

水質モデルを用いた阿武隈川流域における放射性セシウムの長期動態シミュレーション

Numerical simulation of long-term fate of radiocesium in the Abukuma river basin using water quality model

○学 池之上 翼^{*1}, 高見 京平^{*1}
 嶋寺 光^{*1}, 松尾 智仁^{*1}, 正 近藤 明^{*}
 Tsubasa IKENOUE^{*1}, Kyohei TAKAMI^{*1},
 Hikari SHIMADERA^{*1}, Tomohito MATSUO^{*1} and Akira KONDO^{*1}
^{*1} 大阪大学 Osaka University

The Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident in March 2011 caused the deposition of significant quantities of radionuclides, including ^{137}Cs , in a wide area around FDNPP. Health effects of ^{137}Cs have been concerned because ^{137}Cs has a long half-life (~30 years) and tends to remain in the environment. Most part of the deposited ^{137}Cs is strongly adsorbed to fine soil particles such as clay and silt near the ground surface. Therefore, in order to estimate the environmental fate of ^{137}Cs , it is necessary to predict its transport with eroded sediments in rainfall-runoff process. In this study, a water quality model that used the Universal Soil Loss Equation (USLE) as an erosion predictor was applied to simulations of ^{137}Cs transport associated with hydrological processes in the Abukuma River basin, the largest river system in Fukushima, in the year 2011 - 2040. Based on the simulation results, we estimated that the effective half-life of ^{137}Cs deposited in Abukuma River basin will be approximately 29 years due to the outflow of contaminated sediment in rainfall-runoff process.

Key Words : ^{137}Cs transport, Sediment transport, USLE, Fukushima nuclear accident, Long-term fate

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(^{137}Cs)に注目し、その環境動態を明らかにする必要がある。モニタリング結果から、多くの ^{137}Cs はFDNPPから80 km圏内に沈着したことが示された⁽¹⁾。また、土壌に沈着した ^{137}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⁽²⁾。そのため、FDNPP事故後の ^{137}Cs 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、阿武隈川流域における30年間の ^{137}Cs 動態を予測した。

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、 ^{137}Cs 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 ^{137}Cs の移動量が解析される。また、土壌粒子の河川への横流入荷量の算出にはUniversal Soil Loss Equation (USLE)⁽³⁾を用いた。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量を求めることができる。式(1)に示すように、降雨や地質、地形的特徴を表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.

$$A_{SS} = RKLSCP \quad (1)$$

A_{SS} : 土壌粒子流亡量 [t/(ha·10 min)], R : 降雨係数 [MJ·mm/(ha·h·10 min)], K : 土壌係数 [t·h/(MJ·mm)], 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、流域全体を標準地域メッシュの3次メッシュに区分し計算格子を設定した。計算期間は2011～2040年の30年間とし、気象データには2011～2015年の気象データを繰り返し適用した。なお、 ^{137}Cs 輸送解析については第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 (0.45～3 μm), シルト (3～63 μm), 極細粒砂 (63～125 μm), 細粒砂 (125～250 μm) 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。

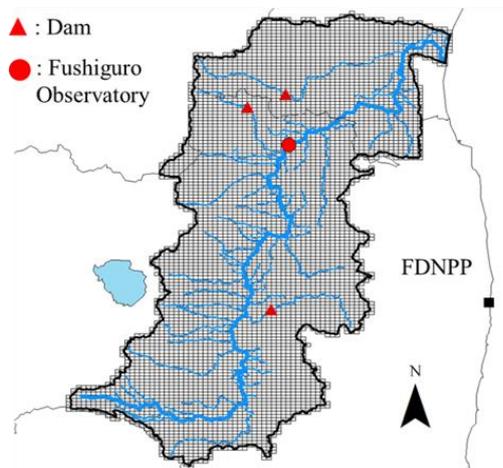


Fig.1 Computational domain and locations of observation sites

3. 結果と考察

伏黒における2011年から2012年までの日平均流量の実測値⁽⁴⁾と計算値の比較を図2に示す。観測所における計算値は平水時だけでなく出水時の傾向を良好に捉えていた。また、台風6号襲来時の2011年9月の出水時の流量も再現された。

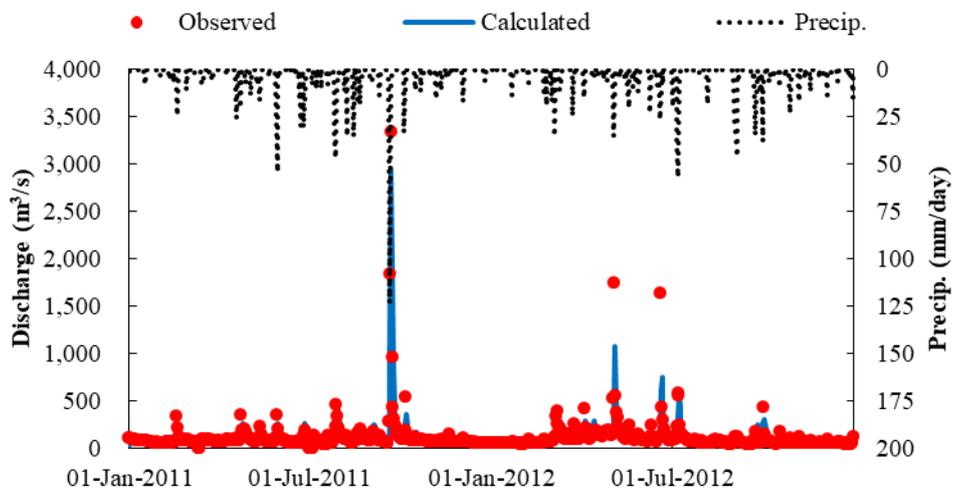


Fig.2 Observed and calculated daily river flow at Fushiguro observatory

河川流量と同地点の伏黒における 2011 年から 2012 年までの Suspended Solid (SS) の実測値⁽⁴⁾ と日平均計算値の比較を図 3 に示す。計算値では、SS として無機物土壌粒子のみを考慮している。出水時は観測値が存在しなかったため計算値と比較出来なかったが、平水時の計算値と実測値のオーダーは一致した。

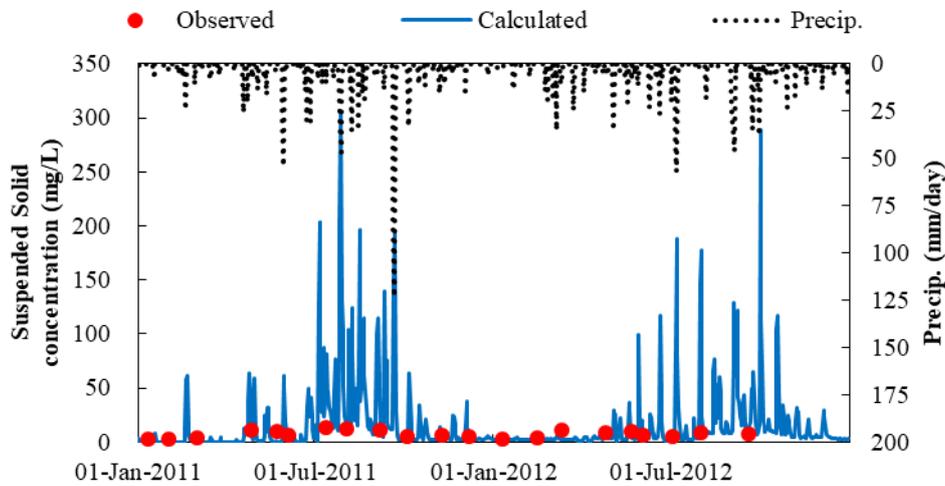


Fig.3 Observed and calculated daily concentration of suspended solids at Fushiguro observatory

阿武隈川河口からの河川水、土壌粒子、¹³⁷Cs の積算流出量の計算結果を図 4 に示す。Yamashiki ら⁽⁵⁾ の土壌粒子流出量と ¹³⁷Cs 流出量の実測を基にした推計値 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、計算結果は 153 Gg, 1828 GBq でありオーダーが一致した。また、台風 6 号襲来時の 2011 年 9 月 11 日から 9 月 27 日における土壌粒子、¹³⁷Cs 流出量は 96.1 Gg, 1221 GBq と推定された。

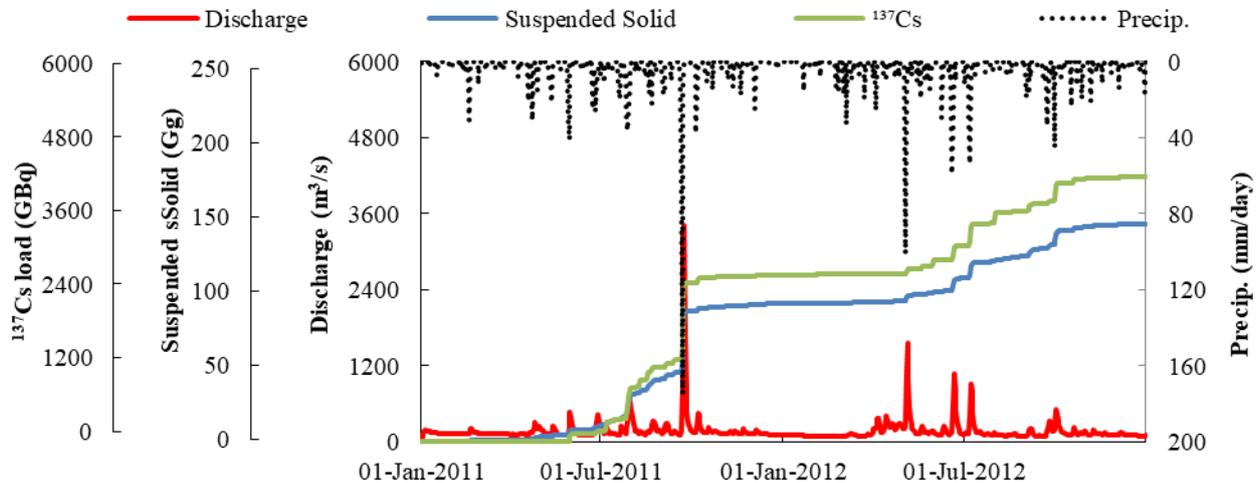


Fig.4 Daily river flow, total suspended sediment outflow and total ¹³⁷Cs outflow at the Abukuma River estuary

阿武隈川流域における ¹³⁷Cs の蓄積量の時間変化を図 5 に示す。土壌粒子輸送を考慮しない場合の実効半減期は約 30 年に対し、土壌粒子輸送を考慮した場合は 29 年と 1 年短くなったが、大きな差は見られなかった。また、計算期間中に流域内から侵食された土壌流出量や侵食に伴う ¹³⁷Cs の流出量は畑地では 2520 Gg, 32 TBq, 山林では 1197 Gg, 55 TBq, 市街地では 82 Gg, 4.4 TBq, 水田では 767 Gg, 10 TBq と推定された。

土壌粒子輸送を考慮しても実効半減期に大きな差が表れなかった理由は以下の二点で説明できる。一点目は土壌侵食されやすい畑地では耕作により土壌攪乱されており、土壌中の ¹³⁷Cs 濃度は深度によらず一定となるため、

^{137}Cs の流出量は土壌流出量に比して小さくなることである。二点目は流域面積の多くを占める山林では ^{137}Cs の沈着量が多い地域が多いが、土壌侵食されにくいいため ^{137}Cs の流出量は小さくなることである。

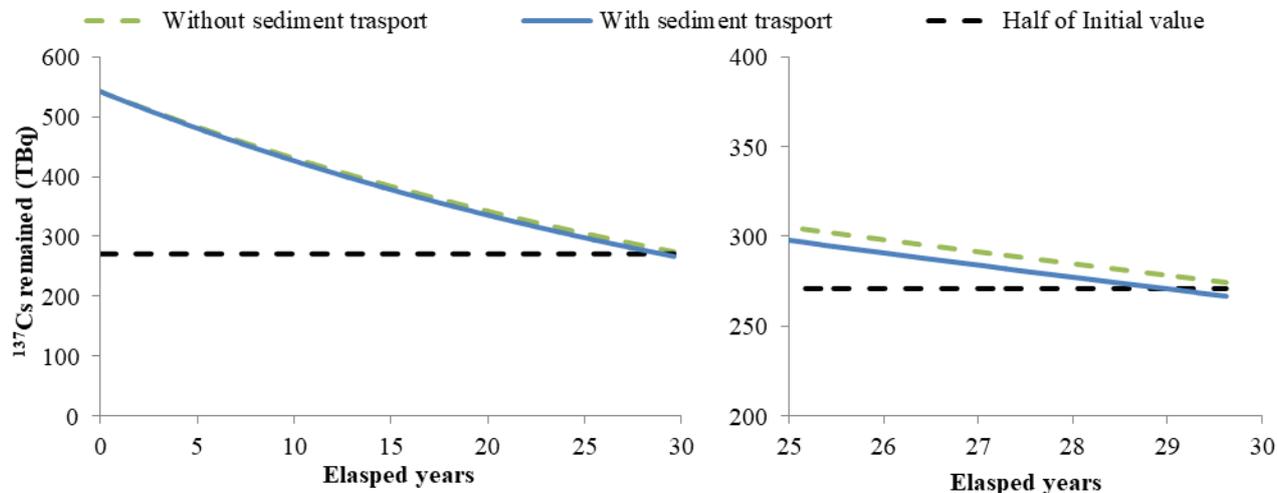


Fig. 5 Estimated change in the total amount of ^{137}Cs remaining in the Abukuma River Basin.

4. 結論

福島第一原子力発電所 (FDNPP) の事故により、大量の放射性セシウム (^{137}Cs) が地表面に沈着し、 ^{137}Cs の健康影響が懸念されている。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、2040年12月までの阿武隈川流域における ^{137}Cs 動態を予測した。

2011～2012年において、モデルは平水時、出水時ともに河川流量をよく再現した。Suspended Solid (SS) について平水時の計算値と実測値のオーダーは一致した。阿武隈川河口からの土壌粒子、 ^{137}Cs の積算流出量は、Yamashiki ら⁽⁵⁾ の実測値に対しオーダーが一致した。2011～2040年において、阿武隈川流域に沈着した ^{137}Cs の実効半減期は約29年と推定された。今後の課題として、 ^{137}Cs の樹冠から森林土壌への移行プロセスと土壌中の ^{137}Cs の浸透を考慮することで、 ^{137}Cs の移動量をより正確に予測出来るモデルに改善することが挙げられる。

文 献

- (1) 文部科学省:放射線量等分布マップの作成等に関する報告書(第1編)
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5235/view.html>
- (2) Sakaguchi, A., Tanaka, K., Iwatani, H., Chiga, H., Fan, Q., Onda, Y., Takahashi, Y., 2015. Size distribution studies of ^{137}Cs in river water in the Abukuma riverine system following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioact.* 139, 379-389.
- (3) Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture Agriculture Handbook No. 537.
- (4) 国土交通省: 水文水質データベース
<http://www1.river.go.jp>
- (5) Yamashiki, Y., Onda, Y., Smith, H., Blake, W., Wakahara, T., Igarashi, Y., Matsuura, Y., Yoshimura, K., 2014. Initial flux of sediment-associated radiocesium to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci. Rep.*