

浮遊物質移動を組み込んだ分布型水循環モデルの構築

名和規夫* 吉田武郎* 堀川直紀* 工藤亮治* 皆川裕樹*

*水工学領域水文水利担当

キーワード：浮遊物質，ウォッシュロード，浮遊砂，分布型物質移動モデル

I 緒言

国内においては、沖縄県における赤土流出などに代表される土地利用の変化に伴う土壌流亡が報告されている。また、降雨による浸食で、強度の土壌劣化を受けた土地は全世界で約 2.2 億 ha に及んでおり、農業を継続するうえで大きな課題となっている（大倉，2010）。

福島第 1 原発事故によって広域に拡散した放射性物質は土壌表層 3cm 以内に約 9 割近くが留まっている（農林水産省，2013）。降雨による表土流亡に伴い、表土の粘土等に付着した放射性物質が浮遊物質とともに移動し、上流から下流に輸送される。更に、浮遊物質は取水施設により農業用水として水田域に配水され、放射性物質も運搬・拡散される恐れがある。このため、ダム、頭首工等の取水・貯水管理にあたっては、降雨特性、流出特性を考慮した管理を行うとともに、浮遊物質の移動を考慮した管理及び浮遊物質の対策が重要となっている。このように、東日本大震災以降の新たな社会的必要性からも、浮遊物質の移動を時空間的に明らかにすることが重要な課題と言える。

土壌浸食に関する研究は、長澤ら(2000)、塩野ら(2004)、高木ら(2008)、中ら(2008)、大澤ら(2008)をはじめとして多くの研究者により畑地、草地などの農地圃場、農地を含めた小流域の土壌浸食を主対象として研究が行われている。一方で、ダム、頭首工等の集水流域を対象として、降雨による表土浸食に起因する浮遊物質移動を考慮した取水・管理に関する研究は少ない。

また、代表的な土壌浸食予測手法として USLE, WEPP, SWAT があげられる。USLE は土壌浸食の物理的な生産過程、運搬過程を表現できない。また WEPP, SWAT は日降水量から地表流出量、ピーク流出量等を算出し土壌浸食量を推定するもので、降雨によって発生する浮遊物質移動を時空間的に明らかにするのは難しいと考える。

このため、ダム、頭首工などの集水流域から地表流によって浮遊して流下する浮遊物質（浮遊して移動するウォッシュロード、浮遊砂、それらと共に移動する物質を含めた総称）の移動を予測するとともに、ダム、頭首工から取水

されて農業用水と共に運搬される浮遊物質の移動を予測する手法の整備が重要となっている。

本報文では、ダム等の集水流域の表土浸食に起因する浮遊物質の移動に関する既存の研究を概観し、浮遊物質の生産と移動の基礎理論を整理し、浮遊物質移動を組み込んだ分布型水循環モデル（以下、分布型物質移動モデル(仮称)と言う。）の構築を行うとともに、モデルに必要な表土等の物性値の整理を行う。

II 分布型物質移動モデル

2.1 全体構成

清水（1995）、平林ら（2004）、舛屋ら（2006）により 1 次元移流方程式による浮遊土砂濃度連続式が提案され、雨水の流出を表現するキネマティックウェーブ法による連続・運動式と浮遊物質濃度連続式を連続して解き、河道内の土砂動態を予測する手法が提唱されている。

また、流域内の空間分布情報を取扱い、任意の地点での流水の挙動を明らかにする分布型流出モデルの研究が進められている。佐山ら（2003）による分布型流出モデルに土砂の生産、堆積過程を組み込んだモデルの研究がされているが、研究例は少ない。

吉田ら（2012）による分布型水循環モデルは、土地利用、土壌特性、地形等の空間データベースを活用したモデルで、各メッシュで得られる河道流量、利用可能水量を再現するとともに、灌漑地区内における用水の取水、用水配分、河道への還元を再現できる。

本研究で構築を試みる分布型物質移動モデルは、前述の分布型水循環モデルによる各時間ステップ、各メッシュでの地表流量、河道流量を基に、斜面部の浮遊物質の生産・堆積・運搬の過程、河道部の斜面部からの横流入を踏まえた巻上・堆積・運搬の過程のモデル化を図り、流域における浮遊物質移動の予測を試みるものである。

分布型物質移動モデルに関する考察の流れを Fig. 1 に示す。

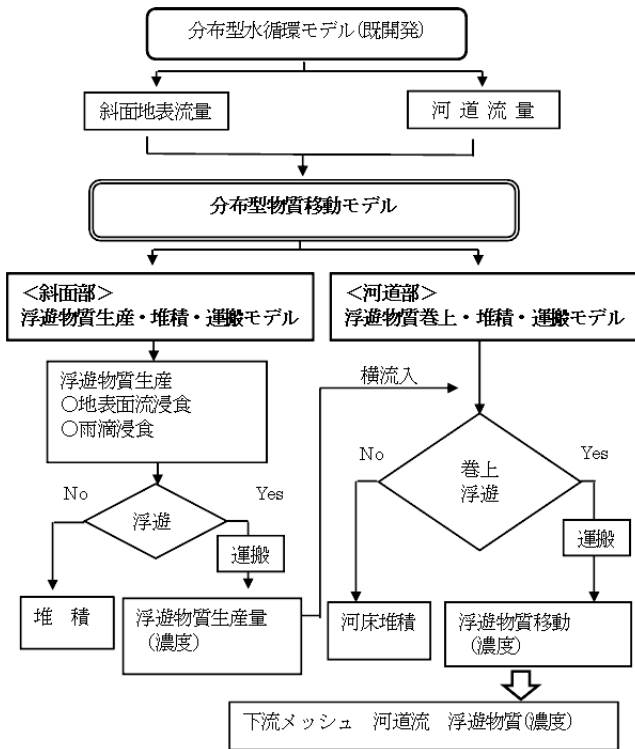


Fig. 1 分布型物質移動モデル構築の概要図
Outline to build a distributed water circulation model incorporating suspended solid movement

2.2 斜面部の浮遊物質生産・堆積・運搬

2.2.1 斜面地表面流

斜面地表面流は分布型水循環モデルによって解析を行い、追跡手法はキネマティックウェーブ法を用いている。

$$\frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_s}{\partial x} = r_e \tag{1}$$

$$h_s = k \times q_s^p \tag{2}$$

$$k = (N / I_b^{1/2})^{3/5} \quad p = 3/5 \tag{3}$$

ここで、 x : 斜面の下流方向距離、 t : 時間、 h_s , q_s : 地表面流の水深及び流量、 r_e : 有効降雨強度、 N : 等価粗度係数、 I_b : 斜面勾配である。土地利用ごとの等価粗度係数 N は、角屋 (1980) による標準値を参考に決定する。メッシュの等価粗度は、メッシュ内の土地利用率が重みを付け平均した値を用いる。

有効降雨強度 r_e は、降雨強度が浸入強度を越えた時に生じる浸透余剰地表面流と、土壌が完全飽和時の降水によって生じる飽和地表面流からなり、地表面流の浸入強度は Green Ampt 式 (Green and Ampt, 1911) により推定する。

地表面流の差分法は nonlinear scheme (Li et al., 1975) を用いている。また、2.3.1 の河道流についても同様である。

2.2.2 斜面部の浮遊物質濃度連続式

清水 (1995) は、河道内のウォッシュロードの動態を移流拡散方程式により解析している。その後、平林ら (2004)、舩屋ら (2006) は、流下方向の拡散は無視できるとし、生成項を有する浮遊物質濃度連続式(4)を提案している。降雨による斜面部の浮遊物質生産は、斜面地表面流の浸食作用に

起因した浮遊物質生産、雨滴の地表面衝突による浸食作用に起因した浮遊物質生産、浮遊物質の堆積の3生成項としている。

$$\frac{\partial (C_s(d)h_s)}{\partial t} + \frac{\partial (C_s(d)q_s)}{\partial x} = R_{E1}(d) + R_{E2}(d) - C_s(d)w_f(d) \tag{4}$$

ここで、 $C_s(d)$: 浮遊物濃度、 $R_{E1}(d)$: 地表面流による表面土浸食量、 $R_{E2}(d)$: 雨滴による表面土浸食量、 $C_s(d)w_f(d)$: 浮遊物質の沈降堆積量である。

斜面地表面流の流出を表現するキネマティックウェーブ法による連続式(1)と運動式(2)により h_s , q_s を、後述する式(5), (14), (15)により $R_{E1}(d)$, $R_{E2}(d)$, $w_f(d)$ を求める。これらを浮遊物質濃度連続式(4)に代入すると未知数は $C_s(d)$ だけとなり $C_s(d)$ を解くことができる。これを繰り返すことによって浮遊物質濃度が追跡でき、浮遊物質の移動が予測できる。

斜面部の浮遊物質濃度の差分法には、斜面流と同様に nonlinear scheme (Li et al., 1975) を用いる。また、2.3.2 の河道部の浮遊物質濃度も同様である。

2.2.3 地表面流浸食による浮遊物質生産

市川ら (2003) は、地表面流による表土浸食は、地表面流水が表土の土壌をはぎ取る(せん断)ことによって発生すると式(5)を提案している。この式で重要となる浸食速度： E は、芦田ら (1974) により摩擦速度に比例するとし、その後、西森ら (2009) は、粘着性土としてカオリン材を用いて水路実験を行い、地表面流による浸食速度として式(6)を提案している。

$$R_{E1}(d) = \rho_s \times E \times (1-r) \times p_f(d) \tag{5}$$

$$E = \alpha_1 \times \alpha(T) \times R_{wc}^{2.5} \times u_*^3 \tag{6}$$

$$\alpha(T) = 3.3 \times T + 58.0 \tag{7}$$

$$u_* = (gh_s(I_b^2 / (1 + I_b^2))^{1/2})^{1/2} \tag{8}$$

ここで E : 浸食速度、 ρ_s : 土粒子密度、 r : 間隙率、 $p_f(d)$: 各粒径の構成率、 R_{wc} : 水含有率、 u_* : 摩擦速度、 T : 水温、 α_1 : 係数である。 R_{wc} は、粘土の重量に対する含有水の重量の比率で 1.0 以下であるが、計算においては表土の飽和度を代入する。水温は日平均気温を代入する。

粒径が異なる土粒子は、地表面流によって浸食作用を受けても、その流況時に浮遊し運搬されるのかの判断が必要であり、運搬の判断は式(9)により行う (荒井ら, 1988)。

$$\frac{u_*}{1.08} \geq w_f(d) \tag{9}$$

ここで、 $w_f(d)$: 沈降速度であり、後述する Rubey 式により求める。

2.2.4 雨滴浸食による浮遊物質生産

平林ら (2004) は初期フラッシュにより浮遊砂のピークが流水のピークより早く発現する事例があり、雨滴による土壌浸食の影響が大きいと指摘している。Wicks ら (1996) は雨滴及び樹冠落下滴の運動エネルギーに着目した雨滴による浮遊物質生産式を提唱しており、雨滴の運動エネルギーによる浮遊物質生産式(10)を、雨滴の直径は Laws ら (1943) の式(13)を用いる。

$$D_R = k_r \times F_W \times (1 - C_G)(1 - C_C) \times M_R \quad (10)$$

$$F_W = \exp(1 - h_s / D_m) \quad h_s > D_m$$

$$F_W = 1 \quad h_s \leq D_m \quad (11)$$

$$M_R = \alpha \times R^\beta \quad (12)$$

$$D_m = 0.00124 \times R^{0.182} \quad (13)$$

ここで、 D_R ：雨滴による浸食量、 k_r ：雨滴による生産浮遊物質離脱係数、 F_W ：地表流の水深補正係数、 C_G ：樹木地表被覆率、 C_C ：樹冠の地表被覆率、 M_R ：雨滴による単位面積当たりの運動量、 D_m ：雨滴の直径、 R ：降雨強度、 α 、 β ：係数である。

D_R は雨滴衝撃による表面土の浸食量であるため、式(14)により表土の土粒子構成率を乗じて各粒径の雨滴浸食量を求める。

$$R_{E2}(d) = D_R \times p_f(d) \quad (14)$$

2.2.5 浮遊物質の堆積

式(4)右辺に堆積項が含まれている。浮遊物質として、微細粒であるために沈降せずに表流水と共に移動するウォッシュロード、地表流の流況によって浮遊、堆積する浮遊砂を対象とする。このため、斜面流では浮遊物質の粒径毎に浮遊と堆積を判断する。各浮遊物質の沈降速度 $w_f(d)$ の算定は Rubey 式(15) (荒木ら, 1962) を用いた。

$$w_f(d) = \left(\left(\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{sgd^3} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{36\nu^2}{sgd^3} \right)^{\frac{1}{2}} \right) (sgd)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

ここで、 $w_f(d)$ ：沈降速度、 d ：浮遊物質の代表粒径、 s ：浮遊物質の水中比重、 ν ：動粘性係数、 g ：重力加速度である。また、浮遊、堆積の判断は式(9)により行う。

2.3 河道部の浮遊物質運搬・巻上・堆積

2.3.1 河道流

河道流は、上流端からの流入量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ 、単位幅当たりの横流入量 $q_{\text{side}}(\text{m}^3/\text{s})$ をキネマティックウェーブ法で追跡する。

$$\frac{\partial A_R}{\partial t} + \frac{\partial Q_R}{\partial x} = q_{\text{side}} \quad (16)$$

$$A_R = k \times Q_R^p \quad (17)$$

ここで、 A_R ：河道流下断面積、 Q_R ：河道の流下量、 q_{side} ：斜面流下端流量、 k 、 p ：定数である。

地表流のメッシュ間の移動を担う河道網は、メッシュ毎の平均標高を用いて周囲の最急勾配方向を流下方向とする方法を適用した。河道勾配は、対象メッシュにおける平均標高値、上流メッシュにおける平均標高値、両メッシュ中心間の距離から、対象メッシュにおける河道勾配 I_b を決定する。

2.3.2 河道部の浮遊物質濃度連続式

浮遊物質のうち土粒子の小さいウォッシュロードは、沈降することなく流水と共に流下するが、浮遊砂は流況によって粒径毎に浮遊・堆積の他に河床からの巻上を考慮する必要があるなど、斜面部とは違いがある。河道部の浮遊物質濃度は、上流メッシュからの浮遊物質濃度を引き継ぎ、メッシュ内の浮遊物質濃度は斜面からの横流入、河道流水

による河床からの巻上、堆積を考慮した浮遊物質濃度連続式(18)により運搬(移動)を追跡解析する。

なお、浮遊物質のうちウォッシュロードは、土粒子が小さいために河道流水に浮遊して移動するため、巻上、堆積作用を考慮しない。

$$\frac{\partial(C_R(d)A_R)}{\partial t} + \frac{\partial(C_R(d)Q_R)}{\partial x} = B_R \times C_{ES}(d) \times w_f(d) - B_R \times C_b(d) \times w_f(d) + C_{SLE}(d) \times q_{\text{side}} \quad (18)$$

ここで、 $C_R(d)$ ：水深平均浮遊物質濃度、 $C_{SLE}(d)$ ：斜面末端の浮遊物質濃度、 $C_{ES}(d)$ ：河床からの巻上による浮遊物質濃度、 $C_b(d)$ ：河床面での浮遊物質濃度、 B_R ：河道幅である。

2.3.3 河床からの巻上浮遊

河道流水の乱れによる拡散作用によって河道において巻上が発生する。巻上発生について、Ikeda ら (1983) が浮遊砂を対象とした水路実験結果を基に巻上浮遊濃度式(19)を提案している。

$$C_{ES}(d) = \alpha_2 \left(\frac{u_*}{w_f(d)} \right)^2 \quad (19)$$

ここで、 α_2 ：巻上浮遊濃度係数である。

なお、洪水時の浮遊物質移動予測を行う場合、実際の河床堆積以上の巻上となることが懸念されるため、河床堆積物の構成を調査し、初期条件として与えて過剰巻上を防止する。

2.3.4 河道内の浮遊物質の堆積

式(18)右辺に堆積項が含まれており、浮遊物質の粒径毎に浮遊と堆積を判断する。浮遊物質の濃度は、水深平均濃度で追跡するが、水深によって濃度が異なるため、平林ら (2004) は沈降堆積について河道底面濃度 $C_b(d)$ に補正して行っており、水深平均濃度 $C_R(d)$ との関係性を式(20)に示す。

$$C_b(d) = C_R(d) \times \frac{6Z(d)}{1 - \exp(-6Z(d))} \quad (20)$$

$$Z(d) = \frac{w_f(d)}{\kappa u_*} \quad (21)$$

ここで、 κ ：カルマン係数である。

III 対象流域の物性値調査とメッシュ作成

3.1 対象流域の概要

本研究の対象流域は O ダム流域とし、ダムに流入する浮遊物質の移動予測を目的としている。O ダムは、昭和 49 年から 63 年に実施された国営 U 土地改良事業により、U 川の上流に建設され、流域面積は 110km² である。本ダムは、福島県浜通りの 1 市、2 町にまたがる 3,525ha の水田に農業用水を安定的に供給し、地域農業の持続的な発展の礎として重要な役割を担ってきている (Fig. 2)。

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による津波により、東京電力福島第一原子力発電所事故が発生し、本地域を含めて広域に放射性物質により汚染された。このため、放射性物質を吸着した浮遊物質の移動を考慮した O ダムの取水・貯水管理が重要となっている。

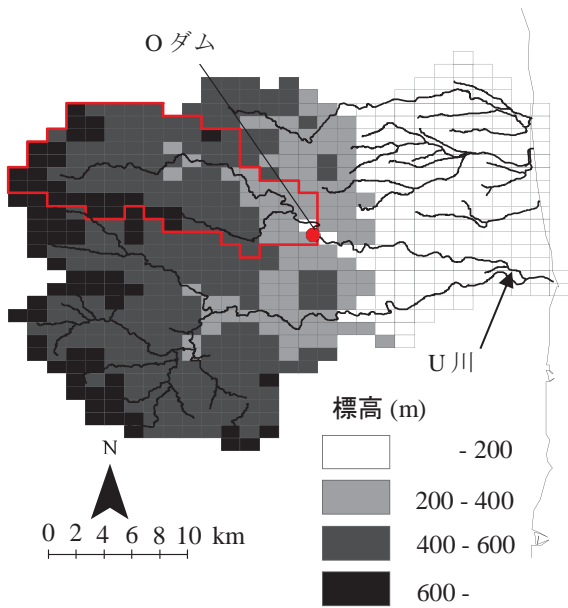


Fig. 2 灌漑地域のメッシュ分割
Mesh division of irrigation area

3.2 斜面部の表土特性

浮遊物質の生産は、流域規模、地形、勾配、表層地質、地被条件、水文・気象、水理特性、更には人為的諸作用が支配要件としてあげられる。

このため、「20 万分の 1 日本シームレス地質図データベース(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2007)」をもとに、ダム流域の地質を把握した。流域のほとんどで表層地質は花崗岩であり、表土は花崗岩を母体とした真砂土である。樽屋ら (1998) は農業用ダムにおける濁水問題を調査しており、浮遊物質の生産母体である表層地質によって濁水発生が大きく異なり、流域に堆積岩、花崗岩、破

層岩を含む地区での濁水問題の発生が高率となっていると指摘しており、対象流域は濁水問題を発生しやすい表層地質と言える。

表土の物理特性を把握するために表土採取を行った (Fig. 3)。表土の物理特性を地表流による浸食量式(5)、雨滴による浸食量式(14)に反映させる。対象流域において、河川沿いに水田、畑が点在するが、ほとんどが山林であり、山林(針葉樹:杉)3カ所、山林(広葉樹:ブナ)3カ所の表土を採取し、土質試験による粒度曲線の結果を Fig.4 に示す。

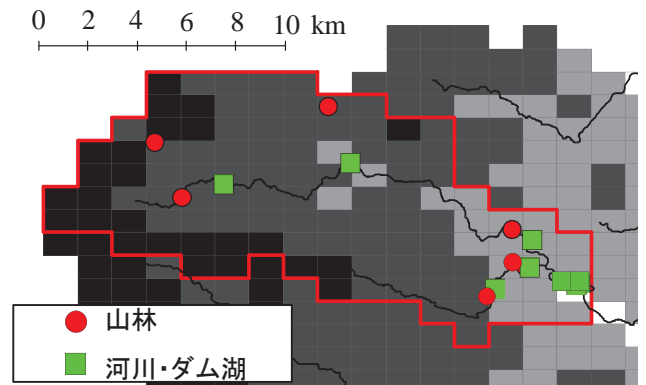


Fig. 3 表土及び堆積砂採取位置図
Extraction point of surface soil and river bed sediment

各地点での表土に大きな礫は含まれず、追跡対象粒径は 0.038mm~7.125mm の 8 代表粒径とする。また、本川流域と支川流域において、針葉樹と広葉樹による粒度分布に大きな違いが見られず、表層地質の影響をより多く受けていると判断した。また、本川流域と支川の K 川流域とで粒度分布に違いが見られた。このため、対象流域を本川流域と支川流域に分け、表土物理特性を Table 1 に整理した。

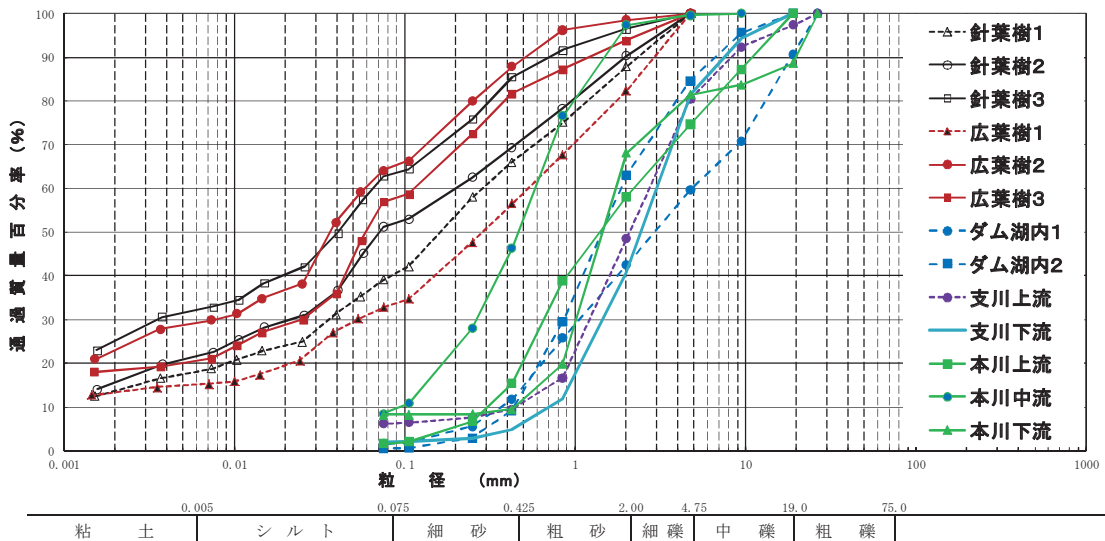


Fig. 4 山林表土及び河床堆積砂の粒度曲線
Grading curve of forest surface soil and river bed sediment

Table 1 山林表土の物理特性
Physical-properties values of forest surface soil

採取地点	土地利用	土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	間隙率 r (-)	土粒子の構成率 $p_i(d)$ (%)										
				代表粒径 (mm)										
				$d1$	$d2$	$d3$	$d4$	$d5$	$d6$	$d7$	$d8$			
本川流域	山林(針葉樹②)	2.406	0.706	57.8	5.3	1.7	11.4	9.6	6.1	4.9	3.4			
	山林(広葉樹②)	2.486	0.714	48.0	8.9	1.8	13.7	9.3	5.6	6.5	6.2			
	山林(針葉樹③)	2.393	0.705	45.1	6.1	1.7	9.0	6.9	9.0	11.9	9.7			
	山林(広葉樹③)	2.472	0.712	39.1	5.0	2.2	13.6	7.9	8.5	2.3	1.4			
	平均値	2.442	0.709	52.5	6.3	1.9	12.1	8.4	7.3	6.4	5.2			
K川流域 (支川)	山林(針葉樹1)	2.467	0.712	35.4	3.7	3.0	15.8	8.2	9.0	12.8	12.1			
	山林(広葉樹1)	2.570	0.720	30.1	2.7	1.9	13.0	8.8	11.2	14.7	17.6			
	平均値	2.519	0.716	32.8	3.2	2.5	14.4	8.5	10.1	13.8	14.9			

3.3 河床堆積砂の特性

河床に堆積する浮遊砂粒径を把握するため、本川上流、中流、下流(濁度観測地点)の3カ所、K支川上流、下流(濁度観測地点)の2カ所、更に東日本大震災後に貯水位を低下させて貯水管理をしており、貯水低下によって露出したダム湖内堆積砂を2カ所で採取した (Fig. 3)。堆積砂の粒度分布を Fig. 4 に示す。特に湖内堆積砂は大きな岩石質材料は確認できず、堆積砂粒径が整っている。研究の目的はOダムに流入する浮遊物質の移動予測であるため、実際にダム湖内に堆積している堆積砂粒径を追跡対象粒径0.038mm~32.000mmの11代表粒径とする。また、本川中流の粒度分布以外は大きな違いが見られないことから、2.3.3巻上浮遊における堆積砂構成の初期値は、本川中流を除いた平均値を用いる。間隙率は湖内の不攪乱試料で得た値を使用する (Table 2)。

Table 2 河床堆積砂の物理特性
Physical-properties values of river bed sediment

採取地点	区分	堆積砂密度 ρ_s (g/cm^3)	間隙率 r (-)	堆積砂の構成率 $p_i(d)$ (%)										
				代表粒径 (mm)										
				$d1$	$d2$	$d3$	$d4$	$d5$	$d6$	$d7$	$d8$	$d9$	$d10$	$d11$
ダム湖内	湖内1	2.702	0.370	-	1.7	0.2	3.7	6.2	14.0	16.7	17.3	11.2	19.7	9.3
	湖内2	-	-	-	0.5	0.3	2.3	6.4	20.3	33.4	21.6	11.1	4.3	0.0
本川流域	上流	-	-	-	1.6	0.4	4.6	8.7	23.5	19.2	16.6	12.7	12.7	0.0
	中流	-	-	-	8.4	2.4	17.2	18.4	30.1	20.9	2.2	0.4	0.0	0.0
	下流	-	-	-	8.2	0.1	0.1	1.1	10.4	48.2	13.3	2.2	5.0	11.4
K川流域 (支川)	上流	-	-	-	6.2	0.2	1.2	1.8	7.3	31.8	32.0	11.9	5.0	2.6
	下流	-	-	-	2.0	0.1	0.8	1.9	6.9	28.8	41.1	12.8	5.6	0.0
平均値		2.702	0.37	-	3.4	0.2	2.1	4.4	13.7	29.7	23.7	10.3	8.7	3.9

3.4 モデルメッシュの作成

流域分割には国土数値情報標準地域メッシュ体系の3次元メッシュを用いた。同メッシュの大きさは経度差45秒、緯度差30秒であり、日本の中央部においては約1km四方の領域に相当する。メッシュに、次に述べる多様な情報を内挿し、分布型物質移動モデルメッシュを作成する (Fig. 5)。

斜面勾配は数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)から求める。斜面勾配は斜面地表面の流下現象に影響を与えるとともに、斜面地表面による浮遊物質生産・運搬過程に影響を及ぼすため、斜面勾配は重要な要素である。堀川ら (2013) は、平均斜面勾配の計算法として用いられてきた交点法をDEMによる計算法に拡張し、キネマティックウェーブ法の平均斜面勾配を求めるのに用いられてきた谷線法の値と比較検討し、DEM情報を用いた斜面の平均勾配計測方法を提案している。この方法によりメッシュ毎に平均斜面勾配を計算する。

河道幅は現地での概略的な調査結果を踏まえ、式(22)によって推定する。

$$B_R = 1.19 A_m^{0.61} \tag{22}$$

ここで B_R : 各メッシュ点における河道幅, A_m : 各メッシュ点における集水面積である。

気象データのメッシュ化は、降水量は気象庁アメダス、ダム地点の時間降雨量を収集し、メッシュ平均値2010の空間分布に従って内挿する。

IV 今後の検討内容

ダム地点においては、単位時間当たりのダム貯水変化量にダム放流量を加えてダム流入量として整理している。東日本大震災後は、被災の影響で正確なダム流入量を観測しているとは言えない。

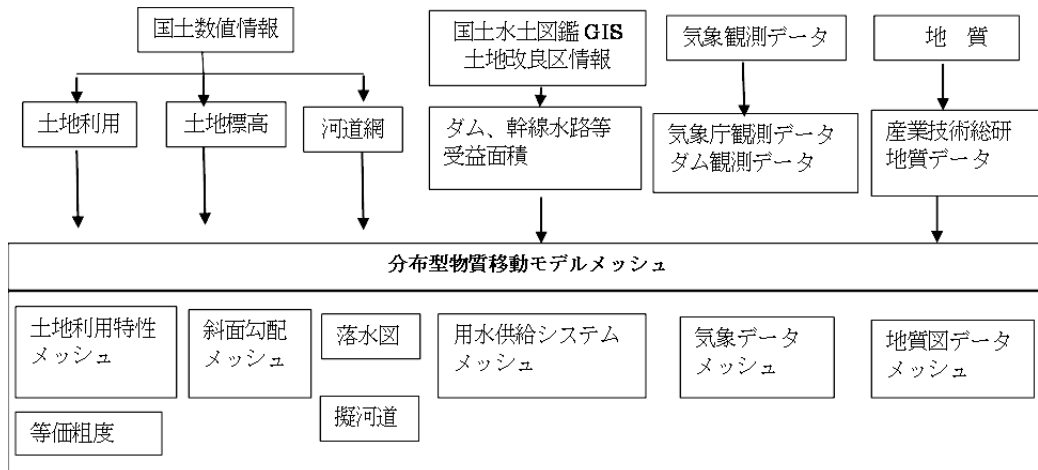


Fig.5 モデルメッシュの作成概要
Process to prepare mesh division model

このため、流出解析はダム地点で2005年1月から2013年10月まで時間単位の降雨量を与え連続計算を行う。検証はダム地点での流入量により行い、期間はモデル初期の影響を受けない2007年から東日本大震災前日(2011.3.10)までとする。この検証を踏まえて流出特性を把握し、流出に関する諸係数を確定させる。また、Oダム流域内でのSS等の観測データの収集を行う。

舛屋ら(2006)は、浮遊物質の中でウォッシュロードが多くを占めると指摘している。今後の分布型物質移動モデルによる浮遊物質の研究は、ウォッシュロードについての検討を先行することとし、ウォッシュロードの移動予測はSS観測データにより検証を行い、さらにウォッシュロードに浮遊砂を加えた浮遊物質移動の予測を行う計画である。

V 結 言

本研究の結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 斜面地表面流、河道流の流出を表現するキネマティックウェーブ法による連続・運動式と浮遊物質濃度連続式を連続して解き、浮遊物質の移動を追跡する手法が近年に提唱されている。これらの浮遊物質移動の研究を概観し、浮遊物質移動を組み込んだ分布型水循環モデル(分布型物質移動モデル)の構築を行った。
- ② 降雨による斜面部の浮遊物質生産は、斜面地表面流の浸食作用、雨滴の浸食作用、浮遊物質の堆積作用の3生産過程とし、これまで実施された水路実験結果などを踏まえて各生産過程を表現するモデル化を行った。
- ③ 河道内の浮遊物質移動については、河川管理の面から多くの研究が行われており、それらの成果を踏まえて巻上、堆積過程を表現するモデル化を行った。
- ④ 対象流域の特性を反映した物性値としてモデルに反映するため、解析実施に必要な表土、河床堆積砂の物性値調査を行った。
- ⑤ 地形、勾配、土地利用、植生、土壌特性、気象データ等の空間データベースを活用した分布型物質移動モデルメッシュの整備を行った。

以上を踏まえ、今後、対象流域において浮遊物質移動予測へと新たな研究展開を図る計画である。

参考文献

荒井信行・清水康行(1988):現場のための水理学(3)
<http://river.ceri.go.jp/contents/tool/suirigaku.htm>
 荒木正夫・椿東一郎(1962):水理学演習下巻,森北出版,203-204
 芦田和男・田中健二(1974):粘土分を含有する砂れき床の浸食と砂流機構に関する研究,京都防災研究所年報,17-B,571-584
 Green, W. H. and Ampt, G. A. (1911): *Studies on Soil Physics-Part I, The flow of air and water through soils, journal of Agric. Sci.*, **4**, 1-24
 平林桂・砂田憲吾・大石哲・宮沢直季(2004):片庭川流域におけ

る洪水時の浮遊砂・ウォッシュロード観測と流域土砂動態モデルの検討,土木学会論文集,768/2-68,33-43
 堀川直紀・吉田武郎・工藤亮治・皆川裕樹・名和規夫(2013):数値標高モデルを用いた流出の場としての斜面の平均勾配計測方法の考察,農村工学研究所技報(投稿中)
 市川温・藤原一樹・中川勝広・椎葉充実・池淵周(2003):沖縄地方における赤土流出モデルの開発,水工学論文集,47,751-756
 Ikeda, S., Izumi, N. and Ito, R., (1983): *Effects of pile-dikes on flow retardation and sediment transport, J. Hydraulic Eng.*, **117-11**, 1459-1478
 J. M. Wicks, J. C. Bathurst (1996): *SHESED: a physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modelling system, J. Hydrology*, **175**,213-238
 角屋 睦(1980):流出解析手法(その6)-雨水流法-表面流出モデルによる洪水流出解析一,農土誌,48(6),37-43
 Laws, J.O. and Parsons, D.A., (1943): *The relation of raindrop size to intensity, Trans. Am. Geophys. Union*, **24**,452-460
 Li, R-M., Simons, D.B. and Stevens, M.A. (1975): *Nonlinear kinematic wave approximation for water routing, Water Resour. Res.*, **11-2**, 245-252.
 舛屋繁和・清水康行・ウオンサ サニット・村上泰啓(2006):流域規模での洪水流出および土砂流出特性について,水工学論文集,50,319-324
 中達雄・島崎昌彦・樽屋啓之:畑地圃場から流出する微細土砂の制御工法,農業農村工学会論文集,**255**,69-75
 長澤徹明(2000):降雨時における浮流土砂流送挙動-農林地流域河川の浮流土砂流送に関する研究(Ⅰ)-,農業土木学会論文集,208,1-6
 西森研一郎・関根正人(2009):粘着粘土の浸食過程と侵食速度式に関する研究,土木学会論文集B,**65-2**,127-140
 農林水産省(2013):農地除染対策の技術書,2
 大澤和敏・池田駿介・久保田龍三郎・乃田啓吾・赤松良久(2008):石垣島名蔵川流域における土砂輸送に関する長期観測およびWEPPの検証,水工学論文集,52,577-582
 大倉利明(2010):世界の土壌劣化,地球環境,15-1,3-7
 佐山敬洋・寶馨(2003):斜面侵食を対象とする分布型土砂流出モデル,土木学会論文集,726/2-62,1-9
 塩野隆弘・奥島修二,高木東・福本昌人(2004):黒ボク土畝立て圃場の土壌侵食に対するキャベツ栽培の影響,農業土木学会論文集,230,1-9
 清水康行(1995):沖積河川の縦断形と河床材料分布形の形成について,土木学会論文集,521/2-32,69-78
 樽屋啓之・中達雄・藤井秀人(1998):農業用ダムの濁水問題に関する全国調査の分析,農業土木学会誌,66-11,1103-1109
 高木東・塩野隆弘・中野政詩(2008):リルリンクの特性値を用いたリル網からの土砂生産量の簡易予測手法,農業農村工学会論文集,253,11-20
 吉田武郎・増本隆夫・工藤亮治・谷口智之・堀川直紀(2012):広域水田灌漑地区の用水配分・管理モデルの実装による流域水循環のモデル化,農業農村工学会論文集,277,9-19

Study to Build a Distributed Water Circulation Model Incorporating Suspended Solid etc. Movement

NAWA Norio*, YOSHIDA Takeo*, HORIKAWA Naoki*, KUDO Ryoji* and MINAGAWA Hiroki*

Hydraulic Engineering Research Division, Advanced Hydrology and Water Resources Management*

Summary

In Japan, it is reported that soil erosion such as red soil loss, etc. resulting from change of land use has occurred in Okinawa Prefecture. It is said that land where rainfall has caused strong soil degradation has reached about 220 million ha(s) worldwide. And, management considering the movement of a suspended solid etc. became important after the accident at Fukushima No. 1 nuclear power plant.

For these reasons, the authors investigated the movement of a suspended solid etc. caused by surface soil erosion in a catchment basin of dam or head works. We tried building a distributed water circulation model incorporating suspended solid etc. movement, and researched the physical-properties values of surface soil and river bed sediment, which were values required by this model.

Key words : suspended solid etc., wash load, suspended load, distributed water circulation model incorporating suspended etc.solid movement