

河道掘削後のヤナギ類に焦点をあてた  
河道内氾濫原の変化過程に関する研究

Studies on the Changing Process of Flood Plain  
focusing on the Salix Species  
after River Channel Excavation

2017 年 10 月

池田 茂

Shigeru IKEDA

河道掘削後のヤナギ類に焦点をあてた  
河道内氾濫原の変化過程に関する研究

Studies on the Changing Process of Flood Plain  
focusing on the Salix Species  
after River Channel Excavation

2017 年 10 月

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

池田 茂

Shigeru IKEDA

## 目 次

<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
1. 1 背景と目的	3
1. 2 掘削後の河道内氾濫原の変化過程を解明する必要性	5
1. 3 掘削後の河道内氾濫原の変化を捉える対象	5
1. 4 掘削後の河道内氾濫原の変化に寄与する因子	6
1. 5 関連する植物管理・研究及び本研究の位置付け	9
1. 5. 1 創成期	
1. 5. 2 多様期	
1. 5. 3 現状	
1. 5. 4 本研究の位置付け	
1. 6 本研究の構成	14
<b>第2章 研究の方法</b>	<b>17</b>
2. 1 調査地の概要とヤナギ類の特性	19
2. 2 資料解析（流況・植生・地形等）	26
2. 3 現地調査（植生・土質・地形・葉採取等）	35
2. 4 遺伝解析と流況分析	37
<b>第3章 掘削された3地区へのヤナギ類等植物の侵入と     繁茂状況（地被面積の変化など）</b>	<b>39</b>
3. 1 ヤナギ類の侵入，繁茂状況と林床部の植生	41
3. 1. 1 アカメヤナギ個体の侵入時期	
3. 1. 2 ヤナギ類の繁茂状況（樹形，樹幹の疎密等）と 林床部の植生	
3. 2 侵入した植物群落の地被面積の変化	49
3. 2. 1 H14 - 19年の地被面積と大洪水との関係（A地区）	
3. 2. 2 H19 - 24年のヤナギ類の地被面積の変化（A, B, C地区）	
3. 2. 3 種子散布時期の冠水状況からみたヤナギ類の 地被面積への影響（B, C地区）	

3. 3 ヤナギ類の侵入機構（流水散布）の解明 （遺伝解析と流況分析）	58
3. 3. 1 種子散布の状況	
3. 3. 2 河川の水位・流速と種子の流下速度	
3. 3. 3 アカメヤナギ個体の葉を用いた遺伝解析	
3. 3. 4 アカメヤナギ個体の河道内の河川縦断分布と 遺伝的多様性	
3. 3. 5 種子散布時期の小洪水がアカメヤナギの侵入 に及ぼす影響	
<b>第4章 掘削された3地区の陸域と水域の地形等の変化</b>	<b>69</b>
4. 1 掘削域（陸域）の地形	71
4. 2 掘削域（陸域）の堆積物（土質，根茎）	71
4. 3 掘削域（水域）の地形（ワンド，タマリ）	75
<b>第5章 掘削域へのヤナギ類の侵入と過剰な繁茂へ至る要因</b>	<b>79</b>
5. 1 ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構の模式化	81
5. 2 ヤナギ類の侵入，生長過程の特徴	83
5. 3 樹林化の概念整理と過剰な繁茂へ至る要因の解明	85
<b>第6章 結論</b>	<b>91</b>
謝辞	96
参考文献	99
研究業績等	112

## 第 1 章 序論



## 1. 1 背景と目的

氾濫原は、物質循環や生物多様性にとって重要な場である。我が国の直轄河川区間は、主に河川中下流部に位置しており、かつて広大な氾濫原を有していた。しかし、現在、氾濫原は堤外地（河道内）に限定されると共に、河床の低下、樹木の繁茂などに伴い、著しく変質してきている。このため、河道内氾濫原（図 1-1）の河川環境を再生・保全することは、重要な課題となっている。

河川環境を適正に保全し、これを享受しようという観点から、1997 年（平成（以下、H と略称する）9 年）、河川法の目的に「環境」を加える法改正が行われた。この改正により、水系ごとに河川の工事及び維持について基本となるべき「河川整備基本方針」を河川環境にも考慮し作成すること、計画的に河川の整備を実施する区間について「河川整備計画」を作成し河川環境も含めた計画の目標に関する事項を定めることとなった。

河川整備計画の下、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（藤田ら 2003 など）。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、ヤナギ類など樹木の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。河道掘削後、河道内氾濫原が時間的にどのように変化していくのかについては、十分に明らかにされていない（池田ら 2017, 池田ら 2016, 池田ら 2015, 内藤ら 2016）。

そこで、本研究では、高水敷を切り下げる河道掘削を実施した後、時系列で流量・水位の変動、河床の変動、植物の侵入・生長・遷移の関係性を捉えながら考察し、河道掘削後の河道内氾濫原の変化過程を解明した。具体的には、H13, 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た木曾川水系揖斐川（図 1-2）をケーススタディの対象として、河道掘削後の概ね 10 年間に着目し、風向・流況・植生・地形等資料解析、植生・土質・地形等現地調査、並びにアカメヤナギの葉採取及び葉を用いた遺伝解析を行った。



図1-1 河道内氾濫原（陸域，水域）（出典：自然共生研究センター）

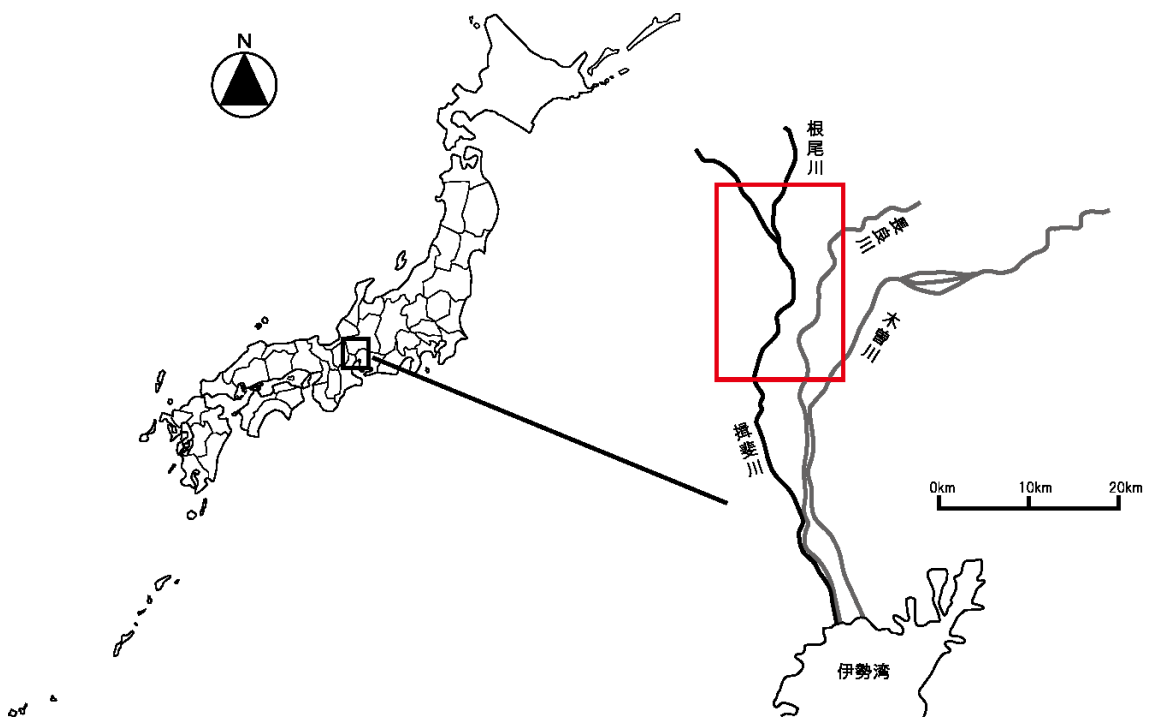


図1-2 揖斐川位置図

日本地図：白地図フリー素材より作成  
木曾三川及び伊勢湾：Googleマップより作成



## 1. 2 掘削後の河道内氾濫原の変化過程を解明する必要性

河道掘削後、河道内氾濫原は河床の変動を伴いながら多様な植物が侵入し、生長していく。その過程で、植物の遷移・種間競争、洪水に伴う植物の流出、土砂の堆積や侵食による地形変化が生じる（辻本 2004）。河道掘削が河道内氾濫原の変化に及ぼす影響の評価は、現在のところ各河川で個別に対応しており一般論として確立した方法は存在しない。

このような中、2011年（H23年）、河川砂防技術基準維持管理編（国土交通省）が作成され、河川維持管理目標、河川の状況把握、河道の維持管理など維持管理の基本方針が定められた。この基本方針を踏まえ、関連研究の推進や深化、及び維持管理の具体化が求められている。

しかしながら、河道掘削後の河道内氾濫原の変化過程をきめ細かく精緻に予測することは難しい課題であり、今後、予測技術の開発・向上を図るだけでなく、河道掘削後の河道内氾濫原の状態変化を適切な時点での確に観察・評価し、必要に応じて再掘削や樹木伐開を継続的に行うことが必要である。

この一連の河川維持管理を効果的・効率的に行うことができるよう、河川維持管理上重要となる樹種を絞り込み、河道掘削後、時間の経過と共に変化する特徴のある局面を抽出し、流量・水位の変動、河床の変動、植物の侵入・生長・遷移の関係性を捉えながら河道内氾濫原の変化について時系列で調査分析した。また、調査分析を行うにあたって、河道内氾濫原の変化を捉える対象、及び河道内氾濫原の変化に寄与する因子に分けて、河川維持管理に活用できるよう、関係指標を設定し考察した（池田ら 2015）。

## 1. 3 掘削後の河道内氾濫原の変化を捉える対象

河道内氾濫原の変化を捉える対象は、鳥類、昆虫類などの生息場所として機能する「植物」、植物の生育基盤となる「掘削域」とした。また、植物と掘削域の相互の関係性にも着目した。植物については、植生図より経年変化を追跡し、変化過程を解明するため、裸地、草本、木本など群落に着目した。

ヤナギ類などが過剰に繁茂した樹林化は、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、河道内氾濫原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など、全国的に河川維持管理上の課題（大石ら 2005, 佐貫ら 2010, 田屋ら 2012, 槇島ら 2013）である。

河川水辺の国勢調査の植物調査の結果（2004～2008 年度）及び各国土交通省地方整備局の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（佐貫ら 2010, 土木研究所資料第 4253 号 2013）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（マダケ及びメダケ）であった。これら 3 樹種で河川維持管理対象全体の 7 割以上を占めた。特に、ヤナギ類は全国的に広く分布した（**図 1-3**, **図 1-4**）。ヤナギ類は揖斐川においても繁茂していることから、「ヤナギ類」に焦点をあてた。

また、裸地化された 2 次遷移は、散布力の大きい植物種子と土中にある寿命の長い種子によって始められることが多い（沼田編 1969）。河道掘削後、裸地となる掘削域へ植物が侵入する局面（遷移系列の「起点」（沼田編 1969））が、その後の植生の変化特性を大きく規定すると考えた。このため、ヤナギ類がどこからどのように掘削域へ侵入したのかについても焦点をあてた。

掘削域については、陸域の地盤高, 河川縦断・横断形状, 及び水域に着目した。堆積する土質により水分環境や植物の生育へ影響を及ぼすと考えられる（岡崎ら 2010）ことから、陸域を構成する堆積物の内容にも着目した。水域については、ワンド, タマリに着目した。

#### 1. 4 掘削後の河道内氾濫原の変化に寄与する因子

河道内氾濫原は、頻度高く起こる冠水と著しい乾燥という両極端にまたがる状態を交互に繰り返す。また、植物の生育基盤である表土が洪水により破壊される。特に洪水について、石川は、「植物体や立地の破壊, 植物体の埋没, 植物体の生理的活性に及ぼす悪影響があり, これらの作用は, 単独で働くものではなく, 常に複合された形で植物に影響する（石川 1988）」と指摘している。

これらを踏まえて、河道内氾濫原の変化に寄与する因子は、洪水時, 平水時において、流量や水位の状態, 流水の流体力, 及び土砂の堆積や侵食が河道内氾濫原へ及ぼす影響の内容と度合を勘案した「流況」, 「位況」に着目（河川総合研究所資料第 31 号 2012）した。なお、水際からの距離については、高水敷の切り下げのため有効でないと判断し、検討から除外した。

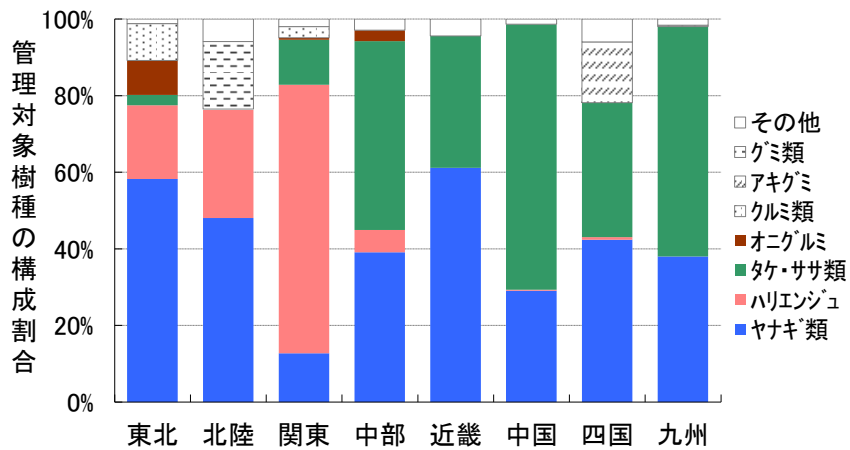
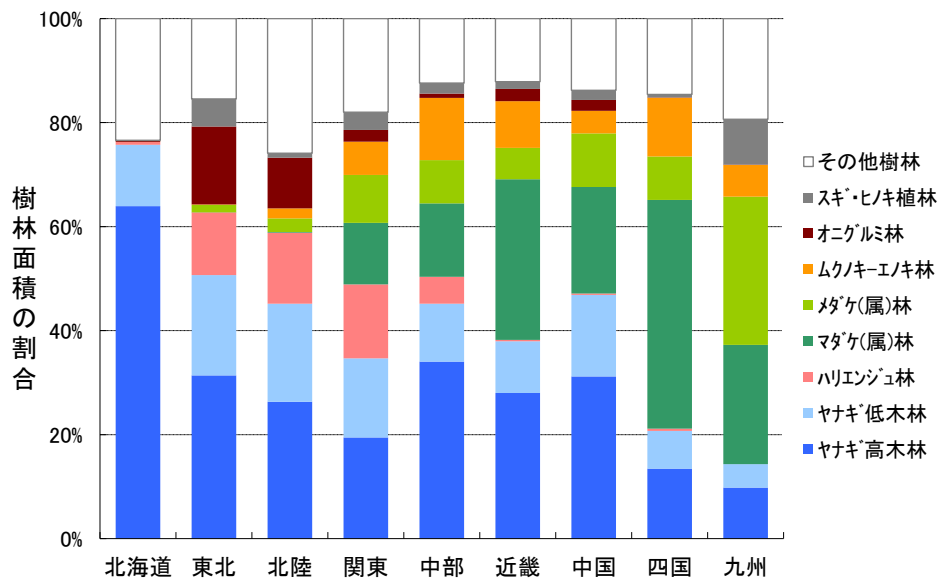
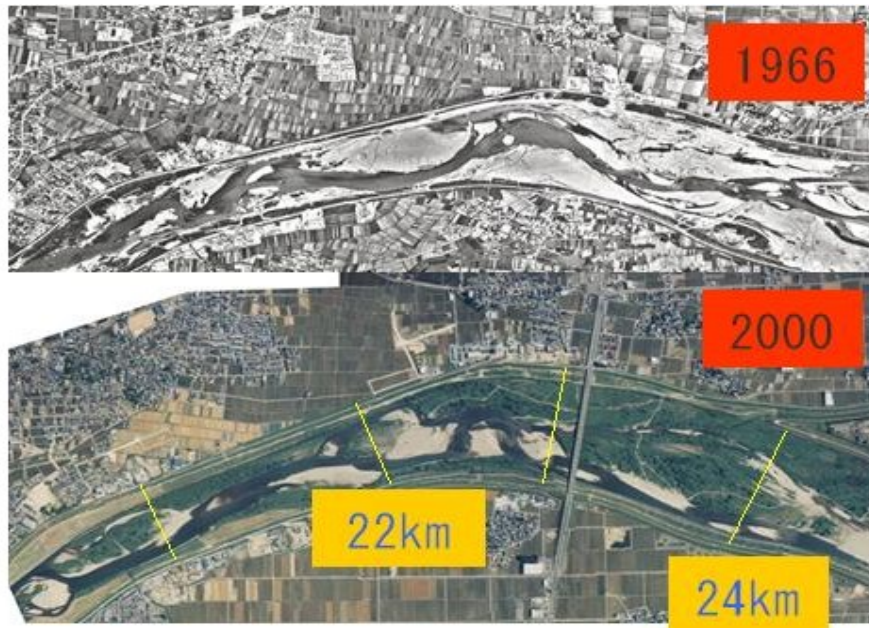
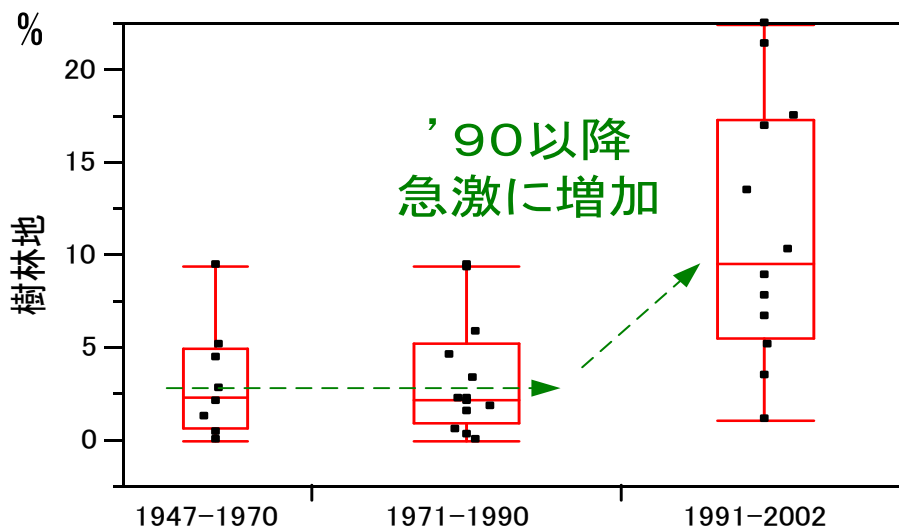


図1-3 河道内の樹林面積の割合と管理対象樹種の構成割合 (%)

(出典：佐貫ら(2010) および土木技術資料 第4253号)



九頭竜川の樹林地の変遷



全国7河川(大井川, 木曾川, 手取川, 九頭竜川, 猪名川, 天神川, 菊池川)の

地被状態(樹林地)の面積割合の経年変化

樹林地とは, 空中写真撮影時に木本植物が繁茂している場所

図1-4 河道内の樹林化

(出典: 大石ら(2005))

## 1. 5 関連する植物管理・研究及び本研究の位置付け

### 1. 5. 1 創成期

1981年（昭和（以下、Sと略称する）56年）、建設大臣は河川審議会へ「河川環境管理のあり方について」諮問し、同年、答申が出され、Ⅰ河川環境の理念、Ⅱ河川環境管理に関する基本方針の確立、Ⅲ河川環境管理に関する施策の推進、Ⅳ河川環境管理に関する実施体制等の強化など基本的な方向が示され、これを機に河川環境に係る概念形成が行われていった（表 1-1）。また、河川空間を中心とした「河川環境管理基本計画」の策定が全国で本格化した。

河川空間の利用・河川景観の保全の要請を受け、1983年（S58年）、洪水時、流水への悪影響が生じないように配慮しながら、「河岸等の植樹基準（案）」が作成された。その後、河岸等の植樹基準（案）は、1989年（H1年）改定を経て、河川への価値観の多様化や河川内樹木の関心の高まりなどを受け、1998年（H10年）、植樹基準の要件緩和など抜本的な見直しが行われた（表 1-1）。

この間、低水路河岸の樹木や樹木群に係る流水抵抗、河道内植生を対象とした流動構造に関する数多くの研究が行われた（福岡ら 1987 など）。

### 1. 5. 2 多様期

1990年（H2年）、建設省河川局は、「多自然型川づくり実施要綱」を作成（表 1-1）し、生物の良好な生息・生育環境に配慮し、美しい自然景観を保全・創出する事業を創設した。これは、全国の河川へ河川環境の多様性を促すものであった。また、1990年（H2年）、定期的、継続的、統一的な河川環境に関する基礎情報の収集整備を図る目的で、植物などに関する「河川水辺の国勢調査」が開始（表 1-1）された。その後、1997年（H9年）、河川法の目的に河川環境の整備・保全を位置づけるなど抜本的な法改正（表 1-1）が行われた。

この時期、研究では、高水敷や砂州など河道内植生の遷移、河道内の樹林化の他（土砂動態、物質循環など）多様な研究が行われた（辻本 2004、藤田ら 2003 など）。

### 1. 5. 3 現状

社会資本整備審議会河川分科会より、2006年（H18年）、「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方」が答申（表 1-1）され、1. 現状と課題、2. 基本的な方向、

3. 河川の維持管理上の具体的な施策, 4. 危機管理の観点からみた河川管理上の具体的な施策が提示された。この中で, サイクル型維持管理の実現を図るため「河川維持管理計画」, 「河川維持管理実施計画」を作成することが提案された。その後, 2011年 (H23年), 河川砂防技術基準維持管理編 (国土交通省) が作成 (表 1-1) され, 第3章河川維持管理目標, 第4章河川の状況把握, 第5章河道の維持管理など維持管理の基本方針が定められた。

現在, 河道内植生の動態を評価・予測するため, 洪水による植生の破壊・流出と外力との関係 (八木澤ら 2009 など), 植生の生長・遷移特性に関する研究が進められている。

しかしながら, 社会資本整備審議会河川分科会が, 2013年 (H25年), 「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」で指摘しているが, 「(中略) 現状では, 洪水等の自然現象や河川の管理に伴い河川環境がどのように変化するのか科学的に十分解明されていない (中略)」という現状 (表 1-1) である。また, ヤナギ類などが樹林化へ至る系統的な現象の解明や理解は十分になされているとは言えず, その技術的対応策についても体系化されていない (宮本ら 2013)。

表 1-1 関連する主な植物管理・研究 (年表)

---

創成期

- 1981年 (S56) 「河川環境管理のあり方」の諮問と答申
- 1983年 (S58) 「河岸等の植樹基準 (案)」の作成
- (1989年 (H 1), 1998年 (H10) 「河岸等の植樹基準 (案)」の改定)

多様期

- 1990年 (H 2) 「多自然型川づくり実施要綱」の作成
- (2006年 (H18) 「多自然川づくり基本方針」)
- 1990年 (H 2) 「河川水辺の国勢調査」の開始
- 1997年 (H 9) 「河川法」の改正 (河川環境の整備・保全を位置づける)

現状

- 2006年 (H18) 「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方」の答申
  - 2011年 (H23) 「河川砂防技術基準維持管理編」の作成
  - 2013年 (H25) 「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」の答申
-

#### 1. 5. 4 本研究の位置付け

ヤナギ類の生態に関する既往研究では、繁殖システム、種子生産、生長速度、寿命など生活史やフェノロジー（生物季節）に係る特性は明らかにされている（崎尾・山本編 2002 など）。また、今次研究の対象とした揖斐川の河川区間では、1980年代に植生分布、比高差や土砂堆積物との関係など植生の実態調査が行われている（石川 1988）。

ヤナギ類の種子散布の実態や侵入起源や経路に関する既往研究は少なく、北海道内の河川に着目して種子の流下量と時期的な変化との関係性に関する調査研究が行われている（林田ら 2011）。種子が散布され定着する時、綿毛がどのような役割を果たすのかについて実験環境で研究が行われている（戸澤ら 2003）。また、ヤナギ類の種子ではないが、砂礫洲水際への植物種子（浮遊性種子等）と土砂の堆積過程に関して、実験的な検討が行われている（尾花ら 2014）。しかしながら、実河川においてヤナギ類の種子がどこからどのように侵入するのかについて解明することは、小型で軽量の種子それ自体を追跡することが技術的に難しい面があり、該当する既往研究は見当たらない。

高水敷や砂州など河道内植生の遷移過程の実態解明について、河川水辺の国勢調査（植物は概ね 5 年周期）が 1990 年（H2 年）から着手されデータが蓄積されるに伴い、平水位との比高差、水際からの距離、掃流力など物理環境指標と植物群落の変化を時系列で調査する研究が行われつつある（田頭ら 2014、中村ら 2014 など）が、河道掘削後の河道掘削箇所の変化過程に着目した研究は少ない。全国の河川では、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（内藤ら 2016）、及び揖斐川では、河川敷の切り下げ高さの違いが樹林化に及ぼす影響（大石ら 2013）に関する研究が行われているが、侵入（種子散布）時期と生長時期それぞれに着目した発生洪水の水位や流量の規模との関係性については研究対象となっていない。また、ダム貯水池上流端堆砂部に着目して、ヤナギ類が不定根を発達させながら生育していくことに関する研究が行われている（浅見ら 2007）が、河道掘削後の河道内での実態調査を行っている研究についても非常に少ない。

砂州地形の変化に関する数多くの研究（山本 2010 など）は行われており、掘削域の地形変化について、細粒土砂の堆積に着目し高水敷の形成現象を予測する研究（武内ら 2011）、揖斐川では高水敷掘削後の微地形の形成過程や堆積物に関する研究（原田ら 2015）が行われているが、植物の侵入、生長などの変化過

程との関連性まで研究対象とすることに至っていない。

本研究では、河道掘削により先住植物が除かれ裸地となった箇所（「初期化」された箇所）を出発点として、ヤナギ類の生活史やフェノロジーなど特性を踏まえ、侵入（種子散布）時期と生長時期の発生洪水の水位や流量の規模の相違に着目して変化過程を研究したこと、及び植物群落と水域（ワンド、タマリ）や堆積物を含む掘削域との関係性にも着目して調査研究を行い、河道掘削後の概ね 10 年間の河道内氾濫原の変化過程について現象解明を行った（池田ら 2015）。また、治水上や環境上からヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化に関する概念整理を行い、ヤナギ類が掘削域へ侵入し、生長した過程から、掘削域がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因をとりまとめた。

遺伝解析について、河川横断構造物が魚類の移動環境へ及ぼす影響の評価に関する研究（増本ら 2013, 村岡ら 2012 など）は行われている（研究論文は少ない）。植物については、遺伝解析を用いて外来種であるハリエンジュの繁殖特性を解明する研究（黒河内 2012, 崎尾編 2009 など）が行われているが、ヤナギ類の種子散布に関する現象や侵入機構の解明に遺伝解析を適用した研究事例は見当たらない。このため、ヤナギ類の侵入機構（流水散布）について、遺伝解析と流況分析を組み合わせた研究についても見当たらない。

このような中（表 1-2）、本研究では、既往のヤナギ類の生活史やフェノロジーなどに係る植物生態学に関する知見、遺伝解析に係る分子生物学に関する知見、特にアカメヤナギに係るプライマーの特定については海外の文献を活用した。さらに種子の侵入時の流況分析に係る水理学に関する知見を組み合わせ、木曾川水系揖斐川をケーススタディの対象としてアカメヤナギの葉を用いて遺伝解析を行い、その遺伝的多様性について個体間や地域間で検討（池田ら 2016）し、アカメヤナギの侵入機構（流水散布）を解明した。また、この結果と既往研究の成果（尾花ら 2014）からヤナギ類種子の掘削域への侵入機構を模式化した。



表 1-2 関連する主な研究と本研究の位置付け

---

### ヤナギ類の生態に関する研究

・繁殖システム，種子生産，生長速度，寿命など生活史やフェノロジー（生物季節）に係る特性（崎尾・山本編 2002 など）。

・1980 年代揖斐川では，植生分布，比高差や土砂堆積物との関係など植生調査（石川 1988）。

・種子の流下量と時期的な変化との関係性（林田ら 2011），種子散布時，綿毛の役割について実験環境による研究（戸澤ら 2003），砂礫洲水際への植物種子（浮遊性種子等）と土砂の堆積過程について実験的な検討（尾花ら 2014）。

「実河川においてヤナギ類の種子がどこからどのように侵入するのかについて該当する既往研究は見当たらない。」

### 高水敷や砂州など河道内植生の遷移過程に関する研究

・河川水辺の国勢調査によるデータの蓄積に伴い，平水位との比高差，水際からの距離，掃流力など物理環境指標と植物群落の変化との関係性（田頭ら 2014，中村ら 2014 など）。

・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（内藤ら 2016），河川敷の切り下げ高さの違いが樹林化に及ぼす影響（大石ら 2013）。

・ダム貯水池上流端堆砂部に着目したヤナギ類の生育（不定根の発達）（浅見ら 2007）。

「河道掘削後の河道掘削箇所の変化過程に着目した研究は少ない。また，植物の侵入（種子散布）時期と生長時期それぞれに着目した発生洪水の水位や流量の規模との関係性については研究対象となっていない。」

### 砂州地形の変化に関する研究

・砂州地形の変化に関する数多くの研究（山本 2010 など）。

・掘削域について，細粒土砂に着目し高水敷の形成現象を予測する研究（武内ら 2011）。

・揖斐川では，高水敷掘削後の微地形の形成過程や堆積物に関する研究（原田ら 2015）。

「植物の侵入，生長などの変化過程との関連性まで研究対象とすることに至っていない。」

### 遺伝解析に関する研究

・河川横断構造物が魚類の移動環境へ及ぼす影響の評価に関する研究（増本ら 2013，村岡ら 2012 など）（研究論文は少ない）。

・植物では，ハリエンジュの繁殖特性を解明する研究（黒河内 2012，崎尾編 2009 など）。

「ヤナギ類の種子散布に関する現象や侵入機構の解明に遺伝解析を適用した研究事例は見当たらない。」

---

## 1. 6 本研究の構成

本論文は、全6章（図1-5）で構成される。

本章である第1章では、河道掘削後の河道内氾濫原の変化を捉える対象、河道内氾濫原の変化に寄与する因子を明確にし、本研究の目的、必要性、関連する植物管理・研究及び位置付けを述べる。

第2章では、①調査地の概要とヤナギ類の特性、②調査区間の河道特性、ヤナギ類の生活史やフェノロジーなど特性を踏まえ、侵入（種子散布）時期と生長時期の発生洪水の水位や流量の規模に関する特徴、及びヤナギ類などの植生調査に関する地被面積・分布域を時系列で考察指標とするための資料解析の方法、③2回実施した植生・土質・地形等現地調査の箇所、範囲や内容、及びアカメヤナギの葉採取の箇所と侵入年の判定方法、④遺伝解析を活用する必要性、活用した遺伝解析手法や使用したプライマーの内容、及び万石観測所の地点に着目した河川の流速から、ヤナギ類種子が掘削された3地区まで到達することができる上流区間の範囲を推定する方法などを述べる。

第3章では、掘削された3地区について、ヤナギ類の侵入と繁茂状況（樹形、樹幹の疎密等）、及び林床部の植生に関する特徴について述べる。侵入した植物群落の地被面積に着目して、H14 - 19とH19 - 24年の二期に分けて侵入（種子散布）時期及び生長時期の発生洪水の水位や流量の規模と植物群落の地被面積の変化との関係性について考察する。

また、種子の侵入（種子散布）時期の流況に着目し、掘削域とその上流区間についてアカメヤナギの葉を用いて遺伝解析を行い、その遺伝的多様性について個体間や地区間で考察し、アカメヤナギの侵入機構（流水散布）を解明する。

第4章では、3地区の掘削域について、時系列で発生洪水の水位や流量の規模に着目して、陸域の地形変化、堆積物（土質、根茎）の相違、及び湿性・水生植物群落と水域（ワンド、タマリ）の変化について考察する。

第5章では、第3章と第4章の結果及び既往の研究から、河川水位の減水期、掘削域の上流区間に位置する繁殖可能なヤナギ類の繁茂状況、及びヤナギ類種子の上流区間から掘削域へ到達し、侵入するまでの時間距離に着目して、ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構について模式化する。

1980年代に揖斐川で実施された植生調査との照査を行い、第3章と第4章の結果と合わせてヤナギ類の侵入、生長過程について評価・考察する。

また、第3章と第4章の結果及び既往の研究から、治水上や環境上からヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化に関する概念整理を行い、ヤナギ類が掘削域へ侵入し、生長した過程から、掘削域がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因をとりまとめる。

第6章は、終章である。第5章までのとりまとめを行い、今後の河川整備計画の策定やサイクル型維持管理の具体化への一助の期待を述べる。また、調査・計画、工事、維持管理などプロジェクトサイクル（PDCA）に即して、河道掘削に係るヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策（社会への実装策）を提案する。

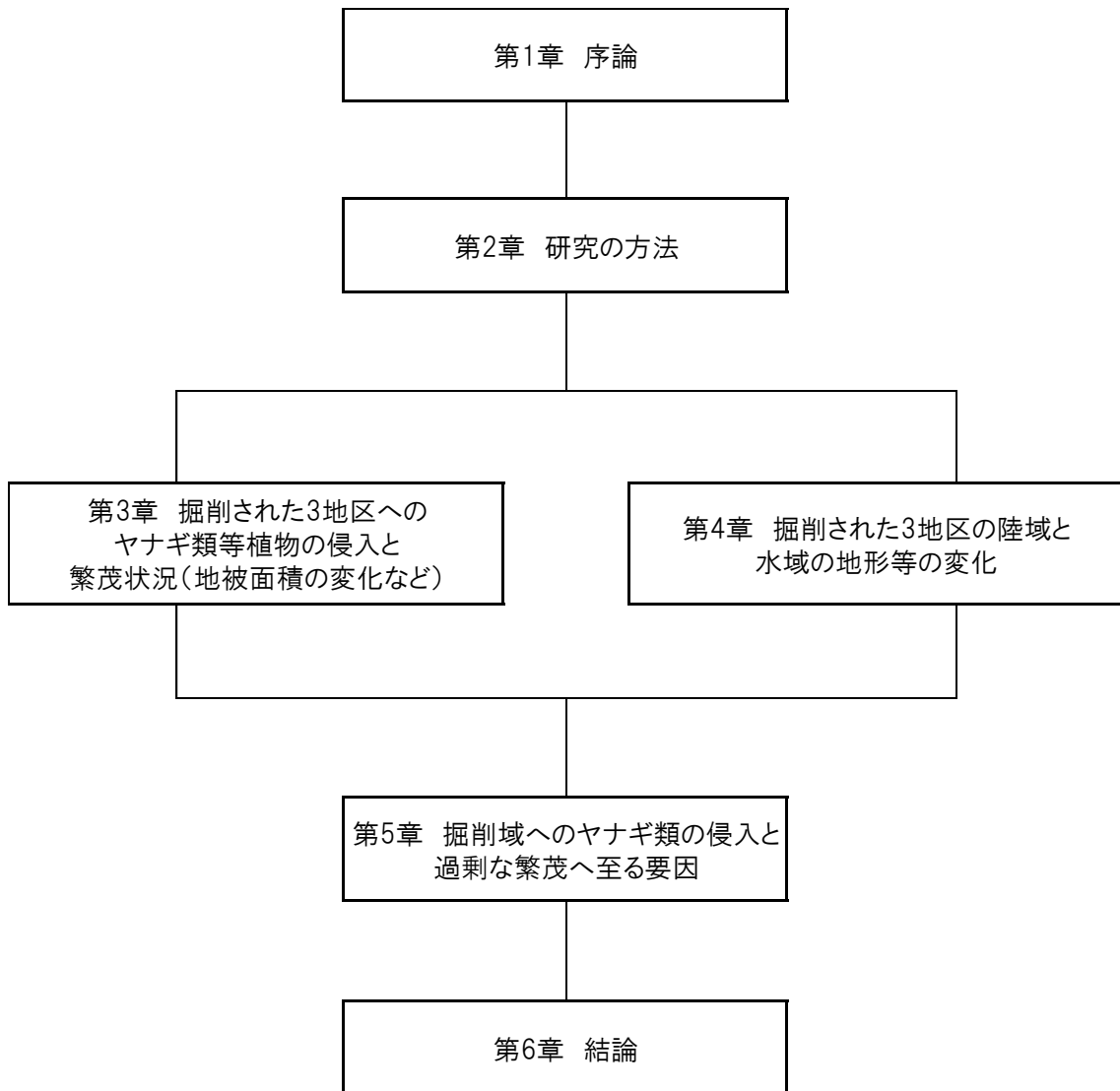


図1-5 本研究の構成

## 第2章 研究の方法



## 2. 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 1,840km<sup>2</sup> の一級河川である (図 2-1). H14 年 7 月洪水では、河川距離標 (以下, KP と略称する) 40.6km に位置する基準地点万石観測所において、S50 年 8 月の観測史上最高に迫る水位を記録した (図 2-2, 表 2-1). 掘削区間は、KP32km~38km に位置し、セグメント 2-2 に区分される (図 2-1) (池田ら 2017, 池田ら 2016, 池田ら 2015).

H13, 17, 18 年度に高水敷を切り下げる河道掘削が行われた (図 2-2). 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渴水位, 低水位, 平水位, 豊水位の平均値 (表 2-2) に基づき 3 地区それぞれで設定 (図 2-1, 図 2-3) 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.

研究対象としたヤナギ類の生活史やフェノロジーなど特性として、小型軽量で綿毛の種子を持つことで風や流水 (河川) を通じて広域散布を実現する (溪畔林研究会 2001, 崎尾・山本編 2002, 林田ら 2011, 吉川ら 1999, 渡辺ら 2005). 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 (溪畔林研究会 2001, 崎尾・山本編 2002). 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 (崎尾・山本編 2002). ヤナギ類は, 生長が早いだけでなく樹齢 2~3 年で生殖を開始する (崎尾・山本編 2002). ヤナギ類の種子散布時期は, 揖斐川の実態を踏まえて 4 月 1 日から 6 月 30 日 (崎尾・山本編 2002) とした (図 2-4).

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 (図 2-5). 西を加えると 4~6 月期の月別で 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 2-1). また, 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 (池田ら 2015).

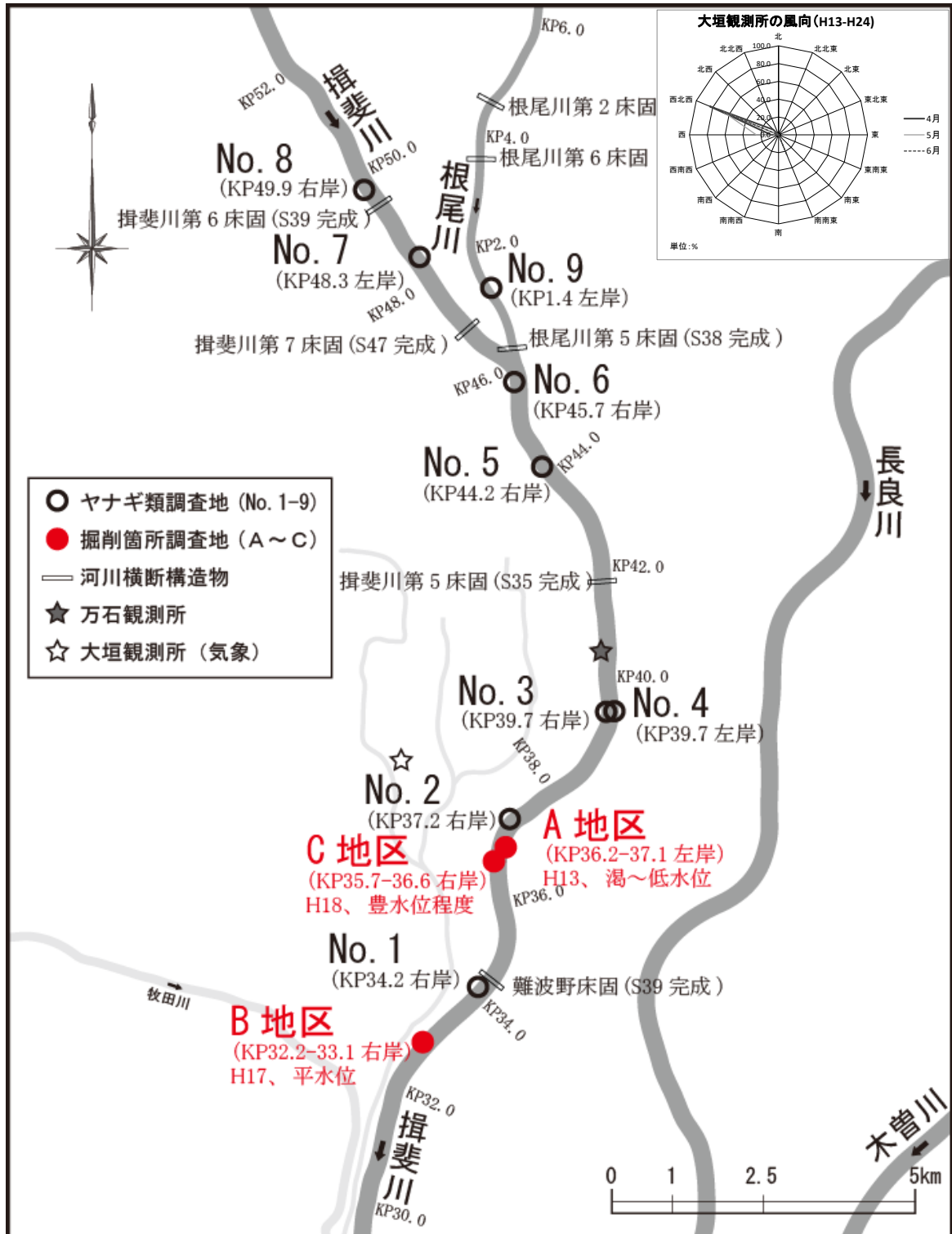


図 2-1 調査位置図



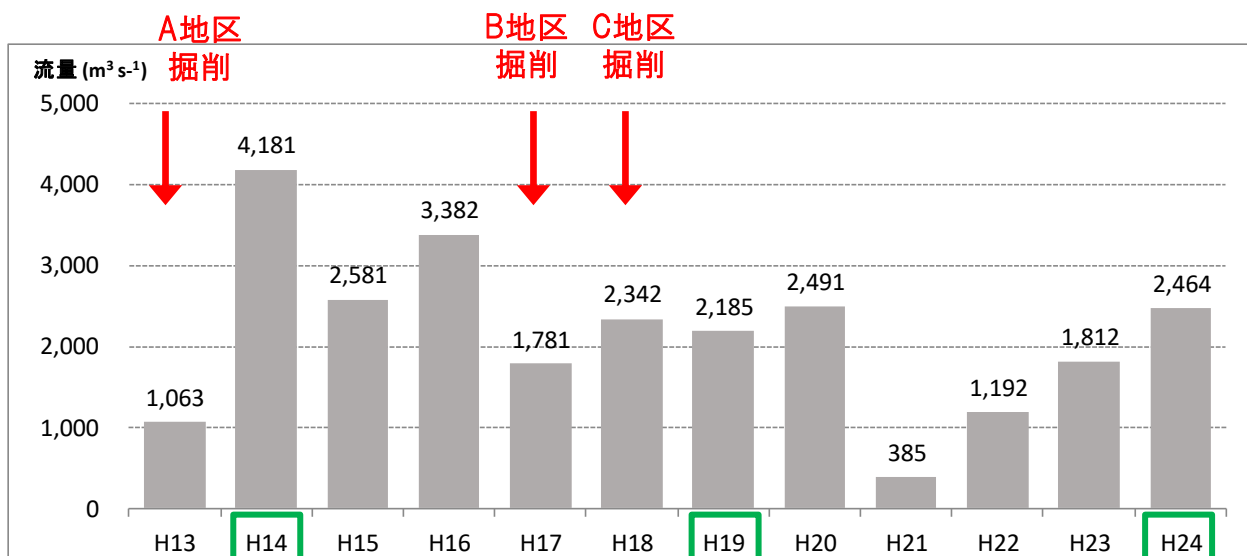


図 2-2 万石観測所の年最大流量と掘削・植生調査

(□は河川水辺の国勢調査による植生図を作成した年. 平均年最大流量 2,155 m³/s)

(万石の河道整備流量 3,900m³/s : 平成 14 年 7 月洪水対応)

(データの出典 : 国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

表 2-1 万石観測所における大, 中小洪水の発生頻度 (回数)

T. P. は東京湾中等潮位の略称

年	水防団待機水位(T.P. 7.5m)の超過頻度※ (中小洪水)	避難判断水位(T.P. 10.8m)の超過頻度 (大洪水)
平成13年	1	
平成14年	1	1※※
平成15年	1	
平成16年	4	1
平成17年	2	
平成18年	2	
平成19年	1	
平成20年	1	
平成21年		
平成22年	3	
平成23年	5	
平成24年	2	
合計	23	2

※避難判断水位(T.P. 10.8m)の超過分は除く

※※はん濫危険水位(T.P. 11.4m)超過

データの出典 : 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>

表 2-2 万石観測所における平均の渴・低・平・豊水位 (T. P. m)

年	最高水位	豊水位	平水位	低水位	渴水位	最低水位
平成1年	11.48	4.74	4.47	4.25	4.05	4.00
平成2年	11.01	4.67	4.45	4.30	3.96	3.84
平成3年	7.06	4.69	4.45	4.26	4.08	3.95
平成4年	6.99	4.55	4.31	4.16	3.98	3.92
平成5年	8.87	4.73	4.46	4.27	4.10	4.06
平成6年	10.69	4.35	4.18	3.99	3.62	3.60
平成7年	8.86	4.64	4.22	4.04	3.83	3.76
平成8年	8.08	4.55	4.27	4.12	3.95	3.84
平成9年	8.49	4.62	4.28	4.10	3.89	3.81
平成10年	11.36	欠測	欠測	欠測	欠測	3.76
平成11年	8.88	4.53	4.20	4.06	3.91	3.85
平均	9.25	4.61	4.33	4.16	3.94	3.85

T. P. は東京湾中等潮位の略称

**A地区**の掘削高；渴～低水位，工期；平成13年3月～平成14年3月.

**B地区**の掘削高；平水位，工期；平成17年9月～平成18年3月.

**C地区**の掘削高；豊水位程度，工期；平成18年9月～平成19年3月.

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

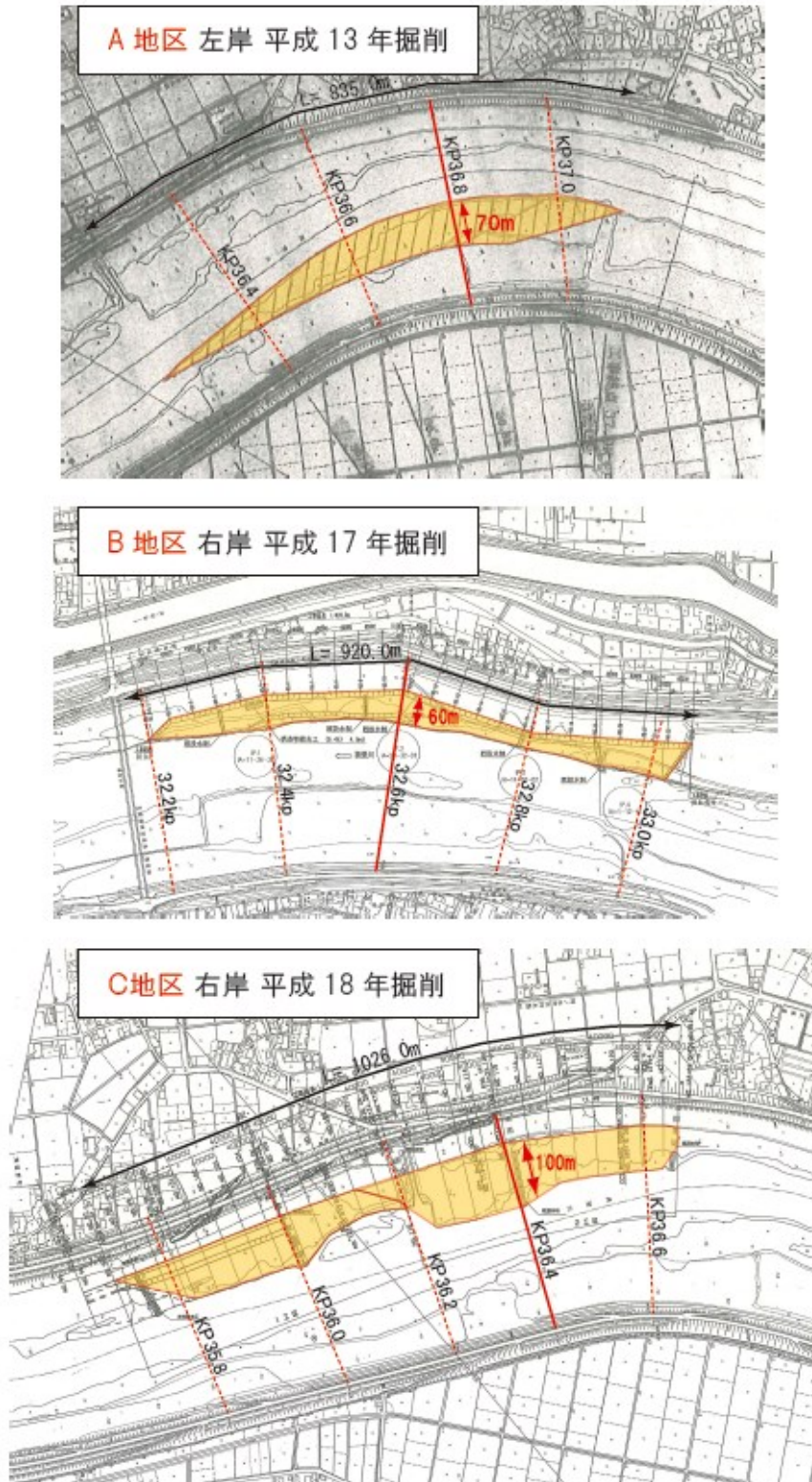


図 2-3 3 地区の掘削平面図

(出典：国土交通省 中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 資料 より抜粋)



図 2-4 アカメヤナギと綿毛付き種子の写真

ヤナギ類の種子重量は1,000粒で100~600mgと極めて軽量(崎尾・山本編 2002)

(上段:平成26年10月撮影, 下段:平成27年4月撮影)

方位	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全体
北													
北北東													
北東													
東北東													
東													
東南東													
南東									8.3				0.7
南南東				8.3	25.0	33.3	33.3						8.3
南													
南南西													
南西													
西南西													
西	16.7	8.3	8.3	8.3	25.0	8.3	8.3		8.3			16.7	9.0
西北西	83.3	83.3	91.7	83.3	66.7	66.7	58.3	66.7	66.7	58.3	66.7	83.3	72.9
北西		8.3		8.3						8.3	33.3	33.3	7.6
北北西									8.3	8.3			1.4

小数点第二位以下は四捨五入

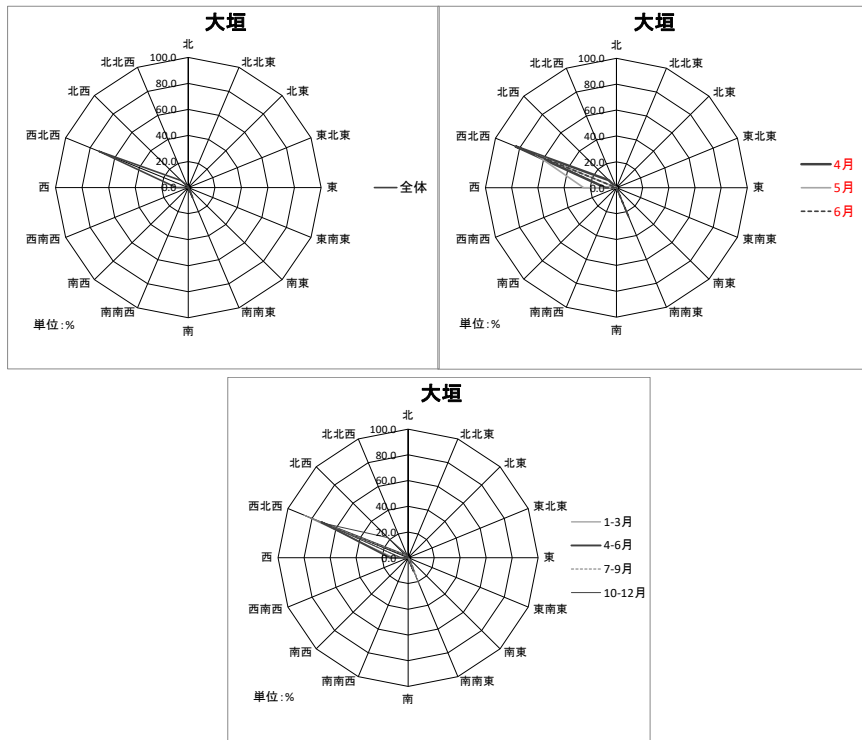


図2-5 大垣観測所の平成13～24年における月別の最多出現風向の割合 (%)

(出典：気象庁過去の気象データ検索よりダウンロード)

## 2. 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、空中写真、気象庁関係資料を用いた。

掘削域の冠水の有無による乾湿状態は、植物の生育にとって重要であり、流量・水位と河床との両者の変動の影響を受ける。本研究では、土砂の堆積など河床の変動を伴う陸域の地盤高や形状（微地形）の変化を勘案して、「冠水」の時期・頻度、及び冠水深に着目した。

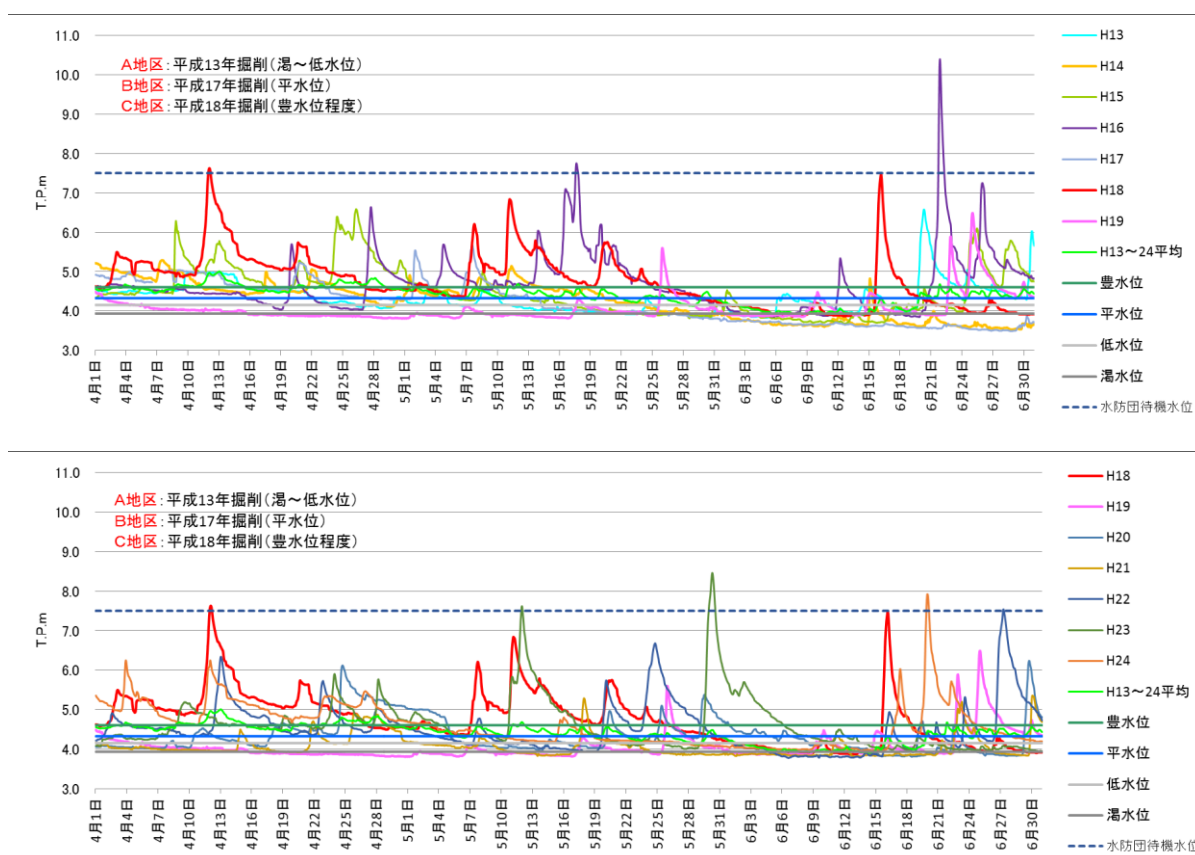
調査区間の河道特性として、掘削区間は、上流に大きな流入支川がなく、堤間幅が 400m 程度、低水路幅が 200m 程度からなる河道が根尾川合流点付近から連続している（図 2-1）。このため、水文水質データベースを用いて、万石観測所の H13～24 年 4～6 月期の時刻水位ハイドログラフを、河道掘削、河川水辺の国勢調査の実施年を勘案して二期に分けて作成した（図 2-6）。ヤナギ類の種子散布時期に着目して、H1～11 年の平均の濁水位、低水位、平水位、豊水位と比較して 3 地区での冠水状況を推定した。また、万石観測所の流量を用いて等流計算を行い、3 地区の代表断面について冠水日数を算出した。

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（図 2-6）。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 2-3）。また、H13 - 19 年と H18 - 24 年の二期に分けて、3 地区と発生洪水規模の関係をみると、H13 - 19 年の期間に、H14 年 7 月はん濫危険水位に達する大洪水と H16 年 10 月避難判断水位に達する大洪水が発生した（表 2-1, 表 2-4）。

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。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 年の二時期に着目して、ヤナギ類の地被面積の時間的な変化から掘削域がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因を分析した。また、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）高木林の河川縦断分布（図 2-7）を勘案して、種子の侵入時等河道掘削前のヤナギ類の繁茂状況を

把握した。

H14, 17, 20, 25 年度の定期縦横断測量, H24 年度撮影の空中写真を用いて, 掘削区間と上流区間の河床勾配 (図 2-8), 河道掘削後の陸域の土砂の堆積形状, 水域の位置や形状を把握した。河川横断面図は, 掘削域の中央部に相当し, 現地調査を実施した箇所から距離的に近い断面 (測線) を対象とした (図 2-3)。



T.P. は東京湾中等潮位の略称

図2-6(1) 種子散布時期の時刻ハイドログラフ (二期)

(万石観測所, 上段 : H13 - 19, 下段 : H18 - 24)

(データの出典 : 国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

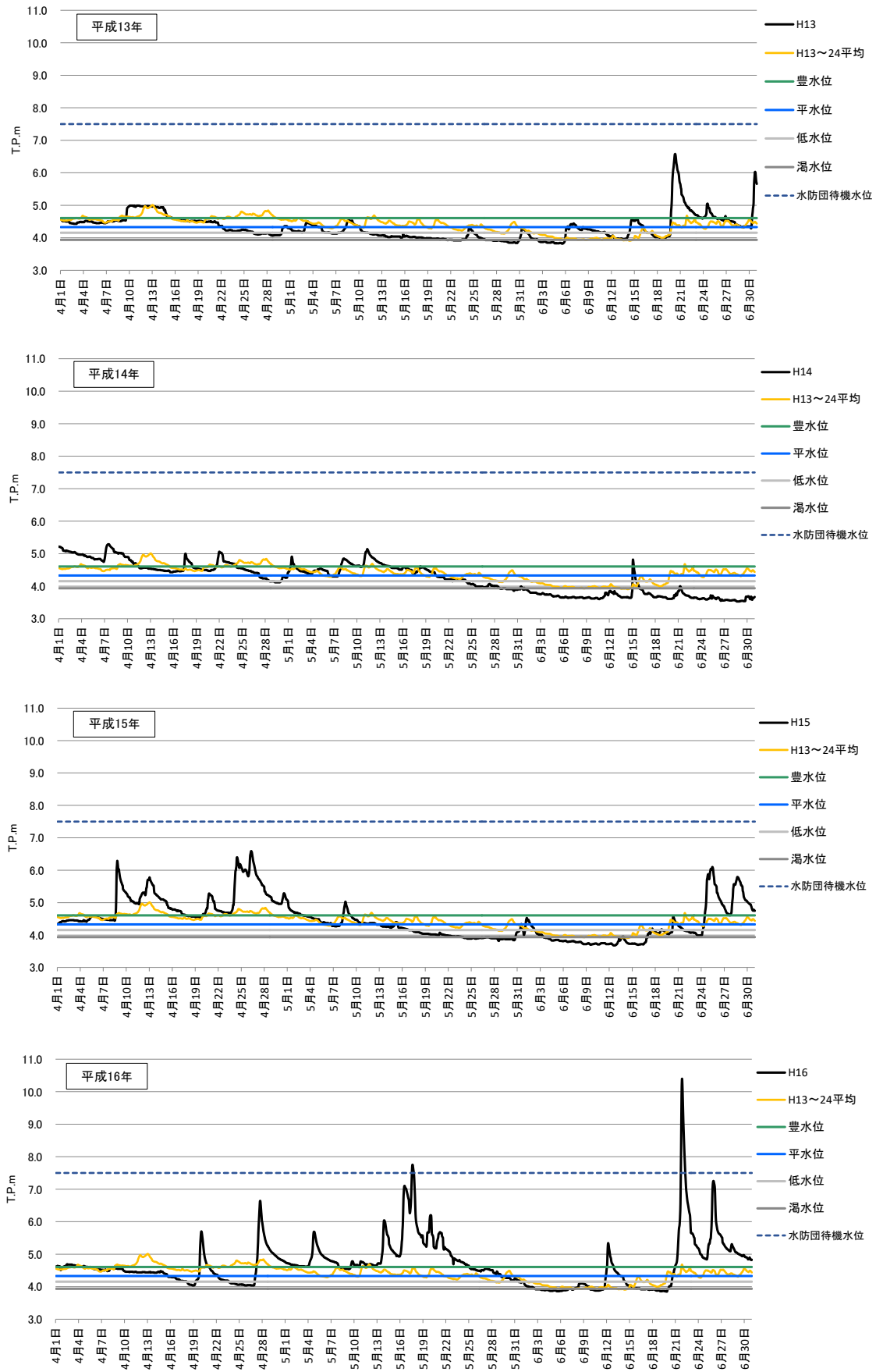


図2-6(2) 種子散布時期の時刻ハイドログラフ(年別1)

(データの出典: 国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)



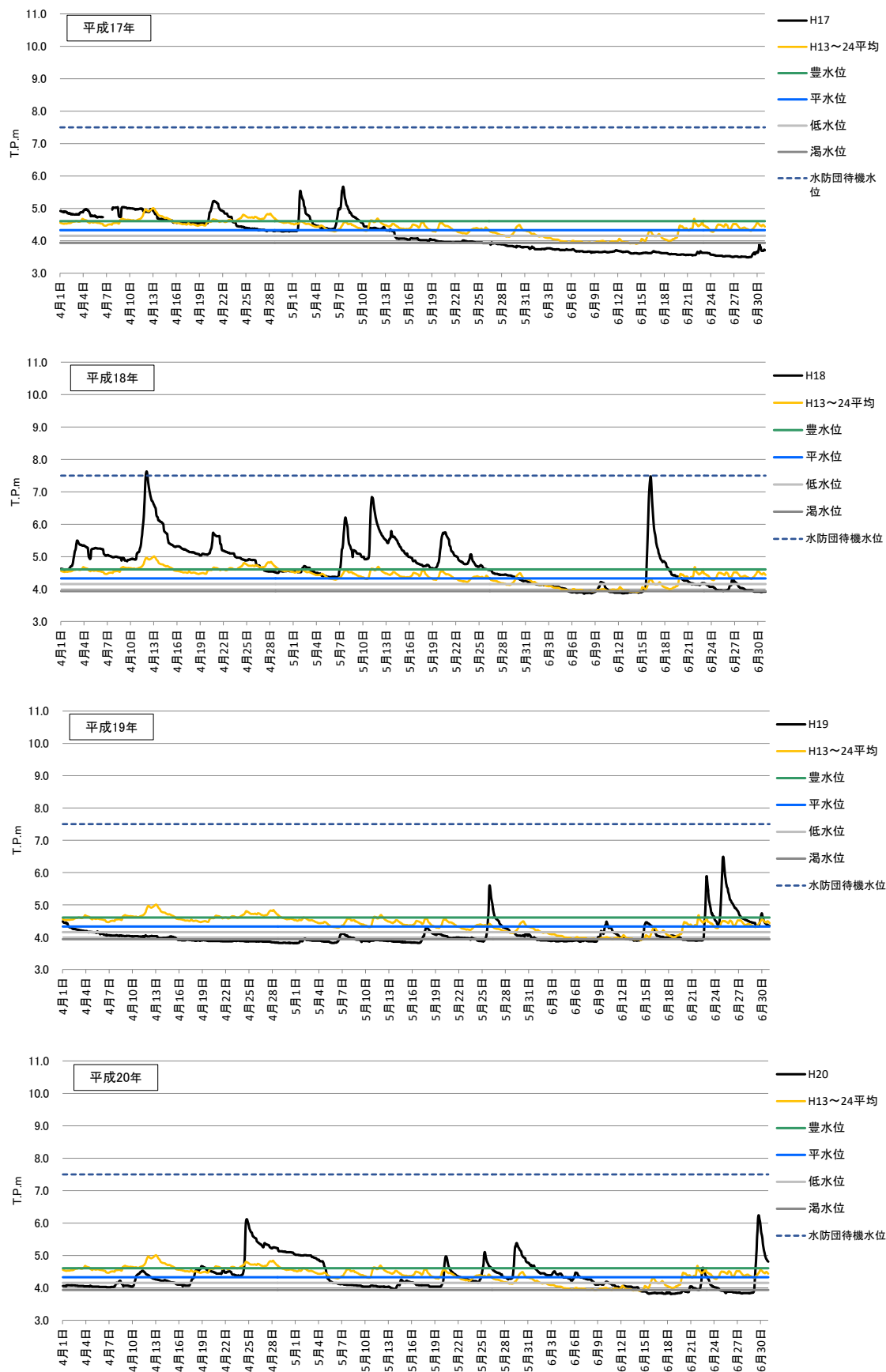


図2-6(3) 種子散布時期の時刻ハイドログラフ (年別2)

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

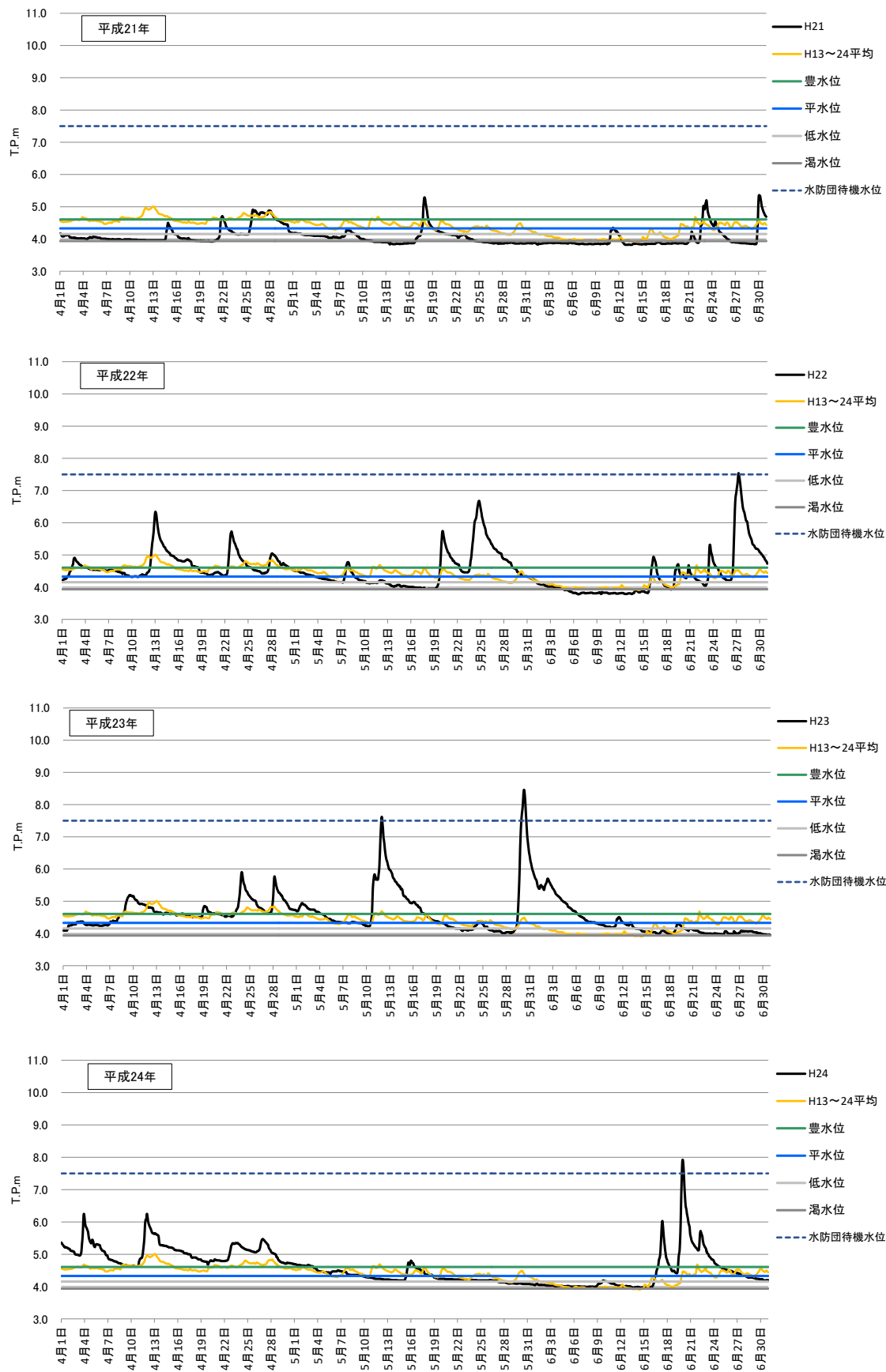


図2-6(4) 種子散布時期の時刻ハイドログラフ (年別3)

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

表2-3 万石観測所における種子散布時期の平均水位 (T. P. m)

	4月平均	5月平均	6月平均	4～6月平均
平成13年	4.49	4.09	4.38	4.32
平成14年	4.66	4.38	3.70	4.25
平成15年	5.00	4.21	4.22	4.48
平成16年	4.52	4.95	4.56	4.68
平成17年	4.69(欠測有)	4.23	3.64	3.93
平成18年	5.17	4.89	4.18	4.75
平成19年	3.98	4.01	4.22	4.07
平成20年	4.48	4.38	4.15	4.34
平成21年	4.16	4.04	4.00	4.07
平成22年	4.69	4.51	4.34	4.51
平成23年	4.68	4.78	4.31	4.59
平成24年	5.08	4.31	4.43	4.61

T. P. は東京湾中等潮位の略称

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

表2-4 3地区と河道掘削後（ヤナギ類の侵入，生長過程）の発生洪水規模のまとめ

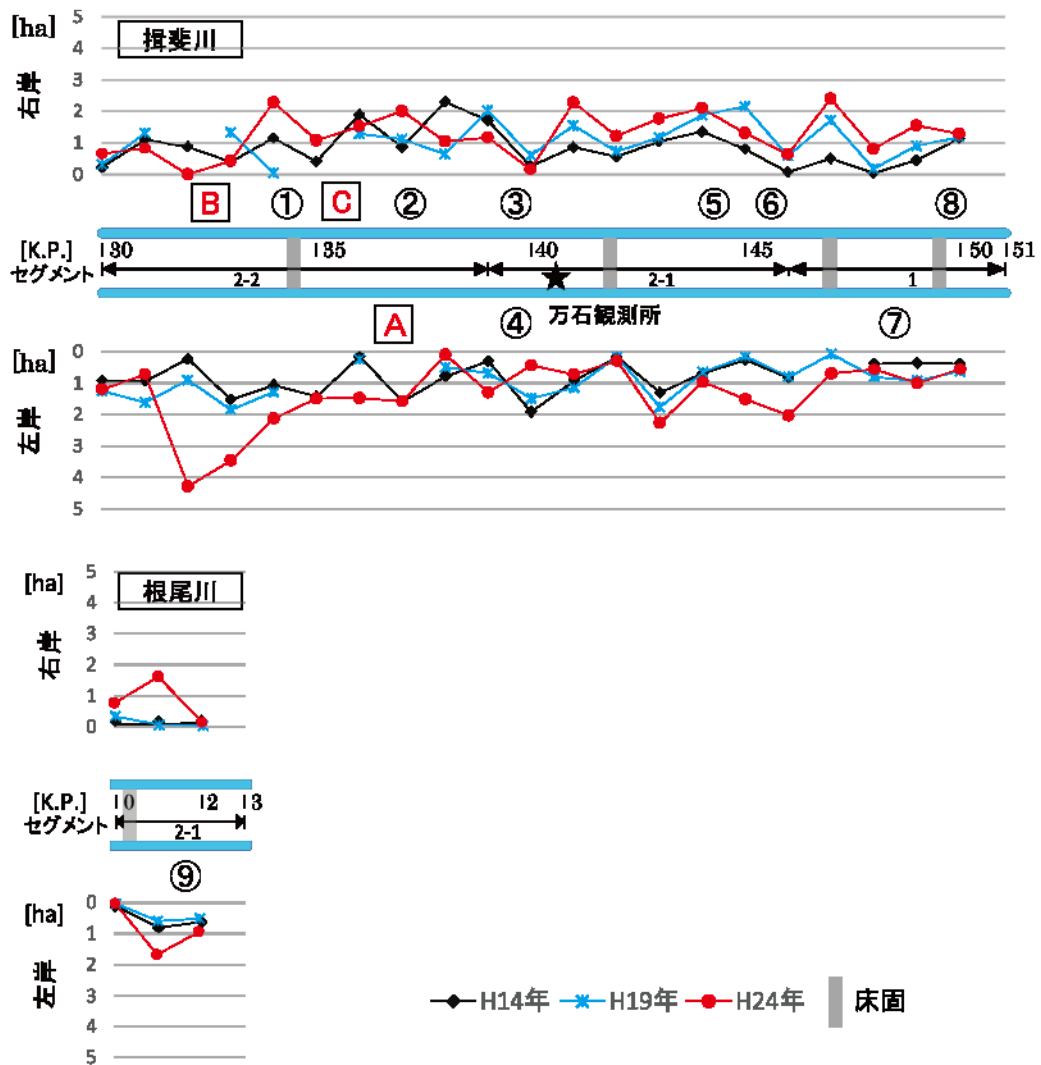
	I 期(平成13-19年)		II 期(平成18-24年)	
	掘削直後の 種子散布時期	平成13-19年	掘削直後の 種子散布時期	平成18-24年
A地区(平成13年掘削) 濁～低水位	平成14年(水防団待機 水位に達する)洪水なし	・平成14年はん濫危険水 位に達する大洪水あり ・平成16年避難判断水位 に達する大洪水あり	—	中小洪水の連続
B地区(平成17年掘削) 平水位	—	—	平成18年(水防団待機 水位に達する)洪水あり	中小洪水の連続
C地区(平成18年掘削) 豊水位程度	—	—	平成19年(水防団待機 水位に達する)洪水なし	中小洪水の連続

大洪水：避難判断水位を超過した洪水

中小洪水：避難判断水位を超過しなかった洪水

(大洪水と中小洪水については，避難判断水位の超過に加えて，H13～24年までの平均  
年最大流量 $2,155 \text{ m}^3/\text{s}$ ，万石観測所の河道整備流量 $3,900 \text{ m}^3/\text{s}$  <平成14年7月洪水対  
応>を踏まえて，H14年7月とH16年10月を大洪水とし，これ以外を中小洪水とした)

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)



(データの出典：河川水辺の国勢調査)

H14：H14年10月調査

H19：H19年10月調査

H24：H24年10～11月調査

高木林とは、調査時の樹高が4m以上

図2-7 ジャヤナギーアカメヤナギ群落高木林の河川縦断分布図

(左右岸別1km単位の地被面積)

距離標(km)		30				35					40				45				50			
揖斐川	セグメント	セグメント2-2						セグメント2-1						セグメント1								
	河床勾配	1/4252						1/1526						1/2052						1/661	1/568	1/452
	掘削(□)採取(○)箇所	右岸	B	①	C	②	③	万石観測所	⑤	⑥									⑧			
	左岸			A		④	★												⑦			

┃: 床固

※河床勾配はH20年度測量

距離標(km)		0	2
根尾川	セグメント	セグメント2-1	
	河床勾配	1/670	
	掘削(□)採取(○)箇所	右岸	
		左岸	⑨

図2-8 掘削・葉採取箇所と河床勾配

(データの出典：国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所 定期縦横断測量)

## 2. 3 現地調査（植生・土質・地形・葉採取等）

現地調査は、H26年9～12月、H27年4～5月（種子散布時期）に実施した。現地で広く分布しているジャヤナギーアカメヤナギ群落の優占種であるアカメヤナギに着目して、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について調査を行い、ヤナギ類の掘削された3地区への侵入時期、ヤナギ類の繁茂状況を把握した。3地区と上流区間9地区の計12地区（**図 2-1**）について、現地調査を実施した。こ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、河川水辺の国勢調査では、植物群落別の植生の変化を時系列で把握するが、現地調査では、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（植物の種類）との関係性を把握するため、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（10×10m<sup>2</sup>）を設定して調査した。

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、掘削後に樹木伐開等人工改変が行われておらず植生や土砂の堆積形状などの状態の変化を時間的に追跡できる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（**図 2-3**）。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を設定した。

上流区間では、ジャヤナギーアカメヤナギ群落高木林の河川縦断分布（**図 2-7**）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（崎尾・山本編 2002）に焦点をあて調査した。また、ジャヤナギーアカメヤナギ群落高木林の河川縦断分布、難波野床固を始め5箇所の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（**図 2-1**、**図 2-8**）。

3地区と上流区間9地区について、遺伝解析用に64サンプルのアカメヤナギ個体の葉採取を行った（**表 2-5**）。また、アカメヤナギ個体の侵入年については、ヤナギ類の特性を勘案して、年輪調査により判定した。

種子散布時期の万石観測所の平均水位を勘案して、リアルタイムの河川水位情

報を確認（池田ら 2001）しながら、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について調査した。

3 地区の掘削域について、陸域は、土質、地形、及びはん濫危険水位などに達する大洪水の経験の有無に着目して堆積土砂内の植物の根茎について調査した。水域は、ワンドとタマリの位置、形状について調査した。

表 2-5 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。

**A地区** ; H13掘削 (掘削高 ; 濁~低水位)

**B地区** ; H17掘削 (掘削高 ; 平水位)

**C地区** ; H18掘削 (掘削高 ; 豊水位程度)



## 2. 4 遺伝解析と流況分析

掘削域においては、冠水時に供給源となる上流区間から河川を經由して、ヤナギ類種子が侵入することが想定される(林田ら 2011, 池田ら 2015). 流水散布は、河川の流れによって行われるため、移動している小型で軽量のヤナギ類種子それ自体を目視により追跡することは難しい(戸澤ら 2003, 林田ら 2011). また、遠隔計測機器を用いて追跡することも難しい. さらに、ヤナギ類の特定は一般的に葉や樹皮によって行われるため、流下して侵入した種子により種を即座に特定することは難しい(林田ら 2011).

これに対して、遺伝解析は、遺伝的多様性や遺伝的距離を明らかにし、生物種の空間的な交流及び個体の侵入起源について推定することが可能(味岡ら 2007, 黒河内 2012, 崎尾編 2009, 土木技術資料第 57 号 2015, リバーフロント研究所報告第 21 号 2010) である.

そこで、ヤナギ類の掘削域への侵入機構を解明するために、種子の侵入時の流況に着目して、掘削域と上流区間のアカメヤナギ個体の葉 64 サンプルを対象に遺伝解析を行い、遺伝的多様性を個体間や地区間で比較検討した.

種子散布時期について、平均的な水位時と小洪水時の流況に着目し、種子が上流区間から掘削された 3 地区まで到達することができる範囲を比較・推定するため、調査区間の河道特性(図 2-1, 図 2-8), 万石観測所が上流区間と掘削された 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種子が掘削された 3 地区まで到達することができる上流区間の範囲を推定した.

アカメヤナギ個体の遺伝子流動性を把握するため、SSR (Simple Sequence Repeat, 単純反復配列) を用いた遺伝子多型解析を行った. SSR は生態遺伝学的研究に最も広く用いられている手法であり、個体群内に生育する各個体識別が可能である. 採取した 64 サンプル(表 2-5) の葉から抽出された DNA を用い、PCR 増幅 (TaKaRa PCR Amplification Kit を使用) を行った. PCR 増幅には Baker ら (Barker JHA, Pahlich A, Trybush S, Edwards KJ, Karp A.) が近縁種で設計したプライマーを用いた(表 2-6). 増幅産物を濃度が均一になるようにそれぞれ混合し、3130 Genetic Analyzer (Applied Biosystems 社製) を用いてキャピラリー電気泳動を行い、それぞれの増幅産物の塩基長を決定した.

各アカメヤナギ個体の DNA から得られた遺伝子型データから、各地区の遺伝的

関係を明らかにするため、GenAlEx を用い地区間の遺伝的距離に基づいた主座標分析を行った (Peakall, R. and Smouse P., E.: GENEALEX6). また, GeneClass (Piry S, Alapetite A, Cornuet, J.-M., Paetkau D, Baudouin, L., Estoup, A.) を用いて, Paetkau ら (Paetkau, D., Calvert, W., Stirling, I. and Strobeck, C.) の方法により各サンプルが由来する地区の推定を行った. クラスタ分析にはエクセル統計を用い, クラスタ間の距離計算にはユークリッド距離, クラスタ間の結合にはウォード法を採用した (池田ら 2016).

表2-6 本研究で使用したプライマー\*

Locus	Primer sequences (5'-3')	Repeat motif	Predicted product size (bp)	Accession No.
SB24-F	ACTTCAATCTCTCTGT			
	ATTCT	[TG] <sub>21</sub> AG[TG] <sub>3</sub> AG[TG] <sub>3</sub>	167	AF442691
SB24-R	CTATTTATGGGTTGGT	AG[TG] <sub>3</sub> AGTGAG[TG] <sub>3</sub>		
	CGATC			
SB88-F	TATTGCTTTGATGGCG			
	ACTGC	[ACCGCC] <sub>5</sub> ACCGC	110	AF442698
SB88-R	CAGCAACGGAAATAG			
	CAACAG			
SB201-F	CCTCTTTTTCTATTGT			
	GGTCT	[CT] <sub>4</sub> CC[CT] <sub>3</sub> [CA] <sub>22</sub>	212	AF442706
SB201-R	GGCATGTATTTTTACT			
	CCAAC			

\* Barker JHA, Pahlich A, Trybush S, Edwards KJ, Karp A.: Microsatellite markers for diverse Salix species. Molecular Ecology Notes 3: 4-6, 2003.

プライマーとは, 相補的な塩基配列を持つ短い一本鎖DNA.

Predicted product sizeとは, プライマー間の距離で, 増幅サイズ80~150bpが一般的なりアルタイム検出に使用される.

### 第3章 掘削された3地区へのヤナギ類等植物の侵入と 繁茂状況（地被面積の変化など）



### 3. 1 ヤナギ類の侵入，繁茂状況と林床部の植生

#### 3. 1. 1 アカメヤナギ個体の侵入時期

現地調査で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） $=0.93$ ），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（図 3-1）. 3 地区の掘削域全域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（池田ら 2017，池田ら 2016）.

A 地区は KP36.8km 測線の下流側に H14～16 年，B 地区は掘削域（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 2-5）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で帯状に分布（崎尾・山本編 2002，林田ら 2011）していた（図 3-2）.

3 地区で個体数は少ないが，H20～22 年に侵入したアカメヤナギ個体を確認した（図 3-2）. A 地区では，河道掘削後，本川流路側へ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，また，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（図 3-2）.

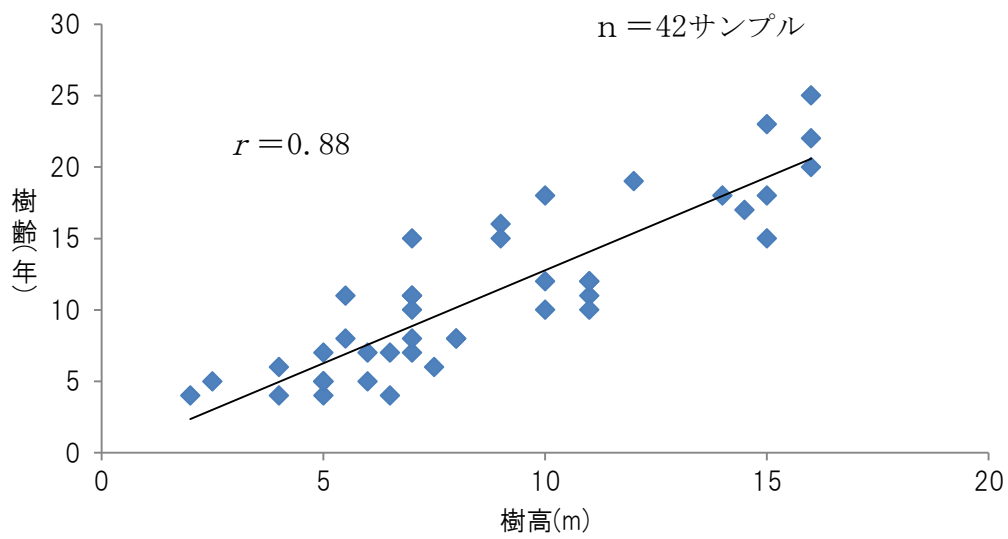
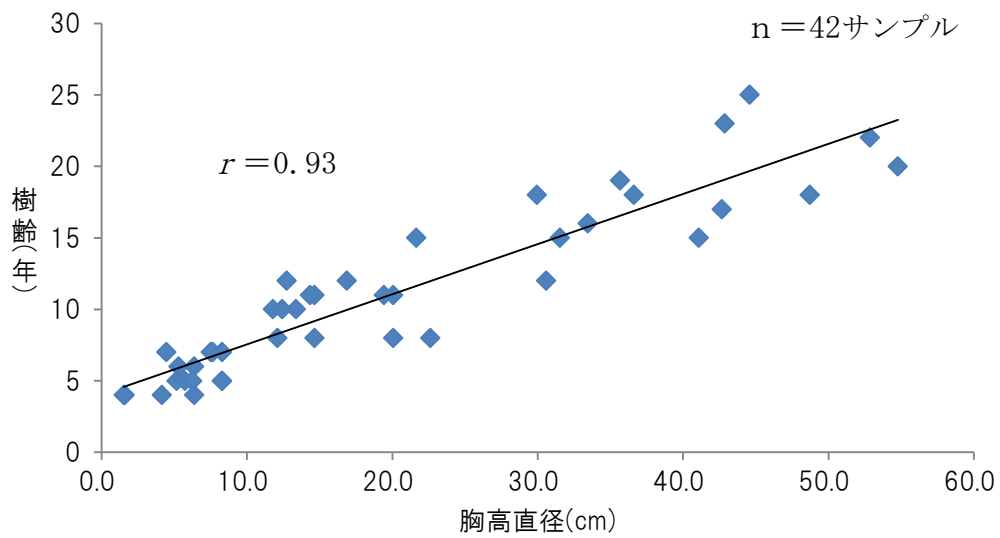
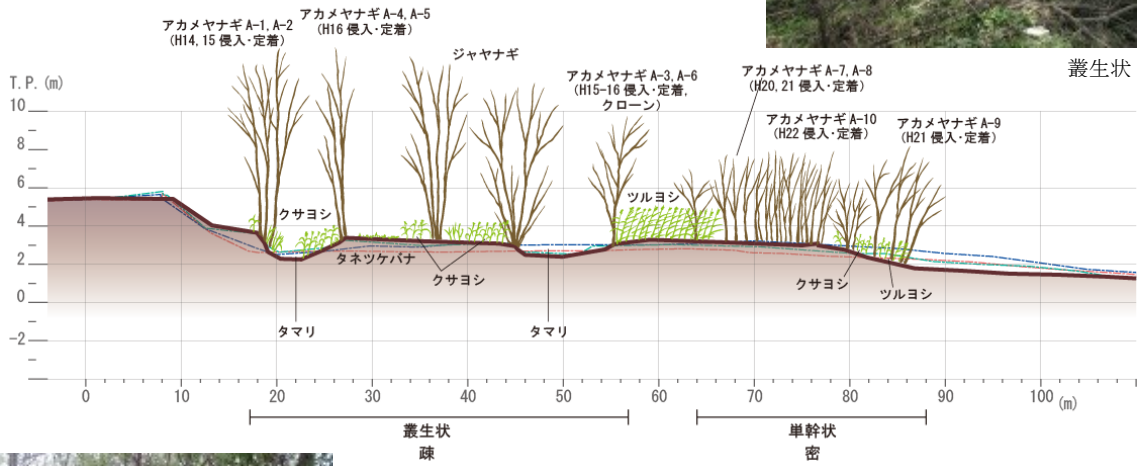
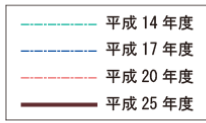


図3-1 アカメヤナギの年輪と胸高直径・樹高の相関  
 現地調査は平成26年9～12月に実施

**A 地区 (KP36.8)**

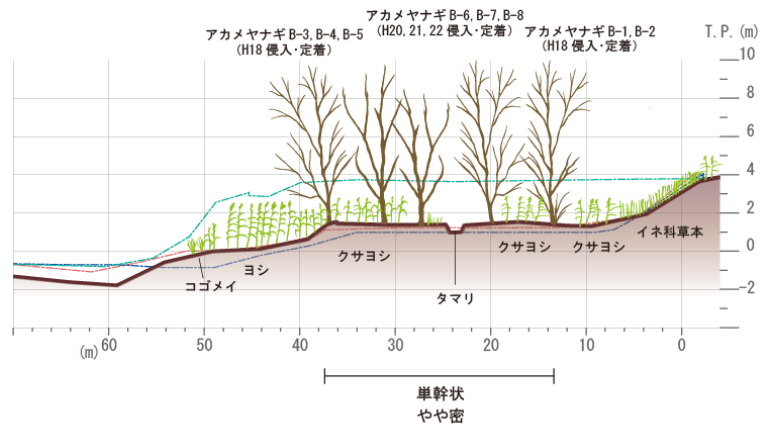


単幹状



河川横断面の測量年度

**B 地区 (KP32.6)**



単幹状

**C 地区 (KP36.4)**

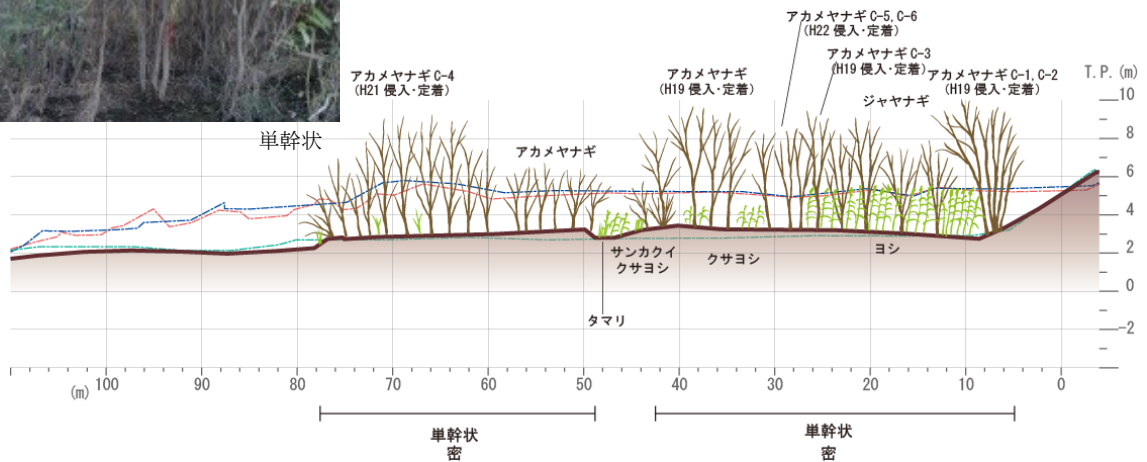


図3-2(1) 植生横断模式図 (A~C地区)

現地調査は平成26年9~12月に実施

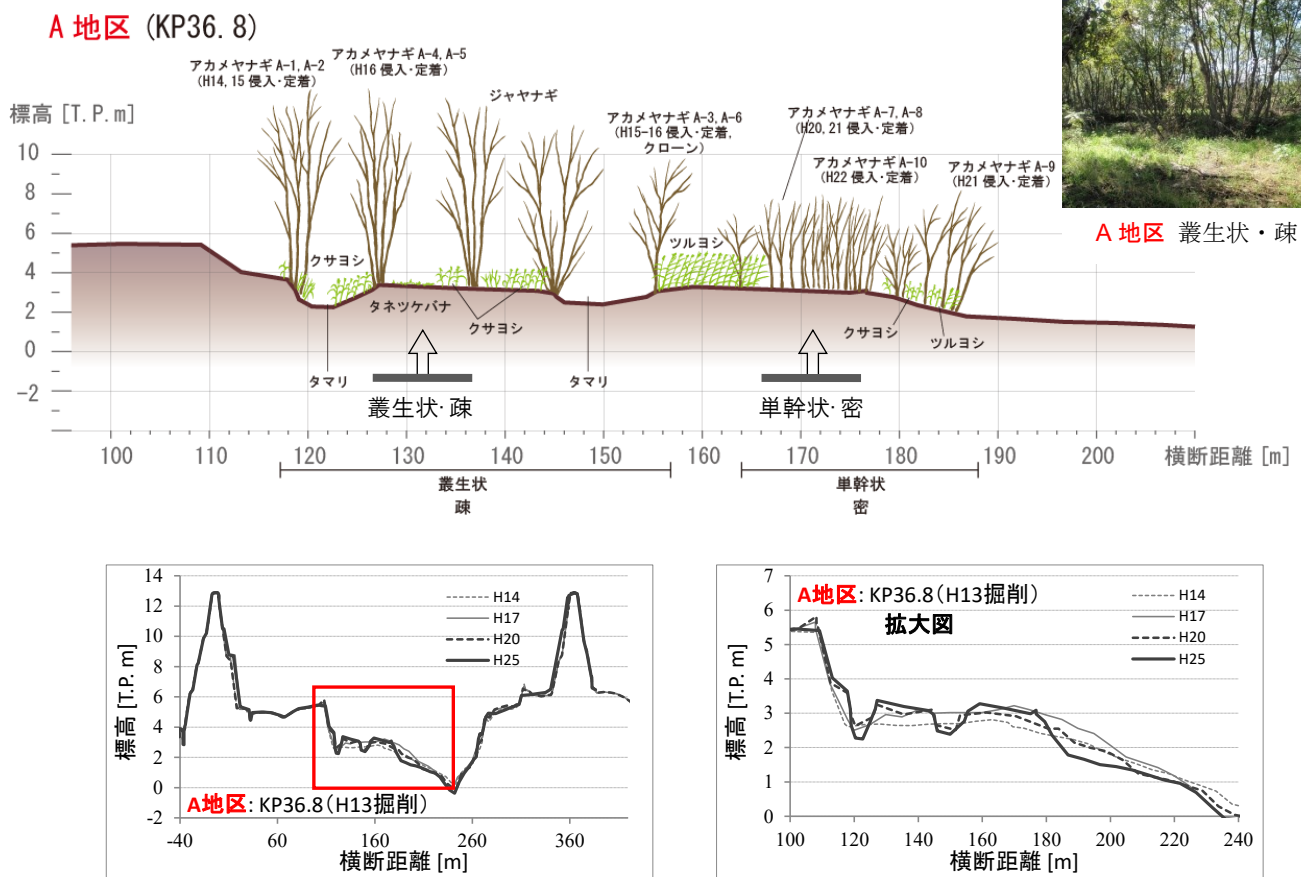



図3-2(2) **A地区**の植生横断模式図（上図，平成26年10月調査・撮影）  
 及び河川横断図の変遷（下図，左図：両岸図，右図：掘削箇所の拡大図）  
 （※各地区の河川横断図は，平成25年度測量。  は方形区の地表面位置を示す。）



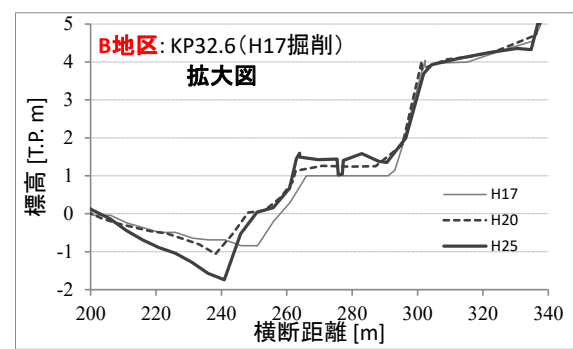
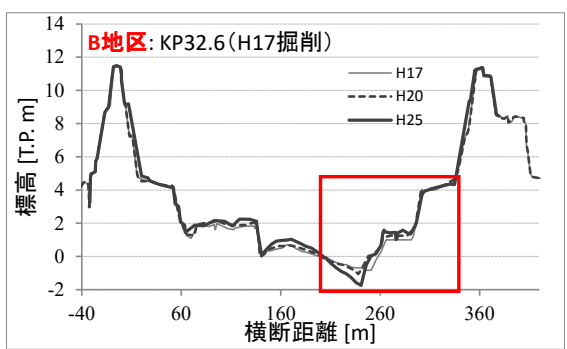
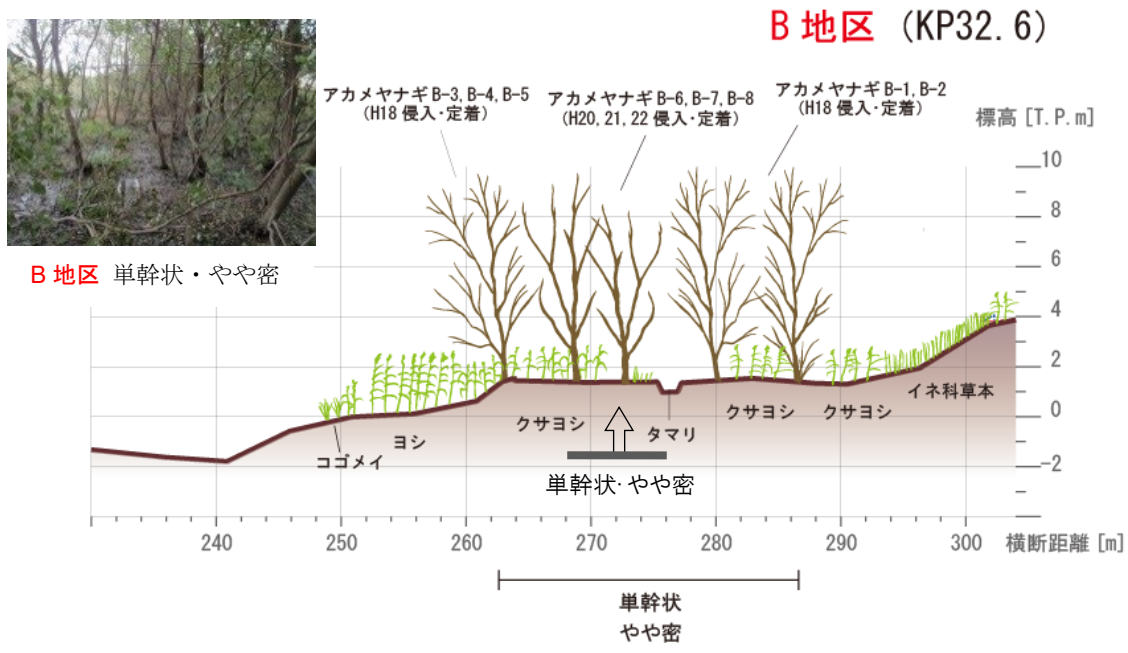


図3-2(3) **B地区**の植生横断模式図（上図，平成26年10月調査・撮影）  
 及び河川横断図の変遷（下図，左図：両岸図，右図：掘削箇所の拡大図）  
 （※各地区の河川横断図は，平成25年度測量，↑は方形区の地表面位置を示す。）

**C地区 (KP36.4)**

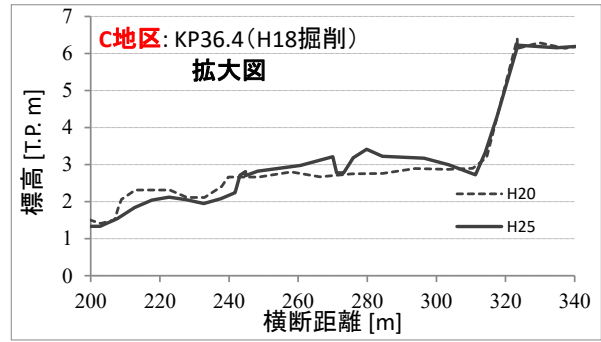
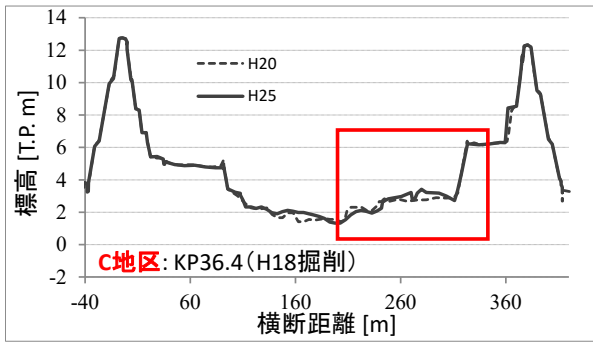
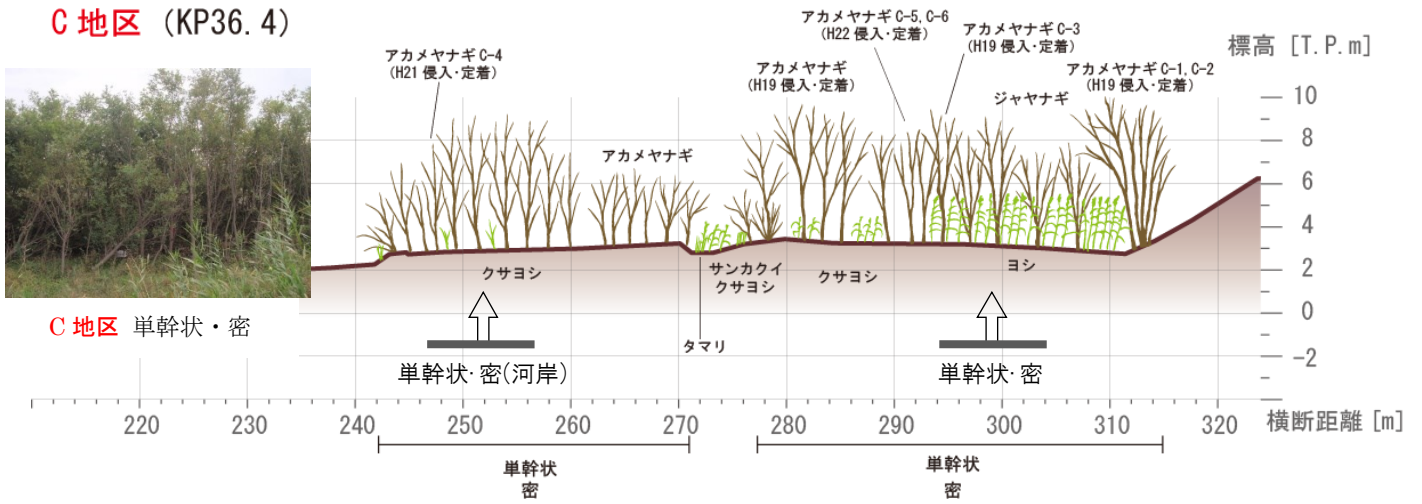


図3-2(4) **C地区**の植生横断模式図（上図，平成26年10月調査・撮影）  
 及び河川横断図の変遷（下図，左図：両岸図，右図：掘削箇所の拡大図）  
 （※各地区の河川横断図は，平成25年度測量。 ↑ は方形区の地表面位置を示す。）

### 3. 1. 2 ヤナギ類の繁茂状況（樹形、樹幹の疎密等）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をしており、そのうちの凹地の一部にタマリを確認し、湿潤な環境（図 3-2）であった（第 4 章にて詳述）。

A 地区では、H14 年 7 月はん濫危険水位に達する大洪水と H16 年 10 月避難判断水位に達する大洪水（図 2-2、表 2-1）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る叢生状（坂井ら 2000）の形状であった（図 3-3）。叢生状をした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 3-2）。また、この疎な箇所では、地表面まで光が届き（図 3-3 の写真）、草本類を含めて植物の種類が多様（深田ら 2000）であった（表 3-1）。

中小洪水が続いた H18 年以降（図 2-2、表 2-1）に A、B、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（坂井ら 2000）の形状が数多くみられた（図 3-3）。B、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 3-2）。これらのヤナギ類個体群は掘削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（深田ら 2000）していた（表 3-1）。

B、C 地区は、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、河川景観が一様・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。

表3-1 ヤナギ類の繁茂状況と林床構成種の比較（10×10㎡方形区内）

科名	和名	学名	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・やや密 (B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	<i>Equisetum arvense</i>		○			
ヤナギ科	アカメヤナギ	<i>Salix chaenomeloides</i>	○				○
	タチヤナギ	<i>Salix subfragilis</i>	○				
タデ科	ヤナギタデ	<i>Persicaria hydropiper</i>	○				
	ミノソバ	<i>Persicaria thunbergii</i>	○				
ナデシコ科	ウシハコベ	<i>Stellaria aquatica</i>	○				
ヒユ科	ヒカゲイノコズチ	<i>Achyranthes bidentata var. japonica</i>	○				
アブラナ科	タネツケバナ	<i>Cardamine flexuosa</i>	○				
	オオバタネツケバナ	<i>Cardamine scutata</i>		○			
バラ科	ヘビイチゴ	<i>Duchesnea chrysantha</i>	○				
	ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i>	○				
セリ科	セントウソウ	<i>Chamaele decumbens</i>	○				
アヤメ科	キシヨウブ	<i>Iris pseudacorus</i>	○				
イネ科	ヒメアシボソ	<i>Microstegium vimineum</i>	○				
	ヌカキビ	<i>Panicum bisulcatum</i>	○				
	クサヨシ	<i>Phalaris arundinacea</i>	○	○	○		○
	ヨシ	<i>Phragmites australis</i>			○	○	
カヤツリグサ科	カサスゲ	<i>Carex dispalata</i>	○				
種数			15種	3種	2種	1種	2種

※現地調査は平成26年10月に3地区の調査対象測線において実施した。調査は、群落高2m未満の草本層（木本類を含む）のみを対象とし、低木層、亜高木層、高木層については調査対象外とした。



**A地区** 叢生状・疎  
(日光がさし込んでいる)



**C地区** 単幹状・密  
(ヤナギ類が過剰に繁茂した状態)

図3-3 ヤナギ類の叢生状と単幹状の写真  
(平成26年10月撮影)

### 3. 2 侵入した植物群落の地被面積の変化

#### 3. 2. 1 H14 - 19 年の地被面積と大洪水との関係 (A 地区)

H14 - 19 年の間、H14 年 7 月と H16 年 10 月に大洪水が発生した (図 2-2, 表 2-1)。H13 年度に河道掘削された A 地区では、H19 年で、掘削域全域に占める地被面積の割合は、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た (図 3-4)。

また、現地調査から、H14 年 7 月は氾濫危険水位に達する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の中から、枯死したヤナギ類を確認 (第 4 章にて詳述) した。

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 (石川 1991)。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 (石川 1991, 田頭ら 2014) と考えられる。

#### 3. 2. 2 H19 - 24 年のヤナギ類の地被面積の変化 (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 (図 3-4)。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 3-4)。

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は成立し、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 測線の下流側では、現地調査から、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。また、KP36.8km 測線の下流側では、H14, 15, 16 年 (表 2-5) に侵入したアカメヤナギ個体を確認した (図 3-4)。

このため、河道掘削後、H14, 16 年の大洪水 (表 2-4) 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、ヤナギ類の根茎が土壌中の資源(水分や養分)や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(図 3-4)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 2-2、表 2-4)、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、H18 年以降中小洪水が連続した中(図 2-2、表 2-4)、掘削完了直後シルト主体の土砂の堆積と並行して、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。その後、土砂が堆積したため、ヤナギ類は、不定根を発生(第 4 章にて詳述)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 3-2 の B、C 地区、図 3-4 の(2)、(3))。

これは、年輪に関する現地調査(表 2-5)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。

A地区: KP36.8

湧水位～低水位H13施工

	面積(m <sup>2</sup> )			割合(%)		
	H14	H19	H24	H14	H19	H24
木本群落(ヤナギ類)	4,450	7,925	26,725	8.5	15.2	51.1
木本群落(その他)	325	0	0	0.6	0.0	0.0
1・2年生草本群落	13,300	25,250	8,550	25.4	48.3	16.4
湿性・水生植物群落	725	6,475	4,075	1.4	12.4	7.8
多年生草本群落	11,100	3,825	2,325	21.2	7.3	4.4
開放水面	16,700	6,350	9,975	31.9	12.1	19.1
裸地・管理地	5,675	2,450	625	10.9	4.7	1.2
総計	52,275	52,275	52,275	100.0	100.0	100.0

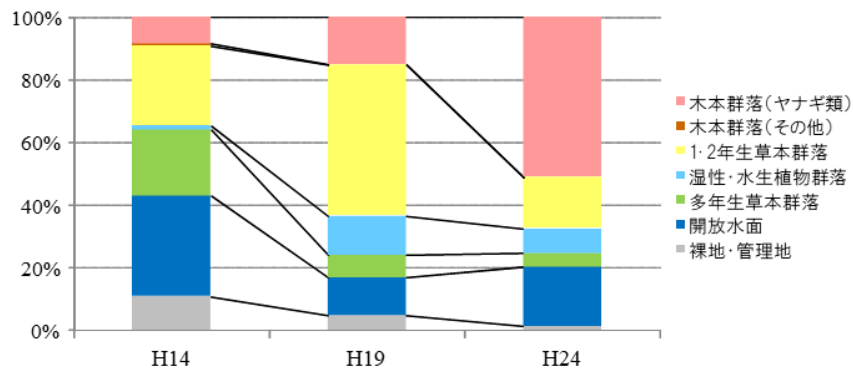
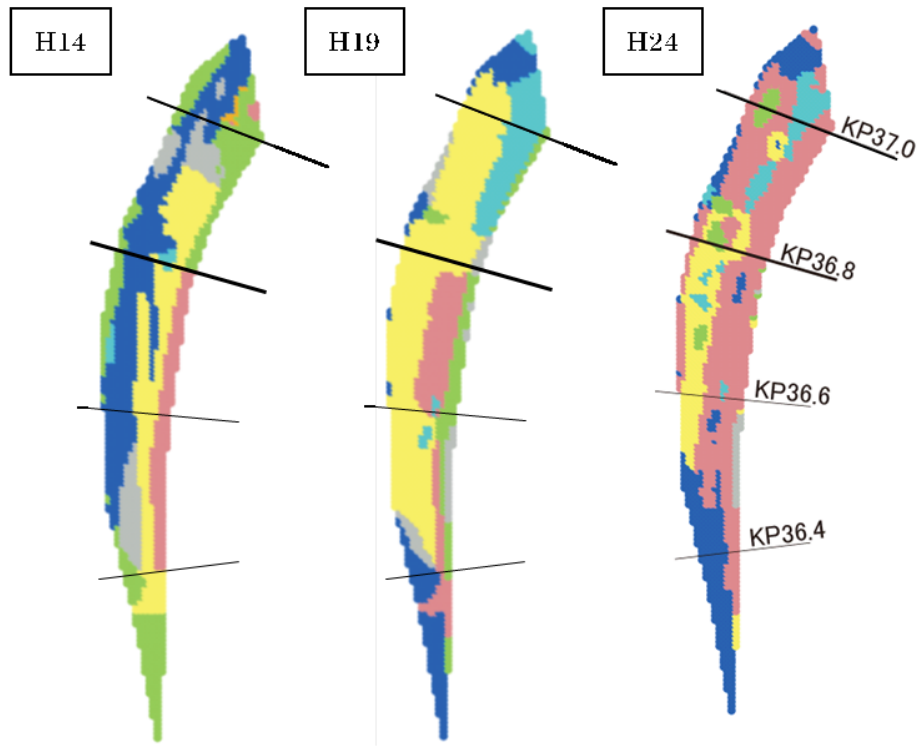


図3-4 (1) A地区 (KP36.8km) の掘削域における植生面積の経年変化  
(データの出典: 河川水辺の国勢調査)

**B地区**：KP32.6

平水位 H17施工

	面積(m <sup>2</sup> )			割合(%)		
	H14	H19	H24	H14	H19	H24
木本群落(ヤナギ類)	3,175	800	28,200	9.3	2.3	82.3
木本群落(その他)	675	0	0	2.0	0.0	0.0
1・2年生草本群落	3,700	0	0	10.8	0.0	0.0
湿性・水生植物群落	325	0	825	0.9	0.0	2.4
多年生草本群落	10,825	3,500	0	31.6	10.2	0.0
開放水面	1,975	1,275	3,150	5.8	3.7	9.2
裸地・管理地	13,600	28,700	2,100	39.7	83.7	6.1
総計	34,275	34,275	34,275	100.0	100.0	100.0

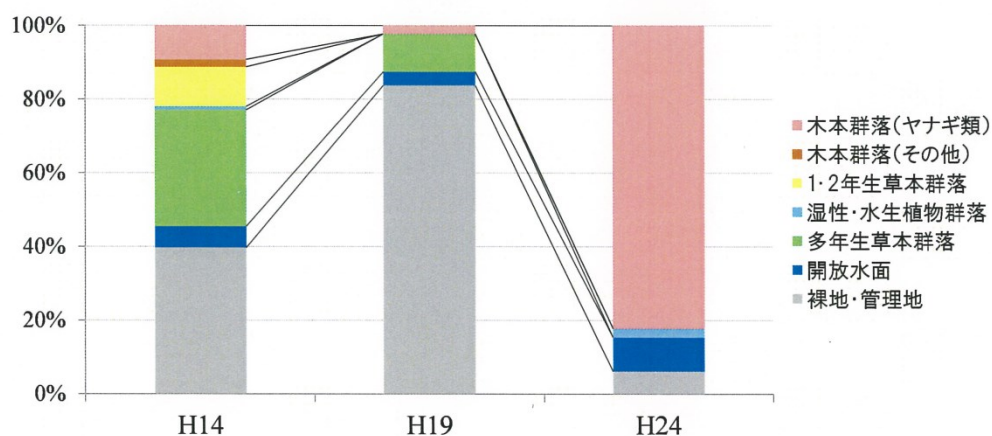
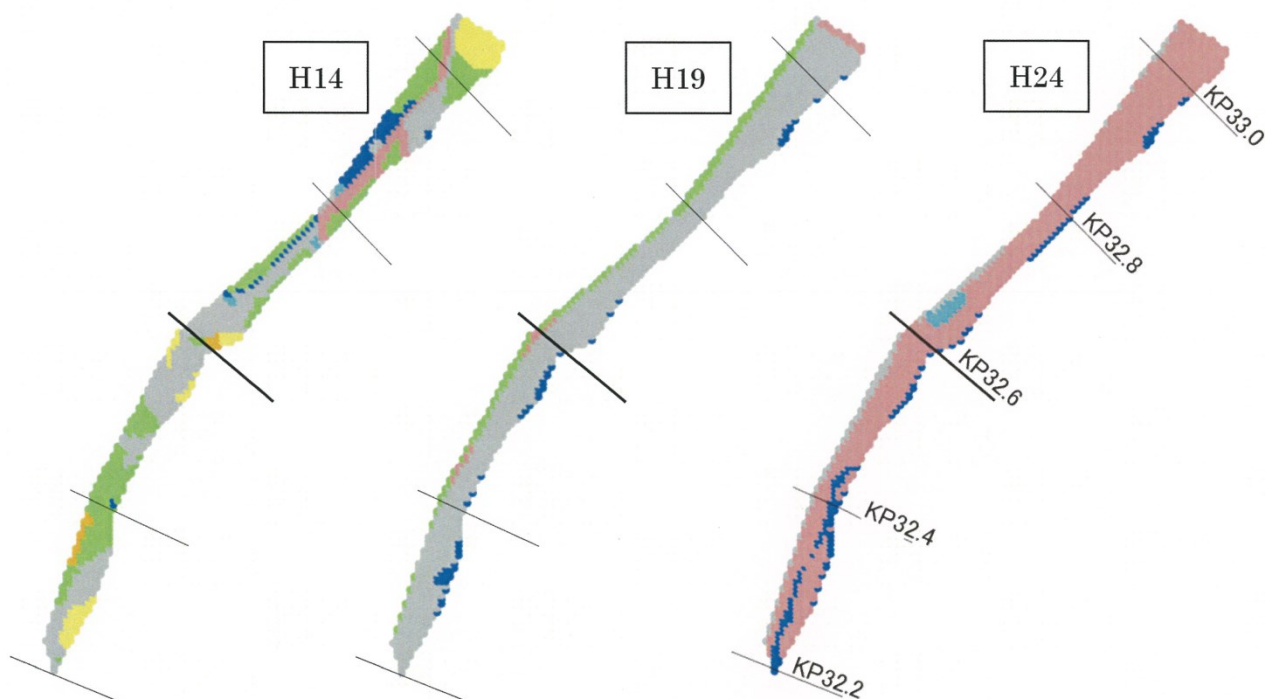


図 3-4 (2) **B地区** (KP32.6km) の掘削域における植生面積の経年変化

(データの出典：河川水辺の国勢調査)



	面積(m <sup>2</sup> )			割合(%)		
	H14	H19	H24	H14	H19	H24
木本群落(ヤナギ類)	23,500	1,950	28,775	29.4	2.4	36.0
木本群落(その他)	3,925	0	0	4.9	0.0	0.0
1・2年生草本群落	5,925	150	650	7.4	0.2	0.8
湿性・水生植物群落	1,525	7,025	75	1.9	8.8	0.1
多年生草本群落	29,875	0	19,200	37.4	0.0	24.0
開放水面	5,575	20,675	30,750	7.0	25.9	38.5
裸地・管理地	9,625	50,150	500	12.0	62.7	0.6
総計	79,950	79,950	79,950	100.0	100.0	100.0

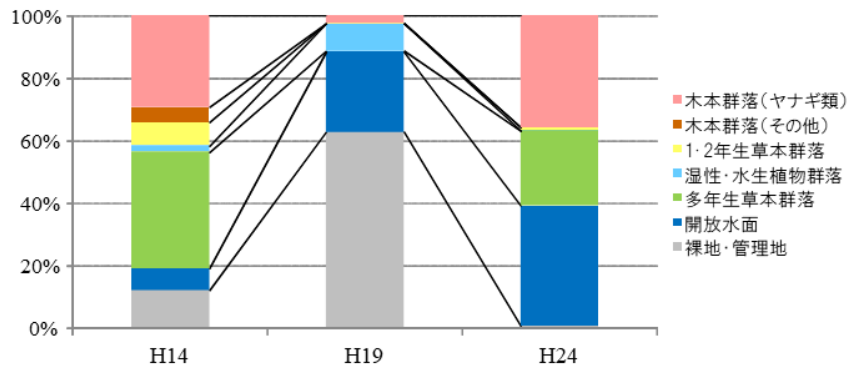
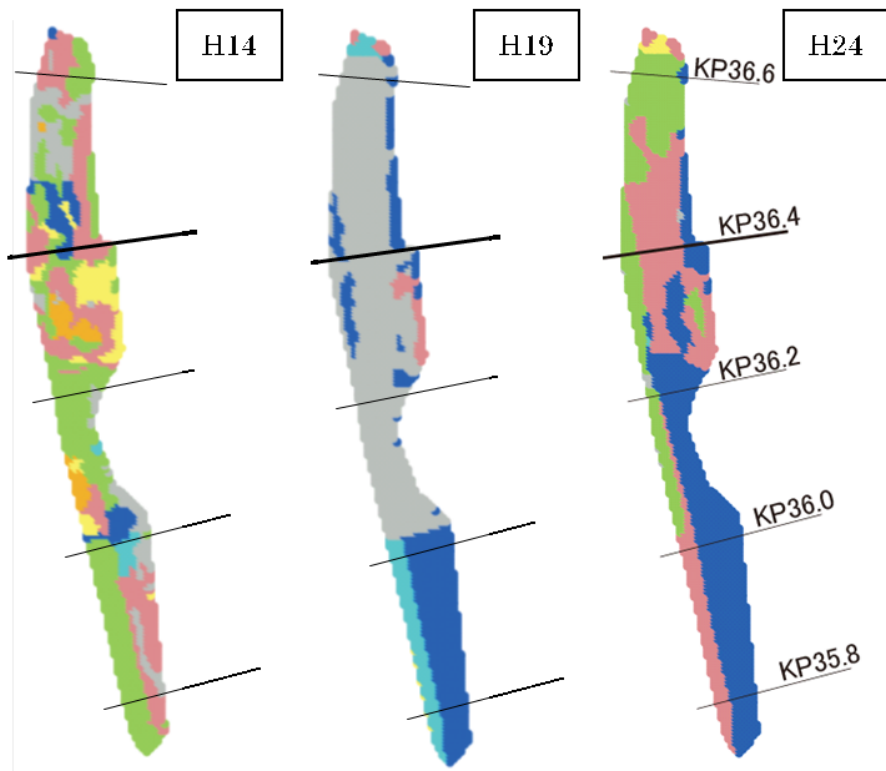


図3-4 (3) C地区 (KP36.4km) の掘削域における植生面積の経年変化  
(データの出典: 河川水辺の国勢調査)

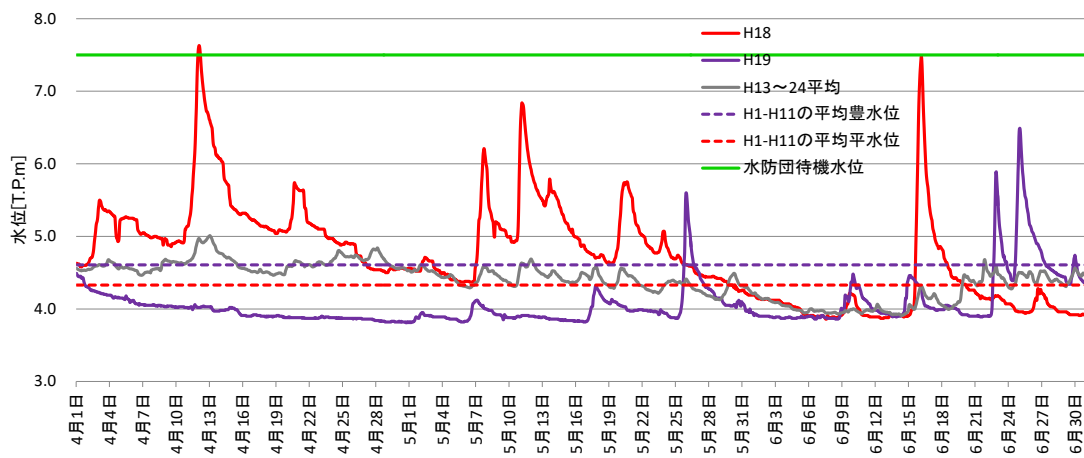
### 3. 2. 3 種子散布時期の冠水状況からみたヤナギ類の地被面積への影響 (B, C 地区)

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 (図 3-5). 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 (図 2-8) という条件下で等流計算を行った結果, 冠水日数は B 地区 (H18) で 57 日, C 地区 (H19) で 14 日であった (図 3-6).

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 2-2, 表 2-4), 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は H24 年で掘削域 (陸域) の全域に成立した (図 3-4) と考えられる (池田ら 2015).

また, H18 年 4~6 月期では水防団待機水位に達する洪水が発生し, 上流区間に繁茂している B 地区へ侵入可能なヤナギ類の個体の対象範囲が上流側遠距離方向に広がった. H18 年種子散布時期 (4~6 月期) は, 上流区間に繁殖可能なヤナギ類 (ジャヤナギ-アカメヤナギ群落) の高木林が河川縦断的に広く分布していた (図 3-7).

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 地区掘削域 (陸域) の全域にヤナギ類が成立した (図 3-4) 要因のひとつと考えられる.



T.P. は東京湾中等潮位の略称

図3-5 万石観測所の平成18年および平成19年の時刻水位変化

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

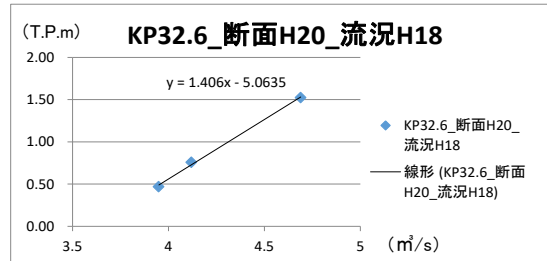
マンニングの平均流速公式 
$$U = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

粗度係数 : 0.027, 河床勾配 (B,C 地区) : 1/4,252

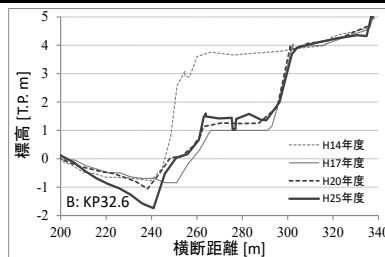
ヤマソフトプランニング社の河川等流・不等流計算プロフェショナル版 for Windows

**B地区**: KP32.6の計算対象年および推算式

断面	流況データ (日流量)	水位推算式の算定
平成20年	平成18年	

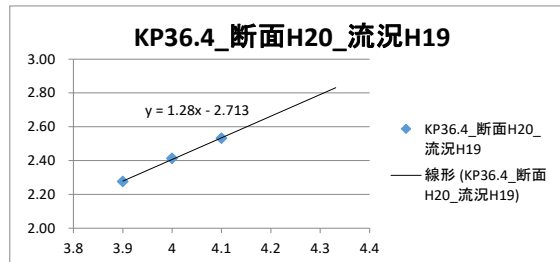


冠水する水位  
平成20年 T.P.1.26m



**C地区**: KP36.4の計算対象年および推算式

断面	流況データ (日流量)	水位推算式の算定
平成20年	平成19年	



冠水する水位  
平成20年 T.P.2.802m

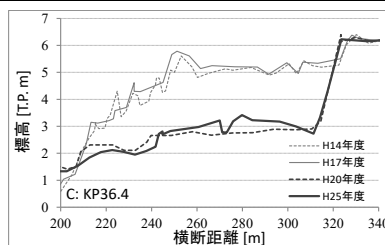
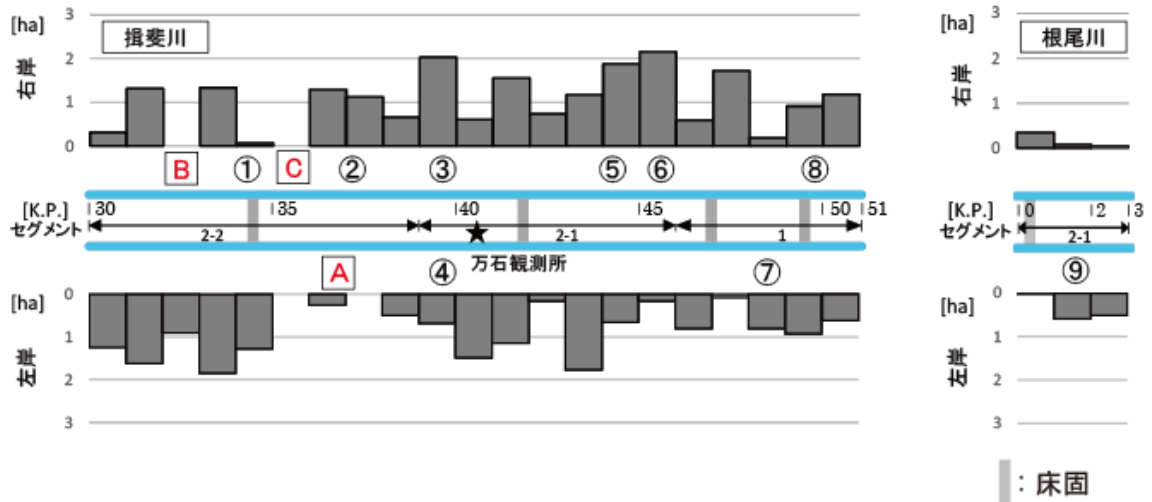


図3-6 冠水日数の計算図

(データ等の出典 : (社) 土木学会 水理公式集 (平成11年版)

国土交通省 中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 定期横断測量結果

国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)



高木林とは、調査時の樹高が4m以上

図3-7 平成19年 ジャヤナギ-アカメヤナギ群落高木林の河川縦断ヒストグラム分布図  
(左右岸別1km単位の地被面積)

(データの出典：河川水辺の国勢調査)

### 3. 3 ヤナギ類の侵入機構（流水散布）の解明（遺伝解析と流況分析）

#### 3. 3. 1 種子散布の状況

H27年4～5月、万石観測所の水位が東京湾中等潮位（以下、T.P.と略称する）4.5m～5.0m（表2-2）にある時期に、揖斐川上流区間から掘削区間にかけて行った現地調査（図3-8）から、ヤナギ類種子が流下していることは確認できた。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。

水際沿いのヤナギ類種子が侵入している状況を観察したが、種子が侵入していることを即座に特定することは困難であった。

#### 3. 3. 2 河川の水位・流速と種子の流下速度

万石観測所の地点を対象に、H20年度測量断面（図3-9）を用い、粗度係数を0.027、河床縦断勾配を1/1,526（図2-8）として Manning式により算出した河川の流速（図3-10）から、種子が上流区間から掘削された3地区まで流下する速度を推測した。

万石観測所のH13～24年4～6月期の平均水位の分布範囲は、T.P.3.91m～T.P.5.01mであり（表3-2）、また、H1～11年の平均の濁水位は、T.P.3.94mであった（表2-2）。これらより、H13～24年の種子散布時期（4～6月期）において、種子が掘削箇所へ到達したとき、万石観測所地点における平均的な流下速度・水位の範囲を試算すると、0.9m/s（T.P.4.0m）～1.3m/s（T.P.5.0m）と推測された（図3-11）。

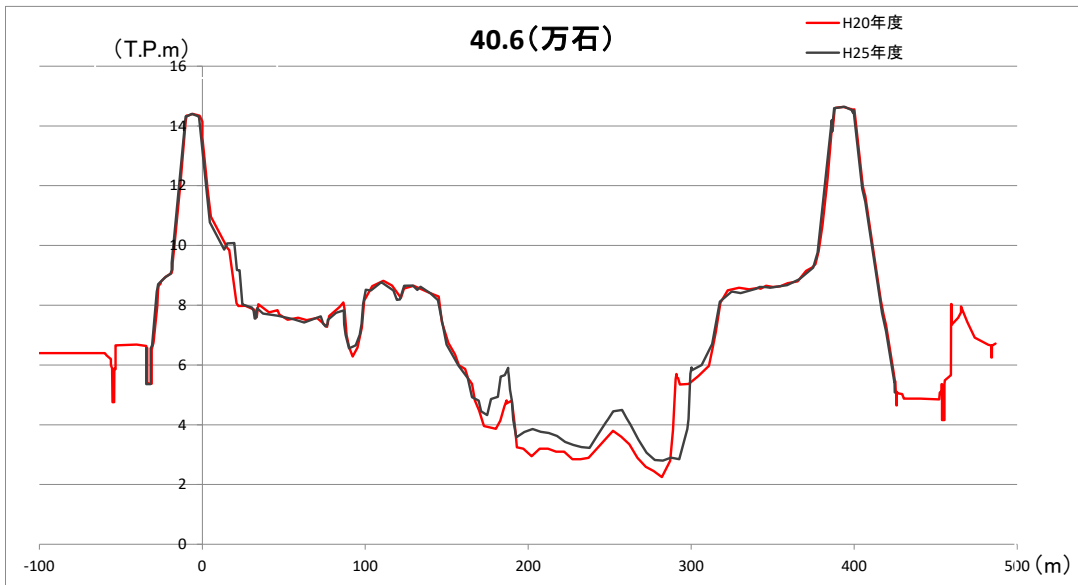


ヤナギ類の種子重量は1,000粒で100~600mgと極めて軽量(崎尾・山本編2002)



(上の赤丸付き写真は、右側が上流)

図3-8 ヤナギ類の種子散布状況  
(平成27年4~5月撮影)



T. P. は東京湾中等潮位の略称

図 3-9 万石観測所の平成 20, 25 年度 河川横断面図 (KP40. 6km 断面)

(データの出典：国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所 定期縦横断測量)



マンニングの平均流速公式 
$$U = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

粗度係数 : 0.027, 河床勾配 (万石観測所) : 1/1,526

ヤマソフトプランニング社の河川等流・不等流計算プロフェッショナル版 for Windows

水位 T.P.m	断面積 m <sup>2</sup>	潤辺長 m	粗度係数	勾配	流速 m/sec
8	684.6	187.54	0.027	1/1,526	2.25
7.5	585.3	171.74	0.027	1/1,526	2.15
7	501.61	167.44	0.027	1/1,526	1.97
6.5	420.33	161.51	0.027	1/1,526	1.79
6	342.21	155.68	0.027	1/1,526	1.6
5.5	268.82	128.43	0.027	1/1,526	1.55
5	206.6	124.82	0.027	1/1,526	1.33
4.5	146.72	99.85	0.027	1/1,526	1.23
4	91.11	97.85	0.027	1/1,526	0.9
3.9	81.4	97.59	0.027	1/1,526	0.84

(H20年度測量断面、粗度計数0.027、河床勾配1/1,526)

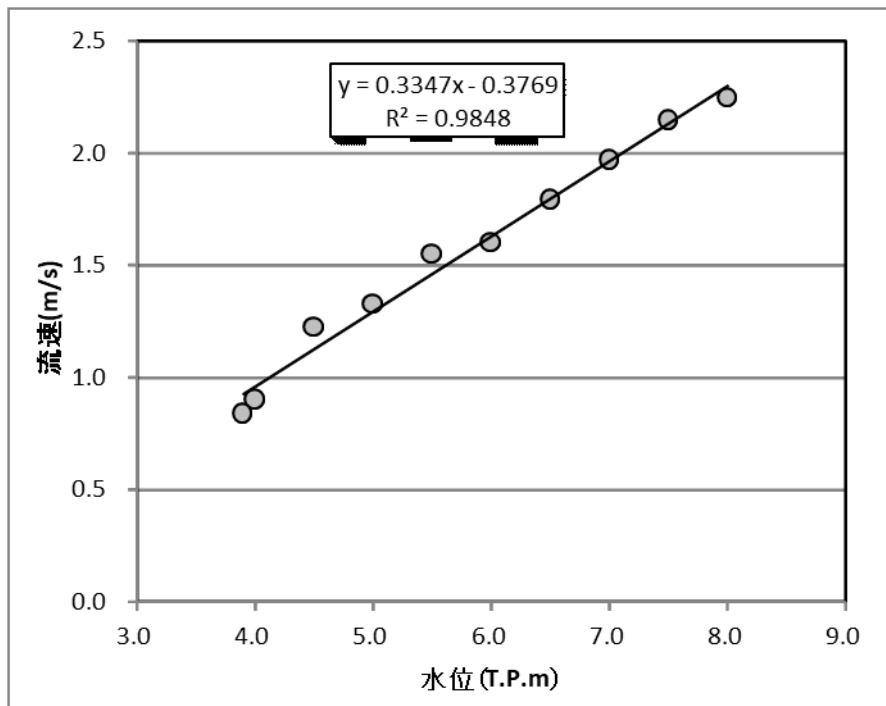


図 3-10 万石観測所の流速と水位

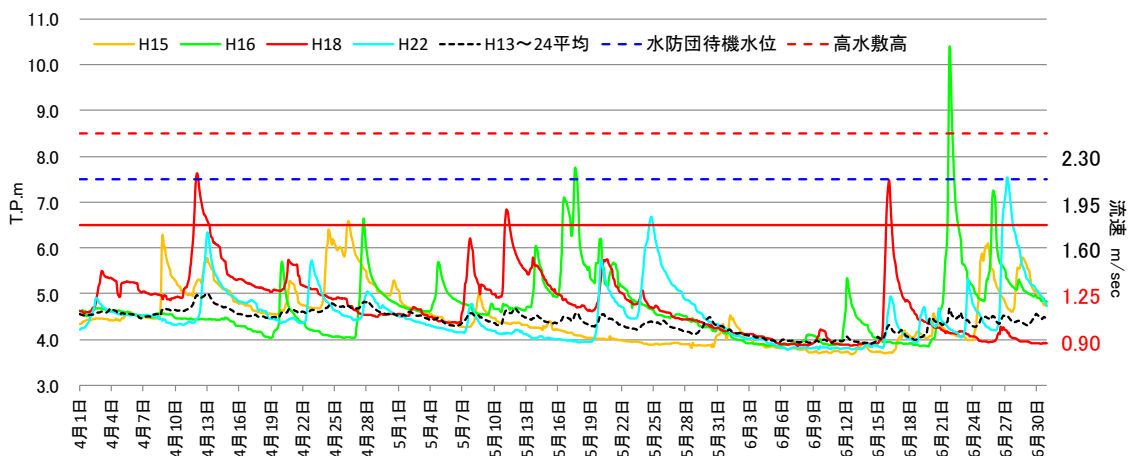
(データ等の出典 : (社) 土木学会 水理公式集 (平成 11 年版)  
 国土交通省 中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 定期縦横断測量  
 国土交通 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

表 3-2 万石観測所の平成 13～24 年 4～6 月期の平均水位の  
最大・最小値 (T. P. m) の発生時刻と継続時間

最低値		最高値	
6月14日10時	3.91m	～	4月13日1時
6時間継続		2時間継続	

T. P. は東京湾中等潮位の略称

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)



T. P. は東京湾中等潮位の略称

図 3-11 万石観測所の時刻水位 (左軸) と流速 (右軸)

(データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>)

国土交通省 中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 定期縦横断測量)

水位と流速の関係は、図 3-10 の近似式による。

高水敷高は、平成 20 年、25 年度横断測量より判定。

### 3. 3. 3 アカメヤナギ個体の葉を用いた遺伝解析

アカメヤナギ個体の葉 64 サンプルを用いてクラスター分析を行った。そのデンドログラムでは、結合距離に着目し cut-level20 で切断することで、掘削された 3 地区を含む KP40km 下流の個体が多いグループ 1~3 (45 個体)、及び B 地区と KP45km 上流の個体が多いグループ 4 (19 個体) に大別された (図 3-12)。

グループ 1~3 それぞれには、掘削された 3 地区と KP40km 下流の個体が多く含まれた。グループ 1 の B 地区の 1 個体 (H18 侵入) 及びグループ 3 の C 地区の 2 個体 (H22 侵入) が KP45km 上流の個体と遺伝的に近かった (図 3-12)。

グループ 4 には、B 地区と KP45km 上流の個体が多く含まれた。特に、B 地区の 1 個体 (H18 侵入) は KP45km 上流の個体と遺伝的に近かった (図 3-12)。

### 3. 3. 4 アカメヤナギ個体の河道内の河川縦断分布と遺伝的多様性

A, B, C 地区に侵入した年の 2~3 年前の樹齢を有する上流区間及び掘削区間の個体が繁殖可能となることを勘案した遺伝的關係性 (H14~16 年に侵入した A 地区の個体は B, C 地区の個体にとって母樹 (崎尾・山本編 2002) となるなど) について、A, B, C 地区それぞれの個体は、KP40km 下流に位置する繁殖可能な個体と遺伝的に近い傾向にあった (図 3-12, 図 3-13)。

種子が A, B, C 地区へ侵入する上流の範囲について、KP40km 下流の範囲では種子の流水距離が相対的に短いため、A, B, C 地区への侵入が冠水により高頻度で起こったことから、A, B, C 地区は KP40km 下流 (概ね 10km 圏内) に位置する繁殖可能な個体と遺伝的に近い傾向となったと考えられる。

このとき、A, B, C 地区への種子の侵入年が H14~22 年と広く分散していたこと (図 3-12) を勘案して、平均的な流下速度である 0.9m/s~1.3m/s (図 3-11) を採用すると、概ね 10km 上流に位置する箇所から A, B, C 地区まで (約 10km 間) の種子の到達時間は、2~3 時間程度と考えられる (図 3-14)。

現地調査から、A, B, C 地区の陸域で優占しており掘削完了時と同年に侵入した個体等 (A 地区は H14 侵入と H15, 16 侵入, B 地区は H18 侵入, C 地区は H19 侵入) と、H20~22 年に侵入した個体は、空間的な距離が近い (図 3-2) もの、遺伝的に近い顕著な傾向は検出されなかった (図 3-12 の①, ②)。なお、A 地区の叢生状の形状であった個体 A-3, 6 は栄養繁殖 (クローン) であった。

### 3. 3. 5 種子散布時期の小洪水がアカメヤナギの侵入に及ぼす影響

種子が A, B, C 地区へ侵入した年のうち, H15, 16, 18, 22 年 4~6 月期に T. P. 6. 5m に達する小洪水が発生した (図 3-11). 4 期間のうち, H18 年 4~6 月期の平均水位が最も高かった (表 2-3).

万石観測所の水位が T. P. 6. 5m のとき流速は 1. 8m/s であり, この流速を採用すると概ね 20km 上流に位置する箇所から B 地区までの種子の到達時間は, 3 時間程度と考えられる (図 3-14). H18 年 4~6 月期で T. P. 6. 5m 以上となる時間帯は, 35 時間 (4 月 11~13 日), 11 時間 (5 月 11 日), 12 時間 (6 月 15~16 日) の 3 回で計 58 時間であった (表 3-3).

万石観測所の水位が T. P. 5. 0m のとき流速は 1. 3m/s であり, この流速を採用すると概ね 15km 上流に位置する箇所から C 地区までの種子の到達時間は, 3 時間程度と考えられる. H22 年 4~6 月期で T. P. 5. 0m 以上となる時間帯は, 7 回で計 322 時間であった (表 3-3).

これらの時間帯 (表 3-3) は, 種子散布時期の平均的な流速・水位時, 概ね 10km 圏内に位置する上流の箇所から A, B, C 地区まで頻度高く到達する状態と時間距離的に同等であった. このため, 上流区間から A, B, C 地区までの種子の到達時間から判断すると, 小洪水時, KP45km 上流の箇所から C 地区 (H22 侵入), B 地区 (H18 侵入) へそれぞれ到達することが可能と考えられる (図 3-14).

また, H18 年に B 地区へ侵入した個体 (5 個体) は, No. 8 (KP49. 9km) から A 地区 (KP36. 8km) まで広い範囲に位置する繁殖可能な個体それぞれと遺伝的に近かった (図 3-12, 図 3-13).

以上のことから, 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と考えられる (池田ら 2016). 本研究では, 水文や地形データが整備されている万石観測所に着目した簡易な方法で種子の到達範囲や時間を推定したが, 今後は上流地区と掘削地区との各地区間それぞれの河川の流速や流下時間は数値解析等を用いて算定する必要がある.

また, 掘削域に新たに成立したアカメヤナギの群落は, 主に種子による有性繁殖によって形成されたものであると考えられる (池田ら 2016).

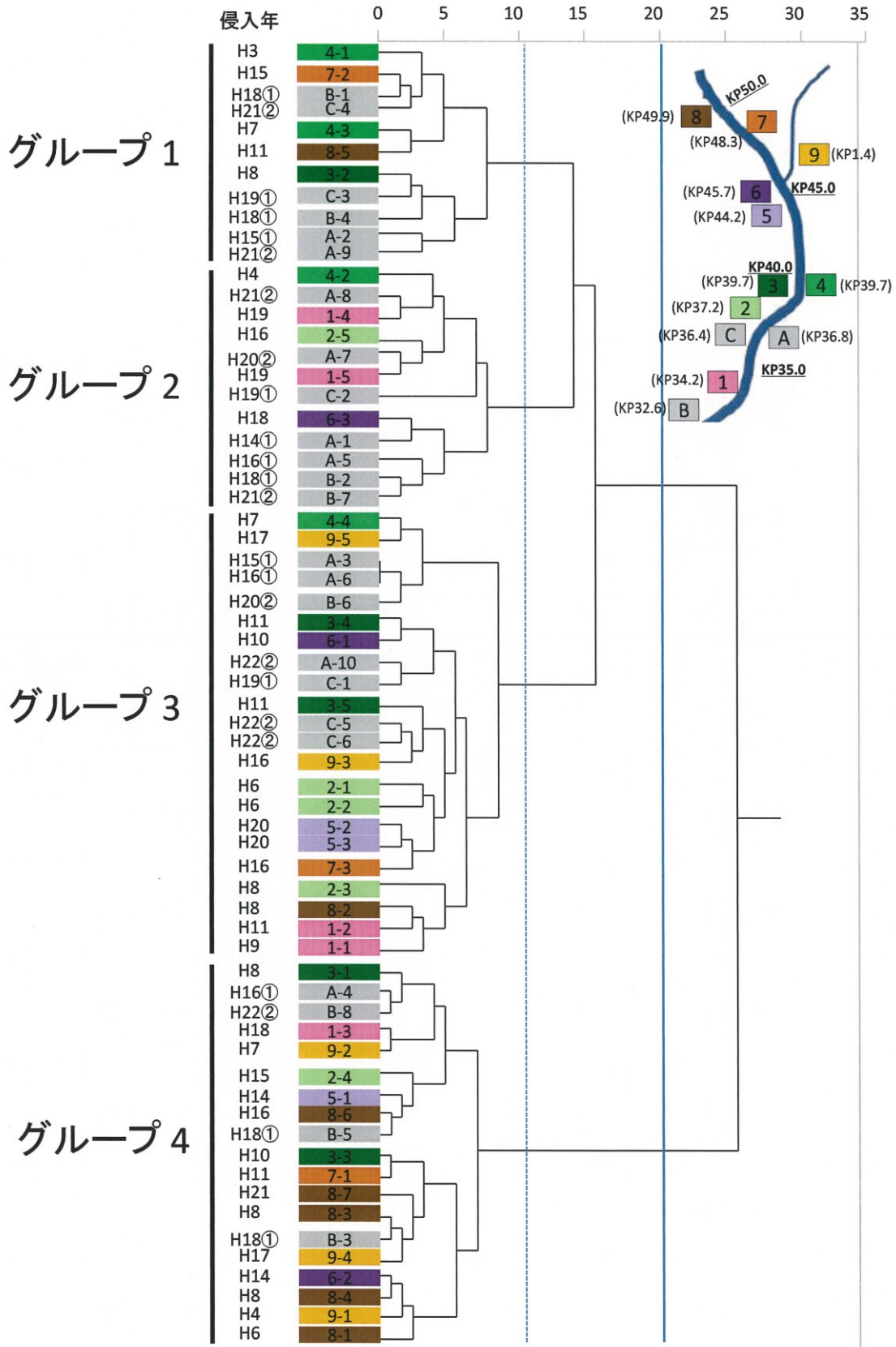


図 3-12 アカメヤナギ遺伝子のデンドログラム (n=64)

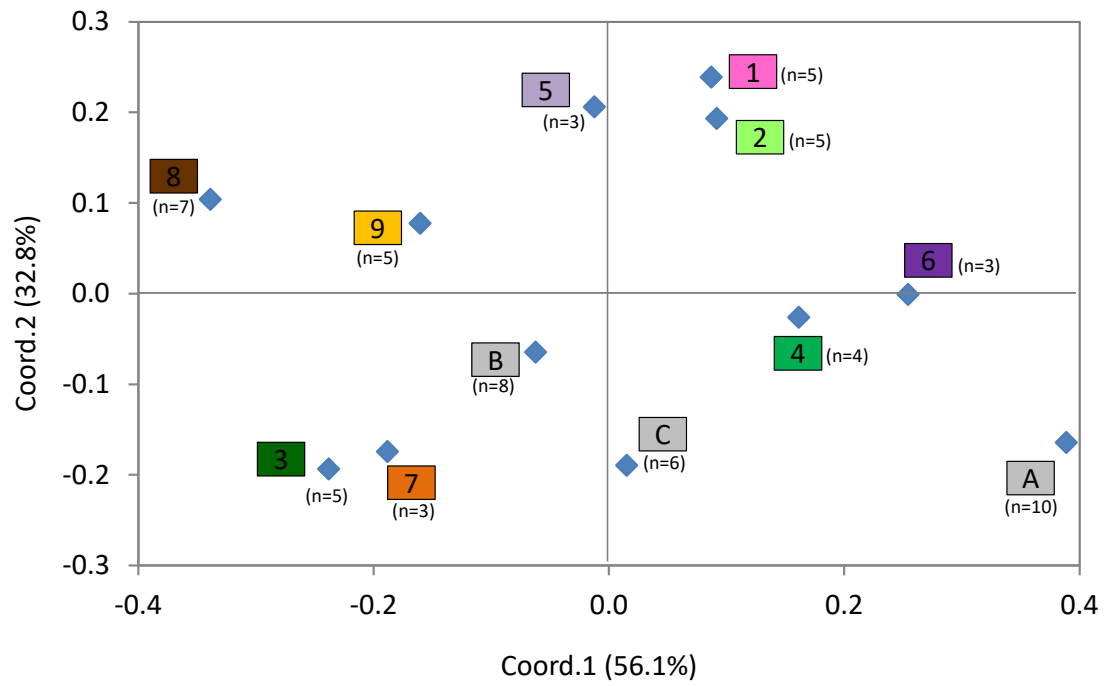


図 3-13 アカメヤナギ遺伝子の主座標分析結果 (n = 64)

表 3-3 B, C 地区超過時間・回数の内訳表（万石観測所）

B地区			C地区		
平成18年の河川水位T.P.6.5m超過時間			平成22年の河川水位T.P.5.0m超過時間		
4月11日19時	～ 4月13日 5時	35時間	4月12日12時	～ 4月14日23時	60時間
5月11日 1時	～ 5月11日11時	11時間	4月22日13時	～ 4月23日20時	32時間
6月15日22時	～ 6月16日 9時	12時間	4月27日24時	～ 4月28日 9時	10時間
			5月19日22時	～ 5月20日24時	27時間
			5月23日20時	～ 5月27日17時	94時間
			6月23日12時	～ 6月23日20時	9時間
			6月26日15時	～ 6月30日 8時	90時間

（データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>）

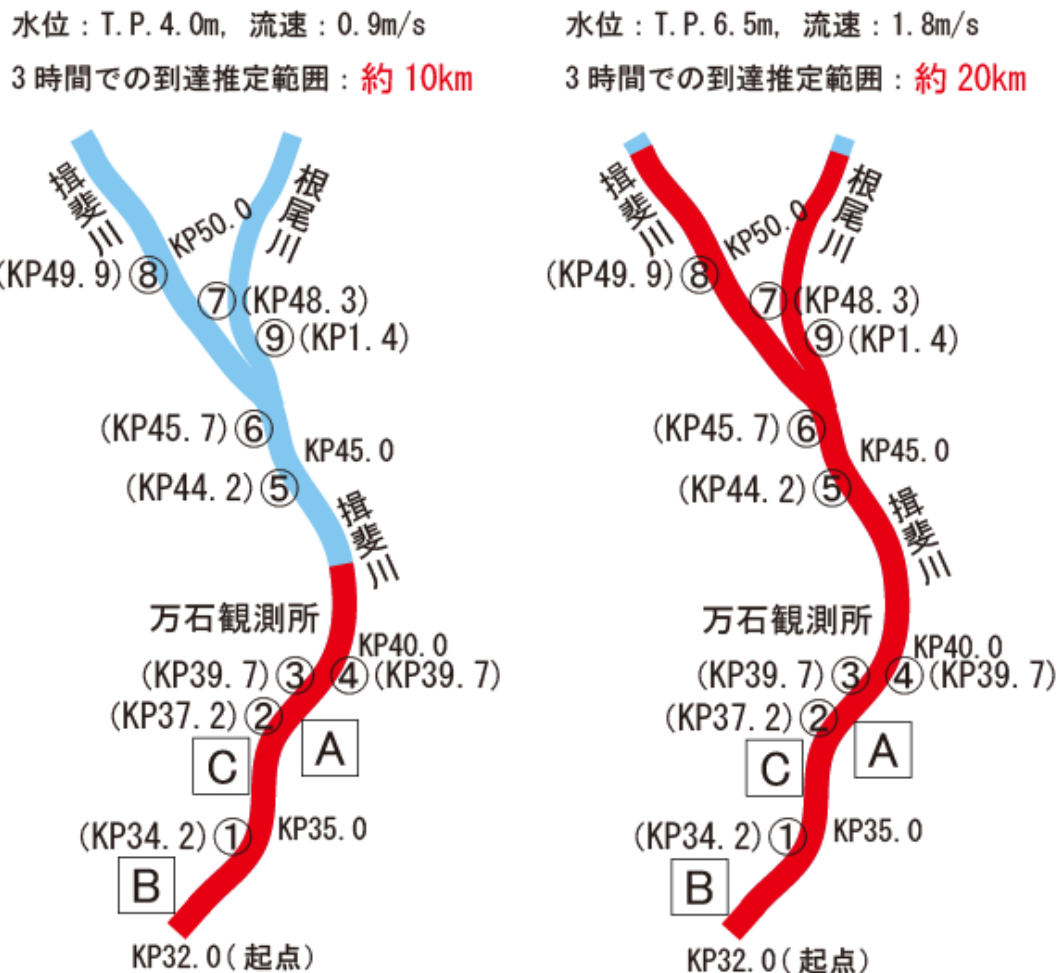


図 3-14 万石観測所の水位・流速に着目したアカメヤナギ種子の  
（起点）からの到達推定範囲比較図





## 第4章 掘削された3地区の陸域と 水域の地形等の変化



#### 4. 1 掘削域（陸域）の地形

3断面の河川横断面図の地形は、時間の経過と共に、凹凸が顕著（図 4-1）となっていた（武内ら 2011）。現地調査から、3掘削域は、全体として本川流路側に土砂の堆積が卓越した形状をし、その背後に水が滞留しやすい凹地があったこと、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であったことを確認した。

河道掘削後の土砂の堆積形状から、冠水による水が滞留しやすいことのみならずヤナギ類を含めた植物の種子が侵入した後、本川下流への流出が抑制され留まりやすい地形となっていたと考えられる（池田ら 2017, 池田ら 2016）。

#### 4. 2 掘削域（陸域）の堆積物（土質, 根茎）

原田らは、掘削域において堆積層の鉛直構造と粒度組成を調査した結果、A地区の堆積層は、掘削面に近い層が砂主体であり上層になるに従ってシルト主体に、B地区の堆積層は、全体的にシルト主体になっていたこと（原田ら 2014）を確認した（図 4-2, 図 4-3）。砂主体の堆積層からヤナギ類の根茎、シルト主体の堆積層からクサヨシ等の根茎を確認した。また、シルト主体の堆積層からアカメヤナギの不定根を確認した（図 4-4）。

A地区は、掘削完了工期がH14年3月であり、その後、H14年7月はん濫危険水位に達する大洪水（図 2-2, 表 2-1）の影響を受けて掘削面に近い堆積層が砂主体となったと考えられる。ヤナギ類種子は河道掘削完了と同年の種子散布時期に侵入し素早く発芽したが、H14年7月の大洪水の影響を受けて倒伏した。また、土砂の堆積を受けて、不定根を発生したが、地上に達することができず一部枯死したと考えられる（池田ら 2015）。

一方、大洪水の経験がないB, C地区は、ヤナギ類種子が侵入した後、素早く発芽し、H18年以降中小洪水（図 2-2, 表 2-1）による土砂の堆積を受けながら不定根を発生させ（浅見ら 2007）、生長したと考えられる（池田ら 2015）。

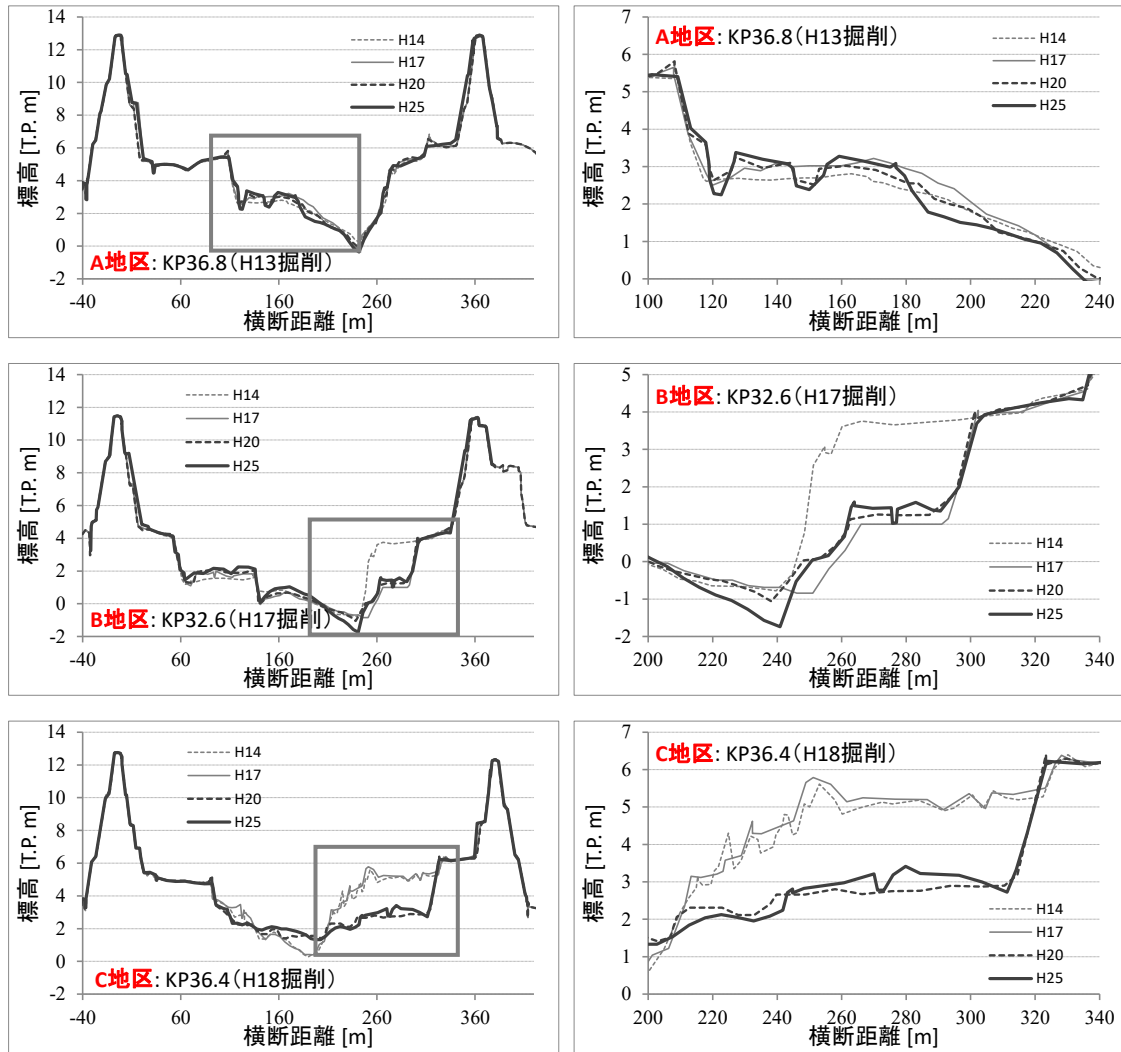


図 4-1 3 掘削域の時間的な変化

(データの出典：国土交通省中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 定期縦横断測量)

H14：H14 年度 3 月 成果取りまとめ  
H17：H17 年度 3 月 成果取りまとめ  
H20：H20 年度 3 月 成果取りまとめ  
H25：H25 年度 3 月 成果取りまとめ

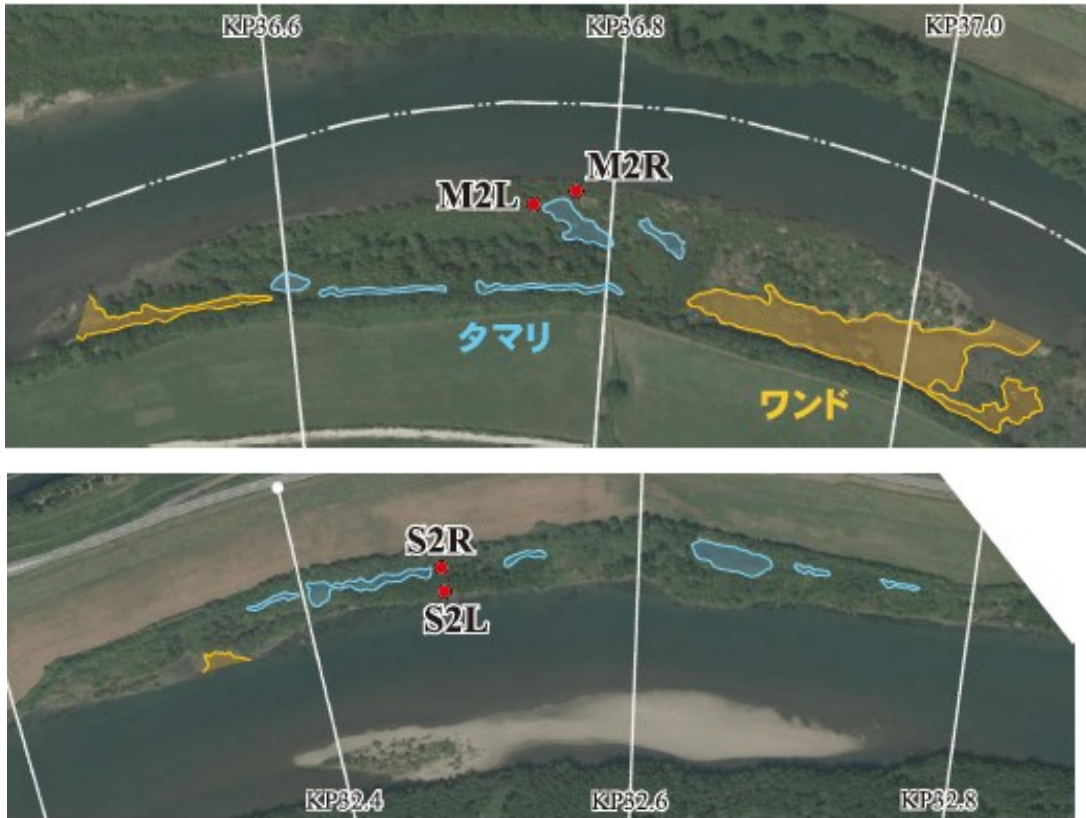


図 4-2 A 地区 : KP36.8km (上図) および B 地区 : KP32.6km (下図) の土質調査位置およびタマリ・ワンドの位置 (原田ら (2014) を改変)

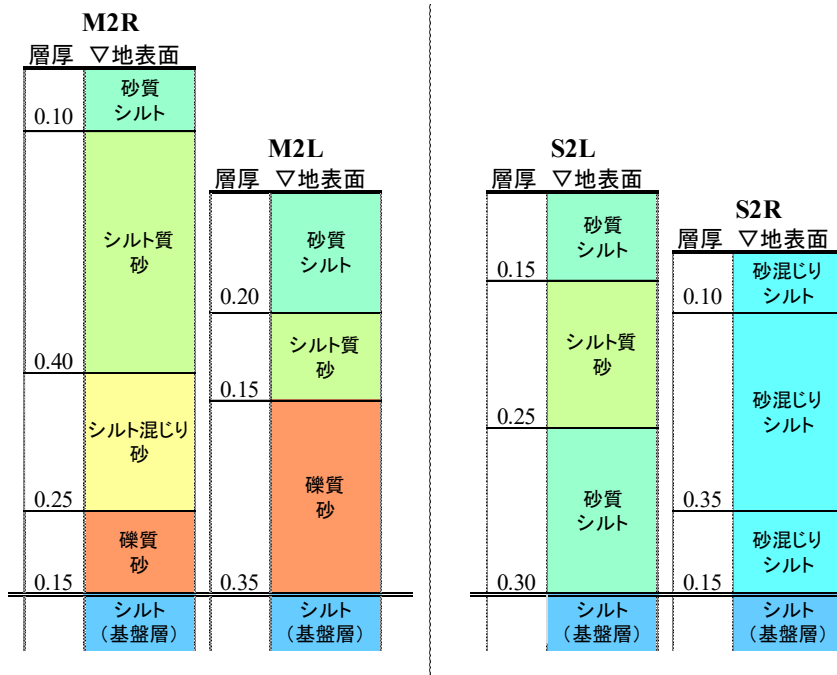


図 4-3 掘削後の堆積物調査結果 柱状図 (原田ら (2014) を改変)



アカメヤナギの  
不定根と土砂  
の堆積



クサヨシ根茎(シルト層)



ヤナギ類根茎(砂層)

図 4-4 アカメヤナギの不定根およびクサヨシ・ヤナギ類の根茎  
(平成 26 年 10 月撮影)

#### 4. 3 掘削域（水域）の地形（ワンド，タマリ）

河道掘削後の水域は，本川流路とつながり，水位変動が連動した水面（ワンド）と，土砂の堆積により出現した本川流路から独立的に存在する水面（タマリ）を形成しているものが存在した（図 4-2）. 3 地区について，河川横断図の凹凸が混在した陸域形状をしていると，湿性・水生植物群落，開放水面の割合が高くなる傾向（片桐ら 2016）があった（表 4-1）. 現地調査から，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をしており，そのうちの凹地の一部にタマリを確認した.

3 地区は，湿潤状態が保持されやすい地形及び土質からなり，雨水や冠水の影響を受け，凹地に相当する箇所へ水分が供給され集中し，タマリが形成されたと考えられる. タマリに水分が保持されることにより，タマリ周辺の陸域は，地下水が高く保持されるなど湿潤状態が保持されやすい環境となっていた（岡崎ら 2010）と考えられる.

掘削高さの異なる 3 地区にタマリが存在したことから，高水敷を切り下げる河道掘削を実施した後の河道内氾濫原の環境，及び植生の分布や変化に関して，本川流路を流れる平水位との比高差に加えて，河道掘削後に出現した本川流路から独立的に存在するタマリの有無及びそれとの比高差にも着目することが重要と考える.

なお，治水地形分類図（図 4-5）から，掘削区間周辺については，旧河川の存在は確認できなかった. タマリの形成メカニズムについては，今後の課題として，河床の変動，雨水，冠水，及び掘削区間周辺の地下水の流動メカニズムの把握を行うなど詳細な調査・検討が必要である.

表 4-1 3 地区の横断形状と植生・開放水面の割合

		H14	H17	H19	H20	H24	H25
<b>A地区</b> (H13掘削)	河川横断図	凹凸	凹凸		凹凸		凹凸
	湿性・水生植物群落の割合(%)	1.4		12.4		7.8	
	開放水面の割合(%)	31.9		12.1		19.1	
<b>B地区</b> (H17掘削)	河川横断図	-	平坦		平坦		凹凸
	湿性・水生植物群落の割合(%)	-		0		2.4	
	開放水面の割合(%)	-		3.7		9.2	
<b>C地区</b> (H18掘削)	河川横断図	-	-		凹凸		凹凸
	湿性・水生植物群落の割合(%)	-	-	8.8		0.1	
	開放水面の割合(%)	-	-	25.9		38.5	

注)「-」は掘削前を示す。

地形の凹凸は時間の経過と共に顕著になる傾向にあった。

(データの出典：国土交通省中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 定期縦横断測量、  
河川水辺の国勢調査)



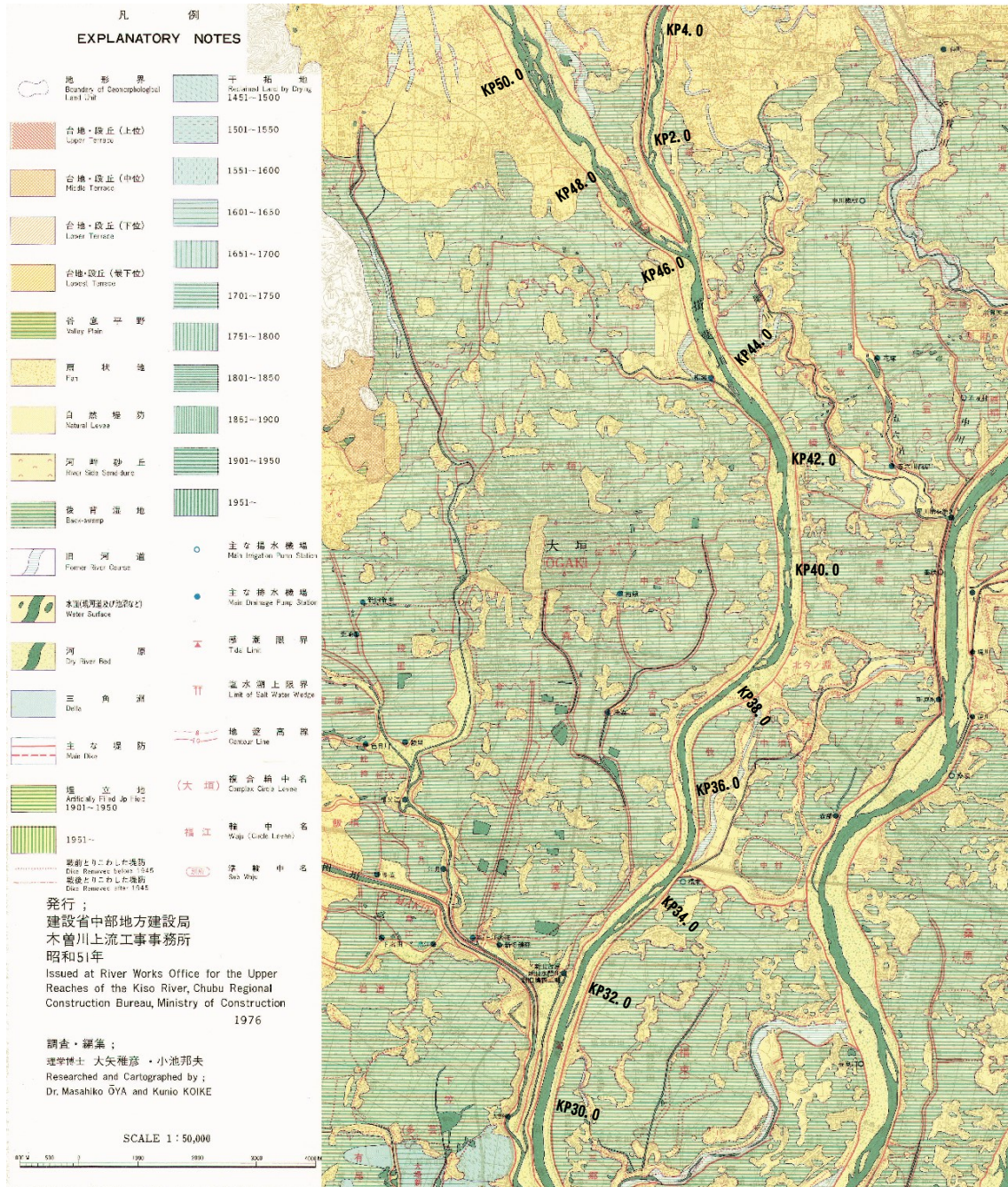


图 4-5 治水地形分類図

(出典：国土交通省 地理院地図 電子国土 WEB

<http://www1.gsi.go.jp/geowww/lcmfc/lcmfc.html>)



第5章 掘削域へのヤナギ類の侵入と  
過剰な繁茂へ至る要因




## 5. 1 ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構の模式化

第3章と第4章の結果及び既往の研究から、ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構について以下のように考える（池田ら2016）。

- ①ヤナギ類の種子散布時期の直前に、掘削域では、先住植物が河道掘削により除かれ裸地となった。この裸地となった掘削域に、上流区間の繁殖可能なヤナギ類（高木林）からの流水（河川）散布により、数多くのヤナギ類種子が本川流路と平行した方向で帯状に侵入した（崎尾・山本編2002，林田ら2011）。
- ②河道掘削後、時間が経過し先住植物が存在する状態と比較すると、裸地の状態では、ヤナギ類種子は侵入しやすかった。
- ③このとき、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種子が冠水により掘削域へ到達し、侵入することができると考えられた（池田ら2016）。また、掘削域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た。
- ④尾花らは、砂礫洲水際への植物種子と土砂の堆積過程に着目して、洪水規模やハイドログラフの形状の違いによる影響について実験的な検討を行った（尾花ら2014）。この検討の結果から河川水位の減水期は、ヤナギ類種子が上流から流水により運ばれ掘削域へ到達し、侵入することに係る寄与が大きいと考えられた。

以上の①～④をもとに、掘削高が平均的な水位以下の掘削域、種子散布時期の河川水位の減水期について、上流区間に位置する繁殖可能なヤナギ類から流水散布される種子（P）、上流区間に位置する繁殖可能なヤナギ類の掘削域からの流水距離（L）、ヤナギ類種子が上流区間から掘削域へ到達し、侵入するまでの平均流下速度（V）、及びその時間距離（所要時間： $L/V$ ）に着目する。

種子散布時期について、Pが平均的な水位時に掘削域へ頻度高く到達し、侵入したとき、Pより上流側遠距離に位置するP'とPとの時間距離の関係が概ね同等となる洪水発生時、P'についても掘削域へ到達し、侵入することができると考えられる。このことから、ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構について、 5-1のように模式化することができる。

今後の課題としては、ヤナギ類種子が掘削域へ到達し、侵入することができる上流の範囲（最上流地点）、ヤナギ類種子が上流から掘削域へ到達し、侵入する

過程で河道の法線形・縦横断形状，堰等河川横断構造物が及ぼす影響度合，及び掘削域の状態（先住植物の繁茂など）がヤナギ類種子の侵入に及ぼす影響度合を調査・検討することが必要である。

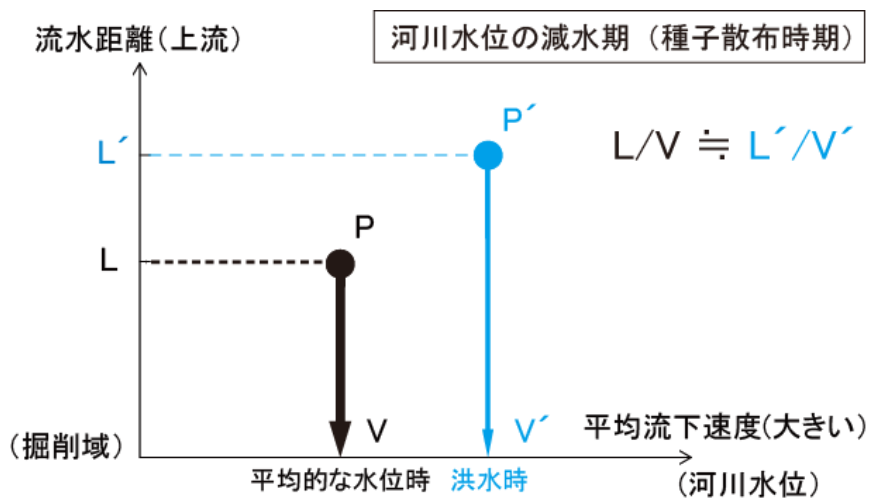
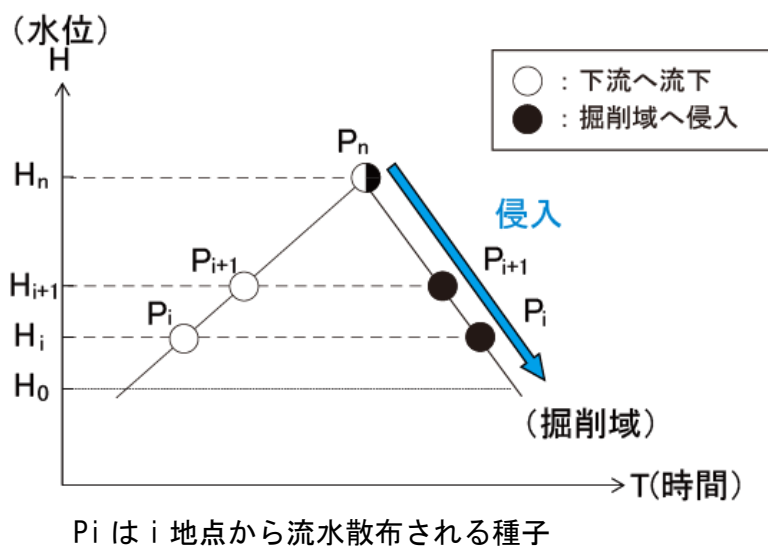


図 5-1 ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構模式図

## 5. 2 ヤナギ類の侵入，生長過程の特徴

掘削された3地区では，時間の経過と共に，ヤナギ類が，拡大する傾向にあった(図3-4)．万石観測所のH13～24年の平均平水位は，H1～11年と比較して17cm下がった(表5-1)．3地区の掘削高は異なるが，河道掘削後の土砂の堆積を含め，掘削面とH13～24年の平均平水位との比高差は2m以下であった(図4-1，表5-1)．3地区にはタマリが形成され，その水面と掘削面との比高差は小さかった(図4-2)．また，堆積層の土質は，一部下層に砂質が存在するが上層を中心にシルト質で構成されていた(図4-3)．

石川(石川1988)は，1980年代，揖斐川で植生調査を実施し，本川流路の流水面からの比高と表層堆積物の粒度組成から立地環境を分類整理しており，アカメヤナギの立地環境は，比高で0～2m(比高：小)，平均粒径で0～2cm(平均粒径：細～中)であった．今回の調査結果は類似傾向を示している．3地区は，特にアカメヤナギの生育にとって好環境であったと考えられる．

3地区にヤナギ類が侵入し，その後，生長し地被面積が大きくなった理由は以下のように考察できる．

- ① 掘削高は3地区で異なったが，掘削域は，いずれも冠水による種子の侵入，水分の供給が容易な高さとなっていた．
- ② ヤナギ類の種子散布時期の直前に，掘削域では，先住植物が河道掘削により除かれ裸地となった．
- ③ 河道掘削後の掘削域の形状は凹凸のある微地形が卓越しており水分や種子を滞留させやすく，土質は表層を中心にシルト質で占められ冠水や降雨による水分を保持しやすかった．
- ④ 掘削域にタマリが形成されることにより，タマリ周辺の陸域は地下水が高く保持されるなど湿潤な環境となっていた．

これらを総合すると，3地区は，ヤナギ類の侵入，生長・拡大にとって好条件が整っていた(池田ら2015，石川1988，大石ら2013，岡崎ら2010，吉川ら1999)と考えられる．

ヤナギ類種子が掘削域へ侵入した後，はん濫危険水位などに達する大洪水の経験の有無により，叢生状・単幹状とヤナギ類の個体の樹形や根系が異なった．大洪水を経験し，ヤナギ類の個体群の樹幹の疎密が疎となっている箇所では，草本

類を含めて植物群落が多様化していた（表 3-1，図 3-2 の A 地区）。

一方，中小洪水が連続した状況下では，ヤナギ類の個体群は掘削域で河川縦横断方向に単幹状の樹形で一様に分布し，草本類を含めて植物の種類が少なく，個体群の樹幹の疎密が密となっているヤナギ類が過剰に繁茂した箇所が存在した（表 3-1，図 3-2 の B，C 地区と A 地区本川側の一部）。

表 5-1 万石観測所における平均の湯・低・平・豊水位（T. P. m）

年	最高水位	豊水位	平水位	低水位	湯水位	最低水位
平成13年	7.65	4.4	4.17	3.99	3.65	3.55
平成14年	12.38	4.56	4.2	3.85	3.56	3.47
平成15年	10.3	4.56	4.28	3.97	3.67	3.61
平成16年	11.14	4.64	4.34	4.06	3.88	3.81
平成17年	9.09	欠測	欠測	欠測	欠測	3.49
平成18年	9.73	4.69	4.12	3.95	3.81	3.74
平成19年	9.26	4.1	4	3.9	3.8	3.75
平成20年	9.21	4.23	4.02	3.89	3.84	3.8
平成21年	5.64	4.25	3.98	3.86	3.8	3.76
平成22年	7.82	4.53	4.15	3.94	3.8	3.78
平成23年	8.92	4.54	4.22	4.08	3.88	3.84
平成24年	9.51	4.62	4.3	4.14	4.02	3.96
平均	9.22	4.47	4.16	3.97	3.79	3.71
平成1～11年平均	9.25	4.61	4.33	4.16	3.94	3.85

T. P. は東京湾中等潮位の略称

（データの出典：国土交通省 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>）



### 5. 3 樹林化の概念整理と過剰な繁茂へ至る要因の解明

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（宮本ら 2013）。

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、第3章の結果から、ヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化とは、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である（図 3-2 の B, C 地区、図 3-4 の (2), (3), 表 3-1）と捉えた（池田ら 2017）。

掘削域がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因は、第3章と第4章の結果及び既往の研究から、以下のようにとりまとめることができる。

まず、侵入過程（図 5-1）（池田ら 2016）では、以下のようにとりまとめることができる。

- ①流水散布の侵入起源として、掘削域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、掘削域の冠水日数が多く、その冠水深が大きい流況の状態を呈する（ヤナギ類種子の掘削域への侵入の機会が多い。また、ヤナギ類種子の掘削域への侵入の範囲が広い）（池田ら 2015）。
- ③ヤナギ類種子が侵入する掘削域の状態として、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）（池田ら 2015）。

また、侵入後の生長過程では、以下のようにとりまとめることができる。

- ④掘削域が、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（浅見ら 2007, 池田ら 2015, 八木澤ら 2013）。
- ⑤掘削域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（池田ら 2015, 石川 1988）。また、掘削域にタマリなどが存在し、地下水が保持されるなど湿潤な環境となっている（池田ら 2015, 石川 1988, 大石ら 2013, 岡崎ら 2010, 吉川ら 1999）。

これら①～⑤の要因は、ヤナギ類の掘削域への侵入過程、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。

河道内に地形変化（比高差）が生じ、その比高差により細粒土砂が堆積し、堆積した箇所（砂州など）へ先駆的植生（草本）が侵入する。その後、木本の侵入と木本への遷移といった河道内植生の変化過程が、典型例のひとつとして提案されている（李ら 1999 など）。

一方、掘削域である B, C 地区（**図 3-2** の B, C 地区, **図 3-4** の(2), (3), **表 3-1**）では、掘削完了直後、シルト主体の土砂の堆積と並行して、先住植物が河道掘削により除かれた裸地にヤナギ類が先駆的に侵入した。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（浅見ら 2007, 池田ら 2015）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、掘削域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る（**図 5-2**, **図 5-3**）。

また、ヤナギ類が過剰に繁茂した状態（裸地→木本）へ至るまでに要する時間は、河道掘削後の概ね 7～8 年で確認した。参考として、中部地方の沖積平野における植生の変化過程（裸地→草本→木本）では、クロマツ林まで達するのに少なくとも 30 年程度を要すること（沼田編 1969）と、このことを比較すると短いと考えられる。

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る過程、及び河川維持管理上重要な指標となる分布域形状の模式化や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。また、本研究の成果に基づき、ヤナギ類の樹林化を抑制する技術開発なども必要だろう。河道掘削では、河道掘削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。河川維持管理では、ヤナギ類の樹林化が進行している段階において、維持管理対象区間に繁茂しているヤ

ナギ類の分布状況や、ヤナギ類の種子（流水）散布などの特性からみた河道掘削予定箇所とその上流区間との関係性を踏まえ、計画的・効果的に除去し、再萌芽を抑制する技術開発などが考えられる。

以上の蓄積された研究の成果、及び河道掘削や河川維持管理での技術開発などを活用することによって、今後、掘削域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。

この他、蓄積された研究成果を活用して、河積の減少、生物多様性の劣化や河川景観への影響などを定量化するためにヤナギ類の地被面積の大きさや樹幹の粗密度、及び林床部を含めた植物の種数など（水域の魚類など）に着目して総合指標化する必要がある。また、ハリエンジュやタケ・ササ類など他の樹種についても繁殖システム、種子生産、生長速度、寿命など生活史やフェノロジーに係る特性（表 5-2）を踏まえ、過剰に繁茂した樹林化に関する概念整理を行い、対象樹種が過剰に繁茂した状態へ至る要因を解明する必要がある。

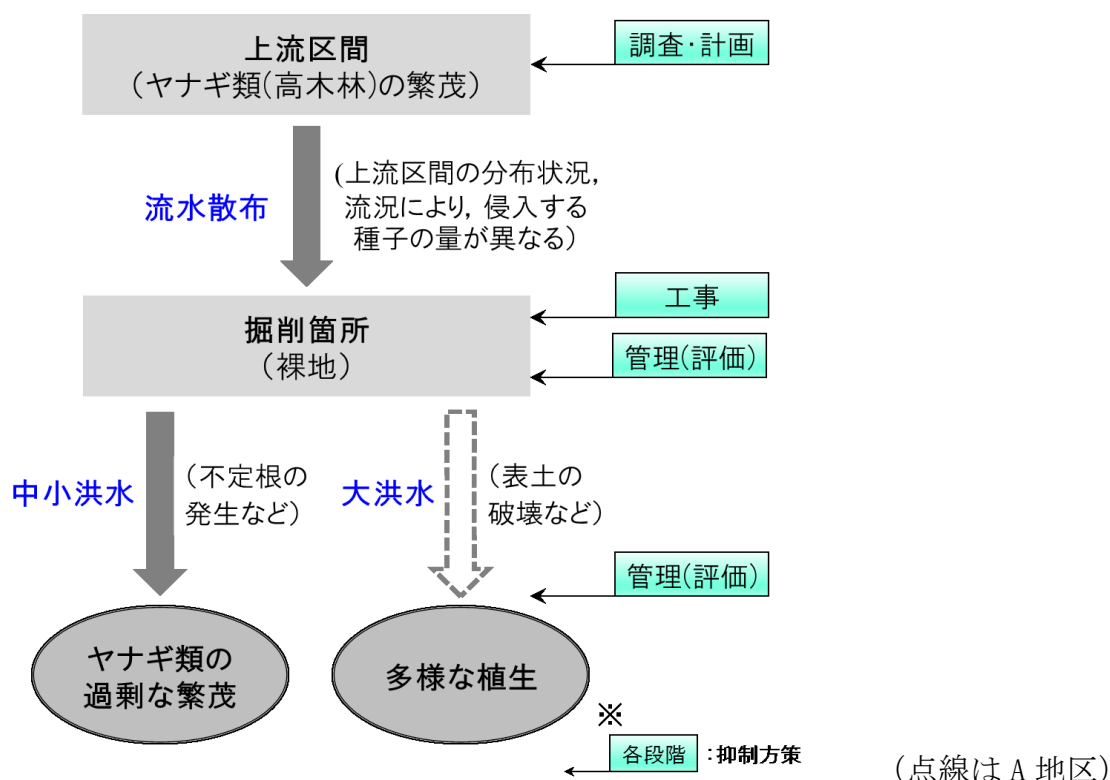


図 5-2 揖斐川におけるヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至る過程と抑制方策  
 (参考として、遺伝解析を実施する前に想定していた河道掘削後のヤナギ類の侵入、生長過程の例を図 5-4 に示す)

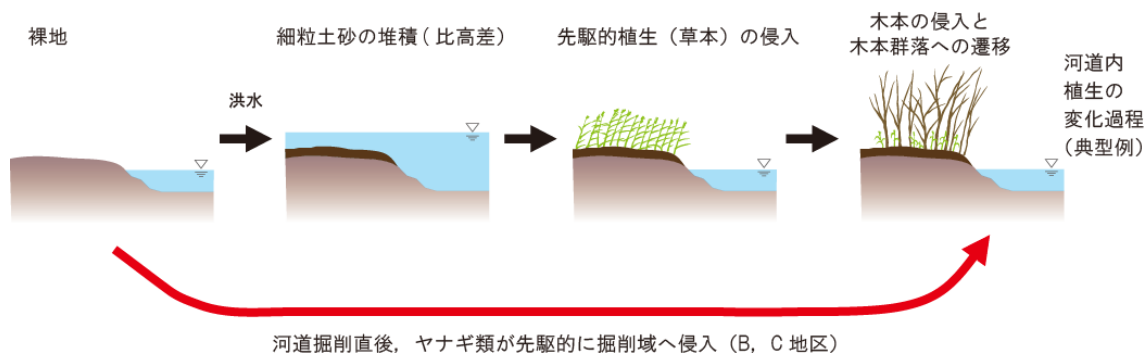
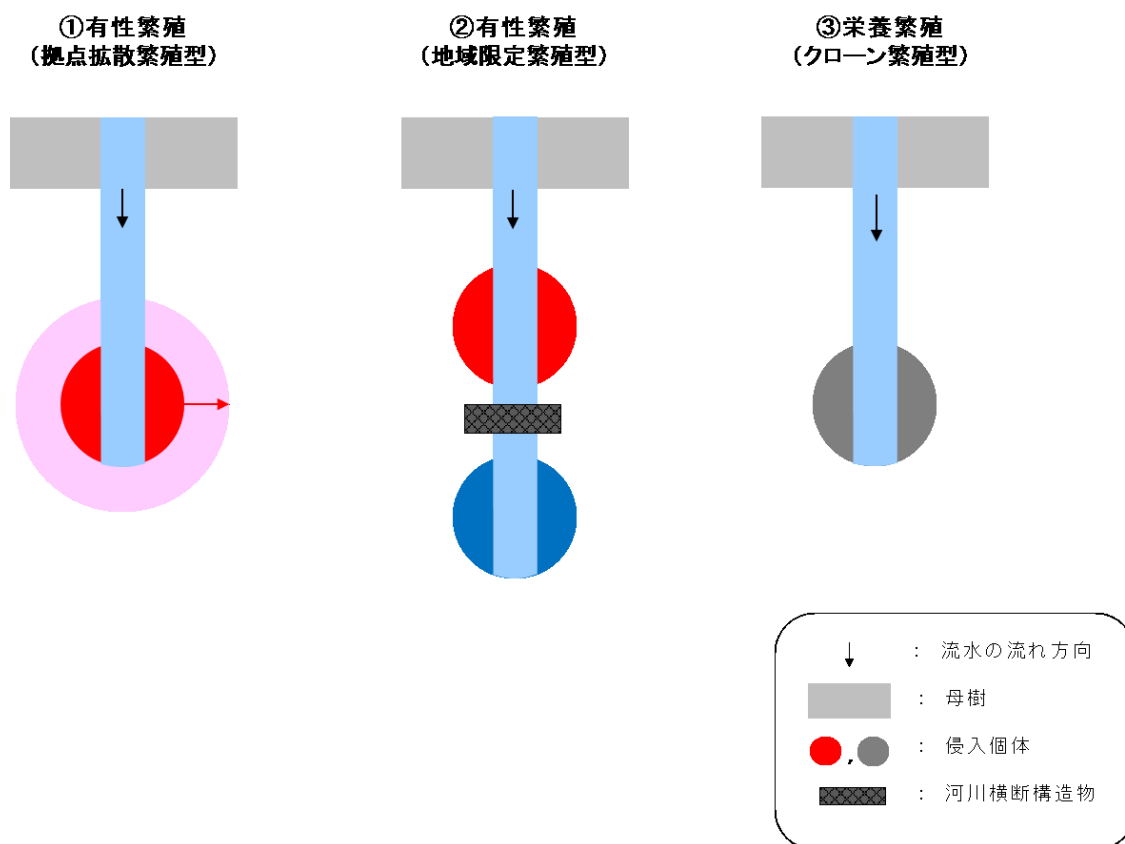


図 5-3 ヤナギ類が過剰に繁茂した状態へ至る過程 (典型例との比較図)

表 5-2 ヤナギ類とハリエンジュ (外来種) の主な特性比較

	ヤナギ類	ハリエンジュ
1 種子散布時期	春頃	秋頃
2 種子形状等	1mm 程度 (綿毛付小型軽量)	5mm 程度
3 種子寿命	2 週間程度は高い発芽率	埋土種子 (土壌シードバンク)
4 繁殖	種子・栄養繁殖	種子・栄養繁殖
5 生殖開始	樹齢 2~3 年	樹齢 6 年程度
6 生育場所 (河川)	比高 ; 小 (湿潤) (土質はシルト質)	比高 ; 中~大
7 根茎	不定根 (緊縛力 ; 柳枝工)	水平根 (流木化)
8 利用	景観, 護岸, エネルギー等	緑化, 養蜂, エネルギー等



- ①種子が、侵入した箇所を拠点として、地被面積が拡散していく例
- ②種子（流水）散布が、河川横断構造物（堰、床固など）によって分断される例
- ③茎等が、侵入して定着していく例

図 5-4 （遺伝解析を実施する前に想定していた）河道掘削後のヤナギ類の侵入、生長過程の例（参考模式図）



## 第 6 章 結論





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 年間の河道内氾濫原の変化過程に着目し、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、気象庁関係資料などを用いた資料解析、植生・土質・地形などの現地調査、並びにアカメヤナギの葉採取及び葉を用いた遺伝解析を実施した。

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 掘削域でヤナギ類の群落の再生が確認された。掘削高は 3 地区で異なったが、掘削域は、いずれも冠水による種子の侵入、水分の供給が容易な高さとなっていた。
- ② 掘削域へのヤナギ類の侵入には、とりわけ河道掘削直後の冠水日数・頻度、冠水深・面積が影響していると考えられた。
- ③ 河道掘削後、時間が経過し先住植物が存在する状態と比較すると、裸地の状態では、ヤナギ類は侵入し、生長・拡大しやすかった。
- ④ はん濫危険水位などに達する大洪水による攪乱は、多様な植物群落の成立に影響を及ぼした。大洪水の経験の有無により、叢生状・単幹状とアカメヤナギ個体の樹形や根系が異なった。
- ⑤ 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と考えられた。
- ⑥ 掘削域に新たに成立したアカメヤナギの群落は、主に種子による有性繁殖によって形成されたものであると考えられた。
- ⑦ 河道掘削後の凹凸地形に形成されたタマリが、ヤナギ類の生長・拡大にとって好条件となっていた可能性がある。
- ⑧ 河川水位の減水期、掘削域の上流区間に位置する繁殖可能なヤナギ類の繁茂状況、及びヤナギ類種子が上流区間から掘削域へ到達し、侵入するまでの時間距離に着目して、ヤナギ類種子の掘削域への侵入機構を模式化した。
- ⑨ 治水上や環境上からヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化に関する概念整理を行い、ヤナギ類が掘削域へ侵入し、生長した過程から、掘削域がヤナギ類の過剰な繁茂の状態へ至る要因を明らかにした。具体的には、ヤナギ類個体の樹形、個体群の樹幹の粗密、分布域や地被面積などから、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。この特徴をもとに、上流区間のヤナギ類の分布状況、種子を運ぶ河川の流況、掘削域の

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に至らず関係要因であることを明らかにした。

今次、河川維持管理の捉え方としては、河川管理者自らの責任の下実施する一般的な（共通の）内容を明確にすることに重きを置いて、例えば重要種の植物を保全する、状態を改善するという立場より、むしろ全国の河川で課題となっているヤナギ類について治水上や河川環境上最低限の水準を確保する、状態を悪化させないという立場を中心に据えた。所謂、シビルミニマムの概念を参考にした。

本研究の成果が、河道掘削後の河道内氾濫原の変化過程、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に、並びに、ヤナギ類の種子（流水）散布、掘削域への侵入及び生長など生活史を踏まえ、掘削域を含む関係上流区間を対象とした河川整備計画の策定やサイクル型維持管理（川の安全・安心カレンダー）の具体化に生かされることを期待する。

特に、河道掘削は今後とも河川整備の中核工種であり、また地形区分が自然堤防帯（セグメント2）となる河道掘削後の河道内氾濫原は、ヤナギ類（アカメヤナギなど）の生育にとって良好な立地環境（平水位との比高差や水分・土質環境など）であると考えられる。掘削域は、土砂の堆積など河床の変動、植物の遷移・種間競争、及び外来種の侵入や大洪水の経験などにより、時間の経過と共に状態が変化する。このため、各河川現場への適用にあたっては、掘削域を含めた上流河川区間や関係流域について、適切な時点で植生や地形などの状態の変化を監視・診断することが必要である。河道掘削に係るヤナギ類の過剰な繁茂を抑制する方策（社会への実装策）について、図 5-2 に示す調査・計画、工事、維持管理などプロジェクトサイクル（PDCA）に即して、以下のように提案する。

[1]河道掘削前、予め掘削域の上流区間や風上方向など種子散布に係る関係「流域」に繁茂する先駆的植生（ヤナギ類など）の分布域や樹齢（生殖の開始樹齢との照査）などについて、適切に掘削域への影響度の診断等（維持管理対象区間に繁茂しているヤナギ類など植生の分布状況を勘案して、必要に応じて、ヤナギ類などの除去）を行う。

[2]出水・非出水期の流況、位況を勘案して、河道掘削工事期間と先駆的植

生（ヤナギ類等）の侵入・生長サイクルなど生活史やフェノロジーとの時間的な調整を適切に図る（合理的な「タイミングや周期」の検討）。

[3]河道掘削後、裸地となる掘削域の植生変化を大きく規定する河道掘削工事直後の表面管理（「表面」処理として、在来草本種の種子を含む表土の活用やヤナギ類種子の侵入の抑制など）を適切に行う。

[4]河道掘削「工事直後」の掘削域の冠水状況・流水散布状況などの監視・診断（種子の散布力や埋土種子などから2次遷移の始まりの状態、及び比高などから植物の遷移系列の予測、維持管理内容やコストの想定など）を的確に行う。

[5]大洪水後の掘削域に繁茂している植生状態等を監視・診断（草本・木本の分布、植物の侵入や破壊・土砂の堆積・表土の流出、ヤナギ類の再萌芽の状況の把握、無次元掃流力・倒伏モーメントの検証など）する。

[6]河道掘削後の掘削域について、ヤナギ類の個体群の分布域や疎密など繁茂状況を治水や環境面から適切に診断する。ヤナギ類に関して、外形上の（マクロな）指標として、種子の侵入（想定）範囲、地被面積、個体群の河川縦横断方向の分布域の範囲、内部構造上の（ミクロな）指標として、個体の樹形、個体群の樹幹の粗密度が診断するうえで有効と考える。ヤナギ類個体群の樹幹の粗密度や分布域の範囲を効果的に把握するためには、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が必要だろう。

[7]ヤナギ類が過剰に繁茂（樹林化）した箇所などについて、河川水辺の国勢調査と、林床部に関する植生（植物の種類）や土質・根茎、及び水域の水生植物や魚類などの現地調査を効果的に組み合わせる。

以上の主要な点が反映され、各河川現場における計画の立案、状態の監視・診断、及び抑制・除去の実施など（そのままの存置・保全、人の手による対応を優先する箇所の順位付けなど）の一助となることを期待する。

最後に、本研究の成果が、河川整備の中核工種である河道掘削のより長期にわたる治水効果の発現と、生物多様性に富んだ河川環境の創出・持続を両立させ、安全で自然が豊かな「本来の河川」を軸とした地域づくりの再興につながることを切望するものである。

## 謝 辞

今から 10 年程前、「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討委員会（国土交通省）」の事務局を担いつつ、サイクル型維持管理の具体化、河川維持管理計画や河川維持管理実施計画（川の安全・安心カレンダー）の骨子を検討する職務に携わる機会を得た。このことが、これ以降、今後の河川（河道内の）維持管理について何を如何に行うべきかを考える契機となった。

その後、国や県管理河川の河川維持管理や、上流に位置するダム管理の経験を経て、H24 年 4 月より国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループに着任した。水環境研究グループでは、自然共生研究センターの実験河川（図-1）を活用するなど河川維持管理に係る物理環境の人工改変（河道掘削等）と魚類や植物等との関係性に関する研究が実施されてきており、研究成果も蓄積されていた。これらを通して、治水上や河川環境上など河川維持管理の観点から、「河道内氾濫原の維持管理学」を体系化し河川現場へ広く適用することの重要性を改めて認識した。

こうした中、水環境研究グループが研究対象としている河川の中で、木曾川水系揖斐川の現場が、今後の河川整備の中核工種となる河道掘削が数多くの箇所ですべて計画的に実施され、その後樹木伐開等人工改変が行われておらず河道掘削後の植生や土砂の堆積形状などの状態の変化を時間的に追跡できること、全国の河川で河川維持管理上の課題となっているヤナギ類が過剰に繁茂した状態（樹林化）を現地調査できること、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研究対象データの蓄積が充実していること、及び当該研究対象データの内容について、特に流況の多様性（河道掘削後の概ね 10 年間に大・中小洪水が発生していることなど）など比較対象となる有意な発生事象を確認することができることなどから、「河道掘削後のヤナギ類に焦点をあてた河道内氾濫原の変化過程に関する研究」に着手した。

先ず、本研究は、河道内氾濫原について植物群落（特にヤナギ類）と掘削域（陸域・水域）に着目した。そして、高水敷を切り下げる河道掘削により先住植物が除かれ裸地となった箇所（「初期化」された箇所）を出発点として、ヤナギ類の侵入（種子散布）時期と生長時期の発生洪水規模の相違に着目し、植物群落と水域（ワンド、タマリ）や堆積物を含む陸域との関係性も含めて、

河道掘削後の概ね 10 年間の河道内氾濫原の変化過程（ヤナギ類の掘削域への侵入機構やヤナギ類が過剰に繁茂した樹林化など）について現象解明を行った。

本研究を進めるにあたって、ヤナギ類の生活史やフェノロジーに係る植物生態学に関する知見，遺伝解析に係る分子生物学に関する知見，及びヤナギ類種子の侵入時の流況分析に係る水理学に関する知見を組み合わせ、資料解析，現地調査，遺伝解析並びに考察などを行った。

本論文をとりまとめるにあたっては、早稲田大学の関根正人教授にご指導を頂いた。本研究を進める中でヤナギ類の生活史等生態では、高知大学の石川慎吾教授にご助言を頂いた。アカメヤナギの葉を用いた遺伝解析では、国立研究開発法人森林総合研究所菊地賢氏に多大なるご協力・助言を頂いた。研究に用いた貴重なデータや資料については、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、株式会社水圏科学コンサルタント賀上裕二氏にご協力頂いた。

また、本論文の文章や図表の作成・推敲・修正，暑い中など数回にわたる揖斐川での植生・土質等現地調査，及び実験室で緻密な作業・分析を伴う遺伝解析では、国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループ片桐浩司氏，大石哲也氏，對馬育夫氏，萱場祐一氏に多大なるご協力・助言を頂いた。

最後に、本論文を早稲田大学へ申請するにあたって、「研究倫理概論(15講義)」を受講した。これにより、研究とは何か？、研究を如何に進めるのか？、研究を如何にとりまとめるのか？など研究に係る基本的な事項について、改めて考える機会を得ることができましたことは大変有意義でありました。

ここに記して謝意を表します。



図-1 自然共生研究センターの実験河川  
(出典：自然共生研究センター)

## 参考文献

### 第1章 序論

浅見和弘, 丸谷成, 田野弘明, 酒井進 (2007) 江川ダムの貯水池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.

味岡ゆい, 市橋泰範, 久島広晃, 小萱香代, 堀川大介, 南基泰 : DNA 多型を用いた遺伝的多様性解析と鑑定法 生物機能開発研究所紀要 pp. 49-74, 2007.

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ー, 水工学論文集, Vol. 42, pp. 977-982, 1999.

池田茂, 片桐浩司, 大石哲也, 對馬育夫, 萱場祐一 : 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, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 73, No. 2, pp. 38-49, 2017.

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 (土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 72, No. 4), pp. 1045-1050, 2016.

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.

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, 日生態会誌, Vol. 38, 1988.

巖佐庸, 松本忠夫, 菊沢喜八郎 生態学事典 日本生態学会 共立出版 2003.

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.

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, Vol. 11, pp. 357-362, 2005.

岡崎正規, 木村園子ドロテア, 波多野隆介, 豊田剛己, 林健太郎: [図説] 日本の土壌, 朝倉書店 2010.

小倉紀雄, 竹村公太郎, 谷田一三, 松田芳夫: 水辺と人の環境学, 朝倉書店(上), (中), (下) 2014.

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.

河川水辺の国勢調査 国土交通省水管理国土保全局.

北原曜 河川における特定外来生物ニセアカシアの分布制御方法の確立とニセアカシア利用関係者との合意形成手法の開発, 河川整備基金助成事業, 平成18, 19年度

黒河内寛之 ニセアカシア河畔林の繁殖形態, 森林遺伝育種第1巻(2012), pp. 13-16.

溪畔林研究会 水辺管理の手引き—基礎と指針と提言— 日本林業調査会 2001.

国土交通省 河川砂防技術基準維持管理編(河川編) 2011.

斎藤新一郎 ヤナギ類 その見分け方と使い方 北海道治山協会.

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.

崎尾均, 山本福壽編 水辺林の生態学, 東京大学出版会 2002.

崎尾均編 ニセアカシアの生態学 外来樹の歴史・利用・生態とその管理, 文一総合出版 2009.

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.

(財) 河川環境管理財団河川総合研究所 河川総合研究所資料第 31 号 河川植生管理論—堤防植生を除く— 2012.

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, 2013.

社会資本整備審議会河川分科会 安全・安心が持続可能な河川管理のあり方, 2006.

社団法人 土木学会 水理公式集 (平成 11 年版) 丸善.

水文水質データベース 国土交通省水管理国土保全局.

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.

武内慶了, 服部敦, 藤田光一, 佐藤慶太: 細流土砂堆積による高水敷形成現象を一次元河床変動計算に組み込んだ河積変化予測手法, 河川技術論文集, Vol. 17, pp. 161-166, 2011.

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.

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.

戸澤宗孝, 木村恵, 上野直人, 加納研一, 清和研二 (2003) 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.

独立行政法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム 土木研究所資料第 4253 号 河道内樹木の萌芽再生抑制方法事例集 2013.

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

中村圭吾, 芳賀正崇, 岩見洋一, 今村史子, 徳江義宏: 統計的アプローチによる河川における植生予測モデルの検討, 河川技術論文集, Vol. 20, pp. 205-210, 2014.

Niiyama, K: The role of seed dispersal and seeding traits in colonization and coexistence of Salix species in a seasonally flooded habitat, Ecological Research, 5, pp. 317-331, 1990.

沼田真編: 図説植物生態学, 朝倉書店 1969.

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.

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.

福岡, 藤田, 平林, 坂野: 樹木群の流水抵抗について, 水理講演会論文集, Vol. 31, pp. 335-340, 1987.

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.

槇島みどり, 赤松史一, 田屋祐樹, 中西哲, 萱場祐一: 萌芽再生抑制方法の適用による河道内の樹木管理費用の低減効果, 河川技術論文集, Vol. 19, pp. 429-434, 2013.

増本育子, 山原康嗣, 安形仁宏, 太田宗宏, 村岡敬子: 河川事業の影響評価等における遺伝情報の活用化に向けた研究, 応用生態工学会第 17 回研究発表会講演集, pp. 93-94, 2013.

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.

村岡敬子, 池田茂, 赤松史一, 槇島みどり, 田屋祐樹, 中西哲, 萱場祐一: 河川環境事業への遺伝情報活用の試み, 日本 DNA 多型学会第 22 回学術集会, 口頭発表, 2013.

八木澤順治, 田中規夫, 福岡捷二: 河道内植生の洪水による破壊および破壊規模に応じた再生・拡大過程を考慮した植生動態モデルの開発, 河川技術論文集, Vol. 19, pp. 393-398, 2013.

山本晃一 沖積河川—構造と動態— 技報堂 2010.

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.

リバーフロント研究所報告 第 21 号 河川における DNA 多型分析技術の適用に

ついて 2010年9月.

早稲田大学 研究倫理概論 (全15講義), 2015-2016.

渡辺敏, 前野詩朗, 渡辺秀之, 志々田武幸: 旭川におけるヤナギ林の拡大機構とその抑制管理手法に関する検討, 河川技術論文集, Vol. 11, pp. 77-82, 2005.

Cummins, K. W. *et al.* (1983) : Organic matter budgets for stream ecosystem : Problem in the evaluation. *In Stream Ecology, Application and Testing of General Ecological Theory* (J. R. Barnes and G. W. Minshall eds.), pp. 299-353. Plenum Press.

Johnson, W. C. : Tree recruitment and survival in rivers : influence of hydrological processes, *Hydrological Processes*, 14, pp. 3051-3074, 2000.

Junk, W. J. *et al.* (1989) : The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication on Fisheries and Aquatic Sciences*, 106 : 110-127.

Vannote, R. L. *et al.* (1980) : The river continuum concept. *Canadian Special Publication on Fisheries and Aquatic Sciences*, 37 : 130-137.

## 第2章 研究の方法

味岡ゆい, 市橋泰範, 久島広晃, 小萱香代, 堀川大介, 南基泰 : DNA多型を用いた遺伝的多様性解析と鑑定法 生物機能開発研究所紀要 pp. 49-74, 2007.

池田茂, 片桐浩司, 大石哲也, 對馬育夫, 萱場祐一 : 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, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 73, No. 2, pp. 38-49, 2017.

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 (土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 72, No. 4), pp. 1045-1050, 2016.

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.

池田茂, 村岡敬子: 将来の環境変化と生態系の評価, 土木技術資料, Vol. 57, pp. 30-33, 2015.

池田茂, 佐治実, 坪倉幸憲: インターネット接続電話による河川情報提供システムの開発, 地域安全学会論文集, No. 3, pp. 41-50, 2001.

巖佐庸, 松本忠夫, 菊沢喜八郎 生態学事典 日本生態学会 共立出版 2003.

加藤剛: 多変量解析超入門 技術評論社 2013.

河川水辺の国勢調査 国土交通省水管理国土保全局.

気象庁データベース 気象庁.

木曾川水系河川整備計画 平成 20 年 3 月 国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所.

木曾川水系河川維持管理計画 平成 24 年 5 月 国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所.

木曾川水系定期縦横断測量・空中写真 国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所.

黒河内寛之 ニセアカシア河畔林の繁殖形態, 森林遺伝育種第 1 巻 (2012), pp. 13-16.

溪畔林研究会 水辺管理の手引き—基礎と指針と提言— 日本林業調査会  
2001.

齋藤堯幸, 宿久洋: 関連性データの解析法—多次元尺度構成法とクラスター分析  
法— 共立出版株式会社 2014.

斎藤新一郎 ヤナギ類 その見分け方と使い方 北海道治山協会.

崎尾均, 山本福壽編 水辺林の生態学, 東京大学出版会 2002.

崎尾均編 ニセアカシアの生態学 外来樹の歴史・利用・生態とその管理, 文一  
総合出版 2009.

水文水質データベース 国土交通省水管理国土保全局.

戸澤宗孝, 木村恵, 上野直人, 加納研一, 清和研二 (2003) 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.

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.

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.

リバーフロント研究所報告 第 21 号 河川における DNA 多型分析技術の適用に  
ついて 2010 年 9 月.

渡辺敏, 前野詩朗, 渡辺秀之, 志々田武幸: 旭川におけるヤナギ林の拡大機構と  
その抑制管理手法に関する検討, 河川技術論文集, Vol. 11, pp. 77-82, 2005.

Barker JHA, Pahlich A, Trybush S, Edwards KJ, Karp A.: Microsatellite

markers for diverse *Salix* species. *Molecular Ecology Notes* 3: 4-6, 2003.

Peakall, R. and Smouse P., E.: GENEALLEX6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6:288-295, 2006.

Piry S, Alapetite A, Cornuet, J.-M., Paetkau D, Baudouin, L., Estoup, A.: GeneClass2: A Software for Genetic Assignment and First-Generation Migrant Detection. *Journal of Heredity* 95:536-539, 2004.

Paetkau, D., Calvert, W., Stirling, I. and Strobeck, C.: Microsatellite analysis of population structure in Canadian polar bears, *Molecular Ecology*, 4, 347-354, 1995.

### 第3章 掘削された3地区へのヤナギ類等植物の侵入と繁茂状況 (地被面積の変化など)

池田茂, 片桐浩司, 大石哲也, 對馬育夫, 萱場祐一: 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, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 73, No. 2, pp. 38-49, 2017.

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 (土木学会論文集 B1 (水工学)), Vol. 72, No. 4), pp. 1045-1050, 2016.

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.

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, 日生態会誌, Vol. 38, 1988.

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，日生態会誌，Vol. 41，1991.

巖佐庸，松本忠夫，菊沢喜八郎 生態学事典 日本生態学会 共立出版 2003.

河川水辺の国勢調査 国土交通省水管理国土保全局.

木曾川水系定期縦横断測量・空中写真 国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所.

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.

崎尾均，山本福壽編 水辺林の生態学，東京大学出版会 2002.

水文水質データベース 国土交通省水管理国土保全局.

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.

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量と時期的な変化，河川技術論文集，Vol. 17，pp. 215-220，2011.

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.

#### 第4章 掘削された3地区の陸域と水域の地形等の変化

浅見和弘，丸谷成，田野弘明，酒井進（2007）江川ダムの貯水池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.



池田茂，片桐浩司，大石哲也，對馬育夫，萱場祐一：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，土木学会論文集 F4 (建設マネジメント)， Vol. 73, No. 2, pp. 38-49, 2017.

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.

片桐浩司，池田茂，大石哲也，萱場祐一：揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の分布と成立条件，応用生態工学会誌 19(1)， pp. 55-65, 2016.

木曾川水系定期縦横断測量・空中写真 国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所.

岡崎正規，木村園子ドロテア，波多野隆介，豊田剛己，林健太郎：[図説] 日本の土壌，朝倉書店 2010.

武内慶了，服部敦，藤田光一，佐藤慶太：細流土砂堆積による高水敷形成現象を一次元河床変動計算に組み込んだ河積変化予測手法，河川技術論文集， Vol. 17, pp. 161-166, 2011.

水文水質データベース 国土交通省水管理国土保全局.

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.

## 第5章 掘削域へのヤナギ類の侵入と過剰な繁茂へ至る要因

浅見和弘，丸谷成，田野弘明，酒井進 (2007) 江川ダムの貯水池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.

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—多摩川上流部を対象にした事例分析より—, 水工学論文集, Vol. 42, pp. 977-982, 1999.

池田茂, 片桐浩司, 大石哲也, 對馬育夫, 萱場祐一: 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, 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 73, No. 2, pp. 38-49, 2017.

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 (土木学会論文集 B1 (水工学)), Vol. 72, No. 4, pp. 1045-1050, 2016.

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.

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, 日生態会誌, Vol. 38, 1988.

巖佐庸, 松本忠夫, 菊沢喜八郎 生態学事典 日本生態学会 共立出版 2003.

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.

岡崎正規, 木村園子ドロテア, 波多野隆介, 豊田剛己, 林健太郎: [図説] 日本の土壌, 朝倉書店 2010.

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.

崎尾均, 山本福壽編 水辺林の生態学, 東京大学出版会 2002.

沼田真編：図説植物生態学，朝倉書店 1969.

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.

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.

八木澤順治，田中規夫，福岡捷二：河道内植生の洪水による破壊および破壊規模に応じた再生・拡大過程を考慮した植生動態モデルの開発，河川技術論文集，Vol. 19，pp. 393-398，2013.

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.

## 第6章 結論

社会資本整備審議会河川分科会 安全・安心が持続可能な河川管理のあり方，2006.

## 研究実績等（○；学位論文と直接的に関係のあるもの）

### 1. 論文

○池田茂，片桐浩司，大石哲也，對馬育夫，萱場祐一：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，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol. 73, No. 2, pp. 38-49, 2017.

○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（土木学会論文集 B1（水工学），Vol. 72, No. 4），pp. 1045-1050, 2016.

○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.

池田茂，佐治実，坪倉幸憲：インターネット接続電話による河川情報提供システムの開発，地域安全学会論文集，No. 3, pp. 41-50, 2001.

片桐浩司，池田茂，大石哲也，萱場祐一：揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の分布と成立条件，応用生態工学会誌 19(1)，pp. 55-65, 2016.

片桐浩司，池田茂，傳田正利，萱場祐一：河道内氾濫原における水生植物群落の劣化要因の解明とその再生に向けて，河川技術論文集，Vol. 22, pp. 409-414, 2016.

### 2. 講演

○池田茂，對馬育夫，片桐浩司，大石哲也，萱場祐一：遺伝解析を用いたヤナギ類の河道掘削箇所への侵入・定着機構について，植生学会第 20 回大会，一般講演 口頭発表，2015 10 月.

片桐浩司，池田茂，萱場祐一：河道内氾濫原における沈水植物群落の分布と成立条件，応用生態工学会第 19 回大会，口頭発表，2015 9 月（優秀口頭研究発表賞の受賞）.

片桐浩司, 池田茂, 中西哲, 傳田正利, 萱場祐一: 河川における沈水植物群落の分布とその変遷, 陸水学会第 80 回大会, 口頭発表, 2015 9 月.

村岡敬子, 池田茂, 赤松史一, 槇島みどり, 田屋祐樹, 中西哲, 萱場祐一: 河川環境事業への遺伝情報活用の試み, 日本 DNA 多型学会第 22 回学術集会, 口頭発表, 2013 11 月.

### 3. その他

池田茂, 村岡敬子: 将来の環境変化と生態系の評価, 土木技術資料, Vol. 57, pp. 30-33, 2015.

池田茂 (平成 24~27 年度プロジェクトリーダー): 国立研究開発法人土木研究所プロジェクト研究 8 「河川生態系の保全・再生のための効果的な河道設計・河道管理技術の開発 (①研究期間 平成 23~27 年度, ②個別 6 課題 1. 物理環境等を指標とする河川環境評価技術に関する研究 2. 寒冷地汽水域における底質及び生物生息環境改善に関する研究 3. 冷水性魚類の産卵床を考慮した自律的河道整備に関する研究 4. 河川生態系と河川流況からみた樹林管理技術に関する研究 5. 河川地形改変に伴う氾濫原環境の再生手法に関する研究 6. 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価技術に関する研究)」に係るプロジェクトリーダー: ①独立行政法人土木研究所業務実績報告書 2012, 2013, 2014, 第 3 期中長期目標期間業務実績等報告書 (見込評価) 2011-2015. ②土木研究所資料土木研究所外部評価委員会報告書 平成 24, 25, 26, 27 年度.

北村友一, 平山孝浩, 柴山慶行, 池田茂, 鈴木穰: 印旛沼流域における河川水質と集水域の土地利用の関係, 第 47 回水環境学会年会講演集, pp126, 2013.

柴山慶行, 鈴木穰, 池田茂: 霞ヶ浦における水質・環境の変化とアオコ発生との関係, 第 47 回水環境学会年会, P-B01, 2013.

池田茂 (平成 24~27 年度プロジェクトリーダー): 国立研究開発法人土木研究所プロジェクト研究 10 「流域スケールで見た物質の動態把握と水質管理技術 (①

研究期間 平成 23～27 年度, ②個別 3 課題 1. 流域スケールで見た物質動態特性の把握に関する研究 2. 土地利用や環境の変化が閉鎖性水域の水質・底質におよぼす影響に関する研究 3. 水環境中における病原微生物の対策技術の構築に関する研究)」に係るプロジェクトリーダー: ①独立行政法人土木研究所業務実績報告書 2012, 2013, 2014, 第 3 期中長期目標期間業務実績等報告書 (見込評価) 2011-2015. ②土木研究所資料土木研究所外部評価委員会報告書 平成 24, 25, 26, 27 年度.

池田茂 (発明者), 財団法人河川情報センター (特許権者): 流域情報生成システム (発明の名称), 特許第 4922511 号, 2012. 2. 10 (登録日), 特願 2001-250758 (出願番号) 2001. 8. 21 (出願日) .

池田茂, 清水敬生: 河川流域総合情報システム, 地域安全学会梗概集, pp. 79-82, 2002, 11 月.

池田茂, 斎藤貴裕, 広田克己: インターネット接続携帯電話による河川情報の提供, 地域安全学会梗概集, pp. 83-86, 2002, 11 月.

池田茂, 斎藤貴裕: 河川流域総合情報提供システム 2002, 日本災害情報学会第 4 回研究発表大会予稿集, pp. 119, 2002, 11 月.

池田茂, 清水敬生: 次世代河川情報提供システム, 第 21 回日本自然災害学会講演概要集, pp. 91, 2001, 9 月.

池田茂, 清水敬生, 斎藤貴裕, 広田克己: インターネット対応型携帯電話による河川情報の提供, 第 21 回日本自然災害学会講演概要集, pp. 85, 2001, 9 月.

池田茂 国立研究開発法人土木研究所理事長表彰: 水環境研究グループの運営に精励し生態系, 水環境保全に係る研究・人材育成活動に極めて優れた成果を挙げたこと, 2015. 7. 16.

情報化月間推進会議議長賞 (システム表彰): 財団法人河川情報センター (表彰

者) 「一般通信機器(携帯電話機)による河川情報提供システム」(表彰対象),  
2001.10.1 (研究開発担当者: 池田茂, 佐治実, 坪倉幸憲) .

土木学会 (2002), 植生学会 (2015), ダム工学会 (2017) 所属.

河川生態学術研究会委員 (平成 24~27 年度): 国土交通省水管理国土保全局河川  
環境課等 平成 7 年設置.

ダム貯水池水質調査要領改訂検討委員会委員 (平成 24~27 年度): ダム貯水池水  
質調査要領 国土交通省水管理・国土保全局 平成 27 年 3 月.

三春ダム水質対策検討会委員 (平成 24~27 年度): 国土交通省東北地方整備局三  
春ダム管理所 平成 16 年 3 月設置.

鹿野川ダム水質検討会委員 (平成 24~27 年度): 国土交通省四国地方整備局山鳥  
坂ダム工事事務所 平成 16 年 11 月設置.