

フクシマの森林流域から流出する放射性セシウムはどこからきたのか

— 大柿ダム上流域の河川敷から流出した Cs 総量の算定 —

Where radiocesium that flowed out from forest watersheds in Fukushima came from

— Estimation of total amount of Cs that flowed out from river beds in watershed of Ohgaki dam —

○塩沢 昌*, 西田和弘*, 吉田修一郎*, 藤原光汰*

Sho Shiozawa, Kazuhiro Nishida, Shuichiro Yoshida, Kohta Fujiwara

福島県の河川の流域面積の大半、とくに上流域はほとんどが山間地の森林であり、この山間地に大量の沈着した放射性セシウム (Cs) の河川への流出とため池、ダム湖、水田への流入が懸念される。福島県における河川で年間に流出している Cs は、流域に沈着した量の数百分の一で、量的には少ないが、この河川流出している Cs は、どこから来たのであろうか。流域の大半を占める森林であるから流出していると考えるのが普通であろう。しかし、Cs が土壌表層 5cm 程度の限られた層に固定されてほとんど移動せず、林地内での土壌侵食は稀であることを考えれば、森林内部からの流出は少なく、主要な流出源は、通常は水の流れがなく豪雨時のみ水流に没する河川敷や森林内の流路で、2011 年 3 月に河川敷や流路内に沈着して土砂に固定された Cs が豪雨時に河道内を移動していると考えられる。この仮説を検証するために、高濃度 Cs 汚染地域である大柿ダム流域において河川敷内の横断方向の Cs 表面濃度分布測定調査によって河川敷からの Cs 流出特性を求めた上で、流域の地形標高データを GIS で解析して、流域全体の河川敷からの Cs 流出総量を算出し ([1]式)、大柿ダムへの流入量の経年測定値と比較した。

調査地: 大柿ダムに流入する (上流域から河川流出する) Cs 量が農水省によって 2012 年から連続測定されており、年間に流域沈着量の 1/300~1/700 である。ほとんどは豪雨時の河川流量が多い時に懸濁態として流出している。とくに 2015 年の豪雨では過去 2 年分を越える流出があった。

河川敷調査: 2017 年 11 月に、高濃度汚染が問題の大柿ダムの上流域の河川敷内で横断方向の Cs 濃度分布と地盤高、河川敷幅、水面幅を測定した。2015 年にも調査をしているが、今回は平時には水のない小河道を含め流域内の大小様々な河川敷・河道の 13 カ所で測定を行った。地表の Cs 濃度 (Bq/m²) は下窓からのみガンマ線が入射するように鉛コリメータを装着した NaI シンチレーションサーベーターで測定した。この調査結果から、水際近くでは Cs 濃度が沈着濃度 (河川敷外の濃度) より低くこの部分が豪雨時の河道であること、その幅とそこでの Cs 流出率 (r) がわかる (Fig. 3)。 r の集水域面積 (A) との関係は、 $A=0$ にて $r=0$ から立ち上がり、 A が一定値を越えると一定値となる。すなわち、河川浸食の生じる流れの規模になると河川敷

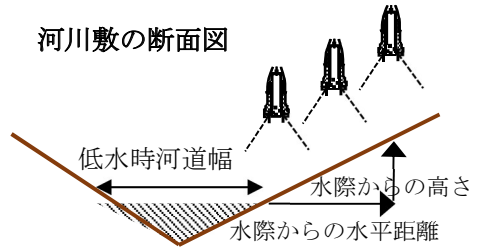


Fig.1 地上リモートセンシングによる河川敷内の Cs 表面密度分布の測定

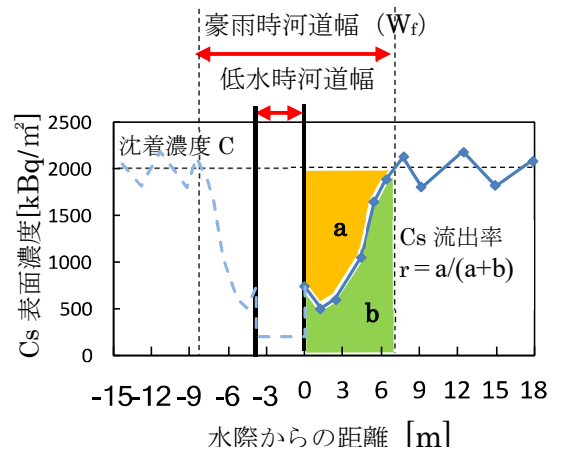


Fig.2 河川敷内の Cs 表面濃度分布の測定例と豪雨時河道幅、Cs 流出率の定義

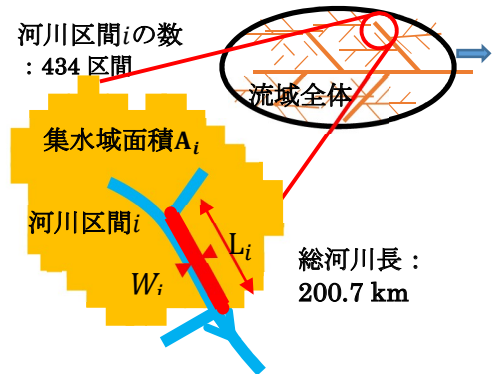


Fig.3 GIS による、河川、任意河川区間 i の集水域面積 (A_i)、区間長 (L_i) の算定

*東京大学農学生命科学研究科 The Univ. of Tokyo, [キーワード] 放射性セシウム、河川流出、河川浸食、GIS

の土砂の更新が生じ、新たに生成・堆積した土砂にはCsがほとんど含まれないことを示している。

河川敷流出Cs総量の算定方法：国土地理院の標高データ

(10×10mメッシュ)をArcGISで解析して河道を求め、流域内の全河道(総河道長201km)を434の小区間に分割し、次式によってCs流出総量を算出した。

流域全体の豪雨時河道(河川敷)からのCs流出総量=

$$\sum_{\text{区間}} \left\{ \begin{array}{l} \text{流域全体} \\ \text{区間} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{豪雨時河道幅 } W_f(A_i) \times [\text{河道区間長 } L_i] \\ \times [\text{沈着濃度 } C_i] \times [\text{Cs流出率 } r(A_i)] \end{array} \right\} \right\} \quad [1]$$

地点*i*の沈着(フォールアウト)濃度*C_i*は航空機モニタリングデータから決めた。問題は各区間の豪雨時河道幅*W_f*とCs流出率*r*であるが、何れも豪雨時流量で決まると考え、流量は*i*地点の集水域面積*A_i*に比例するので、何れも*A_i*の関数と仮定して、関数形*W_f(A_i)*と*r(A_i)*を河川敷内のCs濃度分布調査を行った13地点の測定結果から決めた(Fig.4)。

結果と結論：河川敷からのCs流出が生じている豪雨時河道面積は、流域面積の約2%で、集水面積が小さい小河道が長さと同面積は大きいものの流出率*r*が小さいためにCs流出の寄与は少なく、集水面積が大きい(流量が多い)河道からのCs流出の寄与が大きい(Fig.5)。豪雨時河道の総面積は流域の約2%となった(Table 1)。Table 2で豪雨時河道敷からの流出総量を農水省が測定した2012~2015年の大柿ダムへのCs流入総量を比較した。低水時河道からの流出はほとんどが2011年の沈着直後に生じ2012年以降のダム湖への流入にあまり含まれないと考え、これを除いた河川敷のみからの流出総量も示した。本研究で算定した河川敷からの総流出量は農水省測定の大柿ダム流入量に近い値であり、懸濁態の河川流出が主に河川敷に沈着したCsの豪雨時の移動・流出によるものであることが示された。また、河川敷に沈着したCsの46%が既に流出しており、2015年豪雨以前と比べれば懸濁態Cs流出はほぼ半減していると思われる。実際、懸濁物質中のCs濃度が明確に減少していることが報告されている。

Table 1. 算定した流域全体の豪雨時河道面積および平水時河道面積とそこからのCs流出率(*r*)の全流域平均値

	面積 km ²	流域面積(103.8 km ²)に対する割合(%)	Cs 流出率の平均(%)
豪雨時河道	2.03	1.96	45.8
低水時河道	0.53	0.51	(90)

Table 2. 算定した流域全体の河川敷から流出したCs総量の結果

本研究で算定した豪雨時河道からのCs総流出量 [MBq]	5,140,000
本研究で算定した河川敷のみからのCs流出量 (低水時河道からの流出を除く) [MBq]	3,070,000
農林水産省が測定した大柿ダムへのCs流入量 (2013~2015年) [MBq]	3,150,000

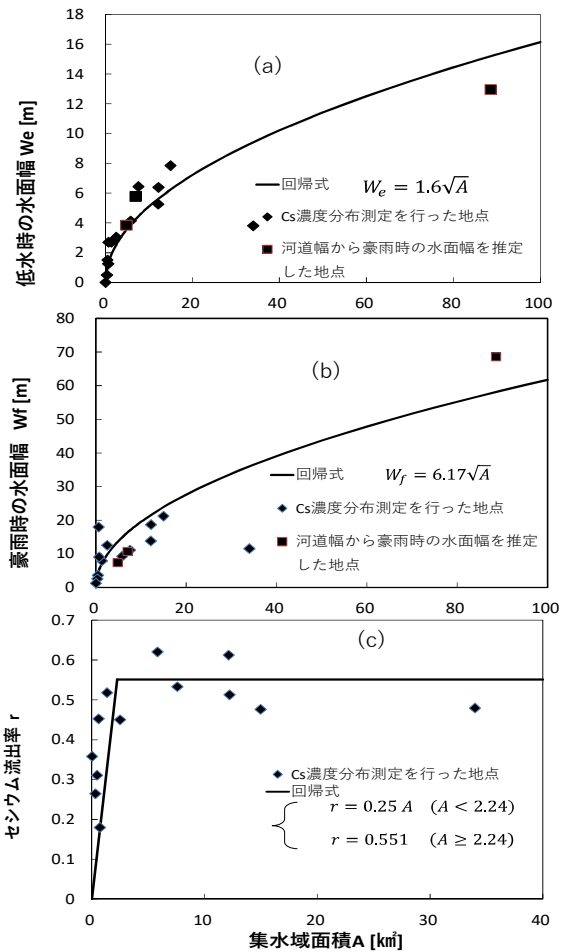


Fig.4 河川敷調査地点の、(a) 低水時水面幅 *W_e*、(b) 豪雨時水面幅 *W_f*、(c)、Cs 流出率 *r*、の集水域面積 *A* との関係

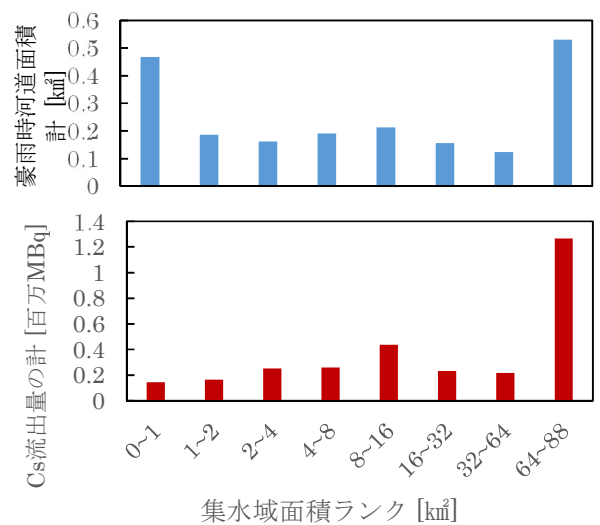


Fig.5 集水域面積ランク別の、豪雨時河道面積の合計(上図)とそこからのCs流出量の合計(下図)