

ハリエンジュの生育特性に着目した 多摩川の樹林化河道形成機構

STUDY ON THE FORMING PROCESS OF FORESTED RIVER CHANNEL
IN THE TAMA RIVER FOCUSING ON THE HABITAT OF BLACK LOCUST

原田大輔¹・知花武佳²・山下貴美子³

Daisuke HARADA, Takeyoshi CHIBANA and Kimiko YAMASHITA

¹学生会員 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 (〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)

²正会員 工博 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 講師 (〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)

³非会員 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 (〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1)

During these 30 years, the black locust has been spreading its habitat in many Japanese rivers. It is known that this change has been caused by gravel mining and weir construction, however, the mechanism of this change is still not clear. I researched river measurement data over the last 40 years and vegetation data over the last 30 years in alluvial fan area of Tama River. In addition to these data, I observed bed materials over the flood channel. Based on these data, I revealed some characteristics of the black locust habitat, and how the habitat has formed in Tama River. Additionally, I considered how this channel has formed stable situation between a weir and a weir.

Key Words : *alluvial fan, instream vegetation, Robinia pseudoacasia L, wood land expansion, the Tama river*

1. はじめに

1970年代以降日本の多くの礫床河川で進行した樹林化問題について、これまで多くの研究がなされてきた。特に李ら¹⁾は、多摩川の永田地区という1km程度の区間を詳細に研究する事で、この区間で経年的に樹林化が進行した過程を明らかにし、そのシナリオは現在多くの研究に引用されている。しかし、より広範囲、例えば20km程度に及ぶ扇状地区間全体を考察すると、樹林化している場所とそうでない場所があり、一様に樹林化しているわけではない。そもそも樹林化という急激な変化の背景には、過去の砂利採取や堰の建設といった河道に対する人為的作用の影響がある。この影響は局所的なものではなく、中流域全体の河川構造に影響を及ぼしているにも関わらず、河道縦断方向に広範囲を扱った研究が十分でないために、既往研究では人為的作用が樹林化をもたらしたメカニズムを全て解明できていないと考えられる。

現在、各地の河川で樹林化が治水・環境両面に与える影響が懸念され、対策が行われているが、単純な伐採等を超えて本質的対策を目指すためには、人為的作用がな

ぜ樹林化をもたらしたのかを解明し、河道の性質を理解する必要がある。そこで本研究では、河道縦断方向の広範囲を対象とし、人為的作用が樹林化をもたらしたメカニズムを解明する事を目的とした。

研究対象区間は、これまで樹林化問題に対する先駆的研究がなされ、データの蓄積も多い多摩川扇状地区間とした。この区間には、1968年以降の詳細な定期横断測量結果や1976年以降の河川敷現存植生図等、膨大なデータが蓄積されている。中でも、近年多摩川で特に増加の傾向が著しいハリエンジュの生育特性に着目した。

2. 事前調査と現地観測

(1) 事前調査による規則性の発見

現地調査に先立って、まず多摩川に蓄積されたデータを収集し整理した。特に、1968年以降の地形変化、1976年以降作成された植生図の変化を調査した。

その結果、堰周辺の地形変化や植生図の変化にある規則性を発見した。特にいずれの堰においても、その下流1km付近では、1975年の時点で1m程度高水敷が上昇し、

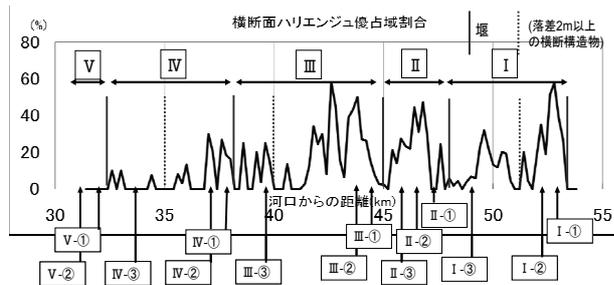


図-1 ハリエンジュの繁茂状況と堰の位置

その場所で1980年代以降ハリエンジュが急速に拡大していた。

図-1に、現在のハリエンジュの繁茂状況に堰及び落差2m以上の床止め等の位置を加えたものを示す。縦軸は、2006年の植生図²⁾を用いて河道縦断方向200m毎の高水敷上にハリエンジュの優占する割合を算出した結果である。この図から、ハリエンジュは堰と堰に挟まれた区間内である特徴を持って分布している事が分かる。堰の直下では少なく、そこから下流に向かうにつれて増加し、堰下流1km付近で最大値を示す。その後次の堰に向かうにつれて徐々に減少する。このように堰と堰に挟まれた区間内で上に凸の分布をしている。

ここで二つの疑問点に着目した。一点目は、上に凸の分布をする理由。二点目は、扇状地下流部、特に40km付近より下流ではハリエンジュの分布が少ない事である。

以上の考察から、扇状地区間全体の、特に堰と堰で挟まれた区間内の状況に着目した。扇状地区間全体を堰で挟まれた区間で図-1のように区間Ⅰ～Ⅴに区切り、各々の区間の①堰の直下流（堰下流400m付近）、②堰下流1km付近、③次の堰上流1km付近を対象として、現地観測を行った。以下、例えば区間Ⅰの断面①をⅠ-①と表記する。

(2) 現地観測と結果の整理

現地観測では、ハリエンジュの繁茂状況の調査と高水敷堆積物の調査を行った。まず、各観測地点において、高水敷内の河道横断方向と、低水路と高水敷の境界付近の河道縦断方向にそれぞれ断面を設定する。河道の両側に高水敷が形成されている場合は、横断方向の距離の長い方を観測した。図-1に、観測した横断面の河口からの距離を示す。なお、調査は全て2009年12月に行っている。

河道横断方向には、ハリエンジュの計測と検土杖による表層細粒土層厚の測定を行った。ハリエンジュに関しては、横断方向に偏りが出ないように、転倒・倒伏していないものの中から胸高直径5cm以上の個体を抽出し、胸高直径と高さを計測した。ハリエンジュの優占域がある断面では、1断面につき平均8本程度を計測した。検土杖については、測定点を横断方向に10m間隔で設定した。ただし高水敷幅が100mを超える場合は20m間隔とし

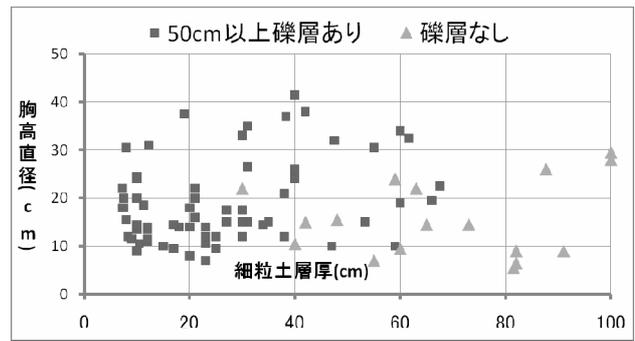


図-2 細粒土層厚と胸高直径の関係

た。測定点付近で3回貫入し、その平均値をもって細粒土層厚とした。

河道縦断方向には、低水路と高水敷の間に構成されている崖を観察した。この崖は1m～5m程度の落差があり、高水敷堆積物の構成を表している場合も多いため、これに着目した。特に、基盤岩である土丹層の位置を確認できる場合が多い。そこで、崖にスタッフを立て、高水敷の肩の部分から土丹層が露出する場所までの長さを計測することで標高を求めた。一つの観測点につき数箇所を測定し、その中で最も標高が高いものをこの地点の土丹層の高さとした。なお、この調査による推定は国土交通省によって計測された土丹層の高さに関するデータと概ね一致する事を確認している。

観測で得られた結果から、高水敷の構成材料を推定した。高水敷の構成材料を細粒土層、礫層、土丹層の3種類と想定し、細粒土層厚と土丹層の高さを観測から得て、それ以外の部分を礫層とみなした。また、定期横断測量結果と照らし合わせる事により、その構成材料がいつ堆積したかを推定した。

3. ハリエンジュの生育場特性

(1) 生育に必要な条件

これまでハリエンジュの生育基盤として、厚さ10cm以上の細粒土層が必要であると言われてきた³⁾。それに加え、胸高直径が大きい木は、細粒土層の下に礫層を伴っている場合が多い事を発見した。図-2に、観測した合計106本のハリエンジュとその生育基盤との関係を、ハリエンジュの胸高直径と細粒土層厚の関係としてまとめた。さらに、その木に最も近い細粒土層の測定点において、細粒土層の下に厚さ50cm以上の礫層が存在するものと、細粒土層の下に厚さ50cm以下で土丹層に到達するものを区別した。図-2から分かるように、細粒土層の下に礫層が存在する場合は胸高直径が大きく、礫層が存在しない場合は胸高直径が小さい。樹高が各々10m程度で差がない事から、この胸高直径の差は生育のしやすさの差であると考えられる。この差が生じる理由については、

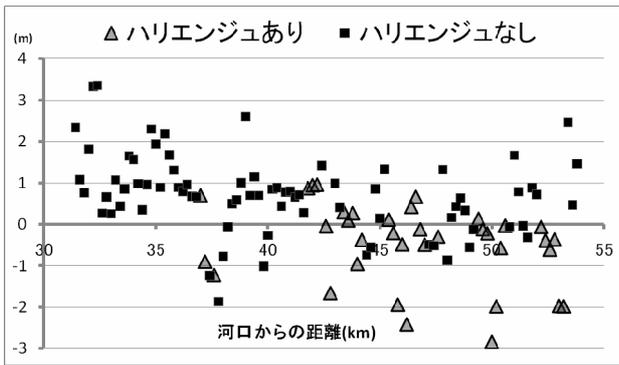


図-3 1999年洪水での高水敷冠水深とハリエンジュ

礫層が存在することで根を安定できるため、あるいは水はけがよくなるため、等が考えられるが、今後の課題である。

(2) 生育を制御する条件

細粒土層の下に礫層が存在する場所でも、ある程度以上冠水頻度が高い場所にハリエンジュは生育できないはずであり、その境界となる条件を検討する。ハリエンジュは、洪水などで転倒しても、根に蓄えた栄養から素早く再生する事が知られているが、崎尾ら³⁾の研究によると、樹齢7年以内のハリエンジュは萌芽再生能力を持たないという。このことから、生起確率7年程度の洪水で冠水し、それによって転倒・倒伏等をするか否かがハリエンジュ生育の境界条件となると考えた。そこで、生起確率7年程度の洪水である1999年洪水の痕跡水位と2000年の地形とを比較する事で、この洪水での高水敷冠水深を算出した。また、高水敷幅は様々であるが、そのうち2006年の植生図上で横断方向に50m以上ハリエンジュの優占する場所がある場合は、その断面を「ハリエンジュあり」とし、それ以外の場合を「ハリエンジュなし」と分けた。図-3は、河道縦断方向200m毎にこの作業を行ったもので、縦軸は高水敷冠水深である。図-3から、この洪水で1m以上冠水した場所にハリエンジュは生育していない事が分かる。高水敷の高さは平均値をとっているため、実際にはこの傾向はより顕著である。なお、ハリエンジュの破断・倒伏限界モーメントを求めた八木澤ら⁴⁾の研究に多摩川の状況を当てはめると、樹齢7年程度のハリエンジュは1.4m程度の冠水で倒伏・破断を生じ、本研究の結果と合致する。

以上の考察から、7年に一度程度の洪水で1m程度以上冠水する場所では、ハリエンジュの生育は抑制されると結論づけた。

4. 樹林化河道の形成機構

ここでは、定期横断測量結果と植生図、観測結果に基づき、ハリエンジュの生育条件が広範囲に渡って多摩川

に形成されるに至ったメカニズムについて考察する。なお、対象区間の堰は全て1968年以前にコンクリート固定堰化されている。

(1) 1968年の状態に関する考察

多摩川で砂利採取が終了した直後の1968年の定期横断測量結果と現在露出する土丹層の高さを比較する。

まず、扇状地上流部の各堰下流1km付近、すなわち断面Ⅰ-②、Ⅱ-②、Ⅲ-②では、まだ複断面化しておらず、その河床の高さが現在の土丹層の高さとほぼ一致する。つまり、砂利採取が終了した時点で、河床の沖積層は僅かであり、多くの場所で土丹層が露出していた事が伺える。

また、各堰直下、すなわち断面Ⅰ-①、Ⅱ-①、Ⅲ-①でも、全面に土丹が露出していたと考えられるが、この土丹層の一部が深さ4~5m程度削り込まれ、複断面化が生じていた。この時点で掘り込まれた川幅は狭く、楔形の横断面形となっており、上記の1km下流まで続いていた。堰直下では、土丹層が露出した後、土砂が堆積しにくい上、一度流水が集中するとそれによって土丹が削られ、余計に流水が集中するという循環に陥り、このような深掘れが生じたと考えられる。

以上から、1968年の時点では、堰下流400m程度の場所に土丹層を削る深掘れが生じ、それ以外の場所では砂利採取によって礫がほとんど無い状態であった。

(2) 1975年の状態に関する考察

多摩川では1974年、石原流量観測所で観測史上最大となる大洪水が発生した。この大洪水による地形変化を、1975年の定期横断測量結果と掃流力の計算から推定する。

まず、各堰直下、すなわち断面Ⅰ-①、Ⅱ-①、Ⅲ-①について考察する。Ⅰ-①では後に高水敷にグラウンドが整備されたため定かでないが、Ⅱ-①、Ⅲ-①では、高水敷が1m程度上昇し、その後高水敷高さはあまり変化していない。この高水敷は現在土丹層の上に細粒土層のみという構成である。よって1974年の洪水で、それ以前に既に複断面化していた堰直下の高水敷には細粒土砂のみが堆積したと推定した。

この推定を確認するために、簡単な計算を加える。1974年洪水の高水敷の冠水深と移動限界粒径 d_{cr} の概略を次の(1)式から算出した。

$$d_{cr} = \frac{H \cdot I_b}{S \cdot \tau_{*cr}} \quad (1)$$

ただし、

$$H = \left[\frac{Q}{(\phi B \sqrt{g \sqrt{I_b}})} \right]^2 \quad (2)$$

とした。

勾配 I_b については、断面を中心として上流400m地点と

下流400m地点の最深河床高から算出した。また、流速係数 $\phi=11$, $s=1.65$, $\tau_{*cr}=0.05$ とした。断面II-①において、1974年洪水でのピーク流量を $Q=2500(m^3/s)$ 、低水路幅 $B=100(m)$ として計算すると、 $H=4.2(m)$ で、高水敷の冠水深は1m以下である。水深1mとしても、高水敷の移動限界粒径は式(1)から $d_{cr}=8.0(cm)$ となる。

よって10cm程度の礫は仮に高水敷上に乗ったとしても移動せず、全面に堆積することはできない。そのため細粒土砂のみが広く堆積したと考えられる。断面III-①でも同様の結果となる。また、低水路は粗度の低い土丹層で構成された河床であったために、低水路にはより速い流れが集中したと考えられる。以上の考察から、堰直下の高水敷に1974年の洪水で細粒土砂が堆積したと推定した。

次に、各堰下流1km付近、すなわち断面I-②、II-②、III-②について考察する。これらの場所では1975年の時点で河道の片側に1m程度の河床上昇が見られ、この時点で高水敷が形成されている。当時の高水敷高さと現在の高水敷上の礫面の高さが一致している点と、当時堰下流1km付近は土丹層深掘れの末端に相当し、この地点で複断面から単断面へと変わるため、河道拡幅効果により堆積が生じやすい状況であった点から、この洪水によって河道の片側に厚さ1m程度の礫層が堆積したと考えられる。

一方で低水路は、土丹層の侵食により激しく河床低下した。1975年の時点で、堰直下では低水路の河床高に変化は無いが、堰下流1kmではII-②とIII-②では低水路が土丹層を侵食して深掘れが生じている。I-②では低水路は低下していないが、一度低水路の深掘れが生じた後に、洪水の減水期に土砂が堆積した可能性がある。以上から、堰直下で生じた低水路の深掘れは、1974年の洪水によって下流1km付近まで伝播してきて、ここでも複断面化が生じたと考えられる。

実際に礫の堆積が可能であった事を、1975年の断面II-①とII-②からの計算により示す。断面II-①の低水路の移動限界粒径は式(1)、(2)より34cmである。すなわち区間IIの堰直下の低水路ではほとんどの礫が活発に動いたと推定される。一方、堰下流1km付近の移動限界粒径は13cm程度にまで低下する。すなわち、堰を乗り越えた10cm程度の大きさの礫は、堰直下の低水路を通過し、堰下流1km付近で停止し、そこに堆積したと考えられる。

次に、ここで堆積した礫がその後移動したかどうか検証する。これについては、断面I-②においては李ら¹⁾の説明が妥当である。すなわち、1975年以降1995年までの間、高水敷が冠水した洪水は3回しかなく、最大の冠水深は1.5mである。よって、その後の洪水で礫が大幅に移動したとは考えにくい。II-②やIII-②についても、土丹層の侵食により複断面化が生じたため、状況はほぼ同じである。そして上述した通り、これ以降高水敷はほとんど冠水しなかった。

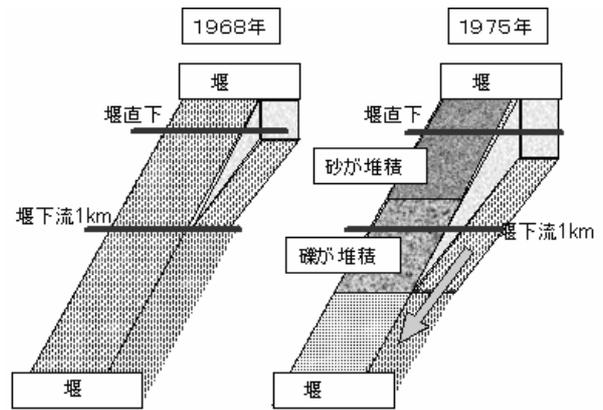


図-4 1968年と1975年の状況の模式図

なお、堰上流の各断面においては、定期横断測量結果からは堆積・侵食のどちらとも判断し難い。

以上をまとめると、堰下流1km付近では1974年の洪水によって、礫の堆積によって高水敷を形成する一方、低水路は上流から土丹層の侵食が伝播して低下した。図-4に、1968年と1975年の状況を模式的に示す。

(3) ハリエンジュの拡大

各堰下流1kmの断面では、1981年、1982年、1983年と連続する洪水で細粒土砂が堆積した。これも断面I-②では李らが既に明らかにしており、礫層に繁茂した植生が細粒土砂の堆積を促進したと考えられる。同様の状況がII-②やIII-②でも見られる。これらの場所では1980年代に大幅にハリエンジュが拡大した事が1995年の植生図からも明らかである。すなわちこの時点で、既に述べたハリエンジュに最適な生育の条件、すなわち礫層とその上の細粒土砂堆積に加え、土丹層の侵食による低い冠水頻度という条件が整い、ハリエンジュは大幅に拡大した。

一方で、各堰直下ではハリエンジュの拡大は著しくない。これは、堰直下では礫が高水敷に乗り上げるよりも早く土丹層の侵食によって低水路が低下し、高水敷の礫層が少ないためだと考えられる。例えば断面II-①では現在ハリエンジュの倒木が多く、2006年の植生図ではオニグルミ群落等への遷移が進行している。

(4) 扇状地下流部に関する考察

扇状地下流部、およそ40km地点より下流側では、ハリエンジュは上流部に比して少ない。この区間では土丹層の深掘れや大幅な侵食は見られないため、上流部のような局所的な礫の堆積や低水路の深掘れが生じず、ハリエンジュの生育条件を満たさなかったと考えられる。おそらく、この付近では元来の土丹層の位置が深く、砂利採取によっても土丹層に到達しなかったと考えられる。

(5) 安定河道に関する考察

水理学的考察を加えることにより、安定河道について

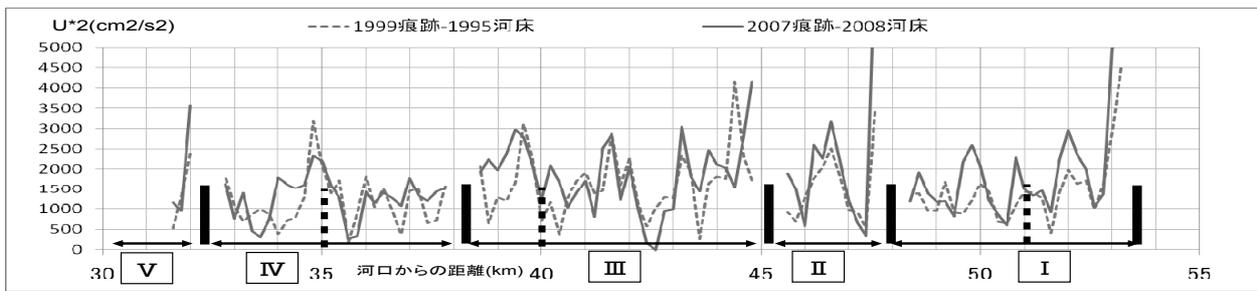


図-5 摩擦速度と堰の関係

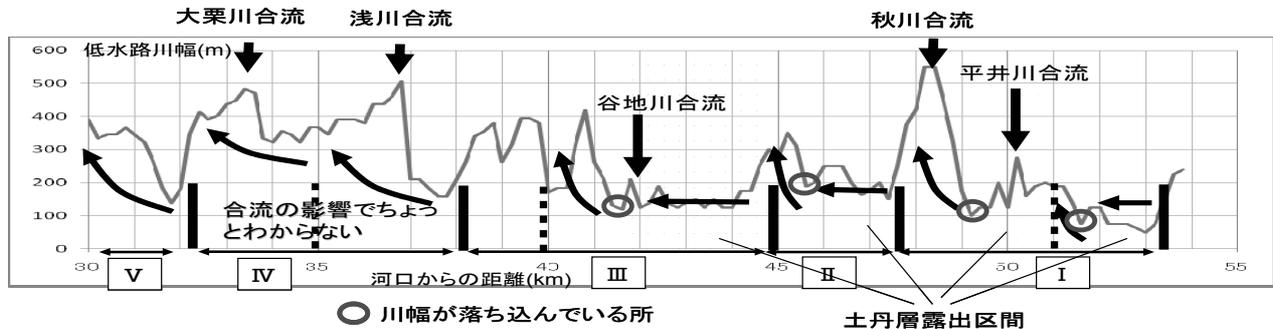


図-6 低水路幅と堰の関係

考察する。図-5に、1999年、2007年洪水時の各々の低水路内の摩擦速度を河道縦断方向200m毎に計算したものと堰の関係を表す。洪水の水位には痕跡水位を用いた。図中の実線の縦線は堰を表し、点線は落差2m以上の横断構造物を表す。なお、河床勾配が堰の段差の影響を直接受ける区間の値は摩擦速度として適当でないため除外した。次に、図-6に低水路幅と堰の関係を示す。2007年台風9号の洪水の平面二次元水理計算洪水流速ベクトル図(国土交通省京浜河川事務所作成)において1(m/s)以上の流速が生じた場所を低水路とした。

まず、扇状地下流部(区間Ⅲの下流部～区間Ⅴ)について考察する。摩擦速度は堰直下で最大となり、次の堰に向かうにつれて徐々に低下していく(図-5参照)。この摩擦速度の低下は、低水路幅の拡大と勾配の減少の双方によるものである(図-6参照)。また、低水路の礫径は、堰直下から次の堰に向かうにつれ、徐々に小さくなる様子が観察された。断面Ⅴ-①では最大で20cm程度の礫が存在するのに対して、断面Ⅴ-②では、低水路にそのような大きい礫は見当たらない。これらの堰と堰で挟まれた区間内における特徴は、既に知花ら⁵⁾が指摘した通りである。また、扇状地上流部で見られるような土丹層の局所侵食も生じていないため、高水敷の冠水頻度は比較的高く、ハリエンジュの生育は顕著ではない。

以上をまとめると、扇状地下流部では沖積層により安定河道が形成されており、これは沖積河川の横断構造物に挟まれた区間で一般的に見られる状況である。

次に、扇状地上流部について考察する。区間Ⅰや区間Ⅱでは、ここ20年程度大きな地形変化がなく、ほぼ安定形状に達していると考えられる。その中でも、以降は特に永田地区を含む堰と堰で挟まれた区間(51.0km～

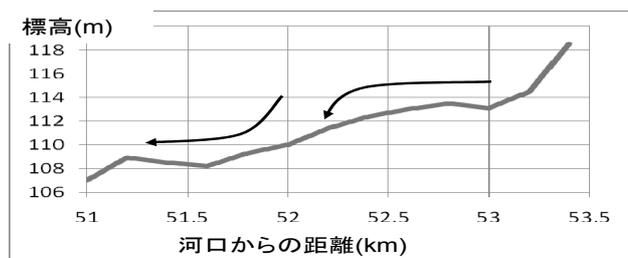


図-7 2008年の低水路河床高とその特徴

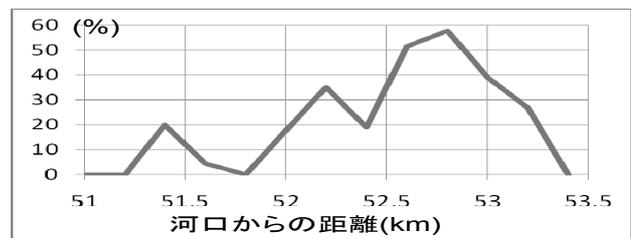


図-8 高水敷ハリエンジュ優占域割合

53.4km)に注目して考察を進める。

この区間の2008年の低水路河床高を図-7に、高水敷ハリエンジュ優占域割合を図-8に示す。低水路の勾配は52.0km付近で最も急になり、ハリエンジュは52.0kmより上流で顕著に生育し、それより下流で少ない。すなわちこの区間は、52.0km付近より上流とそれより下流に分ける事ができる。

両者のうち、まず52.0km付近より上流を考察する。この区間では低水路が土丹層の侵食によって形成され、その河床勾配は上流から下流にかけて徐々に急になるという上に凸の形状である。また、低水路川幅は非常に狭く、上流から下流に向かい徐々に広がるか、ほぼ一定で

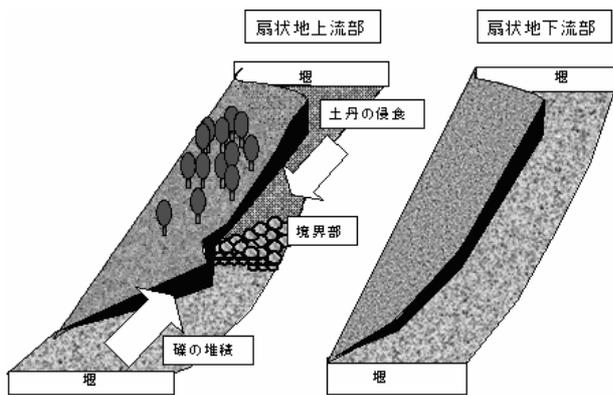


図-9 堰と堰に挟まれた区間の模式図

ある。さらに、低水路の河床材料はこの区間にしては非常に細かい粒径で構成されており、これらは洪水末期に取り残されたものである。以上に述べた状況が、土丹層で構成される河道の特徴であると考えられる。ここでは、低水路は土丹層の侵食により上流端の堰から下流に向かって徐々に河道を形成してきた。高水敷は、堰直下は礫がなくハリエンジュも少ないが、堰下流1km付近には礫層が存在し、そこにはハリエンジュが顕著に生育する。

52.0km付近より下流では、川幅が少し狭くなる狭窄部が出現し、下流に向かうにつれて川幅が広がる。低水路河床勾配は下流に向かうにつれて徐々に緩くなるという下に凸の形状である。摩擦速度は下流に向かい徐々に小さくなり、低水路は礫で構成されている。52.0km～51.0kmにかけて見られるこれらの状況は、扇状地下流部の堰と堰で挟まれた区間に対応し、知花ら⁵⁾が指摘した状況と同じである。すなわち、この区間では礫の堆積によって河道が形成されており、下流端から上流に向かって徐々に河道を形成していく。土丹層の局所侵食に伴う急激な川幅縮小が生じていないため、高水敷の冠水頻度は比較的高いと考えられ、ハリエンジュの生育は顕著ではない。

そして、両者がぶつかり合う52.0km付近は境界部分となり、勾配や低水路川幅の不連続点となっている。図-5から分かるように、摩擦速度はここで極大値を示す。これは勾配が急になる事と、少し下流に狭窄部があり、川幅が狭くなる影響が大きい(図-6参照)。その結果、低水路には30cm程度の大きな礫が露出している様子を確認できる。

以上から、52.0km付近を境界として、それより上流側は上流端の堰から下流に向かって土丹層の侵食によって河道が形成され、52.0km付近より下流側は下流端の堰から上流に向かって沖積層の堆積により河道が形成されていると考えられる。そして、上流側の高水敷では生育条件の整ったハリエンジュが拡大し、下流側では拡大していないという対応関係が見られ、土丹層の露出と堰の存

在がハリエンジュの拡大を招いたというここまでの説明を裏付ける。その様子を模式的に図-9に示す。

なお、区間Ⅱにおいても、46.5km付近を境界として、区間Ⅰと同じような状況を確認することができる。

6. 結論

本研究では以下の事を明らかにした。

- ・ハリエンジュは、細粒土層の下に礫層があると胸高直径が大きく、生育に適すると考えられる。
- ・7年に1度程度1m以上冠水する場合は生育に適さない。
- ・上記2つの条件から、ハリエンジュの生育に適した環境が堰下流1km付近に形成されている事を明らかにし、その形成メカニズムを解明した。
- ・扇状地上流部では土丹層露出の影響から上記ハリエンジュの生育場が形成されやすいが、下流部では形成されにくい。
- ・扇状地上流部の堰と堰に挟まれた区間内では、上流側は土丹層の侵食により、下流側は礫の堆積により、各々河道を形成し、その境界部では勾配や川幅の不連続点が生じている。

謝辞：本研究は、河川生態学術研究会多摩川グループの研究の一環として行われた。御議論頂いた関係者の皆様、及び、貴重なデータを提供して頂いた国土交通省京浜河川事務所の皆様に心より感謝致します。

参考文献

- 1) 李参熙・藤田光一・山本晃一：礫床河道における安定植生域拡大のシナリオー多摩川上流部を対象にした事例分析より一、水工学論文集、第43巻、pp977-982、1999。
- 2) 中村幸人：多摩川の植生と植生図-30年間の変化、とうきゅう環境浄化財団、学術研究番号270、2007。
- 3) 崎尾均：ニセアカシアの生態学、文一総合出版、2009。
- 4) 八木澤順治・田中規夫・福岡捷二：砂礫洲上樹木の破壊形態の相違を考慮した樹林化判定手法に関する研究、河川技術論文集、第15巻、pp153-158、2009。
- 5) 知花武佳・山下貴美子・工藤美紀男・柳澤亘：横断構造物が河川地形に及ぼす影響とそこに見られる治水・環境両面の特性、河川技術論文集、第15巻、pp231-236、2009。
- 6) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究ー永田地区の河道修復一、2006。
- 7) 土木学会水工学委員会平成19年台風9号出水調査団：平成19年台風9号出水の調査と今後の河川維持管理のあり方に関する調査研究、河川整備基金助成事業報告書、2007。
- 8) 山本晃一：沖積河川学、山海堂、1994。

(2010.4.8受付)