

特定外来生物アレチウリ抑制のための アレチウリ埋土種子除去方法の開発

傳田 正利¹・黒川 貴弘²・三輪 準二³・萱場 祐一⁴

¹正会員 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主任研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail: denda@pwri.go.jp

²株式会社国土開発センター環境事業部 (〒924-0838 石川県白山市八東穂 3-7)

E-mail: kurokawa_takahiro@kokudonet.co.jp

³正会員 (財)河川財団河川総合研究所主席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail: miwa-j@kasen.or.jp

⁴正会員 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上席研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail: y-kayaba@pwri.go.jp

特定外来生物アレチウリの個体群防除のため、アレチウリの埋土種子除去工を開発し、その効果を室内・現地での対照実験で検証した。その結果、アレチウリ埋土種子除去工は約99%の成功率で埋土種子を除去した。埋土種子除去工を適用した処理区ではアレチウリの発芽個体数が対照区と比較して少なかった。処理区では対照区と比較して、対照区では見られない23種の生育が確認され確認種数は14種多かった。これらの結果は、埋土種子除去工がアレチウリの発芽を抑制し植物群落多様性を復元していることを示唆していると考えられた。

Key Words: bur cucumber, buried seeds, removal method of buried seed, invasive alien species

1. はじめに

特定外来生物アレチウリ (*Sicyos angulatus*) は侵略的外来種に分類され、生物多様性 (植物群落多様性) を脅かす。アレチウリは、昭和27年(1952年)に静岡県清水港で野外生育が確認された。輸入大豆などに混じって、日本に侵入したと考えられ、河川においては流水や土砂の移動にもなって種子が広がる特性がある。その生育地は、耕作地や河川の周辺など、栄養が豊富で日当たりの良い場所である¹⁾。本州を中心とした全国の河川でアレチウリが生育し植物の種多様性減少の一つの要因となっている。本研究で対象とする千曲川や三峰川等の河川では、河川管理上の課題として積極的にその防除活動が行われおり、アレチウリ対策の重要性とその社会的関心の高さを示す^{2)~5)}。原産地の北米においても、アレチウリは農作物の生育を抑圧する問題が指摘されている。アレチウリの生態とその防除方法についての研究が行われ、アレチウリは、周期的な発芽により個

体群を増加させるため、この時期に農薬により個体成長を抑制することが効果的であることが指摘されている⁶⁾。この成果は、農地でのアレチウリ防除には効果的であるが、農薬を用いる点で河川での防除には不向きと考えられる。

アレチウリ防除の対策方法として、主に「抜き取り」、「高水敷掘削」が挙げられる。抜き取りは、発芽期から結実期まで成長初期のアレチウリ個体を複数回抜き取り結実に至らせない防除方法である⁷⁾。この抜き取り作業を複数年に渡り行いアレチウリの再生産を抑制する方法で、その効果が確認され実際の河川管理現場で適用されている手法である。高水敷掘削は、流下能力の増加を目的とするのと同時に、高水敷への冠水を促し、氾濫原的環境や河原環境の創出を目的として行われる場合もある。千曲川流域でも高水敷掘削の効果を検証するための試験掘削が行われている。河川環境面では、植物種の多様性が復元され、高水敷掘削の環境復元に対する有効性が確認されている^{8)~10)}。

証の結果を述べ、アレチウリの防除への適用可能性とその問題を検討することを目的とする。

2. 研究の方法

(1) アレチウリの生態とその拡大様式

図-1にアレチウリの生態の概要を示す。アレチウリが生物多様性に与える影響の大きさはアレチウリの生態に起因する。アレチウリはツルを伸ばし近傍の植物に覆い被さり光を独占的に受け成長する。アレチウリに覆われた他の植物は光が遮られ十分に成長することが出来ず、結果としてアレチウリが著しく優占する群落が形成される。

また、安定した種子生産・発芽率により、アレチウリは、再生産能力が高い。9月～10月の結実期、アレチウリ1個体あたり約140個の種子が生産され¹¹⁾、優占したアレチウリから多くの種子がその生育地に落下する。落下した種子は、発芽条件が満たされれば約80%の割合で発芽し再度個体群を形成する¹²⁾。発芽期は、4月～9月上旬頃と比較的長く、出水攪乱による個体群消失や抜き取りを行っても表層土壌中に残存した種子が9月上旬頃まで発芽・生育し、結実まで至る個体も存在する。

発芽条件を満たせずに発芽出来なかった種子は埋土種子となり土壌シードバンクを形成する。土壌シードバンクは長期に渡り発芽能力を保ち維持される。土壌シードバンクは表層0.25m程度に集中する¹¹⁾。発芽期に発芽個体の抜き取りを行っても表層部に存在し光等の発芽条件が満たされれば、他の埋土種子が発芽する。「抜き取り」対策を行う場合、複数年間、継続して行うことが必要なのは土壌シードバンクが一因と考えられる。これらのアレチウリの生態、種子生産の安定性・発芽率の高さ及び土壌シードバンクが相乗効果をもたらし、アレチウリ個体群の侵入・定着を促進する。

アレチウリの種子・埋土種子は比重が軽く浮遊しやすい特性を持ち、種子・埋土種子がアレチウリの拡大に大きな役割を果たす。河川に侵入したアレチウリは、出水時に、地表面の種子や冠水により巻き上げられた埋土種子の流下を通じて、その個体群を拡大していく。種子・埋土種子が漂着した場所では、上述した旺盛な繁殖力でアレチウリ個体群が侵入・定着し、アレチウリ個体群が急速に拡大している。アレチウリ個体群の定着・拡大を抑制していくためには、何らかの形で再生産・拡大の元となる埋土種子を除去していく必要がある。



図-1 アレチウリの生態の概要

しかし、「抜き取り」、「高水敷掘削」とともに実際の河川管理現場に適用するには難点がある。「抜き取り」は流域でのアレチウリ防除に大きな作業量が必要となり、広範囲に侵入したアレチウリ個体群を抑制するには、より効率的な方法の併用が必要となる。「高水敷掘削」は多額の予算を必要とし予算制約が多い河川では実施が難しい。また、高水敷奥地の堤防近傍まで侵入したアレチウリ防除の場合、堤防防御という治水上の観点から難しい等の問題点がある。

アレチウリ対策を有効に進めるためには、「抜き取り」、「高水敷掘削」の難点を補完する手法を開発することが望ましい。すなわち、1年程度の短期間作業で効率的にアレチウリの抑制を行いアレチウリの生息域になりやすい堤防付近の高水敷でも実施が可能な手法の開発が必要である。筆者らは、上記の要件を満たす手法としてアレチウリ埋土種子除去方法を開発した。以下、アレチウリ埋土種子を「埋土種子」、開発した装置を「埋土種子除去工」、埋土種子除去工を用いてアレチウリの生育域の表層土砂から埋土種子を除去し土砂を埋め戻す方法を「埋土種子除去方法」と記述する。詳細な生態については、2章1節で紹介するが、埋土種子に着目したのはアレチウリの個体群拡大過程では、埋土種子が大きな役割を持つためである。埋土種子除去方法は、埋土種子を含んだアレチウリ生息域の表層土壌を埋土種子除去工の一部である循環水路に投入・流下後、埋土種子を浮遊させ、表層土壌・他の有機物と分離し除去するものである。この方法でアレチウリの再生産が抑制できれば、「抜き取り」の問題点である作業量の多さ・作業期間の長さの問題が解消できる。また、高水敷上で堤防に近い区域でも問題なく適用できるため、「抜き取り」、「高水敷掘削」の難点を補完する手法としての発展が期待される。本論文では、開発したアレチウリ埋土種子除去方法の概要とその効果検

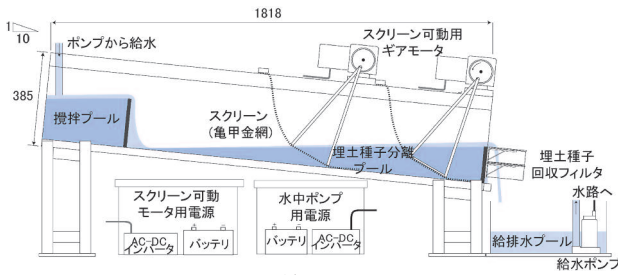


図-2 埋土種子除去工の概要

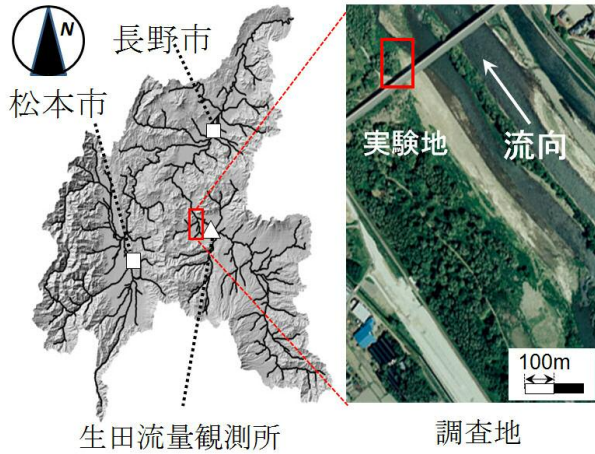


図-3 調査地の概要

(2) アレチウリ埋土種子除去工の基礎原理と室内実験による基本機能の検証

埋土種子の比重は0.79と軽く、浮体の安定は極めて高いのが特徴である¹³⁾。流れの中を流下する埋土種子は、表層を浮遊し水面の波立ちや多少の障害物があっても流下する特性がある。この特性は筆者らの研究や現地調査でも確認されている¹³⁾。埋土種子除去方法は、埋土種子の浮体特性に着目し考案された。

図-2に埋土種子除去工の概要を示す。埋土種子除去工は、循環式水路(攪拌プール、水路勾配:1/10、給排水プール、ポンプ)、電動式スクリーン、埋土種子回収フィルタで構成される。

埋土種子が含まれる表層土壌を攪拌プール内に投入し、攪拌すると植物の根茎や埋土種子は浮遊・流下するが、表層土壌の土砂は、沈降・掃流され下流側の給排水プールへ流入する。水路内を浮遊・流下した植物の根茎や埋土種子は電動式スクリーンでふるい分けられ、根茎は捕捉され、埋土種子だけが流下し、埋土種子回収フィルタで回収される。埋土種子除去時に、水路内に貯まった土砂は給排水プールに排出され除去される仕組みとなっている。埋土種子の流出によるアレチウリ個体群の拡散を防ぐため、埋土種子と類似した比重の模擬埋土種子を作成し、現地実験前に室内実験を実施した結果、流下させた模擬埋土種子を全て除去できることを確認した(未

発表)。

(3) 埋土種子除去工の室内機能試験, 現地実験の概要
a) 調査地の概要

調査は、信濃川水系千曲川で行った。本河川は流域面積7,163km²、流路延長214kmの大河川であり甲武信ヶ岳(標高2,475m)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。

昭和44年(1969年)に千曲川中流域への侵入が確認されたアレチウリは、出水に伴う種子拡散等により生息域を拡大、現在では千曲川流域全体に生息域を拡大し河川環境保全上の大きな問題となっている。このようにアレチウリ防除は、千曲川流域では重要な事項となっている。

埋土種子除去に関する実験は、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-3に示す。

調査地は長野県境から95.6~97km区間で、調査地の集水面積は2,560km²、河道幅約100m、河床勾配1/200、河道両岸に築堤が行われている区間である。調査地の河床は、主に礫で構成され中規模河床形態は複列砂州で、礫の主要構成材料は20~200mm、d₅₀=100mm、最大粒径200~300mm程度である。調査地には、アレチウリが優占した植物群落が形成されており、埋土種子除去工の実験を行うのに適切な地点である。

b) 埋土種子除去方法の現地実験

現地実験は、2011年2月2日~4日に行った。図-4、表-1に現地実験の概要を示す。調査地内でアレチウリ個体群の均一な生息が確認された地点に、表層土壌の掘削深を5cm、10cm、15cm、20cmと変化させ埋土種子除去工を施した区画(処理区)、表層土壌の掘削深を変化させ埋土種子除去工を施さず埋め戻した区画(対照区)を設置した。各区画の大きさは0.6m×0.6mで周辺域との境界を示すために木板を埋め込んだ。繰り返し効果を見るために、処理区、対照区ともに3区画を設置した。各区画から表層土壌をスコップで掘り出した後土嚢袋に詰め、処理区は、埋土種子除去工近傍へ運搬し、対照区は対照区近傍に保管し、後述する処理区の埋め戻し時に同時に埋め戻した。

処理区の表層土壌に埋土種子除去工を適用した。運搬した土砂に凍結が見られたため、土砂を水槽内に投入・攪拌後、埋土種子除去工の攪拌プール内に投入し、埋土種子除去を行った。埋土種子の回収率を評価するため、埋土種子回収フィルタで分離した埋土種子と給排水プール内に流入した種子を抽出



実験地概要 実験区配置図

図-4 現地実験の概要

表-1 現地実験の概要 (掘削深とコドラート数)

掘削深	5	10	15	20
実験区				
処理区	3	3	3	3
対照区	3	3	3	3

表-2 観察調査の概要

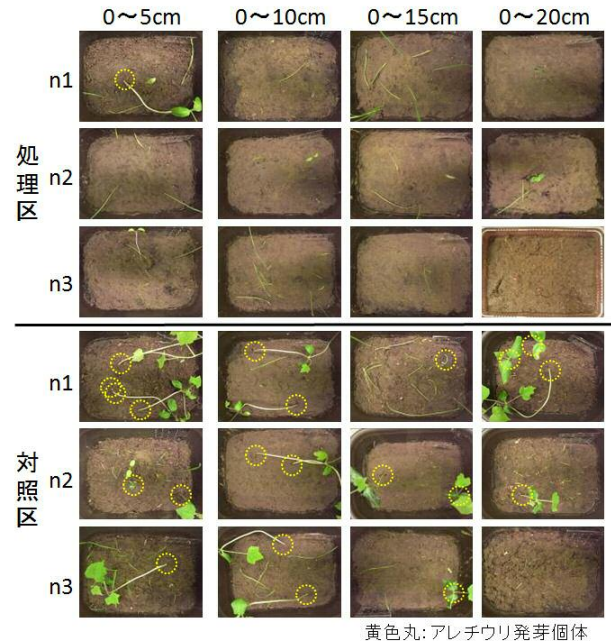
調査回数	調査年月日	調査方法
1	2011年4月20日	1
2	2011年5月6日	1
3	2011年5月20日	1
4	2011年6月3日	1
5	2011年6月17日	1
6	2011年6月29日	1
7	2011年7月14日	1, 2
8	2011年8月24日	2
9	2011年9月21日	2
10	2011年10月27日	2

し、分離した種子数とプール内に流入した埋土種子数の比率 (以下、埋土種子分離比率と記述する) を各区画について記録した。水路内と給排水プール内に残存した土砂を回収し、各区画に埋め戻した。尚、処理区と対照区ともに、埋め戻し前に屋内巻きだし実験用の土壌サンプルを約 1000cm³採取した。

c) 埋土種子除去工の除去効果調査

埋土種子除去工の効果を検証するために、外部からの種子飛散効果の影響を受けない屋内撒きだし実験と調査地における現地観察を行った。2011年3月～6月にかけて屋内撒きだし実験を実施した。実験では、現地実験時に採取した土壌サンプルを区画ごとに植物栽培用プランター (0.5m × 0.1m × 0.1m) に入れ、アレチウリの発芽条件に適した室温 23 度 に設定し、自然光の条件下で 20 日間設置し、発芽状況を観察した。

現地実験によるアレチウリ埋土種子除去工の効果検証は、2011年4月～10月まで、各区画の植物群落



黄色丸: アレチウリ発芽個体

図-5 屋内巻きだし実験結果

調査を行い評価した。表-2に調査の概要を示す。

植物の成長が著しい4月～6月までは月2回行い、植物の成長が鈍化する7月～9月までは月1回とした。観察を続けた結果、6月には対照区ではアレチウリ繁茂が著しく、方形区全体を覆い他の植物種への影響の懸念が心配された。後述するが、埋土種子を土壌中から完全に除去するのは難しく、一定数のアレチウリの繁茂が予測された。このため、7月14日の調査後、繁茂したアレチウリを抜き取った。各区画の調査内容は、アレチウリの抜き取り前 (以下、調査時期1と記述する。) では、方形区を設定し、植物群落の観察、植被率の計測及びアレチウリ個体数の計測を行った (以下、調査方法1と記述する)。アレチウリの抜き取り後 (以下、調査時期2と記述する) では、アレチウリの個体数計測に主眼をおいた調査を行った (以下、調査方法2と記述する)。

(4) データ解析

a) 屋内撒きだし実験

屋内撒きだし実験は、処理区と対照区でアレチウリの発芽個体数を比較した。同時に、アレチウリの以外の植物の発芽状況を比較した。

b) 現地実験結果の検証

現地実験結果の検証は、埋土種子除去工による埋土種子の分離率とアレチウリ発芽抑制効果について評価した。アレチウリ発芽抑制効果に関しては、(イ) コドラートの観察結果、(ロ) 掘削深変化に伴うアレチウリ被度の変化に関しての処理区と対照区の比較、(ハ) アレチウリの生育状況、(ニ) 植物群落の

表-3 屋内巻きだし実験における植物種の比較

種名	掘削深	対照区					処理区					小計	総計
		5cm	10cm	15cm	20cm	小計	5cm	10cm	15cm	20cm	小計		
アレチウリ		3	3	1	2	9	1				1	10	
イネ科の一種類似種			1			1					0	1	
オオアレチノギク類似種					1	1					0	1	
カキドオシ						0			1		1	1	
シソ科の一種		1		2	2	5					0	5	
スゲ属の一種		2				2		1			1	3	
ツユクサ						0	1				1	1	
ハリエンジュ						0			1		1	1	
ヒゲナガスズメノチャヒギ		2	1	3	2	8	3	3	3	3	12	20	
ヒメムカシヨモギ		1				1		1			1	2	
ヒメムカシヨモギ類似種		2	1	1	1	5	2				2	7	
メマツヨイグサ類似種					1	1					0	1	
ヨウシュヤマゴボウ類似種						0	1				1	1	
双子葉不明種			2	1		3		1		1	2	5	
双子葉不明種1			1	1	1	3			2		2	5	
双子葉不明種2					2	2					0	2	
双子葉不明種3					2	2					0	2	
双子葉不明種4					2	2					0	2	
双子葉不明種5						0		1			1	1	
双子葉不明種6				1		1					0	1	
総計		11	9	10	16	46	8	6	6	6	26	72	

表-4 屋外巻きだし実験における植物種の比較

掘削深(cm)	コドラード 番号	埋土種子数(個)		
		除去	残存	残存割合(%)
5	1	291	6	2.1
5	2	105	0	0.0
5	3	334	0	0.0
10	1	166	0	0.0
10	2	88	1	1.1
10	3	191	2	1.0
15	1	156	2	1.3
15	2	164	0	0.0
15	3	557	3	0.5
20	1	161	1	0.6
20	2	290	0	0.0
20	3	191	0	0.0
平均		224.5	1.3	0.6

多様性の比較, 以上の4つの項目で検証を行った。後述するが, (ロ)において, 処理区と対照区それぞれにおいて, 掘削深変化に伴うアレチウリ被度の変化に優位な差がなかったため, (ハ)以降では, 処理区と対照区の間でのアレチウリの生育状況と植物群落の状況の差異に着目して検討を行った。

以下に, 具体的なデータ解析法を示す。(イ)では, 処理区と対照区における各コドラートのアレチウリの生育状況と植物群落状況の時系列変化を写真で比較した。(ロ)では, 処理区と対照区の間で, 調査時期1・調査時期2でのアレチウリの被度の時系列変化を掘削深別に比較した。被度は, 同じ掘削深である3コドラートの平均被度を求め, その時系列変化を処理区と対照区の間で比較した。次に, 処理区と

対照区における掘削深の変化に伴うアレチウリの平均被度変化の差異の検証を行った。(ハ)では, 1) 調査時期1でのアレチウリの平均被度変化の処理区と対照区の間での比較, 2) 調査時期2におけるアレチウリの平均被度変化の処理区と対照区の間での比較, 以上の2つの検討を通して, アレチウリの生育状況を処理区と対照区の間で比較した。

次に, (二)では, 1) 植物群落の種構成, 2) 在来種と外来種の構成比率の差異, 3) 種数の時系列変化, 4) 種多様度指数の時系列変化, 5) アレチウリ平均被度と種数の相関関係, 6) アレチウリ平均被度と種多様度指数の相関関係, 以上の6項目を検証し, 植物群落の多様性を処理区と対照区の間で比較した。

尚, (ホ)における種多様度指数は, 次式により算出した¹⁴⁾。

$$H' = -\sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

ここに, H' : 種多様度指数, N : 総個体数, s : 総種数, n_i : 第 i 番目の種に属する個体数

では 12 コドラート中 11 コドラートで発芽が見られた。表-3 に処理区と対照区における種構成の比較を示す。対照区でアレチウリの発芽が多い以外に種構成に著しい差異はなかった。

コドラート名:掘削深15cm処理区n1



コドラート名:掘削深15cm 対照区n1



図-6 屋外実験の観察結果

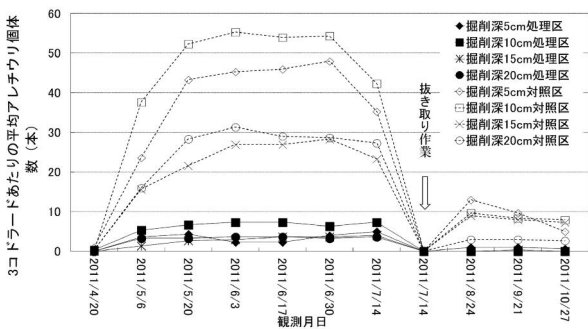


図-7 各コドラートにおけるアレチウリ個体数変化 (3 コドラート平均)

表-5 処理区・対照区における掘削深の変化に伴うアレチウリ被度の差異

	掘削深(cm)			
	5	10	15	20
処理区	19.8	32.4	11.3	22.7
対照区	67.7	76.3	55.0	58.5

(単位%)

3. 結果

(1) 屋内撒きだし試験によるアレチウリ埋土種子除去工の効果の検証

図-5 に処理区と対照区の撒きだし屋内実験結果を示す。処理区では、12 コドラート中 1 コドラート(掘削深さ 5cm) のみで発芽が見られた。一方、対照区

(2) 現地実験によるアレチウリ埋土種子除去工の効果検証

a) 埋土種子除去工による埋土種子の分離率

表-4 に分離した種子数と水路内・プール内に残留した埋土数の割合を示す。全てのコドラートの処理における分類率は、99% 程度であった。プール内の土砂に視認できない埋土種子が含まれている可能性もあるが、極めて高い確率で埋土種子が除去された。

b) 処理区と対照区におけるコドラートの観察結果の比較

図-6 に処理区と対照区の観察結果を示す。対照区のコドラートでは、アレチウリ以外の種が優占しているのに対し、対照区ではアレチウリが優占する結果となった。抜き取り作業後では、処理区ではアレチウリ以外の種が生育するが、対照区ではコドラート内に僅かに植物が生育した。抜き取り作業後では、処理区ではアレチウリ以外の植物が生育するが、対照区では再度、アレチウリの発芽が確認され、9月には 10%~20% 程度の被度が確認された。

c) 処理区と対照区における掘削深変化とアレチウリ被度変化の比較

図-7 に処理区と対照区における各掘削深別の平均アレチウリ個体数変化を示す。処理区と対照区で明瞭な差異があった。処理区では、アレチウリが活発に発芽する 5 月初旬でもアレチウリの発芽個体数は増加せず、7 月 14 日の抜き取りまでに、発芽個体数は 10 個体を超えなかった。一方、対照区では多くの発芽個体が確認されるようになり、6 月に一定になり、最大 30~60 の高い発芽個体数が確認された。処理区と対照区におけるアレチウリ平均発芽個体数の差異は 6 月頃から大きくなった。抜き取り後には、処理区では、極めて少ない発芽個体数 (3 コドラート平均で最大 0.67 個体) が確認されたのに対し、対照区では抜き取り後も 10 個体程度 (最大 13 個体) の発芽が確認された。

表-5 に調査時期 1 における処理区・対照区における掘削深さの変化に伴うアレチウリの平均被度の差異を示す。掘削深さの変化に伴い、処理区と対照区ともにアレチウリ平均被度の差異に大きな変化はなかった (Steel-Dwass の多重検定, P 値 < 0.05)。

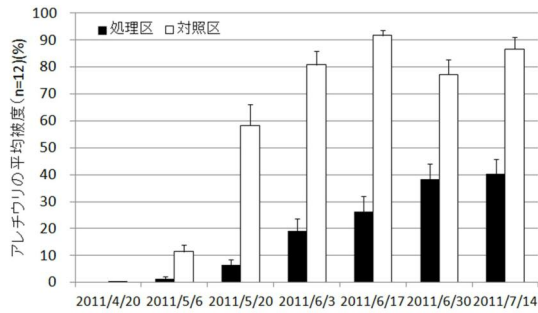


図-8 調査時期 1 における処理区と対照区におけるアレチウリの平均被度変化

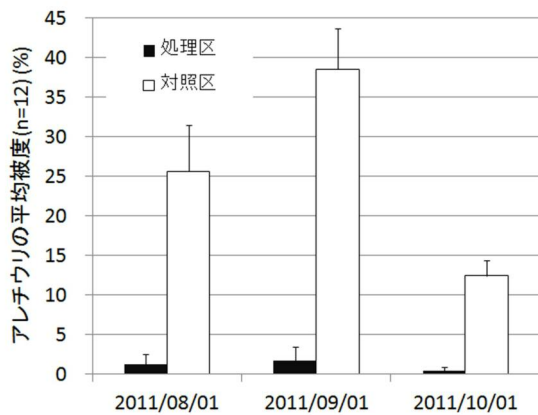


図-9 調査時期 2 における処理区と対照区におけるアレチウリの平均被度変化

表-6 処理区・対照区におけるアレチウリの平均被度比較

掘削深(cm)	コドラード番号	処理区	対照区
5	n1	15.4	71.6
5	n2	11.4	61.9
5	n3	32.5	69.5
10	n1	27.2	72.5
10	n2	41.2	81.3
10	n3	28.9	75.0
15	n1	2.1	70.0
15	n2	8.1	40.4
15	n3	23.7	54.7
20	n1	28.0	65.4
20	n2	18.7	59.8
20	n3	21.4	50.2
	平均	21.5	64.4
	最小	2.1	40.4
	最大	41.2	81.3

d) 処理区と対照区におけるアレチウリの生育状況の比較

図-8 に調査時期 1 での、処理区のアレチウリの全コドラート平均被度と対照区のアレチウリの全コドラート平均被度の時系列変化に比較を示す。処理区は、平均被度が約 40% であったのに対し、対照区では約 90% になった。処理区と対照区との間の差異は

表-7 処理区・対照区における植物群落構成の差異

種名	処理区	対照区
マツ科 (Pinaceae)		
マツ科の一種	2	0
イラクサ科 (Urticaceae)		
ムカゴイラクサ	38	22
タデ科 (Polygonaceae)		
オオイヌタデ	4	0
Persicaria 属の一種	0	1
タデ科の一種	8	6
ヤマゴボウ科 (Phytolaccaceae)		
ヨウシュヤマゴボウ	16	18
ヤマゴボウ科の一種 (ヨウシュヤマゴボウ類)	1	0
ナデシコ科 (Caryophyllaceae)		
Stellaria sp.	1	0
アカザ科 (Chenopodiaceae)		
シロザ	37	22
Chenopodium 属の一種	5	2
ヒユ科 (Amaranthaceae)		
ヒカゲイノコズチ	0	1
Achyranthes 属の一種	1	0
ケシ科 (Papaveraceae)		
クサノオウ	0	2
アブラナ科 (Brassicaceae)		
ハルザキヤマガラシ	20	6
タネツケバナ	2	5
Cardamine 属の 1 種	2	0
アブラナ科の一種	2	2
バラ科 (Rosaceae)		
ノイバラ	0	2
バラ科の一種	0	1
マメ科 (Fabaceae)		
マルバヤハズソウ	7	0
Lespedeza 属の一種	1	0
ハリエンジュ	23	17
Trifolium 属の一種	4	0
マメ科の一種 1	1	0
マメ科の一種 2	7	4
カタバミ科 (Oxalidaceae)		
カタバミ	0	6
ウリ科 (Cucurbitaceae)		
アレチウリ	71	76
アカバナ科 (Onagraceae)		
メマツヨイグサ	20	16
Oenothera 属の一種	3	4
アカネ科 (Rubiaceae)		
ヘクソカズラ	1	0
アカネ科の一種 (ヘクソカズラ類似種)	1	0
ヒルガオ科 (Convolvulaceae)		
ヒルガオ	3	0
Calystegia 属の一種	1	0
シソ科 (Lamiaceae)		
シソ科の一種	1	0
キク科 (Asteraceae)		
ヨモギ	11	7
Artemisia 属の一種	0	1
Bidens 属の一種 sp.1	3	3
Bidens 属の一種 sp.2	1	0
ヒメジョオン	26	3
ヒメムカシヨモギ	29	9
ハルジョオン	1	0
Erigeron 属の一種 sp.1	4	0
Erigeron 属の一種 sp.2	4	1
キク科の一種 1	7	12
キク科の一種 2	1	1
キク科の一種 3	5	0
キク科の一種 4	4	0
ツクサ科 (Commelinaceae)		
ツクサ	30	11
イネ科 (Poaceae)		
ヒゲナガスズメノチャヒキ	73	80
カモガヤ	22	18
クサヨシ	4	12
オオスズメノカタビラ	7	0
Poa 属の一種	3	0
イネ科の一種 (コブナグサ類似種)	0	1
イネ科の一種	4	4
カヤツリグサ科 (Cyperaceae)		
Carex 属の一種	21	11
カヤツリグサ科の一種	3	0
双子葉不明種	30	26
双子葉不明種 1	7	6
双子葉不明種 2	2	1
単子葉不明種 1	0	1
単子葉不明種 2	15	8
確認種数	53	39
処理区で観察され、対照区で観察されなかった種数		23

※マスクをかけた種は処理区で確認され対照区で確認されなかった種

2011 年 5 月 6 日から大きくなり、2011 年 5 月 20 日以降は著しく大きくなった。

表-8 処理区・対照区における在来種・外来種の比較

処理区(A)・対照区(B)	外来種	在来種
A	53.3	46.7
B	57.6	42.4

単位(%)

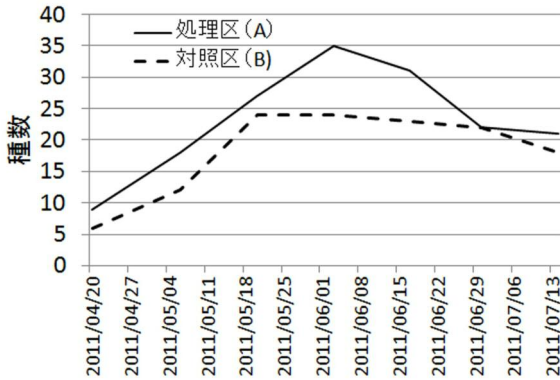


図-10 処理区と対照区における種数の時系列変化

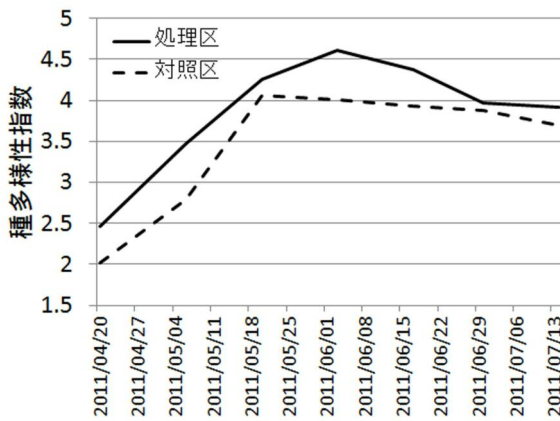


図-11 処理区と対照区における種多様度指数の時系列変化

図-9に調査時期2のアレチウリの平均被度の時系列変化を示す。処理区は、平均被度が5%を超えることがなく極めて低かったのに対し、対照区では2011年9月21日には最大の約40%になった。対照区の被度は2011年10月1日に減少するが約15%と処理区との差異は大きかった。

表-6に処理区・対照区におけるアレチウリの平均被度の比較を示す。処理区では対照区と比較して、有意に被度が少なかった(Mann-Whitney's U test, $P < 0.01$)。処理区においては、平均被度は約21%、最小約2%、最大約41%であるのに対し、対照区の平均被度は約64%、最小約40%、最大約81%と高かった。

d) 処理区と対照区における植物群落の多様性比較

表-7に処理区と対照区における植物種リストを示す。処理区と対照区において植物種リストは有意に異なった(χ^2 検定, $p < 0.01$)。植物種リストを構成

する主たる植物種は大きな差異がなかったが、確認された種数は、処理区で53、対照区で39と処理区では種数が多く対照区では見られない植物種が確認された。

表-8に処理区・対照区における在来種と外来種の構成比率の比較を示す。処理区と対照区では在来種と外来種の構成比率に大きな変化がなかった。

図-10に処理区・対照区における種数の時系列変化、と図-11に処理区・対照区における種多様度指数の時系列変化を示す。種数・種多様度指数ともに、処理区は対照区と比較して高い傾向があった。特に5月から6月下旬まで、処理区が対照区に対して種数・種多様度指数ともに著しく高かった。処理区では6月上旬を頂点として、その後下降し、7月中旬には対照区と大きな差異がなくなった。

図-12に処理区・対照区におけるアレチウリ平均被度と種数、図-13に処理区・対照区におけるアレチウリ平均被度と種多様度指数の相関図を示す。処理区では、平均アレチウリ被度、種多様度指数共に、平均アレチウリ被度が0%から20%までは増加し、20%を境に減少した。一方、対照区では、平均アレチウリ被度60%を境に被度に対する種多様度指数は飽和した。

4. 考察

(1) 埋土種子除去工の埋土種子除去能力の検証

埋土種子除去工は、十分な埋土種子除去能力があると考えられた(表-4)。掘削深5cmの区画で一部2%の残存が見られる以外は、概ね1%以下の残存率であり埋土種子の高い除去性能を有していると考えられた。

屋内撒きだし実験、屋外実験の両実験結果も埋土種子除去工の高い除去能力を示している。両実験において、アレチウリの発芽個体数は処理区の方が対照区よりも著しく少なかった(図-5, 図-6)。これらの結果は、埋土種子除去工が有効に働いていることを示していると考えられる。この様に、本研究で提案する埋土種子除去工は、アレチウリの発芽抑制を行う上で最も基本となる埋土種子除去機能を十分に有していると考えられる。

埋土種子の残存率が0%にはなっていないのは、比重が1以上の埋土種子が存在するためと考えられる(表-4)。筆者らが埋土種子の比重を計測した結果、比重1以上の種子が約3%存在した。埋土種子除去工は、埋土種子が水に浮く特性を利用し回収する機構となっているため、水に浮遊せず水路内の土

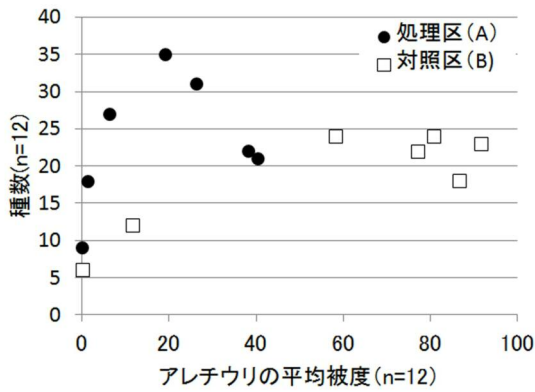


図-12 処理区と対照区におけるアレチウリの平均被度とアレチウリ以外の種数の相関図

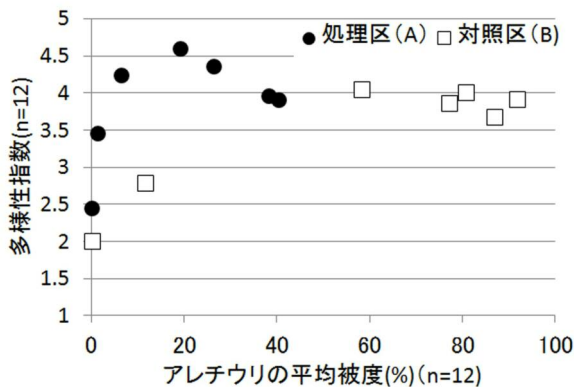


図-13 処理区と対照区におけるアレチウリの平均被度と種多様性指数の相関図

砂中に残存した埋土種子までは回収出来なかったと考えられる。比重 1 以上の埋土種子対策については、埋土種子を圧搾し種皮内へ水を浸透させ胚芽を破損させる等の補助措置が必要と考えられる。

(2) 埋土種子除去工によるアレチウリ発芽抑制効果と他の植物種への効果の検証

埋土種子除去工は、アレチウリ発芽抑制に加えて植物群落多様性の回復に対しての効果があると考えられる (図-5, 図-6)。特に、4 月から 6 月にかけて処理区では対照区と比較して、調査期間の被度が有意に少なく、他の植物の発芽を促す光刺激と発芽後の光合成が可能な成長環境を維持出来たと考えられる。アレチウリのようなツル性植物は、他の植物に覆いかぶさり光資源を奪い優占的に成長する特性があるが、埋土種子除去工の適用により、アレチウリの発芽個体数が抑制され、アレチウリがツルを伸ばし光資源を独占する状態が改善されたため、光が十分に地表まで到達し他の植物種の発芽を促したと考えることが出来る (図-7, 図-8, 図-9)。これらの変化が一因となって処理区では対照区では確認されなかった 23 種の植物の発芽が確認され、発芽した

植物種も 14 種多い。このように埋土種子除去工は、単純にアレチウリの再生産を抑制するだけでなく、他の植物種の発芽を促し、植物群落の多様性の向上に寄与する。

ただし、アレチウリの再生産抑制、アレチウリ以外の植物種の発芽抑制を促したとしても、発芽が促された種が外来種ばかりでは、良好な効果とみなすことは出来ない。しかし、表-3 では、対照区に対して処理区は発芽種数は減少しているが、減少した種はオオアレチノギク、ヒメムカシヨモギといった外来種であり良好な結果と考えることが出来る。加えて、表-8 に示すように、処理区と対照区において種の同定が出来た種に関しては、在来種と外来種の構成比率に大きな差がないことが示される。

これらの結果を総合的に考察すると、埋土種子除去工はアレチウリの発芽を有効に抑制し、処理を適用した箇所の植物群落の発芽・生育条件を健全化すると考えることが出来る。すなわち、埋土種子除去方法の適用により、アレチウリが圧倒的に優占する状態が緩和され、アレチウリ以外の植物種の発芽・初期生育条件が適正に是正される傾向があると考えられる。

(3) 埋土種子除去工実施後の抜き取りの効果について

本来ならば埋土種子除去工の実施のみでアレチウリの完全な発芽抑制に成功し、抜き取りを実施せずアレチウリ個体群の再生産抑制を達成することが望ましい。しかし、埋土種子除去工に抜き取りの併用を実施する必要性を現地実験の結果は示している (図-5, 図-6)。

アレチウリの抜き取りを行う必要があるならば、埋土種子除去工を適用せず、抜き取りだけを繰り返すだけの方が大掛かりにならず現実的な対処法と考えることも出来る。しかし、埋土種子除去方法は、抜き取りだけでは得られる可能性が少ない (イ) 発芽・生育条件の適正化、(ロ) 結実まで至るアレチウリ個体の確実な抑制を通じた再生産の防止、(ハ) 抜き取り作業自体の労力の軽減、(ニ) 短期間で植物群落多様性の復元を実現する利点がある。

発芽・生育条件の適正化に関しては、前節で触れた春期の発芽条件が改善される効果に加え、秋期以降の発芽・生育条件の適切化、多年生草本の発芽・定着を促す効果が期待できる。7 月の抜き取り後のアレチウリの個体数変化は、処理区では 3 コドラート平均で最大 0.67 個体のみ発芽が見られたのに対し対照区では 3 コドラート平均で最大 13 個体の発芽が見られた (図-7)。アレチウリは秋期にも成長し、アレチウリの成長に伴う被度増加は、秋期に発芽す

る多年生草本に影響を与えられ、埋土種子除去工の適用は多年生草本の発芽・生育条件の改善につながり、最終的目標となるアレチウリ群落を他の草本群落へ置き換える一助となる可能性を示す(図-9)。

抜き取り作業後も処理区で発芽・生育するアレチウリ個体は対照区と比較して極めて少ない。この結果は、結実に向け成長する秋期のアレチウリ個体群を抑制することにつながると考えることができ、より確度の高いアレチウリ個体群の再生産抑制に有効であると考えられる。

埋土種子除去工の適用による抜き取りと比較しての労力の軽減も軽視できない利点である。広い面積のアレチウリ個体群を防除する場合、一見簡易に感じるアレチウリの抜き取りにはかなりの労力が必要となる。しかし、埋土種子除去工により大半の埋土種子を除去し、発芽個体数を大幅に減少させることはアレチウリの抜き取り効果をより確実なものとすることができる。

これらの点からも埋土種子除去工は、アレチウリ個体群の再生産抑制や、植物群落多様性復元に向けての生育環境改善の効力があるといえる。埋土種子除去工の実施とともに、アレチウリの抜き取りを実施することにより、植物群落多様性復元・持続的維持に向けた効果を上げると考えられる。

ただし、埋土種子除去工とアレチウリの抜き取りの併用を行う時期に関しては、図-10から図-13の結果に留意する必要がある。すなわち、抜き取りの時期が6月上旬でアレチウリの被度が約20%の時点で行った方が、種数、種多様度指数復元の観点からは、良好な結果をもたらす可能性が高いことを示している。しかし、結実に至るアレチウリ個体の削減を目的とするのであれば、本研究のように7月以降、埋土種子の発芽が終わった時点で行うことがより有効である。埋土種子除去工と抜き取りの時期・回数との組み合わせ等は、今後、他地域への適用を通して検討し、より効果が高い適用方法を検討する必要があると考えられる。

(4) 埋土種子除去方法の対策工としての利点と実用性向上に向けて

4章1節から3節までの結果は、埋土種子除去方法は、アレチウリの発芽抑制、他の植物種の発芽・生育条件の適正化に有効であることを示した。本節では、河川管理の実務へ埋土種子除去方法を適用できる事例を選定し、それらの事例に埋土種子除去方法を適用する場合の実用性を議論する。

埋土種子除去方法が適用出来る事例は、(イ)堤防

防御の観点から、河川高水敷掘削が不可能な堤防付近に生育するアレチウリの防除、(ロ)河川高水敷掘削後の切り下げ区域におけるアレチウリの防除、(ハ)アレチウリ生育域から搬出される土砂内の埋土種子の除去、以上の3点が考えられる。

(イ)については、現在は、「抜き取り」しか対応策がないが、効果的な新たな防除方法が開発されたといえる。埋土種子除去方法は、コストの面でも優れていると考えられる。埋土種子除去方法で行われる「表層土壌の除去」、「種子の取り出し」、及び「埋め戻し」という作業は、一見、高コストである印象を受ける。しかし、重機を用いて表層土壌除去と埋め戻し作業を行うことにより、効率的な作業が可能であることを確認している。アレチウリの生育域をスポット的に除去出来るため、河川高水敷掘削と比較して安価な施工が可能であると考えられる。また、表-5は、埋土種子除去工は、その処理層厚に依存せず一定の発芽抑制効果を持つことを示している。重機を用いて表層土砂を出来る限り薄く剥ぐことにより、より効果的で安価な埋土種子除去が可能となると考えられる。

(ロ)については、河川高水敷掘削直後の掘削域は、栄養塩を豊富に含んだ細粒土砂が表層を覆う開放的な空間になることが多い。このような区域は、アレチウリ生育域になることが多い。高水敷掘削域に埋土種子除去方法を適用することにより、アレチウリの生育を抑制することが可能となると考えられる。

(ハ)については、アレチウリの拡散防除に効果があると考えられる。河川管理の現場では、河川高水敷掘削に伴い搬出された土砂が、他区域の堤防盛土等の河川維持管理に利用される場合が多い。搬出された土砂内に、アレチウリ生育地の土砂が混入している場合、新たなアレチウリの生育を促す恐れがある。埋土種子除去方法を用いて、搬出土砂内から埋土種子除去が効果的に行われれば、対策が難しかった埋土種子移動によるアレチウリの拡散に新たな進展が可能となる。

しかし、(イ)及び(ロ)に埋土種子除去方法を有効に機能させるには、埋土種子除去方法を用いて大量の土砂を安価に処理出来る方法を検討する必要がある。現在の埋土種子除去工は、埋土種子分離プールを流下させ、浮遊した埋土種子を除去する仕組みとなっている。この方法では、多量の土砂を流下させた場合、スクリーンの目詰まりや埋土種子分離プール内への土砂堆積が生じ、除去効率の低下に加え、埋土種子除去工の動作安定に多くの労力が必要となる問題点が明らかになっている。今後の埋土種

子除去方法の改良により、多量の土砂処理方法を検討する必要があると考えられる。

5. 結論

- 1) 特定外来生物アレチウリの埋土種子（埋土種子）の浮体安定性と比重の軽さに着目し、アレチウリの埋土種子を含む表層土砂を水路内に投入し、埋土種子と表層土壌を分離するアレチウリ埋土種子除去工（埋土種子除去工）を開発し、アレチウリ個体群の再生産抑制効果、植物群落多様性復元効果を室内実験と室外実験で検証した。室外実験では、埋土種子除去能力も合わせて検証した。
- 2) 埋土種子除去工は、表層土壌中の埋土種子を約99%と極めて高い確率で除去した。除去できなかった埋土種子は、比重が1よりも重い埋土種子であったと考えられた。
- 3) 埋土種子除去工を適用した実験区（処理区）では、アレチウリの発芽が埋土種子除去工を適用しない実験区（対照区）よりも有意に少なく、埋土種子除去工はアレチウリ個体群の発芽抑制効果を十分に有していると考えられた。また、7月に1回、アレチウリの抜き取りを行うことにより、結実まで至るアレチウリ個体をなくし、発芽・結実の抑制を通じたアレチウリ個体群の防除効果を確認した。ただし、6月にはアレチウリの被度が大きくなるため、アレチウリ以外の種数、種多様性指数が減少する結果となり、抜き取りは6月頃の方が効果が高い結果も示唆された。
- 4) 埋土種子除去工の適用により、アレチウリ発芽個体数が減少し、処理区のアレチウリの被度は対照区に対して著しく低くなり、アレチウリ以外の植物種の発芽・生育条件が改善され、処理区では対照区では確認されなかった23種の植物の発芽が確認され、発芽した植物種も14種多く、植物群落多様性の復元効果を確認した。
- 5) 埋土種子除去工の効果は、埋土種子除去工を適用する表層土壌の層厚にほとんど依存せず、表層5cm程度の処理だけでも、一定のアレチウリ個体群再生産抑制、植物群落多様性の復元効果を持つことを明らかにした。
- 6) 埋土種子除去方法は、河川高水敷掘削を通じたアレチウリ個体群防除が不可能な高水敷や、河道掘削直後で外来の植物が繁茂しやすい区域、搬出土砂に含まれる埋土種子の除去に適用可能と考えられ、河川環境管理に有用な工法であると考えられた。

謝辞：本研究では、北陸地方整備局千曲川河川事務所から現地調査の支援やデータ提供等で多くのご協力をいただいた。調査地基盤データ整備には、リバーロント整備センター生態系グループ川口究氏・毛利栄一郎、植物群落調査には、いであ株式会社生態・保全部平野亮氏、新日本環境調査株式会社朝倉隆光氏、に多大なご協力をいただいた。ここに深湛なる謝意を示す。本研究は、河川生態学術研究会千曲川グループの研究の一環として行われた。

参考文献

- 1) 日本生態学会編（村上興正・鷲谷いづみ編）：外来種ハンドブック，地人書館，pp. 39-41, 2002.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所調査課：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—，国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所調査課，pp. 16-19, 2003.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Smeda, R. J. and Weller, S. C. : Biology and control of burcucumber, *Weed Science*, Vol. 49, pp. 99-105, 2001.
- 7) 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，2003.
- 8) 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.
- 9) 傳田正利，黒川貴弘，島野光司，三輪準二：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，水工学論文集，第54巻，pp. 1237-1242, 2010.
- 10) 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. 55，pp. 249-254, 2008.
- 11) 黒川貴弘，傳田正利，三輪準二：個体レベルでのアレチウリの成長観察とそのモデル化に関する基礎的研究，土木学会関東支部第37回技術発表会講演集（CD-ROM），II-5, 2010.
- 12) 傳田正利，黒川貴弘，島野光司，三輪準二：千曲川高水敷におけるアレチウリ埋土種子の分布特性とその形成要因に関する研究，環境工学論文集，第47巻，pp. 36-47, 2010.
- 13) 傳田正利，黒川貴弘，三輪準二：アレチウリの種子生

産とその浮遊・沈降特性に関する基礎的研究, 土木学会関東支部第37回技術発表会講演集(CD-ROM), II-6, 2010.

と機能—, pp. 71, 共立出版, 1982.

(2013. 2. 13 受付)

14) 木元新作: 生態学研究法講座動物群集研究法 II—構造

DEVELOPMENT OF A REMOVAL METHOD OF BURIED SEEDS FOR BUR CUCUMBER POPULATION CONTROL

Masatoshi DENDA, Takahiro KUROKAWA, Junji MIWA and Yuichi KAYABA

We developed Buried Seeds Removal Method (BSRM) for bur cucumber population control and verified its effect. In the results, BSRM remove buried seeds from surface material in 99% accuracy. Germinations number of bur cucumber in BSRM treatment area were smaller than control area. Twenty three species were not observed in treatment area germinated and more 14 species germinated in treatment area comparing to control area. The results indicated that BSRM reduce the reproduction of bur cucumber and restored vegetation community diversity.