

分布型流出モデルに沿ったマクロスケールでの土砂生産・輸送モデリングの基礎的研究
Fundamental Study on Macro-Scaled Sediment Yield/Transport Modeling
based on Distributed Runoff Model

浜口 俊雄・田中 拓馬
Toshio Hamaguchi, Takuma Tanaka

This study proposes a fundamental approach of developing the widely-distributed sediment yield/transport model coupling with the runoff model of Hydro-BEAM. On the background, we have the big problem of locating and tracing the scattered radioactivities via water, soil and organic matter movement. We, therefore, need to prepare numerical tools of predicting not only short-time but long-time transporting behavior of such radioactivities. We now focus on a sediment transport model to trace the movement of radioactive materials adherent to soils. We attempt to modify the conventional model of sediment transport into widely-distributed and macro-scaled one to be compatible with any distributed runoff models because a distributed sediment transport system necessitates the distributed runoff one to conduct coupling analysis. The numerical performance is demonstrated through the actual basin. The reasonable behavior can be recognized in these numerical tests.

1. 序論

昨年3月11日に起きた東日本大震災によって福島原子力発電所事故が発生し、そこから3月15日に放射性物質が飛散してしまうという非常事態が生じた。その際に飛散した放射性物質は主にテルル132(半減期 約3日), ヨウ素131(同 約8日), ヨウ素132(同 約2時間), キセノン133(同 約5日), セシウム134(同 約2年), セシウム136(同 約13日), セシウム137(同 約30年)の7種であることが確認されている。ただし, ヨウ素132はテルル132が壊変して出来るため, 実際のヨウ素132の放射能はテルル132の半減期に従って減衰する関係にある。事故直後はテルル132とヨウ素132が線量の約80%を発生させていたが, 約3週間後には核種壊変特性でそれらはほぼゼロになり, セシウム134・137が線量の約90%を発生させていた。現在の発生源となるセシウムは共に土粒子や有機物に吸着しやすく, また半減期も年単位で長く, さらに広域に飛散しているため, 長期的視野に立って広域でセシウム移動を検討する必要がある。その吸着したセシウムは, 表層の土粒子移動または分解された有機物細粒分の移動とともに下流側へ輸送されると予想される。その土砂生産・輸送はそれぞれ降水での侵食・流出によって生じると考えられる。そこで本研究では, 広域での土砂生産・輸送が検討できるようなマクロスケールでの土砂移動モデリングの基礎理論構築を目指す。

2. 分布型土砂モデル

上流域での渓谷域での河道の扱いを流出モデルと同じように三角形断面で考え, 土砂モデルもそれに適応した式に変形するものとする。まず掃流砂に関して検討した。運動則に関しては, 断面に依存しないとして式(2)で定義された文字数を用いている式(1)のような芦田・道上式を採用した。その連続式に関しては, 上流域の三角形断面の場合に式(3)を用いる。次に浮遊砂に対しても同様に検討した。式(4)は上流域の三角形断面に対応した浮遊砂の基礎式を表す。ここに用いる浮遊砂沈降量には式(5)に示すRubeyの式から算定するものとした。また, 浮遊砂巻上げ量には式(6)に示す実験式から算定するものとした。土砂生産モデルについては, 今回はLQ式を採用して生産量を近似した。なお, これらの連続

$$q_b = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)gd^3}$$

$$= \frac{17(U_* + U_{*c})(U_* - U_{*c})^2}{sg} \quad (1)$$

$$\left(s = \frac{\sigma}{\rho} - 1, \quad U_*^2 = \tau_*sgd, \quad U_{*c}^2 = \tau_{*c}sgd\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial Z_b}{\partial t} = -\frac{1}{2mh(1-\lambda)} \left(\frac{\partial q_b}{\partial x} + L\right) \quad (3)$$

(q_b : 単位幅掃流砂量 (m^2/s), τ_* : 無次元掃流力, τ_{*c} : 限界無次元掃流力, U_* : 摩擦速度 (m/s), U_{*c} : 限界摩擦速度 (m/s), σ : 土砂密度 (kg/m^3), ρ : 流体密度 (kg/m^3), s : 土砂の水中比重, d : 土砂粒径 (m), Z_b : 河床高 (m), λ : 河道堆積物の間隙率, L : 単位幅土砂生産量)

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{Q}{mh^2} \frac{\partial c}{\partial x} + c \left(\frac{1}{mh^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{2W_f \sqrt{1+m^2}}{mh}\right) = \frac{q_{su}}{h} + \frac{L}{mh^2} \quad (4)$$

(c : 浮遊砂濃度, h : 水深 (m), m : 渓谷勾配, Q : 河川流量 (m^3/s), q_{su} : 巻上げ速度 (m/s), W_f : 沈降速度 (m/s), σ : 土砂密度 (kg/m^3), ρ : 流体密度 (kg/m^3), d : 土砂粒径 (m), L : 単位幅土砂生産量)

$$\text{Rubeyの沈降速度実験式: } W_f = \sqrt{\frac{2sgd}{3} + \frac{36\nu^2}{d^2}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{d^2}} \quad (5)$$

巻上げ速度の実験近似式:

$$q_{su} = 0.008 \left\{ 0.14 \frac{\rho}{\sigma} \left(14U_* - \frac{0.9sgd}{U_*} \right) - W_f \right\} \quad (6)$$

式・運動式による土砂輸送解析時, 河道法面勾配 m , 水深 h , 流量 Q の値は, 同時並行のHydro-BEAMに基づく流出解析で採用した値または得られた結果が連成的に用いられる。

3. 解析例

解析シミュレーションの対象として, 東北地方の阿武隈川流域を選んだ。その流量ならびに土砂輸送量の結果は当日示す。その際, 土砂輸送量は短時間での輸送としてほぼ浮遊砂量に一致することから, 同砂量の挙動を確認するものとする。その挙動と河川流量の挙動の比較を行い, 考察する。

4. 結論

本研究では, 広域分布型土砂輸送モデルに関する基礎的展開を行った。テスト解析では, 土砂輸送の特性を河川流量との比較から確認する。今後は流出モデルの精度を向上させ, 物理挙動を基にした分布型土砂生産モデルを提案して採用する予定である。