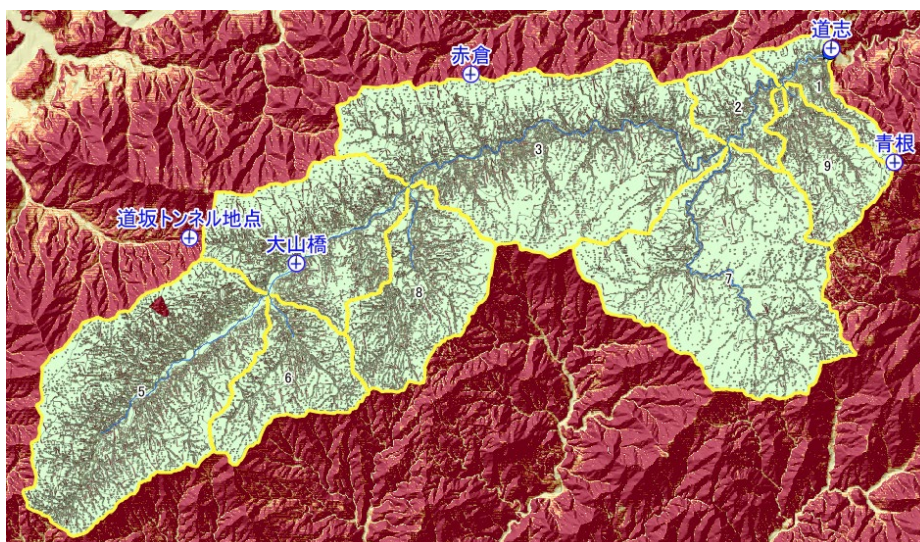


図 3-45 道志ダム上流域モデルにおける HRU 設定

(5) シミュレーション条件の設定

シミュレーションに用いる蒸発散計算方法にはペンマン・モンティース法、表面流の水文計算にはカーブナンバー法を選択した。シミュレーションの全期間は 2013 年 1 月 1 日から 2019 年 12 月 31 日だが、最初の 2 年間はモデルのウォームアップ期間とした。モデルのキャリブレーションおよびバリデーション期間は、次のとおり設定した。

キャリブレーション：2015 年 1 月 1 日から 2017 年 12 月 31 日

バリデーション：2018 年 1 月 1 日から 2019 年 12 月 31 日

蒸発散の計算方法は、使用する気象実測データの種類が多く、かつそれらの気象データが収集可能であったことからペンマン・モンティース法を選択した。表面流出の計算方法は、道志ダム水源域は、貝沢試験流域に比べ、流域の規模が大きく、必要な実測値のデータが限られていること、また作業の効率性の観点から今回はカーブナンバー法を選択した。

3.9. SWAT モデルシミュレーションによる推定結果

3.9.1. 対象パラメータと精度評価の指標（2 モデル共通）

（1） モデルキャリブレーション対象パラメータ

「3.8.3.（6）感度分析」で用いたものと同じパラメータをキャリブレーションにも使用した。ただし、LAI の最大値（BLAI）や最大樹冠貯留量（CANMX）等、一部既往の研究論文等により値が得られるパラメータや、気孔コンダクタンス曲線上の第 2 点上における最大気孔コンダクタンス割合（FRGNAX）や植物の吸水係数（EPCO）等、SWAT モデルのデフォルトまたは有明パラメータによる定数を与える方が妥当だと考えられるパラメータについては、それらの値を使用した。その際、樹種や林分密度も考慮するようにした。

（2） 精度評価の指標

キャリブレーション・バリデーションでの再現精度の評価方法として、Moriassi et al. (2007)²²では、流出モデルについて、RSR、NSE、PBIAS の 3 指標を使って評価することが推奨されている。以下にそれぞれの指標の概略について述べる。

- RSR (RMSE-observations standard deviation ratio)

観測値と予測値の RMSE（二乗平均平方根誤差）を観測値の標準偏差で割ったもの。0 に近いほど精度がよく、平水時と出水時のようなばらつきの大きい観測データを考慮した指標。

- NSE (Nash-Sutcliffe 効率係数)

流量のばらつきの大きさを考慮して流出モデルの精度を評価する指標。 $-\infty \sim 1$ の値をとり、0.7 以上であれば再現性が高いとされる。

- PBIAS

評価したデータの偏りを 100 分率で示したもの。PBIAS が 0 であれば偏りがなことを示し、正であればモデルが過小評価、負であれば過大評価となっている。

（RSR,NSE はばらつきを考慮することで、相対的にピークがあっているかどうかに関し、重きをおいた評価法と言える。一方、PBIAS は推定値全体に偏りがあるかどうかを評価している。）

²² Moriassi, Daniel N., et al. "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations." Transactions of the ASABE 50.3 (2007): 885-900.

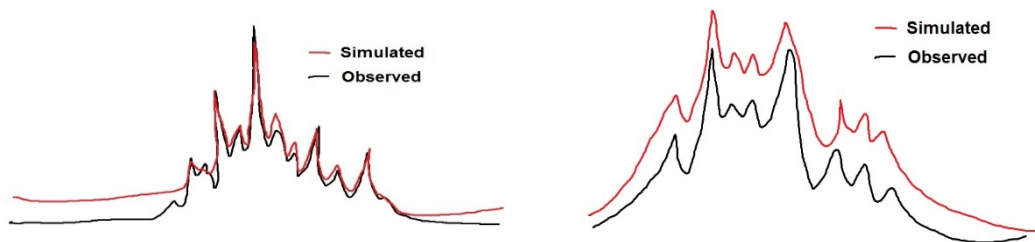


図 3-46 左：RSR・NSE の評価の仕方の模式図（ピークが一致しているかどうか）、
右：PBIAS の評価の仕方の模式図（全体的に偏りがいいか）
(Shrestha,2017 SWAT Calibration Helper v1.0 より引用)

これらの指標を用いて、表 3-24 の評価基準から、キャリブレーション期間・バリデーション期間それぞれにおいて再現精度が Very good、Good、Satisfactory、Unsatisfactory のどれに該当するか確認した。

表 3-24 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	$\text{RSR} > 0.70$	$\text{NSE} \leq 0.50$	$\text{PBIAS} \geq \pm 25$	$\text{PBIAS} \geq \pm 55$	$\text{PBIAS} \geq \pm 70$

3.9.2. 貝沢試験流域

(1) モデルキャリブレーションとバリデーション

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ような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値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い十分な精度が得られるまで繰り返す。

実際の作業では、感度分析と同様に専用ソフトウェアである SWAT-CUP²³を利用し、

²³ Abbaspour, Karim C. "SWAT-CUP 2012." SWAT Calibration and Uncertainty Program—A User

SUFI2 というプログラムによりパラメータの最適な組み合わせを選択した。シミュレーション回数は 300 回とした。

(2) 推定結果

1) 流出パターン

図 3-46 に、カーブナンバー法とグリーン&アンプト法のそれぞれにおいて、最下流の量水堰 4 におけるキャリブレーション期間（2013 年～2014）、バリデーション期間（2015 年）の水の流出量を推定した結果と実測値を示す。

