調査・研究報告

神自環保セ報 10（2013）215 － 223

神奈川県水源エリアの 3 次元水循環モデル

森康二 *、多田和広 *、佐藤壮 *、柿澤展子 *、
内山佳美 **、横山尚秀 **、山根正伸 ***

The 3 Dimensional Water Circulation Models for Water Source Forest Area in Kanagawa Prefecture

Koji MORI, Kazuhiro TADA, Sou SATOU, Nobuko KAKIZAWA,
Yoshimi UCHIYAMA, Takahide YOKOYAMA, and Masanobu YAMANE

Ⅰ　はじめに

宮ケ瀬湖上流域、津久井湖・相模湖上流域および酒匂川流域の県内水源エリアをカバーする 3 次元水循環モデルを開発した（図 1）。本水循環モデルは、対象エリアの地形、植生・被覆、地下地層構造を組み込んだ 3 次元数値モデルであり、気象条件の時間・空間変化を与え、水源域における水・土砂移動機構をシミュレーション解析する。森林保全のための様々な施策は、樹冠や林床状態をモデルへ反映させ、流況の安定化や土壌流亡等に対する影響を予測する。水源エリアに設けられた試験流域では、対照流域法のためのモニタリングが実施されている。開発した水循環モデルから試験流域モデルを切り出し、実測された流量ハイドログラフや浮遊砂の濃度変化等との比較を通じて、水源エリアの水・土砂移動機構を同定した。

図１　水源の森林エリア：水循環モデルの整備範囲

これまでに構築した試験流域の水循環モデルと関連する基礎データは、自然環境保全センターの保有する並列計算機システムへ各種の空間データ解析を行うＧＩＳとともに実装済みである。今後は、新たに取得されるモニタリングデータを用い、試験流域毎の水・土砂移動機構の同定とモデルの検証を重ね、県内水源域の水循環モデルとして品質を向上させる。また、将来の様々な施策シナリオを組み込んだ予測シミュレーションを行い、よりわかり易い形での施策効果の可視化と県民への情報提供を計画している。

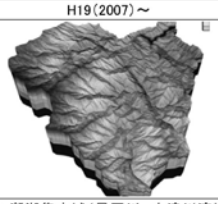
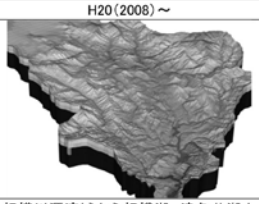
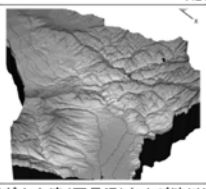
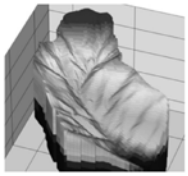
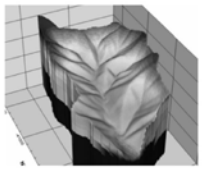
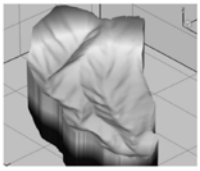
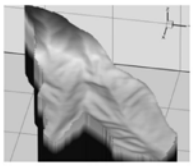
本稿では、これまでに開発した水循環モデルおよび関連データの基本仕様について述べ、現状の到達点と課題を明らかにし、今後の取り組みと方向性を示す。

Ⅱ　水循環モデルの開発・整備状況

平成 19 年より水循環モデルの開発に着手し、これまでに県内水源エリアをカバーする宮ヶ瀬湖上流

*　株式会社　地圏環境テクノロジー　（〒 101-0063　千代田区神田淡路町 2-1　KDX 神田淡路町ビル 3F）
**　神奈川県自然環境保全センター　研究企画部　研究連携課　（〒 243-0121　厚木市七沢 657）
*** 神奈川県環境農政局　水・緑部　自然環境保全課　（〒 231-8588　横浜市中区日本大通１）

表１　開発中の水循環解析モデル一覧

	宮ケ瀬湖上流域	津久井湖・相模湖上流域	酒匂川流域（丹沢湖上流域）	
開発時期	H19（2007）～	H20（2008）～	H21（2009）～	
広域水循環モデル				
	宮ヶ瀬湖集水域（早戸川、中津川流域）を包含する東西 12km、南北 13.5km の範囲を対象。領域面積は約 100km^2。	相模川源流域から相模湖、津久井湖上流域を包含する東西 60km、南北 40km の範囲を対象。領域面積は約 180km^2。	三保ダム上流（西丹沢）および狩川流域（南足柄）を包含する東西 30km、南北 25km の範囲を対象。領域面積は約 764km^2。	
対象領域	東西 12km×南北 13.5km 深度 −2,000m	東西 60km×南北 40m 深度 −3,000m	東西 30km×南北 25km 深度 −4,000m	
格子数	755,340（2007 年モデル）	1,180,740	1,157,875	
水平分解能	5m～500m	20～850m	5～300m	
検証データ	• 河川流量（中津川、早戸川 2007 年） • 宮ケ瀬湖流入量（1999 年～2006 年の平均値）	温泉地科学研究所流量観測データ（桂川、道志川の中・上流域 42 地点の一斉流量観測データ）	• 河川流量（酒匂川、狩川 2000 年 7 月、2001 年 2 月の一斉観測、1999～2002 年月毎の平均流量を最大値、最小値）の再現 • 三保ダム流入支川流量 • 温泉地科学研究所観測データ（足柄平野内の地下水等高線）	
試験流域モデル	大洞沢（48ha）	貝沢（96ha）	ヌタノ沢（7ha）	フチジリ沢・クラミ沢（76ha）
				
検証データ	• 河川流量（大洞沢 No3、No.4 2003～2010 年、堂平） • 浮遊砂濃度（大洞沢、堂平） • 土砂量（2005～2007 年の台風時） • 河川流量（一斉観測、2011 年）	• 河川流量（貝沢 No.1～No.4、2010 年） • 河川流量（一斉観測、2011 年）	• 河川流量（一斉観測、2011 年）	• 河川流量（一斉観測、2011 年）

域、津久井湖・相模湖上流域および酒匂川流域（丹沢湖上流域）の３流域で広域水循環モデルを整備した。また、水源エリア毎に選定された試験流域として、大洞沢（宮ヶ瀬湖上流域）、貝沢（津久井湖上流域）、ヌタノ沢・フチジリ沢（酒匂川上流域）の４つの試験流域モデルを開発した。表１にこれらの水循環モデルの概要と整備状況を示す。

宮ケ瀬湖上流域はダム湖へ流入する早戸川、中津川の両流域を包含する約 100 ㎢を計算領域とした。計算領域内は水平解像度５ｍ～ 500 ｍの３次元格子に分割（空間離散化）し、地形・地質、河川系等を適切に表現した。試験流域となる大洞沢流域は、３次元格子をさらに細分化した試験流域モデルを作成した。津久井湖・相模湖上流域は山梨県側を含む桂川・相模川上流域を包含する約 1,180 ㎢を計算領域とした。対象が広域となるため３次元格子の水平解像度は 20 ｍ～ 850 ｍとした。また、相模湖流入支川の１つである貝沢流域を試験流域モデルとして作成した。酒匂川流域（丹沢湖上流域）は西丹沢、南足柄を包含する約 764 ㎢を計算領域とした。３次元格子の水平解像度は５ｍ～ 300 ｍとした。

最も早くにモニタリングを開始した大洞沢流域は、複数年にわたる流量観測データと解析結果との比較により水循環モデルの検証が充実している。次いで、貝沢流域、ヌタノ沢・フチジリ沢流域のモニタリングが開始され、順次、観測データによる水循環モデルの検証を進めてきた。

Ⅲ　水・土砂移動機構の数理モデリング

１　対象とする陸水・流砂連成系

水源エリアの水・土砂移動機構の数値解析は、陸水と流砂の相互影響を考慮した３次元解析を適用した。解析プログラムには、地表水・地下水連成解析を可能とする地圏流体シミュレータ GETFLOWS（GEneral purpose Terrestrial fluid-FLOW Simulator）（Tosaka, H. *et al.* 2000）に掃流砂、浮遊砂の混合粒径土砂の移動と地盤床変動を考慮したものを用いた（森ほか, 2011）。

図２に本検討で対象とする陸水・流砂連成系の概念を示す。図中に示したプロセスは、地表水流動、地下水流動、地表水・地下水相互作用（河川の伏没や湧水等）、掃流砂移動、浮遊砂移動、沈降･巻上げ、土壌流亡･堆積による地盤床変動、地盤床変動によって生じる流況変化である。本研究では、これらの陸水、流砂相互作用に関する個別輸送プロセスに加え

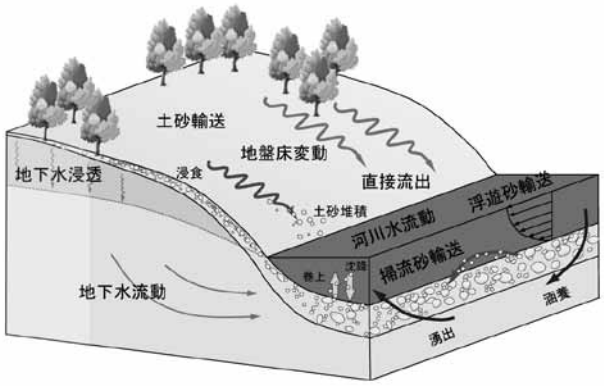


図２　解析対象とする水循環系の概念

て、降雨、蒸発散、樹冠及び林床での降水遮断等の水源エリアにおける陸面水文過程を一体的にモデル化している。

２　支配方程式系

陸水・流砂相互作用系の支配方程式は、地上、地下における水及び空気の流動、地表水中の浮遊砂輸送、移動限界を超えた土砂の流亡･移動･堆積によって構成され、等温多成分流体を対象とした一般化ダルシー則に基づく次の形式で表される。

$$\nabla \cdot (\rho_p u_p) - M_p = \frac{\partial(\emptyset \rho_p S_p)}{\partial t} \tag{1}$$

$$u_w = -\frac{{R_h}^{2/3} W h}{n} \sqrt{|s_{fh}|}\,\mathrm{sgn}(s_{fh}) \tag{2}$$

$$u_p = -\frac{K k r_p}{\mu_p} \nabla (P_p - \rho_p g Z) \tag{3}$$

$$\nabla \cdot (\rho_{s,i} R_{s,i} u_w) + \nabla \cdot [\varepsilon_{s,i} \nabla (\rho_{s,i} R_{s,i})] + M_{s,i} = \frac{\partial(\emptyset \rho_{s,i} S_w R_{s,i})}{\partial t} \tag{4}$$

$$\frac{1}{1-\emptyset} \sum_i \left(\frac{\partial r_{Bx,i}}{\partial x} + \frac{\partial r_{By,i}}{\partial y} + \frac{m_{s,i}}{\rho_{s,i}} \right) - h_c = \frac{\partial \xi}{\partial t} \tag{5}$$

上式 (1) は単位時間、単位体積当たりの水、空気 2 相圧縮性流体に関する質量保存則を示し、地表水と地下水ではそれぞれ (2)、(3) 式に示す流速公式で使い分けがなされる。ここに、∇は微分演算子(ナブラ)、u_p は流速 (m/s)、S_p は飽和度 (-)、M_p は流体の生成・消滅項 (kg/s)、∅ は有効間隙率 (-)、ρ_p は流体密度 (kg/m^3)、W は流路幅 (m)、R_h は径深 (m)、h は水深 (m)、s_{fh} は水深勾配と地形勾配の和、n はマニングの粗度係数 (m$^{-1/3}$s)、K は絶対浸透率 (m^2)、kr_p は相対浸透率 (-)、μ_p は粘性係数 (Pa・s)、P_p は流体圧力 (Pa)、g は重力加速度 (m^2/s)、Z は基準面からの距離 (m)、t は時間 (s) である。添字 p は水 (w)、空気 (a) に関する諸量を示す。また、式 (4) は浮遊砂の移流拡散方程式を示し、乱流状態の地表水流れによって輸送される砂粒子の平均的挙動を表す。i は地盤床を構成する混合粒径成分を示し、$R_{s,i}$ は水流中の浮遊砂濃度 (m^3/m^3)、$\rho_{s,i}$ は流砂密度 (kg/m^3)、$M_{s,i}$ は粒径成分の土砂生成･消滅項 (kg/s) である。地盤床の標高変化は、土砂交換層の微小体積について土砂収支式を考え、掃流砂量、浮遊砂の沈降・巻上げ及び粘着性材料の侵食や不安定崩壊等による土砂生産項を付加した (5) 式に従う。ここに、総和記号でまとめられた第 1 項は非粘着性材料に関する地形変化を示す。$r_{Bx,i}$, $r_{By,i}$ は粒径成分 i の単位幅当たりの掃流砂量 (m^3/s/m)、$m_{s,i}$ は地盤床の単位面積当たりの浮遊砂の沈降・巻上げによって生じる正味の流砂量 (kg/s/m^2) である。第 2 項 hc は粘着性材料の侵食や崩壊等による地形変化 (m/s) を示し、水分量、間隙圧等の地盤状態、粘土含有率、粘着力、内部摩擦角等の地盤床材料の物性の関数と考えられる。ξ は地盤床の標高 (m) である。

３　３次元格子モデル

上記の支配方程式系で記述された対象系（地上の大気空間、地表面、地下領域）に対し、積分型有限差分法を適用した３次元変形構造格子により空間離散化する。

大気格子（大気層）：地上の大気格子は格子最上面の第一層として表現される。接地境界層とも対応付けられ、物理的には毛管圧力は 0（自由空間）で、非常に大きな容量をもつ大気空間であることから間隙率は数値的無限大とする。浸透率（透水係数に相当）は非常に大きく、水飽和率が極めて小さな自由空間として設定する。大気格子と地表格子間では圧力勾配に従う流動が計算される。

地表格子（地表層）:大気層の下位層には、降水遮断、蒸発散、河川や斜面を流れる地表水、湖沼・海洋の停留水を表現する。地表水の移動は浅水流近似をしたマニング型の開水路流れとして扱う。場所による地表水の易動性の相違は、土地利用や被覆状態に依存する等価粗度係数によって考慮される。地表層の間隙率は通常 1.0 であり、毛管圧力は 0 とする。地

下浸透・湧出においては疑似毛管圧と呼ばれる 2 相流物性に相当するパラメータを計算し、浸透・湧出を整合的に表現する。

地下格子（地下地盤層）：地下格子では、一般化ダルシー則に従う地層媒体中の水と空気の 2 相流体流動を表現する。地層の水理物性（間隙率、浸透率、毛管曲線、相対浸透率曲線）は格子個々に与えられる。流体圧力と飽和率、濃度などが未知量として解かれる。地下格子の最上層は土砂交換層として扱われる。

Ⅳ　シミュレーションの手順

水循環解析に用いる領域全体の初期条件は、自然系本来の不均一性によってその設定は容易でない。河川水を対象とした流出計算等では、しばしば評価対象とする期間に対して一定の助走計算を付加することで初期条件を作成する。また、地下水のみを対象とした浸透流解析では、ある境界条件に対して求めた定常流動場を初期条件として用いる。しかし、地表水、地下水を区別せずに取り扱う水循環解析では、領域内の流速が数オーダにわたって異なることがむしろ通常であり、どれくらいの期間の助走計算を必要とするかは必ずしも明らかでない。水、空気の共存する不飽和領域や流体物性に起因する強い非線形性のため、定常解を得ること自体も困難な場合も多い。そこで、本検討では過去から現在および将来の時間的変遷に関連付けた以下のステップによりシミュレーションを実施した（図３）。

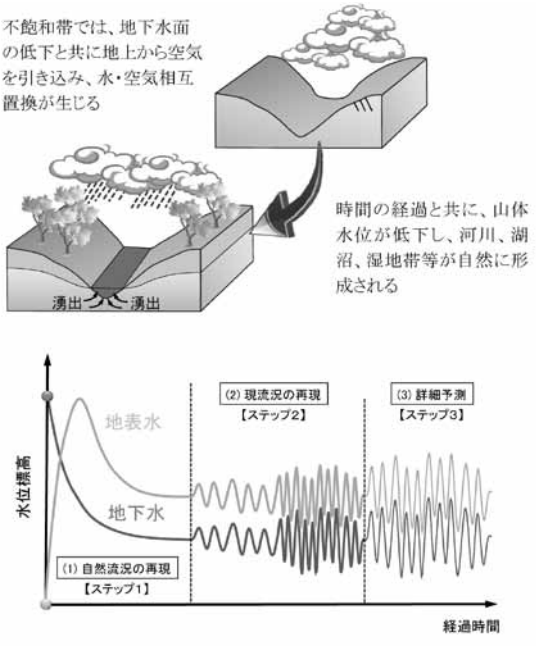


図３　自然流況の再現、現流況の再現および将来予測解手順

１　自然流況の再現（ステップ１）

水利用や土地改変等の人為的影響の無いかつての自然状態の流況に対応付けた再現計算である。これは地下地層内のみを飽和させた仮の初期状態から、流域の平均降水量を一定外力として与え続けた非定常計算により行う。この非定常計算に用いる外力は、流域の平均降水量から蒸発散量を差し引いた有効降水量等として人為的要因は一切考慮しない。非定常計算の時間経過とともに、領域内の流れは与えられた降水外力と流域内の地形、地質等の固有の場と平衡した状態に達する。この平衡状態の計算結果は、長期にわたる大スケールの流動系（バックグラウンド）の再現に対応する。

２　現流況の再現（ステップ２）

季節変化や人為による影響を考慮した現流の再現計算である。初期条件には上述の自然流況の再現結果を用い、近年の気象データ（降水量、気温など）や水利用データ（揚水、取排水など）を変動外力とした非定常計算を行う。解析結果は、実測された河川流量や地下水位等の変動データと比較し、観測データとの相違から推定される水循環構造を同定する。この解析は、季節変化や水利用に対する影響が及ぶ比較的短期間の小スケールの流動系の再現に対応する。

３　シナリオに基づく将来予測（ステップ３）

以上のステップは十分な再現性が得られるまで繰り返し行われ、将来予測に用いる水循環モデルを確定する。最終的な再現結果は、将来予測のための初期条件として用いる。将来予測は水源エリアの樹冠、林床、土壌の状態を施業と関連づけた任意のシナリオに基づき実施する。

Ⅴ　自然流況・現流況の再現

１　入力データ

水循環モデルに用いる気象データは、気象庁アメ

ダスの降水量、気温を基本とした。相対湿度、風速、日照時間等の他の気象要素は蒸発散量の算定に用いた。試験流域モデルに与える気象データは現地観測データによった。蒸発散量の算定は気象、樹冠、林床状態の変化を考慮可能な Penman-Monteith 法を用いた。地形モデルは、国土数値基盤情報 10m メッシュ標高データを用いた。試験流域モデルには航空測量で得られた詳細な地形データを用いた。水源エリアの土地利用は、森林、草地、伐採地、崩壊地、水域、市街地等が含まれるが、その大部分を森林が占める。本研究検討では、国土数値情報細分メッシュ土地利用データを基本とし、それぞれの土地利用区分に応じた等価粗度係数を与えた。

2　宮ケ瀬湖上流域における再現性検討

宮ケ瀬湖上流域の流量観測データを用いて、水循環モデルの再現性を検証した。宮ケ瀬湖上流域の全域を対象とした広域水循環モデルでは、2006 年の中津川地点のハイドログラフを再現した（図４）。図５は初期条件として用いた自然流況における地表水深分布の再現結果を示したものである。大洞沢の試験流域モデルでは、2009 年６月～ 2010 年 12 月において２地点の流量ハイドログラフを再現した（図６）。いずれも、観測流量データを良好に再現し、構築モデルの妥当性を確認することができる。図７は 2005 年７月９日 20 時～翌午前２時に観測された浮遊砂濃度と再現結果を比較したものである。両者の全体的傾向は整合的であり、特に 24 時以降の降雨停止後の濃度低下の過程は良く再現されている。しかし、観測された浮遊砂濃度は降雨量とは時間的にずれて（遅れて）増減する傾向がみられるのに対し、解析結果は降雨と浮遊砂濃度の増減がほぼ同時に発生する結果となった（森ほか、2011）。森林斜面を含めた降雨時の土砂生産(浸食)、移動、堆積の各機構のモデル化には、本研究で考慮しなかった雨滴衝撃による浸食や粘着性斜面の浸食・堆積を対象とするものも考案されている（例えば、M.A.Kabiar, et al. 2011,Qihua Ran et al. 2007）。今後、対照試験流域で取得される実測データの蓄積とともに解析手法の改良と再現性を検証す

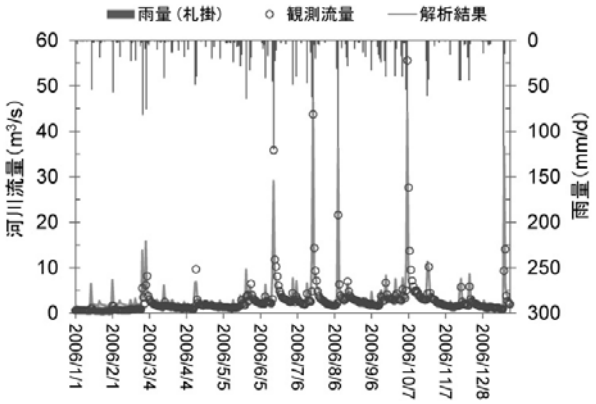


図４　解析流量と観測流量の比較（中津川）

図５　宮ケ瀬湖上流域の地表水深分布

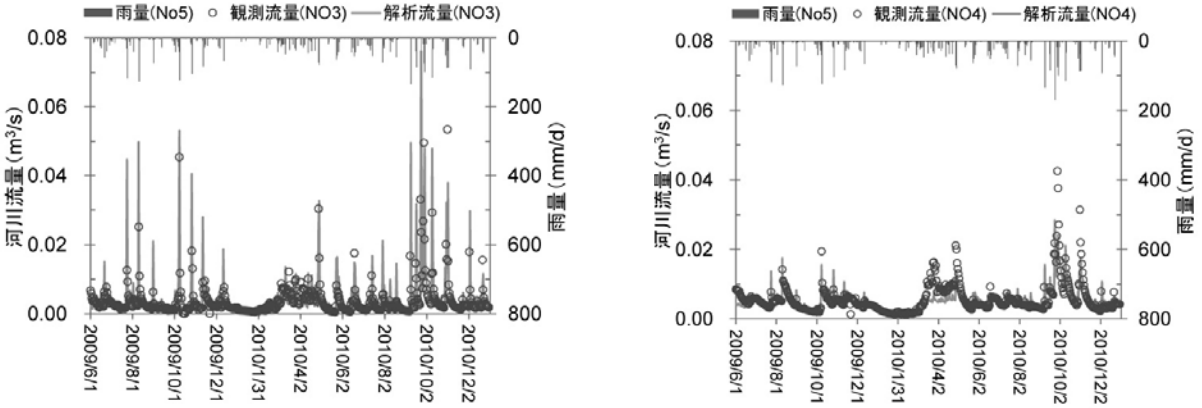


図６　解析流量と観測流量の比較（大洞沢）

る。

上述したステップ１、２の試行錯誤の結果、森林土壌（表土層）に対して同定された水理パラメータは、透水係数 5 × 10^{-4} m/s、有効間隙率 30% となった。表土層下の風化岩層は透水係数 10^{-6} ～ 10^{-4} m/s、有効間隙率 10% となった。一部に周囲より透水係数の高い（10^{-3} m/sオーダ）小流域の分布が推定されたが、これらは地すべり崩壊土の分布域に対応すると考えられた。

３　津久井湖・相模湖上流域における再現性検討

津久井湖･相模川湖上流域の広域水循環モデルは、ステップ１で実施した自然流況の再現結果を用い、神奈川県温泉地学研究所で実施された全 42 地点の一斉流量調査データ（宮下ほか, 2004）と比較した。図８に計算流量と観測流量の比較結果を示す。観測流量には、流域上流の発電や利水による人為的影響が含まれるが、大部分の地点で両者は２倍以下の差異で一致する。貝沢流域を対象とした試験流域モデルでは、上流４地点の流量ハイドログラフを比較した。いずれの地点においても観測流量と計算流量の良好な一致を確認した。このうちの２地点の比較結果を図９に示した。試行錯誤により同定された水理パラメータは､森林土壌の透水係数は 2.5 × 10^{-4} m/s、風化岩層は 10^{-7} m/sとなった。有効間隙率はいずれも 20% 程度となった。

４　酒匂川流域における再現性検討

酒匂川流域の広域水循環モデルは、既往文献に基づく足柄平野内の流量観測データ、地下水位等高線との比較を行い、おおむね良好な再現性が得られていることを確認した。しかし、酒匂川上流域の水源エリアでの観測データは限定的であり、構築モデルの再現性検証は今後の課題である。試験流域であるヌタノ沢およびフチヂリ沢・クラミ沢の水循環モデルは、晴天時の限られた流量観測データとの比較を行った段階である。それによると、現モデルではフチヂリ沢、クラミ沢の再現結果は、地表流出がほとんど発生せず、地下水位が極端に低下する傾向となった。このことから、水源エリアに分布する箱根外輪山噴出物に与えた透水係数 1.0 × 10^{-5} m/sは過大であると推定されたる。

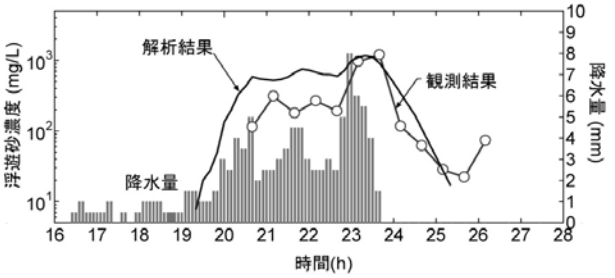


図７　大洞沢における浮遊砂濃度の再現結果と観測値の比較

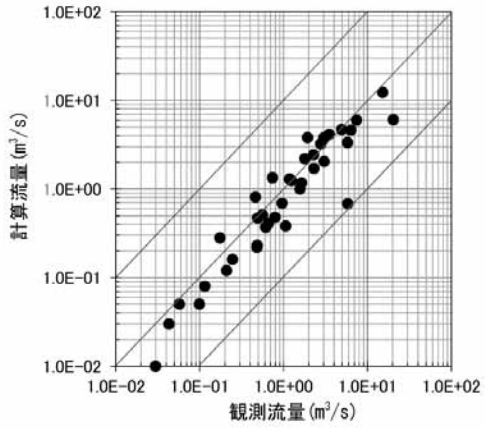


図８　解析流量と観測流量の比較（津久井湖･相模湖上流域）

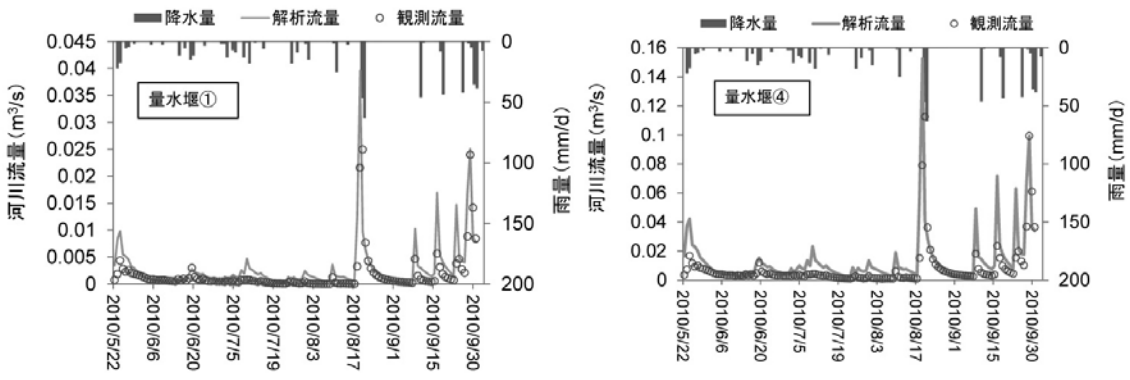


図９　解析流量と観測流量の比較（貝沢）

Ⅵ　シナリオに基づく将来予測

１　将来予測シミュレーションの方法

森林保全のための各種対策や施業が水源エリアの水・土砂輸送挙動へ与える影響を評価するためのシナリオ解析を検討した。具体的には、検討対象とする施業オプションを設定し、それらを反映する場と状態変化を記述するパラメータの候補を抽出・整理した。施業に対する樹冠・林床状態の変化は、既往の研究成果や経験的知見をもとに予めシナリオ化し、それぞれに対してパラメータとの関連付けを行った。

検討対象とする施業オプションは、①皆伐・間伐(強度の違い)、②シカ植生保護柵の設置、③目標林相（複層林、巨木林）への誘導など、とした。図10にシナリオ解析で考慮する場の概念示す。大気層の気象条件は一定とし、樹層、地表層、表土層を考慮する。施業の具体的内容は、シカ植生保護柵の設置、皆伐・植栽、強間伐、弱間伐、放置の５ケースとし、それぞれのケースでパラメータとの関係を表２に示すとおり設定した。各パラメータの具体的数値は既往文献を参考に仮定した（中野，1977：塚本，2006)。また、それぞれのパラメータの取り得る一般的な幅を整理し、基本ケースに用いる組み合わせを検討した。施業後の林相、樹冠・林床状態の変化は、施業前、対策直後、回復期の各期間に対して定義されたシナリオに基づいた。各期間では施業と関連付けたパラメータを与え、その影響を予測した。パラメータ変化の与え方は、各期間の切り替わりで瞬時に完了するものと仮定し、その変化による新たな平衡状態を解析した。

２　結果と考察

宮ケ瀬湖上流の大洞沢試験流域に対して、上述のシナリオ解析を適用した。大洞沢への流入支川である２つの小流域の流量観測地点（No．３、No．４）での流況曲線をシナリオ間で比較した（図11)。いずれも基本ケースに対する放置時（D-B）の流量低下が顕著であり、その量は100 ㎥／日～300 ㎥／日である。放置シナリオでは、シカの採食圧によって下層植生が衰退し、表土層のクラスト化等の原因によって浸透能が低下することが考慮されている。他のケースは、基本ケースとの違いは大きくないが、流況を安定化（ピーク流量を減少させ、低水、渇水流量を増加)する方向へシフトする傾向がみられる。透水性のよい崩土層の分布が推定されているNo．４流域は、No．３流域より地下水位が低いため、特に

表２　施業とモデルパラメータの関係付け

施業内容＼パラメータ	樹層							地表層		表土層		
	植生高さ	粗度長	ゼロ面変位	群落抵抗	葉面積指数	アルベド	樹冠貯留容量	粗度係数	林床貯留容量	蒸発効率	透水係数	有効間隙率
シカ柵(F)								✔	✔		✔	✔
皆伐･植栽(T)	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔		✔	✔
強間伐(TL)	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔			
弱間伐(TS)	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔			
放置(M)								✔	✔		✔	✔

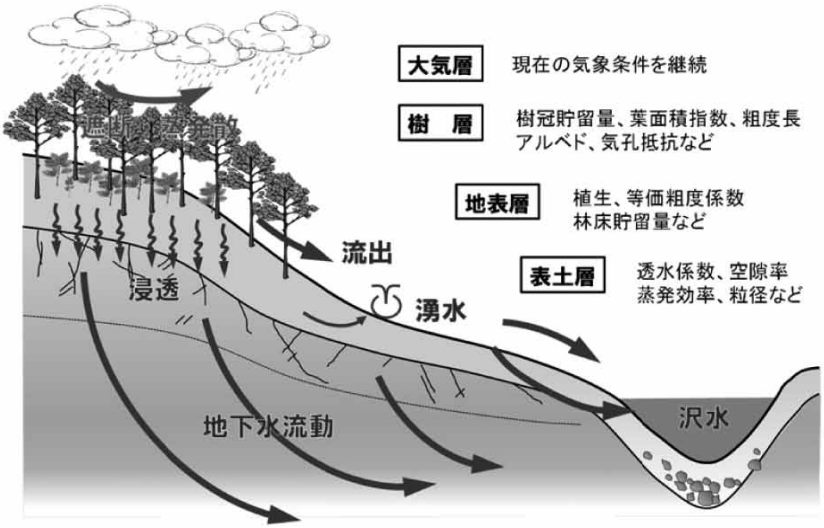


図10　シナリオ解析で考慮する場の概念

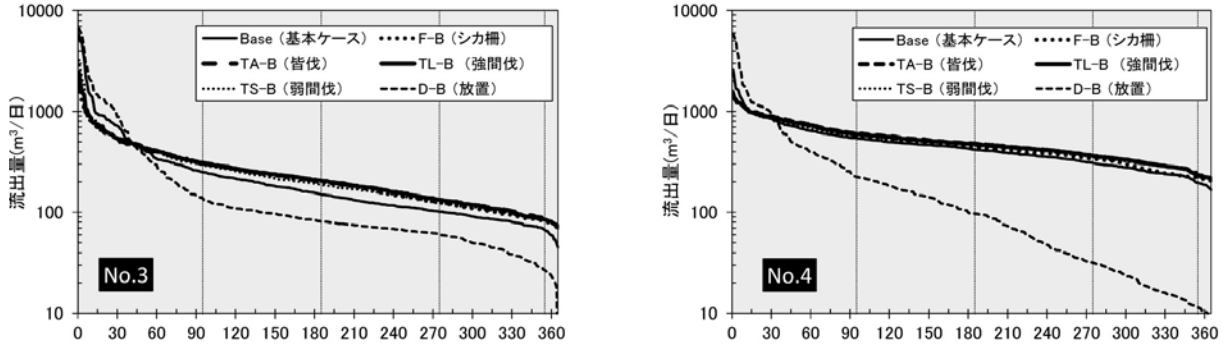


図 11　シナリオ別の流況変化

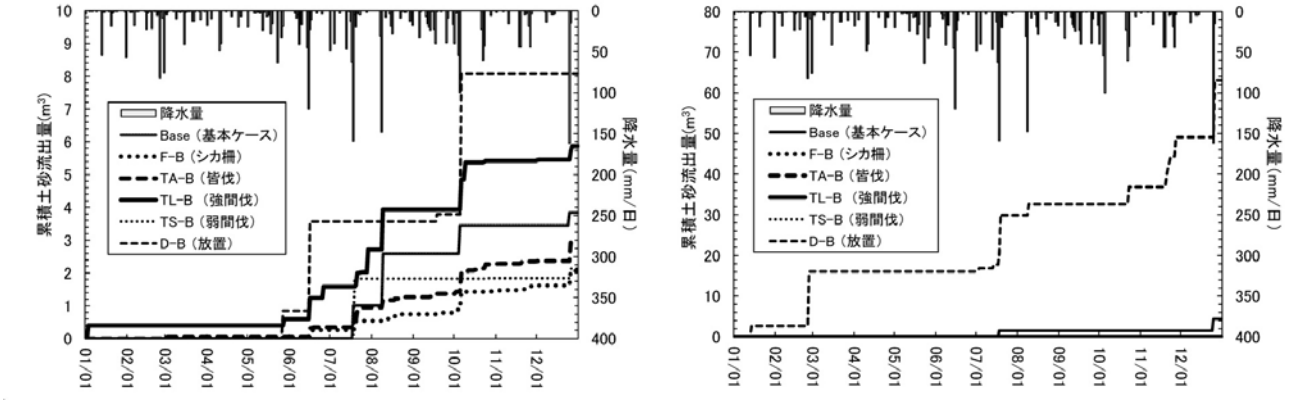


図 12　シナリオ別の累積土砂流出量の変化

放置時の流量低下量が大きい。また、No．４流域は他の施業に対する流況安定化の感度が鈍く、いずれもケース間の変化が明瞭でない。

同じ地点における土砂流出量についてシナリオ間の相違を比較した（図 12)。いずれの流域も放置時の土砂流出量の増加は顕著である。累積土砂量は No．３流域で約８㎥、No．４流域で約 60 ㎥となった。No．４流域で極端に増加する原因は、表土層の浸透能低下によって発生する地表流出が No．４流域と隣接する上流域を含めた影響を受けたためである。シカ植生保護柵や間伐等の施業による流況安定化の傾向は、上記と同様に No．４流域より No．３流域が顕著である。

Ⅶ　まとめ

水源エリアの水・土砂環境変化を定量的に予測するための水循環モデルを開発し、現地におけるモニタリングデータを用いた検証と施業シナリオに基づいた将来予測の検討に着手した。

本研究の検討成果は次のようにまとめられる。

- 水源エリア内の流域特性が異なる４試験流域を選定し、水・土砂移動機構を解析する広域及び試験流域スケールの３次元水循環モデルを開発した。このうち、現地モニタリングが先行している大洞沢及び貝沢試験流域について、複数地点で観測された河川流量や浮遊砂濃度データ等との比較を行い、構築モデルの再現精度を検証した。
- 再現性が検証された試験流域モデルを用い、皆伐・間伐、植生保護柵、放置等の森林施業の複数のシナリオに沿った予測解析を試行した。本検討では、樹層、地表層、表土層に対して適切なパラメータを与えることにより、蒸発散、流出及び地下浸透・流動に与える影響を予測・評価できる見通しを得た。

なお、森林施業のシナリオ構築と予測解析には、想定する森林の状態設定とパラメータの評価がとり

わけ重要である。また、試験流域モデルで同定されたパラメータを広域水循環モデルに用いた際のパラメータの適用性検証についても十分な吟味が必要である。特に土砂生産・移動・堆積に関する解析パラメータは、対象領域の植生被覆や土壌状態の空間分布等と関係付けられるものであり、現時点で広域水循環系の全域について十分な検証が行えているわけではない。

今後は最新の現地モニタリングデータを用いた水循環モデルの精度評価と新たに得られたデータや知見をモデルへ反映するとともに、各種施業シナリオに対する予測解析を充実させる。また、シミュレーション結果の評価には、降水量に対する蒸発散、流出の現象に与える影響を水源エリアの水収支変化として数値化し、シナリオ間で比較検証する。

Ⅷ　参考文献

Tosaka, H., Itho, K. and Furuno, T.(2000) Fully Coupled Formulation of Surface flow with 2-Phase Subsurface Flow for Hydorological Simulation, Hydrological Process, 14：449-464

宮下雄次、三村春雄（2004）相模湖・津久井湖窒素排出源調査結果、神奈川県温泉地学研究所報告、第 36 巻：1-24

森康二、多田和弘、伊藤 洋、西岡 哲、山根正伸（2007）神奈川県宮ヶ瀬ダム上流域における水循環モデル解析、丹沢大山総合学術報告書：688-691

森康二、多田和広、内山佳美、山根正伸、登坂博行（2011）陸水・流砂連成解析手法の開発、水工学論文集、第 55 巻、2011 年２月

M. A. Kabir, D. Dutta and S.Hironaka(2011) Process-based distributed modeling approach for analysis of sediment dynamics in a river basin, Hydrology and Earth System Sciences, 15：1307-1321

Qihua Ran, Christpher S. Heppner, Joel E. VanderKwaak and Keith Loague(2007) Further testing of the integrated hydrology model (InHM): multiple-species sediment transport, Hydrological Processes, 21：1522-1531

中野秀章（1977）水文学講座 13 森林水文学、共立出版

塚本良則（2006）現代の林学６ 森林水文学、文永堂出版