

# 豊平川河畔林調査と樹木粗度に関する研究

Investigation of vegetation in the river Toyohira and study on evaluation of roughness of riverside trees

北海道大学大学院 ○学生員 五味慎輔 (Shinsuke Gomi)  
北海道大学大学院 フェロー 黒木幹男 (Mikio Kuroki)

## 1. はじめに

近年では景観、生態、親水などの環境的観点から、さらには河道の粗度を上げ出水時の流速を軽減するといった水理学的観点から、河道内に支障のない範囲で樹木を残そうという方向に動いている。

樹木は年々生長を続けて樹形が変化し、場所によっては季節的にも繁茂形態が大きく変化する。このような樹木形態の変化に伴い、洪水の流下形態が変化するなど河川管理施設などに支障をもたらすような場合も発生する。そのため、河道内の樹木の繁茂範囲や形態と洪水流下形態を継続的に観測、調査し把握することが必要である。

本研究では、雪堆積場として利用されている札幌市豊平川における河畔林を平成12年から15年にわたり調査し、経年変化を調べるとともに河畔林の粗度を評価することを目的としている。

## 2. 豊平川河畔林の調査

豊平川の高水敷は札幌市の雪堆積場として利用されている。今回の調査の目的は平成12年度から15年度にわたっての河畔林(主にヤナギ)の破壊、再生状況の経年変化を調べるというものである。測定箇所は、以下の図-1に示す5地点である。いずれも左岸もしくは右岸を雪堆積場として利用されている。測定内容は1m<sup>2</sup>あたりの幹、枝の本数(以下樹密)、樹形、樹高である。測定結果は以下の表-1にまとめる。ここで表中の網かけ部分が雪堆積場として利用されていた地点で、その他が対岸である。



図-1 豊平川地図

表-1

年・場所	樹密本/m <sup>2</sup>	樹高(m)	樹径(cm)	樹密本/m <sup>2</sup>	樹高(m)	樹径(cm)
H12 10	雁来	0.89	9.7	11.7	4	4.14
	環状	1.56	7.5	9.87	3.56	2.9
	南19	0.89	7	10.8	2.78	3.2
	南22	1	7.5	9.55	2.44	2
	ミヨハシ	2.22	6.3	7.01	3.33	2.5
H13 6	雁来	1.05	9.5	14.33	2.89	3.8
	環状	1.56	8.2	12.05	3.33	1.93
	南19	0.89	8.8	9.15	2.11	2.8
	南22	1.67	7.7	9.75	2.11	2.23
	ミヨハシ	1.67	8.3	8.28	2.67	2.27
H13 10	雁来	0.89	9.9	14.5	3	4
	環状	1.44	8	12.1	3.56	2.63
	南19	0.89	9.5	10.8	2.22	3.4
	南22	1.67	7.8	10.5	2.11	2.1
	ミヨハシ	1.56	8.7	9.55	2.78	2.6
H14 6	雁来	1.05	9.1	14.08	4	3.05
	環状	1.67	8.2	10.55	4.22	1.8
	南19	1.22	8.5	8.6	2.44	2.5
	南22	2.33	7.7	7.42	2.37	2.4
	ミヨハシ	2.67	8.3	7.08	3.11	2.27
H14 10	雁来	1.05	9.3	14.1	4.44	3.73
	環状	1.67	8.8	10.91	4.44	2.5
	南19	1.11	8.75	10.2	2.78	3
	南22	2.33	7.9	8.7	2.78	2.67
	ミヨハシ	1.78	8.3	8.56	2.67	2.43
H15 6	雁来	1	9.8	13.55	3.69	2.9
	環状	1.78	7.8	9.77	4.33	2.1
	南19	3.22	6.8	3.97	3.56	3.2
	南22	3.33	6.2	3.82	2.78	2.4
	ミヨハシ	2.67	7.4	6.27	3.22	2.6
H15 10	雁来	1.22	10.5	13.54	4.56	4.1
	環状	2	8.2	9.71	4.44	3.1
	南19	3.33	6.1	4.18	3.67	3.8
	南22	3.56	6.5	4.47	3.11	3.2
	ミヨハシ	2.78	7.4	6.77	3.22	3.1

### ・本数

樹木のある場所を3m×3mの範囲でスタッフで囲み目線の高さにある、幹周3cm以上の幹および枝の本数を数えて面積で割ったものである。

### ・樹径

その河畔林を代表する平均的な樹木を選んで幹周をメジャーで測り、そこから求めた。

表-1よりまず、雪堆積場の方がその他の地点より樹密以外のパラメータにおいて小さい値を示すことがわかる。これは、雪や作業機械により押しつぶされたためであると考えられる。

樹密に関しては、幹の本数は対岸とあまり変わらないが雪堆積場のほうが地面に近い位置で枝別れしている若い木が多かったためだと考えられる。

ここで経年変化をグラフで表す。図-2、図-3、図-4は横軸に年度を、縦軸に各種、各場所での平均パラメータをとってプロットし、雪堆積場と対岸とを比較したものである。

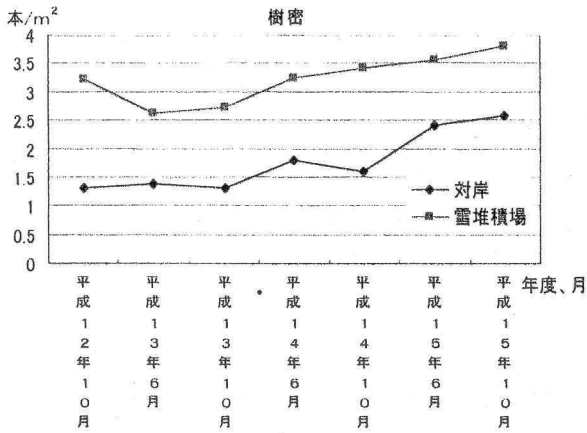


図-2 樹密一年度

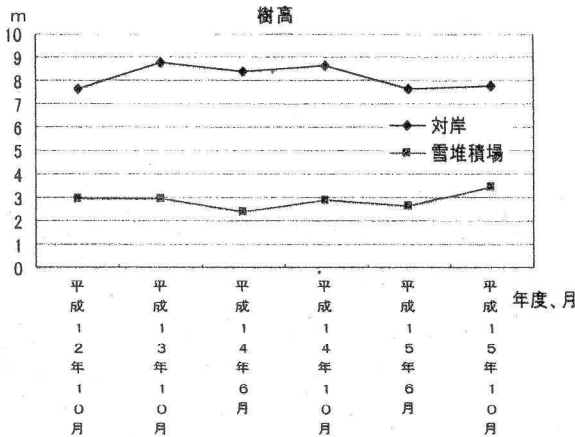


図-3 樹高一年度

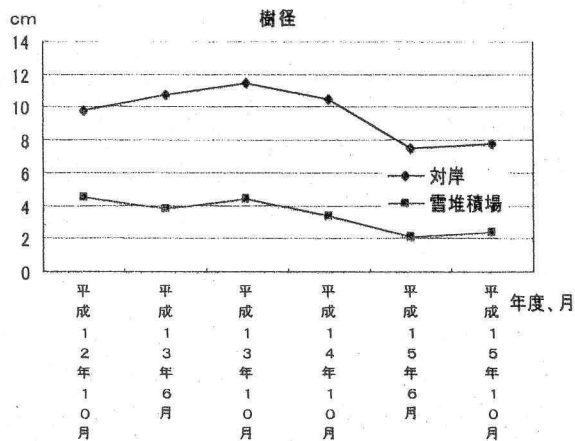


図-4 樹径一年度

ここでまず樹密に着目すると、対岸も雪堆積場も一時減少している時もあるが、年々増加傾向にある。雪堆積場に関しては主に太い木が破壊され、そこから枝が何本も生えてくるためだと考えられる。

また対岸では本研究以外で人工的に切られており、そこから新しい枝が生え始めるため測定値があがったのではないかと考えられる。

次に樹高に着目する。全体で見ると対岸も雪堆積場もあまり変化はないように思われる。ここで生長の早いヤナギ、特に若いヤナギが多い雪堆積場で樹高が変わらない理由は、表-1からもわかる通り同じ年内では雪や作業機械に

押しつぶされることがないため普通にヤナギは生長し実際樹高は増加している。しかし冬から春を迎える時つまり10月から翌年6月にかけては雪や作業機械によりヤナギが押しつぶされたり折れてしまったりする。そうして折れたところからまた新しく枝が生え始めるため樹高も減少しているのではないかと考えられる。これは5地点全て共通の結果だった。そういったサイクルを繰り返すため樹高は変わらないのではないかと考えられる。

最後に樹径に着目すると、雪堆積場では同じ年内では生長して太くなるが、冬を経て春になると雪や作業機械に破壊されてしまうため、そこからまた新しい枝が生え始めまた新しく育ち始めるのでいったん細くなってしまふ。つまり樹高と同じ傾向にある。また太い木の方が大きな力がかかった時には折れやすいのではないかと考えられる。

一方対岸では普通は順調に生長していくと考えられる。しかし本研究以外で人工的に切られているため、生長した木はなくなり、そこから新しい枝が生え始めるため平均値が下がっていると考えられる。上記の2つの特徴を写真-1、2に示す。なお幹周3cm以下の幹および枝は数えていない。

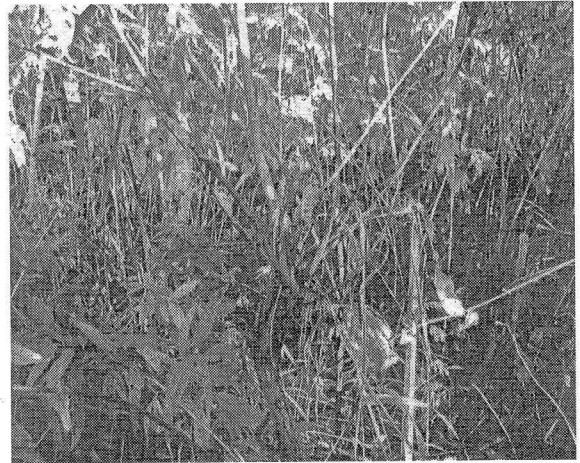


写真-1 雪堆積場での折れた木



写真-2 対岸での切られた木

3. 樹木群を有する複断面河道の流速分布と粗度の評価

本研究で用いている流速分布の算出方法は、流下方向に一樣な流れを考え、横断方向にだけ変化するとする。また横断方向の平均流速はゼロとする。一次元の浅水流理論を用いると流れは次式で与えられる。

$$\rho g H I - \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right)^2} \tau_b + \frac{\partial}{\partial y} H \bar{\tau}_{yx} = 0 \dots (1)$$

(1)式の左辺第一項は流体の質量力、第二項は底面せん断力、第三項は境界のせん断力を表している。(1)式をダルシーワイズバッハの抵抗係数  $f$  や横方向の拡散を考慮して表現したものが(2)式である。

$$g H I - \frac{f}{2} u^2 \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right)^2} + \lambda \sqrt{\frac{f}{2}} H^2 \frac{\partial^2 u^2}{\partial y^2} = 0 \dots (2)$$

$$\bar{\tau}_{yx} = \rho \varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} : \text{側部の平均せん断力}$$

$$\varepsilon = \lambda \sqrt{\frac{f}{2}} H u : \text{横断方向の拡散係数}$$

$\eta$  : 局所河床高  $H$  : 水深  $\tau_b$  : 河床せん断力  
 $y$  : 横断方向の距離  $u$  : 局所平均流速 (水深平均値)  
 $\lambda$  : 無次元横拡散係数  $I$  : 平均河床勾配

図-5 流速分布と  $f$  値(2)式を用い、北海道札幌土木現業所の河川流量調査報告書(側線距離、水深、流速、水面勾配 etc)をもとに  $f$  の値を算出する。計算によって求まる流速分布と実測流速を照らし合わせ、実測値に合うようにかつ流量に合うように  $f$  の値を変化させ、適当な値を探していくというものである。その代表例を図-5 に示す。また無次元横拡散係数  $\lambda$  は全区間 0.45 で与えている。

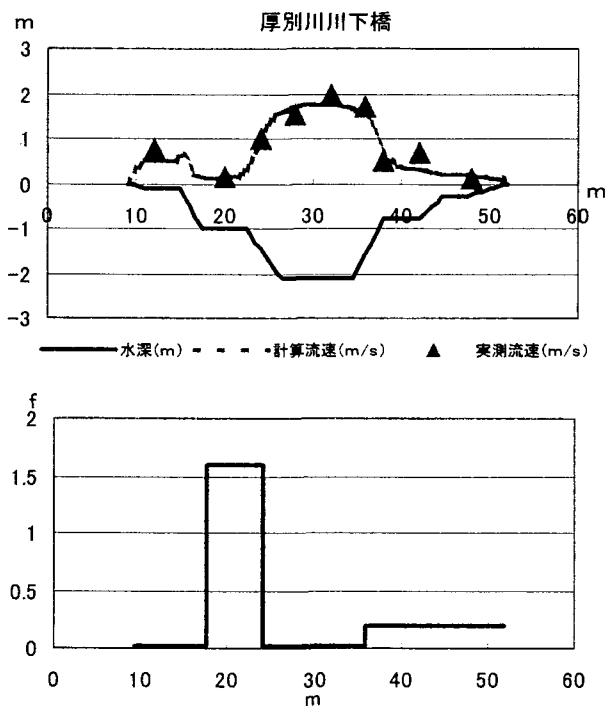
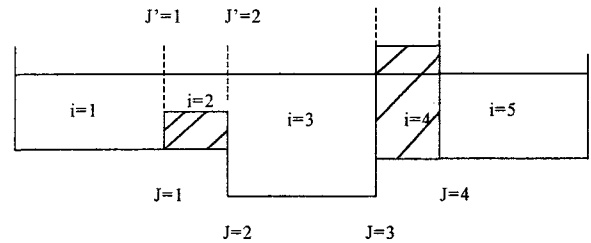


図-5 流速分布と  $f$  値

ここで  $f$  値が大きいところに樹木群が存在している。計算流速は実測流速を精度良く表現できているといえる。また、樹木群があるところでは流速が低減しているのがわかる。以後上記の手法を①とする。

この手法①は横断流速分布を制度よく表現できるが、流下方向に一樣な流れと考えており、縦断形を解くことができない。そこで縦断方向についても考えるため、別の手法も試みた。以下に算出方法を示す。



それぞれの分割断面で等流近似が成立するものとして、運動式と流量の連続条件から各分割断面での平均流速を求める。分割断面  $i$  についての運動式は次のように表される。

$$\frac{n_i^2 u_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} + \frac{\sum_j (\tau_j S_{wj})}{\rho g} = A_i I_b$$

$u_i, n_i, R_i, A_i, S_{bi}$  : 分割断面  $i$  の平均流速、マンニングの粗度係数、径深、河積、および底面せん断力の働く潤辺長  
 $\tau_j, S_{wj}$  : 樹木群境界に作用するせん断力と  $\tau_j$  が作用する潤辺長  
 $\tau_j, S_{wj}$  : 樹木群境界以外の分割断面の境界に作用するせん断力と  $\tau_j$  が作用する潤辺長  
 $I_b$  : 河床勾配

$\sum_j$  :  $j = 1, 2, \dots$  の所領諸量の和を表す  
 左辺第一項と手法①の第二項、左辺第三、四項と手法①の第三項、右辺と手法①の第一項がそれぞれ対応している。またせん断力  $\tau, \tau'$  は隣り合う断面間の流速差の 2 乗の形で表される。

$$\tau = \rho f (\Delta u)^2 \text{sign}(\Delta u)$$

ここで  $fd$  は境界混合係数である。この手法は樹木群を死水域として取り扱っているのだが、今回本研究では樹木群内も水は流れるはずという考えより樹木群を死水域として取り扱わない方法を取っている。ここでこちらの方法を以後手法②とする。

粗度の評価において手法①ではダルシーワイズバッハのせん断力係数  $f$  を、手法②ではマンニングの粗度係数  $n$  をそれぞれ用いているが、 $f$  の方が無次元で合理的であるため、手法②の  $n$  を以下の式で表している。

$$n = \sqrt{\frac{f R^{\frac{1}{3}}}{2g}}$$

また手法①の方が流速分布の精度が良いと考えられるため手法①で求めた  $f$  を手法②に与えている。また手法②では矩形近似で計算を行っている。

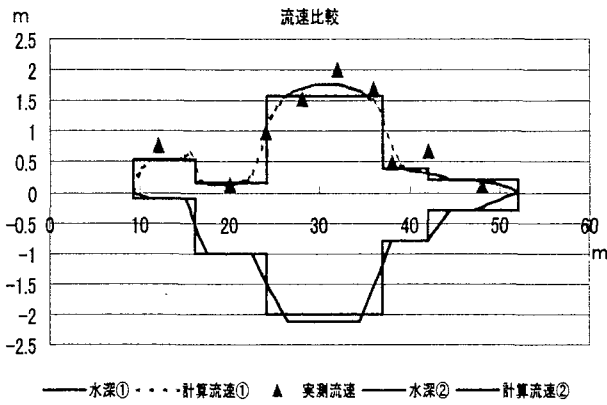


図-6 流速比較

図-6 より手法②も横断流速分布をほぼ表現しているといえる。

また計算は流量、水位を既知として行っているのだが手法②において樹木による境界混合係数  $fd_2=0.025$  で上手く表現できた。

ここで底面せん断力と境界のせん断力をそれぞれ比較してみる。ここで手法①のせん断力係数は

$$f = (f_1 + f_2)$$

$f_1$  : 河床に働くせん断力係数

$f_2$  : 樹木によるせん断力係数

として表現できる。ということでここでは  $f_1$  で比較する。なお  $f_1$  には図-5 で示した値を用いているが、樹木群のところには 0.03 を与えている。

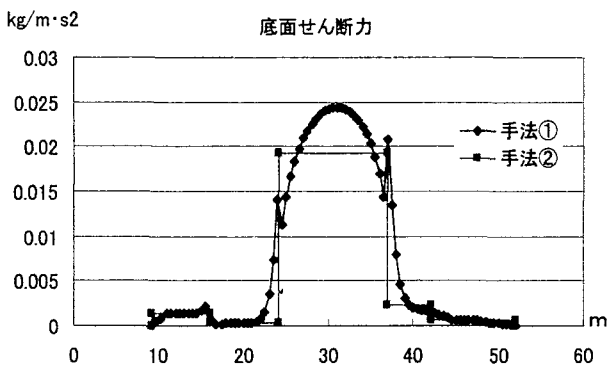


図-7

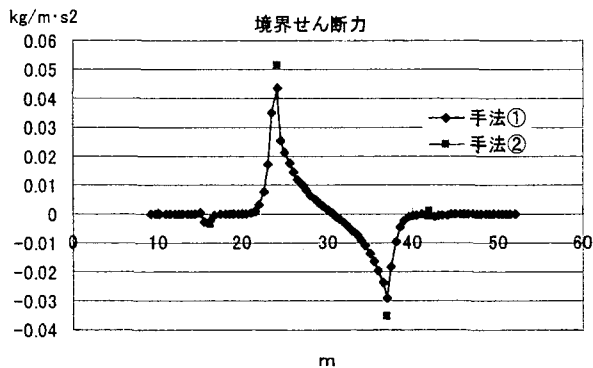


図-8

図-7、図-8 より具合よく表現できているといえる。ここで  $f$  と樹木の関係を示す。

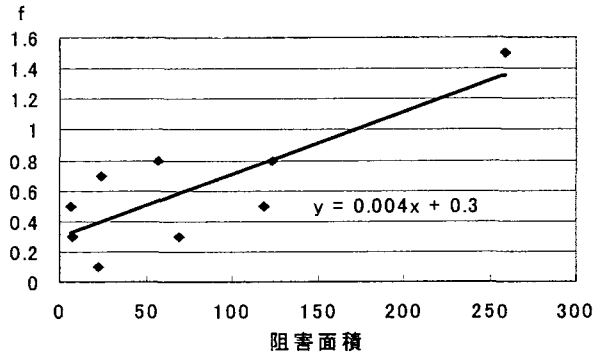


図-9

ここで阻害面積は本数×樹形<sup>2</sup> である。この図より樹木密度、樹形が大きいほどせん断力係数  $f$  は大きい値をとることがわかる。

### 5. 考察

今回の調査から雪堆積場における経年変化として、樹径、樹高に関しては、雪堆積場ではやや減少傾向にあり、対岸においては増加傾向にあることがわかる。樹密に関しては、対岸より雪堆積場の方が大きな値を示している。これは、雪堆積場の方が地面に近い位置で枝分かれしている若い木が多かったためだと考えられる。

以上のことから、まず雪堆積場ではヤナギが生長しづらくなっており、雪や作業機械につぶされては、またそこから生長していくといったサイクルができており、それゆえに若い木が多いのではないかと思われる。それに対しその他の地点では年々、徐々に生長していつていると考えられる。

また流速から求めた  $f$  と樹木の形態は図-9 に示すように樹径、樹密が大きくなるにつれ  $f$  の値も増加するといことがわかる。

また手法②は既存の方法を変えてみたが、境界混合係数を変えることで適用できるのではないかという見解を得た。今後はより多くの河川でデータを取り、 $f$  を決定する式をより正確にしていき、縦断水位も求めていきたい。

### 参考文献

- 1) 河道内の樹木の伐採・植樹のためのガイドライン(案)  
建設省河川局治水課監修 財団法人リバーフロント整備センター編集
- 2) Shiono k., and D.W.Knight: Two Dimensional Analytical Solution for a Compound Channel Proc. of The Third International Symposium on Refined Flow Model and Turbulence Measurements, p.503-510, July 1988