ダム撤去が河川環境に及ぼす影響の評価法に関する課題 –Savage Rapids ダムの事例を中心として –

Challenges on evaluation method of river environment influenced by dam removal

○ 前田 滋哉[1]・野田 浩二[2]・皆川 明子[3]・小林 久[1]・吉田 貢士[1]・黒田 久雄[1]
Shigeya Maeda[1], Koji Noda[2], Akiko Minagawa[3], Hisashi Kobayashi[1], Koshi Yoshida[1] and Hisao Kuroda[1]

1 はじめに

河川水は通常複数の用途に用いられることから，その持続可能な利用のためには利害の調整が重要である．近年，灌漑用，飲料用，発電用等の取水と環境保全の競合をどう調整するかが問題となる場合が多い．しかし，新たに調整を行うとなれば水利構造物の導入や撤去，取水方法の変化が生じる．河川流量・水深といった水理環境の変化だけでなく，濁度の上昇や河床高の変化といった水質や地形の変化が生じる可能性が高い．したがって水利調整においては，河川環境変化の高精度予測が事業実施前に不可欠な検討事項の一つと考えられる．

著者らは昨年，主に農業と漁業の利害調整が問題となった米国オレゴン州の Savage Rapids ダムの撤去現場 (写真) を見学した．このダムに関しては，ダム撤去前後の河川環境変化が比較的多く記録されているようである．そこで本報ではこのダム撤去事例に焦点を当て，ダム撤去による堆砂の移動について，事前にどのような影響予測や分析がなされ事後にどうなったかを整理する．そして事業が河川環境に与える影響の予測手法の到達点と今後の課題について考察する．

2 Savage Rapids ダム撤去事例の概要 [1,2]

Savage Rapids ダムは米国オレゴン州南西部の西海岸に流下する Rogue 川の河口から 172km 上流に位置する．これはダムの北西に位置する GPID(Grants Pass 灌漑区）によって 1921 年に建造された灌漑用のダムであり，レクリエーションや釣りに利用されることもあったが洪水制御や発電には使われてこなかった．ダム形式は重力式・アーチコンクリート混合型で，堤頂長 152m，堤高 11.9m である．非灌漑期 (10 月中旬から 5 月中旬) のダム貯水池水深は 9.1m で貯水域は堤体から 0.8km 上流に達していた．灌漑期には堰板により堤頂が 3.35m 嵩上げされ，貯水池水深は 12.5m，貯水域は堤体から 4km 上流部まで伸びた．両岸にあった魚道が現行の水産基準に適合しておらず，機能を果たしていないことから，魚（タイセイヨウサケ，スチールヘッド）の河川での移動を自然状態に回復する目的で堤体の撤去が 1994 年にダムの所有者である GPID から提案された．この事例で特徴的な点は，2009 年の 4〜10 月にかけて 2 つの魚道を含む堤体の大部分が除去されたと供に，堤体残部の直下流左岸側に新たな灌漑用の揚水設備が内務省開拓局によって建造された点である．そのため，取水口前部での渦の発生，堆砂等による通水阻害が生じないようなダム撤去の時期や取水口の位置の決定を目的として，流れと流砂に関する数値解析が事前に行われた．ダム撤去事業に要した費用は揚水機場と取水口の整備費も含めて約 3,930 万ドル [1] だった．

Photo　Savage Rapids Dam removal site, taken from left bank (21 September 2015).

3 河床の堆砂量変化の予測 [1]

ダム貯水池での堆砂量は，1990 年代は貯水池体積から単純に 40 万 m^3 や 75 万 m^3 と推定され

[1] 茨城大学農学部　[1]College of Agriculture, Ibaraki University
[2] 東京経済大学経済学部　[2]Faculty of Economics, Tokyo Keizai University
[3] 滋賀県立大学環境科学部　[3]School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture
キーワード：河川管理，堆砂，生態環境，ダム，数値解析

た．1999 年にボーリングや潜水により堆砂厚の空間分布が調査された結果，堤体から 0.8km 上流までしか堆砂が無いことが判明し，堆砂量は 15 万 m^3 と下方修正された．また同年の堆砂の粒度分析により，粘土とシルトが 2%，砂が 71%，礫が 27%ということがわかり，粒径が比較的大きいことが明らかになった．

ダム撤去前の GPID の懸念事項は，ダム貯水池に溜まっている土砂はダム撤去後侵食されるが，それはどのくらいの時間続くのか，また侵食が揚水にどのくらいの期間影響するかという点だった．これに対し，内務省開拓局は一次元流れ・流砂モデルである HEC6t[3] および堤体の 8km 下流部での水文観測所データを用い，流砂のシュミレーションを行った．その結果，渇水年では堆砂量 15 万 m^3 のうちの 66%がダム撤去後最初の洪水時に流去し，75%が 1 年以内に侵食されること，豊水年ではさらに速いペースで侵食が進むことがわかった．その一方，堆砂のうちのわずかな部分は 10 年以上元の場所にとどまることも示された．

漁業者や河川下流の土地所有者の懸念事項は，ダムでの堆砂がダム撤去後下流側のどこに堆積し，それがいつまで続くのかという点だった．ダムから 19.3km 下流部（主要な支川が初めて Rogue 川に合流する地点) までに 18 個の窪地があり，それらの容積の合計は 40 万 m^3 だった．そのうち，ダム直下流 2.6km までの 2 個の窪地が大きく，容積合計は 11.5 万 m^3 だった．開拓局が HEC6t により 10 年分シミュレーションした結果，流砂はダム直下流の窪地を埋めてそこにとどまり，洪水時の洗掘は顕著でないことがわかった．

4 ダム撤去後の環境影響評価 [1,4]

開拓局の調査によると，ダム撤去後の最初の洪水が 2010 年 1 月 1 日に発生し，50%の土砂が流された．これは事前予測の値の 66%より小さい．この理由として，実際の日流量 200m^3/s がモデル計算での設定流量 283m^3/s より小さかった，ダム上流側での河床地形が不確実，1 次元モデルを使用することの限界などが挙げられた．また，実際にはダム上流側の窪地に堆積していた土砂は移動せず，ダム直下流にあった深さ 5m の窪地は年々土砂で埋められていくこと，それより下流の窪地は埋められにくいことがわかった．この点は事前予測どおりだった．

オレゴン州立大学の研究グループ [4] は，2009 年から 2011 年まで河床の測量を行い，GIS を用いてダム撤去前後の 2 次元的な河床体積変化量を推定した．また，大型無脊椎動物の種の豊富さは撤去前後で有意差が無いことがわかった．魚類についても，2009 年 7 月から 2011 年 6 月までの調査で，撤去前後で種数，個体数に明確な差がないことが示された．

5 考察

河川の生態環境保全のために一度建造されたダムを多額の費用をかけて撤去し，河川環境をダム建造前の状態に戻す事例が米国でしばしば生じている．[1] しかし，ダム撤去によってそれまでにダム貯水池に堆積していた大量の土砂が急速に流下し，河川環境が激変することにより，魚類生息環境を悪化させることが危惧される．そこで撤去前の堆砂量や流砂量の高精度な予測が最適な撤去の規模，時期，工事期間の決定のために必要であることは，普遍的だと考えられる．Savage Rapids ダムの事例においては流砂モデルとして HEC6t が用いられていたが，河床変動の予測の誤差の原因として河川空間を一次元でモデル化していることによる現実との乖離が大きいと推察される．例えば HEC6t では断面平均流速を用いるため河床の流速を実際より過大に見積もる傾向があり，窪地を埋めると予測されやすい．事前の解析ではこの点に配慮して解析条件が設定されたものの，計算精度の改良には限界があったようである．流砂の 2 次元モデル化と数値解析の河床変動解析への適用を今後進め，この解析手法をさらに発展させることで，ダム撤去やその他の河川管理問題がより合理的に進められると考えられる．

謝辞　本研究は JSPS 科研費（基盤研究 B）26310301 の助成を受けた．記して謝意を表する．

引用文献　[1] Bountry, J.A., Lai, Y.G., Randle, T.J. (2013), Sediment impacts from the Savage Rapids Dam removal, Rogue River, Oregon, *in* De Graff, J.V., Evans, J.E., eds., The Challenges of Dam Removal and River Restoration: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, v. XXI, 93-104. [2] U.S. Bureau of Reclamation (2001), Savage Rapids Dam Sediment Evaluation Study, 23p. [3] U.S. Army Corp of Engineers (1993), HEC-6 Scour and Depositions in Rivers and Reservoirs User's Manual, pp.1-33. [4] Tullos, D. (2012), Brownsville and Savage Rapids Dam removal effectiveness monitoring, Final Report - OWEB Grant #208-931.