

河川高水敷における特定外来生物アレチウリの埋土種子分布と河川流況の関係性に関する研究

RESEARCH ON BURIED SEED DISTRIBUTION OF BUR CUCUMBER IN RIVER TERRACE AND RELATIONSHIP BETWEEN THE DISTRIBUTION AND FLOODING CONDITION

傳田正利¹・萱場祐一²
Masatoshi DENDA, Yuichi KAYABA

¹正会員 博士 (工学) 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)

²正会員 博士 (工学) 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)

In this study, we investigated buried seeds distributions of bur cucumbers in river terrace in the Chikuma river. And we considered relationships between the distributions and physical environments. In the results, we clarified followings. (a)The buried seeds were mainly founded in bur cucumbers communities (*Sicyous angulatus* L.), in black locust communities(*Robinia pseudo-acacia*) and in silver-grass communities(*Miscanthus sacchariflorus*). (b)In general, the vertical distributions of the seeds were concentrated within 0.1m depth of surface soils. In silver-grass communities, the vertical distributions spread within 0.25m depth of surface soils. (c)Decomposition conditions of the seeds were influenced by flooding frequencies and flooding disturbances. The results indicated followings. (a) River managers have to control the seeds, considering not only bur cucumbers community but also the other vegetation such as silver-grass communities. (b) In general, the managers carefully have to deal with the surfaces soils within 0.1m depth. In addition, the managers more carefully have to deal with the surface soils within 0.25m in silver-grass community.

Key Words : *Bur cucumber, Buried seeds, Invasive alien species, Formation factor of distribution characteristics of buried seeds, flooding condition*

1. はじめに

特定外来生物であるアレチウリ (*Sicyous angulatus* L.) は、在来植物種の成長を妨げ、河川における植物群落多様性に著しい悪影響を与えている^{1)~3)}。このような背景から、アレチウリの防除を目的とし、アレチウリ抜き取りの効果に関する研究や抜き取りによる防除事業^{4)~7)}、河川高水敷掘削によるアレチウリの防除事業が行われている^{8)~9)}。また、より効率的なアレチウリ個体群管理を目指した研究も活発に行われている^{10)~12)}。

アレチウリの個体群の拡大には、シードバンク (埋土種子層, 以下, 埋土種子と記述する) が大きな役割を果たす。埋土種子の比重は約0.67と軽く浮体としての安定性も高い^{13)~14)}。出水時, 流下した埋土種子は, その浮体特性から下流域へ広範囲に広がり, 陸域に漂着後発芽し, 新たな個体群を形成する。埋土種子の拡散防止と除去を行うことが出来れば, 効率的なアレチウリ個体群の

拡大抑制と防除が可能になると考えられる。しかし, 既往研究では, アレチウリの成体に関する研究が多く, 埋土種子に関する研究は少ないのが現状であった。

このような背景から, 筆者らは, 埋土種子に関する研究の初期段階として, アレチウリが生育する区域の埋土種子分布特性を明らかにした。その結果, (イ) 埋土種子は, 表層0.1m程度まで集中し, 深度が増すに従い指数分布的に減少すること, (ロ) アレチウリが高密度で生育する地点では, 種子供給が多く表層への埋土種子の集中が著しいこと, (ハ) 埋土種子の発芽能力は一定ではなく土壤中で分解されると発芽能力が低下すること, (ニ) 冠水頻度が低く, 冠水時の攪乱が低い箇所では, 埋土種子が分解され, 発芽能力が低下した埋土種子が増えること, 以上の4点を明らかにした。この研究により, アレチウリ個体群下での埋土種子分布状況が明らかになった¹⁵⁾。

更に, 埋土種子に関する研究を進める場合, アレチウリ個体群区域以外の埋土種子分布とそれらの発芽能力

を把握する必要がある。これは、アレチウリの個体群の拡大様式から考えると、出水時に流下した埋土種子は、下流側の冠水域に広く漂着している可能性があるためである。漂着後、発芽出来た個体は、アレチウリとして認識され、防除の対象になるのに対し、発芽条件が満たされず休眠している埋土種子は、防除の対象とされない。河川工事に伴う土砂移動により、休眠している埋土種子が移動した後、発芽・成長し、個体群を拡大させる懸念がある。このため、アレチウリが生育しない区域を含めた埋土種子の分布とそれらの発芽能力を把握する必要がある。同時に、埋土種子の分布とそれらの発芽能力変化を物理環境との関連性から考察する必要がある。物理環境を用いて埋土種子の分布と発芽能力変化を推定することが出来れば、より効率的な防除が可能になる。例えば、冠水頻度が高く、冠水時の攪乱が高いため、埋土種子の分解が進まないことが確認できれば、個体の再生産能力が高く、発芽能力の高い埋土種子を下流へ流下する恐れのある水際域から優先して防除を行う等、河川管理の現場へ有用な情報を提供することが可能になる。

この様な背景から、本研究では、(イ)アレチウリ個体群下とそれ以外の区域の埋土種子の分布特性とそれらの発芽能力を把握すること、(ロ)埋土種子分布とそれらの発芽能力に影響を与える物理環境特性(冠水頻度、冠水時の流況)との関係性を考察すること、(ハ)

(ロ)の因果関係から、河川管理の現場において、アレチウリ防除のために考慮すべき事項を整理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、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。調査地は千曲川の中流部に位置する冠着橋付近(長野県、東経138° 7' 56.3"、北緯36° 29' 51.9"、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85～87km区間で、河道幅約200m、河床勾配1/350、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、河床材料は平均約47mmである。

調査地の高水敷の地形・植物群落の状況を把握するために、調査地の現地踏査を行った。調査地は、(イ)低水路沿いの低地及び崖地、(ロ)高水敷中央部の微高地、(ハ)堤防近傍の低地に分類出来た。

植物群落は、オギ(44,485m²)、ハリエンジュ(27,342m²)、ツルヨシ(15,110m²)、アレチウリ(7,456m²)、セリクサヨシ(3,642m²)、カナムグラ(3,659m²)、ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギク(1,231m²)等の植物群落が確認された(図-1)。ハリエンジュ群落内には、大半の区域でアレチウリが生育した。少数のオギ群落のみに、アレチウリが生育した。

(2) 現地調査の方法

埋土種子抽出は、2010年の秋期に行った。11月4日から12月1日に試料土壌の掘り出し、11月30日から12月2日に試験土壌から埋土種子の抽出を行った。2010年度に生育したアレチウリ個体群の結実・落下が完了したと判断できたため、上記の調査日に設定した。

次に、調査地の地形・植物群落を考慮し横断測線、コドラートの設置を行った。縦断方向の植物群落変化を反映するように調査地に50m間隔で横断測線を設置した。地形変化を反映するように、地形(イ)～(ハ)に最低1点のコドラートを設置し、合計41地点を調査地点として選定した(図-1)。

埋土種子の抽出は、以下の方法で実施した。各調査地点に0.6×0.6mのコドラートを設置し、表層の植物を剥ぎ土壌面を露出させた(以後、植物だけの層を0層とする)。その後、表層土壌から5cmごとに掘り下げ土砂を採取した。掘り下げは、埋土種子が含まれる可能性が極めて低い礫層に到達するまでとした。調査地では、概ね5層(0.25m)で礫層に達した。

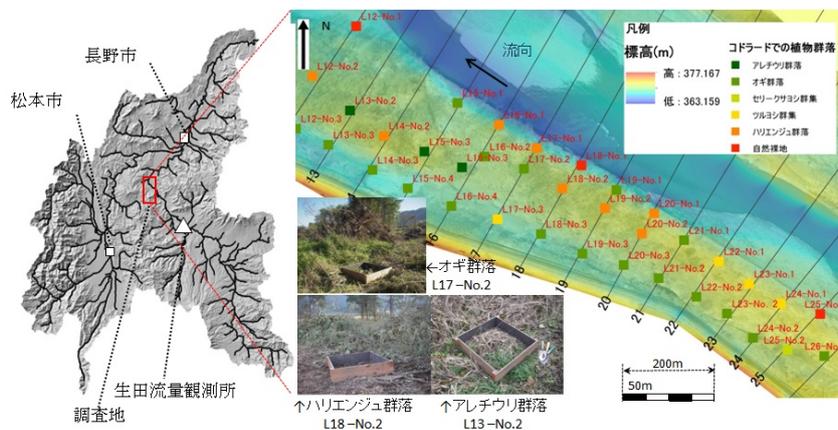


図-1 調査地の概要

(3) 埋土種子に関するデータ解析

a) 埋土種子分類と発芽能力の評価

種子分類は、先行研究¹⁵⁾と同様に、T1：種子内部が完全なもの、T2：種子内部の一部が分解され発芽率が減少していると推定されるもの、T3：種子内部が完全に分解され発芽能力が無いと推定されるもの、以上の3分類とした（以降、この分類を種子特性と記述する）。

b) 植物群落別の埋土種子数と埋土種子数の多い群落における埋土種子鉛直分布特性の評価

各植物群落の埋土種子数を種子特性別に比較した。各コドラートで、埋土種子数に偏りがあったため、各植物群落の各コドラートの埋土種子数を積み上げ縦棒グラフで評価した。次に、植物群落別の埋土種子の整理結果から、埋土種子数が多い植物群落を抽出し、埋土種子の鉛直分布を作成した。

(4) 平面流計算を用いた冠水頻度・冠水状況に関するデータ解析

a) 平面流計算と超過確率を用いた冠水状況・冠水流量の推定

調査地点が冠水する流量の特定を目的として、上流端流量が定常の平面流計算を行い、流況再現を行った。上流端流量は、後述する杭瀬下流量観測所のデータを参考に、100~2000m³/sとした。発生頻度が高く冠水域の変化が大きい100~250m³/sは、100m³/sを初期流量として50m³/s刻みで増加させた。300~1800m³/sは、流量増加に伴う冠水域の変化が少ないため100m³/s刻みで増加させた。粗度は、植物の効果を取り込むため、空中写真を判読・分類し、ハリエンジュが優占する区域の粗度：0.12、草本区域の粗度：0.06、礫地の粗度：0.032とした¹⁶⁾。計算メッシュは6×6mとした。

各調査地点の冠水判断は、コドラートが含まれる計算メッシュの水深の計算値が0よりも大きい場合、冠水したと判断し、この時の上流端流量を冠水流量とした。

b) 冠水流量の超過確率の算定

上記により求めた冠水流量を、調査地の最寄の杭瀬下流量観測所の流量データ（1955~2010年）と関連づけ、冠水流量の超過確率を算定した。まず、調査地の集水面積と杭瀬下流量観測所の集水面積の比率を求めた。次に、冠水流量に比率を乗じ超過確率算定用流量とした。杭瀬下流量観測所の年最大日平均流量をもとに、積率法を用いて日平均流量と超過確率の関係式を求めた。求めた関係式を用いて超過確率算定用流量の超過確率を求めた。上記の手順を各コドラートで行い、各コドラートの冠水流量の超過確率を算出し冠水頻度とした。

c) 各コドラートにおける冠水流量時の摩擦速度の算定と土砂移動の判定

冠水流量時の流体力による土砂移動を検討するために、平面2次元流解析の計算メッシュの中から、各コドラートの属する計算メッシュを抽出し、(1)式を用いて各

表-1 非定常計算を行った主要出水

Case	出水日時	計算対象時間	最大流量 (m ³ /s)	平均流量 (m ³ /s)
1	2004/5/19	140	994.71	255.95
2	2004/9/4	94	937.95	281.59
3	2004/10/8	277	2972.53	448.81
4	2006/7/17	228	2897.99	615.69
5	2006/10/6	82	904.86	346.65
6	2007/9/6	114	2218.94	527.98
7	2007/10/27	56	732.8	311.80
8	2009/10/8	51	900.75	336.92
9	2010/6/29	30	178.74	140.16
10	2010/7/10	117	654.99	221.48

コドラートの冠水流量時の摩擦速度を算出した。

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

ここに

U_* ：摩擦速度 (m/s), g ：重力加速度 (m/s²)

R ：径深 (m), i_e ：エネルギー勾配 (%)

なお、冠水流量時の水深は、計算メッシュ6mに対して著しく小さいと判断したため、摩擦速度算出時の径深は水深を適用した。エネルギー勾配 i_e は、計算メッシュの上下流端の水面勾配とした。逆勾配が生じている区間では、計算メッシュの河床勾配を与えた。

次に、土砂移動の判定は、植物群落の影響が小さいコドラートと植物群落の影響が大きいコドラートで異なる判定基準を用いた。植物群落の影響が小さいコドラートでは、現地を確認し土壌粒径を0.05cmとした。この土壌粒径に岩垣式を適用し、移動限界摩擦速度（河床における摩擦速度がある限界値を超えると土粒子が移動を開始する速度）を0.017m/sとした。

植物群落の影響が大きいコドラートでは、植物群落の影響が少ないコドラートと同様に、土壌粒径は0.05cmとした。柔軟な植生粗度に関する辻本ら¹⁷⁾研究を参考に移動限界摩擦速度を0.06m/sとした。埋土種子が存在した植物群落に関して、冠水流量と各植物群落の平均摩擦速度を関数化し、移動限界摩擦速度よりも大きい場合、土砂移動が移動したと判断した。

(5) 非定常計算を用いた過去の主要出水の再現と冠水時の土砂移動の推定

出水による冠水状況、各コドラートでの冠水状況をより詳細に推定するため、非定常計算を行った。調査地における過去の横断測量結果から、大きな地形変化が生じていない2004年度以降の10回の主要出水を抽出した。主要出水は、ピーク流量が概ね150m³/s以上の出水を選定した。非定常計算を用いて出水時の流況を再現した（表-1）。再現結果から各群落における摩擦速度の平均値を求め土砂移動の状況を推定した。

3. 結果

(1) 各植物群落における埋土種子数と埋土種子数の多い群落での埋土種子鉛直分布特性の評価

図-2に各植物群落における埋土種子数の合計を示す。埋土種子数では、ハリエンジュ群落、アレチウリ群落、オギ群落における埋土種子数が多く、他の群落では著しく埋土種子数が少なくなった。アレチウリ群落では、1コドラートでの埋土種子数が多く、ハリエンジュ群落、オギ群落の順で少なくなった。オギ群落は、埋土種子数が各コドラートでバラツキが多かった。

(2) ハリエンジュ, アレチウリ, オギでの埋土種子の鉛直分布特性

埋土種子数が多かったハリエンジュ群落, アレチウリ群落, オギ群落の各群落における平均埋土種子数と種子特性の鉛直分布を図-3, 図-4, 図-5に示す。

各群落ともに、表層0-5cmに埋土種子が集中した。各群落を比較すると、アレチウリ群落では、表層に他の群落よりも多くの埋土種子が集中した。ハリエンジュ群落では中層(5-10cm層,10-15cm層)まで、一定数の埋土種子が分布し、オギ群落の多くのコドラートでは、深層(20-25cm層)で埋土種子が増加する傾向が特徴的であった。

種子特性別の埋土種子分布は、ハリエンジュ群落では、表層の約70%がT2, T3の発芽能力が完全ではない埋土種子であった。アレチウリ群落では表層の約60%が発芽能力が完全ではない埋土種子で、その傾向は20~25cm層まで同様の傾向であった。オギ群落では、発芽能力が完全であるT1種子の割合がアレチウリ群落, ハリエンジュ群落よりも若干多かった。

(3) ハリエンジュ群落, アレチウリ群落, オギ群落での冠水流量と摩擦速度の関係と土砂移動判定

ハリエンジュ群落, アレチウリ群落, オギ群落における上流端流量とその超過確率, 植物群落の影響が大きい場合の移動限界摩擦速度の関係を図-6に示す。オギは、700m³/s, 超過確率が約31%で土砂移動が生じると考えられた。アレチウリは、1200m³/s, 超過確率が約20%で土砂移動が生じると考えられた。ハリエンジュは1400m³/s, 超過確率が約16%で冠水し土砂移動が生じると考えられた。

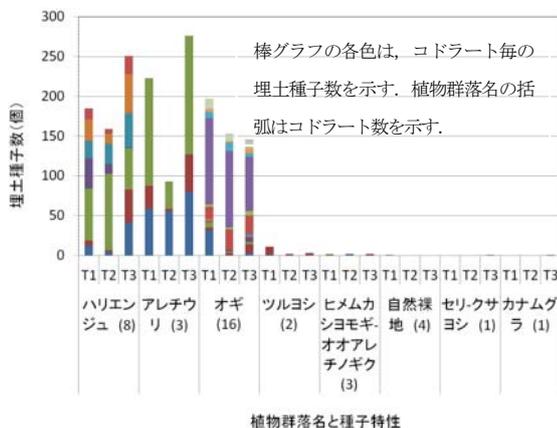


図-2 各植物群落における埋土種子数

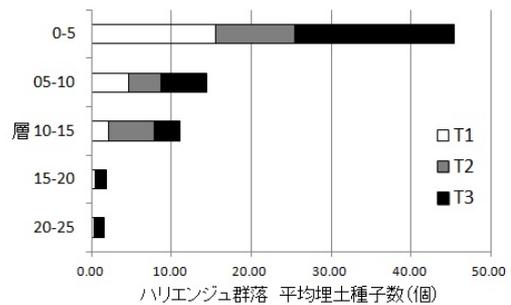


図-3 ハリエンジュ群落における平均埋土種子数

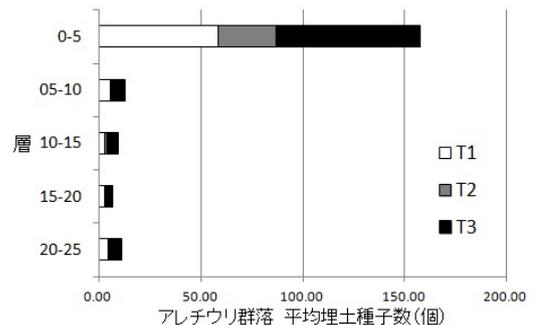


図-4 アレチウリ群落における平均埋土種子数

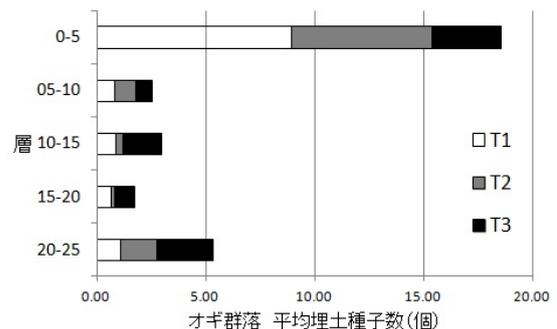


図-5 オギ群落における平均埋土種子数

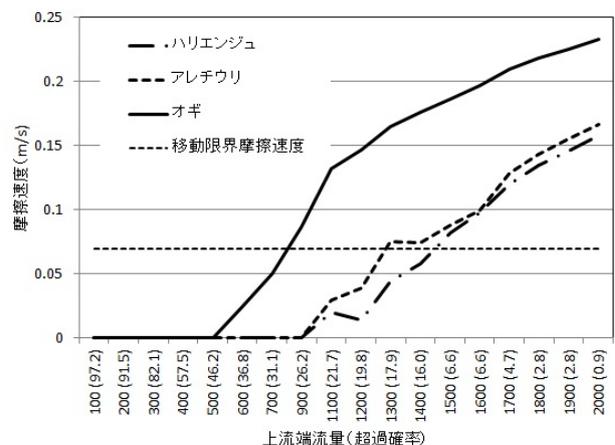


図-6 ハリエンジュ, アレチウリ, オギにおける冠水流量時の摩擦速度の推定と移動判定

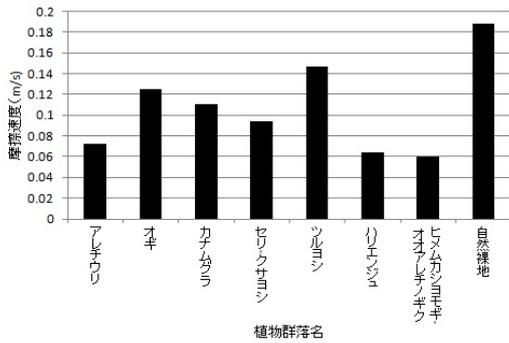


図-7 主要出水時のピーク流量時の摩擦速度

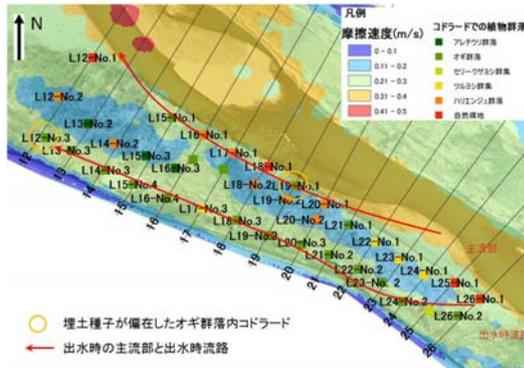


図-8 2007年9月6日のピーク流量時の摩擦速度分布の再現

(4) 各植物群落における主要出水時の摩擦速度

図-7に2004年から主要出水時の調査地内の植物群落における平均摩擦速度を示す。主要出水時、自然裸地、ツルヨシ群落、オギ群落、アレチウリ群落、ヒメムカシヨモギーオオアレチノギク群落、ハリエンジュ群落の順で摩擦速度が大きかった。オギ群落の摩擦速度はアレチウリ群落、ハリエンジュ群落の摩擦速度よりも2倍以上大きかった。

図-8に2007年9月6日出水のピーク流量 (2,216m³/s) 時の摩擦速度の分布を示す。オギのコドラートが分布する出水時流路では、摩擦速度が0.2m/s以上であるのに対し、アレチウリ、ハリエンジュのコドラートが分布するエリアでは摩擦速度が、約0.1m/sと低かった。

4. 考察

(1) 河川高水敷上の植物群落における埋土種子の平面分布の特徴とその成立要因

本研究により、埋土種子は河川高水敷の全ての植物群落で確認されたわけではなく、ハリエンジュ群落、アレチウリ群落、オギ群落で主に確認された。ツルヨシ群落等で埋土種子が確認されないのは、冠水頻度が高く冠水時には高流速の流れが通過するため、埋土種子の漂着が促されないためと考えられる。アレチウリ群落の埋土種子数が多いことは自明であるし、ハリエンジュ群落内にアレチウリが生育している場合埋土種子が多いことは筆者らの先行研究の内容を支持する結果である¹⁵⁾。一方、オギで埋土種子が相当数確認されたことは、本研究で初

めて明らかにしたことである (図-2)。また、埋土種子はオギ群落内に均一に分布するのではなく、一部のコドラート (L19-1, L12-3) に偏在する傾向があった (図-1, 図-2)。流況再現の結果、これらのコドラートは、出水時の主流部が高水敷に越水する場所か、出水時に流路となる水深の深い位置にある (図-8)。上流から漂着した埋土種子が、上述の流れの急変部に漂着し、ピーク流量後の堆積作用が生じている時期に埋め戻されたと推定することも出来る。

埋土種子があるにも関わらず、アレチウリがオギ群落内で確認されなかったのは、以下の現象が考えられる。冠水時、オギは倒伏するが、流失しない可能性が高い。たとえ、オギの地上部が流失しても、地下茎によりオギ群落は再形成され、地表面まで十分な光資源が到達しない。オギ群落は、細流土砂や流下有機物を補足し、土壌水分が高い地表面を形成する。これらの条件のため、開放的で、光資源が多く、乾燥した細流土砂を好む埋土種子は、発芽が十分に行えない。たとえ、発芽出来ても、密生したオギ群落内では、アレチウリは、ツルを伸ばせずに成長出来ない。その結果、埋土種子の漂着があっても、オギ群落が安定して成立したと考えられる。

これらの結果は、埋土種子への配慮は、アレチウリが生育している場所に加え、調査地では、オギ群落が成立していたような、出水時流路となり、埋土種子が漂着しやすい区域でも埋土種子対策を考慮する必要性を示している。

(2) 埋土種子の鉛直分布に影響を与える物理環境要因

既往研究では、表層から0.1m程度まで埋土種子が集中すると指摘した。本研究の結果、調査地のハリエンジュ群落、アレチウリ群落ともに同様の傾向を示し、既往研究を支持する結果となった。アレチウリ個体群が真上に生育するアレチウリ個体群下では、種子供給能力が大きくなり、よりその傾向が大きくなると考えられる (図-3, 図-4)。

一方、冠水時の攪乱が高くなるオギ群落内では、表層0.25mまで少数ではあるが埋土種子が確認された (図-5)。これは、出水時流路となるオギ群落での冠水時の攪乱がハリエンジュ群落、アレチウリ群落と比較して大きいことに起因すると考えることが出来る (図-7, 図-8)。出水時に表層土砂が激しく攪乱され、土砂交換が地中まで生じた結果、上流から漂着した埋土種子がより地中の深くまで取り込まれたと考えることが出来る。

また、冠水頻度がこの傾向を助長すると考えられる。オギ群落は、ハリエンジュ群落、アレチウリ群落の約2倍、冠水の攪乱が大きい。この現象は、オギ群落内の表層土壌の土砂交換頻度が高いことを示し、埋土種子の漂着と表層土砂内への取り込みという確率的現象をより高い確率で生じさせると考えられる。

これらの結果は、冠水の攪乱が、埋土種子の鉛直分布

へも影響を与えることを示す。出水時流路内の一部では、埋土種子の分布と推定される箇所では、表層0.1mよりも深い層まで土砂移動を慎重に考える必要があることを意味している。

(3) 埋土種子の種子特性に影響を与える物理環境要因

既往研究では、(イ)冠水時の攪乱が低いハリエンジュ群落やアレチウリ群落では埋土種子の分解が進み、埋土種子の発芽能力が低減すること、(ロ)年に複数回冠水する冠水頻度が高く、冠水時の攪乱が高い箇所では埋土種子の分解が進まず、発芽能力の高い埋土種子の流出が著しいと指摘した¹⁵⁾。冠水頻度が低いハリエンジュ群落、アレチウリ群落に関しては、同様の傾向を示し、既往研究を支持する結果となった(図-3, 図-4)。オギ群落では、既往研究で指摘した冠水頻度が高い群落ほど埋土種子が分解されないわけではないが、ハリエンジュ群落・アレチウリ群落ほどは分解が進まない(図-5)。これは、既往研究の成果を補足する結果となった。これらの成果は、発芽能力がある埋土種子量の推定に関しては、冠水の攪乱を考慮する必要性を支持する結果と考えられる。本研究の結果は、埋土種子の除去や抜き取り等の再生産抑制によるアレチウリ個体群防除区域を考慮する場合、アレチウリ生育密度だけでなく、出水時の流況から埋土種子が漂着し、冠水による攪乱が高く埋土種子の分解が進まない区域を選定し、重点的に防除を進める必要性を示唆している。

5. まとめ

本研究では、信濃川水系千曲川の河川高水敷において、植物群落内の特定外来生物アレチウリの埋土種子の分布特性を調査し、物理環境条件と埋土種子分布特性の関係性の考察を行った。同時に、アレチウリ防除のために河川管理上配慮すべき事項の考察を行った。

その結果、(イ)埋土種子はアレチウリ群落、ハリエンジュ群落、オギ群落で、主に確認された。アレチウリの生育が確認されなかったオギ群落内の埋土種子の分布には、出水時の流れの形態が影響を与えていると推定された。(ロ)埋土種子の鉛直分布は、表層から約0.1mに集中するが、冠水時の攪乱が高い場合には、表層から約0.25m程度まで分布した。(ハ)冠水頻度と冠水時の攪乱状況が埋土種子の分解状況に影響を与えた。以上の3点を明らかにした。河川管理の現場においては、アレチウリが生育している箇所だけでなく、出水時の流況、冠水頻度、冠水時の攪乱状況を考慮し、アレチウリ防除を行う必要があることを明らかにした。

謝辞：本研究では、調査地の現地調査では、リバーフロント整備センター河川・海岸グループ川口究氏(当時)、毛利栄一郎氏(当時)に多大なご協力をいただいた。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) 宮脇成生・村中孝司・鷺谷いづみ：河川における外来植物対策の最前線，環境情報科学，Vol. 33, No. 1, pp. 36-43, 2004.
- 2) Wade R. Esbenshade, William S. Curran, Gregory W. Roth, and Michael D. Orzolek : Effect of establishment date and crop competition on burcucumber fecundity : Weed Science, Vol.49, No.4, pp. 524-527,2001.
- 3) Reid J. Smeda and Stephen C. Weller : Biology and control of burcucumber : Weed Science, Vol.49, No.1, pp. 99-105, 2001.
- 4) 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.
- 5) 財団法人リバーフロント整備センター：誰でもわかる外来種対策～河川を事例として～，pp.71-73，財団法人リバーフロント整備センター，2012.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 傳田正利・黒川貴弘・島野光司・三輪準二：水工学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，Vol.54, pp.1237-1242, 2010.
- 9) 外来種影響・対策研究会：河川における外来種対策の考え方とその事例～主な侵略的外来種の影響と対策，pp.142-155，財団法人リバーフロント整備センター，2008.
- 10) 宮脇成生・鷺谷いづみ：生物多様性保全のための河川における侵略的外来植物の管理，応用生態工学学会，Vol. 6, No. 2, pp. 195-209, 2004
- 11) 宮脇成生・鷺谷いづみ：千曲川における侵略的外来植物4種の侵入範囲予測，保全生態学研究，Vol. 15, pp. 17-28, 2009.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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，2010年5月，pp. 36-47.
- 16) 土木学会水理委員会水理公式集改定小委員会：水理公式集，土木学会，1999
- 17) 辻本哲郎・北村忠紀：柔軟な植生粗度を伴う流れに関する研究，土木学会論文集 No.607/II-45.29-44, 1998.11

(2012. 9. 30受付)