

# 河川高水敷掘削による物理環境変化がアレチウリの初期生育に与える影響に関する研究

## STUDY ON INFLUENCE OF PHYSICAL ENVIRONMENTAL CHANGE BY HIGH WATER CHANNEL EXCAVATING WORK ON INITIAL GROWTH OF BUR CUCUMBER

傳田正利<sup>1</sup>・黒川貴弘<sup>2</sup>・島野光司<sup>3</sup>・三輪準二<sup>4</sup>

Masatoshi DENDA, Takahiro KUROKAWA, Kouji SHIMANO and Junji MIWA

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) 研究員 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup>正会員 交流研究員 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>3</sup>正会員 博士(学術) 准教授 信州大学理学部物質循環学科 (〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1)

<sup>4</sup>正会員 工修 上席研究員 独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

We evaluated influence of physical environment change by high water channel excavation work on initial growth of bur cucumber, through change of buried seed amount and follow-up survey of individual bur cucumber growth. In results, increase of flooding frequency and tractive force flushed buried seed. And decrees of solid moisture in summer withered all individuals. The results indicated that high water channel excavation work had possibility which control initial growth of bur cucumber.

**Key Words:** *Bur cucumber, initial growth, Buried seeds, physical environmental change by high water channel excavating work*

### 1. はじめに

河川高水敷掘削は、河川の流下能力向上により治水安全を向上するだけでなく、砂礫河原の再生により、河原特有の貴重植物の生息環境の保全・復元、植物群落の多様性回復に効果があることが報告されている<sup>1)~7)</sup>。同時に、河川高水敷掘削は、外来種の生育抑制の効果が期待されると指摘されている。宮武らは、高水敷掘削により冠水しやすい場所を創出し、外来種の生育を抑制する可能性を具体的に示す<sup>8)</sup>。

河川に侵入し、植物群落の多様性低下などの問題を引き起こす外来植物にアレチウリの存在がある。アレチウリ (*Sicyous angulatus* L.) は、北米原産のウリ科の一年性草本で、日本では、1952年に野外での生育が確認されている。アレチウリは、河原・畑周辺など栄養分が豊富な日当たりの良い場所で生育し、長いつるを伸ばして広がり周辺に生育する植物に覆いかぶさり、アレチウリの下の植物の生育を困難にする<sup>9)</sup>。また、種子生産量は400~500個/株であり、発芽期間は5~10月と長く、その

競争・繁殖力は高いと考えられている。

既往研究において、アレチウリの生態について研究が進んでいる。大石らは、アレチウリ種子の移動特性を実験水路による掃流実験により明らかにし、千曲川におけるアレチウリ種子の縦断的な着床状況を一次元河床変動計算により明らかにした<sup>9)</sup>。浦口らは、アレチウリのキク科植物に対する強い他感作用を指摘し、その存在が化学生態的にも植物群落の多様性維持に負の影響を与えることを示した<sup>10)</sup>。これらの研究成果は、アレチウリが河川の植物群落の多様性確保に大きな脅威になることを具体的に示す。河川管理の現場でもアレチウリの生育抑制・駆除を目的として、河川高水敷掘削を行い、アレチウリの生育可能場所を縮小する等の取り組みがなされている<sup>11)~15)</sup>。

これらの既往研究を発展させ、高水敷掘削によりアレチウリの抑制を行うには、河川高水敷掘削により改変された物理環境特性がアレチウリの生育に与える影響を分析・考察する必要がある。

このような背景から、本研究では、信濃川水系千曲川で行われた高水敷試験掘削による物理環境変化がアレチ

ウリの初期生育に与える影響について事例研究を行い、高水敷掘削による外来植物の生育抑制の効果を検証・考察することを目的とする。

具体的には、アレチウリの個体群動態に影響を与える要素として、埋土種子量の変化、結実まで至る個体数の追跡に焦点をあてる。埋土種子量の変化は、高水敷掘削による冠水頻度の増加による埋土種子量変化を、結実まで至る個体の追跡は、冠水時の流体力がアレチウリ個体へ与えるダメージの検証、アレチウリの生育状況と物理的環境（土壌水分量・土壌硬度）の関係性について検討する。これらを通じて、高水敷掘削のアレチウリ生育抑制に関する可能性を検証することを目的とする。

## 2. 研究の方法

### (1) 調査地の概要

調査は2009年4月から9月にかけて、信濃川水系千曲川で行った。本河川は流域面積7163km<sup>2</sup>、流路延長214kmの大河川であり甲武信ヶ岳（標高2475m）から長野盆地を流下し新潟県境に入り信濃川と名前を変える。調査地は千曲川の中流部に位置する鼠橋付近（長野県埴科郡坂城町、東経138°12'4.6"、北緯36°25'14.4"、以下、調査地と記述する）で行った。調査地の概要を図-1に示す。調査地は長野県境から95.6～97km区間で、流域面積2560km<sup>2</sup>、河道幅約100m、河床勾配1/200、河道兩岸に築堤が行われている区間である。

調査地の河床は、主に礫で構成され河床波形態は複列砂州で、礫の主要構成材料は20～200mm、d<sub>50</sub>=100mm、最大粒径200～300mm程度である。調査地上流部には農業頭首工の六ヶ郷用水（取水期間4～10月、以下、頭首工）が設置され2.48（m<sup>3</sup>/s）を取水した後、余水約10（m<sup>3</sup>/s）を下流側へ流下させる。

### (2) 高水敷掘削の概要

千曲川では、河川生態学術研究会（委員長：信州大学教育学部中村浩志教授）・北陸地方整備局千曲川河川事務所を中心に、河川生態系の保全・復元を目的とした河川高水敷の試験掘削が実施され、高水敷掘削・出水のイ

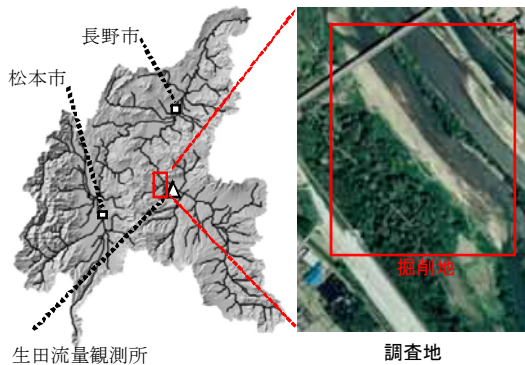


図-1 調査地概要

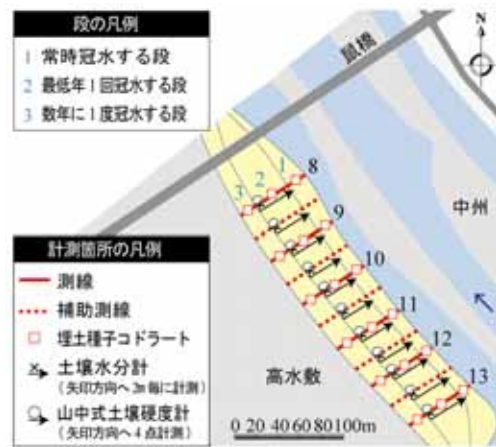


図-2 掘削地平面図

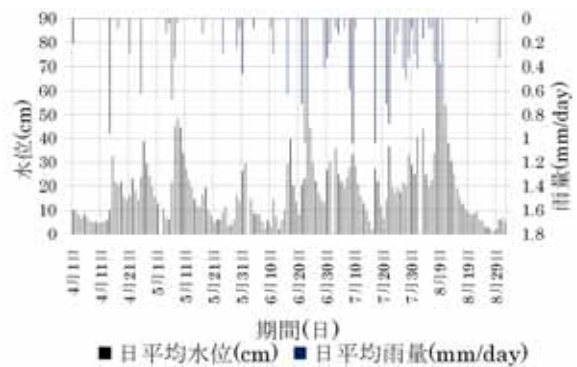


図-3 生田流量観測所における水位及び降水量の変化

ンパクトと生物群集のレスポンス等の研究を行っている。

2009年1月から図-1, 2に示すように、高水敷を標高の異なる3段に掘削した。掘削面1（常時水面下にある段、以降、1段と記述する）、掘削面2（最低年1回冠水する段、以降、2段と記述する）、掘削面3（数年に1度冠水する段、植物の伐採を主とする、以降、3段と記述する）に設定した。調査地には6本の横断測線（以下、測線と記述する）を設置した。

施工は、樹木伐採、掘削・土砂搬出、掘削断面の整正の流れで行った。樹木伐採は2009年1月初旬、2009年1月中旬から3月上旬まで土砂の掘削・搬出、その後、2009年3月中旬から3月末まで掘削形状の整正を行った。

図-3に生田観測所における掘削後の水位・降水量の変化を示す。2009年6月22日、8月8日に掘削面2段が冠水したが3段には冠水しなかった。8月8日までは梅雨前線・低気圧等の通過により、降水が記録されたが、8月8日以降は目立った降雨がなく、それに伴い河川水位が低下した。

### (3) 現地調査の方法

a) 出水による調査地の地形変化把握と出水時の冠水状況の把握

水位の時系列変化、出水時の水位記録のために、水位計（大起理化学工業(株)社ダイバー式水位計）を設置した。

出水による調査地の地形変化をVRS-GPS（ライカ社GX1230）を用いて計測した。地形計測は、測線と各測線の間に設置した補助測線（以下、補助測線と記述する）で、横断方向に5mを目安として標高を計測した。標高の計測精度は概ね誤差5mm程度であった。

#### b) アレチウリ埋土種子のサンプリング方法

アレチウリの埋土種子（以下、単に埋土種子と記述する）サンプリングは、2009年4月16日に開始し、7月1日、8月26日に調査した。埋土種子は、外皮に覆われた状態で地中に存在し、その大きさは長径10mm、短径7mm程度である。種子自体は、スイカの種に類似している。埋土種子の流失・漂着に関してのデータ取得を目的として、出水により2段が冠水した後に種子サンプリングを行った。

各測線上の各段中央に1か所0.5×0.5mのコドロードを設置した（以下、コドロードと記述する）。コドロードは、調査ごとに位置をずらした。ハンドシャベルを用いてコドロード内の土砂を採取した。アレチウリ種子が風により移送される可能性も考慮して、1層（表層から深さ0.05mまで）、2層（深さ0.05mから深さ0.1mまで）に分けて採取した（以下、土壌サンプルと記述する）。

採取した土壌サンプルの中から埋土種子を以下の手順で採取した。土壌サンプルを目合2mm程度の網に入れ、流水中で細粒土砂を洗い流した。残存した砂・小礫・流下有機物などを目合5mm以下の金網の上に寄せ、埋土種子を抽出し、その数量を土壌サンプル毎に記録した。

#### c) 2段上のアレチウリ個体の生育状況の追跡

アレチウリの生育状況を個体ごとに観測するため、アレチウリの個体が多数確認された2段上のアレチウリ個体の生育状況の追跡調査を行った。なお、1段には水際植生が優占しアレチウリは確認されず、3段にはオオバタクサが優占し、アレチウリの生育は少数しか確認されなかった。

アレチウリの個体追跡は、アレチウリの芽生え開始から約2カ月後の2009年7月1日に開始し、7月23日、8月6日、8月26日、9月11日に行った。各測線を中心に4mのベルトトランセクトを設置した。ベルトトランセクト内に生育するアレチウリの個体にID付きの赤色ビニールテープ（以下、標識と記述する）を巻きつけ個体識別を可能にした。その後、アレチウリの各個体の生育状態を、生存、新規発芽、枯死、流失に分け評価した。デファレンシャルGPS（Trimble社、GeoXH、以下、DGPSと記述する）を用いてアレチウリの位置を記録し、植物群落の定着に伴い見失わないように配慮した。尚、2009年7月1日以降の調査では、標識・DGPSを用いて、2009年8月8日の出水で流失した以外のアレチウリは、個体確認が可能であった。

#### d) アレチウリの流体力への抗力評価

出水時、冠水したアレチウリの流体力への耐性を計測するため、アレチウリの切断実験を行った。

調査地内に生息するアレチウリの30個体を選定した。アレチウリの茎長の中心地点にタコ糸（径：1mm）を結びバナばかり（株大場計器製作所、丸型テンションゲージ置針式）を引き切断時の力を計測した。その後、アレチウリの根茎にタコ糸を結び根が抜けるまでの力を計測した。

#### e) アレチウリの生育に影響を与える物理環境情報の計測

アレチウリの生育に影響を与える物理環境情報として、2段の土壌水分量、土壌硬度を計測した。

土壌水分量は、土壌水分計測計（(株)藤原製作所、TDR341F）を用いて計測を行った。調査地に設置した測線と補助測線上で表層土壌状況が変化する地点を目視で判定し、土壌水分を計測した。計測は、各測線・補助測線上で4点を目安とし計測した。計測後、DGPSを用いて計測地点を記録した。

土壌硬度も同様に各測線と測線の間にも補助測線を設置し、山中式土壌硬度計（(株)藤原製作所）を用いて計測した。2段と3段の境界線を原点とし、河川に向かい2mごとに土壌硬度を計測し、DGPSを用いて計測地点を記録した。

### (4) データ解析

#### a) 固定床平面流計算による出水時流況の再現

調査地の出水時の流況再現を目的として、調査地内の水理計算を行った。平面2次元流解析プログラムを用いて定常計算を行った。平面流計算の粗度設定は、河道内・河川高水敷ともに $n=0.032$ とした。計算メッシュは6×6mメッシュとした。計算ケースは、生田流量観測所の2008年水位・流量相関式を用いて2009年6月22日、8月8日の流量時系列から作成した。なお、2008年と2009年の間に、著しい断面変化がなかった。

#### b) 埋土種子調査結果と冠水時流況との関係性評価

埋土種子数の時系列変化と冠水との関係性を以下の手順で評価した。現地調査結果を調査地点（測線・段）、調査日別に集計した。次に、6月22日出水ピーク流量時の流況データを用いて、2段の摩擦速度を算定した。摩擦速度は以下の(1)式により算定した。

$$U_* = \sqrt{gRi_e} \quad (1)$$

ここに

$U_*$  : 摩擦速度 ( $m/s$ ),  $g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )

$R$  : 径深 ( $m$ ),  $i_e$  : エネルギー勾配 (%)

次に、6月22日出水のピーク流量時の冠水で、2段の表層土壌が移動したか検証した。移動の評価は、岩垣公式<sup>16)</sup>を用いて限界摩擦速度を算出した。限界摩擦速度の算出に際しては、埋土種子調査時に把握した表層土壌の粒径を参考にした。なお、8月8日出水のピーク流量は、6月22日出水のピーク流量以上であるため、6月22日出水のピーク流量をアレチウリ種子が下流へ動き始める流量の閾値とした。

c) アレチウリの個体生育と冠水時の流況が与えた影響評価

6月22日出水がアレチウリの生育に与えた影響を評価するため、アレチウリの切断実験結果と水理計算結果を用いて評価した。アレチウリの茎長、根径と切断までの力の相関図を作成しアレチウリの流体力への耐性を評価した。次に、6月22日出水の水理計算結果から流体力を算出した。

現地でのアレチウリの生育状態を考慮し、アレチウリにかかる流体力は、流れ方向にかかる抗力のみとした。調査地のアレチウリの平均茎長0.3m、平均断面積0.06m<sup>2</sup>であることから、明瞭な境界層が発達せず、層流状態で流体力が作用するとした。現地観察の結果から、調査地のアレチウリ葉の面積、数は小さいため、葉面の摩擦抵抗は考えず、(2)式により流体力を算出した。

$$F_D = C_f B l \rho \frac{U^2}{2} \quad (2)$$

$$C_f = \frac{1.328}{\sqrt{\frac{Ul}{\gamma}}} \quad (3)$$

ここに、

- $F_D$ : 抗力 (N),  $C_f$ : 形状抵抗,  $B$ : 流体中の幅 (m)
- $l$ : 流体中の長さ (m),  $\rho$ : 水の密度,  $U$ : 流速 (m/s)
- $\gamma$ : 動粘性係数 (m<sup>2</sup>/s)

d) アレチウリ各個体の生育状況評価

アレチウリ各個体の生育状況を以下の手順で評価した。アレチウリの生育過程と出水、物理環境変化との対応関係を明確にするため、7月1日から9月11日までの調査日に確認されたアレチウリ各個体の状況で、後述する表-2のように分類した。また、各測線のアレチウリ各個体の生育状況を平面図上にプロットし、生育、枯死、新規発芽、流出の4つに分類し、その生育状況を取りまとめた。

e) アレチウリの個体生存と高水敷の物理環境特性が与えた影響評価

アレチウリ個体の生存と高水敷掘削後の物理環境の関係性を評価する目的で、アレチウリの各個体と物理環境（土壌水分量、土壌硬度）の関係性について評価した。後述するが、アレチウリの枯死が著しかった7月23日～8月26日までの期間で枯死した個体に着目した（以下、枯死個体と記述する）。枯死個体の位置及び物理環境計測結果をGISへインポートした。GISの内挿計算機能を用いて、物理環境計測結果の内挿計算を行った。7月23日時点の枯死個体数と8月6日時点の物理環境との関連性を度数分布図により評価した。同様に8月26日時点の枯死個体数と8月28日の物理環境との関連性を度数分布図により評価した。評価に際しては、アレチウリの個体生存と物理環境計測の日時が最も近い組み合わせになるように留意した。

表-1 埋土種子数の時系列変化

測線	段	層	調査日時				小計	測線計
			0414	0701	0826	1007		
8	1	1	0	0	0	0	7	
		2	0	-	0	0		
		2	1	0	1	0		1
		3	1	0	0	0		0
9	1	1	0	0	0	0	33	
		2	0	-	0	0		
		2	1	0	0	0		0
		2	14	-	-	14		14
10	1	1	0	0	0	0	51	
		2	0	0	0	0		
		2	1	12	0	0		12
		2	0	-	-	0		0
11	1	1	0	0	0	0	24	
		2	-	0	-	0		0
		3	1	6	9	6		21
		2	-	3	0	3		3
12	1	1	0	0	0	0	46	
		2	0	-	-	0		0
		2	1	1	1	1		3
		2	0	0	0	0		0
13	1	1	18	1	3	22	21	
		2	17	4	0	21		21
		2	0	0	0	0		0
		3	1	3	8	0		11
総計			100	55	21	176		
-			: 礫層に達したため計測なし					

3. 結果

(1) アレチウリ埋土種子数の時系列変化と冠水時の流体力、地形変化との関係性評価

表-1に測線・段ごと確認された埋土種子数の変化を示す。4月14日では、測線8を除く各測線に埋土種子が確認されたが、その特性は段により異なった。各測線とも1段は埋土種子が確認されなかった。2段の測線9, 10では、4月14日に埋土種子は確認されるが、4月14日以降、埋土種子は確認されなかった。2段の測線8, 12では、4月14日以降にも埋土種子が確認された。確認された種子は外皮が外れた状態であった。各測線とも3段には継続的に埋土種子が確認された。

地形測量の結果、2段の河川沿いから中央部では平均約0.35m地盤が低下し、2段と3段の境界では平均約0.2m地

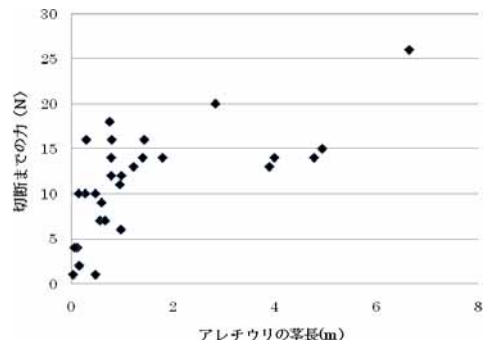


図-4 茎長と茎切断時の力との計測結果

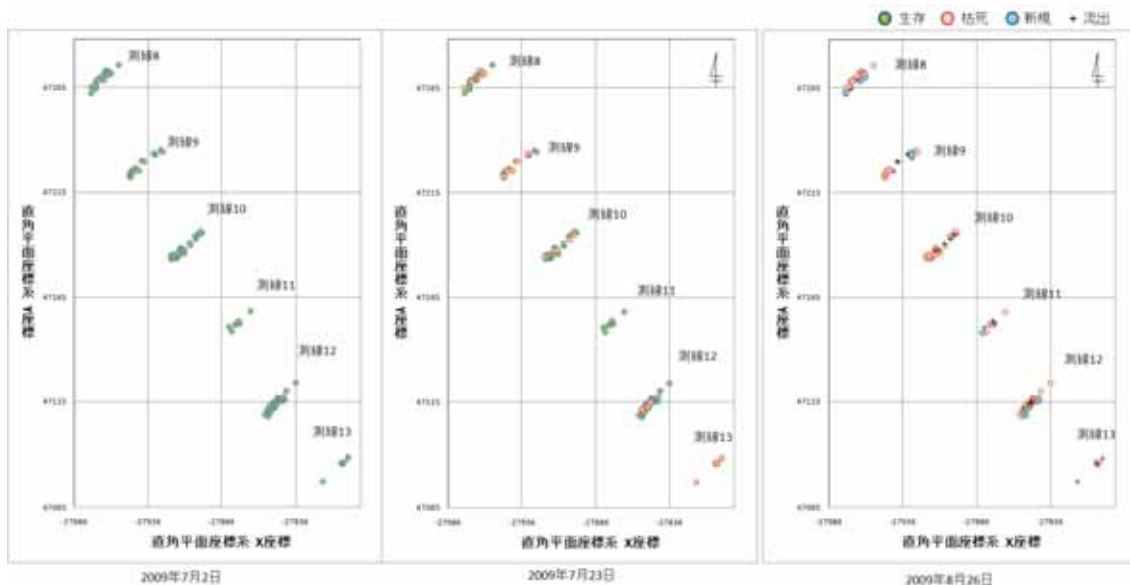


図-5 アレチウリの個体生育追跡結果

表-2 アレチウリ個体の生育状況追跡結果

測線番号	分類								総計
	1	2	3	4	5	6	7	8	
8	1	2	14	10	2	1	0	0	30
9	0	1	10	3	0	2	7	1	24
10	0	2	26	1	0	0	4	0	33
11	0	3	7	0	1	0	0	0	11
12	2	0	41	1	1	2	6	0	53
13	1	0	2	2	0	0	3	0	8
総計	4	8	100	17	4	5	20	1	159

凡例

- 1 7月2日より生育し、9月11日に枯死
- 2 7月2日より生育し、8月8日に流出
- 3 7月2日より生育し、8月26日に枯死
- 4 7月2日より生育し、7月23日に枯死
- 5 8月6日より生育し、8月26日に流出
- 6 8月6日より生育し、8月27日に枯死
- 7 7月2日より生育し、7月23日に枯死
- 8 8月8日より生育し、9月11日に枯死

盤が上昇した。水理計算の結果、6月22日出水時、2段には最高水位0.5m程度で冠水した。

(1)式より求めた6月22日出水時の2段の摩擦速度は、概ねで22.1cm/sあった。2段の表層土壌材料の限界摩擦速度は概ね1.82cm/sであり、冠水時には2段中央では表層土壌及びアレチウリの埋土種子は掃流されたと考えられた。

(2) アレチウリの切断実験結果と6月22日の冠水時の流体力評価

図-4に茎長と茎切断時の力との計測結果を示す。アレチウリの茎は最大25N、平均で概ね20Nまで切断力に耐えた。茎長に応じて切断に耐える力が強くなるのではなく、0.5m程度になれば概ね20Nまで耐える結果となった。根茎は最大で60N、平均で30N程度まで耐えた。根径と切断時の力は正の相関があり、根径4mmを越えるあたりから耐える力が増えた。

水理計算の結果、6月22日出水時、2段には最高流速0.5(m/s)程度で冠水した。(2)式より求めた6月22日出水時の流体力は概ね0.15Nで、調査地のほとんどのアレチウリが切断されない流体力であった。

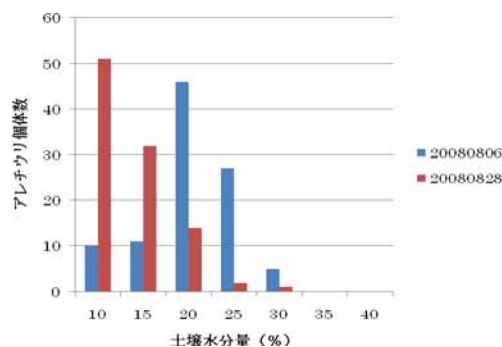


図-6 枯死したアレチウリ個体周辺の土壌水分量の変化

(3) アレチウリの個体別生育状況の変化

表-2にアレチウリ個体の生育状況追跡結果、図-5にアレチウリの個体生育追跡結果を示す。7月2日に確認出来た個体の内、約25%が7月23日に枯死した。枯死したのは、測線8、9、11、13に多かった。8月26日には約80%が枯死し、7月2日の計測から生育したのは4個体のみであった。また、新規10個体の生育を確認できた。しかし、9月11日には全ての個体が枯死し、結実まで至る個体はなかった。

(4) アレチウリの個体生存と物理環境（土壌水分量、土壌硬度）の関係性評価

図-6に枯死個体の8月8日から8月28日の土壌水分量変化を示す。枯死個体の生育した地点では、8月8日の土壌水分量は20~25%であったが、8月28日の土壌水分量は10%以下が最も多かった。土壌硬度は、8月8日から8月28日にかけて、軟らかくなる傾向があったが、顕著な変化は生じなかった。

4. 考察

(1) 高水敷掘削による物理環境変化が埋土種子数に与え

## た影響

埋土種子数の変化で興味深い変化を示したのは2段である。埋土種子数は7月1日前後で、明瞭な変化している。測線9・10が顕著であるが、7月1日以降2段で埋土種子が確認されていない。6月22日出水時の掃流力、その後の地形変化から考察すれば、2段冠水時に埋土種子が流失したと考えられる。一方、測線8、12の2段では調査期間中、継続して外皮が外れた種子が確認された。これらは他の区域の種子が沈水・流失し、出水後期の減水期に調査地に漂着した可能性を示す。測線12は冠水域の急拡大部、測線8は急縮部・下流の瀬からのせき上げ区域にあたり、アレチウリの種子が漂着した可能性は高いと考えられる。

常時冠水している1段では、調査期間全体を通じ埋土種子が確認されていない。1・2段の現象から考えると、比重が比較的軽い埋土種子は、冠水により流失すると考えられ、冠水頻度の向上は、埋土種子の面からアレチウリの生育抑制に効果があると考えられる。

### (2) 高水敷掘削による物理環境変化がアレチウリ生育に与えた影響

高水敷掘削による物理環境変化は、2段、3段に異なる影響を与えた。6月22日出水による冠水前、2段にはオオブタクサを含む多くの種が確認されていたが、冠水後、オオブタクサは著しく減少し草丈が低い河原によく見られる植物種中心に群落に変化し、表層土壌は細砂が主となった。2段に生育したアレチウリは、冠水時の流体力や土砂付着により著しいダメージを受けず生育を続けた(図-4)。一方、6月22日出水で冠水しなかった3段では、オオブタクサが繁茂を続け、オオブタクサが優勢しアレチウリが混在する植物群落に変化した。6月22日出水後の夏期の寡雨時期に、2段では直射日光を遮る植物の不在や表層土壌の変化により土壌水分量蒸発が顕著になり、アレチウリの生育を困難にしたと考えられる(図-5、図-6)。冠水頻度向上による植物群落の選別、表層土壌の変化が夏以降のアレチウリの生育を困難にした結果となった。

### (3) 河川高水敷掘削がアレチウリ生育抑制に持つ可能性とアレチウリ個体群の生育抑制・縮小にむけて考察

高水敷掘削による冠水頻度の向上は調査地の埋土種子量を減少させた(表-1)。高水敷掘削による乾燥しやすい環境の創出は、夏期にアレチウリ個体を枯死させ結果まで至る個体を激減させたと考えられる(図-5、表-2)。この2つの現象は、高水敷掘削は、高水敷掘削地へのアレチウリ個体の新規加入を抑制し、アレチウリの再生産を抑制する効果があると考えられる。

しかし、この効果は流域というスケールでは、特定区域・一定期間の効果と限定して考える必要がある。今後、流域の河川付近に見られる景観を一つのネットワークとして捉え、評価する視点が必要となる。

## 5. まとめ

高水敷掘削による物理環境の変化がアレチウリ初期生育に与える影響を評価した。その結果、高水敷掘削による冠水頻度・掃流力の増加が埋土種子を流失させ、表層土壌水分量の減少しやすい河原的環境の創出がアレチウリの初期生育を抑制する可能性があることが確認された。

## 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所：多摩川におけるれき河原の再生，土木技術資料，Vol. 61，No.4，pp.40-48，2006。
- 2) 大賀祥一：江の川上流におけるレキ河原再生，中国地方整備局管内技術研究会論文集，Vol. 58，pp.165-168，2007。
- 3) 尾澤卓思：自然を再生する技術 松浦川アザメの瀬の自然再生，土木施工，Vol. 48，No.11，pp.67-71，2007。
- 4) 杉本亨・榎木敦・関岡裕明：淀川における河川高水敷の切り下げに伴う河岸植生の再生，日本緑化工学会誌，Vol. 31，No.1，pp.190-193，2005。
- 5) 瀬戸康裕：揖斐川中流部河道掘削による河川環境の応答-河道掘削後のモニタリング調査結果を踏まえて，管内事業所研究発表論文集計画部会編，Vol. 2004，pp.115-120，2004。
- 6) 服部敦・瀬崎智之・福島雅紀・末次忠司：五ヶ瀬川支川北川における河道掘削による河原形成システムの変質について，水工学論文集，Vol. 48，No.2，pp.991-996，2004。
- 7) 田村和也・浅見佳世・赤松弘治・中尾昌弘・野村利己・塚西豊志：河川掘削工事における植生復元手法の提案，ランドスケープ研究，Vol. 65，No.5，pp.591-594，2002。
- 8) 宮武晃司：河川管理における外来種対策について，河川，2004年7月号，pp.6-10，2004。
- 9) 大石哲也・天野邦彦：出水がアレチウリ群落の拡大に及ぼす影響とその考察—実験・数値計算からの検討，水工学論文集第50巻，pp.1207-1212，2006。
- 10) 浦口晋平・渡辺泉・久野勝治・星野義延・藤井善晴：多摩川中流域の河川敷植生の構成種の他感作用，雑草研究，Vol.48(3)，pp.117-129，2003。
- 11) 島野光司・岩田直人・星野義延・吉川正人：千曲川中流域における高水敷掘削後の植生変化，Vol.55th，pp.249，2008。
- 12) 千曲川河川事務所編：千曲川・犀川のアレチウリ—河川の自然を保全するための外来植物対策。
- 13) 楯慎一郎・小林稔・大橋伸之：千曲川栗佐地区の試験的河道掘削に関する研究，財団法人リバーフロント整備センター報告，No.18，pp.15-24，2007。
- 14) 杉原直樹：より効率的な駆除方法を模索，河川レビュー，Vol.125，pp.56-60，2004。
- 15) 五十嵐祥二：天竜川水系三峰川における地域住民と連携した帰化植物対策，河川，2003年12月号，pp.37-42，2003。
- 16) 土木学会水理委員会編：水理公式集，(株)丸善，pp.158，1999。

(2009. 9. 30受付)