

砂礫構造の違いからみた 河原植物の生育環境特性について

STUDY ON THE EFFECT OF GRAVEL AND SANDY RIVERBED STRUCTURES ON THE GERMINATION AND GROWTH CHARACTERISTICS OF RIVER GRASSES.

大石 哲也¹・天野 邦彦²・中村 圭吾²

Tetsuya OHISHI, Kunihiko AMANO and Keigo NAKAMURA

¹正会員 工修 (独) 土木研究所 河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 工博 (独) 土木研究所 河川生態チーム.

Projects aiming to restore the riverbeds with gravel and sandy structures have been increasing after the pass of Law for the Promotion of Nature Restoration in Japan. However, maintenance of gravel and sandy bar can be difficult because of exotic plants. Therefore, it is important to know how germination and growth characteristics of river plants have been affected by differences of gravel and sandy structures. The purpose of this paper is to examine the process of the growth of river plants caused by the structures. As a result of filed surveys and experiments, we have shown that the plants can hardly grow when the total thickness of gravels is over 8cm. However, even thin gravel layers can keep moisture beneath them and help plants survive the dry conditions.

Key Words : gravel riverbed, river restoration, river plant, germination, exotic plant

1. はじめに

自然再生推進法の施行以降, 各地で砂礫河原の再生が行われている。砂礫河原の再生の取り組みの多くは, 過去に失われた砂礫河原の再生にとどまらず, 樹林の伐採による治水安全度の向上, レジャー空間の創出, 生物多様性の維持などの副次的な効果が期待できる。砂礫河原の再生の先駆的な研究事例として, 多摩川, 千曲川を始め, 河川工学の視点から, 河道の特性を加味し, 砂礫河原再生のための工学的検討が進められている¹⁾。これらの検討のうち, 植物の研究に限ってみれば, かつて砂礫河原に生育していたカワラノギク, カワラハハコなどの絶滅の危機に瀕した植物に関する研究が行われている^{1), 2), 3), 4)}。実際, 多摩川では, 現地にてカワラノギク再生のための実証実験が行われている^{1), 2)}。しかし, カワラノギクの維持のためには, 同じような箇所に生育する外来植物の抜き取りが欠かせない⁵⁾など, 人為による管理が必要とされる。このことは, カワラノギクなどが多く生育していた時代と違い, 外来生物が増加するなど, 河川をとりまく周囲の環境そのものが変化していることの反映と考えられる。つまり, 砂礫河原を再生すれば, それだけでカワラノギク, カワラハハコなどの環境が再生され

るわけではないことを示唆している。実際に, 1970年代以降に道路のり面の緑化材に利用されているシナダレスズメガヤ, オニウシノケグサ, ネズミムギなどの早期活着型の多くの外来牧草が河川に侵入しきている⁶⁾。

このような状況に鑑み, 河川管理者として, 過去に失われた砂礫河原の環境を取り戻すと同時に, 外来種をどのように管理し, 制御していくかは, 生物多様性を維持する面からみても重要である。そのためにも, 本研究で取り上げるような, 砂礫構造などの違いからみた植物の生育環境特性を理解しておくことは, 今後, 外来種抑制の研究へも繋がるものと思われる。

これまでのところ, 植物種と河原植物が生育する微地形環境については, 1980年代以降, 石川⁶⁾, 李ら⁶⁾を始めとし, 揖斐川, 多摩川, 千曲川での報告事例がある。ここでの研究では, 地下水位からの比高, 冠水頻度の違いから, 生育する植物種を整理している。確かに, 見かけ上, 地下水位からの比高と植物種の生育場所とは, 有意な関係があることが知られている^{6), 6), 7)}。ところが, 1つの河川において明らかとなった比高と植物の関係も, それをそのまま他の河川の事業現場へ適用できるとは限らない。実際, 植物の水利用の観点から見ても, 必ずしも比高の違いが植物の種類を決めているわけではない。例えば, 4, 5日程度雨が降らなくても, 地下水位から2~3m

ほどの比高のある場所でさえ、土壌の構成の如何によつては、カワラノギク、カワラハハコのような植物も確認できる。また、比高のみだけでの整理では、新しくできた裸地に植物が侵入してきた際にどのようなプロセスを経て発芽・成長に繋がるのかが不明確である。

一方で、本研究でも取り上げているように、砂礫構造の違いからみた生育植物状況の比較に着目した研究事例も見られる。末次ら⁷⁾は、砂礫構造の違いを4つのタイプに分け現地調査を実施し、これらの比較を行っている。しかしながら、砂礫構造と植物種との関係については、やや定性的な記述にとどまっている。例えば、どの程度の砂礫厚の違いにより生育する植物に変化があるか、または、比高の研究結果と同様に植物が侵入してきた段階ではどのような条件であったかについては明らかにされていない。

以上の状況を踏まえ、本研究では、とくに、砂礫構造の違いが、河原植物の生育環境特性に及ぼす影響を確かめるため、現地調査・室内実験を行った。現地調査では、砂礫構造のタイプの違いにより、植物の生育量(植被率)がどの程度違うかを明らかにした。室内実験では、砂礫構造、灌水頻度を変え植物がどのような条件により発芽するかを検討した。本研究では、砂礫河原における植物の生育のプロセスを知るとともに、最終的には、砂礫河原を再生する際に、どのような河原が再生されるのかについての展望を示す一助になることを目的としている。

2. 現地調査および実験方法

(1) 現地調査

現地調査は、茨城県的那珂川(河口から30km~75km)、久慈川(河口から25km~45km)の砂州上に調査区を設定し、砂礫構造と植生調査を356地点において実施した。

調査においては、まず、砂州構造の上にパッチ状に成立している植物群落の状態を把握し、隣接する群落の影響を受けない最も典型的とみなされる所に、1m×1mの方形区を設置した。次に、調査区内の砂礫構造は、砂礫の被覆率に応じ、あらかじめ5つに区分した砂礫構造のタイプを調査区ごとに記録した。それぞれの砂礫構造のタイプは、タイプI(表層が礫100%で被覆され、最表層から礫を2層以上除去しても砂成分が確認できない)、タイプII(表層が礫100%で被覆され、最表層を除去すると砂成分が確認できる)、タイプIII(表層が礫と砂から構成され、砂成分による被覆は10%未満)、タイプIV(表層が礫と砂から構成され、砂成分による被覆は10%以上)、タイプV(表層に砂成分が堆積し、礫が全く見えない)とした(写真-1)。また、植生調査は、調査区内の全植被率、種名と植物種ごとの主根長を計測した。なお、主根長は、20cmを上限とした。

(2) 実験方法

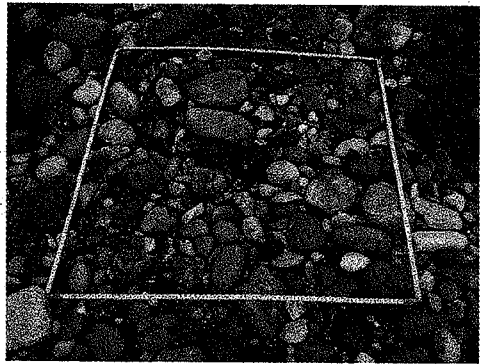


写真-1 調査区の設定 (タイプIII)

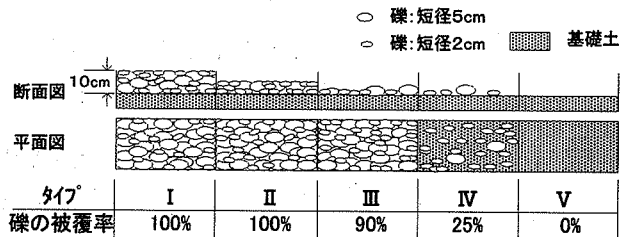


図-1 実験時の砂礫構造のタイプと礫の被覆率

現地調査で確認された植物および他の河川の河原でも典型的に見られる植物^{5),7)}を対象に、植物の発芽・成長実験を行った。実験は恒温室にて行い、砂礫構造のタイプ、灌水頻度を変え、それぞれのタイプの生育状況の違いを確かめた。

a) 対象とした種子と休眠解除処理

対象とした種子は、ヤナギタデ、シロザ、メドハギ、ヨモギ、コセンダングサ、セイタカアワダチソウ、ケイヌビエ、アキノエノコログサとした。休眠解除のため、それぞれの種子を冷蔵庫(4℃)に2週間保存した。

b) 礫構造作成

プランター(縦38cm×横14cm×高さ20cm)内に、図-1に示すような砂礫構造を作成した。現地調査時と同様に、礫分の最も多いものをタイプIとし、全くないものをタイプVとした。

図中にある基礎土とは、細砂、シルト、粘土を用い、これらを比率8.5:1:0.5で混合したものである。作成した基礎土をプランター内に10cm入れ、休眠処理を施した種子をそれぞれのプランターに均等に播種した。最後に、短径2cm、5cmからなる礫を混在させ、タイプ別に割合を変え、基礎土の上に敷き詰めた。とくに、タイプI、タイプIIでは、隙間ができないように礫を敷き詰め、基礎土に光が届き難い環境を作った。

なお、基礎土で作成した細粒分の混合比は、実河川から採集したサンプル土(7検体)の粒度分布分析の結果を参考にして決定している。

c) 環境条件の設定と測定項目

作成したプランターを恒温室に搬入し実験を開始した。明暗条件は、明期12時間、暗期12時間に設定した。温度条件は、明期に28℃、暗期に15℃とした。光源には、植物育成用蛍光灯(プランクルトス、FL40S-BRN、東芝社)

を用いた。光量子量の測定には、LI-250Aライトメーター (LI-COR Co.)を用いた。測定は、実験開始前に別途用意したプランター内に光量子計を入れた上にガラス板をはめ込み、さらにガラス板の上に砂礫を敷き詰め、板下へ透過する光量子量をタイプ別に計測 (5箇所/タイプ) した。

土壌水分率の測定には、FDR (Frequency domain reflectometry) 型のDIK-311A土壌水分計 (大起理化工業株式会社)を用いて、基礎土の体積含水率を求めた。計測器の測定範囲は表層から6cmであり、炉乾法と比較し2～5%の精度誤差がある。

実験では、灌水 (水やり) の頻度を変えることで発芽・成長条件に差を付けた。灌水頻度は、3日おき、7日おき、14日おきの3パターンとし、毎回十分に灌水を行った。

実験の記録は、3日おきとし、実験室内の温度、湿度、土壌水分率 (体積含水率) の諸条件を計測した。また、発芽した植物については、種名、発芽数を記録した。実験は、約1ヶ月間行い、最終日に礫間の植物の胚軸、茎の伸展状態を記録した。

3. 結果

(1) 調査結果

図-2にタイプ別にみた植被率を示す。図中の箱ひげ図は、両端が90%、10%の分位点を示し、箱内の上、下辺が4分位点、箱内の横線は中央値を示している。これらは分布の偏りを示す指標となる。また、図中の菱形の中央の横線は、それぞれのタイプでの平均値を示している。さらに、図中の30%付近を通る線は、全タイプの植被率の平均値を示している。なお、参考までに、タイプの平均の95%信頼区間を菱形の縦の長さにより示している。菱形の上、下部にある横線は、「全タイプの植被率の平均±信頼区間」を示している。例えば、2つのグループにおいて、平均値に差がある場合、菱形の縦の範囲に重なりは見られない。図-2の場合、タイプIIとタイプIVでは、平均値に差があることが予見される。

タイプ別の植被率の平均値・中央値は、タイプIでは0%に近く、砂礫が少なくなるに連れて徐々に平均値・中央値が大きくなり、タイプIVでは全タイプの中で最も植被率が大きく、平均値・中央値とも約40%であり、分布の形状は正規分布に近いことを示している。一方、タイプVでは、タイプIVと比較し平均値・中央値が小さくなった。分布の形状は、植被率が小さい方に偏っていた。分布が偏った背景には、タイプVのような箇所に生育する植物には2つのタイプがあったからである。1つは、水際から遠いオギのようなタイプと、もう1つは水際に近い場所で表層が中砂であるか、薄いシルト、粘土から構成されている場所に生育できる種 (アゼナ、タネツケバナなど) のどちらかであり、いずれの場合も乾燥により表層に水分がなく、通常、植物の生育が困難なタイプであった。今回の調査では、後者が卓越していた。なお、分散

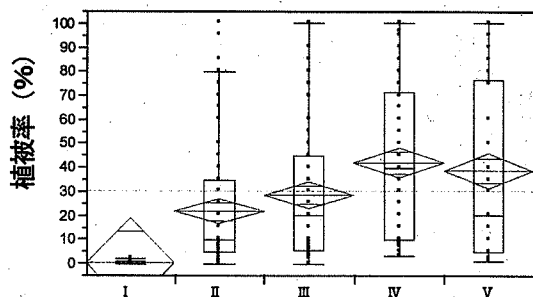


図-2 タイプ別にみた植被率

表-1 タイプ別の光量子量

礫層タイプ	I	II	III	IV	V
光量子量 ($\mu\text{mol/s/m}^2$)	0.00	0.21	0.35	29.31	49.66

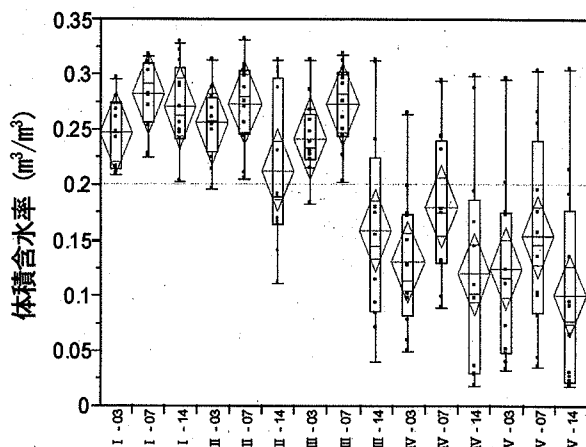


図-4 タイプ-灌水頻度別にみた体積含水率

分析を行った結果、タイプ別による植被率の平均値には有意な差 ($p < 0.0001$) があった。

図-3 (次頁) に植物種ごとの主根長を示す。平均して約6.5cmであり、多くの植物は浅い場所に主根を伸展させていた。とくに種から発芽する一年生植物であるアキノエノコログサ、ケイヌビエなどは、その傾向が顕著であった。一方、20cm以上を利用している植物には、オギ、ススキなどのイネ科の多年生草本や、ヨモギなどの多年生広葉草本、セイタカアワダチソウが見られた。

(2) 実験結果

表-1に計測したタイプ別の光量子量の平均を示す。タイプI～タイプIIIまでは、光量子量は0～0.21 ($\mu\text{mol/s/m}^2$) であり、砂礫により光量子量が制限されていた。タイプIVから光量子量が大きくなり、タイプVでは、約50 ($\mu\text{mol/s/m}^2$) となった。

図-4にタイプ-灌水頻度別からみた観測期間中の体積含水率の変化を示す。体積含水率は、平均して0.2 (m^3/m^3) を示した。光量子量とは逆に、平均より体積含水率が大きいタイプは、タイプI～タイプIIIであった。一方、平均より体積含水率が小さいタイプは、タイプIV、Vであった。また、I-14を除き、いずれのタイプにおい

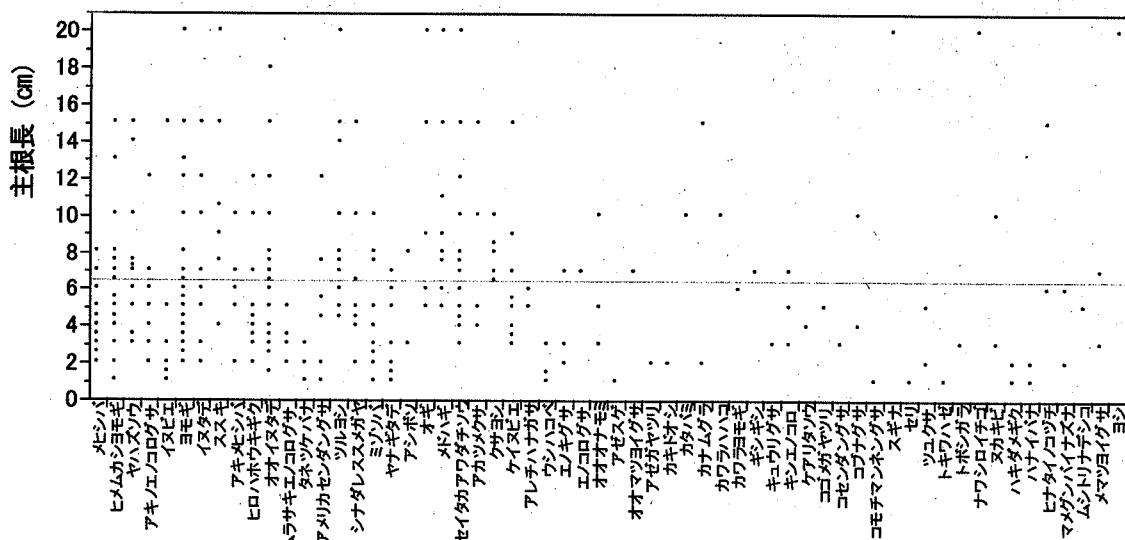


図-3 植物種と主根長の関係 (抜粋)

ても、灌水頻度が14日のときに体積含水率の平均値は最小であった。なお、分散分析より、タイプ別の平均値には、有意な差 ($p < 0.0001$) があつた。

図-5に実験開始から実験終了時までの累積発芽数の変化を示す。発芽は、実験開始から3回目(6日目)の観測で、I-3, 7, 14およびII-7を除く実験区で確認された。また、ほとんどの実験区で観測3回目に確認された発芽数が最も多く、その後は、実験終了時まで徐々に発芽数が減少していった。

図-6にタイプ別にみた植物種ごとの累積発芽数を示す。どの実験区も灌水頻度に関わらず、コセンダングサ、アキノエノコログサの発芽数が多く、ヨモギ、メドハギの発芽数は少なかった。また、I-14で1個体ずつケイヌビエ、コセンダングサが確認された。これらの発芽した場所をみると、礫層厚が部分的に低かった。そのためタイプIIと同様な状態となり、礫間の僅かな隙間から基礎土へ光が届き発芽できたものと考えられる。なお、本実験では、ヤナギタデ、セイタカアワダチソウの生育は確認されなかった。実験終了後、改めて追試実験を行ったが、発芽されなかったことを見ると、種子が不稔であったことも考えられる。これら2種については、今後の研究でさらに明らかにしていきたい。

図-7にタイプ別の植物の枯死率を示す。灌水頻度が3日おきのものは、7日、14日おきと比較し、各タイプで枯死率が最も小さかった。一方、灌水14日おきでは、タイプIV、Vの枯死率が90%を超えた。

図-8に実験終了時におけるタイプ別の生存個体数を示す。タイプIは、総個体数が最も少なく、タイプIIで約80個、タイプIII～タイプVでは100個を超えた。その内訳をみると、灌水頻度が3日おきのタイプの個体数は、40個～60個で増減を繰り返していた。灌水頻度が7日おきのタイプの個体数は、タイプIが最も少なく、タイプIIからタイプVへ向かうにつれ徐々に多くなった。灌水頻度

が14日おきのタイプの個体数は、3日おき、7日おきと同様にタイプIが最も少なかったが、タイプIV、Vでは、個体数が減少した。

図-9に実験終了時の植物の状況と砂礫下の根の状況を示す。例えば、アキノエノコログサなどは、礫間の隙間から礫層厚の分だけ、胚軸を伸展させ葉を礫の表面へ展開させていることが確認された。

4. 考察

前章までの結果により、砂礫構造が光や土壌水分率を決定し、植物の発芽・成長に影響をもたらしていることが示唆された。そこで、本章では、植物の発芽と成長に至るプロセスを知るため、砂礫構造の違いが植物の生育に及ぼす影響について考察する。

(1) 発芽

植物の発芽を支配する3大環境要素は、温度、水、光と言われている⁸⁾。今回の実験において、恒温室内の温度設定は28℃であり、関東地方の6月の平均気温に相当する。そのため、環境を阻害する温度とは考え難い。次に水の条件をみると、図-4に示すように、砂礫構造の違いから、土壌表面の体積含水率に与える影響がみられた。タイプIV、Vでは著しく体積含水率が減少したが、体積含水率そのものが、発芽数を抑制したわけではない。その証拠として、IV-14では、体積含水率の平均は2番目に小さいが、図-5, 6に見られるように累積発芽数は多い。つまり、発芽に対する水分条件は、体積水分率が極端に低い場合でも可能であることを示唆している。発芽の過程では、第一に吸水により休眠が解除される⁹⁾ことからしても、今回、対象とした種子では、IV-14のような含水率が低い場合でも、休眠を解除するための十分な吸水できたと考えられる。

最後に光の条件を考えてみる。タイプIにみられるように、十分な体積含水率があったとしても、礫層が10cmで、基礎土に光が届かないような場所では、植物の発芽が抑制されていた。これは、図-1に示さる現地調査からも確かめられており、8cmの礫層厚のときの植被率は0%に近いという結果であった。さらに、図-5に示されるように、礫の被覆率が減少するにつれて、累積発芽数が多くなるなど、少なくとも実験に使用した礫河原に生育する植物は光条件の影響により個体数が変化していると考えられる。

(2) 成長

どのタイプも、発芽により礫上に出た葉に対する光条件は均等に与えられている。そのため、植物の成長には、根系が利用する箇所での土壌水分率の状態が重要な要素となる。図-4、図-7より、IV-14、V-14において、体積含水率の減少にともない、枯死率が90%を超えるに至った。この現象は、植物の成長の段階で、水分が成長の制限因子として働いた顕著な例を示している。そこで、以下では、灌水頻度14日おきの各タイプを取り上げ、IV-14、V-14で枯死に至ったプロセスとともに、砂礫構造の違いが植物の成長に及ぼした影響について考察を進める。

IV-14、V-14は、礫が少ないか全くない構造であり、基礎土が直接大気中に触れる面積も多く、灌水頻度も少ないことも相まって、表層が乾きやすい状況にあったと考えられる。他の灌水頻度14日のタイプをみると、枯死率はⅢ-14で約20%、Ⅱ-14では約10%、Ⅰ-14では0%とタイプIV-14、V-14と比較しかなり低い。とくに、Ⅰ-14、Ⅱ-14では、図-4からも土壌中の水分は十分であったと考えられる。ところが、Ⅲ-14の体積含水率は、Ⅰ-14、Ⅱ-14よりも低く、むしろ枯死率の高かったIV-14、V-14に近い体積含水率であった。それに関わらず、枯死率が低く、生存発芽数が多かった。この理由として、第一に、IV-14、V-14と比較し、僅かな体積含水率の違いが、植物の成長の可否に大きく関わったことが考えられる。このことは、農作物を作る際に土壌水分が減少すると作物が枯れるシオレ点 (wilting point) があることから理解できる。シオレ点とは、植物が成長する過程で、体積含水率の減少に伴い、生育に必要な水分を十分に吸収することができず、ついには植物が枯れてしまうことをいう⁹⁾。つまり、IV-14、V-14では、このシオレ点に至ったため枯死したことが考えられる。また、Ⅲ-14では枯死率が低かったことからすると、図-4より、体積含水率が平均して $0.1(\text{m}^3/\text{m}^3)$ より小さくなった場合、植物の枯死率は高くなると考えられる。また、第二の理由として、砂礫量の多少が植物の成長を助けていたことが考えられる。Ⅲ-14では、基礎土を被覆する砂礫が90%と多く、実験終了時に礫下の状況を確認したところ、植物の根系は、礫と基礎の間の局所的に土壌水分

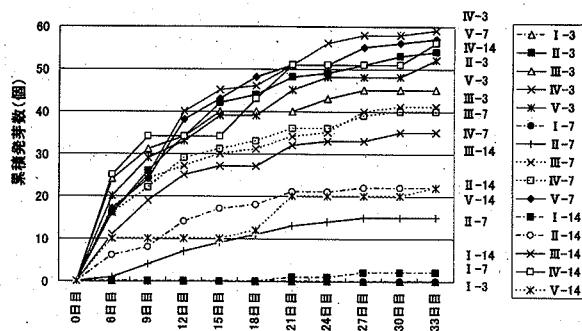


図-5 実験開始からの累積発芽数の変化

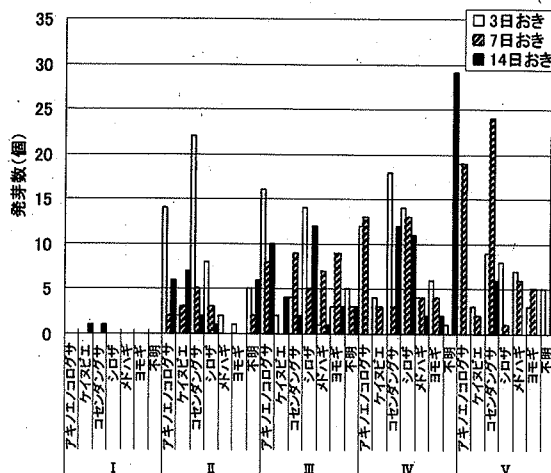


図-6 タイプ別にみた植物種ごとの累積発芽数

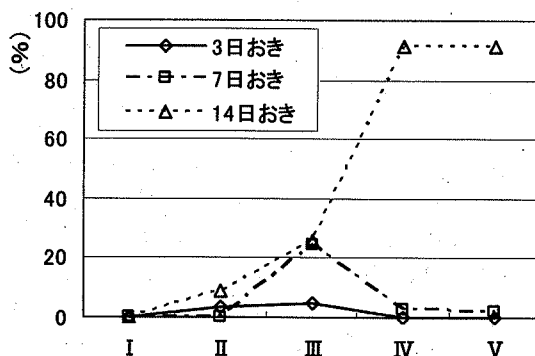


図-7 タイプ別の植物枯死率 (実験終了時)

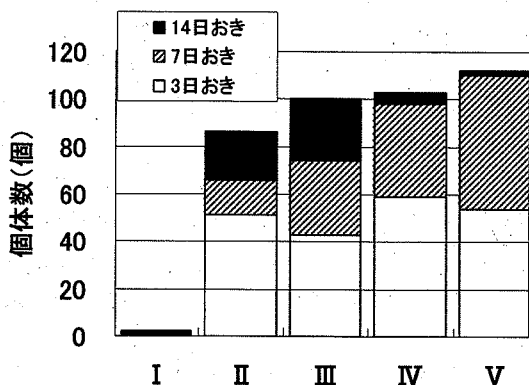


図-8 タイプ別の生存個体数 (実験終了時)

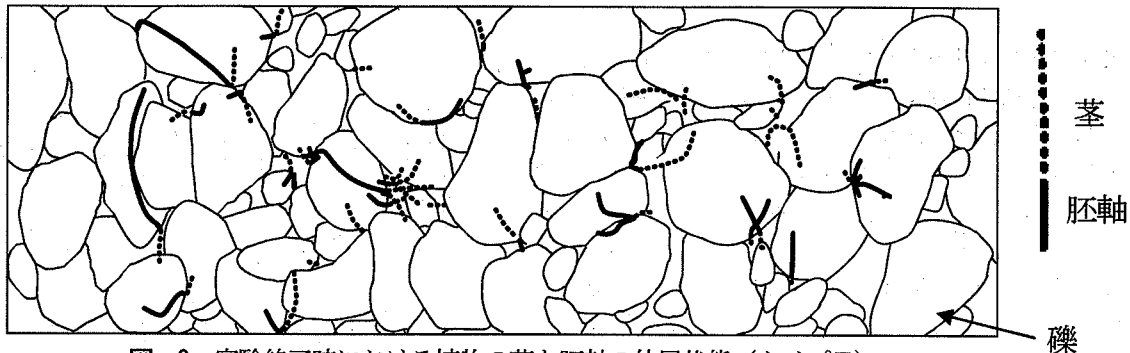


図-9 実験終了時における植物の茎と胚軸の伸展状態 (タイプII)

(図は、上部よりスケッチしたものである。礫と礫の間から胚軸が伸展し茎が礫上に伸びている。なお、胚軸の位置は、礫を取り除いた後にスケッチしている。)

率の高い空間を利用していた(写真-2)。このことから、Ⅲ-14では、全体として、体積含水率が低いにも関わらず、礫の割合が多いことで、礫と基礎土の間の局所的に土壌水分率の高い空間を利用し、植物は成長し続けたものと考えられる。また、このように礫と基礎土の間に根系がみられる現象は、タイプVを除く残りのタイプ全てで確認できた。

4. まとめ

那珂川・久慈川での現地調査および実験をもとに、砂礫構造の違いからみた河原植物の生育環境特性について研究を行った。その結果、砂礫構造の違いにより、植物の発芽・成長に必要な条件が制御されることや、逆に礫があることで、礫下の土壌水分率が高くなり、植物の成長を促進していることが明らかとなった。さらに、一度発芽した種子は、礫があることで相当な乾燥にも耐えられることが明らかとなった。

本研究結果をふまえ、実際、砂礫河原の再生を計画する際には、礫の被覆率だけでなく、礫の厚さにより、植物の生育の度合いが決まることに留意しなければならない。とくに、砂礫層が5cmでは、被覆率が100%であっても、僅かに植物の発芽を制限するのみで、10cm程度の礫層厚がなければ、短期間で植物が繁茂に至る。どのような砂礫河原を目指すのか、あらかじめ展望を明らかにし、現地での礫層厚を調べることはもちろんのこと、現在の流域の土砂および礫の生産量を考えた上で計画を立てる必要がある。とくに乾燥に強い外来植物が繁茂する河川においては、過去に生育していた河原景観を再生するためには、より一層の管理が必要となる点に注意を要する。

最後に、今回検証できなかった地下水位との関わりや土壌の構成に伴う毛管作用などにより、土壌の保水性は変化してくる。これらは、植物の成長に影響を与える因子であり、まだ未解明な部分も多く、今後の研究課題としたい。

謝辞：本研究にあたり、(株)ウエスコ 渡辺氏、白井氏には、現地調査にご協力いただいた。また、(株)国土環境 菅野氏、平野氏、吉成氏には、実験準備、観察に

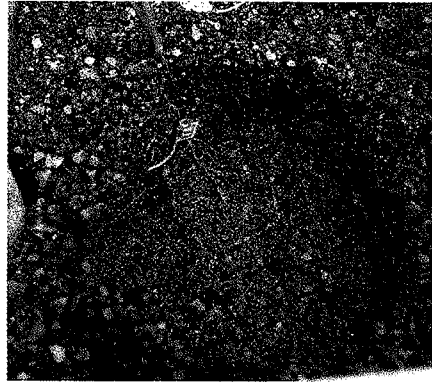


写真-2 礫下を利用する根系

についてお世話になった。末筆ながら感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究—永田地区を中心として—，(財)リバーフロント整備センター，818p，2000。
- 2) 島谷幸宏：多摩川永田地区の河道修復，応用生態工学，vol. 5(2)，pp. 233-240，2003。
- 3) 倉本宣，井上健：多摩川におけるカワラノギクの生育地の特性についての研究，ランドスケープ研究，Vol. 59(5)，pp. 93-96，1996。
- 4) 村上興正・鷺谷いづみ：外来種ハンドブック，日本生態学会，390p，地人書館，2002。
- 5) 石川慎吾：揖斐川の河川植生。Ⅰ．扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境，日生態会誌，vol. 38，pp73-84，1988。
- 6) 李參熙，藤田光一，塚原隆夫，渡辺敏，山本晃一，望月達也：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割，水工学論文集，vol. 42，pp. 433-438，1998。
- 7) 末次忠司，藤田光一，服部敦，瀬崎智之，伊藤政彦，榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性—多摩川と千曲川の礫河原を対象として—，国土交通省国土技術政策総合研究所資料，vol. 161，148p，2004。
- 8) 鷺谷いづみ：休眠・発芽特性と土壌シードバンク調査・実験法—(連載第1回)，保全生態学研究，vol. 1，pp. 89-97，1996。
- 9) 川口桂三郎：土壌学概論，pp. 116-123，279p，養賢堂，1977。

(2006. 4. 6 受付)