

40. 石狩川周辺における 2004 年台風 18 号の風倒木から学ぶ河畔林の維持管理

Riparian Forest Management:

Lessons from Blowdown Damage by Typhoon Songda along the Ishikari River

傳甫潤也^{*1}・小本智幸^{*2}・松本喜幸^{*3}

Junya DEMPO, Tomoyuki KOMOTO, Yoshiyuki MATSUMOTO

Abstract; Toward improving riparian forest management, we studied blowdown caused by Typhoon Songda in 2004 in riparian forests along the Ishikari River. Two kinds of riparian forests grow along this river: those within the embankments (“bankside forests” of predominantly *Salix*), and those in channel cutoffs outside the embankments (“cutoff forests” of predominantly *Ulmus davidiana* and *Fraxinus mandshurica*). Whereas blowdown in bankside forests was severe, blowdown in cutoff forests was minor. In bankside forests there was little damage to immature trees, but extensive branch and trunk breakage to mature trees (age >20 years, H/D* ratio <85) and extensive uprooting to overmature trees (age >30 years, H/D ratio <65). In cutoff forests there was little typhoon blowdown – even of mature trees – because the trees there are tall and thick enough to resist strong winds. Trees in the cutoff forests range in age from 60 to 190 years, and the H/D ratio for the trees of those ages ranges from 25 to 75. In view of windfall damage control, logging is needed every 20 years to maintain the bankside forests. However, if those forests are replanted with species found in the cutoff forests, then the logging can be greatly reduced in frequency – or possibly eliminated. Such replanting will also improve the discharge capacity and biodiversity. It is desirable to replant bankside forests with cutoff forest species. * height-diameter

Keywords; blowdown, blowdown damage control, tree age, height-diameter ratio, riparian forest management

1 はじめに

近年では、治水事業において河畔林の維持管理についての議論が多くなっている。そのようななか、2004 年 9 月 8 日に北海道の西海上を北上した台風第 18 号により、札幌気象官署では最大瞬間風速 50.2m/s が観測されるなど、道内各地の気象官署では観測開始以来の極値を更新し（札幌管区気象台 2004）、風倒木が多発した（対馬ほか 2004）。

石狩川周辺では、河畔のヤナギ林において風倒木が多くみられ、堤内地のハルニレやヤチダモを主体とした林分（以後ハルニレ・ヤチダモ林）では風倒木は少なかった。河畔における風倒木の多発は、出水時に流出しなければ河積阻害、流出し流木化した場合には河川管理施設や漁業などへの影響が懸念される。

これらを踏まえ、本報では、河畔林の維持管理の一環として風倒木に着目し、河畔のヤナギ林を調査してその特徴を把握した。また、風倒木の少ない堤内地のハルニレ・ヤチダモ林と比較し、主に風倒木抑制という観点から維持管理について考察した。

*1 株式会社 セ・プラン 環境部 Civil Engineering & Planning Co., Ltd., Environment Dept., 4-9-5-27, Tsukisamuhigashi, Toyohira-ku, Sapporo 062-0054, Japan.

*2 財団法人 河川環境管理財団 Foundation of River & Watershed Environment Management., 1-7-16-2, Chuuou-ku, Sapporo 060-0061, Japan.

*3 株式会社 ドーコン 河川環境室 Docon Co., Ltd., River Environmental Sect., 1-5-4-1, Atsubetsuchuuou, Atsubetsu-ku, Sapporo 004-8585, Japan.

表 1. 調査対象地の林分概況

調査地	位置		林分名	林齢 ¹⁾	立木密度 (本/ha)	林分高 ¹⁾ (m)	風倒タイプ ²⁾	河岸からの 距離 ³⁾ (m)	平水位からの 比高 ⁴⁾ (m)	融雪最大出水位 からの比高 ⁵⁾ (m)	方形区
	河口からの 距離(km)	左右岸									
St.1	64.5	L	ヤナギ林	26	489	13	B・C・D	430	3.96	0.15	15m×15m
St.2	98.5	R	ヤナギ林	23	889	15	B・C	30	3.17	1.23	15m×15m
St.3	103.0	R	ヤナギ林	23	1,225	13	B・C	130	1.97	0.08	10m×40m
St.4	105.0	L	ヤナギ林	32	711	15	B・C	170	1.13	-0.76	15m×15m
St.5	109.0	R	ヤナギ林	17	3,900	11	A	80	1.19	-0.57	10m×10m
St.6	112.5	R	ヤナギ林	29	622	17	B・C・D	120	2.90	1.26	15m×15m
St.A	104.0	L(堤内)	ヤチダモ林 (民家の屋敷林)	68	-	20	A	-	-	-	-
St.B	105.0	R(堤内)	ハルニレ・ヤチダモ林 (雨龍神社)	107	-	20	A・B	-	-	-	-
St.C	109.0	R(堤内)	ハルニレ・ヤチダモ林 (下メム神社)	129	-	18	A	-	-	-	-

1) 樹齢については階級値3年毎、林分高については階級値2年毎の頻度分布を作成し、最頻値の中央値とした。ただし、ヤチダモの混入割合が少なかった St.C については、最高樹齢のものとした。2) A: 損傷なし, B: 枝折れ, C: 幹折れ, D: 根返りを示す。3) 河岸からの距離は、河川環境情報図から計測した。4) 平水位からの比高については、平水位は近隣の観測所の10ヵ年(1991-2000年)の平水位を平均した値とし、調査時の「水面からの比高」から補正した。5) 融雪最大出水位は3-6月の最大水位とし、近隣の観測所の10ヵ年(1991-2000年)の平均とした。そして、調査時の「水面からの比高」から補正し、融雪最大出水位からの比高を算出した。

2 材料と方法

2.1 調査対象地

台風18号通過時の石狩低地帯では、図1に示すように、突風は主に南の方向から北上するように吹きつけていた。

河畔のヤナギ林において風倒木が多くみられた箇所は滝川付近であったことから、低地帯を北上した突風は、谷底幅の狭まる美唄付近から地形的な影響を受け、滝川付近で風倒木が顕著になったと考えられる。これらを踏まえ、調査地は、河畔のヤナギ林のうち、とくに風倒木が多くみられた滝川、美唄付近とし、図1、表1に示すように、風倒木の多いヤナギ林5地点、風倒木の少ないヤナギ林1地点の計6地点とした。堤内のハルニレ・ヤチダモ林は、河畔の調査地の近隣とし、社寺林、屋敷林を対象に3地点とした。

なお、調査地付近について、かつて石狩川はS字状の蛇行を呈し、河道沿いに砂分を主体とした自然堤防が形成され、その上にハルニレ・ヤチダモ林が成立していた(北海道廳 1897)。これが、河道整備により多くの蛇行がシ

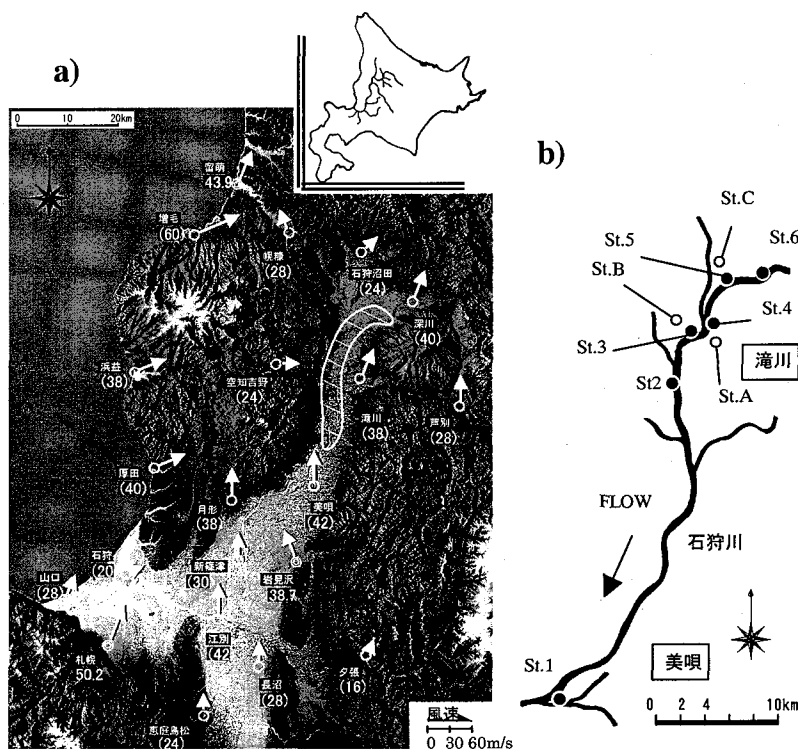


図 1. (a) 台風 18 号通過時の突風と風倒木被害, (b) 調査地位置図

◎は気象官署, ○はアメダスを示し、観測所名の下の数値は最大瞬間風速 (m/s) を示す。括弧内の数値は、最大風速に突風率 2.0 を乗じた値である。突風率とは、最大瞬間風速と最大風速の比であり、今回の突風率は、札幌 2.31、岩見沢 2.07、留萌 1.73、旭川 2.42 であった。風情報は札幌管区気象台 (2004)、陰影図は国土地理院の数値地図とカシミール 3D (フリーソフト) より作成した。図中の斜線部は、河畔林の風倒被害が顕著な箇所であり、2004 年 9 月 11 日にヘリコプターから撮影したビデオによるものである。

ョートカットされた(北海道開発局 1980)。その結果、現在の河畔林は、高水敷、中水敷、河岸付近の土砂堆積地に成立するヤナギ林となった。このようなことから、堤内地の調査対象とした社寺林については、かつての河畔林、もしくはそれらと連続していたものと考えられる。

2.2 調査方法

河畔のヤナギ林では、林分高を考慮した方形区を設定し(表 1)、毎木調査、方形区の水面からの比高、距離を計測した。毎木調査は、種、樹高、DBH(胸高直径)、樹齡、腐朽の有無、風倒タイプ区分を行った。樹齡は、後述するように、DBH からの回帰式により算出した。回帰式算出のためのコアサンプリングは、成長錐(地上 1.3m の位置)を使用し、各調査地点より数サンプルずつ採取した。腐朽の有無については、成長錐(地上 1.3m の位置)によるコアサンプルから、現地にて確認した。風倒タイプ区分は、損傷なし、枝折れ、幹折れ、根返りとした。方形区の水面からの比高は水準測量によった。河岸からの距離は環境情報図を使用し机上で算出した。

堤内地の林分では、上層木の下に修景用の樹木が植栽されているため、上層の主要木を対象とした。ここは民地であり、成長錐を使用することができなかったため、樹齡や腐朽の有無を計測することはできなかった。そのため、種、樹高、DBH、風倒タイプ区分の計測となった。なお、樹齡については、ヤチダモの生長量のデータが得られているため、後述するように、回帰式により DBH から算出した(ヤチダモのみ)。

調査は、2004 年 11 月 1-2 日に実施した。

2.3 樹齡解析

河畔のヤナギ林は、オノエヤナギ(*Salix sachalinensis*)、エゾノキヌヤナギ(*Salix pet-susu*)、エゾヤナギ(*Salix rorida*)を主体としたものであり、主に *Salix* であることから、まとめてヤナギ類として扱った。各調査地点から数本ずつのあわせて 15 サンプル、周辺の幼木から 5 サンプル、計 20 のコアサンプルを室内に持ち帰り、年輪を判読し、DBH を説明変数、樹齡を従属変数とする回帰式を算出した(式 1)。なお、算出に際しては、地上 1.3m のコアサンプルであるため、年輪判読時には樹高 1.3m に到達するまで 2 年かかると想定し、判読した樹齡に 2 年を加えた。

堤内地のハルニレ-ヤチダモ林については、札幌地方のヤチダモの生長量から(北海道林業改良普及協会編 1977)、DBH を説明変数、樹齡を従属変数とする回帰式を算出した(式 2)。

$$(\text{樹齡}) = 1.133 (\text{DBH}) + 3.750 \quad (n=20, R^2=0.818, p<0.01) \quad \text{式 1}$$

$$(\text{樹齡}) = 2.637 (\text{DBH}) - 4.319 \quad (n=11, R^2=0.981, p<0.01) \quad \text{式 2}$$

3 結果と考察

3.1 ヤナギ林の立地条件と林分構造

河畔のヤナギ林は、林齡 17-32、立木密度 489-3,900 本/ha、林分高 11-17m であった(表 1)。林分構造(林齡、立木密度、林分高; 算出方法は表 1 の注釈参照)と、立地位置(河岸からの距離、水面からの比高、融雪最大出水位からの比高; 算出方法は表 1 の注釈参照)については、地点数は少ないものの、統計的に有意な相関はみられなかった。とくに、St.4 は、河岸付近の土砂堆積微高地の背後低地に位置し、融雪出水時に冠水するものの、32 年生の比較的大きな林分となっていた(表 1)。

これらのことから、今回の調査林分では、河岸からの距離や比高が林分構造に大きな影響を与えていないと考え、以降では全調査地の樹木をまとめて解析した。

3.2 ヤナギ林の風倒木の特徴

(A) 樹齡と形状比

根返り木に巻き込まれ共倒れした周辺の樹木、もともと腐朽し白骨化(樹皮が剥離し数年経過した状況)していた樹木を控除し、調査対象木の樹齡と、樹高、形状比をあらわしたのが図 2 である。形状比(H/DBH)とは、林業における風害や雪害の指標にされており、形状比が 100 を越えるともやし状で被害を受けやすく、どっしりとし

た安定感のある状況が形状比50程度といわれている（日本林業技術協会編 1998）。

図より、樹齢の増加とともに形状比が小さくなり、どっしりとした状態になることがわかる。また、若く形状比が大きい段階では損傷なし、中庸な段階で枝折れや幹折れが多く、老年の形状比が小さい段階では根返りが多くなっていた。これらの境界の目安を把握するため、樹齢と形状比を変数とした判別分析を行った。枝折れと幹折れについては、グループ間に差がなかったため（判別分析; $p=0.394$ ）、枝折れ&幹折れとしてまとめた。解析の結果、損傷なしと枝折れ&幹折れの判別関数 $z1$ （式3）、枝折れ&幹折れと根返りの判別関数 $z2$ （式4）を得た（両者ともグループ間に統計的に有意差を検出; $p<0.01$ ）。これらと、ヤナギ類の樹齢と形状比の回帰式（式5）との交点が境界の目安となる。

$$z1 = -0.0581 (\text{Age}) + 0.0256 (\text{形状比}) - 1.0696 \quad \text{式3}$$

$$z2 = 0.1359 (\text{Age}) + 0.0178 (\text{形状比}) - 5.0534 \quad \text{式4}$$

$$(\text{形状比}) = 22.9285 + 1206.10 / (\text{Age}) \quad \text{式5}$$

$z1$, $z2$ を0とし、式3と式5、式4と式5の交点を算出すると、各々の交点は、樹齢=19.3, 28.7となった。よって、枝折れ&幹折れが生じるのは樹齢20年で形状比85の付近からであり、根返りが生じるのは樹齢30年で形状比65の付近からといえる。

(B) 年輪幅

樹木の幹折れについては、年輪幅が広くなりすぎると曲げに対する抵抗が小さくなるといわれ（例えば、中谷2002）、針葉樹の場合には年輪幅が5-6mmを越えると一般に密度が低下し強度が低下、さらに1mm以下と極端に狭い場合にも低密度になり強度が低下するといわれている（日本林業技術協会編 2001）。

今回サンプリングしたヤナギ類の年輪幅は、若い段階では年輪幅の広い材が蓄積され、10年程度になると年輪幅の狭い材が蓄積されはじめる傾向であった（図3）。

これらより、若い段階では強度が低い材で構成されていると考えられ、樹幹のしなにより損傷が少なかったと考えられる。樹齢20年程度まで年輪幅の狭い材が蓄積されると、それに伴う樹幹のしなりの減少、樹冠の発達に伴う風圧の増大により枝折れ&幹折れが多くなったと考えられる。そして、樹齢30年程度になると、年輪幅の狭い材がさらに蓄積され強靱な樹幹となる、樹冠の発達に伴い風圧が増大するものの、風圧に耐えうる強靱な樹幹により、幹折れすることなく、根返りが多くなったと考えられる。

(C) 腐朽の割合

腐朽については、当初、髄より同心円状に広がっていると予想していた。しかし、実際のコアサンプルの腐朽は、全てが髄から広がっておらず、髄から離れたところが虫食い状に腐朽しているものが多かったことから、部分的な

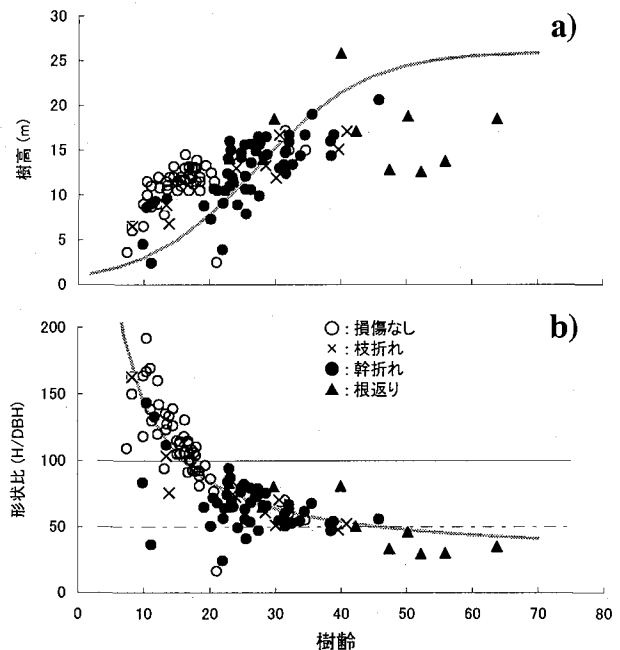


図2. ヤナギ類の樹齢と、(a)樹高・(b)形状比 (n=129)

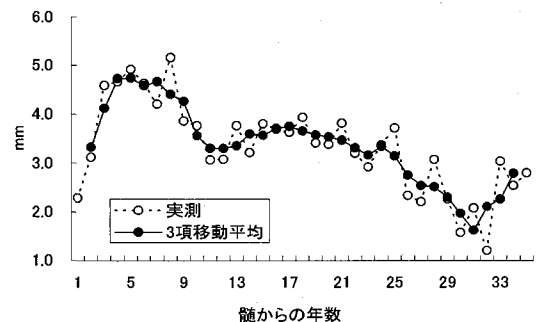


図3. ヤナギ類の年輪幅 (n=15)

表2. ヤナギ類の風倒タイプと腐朽の有無 (本)

	$p<0.01$			合計
	損傷なし	枝折れ & 幹折れ	根返り	
腐朽無	31	19	6	56
腐朽有	25	43	5	73
合計	56	62	11	129

*フィッシャーの直接確率検定.

腐朽であったと推測される。この場合、サンプリングの際に腐朽箇所がはずれることも考えられるなど、不確実さを兼ね備えていることに留意したい。

前記の判別分析でグループ分けが妥当とされた3区分（損傷なし・枝折れ&幹折れ・根返り）において、損傷なしの腐朽割合を基準に、枝折れ&幹折れ、根返りを比較すると、枝折れ&幹折れの腐朽木が多い傾向であった（表2）。

これより、枝折れ&幹折れの発生には、前記のような樹幹のしなり減少のほか、腐朽による影響も寄与していた可能性があると考えられる。また、根返りになると、損傷なしの腐朽割合と同等になる

ため、枝折れ&幹折れ段階で淘汰された樹木が生き残っているとも考えられる。

3.3 河畔のヤナギ林と堤内のハルニレ・ヤチダモ林

河畔のヤナギ類と堤内のヤチダモの樹齢と、樹高、形状比をあらわしたのが図4である。ヤチダモは、樹齢60–190年、形状比25–75というように、ヤナギ類に比べ長い期間にわたり、樹高が高く形状比が小さいどっしりとした状態であった。また、ヤチダモの平均年輪幅 $2.05\text{mm} \pm 0.17\text{mm}$ （平均±標準偏差；北海道林業改良普及協会編1977より算出）は、ヤナギ類の平均年輪幅 $(3.54\text{mm} \pm 0.40\text{mm})$ より狭いことから、強靱な樹幹であると考えられる。堤内外では、調査対象木の樹齢、生育基盤なども異なるため、これ以上の樹種特性の違いは比較できないものの、かつて河畔に成立していたハルニレ・ヤチダモ林が現在のヤナギ林に比べ、長期間どっしりとした状態を維持し、かつ損傷木が少なかったこと（枝折れ程度）は特筆すべきことと考えられる。

4 風倒木から学ぶ河畔林の維持管理

4.1 風倒木の特徴と、今後のヤナギ林のシナリオ

以上より、損傷木の少なかった若齢木、枝折れや幹折れが多くみられた壮齢木（樹齢>20年、形状比<85）、根返りが多くみられた老齢木（樹齢>30年、形状比<65）というようにまとめられる（図5）。今回は、河畔のヤナギ林では樹齢60年程度までのデータ、堤内のハルニレ・ヤチダモ林では樹齢60–190年のデータであり、そのほかについては得られなかった。現在のヤナギ林については、今後二つのシナリオが考えられる。一つは、風倒木の撤去、その後の整地などにより裸地状態となり、ふたたびヤナギ林が形成される。そして、数十年に一度の何らかのイベントにより倒木が発生して、同様なサイクルを繰り返すというシナリオである（図5）。もう一つは、かつて成立していたハルニレ・ヤチダモ林へと遷移するシナリオである。後者については、現在のヤナギ林においてこれらの樹種が侵入していないこと、内陸部も開発されており母樹が少ないことから、極めて長期間を要することと考えられ、実際は、防災面も考慮した河川管理が不可欠となるため、前者のシナリオになると考えられる。

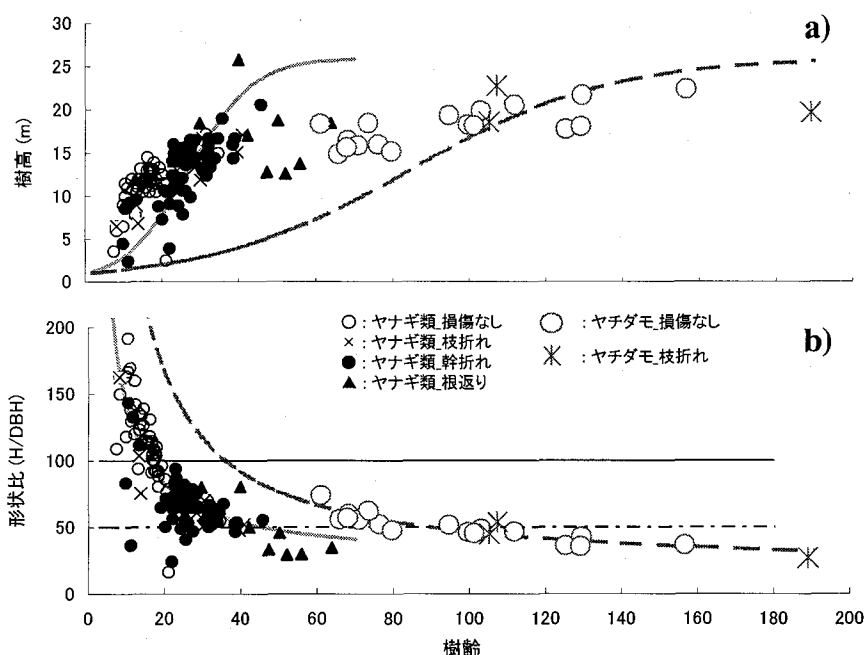


図4. ヤナギ類とヤチダモの樹齢と、(a)樹高・(b)形状比 (n=129)

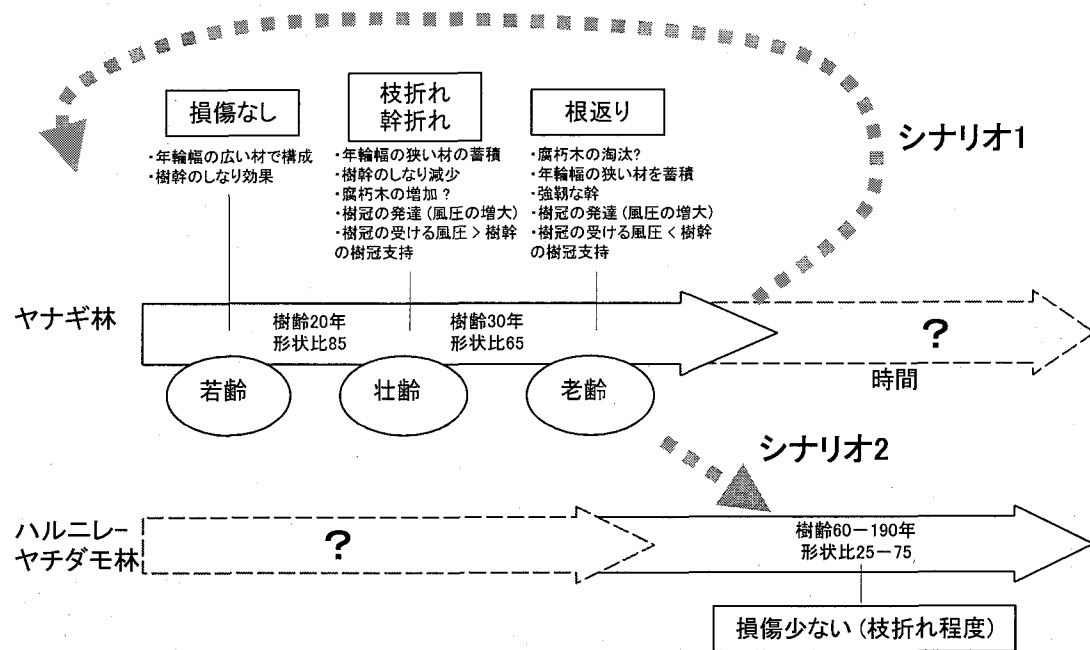


図5. 風倒木の特徴と、今後のヤナギ林のシナリオ

シナリオ1: 風倒木の撤去、その後の整地などにより裸地状態となり、ふたたびヤナギ林が形成される。そして、数十年に一度の何らかのイベントにより倒木が発生して、同様なサイクルを繰り返す。シナリオ2: かつて成立していたハルニレ・ヤチダモ林へと遷移する。

4.2 風倒木抑制の観点から考えられる維持管理

上記のことから、調査対象地周辺では、今後もヤナギ林が成立し続けると考えられる。風倒木抑制という観点を考慮し、ヤナギ林を維持する場合には20年に1回の伐採が必要と考えられ、河川の延長を考えると膨大な作業となる。しかし、何らかの人為を導入し、長期間どっしりとした状態（高樹齢、高樹高、太い樹幹）を維持するハルニレ・ヤチダモ林へと更新させることが可能であれば、定期的な伐採管理が大幅に軽減されることが考えられる。また、流下能力の向上、生物多様性なども考慮すると、今後の河畔林の維持管理としては、かつて河畔に成立していたハルニレ・ヤチダモ林へと更新することが望ましいと考えられる。

謝辞: 本報の執筆にあたり、北海道開発局石狩川開発建設部、河川環境管理財団の関係各位には、データの使用に快諾して頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 北海道開発局石狩川開発建設部監 (1980) 石狩川治水史, 北海道開発協会.
- 北海道廳第二部殖民地課 (1897) 北海道殖民地撰定報文完, 北海道出版企画センター (復刻版).
- 北海道林業改良普及協会編 (1977) 北海道の主要造林樹種収獲表と成長量に関する資料, 第Ⅱ編, 北海道林業改良普及協会.
- 中谷 浩 (2002) スギ造林木の冠雪害に対する樹木力学的な取り組み, 北方林業 635.
- 日本林業技術協会編 (1998) 森を調べる 50 の方法, 東京書籍.
- 日本林業技術協会編 (2001) 森林・林業百科事典, 丸善.
- 札幌管区气象台 (2004) 平成 16 年台風第 18 号気象速報 (2004.9.9).
- 対馬俊之・菅野正人・寺澤和彦・木幡靖夫・阿部友幸・佐藤 創・三岡 修・原 秀穂・浅井達弘 (2004) 2004 年台風 18 号被害に関する調査速報, 光珠内季報 137.