

# 河原における植生の種子漂着場に関する研究

Mechanism of the settlement of vegetation seed on gravel bars

田所奈美<sup>1</sup>・知花武佳<sup>2</sup>

Nami TADOKORO, Takeyoshi CHIBANA

<sup>1</sup>学生員 学(工) 東京大学大学院修士課程 工学系研究科社会基盤工学専攻

<sup>2</sup>正会員 博(工) 東京大学大学院講師 工学研究科社会基盤工学専攻

In order to understand the mechanism of the settlement of vegetation seed on a gravel bar, field measurements and hydraulic experiment were conducted. Several gravel bars that have different shape were selected as study sites, and morphology, substrate and vegetation distribution were investigated. After that, the model of each gravel bar was created and installed in the experimental flume. Then fine powder was dropped and the position of settlement was recorded. Consequently following characteristics are clarified. 1. Floating seed tends to gather at the shore of the retarded water area. 2. Gradual attenuation of the flood induces more seed to attach the gravel bar than rapid attenuation. 3. Even if vegetation seeds attach on the gravel bar, thick surface layer of gravel prevent them from germination.

**Key Words:** vegetation seed, settlement, shape of a gravel bar, substrate

## 1. 序論

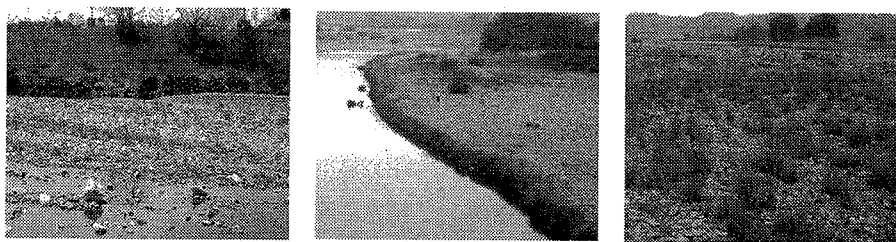
近年、河川中流域の礫河原に外来草本類が侵入し、裸地であった河原が草原化するという問題が各地で生じている。この外来草本類の生命力は非常に強く、在来植生の生育地が脅かされ、中には絶滅の危機に瀕しているものも多い。そのため、環境保全対策が急がれるものの、未だにこれら外来草本類の定着のメカニズムがはっきりしておらず、手探りの状態が続いている。そこで本研究は、礫河原に繁茂する外来植生の定着過程を解明し、どのような場所で礫河原再生をすべきなのか、管理上注意すべき点は何なのかを明らかにするための基礎研究である。

まず、植生がどの様に定着するのかを把握する上で、ヒントとなるのが現地で見られる植生の分布形態である。図-1に示すとおり、河原ではなんらかの物理現象に支配されていると考えられる特徴的な分布形態がしばしば見られる。これらに関しては、比高が低く川幅も広くない河原上でもミクロなスケールで分布していることから、

大河川の河原や高水敷で研究されているような出水による河床変動量や掃流力の空間分布での説明<sup>2)</sup>は必ずしもできず、種子の漂着場所、及び発芽・成長条件で規定されていると考える方が妥当である。

一方、外来イネ科植生のシナダレスズメガヤの場合、種子の沈降速度が、中砂とほぼ同じであることから、中砂の堆積するような場所とシナダレスズメガヤの繁茂する場所と一致するとの報告がなされている<sup>3)</sup>。ただし、イネ科種子の中には籾殻が付いた状態で流下するものもあり、その場合は浮いた状態で輸送され、最後は水際に漂着するものと考えられる。また、礫河川におけるイネ科種子の繁茂状況を見れば(例えば図-1c)、砂がまとまって堆積していない場でも繁茂が見られる一方で、砂の堆積場でも繁茂していないことがあり、植生分布と底質構造は、必ずしも対応しているとは限らない。そこで、砂の堆積とは異なるメカニズムで定着するイネ科植生も存在すると考えた。

このような背景を踏まえ、①浮いた種子が洪水減水期



a) ライン状の分布

b) 水際に沿った分布

c) 面的に散らばった分布

図-1 河原の上に見られる特徴的な植生分布

に漂着するとすれば、どのような位置に漂着するのか、②それと実際の植生分布はどの程度対応しているのか、③底質構造は植生分布にどのように影響するのか、④河原の形状の違いが植生分布にどのような影響を及ぼすか、といった点に注目し、形状の異なる複数の河原を対象に、現地観測と水理実験で植生分布の形成過程を考察した。

これにより、砂州形状の違いでその上の植生分布がどのように異なるかを把握し、在来植生の緊急避難が可能な礫河原の姿について検討する。

## 2. 現地観測の概要

### (1) 観測サイト

調査の対象としたのは、多摩川、浅川（多摩川水系）、入間川（荒川水系）の中流部に位置する河原である。多摩川では少し離れた二つの砂州を対象とし、上流側が永田地区、下流側が熊川地区である。入間川、浅川では一つの砂州を対象としている。これらの形状は大きく異なっており、多摩川熊川地区は、河原の上流半分から下流部水際付近にかけて高くなっている不規則な形状の河原であるのに対し、多摩川永田地区は、水際から砂州の頂部にかけてなだらかな勾配を持つきれいな山型断面の河原であり、入間川及び浅川では、水際が切り立っており河原上が平坦になっている台地型断面の河原となっている。ただし、入間川では、上流の方がやや山型断面になっているのに対し、浅川では、全体的に台地型の断面となっている。

### (2) 観測方法

まず、各調査地区において、地形測量、イネ科植物を対象としたベルトトランセクト調査、底質調査を実施した。以下にその詳細を述べる。

#### a) 地形調査

砂州形状を把握するため、基本的に 50m 間隔で断面を測定し、各断面上でレベル測量を行うとともに、平面形状を平板測量により記録した。

#### b) ベルトトランセクト調査

植生調査に関しては、イネ科植生を対象として、ベルトトランセクト法で行った<sup>4)</sup>。なお、ここで言うイネ科植生とは、多摩川熊川地区では越年生の一年生草本であるネズミムギ (*Lolium multiflorum* Lam)，浅川では一年生のメヒシバ (*Digitaria adscendens*) のみを対象としたものであり、多摩川永田地区、入間川では同定できずイネ科と見られる特定の株のみを対象としたが、いずれも同様の繁茂形態を示すことから今回はイネ科植生としてまとめている。ただし、生理、生活史は異なるため、今後はより詳細な検討が必要である。

ベルトトランセクト法は、2m×2m の方形枠を 2m ずつ

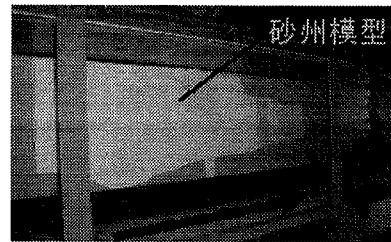


図-2 水路に設置された砂州模型（熊川地区の模型）

ずらしその内部の植生を調査するもので、結果として河原上に引いた断面上を 2m の幅を持たせて隙間なく調査したことになる。調査では、まず真上からの写真撮影により方形枠内に存在する全植生を対象とした植生被度を把握すると共に、イネ科植生の平均高さを測定した。次に、枠内のイネ科植生株数を数えている。なお、前者は、植生の成長度と繁茂状況を表しており、後者はイネ科植生種子の漂着数と発芽率に支配されていると考えられる。

#### c) 底質調査

まずは、各々の断面上の礫を横断方向 8m（一部 10m）間隔で 60cm 四方の枠を設置し、その内部の礫の状態を写真撮影により把握し、10cm 以上の礫と 2mm 以下の砂の有無に注目し四種類に分類した<sup>5)</sup>。次にその枠内に存在する表層礫を採取した。採取した表層礫とは片手で簡単に取れ、礫堆積の半分以上は細粒分と接していないものと定義しており<sup>6)</sup>、いわゆる透礫層<sup>7)</sup>と呼ばれる部分の礫に該当する。採取された礫は、ふるいにかけ、16mm 以上のみの総重量測定しており、これによって表層礫の厚さを表した。また、表層礫下部に存在した細粒土砂の一部は実験室に持ち帰り、含まれる水分を測定した。

## 3. 水理実験の概要

上述した現地観測結果のみでは、植生が存在しない場所の制約条件が、種子の漂着数なのか発芽条件なのかを切り離すことが難しいため、植生種子の漂着については水理実験を行い、河原上の洪水時の流れと種子の漂着数の関係のみについて検討することとした。

まず、現地観測によって得られた地形データをもとに、平面的に約 1/200 縮尺（調査地区によって多少異なる）、の模型を作成した。ただし、鉛直方向は約 1/50 程度となり、地形の凹凸が強調されたひずみ模型であるが、種子漂着場の傾向は捉えられると考えた。縮尺模型は、スチレンペーパーを貼り合わせた後に、シリコンで段差を埋めることで作成している（図-2）。

次に、浮いているイネ科植生種子を表すものとして、模型等に用いられる細かい粉を用いた。この粉は、完全に水に浮くもので、実験中は上流から供給し続けた。

さらに、模型の上を流す流量は、河原全体が十分水没する流量 (15l/s) から、ポンプを一気に停止し流量が急

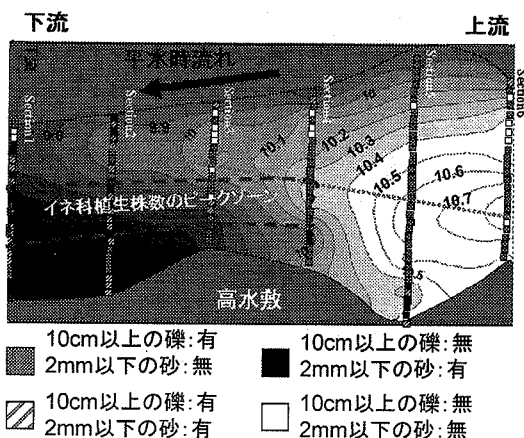


図-3 多摩川熊川地区の地形、底質とネズミムギの分布

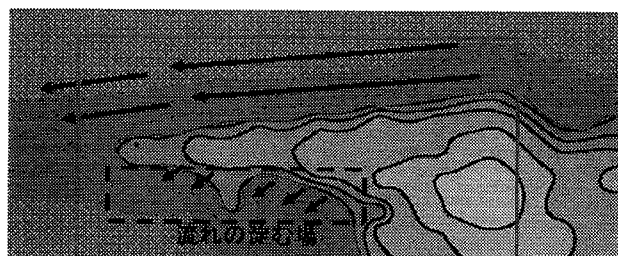


図-4 模型実験で確認した洪水減水期の流れ  
(コンター間隔: 3mm)

に下がる場合(流量パターン(I))と、河原全体が水没する流量(10l/s)から15分かけて完全に水面から出る流量(3l/s)まで下げる場合(流量パターン(II))の二種類を用いた。なお、後者の場合でも現地のスケールで考えれば実際よりもかなり急なハイドログラフではある。

#### 4. 現地観測及び水理実験を通した漂着メカニズムの解明

まず、多摩川熊川地区を対象として、検証を進める。この河原は形状が複雑なため、種々の漂着パターンを確認することができ、今後の検討に役立てることができると考えたためである。以下、結果について述べる。

##### (1) 砂州の地形・流れと植生分布

この調査地区の砂州の地形を図-3に示す。前述したとおり、上流側 Section5, Section6 付近の水面からの比高は下流側 Section1, Section2 付近に比べて全体的に高く、水際に沿って一本の比較的高い尾根が通っているという特徴を持っている。また砂州上流側 Section3~Section6 の底質には、細砂が一切含まれず、粗めの材料のみであるのに対し、Section1, Section2 に関しては、全体的に細砂で覆われているという特徴が見られる。

この地区では、大半の領域でネズミムギは3株/m<sup>2</sup>以下であるにも関わらず、一部の領域のみそれ以上の密度で繁茂しており、最大13株/m<sup>2</sup>程度が確認された。この比

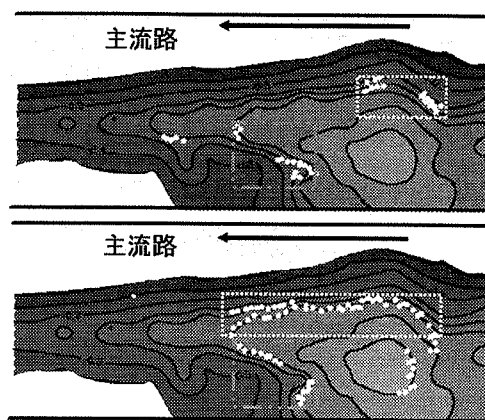


図-5 水理実験で確認された粉の漂着位置

a) 流量パターン(I) (上) b) 流量パターン(II) (下)

較的に密に繁茂している領域(ピークゾーン)は、上述した尾根の左岸側に沿うような形でライン状に延びている様子が見て取れる(図-3)。

この地区の増水時の流れの特徴を水理実験で確認したところ、洪水の減水期には、まず河原上流側の比高の高い部分が露出し、水は河原の頂部を回り込むように右岸から左岸に向かって流れ始め、その後上流から徐々に尾根が露出し始めた(図-4)。その状況は出水時の植生の倒伏状況や二次元の非定常数値解析によっても確認しており、ハイドログラフの形状にかかわらず、この傾向は同様であった。ここで、上流から尾根が露出し始めると、河原の左岸側はワンド状になるため、流れはここで淀むこととなる。

これら、現地における植生分布と流れの状況を比較すると、ネズミムギのピークゾーンは洪水減水期に流れが淀む場の脇にあたるということがわかり、淀んだ領域で徐々に水が引く際に、その水際に種子が取り残されたものと推察される。しかしながら、現地の植生分布が種子の漂着分布と対応しているとは限らないため、模型を用いた実験ではどこに種子が漂着するかを確認する。

##### (2) 実験による種子漂着場の検討

水理実験では、ハイドログラフの違う流量パターン(I)と流量パターン(II)を設定し、模型上のどこに粉が付着するのかを把握した。実験は同条件で何度か繰り返し行い、違いが出ない事を確認している。この結果についてそれぞれ以下に述べる。

###### (a) 流量パターン(I)

この結果を図-5 a)に示す。粉が漂着したのは、河原の左岸に位置するくぼみの脇と河原の主流路側(右岸側)上流部であることが確認できる。これらは共に、砂州の頂部が水面から出た時に、流れが淀む場所であり、水位が低下する際にその水際に取り残されたものである。

###### (b) 流量パターン(II)

この結果を図-5 b)に示す。図からもわかるとおり、流

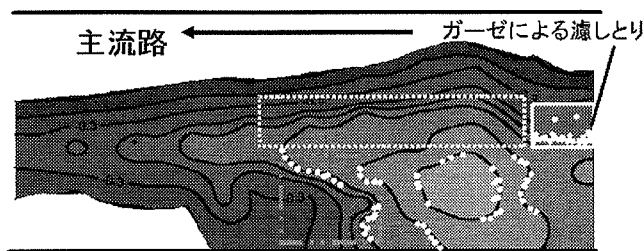


図-6 早瀬の効果を考慮した水理実験結果

量パターン（Ⅰ）に比べ、河原の主流路側の水際より少し高い位置に、多量の粉が付着している様子が見て取れる。すなわち、流量を急激に下げた場合は、この領域が淀んでいる時間がほとんど無かったのに対し、ゆっくり下げた場合は、砂州の頂部が水面から出た後、しばらくは流れが淀み、水際で微妙に波打つため、ここへ漂着することができたと考えられる。一方、左岸側の砂州頂部下流のくぼみでは、急激に水位を下げたとしても、砂州頂部が出た直後に完全に流れが止まるため、ハイドログラフにかかわらず、漂着状況は同じであった。このように、主流路から離れた所にできる止水域では、ハイドログラフの影響をさほど受けずその水際に漂着するが、主流路に沿った水際において、種子が漂着するかどうかはハイドログラフの影響を強く受け、急減させるより漸減させた方が漂着しやすい様子が見て取れる。

実際は、より長い時間をかけて水位が低下しているため、流量パターン（Ⅱ）の方がより現実に近い状況を示しているはずである。しかしながら、現地観測結果（図-3）と比較すると、左岸側の淀み脇に見られる帯状の植生分布は比較的うまく再現されているものの、現地で主流路側に見られたネズミムギはごく僅かであり、観測範囲には含まれていないが、上流の早瀬脇に少し固まって存在するのみであった。ただし、実験で粉が漂着した主流路側の領域は、現地においてゴミや枯れ枝などの漂着が見られた位置とも類似しており、流下物が漂着しやすいことは間違いないと考えられる。

これらの結果を踏まえると、実験と観測の間に差が見られた理由として考えられるのは、条件的には漂着できる状況にあっても、実際は種子がそこまで輸送されていないという可能性と、実際にも種子は漂着しているのだが、発芽できる状況になかったという可能性の二つである。そこで、これらについて順に検討する。

### （3）早瀬脇における種子の引っかかりの可能性

本実験で粉が漂着する過程を観察すると、すべての粉が流線に沿ってまっすぐ漂着しているため、その流線上で種子をトラップするものがあれば、種子はほとんどたどり着かないと考えられる。その点では、実際この上流の早瀬脇では一部ネズミムギが見られており、その周辺では礫径が大きく水はその間を縫うように流れているこ

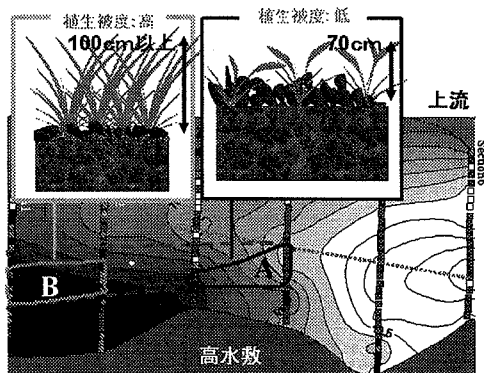


図-7 現地で見られた植生被度、高さの違い

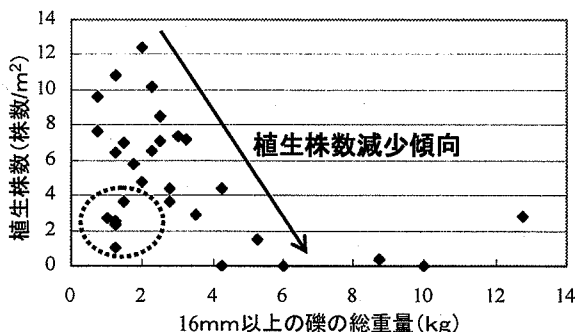


図-8 表層礫厚さとネズミムギ株数の関係

とから、ここで種子が引っかかっている可能性が考えられた。そこで、砂州の模型上の早瀬に該当する部分にガーゼを装着し、そこで流れが少し伏流するように工夫を試みた。その結果を、図-6に示す。このように、粉が早瀬で濾し取られてしまうと、主流路側の水際には全く粉が付着しないことがわかる。

この実験結果から、早瀬脇に多量の植生種子が堆積している可能性も高いと考えられる。なお、図-1 a)は本区間とは別の場所の瀬脇に繁茂するネズミムギを撮影したものであるが、早瀬に並行に形成された幾筋かの溝に沿って一直線に並んでいることが多いことも、その可能性を裏付けている。

### （4）砂州の底質と植生の関係

次に、もし種子が漂着したとしても、発芽できないという場合の可能性について検討する。ここで、発芽に必要な条件である、水分条件、光条件を規定していると考えられるのが河床材料の状態である。本研究ではすでに発芽した植生分布のみしか把握できていないため、植生の成長度と河床材料の関係を把握することから始め、底質が植生に与える影響について考察することで、発芽に及ぼす河床材料の影響について検討する。

まず、現地においてライン状に広がっているネズミムギのピークゾーンの中でも、上流と下流では植生の成長度が異なることに注目した。これらの間では、植生株数がほとんど変わらないものの、ピークゾーンの上流部では、全体の植生被度が低く、ネズミムギの高さが平均し

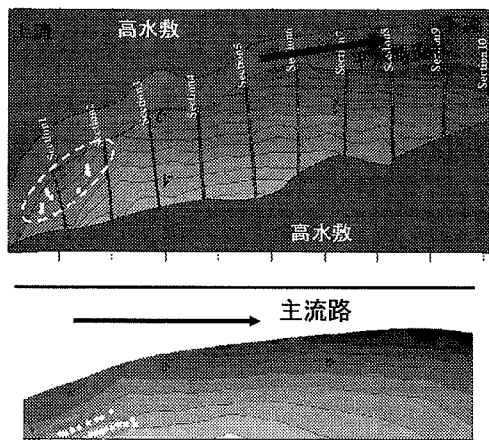


図-9 多摩川永田地区におけるイネ科植生のピークゾーン (上) と水路における粉の漂着実験結果 (下)  
(コンター間隔 現地: 20cm, 模型: 3mm)

て70cm程度であるのに対し、下流部では、植生被度が高く、ネズミムギも100cm以上に成長していた(図-7)。

そこで、これらの植生の底質を比較してみたところ、ピークゾーンの上流部では、16mm以上礫の総重量が多く、表層礫厚さが厚いという状況が確認された。このような領域では、表層礫下の水分も少なかったのに対し、下流部では、逆に表層礫厚さが薄く、表層礫下の水分が多く、これは図-3で示した底質分布とも対応する結果であった。なお、植生株数と表層礫厚さの関係を調べた所、16mm以上の礫の総重量が5kg/60cm×60cmを超えると、ほとんどネズミムギが見られないということも明らかとなった(図-8)。この16mm以上の礫の総重量が5kg/60cm×60cm以上のデータは、河原の上流半分に集中しており、それは、全く植生が繁茂していない場所と対応している。ただし、図を見れば、仮に礫間に細粒分が詰まっており、表層礫厚さが薄かったとしても、株数の少ない所が存在することがわかり、底質だけでも説明はできない。

このような状況を考えると、種子が河原上に漂着したとしても、その漂着場の表層礫厚さが厚く、種子にとって十分な光・水分条件を満たしてない場であれば、種子は発芽すらできないものと考えられる。そして上述したように、例えば種子が発芽できたとしても、底質の条件が悪い場合には、植生の成長度も悪いことが分かる。

これらを考慮すると、主流路側の水際もやはり表層礫が厚く、条件的には悪いため、漂着してはいるが発芽できずにいる可能性も否定できない。すなわち、前節で述べた可能性と本節の可能性は共に否定できず、どちらが支配的であるかをはっきりさせることはできなかった。

## 6. 様々な砂州の形状上の種子漂着場について

これまで見てきた通り、ネズミムギの種子が漂着するタイミングは、河原の比高の高い部分が突出した後から

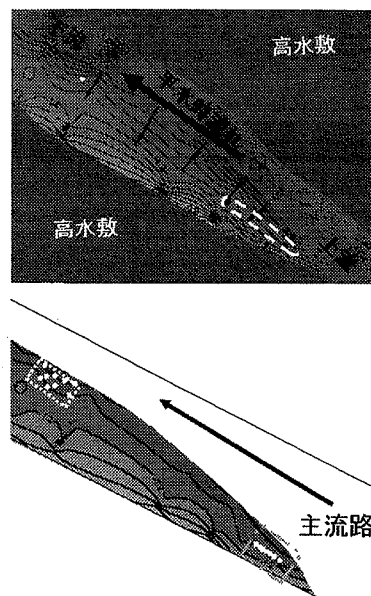


図-10 入間川におけるイネ科植生のピークゾーン (上) と水路における粉の漂着実験結果 (下)  
(コンター間隔 現地: 20cm, 模型: 3mm)

平常時の流量に下がるまでの、洪水減水期であると考えられる。すると、河原のどの部分が洪水後最初に水面から出るかが、流れが淀む場を規定し、最終的な植生分布に大きな影響を与えていると考えられる。

そこで、河原の形状が異なる他の地区においても同様の現地観測及び模型を用いた水理実験を行い、その結果について考察する。なお、今後の実験においてはすべて流量パターン(Ⅱ)で行った。

### (1) 河原の真ん中が高く全体的になだらかな勾配を持つ河原の場合(多摩川永田地区)

図-9に結果を示す。この場合、現地で見られた植生分布と水理実験結果の粉の付着位置は完全に一致している。このような形状を有する河原の場合、まず砂州の中央部が水面上に現れ、全体的に徐々に水位が下がっていく。この際に、河原中央部からどの方向を向いても、水際まで緩やかな斜面が続いているため、河原の高い部分が一箇所に片寄っているものに比べて、淀む場が形成されにくい。そのような状況にあって、唯一流れが淀むのが砂州上流端であり、下流に存在する高まりのために流れが多少淀むことになる。ここでは底質の条件も悪くなかったために、発芽したものと考えられる。ちなみに、流量パターン(Ⅰ)の場合は、全く漂着は見られず、ハイドログラフに影響される漂着場であることが示唆される。

### (2) 河原の上流部の一部が山型でその他は台地型の断面を有する河原の場合(入間川)

結果を図-10に示す。この場合も現地、水理実験共に、砂州の上流端で植生繁茂又は粉の漂着が見られ、多摩川

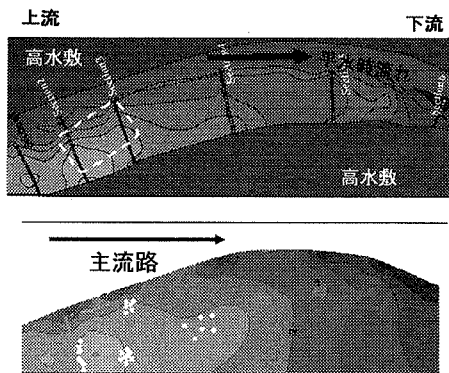


図-11 浅川におけるイネ科植生のピークゾーン（上）と水路における粉の漂着実験結果（下）  
（コンター間隔 現地：20cm, 模型：3mm）

永田地区と同様のメカニズムであることが確認された。

しかしながら、水理実験では砂州の下流部水際にも漂着が見られる。これに関しても、多摩川熊川地区同様、ガーゼを張り付けた早瀬効果の検討と、漂着場における礫構造の検討の両方を行ったが、やはり早瀬の部分にガーゼを張り付けると漂着は上流のみとなり、漂着場における表層礫総重量も 5kg/60cm×60cm を大きく超えている地点であったために、ここでもどちらが効いているのかを判断することはできなかった。

### （3）河原全体が台地型の断面で全体的に高い河原の場合（浅川）

結果を図-11に示す。この場合も、現地観測結果と水理実験結果で同様の結果が得られた。このような形状の場合、洪水減水期の途中で一気に河原全体が露出する。そのために、基本的に流れが淀む場は形成されにくい、一気に水面から出る比高の高い部分の一部には、種子が面的に取り残され、漂着することがある。そのため、他の調査地区で見られたイネ科はライン状に繁茂しているにも関わらず、このような河原形状では、面的に繁茂することとなる。

しかし、このような河原でほとんど植生が見られないということではなく、実際は河原一面が植生で覆われている。同様の現象は、上述した入間川の下流半分でも見られ、台地型の断面の上はイネ科種子の漂着はしにくいものの、他の植生で覆われやすいという特徴がある。そして、このような台地型の断面を有する浅川の河原上で繁茂していたのが、オオイヌタデ (*Polygonum lapathifolium*) であった。オオイヌタデの種子はイネ科種子に比べ大きく引っかかりやすい特徴があるため、漂着の過程が少し異なっている。このように河原全体に面的に分布することもあれば図-1 b) に示したとおり、水際に沿って繁茂していることも多く、異なったメカニズムに起因している。この詳細なメカニズムについては、本論文では割愛する。

## 6. 結論

本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- ・水に浮いているイネ科植生種子は、洪水減水時に砂州の頂部が水面からでた際に、流れが淀む場の脇である。そこで、徐々に水位が低下する過程でその水際に漂着する。
- ・河原において淀みができるか否かは、河原の高まりの位置がどこにできるかに大きく左右される。
- ・その漂着場の表層礫層が厚く、種子にとって十分な光・水分条件を満たしてない場であれば、種子は発芽することができないと考えられる。実際、発芽していても成長は悪い。
- ・早瀬の脇におけるこしりの効果が水際への種子漂着数を左右している可能性がある。
- ・全体的に比高の高い台地型の河原では、イネ科種子は一部に面的に取り残されるだけであるが、オオイヌタデは逆に定着しやすい。

謝辞：本研究は河川生態学術研究会の活動の一環として行った多摩川調査と、京浜河川事務所の協力を得て行った浅川調査の結果を踏まえたものである。貴重な助言をいただいた東京農工大学の星野義延助教授を始め、関係者の皆様に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 島谷幸宏, 高野匡裕：多摩川永田地区における学術研究と河道修復, 河川技術論文集, 第7巻, pp.381-386, 2001.
- 2) 古東哲・岸本崇・岡部健士・鎌田磨人・梅岡秀博：河床履歴指標による砂州上の植物群落分布の再現, 水工学論文集, 第46巻, pp.935-940, 2002
- 3) 渡辺敏, 前野詩朗, 藤塚佳晃, 宮崎貢, 眞田淳二：旭川における礫河原再生と樹林化抑制に関する現地試験による検証, 水工学論文集, 第50巻, pp.1201-1205, 2006.
- 4) 玉井信行, 奥田重俊, 中村俊六：河川生態環境評価法（潜在自然概念を軸として）, 東京大学出版会, 2000
- 5) 佐々木学・知花武佳・辻本哲郎：砂州水際に形成される生息場の物理特性に関する研究, 河川技術論文集, 第9巻, pp.469-475, 2003.
- 6) 三宅基文, 知花武佳, 辻本哲郎：早瀬における礫の分級構造の解明, 河川技術に関する論文集, 第10巻, pp.399-404, 2004.
- 7) 池田宏：透礫層の成因に関する水路実験, 地形, 第3巻第1号, pp.57-65, 1982.
- 8) R.D.Whitney and W.P. Bohaychuk : Growth of Polyporus tomentosus cultures derived from basidiospore, sporophore tissue, and decayed wood : CAN.J.BOT, Vol.54, 1976

（2006. 4. 6 受付）