

多数の堰を有する佐波川における 土砂動態と河川樹林化に関する研究

SEDIMENT MOVEMENT AND EXCESSIVE GROWTH OF RIVERINE TREES IN SABA RIVER WITH A LOT OF WEIRS

赤松良久¹・一松晃弘²・乾隆帝³・岩見聡⁴

Yoshihisa AKAMATSU, Akihiro HITOTSUMATSU, Ryutei INUI and Satoshi IWAMI

¹正会員 博(工) 山口大学大学院准教授 創成科学研究科建設環境系専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

²学生会員 学(工) 山口大学大学院生 創成科学研究科建設環境系専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

³非会員 博(農) 山口大学大学院特命助教 創成科学研究科建設環境系専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

⁴正会員 修(理) 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 環境部
(〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

A lot of weirs in Saba River have an effect on physical and ecological environment. In this study, the influence of these weirs on sediment movement and riverbed deformation was estimated using two dimensional bed deformation model. Then, we analyzed the relation between vegetation transition types from vegetation maps of 2000, 2005 and 2010 and explanatory variables such as the bed deformation during flood.

The bed deformation simulation indicates that the weirs induce the sediment deposition on flood plan and sandbar during flood and it will cause the growth of riverine trees in the downstream region of the weirs. The GLM analysis reveals that the distance from the weirs explain whether the riverine trees increase or decrease in Saba River.

Key Words : vegetation transition, bed deformation simulation, GLM, Saba River

1. はじめに

近年、日本の多くの河川において、高水敷や砂州上に河川樹林が侵入し、過度に繁殖する河川樹林化が河川管理上の問題となっている。河道内で異常に繁茂した河川樹林は水の流れを阻害し、河川の流下能力の低下を引き起こす。また、大規模な出水時には河川樹林自体が流木化し、下流の河川構造物を破壊する原因となるとともに、橋梁などに引っかかった流木が氾濫を助長することもある。このような治水上の問題に加えて、河道内の樹林化は滞水の固定化や河道の二極化を促進させるため、本来攪乱依存型である河川生態系は劣化する可能性が高い。そこで、国土交通省や各河川事務所は当面の応急処置として樹木の伐採などの対策をとっているものの、伐採後数年

で再繁茂する例も多く、河川樹林化の要因を解明した上での抑制策の検討が望まれている。この樹林化の要因は諸説あり、富栄養化による樹木への栄養分供給、ダムや堰による洪水攪乱の減少、河川堤防の影響、河川の拡幅による植生侵入可能域の拡大、河川整備による滞水の固定化や流路の局所的な洗掘などが考えられている¹⁾。中国地方の一級河川を対象とした樹林化の要因解析では堰からの距離が2km以内で過度の樹林化が起こりやすい傾向にあることが示されている²⁾。これは堰周辺の土砂動態の変化によるものと考えられるが、詳細な検討はなされていない。

そこで、本研究では河道内の樹林化の要因の一つとして考えられている堰に着目し、河床変動シミュレーションを用いて堰が水・土砂動態に及ぼす影響を明らかにす

るとともに、堰による土砂動態の変化と河川樹林化の関係について検討する。

2. 方法

(1) 研究対象域

本研究は山口県の一級河川である佐波川を対象とした。佐波川は山口県の中央に位置する、幹線流路延長56km、流域面積460km²の一級河川である（図-1）。本流の国管理区間内（河口から-1.2~26.2km）に15基の堰（可動堰6基、固定堰9基）が存在しており、27.4kmという直轄区間内に多数の堰を有している。これらの堰は出水時の水、土砂動態に大きな影響を与えていると考えられ、堰周辺の土砂動態の変化は樹林化の進行とも密接に関係していると考えられる。佐波川では国土交通省の河川水辺の国勢調査において2000年、2005年、2010年に植生調査が実施されている。そこで、2000~2005年および2005~2010年の期間最大出水（図-2）を対象として、土砂動態と河川樹林化の関係について検討した。

(2) 佐波川における河床変動シミュレーション

本研究では堰が有る場合と堰が無い場合の2ケースにおける河床変動シミュレーションを行い、両ケースにおける土砂動態の比較から、堰が出水時の土砂動態や河床変動に及ぼす影響を明らかにした。河床変動シミュレーションの概要と計算条件を以下に示す。

a) 河床変動シミュレーションの概要

iRIC (International River Interface Cooperative) を用いて、河川の流れ・河床変動シミュレーションを行った。iRICは河道内の植生分布を考慮した水位、流速、河床変動の数値シミュレーションが可能である。また、計算には、一般座標系を用いて河川の非定常平面二次元流れ・河床変動の計算が可能なソルバーNays2DHを用いた。

b) 計算条件

計算区間は山口県の一級河川である佐波川の国管理区間（河口~河口距離26.2km）を対象とした（図-1）。計算に用いた断面データは、2009年8月に行われた測量結果を元に作成した200mピッチの横断データを、横断方向に10m、縦断方向に、5~20mに分割した格子を用いた。なお、今回作成した断面データは堰の高さを考慮した断面データではないため、堰を考慮する場合はメッシュデータ上で堰が存在している地点の地形高を実際の堰高まで上昇させ、堰と護床工の部分を固定床と設定し、堰を考慮しない場合は堰の箇所を実際の堰高まで上昇させず、堰と護床工の部分は移動床とした。

境界条件として、上流端には、2000-2005年の期間最大出水時（ピーク流量613m³/s、近年の平均的な年最大流量）と2005-2010年の期間最大出水時（ピーク流量1346m³/s、観測史上最大の年最大流量）における漆尾観

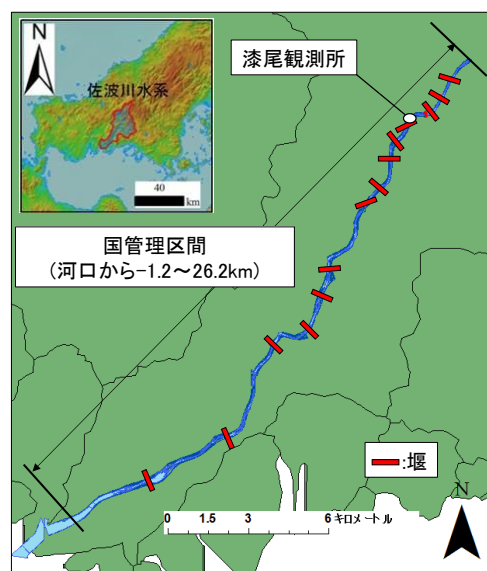


図-1 解析対象区間

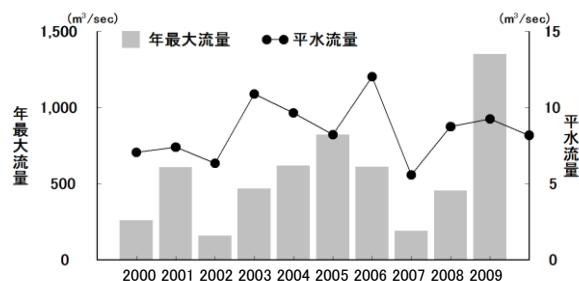


図-2 年最大流量と平水流量（漆尾）³⁾

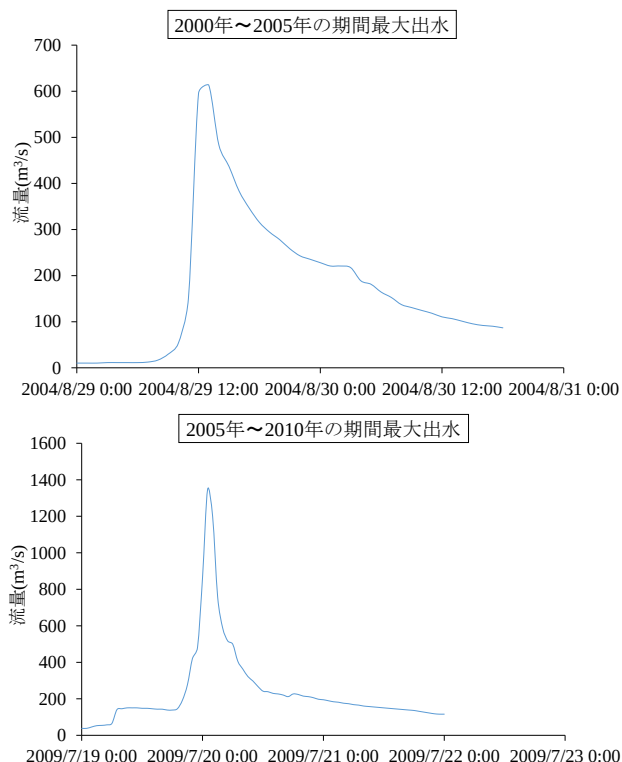


図-3 計算対象とした期間最大出水

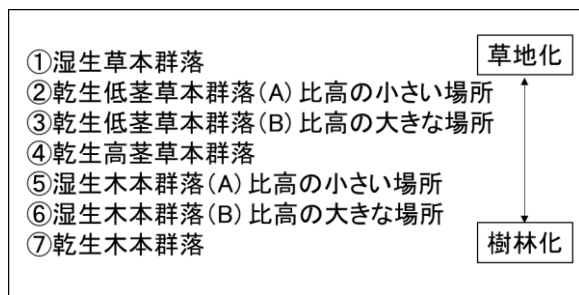


図-4 植生遷移ランク

測所の流量を与えた（図-3）。下流端は等流水深とした。

また、本計算では混合粒径による河床変動解析を行っており、2009年度に実施された佐波川直轄区間における粒度分布データを用いた。なお、粒度分布は、1km ピッチで計測されたデータを用いた。植生分布および高さについては河川水辺の国勢調査結果を用い、植生密度に関しては2013年の現地観測から得られた値を用いた。

(3) 佐波川における樹林化の要因解析

佐波川における2000年～2005年と2005年～2010年の植生遷移と、前項の堰を考慮する場合の水理計算結果を用いて、佐波川における樹林化要因を検討する。植生遷移については岩見・赤松³⁾が算出した7つの植物群落(植生遷移ランク)（図-4）に基づいて、植生遷移ランクが増加するパターンを「樹林化」、減少するパターンを「草地化」とした。

樹林化の要因分析を行うにあたって、一般化線形モデル(GLM)を用いて、以下の2ケースを検討した。ケース1：目的変数は、植生遷移タイプの「樹林化」、「草地化」、説明変数は比高(m)、水際からの距離(m)、無次元掃流力、堰有り-堰無し of 地盤高の差(m)の4変数。ケース2：目的変数は、植生遷移タイプの「樹林化」、「草地化」、説明変数には比高(m)、水際からの距離(m)、無次元掃流力、堰有り-堰無し of 地盤高の差(m)、上流堰からの距離(m)、下流堰からの距離(m)の6変数。なお、比高(m)、水際からの距離(m)、上流堰からの距離(m)、下流堰からの距離(m)については、岩見ら³⁾によって算出した値を、本研究で算出した値を用いた。それぞれのケースについて、モデル選択にはAIC(赤池情報量基準)を用い、AICが最も低いモデルをベストモデルとした。また、ベストモデルの精度評価にはAUC (Area under the curve) ⁴⁾を用いた。

3. 結果および考察

(1) 堰周辺の樹林化・草地化の傾向

図-5に2000-2005年および2005-2010年の両期間におけ

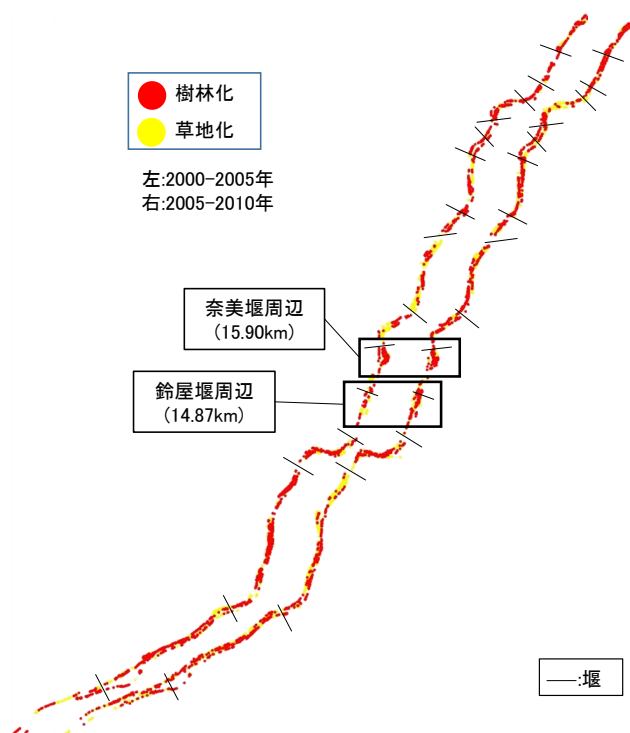
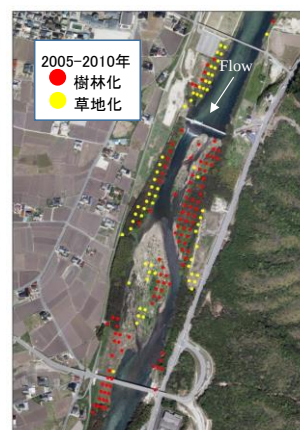


図-5 国管理区間全域の樹林化・草地化の傾向

(a) 鈴屋堰 (14.87km)



(b) 奈美堰 (15.90km)

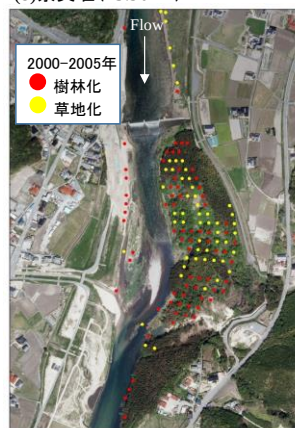


図-6 (a) 鈴屋堰、(b) 奈美堰周辺の樹林化・草地化の傾向
(背景写真:2010年4月に撮影)

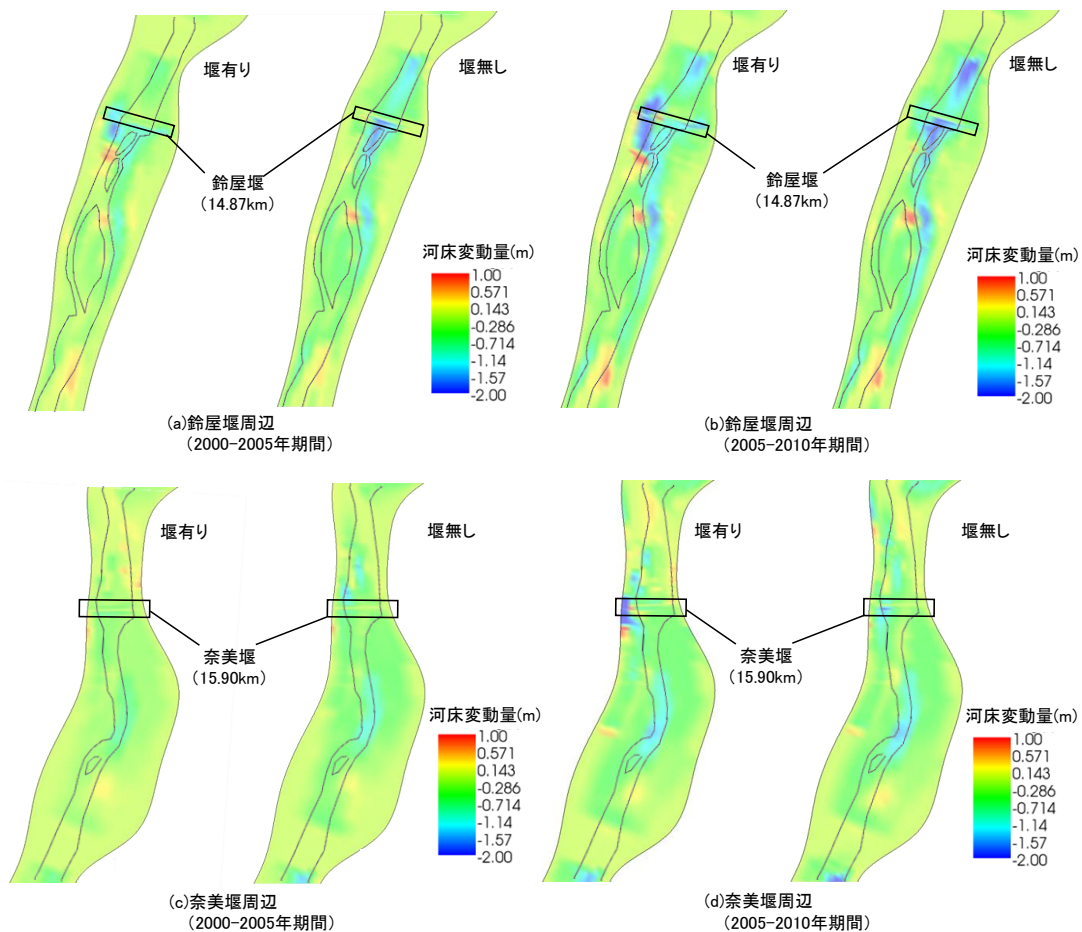


図-7(a)～(d) 鈴屋堰および奈美堰周辺区間における、堰が有る場合と堰が無い場合の出水前後の河床変動量のコンター

る国管理区間の「樹林化」，「草地化」の傾向を示す。2000-2005年および2005-2010年の両期間とも樹林化が進行する傾向にあるところが多いことが分かる。

また，図-6に鈴屋堰（14.89km）周辺の13.91km-15.40km区間および奈美堰（15.90km）周辺の14.94km-16.30kmの拡大図を示す。鈴屋堰下流では2005-2010年の期間に樹林化傾向の領域が多いことが分かる。この期間は2009年に規模が大きい出水があったにもかかわらず，堰下流においては草本・木本の繁茂が進行している。奈美堰下流では2000-2005年の期間には樹林化する場所と草地化する場所が混在しているが，2005-2010年の期間には全体的に樹林化する傾向にある。

(2) 堰周辺の流れ・河床変動シミュレーション

国管理区間を計算対象範囲として，2000-2005年の期間最大出水時（ピーク流量613m³/s）と2000-2010年の期間最大出水時（ピーク流量1346m³/s）における流れ・河床変動シミュレーションを行った。上記の鈴屋堰および奈美堰周辺区間における，堰が有る場合と堰が無い場合についての出水前後の河床変動量のコンターを図-7(a)～(d)に示す。堰が有る場合と無い場合を比較すると，鈴屋堰の下流では堰を考慮した場合には1mを超えるような過剰な堆積が起こる地点が増えていることがわかる

（図-7(a)，(b)）。奈美堰における2000-2005年の最大出水では堰の有る場合の方が堰の無い場合に比べて堰下流で全体的に堆積傾向が強いことが分かる（図-7(c)）。一方，2005-2010年の最大出水では堰有りの場合に堰右岸側で大きな洗掘が起こっており，その下流に局所的な堆積が生じている（図-7(d)）。

以上の結果から河床変動計算において堰の形状を正確に入れるかどうかによって，下流域の土砂の堆積状況が大きく変わることが明らかとなった。そこで，以降の解析ではこの堰有りと堰無しの場合の河床堆積量の差を堰の影響を表すパラメーターの一つとして用いる。

(3) 樹林化の要因解析結果

2000-2005年におけるケース1のGLMの結果を表-1に示す。樹林化において，選択されたパラメーターは水際からの距離（正），堰有りと堰無しの河床高の差（正）であった。また，パラメーターの寄与率の指標であるZ値（係数/標準偏差）の絶対値は，どちらのパラメーターともに，約3であった。以上より，平水時では冠水頻度が少なく（=水際からの距離が大きく），堰により，地盤高が高くなる場所において，樹林化が進行するのではないかと考えられる。また，草地化においては，選択されたパラメーターは比高（正）水際からの距離（正）であっ

表-1 ケース1のGLMの結果(2000-2005年)

変数	樹林化					草地化				
	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC
比高						0.206	0.027	7.554	4.23×10^{-14}	
水際からの距離	0.003	0.001	2.891	0.004		0.004	0.001	2.922	0.003	
無次元掃流力					0.533					0.603
地盤高の差 (堰有り-堰無し)	0.435	0.168	2.596	0.009						

表-2 ケース1のGLMの結果(2005-2010年)

変数	樹林化					草地化				
	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC
比高	-0.119	0.022	-5.337	0.000		-0.043	0.021	-2.103	0.036	
水際からの距離	-0.004	0.001	-3.587	0.000		0.002	0.001	1.639	0.101	
無次元掃流力	-1.411	0.539	-2.619	0.009	0.566					0.54
地盤高の差 (堰有り-堰無し)						0.566	0.172	3.284	0.001	

た。Z値の絶対値は比高が最も大きな値を示しており、約7であった。以上より、地盤が低い場所（比高が大きい場所）で、平水時では冠水頻度が少ない（=水際からの距離が大きく）場所において、草地化が進行しているのではないかと考えられる。

2005-2010年におけるケース1のGLMの結果を表-2に示す。樹林化において、選択されたパラメーターは比高（負）水際からの距離（負）、無次元掃流力（負）であった。Z値の絶対値は比高が一番大きな値を示しており、約5であった。以上より、河床高が高く、出水時に河床洗掘がおこりにくい（無次元掃流力が小さい）場所において、樹林化が進行しているのではないかと考えられる。また、草地化においては、選択されたパラメーターは比高（負）、水際からの距離（正）、堰有りと堰無しの河床高の差（正）であった。Z値の絶対値は堰有りと堰無しの河床高の差が一番大きな値を示しており、約3であった。以上より、堰により河床高が高くなる場所において、比高が低く、水際からの距離が遠い場所において、草地化が進行しているのではないかと考えられる。

2000-2005年におけるケース2のGLMの結果を表-3に示す。樹林化において、選択されたパラメーターは堰有りと堰無しの河床高の差（正）、上流堰からの距離であった。Z値の絶対値は上流堰からの距離が一番大きな値を示しており、約7であった。また、草地化について、選択されたパラメーターは比高（正）、水際からの距離（正）、堰有りと堰無しの河床高の差（負）、上流堰からの距離（正）、下流堰からの距離（正）であった。Z値の絶対値は比高が一番大きな値を示しており、約8であった。

2005-2010年におけるケース2のGLMの結果を表-4に示す。樹林化において、選択されたパラメーターは比高（負）、水際からの距離（負）、無次元掃流力（負）、下流堰からの距離（負）であった。Z値の絶対値は下流

堰からの距離が一番大きな値を示しており、約6であった。また、草地化について、選択されたパラメーターは比高（負）、水際からの距離（正）、堰有りと堰無しの河床高の差（正）、上流堰からの距離（正）、下流堰からの距離（正）であった。Z値の絶対値は、下流堰が一番大きな値を示しており、約9であった。

各ケースのベストモデルにおけるAUCは、2000-2005年における樹林化については、ケース1で0.533、ケース2で0.846、草地化はケース1で0.603、ケース2で0.995であった。2005年～2010年における樹林化については、ケース1で0.566、ケース2で0.573、草地化については、ケース1で0.540、ケース2で0.988であった。ケース1では、樹林化、草地化のすべての場合において、モデルの精度の正確さの基準となる0.7⁴⁾を下回っていた一方、ケース2においては、2005-2010年における樹林化を除き、AUCが大幅に上昇するという結果となった。

これらの結果は、ケース1で説明変数として用いた比高、水際からの距離、無次元掃流力、堰がある場合と堰がない場合の地盤高の差のみでは、樹林化、草地化を説明するには不十分であることを意味している一方、岩見・赤松³⁾同様、堰までの距離を考慮に入れば、樹林化、草地化ともに、多くの場合で説明可能であることを意味している。堰からの距離によって左右されるような環境条件が河床変動シミュレーションでは表現できなかった理由はいくつか考えられる。一つ目の理由は、今回の河川変動シミュレーションは、期間最大出水のみを扱ったものであるからであると予想される。堰による環境改変は、1回の大規模な出水のみではなく、様々な規模の出水の累積値になっていることが予想されるため、可能な限り期間内の多くの出水を考慮に入れたシミュレーションをおこなう必要がある。二つ目の理由は、植生のデータの調査間隔が5年であることである。出水を挟んだ植生のデータがあれば、それぞれの出水で植生が

表-3 ケース2のGLMの結果(2000年～2005年)

変数	樹林化					草地化				
	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC
比高						0.217	0.028	7.713	1.23×10^{-14}	
水際からの距離						0.002	0.001	1.671	0.095	
無次元掃流力										
地盤高の差 (堰有り-堰無し)	0.322	0.166	1.946	0.052	0.846	-0.312	0.210	-1.486	0.137	0.995
上流堰からの距離	0.259	0.036	7.151	8.62×10^{-13}		0.220	0.046	4.753	2.00×10^{-6}	
下流堰からの距離						0.145	0.044	3.274	0.001	

表-4 ケース2のGLMの結果(2005年～2010年)

変数	樹林化					草地化				
	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC	係数	標準偏差	Z値	P値	AUC
比高	-0.122	0.022	-5.449	5.06×10^{-8}		-0.037	0.021	-1.804	0.071	
水際からの距離	-0.005	0.001	-4.061	4.89×10^{-5}		0.002	0.001	2.316	0.021	
無次元掃流力	-0.686	0.464	-1.479	0.139						
地盤高の差 (堰有り-堰無し)					0.573	0.580	0.173	3.345	0.001	0.988
上流堰からの距離						0.106	0.031	3.461	5.38×10^{-4}	
下流堰からの距離	-0.209	0.034	-6.105	1.02×10^{-9}		0.262	0.030	8.832	0.000	

どのような変化をするかを追うことができる可能性が高いため、より詳細な時間解像度の植生データを取得する技術が急務である。三つ目の理由は、用いた地形データが200mピッチの定期横断測量データであるためである。このようなデータは、横断方向のデータが密であることに対して縦断方向のデータが疎であるため、実際の植物の分布データとの解像度の不一致がおこる可能性がある。よって、より縦断方向の解像度が高い地形データを取得する技術も急務であろう。

本研究により、樹林化や草地化は、堰からの距離を用いれば、2005-2010年における樹林化を除き、AUCが0.7を超えるほど高精度に表現することができた。また、2005-2010年における樹林化においても、堰からの距離を用いた場合はAUCが上昇することが示された。このことから、樹林化や草地化は堰からの距離を用いれば、比較的高精度に表現できることが明らかになった一方、現状で入手可能な植生データや地形データでは、要因分析には限界があるという課題も浮き彫りになった。

4. 結論

本研究では、佐波川を対象として堰が水・土砂動態に及ぼす影響について、二次元河床変動シミュレーションを用いて検討を行い、その結果を用いて一般化線形モデル(GLM)による樹林化の要因解析を行った。その結果、以下の結論を得た。

1) 多数の堰を有する佐波川では堰下流においては規模の大きい出水を経ても樹林化する傾向にあることが明らか

かとなった。また、河床変動シミュレーションから、堰の存在によって、堰下流の堆積傾向が助長されていることも明らかにされた。

2) 佐波川において、樹林化や草地化に対する堰の影響は明白であったが、堰があることによって引き起こされたと考えられる河床堆積量のみでは、堰の影響を完全に表現することができなかった。

謝辞：本研究は国土交通省受託研究「佐波川の河床掘削・堰撤去が河川環境に与える影響の研究、研究代表者：赤松良久」の一環として行われた。本研究に際して、国土交通省中国地方整備局から貴重なデータの提供を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 宮本仁志，赤松良久，戸田祐嗣：河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望，河川技術論文集，第19巻，pp.441-446，2013。
- 2) 上鶴翔悟，赤松良久，神谷大介，竹村紫苑：中国地方一級河川における河川樹林化の要因分析，土木学会論文集中B1(水工学) Vol.70, No.4, I_1393-I_1398, 2014。
- 3) 岩見聡，赤松良久：統計手法による河道内植生消長シミュレーションモデルの構築，河川技術論文集，第21巻，pp.289-294，2015。
- 4) Akobeng, A.K.: Understanding diagnostic tests 1: sensitivity, specificity and predictive values, Acta Paediatrica, Vol.96, 338-341, 2007。

(2016. 4. 4受付)