

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510298

研究課題名(和文)洪水時の攪乱強度とレフュージアに着目した礫原植生の維持機構の解明

研究課題名(英文)Mechanisms of maintaining cobble-bar vegetation - focused on the intensity of disturbances and the refugia of the vegetation during large floods -

研究代表者

浅見 佳世 (Asami, Kayo)

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・准教授

研究者番号：40464656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、洪水の攪乱を受けて成立する礫原植生の維持機構を明らかにするために、植生動態調査、3次元流の数値解析、洪水時の画像解析を行い、植生動態と洪水時の攪乱の強度や頻度との関係から、洪水の攪乱を受けて成立する礫原植生の維持機構について検討した。解析の結果、礫原下流側では大規模出水時にも攪乱強度が閾値を超えないこと、その位置は大出水時に礫原植生が残存した位置と一致することなどが明らかとなった。さらに、礫原植生の維持には、河道の強度の湾曲や、増水時に現れる2次流路、砂州下流端の明瞭な前縁線の存在など、特有の砂州地形が寄与していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：A vegetation monitoring study and a field survey using an image velocimetry of river flows as well as a fluid-dynamic numerical simulation have been conducted to find the effects of disturbances caused by floods of different intensities and return periods on a cobble-bar vegetation that is sustained by these disturbances. It has been found that there is an area near the downstream edge of a cobble bar where the bed shear force stays below the critical level required to move bed material and vegetation during very large flood events. This area coincided with the location where some vegetation actually survived large floods and served as a 'refugia'. Furthermore, it has been suggested that this special condition needed to maintain the cobble-bar vegetation is created by the morphologic characteristics of a sharp bend, a shortcut secondary channel and a bar with a steep-sloped downstream edge.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学・資源保全学

キーワード：礫原植生 カワラハハコ 乱流シミュレーション法 画像解析 攪乱 洪水 レフュージア 掃流力

1. 研究開始当初の背景

中規模の出水(中出水)による攪乱は、他群落への遷移を抑制し、実生定着の場となる裸地を作るなど、群落の維持に貢献する。一方、長周期に生じる出水(大出水)時の攪乱では、植物体や生育基盤の大半を流し去ってしまう危険性がある。供給源からの散布が制限された場所では、生き残った種子や根茎などの量が、攪乱後の種組成や遷移過程に影響を及ぼす。分布域の減少に伴い細分化され孤立化の進んだ生物群集では、個々の分布地の消失が種の絶滅の危険性の増大につながる。ことが指摘されており、絶滅危惧種を多く含む礫原植生においては、大出水時の攪乱による生物多様性の低下が危惧される。しかし、大出水時にも植生が残りうるための条件に着目した研究は海外でも報告がなく、本研究の課題は、保全生態学の視点からも成果が期待される。このような背景のもと、本研究に着手した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、生物多様性の低下が著しい礫原植生を対象に、洪水の攪乱を受けてもなお残存する分布地(レフュージア)に着目し、植生動態と洪水時の攪乱の強度や頻度との関係から、その維持機構を解明することにある。

河道内における植生の成立・維持機構の解明は、河川生態系を考える上で重要な命題の一つである。河川に特有な植生のひとつである礫原植生(多年生草本の疎生群落)は、時おり発生する中規模の出水により維持されると言われ、この命題解明に具体的な事例を提供できる生態系の基盤をなす。本研究は、大出水後の長期継続調査により得られるデータをもとに、生態学と土木工学の両分野の融合により礫原植生の維持機構を解明し、保全対策に役立てようとするものである。

3. 研究の方法

(1) 研究対象

① 研究材料

本研究では、キク科多年草カワラハハコ(*Anaphalis margaritacea* subsp. *yedoensis*)とその生育により識別される群落(カワラハコ群落)を研究材料とした。カワラハハコは、植物社会学の体系では、ヨモギ-カワラハコ群団を識別する標徴種に位置づけられ、ほかに、カワラノギク、カワラヨモギなどを識別種とする。この群団に含まれる群落は、砂礫堆に特有な環境を代表する植生で、地理的には北海道から九州まで広く分布するが、分布適地は、砂礫堆の中でも地下水位からの比高が高く乾燥した貧栄養な砂礫地に限られる。本群落の分布地の水際には、ヤナギタデ群落やツルヨシ群集などが成立し、共に、礫原に固有な動物が生息する空間として利用される。しかし、1980年代より、ヨモギ-カワラハコ群団に含まれる群落は衰退が指

摘され、カワラハハコ自体も現在では、東京都、埼玉県や西日本を中心に14都府県で絶滅の恐れのある種に指定されている。このような背景から本研究ではカワラハハコを、今では少なくなった砂礫堆に特有な環境を指標する、感受性のよい植物と位置づけて研究を行った。

② 野外調査地

研究は、兵庫県下を流れる揖保川の、下流から25~26kmの区間(河床勾配が約1/200-1/400)を対象に行った。この区間では河道が大きく湾曲しており、内湾に発達した砂州は、これまでに行ってきた調査から「大出水時のレフュージア」と特定されている。

対象地域近傍の山崎第二観測点(29.5km)における過去40年間(1972-2013年)の平均年最大流量は、約750m³/sである。近年では、2004年8月31日に既往4番目の出水(1515m³/s)が、2009年8月10日には近10ヶ年最高水位を記録した出水(1595m³/s)が、2011年9月3日には約1300m³/s、2013年9月4日には約1050m³/sの出水が発生した。

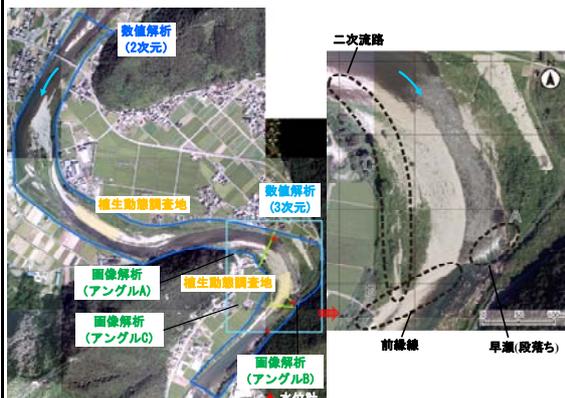


図1 野外調査地(左)と地形の特徴(右)

(2) 解析方法

① 植生動態調査

植生動態を把握するために、上記砂州を対象に、定置枠による植生動態調査と現存植生図の作成を実施した。

植生動態調査では2種類の調査を行った。ひとつは、縦断方向に10m間隔、横断方向に5m間隔の定置枠による個体群調査で、本群落の指標植物の個体数を測定した。もう一つは、個体群調査枠の交点に設けた定置枠(1m×1m)による植生調査で、群落の階層と階層ごとの植被率(%)、各階層に出現する全出現種の種名と植被率(%)、およびカワラハコの個体数を測定した。調査は、2011~2013年の秋期に行った。現存植生図は、植生追跡調査枠をすべて含む範囲を対象に作成した。

いずれの調査も、2011~2013年にかけての秋期に行った。

② 3次元流の数値解析

カワラハハコ群落が成立する区間は河道の湾曲が著しく、らせん流の発生が予想され

る。そのため、出水時の水理学的特性は、らせん流の解析が可能で、3次元非定常運動方程式を空間フィルタ平均したものを数値解析により解く、LES (Large-eddy simulation) 法を用いて計算した。

計算対象領域は、植生動態調査を行った2地区のひとつ、大出水時にも攪乱圧が閾値を超えないと推測された地区を対象とした。これは、東西・南北それぞれ約500mで囲まれる領域で、ほぼ西から流入し130度ほど湾曲し、南西方向に流れ出る区間である。計算のための河床地形は、陸域については航空レーザー測量(2006年冬期取得)を、水域については定期横断測量(2007年冬期取得)と早瀬区間のみ深淺測量(2010年秋期取得)の結果を用いて再現した。

計算は水平方向格子間隔を2m、鉛直方向格子高さを0.15mとする直交格子を用い、基本ケースとして、流量を300、600、900、1300m³/sに固定した時の4ケースを設けた。

また、2009年のピーク流量再現のため、既往の静水圧近似を仮定し水深方向に積分した浅水流方程式を解く、平面2次元水深平均法も適用した。

③ 洪水時の画像解析

数値シミュレーションの解析結果を検証しフィードバックさせることにより、3次元の解析結果を実現象に見合った精度に高めることを目的に、画像解析による非接触計測法のひとつSTIV (Space-Time Image Velocimetry) により、洪水時に撮影した画像を用いて実流速を解析した。

対象とした出水は、10年間で3番目に大きい流量規模の、2011年9月に発生した洪水である。ピーク流量は約1300m³/sであったが、ピークは夜間に発生したために、ビデオ撮影は流量が増大中の夕方(推定流量: 900-1100m³/s)に、大出水時にも攪乱圧が閾値を超えないと推測された地区周辺の3つのアングルで行った。

この解析結果をもとに、撮影アングル近傍のLES解析結果による表面流速とを比較し、3次元解析結果の精度を検証した。

④ 維持機構の解明

本研究では、カワラハハコ群落の維持機構のうち、特に、大出水時の攪乱を受けてもなお残存する分布地(大出水時のレフュージア)の解明に着目した。

大出水時の攪乱を受けてもなお群落が残存し、出水後の供給源として機能する「大出水時のレフュージア」の位置は、近10ヶ年最高水位を記録した出水(2009年8月10日発生。ピーク流量1595m³/s)前後のカワラハハコの個体数により特定した。他の流量規模の出水による植生への影響は、植生調査結果をもとに生活型ごとの植被率により解析した。

各流量規模の攪乱圧の強度は、ピーク流量を計算条件とする河床剪断力を指標とし、LESにより算出した。算出した値は、GIS (geographical information system: 地理情報処理システム)を用いて図画し、流量増に伴う流れの変化と地形との関係性から、大出水時のレフュージアを形成する地形要因について検討した。

4. 研究成果

(1) 植生動態調査

植生動態調査の結果、2011年に発生した出水(十年に1回程度の生起確率)では、カワラハハコ群落の識別種はいずれも、砂州下流端の限られた範囲にのみ残存した。この残存範囲は、すでに研究に着手していた2009年の大出水(十数年に1回の生起確率)と重なり、早瀬からのびる砂州の前縁線の上流側平坦面に位置する(図1にカワラハハコの残存状況を示す)。一方、2013年に発生した出水(数年に1回程度の生起確率)では、一年草や多年草の実生苗などは流失したが、前年度よりすでに定着していた親株は個体数が減少するにとどまった。

以上から、カワラハハコ群落が残存しうるかどうかを示す攪乱強度の閾値は、2013年に発生した出水時に発生する河床せん断応力と、2009年あるいは2011年に発生した出水時に発生する河床せん断応力との境界値がその目安になると推定した。

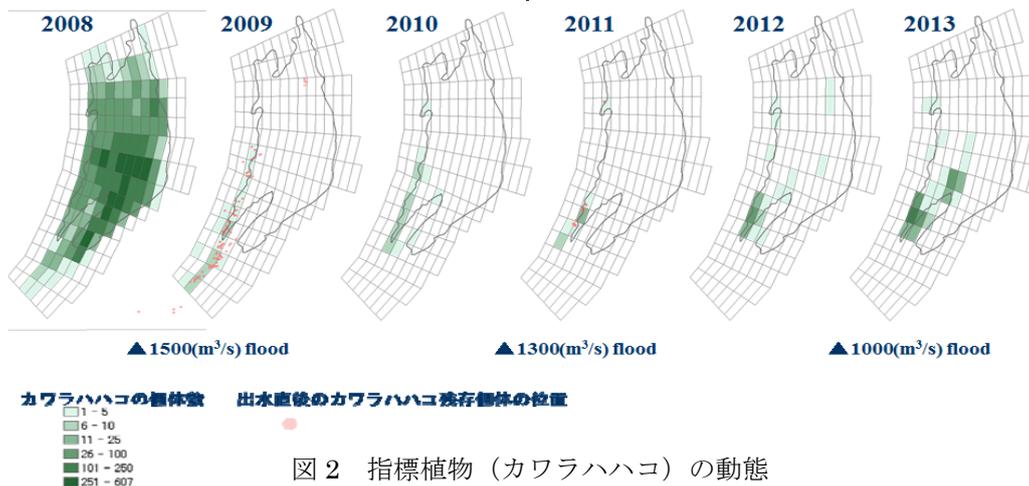


図2 指標植物(カワラハハコ)の動態

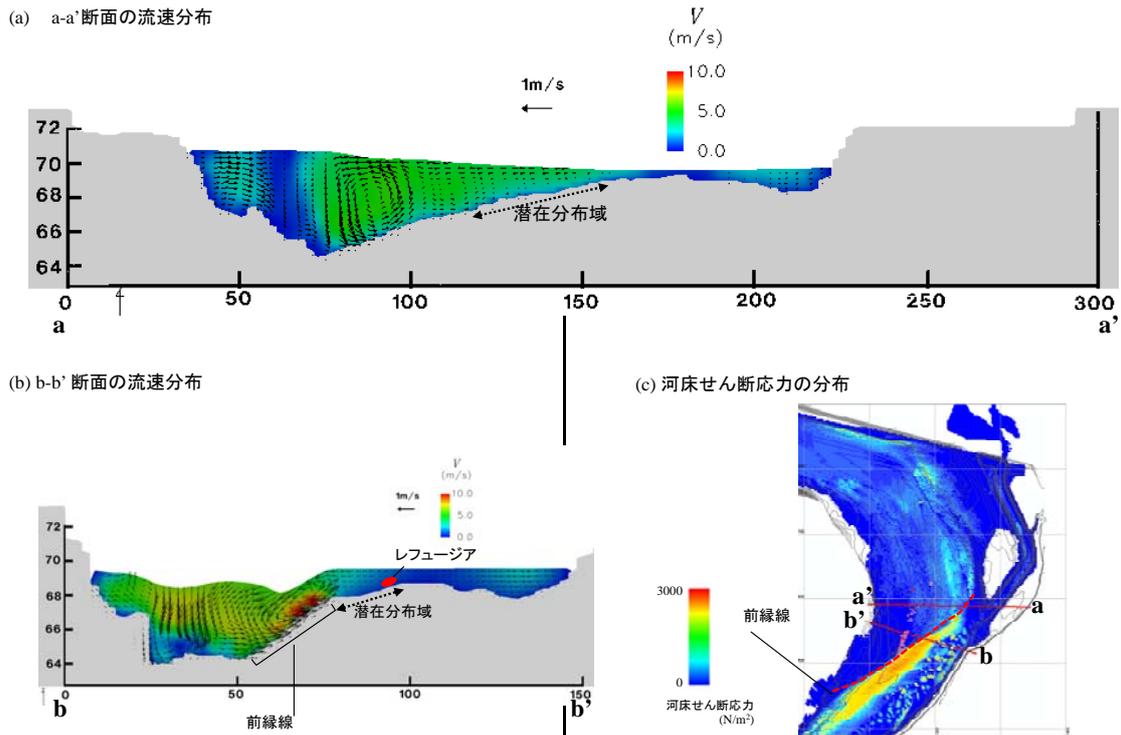


図2 横断面内の流速分布 (a,b) と河床せん断応力の分布(c)

(2) 洪水時の数値解析

LESの結果、湾曲に伴うらせん流について、次の2点が判明した。①湾曲部の入り口付近で小さく、カワラハハコ群落の潜在的に分布可能な領域（潜在分布域）への影響は少ない（図2(a)）。②湾曲部の出口付近ではらせん流が発達するが、強いらせん流は砂州の前縁線に沿って発達しており、砂州上面の浅瀬にあるカワラハハコ群落の潜在分布域ではその影響はほとんどない（図2(b), (c)）。この結果は、砂州前縁線の上流側平坦面にある、洪水時にも比較的水深の浅い立地に成立するカワラハハコ群落の解析には、平面2次元水深平均法を用いても妥当な結果が得られることを示唆する。

また、数値解析から求めた河床剪断応力と、現地の礫調査から求めた最大級の礫の移動限界掃流力とを比較したところ、本群落の分布域では $1300\text{m}^3/\text{s}$ 時にも時間平均した河床せん断応力は移動限界掃流力を超えないことが判明した。

平面2次元水深平均法からも、流量規模の増加と共に、河床せん断応力が閾値を超える領域が拡大するが、砂州の下流端では $1500\text{m}^3/\text{s}$ 時にも閾値を超えない領域が存在することが明らかとなった。

(3) 洪水時の画像解析

撮影範囲が対岸側に偏っていたアングルを除く2カ所について、LESによる表面流速の解析結果と、画像解析(STIV)による表面流速の解析結果とを比較検討した。

直線河道が終わり湾曲部にさしかかるアングルAでは、両者の表面流速分布はほぼ一致した（図3(a)）。また、前縁線を横切る方向を撮影したアングルBでも、両者はおおむね一致した（図3(b)）。

以上から、3次元解析結果の精度は、ほぼ実流速に見合った精度が得られていることが明らかとなった。

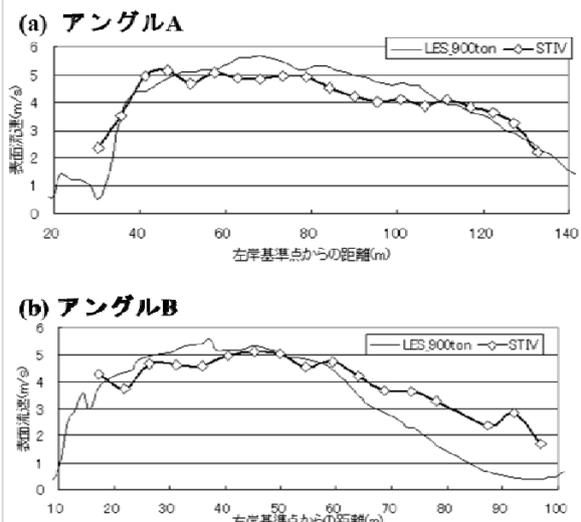


図4 LESによる表面流速分布とSTIVの比較

(4) 維持機構の解明

計算ケースの最大流量まで計算が終了した平面2次元水深平均法を用いて、各計算ケースの流速ベクトルを砂州の等高線と重ね

合わせた結果、次に示す3点が大出水時のレフュージア成立の要因として寄与していることが示唆された。①強い蛇行による主流の剥離、②砂州中央の盛り上がりによる流れの振り分け、③前縁線上流側の浅水域の存在。蛇行河川の砂州地形に特有なこれらの要因が重なり、カワラハハコ群落の潜在分布域内の最も砂州下流端にある領域において、河床せん断応力が閾値を超えない「大出水時のレフュージア」の成立が可能になると思われる。

礫原に特有の生物群集の保全においては、水系内に残る「大出水時のレフュージア」を特定し、砂州形状の特性を保全・再生する必要性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- ① 柴田良一、中山昭彦、浅見佳世、実河川湾曲部礫原近傍流れの数値シミュレーション、水工学論文集、査読有、55 巻、2011、1099-1104、
- ② 浅見佳世、中山昭彦、川谷健、藤田一郎、現地調査と数値解析による揖保川におけるカワラハハコ群落成立地の水理学的特性の研究、建設工学研究所論文報告集、査読有、54 巻、2012、67-88
http://www.kensetsuk.or.jp/work/memoir/h24_6asami.pdf
- ③ Asami, K., Akamatsu, H., Fukui, S. and Tamura, K., Morphological characteristics of flood refugia of cobble-bed vegetation, 査読有、6(2) 巻、2012、127-136
DOI:10.1016/j.jher.2012.01.005
- ④ Nakayama, A., Large-eddy simulation method for flows in rivers and coasts constructed on a cartesian grid system, Memories construction engineering research institute foundation, 査読有、54 巻、2012、13-27
http://www.kensetsuk.or.jp/work/memoir/h24_2nakayama.pdf
- ⑤ 浅見佳世、中山昭彦、川谷健、藤田一郎、揖保川中流カワラハハコ群落成立地の植生的および水理学的考察、土木学会論文集 B1 (水工学)、査読有、69(4) 巻、2013、I_1339-I_1344.
- ⑥ 柏田仁、藤田一郎、本永良樹、萬矢敦啓、二瓶泰雄、中島洋一、山崎裕介、統一された流速内外挿法に基づく様々な流速計測技術の流量推定精度、土木学会論文集 B1 (水工学)、査読有、69(4) 巻、2013、I_739-I_744
- ⑦ 岡西健史、藤田一郎、小田崇裕、浅水状態で水面変動のある自然礫床粗面乱流の LES 解析、土木学会論文集 B1 (水工学)、査読有、69(4) 巻、2013、I_853-I_858
- ⑧ Asami, K., Nakayama, A., Kawatani, T. and Fujita, I., Conditions of flood disturbances and refugia for

conservation of cobble-bar vegetation, Proceedings of 10th International Symposium on Eohydraulics. 査読有、2014、印刷中

- ⑨ Fujita, I., Asami, K. and Kumano, G., Evaluation of 2D river flow simulation with the aid of image-based field velocity measurement techniques, Proceedings of 7th Interenational conference on Fluvial Hydraulics, 査読有、2014、印刷中
- ⑩ 熊野元気、藤田一郎、浅見佳世、中山昭彦、川谷健、時空間ビデオ画像解析による揖保川洪水流シミュレーションの定量的評価、査読有、70(4) 巻、2014、I_619-I_624

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① 浅見佳世、カワラハハコ群落の維持機構の解明 ～大出水時のレフュージアの条件～、植生学会第 16 回大会、2011. 9. 25、神戸大学、兵庫県、神戸市
- ② 中山昭彦、カワラハハコ群落の成立地で何が起きているか? ～数値シミュレーションによる礫原近傍河川流の再現～、植生学会第 16 回大会、2011. 9. 25、神戸大学、兵庫県、神戸市
- ③ Nakayama, A., LES simulation of shallow flow with partially submerged objects, Proceedings of Third International Symposium on Shallow Flows (ISSF), 2012. 6. 6, The University of Iowa, Iowa City, USA
- ④ Nakayama, A., LES simulation of flow in a curved channel considering motion of free surface, Proceedings of Third International Symposium on Shallow Flows (ISSF), 2012. 6. 6, The University of Iowa, Iowa City, USA
- ⑤ Fujita, I., Tracking of river surface features by space time imaging, The 15th International Symposium on Flow Visualization (ISFV15), 2012. 6. 26, Belarus National Academy of Science, Minsk, Belarus
- ⑥ Fujita, I., Simulation of open-channel turbulence with gravel bed by LES, International conference on simulation technology (JSST2012), 2012. 9. 27, Kobe convention center, Kobe, Hyogo pref.
- ⑦ Fujita, I., simulation of shallow water surface patterns with hemisphere roughness elements by large eddy simulation, 3rd International Symposium on Shallow Flows (ISSF), 2012. 6. 6, The University of Iowa, Iowa City, USA
- ⑧ 浅見佳世、礫原植生の動態と攪乱 —大出水時のレフュージア—、第 61 回日本

生態学会大会、2014. 3. 16、広島国際会議場、広島県、広島市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅見 佳世 (ASAMI, Kayo)

兵庫県立大学・自然・環境科学研究所・准教授

研究者番号：40464656

(2) 研究分担者

中山 昭彦 (NAKAYAMA, Akihiko)

一般財団法人建設工学研究所・その他部局等・その他

研究者番号：30237458

藤田 一郎 (FUJITA, Ichiro)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10127392