

3.8. SWAT モデル構築

3.8.1. 本事業における SWAT モデル構築計画

図 3-30 に、本事業における SWAT モデルの構築計画を示す。事業は 2～3 年程度継続するものと想定し、令和 3 年度の計画まで含めた。

「3.2 本事業における水源涵養機能の評価軸」で述べたとおり、本事業では、①水収支、②洪水緩和、③渇水緩和、④水資源貯留の 4 つの評価軸で水源涵養機能について評価することとしている。「評価軸」列に示した各機能の評価するためには、それに適したモデルを構築する必要がある。本調査においては、貝沢試験流域、道志ダム流域において、出力の時間単位の異なるモデルや現代と過去を比較するモデル等、複数モデルを構築する。なお、図中のピンク色で示した項目が構築予定としたモデルである。

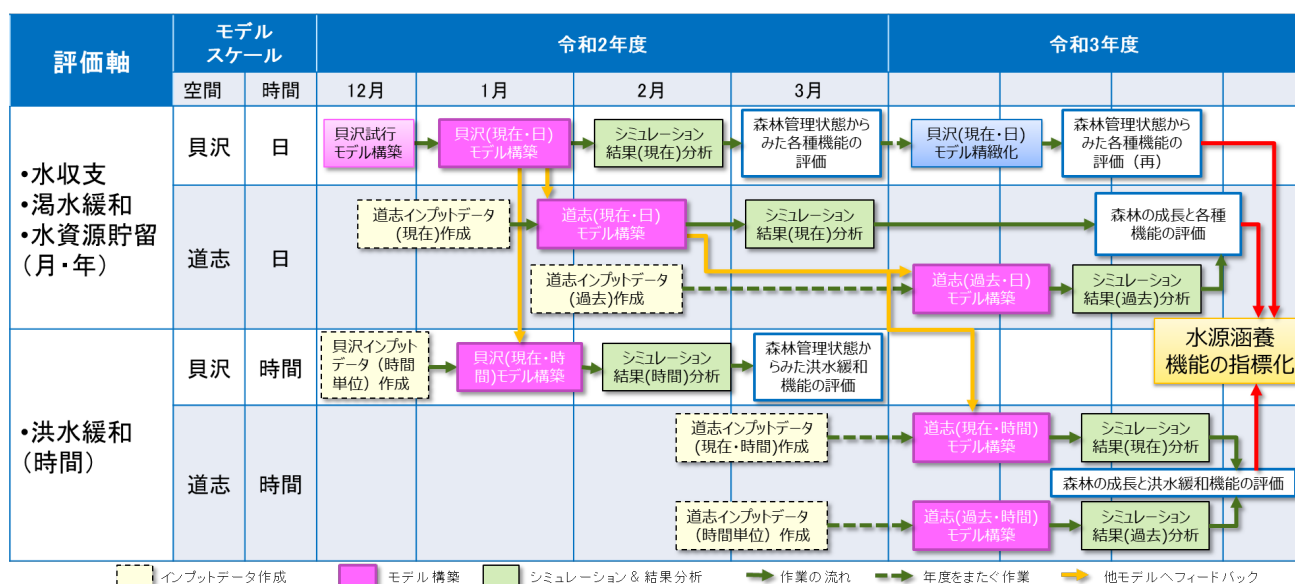


図 3-30 本事業における SWAT モデルの構築計画

3.8.2. 今年度の SWAT モデル解析フロー

今年度は、貝沢試験流域及び道志ダム上流域の 2 流域において、日単位の SWAT モデルをそれぞれ構築し、流域全体の年別水収支や、森林の状態（林相区分）別水収支を把握するとともに、出水時の流出特性について、簡易的な分析を行うこととした。

両モデルの構築にあたり、科学的に妥当性の高いモデルを効率よく構築するため、有明パラメータを初期値として用いることとした。

また、モデル小流域である貝沢試験流域モデルを先行で構築することにより、そこで得られた感度分析やキャリブレーション等に関する知見を、道志ダム上流域モデルに展開していくことで、作業の合理化を図った（図 3-31）。

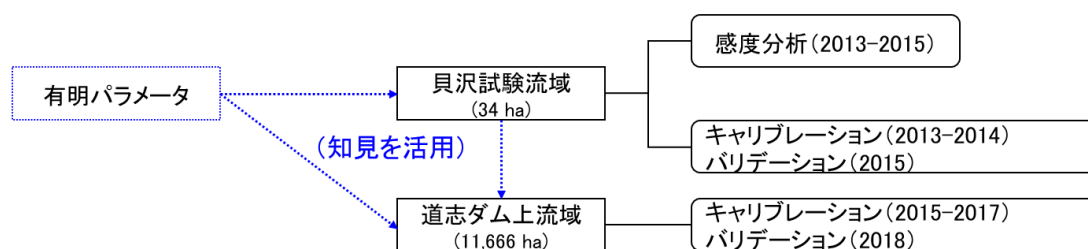


図 3-31 本事業におけるモデル構築の流れ

表 3-20 本事業で使用した主要な有明パラメータ

パラメータ	幼齢林	若齢林	成熟林	広葉樹
BLAI	3.85	9.04	7.55	7.14
GSI	0.00985			
CANMX	19.1	42.2	26.1	20.7
ESCO	0.41			
CHTMX	21.2	33.9	43.0	19.7
SOL_K1	254	369	796	977
SOL_K2	268	385	831	1020
SOL_K3	260	380	819	1005
PHU	2000			
FRGMAX	0.75			
EPCO	0.918			
SOL_ALB1,2,3	0.01			
REVAPMIN	486.5			
GW_REVAP	0.515			

3.8.3. 貝沢試験流域モデルの構築

(1) 貝沢試験流域の概要

貝沢試験流域は、相模川水系相模川上流、神奈川県相模原市緑区与瀬に位置する神奈川県の現地実証型モニタリング調査の試験流域の 1 つである。平成 22（2010）年から、神奈川県によって、水文・気象観測が開始され、水源林の施業の効果や影響等の検証が行われている。試験流域は 3 つの小流域とそれらを含む流域で構成されており、標高は 363～556m である。



図 3-32 貝沢試験流域植生状況（平成 21 年撮影）と気象観測装置（平成 24 年撮影）¹⁶

¹⁶ 神奈川県自然保全センター報告第 10 号（平成 25 年）

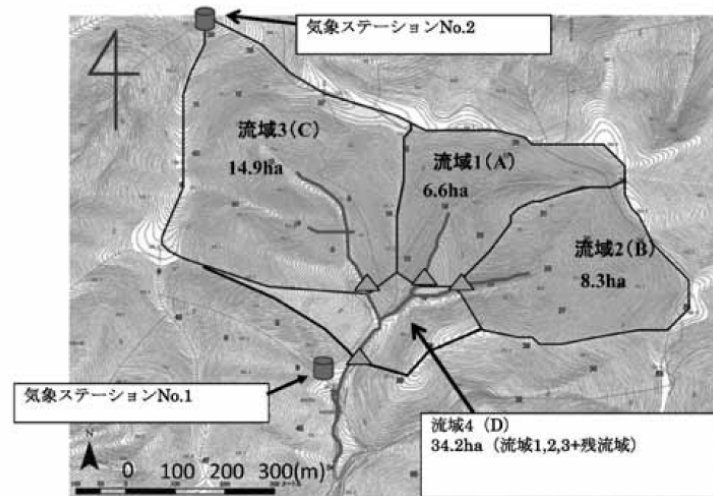


図 3-33 貝沢試験流域の量水堰と気象ステーションの位置

(2) 各種インプットデータの準備

1) DEM データ

貝沢試験流域の地形データは、神奈川県自然環境保全センターから提供された 1m メッシュの DEM データを 5m メッシュに変換して使用した。

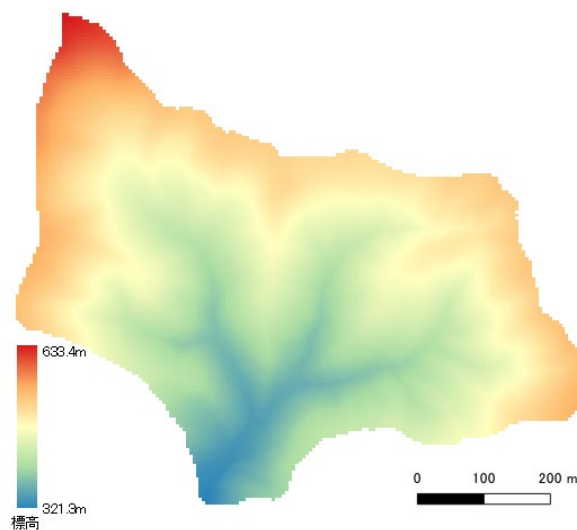


図 3-34 貝沢試験流域の DEM データ

2) 土地利用データ

林相区分図の作成についての基本的な考え方は 3.6.3 で述べたとおりである。貝沢試験流域では、林相区分図で分類した林相区分のうち、表 3-21 に示す 10 種類の林分が存在した。このうち、ヒノキ (0~20 年生) 中とヒノキ (40 年生以上) 中については、面積が非常に小さいため、SWAT モデルの設定により計算からは除外した。残りの 8 種類の

林分については、まずはモデルを構築するためそれぞれに相当だと考えられる有明パラメータを初期値として設定し、解析を行った。

表 3-21 貝沢試験流域の林相区分と適用する有明パラメータ

コード	区分	解析の有無	適用する有明パラメータ
1101	スギ(0-20 年生)疎	○	幼齡林
1141	スギ(40 年生以上)疎	○	成熟林
1142	スギ(40 年生以上)中	○	成熟林
1201	ヒノキ(0-20 年生)疎	○	幼齡林
1202	ヒノキ(0-20 年生)中	×	-
1231	ヒノキ(30-40 年生)疎	○	若齡林
1241	ヒノキ(40 年生以上)疎	○	成熟林
1242	ヒノキ(40 年生以上)中	○	成熟林
1243	ヒノキ(40 年生以上)密	×	-
2129	広葉樹(20 年生以上)密	○	広葉樹

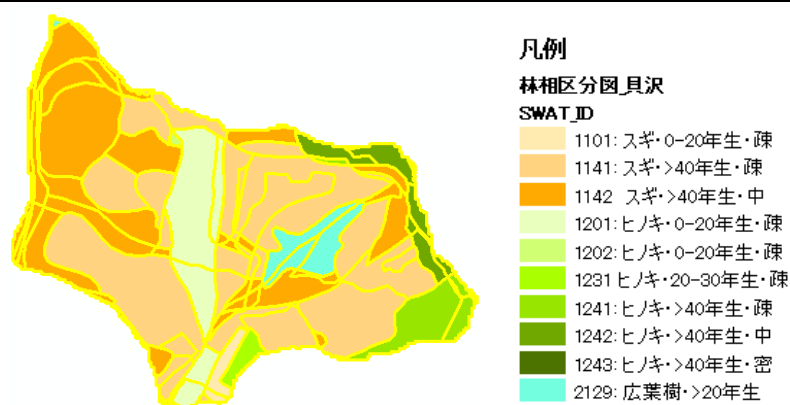


図 3-35 貝沢試験流域の林相区分図

3) 土壌データ

国土調査（土地分類調査・水調査）（国土交通省）¹⁷の 20 万分の 1 土地分類基本調査のうち、神奈川県土壌分類 GIS データをダウンロードしたところ、貝沢試験流域の土壌は全て褐色森林土であった。SWAT モデルの参照データベースには、透水性や土性、有効水分量といった土壌物性に関するパラメータが含まれるが、褐色森林土のような日本特有の土壌についてはそれらの情報が存在しない。そのため、これについても有明パラメータを参照して、データベースへの情報追加を行った。また、神奈川県自然環境保全センターから提供された土層厚のデータから、土壌を土層厚によって 3 タイプ（1.0m、1.5m、3.0m）に分類して使用した。

¹⁷ <https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>

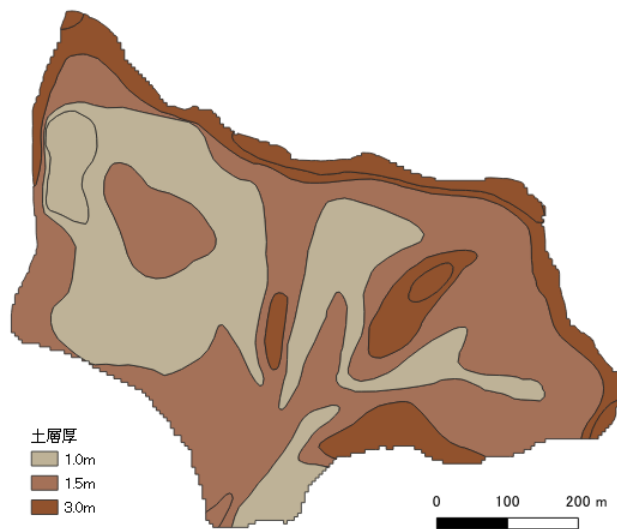


図 3-36 貝沢試験流域の土壌データ

4) 気象データ

SWAT モデル構築に必要な気象データは次のとおりである。

- 降水量 (mm)
- 各気象観測所の緯度経度、標高 (m)
- 最高気温、最低気温 (°C)
- 風速 (m/s)
- 相対湿度 (%)
- 日射量 (MJ/m²)

貝沢試験流域の気象データは、神奈川県自然環境保全センターから提供された流域内の 2 地点で観測された気象観測データを用いた。ただし降水量については、白木ら (2020)¹⁸にしたがい、貝沢試験流域に設置した雨量計が長期にわたり不調であったため、南南東に約 2 km 離れたアメダス相模湖 (北緯 35°37'、東経 138°12'、標高 188m) で観測された降水量の 1.05 倍を貝沢試験流域の降水量として用いた。

5) 流量データ

神奈川県自然環境保全センターから提供された貝沢試験流域内の 4 つの量水堰で観測された 2013 年 1 月 1 日から 2014 年 12 月 31 日までの流量観測データを用いた。キャリブレーションを行う際は、最下流点である量水堰 4 の実測値と推定値の出力結果が近づくように重みづけの設定を行った。

¹⁸ 白木 克繁・金澤 悠花・工藤 司・片岡 宏介・ウジムセ・内山 佳美”簡易架線集材による森林整備が流出浮遊土砂量と流域流出量に与える影響”水文・水資源学会誌 33.2 (2020) 47-55

(3) 支流域の設定

SWAT モデルでは河川形状を特定する必要があるが、今回は DEM データから自動的に判読された河川データを使用した。その際、集水域の閾値（一定のセル数以上、または面積以上）を設定することによって河川の規模を設定することができるが、今回は任意の操作なしで SWAT モデルが自動的に算出した最小面積が 0.02km^2 以上を適用した。続いて、実測値と比較できるように、流量の観測実施地点に流出点を設定し、最後に支流域が多すぎると以降の計算効率が悪くなってしまうため、SWAT モデル上で支流域の結合を行い、SWAT 上のシステムで、最終的に 6 の支流域を作成した。

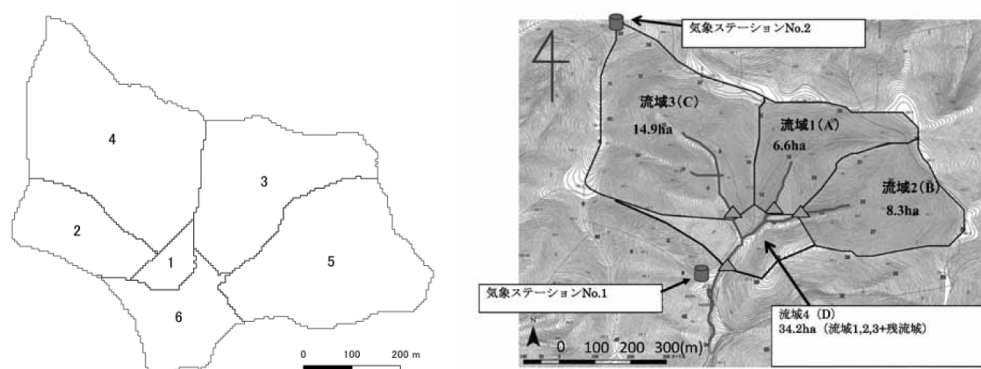


図 3-37 SWAT モデルで作成した支流域（左）と
既往調査で設定されている小流域・量水堰の位置（右）

(4) HRU の作成

貝沢試験流域では、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 を削除することとし、最終的に 86 個の HRU を作成した。

(5) シミュレーション条件の設定

シミュレーションの対象期間は 2011 年 1 月 1 日から 2015 年 12 月 31 日とした。2011 年 1 月 1 日から 4 月 30 日はデータが存在せず、欠測値の扱いとした。キャリブレーションおよびバリデーション期間は、次のとおりである。

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

SWAT モデルでは、シミュレーション結果が安定しない初期の期間を、ウォームアップ期間として実際のシミュレーションから外し、シミュレーション精度を高めることになっ

ている。そこで、貝沢試験流域では最初の2年間(2011年～2012年)をウォームアップ期間に設定し、2013年から2015年までの推定結果を得ることとした。なお、シミュレーションは日単位で実施した。

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には、経験的パラメータに依存するカーブナンバー法と土壌物理性等に関するパラメータが必要となるグリーン&アンプト法の2種類があり、パラメータ考慮の観点からはカーブナンバー法の方が簡便ではあるが、貝沢試験流域においては、土壌の物理性等のデータが比較的揃っていることから、グリーン&アンプト法の適用も可能であり、今回は検証を兼ねて、カーブナンバー法とグリーン&アンプト法の双方を選択し、モデルとしての適性をみることにした。

(6) 感度分析

1) 感度分析の目的

SWATモデルでは、専用ソフトウェアであるSWAT-CUPを利用して指定のSWATモデルのデータとパラメータ範囲を設定することで、各パラメータの感度分析を行うことができる。感度分析を行うと、該当する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が可能である。

2) 使用データ

神奈川県自然環境保全センターから提供された流域内の4つの量水堰で観測された2013年1月1日から2015年12月31日までの流量観測データを用いた。

3) 対象パラメータ

感度分析の対象パラメータは、まずSWATモデルのマニュアル(SWAT-IO-Documentation 2012¹⁹、SWAT Theoretical Documentation Version 2009²⁰)や既往文献(清水ら, 2013²¹など)を参考に、水流出及び蒸発散に関するパラメータを選定した。試行的に感度分析を行い、影響が低いと考えられるパラメータ、また試行の過程でエラーを生じ、除外しても支障ないと考えられるパラメータを除いた。最終的に、40個のパラメータで300回シミュレーションを行い、感度分析を行った。感度分析に用いたパラメ

¹⁹ Arnold, J. G., et al. SWAT input-output documentation, version 2012. Texas Water Resource Institute. TR-439, 2012.

²⁰ S.L. Neitsch et al. SWAT Tool Theoretical Documentation Version 2019. Texas Water Resource Institute.

²¹ 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.

ータ、用いなかったパラメータはそれぞれ巻末資料に示す。

4) 結果

感度分析の結果は表 3-22 のとおりである。

表 3-22 貝沢試験流域の感度分析結果（40 パラメータ、300 回）

順位	カーブナンバー法		グリーン&アンプト法	
	パラメータ	説明	パラメータ	説明
1	CN2	カーブナンバー	SLSUBBSN	平均斜面長
2	SLSUBBSN	平均斜面長	SOL_K	土壌の飽和透水係数
3	SOL_K	土壌の飽和透水係数	HRU_SLP	平均斜面勾配
4	CH_K2	河床における実効透水係数	BMX_TREES	森林の最大バイオマス
5	HRU_SLP	平均斜面勾配	ALPHA_BF	降水による供給が無い状態での地下水の流出量を決定するファクター
6	OV_N	地表面におけるマンニングの N（粗度係数）	CHTMX	最大樹冠高
7	ALPHA_BF	降水による供給が無い状態での地下水の流出量を決定するファクター	T_BASE	植物の成長に必要な最低気温
8	MAT_YRS	成熟までの必要年数。木のみに適用	ALAI_MIN	休眠期における最小の葉面積指数
9	BMX_TREES	森林の最大バイオマス	CO2HI	CO ² の標高別大気濃度
10	CH_N2	基幹河川におけるマンニングの N（粗度係数）	SOL_BD	仮比重
11	BIO_LEAF	休眠期に残渣物となるバイオマス（落葉）の割合。	SOL_ZMX	土壌プロファイルの最深長
12	BIOEHI	日射利用効率曲線上の第 2 点に相当するバイオマスエネルギー比	BIOEHI	日射利用効率曲線上の第 2 点に相当するバイオマスエネルギー比
13	SOL_ZMX	土壌プロファイルの最深長	BLAI	葉面積指数の最大値
14	RDMX	根の最深長。樹木では常に最深長で設定	GW_DELAY	地下水の流出日数

カーブナンバー法とグリーン&アンプト法の双方において、SLSUBBSN（平均斜面長）や SOL_K（飽和透水係数）、HRU_SLP（平均斜面勾配）、ALPHA_BF（地下水の流出量

を決定するファクター) といったパラメータの感度が共通して高いことがわかった。また、カーブナンバー法ではカーブナンバーやマンニングの粗度係数の感度が高い一方で、グリーン&アンプト法ではそれらに比べて植物や土壌に関するパラメータの感度が高い傾向がみられた。

3.8.4. 道志ダム上流域モデルの構築

(1) 道志ダム諸元および流域の概要

道志ダムは、神奈川県相模原市に位置する、相模川水系のダムの一つである。道志ダム流域の約 26%は、横浜市水道局が保有する水源林から成り、森林率が 94%を超える森林流域といえる。



流域概要	道志流域の約26% (2,873ha) が横浜市水道局が保有する水源林となっている。
水系	相模川水系道志川
流域面積	111.66km ² (11,166ha)
貯水池	奥相模湖
ダム竣工年	1955年
有効貯水容量	616,100m ³
流域の主な地質	玄武岩、安山岩、火山噴出物
森林面積（森林率）	105.07km ² (94.1%)

図 3-38 道志ダム諸元および流域概要

(2) 各種インプットデータの準備

1) 気象、地形、土壌データ

気象庁の Amedas データや国交省または山梨県の雨量観測所データを入手した。流域の規模が比較的大きいため、モデルの計算処理に負荷がかかり過ぎないように、かつ結果に支障がないように、地形データ (DEM) の解像度は 20m とした。土壌データとしては、国土地理院の 20 万分の 1 土地分類基本調査の土壌図を用いることとした。