

河川物理環境による河道内樹木の定着について

Tree rooting according to flow regime in river channels

(株)北海道技術コンサルタント ○正 員 伊木千絵美 (Chiemi Iki)
 (独)北海道開発土木研究所 正 員 矢部浩規 (Hiroki Yabe)
 (独)北海道開発土木研究所 正 員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. まえがき

近年、多くの河川で河道内の樹林化面積拡大に関する報告がなされている。河川水理と河道内樹木の生理特性は密接に関係しており、河道内樹木の分布と無次元掃流力や比高との関係について研究が行われている¹⁾。また、河道内樹木のなかでヤナギ類は、河川の水位変動に伴って稚樹が定着・流失することが知られている。稚樹の定着・流失を河川物理環境で指標化できれば河道内樹木の管理において有効な手法になると考えられる。そこで本研究では、河道内の樹林化は裸地部における稚樹の定着が一つの要因であると仮定し、指標化作成の第一段階として河川物理環境のうち無次元掃流力と稚樹定着の関係について考察を行った。

2. ヤナギ類の生態的特徴

北海道の河川に生育する樹木は主にヤナギ類である。ヤナギ類の種子は樹木種子の中でも、最大のもので約0.3mg、最小のもので0.05mgとかなり小さい²⁾。種子には綿毛がついており、5月下旬から6月中旬にかけて風によって散布される。この時期は融雪出水期が終わって水位が低下する時期にあたり、出水によって新たに出現した裸地に落下するとただちに発芽する。発芽して2～3年のうちは根系が未発達なため、夏から秋にかけて台風による洪水で流失して定着できない個体も見られる。このように、発芽して間もない稚樹（実生と^{みしょう}呼ばれる）の生存は水位変動や水の流れる力に左右される。従って、ヤナギ類の稚樹の分布は、河道内物理環境のうち河川水理に大きく依存していると考えられている。

3. 調査河川および方法

3.1 調査河川

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ている。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。

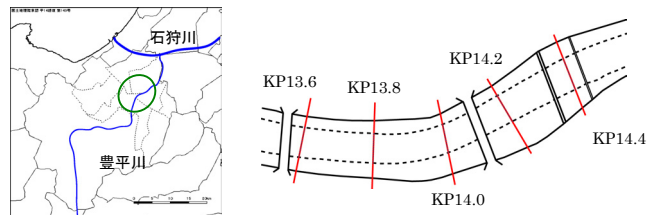


図-1. 調査河川および調査区間

3.2 調査方法

(1) 樹木調査

樹木調査は2004年8月下旬に行った。調査区間内の低水路で定期横断測線（5本）に沿った幅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ごとに調査区を設けた。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った。成木の調査では樹高および胸高直径の計測、対象樹木の位置の記録を行った。また、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した。

稚樹の調査では樹高の計測、位置の記録を行い、芽鱗痕（がりんこん；冬芽を包んでいた芽鱗の落ちた痕）の数も数えた。芽鱗痕より下部の枝は前年に伸びた枝であるため、芽鱗痕の数を数えればその個体の樹齢が推定できる。よって、芽鱗痕の数から樹齢を推定し、推定齢として記録した。また、踏査によって調査区間内に分布している稚樹のうち高密度生育域を平面図に記録した。

(2) 横断測量

調査区間の各測線において簡易横断測量を行い、現況横断図を作成した。また、各測線において低水路に設けた5mごとの調査区では、各調査区の左岸側を端点とした測点を設定し、各測点の河床高を横断図から求めた。

(3) 水理計算

横断測量と樹木調査の結果から不等流計算を行い、各測線における水位を計算で求めた。粗度係数は0.035を用いた²⁾。また、各横断測線で設定した調査区ごとに無次元掃流力 τ_* と無次元限界掃流力 τ_{*c} を計算し、河床の礫が動くか動かないかの指標となる τ_*/τ_{*c} を求めた。

4. 結果

4.1 樹木調査

(1) 調査区間全体の概要

調査区間において優占した成木はエゾノカワヤナギ、オノエヤナギ、イヌコリヤナギといったヤナギ類で、各帯状調査区における平均樹高は 2.93～4.4m であった。稚樹で優占した樹種はエゾノカワヤナギ、オノエヤナギ、エゾヤナギで成木と同様にヤナギ類がであった。各測線での稚樹の推定齢分布では 2 齢の個体数が最も多く、次いで 1 齢個体と 3 齢個体が分布していた (図-2)。

(2) 稚樹の分布

調査区間内の稚樹の高密度生育域を図-3 に示す。稚樹が高密度で分布しているのは KP14.0、KP14.2、KP14.4 の裸地部であった。KP14.2 と KP14.4 では中州の水際に沿いに、KP14.0 では増水時に滞筋となる部分にも分布していた。そこで、KP14.0、KP14.2、KP14.4 の稚樹分布を図-4-1～図-4-3 にまとめた。各図とも左図は稚樹が確認された調査区における推定齢分布、右図は各測線の横断面図を示す。推定齢分布図では縦軸は稚樹の個体数、横軸は調査区の番号を、横断面図の中の数字は各調査区の番号を示す。

稚樹の推定齢分布図 (図-4) において KP14.0 と KP14.4 は稚樹の個体数に調査区による偏りが見られた。KP14.0

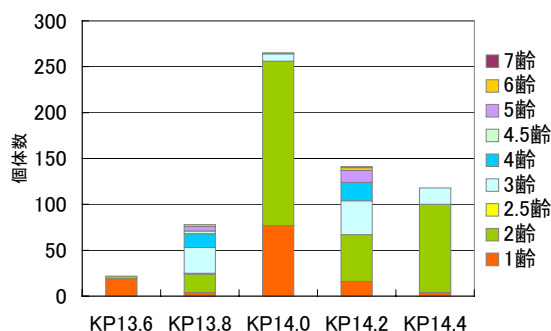


図-2. 調査区間における稚樹の推定齢分布

では水際付近となる調査区 5 や調査区 6 で 1 齢個体が優占していた。また、増水時の滞筋付近の調査区 12 で稚樹個体数が最も多く、2 齢個体が優占していた。KP14.4 では 1～3 齢の個体が確認され、水際の調査区 6 で稚樹が最も多く生育していた。調査区 6 は成木であっても樹高が低く (平均樹高 2.19m)、比較的若いエゾノカワヤナギが定着している場所である。その他の調査区では 1～3 齢個体が生育していたが、個体数は少なかった。KP14.2 では水際付近の調査区 7 と調査区 8 で稚樹が多く生育し、2～3 齢個体が優占していた。また、河畔林の林床にあたる調査区 4 では 4 齢以上の比較的年数を経た個体が生育していた。



図-3. 稚樹の分布図 (高密度生育域)

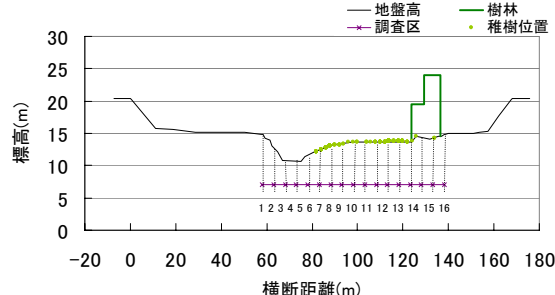
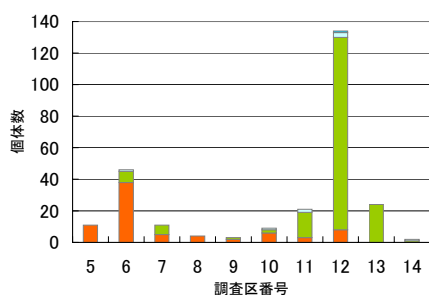


図-4-1. 稚樹の推定齢分布と横断面図 (KP14.0)

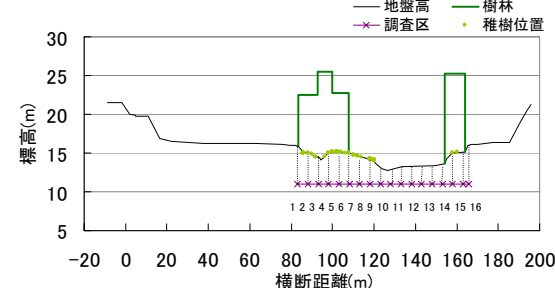
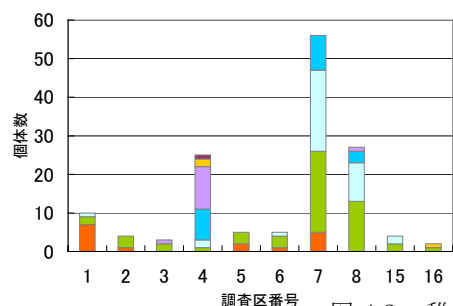


図-4-2. 稚樹の推定齢分布と横断面図 (KP14.2)

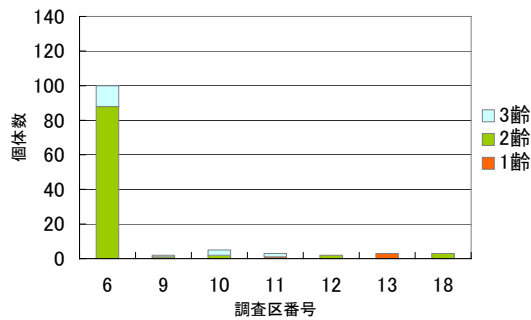
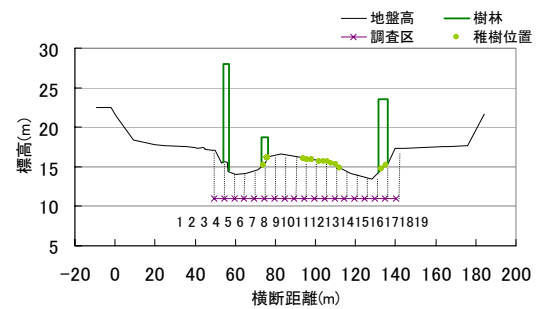


図-4-3. 稚樹の推定齢分布と横断図 (KP14.4)



4.2 掃流力による河床礫の移動と稚樹分布

稚樹分布の調査結果から、現在定着している稚樹（1齢を除く）は、1～3 齢の個体が多く、2004 年融雪出水期の最大流量でも流失しなかったことが読み取れた。そこで、3 齢個体が定着し始めた 2001 年から 2003 年までの流量変動を図 5 にまとめた。2001 年 9 月 11 日に年最大流量 $749.07 \text{ m}^3/\text{s}$ が、2002 年 10 月 2 日に年最大流量 $472.86 \text{ m}^3/\text{s}$ が観測された。一方で、2003 年は 2001 年や 2002 年のような規模の大きな増水はなく、最大でも $169.79 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。

各測線の河床の礫が動いたか動かなかったかを確認するため無次元掃流力 τ_* と無次元限界掃流力 τ_{*c} の計算を行った。無次元掃流力 τ_* と無次元限界掃流力 τ_{*c} は以下の式によって求めた。

無次元掃流力

$$\tau_* = \frac{u_*^2}{sgd} = \frac{Rle}{sd}$$

s : 砂粒の水中比重

g : 重力加速度 (980 cm/s^2)

d : 礫の粒径

u_* : 摩擦速度

無次元限界掃流力

$$\tau_{*c} = \frac{u_{*c}^2}{sgd}$$

岩垣の式より、 $d \geq 0.303 \text{ cm}$ のとき

$$u_{*c}^2 = 80.9d$$

対象とした流量は、 $200.54 \text{ m}^3/\text{s}$ (2004 年 5 月 4 日)、 $472.86 \text{ m}^3/\text{s}$ (2002 年 10 月 2 日)、 $749.07 \text{ m}^3/\text{s}$ (2001 年 9 月 11 日) とした。これら 3 つの流量を用いたのは次の理由による。現在生育している稚樹は 1 齢個体を除いて 2004 年融雪出水期、2002 年最大流量、2001 年最大流量でも流失しなかった個体であると考えられる。ゆえに、この 3 つの流量での無次元掃流力は稚樹が流失しないで生き残ることのできる数値と考えられるためである。なお、2004 年の流量は調査区間下流の雁来水文観測

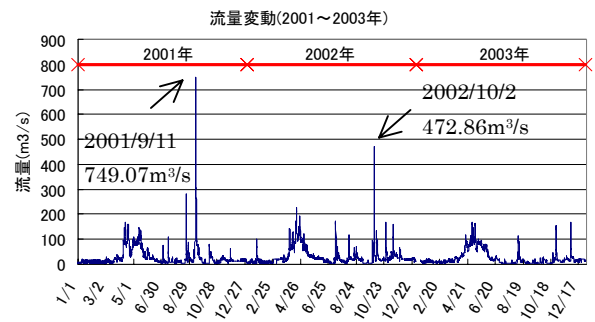


図-5. 2001 年から 2003 年の流量変動 (雁来水位観測所)

表-1. 3 つの流量における河床礫の移動

KP	調査区	τ_{*c}	2004年5月 Q=200.54m³/s		2002年10月 Q=472.86m³/s		2001年9月 Q=749.07m³/s	
			τ_*	τ_*/τ_{*c}	τ_*	τ_*/τ_{*c}	τ_*	τ_*/τ_{*c}
14.0	5	0.05	0.068	1.358	0.061	1.226	0.078	1.549
	6		0.074	1.485	0.065	1.304	0.082	1.633
	7		0.068	1.366	0.058	1.158	0.072	1.438
	8		0.071	1.429	0.059	1.188	0.074	1.468
	9		0.074	1.484	0.061	1.212	0.075	1.493
	10		0.074	1.487	0.061	1.213	0.075	1.494
	11		0.075	1.490	0.061	1.215	0.075	1.496
	12		0.075	1.493	0.061	1.216	0.075	1.497
	13		0.075	1.496	0.061	1.217	0.075	1.498
	14.2		0.107	2.140	0.119	2.384	0.113	2.251
	7		0.096	1.920	0.113	2.265	0.108	2.164
	8		0.090	1.793	0.109	2.183	0.105	2.103
	14.4		0	0	0	0	0	0
14.4	9	0.05	0.208	4.16	0.176	3.521	0.207	4.130
	10		0.201	4.014	0.174	3.483	0.205	4.098
	11		0.175	3.502	0.166	3.312	0.198	3.949
	12		0.157	3.144	0.158	3.154	0.190	3.805
	13		0.144	2.869	0.150	3.005	0.183	3.662

所における水位データを 2003 年の H-Q 式にあてはめて求めた流量とした。

表-1 より、計算の対象とした 3 つの流量全てで τ_*/τ_{*c} は 1 より大きな値となった。つまり、これらの流量では河床の礫は動いていたと判断できる。次に各測線の無次元掃流力を見てみると、全体では 0.058～0.208 の幅を持ち、KP14.0 < KP14.2 < KP14.4 の順に値が大きくなっていった。

5. 掃流力と稚樹の定着

KP14.0～14.4 の裸地部は、3 つの流量全てにおいて $\tau_*/\tau_{*c} > 1$ となることから河床の礫は移動すると言えた。ヤナギ類の稚樹は発芽して 2～3 年以内では根茎が貧弱なため立地表面の砂礫の移動があれば簡単に流失するとされている¹⁾。しかし、KP14.0～14.4 では礫の移動が起こっているにもかかわらず水位の低下後も生存している稚樹が存在していた。すなわち、調査区間の裸地部に生育する稚樹のうち 2 齢以上のものは、少なくとも $Q=200\text{ m}^3/\text{s}$ 規模では流失しない個体が多いと推測できる。

そこで、次に無次元掃流力について検討した。KP14.0 と KP14.4 の無次元掃流力を比べると、KP14.0 は 0.058～0.082 なのに対し、KP14.4 は 0.144～0.208 と KP14.4 でどの流量でも値が大きくなった。図 4-3 から KP14.4 では調査区 6 を除いて稚樹の個体数はかなり少なかったことから、無次元掃流力が 0.144～0.208 の時に稚樹の定着が妨げられていると読み取れる。一方、KP14.0 の調査区 12 では 2 齢個体が多く生育していたが(図 4-1)、無次元掃流力は他の調査区と同程度であった。調査区 12 については無次元掃流力とは別の要因が影響しているかもしれないため、なぜ稚樹個体数が極端に多くなっているのかは現段階では不明である。

今回の計算結果では、無次元掃流力は KP14.4 で最も高く、KP14.2、KP14.0 の順に低くなっていった(表 1)。しかし、無次元掃流力が低くなるとともに稚樹の個体数が増えるというわけではなかった。これは稚樹の定着が無次元掃流力に左右される場合と、無次元掃流力以外の物理環境に影響を受ける場合とがあることを示唆するものと思われる。

岡部(1999)は吉野川におけるヤナギ群落の定着と年最大無次元掃流力との関係において、年最大無次元掃流力が 0.05～0.075 でその表面での砂礫が年間一回程度は軽微に移動するような領域でのみヤナギ群落は定着・存続し、0.075 より大きな無次元掃流力ではヤナギ群落の定着はおこりにくいということを示している。本研究では KP14.4 のように無次元掃流力が 0.144～0.208 の場合に稚樹の生存が制限されているという結果が示された(表 1)。また、KP14.0 のように無次元掃流力が 0.068～0.074($200.54\text{ m}^3/\text{s}$)と低めであるが、定着している個体数が少ないことも示された。従って、調査区間においては無次元掃流力が 0.068 より大きくなると稚樹の定着は制限されると考えられる。しかし、KP14.2 のように無次元掃流力が 0.090～0.113 の場所でも稚樹の生存が可能であったことも示された。これは、KP14.2 では無次元掃流力が比較的大きくなるものの、KP14.0 に比べて水面からの比高が高く、ヤナギ類の成長期(6 月下旬か

ら 10 月にかけて)の冠水頻度が低くなるためではないかと思われる。今回の水理計算では、一時的に水位が高くなる増水時の流量を用いているが、約 3 ヶ月間のヤナギ類の成長期に水位の高い状態が続いたり、水位の高くなる回数が増えれば流失・枯死する個体も出てくるのではないだろうか。

河道内樹木の定着を河川水理によって抑制するには、無次元掃流力以外の水理現象にも着目する必要がある。例えば、増水時に水深が浅い場所は平水時には水面からの比高が高くなる。反対に、増水時に水深が深い場所は平水時でも水面が近いということである。さらに、水面が近いと多少の増水でも稚樹が冠水する頻度は高くなる。水面近くの場所に推定齢の低い個体が多いのは、水位変動による攪乱を受けやすいために成長を継続させることが難しいためではないだろうか。今回は河道内樹木の定着を抑制する指標づくりのために無次元掃流力について解析を行ったが、今後は冠水頻度や平水時の水面からの比高を考慮した解析も行っていく予定である。

6. あとがき

1. 河川物理環境と河道内樹木の定着について、中州裸地部に分布する稚樹に着目して解析を行った。
2. 稚樹の推定齢から定着年を判断し、稚樹の定着後に記録された最大流量と 2004 年融雪出水期の最大流量を用いて無次元掃流力を計算した。
3. KP14.0($\tau_*=0.144\sim0.208$)、KP14.4($\tau_*=0.068\sim0.074$)では稚樹の定着が無次元掃流力の強さによって制限されていると考えられたが、KP14.2($\tau_*=0.090\sim0.113$)では冠水頻度や水面からの比高といった別の水理条件に影響を受けている可能性があった。

謝辞：本研究を行うにあたり、北海道開発局石狩川開発建設部計画課河川調査係より資料を提供いただいた。また、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ものである。併せて記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (財)河川環境管理財団、岡部健士：河川整備基金事業、河道変遷特性に関する研究 一適切な河川環境管理をめざして一、pp87-105、1999。
- 2) 長坂有：河畔に生えるヤナギ類、光珠内季報、No.101、pp12-17、1996。
- 3) 北海道開発局石狩川開発建設部：平成 15 年度石狩川水系河川整備計画検討業務(4/9)報告書、石狩川水系河川整備計画(素案)検討編、基本方針河道の検討編、2004。