

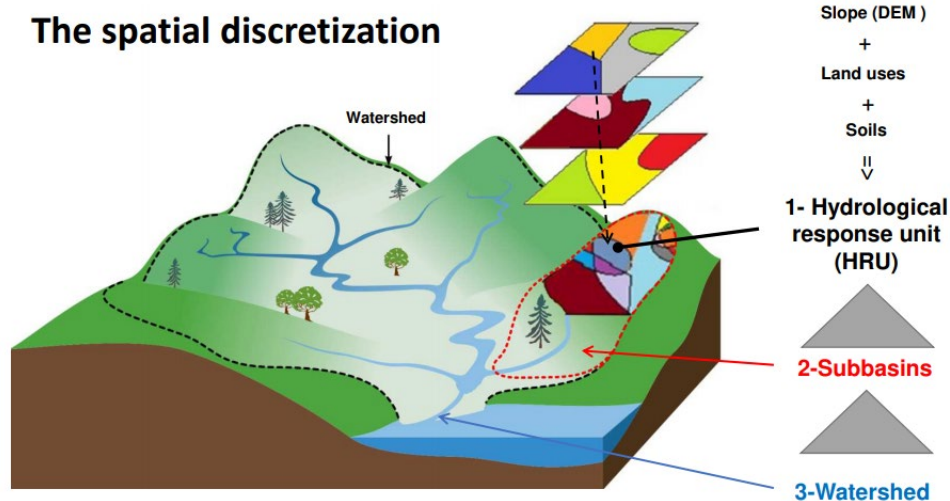


図 3-8 HRU の概略図³

また、シミュレーションによる、時間、日、月、年単位での出力が可能である。

(5) SWAT モデルにおける水文プロセスおよび計算方法

1) 考慮されている水文プロセス

SWAT モデルで考慮される主な水文プロセスおよびその計算結果のアウトプットについては、図 3-9、表 3-6 のとおりである。各アウトプットは HRU 単位での出力が可能である。

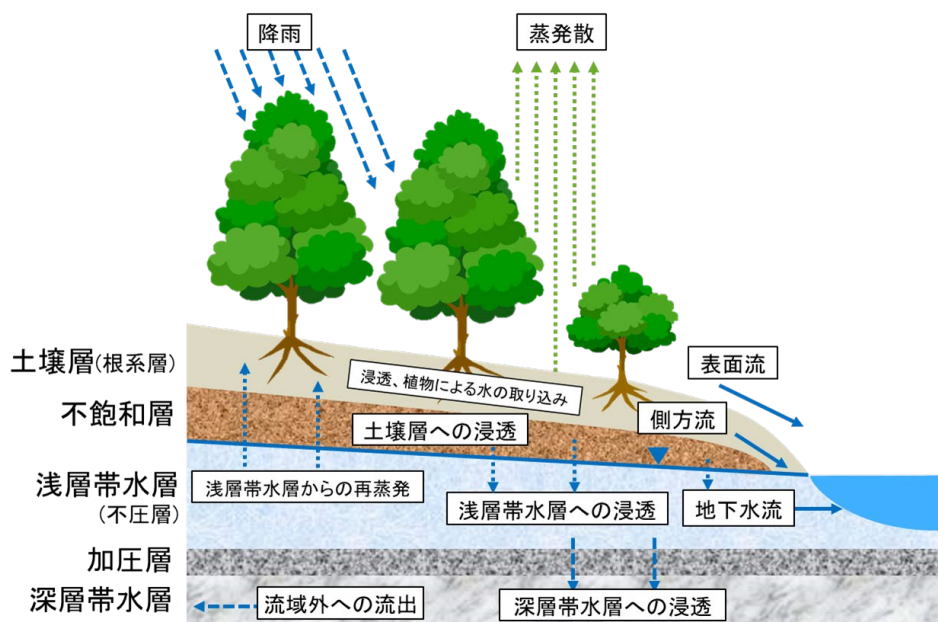


図 3-9 SWAT モデル内部で考慮される水文プロセスのイメージ

³ https://www.forestresearch.gov.uk/documents/7289/SWAT_Intro.pdf

表 3-6 SWAT モデルにおける主な水文プロセスおよびその計算結果のアウトプット

水文プロセス	アウトプット
蒸発散（遮断蒸発＋蒸散＋土壌蒸発）	蒸発散量
表面流出	表面流量
土壌層への浸透	土壌中の水分量、側方流量
浅層帯水層への浸透	浅層涵養量、地下水流量（リターンフロー）
深層帯水層への浸透	深層浸透量

このうち、蒸発散と表面流出の計算方法には、オプションが用意されている。表 3-7 に蒸発散、表 3-8 に表面流出の計算方法オプション、概要についてそれぞれ示す。

表 3-7 蒸発散の計算方法および概要

オプション タイプ	概要
Penman-Monteith（ペンマン・モンティース）法	• 水面蒸発量の測定法である Penman 式に植物生理学のプロセスを付加した方法であり、降雨で樹冠が濡れているときの遮断蒸発の基礎式として使用。 • 空気力学的抵抗 r_a と群落抵抗 r_c の推定法が重要、群落抵抗は葉面積指数 LAI の使用を用いる方法あり。 • 時間毎の蒸発散量の計算を基本とするため、日平均での計算には誤差を含む可能性あり。 • 日射量、気温、相対湿度、風速データを使用。
Hargreaves and Samani（ハーブリーグス&サマニ）法	• 牧草のライシメータの観測から導かれた方法。 • 日毎の最高・最低・平均気温から日蒸発散量を計算。
Priestley-Taylor（プリーストリー・テイラー）法	• 移流の大きい乾燥地・半乾燥地では可能蒸発散量を過小評価する傾向。 • 日射量、気温、相対湿度データを使用。

表 3-8 表面流出の計算方法および概要

オプション タイプ	概要
Curve Number (カーブナンバー) 法	- 様々な土地利用・土壌で適用可能な汎用性のある計算方法を得るために考案された方法。 - 土地利用、土壌タイプ、土壌の水分状況に応じて設定されている「カーブナンバー」を用いて、経験則に基づく単純な式 (SCS curve number equation) によって計算される。 - この方法では土壌表面からの降雨の浸透過程を直接計算することはできない。 日、月、年単位での出力が可能。
Green&Ampt (グリーン&アンプト) 法	- 土壌の物理性を中心とした多数のパラメータが関与する複雑な式を用いた計算方法。 - インプットデータとして時間雨量のデータが必要となるが、降雨の浸透過程を直接計算することができる。 - 土壌の物理性に関するパラメータが浸透量および表面流出量に強く影響してくるため、SWAT の土壌データベースを十分に整備しておく必要がある。 - 時間、日、月、年単位での出力が可能。

2) 考慮されていない水文プロセス

林床面蒸発散

SWAT モデル内では、実際の林分で生じている水文プロセスが必ずしもすべて反映されていないことに留意が必要である。例えば、SWAT 内では、同じ HRU 内における植生の状態は、均一な単一の植物種と想定されているが、実際の林分内においては、複数の樹種や、高木層、中木層、低木層といった階層構造、様々な密度分布を形成しているところが大半であり、SWAT 内では、こうした立地環境や森林の物理状態が十分に考慮されているとはいえない。また、例えば、蒸発散量については、樹冠貯留に応じた蒸発散や土壌からの蒸発については計算されているが、林床面蒸発散についてはプロセスそのものが存在せず、計算されていない (図 3-10)。

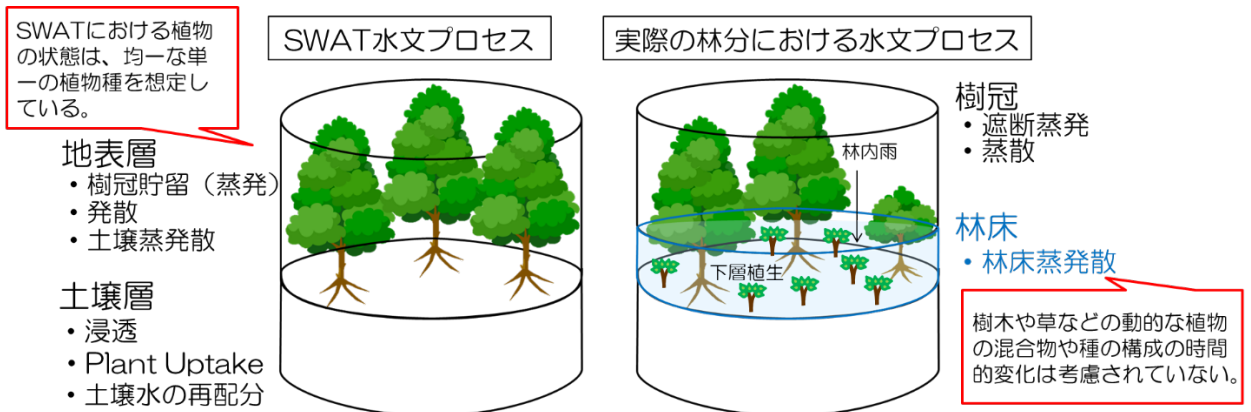


図 3-10 SWAT における水文プロセスの考慮

こうした考慮されていないプロセスには、なんらかの補完的な処理が必要となる可能性もあるが、まずはモデル内に実装されているプロセスや計算方法の範囲内で解析を行うこととし、カスタマイズの必要性については段階的に検討することとした。

山体地下水

森林の水源涵養機能は、かつては、森林土壌層による浸透水の貯留効果、流出遅延効果および深部への浸透機会の増大効果である（太田,1991）といった説明が主流であった。しかしながら、最新の研究では、実際にはかなりの量の雨水が基岩に浸透し、山体地下水として貯留・浸透することが明らかになりつつあり、また、地質や地形の状態に応じて、洪水緩和や渇水緩和に与える影響も小さくないと考えられることから、山体地下水のパラメータとしての考慮は重要と考えられる。

このため、精緻な推定を行う場合には、より細かく計測や分析を行った値を踏まえることが望ましいが、本事業で用いる SWAT モデルにおいては、地下水流動の計算が非常にシンプルな構成になっていること、シンプルでありながらも浅層浸透と深層浸透が個別に計算されており、それぞれのアウトプットの出力が可能という、必要最低限のプログラムが実装されていること、また、本事業においては、広域の推計を行うという特性も踏まえ、今回は、地下水関連パラメータについては、デフォルト値あるいは既往の調査・研究より得られた値を一律で与えることとした。まずは森林の状態に応じて、地表における水の動態がどのように変化するか、地表プロセスを優先的に把握することとしたものである。

3.6.2. SWAT モデルパラメータについて

(1) SWAT モデルにおける主要なパラメータ

ここでは、SWAT モデルの各水文プロセスに関わる主なパラメータについて図 3-11 に示す。



図 3-11 SWAT モデルの各水文プロセスに関連するパラメータ

(2) 配慮すべき森林関連パラメータ

図 3-12 には、SWAT の蒸発散計算に使用される主なパラメータを挙げた。このうち、樹冠貯留や蒸散など、森林と直接的に係るパラメータについて着目してみると、これらは葉面積指数（以下、LAI）の関数として計算されるものが多い。つまり、実際の林分の状態をパラメータ化するにあたっては、樹種、樹高、林齢、立木密度といった森林の物理的な状態を一旦、LAI との関係において表現し（図 3-12 の赤枠部分）、林分毎に適したパラメータセットを設定するのが効率的である。

このためには、森林の物理的状態と LAI の関係性を評価することが必須となる。

なお、水の動きを評価するためには、本来、蒸発散に係るパラメータだけではなく、土壌の浸透能や保水力につながる土壌の物理性などに係るパラメータも重要であるが、両方を同時に取り扱うと、シミュレーションの結果にどのパラメータの調整が利いているか等の判定が難しくなることから段階的な調整手順を取ることにする。今年度は蒸発散関連パラメータの調整を主として行い、土壌に関しては最低限のパラメータを扱い、来年度以降に土壌浸透に関するパラメータについても同様に調整を図ることとした。

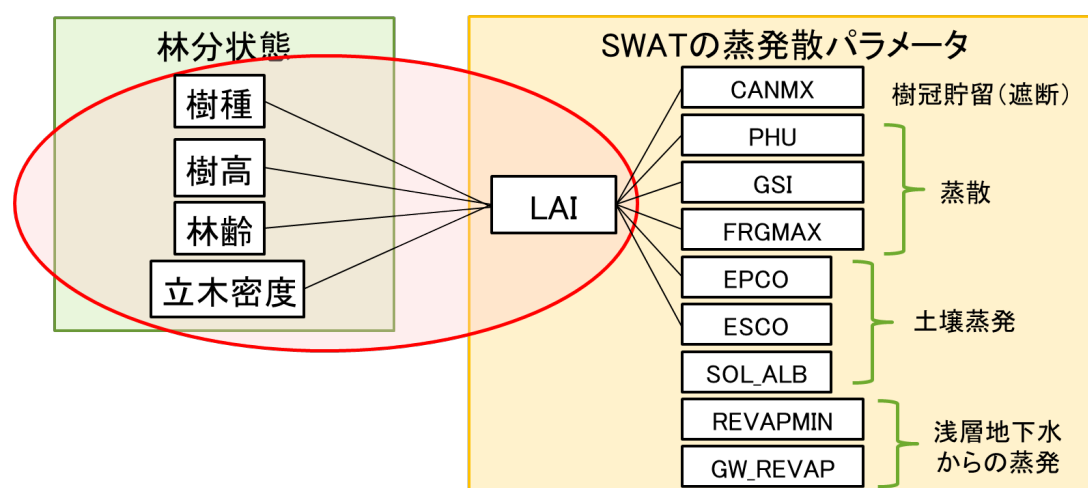


図 3-12 SWAT モデルの蒸発散計算に使用される主なパラメータ

3.6.3. インプット設定およびパラメータ調整にかかる準備

前項で述べたとおり、SWAT モデルにおける蒸発散関連パラメータの調整においては、「LAI」の考慮が不可欠である。ここでは、図 3-13 に示す手順により、特に、蒸発散関連パラメータについて、まずは「林分状態の評価」、次に「LAI と林分状態の関係性に関する評価」を行い、それらの結果を踏まえ、最終的には SWAT モデルのインプットの一つであり、重要なモデル構築要素となる土地利用図（本事業においては「林相区分図」とする）を作成することとする。