

河川の水利条件による河道内樹木の稚樹定着抑制

CONTROL OF SEEDLING ESTABLISHMENT IN RIVER CHANNELS BY FLUVIAL HYDRAULICS MANAGEMENT

伊木千絵美¹・矢部浩規²・中津川誠²

Chiemi IKI, Hiroki YABE and Makoto NAKATSUGAWA

¹正会員 農修(株)北海道技術コンサルタント(〒065-0043 札幌市東区苗穂町4丁目2-8)

²正会員 工博(独)北海道開発土木研究所 環境研究室(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

We identified a site on the Toyohira River in Sapporo, Hokkaido, where the area of mid-channel trees is expanding. This identification was done based on aerial-photograph-based drawings indicating changes in tree height and area of mid-channel trees between 1972 (the year before improvement work, when channel trees were few) and 1995 and 2003 (years after the work was complete). Based on a cross-sectional plan of the site, we examined changes in the riverbed topography and height difference between 185-day water level and maximum riverbed height in the low-water channel for each year. Furthermore, in the present topography, we estimated the age of seedlings along a measurement line on the bare part of sandbars distributed with seedlings, and determined inundation frequency during the period of seed dispersal, inundation frequency during the period of tree growth, maximum annual non-dimensional tractive force, and change in tree height between 2002 and 2004 when seedlings began to establish themselves. Then we conducted factor analysis on seedling habitats and environment. We found that inundation frequency during the period of seed dispersal affects the establishment of the seedlings. This suggests that adjustment of the flow volume in the period may control the establishment of seedlings.

Key Words: Fluvial hydraulics, seedling in river channel, willow, flooding frequency

1. はじめに

近年、日本各地の河川における河道内樹林化と河川水利に関する様々な研究が行われ^{1),2)}, 河道内樹林の形成に関する遷移課程について報告されている³⁾. また、河道内樹木の分布は河川水利と密接に関係し、冠水頻度、比高、無次元掃流力との関連も指摘されている^{4),5)}.

北海道札幌市を流れる豊平川では1970年代以降、高水敷と低水護岸の設置による複断面化の改修工事が行われ、改修工事後から流水に沿ってヤナギ類を中心とした河畔林が形成されている。ヤナギ類は北海道や東北の河川に分布する河道内樹木で、融雪洪水以降の水位低下時期に融雪洪水や前年の洪水によって形成された裸地で発芽して実生(本研究では稚樹と呼ぶ)が定着する⁶⁾。また、夏から秋にかけての洪水による生育地の破壊という影響も受ける。豊平川における河畔林の形成は、横断地形の変化とヤナギ類の裸地部への定着・消失に起因するものと考えられる。さらに、現在、河道内樹林については治水と生態系の視点を合わせた管理が求められている。

そこで本研究では、まず始めに改修工事前後の横断地形と河畔林面積の変遷について既存資料から概観し、次に現況地形の裸地における稚樹の定着と河

川水利の関係について考察を行った。そして、河道内樹木稚樹の定着を抑制する河川水利条件を抽出し、今後の河道内樹木管理における流量調節方法の提案を試みた。

2. 調査地概要

調査は札幌市街を流れる豊平川で行った(図-1)。豊平川は流量路延長72.5km、流域面積902.3km²で中流部にあたる札幌市街地では礫や砂が堆積する扇状地を形成している。扇状地区間は河床勾配が1/160~1/370程度の礫床河川となっている。また、昭和50年代以降、高水敷や低水護岸の造成による複断面化の工事が行われ、低水路は固定化された。改修工事以前は堤防と堤防の間すべてが皿形をした河原で、洪水のたびに中州の表面が動くためにヤナギも生えることができない川であった⁷⁾。工事後は川幅が狭くなり、流路に沿って河畔林が形成された。現在の豊平川の植生タイプは、低水護岸に沿った河畔林と礫河原の中州という、主に2つのタイプに分けることができる。また、河畔林の拡大後、治水安全度を確保する目的で過去に皆伐または間伐による伐採が行われている。なお、調査区間は、扇状地区間のうち扇端部に近いKP13.6~14.4(L=800m)の区間に設定した(図-1)。

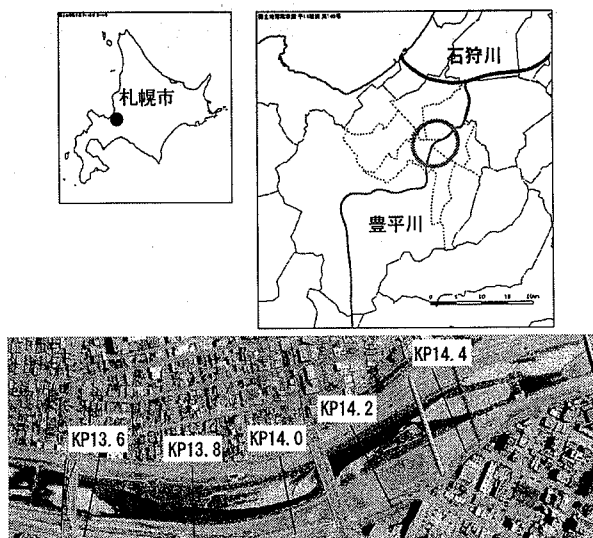


図-1 調査位置図

3. 調査方法

(1) 過去の資料収集および横断測量

改修工事前から現在までの河畔林と河道地形の変遷を把握するため、過去約 30 年間のうちの 4 カ年分の空中写真と 5 カ年分の横断測量結果を収集した。空中写真は 1974 年、1995 年、2003 年のものから河畔林のおよその樹高を判読し、撮影年ごとに河畔林の状態を植生変遷図にまとめた。横断測量結果は 1972 年、1981 年、1988 年、1995 年、2001 年のものから、最深河床高および各年代の平水位から低水路最大河床高までの比高の変化、そして横断地形の変化を年代ごとにまとめた。低水路内最大河床高とは、2001 年測量横断図で低水路の河床高が最も高くなっている地点 (KP13.8 右岸の中州) の標高とした。また、最新の横断データを得るため、調査区間内の定期横断測線 5 本 (KP13.6, KP13.8, KP14.0, KP14.2, KP14.4) について 2004 年 7 月に簡易横断測量を行った。なお、後述する水理計算では簡易横断測量の結果を用いた。

(2) 現地調査

a) 樹木調査

樹木調査は 2004 年 8 月下旬に行った。調査区間内の定期横断測線 (5 本) に沿って低水路内に幅 10m の帯状調査区を設定し、左岸の低水護岸法肩を起点として 5m ごとに調査プロットを設けた。樹高 1.5m 以上の樹木 (以下、成木と呼ぶ) と 1.5m 以下の樹木 (以下、稚樹と呼ぶ) とに分けて調査を行い、成木調査では樹種と樹木位置の記録、樹高および胸高直径の計測を行った。稚樹調査では、各調査プロット内に 4 m² の小プロットを設定し、樹種と樹木位

置の記録、樹高の測定を行った。なお、水理計算で必要となるため、各帯状調査区に分布する河畔林の平均樹高と横断方向への幅を成木調査の結果から計算によって求めた。

b) 年輪解析

調査区間内に分布する河畔林がいつ頃定着したかを推定するため、年輪解析を行った。解析の対象としたのは、調査区間の河畔林に優占するヤナギ類である。成木のうち、過去に伐採されていない個体を選び、成長錘を用いて地表 0.3m のところで幹内部の材を採取し、各個体の年輪を数えた。また、稚樹も根茎ごと採取し、地上 0.3m の年輪数に 1 を加えた数を推定樹齢とした。成木および稚樹から推定した樹齢と各個体の樹高から散布図を作成し、樹高から樹齢を推定する回帰式を得た。

c) 河床材料調査

調査区間内の表層土壌を採取し、河床材料の粒径分布を調べた。表層土壌の採取箇所は調査区間に分布する植生タイプを網羅できるように水中 5 ケ所、陸域 21 ケ所に設定した。採取した表層土壌の粒径組成を分析し、採取箇所の植生タイプと対応する調査区間内の全植生タイプに分析結果をあてはめた。なお、用いた粒径は 60% 平均粒径とした。

(3) 冠水頻度、比高、無次元掃流力

ヤナギ類は 5 月下旬から 6 月中旬にかけて種子を散布し、融雪後に現れるよく湿った裸地で発芽する。発芽後は、水位の低下による生育地盤の乾燥化や夏から秋にかけての洪水、翌年融雪期の洪水による個体数の減少が推察される。また、発芽して 1 年未満の稚樹では、これら立地環境の影響を最も受けやすいと考えられる。そこで本研究では、種子散布期 (5 月下旬～6 月下旬) の冠水頻度および水面からの比高、成長期 (6 月下旬～10 月下旬) の冠水頻度および比高、夏から秋の洪水時の最大無次元掃流力、そして翌年の融雪期 (4 月上旬～5 月下旬) の最大無次元掃流力が稚樹の発芽と定着に影響を与えていると仮定し、冠水頻度、比高、無次元掃流力を求めるため不等流計算を行った。冠水頻度は、種子散布期と成長期に稚樹が冠水する流量を調査プロットごとに計算し、各期間の全時間数に対する冠水流量以上の時間数の割合とした。比高は種子散布期と成長期に流れる最も頻度の高い流量 (最頻流量) からそれぞれ水位を計算し、調査プロットとの相対的な高さとした。無次元掃流力は、夏から秋の洪水時と翌年融雪期の最大流量をもとに計算した。

(4) 統計解析

稚樹の定着に影響を及ぼす立地環境を把握するため、因子分析を行った。因子分析とは、多変量デー

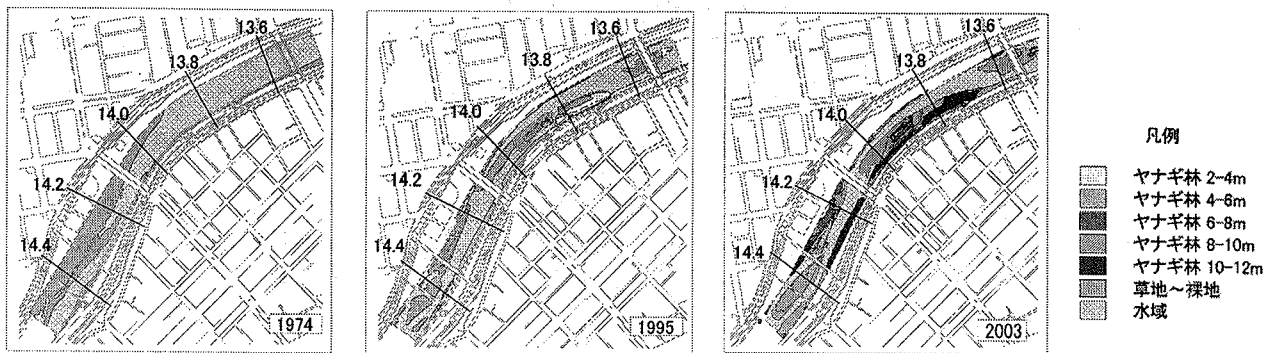


図-2 河畔林変遷図

タに潜む共通因子を探り出す手法で、分析の結果絞り込まれた少数の共通因子によって資料を説明しようとする解析法である。本研究では、調査プロットのうち稚樹が生育する中州裸地部 (KP14.0, KP14.2, KP14.4) の調査プロットが持つ立地環境(冠水頻度, 比高, 無次元掃流力, 粒径)を変数とし、調査プロット間の共通因子が何に該当するかを推定した。

4. 結果

(1) 河畔林と河床地形の変遷

過去3カ年の空中写真から判読した河畔林変遷図を図-2に示す。1974年の改修前と改修後間もない1980年には河畔林はほとんど見られず、中州の多くは河原に生育する草本類が多少見られる草地や裸地であった。しかし、1995年以降、低水護岸に沿った河畔林の樹高は高くなり、同時にKP13.8~KP14.0の右岸中州が低水護岸と連結して面積が拡大していった。2003年のKP13.8付近は中州の水際ぎりぎりまで樹高10-12mの河畔林が広がっている。さらに、年輪解析で得られた樹高と樹齢の回帰式を用いてKP13.8右岸河畔林の樹齢を推定したところ約27年であった(図-3)。推定樹齢に多少の誤差があることを考慮すると、この付近では1980年前後からヤナギ類が定着し始めたと推定できる。

次にKP13.8に着目し、最深河床高の変化および平水位から低水路内最大河床高までの比高の変化を表-2に、河床横断地形の変化を図-4に年代別にまとめた。改修前の1972年は最深河床高が12.33m, 比高マイナス0.47mと水中にあったものが、年数の経過とともに左岸側の河床低下と右岸側の河床上昇が進行した。2001年には最深河床高10.72m, 比高0.77mとなり、低水路内での複断面化によって河川全体の複々断面化の傾向が見られるようになった。

(2) 稚樹分布

稚樹調査の結果、多くの個体はKP14.0, KP14.2, KP14.4の中州裸地部に分布していた(図-1)。樹

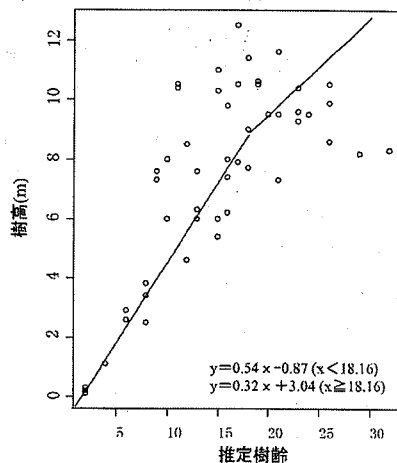


図-3 樹高と推定樹齢の関係

表-2 最深河床高と比高の時系列変化

	最深河床高(m)	比高(m)
1972年	12.57	-0.47
1981年	12.67	0.05
1988年	12.83	0.25
1995年	13.15	0.64
2001年	13.28	0.77

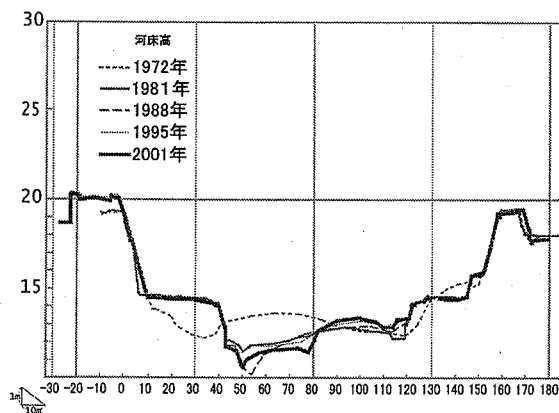


図-4 横断地形の時系列変化

高と推定樹齢の散布図から得られた回帰式(図-3)に稚樹の樹高を代入して稚樹の樹齢を求め、3測線の稚樹個体数を樹齢ごとにまとめたのが図-5で

表-3 調査プロットの立地環境

		粒径 (cm)	種子散布期 冠水頻度(%)	成長期 冠水頻度(%)	種子散布期 比高(m)	成長期 比高(m)	年最大無次元 掃流力
KP14.0	2002	3.47	11.9±29.1	1.4±1.8	0.38±0.42	0.43±0.42	0.07±0.01
	2003	3.47	19.2±33.3	0.4±0.7	0.46±0.42	0.57±0.42	0.03±0.01
	2004	3.47	22.3±34.8	0.3±0.5	0.34±0.42	0.72±0.42	0.02±0.01
KP14.2	2002	2.40±0.46	0	1.7±1.4	0.56±0.28	0.6±0.28	0.34±0.13
	2003	2.40±0.47	6.3±8.9	0.5±0.5	0.62±0.28	0.7±0.28	0.1±0.06
	2004	2.40±0.48	17.8±17.2	0.3±0.3	0.53±0.28	0.83±0.28	0.09±0.05
KP14.4	2002	3.25	0	0.5±0.4	1.18±0.41	1.23±0.41	0.13±0.08
	2003	3.25	0	0.1±0.2	1.27±0.41	1.38±0.41	0.03±0.04
	2004	3.25	4.1±7.6	0.1±0.1	1.15±0.41	1.58±0.41	0.03±0.04

ある。グラフの縦軸は稚樹個体数、横軸は各調査プロットの番号を表す。また、凡例の樹齢は1 齢が2004 年, 2 齢が2003 年, 3 齢が2002 年に定着したことを示す。このグラフより、調査区間の中州裸地部には4 齢以上の稚樹は生育しておらず、2 齢, 1 齢, 3 齢の順に個体数は少なくなっていることがわかった。KP14.2 では2 齢個体が突出して多いため全体の個体数が多くなっているが、KP14.0 とKP14.4 ではそれほど多くなかった。また、KP14.0 では1 齢個体が他の樹齢に比べて個体数が多く、KP14.4 では3 齢個体が優占していた。そこで、稚樹を樹齢ごとにy1 グループ(1 齢), y2 グループ(2 齢), y3 グループ(3 齢)に分け、グループごとに稚樹個体密度と立地環境との関係について因子分析による解析を行った。立地環境として用いた変数は、粒径、各グループの稚樹が発芽した年の種子散布期冠水頻度および比高、成長期冠水頻度および比高、年最大無次元掃流力、そして翌年の融雪期最大無次元掃流力である。

(3) 稚樹個体数と立地環境の関係

KP14.0, KP14.2, KP14.4 の立地環境として、冠水頻度(種子散布期, 成長期), 比高(種子散布期, 成長期), 年最大無次元掃流力を表-3 に示す。数値は平均値と標準偏差である。また、各樹齢グループで行った因子分析の結果から、因子負荷量と寄与率をグループごとにまとめた(表-4)。

各グループの累積寄与率は、因子1 と因子2 で70%を超えるため、因子1 と因子2 から立地環境を説明することとした。まず、各グループで因子1 の因子負荷量は冠水頻度(種子散布期・成長期)が正の値で、比高(種子散布期・成長期)が負の値で高くなっているため、因子1 は生育地盤の乾湿を表し、正の方向ほど比高が低く湿り、負の方向ほど比高が高く乾燥していると読み取れる。因子2 の因子負荷量は無次元掃流力(年最大・融雪期)の値が高くなっているため、増水時に生育地盤が動くかどうかを表すと読み取れる。y1 およびy3 グループでは正の

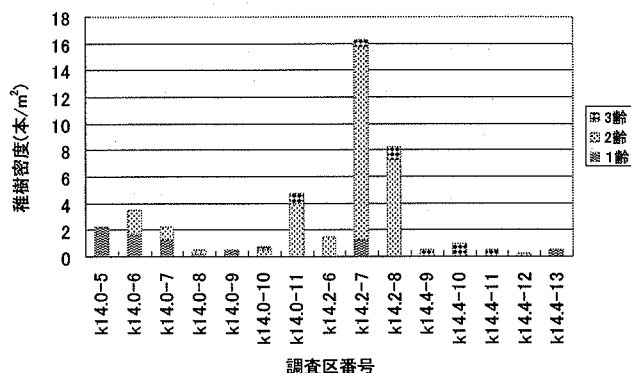


図-5 稚樹の推定齢分布

方向に行くほど動きにくく、反対にy2 グループでは動きやすくなる。また、因子分析で得られた因子得点から調査プロットと立地環境の関係を図-6~8 に示した。

a) y1 グループ

図-6 より、1 齢個体がやや多く分布している KP14.0 の3つの調査プロットが因子1 の正の方向に、1 齢個体が生育していない調査プロットは負の方向に配置された。つまり、1 齢個体の多くは種子散布期と成長期に比高が低いために冠水頻度が高く、湿った状態が保たれている場所に生育していると判断された。

b) y2 グループ

2 齢個体が多かった KP14.2 の2つの調査プロット(図-5, 図-7 の●)は種子散布期と成長期に地盤が適度な水分条件に保たれ、KP14.2-8 では増水時に流れの力が強く働いていると読み取れた。また、2 齢個体が生育していない KP14.4 は比高が高く種子散布期や成長期に冠水しにくい場所であると読み取れた。また、粒径と個体数との相関係数は-0.82 で、粒径が細かいほど個体数が増える傾向が見られた。

c) y3 グループ

図-8 より、生育する稚樹のほとんどが3 齢個体の KP14.4 は、種子散布期と成長期に生育地盤の比高が高く乾燥し、増水時には地盤が動きにくい立地環境であるといえる(図-8 の●)。

表-4 各樹齢グループの因子負荷量

	y1		y2		y3	
	因子1	因子2	因子1	因子2	因子1	因子2
個体密度(本/m ²)	0.88	0.1	0.02	0.31	-0.15	-0.28
粒径(cm)	0.22	0.92	0.29	-0.57	0.26	0.86
種子散布期冠水頻度	0.95	-0.12	0.96	0.02	0.96	0.15
成長期冠水頻度	0.86	0.21	0.91	-0.06	0.98	0.09
年最大無次元掃流力	0.26	-0.92	0.23	0.94	0.01	-0.98
融雪期最大無次元掃流力	-	-	0.1	0.95	0.15	-0.96
種子散布期比高	-0.97	0.05	-0.94	-0.21	-0.82	0.19
成長期比高	-0.96	0.09	-0.94	-0.22	-0.82	0.19
寄与率(%)	62.1	28.7	48.3	39	47.7	35.5

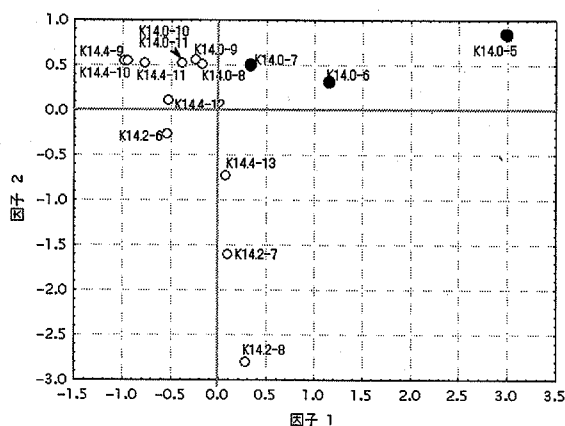


図-6 調査プロットの配置 (y1 グループ)

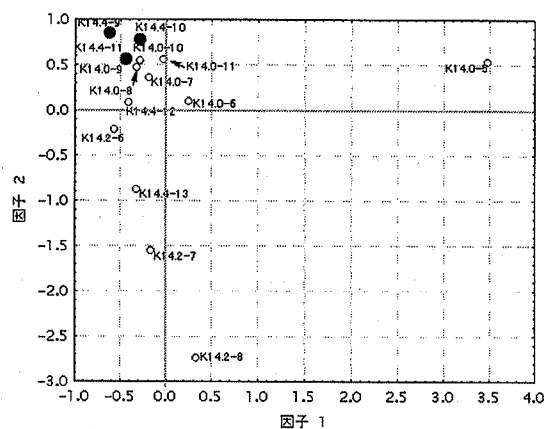


図-8 調査プロットの配置 (y3 グループ)

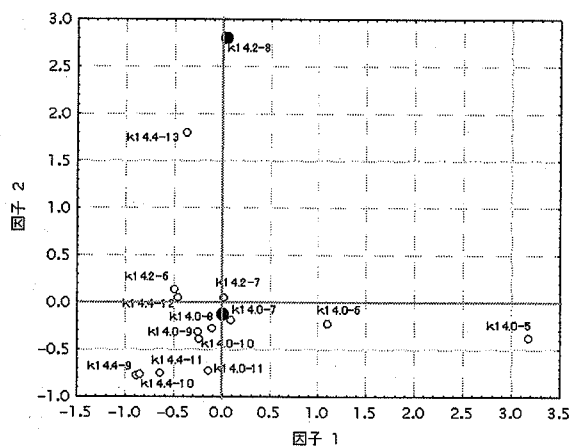


図-7 調査プロットの配置 (y2 グループ)

5. 考察

年輪解析の結果、調査区間で最も樹林化の進んでいる KP13.8 付近は 1980 年前後にヤナギ類が定着し始めたと推定された。横断地形の経年変化を見ると、1980 年頃は深掘れしていく箇所と土砂の堆積によって地盤が高くなっていく箇所の 2 極化はまだ進行していないが、比高は若干高くなっている(図-4)。年輪解析結果と併せると、比高の増加により、ヤナ

ギ類の稚樹が定着して成長していくのに最適な水理条件がこの頃には整っていたと考えられる。

中州裸地部に分布する稚樹を対象とした因子分析の結果、稚樹の個体数が多い調査プロットは種子散布期と成長期の乾湿、つまり冠水頻度に影響を受けていることがわかった。一方、因子 2 には流れの力を表す無次元掃流力が含まれるため、夏から秋または融雪期の洪水時に流れの力によって生育基盤が動くことで稚樹が流失することもあると考えられる。しかし本研究では洪水前後の個体数調査を行っていないため、実際に稚樹がどの程度の流れの力で流されるかは判断できない。そこで、ヤナギ類の稚樹が定着する時の水理条件として種子散布期と成長期の冠水頻度について考察を行った。

調査プロットの中で個体数が最も多かったのは 2 齢個体で、KP14.2 に集中していた。一方、全体的には個体数の少なかった 1 齢と 3 齢はそれぞれ KP14.0 と KP14.4 で優占していた(図-5)。2 齢個体が定着した 2003 年の種子散布期冠水頻度の平均値は、KP14.2 が 6.3% なのに対し、KP14.0 と KP14.4 はそれぞれ 19.2% と 0% である(表-3)。同様に成長期冠水頻度は、KP14.2 が 0.5%、KP14.0 が 0.4%、

KP14.4 は 0.1% であった。成長期冠水頻度は測線間に大きな違いはないが、種子散布期冠水頻度は KP14.2 と KP14.0 の間には約 3 倍の開きがあり、KP14.4 は冠水していなかったことになる。つまり、冠水頻度が高くもなく低すぎてもいない、適度な湿り具合となる冠水はヤナギ類の稚樹の定着を促すものと考えられる。河畔に生育するヤナギ類はもともと耐水性が高く、発芽した稚樹の耐水実験では 2 ヶ月間の生存が確認されている⁸⁾。しかし、種子散布期に常に冠水している場所、または逆に乾燥している場所では種子が発芽することは難しい。ヤナギ類の種子の寿命は約 45 日で、このうち散布されて 2 週間程度は高い発芽率を持っている⁹⁾。また、発芽した稚樹の生残や分布には生育地盤の粒径組成が関係しており、粒径が小さくなるほど定着しやすい。KP14.2 の粒径は他の調査プロットに比べて細かく(表-3)、種子が定着しやすい地盤と考えられる。そして 2003 年種子散布期の水理条件は、発芽率の高い 2 週間程度の期間に適切な水分環境を提供していたと推測される。次に、3 齢個体が定着した 2002 年の種子散布期冠水頻度を見ると、いずれの測線でも値は低くなっていた(表-3)。一方、成長期冠水頻度は 2002 年より 3~5 倍の値になっていた。全体的に 3 齢個体数はそれほど多くないことから、種子散布期に水分条件のあまりよくない場所で発芽した個体も、成長期に若干の冠水がおこったことで、かろうじて生存できたのではないかと推察される。ゆえに、2002 年と 2003 年の水理条件から、稚樹の定着は種子散布期と成長期の冠水頻度を調節することで抑制できると考えられる。

そこで、河川水理による稚樹定着の抑制を目的に種子散布期に着目して以下のような流量調節を検討した。ヤナギ類の種子が発芽しやすい粒径組成を持つのは KP14.2 であった。KP14.2 の冠水流量は雁来観測所の流量に換算すると $68.83 \sim 109.65 \text{ m}^3/\text{s}$ である。この流量を種子散布期(5 月下旬~6 月中旬)に常に流れるように調節すれば、散布された種子は裸地面に着地できないため発芽を抑制できると考えられる。反対に、種子散布期より早い時期に冠水流量以下の流量になるように調節し、稚樹の定着しやすい裸地面を乾燥させることも抑制につながると思われる。2002 年と 2003 年の流量データから KP14.2 が冠水流量以下になった日は、2002 年は 5 月 11 日、2003 年は 5 月 24 日であった。稚樹個体数は、2002 年のほうが少ないので種子散布期前に冠水流量以下になるように調節する場合、5 月 10 日前後を目安と考えてよいだろう。なお、この時期より早いうちに冠水流量以下になれば乾燥する面積が広がるため、より稚樹の定着は困難になると考えられる。

6. 結論

樹木の年輪解析と過去約 30 年間の既存横断データから、豊平川の河畔林は 1980 年前後から定着し始めたことがわかった。また、現況地形における稚樹個体数と河川水理条件について因子分析を行ったところ、稚樹の定着を促進したのは種子散布期と成長期の冠水頻度によるものと考えられた。そこで河川水理による稚樹の定着を抑制する流量管理について、次の方法を明らかにした。①現地で稚樹が多く定着している場所の粒径と標高を調べる。②粒径の細かい場所の冠水流量を計算によって求め、近くの水位観測所データに換算し、基準となる流量を決める。③ヤナギ類の種子は常に冠水している場所、反対に乾燥している場所では発芽が困難なので、得られた基準流量を種子散布期に常に流すようにするか、種子散布期前に基準流量以下になるように調節して稚樹が発芽できない状態にする。なお、本研究では無次元掃流力と稚樹個体数の関係は明確にはわからなかったため、今後は流れの力による定着抑制についての検討が課題である。

謝辞：本研究は北海道開発局の受託業務による補助を受けて行った。石狩川開発建設部よりデータの提供を、(株)野生生物総合研究所の志田祐一郎氏には現地調査でご協力いただいた。また、(独)北海道開発土木研究所の渡邊康玄氏には水理計算に関するご指導をいただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 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, pp41-60, 2003.
- 2) 荒木健太郎、鎌田磨人、湯城豊勝、岡部健士：那賀川中・下流域における樹木群落の分布と立地特性、環境システム研究論文集、vol.28, pp247-254, 2000.
- 3) 小寺郁子、岡部健士、鎌田磨人：河川砂州上に分布する植物群落の立地条件としての物理環境因子、環境システム研究、vol.26, 1998.
- 4) (財)河川環境管理財団：河道変遷特性に関する研究—適切な河川環境管理をめざして—、河川整備基金事業、pp87-105, 1999.
- 5) 新山馨：ヤナギ科植物の生活史特性と河川環境、日本生態学会誌 45, pp301-306, 1995.
- 6) (財)河川環境管理財団：礫床河川の河道内樹林化、自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究、河川整備基金事業、pp103-129, 2002.
- 7) (財)北海道河川防災研究センター：北海道治水叢書二、pp105-148, 2004.
- 8) 長坂有：河畔に生えるヤナギ類、光珠内季報、No.101, pp12-17, 1996.
- 9) 崎尾均、山本福壽：水辺林の生態学、東京大学出版会、pp82-83, 2002.

(2005. 4. 7 受付)