

河道掘削箇所におけるヤナギ類の過剰な繁茂 に関する要因分析と抑制方策について

池田 茂¹・片桐 浩司²・大石 哲也³・對馬 育夫⁴・萱場 祐一⁵

¹正会員 前土木研究所 水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

E-mail: ikeda1818shigeru1@yahoo.co.jp

²非会員 前土木研究所 河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

E-mail: k-kata0827@nifty.com

³正会員 土木研究所 自然共生研究センター (〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町無番地)

E-mail: ooishi@pwri.go.jp

⁴正会員 土木研究所水質チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

E-mail: i-tsushima@pwri.go.jp

⁵正会員 土木研究所 河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

E-mail: y-kayaba@pwri.go.jp

全国の数多くの河川で、ヤナギ類などが過剰に繁茂した樹林化が進行している。樹林化は、流下能力の低下など治水上及び生物多様性への悪影響や良好な景観へ障害を与えるなど環境上も課題となっている。本研究では、河道掘削を実施した木曾川水系揖斐川を対象として、河道掘削後の概ね10年間に着目し、ヤナギ類が掘削箇所へ侵入し、生長した過程を流況・植生等資料解析、現地調査から考察した。個体の樹形、個体群の樹幹の疎密や分布域等からヤナギ類が過剰に繁茂した状態の特徴を把握し、上流区間のヤナギ類の分布状況、種子を運ぶ河川の流況、掘削箇所の状態等がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至らず関係要因であることを明らかにした。関係要因を踏まえ、プロジェクトサイクルに即して過剰な繁茂を抑制する方策を提案した。

Key Words : river channel excavation, river management, *Salix species*, excessive growth, succession

1. はじめに

河道内の植生管理については、様々な種類の植物の定着・繁殖、地形と植生域との関連性に関して数多く検討がなされてきた¹⁾。近年、全国の数多くの河川で、河道内にヤナギ類などが過剰に繁茂した樹林化や外来種の侵入が進行している。樹林化は、河積の減少による洪水時の流下能力の低下、流木化した樹木による河川横断工作物の破壊など治水上課題となるばかりでなく、礫河原の減少、河道内の陸域の占有による生物多様性への悪影響、良好な景観の障害など環境上の課題にもなっている。

このような中、数多くの直轄河川では流下能力の確保のため、河川環境に配慮した河道掘削が行われている。また、礫河原など特徴的な河川環境を再生・保全するため、様々な掘削高や形状で河道掘削が行われている。河道掘削後、しばらくの間、裸地や礫河原の状態であったものが、河床の変動を伴いながら時間の経過と共に植物

に被われていくことが多い。この中には、さらに時間が経過し洪水を受けながら数年すると、樹木の過剰な再繁茂が目立つ箇所や、草本と樹木が競合する箇所なども存在する。

佐貫ら²⁾は、河川水辺の国勢調査の植物調査の結果及び国土交通省河川管理者への樹木管理の実態に関するアンケート調査の結果から、生育面積が大きく河川維持管理の実務上も課題となっている樹種は、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ・ササ類であり、これら3樹種で河川維持管理対象全体の7割以上を占めること、特にヤナギ類は全国的に広く分布していることなどを示した。

河道掘削後、植物が掘削箇所へ侵入し、生長していく機構や、植物が過剰に繁茂した樹林化に関して、系統的な現象の解明は十分になされているとは言えない³⁾。内藤ら⁴⁾、大石・萱場⁵⁾などは、河道掘削後の掘削箇所を分析し、掘削高が異なる掘削箇所ではヤナギ類の再生を数多く確認した。池田ら^{10),11)}は、ヤナギ類の種子散布時期に

焦点をあて、河道掘削直後の掘削箇所の冠水がヤナギ類の再生に関係していること、並びに河道掘削後に上流区間からヤナギ類種子が流水散布により掘削箇所へ侵入する機構などを明らかにした。しかしながら、ヤナギ類が掘削箇所へ侵入し、その後生長し過剰に繁茂した状態へ至る関係要因や、過剰な繁茂を抑制する有効な方策については、十分に明らかにされていない。

そこで、本研究では、平成(以下、Hと略称する)13, 17, 18年度に濁水位～豊水位の様々な高さで高水敷を切り下げる河道掘削を実施し、掘削後にヤナギ類が再繁茂した木曾川水系揖斐川を対象とし、河道掘削後の概ね10年間で、上流区間に位置するヤナギ類が種子散布を行い掘削箇所へ侵入し、生長した過程について考察した。これより、ヤナギ類個体の樹形、及び個体群の樹幹の疎密、分布域や地表面積などから、ヤナギ類が過剰に繁茂した状態の特徴を把握した。この特徴をもとに、掘削箇所がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因を分析し、ヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策を提案した。

2. 本調査・解析の概要

(1) 調査地の概要とヤナギ類の特性

調査対象とした揖斐川は、幹川流路延長121km、流域面積1,840km²の一級河川である(図-1)。調査区間の河道特性として、掘削区間は上流に大きな流入支川がなく、堤間幅が400m程度、低水路幅が200m程度からなる河道が根尾川合流点付近から連続している。掘削区間は、河川距離標(以下、KPと略称する)32km～38kmに位置し、セグメント2-2に区分される。H13, 17, 18年度に高水敷を切り下げる河道掘削が行われた。高水敷の掘削高は、H1～11年の万石観測所の水位データから得られた濁水位、低水位、平水位、豊水位の平均値に基づき3地区それぞれで設定(図-1, 図-2)された。3地区の掘削完了工期は、共通して年度末3月であった。

H14年7月洪水では、KP40.6kmに位置する基準地点万石観測所において、昭和50年8月の観測史上最高に迫る水位を記録した。H13～24年の期間の万石観測所の年最大流量はH14年7月が最も大きかった(図-2)。

研究対象としたヤナギ類は、小型軽量で綿毛の種子を持つことで、風や流水(河川)を通じて種子を広域に散布させる特性を有する^{12),13)}。種子は水分の存在など好適な生育地に侵入すると素早く発芽し生長し、不定根の発根能力により冠水や土砂の堆積に対応し生き延びる^{12),13)}。反面、ヤナギ類の種子は短い寿命(2週間ほどは高い発芽率を有する)である^{12),13)}。ヤナギ類は、生長が早だけでなく樹齢2～3年で生殖を開始する¹²⁾。ヤナギ類の種子散布時期は、文献から得られた本州での種子散布の実

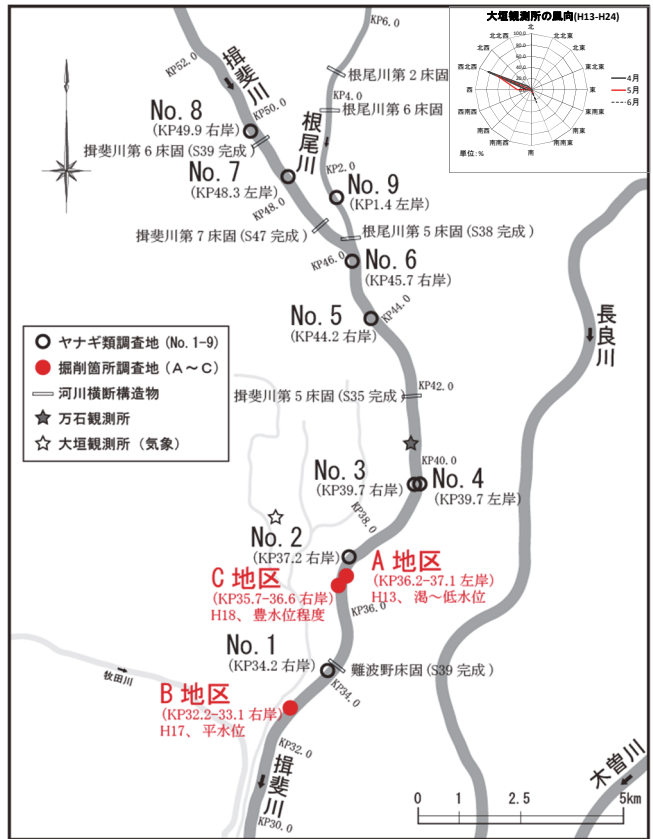


図-1 調査地位置図

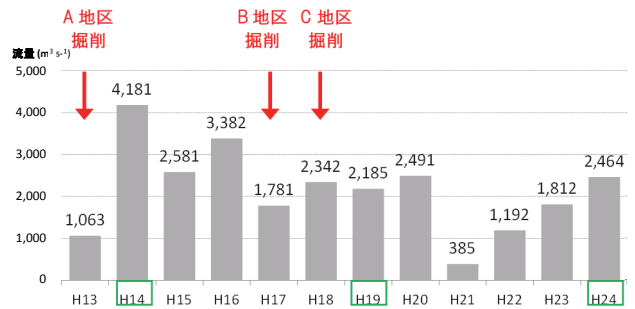


図-2 万石観測所の年最大流量と掘削・植生調査 (□は河川水辺の国勢調査による植生図を作成した年)X万石観測所の河道整備計画流量: 3,900m³/sec)

表-1 万石観測所の4～6月期の各年平均水位比較表 (H13～24年:T.P.m)

	4～6月期平均	4～6月期平均	
H13年	4.32	H19年	4.07
H14年	4.25	H20年	4.32
H15年	4.47	H21年	4.07
H16年	4.68	H22年	4.51
H17年	4.18	H23年	4.59
H18年	4.75	H24年	4.60

態¹²⁾を踏まえて4月1日から6月30日とした。

H13～24年の期間、調査地に近い大垣観測所において、ヤナギ類の種子散布時期である4～6月期に最も多かった風向は西北西であった。西を加えると4～6月期の月

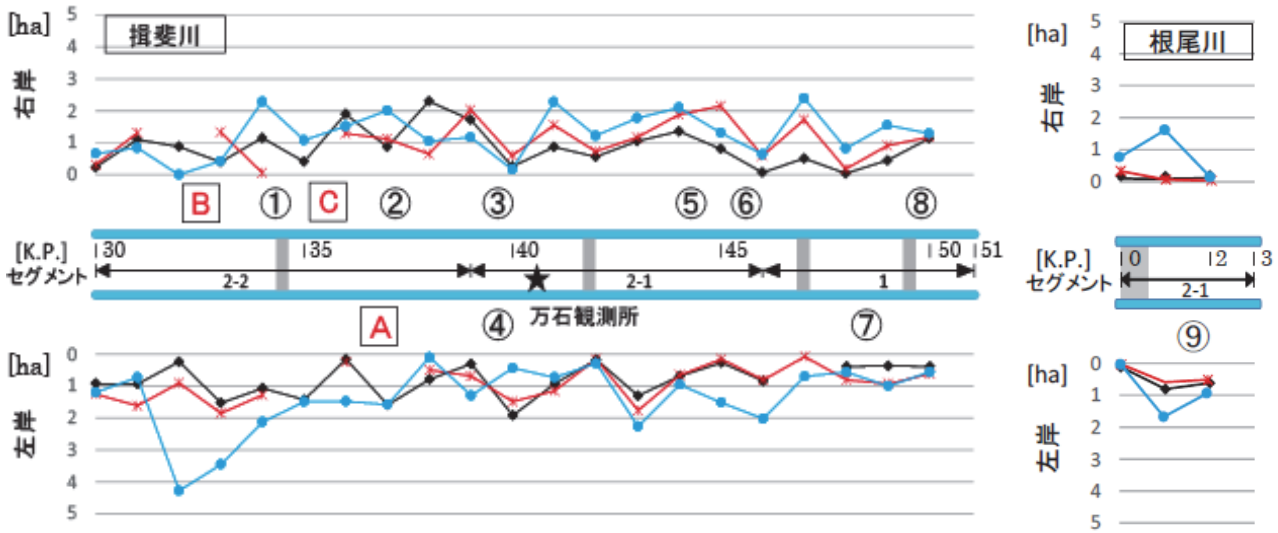


図-3 ヤナギ類高木林の地被面積の河川縦断分布状況
(折れ線：黒 H14, 赤 H19, 青 H24)

表-2 3地区と河道掘削後（ヤナギ類の侵入，生長過程）の発生洪水の状況

	I期 (H13-19年)		II期 (H18-24年)	
	掘削直後の種子散布時期	H13-19年	掘削直後の種子散布時期	H18-24年
A地区 (H13年掘削) 湯～低水位	H14年(水防団待機水位に達する)洪水なし	・H14年 はん濫危険水位に達する 大洪水あり ・H16年 避難判断水位に達する 大洪水あり	—	中小洪水の連続
B地区 (H17年掘削) 平水位	—	—	H18年(水防団待機水位に達する) 洪水あり	中小洪水の連続
C地区 (H18年掘削) 豊水位程度	—	—	H19年(水防団待機水位に達する)洪水なし	中小洪水の連続

別で 92, 92, 75%であり，調査地の揖斐川を右岸から左岸へ横断する風向が卓越した（図-1）．風上に相当する揖斐川右岸側の大垣市は，市街地と農地が混在しておりヤナギ類が繁茂していないことを確認している．このため，風による種子散布はヤナギ類の過剰な繁茂には大きく寄与しないと判断し，検討から除外した¹⁾．

(2) 資料解析（流況，植生，地形等）

資料解析には，河川整備計画や河川維持管理計画で広く活用されている水文水質データベース，河川水辺の国勢調査，定期縦横断測量，気象庁関係資料を用いた．

H13～24年の期間で，H18年の種子散布時期の平均水位が最も高かった（表-1）．H13, 17, 18年度の掘削完了直後の種子散布時期のうち，H18年4～6月期に水防団待機水位に達する洪水が発生した．H14年7月はん濫危

険水位に達する洪水と H16年10月避難判断水位に達する洪水が発生した．また，各年の年最大流量と河道整備計画流量 3,900m³/sec, H13～24年の期間の平均年最大流量 2,155m³/sec とを比較して，H14年7月と H16年10月を大洪水，これ以外を中小洪水とした（表-2）．

H14, 19, 24年の河川水辺の国勢調査の植生図と3地区の掘削範囲を重ね合わせて，植物群落別の地被面積及び掘削域全域に占める割合を算出し経年変化を把握した．また，3地区の河道掘削の実施年が異なること，掘削完了直後のヤナギ類の侵入過程（種子散布時期）とその後の生長過程で発生洪水の規模が3地区で異なること及び植生図の作成年を踏まえ，H13～19年，H18～24年の2時期に着目して，ヤナギ類の地被面積の時間的な変化から掘削箇所がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因を分析した．2時期を表-2に示した．

H14, 19, 24年の上流区間を含めたヤナギ類(ジャヤナギーアカメヤナギ群落)高木林の地被面積(左右岸別1km単位)の河川縦断分布状況を図-3に示した。これをもとに、種子の侵入時等河道掘削前のヤナギ類高木林の繁茂状況を把握した。

万石観測所のH13~24年4~6月期(種子散布時期)の時刻水位ハイドログラフとH1~11年の平均の濁水位、低水位、平水位、豊水位を比較して3地区での冠水日数・頻度、冠水深を推定した。また、低水路幅が200m程度からなる河道が連続している(図-1)ことなどの特性を踏まえ、万石観測所の流量を用いて、3地区の代表断面について冠水日数を試算した。

調査区間の河道特性(図-1)、万石観測所が上流区間と3地区との中間に位置することを勘案して、万石観測所の地点でマニング式を用いて河川の流速を算出し、この河川の流速からヤナギ類種子の掘削箇所への侵入時、種子が上流区間から3地区まで流下する速度を推測した。

H10, 14, 17, 20, 25年度の定期縦横断測量の結果を用いて、調査区間の河床勾配、河道掘削前後の状況変化、掘削範囲、河道掘削後の陸域の土砂の堆積形状、タマリなど水域の位置や形状を把握した。

(3) 現地調査(植生、地形、流水散布等)

ヤナギ類の3地区への侵入時期、ヤナギ類の繁茂状況、ヤナギ類が繁茂している箇所の陸域やタマリなど水域の地形を把握することを目的として、H26年9~12月とH27年4~5月、3地区と上流区間9地区の計12地区(図-1, 図-3)で現地調査を実施した。現地調査では、広く分布しているアカメヤナギ個体に着目して、個体の年輪・胸高直径・樹高と樹形、個体群の河川縦横断分布域の形状や樹幹の疎密等を把握した。アカメヤナギ個体の侵入年は、ヤナギ類の特性から年輪調査の結果をもとに判定して表-3に示した。これらの調査結果をもとに、年輪(樹齢)と胸高直径、樹高との相関分析を行った。また、3地区では、ヤナギ類の繁茂状況と合わせて林床部の植生について、方形区(10×10m²)を設定して調査し、個体の樹形や個体群の樹幹の疎密等ヤナギ類の繁茂状況と林床部の植生との関係性を把握した。

揖斐川では、高水敷を切り下げる河道掘削が計画的に実施されており、流況や掘削高などの条件の相違により比較するため3地区を選定した。また、調査は、掘削域の中央部に位置する測線上で行うこととし、A地区ではKP36.8km、B地区ではKP32.6km、C地区ではKP36.4kmを測線とした。方形区は、河川水辺の国勢調査で行われているブラウン-ブランケの方法を参考として、測線上にみられる各植生について構成される植物とその被度が典型的な箇所に設定した。上流区間では、ヤナギ類高木林の河川縦断分布状況(図-3)を勘案して、3地区から上

流へ揖斐川 KP50km、根尾川 KP2kmの間で河道掘削前から存在し繁殖可能な個体¹²⁾に焦点をあて調査した。ヤナギ類高木林の河川縦断分布状況、5箇所の床固等河川横断構造物の位置を勘案して、上流区間に9つの調査地点を選定した。これらの位置を図-1, 図-3に示した。

また、掘削箇所においては、冠水時に供給源となる上流区間から河川を経由して、ヤナギ類種子が侵入することが想定される¹³⁾¹⁵⁾。ヤナギ類の種子散布の状況、河川へ落下した種子の挙動と流下状況を把握することを目的として、H27年4~5月、万石観測所の水位が東京湾中等潮位(以下、TPと略称する)4.5m~5.0m(表-1)にある時期に、上流区間から掘削区間(図-1)にかけて目視による現地調査を実施した。

3. 結果と考察

(1) ヤナギ類の侵入、繁茂状況と林床部の植生

a) 種子(流水)散布の状況

散布されたヤナギ類種子が調査区間を流下していることは確認できた(写真-1)。しかし、それを追跡することはできなかった。また河川の流れが分断・滞留するなど連続性が阻害される区間はないことを確認している。

b) アカメヤナギ個体の掘削箇所への侵入

調査対象としたアカメヤナギ個体の年輪(樹齢)と胸高直径(相関係数(以下、 r と略称する) $r=0.93$)、年輪(樹齢)と樹高($r=0.88$)には、それぞれ有意な正の相関が認められた。この結果から、3地区で把握した胸高直径・樹高をもとにアカメヤナギ個体の侵入時期を推定した。A地区はKP36.8km測線の下流側にH14~16年、B地区は陸域全域にH18年、C地区はKP36.4km測線の上下流側にH19年に、それぞれ侵入した(表-3)と考えられるアカメヤナギ個体が優占しており、これらが本川流路と平行した方向に帯状に侵入していた。

また、3地区において個体数は少ないが、H20~22年に侵入したアカメヤナギ個体を確認した。A地区では、河道掘削後、本川流路側に向かって土砂が堆積し陸域が形成され、当該箇所へ侵入していること、B、C地区では、散在的に侵入していることをそれぞれ確認した。

c) ヤナギ類の繁茂状況(樹形・樹幹の疎密・分布域、地形)と林床部の植生

3地区は凹凸のある微地形が河川縦横断方向に連続する複雑な形状となっており、その中の凹部の一部にタマリを確認し湿潤な環境であった¹⁶⁾。ヤナギ類の繁茂状況と林床部の植生を図-4、構成種を表-4に示した。

A地区ではH14年7月とH16年10月の大洪水(図-2, 表-2)を経験したアカメヤナギ個体(H14~16侵入)の樹形は、幹が根元あるいは地中から分岐し根系を共有す

表-3 アカメヤナギ個体の侵入年とサンプル数 (n=64)

調査地	距離標 (km)	侵入年 (カッコ内の数字はサンプル数を示す)				サンプル 数
		~H10	H11~15	H16~20	H21~	
揖斐川 (上流区 間)	No.9	1.4*	H4(1), H7(1)		H16(1), H17(2)	5
	No.8	49.9	H6(1), H8(3)	H11(1)	H16(1) H21(1)	7
	No.7	48.3		H11(1), H15(1)	H16(1)	3
	No.6	45.7	H10(1)	H14(1)	H18(1)	3
	No.5	44.2		H14(1)	H20(2)	3
	No.4	39.7	H3(1),H4(1),H7(2)			4
	No.3	39.7	H8(2), H10(1)	H11(2)		5
	No.2	37.2	H6(2), H8(1)	H15(1)	H16(1)	5
	No.1	34.2	H9(1)	H11(1)	H18(1), H19(2)	5
小計		18	9	12	1	40
揖斐川 (掘削区 間)	A地区	36.8	H14(1), H15(2)	H16(3), H20(1)	H21(2), H22(1)	10
	B地区	32.6		H18(5), H20(1)	H21(1), H22(1)	8
	C地区	36.4		H19(3)	H21(1), H22(2)	6
小計			3	13	8	24
総サンプル数						64

* No.9は根尾川に設置. 距離標は根尾川のものを示す.

** 侵入年は年輪調査により判定.

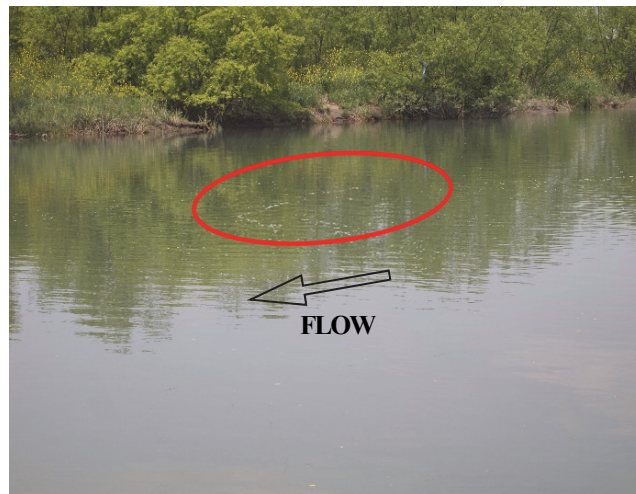


写真-1 調査区間を流下するヤナギ類種子(赤丸)(H27年4月撮影)

る叢生状¹⁷⁾の形状であった。叢生状のヤナギ類個体群の樹幹の疎密は疎(約10m縦横断間隔)であった(図-4)。この疎な箇所では地表面まで光が届き(図-4の写真), 草本類を含めて植物の種類が多様¹⁸⁾であった(表-4)。

中小洪水が続いたH18年以降(図-2, 表-2)にA, C地区へ侵入したアカメヤナギ個体の樹形は, 幹が分岐しない単幹状¹⁷⁾の形状が数多くみられた。C地区とA地区の本川側の一部には, ヤナギ類が高い密度で繁茂する箇所(個体群の樹幹の疎密が密な箇所)が存在した(図-4)。これらのヤナギ類個体群は陸域で河川縦横断方向に一様に分布していた。また, この密な箇所では, 草本

類を含めて植物の種類が少なく, ヤナギ類が優占していた(表-4)。

特にC地区は, KP36.4km測線の上下流側にヤナギ類個体群が広く帯状に分布していることから, 河積の減少による洪水時の流下能力の低下を招き, これが治水上, また植物の種類が少なく, 河川景観が一樣・単調であるという点で環境上, それぞれ問題であり, ヤナギ類が過剰に繁茂した状態と考えられる。

B地区のアカメヤナギ個体の樹形, ヤナギ類個体群の疎密や植物の種類は, C地区と同様であった。

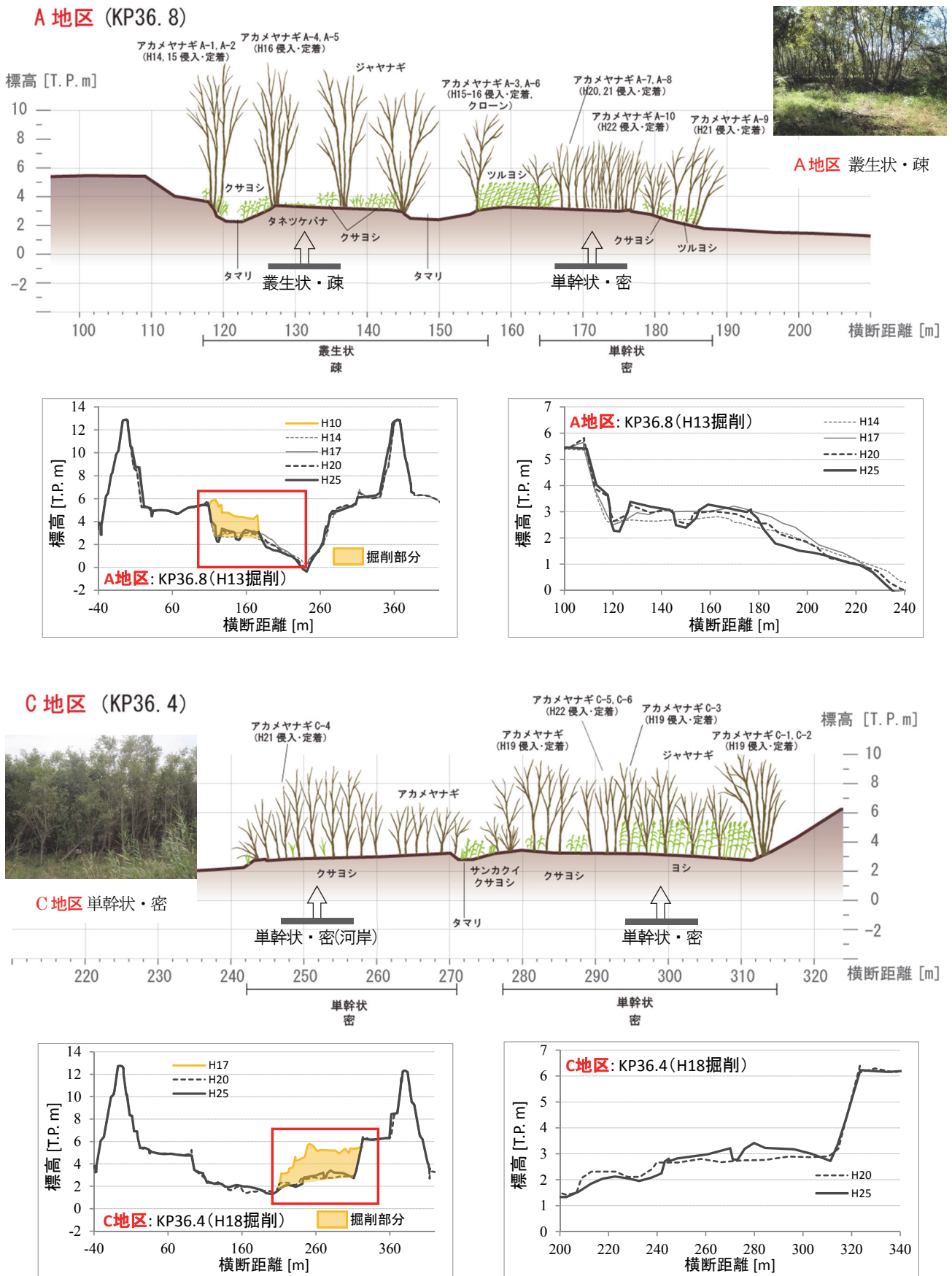


図4 ヤナギ類等の繁茂状況(樹形・樹幹の疎密・分布域, 地形)(上図, H26年10月調査・撮影)及び河川横断面図の変遷(下図, 左図:掘削前後の両岸図, 右図:掘削箇所の掘削後の拡大図)(※A,C地区の河川横断面図はH25年度測量。 ↑ は4方形区の地表面位置を示す。)

表4 林床部構成種の比較 (4方形区)

科名	和名	樹形および掘削地区			
		叢生状・疎 (A地区)	単幹状・密 (A地区)	単幹状・密 (C地区)	単幹状・密 (C地区・河岸)
トクサ科	スギナ		○		
ヤナギ科	アカメヤナギ	○			○
	タチヤナギ	○			
タデ科	ヤナギタデ	○			
	ミノソバ	○			
ナデシコ科	ウシハコベ	○			
ヒユ科	ヒカゲイノズチ	○			
アブラナ科	タネツケバナ	○			
	オオバタネツケバナ		○		
バラ科	ヘビイチゴ	○			
	ノイバラ	○			
セリ科	セントウソク	○			
アヤメ科	キショウブ	○			
イネ科	ヒメシボソ	○			
	ムカキビ	○			
	クサヨシ	◎			○
	ヨシ			◎	
カヤツリガサ科	カサスゲ	○			
	種数	15種	3種	1種	2種

※調査対象は群落高2m未満の草本層(木本類を含む)とした。表中の◎は、ブラウン-プランクの被度階級が2以上、○は1を示す。

(2) 侵入したヤナギ類の地被面積の時間的な変化と各要因との関係

a) H14-19年の地被面積と大洪水との関係(A地区)

H14年7月とH16年10月に大洪水が発生した(図-2, 表-2)。H13年度に河道掘削されたA地区では、H19年の掘削域全域に占める群落別の地被面積の割合は、木本群落(ヤナギ類)15%、1・2年生草本群落48%、湿性・水生植物群落12%、多年生草本群落7%となり、多様な植物群落を確認され、図-5に示した。

また、現地調査から、H14年7月の大洪水を経験した掘削域の掘削面に近い砂主体の堆積層(図-4の河川横断面図)の中から、枯死したヤナギ類を確認した¹⁰⁾。

一般に、洪水による表層堆積物の変化とそれに伴う水分条件の変化により、草本類をはじめとする群落の構成種は大きく変動する¹⁹⁾。A地区では、H14, 16年の大洪水により、植物の生育基盤である表土の破壊、土砂の移動と共に、種子や植物体の流出、土砂の堆積が複合的に発生したと考えられる。この結果、林床部の光条件や堆積物の厚さ・粒径について多様な条件が形成され、多様な草本類からなる群落が成立した¹⁹⁾²⁰⁾と考えられる。

b) H19-24年の地被面積と掘削箇所との状態, 中小洪水との関係(A, B, C地区)

A地区では、H19年の1・2年生草本群落の一部が、またB, C地区では、H19年の裸地・管理地の多くが、H24年にはヤナギ類の群落へと遷移した。H19-24年のヤナギ類の地被面積の変化率に着目すると、B地区で41倍(2→82%)、C地区で18倍(2→36%)に増加し、A地区の3.4倍(15→51%)と比較して大きかった(図-5)。

A地区では、河道掘削後の6年間で1・2年生草本群落を主体とする多様な植物群落が成立し、その後、H19-24年にかけて、掘削域が植被に覆われた状態で植生が遷移

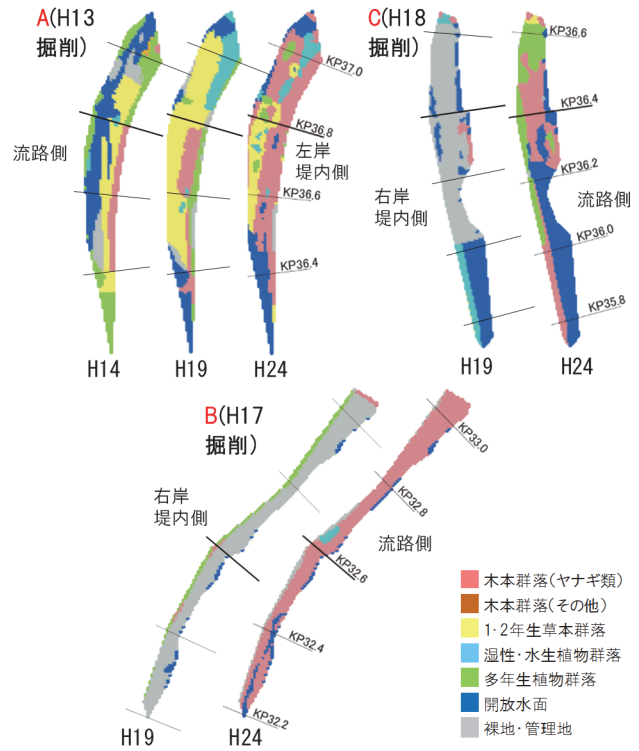


図-5 3地区(掘削域の全範囲)における植生の変遷(池田ら¹⁰⁾を再整理した)

した。ヤナギ類の繁茂状況が箇所により異なっていたことから追加調査を実施したKP37.0km測線の下流側(図-5)では、H16, 18, 20年に侵入したアカメヤナギ個体(それぞれ2, 2, 1サンプル)が散在的に分布していたことを確認した。KP36.8km測線の下流側ではH14, 15, 16年(表-3)に侵入したアカメヤナギ個体を確認した。このため、河道掘削後、H14, 16年の大洪水(図-2, 表-2)を受けながら数年が経過し先住植物が存在するA地区の状態では、H18年など上流区間から流水散布によるヤナギ類種子の侵入機会や量が多くても、侵入年が集中し(同一樹齢の)ヤナギ類が優占して繁茂する可能性は必ずしも高くないことが考えられる。

一方、B, C地区では、掘削完了直後のH18, 19年に、先住植物が河道掘削により除かれた裸地にヤナギ類が侵入した。先住植物の根茎が土壌中に少なく、ヤナギ類の根茎が、生長にとって必要な土壌中の栄養(窒素, リン)や水分、及び光を占有できたため、H24年には開放水面(ワンド, タマリ)を除く広い範囲にヤナギ類の群落が成立したと考えられる。H18年以降大洪水がなく、中小洪水が連続したため(図-2, 表-2)、土砂の堆積、表土の破壊や土砂の移動の影響が小さかったことも、B, C地区のヤナギ類の地被面積が大きくなった要因のひとつと考えられる。

また、B, C地区では、先住植物が河道掘削により除かれた裸地に同一樹齢のヤナギ類が数多く侵入した。そ

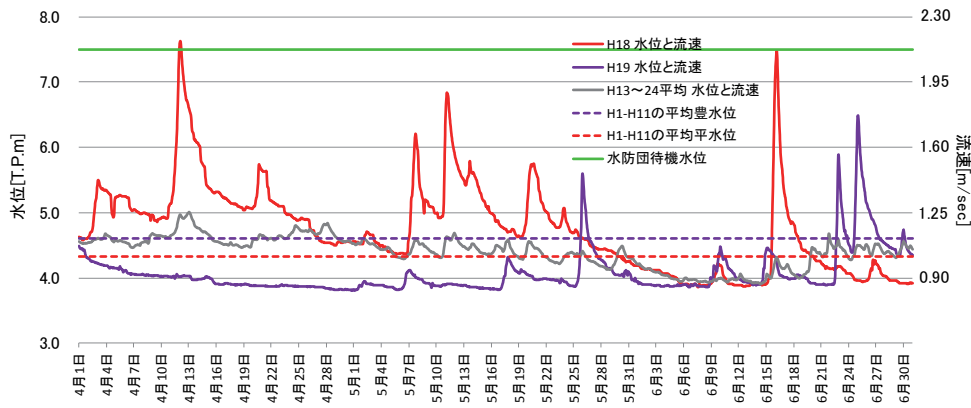


図-6 万石観測所のH18, 19年種子散布時期の水位(左軸)と流速(右軸)
(万石観測所地点の高水敷高:T.P.8.5m)



写真-2 土砂堆積によるアカメヤナギの不定根発生 H26年10月撮影

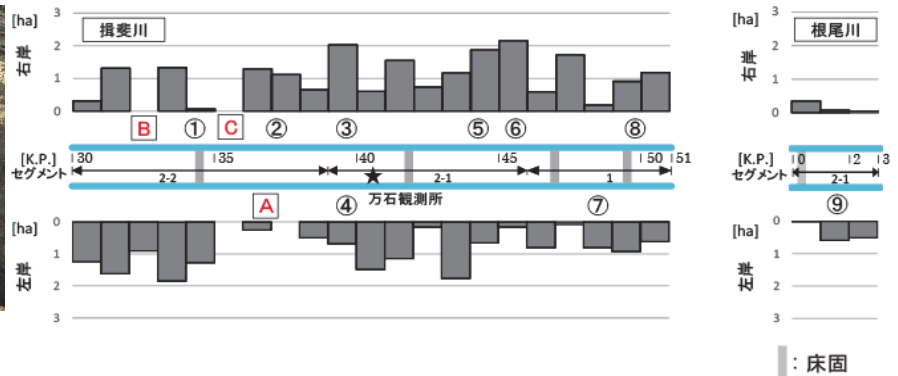


図-7 H19年ヤナギ類高木林の地被面積の河川縦断分布状況

の後, H18年以降中小洪水が連続した中, 土砂が堆積したため, ヤナギ類は不定根²⁰⁾を発生(写真-2)させながら, ヤナギ類個体群の樹幹の疎密が密で植物の種類が少ない状態で生長し, 地被面積が大きくなったと考えられる(図-4, 図-5).

これは, 年輪に関する現地調査(表-3)から, 河道掘削後の概ね7~8年でヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至る過程のひとつと推測される。

c) H19 - 24年の地被面積と種子(流水)散布時期の流況, 上流区間との関係(B, C地区)

万石観測所の水位を示す図-6から, B, C地区の冠水日数・頻度, 冠水深について, B地区(H18赤線)では, 掘削完了直後のH18年4~6月期に水防団待機水位に達する洪水を経験しており, C地区(H19紫線)と比較して著しく大きかった。また, 万石観測所のH18, 19年4~6月期の流量を用いて, H20年度測量断面(B地区はKP32.6km断面, C地区はKP36.4km断面)を対象に, 粗度係数を0.027, 河床縦断勾配を1/4,252とした条件下で算出した結果, 冠水日数は, それぞれB地区(H18)で57日, C地区(H19)で14日であった。

このため, B地区では, C地区と比較して冠水によるヤナギ類種子の侵入機会や種子の量が多かったと考えられる。また, H18年以降大洪水がなく, 中小洪水が連続したため(図-2, 表-2), 土砂の堆積, 表土の破壊や土

砂の移動による影響が小さく, B地区はヤナギ類の群落がH24年で陸域全域に成立した(図-5)と考えられる。

また, 池田ら¹¹⁾は, 遺伝解析と流況分析を用いて, アカメヤナギ種子の流水散布における侵入機構について検討した結果, 河川の流速は低水路内の水位が高いほど速くなり, より上流側遠距離に位置するアカメヤナギ種子が冠水により掘削箇所へ到達し, 侵入することができることを示唆した。H18年4~6月期は, 平均水位が高く(表-1)水防団待機水位に達する洪水が発生した。万石観測所の地点を対象に, H20年度測量断面を用い, 粗度係数を0.027, 河床縦断勾配を1/1,526とした条件下で算出した結果, 図-6に示すように4~6月期の最大流速について, B地区(H18赤線)はC地区(H19紫線)と比較して大きかった。また, H18, 19年の種子散布時期(4~6月期)は, 上流区間に繁殖可能なヤナギ類高木林が, 図-7に示すように河川縦断的に広く分布していた。

池田ら¹¹⁾が行った遺伝解析²²⁾²⁵⁾の結果を再整理した揖斐川に関する dendrogram を図-8に示した。B地区(H18侵入)の個体の中には, KP45km上流の個体と遺伝的に近いものがあった。また, B地区(H18侵入), C地区(H19侵入)と上流区間に繁茂している個体との遺伝的に近い関係性の河川縦断的な範囲について, B地区(H18侵入)は, C地区(H19侵入)と比較して上流側遠距離方向に広がった。

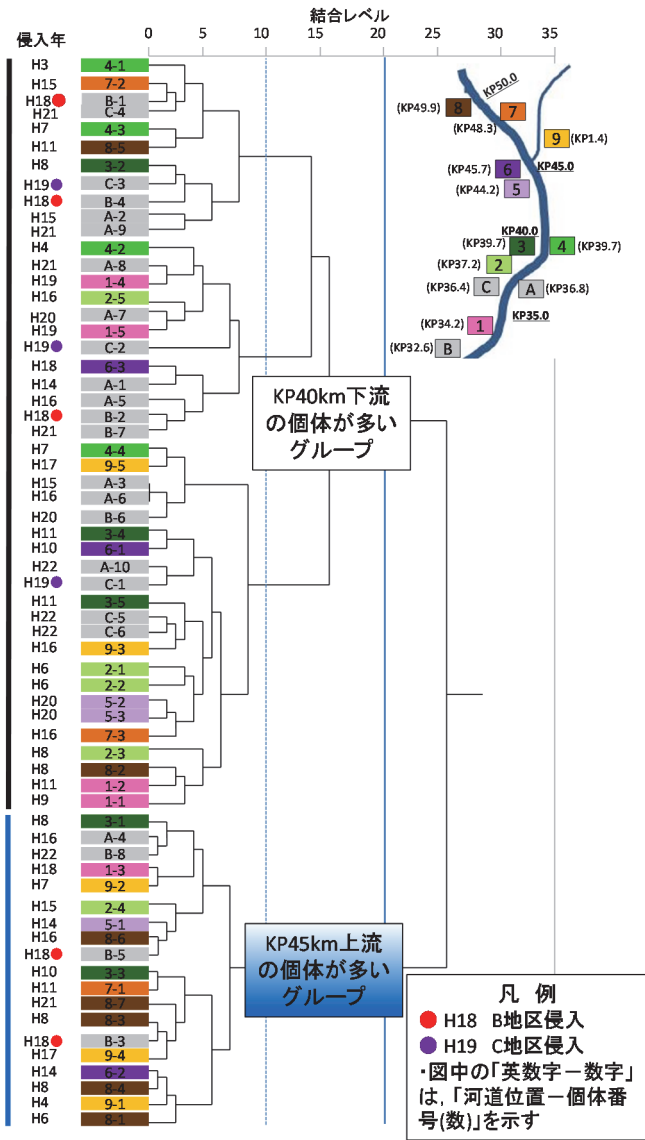


図-8 揖斐川のアカメヤナギ遺伝子のデンドログラム (n=64) (池田ら¹¹⁾を再整理した)

このため、上流区間の繁殖可能な個体から供給されるヤナギ類種子の総量が多くなったことが想定され、このことが、B地区の陸域全域にヤナギ類が成立した(図-5)要因のひとつと考えられる。

(3) 樹林化の特徴と過剰な繁茂へ至る要因の分析

ヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化については、系統的な現象の解明や理解が十分になされているとは言えず、河川維持管理上抜本的な問題解決に至っていない²⁰⁾。

このため、河積の減少による洪水時の流下能力の低下など治水上、及び生物多様性の劣化、良好な景観の障害など環境上の観点にたち、(1)及び(2)の結果から、ヤナギ類が優占し一定規模の地被面積を有し、その個体群が河道内で河川縦横断方向に一様に分布し、個体群の樹幹の疎密が密となっている状態(図-4のC地区、図-5のB、C地区、表-4)をヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化の特

徴と捉えた。

揖斐川における掘削箇所がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因は、(1)及び(2)の結果から、以下のようにとりまとめることができる。

まず、侵入過程では、[1]流水散布の侵入起源として、掘削箇所の上流側に繁殖可能なヤナギ類(高木林)が河川縦断的に広く分布している。[2]流水によりヤナギ類種子を運ぶ河川の状態として、種子散布時期(4~6月期)に洪水が発生し、掘削箇所の冠水日数が多く、その冠水深が大きい流況を呈する(ヤナギ類種子の掘削箇所への侵入の機会が多い。また、ヤナギ類種子の掘削箇所への侵入の範囲が広い)。[3]ヤナギ類種子が侵入する掘削箇所の状態として、先住植物が除かれ裸地となっている(ヤナギ類が先駆的に侵入する)。

また、侵入後の生長過程では、[4]掘削箇所が、はん濫危険水位などに達する大洪水により、ヤナギ類の生育基盤である表土の破壊、土砂の移動と共に、ヤナギ類の種子や稚樹の流出、土砂の堆積を経験しない。[5]掘削箇所と本川流路との比高差が小さく、冠水により水分の供給が容易である⁴⁾。また、掘削箇所にタマリなどが存在し、地下水が保持されるなど潤湿な環境となっている⁹⁾。

[1]~[5]の要因は、ヤナギ類の掘削箇所への侵入過程、及びその後の生長過程に対して、複合的に作用すると考えられる。

掘削箇所であるB、C地区(図-4のC地区、図-5のB、C地区、表-4)では、掘削完了直後、先住植物が河道掘削により除かれた裸地に、上流区間に位置するヤナギ類が種子(流水)散布を行い先駆的に侵入した。その後、ヤナギ類は、中小洪水が連続した中、土砂が堆積したため、不定根を発生させながら、ヤナギ類個体群の樹幹の疎密が密な状態で生長し、地被面積が大きくなったと考えられる。これは、河道掘削後、掘削箇所においてヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至る過程のひとつと推測され、図-9に示した。また、ヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至るまでに要する時間は、年輪調査の結果から河道掘削後の概ね7~8年で確認された。

本研究では、揖斐川という個別河川を対象としたが、濁水位~豊水位まで掘削高が異なる3地区を調査対象としたこと、並びに河道掘削後に河道整備計画流量を越えるなど様々な流量が、ヤナギ類の種子(流水)散布、生育基盤の破壊や繁茂状況などに及ぼす機構について考察を行った。このことから、掘削高や流量規模が同様な河川であれば、河道掘削後におけるヤナギ類の侵入とその後の過剰に繁茂した状態へ至る過程を、ある程度説明可能ではないかと考えている。

今後、他河川の掘削箇所を対象として、ヤナギ類の樹林化事象について、ヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至

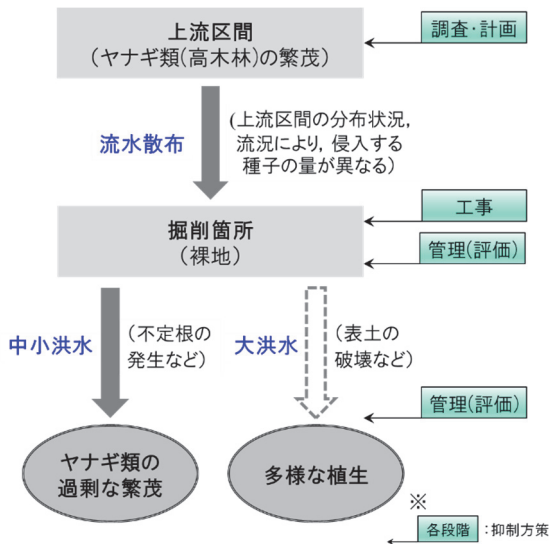


図-9 揖斐川におけるヤナギ類が過剰に繁茂した状態に至る過程と抑制方策（点線はA地区）

る過程，及びヤナギ類種子が掘削箇所へ侵入することができる上流の範囲（最上流地点）や掘削箇所におけるヤナギ類の分布域を構成する樹幹の粗密度の定量化など一般化に向けた検証を進める必要がある。

(4) ヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策の提案

河道掘削や河川維持管理は，河川整備計画²⁷⁾及び河川維持管理計画²⁸⁾に基づき計画的に各河川現場で実施されている。このため，(3)の要因分析の結果を踏まえ，図-9に示す調査・計画，工事，及び管理（評価）のプロジェクトサイクル²⁹⁾に即して対応策を講じることが効果的と考へて，掘削箇所におけるヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策を以下のように提案する。

1) 調査・計画段階

河道掘削前，掘削予定箇所の上流区間に繁茂している繁殖可能なヤナギ類（特に高木林）の分布状況を把握する。ヤナギ類の種子（流水）散布などの特性からみた掘削予定箇所とその上流区間との関係性を踏まえ，上流区間に繁茂しているヤナギ類を計画的・効果的に除去する。また，ヤナギ類を除去した後の再萌芽を抑制する技術については，田屋ら³⁰⁾は樹皮剥皮や覆土がヤナギ類の再萌芽を抑制できることを実験的に示しており，抑制技術として活用できるだろう。

2) 工事段階

河道掘削工事の完了直後がヤナギ類の種子散布時期に相当することが，ヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至る要因のひとつと考えられることから，ヤナギ類の種子散布時期と河道掘削工事期間との時間的な調整を図る。また，河道掘削工事後の裸地面において，在来草本類が早期に侵入できる施工方法を検討する。

3) 管理（評価）段階

河道掘削後，ヤナギ類の種子散布時期（特に河道掘削後の最初の種子散布時期）における掘削箇所の冠水状況・流況を監視する。河川水辺の国勢調査の実施に合わせて，掘削箇所についてヤナギ類個体群の樹幹の疎密，分布域を治水上や環境上から調査・評価する。また，ヤナギ類個体群の樹幹の疎密度合や分布域の範囲を効果的に把握できる，例えばドローン（無人航空機）等による調査手法の技術開発を行う。

はん濫危険水位などに達する大洪水が発生したとき，縦横断測量など災害調査の中で掘削箇所に繁茂している植生状態の変化など（表土の破壊等）を調査する。

以上のヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策の河川現場での試行，蓄積された研究の成果や技術開発などを活用することによって，今後，掘削箇所におけるヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化に対して，抜本的な問題解決につなげることができよう。

4. まとめ

高水敷を切り下げる河道掘削を実施した木曾川水系揖斐川をケーススタディの対象として，河道掘削後の概ね10年間の時間的な変化に着目し，水文水質データベース，河川水辺の国勢調査，定期縦横断測量などを用いた資料解析，ヤナギ類の種子（流水）散布，掘削箇所への侵入及び繁茂状況などの現地調査を実施した。これらより，河道掘削後，上流区間に位置するヤナギ類が種子散布を行い掘削箇所へ侵入し，生長した過程について考察した。本研究の結果は，以下のようにとりまとめることができる。

- 1) ヤナギ類個体の樹形，及び個体群の樹幹の疎密，分布域や地表面積などから，治水上や環境上の問題となるヤナギ類が過剰に繁茂した状態の特徴を明らかにした。
 - 2) ヤナギ類が過剰に繁茂した状態の特徴をもとに，上流区間のヤナギ類の分布状況，種子を運ぶ河川の流況，掘削箇所の状態及び侵入後の発生洪水の規模などがヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至らず関係要因であることを明らかにした。
 - 3) ヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至らず関係要因を踏まえ，プロジェクトサイクルに即して掘削箇所におけるヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策を提案した。
- 最後に，本研究の成果が，河川維持管理上課題となっているヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化に関する系統的な現象の理解につながることを，並びに，今次提案したヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策を踏まえ，掘削区間を含む関係上流区間を対象とした河川整備計画や河川維持管理計画の策定や具体化に生かされることを期待する。

謝辞：本研究をとりまとめるにあたって、早稲田大学の関根正人教授にご助言を頂いた。ヤナギ類の生態について、高知大学の石川慎吾教授にご助言を頂いた。

貴重なデータや資料について、国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所よりご提供頂いた。資料整理では、水圏科学コンサルタント賀上裕二氏にご協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 辻本哲郎：砂州景観保全を河川生態工学からどう意義づけるか，河川技術論文集，Vol. 10, pp. 43-48, 2004.
- 2) Johnson, W. C. : Tree recruitment and survival in rivers : influence of hydrological processes, *Hydrological Processes*, Vol. 14, pp. 3051-3074, 2000.
- 3) Niiyama, K. : The role of seed dispersal and seeding traits in colonization and coexistence of *Salix* species in a seasonally flooded habitat, *Ecological Research*, Vol. 5, pp. 317-331, 1990.
- 4) 石川慎吾：揖斐川の河辺植生 I. 扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境，日本生態学会誌，Vol. 38, pp. 73-84, 1988.
- 5) 吉川正人，福嶋司：鬼怒川河辺におけるヤナギ群落の分布と形成様式，植生学会誌，Vol. 16, pp. 25-37, 1999.
- 6) 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と樹林管理の現状に関する考察，河川技術論文集，Vol. 16, pp. 241-246, 2010.
- 7) 宮本仁志，赤松良久，戸田祐嗣：河川の樹林化課題に対する研究の現状と将来展望，河川技術論文集，Vol. 19, pp. 441-446, 2013.
- 8) 内藤太輔，金縄健一，福永和久，今村史子，萱場祐一：全国の河川を対象とした河道内植生の分布特性と成立要因および河道掘削後の変化，河川技術論文集，Vol. 22, pp. 469-474, 2016.
- 9) 大石哲也，萱場祐一：河川敷切り下げに伴う初期条件の違いが植生変化に及ぼす影響に関する一考察，環境システム研究論文発表会講演集，Vol. 41, pp. 351-356, 2013.
- 10) 池田茂，片桐浩司，大石哲也，原田守啓，萱場祐一：河道掘削後の河川氾濫原の変化過程に関する考察，河川技術論文集，Vol. 21, pp. 247-252, 2015.
- 11) 池田茂，對馬育夫，片桐浩司，大石哲也，萱場祐一：遺伝解析と流況分析を用いたヤナギ類の侵入・定着機構の解明，水工学論文集，Vol. 60, pp. 1045-1050, 2016.
- 12) 崎尾均，山本福壽編：水辺林の生態学，東京大学出版会，2002.
- 13) 林田寿文，小山康吉，横山洋，佐藤圭：北海道内河川におけるヤナギ種子の流下量と時期的な変化，河川技術論文集，Vol. 17, pp. 215-220, 2011.
- 14) 尾花まき子，内田考洋，辻本哲郎，知花武佳：砂礫洲水際への植物種子と土砂の堆積過程に関する実験的検討，河川技術論文集，Vol. 20, pp. 187-192, 2014.
- 15) 戸澤宗孝，木村恵，上野直人，加納研一，清和研二：河畔性ヤナギ科樹木の種子散布における綿毛の定着適地検出機能 東北大学複合生態フィールド教育センター報告，Vol. 19, 2003.
- 16) 原田守啓，永山滋也，大石哲也，萱場祐一：揖斐川高水敷掘削後の微地形形成過程，水工学論文集，Vol. 59, pp. 1171-1176, 2015.
- 17) 坂井一浩，渡邊康玄，吉井厚志：伐採による河畔林の樹形特性，水工学論文集，Vol. 44, pp. 1221-1226, 2000.
- 18) 深田健二，亀山章，工藤岳：雑木林の植生管理と林床植物の生活史戦略の関係，環境システム研究論文集，Vol. 28, pp. 359-366, 2000.
- 19) 石川慎吾：揖斐川の河辺植生 II. 扇状地域の砂礫堆上の植生動態，日本生態学会誌，Vol. 41, pp. 31-43, 1991.
- 20) 田頭直樹，片桐浩司，傳田正利，大石哲也，萱場祐一：植物群落と物理環境を基準とした景観区分とその遷移過程—セグメント2河道を対象として—，河川技術論文集，Vol. 20, pp. 115-120, 2014.
- 21) 浅見和弘，丸谷成，田野弘明，酒井進：江川ダムの貯水上流端堆積部に見られたヤナギ群落の生育環境と発達過程，ダム工学，Vol. 17, pp. 116-124, 2007.
- 22) Barker, J. H. A., Pahlich, A., Trybush, S., Edwards, K. J. and Karp, A. : Microsatellite markers for diverse *Salix* species, *Molecular Ecology Notes*, Vol. 3, pp. 4-6, 2003.
- 23) Peakall, R. and Smouse, P. E. : GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research, *Molecular Ecology Notes*, Vol. 6, pp. 288-295, 2006.
- 24) Piry, S., Alapetite, A., Cornuet, J.-M., Paetkau, D., Baudouin, L. and Estoup, A. : GeneClass2: a software for genetic assignment and first-generation migrant detection, *Journal of Heredity*, Vol. 95, pp. 536-539, 2004.
- 25) Paetkau, D., Calvert, W., Stirling, I. and Strobeck, C. : Microsatellite analysis of population structure in Canadian polar bears, *Molecular Ecology*, Vol. 4, pp. 347-354, 1995.
- 26) 社会資本整備審議会河川分科会：安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について（答申），2013.
- 27) 国土交通省中部地方整備局：木曾川水系河川整備計画 HP
- 28) 国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所：木曾川水系上流管内河川維持管理計画 HP
- 29) 国土交通省水管理・国土保全局：国土交通省河川砂防技術基準 調査編，計画編，設計編，維持管理編 HP
- 30) 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，Vol. 18, pp. 59-64, 2012.

(2016. 10. 3 受付)

THE RIVER MANAGEMENT OF *SALIX* SPECIES
IN RIVER CHANNEL EXCAVATION SITES

Shigeru IKEDA, Koji KATAGIRI, Tetsuya OISHI, Ikuo TSUSHIMA
and Yuichi KAYABA

In many rivers, the excessive growth of trees such as *Salix* species after river channel excavation has posed negative effects on flood control and the river ecosystem, creating another challenge for river management. In this study, we investigated how *Salix* species may invade and grow in the Ibi River by conducting flow-regime and vegetation analysis, based on data and information accumulated for ten years after the excavation and research on the current conditions of vegetation in the river channel. This study analyzed the excessive growth mechanism of *Salix* species and showed their detailed characteristics from the shape of *Salix chaenomeloides* individuals and the shape of distributions of *Salix* communities. We proposed a measure to reduce the excessive growth of *Salix* species in the river channel excavation sites from the each phase of river improvement project.