

## 1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所 (FDNPP) の事故により、環境中に大量の放射性核種が放出された。大気中に放出された放射性核種は大気の流れにより輸送され、湿性・乾性沈着によって地表面に沈着し、広範囲の放射能汚染を引き起こした。今後の被ばく量評価に際しては、沈着した放射性核種の中でも半減期が長い放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) に注目し、その環境動態を明らかにする必要がある。放射性セシウムのモニタリング結果から、多くの放射性セシウムは FDNPP から 80 km 圏内に沈着したことが示された。また、土壌に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  は比表面積の大きな粘土やシルトなどの微細土壌粒子に偏在していることが明らかとなっている。そのため、FDNPP 事故後の放射性セシウムの環境動態を予測し、将来の健康影響の評価や除染対策をする上では、水循環に伴う侵食土壌粒子の挙動を精度良く推定することが重要である。そこで、本研究では降雨流出過程に伴う土壌粒子流出量を推定することができる水質モデルを用いて、2012年12月までの阿武隈川流域における放射性セシウム動態の再現を試みた。

## 2. 計算方法

水質モデルでは、流域界・水路網データ、土地利用データ、気象データ、放射性セシウム初期沈着量等の入力データを基に、降雨流出過程に伴う水、粒度分布を考慮した侵食土壌粒子、土壌粒子に吸着した放射性セシウムの移動量が解析される。また、土壌粒子の河川への横流入負荷量の算出には LQ 式を用いる場合と Universal Soil Loss Equation (USLE)<sup>1)</sup> を用いる場合の2通りに分けて計算した。

LQ 式は負荷量を流量の関数と仮定するモデルである。本研究では、斜面からの横流入量が流量に対して指数関数的に増加すると仮定し、河口における水流出量と土壌粒子負荷量の関係が対象領域の土壌粒子流出過程を代表するとして、LQ 式パラメータを決定する。

$$f_{ss} = \frac{\alpha_{ss} (q_r bl)^{\beta_{ss}}}{bl} \quad (1)$$

$f_{ss}$ : 土壌粒子負荷量 [ $\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ],  $q_r$ : 斜面からの横流入量 [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ],  $bl$ : 河道長 [m],  $\alpha_{ss}$ ,  $\beta_{ss}$ : LQ 式パラメータ

USLE は畑地土壌の侵食を予測するために作られたデータベースに基づく統計モデルであり、単位面積あたりの流亡土壌を求めることができる。(2) 式に示す係数の積によって、単位面積から単位時間に流出する平均的な流亡土量  $A_{ss}$  が計算される。

$$A_{ss} = RKLSCP \quad (2)$$

$A_{ss}$ : 土壌粒子流亡量 [ $10^6 \text{ g ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ],  $R$ : 降雨係数 [ $10^6 \text{ g m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-2}$ ],  $K$ : 土壌係数 [ $\text{h m}^{-2}$ ],

$L$ : 斜面長を表す地形係数 [-],  $S$ : 斜面勾配を表す地形係数 [-],  $C$ : 作物係数 [-],

$P$ : 保全係数 [-]

計算領域は図1に示す阿武隈川流域全域とし、流域全体を3次メッシュごとに区分し、計算格子を設定した。計算期間は2011, 2012年の2年間とした。

なお、放射性セシウム輸送解析は、第2次航空機モニタリングの最終測定日である2011年5月26日から行った。本研究では、粘土 ( $0.45 \sim 3 \mu\text{m}$ ), シルト ( $3 \sim 63 \mu\text{m}$ ), 極細粒砂 ( $63 \sim 125 \mu\text{m}$ ), 細粒砂 ( $125 \sim 250 \mu\text{m}$ ) の4種類の無機物土壌粒子を対象として、粒径による流出特性の違いを考慮し水質モデルで解析を行った。

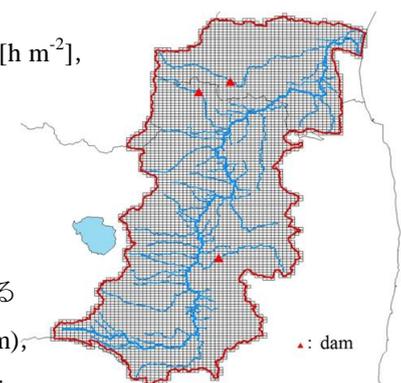


図1 計算領域

### 3. 結果と考察

阿武隈川河口からの河川水、土壌粒子、放射性セシウムの積算流出量の計算結果を図2に示す。Yamashikiら<sup>2)</sup>の土壌粒子流出量と放射性セシウム流出量の報告値 551 Gg, 5340 GBq (2011年8月10日から2012年5月11日における値) に対して、LQ式を用いた場合は 175 Gg, 4070 GBq であり、USLEを用いた場合は 223 Gg, 8160 GBq でありオーダーが一致した。計算対象期間における土壌粒子流出量と放射性セシウム流出量は共に LQ式を用いた場合に比べ USLEを用いた場合の方が大きく、特に放射性セシウム流出量には大きな差が見られた。

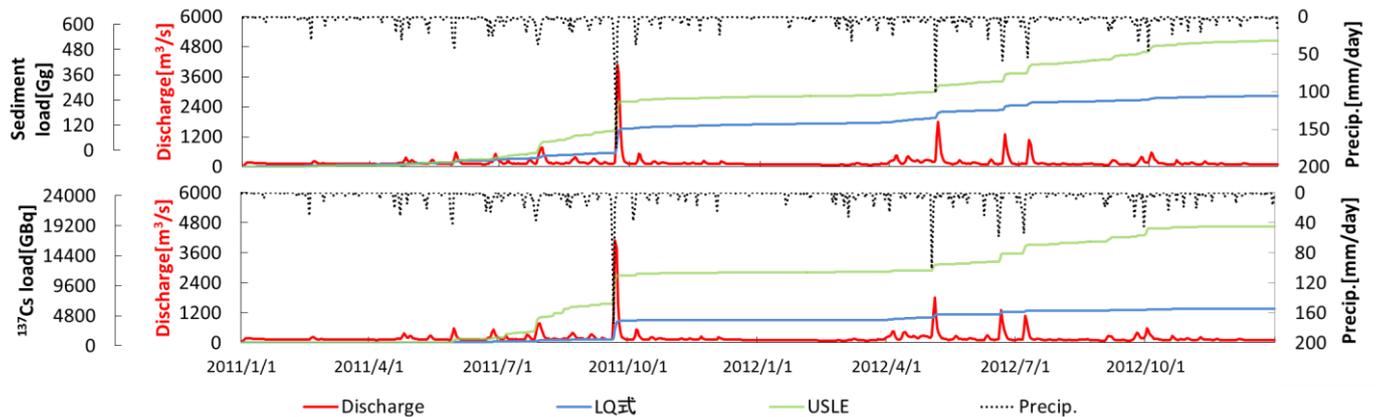


図2 阿武隈川河口からの河川水、土壌粒子、放射性セシウムの積算流出量計算結果  
(上: 積算土壌流出量, 下: 積算放射性セシウム流出量)

LQ式を用いた場合とUSLEを用いた場合の土壌流出量を比較すると、USLEを用いた場合では台風襲来時である2011年9月末のような長時間の降雨による出水時以外にも大きく流出した期間が見られ、土壌粒子流出量に差が生じた。この理由として、USLEにおける土壌粒子流出量が降雨イベント時における最大30分降雨強度に依存することから、長時間の降雨だけでなく短時間の降雨を反映したものと考えられる。また、LQ式を用いた場合とUSLEを用いた場合の放射性セシウム流出量の差の理由としては、USLEは表面土壌流出のみを対象とした式であるのに対しLQ式は表面土壌流出以外にも考慮されていることと、放射性セシウムが地表深さ5cmまでに多く分布することが考えられる。

### 4. 結論

2011年8月10日から2012年5月11日における計算結果としては、LQ式を用いた場合、土壌粒子流出量 175 Gg と<sup>137</sup>Cs流出量 4070 GBq であり、USLEを用いた場合、土壌粒子流出量 223 Gg と<sup>137</sup>Cs流出量 8160 GBq であり、両者ともに報告値<sup>2)</sup>に対しオーダーが一致した。今後の課題としては、侵食土壌流出過程とそれに伴う放射性セシウム流出過程の再現性を向上させることと、将来における放射性セシウムの環境動態プロセス全体を予測し、将来の健康影響を評価するために、降雨流出過程に伴う放射性セシウム動態の現況再現から将来予測へと移行することとする。

#### 参考文献

- 1) Wischmeier, W. H., Smith, D. D.: Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. (1978)
- 2) Yamashiki Y., Onda Y., Smith H., Blake W., Wakahara T., Igarashi Y., Matsuura Y., Yoshimura K.: Initial flux of sediment-associated radiocesium to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Scientific Reports. 4, 3714. (2014)

キーワード: Radiocesium, Sediment transport, Rainfall-runoff process, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Water quality model