

8.4 河川生態系と河川流況から見た樹林管理技術に関する研究

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：萱場祐一、傳田正利、中西哲、
田頭直樹、片桐浩司、

【要旨】

本課題では、全国の河川で河川管理上の課題となっている樹林管理の方法を河川生態系と河川流況の観点から検討した。効果的かつ効率的な樹林管理方法の提言を目指し、①樹林成長や群落形成に影響を与える物理・化学的要因の解明、②伐採方法等の違いが河川植生に与える影響の解明、③伐採後の流況変化が周辺環境に与える影響の解明、④河川樹林管理の技術提案、以上の4つの課題を設定した。

①では、主に東日本で樹林化の問題を引き起こすハリエンジュを検討し、河床の安定と土壌中窒素濃度の高さが成長と群落形成に影響を与えていることを明らかにした。②では、樹林化で問題となるヤナギ類の萌芽を抑制する方法を検討し、ヤナギ類には環状剥被（樹皮を剥ぎ栄養供給を止める方法）の効果が極めて高いこと等を明らかにした。③では、伐採による樹林分布の変化が流況に与える影響を検討し、セグメント1の直線河川では流速分布が変化すること、セグメント2の湾曲河道では流線が変化する個を明らかにした。④では、樹林管理方法をトータルコストも含めて再評価し、ヤナギ類には環状剥被が有効であることを明らかにし、ハリエンジュは継続的伐採が有効であるが、抜本的な対策としては河道掘削等による冠水頻度の向上等が有効であることを明らかにした。

キーワード：河道内樹林管理、萌芽再生、伐採、環状剥被、流況変化、トータルコスト

1. はじめに

近年、日本の多くの河川において、河床の安定化が進み、河道内で樹林化が進行している^{1) 2) 3) 4)}。河道内樹林は、河積を減少させ出水時の流下能力の低下をもたらす。樹林化した河川では、礫河原の減少や、出水攪乱に適応した河川環境に固有の生物種が減少するなど、治水安全上の問題だけではなく、生物相や景観の変化ももたらしめている^{1) 2) 3) 4)}。河川流況との関連性から河川の樹林化の機構を解明し、治水と環境を良好に保つ管理技術を提案することが必要となる。

樹林化に至る機構についての研究は、個々の現場や植生を対象として、細粒土砂堆積と植生動態の関係より、礫床裸地から樹林化への形成過程が明らかにされている^{5) 6)}。河道管理へ反映するため洪水時の流れや河床変動解析を併せた植生動態の予測など^{7) 8)}、河川管理に有用な知見の蓄積が進むが、樹林は1990年代以降依然として増加傾向にある⁹⁾。この要因としては、前述した研究が対象としている樹種とは別の樹種が樹林化に至る機構に関与している可能性もあるが、樹林化を樹種と樹種の地域性は、

十分に明らかにされていない。

一方で、河川を管理する現場では、増えすぎた樹林域を治水上の影響要因として捉え、維持管理による定期的な樹木伐採等の措置（以下「樹林管理」という。）が実施されてきた。しかしながら、樹林管理後、数年も経てば再び樹林化に至る場合も少なくなく、現場の実態から樹林化に至る要因を吟味した研究例は見当たらない。

このような背景から、平成22年度は、全国一級河川における樹林化傾向と伐採等による樹林管理の実態から、樹林化の課題となっている樹種としてヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類を優占樹種として抽出した。また、これまでの樹林管理の実態及び伐採後の樹木の再生状況を調査し、樹林管理による樹林化の抑制効果や課題を明らかにした。

平成23年度は、全国の河川で主要な管理対象樹種となっているヤナギ林、ハリエンジュ林、マダケ林を対象にし、樹種に応じて環状剥皮等の萌芽再生抑制処理を組み合わせた伐採を行い、各処理方法の萌芽再生抑制効果の検証を行った。伐採に環状剥皮などの簡易な方法を組み合わせることで伐採後の萌芽再生を抑制できることが確認できた。

平成24年度は、萌芽再生抑制方法の検証に加え、費用面を考慮した方法選択の考え方について検討を行った。萌芽再生抑制方法の検証としては、平成22年度の研究で明らかにした樹林化を助長するヤナギ林、ハリエンジュ林、マダケ林伐採後の萌芽再生抑制を目的に、再伐採処理効果と環状剥皮処理効果を検証した。ヤナギの萌芽再生抑制には環状剥皮が、マダケの萌芽再生抑制には再伐採が有効であることが実証された。ハリエンジュに対しては、伐採後の萌芽再生抑制は困難であるため、毎年刈り取りを行うなど、違う視点での検討が必要になることが示唆された。

平成22年度から平成23年度までの研究で、環状剥皮の効果が少ないハリエンジュの成長機構に関して、その成長メカニズムを分析した。その結果、陸地化した環境で、ハリエンジュは窒素同化能力が高く、光合成効率も高いため、ハリエンジュの落葉により窒素固定がされる生理機構があり、他の樹種よりもより効率的な樹林形成が可能であることを明らかにした。

本報告では、次章以降において、これらの研究の概要を報告する。

2. 樹林成長や群落形成に影響を与える物理・化学的要因の解明

2.1 はじめに

本研究では、近年、東日本を中心に分布域が拡大し、かつ、外来種であるハリエンジュを対象として樹林形成に係わる物理・化学的要因の解明を行う。

ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia* L.) は、北米原産のマメ科の木本植物であり、世界中で分布域を拡大していることが報告されている。また日本では、この数十年間で最も拡大している河畔性植物のひとつである。ハリエンジュはその成長スピードの速さや環境への適応能力の高さから、1873年に山間部の治山事業、砂防事業の一環として導入された。

河川における出水攪乱は、河道内植物を破壊して、植生遷移を抑制する役割がある。出水により形成される礫河原といった裸地は本来貧栄養であり、多くの植物にとって生育が厳しい環境である。しかしハリエンジュは過酷な環境にも侵入し、かつ成長スピードが早く、出水後に先駆的に群落を拡大する。だがしかし、河道内のハリエンジュ林の成因については知見に乏しいのが現状であり、ハリエンジュの拡大抑制のためには、ハリエンジュの侵入・拡大プロセスを明確にする必要がある。本研究では、①河床変動とハリエンジュとの関係、②土壌中の栄養塩類

との関係を現地調査により明らかにし、ハリエンジュ林の群落形成機構の解明を行った。

2.2 河床変動との関係解明

(1) 対象河川

本研究の対象とした河川は長野県の信濃川水系千曲川および天竜川水系天竜川である。千曲川は信濃川水系信濃川の長野県での名称である。対象区域は両河川あわせて6サイトである。両河川とも河道特性区分はセグメント1に属し、勾配は1/170から1/340、堤間幅は123mから515mの範囲である。河道は粒径10cmから20cm程度の大礫で構成されており、樹木が繁茂している高水敷の土砂は大礫上を粒径が約2mm以下の細砂で覆っている状況である。10年間の千曲川および天竜川の気候をそれぞれ上田観測所および伊那観測所で調べたところ、年平均降水量はそれぞれ939mmと1517mmであり、また年平均気温は12.0℃と11.5℃であった。なお双方の観測所とも同程度の標高に位置している。両河川とも過去からの変遷を空中写真から判読したところ、近年30年かんでの高水敷の樹林拡大が確認できる。

(2) ハリエンジュ林のバイオマスの推定方法

ハリエンジュ林の地上部および地下部のバイオマスを算定するため、地上から1.3mの幹部の周囲長を計測し、形状を円と仮定することで周囲長から胸高直径を算出した。また千曲川のサイト1に繁茂している16本の異なる成長段階にあるハリエンジュを伐採し、地下茎深度を計測した。さらにこれら16本のハリエンジュを地上部と地下部に分け、重量を計測した。立ち木のハリエンジュの樹齢は、幹の一部を切り取った後、年輪を計測することで推定した。16本のハリエンジュから一部をサブサンプルとして取り出し、60℃で質量が恒量に達するまで加熱することで、湿重量と乾燥重量の関係を回帰分析によって求めた。ハリエンジュの地上部および地下部のバイオマスと樹齢との関係は、以下のべき関数で求めた。

$$Y = aD^b$$

ここで、 Y は地上部および地下部の乾燥重量、 D は胸高直径。この式を使った回帰分析により係数 a および b を求めた。

(3) 現地調査

本研究は河川地形の変動とハリエンジュ林の繁茂との関連性を解明することを目的としているため、現地調査は過去からの河道地形の変遷がわかる横断測線で行った。両河川の6サイトにおいて4本の横断測線を選択し、それら横断測線付近に3本のべ

ルトトランセクトを設定した。つまり合計 72 本のベルトトランセクトを設定したことになる。ベルトトランセクトは幅 10m とした。そのベルトトランセクト内に繁茂するハリエンジュ個体それぞれについて、胸高直径と横断測線上の位置を計測した。また同時に景観区分の判読を行い、水域、礫河原、草本群落、ハリエンジュ林に区分した。

(4) 河床変動量の推定

河床変動量を数値化するにあたり、国土交通省で行った定期横断測量成果を使用した。定期横断測量は千曲川では 1959、1964、1969、1976、1981、1982、1985、1988、1992、1995、2000、および 2004 年の 12 時期である。また天竜川では、1953、1965、1978、1983、1994、および 2004 年の計 6 時期である。横断測量成果は地形の変化点を主に捉えて、その左岸からの距離と標高を測量する。そのため不等間隔の左岸からの距離と標高値の行列になり、同一測線上でも年度毎の横断測量ポイントは異なる。河床変動量は任意の左岸からの距離における河床（地形）の標高値が必要となるため、今回は各年度同一地点の標高値が得られるように始点・終点を合わせ、横断距離を 10m の等間隔とし、線形内挿することで標高値を求めた。

河床変動量は、任意地点における河床変動を表現するものとし、以下の式で定義した。

$$MF = \left[\frac{1}{n-1} \sum_i^n (E_i - \mu)^2 \right]^{0.5}$$

ここで、 E_i は標高値の任意年代の任意地点における標高値、 μ は E_i の年代平均標高値、 n は E_i が存在する年代数である。上記のとおり河床変動量 MF は測定年度の標準偏差を表す。河床変動量は全時期、ハリエンジュ侵入以前および以後の 3 種類を求めた。

(5) 統計解析

全時期の河床変動量の違いを見るため、共分散分析 (ANCOVA) を行った。その際の固定要因は河川毎および景観区分 (水域、礫河原、草本景観、ハリエンジュ林) を設定した。また比高を共分散として設定した。固定要因に優位な差が見られた場合、平均を Tukey の HSD (honestly significant difference) 検定を用いて算出した。

ハリエンジュが侵入前後の河床変動量については、一元配置分散分析 (one-way ANOVA) を用いて解析を行った。その際の固定要因として景観区分を用い、多重比較には Tukey の HSD を用いた。全時期の河床変動量とハリエンジュの全バイオマス (地上部バイオマス+地下部バイオマス) を Pearson の積率相関

係数を求めることによって関係式を求めた。すべての検定において、 $P < 0.05$ を統計的に優位であるとの判定基準とした。すべての統計解析は、統計解析ソフトウェア R ver. 2.15.0 を使用した。

2.3 ハリエンジュのバイオマスと河床変動量との関係

胸高直径と地上部および地下部のバイオマスの間には強い相関がみられ、その関係式は以下の式で表される。

$$AGB = 0.255 \times DBH^{2.04} (r^2 = 0.97, P < 0.001)$$

$$BGB = 0.278 \times DBH^{1.72} (r^2 = 0.92, P < 0.001)$$

ここで、AGB、BGB はそれぞれ地上部のバイオマスおよび地下部のバイオマスであり、 DBH は胸高直径を示す。 r^2 および P は、それぞれ相関係数および確率であり、双方とも回帰分析の結果が統計的に有意であることを示した。

今回検討を行った両河川のサイトではほとんど、ハリエンジュ林は最も優占していた木本群落であり、総木本約 80% の優占率であった。ハリエンジュ以外に繁茂していた主な木本類は、ヤナギ類であるカワヤナギ (*Salix gilgiana*) やタチヤナギ (*S. subfragilis*) であった。ハリエンジュの胸高直径は 6.9 ± 0.1 cm (平均 ± 標準偏差) であり、小さい樹木ほど生育密度が大きい傾向であった。両河川においてハリエンジュの侵入が侵入し群落を形成した時期を推定するために最も高齢のハリエンジュ林の樹齢を調べたところ、千曲川では 1985 年であり天竜川では 1992 年頃と推定された。

地上部のバイオマスは胸高直径に対し指数関数的に増加し、BGB は AGB と比較して胸高直径に対する増加率は小さい値となった。地下茎深度は比較的小さい値であった (< 2.2m)。伐採したハリエンジュは 2~24 齢であり、胸高直径は樹齢とともに増加する結果となった。胸高直径が大きくなるとハリエンジュの総バイオマスは小さくなる傾向となった。

現地調査ならびに解析によって得られた河床変動量とハリエンジュ林の生物量との関係を図-2.1 に示す。図中の凡例の違いは低樹齢から並べたパーセントイルを示している。図より河床変動量が大きくなるほど、ハリエンジュの生物量が低下する傾向が分かる。河床変動量の低下、すなわち高水敷攪乱の減少によって、ハリエンジュの侵入が促進されたものだと推測される。

ハリエンジュが群落を形成していたのは、河川横断測線上で比較的比高が高い位置であり、そこでの構成基質は大礫上に 55cm ほどの細礫が堆積してい

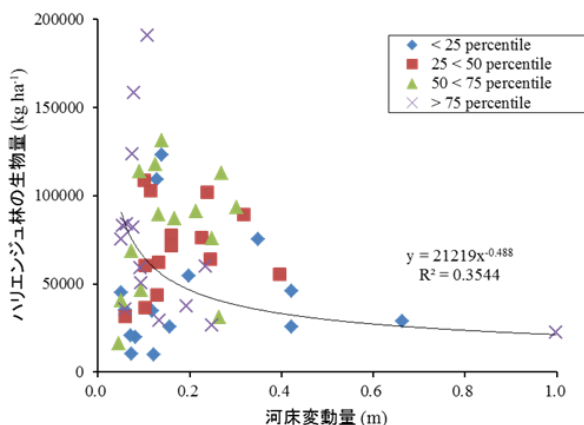


図-2.1 河床変動量とハリエンジュの生物量の関係

た。ANCOVAによる結果、河床変動量は河床の比高に対して負の相関があった。また河床変動量は景観区分で分けると有意に異なる結果となった。事後検定によってハリエンジュ林が繁茂している地点の河床変動量は他の景観区分のそれと比較して小さい値となった。横断地形を8つのグループ(景観区分(4段階)×ハリエンジュの侵入前後(2段階))に分けた一元配置分散分析の結果、ハリエンジュの侵入前後で有意な差がみられた。多重比較を行った結果、ハリエンジュの侵入後にすべての景観区分で河床変動量が小さくなった。景観区分の違いによるハリエ

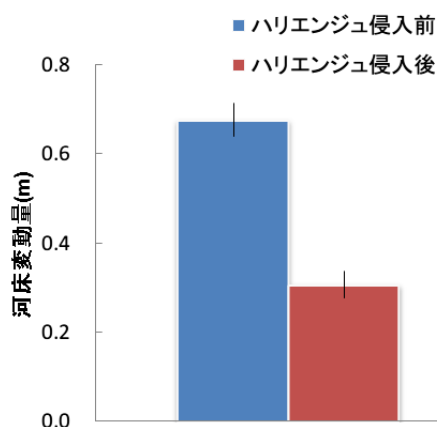


図-2.2 ハリエンジュ侵入前後における河床変動量の違い

ンジュの侵入前後の河床変動量の減少率は、ハリエンジュ林が最も大きく(55%) (図-2.2)、草本類(53%)、礫河原(23%)、水域(22%)の順で小さくなった。

ハリエンジュ林の繁茂によって河床変動量が小さくなったことは、河道地形の安定化がハリエンジュの侵入を可能にしたことを示す。この河道地形の

安定化は、流域からの土砂供給の減少や護岸による河川横断方向の侵食抑制によるもの、砂利採集による河床低下が理由と考えられる。また、ハリエンジュ林は河道の安定化に寄与しているものと考えられる。これは、ハリエンジュの侵入後、景観区分でハリエンジュ林と判断された地点の河床変動量は大きく減少していたことがその理由である。一般的に高水敷の植物群落は、河岸の間隙水圧を低くする、根による緊縛効果によって直接的に河岸の安定性に寄与することが知られている。ハリエンジュの根もまた他の植物群落と同様に、河岸の安定性に寄与した可能性がある。

両河川でハリエンジュの侵入後にいくつかの大洪水が発生したが、これらの洪水によって地形が攪乱され、ハリエンジュ林が礫河原へと変化する現象はみられなかった。一方、洪水に伴う河床の攪乱がハリエンジュ林の拡大を引き起こす可能性が示唆された。これは、ハリエンジュは栄養繁殖による萌芽を盛んに行う特性があり、攪乱によって倒伏した株部から高密度の群落を形成すること、また、ハリエンジュは根からも栄養繁殖することがあり、攪乱によって生じた根の移流と拡散によって群落を拡大することがその理由である。

2.4 栄養塩類との関係解明

(1) 研究の方法

本研究では、土壌中の窒素として有機態窒素を対象とした。これは、河川域における土壌中の無機態窒素は含有量が少なく測定誤差により窒素含有量の多寡が評価しにくいこと、そして、土壌中の窒素の存在形態の99%が有機態で存在していることがその理由である。

調査は2010年12月に実施した。対象河川は千曲川のセグメント1の区間であり、距離標KP95.5、96.5、97.5、98.0の4箇所を対象として、それぞれについて幅10mの3本のベルトトランセクトを設定した(合計12トランセクト)。次に、上記トランセクト内で横断方向に約20m間隔にて土壌を採取した。土壌は表層から5cmほどの深さから採取し、一地点あたり4から6サンプルを採取した。また、同時にその地点の属性(ハリエンジュ林、草本類、礫河原)を記録した。採取したサンプルは持ち帰り、分析室においてフルイにかけ、2mm以下のサンプルのみを窒素含有量の測定対象とした。窒素含有量は、元素分析計(Flash EA1112)にて全窒素を測定した。

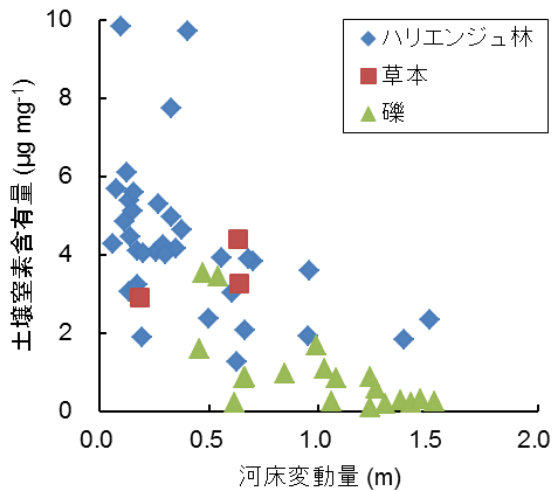


図-2.3 河床変動量と土壌窒素含有量の関係

(2) 栄養塩濃度との関係

2.2で調査した河床変動量との関係も踏まえ、ハリエンジュ林、草本地、礫河原における土壌窒素含有量との関係を示した(図-2.3)。河床変動量と地被状態には一定の関係が見られ、河床変動量が大きいと礫河原が、小さいとハリエンジュ林になる傾向が見て取れた。また、地被状態と土壌窒素含有量の間にも明瞭な関係が見られ、礫の場合は概ね $2\mu\text{g mg}^{-1}$ の範囲にプロットされたが、ハリエンジュ林は $2\mu\text{g mg}^{-1}$ 以上の範囲にプロットされることが多かった。ハリエンジュは根粒菌により空気中の窒素を固

定し、繁殖することが知られている。ハリエンジュ林における窒素含有量の高さは、窒素含有量が高い場所にハリエンジュが侵入したというよりも、窒素固定に伴う土壌へのリター供給と、ハリエンジュ侵入に伴う河床変動量の縮小と供給したリター流失量の抑制により、結果として、生じた現象と考えることができる。

2.5 まとめ

2.2、2.3の結果を取りまとめて、ハリエンジュの分布域拡大のプロセスを概念的に示した(図-2.4)。河床低下等により河原の河床変動量が低下すると、貧栄養の環境にも適応できるハリエンジュの侵入が始まり、河床はより安定化していく(①の段階)。次に、ハリエンジュの高い窒素固定能力によりリター供給が始まり、この結果、土壌中の窒素含有量が上昇、ハリエンジュにとってより好適な環境が形成され(②の段階)、土壌が肥沃化、その後のハリエンジュの成長が促進されることになる(③の段階)。ハリエンジュの抑制のためには、河道掘削により高水敷を切り下げて冠水頻度を上昇させてハリエンジュの侵入を抑制する、もしくは、維持管理においてハリエンジュを定期的に伐採し、再萌芽を抑制する方法が考えられる。後者については検証結果の詳細を後述する。

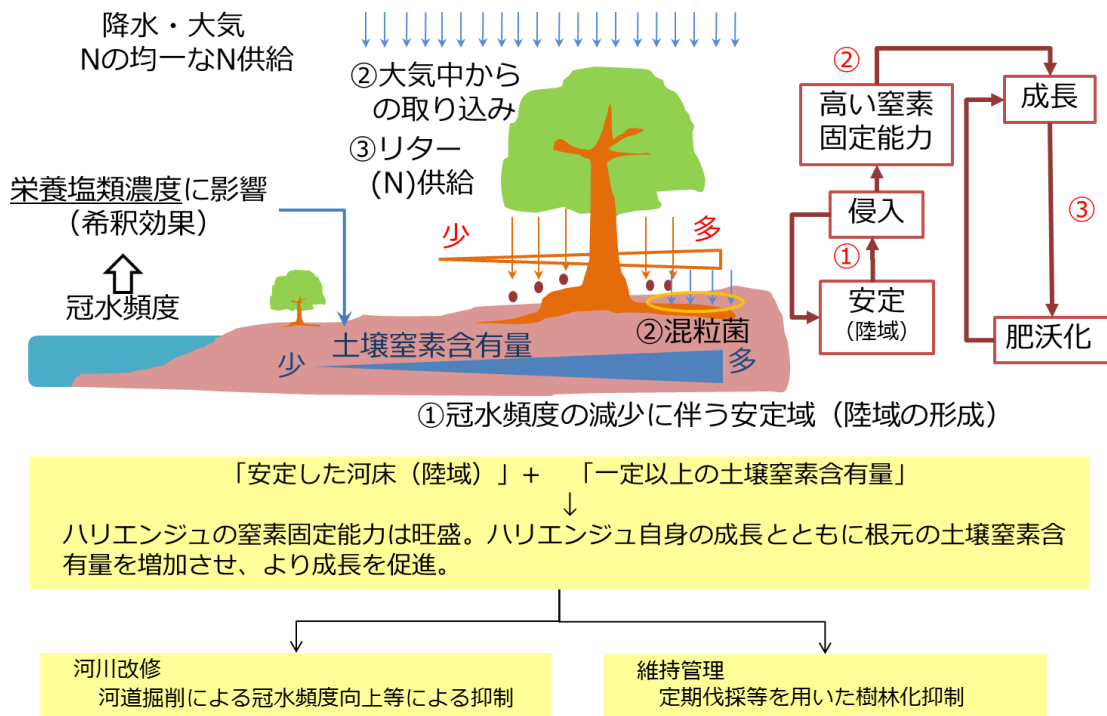


図-2.4 ハリエンジュの分布拡大プロセス

3. 伐採方法等の違いが河川植生に与える影響の解明

3.1 はじめに

拡大しつつある樹林地を管理するためには、樹林化のプロセスを明確にし、河道計画・河道設計に反映することが一つの方策となるが、既に樹林地が拡大している、拡大しつつある場合においては、維持管理段階において樹木を伐採し、治水・環境の両面から適正な樹林域へと誘導していくことが必要となる。しかし、伐採された樹木は伐採株・枝・根から萌芽が再生し、早期に樹林地を形成することが知られている¹⁰⁾。このため、施工性・コストの視点も踏まえ萌芽再生の抑制効果が高い伐採方法が必要となる。本報告では、以上に鑑み、樹木伐採を実施した後、伐採株・根・枝からの再萌芽を抑制する方法を幾つか選定し、主要な管理対象樹種であるヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類に適用した際の有効性を紹介する。再萌芽の抑制は再樹林化抑制の一プロセスに過ぎないが、このプロセスの成否はその後の樹林抑制に重要である。

3.2 河道内樹林化および樹木管理の現状

(1) 管理対象となる主要樹種

河道内で樹林を形成し河川管理上課題となっている樹木の種類（樹種）は、地域によってもその立地場所によっても異なる。また、樹種によって生育特性や有効な管理方法も異なるため、地域別にどのような樹種が優占しているかを知ることは重要である。河川水辺の国勢調査の植物調査結果（2004年度～2008年度）（図-3.1）及び各地方整備局の河川管理者に樹木管理の実態に関するアンケート調査を実施した結果（図-3.2）から、生育面積が大きく実管理上も課題となっているのは「ヤナギ類」、「ハリエンジュ」、「タケ・ササ類（マダケ及びメダケ）」であることが分かった¹¹⁾。これら3種で管理対象全体の7割以上を占めているため、本報では、これらを主要3樹種として、生育特性や再萌芽抑制方法について記述する。

(2) 主要3種の生育特性と管理上の課題

樹木管理の実態に関するアンケート調査結果から、主要3種の管理方法は伐採が半数、伐採後に除根まで実施する場合が残りの半数を占めている（図-3.3）。しかし、これらの樹種は、いずれも栄養繁殖（種子からの発芽ではなく、伐採株や根、枝からの萌芽）を行うため、伐採を行っても伐採株・枝・根の一部が残り、そこから萌芽再生し、樹林地を形成

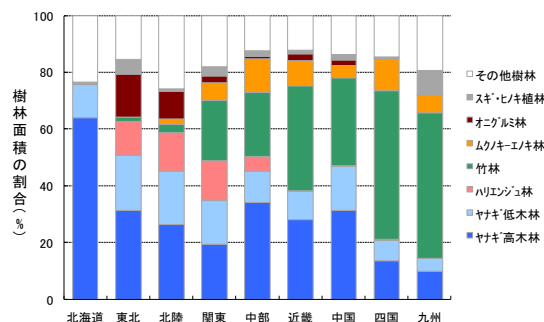


図-3.1 河道内樹林面積の構成割合

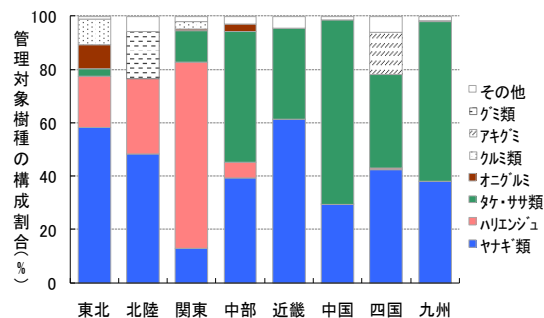


図-3.2 管理対象樹種の構成割合

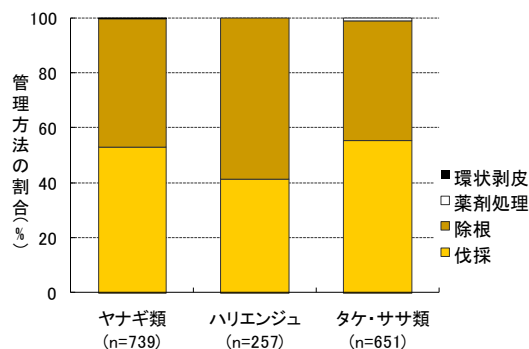


図-3.3 対象3種の構成割合

する。萌芽再生の仕組みは樹種によって異なるため、主要3種の生育特性そして伐採を行った際の応答特性を知ることが重要である¹⁰⁾。

① ヤナギ類

ヤナギ類は種子繁殖と栄養繁殖によって再生産を行う（渡辺ほか 2005）。花期概ね3～6月であり、結実後、5～7月にかけて綿毛のついた種子が放出される¹²⁾。種子は風もしくは水によって散布されるが、その寿命は短く湿潤な場所でないとう発芽しない。伐採株・枝からも萌芽再生し（写真-3.1）、かつ、種子からの発芽と比べて成長が早く、伐採株からの萌芽再生の場合、約2年で高木（4m）に成長することが知られている¹¹⁾。

② ハリエンジュ

ハリエンジュは種子繁殖と栄養繁殖によって再生産を行い、栄養繁殖には伐採等により損傷を受けた幹（株及び枝）からの萌芽と水平根からの萌芽（根萌芽）とがある¹³⁾（写真-3.2）。栄養繁殖力は旺盛であり、伐採のみを行った場合は、伐採株から萌芽再生して約3年で高木(4m)に成長するだけでなく¹⁴⁾、1株から多数萌芽するため伐採により密度が高くなる恐れがある。特に、水平根からの根萌芽は伐採によって萌芽が誘発されるため、除根を行ったとしても、取り除けなかった根から萌芽再生を行い、再樹林化を引き起こす。

③ タケ・ササ類

主に地下茎からの栄養繁殖により分布域を拡大する^{14)、15)}（写真-3.3左）。地下茎は毎年伸長し、新たな筍（発芽個体）を出す、伐採によって萌芽が誘発される特性を有する¹⁵⁾。このため、伐採のみを行った場合には、地下茎から萌芽再生し、1年で元通りまで成長することがある¹⁴⁾。また、伐採後に除根まで行っても、取り除けなかった根から再生する¹⁾（写真-3.3右）。

次に、上記を踏まえ伐採を実施した際の課題を整理してみよう（図-3.4）。ヤナギ類は「伐採株」、「枝」の対策が、ハリエンジュは「伐採株」・「根」の対策が、タケ・ササ類は「根」の対策が課題となる。つまり、樹木管理を行うためには伐採に加えて、それぞれの種の再繁茂の特性に応じた対策が必要となることがわかる。

3.3 再萌芽抑制方法の概要

伐採のみでは再萌芽の抑制は困難である、対象とする樹種の特性に応じて他の方法を組み合わせて再萌芽を抑制することが必要となる。（独）土木研究所河川生態チームでは、主要3種に対する再繁茂抑制方法の検討を行い、幾つかの有効な方法を抽出し、その効果の検証を行ってきた。以下からは検証対象となった方法の概要を説明し、その有効性を検証した実験結果を概説しよう。

(1) 再萌芽抑制方法の概要

再萌芽抑制方法としては前述した伐採に加えて、①環状剥皮、②除根、③天地返し、④土砂掘削に加えて再伐採、樹皮剥皮、塗料塗布、覆土等の方法が考えられる。ここでは、再萌芽抑制効果に加えて現場での施工性、コストを踏まえ、実際の河川管理に適用可能な方法として①～④を取り上げ、その概要を説明する（図-3.5）。なお、これ以外の方法の有効性については、文献¹⁰⁾に詳細が記載されているの



写真-3.1 ヤナギ伐採株からの萌芽再生(左)、枝からの萌芽再生(右)（いずれも伐採後2カ月）



写真-3.2 ハリエンジュ伐採株からの萌芽再生(左、2カ月後)、根からの萌芽再生



写真-3.3 ハリエンジュ伐採株からの萌芽再生(左、2カ月後)、根からの萌芽再生



図-3.4 管理対象樹種の課題

で、こちらを参考にしてほしい。

① 環状剥皮→伐採

環状剥皮とは、樹皮を剥ぐことにより樹皮の内側にある師部を破壊し、葉から根への栄養供給の遮断する方法である。伐採前に実施することによる地下



図-3.5 管理対象樹種の課題

部に蓄えられた養分を減らし、伐採株からの萌芽再生を抑制することができる。また、葉から根への供給が遮断されると、根が弱り、地上部に必要な栄養が巡らなくなるため枯死させることができる。ヤナギ類、ハリエンジュのように伐採後に残った幹・枝・根から再繁茂する樹種に対しては、事前に環状剥皮が有効と考えられる。

② 伐採→除根

伐採後に伐採株と根を重機により引き抜く方法であり、伐採株・根からの再萌芽抑制に効果があると考えられる。特に、根からの再萌芽が課題となるハリエンジュ、タケ・ササ類に有効な方法と考えられる。

③ 天地返し

伐採・除根後、地下茎を含む上層土と下層土を入れ替える方法である。地下茎が多く存在する上層土を深い位置に移し、光を遮断することで萌芽再生を抑制することができる。地下茎からの再萌芽が課題となるタケ・ササ類に有効な方法と考えられる。

④ 土砂掘削

土砂掘削は土壌中に存在する根茎を土壌ごと掘削除去する方法であり、地下茎から再萌芽するタケ・ササ類に有効な方法と考えられる。

(2) 再繁茂抑制方法の効果と課題

①～④の方法の有効性について(独)土木研究所が九頭竜川、天竜川、那珂川で実施した実験結果を紹介する。適用した方法は、主要3種の特性に鑑み、ヤナギ類については①環状剥皮、ハリエンジュについては①環状剥皮、②除根、タケ・ササ類については②除根、③天地返し、④土砂掘削とした。

① ヤナギ類

ヤナギ類は「伐採株」と「枝」の対策が重要となる。最初に環状剥皮が伐採株の再萌芽に及ぼす効果

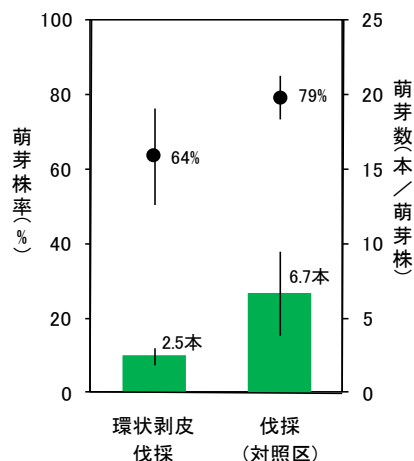


図-3.6 ヤナギ類の萌芽再生状況

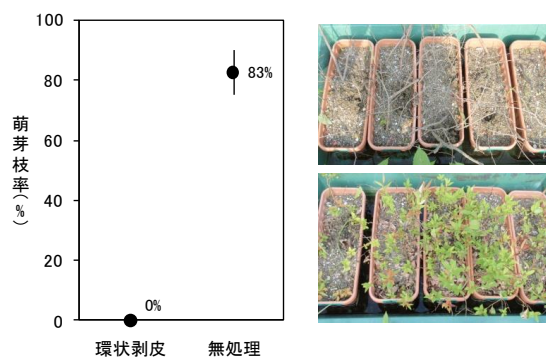


図-3.7 ヤナギ類の枝からの萌芽再生状況

を伐採のみの効果と比較して見てみよう(図-3.6)。実験では、最初に処理区の樹木に対して環状剥皮を行い(H22.9)、剥皮後8ヶ月経過した段階で、処理区・対照区の樹木の伐採を行った(H23.5)。萌芽調査はその2ヶ月後に行っている(H23.7)。伐採のみの処理区では1株あたり6.7本の萌芽再生があったのに対して、処理区では1株あたり2.5本の萌芽再生に抑制することに成功している。

次に、環状剥皮が枝の萌芽再生に及ぼす効果を確認する(図-3.7)。環状剥皮を実施し(H22.9)、20ヶ月経過後(H24.5)に処理区・対照区から枝の採取し30cm程度の長さで切断して、プランタに挿し木して、2ヶ月後(H24.7)に萌芽再生の有無を確認した。処理した枝からの再萌芽は全く見られず、環状剥皮が栄養を遮断し、ヤナギを枯死に至らしめたことが推測できる。このようにヤナギ類については環状剥皮が伐採株、枝の再萌芽抑制に有効であるが、環状剥皮後どの程度の時間が経過した段階で伐採を行うかによって効果が異なる点に留意する必要がある。

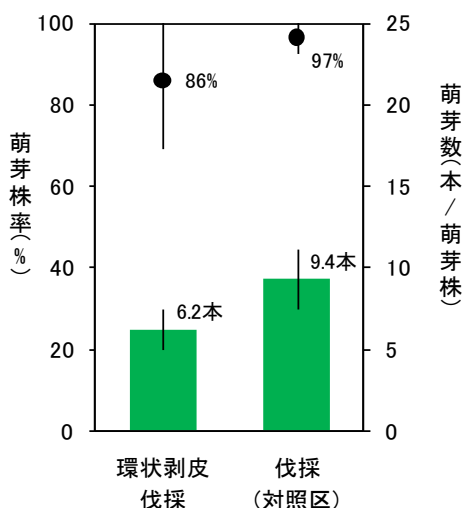


図-3.8 ハリエンジユの環状剥皮後の萌芽再生状況 (株萌芽)

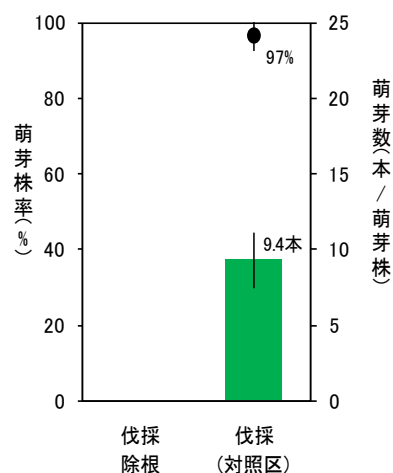


図-3.10 ハリエンジユの除根後の萌芽再生状況 (株萌芽)



写真-3.4 ハリエンジユの環状剥皮下部からの再萌芽

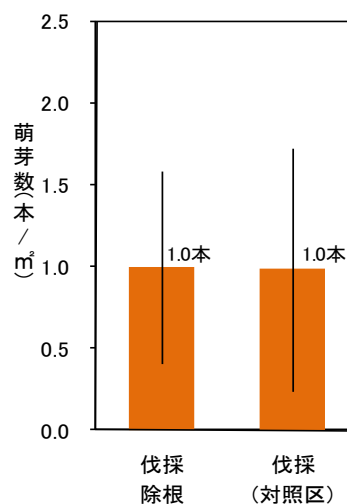


図-3.11 ハリエンジユの除根後の萌芽再生状況 (根萌芽)

る。これは、最初に示した実験では、この期間がやや短く、結果として処理したヤナギの萌芽数を完全に抑制できなかったのに対して、枝を対象にした実験では、処理後の経過時間が長く再萌芽を完全に抑制できたことから理解できる。ただし、この期間が長過ぎると、枯死した樹木が倒れ、流木化する可能性もあるので、剥皮実施から伐採までの期間は慎重に設定する必要がある。

② ハリエンジユ林

ハリエンジユは「伐採株」、「根」に対する対策が課題となる。最初に環状剥皮が伐採株、根に及ぼす効果を見てみよう。ヤナギにおける実験同様、最初に環状剥皮を行い(H22.9)剥皮後8ヶ月経過した段階で処理区・対照区の樹木を伐採した(H23.5)。萌

芽調査はその2ヶ月後に行っている(H23.7)。伐採のみの萌芽数が1株あたり9.4本に対して環状剥皮を実施した萌芽数が6.2本となり、ヤナギ類と比較して環状剥皮の効果が小さいことがわかる。また、再萌芽抑制のもう一つのポイントとなる水平根からの萌芽については(図-3.8)、伐採のみの区間では1本/1m²の萌芽再生があったが、環状剥皮の実施区では0.3本/m²と一定の効果が見られたが、根絶には至らなかった。次に、伐採後に除根を行ったケースを見てみよう。除根により株が消失するため伐採株からの萌芽数は完全に抑制できるが(図-3.10)、抜根時に根の一部が現場に残され、そこから再萌芽が生じて単位面積当たりの萌芽数は伐採のみのケースと同程度になっている(図-3.11)。このように、ハ

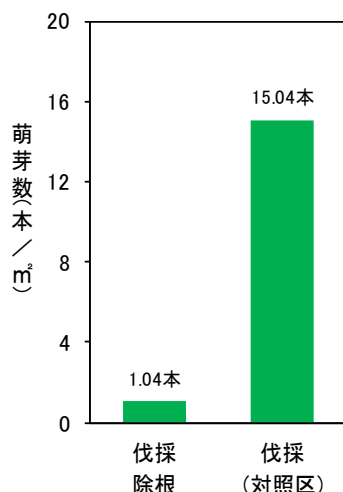


図-3.12 マダケの除根後の萌芽再生状況(値は平均値)

リエンジュの場合はヤナギと比較して環状剥皮の効果が低く、除根を行った場合でも根を全て除去できないために、残った水平根からの再萌芽が生じる。また、萌芽した後は窒素固定を行い速やかに成長するため¹⁵⁾、¹⁶⁾、一度萌芽してしまうと数年で元どおりとなる可能性が高い¹⁷⁾、¹⁸⁾。このように、ハリエンジュ林の地下部の完全枯死または完全除去は難しいため、毎年萌芽の刈り取りを行うなど、継続的な管理が必要だろう。

③ マダケ林

タケ・ササ類は「根」の対策が重要であり、伐採に加えて除根を行うことが必要となる。現地においてマダケを対象として伐採・除根(処理区)、伐採(対照区)を行い(H23.2)、その後の地下茎からの萌芽数を調査した(H23.5)。伐採のみの対照区では15本/m²なのに対して、伐採・除根を実施した処理区では1本/m²程度に再萌芽が抑制されており、伐採・除根に一定の効果を確認できた(図-3.12)。また、伐採後に再伐採(7月)を実施すると、密度抑制により効果が認められた。マダケは、伸長時に地下茎に貯えられた養分を使うため、伸長最盛期の初夏に地下茎の養分を著しく減らすことが報告されている¹⁹⁾。このため、初夏に再伐採を行うと再萌芽の抑制に効果的かも知れない。次に、天地返し、土砂掘削の効果を見てみよう(図-3.13、図-3.14)。これらの処理を実施し(H23.2)、2ヶ月後に萌芽調査を実施した(H23.5)。なお、土砂掘削は80cm、40cmの異なる掘削深さで実験を行っている。再萌芽数はほぼ完全に抑制されて

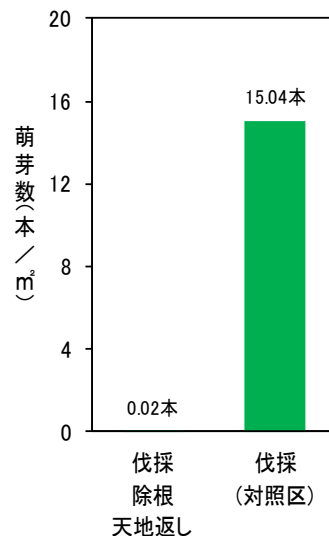


図-3.13 マダケの除根後の萌芽再生状況(値は平均値)

おり、天地返しについては萌芽個体も翌年には全て枯死していた。ただし、地下茎の深さは河床材料の粒度組成によって異なりこと、掘削については残土の中に地下茎が含まれるため、この処理が課題となる。このように、マダケ林をはじめとするタケ・ササ類については伐採・除根を行った上で、継続的に再伐採を実施するか、天地返し等が有効な方法と考えられる。

以上から、ヤナギの萌芽再生抑制には環状剥皮→伐採が、マダケの萌芽再生抑制には伐採・除根→再伐採(もしくは天地返し等)の方法が有効であることが示された。しかし、ハリエンジュに対しては、

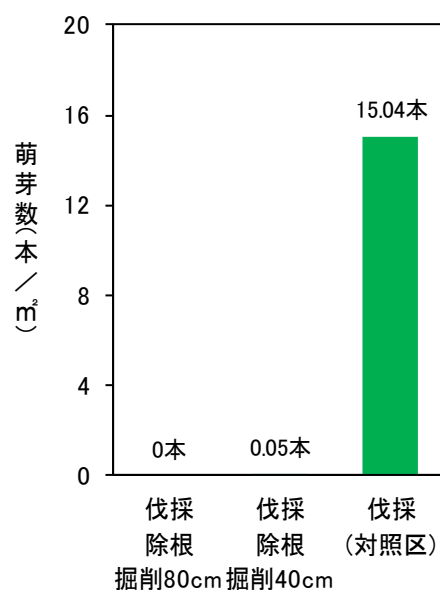


図-3.14 マダケの土砂掘削後の萌芽再生状況

伐採後の萌芽再生抑制は困難であるため、毎年刈り取りを行うなど、違う視点での検討が必要になる。今後の課題としたい。

3.4 おわりに

本報告では、樹木管理の主対象となるヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類の生育特性についてその概要を示し、この特性から考えて有効性が期待できる再萌芽抑制方法について紹介した。再萌芽抑制は樹木管理の一つの重要なプロセスの一つであるが、樹木を除去し、裸地化した場所を草本群落に置き換える等の処理をしなければ、再度樹林化する可能性が高い。本報で紹介した方法に加え、樹林管理全体の戦略そしてこれを実現する技術の確立を行う必要がある。

4. 伐採後の流況変化が周辺環境に与える影響の解明

4.1 はじめに

3章までは、伐採方法が再萌芽抑制に与える影響に関する研究を行い、伐採方法と他の手法を組み合わせることにより再萌芽を抑制することが出来ることを明らかにした。また、再萌芽を抑制する方法として、環状剥皮がヤナギ類には極めて有効な方法であることを明らかにした。樹林化の抑制方法に関して一定の成果を得た。

樹林化を制御して流下能力を改善した場合、河川管理上は、河道内の粗度分布を変更することと同様の意味を持ち、河川流況へ大きな影響を与えることが容易に推測される。樹林化の抑制に成功したが、治水上の問題を生じさせるのでは、樹林管理の意味を失う。

このような背景から、本章では樹林管理による粗度分布の変更が、流況に与える影響を評価する。本研究では、河道掘削と樹林管理の結果、下流側の護岸への負担が大きくなり影響を生じた五ヶ瀬川水系北川の事例について流況解析を用いて検証する。その後、北川の比較対象として、河道特性が異なる阿賀野川水系阿賀川を対象として、同様の流況解析を行い、樹林管理が流況に与える影響を考察する。この2つの解析を通して、樹林管理が流況に与える影響と河川の特徴（河道特性）の関係性を分析し、樹林管理を行う場合の留意点を考察することを目的とする。

4.2 対象河川の概要

(1) 五ヶ瀬川水系北川の野地区

北川は傾山（1,602m）に源を發し、桑原川、小川などの支川を合わせながら、河口で祝子川、五ヶ瀬川と合流し、日向灘に注ぐ流域面積 587.4 km²、流路長 50.9km の 1 級河川である。その流域は宮崎県北部と大分県南部にまたがり北浦町、宇目町、北川町及び延岡市から構成されている。北川においては、平成 9 年 9 月の台風 19 号に伴う豪雨により、甚大な被害が発生した。この洪水を契機として、河川激甚災害対策事業が平成 9 年より実施されている。直轄区間と宮崎県管轄区間の北川において、築堤、樹林伐採、河道掘削等が行われた。

本研究では、宮崎県延岡市の野地先（以下、的野地区と記述する）で研究を行った。的野地区の堤間幅は、約 350m、河床勾配は 1/1000 である。的野地区でも、樹林伐採と河道掘削が行われ、河道内地形と樹林分布状況は大規模に変化した（図-4.1）。北川では、2004 年 10 月にピーク流量 4916m³/s の大出水が生じた。的野地区でも霞堤周辺の堤内地へ氾濫、的野地区下流の護岸が被災した。

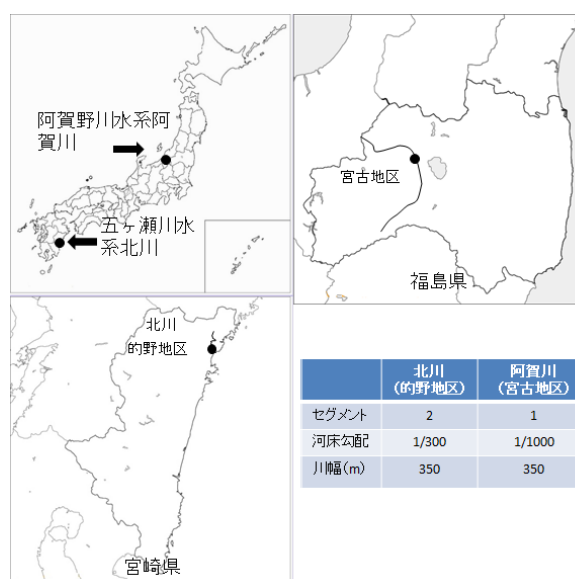


図-4.1 宮古地区全域における流速分布の伐採前後の変化

(2) 阿賀野川水系阿賀川宮古地区

阿賀野川水系は、栃木・福島県境に位置する荒海山（標高 1,580m）にその源を發し、日橋川、只見川を合流し、新潟平野に流れ出し、新潟市松浜において日本海に注ぐ、流域面積 7,710km²、幹川流路延長 210km の一級河川である。阿賀野川は、新潟県を流れる下流部を阿賀野川、福島県を流れる上流部を阿賀川と呼び分けている。阿賀川は、流域面積 6,050km²、

幹川流路延長 123km を有し、流域面積では阿賀野川水系の約 8 割を占めている。阿賀川流域は、山間部や急流が多く、流域の約 9 割が山地である特徴を有する。阿賀川では、その流域特性・河道特性から偏流問題が生じやすく、偏流対策が治水上の課題となっている。同時に、直轄区間 0～14km までの区間では流下能力が不足し、その一要因として樹林化による流下能力阻害がある。河川管理の実務においては、阿賀川樹林群管理計画が策定される等、樹林管理の要請が高い。

本研究では、阿賀川直轄区間 14～16km の宮古地区を対象とした。宮古地区の下流端に流入する宮川は、古くから氾濫が頻発し、宮古地区周辺での流下能力の確保は治水上重要な課題である。樹林管理による流下能力確保の検討がされる可能性が高い区間といえる。宮古地区の平均川幅は、約 350m、河床勾配は、1/300 程度である (図 - 4.1)。

4.3 五ヶ瀬川水系北川の野地区の被災事例と高水敷掘削・樹林管理方法を変えた場合の流況シミュレーション

(1) 再現計算

調査区間における出水時の流況を算定するため、平面流況解析を行った。平面流況解析は、土木学会水理公式集のプログラム²⁰⁾を、筆者らの研究を通して改良した平面流況プログラムを用いた。平面流況計算に必要な河道地形、粗度及び上流端流量を得るために、河川横断測量データ、空中写真、水位・流量観測所データを収集し、以下の解析を行った。河道地形データは、再現計算に使用する流量の発生時期に最も近い時期の横断データとした。横断測量結果を 20m グリッドの内挿計算を行い、河道内地形を推定・検証し、計算に用いた。粗度は、植物の効果をとり込むため、空中写真を判読・分類し、樹木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²¹⁾。計算格子は 6×6m とした。

流量は、調査区間における主要な出水を再現する目的で 2004 年 9 月の出水の流況を入力データとして再現計算を行った。

(2) 樹林管理による下流への影響シミュレーション

的野地区では、激特事業前、平水も出水も右岸沿いを大きく蛇行し流れていた。しかし、激特事業時の樹林伐採・河道掘削に伴い平水及び出水ともに流れが変化し、河道掘削区域を流れが流下するようになった。それに伴い、流路変更が生じるようになり的野地区下流の護岸に出水時の流れが生じるようになった。樹林伐採と河道掘削に伴う流路変更が、上述の護岸被災の

一要因になったとも考えられる。

そのため、本研究では、河道掘削完了前で一部河川地形と樹林生育域が残存した状態を計算条件に反映し、流況計算を行い、再現計算と影響シミュレーションを比較して、被災が生じたエリアの流速低減率を検証した。

4.4 阿賀野川水系阿賀川 14～16Km の事例と高水敷掘削・樹林管理方法を変えた場合の流況シミュレーション

(1) 再現計算

調査区間における出水時の流況を算定するため、平面流況解析は、北川における再現計算と同様の方法を用いて行った。流量は、調査区間における主要な出水を再現する目的で 2007 年 9 月の出水の流況を入力データとして再現計算を行った。

(2) 樹林管理による下流への影響シミュレーション

宮古地区では、樹林に対応する粗度 (0.04 以上) を砂礫地に対応する粗度 (0.04 未満) に置き換えて平面流況計算を行い、再現計算と影響シミュレーションを比較して、宮古地区全域の流速、水深の変化を比較した (図 - 4.2)。

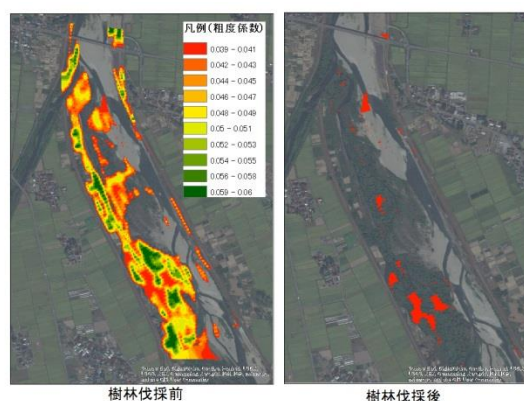


図-4.2 宮古地区における粗度分布の変更

4.5 的野地区における樹林分布を変更した場合の流況シミュレーション結果

図-4.3 に的野地区の護岸被災部における樹林伐採前の計算ケースと樹林を一部伐採した計算ケース流速の変化を示す。流量増加時には護岸被災部の流速が低減し、ピーク流量時には約 1m/s の流速が低減した。流量減少時には、急激に流速差が減少した。樹林の一部を残存させることにより流量増加時の急激な変化を緩和することが示唆された。

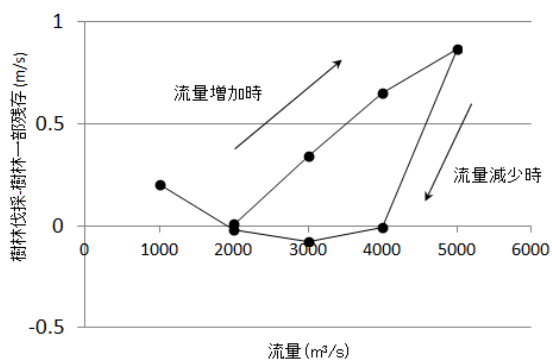


図-4.3 的野地区護岸被災部における流速の計算結果

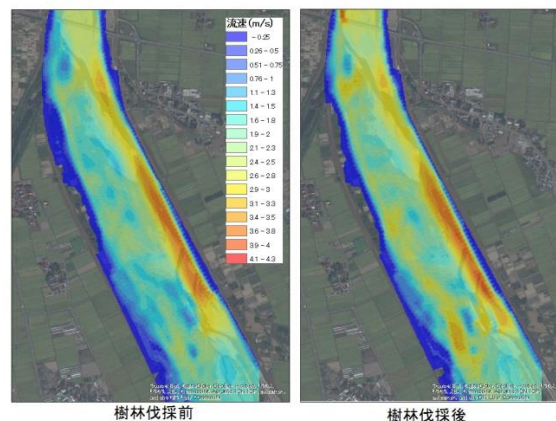


図-4.5 宮古地区全域における流速分布の平面図

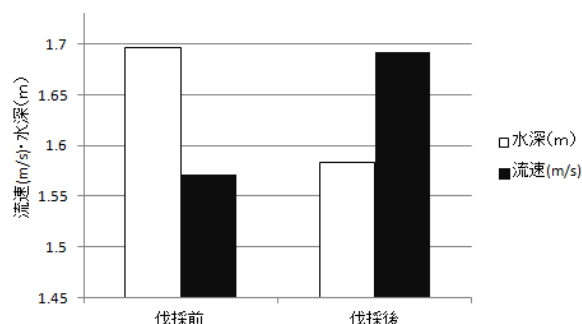


図-4.4 宮古地区における粗度分布の変更

4.6 宮古地区における樹林分布を変更した場合の流況シミュレーション結果

図-4.4 に宮古地区全域における平均流速・平均水深の伐採前後の変化を示す。伐採前後で、水深は0.15m程度減少し、流速は0.15m/s上昇した。

図-4.5 に宮古地区全域における流速分布の伐採前後の変化の平面図を示す。伐採前は左岸側高水敷上に明瞭な流路がなかったのに対し、伐採後は左岸高水敷に明瞭な水路が形成された。また、伐採前には右岸堤防付近に形成された高流速域（流速3.6m/s以上）が拡大し、4m/s以上の高流速域が形成された。

4.7 両河川の比較から見た樹木伐採による下流河川等への影響及ぼす可能性のある河道特性の考察

的野地区と宮古地区においては、樹林伐採前後の流況変化が異なった。

的野地区においては、計算上、樹林を配置したことにより護岸破壊部の流速が低減した。これは、樹林の配置により出水時の流線が変化し、右岸側の河岸に沿った流れが形成され、護岸破壊箇所の前部で流れが剥離し、護岸での流速の低減が生じたためと考えられ

る。的野地区のような、河床勾配が緩い湾曲河道の場合、樹林伐採の影響は、流向に大きな影響を与えることが示唆される結果となった。

次に、宮古地区においては、計算上樹林を伐採した設定により、出水時の流路が分岐点、水域面積が増加した。それに伴い水面勾配が増加し、区間全体の流速が上昇したと考えられる。

この現象を明瞭に示しているのが、出水時の流路の分岐点である。樹林伐採後は、流路の分岐点が明瞭になり、分岐点が上流側へ移動し、その周辺部の流速、護岸への流入部の流速が増加していることがわかる。この結果は、セグメント1の河川は、樹林伐採により水域面積を増やすことにより水深が減少し、その結果として、河床勾配が増加し、流速を増加させたと考えることができる。流下能力の維持・増加のための単純な樹木伐採は、水面勾配と流速の増加を促す可能性を有していることを示す。

的野地区及び宮古地区の結果は、樹林伐採による樹木管理は、流況に与える影響が大きいため、慎重な対応が必要であることを示す。iRIC等の普及により実務でも平面流況解析が可能となっている現在、本章で行ったような解析を行い、慎重に伐採計画を行う必要性があると考えられる。

5. 河川樹林管理の技術提案

5.1 萌芽再生抑制方法の適用による河道内樹木管理費用の低減効果

限られた予算内で河川の維持管理を効率的に行うためには、効果に加え実施に必要な費用も重要な判断材料である。しかしながら、費用面については十分な検討がなされていない。

伐採のみによる樹木管理に萌芽再生抑制方法を追

加して実施する場合、追加費用が必要となる。一方で、伐採効果を持続させ再繁茂・再樹林化までの期間を長くすることにより、将来的な樹木管理の頻度を減らすことができる。このため、萌芽再生抑制方法を選択するには、初回の対策に必要な初期費用だけでなく、一定の維持管理期間中に必要な総費用（以下「トータルコスト」という）を考慮する必要がある。

このようは背景から、本項では樹木管理におけるトータルコストを定義し、萌芽再生抑制方法の適用によるトータルコストの変化を試算し、萌芽再生抑制方法の河川管理の現場への適用に向けての考察を行った。

5.2 ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類の萌芽再生特性と抑制技術の概要

ヤナギ類は、伐採のみを実施した場合、伐採後の株（以下「伐採株」という）や現場に残される枝からの萌芽再生により2~3年程度で高木（4m）まで成長する¹¹⁾。環状剥皮や樹皮剥皮、覆土を実施すると、伐採株からの萌芽再生を抑制できることが確認されている。このうち、環状剥皮は、伐採株からの萌芽数を約1/3に抑制し、枝からの萌芽再生にも抑制効果がある⁴⁾。伐採後に除根まで実施した場合、現場に残される枝からの萌芽再生がある。枝からの萌芽が高木（4m）まで成長する期間は、伐採株からの萌芽と比べ約6ヶ月長くなる¹¹⁾

ハリエンジュは、伐採のみを実施した場合、伐採株や水平根からの萌芽再生により3年程度で高木（4m）まで成長する¹¹⁾。初回の伐採後、定期伐採として年2~3回の伐採を5年間繰り返した箇所では、ハリエンジュの根絶には至らないものの、成長量及び植被率が大幅に減少したという事例がある¹³⁾。伐採後に除根まで実施した場合、現場に残される根からの萌芽再生がある。除根まで行くと、伐採株からの萌芽再生がないため、伐採のみの場合に比べ単位面積あたりの萌芽の総数は抑制されるが、伐採・除根実施前より生育密度は高くなる。取り残された根からの萌芽が高木（4m）まで成長する期間は、伐採株からの萌芽と比べ約6ヶ月長くなる¹¹⁾。

タケ・ササ類は、伐採のみを実施した場合、地下茎からの萌芽再生により、2年程度で未管理箇所と同程度の稈長^{かんちよう}まで成長する¹⁾。初回の伐採後、定期伐採として年1回の伐採を繰り返すと、経年で生育密度は低くなり、3年間の継続伐採で根絶に至った事例がある²³⁾、²⁴⁾。伐採後に除根まで実施した場合、現場に残される根（地下茎）からの萌芽再生があるが、稈長の抑制効果があり、除根後3年経過後も未管理箇所の1/3程度ま

でしか成長していない¹¹⁾。除根後に、取り残された地下茎を含む土壌ごと掘削除去する方法や、下層土と入れ替える方法（天地返し）を実施すると、萌芽再生を抑制できることが確認されている。

5.3 トータルコストの算出方法

伐採等の樹木管理に必要な費用としては、トータルコストを考慮する必要がある。トータルコストは次式で表すことができる。

$$C_T = \sum_{i=1}^T \frac{1}{(1+r)^{i-1}} \times c_i$$

ここに、 C_T ：維持管理期間中に必要な総費用（トータルコスト）、 c_i ： i 年目の対策に必要な費用、 T ：維持管理期間、 r ：社会的割引率である。 T は伐採等による維持管理が必要な期間であり、将来的に高水敷の掘削などの改修が予定されている箇所では T が短期間となるなど、対象箇所によって異なるものである（図-5.1）。

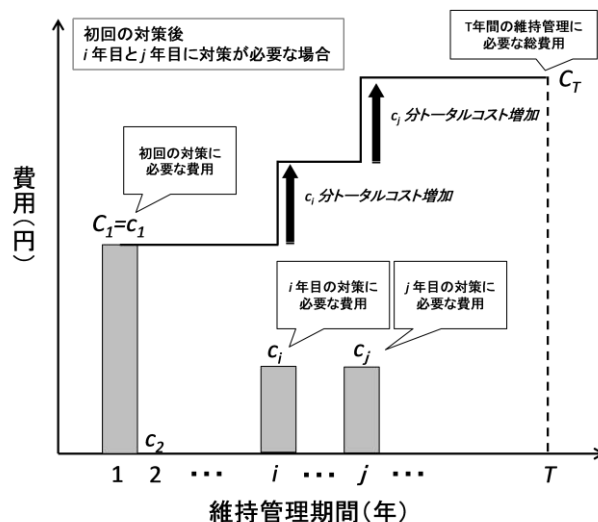


図-5.1 トータルコストのイメージ図

5.4 適用例

(1) 条件設定

河道内の樹木管理の現場で通常行われている方法（以下「方法①」という）と、対策に必要な費用は考慮せず萌芽再生抑制効果が高い方法（以下「方法②」という）及び萌芽再生抑制効果が得られつつ費用も抑制できると考えられる方法（以下「方法③」という）について、式(1)によりトータルコストを算出し、比較検討を行った。

なお、本研究では想定する適用できるものと仮定し、社会的割引率については考慮せず、 $r=0$ とした。

表-5.1 試算に用いた対策の費用及び伐採効果継続期間

対象樹種	事項	方法①	方法②	方法③	伐採効果継続期間 経過後の対策		
ヤナギ	方法	伐採のみ	伐採及び除根	環状剥皮及び伐採	伐採のみ		
	C_i	作業費 (百万円/10,000m ²)	0.9	1.9	1.3	0.9	
		処分費 (百万円/10,000m ²)	0.8	1.9	0.8	0.4	
	伐採効果継続期間	3年	6年	10年	(3年ごとに実施)		
ハリエンジュ	方法	伐採のみ	除根	定期伐採	伐採のみ		
	C_i	作業費 (百万円/10,000m ²)	0.9	1.9	初年度 0.9 次年度以降 0.4	0.9	
		処分費 (百万円/10,000m ²)	0.8	1.9	初年度 0.8 次年度以降 0.2	0.4	
	伐採効果継続期間	3年	4年	8年間の定期伐採 により根絶	(3年ごとに実施)		
タケ	方法	伐採のみ	伐採及び 除根	天地返し	定期伐採	伐採のみ	
	C_i	作業費 (百万円/10,000m ²)	1.3	2.3	19.9	初年度 1.3 次年度以降 0.4	1.3
		処分費(百万円/10,000m ²)	3.3	29.8	29.8	初年度 3.3 次年度以降 0.7	1.7
	伐採効果継続期間	3年	10年	継続	5年間の定期伐採 により根絶	(3年ごとに実施)	

ヤナギ、ハリエンジュ、タケを対象に、比較検討の対象となる方法を下記のとおり設定した。方法①～③の対策に必要な費用及び伐採効果継続期間は表-5.1に示すとおりである。

a) ヤナギ

方法①は伐採のみを実施する方法、方法②は伐採後に除根を実施する方法、方法③は環状剥皮後に伐採を実施する方法とした。

方法①では、萌芽再生により3年程度で高木になることから、伐採効果継続期間を3年とした。方法②では、枝からの再生があるが、伐採株からの萌芽に比べると高木まで成長する期間は長く、密度も抑制される¹¹⁾ことから、伐採効果継続期間を6年とした。方法③では、枝からの再生も抑制できるため、伐採効果継続期間を9年とした。なお、ヤナギ林の回復には種子漂着による実生からの繁茂も想定される。しかしながら、実生からの成長は5年間で2m程度であり²⁵⁾、早期の再繁茂の主要因は萌芽再生によるものと考えられるため、ここでは考慮していない。

b) ハリエンジュ

方法①は伐採のみを実施する方法、方法②は伐採後に除根を実施する方法、方法③は定期伐採を実施する方法とした。

方法①では、萌芽再生により3年程度で高木になるうえ、生育密度も高いことから、伐採効果継続期間を3年とした。方法②では、取り残された根からの再生

があるが、伐採株からの萌芽に比べると生育密度は低いいため、伐採効果継続期間を4年とした。方法③では、定期伐採は毎年実施とした。ただし、再生量は毎年低下していくことから²⁷⁾、8年間継続して定期伐採を実施することにより、再生をほぼ抑制（根絶）できるものと仮定した。なお、ハリエンジュ林の回復には種子漂着や埋土種子による実生からの繁茂も想定される。しかしながら、実生からの成長は年平均15～30cmであり²⁶⁾、早期の再繁茂の主要因は萌芽再生によるものと考えられるため、ここでは考慮していない。

c) タケ

方法①は、伐採のみを実施する方法（①-1）と伐採後に除根を実施する方法（①-2）とした。方法②は、除根後に現場に残される根（地下茎）が含まれる上層土と下層土を入れ替える方法（天地返し）、方法③は定期伐採を実施する方法とした。

方法①-1では、萌芽再生により2年程度で高木になるため、伐採効果継続期間を3年とした。方法①-2では、取り残された地下茎からの再生があるが、成長速度は遅く、伐採のみの場合に比べると生育密度は低い¹⁹⁾ことから、伐採効果継続期間を10年とした。方法②では、取り残された地下茎も含めた抜本的な対策であるため、維持管理期間中、伐採効果は継続するものとした。方法③では、定期伐採は毎年実施とした。3年間継続した定期伐採で根絶に至った事例²³⁾、²⁴⁾もあるが、3年経過後もまばらな生育が確認できる事例²⁷⁾もあ

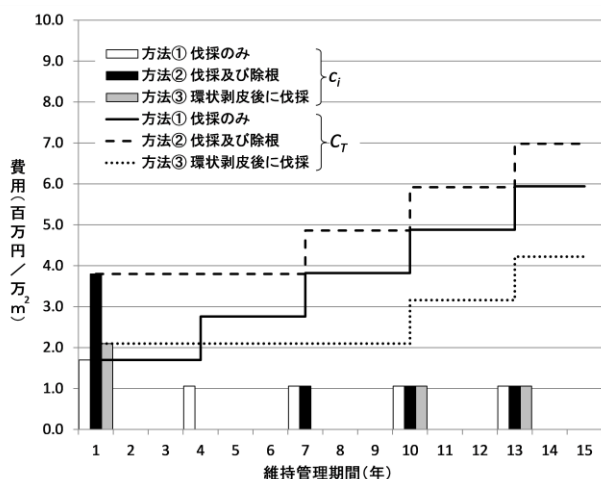


図-5.2 ヤナギに関するトータルコストの経年変化

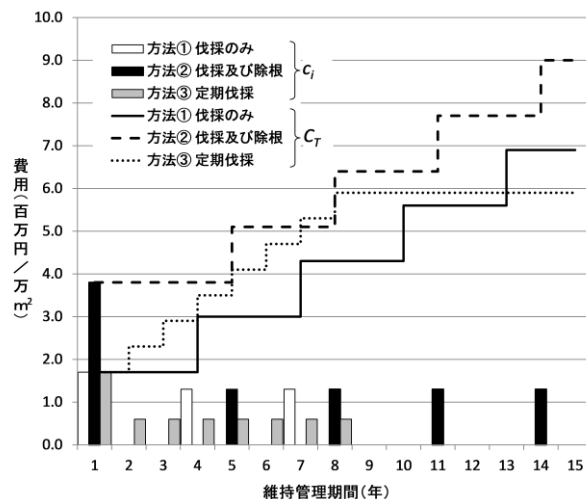


図-5.3 ハリエングジュに関するトータルコストの経年変化

ることから、5年間継続して定期伐採を実施することにより、再生をほぼ抑制（根絶）できるものと仮定した。

(2) 結果

a) ヤナギ

方法①は、初期費用 c_1 が最も小さく、維持管理期間4年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法②は、 c_1 が最も大きく、7年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法③は、方法①に比べ c_1 は大きく、10年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法①と方法③のトータルコストは、維持管理期間4年目に大小が入れ替わり、4年目以降のトータルコストは方法③が最小となった（図-5.2）。

b) ハリエングジュ

方法①は、初期費用 c_1 が最も小さく、維持管理期間4年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法②は、 c_1 が最も大きく、5年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法③は、 c_1 が方法①と同じであり、8年目まではトータルコストは毎年増加し、9年目以降は変化しない。方法①と方法③のトータルコストは、維持管理期間13年目に大小が入れ替わり、13年目以降のトータルコストは方法③が最小となった（図-5.3）。

c) タケ

方法①-1は、初期費用 c_1 が最も小さく、維持管理期間4年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法①-2は、 c_1 が方法①-1より大きく、11年目から3年ごとにトータルコストが増加した。方法②は、 c_1 が最も大きく、維持管理期間中はトータルコストの増加はない。方法③は、 c_1 が方法①-1と同じであり、5年目まではトータルコストは毎年増加し、6年目以降は変

化しない。方法①-1と方法③のトータルコストは、維持管理期間7年目に大小が入れ替わり、7年目以降のトータルコストは方法③が最小となった（図-5.4）。

(3) 考察

樹木管理における萌芽再生方法の適用について、トータルコストを考慮して検討を行った結果、一定の維持管理期間がある場合、初期費用が大きくなっても萌芽再生抑制方法を追加実施する方がトータルコストを小さくできることが示唆された。維持管理期間は対象箇所によって異なるものであるが、維持管理期間に応じた方法を選択することで、伐採効果を持続しながらトータルコストを縮減することが可能となる。また、樹種によって生育特性が異なることから、同一の維持管理期間であっても、トータルコストを最小にする方法は樹種によって異なる可能性があるため、樹種に応

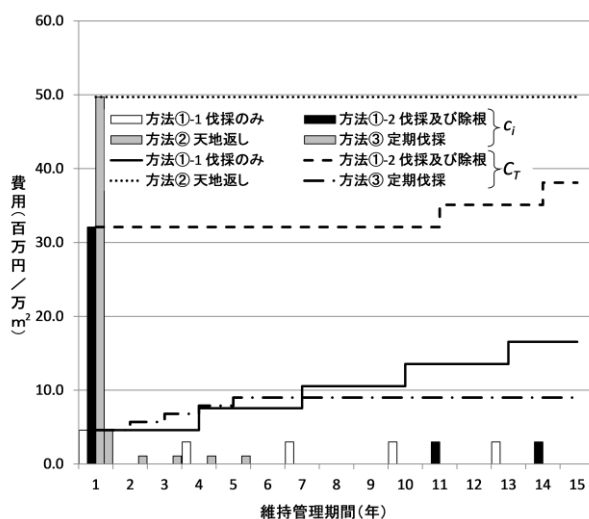


図-5.4 タケに関するトータルコストの経年変化

じた方法を選択する必要がある。さらに、4. 適用例で示した3樹種に対する伐採後に除根を実施する方法やタケに対する天地返しのように、萌芽再生抑制効果が高い方法であっても初期費用が大きくなり過ぎる場合、トータルコストを考慮すると選択されないことが分かった。

樹木管理の費用を低減するためには、トータルコストを精度よく算出し、最適な萌芽再生抑制方法を選択し実施採用する必要がある。トータルコストの算出にあたっては、伐採効果継続期間など樹木管理の実施時期の設定が重要である。しかしながら、現時点では、伐採効果継続期間の設定の基となる萌芽再生抑制方法適用後の生育密度や生物量について調査した事例が十分ではない。また、実績を基に設定している表5.1からも明らかのように、対策に必要な費用 (c_i) に占める処分費の割合は大きい。本来、作業量や処分量は、対象とする河道内樹木の生育密度や生物量によって大きく変動する。処分費を含む対策の実施費用を精度よく見積もるためには、生物量の推定が重要となる。本研究における4. 適用例は試算であるため、さまざまな仮定に基づいて検討を行っている。こうした仮定の妥当性については、河道内の樹木の生育状況に

関する調査や萌芽再生抑制方法の適用事例を積み重ねることで評価し、計画段階におけるトータルコスト算出の精度を上げていく必要がある。

6. 河川樹林管理の技術提案

3章では、樹林化で問題となるヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類の管理方法として、伐採に加え様々な樹林化抑制方法を検討した。その結果、以下のことを明らかにした。

ヤナギ類に関しては、環状剥被が再萌芽抑制効果、トータルコストの両面で極めて有効であった。環状剥被によりヤナギ類を立ち枯れさせ、その後、伐採することにより、ヤナギ類群落の再樹林化を抑制することが可能となると考えられ、全国の河川で問題となるヤナギ類による樹林化の問題に大きな技術的進展があったと考えられる。しかし、環状剥被による方法には課題も残る。環状剥被は、環状剥被による立ち枯れ後、枯れ木が河道内に残存し景観の悪化を生じさせると同時に、枯れ木の流出による流木の増加も懸念される。今後は、環状剥被による方法を応用し、より効果的・効率的な手法へと発展させていく必要がある。

ハリエンジュに関しては、環状剥被により再萌芽に

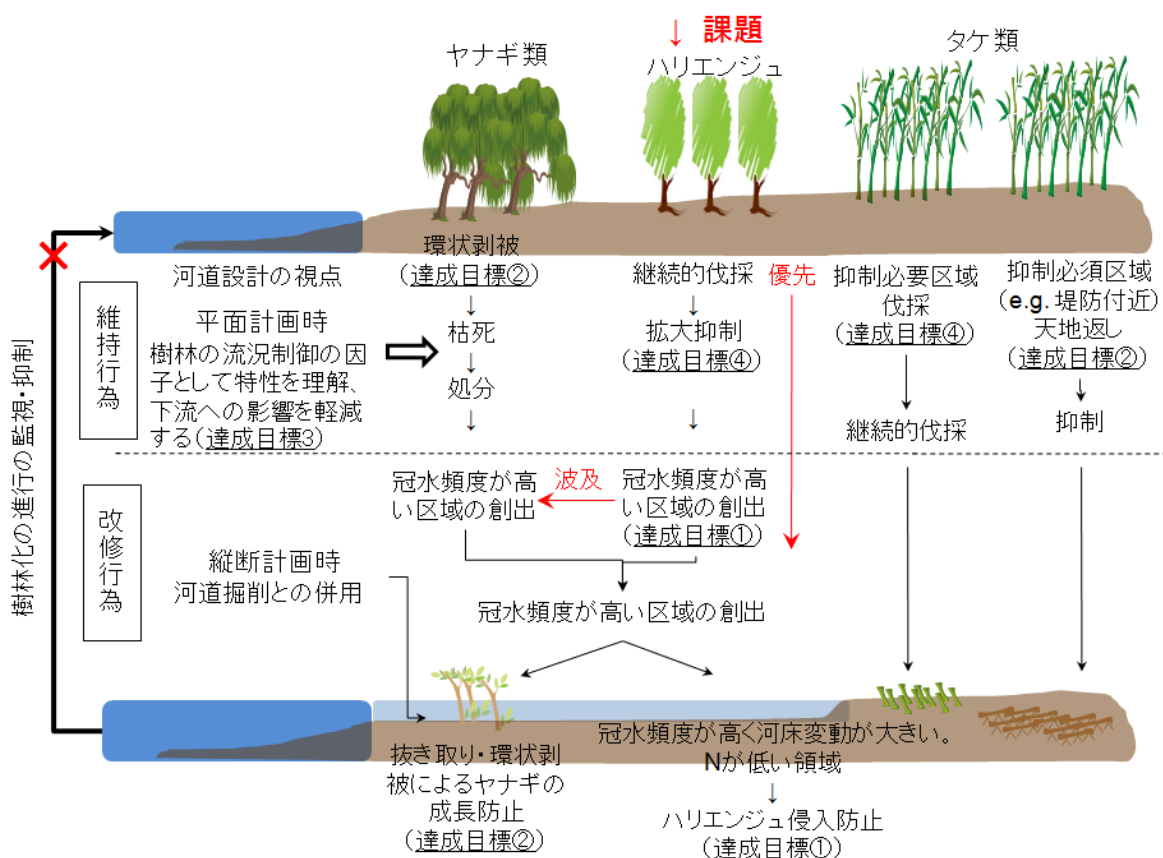


図-6.1 河川樹林管理の技術提案

関し一定の抑制効果は確認されたが完全抑制にはい
たらなかった。トータルコストの面では、継続的伐採
が優れており、継続的な伐採による樹林管理が妥当な
選択と考えられる。しかし、より維持行為の回数が少
なくトータルコストを抑制するには、再萌芽抑制を検
討する余地もある。今後は、一定の再萌芽抑制効果が
認められた環状剥被方法を改良し、ハリエンジュの再
萌芽抑制へとつなげていく必要がある。

タケ類に関しては、天地返しに再萌芽抑制に極めて
高い効果があり、効果は持続性が高い点を明らかにし
た。しかし、天地返しは、トータルコストが高い点が
問題点であることを明らかにした。また、継続的伐採
は継続的に維持行為を行う必要があるが、トータルコ
ストは天地返しよりも少なく、維持管理費用の面で妥
当な選択と考えられる。これらの特性から考察すると、
タケ類の根茎による堤防の損傷や流下能力上重要な
地点には、高コストであるが高い再萌芽抑制効果のあ
る天地返しを用い、前述の箇所よりも維持行為上の重
要性が下がる地点では、継続的伐採を選択することが
妥当と考えられる。

以上の結果をまとめると、ヤナギ類、タケ類の樹林
管理方法に関しては一定の成果と技術的方向性を見
いだせた。しかし、ハリエンジュに関しては、継続的
伐採という従来の維持行為からの進展がなく抜本的
な対策は見出せていない。

しかし、2章の結果が、ハリエンジュの管理方法に
ついて、一つの方向性を示している。2章の成果から、
ハリエンジュは、河床変動量が少ない陸域（河床が安
定化した陸域）に侵入した後、その高い窒素同化能力
（空気中の窒素の同化、混粒菌等との相利共生）によ
り、著しく成長する。成長後は、ハリエンジュの生育
により土壌を安定させ、出水による攪乱時の河床変動
も抑制する。これに加えて、ハリエンジュの落葉等の
経路でその根元へリターを供給し、ハリエンジュ生育
域の土壌窒素含有量を増加させ、成長を加速させる。
すなわち、一度、ハリエンジュ類の侵入を許すと、ハ
リエンジュは、物理環境、化学的環境の両面で、自己
の生育に適した環境へ環境を変質させていく。ハリエ
ンジュの抑制には、ハリエンジュが侵入しない環境づ
くりが鍵となる。

2章の結果は、ハリエンジュの侵入を抑制するには、
「河床の不安定」と「低窒素濃度」が重要な条件であ
ることを指摘している。この条件の実現のためには、
洪水時による攪乱が必要となる。

近年の河川改修では、流下能力確保、自然再生の目
的から、河道掘削（河川高水敷掘削）が行われ、冠水
頻度が高い河道を創出する取り組みがなされている。

樹林管理は維持行為として行われることが多いが、河
川改修の取り組みと維持行為が同調して行われ、河道
掘削によりハリエンジュが侵入しにくい河道づくり
を行う必要がある。

また、この河川改修との併用による樹林管理方法は、
ヤナギ類の抑制にも効果がある。ヤナギ類は、一般的
にハリエンジュよりも湿潤な水辺で生育することが
多い。このため、ヤナギ類とハリエンジュ類が同区域
に生育する樹林管理の場合には、ハリエンジュ区域ま
で河道掘削をし、その後、侵入したヤナギ類・ハリエ
ンジュの抑制を行うことは、有効な樹林管理手法と考
えられる。

本研究課題では、樹林管理方法の高度化を目指し、
様々な樹林管理の効果を試験的に検証した。今後は、
実務での樹林管理規模を想定した樹林管理の実証実
験を行うと同時に、トータルコスト計画・管理を実務
的と協調して行っていく必要がある。本研究を発展的
に継続し、より効果的・効率的な樹林管理方法へと発
展させていく必要がある。

参考文献

- 1) 玉井信行：河川計画論、東京大学出版会、2004。
- 2) 藤田光一、李参熙、渡辺敏、塚原隆夫、山本晃一、望月達也：扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション、土木学会論文集、No. 747 II-65、pp. 41-60、2003。
- 3) 大石哲也、萱場祐一、天野邦彦：全国7河川の河道特性及び地殻の長期変動の実態とその関連性、河川技術論文集、第11巻、pp. 357-362、2005。
- 4) 末次忠司：河川技術ハンドブック、鹿島出版会、2010。
- 5) 李参熙、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、第42巻、pp. 433-438、1998。
- 6) 藤田光一、渡辺敏、李参熙、塚原隆夫：礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集、第4巻、pp. 117-122、1998。
- 7) 藤田光一、李参熙、渡辺敏、塚原隆夫、山本晃一、望月達也：扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション、土木学会論文集、No. 747、pp. 41-60、2003。
- 8) 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、遷移及び群落拡大の特性-多摩川と千曲川の礫河原を対象として-、国土技術政策総合研究所資料、第161号、2004。
- 9) 楯慎一郎、小林稔：物理環境からみた全国河川の状況、リバーフロント研究所報告、第19号、pp. 87-95、2008。

- 10) 萱場祐一・槇島みどり・中西哲・赤松史一・田屋祐樹：河道内樹木の萌芽再生抑制方法事例集。土木研究所資料第 4253 号。2013。
- 11) 佐貫方城，大石哲也，三輪準二：全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察，河川技術論文集，第 16 巻，pp. 241-246, 2010。
- 12) 財団法人リバーフロント整備センター編集：河川における樹木管理の手引き。1999。
- 13) 崎尾均（編）：ニセアカシアの生態学，文一総合出版，2009。
- 14) 内村悦三：タケ・ササ図鑑，創森社，pp.178-185, 2005。
- 15) 内村悦三：タケと竹を活かすータケの生態・管理と竹の利用ー，社団法人全国林業改良普及協会，2005。
- 16) 山田健四，真坂一彦：伐採時期の異なるニセアカシアの萌芽枝の動態，日本森林学会誌，第 91 巻第 1 号，pp.42-45, 2009。
- 17) 上田弘一郎，有用竹と筍ー栽培の新技術ー，博友社，1963。
- 18) 大石哲也，萱場祐一，天野邦彦：全国 7 河川の河道特性及び地被の長期変動の実態とその関連性，河川技術論文集，第 11 巻，pp.357-362, 2005。
- 19) 田屋祐樹，増本みどり，赤松史一，矢島良紀，佐貫方城，中西哲，三輪準二：河道内樹林における萌芽再生抑制方法の検討，河川技術論文集，第 18 巻，pp.59-64, 2012。
- 20) 田屋祐樹，増本みどり，赤松史一，中西哲，三輪準二，萱場祐一：河道内樹林の効率的な管理に向けた伐採後の萌芽再生抑制方法の効果，河川技術論文集，第 19 巻，pp.459-464, 2013。
- 21) 土木学会水理委員会編：水理公式集 [平成 11 年度版]，pp.89, 2002 年。
- 22) 傳田正利・萱場祐一：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，土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69, No.4, I_1333-I_1338, 2013。
- 23) 近藤晃，加藤徹，伊藤愛：静岡県南伊豆におけるモウソウチク林の皆伐による広葉樹林化ー持続的に再生竹が刈り取られた林分の事例ー，第 60 回日本生態学会全国大会講演要旨集，日本生態学会大会企画委員会，pp.275, 2013。
- 24) 鹿児島県林務水産部林業振興課：タケ侵入防止の手引き，2005。
- 25) 伊木千絵美，矢部浩規，中津川誠：河川の水理条件による河道内樹木の稚樹定着抑制，河川技術論文集，第 11 巻，pp.505-510, 2005。
- 26) 池谷奉文：多摩川河川敷におけるニセアカシアの分布拡大と生育環境に関する調査研究，財団法人とうきゅう環境浄化財団，2002。
- 27) 独立行政法人土木研究所：河道内樹木の萌芽再生抑制方法事例集，土木研究所資料第 4253 号，2013

MANAGEMENT OF RIPARIAN TREES IN CONSIDERATION OF RIVER ECOSYSTEMS AND FLOW REGIME

Budgeted : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2010-2013

Research Team : Water Environment Research Group(River Restoration)

Author : KAYABA Yuichi
DENDA Masatoshi
NAKANISHI Satoru
KATAGIRI Kouji
TAGASHIRA Naoki

Abstract : On view points of river ecosystems and flow conditions, this study researched woods management method of riparian forests which is management issues in almost rivers in Japan. To propose effective and economic wood management methods, we settled four subject,(1): clarification of physical environment and chemical environment influencing wood growth and vegetation community formation, (2) elucidation of influencing of logging method difference on vegetation, (3) clarification influence of current velocity distribution change on around area, (4) proposing of management method of wood. In subject (1),river bed stability and substrate nitrogen influence on growth of black locust and formation of black locust community. In subject (2), we studied control method of reproductions of willows, and clarified the ring-barking is effective to control the reproduction. In the subject (3), change of 2D distribution riparian forest influenced current velocity distribution in segment 1 of straight river, influenced the current vectors in segment 2 of meander rivers. In subject (4), we evaluated the management methods in view point of total cost, we clarified that ring-barking is effective and economy for management of willows, continuous logging was effective and economy for the management of black locust.

Key words : riparian trees, vegetative reproduction, logging operation, ring-barking, total cost