

比高と水際からの距離に着目した河道内植性の分布特性と 河道掘削後の植生群落の予測技術に関する調査研究

**Vegetative Distribution Characteristics in River Channel and Forecasting Vegetative Populations
after Excavation Based on Height from Regular Water Level and Distance from Water's Edge.**

河川・海岸グループ 研 究 員 内藤 太輔
水循環・まちづくりグループ グループ長 坂之井和之
主席研究員 塩井 直彦
河川・海岸グループ 研 究 員 池田 有希

河道内植生の分布特性や樹林化の傾向については、地域、河川、セグメントなどの場の違いによって異なることが知られている。また、河道掘削は全国の河川で広く採用される治水整備手法であるが、砂州の切下げでは再樹林化が散見されるなどの課題があり、河道掘削後の植生を予測する技術が求められている。

本研究では、平常時の水面からの比高、水際からの距離の二つの成立要因に着目し、全国の河川の植生群落分布特性を整理した。その結果、植生群落分布特性がセグメントごとに異なること、比高 1m 以下の低比高帯の植生分布が地域ごとに異なることが明らかになった。また、主な樹林化の対象となるヤナギ林、ハリエンジュ群落、竹林では分布する比高帯が異なることが確認できた。

さらに、掘削事例を対象に、掘削後の植生群落変遷、出水回数等の要因を整理した。掘削後の優占植生群落に着目した分析からは、セグメント 2-2 では比高 1m 以下の低比高帯の優占植生群落と掘削後の優占植生群落との関係性が高いことを示す結果が得られた。このことから、掘削対象となる比高帯の植生群落分布特性を把握することが、河道掘削後の植生の予測に繋がる可能性が示された。

キーワード：植生群落分布、樹林化、ヤナギ林、ハリエンジュ群落、竹林、河道掘削、平常時の水位からの比高、水際からの距離

It is known that vegetative distribution characteristics in the river channel and tendency of tree development differ depending on the environments such as regions, rivers or segments. Also, river channel excavation is one of the popular flood management methods employed by the rivers nationwide, but there are issues such as regrowth of trees after sandbar dredging and therefore technologies to forecast vegetation after river channel excavation are warranted.

This research focused on the two parameters of formation factors on distances – one from regular water level and the other from water's edge and discussed vegetative population distribution characteristics nationwide. Results found such characteristics differ among segments and vegetative distribution in the areas of lower than 1 meter from water level differ in regions. Also confirmed is that the target species for tree growth such as willow trees, *Robinia pseudoacacia* populations and bamboo trees differ in the distribution in the height from regular water level.

Additionally vegetative population transition, the number of flooding and other factors after channel excavation were discussed. Based on the analysis on dominant vegetative populations after excavation, results show high correlation in dominant vegetative populations in the lower areas less than 1 meter from water level and dominant vegetative populations after channel excavation in segment 2-2. Based on this, understanding vegetative population distribution characteristics in the area of heights in excavating area might possibly lead to forecasting vegetation after channel excavation.

Key Words: vegetative population distribution, tree growth, willow trees, *Robinia pseudoacacia* populations, bamboo trees, channel excavation, height difference from regular water level, distance from water's edge

1. はじめに

河道掘削は、多くの河川で採用されている治水整備手法であり、陸域化した砂州を切り下げることで自然裸地や湿地環境を再生する自然再生のメニューとしても用いられている。しかし、河道掘削後の裸地面には対策後早期にヤナギ類を中心とした樹木が侵入し、樹林化が進行するケースが散見される。個々の河川、区間を対象にした掘削のインパクト、樹林化については知見が蓄積されているが^{1), 2)}、全国の河川を対象に、物理環境と植生群落との関係性について全体的な傾向や地域性をとりまとめた研究事例は少ない³⁾。また、河道掘削後の植物群落を高精度で予測する技術は確立されていない。

以上のことから、本研究では、全国の河川を対象として植生群落の分布を把握し、その成立要因として平常時の水位からの比高と水際からの距離に着目し、植生群落とこれら二つの要因との関係性を分析した。また、掘削事例を対象として、掘削箇所が該当するセグメントの比高 1m 以下の優占植生群落、掘削高さ、および出水特性と、掘削後の優占植生群落との関係性を分析した。

2. 河道内植生群落の分布特性と比高、水際距離の特徴

2-1 分析手法

河川水辺の国勢調査（植生図作成）（以下、水国植生図）と横断測量結果を GIS 上で重ねることで、平常時の水位からの比高（以下、比高）、水際からの距離（以下、水際距離）と関連させた植生群落情報を抽出、分析した。

全国の河川を対象とした分析では、4 巡目（2006～2010 年）の水国植生図、横断測量、距離標データを用いた。植生群落の分類区分は、水国の 28 個の植生群落基本分類をもとに、15 個の植生群落区分に統合、設定した。横断測量データは、測量年と対応する水国調査年との差が 2 年以内のものを用いた。対象河川は、上記のデータセットが入手できた支川を含む 71 水系 174 河川とし、主にセグメント 1、2-1、2-2 を分析対象とした。なお、これらの河川の中には、全川のデータが揃わず部分的にデータが取得できたものを含む。

比高の基準とする平常時の水位については、水国植生図の水域ポリゴンと横断測量データを GIS 上で重ね合わせ、その交点の中で最も地盤高の低いものの値で設定した。これは、植生図作成のための調査が基本的に出水や渇水時を避けて行われていることから、水域ポリゴンの境界線で表現される水際が、平水位のもの

と大きく異なることはないという仮定に基づいている。

分析に用いるデータは、横断測線上に左右岸それぞれ水際を基点に、5m ピッチで点をプロットし、各点の植生群落区分、比高、水際距離を抽出して得た。さらに、得られた各点のデータをもとに、植生群落の分布特性は出現率で表現した。すなわち、比高、水際距離の 2 軸上に現される比高 1m×水際距離 10m のメッシュ内、あるいは比高 1m 以下の範囲の、総点数に占める対象とする植生群落区分の点数の割合で示した。

2-2 比高、水際距離からみた植生群落分布の特徴の概要

比高、水際距離の 2 軸上に、植生図と横断測量結果の重ねあわせで抽出した情報を河川別、植生群落区分別にプロットした。河川や横断形状によってプロットの分布は異なるものの、植生群落区分ごとに分布範囲や密度が異なる傾向を示すことが確認できた。利根川と豊川を例に、プロット数の多かった、いくつかの植生群落区分を図-1 に示す。

利根川の例では、自然裸地、単子葉草本、ヤナギ林は、水際近くの低い比高帯の分布密度が高く、それに対して、一年生草本群落、多年生広葉草本、人工物・耕作地等は、比高が高く、水平方向に広く分布している。

豊川では、利根川と同様に、単子葉草本とヤナギ林は、比高が低く、水際距離が短い範囲に分布が集中するのに対して、竹林は、比高帯が高く、水際距離が広い範囲で分布している。

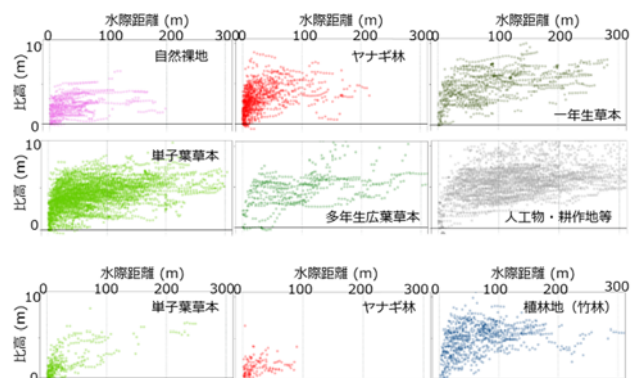


図-1 比高と水際距離の 2 軸上の植生群落分布特性
(上 2 段 利根川、下 1 段 豊川)

2-3 セグメントによる河道内植生群落の分布特性の違い

植生群落区分ごとに平水位からの比高と水際距離の特徴を出現率で整理した。以下に今回分析した全国 71 水系 174 河川の中からデータが全川の揃っている 21 水系 26 河川を対象に事例を交えて特徴を示す。

(1) 自然裸地

自然裸地は、セグメント1および2-1の概ね比高4m以下の範囲に分布が限定されており、比高2m以下の範囲で出現率が20%以上と高くなる(図-2)。水際距離で見ると0~10mの範囲で約20~30%の出現率で最も高く、距離が大きくなるにつれて次第に低くなり、100m付近で5~10%程度となる(図-3)。

(2) 一年生草本群落

いずれのセグメントでも、5~10%程度の出現率で広い比高域に分布するが、概ね比高が低くなるにつれて出現率が高くなる。セグメント2-2で最も出現率が高く、比高2m以下では10%を上回る(図-2)。水際距離では、セグメント1、2-1では、0~100mまでは大きく変化しないが、セグメント2-2では、0~10mで最も高い15%程度の出現率が水際距離が大きくなるにつれて次第に低くなり100m付近では5%を下回る(図-3)。

(3) 単子葉草本群落

どのセグメントでも比高が低くなるほど出現率が高くなり、比高4m以下の範囲で、概ね10~20%程度の出現率となる(図-2)。水際距離が大きくなるにつれて次第に出現率が低くなるが変化は小さい(図-3)。

(4) ヤナギ林

セグメント2-1、2-2の比高4m以下の範囲で出現率が高く、特にセグメント2-1では、概ね20~30%程度の高い出現率となる。セグメント1では2m以下の範囲で出現率が10%程度になる(図-2)。水際距離が大きくなるほど、出現率が低下する(図-3)。

石狩川水系の事例を図-4に示す。ヤナギ林の出現率が30%以上となる主な範囲は、比高0~9m、水際距離0~150mで、比高6m以上では、水際距離は20m以内に集中している。

(5) 植林地(竹林)

吉野川水系の事例を図-4に示す。竹林のほとんどがセグメント2-1で出現し、出現率が30%以上と高くなるのは、比高が6m以上、水際距離では、250m以下、特に100m以下の範囲である。

(6) 植林地(その他)

ハリエンジュを含む植林(その他)は、セグメント1で出現率が高く、比高2~7mの範囲で10%程度になる。比高2m以下での出現率は低い(図-2)。水際距離が大きくなるにつれて出現率が高くなる(図-3)。

利根川水系の事例を図-4に示す。植林地(その他)ハリエンジュの出現率が20%以上の高くなる範囲は、概ね比高2~8m、水際距離が150~300mの範囲である。比高が1~2mの範囲にも出現率が30%以上の箇所が見られるが、1m以下では10%未満の箇所のみとなる。

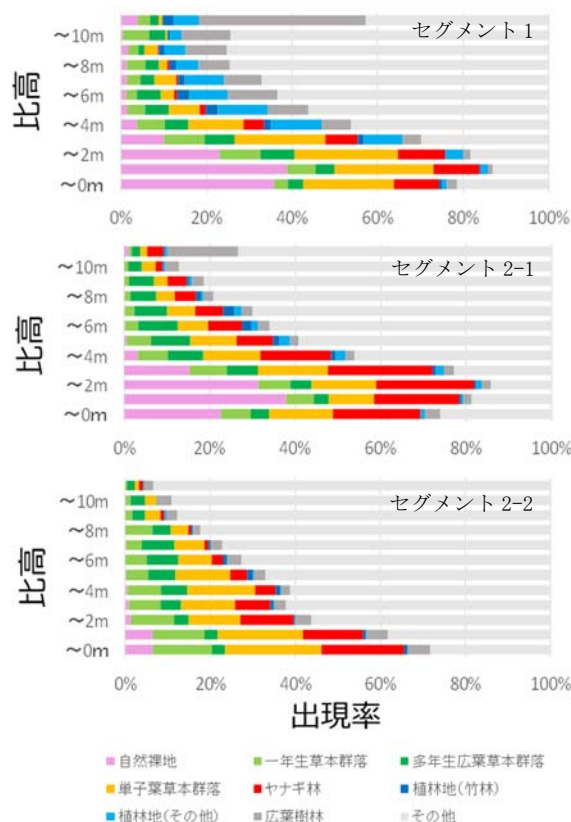


図-2 比高別の植生群落分布特性(全国)

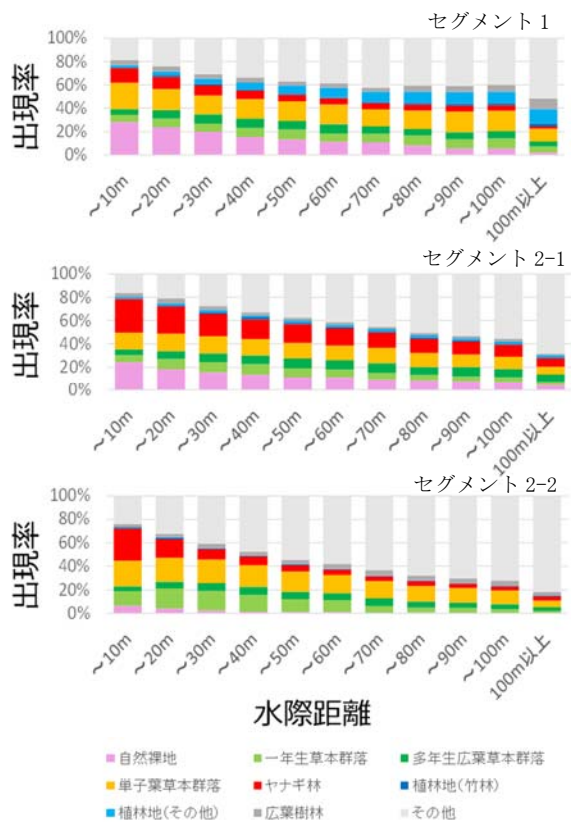


図-3 水際距離別の植生群落分布特性(全国)

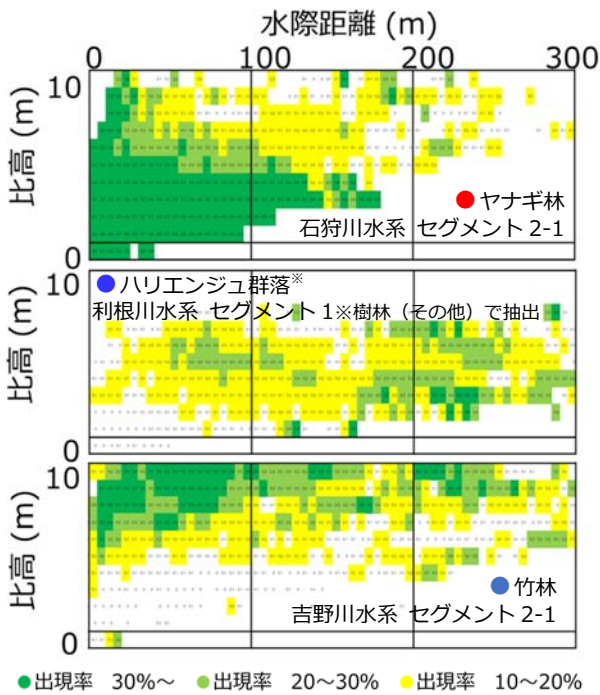


図-4 比高、水際距離による植生群落分布特性の例

2-4 地域による低比高帯の植生群落分布特性の違い

全国71水系174河川(表-1)のセグメント1、2-1、2-2を対象に、多くの事業で掘削高さの目安とされる平水位付近の植生群落分布を明らかにするために比高1m以下の植生群落出現率を整理した。ここでは、人工物・耕作地等を除いて出現率の大きい自然裸地、単子葉草本群落、ヤナギ林について述べる。

自然裸地はセグメント1、2-1で出現率が高く、特にセグメント1では東北、北陸、中部の分析河川で平均の出現率が40%を超えた。中部はセグメント1、2-1、2-2のいずれでも出現率が40%を超えていた。一方で、北海道はセグメント1、2-1、2-2で、中国はセグメント1、2-1で20%を下回っていた(図-5)。

単子葉草本群落は、北海道の河川では他の地方のものに比べて出現率が低く、いずれのセグメントでも5%以下となっている。北陸、近畿、中国、九州の出現率はいずれのセグメントでも高く、20%を超えている。東北でもセグメント2-2で20%を超えている(図-5)。

ヤナギ林は、北海道でいずれのセグメントでも60%程度の高い出現率となっており、20%未満の他の地方と大きく異なっている。一方で、九州と四国の出現率はいずれのセグメントでも5%以下と低い。また、東北、中国ではセグメント2-1で、北陸、関東、中部、近畿では、セグメント2-2で出現率が大きい(図-5)。

表-1 比高1m以下の植生群落分析対象河川とデータ点数

地方	水系数	河川数	データ点数		
			セグメント1	セグメント2-1	セグメント2-2
北海道	5	15	13603	10615	10940
東北	9	25	1679	44076	8301
関東	6	17	6931	4910	23048
北陸	9	19	11743	8885	9675
中部	10	35	15161	19452	22417
近畿	9	20	10160	13092	17232
中国	10	18	3092	12184	14259
四国	4	8	0	18530	5968
九州	9	17	1054	7742	2226
合計	71	174	63423	139486	114066

※ 対象河川には部分的にデータが取得できたものを含む

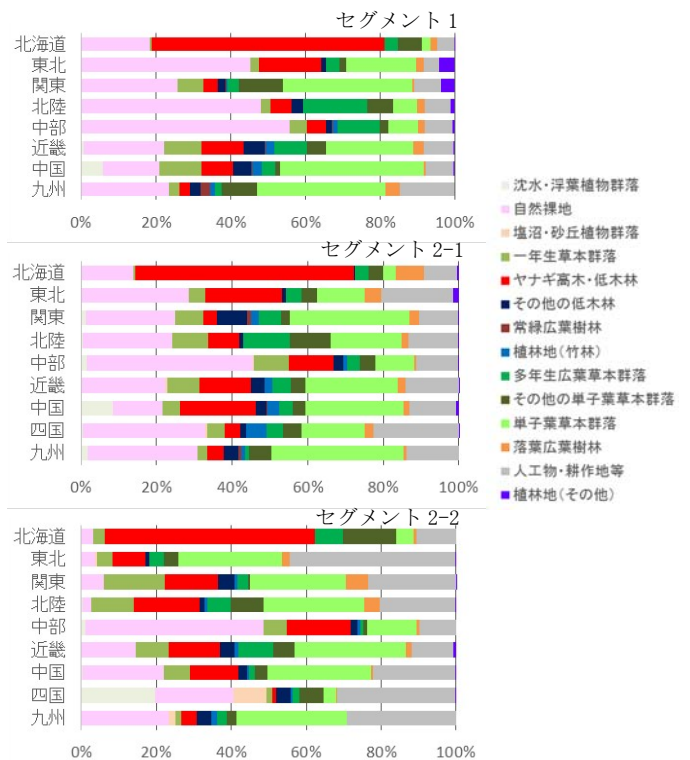


図-5 比高1m以下の植生群落分布(地方別)

3. 掘削後に優占する植生群落と成立要因との関係性

掘削後5年以上経過した箇所を23河川48事例抽出し、掘削後の優占植生群落を整理した。あわせて、掘削高さ、掘削後の平均年最大流量を超える出水回数との関係についても整理した。

3-1 分析手法

23河川48箇所の掘削事例を対象に、2-1と同様の方法で取得した植生群落区分、比高、水際距離のデータを用いて、掘削箇所が該当するセグメントの比高1m以下の優占植生群落、掘削高さ、および掘削後の出水回数と掘削後の優占植生群落との関係を分析した。なお、植生群落区分は、草本群落をひとつに統合し、自然裸地、ヤナギ林とあわせた3区分を分析対象とした。

各セグメントの比高 1m 以下の優占群落植生は 4 巡目の水国植生図のデータを基に整理した。掘削後の植生群落変遷の分析対象は掘削後 5 年以上経過している事例とし、必要データが揃うものを基本とした。掘削年度、掘削形状、掘削高さのデータについては、該当する掘削事業を行った各河川事務所から提供を受けた。また、水文水質データベースのデータをもとに、掘削後の平均年最大流量以上の出水回数を整理した。

3-2 掘削箇所の位置するセグメントの低比高帯 (比高 1m 以下) の優占植生群落との関係

表-2 は、セグメント別に、掘削後 5 年以上経過して優占した植生群落によって分類したものである。ヤナギ林が優占し樹林化した箇所の割合は、セグメント 1 では事例がなく、セグメント 2-1 で 26%、セグメント 2-2 で 39%であった。

また、掘削箇所の該当するセグメントで比高 1m 以下の範囲で優占する植生群落と掘削後に優占する植生群落との関係性を表-3 に整理した。その結果、セグメント 2-1 では、比高 1m 以下の範囲で草本群落を優占する場合には、80% の高い確率で掘削後の優占植生群落が草本群落となったが、他の優占植生群落については明確な関係は見られなかった。一方、セグメント 2-2 では、比高 1m 以下の範囲で優占する植生群落が草本群落、自然裸地、ヤナギ林のいずれであっても、高確率で掘削後の優占植生群落となった。ただし、自然裸地については、事例が 1 件であった。

表-2 掘削後の優占植生群落

セグメント	掘削後の優占植生群落	該当掘削箇所数(左)と各セグメントの総数に対する割合(右)	
		箇所数	割合
1	2 草本群落	1	33%
	3 自然裸地	2	67%
2-1	1 ヤナギ林	7	26%
	2 草本群落	14	52%
	3 自然裸地	6	22%
2-2	1 ヤナギ林	7	39%
	2 草本群落	8	44%
	3 自然裸地	2	11%
	4 人工裸地	1	6%

表-3 比高 1m 以下の優占植生群落と掘削後の優占植生群落の関係

セグメント	比高1m以下の優占植生群落	該当掘削事例数	掘削後の優占群落					
			自然裸地		草本群落		ヤナギ	
			箇所数	割合	箇所数	割合	箇所数	割合
2-1	自然裸地	8	2	25%	3	38%	3	38%
	草本群落	5	1	20%	4	80%	0	0%
	ヤナギ	3	1	33%	2	67%	0	0%
2-2	自然裸地	1	1	100%	0	0%	0	0%
	草本群落	6	0	0%	5	83%	1	17%
	ヤナギ	7	1	14%	0	0%	6	86%

※赤字は該当する割合が 80% 以上のもの

3-3 出水回数・頻度との関係

表-4 に掘削後の優占植生群落と出水頻度と出水回数を整理した。セグメント 2-1 では、掘削後に自然裸地になった箇所回数が多かったが、セグメント 2-2 では、逆に自然裸地になった箇所でも最少なく、ヤナギ林になった箇所が多くなった。

3-4 掘削高さとの関係

表-5 に掘削後の優占植生群落と掘削高さを整理した。セグメント 2-1、2-2 いずれにおいても平水位より低い高さで掘削した事例では、掘削後にヤナギ林が優占したものは、見られなかった。ただし、これらの事例では掘削前の優占植生群落や該当セグメントの比高 1m 以下の掘削範囲の優占植生群落がヤナギ林であったものは確認できておらず、今回の結果だけでは、平水位以下の掘削がヤナギ林の抑制に効果があると判断するには不十分と考えられた。

表-4 掘削後の優占植生群落と出水回数、頻度

セグメント	掘削後の優占植生群落	出水回数	出水頻度 (回/年)
1	2 草本群落	1.00	0.20
	3 自然裸地	3.50	0.63
2-1	1 ヤナギ林	2.67	0.46
	2 草本群落	2.50	0.38
	3 自然裸地	3.40	0.41
2-2	1 ヤナギ林	5.73	0.74
	2 草本群落	3.75	0.48
	3 自然裸地	2.50	0.39
	4 人工裸地	2.00	0.33

表-5 掘削後の優占植生群落と掘削高さ

セグメント	掘削後の優占植生群落	平水位より高い	平水位	平水位より低い
1	2 草本群落	1	0	0
	3 自然裸地	2	0	0
2-1	1 ヤナギ林	4	1	0
	2 草本群落	10	0	3
	3 自然裸地	2	1	3
2-2	1 ヤナギ林	4	2	0
	2 草本群落	2	2	4
	3 自然裸地	1	0	1
	4 人工裸地	0	0	1

3-5 掘削後の植生群落変遷に影響を与えるその他の要因

今回の研究結果からは、セグメント 2-1 において、掘削後の優占植生群落が自然裸地となった河川では、出水回数の平均値が、ヤナギ林、草本群落が優占した河川より高くなったことから (表-4)、出水が自然裸地の形成に影響している可能性が考えられた。ただし、個別の河川ごとに見ると掘削後に自然裸地が優占した河川で出水回数、頻度が低いケース、逆にヤナギ林、草本群落が優占した河川で高いケースも見られたことから、出水だけが要因となっているとは考えにくい。

本研究では、平均年最大流量を超える規模の出水回

数のみを指標としており、出水規模、掃流力、出水による掘削の植生群落へのインパクトについては分析対象としていない。これまでの研究成果や多くの事例から、出水による植生破壊や堆積等が植生群落の変遷過程に影響を与えることは明らかであることから⁵⁾、今後、掃流力、地形変化を指標としてヤナギ林の侵入との関係を整理していくことが課題となる。

また、植生群落の変遷に影響する要因としては、今回、分析対象としたものの他に、河床材料、冠水頻度などの外的要因、および掘削時期、表土処理、維持管理など人為的要因が挙げられる。それぞれの要因が複合的に掘削後の植生群落変遷に影響していることが想定されるため、今後は、事例数を増やすなどして統計

的な解析を進めることなどが有効と考えられる。

4. 主な樹林化の対象となるヤナギ林、ハリエンジュ群落、竹林に対する掘削の効果

4-1 豊川の掘削事例

セグメント2-1で竹林が優占していた箇所を2005年に掘削した結果、掘削後5年以上経過して単子葉草本群落¹⁾が優占している(図-6)。豊川水系では、竹林は比高3m以上の範囲で、一年生草本群落や単子葉草本群落は比高3m以下の範囲で、それぞれ出現率が高くなっている。掘削後の比高は3m以下の範囲が多く、単子葉草本群落が優占しやすい比高帯であった。

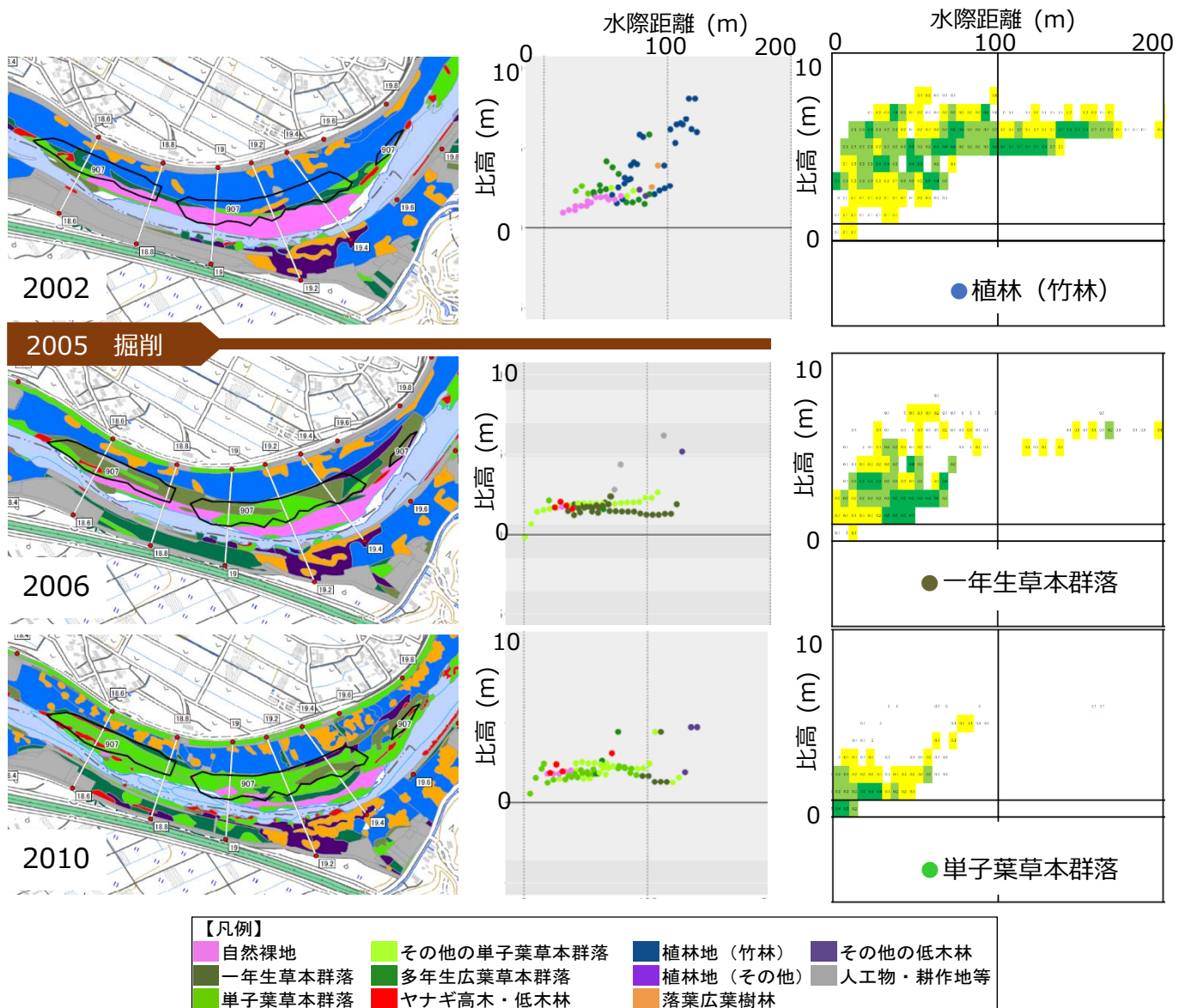


図-6 豊川_セグメント2-1の掘削事例

(左: 植生群落の変遷、中央: 掘削箇所の横断上の植生群落変線、右: セグメント2-1の植生群落分布特性【2006年度】)

4-2 揖斐川の掘削事例

セグメント 2-2 で多年生広葉草本群落を優占していた箇所を 2005 年に掘削したところ、2 年程度は全範囲で自然裸地が形成されていたが、7 年経過した時点ですべてヤナギ林に置き換わっている (図-7)。揖斐川を含む木曾川水系では、比高 1m 以下でヤナギ林と自然裸地が優占しており、特に水際距離が 10m 以下の範囲では、ヤナギ林の出現率が 30% 以上で自然裸地よりも優占している箇所が多い。掘削後の比高は、ほぼ 0~1m の範囲で維持されており、ヤナギ林が優占しやすい比高帯であった。

4-3 掘削が有効と考えられる対象樹種

全国の河川を対象にした整理結果から、ヤナギ林、ハリエンジュ群落、竹林は分布特性が異なることが確

認できた (図-2)。

ハリエンジュ群落 (植林地 (その他) で確認) は、セグメント 1 の比高 3m 以上で、竹林はセグメント 2-1 の比高 6m 以上でそれぞれ出現率が高く (図-4)、植生群落の特性分布特性からは、掘削により比高を下げる抑制策は有効であることが示唆された。実際に、豊川の掘削事例では、高い比高帯にあった竹林が、掘削によって単子葉草本群落を優占する植生群落に置き換わり、5 年以上維持されていた (図-6)。

一方、ヤナギ林は、セグメント 2-1、2-2 の比高 2m 以下で出現率が高く、掘削後に侵入しやすいと考えられる (図-2)。実際、掘削後 5 年以上経過した植生群落が確認できた箇所では、セグメント 2-1 で 27 箇所のうち 7 箇所、セグメント 2-2 で 18 箇所のうち 7 箇所

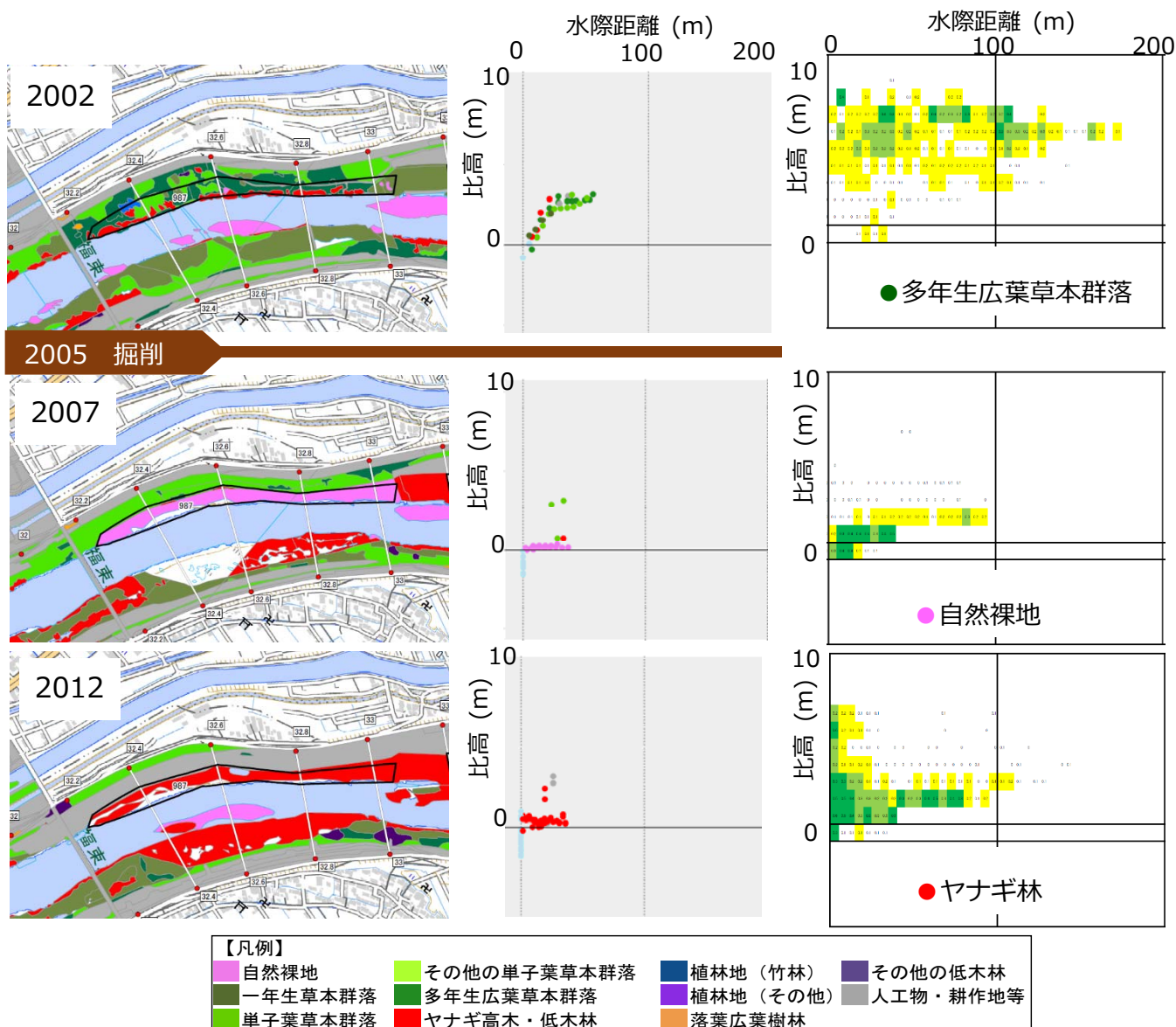


図-7 揖斐川_セグメント 2-2 の掘削事例

(左: 植生群落の変遷、中央: 掘削箇所の横断上の植生群落変遷、右: セグメント 2-2 の植生群落分布特性【2007 年度】)

ヤナギ林が優占しており、他の樹木群落は優占する箇所は見られなかった(表-2)。これらのことから、ヤナギ林に対しては掘削高さの目安を平水位とただけでは、十分な対策ではないことが示唆された。

今回の調査では、掘削高さを平水位以下に設定した掘削事例では、掘削後にヤナギ林が優占したケースは確認できなかったことから(表-5)、比高を平水位以下までにした場合、ヤナギ林の侵入抑制に効果がある可能性が示唆された。ただし、これらのケースでは掘削前にヤナギ林が優占している箇所はなかったこと、事例数が十分ではなかったことから、今後、ヤナギ林の優占する掘削箇所を中心に事例を収集し検証していく必要がある。

5. おわりに

本論文では、比高、水際距離の二つの要因に着目し、全国の河川の植生群落分布特性を整理した。また、掘削事例を対象として、掘削箇所が該当するセグメントの比高 1m 以下の植生群落分布特性、掘削高さ、出水特性と、掘削後の植生群落との関係性を分析し以下の結論を得た。

- ・地域、セグメントによって比高、水際距離による植生群落の分布特性は異なる。
- ・主な樹林化の対象となるヤナギ林、ハリエンジュ群落、竹林の分布特性は比高で明確に異なる。
- ・ハリエンジュ群落、竹林は切下げにより抑制される可能性がある。
- ・セグメント 2-2 では、掘削後の優占植生群落は、該当セグメントの比高 1m 以下の優占植生群落に関係する可能性がある。
- ・セグメント 2-1 では、掘削後に自然裸地が優占した河川の平均的な出水回数が多く、自然裸地の維持に出水が影響している可能性がある。

現時点では、河道掘削後の植物群落を高精度で予測する技術は確立されていない。本研究の結果からは、セグメント 2-2 において、低比高帯の優占植生群落が掘削後も優占する可能性が高いことが示唆された。このことから、比高が植物群落の形成の支配的な要因の一つであることが支持されるが、出水のインパクト、表層の土壌、地下水位の高さ、外来植生群落など他にも複数の要因があることから、予測技術としては不確実性を伴う。

今後は、植物群落の形成のメカニズム解明を進めるとともに、現場での試験施工との組み合わせなどから、比高、水際距離による掘削後の植生群落の予測が適用できる条件を明らかにしていくことで、予測技術とし

ての精度を上げていくことが期待される。

謝辞

本研究にあたっては、国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループ河川生態チームの萱場祐一上席研究員、および国土交通省水管理・国土保全局河川環境課の方々にご指導及びご助言をいただきました。ここに厚く御礼を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 宮本仁志, 戸田祐嗣, 赤松良久: 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, 第 19 巻, p441-446 (2013)
- 2) 今村史子, 徳江義宏, 日高初淑, 中村隆人: 長良川の樹林化実態の把握と要因推定の試み, 河川技術論文集, 第 20 巻, p211-216 (2014)
- 3) 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, p241-246 (2010)
- 4) 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変遷過程—セグメント 2 河道を対象として, 河川技術論文集, 第 20 巻, p115-120 (2014)
- 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, p433-438 (1998)